

สัญญาเลขที่ R2561B062



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM

บริเวณอินโดจีนตอนกลาง

โดย

ดร.นัฐพล มหาวิค

ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กรกฎาคม พ.ศ. 2562



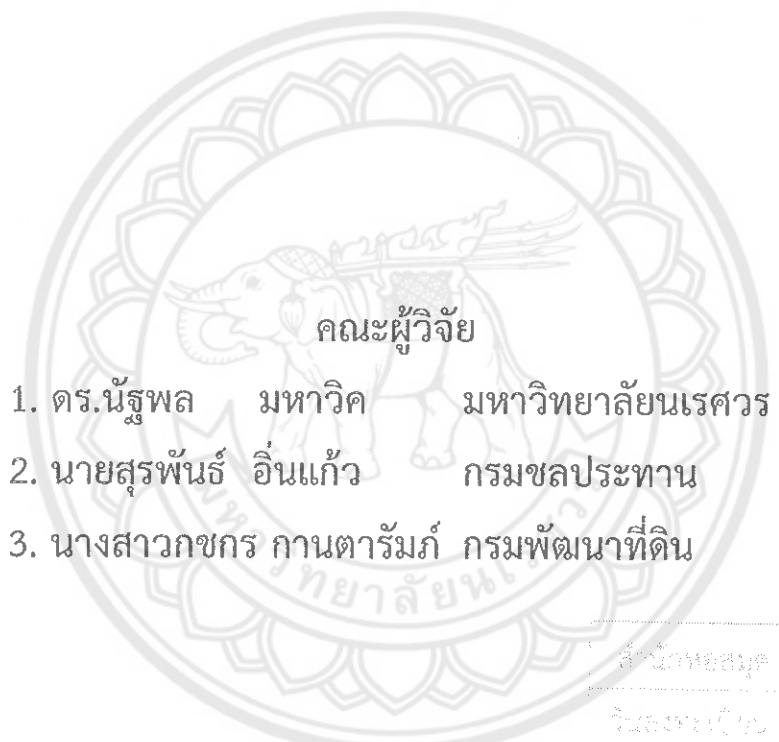
สัญญาเลขที่ R2561B062



สำนักหอสมุดฯ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM
บริเวณอินโดจีนตอนกลาง



คณะผู้วิจัย

1. ดร. นัฐพล มหาวิค มหาวิทาลัยนเรศวร
2. นายสุรพันธ์ อินแก้ว กรมชลประทาน
3. นางสาวกชกร กานตารัมภ์ กรมพัฒนาที่ดิน

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
 วันลงพิมพ์ 11 ก.ค. 2561
 เลขหนังสือ 1038554
 เลขเรียกหนังสือ ๖ TL
 ๖๑๘
 .พย

น ๓๑๒๖
๒๕๖๑

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนเรศวร

ประจำปี พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

โครงการความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผ่านการจัดสรรโดยมหาวิทยาลัยนเรศวร รหัสโครงการ R2561B062 โดยสามารถตีพิมพ์ผลงานวิจัยในฐานข้อมูลระดับนานาชาติได้ 2 ฉบับและงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 1 ฉบับ ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยนเรศวรที่พิจารณาจัดสรรทุนในการศึกษาครั้งนี้ องค์การ NASA ที่สร้างโครงการ TRMM เพื่อให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกได้เข้าถึงข้อมูลงานวิจัยในการค้นหาความจริงจากธรรมชาติในเรื่องบรรยากาศวิทยา Prof. CHUNTAO LIU ภาควิชา Atmospheric Sciences มหาวิทยาลัย Utah ที่ให้การสนับสนุนเรื่องข้อมูล TRMM PFs กรมอุตุนิยมวิทยาและภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนทั้งข้อมูลและเครื่องมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

นัฐพล มหาวิค

คำนำ

โครงการความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง เป็นโครงการต้นแบบในการสร้างศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมเพื่อศึกษาสภาพฝนในภูมิภาคอินโดจีนตอนกลาง ในงานวิจัยครั้งนี้ทุกกระบวนการได้พัฒนาจากภาษาไพธอนซึ่งนอกจากจะได้องค์ความรู้ของกายภาพฝนแล้ว ยังสามารถนำโค้ดที่ได้พัฒนานี้ไปใช้ในการเรียนการสอนในระดับบัณฑิตศึกษารวมทั้งสามารถนำไปสร้างเป็นแบบเรียนให้กับนิสิตที่สนใจในรายวิชาภูมิอากาศวิทยาและบรรยากาศวิทยาได้อีกทาง อันจะเป็นการสร้างบุคลากรของประเทศให้มีองค์ความรู้ที่พร้อมนำไปปรับใช้กับหน่วยงานจริงของประเทศหลังจากได้จบการศึกษาแล้ว นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังได้นำข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินมาวิเคราะห์กายภาพของเมฆฝนในช่วงพายุอันสามารถเป็นต้นแบบในการเฝ้าระวังและติดตามพายุฝนที่รุนแรงในช่วงมรสุมที่อาจสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้พัฒนาโค้ดต้นแบบทั้งกระบวนการจนสามารถนำมาปรับใช้กับข้อมูลภาพเรดาร์ทุกสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา อันจะเป็นการเปิดแนวทางการศึกษาใหม่เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านกายภาพน้ำฝนให้กับประเทศต่อไป

รัฐพล มหาวิค

บทคัดย่อ

โครงสร้างทางกายภาพและคุณลักษณะของเมฆฝนนั้นเป็นองค์ความรู้ที่จำเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์ในทุกระดับ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง จำเป็นต้องมีการพัฒนาองค์ความรู้นี้ งานวิจัยทางด้านกายภาพฝนนี้พบไม่มากนักในพื้นที่อินโดจีนเนื่องจากขาดเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลดาวเทียม TRMM ที่ได้ทำการสำรวจโดยองค์การ NASA และถูกพัฒนาต่อยอดจนเป็นฐานข้อมูลระบบฝน หรือ TRMM Precipitation Features Database ซึ่งมีข้อมูลเซนเซอร์ทั้งเรดาร์ ไมโครเวฟ ตามมองเห็นรวมถึงการตรวจวัดข้อมูลฟ้าแลบ นอกจากนี้ยังได้ทำการใช้ข้อมูลเรดาร์จากกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อวิเคราะห์ลักษณะฝนที่เกิดจากพายุ Sonca ในปี พ.ศ.2560 ด้วยการพัฒนากระบวนการพัฒนาฐานข้อมูลรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลในภาษาไพธอนทั้งหมด ผลการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและคุณลักษณะเมฆฝนพบว่าเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลาในรอบปีโดยใช้ข้อมูล 16 ปีจะพบว่าความรุนแรงของเมฆฝน convective ในช่วงก่อนฤดูมรสุมจะมี ความรุนแรงมากกว่าฤดูกาลอื่น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลฟ้าแลบโดยความถี่ที่สูงพบในพื้นที่ภูเขา ส่วน การศึกษาพายุ Sonca ด้วยข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินพบว่า ขนาดพื้นที่และจำนวนของเมฆ ที่สกัดได้ในช่วงพายุมีมากกว่าช่วงก่อนการเกิดพายุอย่างชัดเจน และยังพบว่าพื้นด้านหน้าเขาและเชิงเขาจะมีค่าความถี่ของเมฆฝนที่สูงกว่าบริเวณ

นัฐพล มหาวิค

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คำนำ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1-2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1-2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	1-3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-4
1.6 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	1-5
บทที่ 2 วรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 ข้อมูลดาวเทียม TRMM	2-1
2.2 ฐานข้อมูล TRMM Precipitation Features	2-5
2.3 การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูล TRMM PFs ในด้านการวิจัย	2-7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนด้วยข้อมูลเซนเซอร์จากข้อมูลดาวเทียม TRMM	3-1
3.2 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนแบบ convective ด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ	3-6
บทที่ 4 ผลการศึกษา	4-1
4.1 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนด้วยดาวเทียม	4-1
4.2 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนด้วยเรดาร์	4-18
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	5-1
5.1 สรุปผลการศึกษา	5-1
5.2 ข้อเสนอแนะ	5-3
เอกสารอ้างอิง	6-1
ภาคผนวก ก, ข, ค, ง, จ, ฉ, ซ, ช	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	
ภาคผนวก จ	
ภาคผนวก ฉ	
ภาคผนวก ซ	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 สถิติช่วงฤดูกาลในรอบปีจากการใช้ข้อมูล TRMM ในช่วงปี ค.ศ. 1998 ถึง 2013	4-3
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลสถิติการจำแนก PFs	4-5
ตารางที่ 4.3 ค่ามัธยฐานของตัวแปรพื้นที่ฝน min85pct ความสูงเมฆที่ 30dBZ ความสูงเมฆที่ 6กม.	4-8
ตารางที่ 4.4 สถิติอัตราฟ้าแลบเหนือพื้นดินภูมิภาคอินโดจีน	4-13
ตารางที่ 4.5 จำนวนอัตราฟ้าแลบเหนือพื้นดินภูมิภาคอินโดจีนตามการจำแนกกลุ่มฝน	4-13



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณตอนกลางของอินโดจีนแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่	1-3
ภาพที่ 2.1 รูปจำลองของเรซาคณิตในการบันทึกข้อมูลน้ำฝนจากดาวเทียม TRMM	2-1
ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงการปรับแก้ค่าพาราแลกซ์เพื่อให้ข้อมูล TMI กับข้อมูล PR	2-5
ภาพที่ 2.3 โปรไฟล์ความถี่ของค่าการสะท้อนสูงสุดในแต่ละระดับความสูงเหนือพื้นดิน	2-6
ภาพที่ 2.4 โปรไฟล์แนวตั้งของค่าการสะท้อนสูงสุดของเรดาร์ที่ตรวจวัด MCSs	2-7
ภาพที่ 2.5 ตำแหน่งของ PFs เปรียบเทียบกับตำแหน่งฟ้าผ่าจำแนกตามความถี่ในแต่ละช่วงเวลา	2-8
ภาพที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาโครงสร้างฝนด้วยดาวเทียม TRMM	3-2
ภาพที่ 3.2 โปรแกรม HDEView	3-3
ภาพที่ 3.3 พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่สังเกตการณ์เรดาร์ตรวจอากาศพิชญุโลก	3-6
ภาพที่ 3.4 คลังข้อมูลภาพเรดาร์	3-7
ภาพที่ 3.5 กรอบแนวคิดในการจัดค่า Radar flare	3-8
ภาพที่ 3.6 โปรแกรม Anaconda	3-9
ภาพที่ 3.7 โปรแกรม Spyder	3-10
ภาพที่ 3.8 เวกสอน OpenCV	3-10
ภาพที่ 3.9 การพัฒนาโปรแกรมไพธอนโดยเรียกใช้ OpenCV	3-11
ภาพที่ 3.10 กระบวนการ Morphology ของ OpenCV	3-12
ภาพที่ 3.11 ฟังก์ชัน fitEllipse	3-13
ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยฝนรายปีจากข้อมูล TRMM3B42	4-1
ภาพที่ 4.2. การหาช่วงเวลาในฤดูกาล	4-2
ภาพที่ 4.3 โค้ดในการหาวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุม	4-4
ภาพที่ 4.4 การจำแนกช่วงฤดูมรสุม	4-5
ภาพที่ 4.5 โค้ดคำนวณความถี่ในการจำแนก PFs	4-6
ภาพที่ 4.6 แผนที่ความถี่ของการจำแนก PFs	4-7
ภาพที่ 4.7 CDF เปรียบเทียบระหว่างการใช้กลุ่มฝนทั้งหมดกับกลุ่มฝนแบบ MCSs	4-10
ภาพที่ 4.8 ค่าความสูงในแนวตั้งใช้ค่าเปอร์เซนไทล์	4-12
ภาพที่ 4.9 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความสูงเมฆ convective ผ่านตัวแปร MAXHT	4-14
ภาพที่ 4.10 ค่าความสูงเฉลี่ยของเมฆ convective โดยการจำแนกประเภทกลุ่มฝน	4-15
ภาพที่ 4.11 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า minimum 85-GHZ PCT	4-16
ภาพที่ 4.12 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอัตราส่วนฟ้าแลบ	4-17
ภาพที่ 4.13 การสกัดการสะท้อนจากเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินสถานีพิชญุโลก	4-18
ภาพที่ 4.14 โค้ดการสกัดค่าการสะท้อนของเรดาร์จากมุกยกแรก	4-19
ภาพที่ 4.15 ภาพค่าการสะท้อนเรดาร์ที่ใช้ในการสกัดข้อมูลที่ไม่ใช่กลุ่มฝน	4-20
ภาพที่ 4.16 โค้ดไพธอนในการตรวจพื้นที่ radar flare	4-21
ภาพที่ 4.17 ผลการตรวจพบก้อนเมฆ convective	4-22

ภาพที่ 4.18 โค้ดไพอีซอนในการการหาเมฆฝน convective	4-23
ภาพที่ 4.19 สถิติรายวันในช่วงก่อนและระหว่างเหตุการณ์พายุ Sonca	4-25
ภาพที่ 4.20 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความถี่ในการเกิดเมฆ convective	4-26



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาทางวิจัย

ชั้นบรรยากาศได้รับพลังงานความร้อน 3 ใน 4 ส่วนในรูปของความร้อนแฝงจากกระบวนการกลั่นตัวกลายเป็นหยาดน้ำฟ้า โดยที่ 2 ใน 3 ส่วนของหยาดน้ำฟ้านี้ได้ตกลงมาในเขตร้อน ทำให้ฝนในฤดูมรสุมเขตร้อนถือว่าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการหมุนเวียนของชั้นบรรยากาศโลก (Ose 1998) ดังนั้น การศึกษาลักษณะกายภาพฝนในเขตร้อนจึงมีประโยชน์ต่อภาพรวมของการทำความเข้าใจกลไกกายภาพของกระบวนการขับเคลื่อนบรรยากาศโลก อันจะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองภูมิอากาศที่มีความถูกต้องทั้งเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งระบบลมมรสุมของทวีปเอเชียถือว่าเป็นระบบลมมรสุมขนาดใหญ่ เนื่องจากมีแผ่นพื้นทวีปที่กว้างใหญ่ที่สุดในโลกกว่าทวีปอื่น มีแหล่งพลังงานความร้อนขนาดใหญ่คือที่ราบสูงทิเบต รวมทั้งยังมีแหล่งความชื้นจากสองมหาสมุทรที่ขนาบสองข้างของภูมิภาคอินโดจีนนั่นคือ มหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิก ภูมิภาคอินโดจีนถือว่าเป็นภูมิภาคที่อยู่ในแนวรอยต่อของระบบลมมรสุม (Transition zone) หลักสองระบบนั่นคือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย และลมมรสุมจากมหาสมุทรแปซิฟิก (Wang 2002) และยังประกอบไปด้วยภูมิประเทศที่เป็นภูเขาแคบๆสลับกับที่ราบลุ่มแม่น้ำ (Xie et al. 2006) ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างลักษณะกายภาพของน้ำฝนอย่างมากเพราะมีการหมุนเวียนของลักษณะลมท้องถิ่นเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของระบบลมมรสุมทั้งสองเป็นหลัก ตอนต้นของฤดูมรสุมหลังจากการเริ่มต้นของฤดูฝนที่เกิดขึ้นทางตอนบนของภูมิภาคก่อนในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม (e.g. Matsumoto 1997) จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย โดยในตอนปลายของฤดูฝนนั้นจะพบว่ามี ความแปรปรวนของอากาศที่เคลื่อนที่มาในรูปพายุโซนร้อนที่นำเอาความชื้นจากมหาสมุทรแปซิฟิกเข้ามายังภูมิภาค (e.g. Matsumoto 1997; Takahashi and Yasunari 2006) ทำให้ระบบฝนในภูมิภาคมีความซับซ้อน ซึ่งยังไม่ค่อยมีการศึกษาถึงการกระจายตัวของระบบฝนเชิงกายภาพอย่างเป็นระบบในภาพรวมของตอนกลางภูมิภาคการศึกษาทำความเข้าใจในเรื่องการกระจายตัวของฝนเชิงพื้นที่และห้วงเวลาในช่วงมรสุม จะเป็นประโยชน์ต่อการเข้าใจความผันแปรทางด้านปริมาณอย่างมาก ซึ่งหากมีการศึกษาที่เจาะลึกลงไปถึงเรื่องไมโครฟิสิกส์ (Microphysics) ของระบบฝน และเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics) ของระบบฝนจะช่วยให้เกิดองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์มากขึ้น โดยที่ฝนที่ก่อตัวในแนวตั้ง (Convective rain) เป็นฝนที่พบได้ทั่วไปในภูมิภาคอินโดจีนตอนกลาง (e.g. Satomura 2000; Ohsawa et al. 2000; Okumura et al. 2003; Satomura et al. 2011) แต่ยังไม่มีการศึกษาความผันแปรและความแตกต่างในเชิงลักษณะกายภาพ

ของพื้นที่ที่ต่างกันว่าเจาะลึกฝนที่ก่อตัวในแนวตั้งเมื่อพิจารณาข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้น พบว่าข้อมูลดาวเทียม TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่ถูกปล่อยไปสู่ห้วงอวกาศในเดือนพฤศจิกายน 2540 นับเป็นเวลา 19 ปีจนถึงปัจจุบัน ถือว่าเป็นดาวเทียมดวงแรกที่มีการนำเซนเซอร์เรดาร์ขึ้นไปติดตั้งทำให้สามารถศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของระบบฝนได้เป็นอย่างดี (Kummerow et al. 1998) เช่น ความสูง ความแรงของฝน ภาคตัดขวางของตัวแปรทางกายภาพของระบบฝน เป็นต้น โดยระบบฝนในภูมิภาคอินโดจีนตอนกลางยังไม่ได้ถูกศึกษาลักษณะกายภาพดังที่กล่าวมาให้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับภูมิภาคอื่นของโลก ดังนั้นการศึกษานี้จะมุ่งอธิบายลักษณะโครงสร้างกายภาพของระบบฝนในด้านพื้นที่และเวลา ในช่วงฤดูฝนของภูมิภาคอินโดจีนตอนกลาง ด้วยการใช้ข้อมูล TRMM เป็นข้อมูลหลัก

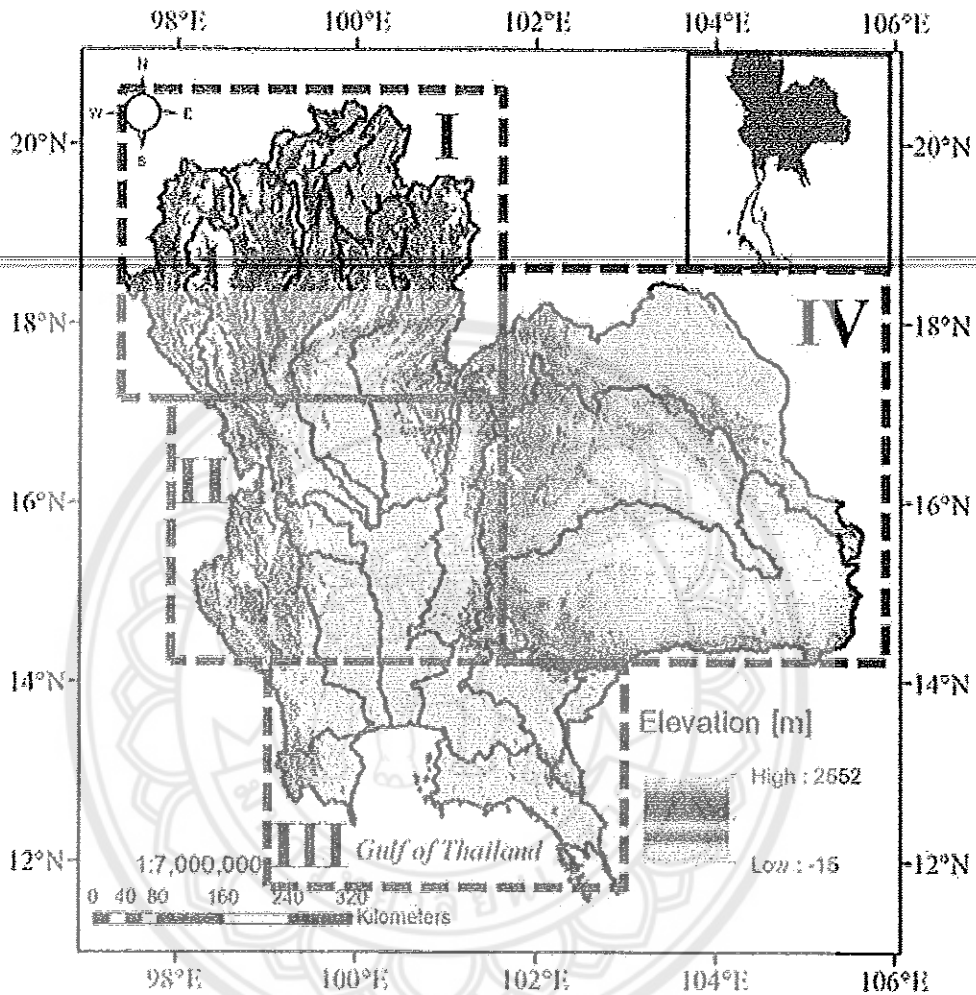
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.วิเคราะห์ความผันแปรของลักษณะโครงสร้างฝนที่ก่อตัวในแนวตั้งเชิงพื้นที่และเวลา
- 2.วิเคราะห์ความผันแปรของกายภาพของระบบฝนในฤดูมรสุม (Intraseasonal variation) เปรียบเทียบ ระหว่างช่วงต้นฤดูมรสุม (กลางพฤษภาคม-ปลายมิถุนายน) กับ ช่วงกรกฎาคม-ปลายกันยายนในแต่ละพื้นที่ย่อยของพื้นที่ศึกษา

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงฤดูมรสุมตั้งแต่ปี 2541-2556 รวม 16 ปี จากข้อมูลดาวเทียม TRMM โดยจะครอบคลุมพื้นที่ศึกษา บริเวณตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนดังภาพที่ 1-1 โดยจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นดังนี้คือ

- 1.พื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือของประเทศไทย
- 2.พื้นที่ราบภาคกลางและภาคตะวันตกของประเทศไทย
3. พื้นที่ชายฝั่งรวมไปถึงอ่าวไทย
- 4.พื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณที่ราบสูงโคราชและบางส่วนของลุ่มน้ำโขงที่เป็นเขตติดต่อของประเทศสาธารณประชาธิปไตยประชาชนลาว



ภาพที่ 1-1 พื้นที่ศึกษาบริเวณตอนกลางของอินโดจีนแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมและจัดเก็บข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM
3. ประมวลผลข้อมูล TRMM PR
4. ประมวลผลข้อมูล TRMM TMI

5. ประมวลผลข้อมูล TRMM, LIS, VIRs
6. วิเคราะห์ความผันแปรของโครงสร้างฝน
7. จัดอบรมสัมมนาเผยแพร่องค์ความรู้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

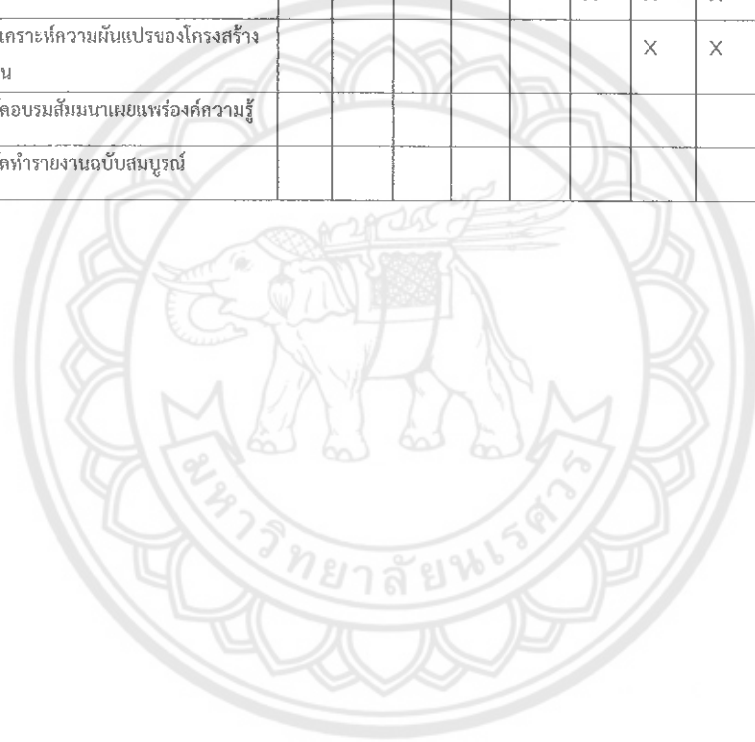
โครงการวิจัยนี้มีเป้าประสงค์เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านกายภาพของโครงสร้างเมฆฝนในตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนซึ่งครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยอันมีลุ่มน้ำที่สำคัญทางด้านเศรษฐกิจต่อประเทศอยู่ นำข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ของดาวเทียม TRMM ซึ่งเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาสำรวจข้อมูลเรื่องความผันแปรของน้ำฝนในเขตร้อน ซึ่งคณะผู้วิจัยมีความตั้งใจจะนำองค์ความรู้ที่ได้มาขยายผลเพื่อสร้างความเข้าใจโดยมีพื้นฐานมาจากวิทยาศาสตร์เชิงระบบ ผู้ที่ได้รับผลประโยชน์โดยตรงนั้นจะเป็นนักวิชาการ นักวิจัย เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในหน่วยงานของรัฐที่ใช้ข้อมูลและองค์ความรู้เรื่องความผันแปรของปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ในการปฏิบัติงานพัฒนาประเทศเช่น กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป่าไม้ กรมพัฒนาที่ดิน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เป็นต้น ซึ่งคาดว่าจะมีความรู้ที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นจุดผลักดันจุดหนึ่งให้รัฐบาลมุ่งให้ความสนใจเกี่ยวกับข้อมูลความผันแปรของปริมาณน้ำฝนเพื่อสนับสนุนการวางแผนนโยบายเพื่อพัฒนาประเทศในอนาคตอันใกล้ต่อไป โดยกำหนดเป้าประสงค์ที่วัดได้ดังต่อไปนี้ การตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 บทความ

- การนำเสนอบทความวิชาการในการประชุมทางวิชาการในประเทศ 1 ครั้ง
- การพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ซึ่งเป็นการพัฒนางานวิจัยต่อยอดของหัวหน้าโครงการในการทำความเข้าใจกายภาพของน้ำฝนในภูมิภาคอินโดจีนตอนกลาง ซึ่งจะร่วมงานวิจัยกับนักวิชาการผู้เชี่ยวชาญในกรมชลประทานและกรมพัฒนาที่ดินที่จะคอยให้คำแนะนำปรึกษาและอภิปรายเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์ตรงกับภาคปฏิบัติอันจะนำไปสู่การเรียนรู้ร่วมกันในการนำองค์ความรู้ไปปฏิบัติใช้จริงในหน่วยงานของผู้ร่วมวิจัยได้ การพัฒนานิสิตทั้งระดับปริญญาตรีและโทในฐานะผู้ช่วยวิจัย เพื่อเรียนรู้กระบวนการวิจัยด้านความผันแปรของกายภาพน้ำฝนด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา
- การส่งเคราะห์งานวิจัยให้เป็นกรณีศึกษา เพื่อนำไปเป็นหนึ่งในบทเรียนของตำราวิชาภูมิอากาศวิทยาในระดับมหาวิทยาลัยมีหลายหน่วยงานในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝน แต่ยังมีหน่วยงานไม่มากนักที่ตระหนักถึงองค์ความรู้ทางกายภาพของระบบฝนเชิงพื้นที่ อีกทั้งยังขาดทักษะในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมน้ำฝนที่มีประโยชน์อย่างมากที่จะเชื่อมโยงกับระบบภูมิสารสนเทศที่หน่วยงานส่วนใหญ่ใช้ในการวางแผนนโยบาย ดังนั้นผลลัพธ์จากงานวิจัยชิ้นนี้จะไปช่วยเติมเต็มองค์ความรู้กายภาพของระบบฝนให้กับหน่วยงานรัฐบาลเพื่อจะเป็นประโยชน์ต่อการ

พัฒนาประเทศ อาทิเช่น กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป่าไม้กรมพัฒนาที่ดิน กรมป้องกัน
และบรรเทาสาธารณภัย เป็นต้น

1.6 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

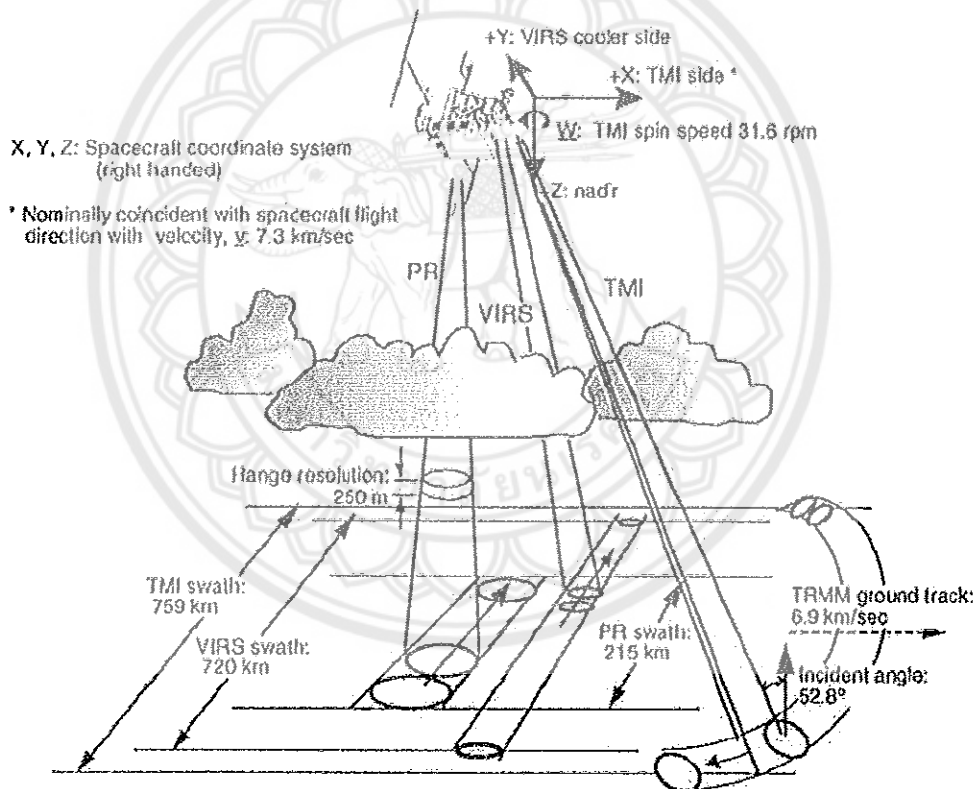
ปี	กิจกรรม	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
2560	ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	X	X	X									
2560	รวบรวมและจัดเก็บข้อมูลน้ำฝนที่ได้ จากดาวเทียม TRMM	X	X	X	X	X							
2561	ประมวลผลข้อมูล TRMM PR				X	X	X						
2561	ประมวลผลข้อมูล TRMM TMI			X	X	X	X	X	X				
2561	ประมวลผลข้อมูล TRMM, LIS, VIRs						X	X	X				
2561	วิเคราะห์ความผันแปรของโครงสร้าง ฝน							X	X	X	X		
2561	จัดอบรมสัมมนาเผยแพร่องค์ความรู้											X	
2561	จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์												X



บทที่ 2 บรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลดาวเทียม TRMM

การวิเคราะห์ข้อมูลระบบฝนเพื่อให้ทราบความผันแปรทางกายภาพนั้นจะใช้ข้อมูล 4 เซนเซอร์จากดาวเทียม TRMM จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบฝน อันได้แก่ ฝนจากรadar (Precipitation Radar: PR) ฝนจากเซนเซอร์ไมโครเวฟ (TRMM Microwave Imager: TMI) เซนเซอร์ตรวจจับฟ้าผ่า (Lightning Image Sensor: LIS) และเซนเซอร์ในระบบช่วงคลื่นตามมองเห็นและอินฟราเรด (Visible and Infrared Scanner: VIRS) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยข้อมูลทั้งหมดได้ถูกจัดให้เป็นระบบในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มฝน (Precipitation Features: PFs) ซึ่งถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลของเซิร์ฟเวอร์มหาวิทยาลัยยูทาห์ (Liu et al. 2008)



ภาพที่ 2.1 รูปจำลองของเรขาคณิตในการบันทึกข้อมูลน้ำฝนจากดาวเทียม TRMM ด้วย 3 เซนเซอร์หลัก คือ TMI, PR, and VIRS (Kummerow et al. 1998)

ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้นั้นมีการหาฝนใกล้ผิวพื้นจากข้อมูลของ PR เพื่อหาพื้นที่ฝนที่ต่อเนื่องกัน จากนั้นจะสกัดเอาข้อมูลฝนจากเซนเซอร์ที่เคลื่อนที่ตรงกันกับพื้นที่ฝนดังที่กล่าวมา อันได้แก่ ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนของเรดาร์ในระบบ 3 มิติ ข้อมูลค่าการกระจายตัวของน้ำแข็งในระบบฝนจาก TMI ข้อมูลอินฟราเรดที่วัดอุณหภูมิยอดเมฆจาก VIRS ซึ่งจะถูกรวบรวมให้อยู่ในระบบฝนเดียวกันของแต่ละ PFs ข้อมูลจะถูกจัดเก็บตั้งแต่ปี 2540-ปัจจุบัน เพื่อนำมาจำแนกวิเคราะห์ในเรื่องของความผันแปรของฝนเชิงพื้นที่และเวลา โดยมุ่งดูลักษณะของฝนที่ก่อตัวในแนวตั้ง (Convective properties) โดยใช้แนวคิดดังต่อไปนี้

1. ความสูงของกลุ่มฝนที่รุนแรง แบ่งเป็นความสูงของค่าการสะท้อนในระดับความสูงที่มากที่สุดที่ได้จากค่าสังเกตการณ์ของ TRMM PR (echo top)
2. ฝนที่รุนแรงตามระดับค่าการสะท้อนของเรดาร์ PR
3. อุณหภูมิยอดเมฆที่ได้จาก VIRs แบ่งเป็นสามระดับคือ
4. ค่าการกระจายตัวของน้ำแข็งในระบบฝนที่ได้จาก TMI
5. อัตราความถี่ในการเกิดฟ้าผ่าจาก LIS

ความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการกลั่นตัวเป็นหยาดน้ำฟ้าในก้อนเมฆนั้น คิดเป็นสัดส่วนที่สูงในงบดุลของพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ยเป็ยติค ซึ่งทำให้ชั้นบรรยากาศมีการตอบสนองของความร้อนแฝงนี้ โดยการหมุนเวียนพลังงานความร้อนที่ได้รับไปยังส่วนต่างๆของโลก (Global circulation) (e.g. Hartmann et al.1984) ทำให้การสังเกตการณ์ข้อมูลฝนที่ก่อตัวในแนวตั้งมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการสร้างองค์ความรู้ที่จะไปตรวจสอบแบบจำลองทางด้านภูมิอากาศที่ปัจจุบันพบว่ายังมีความไม่แน่นอนค่อนข้างสูง (e.g. Sperbar and Yasunari 2006) เนื่องจากเทคนิคและวิธีการในการได้มาซึ่งข้อมูลระบบฝนยังไม่เที่ยงตรงและครอบคลุมพื้นที่ของโลก จนเมื่อดาวเทียม TRMM ได้ถูกปล่อยขึ้นไปในวงโคจรของชั้นบรรยากาศโลกในปี 1997 ด้วยการนำเซนเซอร์ที่วัดปริมาณฝนและโครงสร้างทางกายภาพติดตั้งบนตัวดาวเทียมไปด้วย (Kummerow et al. 1998) ทำให้วงการวิทยาศาสตร์ได้รับข้อมูลกายภาพของฝนอย่างเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมระหว่างละติจูด 35°N ถึง 35°S ฝนที่ก่อตัวในแนวตั้งในเขตร้อน (Tropical convection) ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ ฝนภาคพื้นทวีป ฝนลมมรสุมและฝนในมหาสมุทร (e.g. Xu and Zipser 2012) โดยที่ฝนภาคพื้นทวีปมีความรุนแรงของความเร็วลมที่ก่อตัวสูง และมีการปะปนกันของสสารหลายสถานะ (mixed-phase) ในขณะที่เกิดการยกตัวขึ้นของมวลอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพ (Updraft) และมีไมโครฟิสิกส์ (Microphysics) ของระบบฝนมากกว่า ในเรื่องของความสูงของเมฆและน้ำแข็งในก้อนเมฆ ซึ่งลักษณะที่กล่าวมานี้จะผันแปรไปตามพื้นที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพบรรยากาศที่ควบคุม

ระบบฝนนั้นไว้ นำไปสู่ความแตกต่างของคุณสมบัติและโครงสร้างของระบบฝนนั้นๆด้วย (e.g. Peterson and Rutledge 2001; Xu and Zipser 2012; Xu et al. 2009) ลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยสำคัญต่อความผันแปรของลักษณะกายภาพของเมฆฝนที่ก่อตัวในแนวตั้ง เนื่องมาจากจะเป็นปัจจัยที่ควบคุมให้เกิดการไหลเวียนของสภาพบรรยากาศอันจะส่งผลต่อความรุนแรงของระบบฝนตามไปด้วย (e.g. Rasmusson and Houze 2011; Houze et al. 2007) ในพื้นที่เชิงเขาที่ศตวรรษออกของเทือกเขาแอนดีสทวีปอเมริกาใต้พบว่ามีความหนาแน่น (Hotspot of extreme convective systems) ของฝนที่ก่อตัวในแนวตั้งที่รุนแรง หรือ ในบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของเทือกเขาหิมาลัยในเอเชียใต้ที่สังเกตได้จากข้อมูล TRMM (e.g. Houze et al. 2007; Medina et al. 2010; Romatschke and Houze 2010) ซึ่งมีกรพบว่ามีบริเวณนั้นจะมีลมระดับต่ำที่พัดความชื้นเข้ามาในพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะถูกลดทอนด้วยแผ่นชั้นอากาศที่มีลักษณะแห้งที่กำลังยกตัวขึ้นไปในชั้นบรรยากาศเบื้องบนซึ่งเป็นสภาวะที่มีการหักกลับของอุณหภูมิจนในชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศก่อตัวในแนวตั้ง (Carlson et al. 1983; Garreaud and Wallace, 1998; Houze et al. 2007) งานวิจัยลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนั้นพบว่ายังมีไม่มากและไม่ได้เจาะลึกในพื้นที่อินโดจีนตอนกลาง ทำให้ขาดองค์ความรู้ในการทำความเข้าใจกับความผันแปรของกลุ่มฝนในแนวตั้งที่เกี่ยวข้องเชิงพื้นที่และเวลา แม้ว่าจะมีกลุ่มวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบฝนเพื่อศึกษาความผันแปรของฝนที่ก่อตัวในแนวตั้ง รวมทั้งมีงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาระบบกลไกของฝนเคลื่อนที่ในตอนกลางของอินโดจีนด้วยการจำลองโดยใช้แบบจำลองอุตุนิยมวิทยาก็ตาม (e.g. Satomura 2000; Ohsawa et al. 2001; Okumura et al. 2003; Satomura et al. 2011) แต่ก็ยังไม่ได้มีการอธิบายลักษณะกายภาพของโครงสร้างระบบฝนที่สัมพันธ์กับพื้นที่ในภาพรวม การนำเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินมาศึกษาขนาดทิศทาง ความรุนแรงของระบบฝนในทิศตะวันตกและตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศนั้นเพิ่มเติมองค์ความรู้ของระบบฝนในภูมิภาคนี้ขึ้นมา แต่ก็ยังไม่เห็นความแตกต่างที่เป็นภาพต่อเนื่องเพราะเป็นเรดาร์ตรวจอากาศเพียงตัวเดียวที่ตั้งอยู่ที่อำเภออมก๋อยของกรมฝนหลวง และตั้งอยู่ที่สาธารณรัฐประชาธิปไตย

ประชาชนลาว (eg. Ohsawa et al. 2001; Mahavik et al. 2014; Satomura et al. 2011) จนต่อมา Mahavik(2015) ได้จะมีการนำเรดาร์ตรวจอากาศของสามสถานีคือ ลำพูน เพชรบูรณ์และเรดาร์เวียงจันทน์มาทำการโมเสคเป็นชุดข้อมูลแผนที่เดียวกันเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของระบบฝนในพื้นที่อินโดจีนแล้วได้พบการเคลื่อนที่ของระบบฝนในช่วงเข้ามิดของแอ่งพื้นที่ลุ่มน้ำโขง แต่ก็ยังเป็นเพียงข้อมูล 3 เดือนของช่วงฤดูฝนในปี 2553 และก็ยังไม่ได้อธิบายโครงสร้างทางกายภาพของระบบฝนแม้ว่าจะมีการยืนยันถึงปริมาณความชื้นที่เพียงพอในแต่ละช่วงเวลาของรอบวันที่ทำให้เกิดฝนก็ตาม ลักษณะฝนในช่วงฤดูมรสุมของตอนกลางอินโดจีนนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่วง (e.g. Matsumoto

1997;Takahashi et al. 2006) นั่นคือฤดูฝนจะเริ่มตอนกลางพฤษภาคมจนถึงปลายเดือนมิถุนายน ต่อจากนั้นจะเป็นช่วงที่ฝนทิ้งช่วงแล้วกลับมาเพิ่มอีกครั้งจนถึงปลายเดือนกันยายนจนกระทั่งกลางเดือนตุลาคมในบางปี โดยในช่วงแรกจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย ส่วนช่วงหลังของฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลของพายุไซรอนร้อนที่มีแหล่งกำเนิดจากมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก (Fudehyasu et al. 2006; Takahashi and Yasunari 2006)โดยเสริมเข้ามากับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นที่คาดได้ว่าระบบฝนที่เกิดในสองช่วงระหว่างฤดูมรสุมนี้ว่า จะมีความแตกต่างหรือลักษณะทางโครงสร้างกายภาพที่แตกต่างกัน ดังที่ Xu (2013) ได้ทำการศึกษาระบบฝนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และพบว่า กายภาพทางโครงสร้างของระบบฝนระหว่างต้นฤดูร้อนกับกลางฤดูร้อนที่สัมพันธ์กับแถบฝน (rain band) ที่เกิดจากแนวปะทะอากาศเมย์ (Meiyu front) ในช่วงต้นฤดูร้อนนั้น มีความผันแปรตามลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งเป็นที่ราบสูงทิเบตไปจนถึงทะเลจีนใต้ พบว่าฝนบริเวณทะเลจีนใต้มีความรุนแรงมากกว่าบริเวณอื่นๆในทางกายภาพ ซึ่งงานวิจัยเพื่อหาองค์ความรู้ทางกายภาพของน้ำฝนลักษณะนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างถ่องแท้ในภูมิภาคอินโดจีนตอนกลาง ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้วิจัยมุ่งหวังที่จะอธิบายลักษณะกายภาพของระบบฝนเพื่อสร้างองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับความแตกต่างของสภาพภูมิประเทศในเขตอินโดจีนตอนกลาง

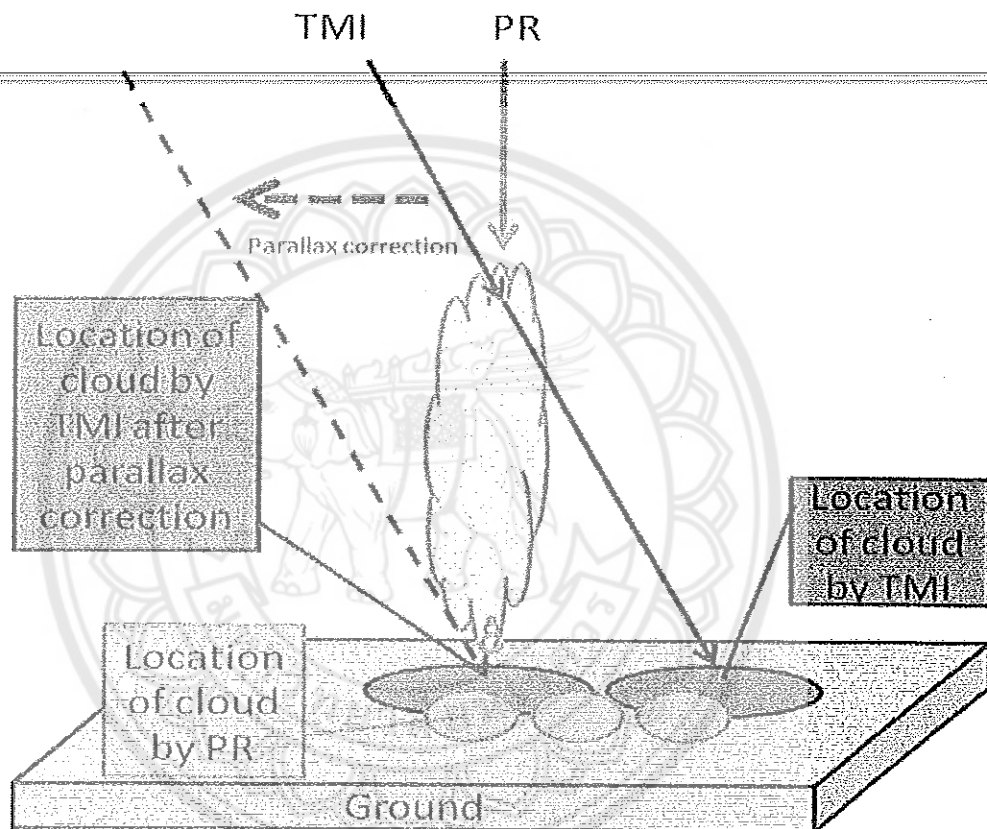


1038556

2.2 ฐานข้อมูล TRMM Precipitation Features

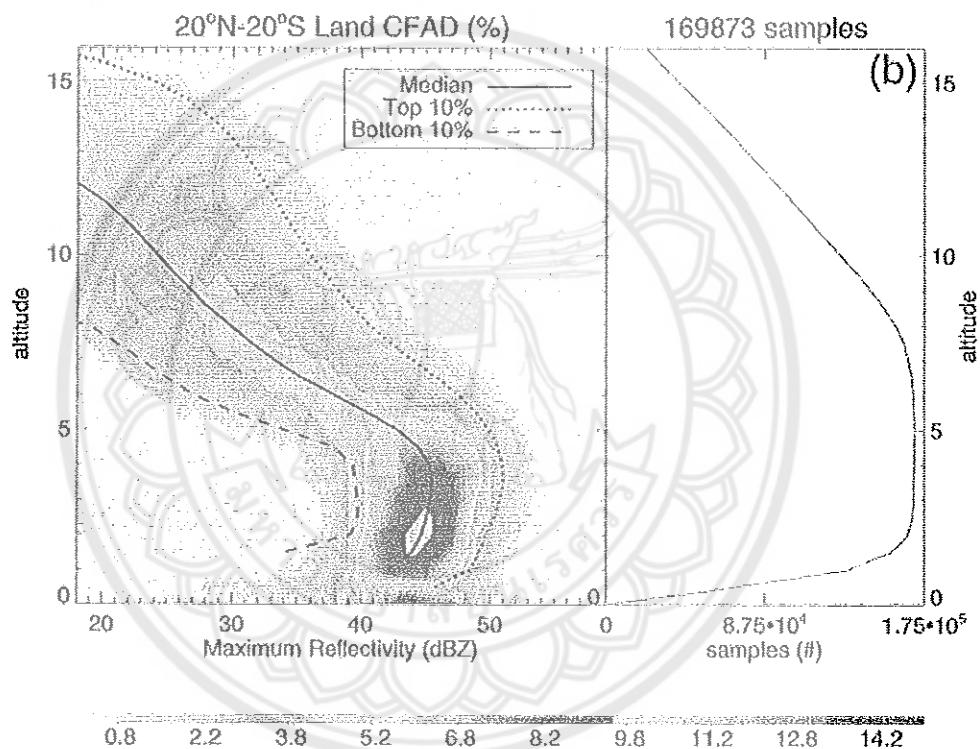
ในปัจจุบันข้อมูลฝนและเมฆที่สังเกตการณ์ด้วยเซนเซอร์ที่ติดอยู่บนดาวเทียมมีจำนวนมากที่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์แก่นักวิทยาศาสตร์ด้านบรรยากาศศาสตร์ ข้อมูลที่จำเป็นเหล่านี้ถูกจัดเก็บในระบบคอมพิวเตอร์ในลักษณะข้อมูลกริดของแต่ละวงโคจรซึ่งทำให้ยากต่อการสืบค้น เรียกใช้ข้อมูลสำหรับจุดประสงค์ที่มุ่งศึกษารายเหตุการณ์ฝน เนื่องจากข้อมูลในลักษณะวงโคจรมีขนาดใหญ่และยังไม่ได้มีการจัดหมวดหมู่ในระดับเหตุการณ์

TL
พร
กช
ภรณ
2561



ภาพที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงการปรับแก้ค่าพาราลแลกซ์เพื่อให้ข้อมูล TMI กับข้อมูล PR มีค่าตรงกัน เนื่องจากมุมเอียงของ TMI เซนเซอร์ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งหลังจากการตรวจวัดข้อมูล เพื่อที่จะขจัดความผิดพลาดนี้จำเป็นต้องปรับแก้พิกัดของ TMI ให้เลื่อนไปอยู่ด้านหลังของพิกัดจริง (หรือปรับแก้ไปอยู่ด้านหน้าขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม) (Liu et al. 2008) ดังนั้น Liu et al. (2008) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้อมูลระบบฝนรายเหตุการณ์ด้วยการรวมข้อมูลเซนเซอร์เข้าเอาไว้ในเหตุการณ์นั้นจากข้อมูลตั้งต้นจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring

Mission (TRMM) ซึ่งประกอบไปด้วยเซนเซอร์ Precipitation Radar (PR) Microwave Imager (TMI) Visible and Infrared Scanner (VIRS) และ Lightning Imaging System (LIS) หลักการของการรวมข้อมูลเหตุการณ์ฝนนั้นเริ่มจากการหากลุ่มฝนที่ต่อเนื่องกันภายใต้ข้อกำหนดที่ตั้งไว้จากตัวแปรฝนภาคพื้นดินและค่าอุณหภูมิส่องสว่างที่ได้จาก TMI ในตำแหน่งที่ตรงกันดังภาพที่ 2.2 ข้อมูลนี้ให้บริการแก่สาธารณะชนในชื่อ TRMM cloud and Precipitation database โดยมหาวิทยาลัยยูท่าห์สามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://atmos.tamucc.edu/trmm/data.html>



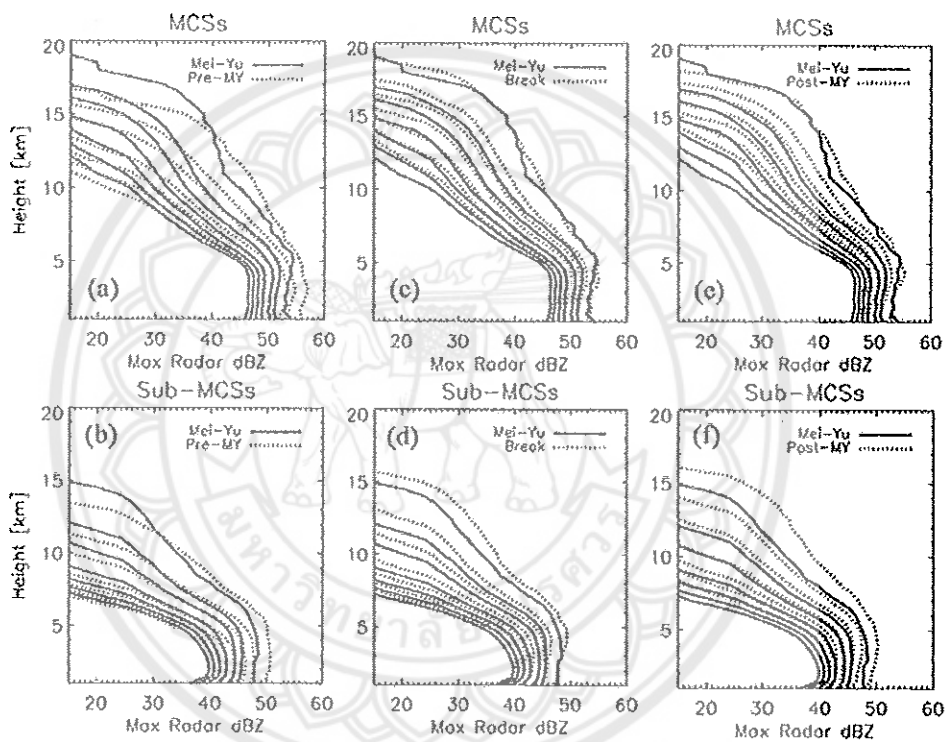
ภาพที่ 2.3 โปรไฟล์ความถี่ของค่าการสะท้อนสูงสุดในแต่ละระดับความสูงเหนือพื้นดินข้อมูลปีค.ศ. 1998 ถึง 2005 ในละติจูดที่ 20°N ถึง 20°S (Liu et al. 2008)

ข้อมูลจากฐานข้อมูลชุดนี้สามารถนำค่าตัวแปรที่สรุปมาได้นั้นนำมาประมวลผลเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของฝนในแต่ละภูมิภาคของโลกได้ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการเทียบค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากข้อมูลดาวเทียมนี้ร่วมกับแบบจำลองสภาพบรรยากาศของโลกอันจะนำไปสู่การปรับเทียบค่าเพื่อให้แบบจำลองเหล่านี้มีความถูกต้องสูงยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปในด้านบรรยากาศและภูมิอากาศวิทยา เช่น การศึกษาและจำลองอุณหภูมิของโลกในอนาคตให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างภาพที่ 2.3 เป็นการนำค่าการสะท้อนสูงสุดของค่าเรดาร์ในแต่ละระดับความสูงนำมาสร้างเป็นโปรไฟล์

เพื่อให้เข้าใจถึงโครงสร้างของฝนบนพื้นดินทำให้ทราบถึงความถี่สูงสุดของค่าการสะท้อนของเมฆฝนในแต่ละระดับความสูง สถิติเหล่านี้จะช่วยในการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง *Mesoscale Convective Systems* (MCSs) ที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกกำลังพัฒนาปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากขึ้นในแต่ละภูมิภาคของโลก

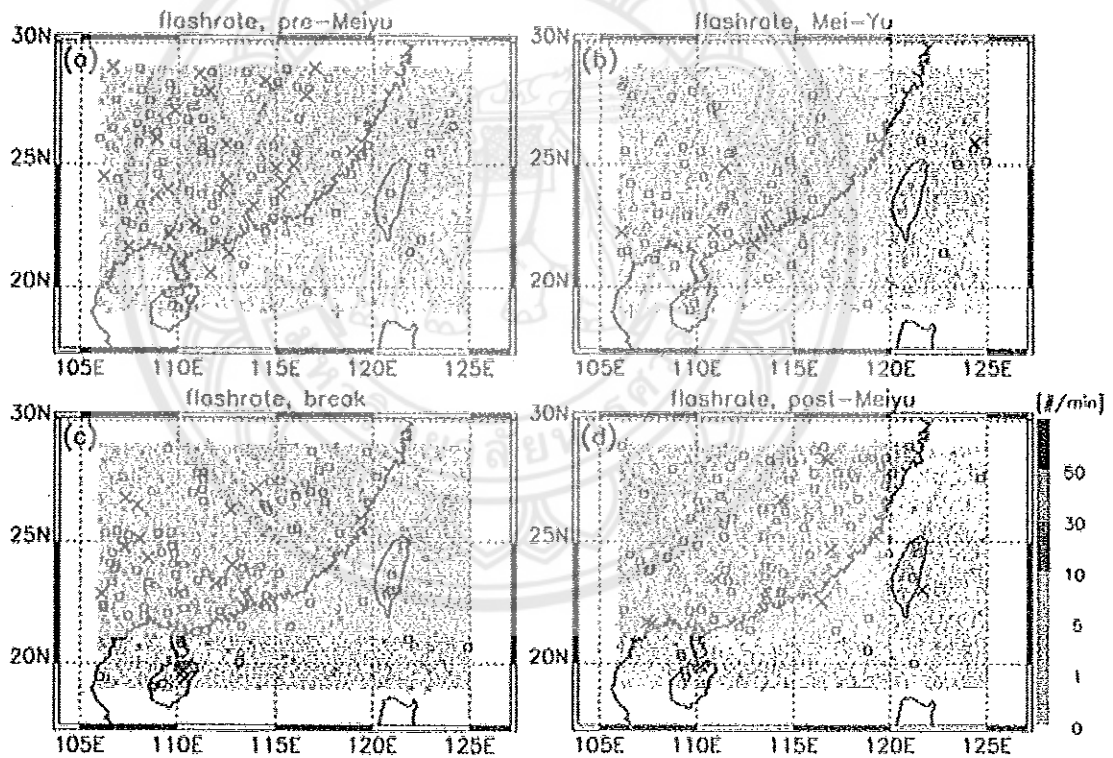
2.3 การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูล TRMM PFs ในด้านการวิจัย

ฐานข้อมูลระบบฝนจาก TRMM ของ Liu et al. (2008) ถูกนำมาใช้ในการวิจัยเพื่อทำความเข้าใจลักษณะฝนและคุณสมบัติของเมฆฝน convective ในแต่ละภูมิภาค ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โปรไฟล์แนวตั้งของค่าการสะท้อนสูงสุดของเรดาร์ที่ตรวจวัด MCSs (จากค่าเปอร์เซนไทล์ 50th, 60th, 70th, 80th, 90th, 95th, and 99th) เหนือพื้นดินในแต่ละช่วงเวลา (a),(b) pre-mei-yu; (c),(d) break; and (e),(f) post-mei-yu. (Xu et al. 2009)

Xu et al. (2009) ได้นำฐานข้อมูลฝนจาก TRMM มาศึกษาเรื่องลักษณะของฝนและคุณสมบัติของเมฆ convective ในช่วงฤดู Mei-Yu ของจีนเหนือพื้นที่ทางใต้ของจีน ได้หวั่นและทะเลจีนใต้ โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 10 ปีตั้งแต่ ค.ศ. 1998 ถึง 2007 พบว่าในแต่ละฤดูกาลโดยเฉพาะพื้นที่เหนือพื้นดินจะมีความแตกต่างของโครงสร้างเมฆฝน convective ด้วยการใช้ข้อมูลโปรไฟล์แนวตั้งหรือ Vertical Profile of Radar Reflectivity (VPRR) ที่นำมาค่าการสะท้อนสูงสุดของเรดาร์ในแต่ละระดับความสูงของแต่ละการตรวจวัดเก็บเป็นสถิติเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ต้องการศึกษา ส่วนข้อมูลที่แสดงถึงจำนวนฟ้าแลบนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของเมฆ convective มาก ส่วนช่วงฤดูก่อน Meui-Yu จะเป็นช่วงที่มีความถี่ของการเกิดจำนวนฟ้าแลบที่มีความถี่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงฤดูกาลอื่นดังภาพ



ภาพที่ 2.5 ตำแหน่งของ PFs เปรียบเทียบกับตำแหน่งฟ้าผ่าจำแนกตามความถี่ในแต่ละช่วงเวลา (a) pre-mei-yu, (b) mei-yu, (c) break, and (d) post-mei-yu. (Xu et al. 2009)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

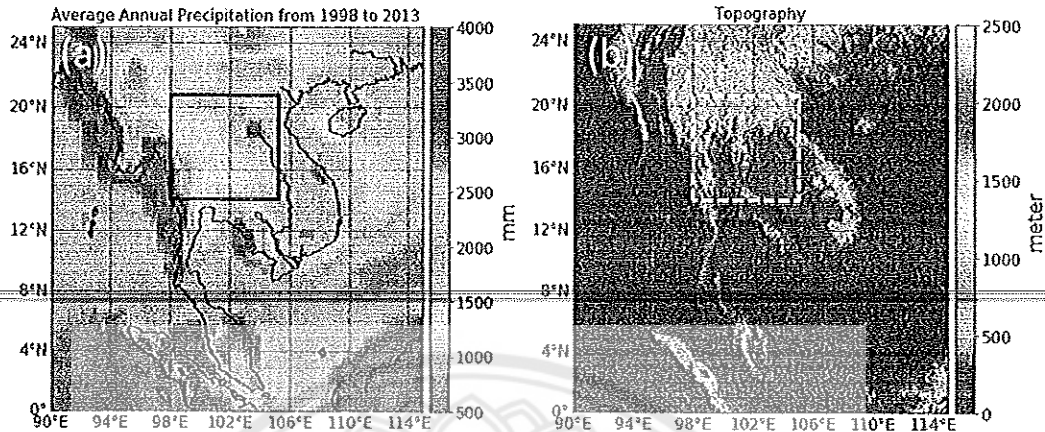
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาทั้งหมดโดยแบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลฝนแบบ convective ที่จะมุ่งศึกษาพื้นที่ตอนกลางของอินโดจีนที่มีพื้นที่ระดับ mesoscale โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศในช่วงมรสุมที่จะเป็นแนวทางเชื่อมไปสู่การวิเคราะห์โครงสร้างฝนในระดับภูมิภาคอินโดจีนตอนกลางโดยใช้ข้อมูลจากห้วงอวกาศจากข้อมูลเซนเซอร์บนดาวเทียม TRMM

3.1 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนด้วยข้อมูลเซนเซอร์จากข้อมูลดาวเทียม TRMM

งานวิจัยในส่วนนี้เป็นส่วนหลักของงานวิจัยซึ่งมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างของระบบฝนที่ได้จากการตรวจวัดจากเซนเซอร์บนดาวเทียม TRMM

3.1.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษานั้นครอบคลุมภูมิภาคอินโดจีนดังภาพที่ 3.1 ที่แสดงฝนค่าเฉลี่ยของฝนรายปีจำนวน 16 ปี ตั้งแต่ คศ.1998 ถึง 2013 รวม 16 ปี จากผลิตภัณฑ์ TRMM 3b42 จะพบว่าในภาพ 3.1a นั้นปริมาณฝนสะสมรายปีในพื้นที่ชายฝั่งจะมีปริมาณฝนที่สูงกว่าพื้นที่ตอนกลางภูมิภาคตามกรอบสี่เหลี่ยมในภาพ 3.1b จะพบว่าในตอนในของภูมิภาคอินโดจีนจะมีภูเขาสลับกับที่ราบลุ่มแม่น้ำ โดยที่ภูเขาจะเป็นตัวขวางกั้นความชื้นที่หอบมาจากลมพัดผ่านมหาสมุทรอินเดียทางทิศตะวันตกและมหาสมุทรแปซิฟิกทางทิศตะวันออก



ภาพที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาโครงสร้างฝนด้วยดาวเทียมTRMM (a) ค่าเฉลี่ยของฝนสะสมรายปีระหว่างปี 1998 ถึง 2013 จากข้อมูล TRMM3B42TMPA. พื้นที่ในกรอบสีดำแสดงถึงพื้นที่ในการวิเคราะห์คุณลักษณะและโครงสร้างฝนแบบ convective (b) ลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ภูมิภาคอินโดจีนและบริเวณที่ที่รอบข้าง โดยตัวเลขแสดงถึง 1) Tenasserim mountain range, 2) Chao Phra Ya basin, 3) Phetchabun range, 4)Khorat basin, 5) Annamite mountain Range.

3.1.2 ข้อมูล TRMM

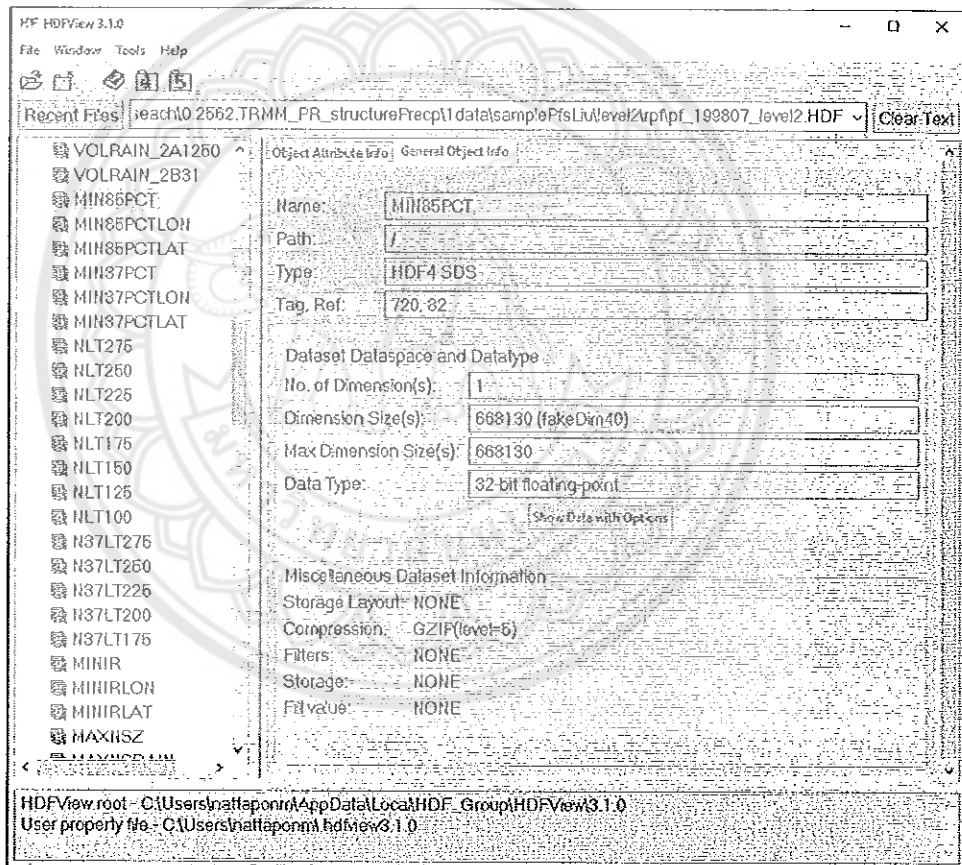
ข้อมูล TRMM เวอร์ชัน 7 ฝนรายวัน 3b42

ข้อมูลตั้งต้นแบบฝนรายวันถูกใช้เพื่อหาฤดูกาลในการวิเคราะห์โครงสร้างฝน โดยผลิตภัณฑ์ 3b42 นี้ได้มาจาก TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA; Huffmann et al. 2007) เป็นการรวมข้อมูลฝนประมาณค่าที่ได้จากฝนสะสมรายสามชั่วโมงที่มีความละเอียดเชิงจุดภาพที่ 0.25° ครอบคลุมพื้นที่ 50° เหนือถึง 50° ใต้ มีข้อมูลที่ได้จากโครงการ TRMM นี้ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่ปี คศ. 1998 ปี 2014 หลังจากนั้นถึงปัจจุบันคือ 2019 ได้ใช้การประมาณค่าฝนแบบจากโครงการ global precipitation measurement (GPM) แหล่งข้อมูลพื้นฐานในผลิตภัณฑ์ที่ใช้นี้ได้มาจากเซนเซอร์อินฟราเรดจากดาวเทียมประเภทค้างฟ้าเทียบเคียงค่าจากเซนเซอร์ microwave ที่มีทั้ง TMI และ PR ที่อยู่บนดาวเทียม TRMM

ฐานข้อมูลลักษณะฝนหรือ Precipitation Feature database (PFs)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูล TRMM ที่ผ่านการประมวลผลโดยถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลของมหาวิทยาลัย Utah ในสหรัฐอเมริกาที่ชื่อ PFs database (Liu, 2013) ใช้ข้อมูลทั้งหมด 16 ปีจากฐานข้อมูลนี้ ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่พัฒนาโดย Liu et al. (2008) โดยมีต้นแบบจากอัลกอริทึมที่พัฒนาโดย Nebitt et al. (2000) .ในปี 2008 ฐานข้อมูลชุดนี้ได้ถูกพัฒนาด้วยการรวมระหว่าง PFs กับ

ข้อมูลเมฆเย็นจากงานวิจัยของ (Liu et al. 2007) เพื่อที่จะรวมฝนที่เกิดจากเมฆอุ่นภายใต้เมฆที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำแข็ง ข้อมูลเรดาร์ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจหา PF ด้วยการรวมเป็นข้อมูลรายเดือน เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างข้อมูลทางด้านสถิติ เนื่องจากข้อมูลตั้งต้นนั้นเป็นข้อมูลลักษณะ orbit ทำให้การใช้งานนั้นยากเนื่องจากต้องนำข้อมูลแต่ละ orbit มาสกัด ข้อมูลมีความหลากหลายมากที่บรรจุอยู่ในฐานข้อมูลของ PF เช่นข้อมูล 2A25 ข้อมูลค่าการสะท้อนของเซนเซอร์เรดาร์แบบสามมิติ ข้อมูลค่าอุณหภูมิการส่องสว่างจากเซนเซอร์ไมโครเวฟ เป็นต้น อัลกอริทึมที่ใช้ในการรวมข้อมูลเหล่านี้ไว้ด้วยกันนั้นได้มาจากการรวมพื้นที่ฝนที่ต่อเนื่องในได้จากการตรวจวัดจาก Precipitation Radar (PR) และ Microwave Imager (TMI) เข้าด้วยกัน ดังนั้นจึงสามารถสกัดข้อมูลฝนด้วยเพื่อนำมาศึกษา convective ในด้านขนาด ปริมาตรฝน และความแรงฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฐานข้อมูล PF นี้สามารถเปิดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างข้อมูลด้วยโปรแกรม HDFView ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 โปรแกรม HDFview

3.1.3 การเลือกและจำแนก PFs

ข้อมูล PFs แบ่งเป็นสองกลุ่มพื้นที่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ พื้นที่แรกนั้นครอบคลุมพื้นที่ตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนตามกรอบภาพที่ 3.1a (14° - 21° N, 98° - 105° E) ซึ่งจะศึกษาลักษณะคุณสมบัติและโครงสร้าง ส่วนพื้นที่ที่สองนั้นครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างครอบคลุมทั้งพื้นดินและน้ำโดยรอบภูมิภาคอินโดจีนเพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของ PFs โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นช่วงเวลา คือ ช่วงก่อนฤดูมรสุม (Premonsoon season) ฤดูมรสุม (monsoon) และหลังฤดูมรสุม (Postmonsoon season) ได้ทำการจำแนก PFs ออกเป็น Mesoscale Convective Systems (MCSs), intense MCSs, sub-MCSs, or nonconvective systems (NCs) ตามงานวิจัยของ Xu et al. (2009) ซึ่งมีการใช้แนวคิดของ Houze (1993) ในการหาพื้นที่ MCSs นั่นคือต้องมีพื้นที่ PFs อย่างน้อย 1,000 ตร.กม. และมีจำนวน convective อย่างน้อย 1 จุดภาพ ส่วน intense MCSs จะทำให้แยกออกจาก MCSs เงื่อนไขคือจะต้องมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ MCSs นอกจากนั้นความสูงของค่า 30 dBZ ต้องสูงกว่าระดับ 8 ก.ม. ส่วน sub-MCSs นั้นจะต้องมีพื้นที่ PFs ที่น้อยกว่า 1,000 ตร.กม. และมีจำนวน convective อย่างน้อย 1 จุดภาพ สุดท้าย NCs คือระบบฝนที่ไม่มีจำนวน convective เลยในกลุ่มฝนนั้นซึ่งเป็นการแสดงถึงการสลายตัวของกลุ่มฝนแบบ convective หรือ stratiform

3.1.4 การหาช่วงฤดูมรสุม

การหาช่วงฤดูมรสุมนั้นจำเป็นต้องหาวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุมจากการคำนวณค่าฝนเฉลี่ยราย 5 วัน หรือ 5-day mean หรือ pentad ตามวิธีการของ Matsumoto (1997) ค่าฝนเฉลี่ยราย 5 วันที่คำนวณได้จะนำไปเทียบกับค่าฝนเฉลี่ยราย 5 วันของปีอื่นๆที่หามาจาก $P_m = (\text{Annual precipitation})/73$ การจะหา pentad แรกและสุดท้ายของฤดูมรสุมเพื่อกำหนดวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายนั้น ต้องพิจารณาว่า pentad แรกหรือสุดท้ายที่มีค่าฝนเฉลี่ยมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าฝนเฉลี่ยราย 5 วันของรอบปีนั้นๆเป็นเวลาสาม pentad ให้ถือว่าวันที่อยู่ตรงกลาง pentad เป็นวันเริ่มหรือวันสุดท้ายของฤดูฝนของเขตนั้นๆ โดยข้อมูลฝนที่ใช้ในการคำนวณนี้คือใช้ค่าฝนเฉลี่ยรายวันเชิงพื้นที่ในกรอบตามภาพ 3.1a ดังนั้นช่วงฤดูมรสุมคือวันที่เริ่มต้นฤดูฝนจนกระทั่งถึงวันสุดท้ายของฤดูฝน ส่วนช่วงก่อนมรสุมในการศึกษารั้งนี้ใช้วันที่ 1 กุมภาพันธ์ของทุกปีจนถึงวันเริ่มต้นของฤดูฝน และช่วงหลังมรสุมคือวันสุดท้ายของฤดูฝนจนถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน ของทุกปี ดังนั้นช่วงเวลาทั้งสามของแต่ละปีจะไม่ใช้ช่วงเวลาเดียวกันซึ่งจะผันแปรไปตามสภาพอากาศของแต่ละปี

3.1.5 การแปลผลตัวแปร PFs

ค่าการสะท้อนเรดาร์

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติและโครงสร้างของ convective นั้นได้มาจากการตรวจวัดจากเซนเซอร์ PR, TMI และ LIS โดย PR นั้นมีหลายค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ พื้นที่ของ PFs (area coverage of PFs), ค่าการสะท้อนสูงสุดของค่าเรดาร์ (maximum radar reflectivity), ระดับสูงสุดของค่าการสะท้อนที่ระดับ 30 เดซิเบล (maximum height of 30-dBZ), และค่าการสะท้อนสูงสุดที่ระดับความสูง 6 กม. (maximum radar echo at the height of 6km) ถ้าหากพบว่ามีค่าการสะท้อนที่สูงเหนือระดับ freezing level แสดงให้เห็นว่ามีเม็ดฝนที่เย็นยิ่งยวด (supercooled liquid raindrops) หรือมีก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่อยู่ในอากาศชั้นนั้น ส่วนค่า maximum height of 30-dBZ จะบ่งบอกระดับการถูกยกตัวของเม็ดฝนที่เย็นยิ่งยวดหรือก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่สามารถจะมีได้ที่ระดับความสูงนั้นๆ (DeMott and Rutledge 1998). ค่าการสะท้อนสูงสุดที่ระดับความสูง 6 กม.สามารถจะนำมาบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาไฟฟ้าเมื่อมีการพบค่าการสะท้อนที่อยู่ในช่วง 35-40 dBZ ในระดับความสูงนี้ซึ่งเป็นระดับที่มีส่วนประกอบของน้ำและน้ำแข็งหรือที่เรียกว่า mixed-phase region ที่พบได้ในช่วงอุณหภูมิ $0^{\circ}\text{C} \geq T \geq -40^{\circ}\text{C}$ (Dye et al. 1989; Williams et al. 1992; Peterson et al. 1996, 1999) โครงสร้างฝนในแนวตั้งที่ได้จากค่าการสะท้อนของเรดาร์ หรือ Vertical profiles of radar reflectivity (VPRR; Donaldson 1961; Zipser and Lutz 1994; Xu et al. 2009) ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างของแกนกลาง convective ของ PFs ด้วยการใส่ค่าการสะท้อนสูงสุดในแต่ละชั้นของค่าการสะท้อนเรดาร์นั้นๆ

อุณหภูมิส่องสว่างของเซนเซอร์ไมโครเวฟ

ค่าระนาบสัญญาณในแนวนอนและแนวตั้งที่ความถี่ 85 GHz จากเซนเซอร์ TMI ถูกแปลงเป็น polarization corrected temperature (PCT) เพื่อทำการขจัดค่าการปนเปื้อนระหว่างค่าอุณหภูมิที่แผ่รังสีมาจากพื้นผิวที่มีความสามารถในการแผ่รังสีต่ำกับค่า ice scattering (Spencer et al. 1989) ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากฐานข้อมูล PFs โดยค่า 85-GHz PCT จะมีความสัมพันธ์กับค่าการกระเจิงของการแผ่รังสีที่มาจากก้อนน้ำแข็งที่ถูกยกตัวขึ้นมาในกลุ่มฝนนั้นๆ ซึ่งจะเป็นค่าที่มีนัยยะบ่งชี้ถึงปริมาณ ice water content หรือ ice water path (IWP; Vivekanandan et al. 1991) โดยจะพบว่าถ้าค่า 85-GHz PCT ต่ำ ค่า IWP จะมีสูงมากแสดงให้เห็นถึงเมฆฝน convective ที่รุนแรง (Mohr and Zipser 1996; Cecil and Zipser 1999; Zipser et al. 2006)

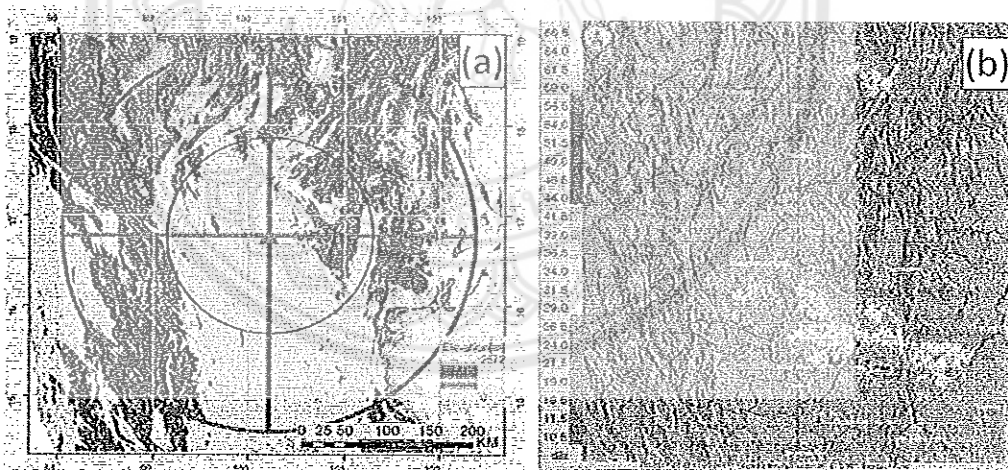
เซนเซอร์ตรวจวัดสายฟ้า

การไหลขึ้นของกระแสอากาศที่รุนแรงสามารถสร้างเม็ดฝนที่เย็นยิ่งยวดและก้อนน้ำแข็งในชั้น mixed-phase region ได้ (William 1989) การชนกันของก้อนน้ำแข็งขนาดเล็กกับ graupel จะส่งผลให้เกิดเม็ดฝนที่เย็นยิ่งยวด รวมถึงการแยกกันของประจุไฟฟ้าส่งผลให้เกิดสายฟ้าขึ้น

3.2 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนแบบ convective ด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ

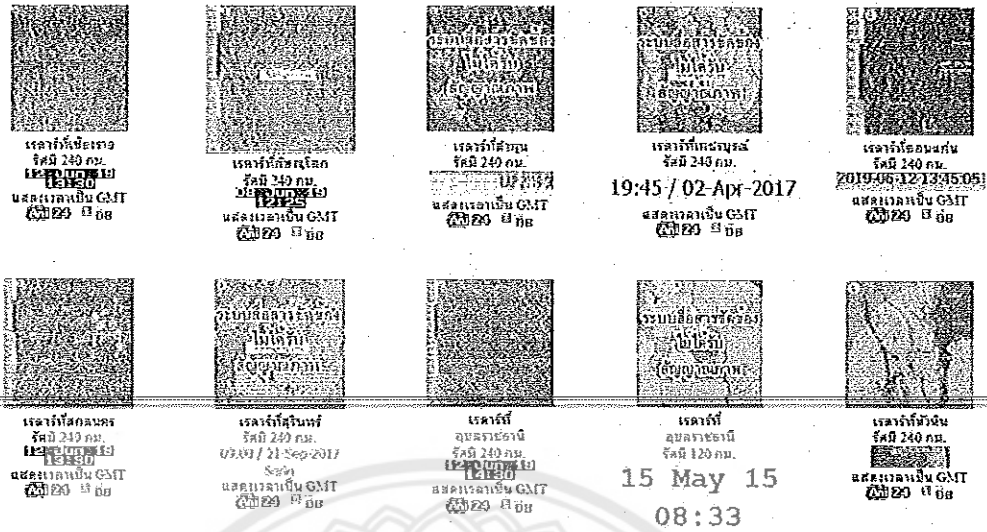
ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศนั้นมีจุดเด่นเรื่องความละเอียดเชิงห้วงเวลาและพื้นที่ในการสังเกตการณ์ เนื่องจากข้อมูลเรดาร์นี้ได้มีการเก็บข้อมูลทุกๆ 4 ครั้งต่อชั่วโมง และยังมี 4 มุมยก อย่างไรก็ตามกรมอุตุนิยมวิทยาได้เผยแพร่ภาพเรดาร์เพียงแค่มุมยกแรกให้แก่ประชาชนผู้สนใจติดตามข้อมูลสภาพอากาศ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะเสนอแนวคิดและวิธีการในการใช้ข้อมูลเรดาร์ที่เปิดเผยให้แก่สาธารณะชนเพื่อสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาเมฆฝน convective ในช่วงที่พายุ Sonca ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนในปี 2560

3.2.1. พื้นที่ศึกษาและข้อมูล



ภาพที่ 3.3 พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่สังเกตการณ์เรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก (a) พื้นที่ศึกษาสี่แฉงคือรัศมี 240 กิโลเมตรจากตำแหน่งสถานีเรดาร์แสดงเป็นสัญลักษณ์สามเหลี่ยม (b) ภาพตัวอย่างเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินสถานีเรดาร์พิษณุโลก

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ตอนกลางของประเทศไทยและเป็นตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนดังภาพที่

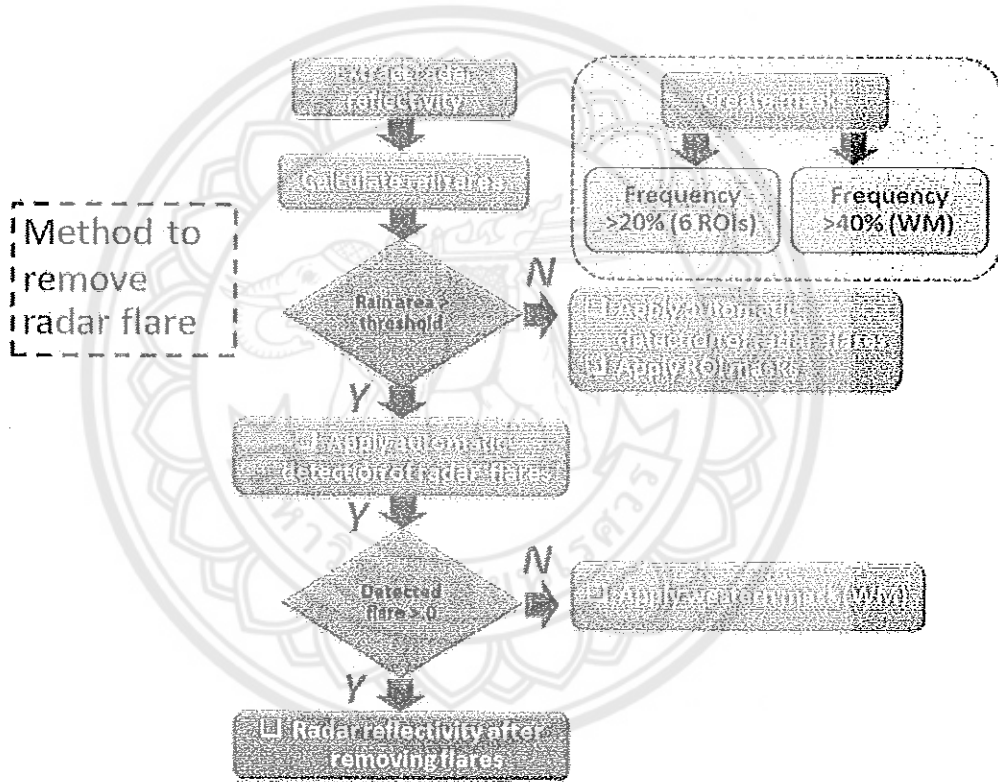


ภาพที่ 3.4 คลังข้อมูลภาพเรดาร์ตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาและจัดเก็บโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำองค์การมหาชน <http://www.thaiwater.net/web/index.php/hydroinfo.html>

ข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นข้อมูลภาพเรดาร์ที่จัดเก็บโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำองค์การมหาชน ความถี่ 1 ชั่วโมงต่อ 1 ภาพ ซึ่งเป็นภาพในมุมมองแรกที่แสดงค่าการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์ สามารถดาวน์โหลดมาใช้ในการศึกษาข้อมูลฝนในอดีตได้ทุกสถานีเรดาร์ดังภาพที่ 3.4 ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ภาพเรดาร์ในอดีตของเรดาร์พิษณุโลก

3.2.2 วิธีการศึกษา

ในการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนแบบ convective ด้วยเรดาร์ตรวจอากาศในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่เผยแพร่โดยกรมอุตุนิยมวิทยาในการวิเคราะห์ การประมวลผลข้อมูลก่อนนำไปสู่การวิเคราะห์นั้นใช้หลักการประมวลผลภาพเชิงเลข- กระบวนการเริ่มตั้งแต่การสกัดค่าการสะท้อน การขจัดค่าสะท้อนที่ไม่ใช่กลุ่มฝน การตรวจวัดปริมาณและลักษณะเมฆ convective เพื่อสกัดค่าการสะท้อนของเรดาร์ดังภาพที่ 3.5 กระบวนการทั้งหมดถูกพัฒนาบนภาษาไพธอนโดยใช้ไลบรารี OpenCV ภาพที่ถูกอ่านเข้ามาจะถูกเก็บไว้ในอาร์เรย์ของ Numpy



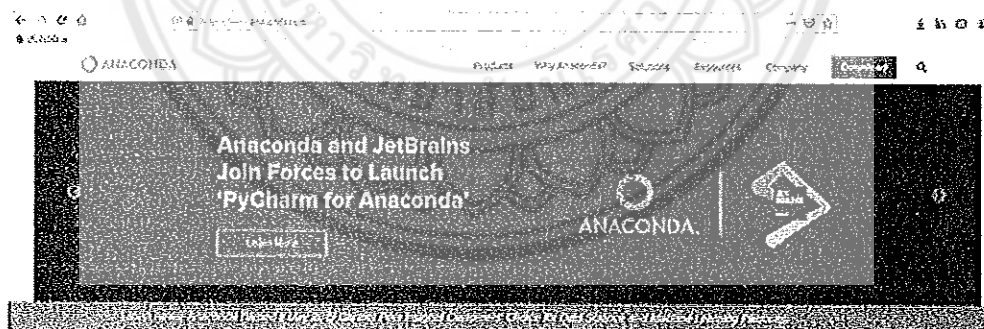
ภาพที่ 3.5 กรอบแนวคิดในการขจัดค่า Radar flare

จากนั้นตัดภาพให้เหลือแต่พื้นที่สังเกตการณ์ของเรดาร์ในรัศมี 240 กม. ข้อมูลภาพที่ตัดขอบนี้จะถูกสกัดค่าการสะท้อนตามค่าสีที่ได้ระบุไว้ก่อนแล้ว ซึ่งค่าการสะท้อนนี้จะถูกนำมาคำนวณพื้นที่ฝนเพื่อเป็นปัจจัยกำหนดว่าควรจะใช้กระบวนการใดในการจัดค่าการสะท้อนที่ไม่ใช่กลุ่มฝน ในที่นี้ค่าการสะท้อนที่มีผลต่อการวิเคราะห์คือ Radar flare ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่การสะท้อนรูปสามเหลี่ยมมีทิศทางออกจากตัวสถานีเรดาร์ เกิดจากการแทรกแซงสัญญาณเรดาร์กับหน่วยงานโทรคมนาคมในช่วงคลื่น C band เมื่อค่าพื้นที่ฝนมากกว่าที่กำหนดในที่นี้ได้ทดลองแล้วพบว่าค่า 15 % ถือเป็นค่าเหมาะสมในการนำมาใช้จึงได้ใช้ mask ที่เกิดจากการรวมค่าความถี่ของ radar flare เป็นตัวกำหนดของเขตของพื้นที่ หากค่าพื้นที่ฝนมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้จะอัลกอริทึมนี้จะทำการหาพื้นที่ radar flare แบบอัตโนมัติด้วยการใช้หลักการวงรีที่เหมาะสมที่สุดหรือ fitEllipse ซึ่งเป็นฟังก์ชันใน OpenCV อย่างไรก็ตามก่อนจะจบขั้นตอนของการหา radar flare นี้ อัลกอริทึมจะทำการใช้ mask ของ radar flare ที่เกิดขึ้นประจำที่มีตำแหน่งอยู่ทางทิศตะวันตกของสถานีเพื่อทำการจัดค่าการสะท้อนเหล่านั้นออกไป

3.2.3 เครื่องมือ ซอฟต์แวร์

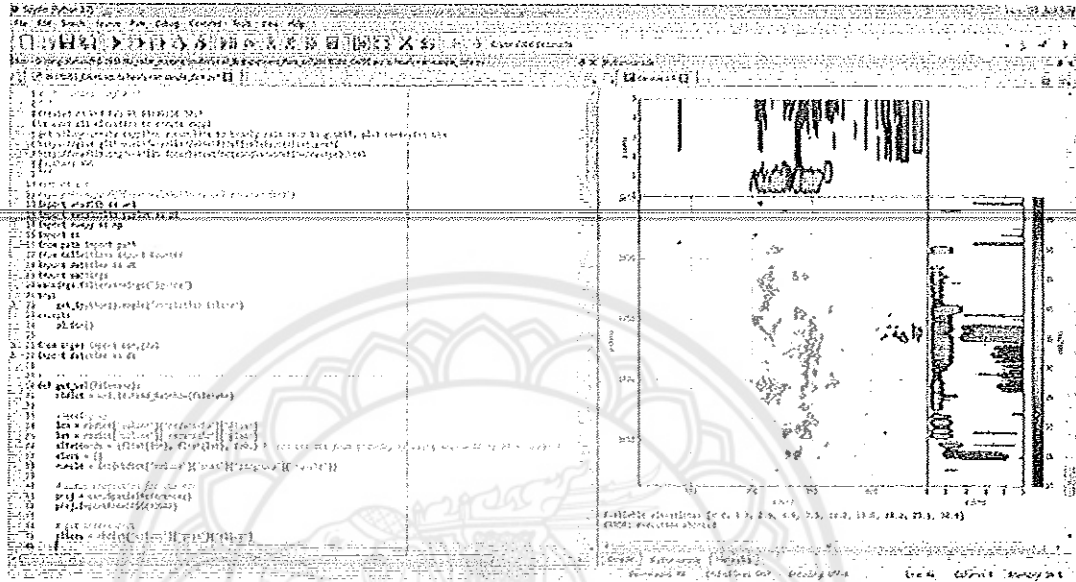
3.3.1 ภาษาคอมพิวเตอร์ไพธอน

ภาษาไพธอน V2.7 ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบการโมเสกเรดาร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Anaconda with Python2 32bit for windows ซึ่งจะมีโปรแกรม Spyder ที่สามารถทำการเขียนโค้ดคำสั่งไพธอน โดยการเรียกใช้ไลบรารีที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการ



The Enterprise Data Science Platform for...

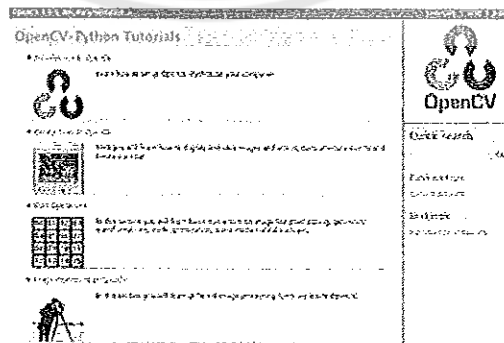
ภาพที่ 3.6 โปรแกรม Anaconda <https://www.anaconda.com/>



ภาพที่ 3.7 โปรแกรม Spyder ที่ใช้ในการเขียนพัฒนาโปรแกรมไพธอนใน Anaconda

3.3.3 ซอฟต์แวร์ OpenCV

OpenCV ไลบรารีที่มุ่งเน้นที่มุ่งเพื่อการพัฒนาในศาสตร์ของ computer vision ถูกพัฒนาขึ้นมาในภาษา C++ แต่สามารถที่จะถูกเรียกใช้ด้วยการ binding กับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นเช่น ไพธอน จาวา หรือแมทแลบ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เรียกใช้ Opencv ในภาษาไพธอน โดยใช้ OpenCV V.2 ในการประมวลผลภาพเรดาร์



ภาพที่ 3.8 เว็บไซต์ OpenCV https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_tutorials.html

ทุกกระบวนการในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลขทั้งหมด ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้แนวคิดของการประมวลผลข้อมูลเชิงเลขที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นข้อมูลขนาดใหญ่มีมิติเชิงพื้นที่และเวลา นอกจากนี้การสร้งและพัฒนากระบวนการปรับแก้ข้อมูลรวมถึงการหาพื้นที่ฝน convective นั้นจำเป็นต้องประมวลผลบนพื้นฐานข้อมูลเชิงเลข ซึ่งเป็นการลดกำลังคนในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล อย่างไรก็ตามในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาต้องมีการตรวจสอบ ทวนผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาโค้ด ก่อนนำไปใช้กับข้อมูลทั้งหมด ดังมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

3.2.4 การประมวลผลข้อมูลภาพเชิงเลข

หลักการประมวลผลข้อมูลภาพเชิงเลข หรือ Digital Image Processing ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพเรดาร์ในทุกขั้นตอนก่อนถูกนำไปใช้วิเคราะห์ โดยภาพไลบรารี OpenCV ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาโค้ดเพื่อการอ่านค่าและแปลงฟอร์แมตภาพไปสู่ Jpeg ด้วยการเรียกใช้ OpenCV นอกจากนี้ยังได้ใช้ในการสกัดข้อมูลเรดาร์การสะท้อนจากภาพต้นฉบับเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการต่อไปในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลที่สกัดมาได้ การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลนั้นยังได้ใช้หลักการ Morphology ทั้งกระบวนการ erosion, dilation, opening และ closing

```

import numpy as np
import cv2
from path import path
import os
from PIL import Image
import sys

#-----
#plot images
def plotcv(label,image):
    #to plot image in opencv
    cv2.namedWindow(label, cv2.WINDOW_NORMAL) #-resize manually
    cv2.imshow(label,image)
    cv2.waitKey(0)
    cv2.destroyAllWindows()

#-----
def convertGif2Jpg(inpgif_dir,radname):
    print "convert Gif to JPG..."radname
    #-convert gif to jpg
    for f in inpgif_dir.files(pattern='*.gif'):
        head, imfile = os.path.split(f)
        out_fn=imfile[0:10]+''.jpg'
        try:
            Image.open(inpgif_dir+imfile).convert('RGB').save(inpgif_dir+out_fn)
        except Exception:
            sys.exc_clear()
    #-----
    Image.open(inpgif_dir+imfile).convert('RGB').save(inpgif_dir+out_fn)
    print out_fn
    
```

ภาพที่ 3.9 การพัฒนาโปรแกรมไพธอนโดยเรียกใช้ OpenCV

Morphological Transformations


Goal

In this chapter,

- We will learn different morphological operations like Erosion, Dilation, Opening, Closing etc.
- We will see different functions like : `cv2.erode()`, `cv2.dilate()`, `cv2.morphologyEx()` etc.

Theory

Morphological transformations are some simple operations based on the image shape. It is normally performed on binary images; it needs two inputs, one is our original image, second one is called structuring element or kernel which decides the nature of operation. Two basic morphological operators are Erosion and Dilation. Then its variant forms like Opening, Closing, Gradient etc also comes into play. We will see them one-by-one with help of following image:




1. Erosion

The basic idea of erosion is just like soil erosion only, it erodes away the boundaries of foreground object (Always try to keep foreground in white). So what it does? The kernel slides through the image (as in 2D convolution). A pixel in the original image (either 1 or 0) will be considered 1 only if all the pixels under the kernel is 1, otherwise it is eroded (made to zero).

So what happens is that, all the pixels near boundary will be discarded depending upon the size of kernel. So the thickness or size of the foreground object decreases or simply white region decreases in the image. It is useful for removing small white noises (as we have seen in colorspace chapter), detach two connected objects etc.

Here, as an example, I would use a 5x5 kernel with full of ones. Let's see it how it works:



Quick search

Table Of Contents

- Morphological Transformations
- Goal
- Theory
 - 1. Erosion
 - 2. Dilation
 - 3. Opening
 - 4. Closing
 - 5. Morphological Gradient
 - 6. Top Hat
 - 7. Black Hat
- Structuring Element
- Additional Resources
- Exercises

Previous topic
Smoothing Images

Next topic

ภาพที่ 3.10 กระบวนการ Morphology ของ OpenCV https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_imgproc/py_morphological_ops/py_morphological_ops.html#morphological-ops

นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโค้ดในส่วนของกาณ์ับจำนวนก้อนเมฆ convective เพื่อให้เข้าใจลักษณะฝนในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงการหา Radar flares ที่เป็นค่าสัญญาณเรดาร์ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกลุ่มฝน เพื่อให้เข้าใจคุณภาพของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา

3.4.2 วิธี Best Fitting Ellipses

ฟังก์ชัน `fitEllipse` ดังภาพ ใน OpenCV ถูกนำมาใช้ในการหาเมฆ convective และหา Radar flares ด้วยการสร้างอัลกอริทึมในการกำหนดเกณฑ์ตามงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง ฟังก์ชันนี้ถูกเรียกใช้ในภาษาไพธอนเพื่อสร้างวงรีครอบพื้นที่ที่กำหนด

fitEllipse

Fits an ellipse around a set of 2D points.

C++: `RotatedRect fitEllipse(InputArray points)`

Python: `cv2.fitEllipse(points) → retval`

C: `CvBox2D cvFitEllipse2(const CvArr* points)`

Python: `cv.FIT_ELLIPSE(points) → Box2D`

Parameters: `points` –

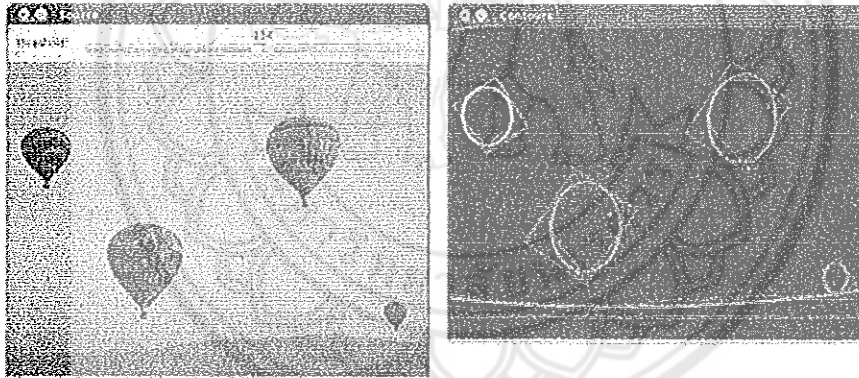
Input 2D point set, stored in:

- `std::vector<>` or `Mat` (C++ interface)
- `CvSeq` or `CvArr` (C interface)
- `Nx2 numpy array` (Python interface)

ภาพที่ 3.11 ฟังก์ชัน fitEllipse

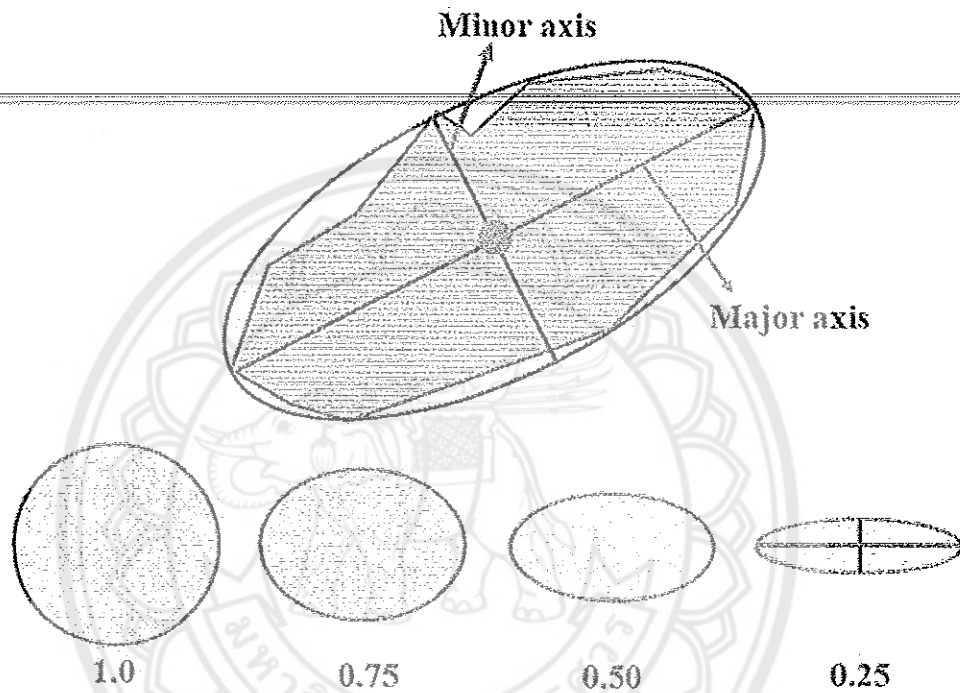
https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=fitellipse#fitellipse

วงรีที่ต่อมอดมากที่สุดจะถูกสร้างขึ้นครอบวัตถุที่สนใจตั้งภาพ



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน fitEllipse

https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/shapedescriptors/bounding_rotated_ellipses/bounding_rotated_ellipses.html

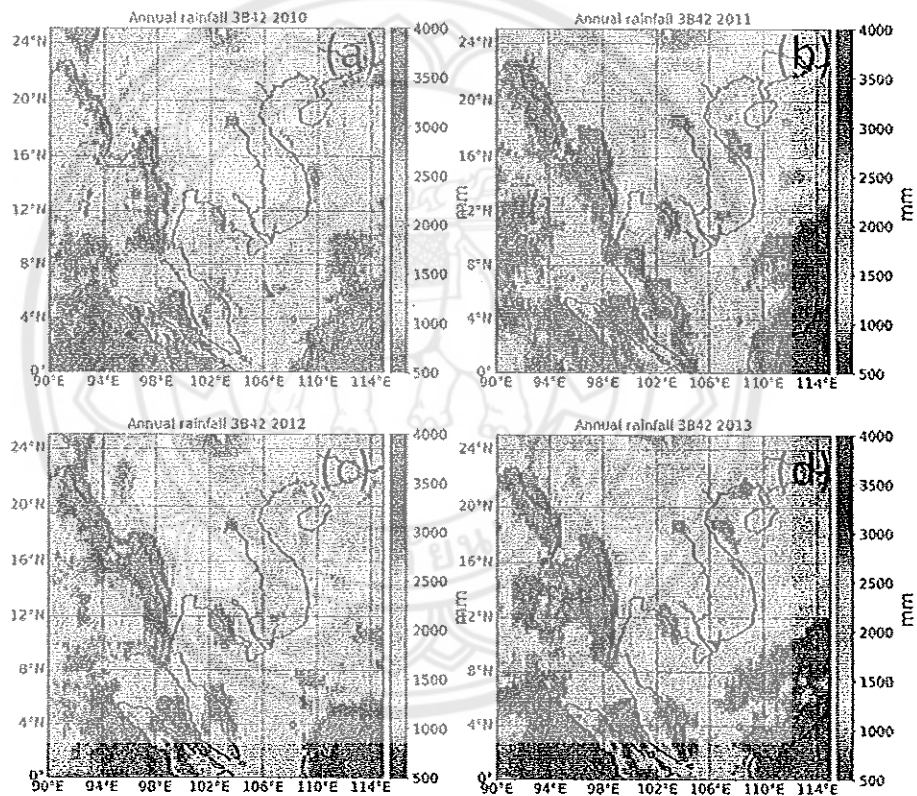


ภาพที่ 3.13 แนวคิด fitEllipse ตัวเลขสีแดงแสดงค่าสัดส่วนแกนสั้นต่อแกนยาวของวงรี ผู้วิจัยได้ดัดแปลงโค้ดด้วยการเตรียมข้อมูลให้พร้อมด้วยการจัดพื้นที่หลังของภาพเรดาร์ออกไป เหลือไว้แต่ข้อมูลค่าการสะท้อนที่ต้องการ แล้วจึงทำการปรับปรุงข้อมูลด้วยหลักการ Morphology เฉพาะค่าฝนที่รุนแรงที่แสดงเป็นสีส้มและแดงในค่าการสะท้อน จากนั้นเรียกใช้ fitEllipse เพื่อให้หาตำแหน่งของเมฆที่สนใจ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากฟังก์ชัน fitEllipse นั้นได้แก่ ค่าความยาวของแกนวงรีทั้งด้านสั้นและด้านยาว พื้นที่วงรี การเอียงตัวของแกนยาววงรี จากนั้นทำการคำนวณค่าสัดส่วนความยาวด้านสั้นต่อด้านยาวของวงรี ถ้าด้านสั้นและด้านยาวมีขนาดใกล้เคียงกันจะมีค่าสัดส่วนที่เข้าใกล้ 1.0 ซึ่งสามารถนำไปเป็นเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งขึ้นเพื่อกรองเมฆ convective และ radar flare

บทที่ 4 ผลการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาทั้งหมดโดยแบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลฝนแบบ convective ที่จะมุ่งศึกษาพื้นที่ตอนกลางของอินโดจีนที่มีพื้นที่ระดับ mesoscale โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศในช่วงมรสุมที่จะเป็นแนวทางเชื่อมไปสู่การวิเคราะห์โครงสร้างฝนในระดับภูมิภาคอินโดจีนตอนกลางโดยใช้ข้อมูลจากห้วงอวกาศจากข้อมูลเซนเซอร์บนดาวเทียม TRMM

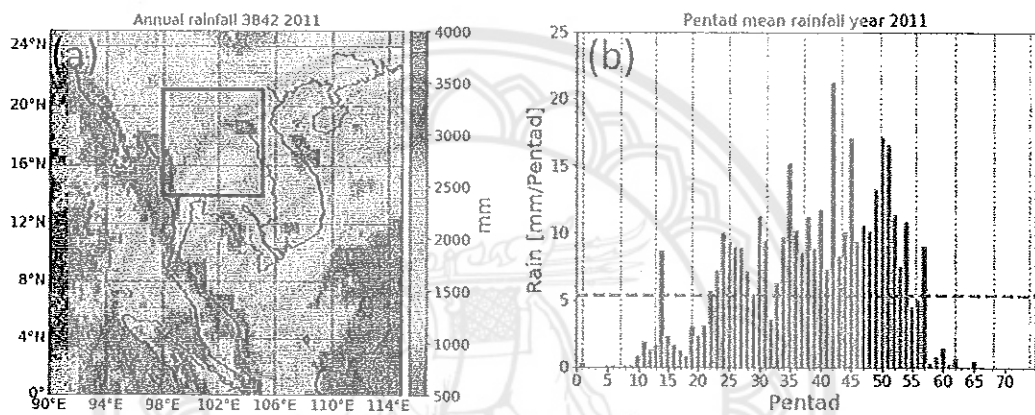
4.1 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนด้วยข้อมูลเซนเซอร์จากข้อมูลดาวเทียม TRMM งานวิจัยในส่วนนี้เป็นส่วนหลักของงานวิจัยซึ่งมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างของระบบฝนที่ได้จากการตรวจวัดจากเซนเซอร์บนดาวเทียม TRMM



ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยฝนรายปีจากข้อมูล TRMM3B42 (a, b, c, d) ปี 2010, 2011, 2012, 2013 ปริมาณฝนรายปีที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลฝน TRMM 3B42 daily จะพบว่า มีรูปแบบที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ดังภาพที่ 4.1 อย่างไรก็ตามรูปแบบหลักๆยังเหมือนเดิม นั่นคือ พื้นที่ใกล้ชายฝั่งจะมีปริมาณฝนที่มาก ดังเช่นด้านตะวันตกของภูมิภาคอินโดจีนและอินโดนีเซีย ส่วนภูมิภาคตอนกลาง

ปริมาณฝนจะลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ชายฝั่ง จะเห็นว่าตอนกลางของประเทศไทย ตอนกลางของเมียนมาร์และตอนเหนือของอินโดจีนจะพบว่าปริมาณฝนต่างกับพื้นที่ชายฝั่งราว 3 เท่า แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการยกตัวของมวลอากาศตามพื้นที่ชายฝั่งที่ปะทะกับแนวเทือกเขาเกิดเป็นฝนภูเขาหรือ orographic rainfall ซึ่งแตกต่างกับพื้นที่ภายในภูมิภาคอินโดจีนที่มีภูเขาขวางกั้น ทั้งทางด้านตะวันตกและตะวันออกของภูมิภาค

4.1.1 การหาความผันแปรของฤดูกาล



ภาพที่ 4.2. การหาช่วงเวลาในฤดูกาล (a) ฝนสะสมรายปี คศ. 2011 (b) ฝนเฉลี่ยราย 5 วัน คศ. 2011 เส้นสีแดงแสดงถึงค่าฝนเฉลี่ยจากฝนราย 5 วันในรอบปี

การหาวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายในฤดูมรสุมของแต่ละปีนั้นจะใช้ข้อมูลฝนรายวันที่อยู่ในพื้นที่ที่รอบสีดำในภาพ 4.2a ซึ่งจะประมวลผลเพื่อหาวันดังกล่าวตามวิธีการของ Matsumoto (1997) โดยคำนวณเป็นเวลา 16 ปี ทำให้สามารถระบุช่วงเวลาก่อนฤดูมรสุม มรสุมและหลังฤดูมรสุมได้ในแต่ละปี โดยจะพบว่าช่วงเวลาในแต่ละฤดูที่กล่าวมาจะมีความยาวนานไม่เท่ากัน วันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุมจะแสดงถึงความชุ่มชื้นและแห้งแล้งในปีนั้นๆ กล่าวคือหากมีช่วงมรสุมที่ยาวนานหมายความว่า มีวันเริ่มต้นของฤดูมรสุมเกิดขึ้นก่อนกว่าปีอื่น แล้วมีวันสุดท้ายของฤดูมรสุมล่าช้ากว่าปีอื่นแสดงว่ามีช่วงเวลาที่ปริมาณฝนอยู่เหนือค่าเฉลี่ยฝนในรอบปีนั้นหลายวัน บ่งชี้ถึงความชุ่มชื้นของปีนั้นตามไปด้วย หากวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุมเกิดขึ้นช้าและเร็วตามลำดับ แสดงว่าปีนั้นมีจำนวนวันที่ได้รับฝนน้อย โอกาสที่จะได้รับความชุ่มชื้นก็น้อยตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการวิจัยในครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาจำนวนวันหรือช่วงเวลาแห้งแล้งหรือ dry spell เนื่องจากไม่ได้ข้อมูลขอบเขตการวิจัย ดังภาพที่ 4.2 แสดงตัวอย่างของการหาวันดังกล่าวในปี 2011 ซึ่งเป็นปีที่ประเทศไทยประสบปัญหาน้ำท่วมใหญ่ สร้างความเสียหายแก่สภาพเศรษฐกิจของประเทศอย่างมหาศาล จะพบว่าปริมาณฝนในปีนี้

มีมากกว่าค่าฝนเฉลี่ยราย 16 ปีอย่างชัดเจน การหาช่วงวันดังกล่าวนั้นพบว่าวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายอยู่ใน pentad ที่ 21 และ 58 ตามเกณฑ์วิธีการที่นำมาใช้ ภาพที่ 4.2b จะพบรูปแบบฝนในภูมิภาคนี้ที่ได้รับอิทธิพลจากทั้งร่องมรสุมและความชื้นจากพายุในมหาสมุทรแปซิฟิก รวมถึงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดความชุ่มชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งจะพบช่วงเวลาของฝนแบ่งออกเป็นสองช่วงในฤดูมรสุมโดยมีช่วงที่ฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในช่วง pentad ที่ 32 หรือราวต้นเดือนมิถุนายน นั่นคือมีการเลื่อนขึ้นไปของร่องมรสุมในตอนเหนือของประเทศไทย ทำให้เกิดฝนทิ้งช่วงเป็นระยะเวลาสั้นๆในปี 2011

ตารางที่ 4.1 สถิติช่วงฤดูกาลในรอบปีจากการใช้ข้อมูล TRMM ในช่วงปี คศ. 1998 ถึง 2013

Year	mean rain (mm)	Onset PT	Withdrawal PT	Num Pre-MS Dates	Num MS Dates	Num Post-MS Dates
1998	3.7	25	58	97	166	44
1999	4.9	19	61	67	211	29
2000	4.9	21	56	77	176	55
2001	4.7	23	60	87	186	34
2002	5.0	23	61	87	191	29
2003	4.1	24	58	92	171	44
2004	4.3	22	53	82	156	70
2005	4.5	24	56	92	161	54
2006	4.8	19	57	67	191	49
2007	4.4	23	57	87	171	49
2008	5.0	21	56	77	176	55
2009	4.2	24	59	92	176	39
2010	4.4	26	59	102	166	39
2011	5.3	21	58	77	186	44
2012	4.5	22	56	82	171	55
2013	4.7	23	59	87	181	39

เมื่อทำการหาวันดังกล่าวแล้วจะสามารถกำหนดช่วงเวลาทั้งสามช่วงได้ในรอบปี ทำให้สามารถหาช่วงเวลาดังกล่าวในแต่ละปีในท้ายที่สุด ดังตารางที่ 1 แสดงค่าสถิติของแต่ละปี ยกตัวอย่างปีที่มีการเริ่มต้นของฤดูมรสุมที่เร็วคือปี คศ. 1999 และ คศ. 2006 เริ่มใน pentad ที่ 19 ทั้งสองปีนั้นคือกลางเดือนเมษายน และยังพบว่าในปี 1999 เป็นปีที่มีช่วงเวลาของฤดูมรสุมที่ยาวนานเนื่องจากวันสุดท้ายของฤดูมรสุมตกอยู่ใน pentad ที่ 61 นั่นคือปลายเดือนตุลาคม ค่าเฉลี่ยของฝนราย pentad นั้นพบว่ามีความผันแปรกันไปในแต่ละปีโดยปี 2011 มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าปีอื่น

```

#-create array to store pm=pentad mean
for filename in os.listdir(path):
    if filename.endswith(".nc4"):
        print 'file: ', filename
        #-read 3b42
        nc = Dataset(filename)
        pc = nc.variables[DATAFIELD_NAME][:,:].astype(np.float64)
        #-clip 3b42 file
        PcSub = nc.variables['precipitation'][:lonli:lonui, latli:latui] #-hex
        p_avg=np.mean(PcSub)
        #-
        print 'file: ', c, ' area average: ', p_avg

#
    if cp<5:
        p_sum += p_avg
        cp +=1
    if cp>=5:
        p_avg=p_sum/5.0
        if p_avg>p_mean: pm_all[pi]=1 #-area average rain exceeding annual mean
        if p_avg<p_mean: pm_all[pi]=2 #-area average rain below annual mean
        pc_all[pi]=p_avg
        print 'area averag rain in pentad ',pi,' = ',p_avg,' cp=',cp

        cp=0; p_sum=0;
        pi+=1

    c += 1
    if pi>=73: break
print '2.number of read file: ', c

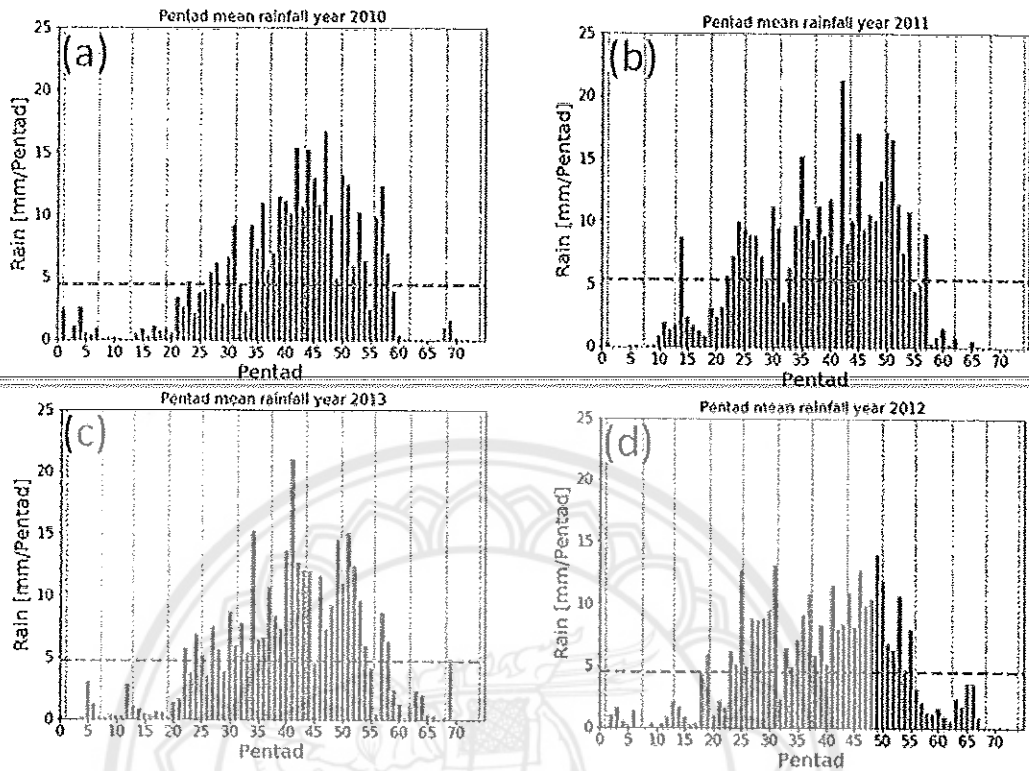
#-find onset pentad
ct=0
for i in pm_all:
    #- print i
    if ((i==2) and (pm_all[ct+1]==1 and pm_all[ct+2]==1 and pm_all[ct+3]==1)):
        pt_os=ct
        print "pentad: ", pt_os+1, " is onset"
        break
    ct += 1

#-find withdraw pentad
ct=0
for i in pm_all:
    #- print i
    if ((i==2) and (pm_all[ct+1]==2 and pm_all[ct+2]==2) and ct > 30):
        pt_wd=ct
        print "pentad: ", pt_wd+1, " is withdraw"
        break
    ct += 1

```

ภาพที่ 4.3 โค้ดในการหาวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุม

เนื่องจากไม่มีโปรแกรมสำเร็จรูปที่จะนำมาใช้กับข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อทำการหาวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุมตามวิธีการของ Matsumoto (1997) ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาโค้ดในภาษาไพธอนเพื่อให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพและสามารถตรวจสอบผลรวมถึงแก้ไขข้อผิดพลาดได้อย่างเป็นระบบ ตามโค้ดภาพที่ 4.3 ที่สามารถกำหนดค่าที่มากหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของฝนและมีความต่อเนื่องจำนวน 3 pentad



ภาพที่ 4.4 การจำแนกช่วงฤดูมรสุมของปี (a, b, c, d) ปี 2010, 2011, 2012, 2013

เมื่อนำโค้ดที่พัฒนาได้ในภาพที่ 4.3 มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลทั้ง 16 ปีจะสามารถคำนวณช่วงเวลาโดยอัตโนมัติซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟดังตัวอย่างในภาพที่ 4.4 จะพบว่ามีช่วงเวลาดังกล่าวไม่เหมือนกัน และช่วงเวลาที่เป็นที่ทิ้งช่วงในแต่ละปีก็ไม่ตรงกันในแต่ละปี

4.1.2 การจำแนกระบบฝน

ในส่วนนี้อธิบายและเปรียบเทียบถึงผลลักษณะของเมฆ convective ในช่วงเวลาแตกต่างกันพื้นที่ตอนกลางของอินโดจีน ด้วยการใช้ข้อมูลพื้นที่เมฆที่ได้จากฐานข้อมูลทั้ง 16 ปี ได้แก่ สัญญาณการกระเจิงที่ได้จากน้ำแข็ง โครงสร้างฝนในแนวตั้ง และความถี่ของสายฟ้า

4.1.2.1 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระบบฝน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลสถิติการจำแนก PFs

Period/type	Tot PFs No.	NCs		Sub-MCSs		MCSs		Intense MCSs	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Pre-MS	2296	2296	30.6	4838	64.5	154	2.1	205	2.7
Monsoon	17884	17884	26.5	46356	68.8	1954	2.9	1079	1.6
Post-MS	991	991	13.9	5951	83.4	128	1.8	59	0.8
Tot	21171	21171	23.7	57145	72.2	2236	2.3	1343	1.7

จากการวิเคราะห์โดยจำแนกประเภทของกลุ่มฝนแบ่งตามช่วงเวลาตามตารางที่ 2 จะพบว่า MCSs มีบทบาทอย่างมากต่อรูปแบบฝนในพื้นที่ศึกษาตอนกลางของอินโดจีน พบว่า sub-MCSs ซึ่งถือว่าเป็นจัดอยู่ในกลุ่ม MCSs นั้นมีสัดส่วนมากถึง 72.2 % โดยมี NCs ซึ่งเป็นฝนที่ไม่มี convective อยู่ในพื้นที่มีสัดส่วน 23.7% ซึ่งอาจเป็นฝน stratiform ที่เป็นส่วนหนึ่งของ MCSs หรือ อาจเป็นการสลายตัวของ MCSs ส่วนสัดส่วนเมื่อพิจารณาเป็นฤดูกาลจะพบว่าในช่วงก่อนฤดูมรสุมและฤดูมรสุมมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันของกลุ่มฝนสี่ประเภท แต่หลังฤดูมรสุมจะพบว่าสัดส่วนของ sub-MCSs มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 83%

กลุ่มตัวอย่างของ PFs ในฤดูมรสุมคิดเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากความถี่ของการเกิดฝนที่มากกว่ารวมทั้งจำนวนวันที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าสถิติมีจำนวนมากกว่า

```
#-----
#-find frequency mcs combined
print '---->', 'calculate frequency map of mcs combined'
lons=np.array(range(88,122,1))
lats=np.array(range(-2,26,1))
freq=np.zeros((len(lats),len(lons)),dtype="float")
for i in range(0,len(mcs_coa[:,0])):
    if (mcs_coa[i,0]>-2) & (mcs_coa[i,0]<26.0) & (mcs_coa[i,1]>88.0) & (mcs_coa[i,1]<122.0):
        lat_idx = geo_idx(mcs_coa[i,0], lats)
        lon_idx = geo_idx(mcs_coa[i,1], lons)
        freq[lat_idx,lon_idx]=freq[lat_idx,lon_idx]+1
#         if pfs[i,8]>0:
#             freq[lat_idx,lon_idx]=freq[lat_idx,lon_idx]-1
#         print lats[lat_idx],':',lons[lon_idx]

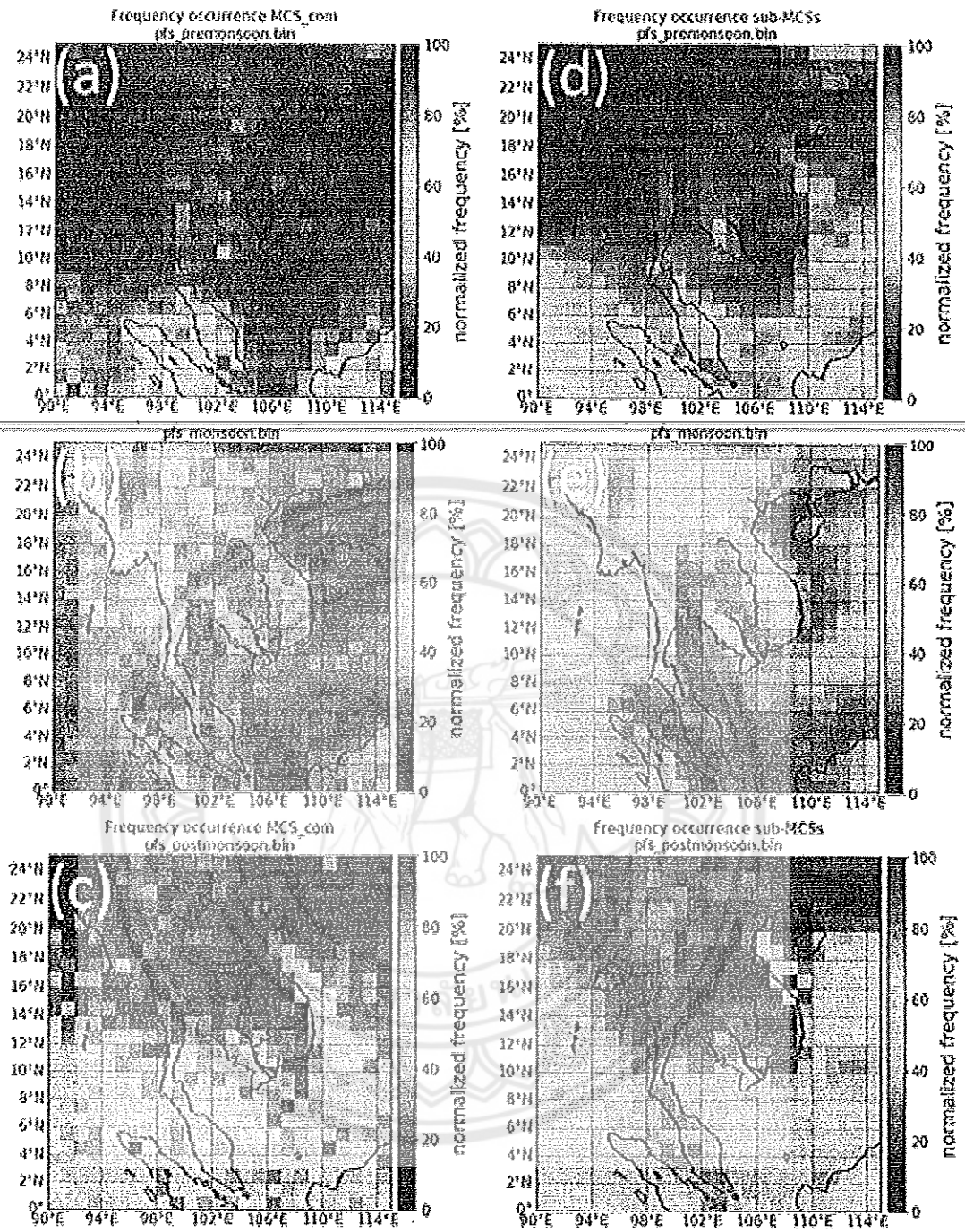
nm_freq_mcs_con=freq/np.max(freq)*100.0 #normalized frequency

#-----
#-find frequency sub-mcs combined
print '---->', 'calculate frequency map of sub-mcs combined'
lons=np.array(range(88,122,1))
lats=np.array(range(-2,26,1))
freq=np.zeros((len(lats),len(lons)),dtype="float")
for i in range(0,len(sub_mcs[:,0])):
    if (sub_mcs[i,0]>-2) & (sub_mcs[i,0]<26.0) & (sub_mcs[i,1]>88.0) & (sub_mcs[i,1]<122.0):
        lat_idx = geo_idx(sub_mcs[i,0], lats)
        lon_idx = geo_idx(sub_mcs[i,1], lons)
        freq[lat_idx,lon_idx]=freq[lat_idx,lon_idx]+1
#         if pfs[i,8]>0:
#             freq[lat_idx,lon_idx]=freq[lat_idx,lon_idx]-1
#         print lats[lat_idx],':',lons[lon_idx]

nm_freq_sub_mcs=freq/np.max(freq)*100.0 #normalized frequency

#-----
```

ภาพที่ 4.5 โค้ดคำนวณความถี่ในการจำแนก PFs ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของกลุ่มฝนที่จำแนกออกเป็น MCSs กับ Sub-MCSs นั้นจำเป็นต้องพัฒนาโค้ดไพธอนเพื่อคำนวณในแต่ละกริดที่ต้องการดังภาพที่ 4.5 ซึ่งสามารถใช้ฟังก์ชันด้านบนทำการสร้างแผนที่ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แผนที่ความถี่ของการจำแนก PFs ในช่วงก่อนฤดูมรสุม ฤดูมรสุมและหลังฤดูมรสุม (a), (b), (c) for MCSs (d), (e), (f) for sub-MCSs.

ความถี่ของการเกิด MCSs และ sub-MCSs ในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันดังภาพที่ 4.6 จะพบว่าในช่วงก่อนมรสุม ภาพ 4.6a และ 4.6d ทั้ง MCSs และ sub-MCSs ตามลำดับ มีสัดส่วนที่ต่ำในตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีน ทางใต้ของอินโดจีนมีสัดส่วนที่สูง ส่วนในช่วงมรสุมภาพ 4.6b และ 4.6e จะพบว่า MCSs และ sub-MCSs ตามลำดับมีสัดส่วนที่สูงกว่าทั้งสามช่วงเวลา โดยเฉพาะ sub-MCSs นั้นมีอิทธิพลมากในช่วงมรสุม ส่วน MCSs จะมีพบสัดส่วนที่สูงในแนวเทือกเขาถนนธงชัย ตะนาวศรีทางทิศตะวันตกของประเทศไทยในสัดส่วนที่สูงมาก เมื่อพิจารณาในช่วงหลังฤดูมรสุม ภาพ 4.6c และ 4.6f ทั้ง MCSs และ sub-MCSs ตามลำดับ จะพบว่าสัดส่วนที่สูงจะอยู่ทางชายฝั่ง ทะเลจีนใต้และทางใต้ของอินโดจีน เนื่องจากมีการเคลื่อนลงของร่องมรสุม จะพบว่าชายฝั่งตอนกลางของเวียดนามมีสัดส่วนที่สูงของ MCSs และ sub-MCSs

4.1.2.2 คุณสมบัติของพายุฝนในพื้นที่ตอนกลางภูมิภาคอินโดจีน

คุณลักษณะของพายุฝนในตอนกลางภูมิภาคอินโดจีนได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวแปรจากฐานข้อมูล PFs ได้แก่ พื้นที่ฝน minimum 85 GHz PCT ค่าสูงสุดของการสะท้อนระดับ 30 dBZ ค่าการสะท้อนสูงสุดในระดับ 6 กม. ผลที่ได้ดังตารางที่ 3 ด้วยการนำมาวิเคราะห์ค่ามัธยฐานของตัวแปรข้างต้น

ตารางที่ 4.3 ค่ามัธยฐานของตัวแปรพื้นที่ฝน min85pct ความสูงเมฆที่ 30dBZ ความสูงเมฆที่ 6กม.

Period	Type	Area	Min85pct	Maxht30	Maxdbz6
Pre-MS	Tot PFs	26.0	276.6	5.0	22.5
	MCSs	617.4	244.0	6.0	33.3
	IMCSs	1300.5	168.3	11.3	48.0
Monsoon	Tot PFs	26.0	277.7	4.8	22.0
	MCSs	494.2	238.1	6.0	33.6
	IMCSs	1248.5	164.4	10.0	45.0
Post-MS	Tot PFs	26.0	279.6	4.3	21.6
	MCSs	598.2	248.3	5.6	31.7
	IMCSs	1196.5	173.0	10.0	43.2

1) โครงสร้างพื้นที่ (Area structure)

ระบบฝนในแต่ละช่วงฤดูกาลไม่ได้มีความแตกต่างในเรื่องของขนาดมากนักเมื่อเปรียบเทียบชนิดของฝนในกลุ่มเดียวกันดังตารางที่ 3 และภาพ 4.6a พบว่าเกือบ 95 % นั้นเป็นกลุ่มฝนขนาดเล็กกว่า 1,000 ตร.กม. แต่เมื่อพิจารณาจากกลุ่มฝนแบบ MCSs จะพบว่ามีความแตกต่างของโครงสร้างด้านพื้นที่ในแต่ละฤดูกาล พบว่าในช่วงก่อนฤดูมรสุม MCSs จะมีขนาดใหญ่ที่สุดเทียบ

ได้กับช่วงหลังฤดูฝน ส่วน IMCSs มีขนาดใหญ่สุดในช่วงก่อนฤดูมรสุมซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับช่วงฤดูมรสุม ส่วน IMCSs ในช่วงหลังฤดูมรสุมนั้นมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น

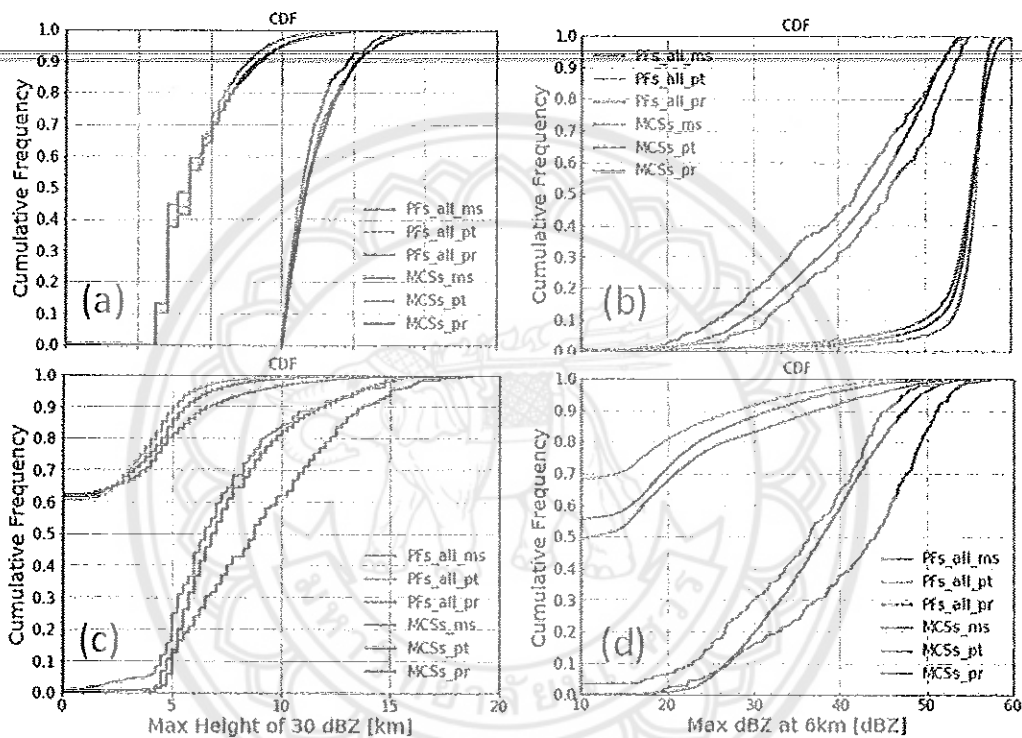
2) สถิติความรุนแรงของ convection ผ่านตัวแปร

ตามตารางที่ 3 พบว่าค่ามัธยฐานของ IMCSs ในช่วงหลังฤดูมรสุมมีค่าที่รุนแรงเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่นยกเว้นตัวแปร Min85PCT ที่มีความรุนแรงในช่วงมรสุม เมฆที่สูงและแรงที่ได้จากค่า Maxht30 และ Maxdbz6 หรือ ค่าการสะท้อนสูงสุดในระดับ 30 dBZ กับค่าการสะท้อนสูงสุดในระดับความสูงที่ 6 กม.ตามลำดับที่ได้จากการตรวจวัดเซนเซอร์ PR บนดาวเทียม TRMM แสดงให้เห็นว่ามีค่าที่สูงในพื้นที่เหนืออินโดจีนตอนกลางของกลุ่มฝนประเภท IMCSs ภาพที่ 4.7

แสดงถึง cumulative density function (CDF) ของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความรุนแรงเปรียบเทียบระหว่างการใช้อัตราทั้งหมดในแต่ละช่วงฤดูกาลกับข้อมูลกลุ่มฝน MCSs โดยในที่นี้คือการพิจารณาร่วมกันระหว่าง MCSs และ IMCSs เพื่อหาสัดส่วนในแต่ละค่าของ CDF เมื่อนำข้อมูลมาพิจารณาทั้งหมดแต่จำแนกเป็นช่วงเวลาจะพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ min85pct จะมีสัดส่วนของกลุ่มฝนที่มีการกระเจิงของน้ำแข็งค่อนข้างน้อยเนื่องจากมีค่า PCT ที่สูงดังภาพ 4.7b จะพบว่ามีส่วนเพียงแค่ 10% เท่านั้นของข้อมูลทั้งหมดที่มีค่าต่ำกว่า 250 เคลวินซึ่งหากค่า min85pct มีค่าต่ำกว่านี้แสดงว่ามีการกระเจิงของกลุ่มน้ำแข็งในกลุ่มฝนนั้น แต่หากมีค่าสูงแสดงว่าเป็นกลุ่มฝนที่ไม่ค่อยรุนแรงมีปริมาณฝนที่ต่ำนั่นคือ มีโอกาสเป็น convective น้อย (Spencer et al. 1989) หรือไม่มีปริมาณก้อนน้ำแข็งอย่างเพียงพอเหนือระดับชั้นการเย็นตัว (freezing level) (Nebitt et al. 2000) ซึ่งหลักการนี้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยของ Xu et al (2009) สำหรับเมฆ convective ที่มีการก่อตัวสูงจะใช้ค่าที่ต่ำกว่า 225 เคลวินตาม McGaughey et al. (1996) พบว่ามีเพียงแค่ 5% ของกลุ่มฝนทั้งหมดที่มีจำนวนอย่างน้อย 1 จุดภาพของข้อมูลกลุ่มฝนที่มีสัญญาณของการกระเจิงก้อนน้ำแข็ง

ภาพที่ 4.7c พบว่ามีมากกว่า 60% ของกลุ่มฝนทั้งหมดที่ไม่พบการกระเจิงตัวของกลุ่มน้ำในอากาศที่มีขนาดใหญ่ในแต่ละชั้นความสูงที่ตรวจวัดจากค่าตัวแปรการสะท้อนของเรดาร์ในระดับ 30 dBZ ส่วนภาพที่ 4.7d พบว่า 50%ของกลุ่มฝนทั้งหมดอยู่ในระดับความสูงที่ต่ำกว่า 6 กม. แต่เมื่อพิจารณาเพียง MCSs จะพบว่ามีส่วนมากกว่า 90%ของกลุ่มฝนชนิดนี้ที่มีค่าความสูงมากกว่า 15 กม. โดยในจำนวนนี้มีค่าการสะท้อนจากเรดาร์แรงมากกว่า 50 dBZ ที่ระดับความสูง 6 กม. ความแรงของ MCSs นั้นเรียงลำดับจากรุนแรงไปน้อยในช่วงก่อนมรสุม มรสุมและหลังมรสุมตามลำดับจากการใช้อัตรา min85pct maxht30 maxdbz6 ดังภาพ 4.7b, 4.7c และ 4.7d โดยในช่วงก่อนฤดูมรสุมจะพบว่า 40% และ 60% สำหรับตัวแปร maxht30 และ

maxdbz6 ที่มีความสูงของเมฆที่ระดับ 10 กิโลเมตรและความแรงของค่าการสะท้อนเรดาร์ 40 dBZ ตามลำดับแสดงให้เห็นถึงความรุนแรงของเมฆในช่วงเวลานี้ ค่าที่พบนี้บ่งบอกถึงการมีอยู่ของหยดน้ำเย็นตัวอย่างยิ่งยวด หรือ ก้อนน้ำแข็งในชั้น mixed-phase region ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าที่พบในการศึกษาในพื้นที่ตอนใต้ของประเทศจีน ได้ทวัน และทะเลจีนใต้ของ Xu et al. (2009)



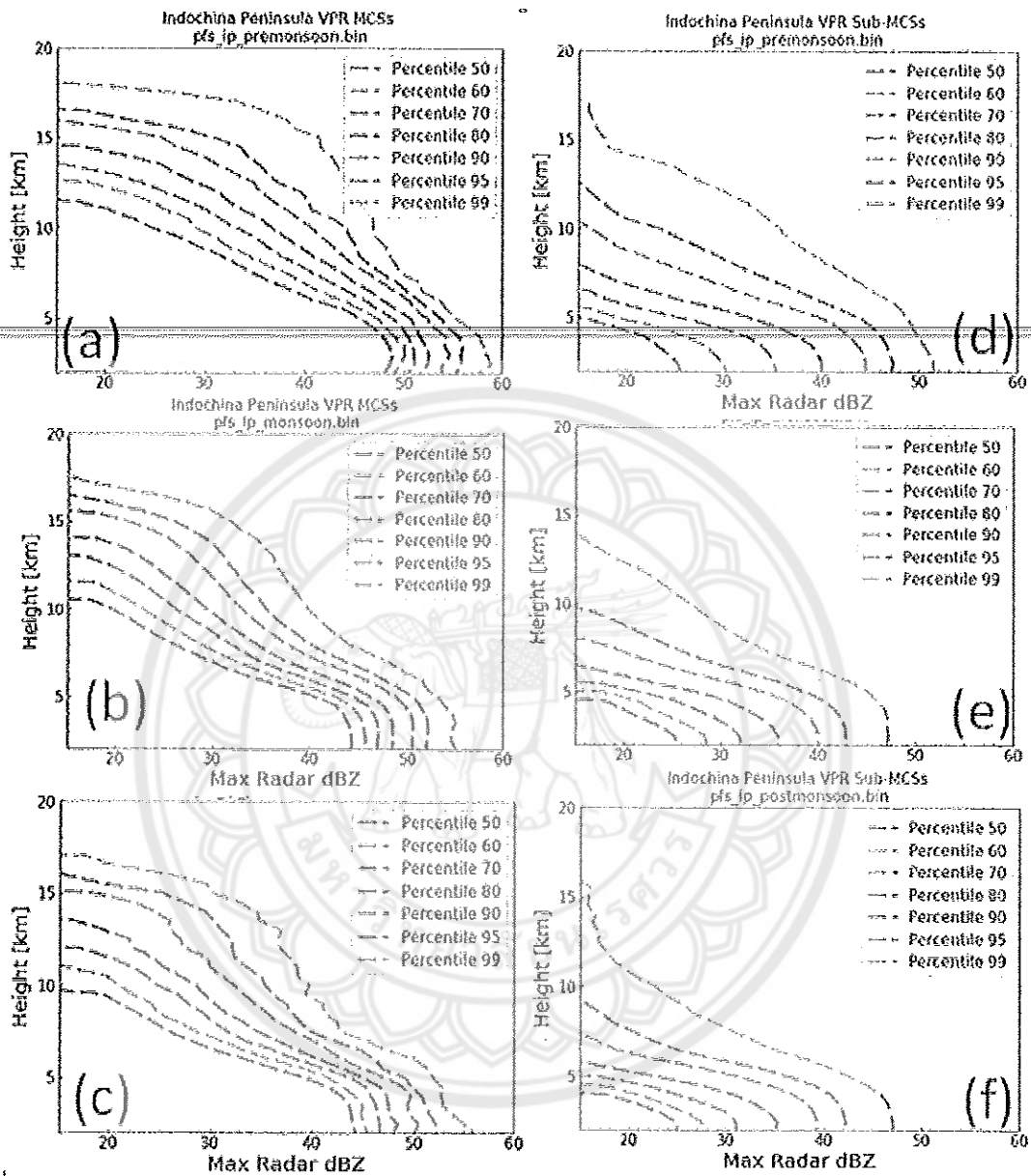
ภาพที่ 4.7 CDF เปรียบเทียบระหว่างการใช้กลุ่มฝนทั้งหมดกับกลุ่มฝนแบบ MCSs ในช่วง ก่อนมรสุม มรสุม และหลังฤดูมรสุมในพื้นที่รอบสี่ด้านภาพที่ 1 บริเวณตอนกลางของอินโดจีน (a) area, (b) min PCT of 85 GHz, (c) max height of 30 dBZ, และ (d) max dBZ at 6 km

4.1.2.2 โครงสร้างแนวตั้งของค่าการสะท้อนเรดาร์ (Vertical Profile of Radar Reflectivity: VPRR)

วิธีการในการหาค่าการสะท้อนสูงสุดของเซลล์ฝนที่เป็นฟังก์ชันตามระดับความสูงเหนือพื้นภูมิประเทศของ Donalson (1961) ถูกนำมาใช้ในการหาค่าตัวแปร MAXdBZ ในงานของ Xu et al. (2009) ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมในไพธอนเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนตามระดับความสูงหรือท VPRR จากข้อมูลเรดาร์ของ TRMM PR ที่มีความละเอียดในการตรวจวัดที่ 0.25 กม. หรือ range bin resolution โดยใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนที่ได้จาก PF database ของ Liu (2013) ซึ่ง VPRR นี้จะเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความรุนแรงของเมฆฝน ยังมีค่าการสะท้อนที่สูงในและเหนือชั้น mixed-phase region มากเท่าไรแสดงถึงความรุนแรงของพายุฝนมากเท่านั้น (Szoke and Zipser 1986; Zipser and Lutz 1994; Cecil et al. 2005, Xu et al. 2009)

จากภาพที่ 4.8 แสดง VPRR ของ MCSs และ sub-MCSs เหนือภาคพื้นอินโดจีนตอนกลางในช่วงฤดูกาลสามช่วงเวลา พบว่า MCSs ทั้งสามช่วงเวลามีความสูงและความรุนแรงมากกว่า sub-MCSs ในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าค่าสะท้อนเรดาร์สูงสุดสำหรับ MCSs สูงเหนือระดับ 18 กม.จากพื้นดินสำหรับช่วงก่อนฤดูมรสุม ความรุนแรงของ MCSs ในช่วงก่อนฤดูมรสุมมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับฤดูกาลที่เหลือดังภาพ 4.8a ในขณะที่ช่วงฤดูมรสุมกับหลังฤดูมรสุมไม่มีความแตกต่างกันมากนักดังภาพ 4.8b และ 4.8c บ่งชี้ให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างในด้านโครงสร้างในสองฤดูกาลหลังนี้ ส่วน sub-MCSs ของก่อนฤดูมรสุมกับหลังฤดูมรสุมมีความรุนแรงมากกว่าช่วงฤดูมรสุมโดยมีความสูงของเมฆขึ้นไปถึงระดับความสูงที่ 15 กม.จากระดับพื้นผิวโลกดังภาพ 4.8d, 4.8e และ 4.8f

ในงานวิจัยของ Xu et al. (2009) จะพบว่ามีค่าการสะท้อนที่แรงของเรดาร์ในช่วง mixed-phase region ในช่วงความสูงระหว่าง 5 ถึง 8 กม. หรือที่ช่วงอุณหภูมิ 0° ถึง -20° C ซึ่งในงานวิจัยของ Dye et al. (1989) พบว่าจะพบหยดชั้นขนาดใหญ่หรือก้อนน้ำแข็งในชั้นอุณหภูมิดังกล่าวซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่จะมีการแยกตัวของประจุไฟฟ้าเกิดในชั้นดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าการสะท้อนเรดาร์จะแรงในช่วงความสูงระดับ 2 ถึง 5 กิโลเมตรในช่วงก่อนฤดูมรสุมสำหรับ MCSs ซึ่งถือว่ารุนแรงกว่าช่วงฤดูกาลอื่น ซึ่งอาจเกิดในชั้น mixed-phase region เมื่อเปรียบเทียบ Sub-MCSs ในงานวิจัยของ Xu et al (2009) ในพื้นที่ south China จะพบค่าการสะท้อนเรดาร์ของงานวิจัยชิ้นนี้มีช่วงการสะท้อนที่กว้างกว่าและมีความสูงของเมฆที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบทุกช่วงฤดูกาล



ภาพที่ 4.8 ค่าความสูงในแนวดิ่งใช้ค่าเปอร์เซนไทล์ 50th, 60th, 70th, 80th, 90th, 95th, and 99th ของค่าการสะท้อนสูงสุดของเรดาร์เหนือพื้นดินภาคพื้นอินโดจีนในช่วงก่อนฤดูมรสุม ฤดูมรสุม และช่วงหลังฤดูมรสุม (a),(b),(c) MCSs; (d),(e),(f) sub-MCSs. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้มาจากกริดภายในกรอบสี่ดำของภาพที่ 4.1a

ข้อมูลสายฟ้าเป็นข้อมูลที่น่ามาเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงการตรวจสอบกิจกรรมของเมฆ convective เป็นที่ทราบกันดีว่าจำนวนฟ้าแลบก่อนช่วงฤดูมรสุมนั้นมีค่าสูงกว่าช่วงอื่น (William et al. 1995; Peterson et al. 2002; Qie et al.2003; Yuan and Qie 2008; Xu et al. 2009) ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงสัดส่วนฟ้าแลบในแต่ละช่วงฤดูกาลบริเวณพื้นที่ตอนกลางของอินโดจีน ผลที่ได้พบว่าอัตราฟ้าแลบหรือ flash rate ในช่วงก่อนฤดูมรสุมของพื้นที่ศึกษามีค่าร้อยละที่สูงถึง 7.5% ของจำนวน PFs ทั้งหมดดังตารางที่ 4 จำนวนอัตราฟ้าแลบนั้นลดลงจำนวน 5 เท่าตัวจากคลาส 10-99 ถึงคลาส 1-9 ในกรณีของฤดูมรสุม ส่วนฤดูก่อนมรสุมลดลงเพียงแค่ 4 เท่าทำให้เห็นว่าความรุนแรงและความถี่ของการเกิดฟ้าแลบของฤดูก่อนมรสุมนั้นมีสูงกว่าฤดูกาลอื่น เมื่อพิจารณาคลาสที่มี flash rate มากกว่า 100 ครั้งจะพบว่า ช่วงก่อนฤดูมรสุมมีจำนวนที่มากกว่าฤดูอื่นเช่นกัน จะพบว่าอัตราฟ้าแลบของงานวิจัยชิ้นปัจจุบันมีค่าใกล้เคียงกับงานของ Xu et al. (2009) ในช่วงก่อนฤดูมรสุม

ตารางที่ 4.4 สถิติอัตราฟ้าแลบเหนือพื้นดินภูมิภาคอินโดจีน

Period/criteria	PFs with flashes		With 1-9 No.	With 10-99 No.	With >=100 No.
	No.	%			
Pre-MS	566	7.5	412	136	18
Monsoon	2093	3.1	1749	338	6
Post-MS	116	1.6	103	13	0

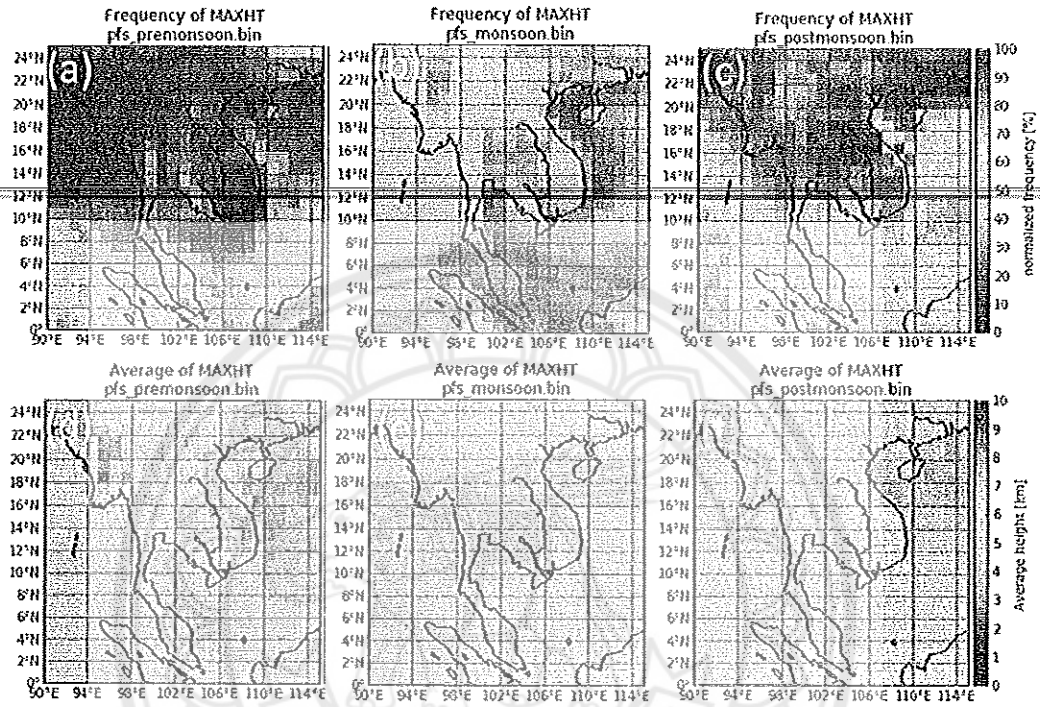
ตารางที่ 4.5 จำนวนอัตราฟ้าแลบเหนือพื้นดินภูมิภาคอินโดจีนตามการจำแนกกลุ่มฝน

Period	PFs	NCs	Sub-MCSs	MCSs	IMCSs	Rain area (km ² per flash)	Conv area (km ² per flash)
	Flash No.	Flash No.	Flash No.	Flash No.	Flash No.		
Pre-MS	7638	10	1227	216	6118	205.5	77.8
Monsoon	13669	28	2268	414	10841	653.6	181.9
Post-MS	691	0	107	23	560	366.1	163.0

ตารางที่ 5 เสนอการเปรียบเทียบระหว่างอัตราสายฟ้าของพื้นที่ศึกษาที่ทำการจำแนกประเภทกลุ่มฝนในแต่ละฤดูกาลทั้งสาม พบว่า IMCSs เป็นกลุ่มฝนที่มีอัตรามากถึง 80% จากจำนวนกลุ่มประชากรทั้งหมดในทั้งสามช่วง ซึ่ง Sub-MCSs มีสัดส่วนในอัตราฟ้าผ่าในลำดับรองลงมาซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ฝนต่ออัตราฟ้าผ่าพบว่าช่วงฤดูมรสุมมีพื้นที่ฝนต่ออัตราฟ้าแลบที่น้อยที่สุด นั่นคือมีโอกาสพบฟ้าแลบในพื้นที่ขนาดเล็ก แสดงถึงความรุนแรง ตามมาด้วยช่วงหลังฤดูมรสุมที่มีพื้นที่เท่ากับ 366 ตร.กม.ต่อจำนวนฟ้าแลบ เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Xu et al (2009) จะพบว่าสัดส่วนพื้นที่ฝนต่อฟ้าแลบของพื้นที่ตอนกลางอินโดจีนมีสัดส่วนที่น้อยกว่าถึง 3 เท่า ซึ่งเป็นไปได้ว่าในงานของ Xu et al (2009) ได้รวมพื้นที่ฝนในพื้นที่ทะเลเข้าไปด้วยซึ่งทำให้ตัวเลขอัตราส่วนของพื้นที่ฝนต่อฟ้าแลบมีความแตกต่างกันมาก เพราะจากงานวิจัยในอดีตเป็นที่ทราบกันดีว่าจำนวนฟ้าแลบเหนือพื้นที่มหาสมุทรจะมีสัดส่วนที่ต่ำกว่าเหนือพื้นที่แผ่นดิน

4.1.3 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติระบบฝน

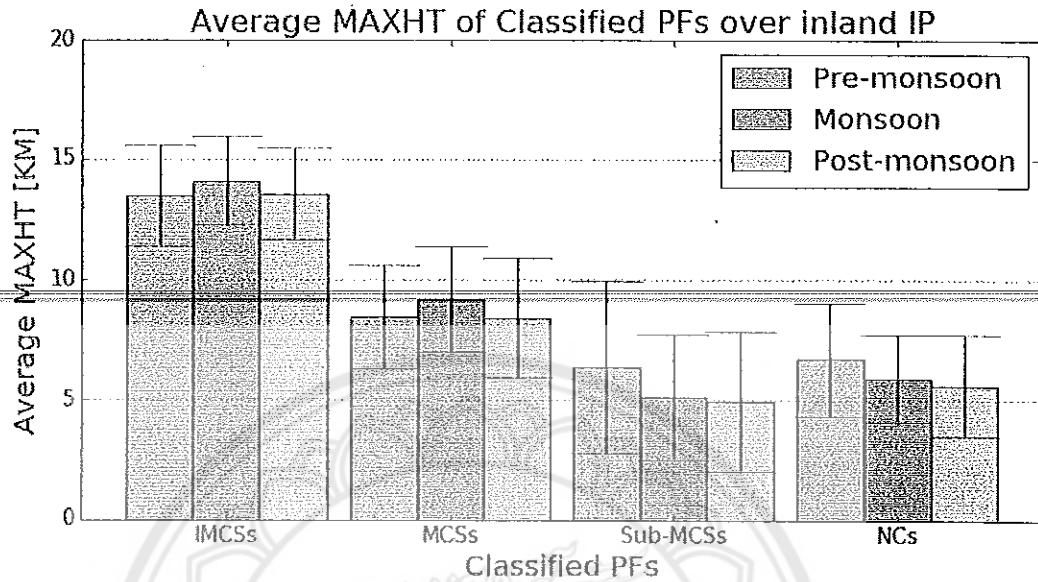
4.1.3.1 ความสูงของระบบฝน PFs



ภาพที่ 4.9 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความสูงเมฆ convective ผ่านตัวแปร MAXHT พื้นที่อินโดจีน และบริเวณโดยรอบในช่วงก่อนฤดูมรสุม ฤดูมรสุมและช่วงหลังฤดูมรสุม (a), (b), (c) frequency occurrences; (d), (e), (f) average. โดยมีรายละเอียดในการคำนวณระยะห่างกริด 1°

ความสูงของยอดเมฆจากตัวแปร MAXHT ในฐานะข้อมูล PFs สามารถนำมาเป็นตัวแทนที่จะนำไปศึกษาความรุนแรงของเมฆได้ ดังภาพที่ 4.9 ได้คำนวณความถี่ในการเกิดและค่าเฉลี่ยความสูงของยอดเมฆทั้งสามช่วงเวลา พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในรูปแบบเชิงตำแหน่งของยอดเมฆ พบว่าช่วงก่อนฤดูมรสุมจะมีความสูงเฉลี่ยของยอดเมฆที่สูงกว่าช่วงเวลาอื่นมากกว่า 8 กม.จากระดับความสูงเหนือพื้นดินดังภาพ 4.9d โดยมีการกระจายในพื้นที่ผืนแผ่นดินอินโดจีน แม้ว่าค่าความถี่ที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรดังภาพ 4.9a เมื่อเทียบกับช่วงฤดูมรสุมจะพบว่าความถี่ในตอนกลางของอินโดจีนจะมีสูงกว่าช่วงอื่นดังภาพ 4.9b ส่วนค่าความสูงเฉลี่ยของยอดเมฆจะอยู่ในระดับ 6-7 กม.จากระดับความสูงเหนือพื้นดินดังภาพ 4.9e ส่วนช่วงหลังฤดูมรสุมจะพบว่าความสูงเฉลี่ยของยอดเมฆมีรูปแบบการกระจายตัวคล้ายคลึงกับช่วงฤดูมรสุมดังภาพ 4.9f อย่างไรก็ตาม

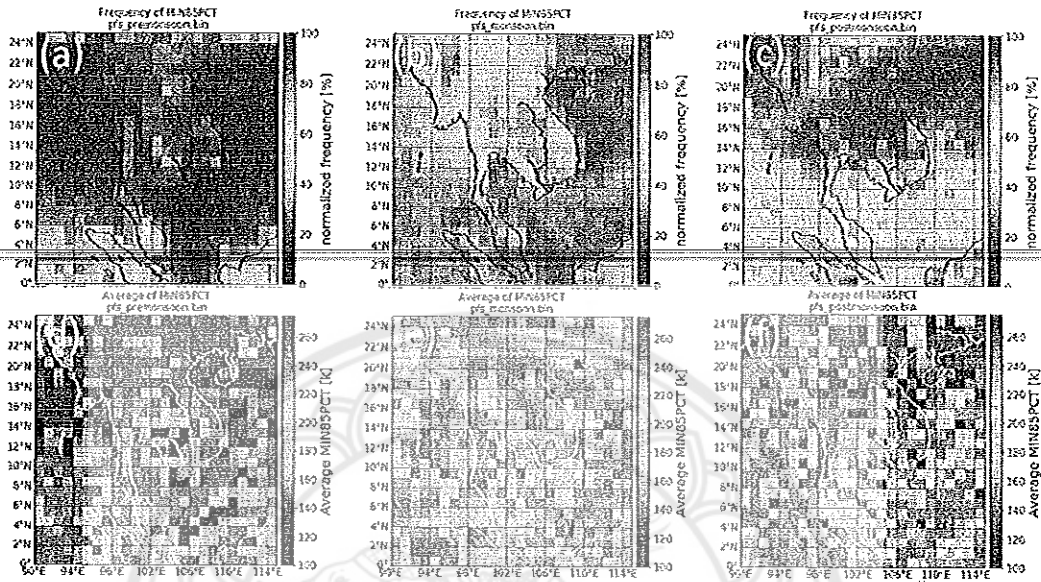
ความถี่ในการเกิดเมฆเหล่านั้นค่อนข้างน้อยมีรูปแบบในตอนกลางของอินโดจีนคล้ายคลึงกับช่วงก่อนฤดูมรสุมดังภาพ 4.9d แต่จะมีความถี่ของเมฆที่สูงในทะเลจีนใต้และมหาสมุทรอินเดีย



ภาพที่ 4.10 ค่าความสูงเฉลี่ยของเมฆ convective โดยการจำแนกประเภทกลุ่มฝนในช่วงก่อนฤดูมรสุม ช่วงฤดูมรสุม ช่วงหลังฤดูมรสุม ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้มาจากกริดภายในกรอบสี่ดำของภาพที่ 1a

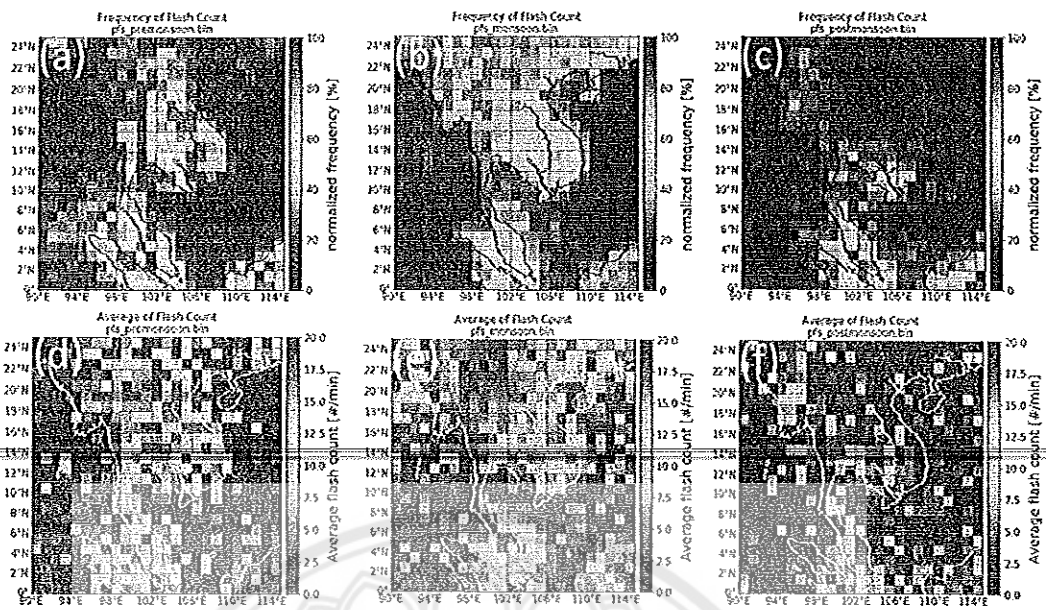
เมื่อนำข้อมูล PFs มาทำการจำแนกตามประเภทกลุ่มฝนและตามช่วงทั้งสามฤดูกาลในพื้นที่ตอนกลางของอินโดจีนทำให้ทราบถึงความผันแปรเชิงห้วงเวลาและชนิดฝนที่เกี่ยวกับโครงสร้างความสูงของเมฆฝน ดังภาพ 4.10 พบว่า IMCSs มียอดเมฆที่สูงที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ระดับความสูงที่ 13 กม. นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาของกลุ่มฝนประเภท MCSs อย่างไรก็ตามพบว่า sub-MCSs กับ NCs มีความผันแปรของความสูงเมฆค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มฝน MCSs นั่นคือ sub_MCSs จะมีความสูงเข้าใกล้ระดับ 10 กม.ในช่วงก่อนฤดูมรสุม

4.2.5.2 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า minimum 85-GHZ PCT และอัตราฟ้าแลบ



ภาพที่ 4.11 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า minimum 85-GHZ PCT ฝนในช่วงก่อนฤดูมรสุม ช่วงฤดูมรสุม ช่วงหลังฤดูมรสุม (a), (b), (c) frequency occurrences; (d), (e), (f) average. โดยมีรายละเอียดในการคำนวณระยะห่างกริด 1°

การใช้ข้อมูลค่าการกระเจิงของสัญญาณไมโครเวฟจากเซนเซอร์ TMI โดยนำ 85PCT มาใช้เพื่อจับค่าสัญญาณของ แกนกลางเมฆ convective ทำให้สามารถบรรยายและอธิบายถึงรูปแบบการกระจายตัวของ convective ผ่านตัวแปรนี้จากฐานข้อมูล PF ดังภาพ 4.11 ในช่วงก่อนฤดูมรสุมภาพที่ 4.11a และ 4.11d จะพบว่ามี การยกตัวที่รุนแรงของอากาศกลายเป็นกลุ่มฝนบริเวณเหนือพื้นแผ่นดินของอินโดจีนตอนกลางโดยมีความความหนาแน่นที่ต่ำโดยจะพบค่าที่มี 85PCT ที่ต่ำอยู่บริเวณชายฝั่งในทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทยและเหนือพื้นที่ทะเลจีนใต้ใกล้เกาะไหหลำรวมถึงทางตอนใต้ของทะเลจีนใต้ ในช่วงมรสุมจะพบว่าความถี่ของ 85PCT จะมีค่าที่สูงในทางตอนเหนือของอินโดจีน (ภาพ 4.11b) ในขณะที่การยกตัวของเมฆ convective ที่รุนแรงเกิดขึ้นในทางตอนกลางของอินโดจีนที่มีความรุนแรงน้อยกว่าช่วงก่อนฤดูมรสุมและหลังฤดูมรสุมดังภาพ 4.11e ส่วนในช่วงหลังฤดูมรสุมจะพบว่ามีค่าความถี่ของ 85PCT ที่สูงในทางตอนใต้ของอินโดจีน แหลมมลายู เกาะสุมาตรา และเกาะบอร์เนียว ดังภาพ 4.11c อย่างไรก็ตาม ค่า85PCT ที่ต่ำมากๆ แสดงถึงความรุนแรงของเมฆที่ยกตัวขึ้นไปในบรรยากาศเกิดขึ้นในตอนกลางและตอนเหนือของอินโดจีนดังภาพ 4.11



ภาพที่ 4.12 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอัตราส่วนฟ้าแลบในช่วงก่อนฤดูมรสุม ช่วงฤดูมรสุม ช่วงหลังฤดูมรสุม (a), (b), (c) frequency occurrences; (d), (e), (f) average. โดยมีรายละเอียดในการคำนวณระยะห่างกริด 1°

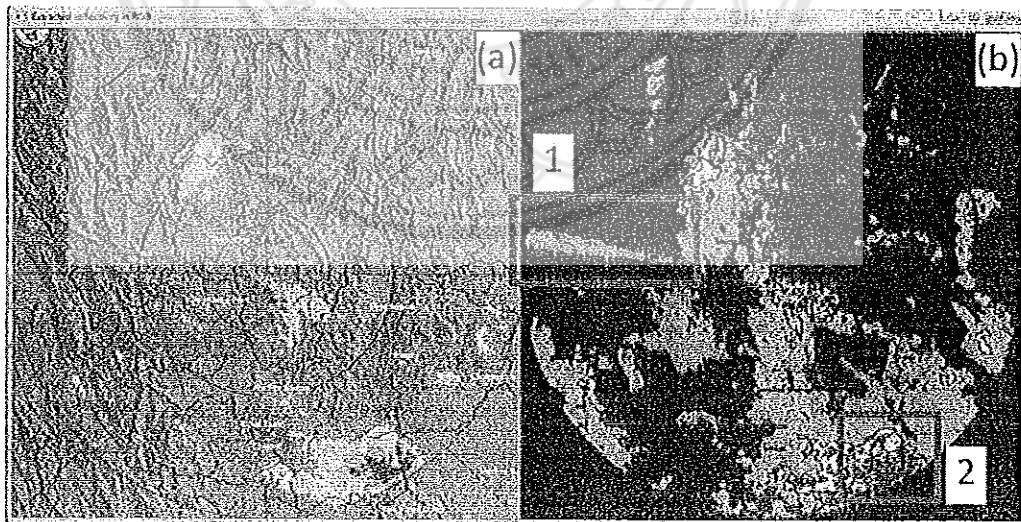
ความถี่ของจำนวนฟ้าแลบเหนือพื้นดินมีค่าที่สูงกว่าเหนือพื้นน้ำในมหาสมุทรดังภาพที่ 4.12 ที่ได้คำนวณจำนวนฟ้าแลบที่มีค่ามากกว่าศูนย์ พบว่าจำนวนฟ้าแลบในช่วงก่อนฤดูมรสุมมีค่าที่สูงกว่าฤดูกาลอื่นดังภาพ 4.12d โดยมีจำนวนความถี่ที่สูงในตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนดังภาพ 4.12a อย่างไรก็ตามความถี่ในทางตอนใต้บริเวณแหลมมลายู เกาสุมาตรา มีความถี่สูงกว่าพื้นที่อื่น ส่วนในช่วงฤดูมรสุมจะพบว่าตอนกลางของอินโดจีนมีรูปแบบความถี่ที่ต่อเนื่องทั่วทั้งพื้นที่ที่พบความถี่ฟ้าแลบที่สูงดังภาพ 4.12b อีกทั้งแหลมมลายูยังมีความถี่ที่สูงด้วยแต่ก็ยังน้อยกว่าช่วงก่อนฤดูมรสุม จำนวนฟ้าแลบในช่วงก่อนฤดูมรสุมนั้นน้อยกว่าช่วงก่อนฤดูมรสุมอย่างเห็นชัดเจנדังภาพ 4.12e ส่วนความถี่และจำนวนฟ้าแลบในช่วงหลังฤดูมรสุมนั้นมีค่าที่ต่ำเมื่อเทียบกับสองฤดูกาลก่อนหน้าดังภาพ 4.12d และ 4.12f จากผลการวิเคราะห์นี้พบว่ามีสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu et al. (2009) ที่กล่าวว่าในช่วงก่อนฤดูมรสุมมีจำนวนฟ้าแลบที่สูงซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับช่วงก่อนฤดู Mei-Yu ของทางใต้ของประเทศจีน

4.2 การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างฝนแบบ convective ด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ

ในส่วนนี้ได้มุ่งศึกษาโครงสร้างฝนอีกลักษณะด้วยการใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนของเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ที่มีลักษณะการตรวจวัดในมุมยกเดียว อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะไม่ใช่การตรวจวัดแบบสามมิติเช่นการศึกษาในด้วยการใช้ข้อมูลดาวเทียม TRMM โดยใช้เซนเซอร์ PR ก็ตาม การตรวจวัดอากาศด้วยเรดาร์ภาคพื้นดินมีข้อได้เปรียบข้อมูลดาวเทียมคือ ความถี่การตรวจวัดเชิงห้วงเวลาและเชิงพื้นที่ที่มีรายละเอียดสูงกว่า แม้ว่าข้อด้อยคือครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณแคบๆก็ตาม หากแต่ว่าการศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะสร้างต้นแบบการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยข้อมูลเรดาร์ที่เป็นลักษณะ opendata นั่นคือข้อมูลที่นำมาใช้สามารถเข้าถึงได้แก่ทุกคน ซึ่งในอนาคตหากมีนโยบายการปล่อยข้อมูลให้กับนักวิชาการหรือนักวิจัยโดยเสรี ก็สามารถนำแนวคิดวิธีการในหัวข้อนี้ไปประยุกต์ปรับปรุงต่อไปได้ ผลในส่วนนี้เกิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินของสถานีพิษณุโลกในช่วงที่พายุ Sonca ได้เคลื่อนที่เข้าสู่ตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีน

4.1 การสกัดข้อมูลค่าการสะท้อนของเรดาร์ตรวจอากาศ

ค่าการสะท้อนเรดาร์ในมุมยกแรกจากภาพต้นฉบับนั้นได้ถูกนำมาสกัดค่าสีที่ต้องการเพื่อนำค่าเหล่านั้นมาศึกษาเรื่องเมฆ convective โดยค่าสีแดงคือค่าที่ต้องการเนื่องจากเป็นค่าการสะท้อนที่แสดงถึงกลุ่มเมฆที่มีความรุนแรงที่มีแนวโน้มเป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งดังภาพที่ 4.13 ในการสกัดนั้นค่าสีแดงสามารถสกัดได้อย่างสมบูรณ์แบบเนื่องจากมีเฉดสีที่สามารถกำหนดช่วงค่าสีได้อย่างชัดเจน

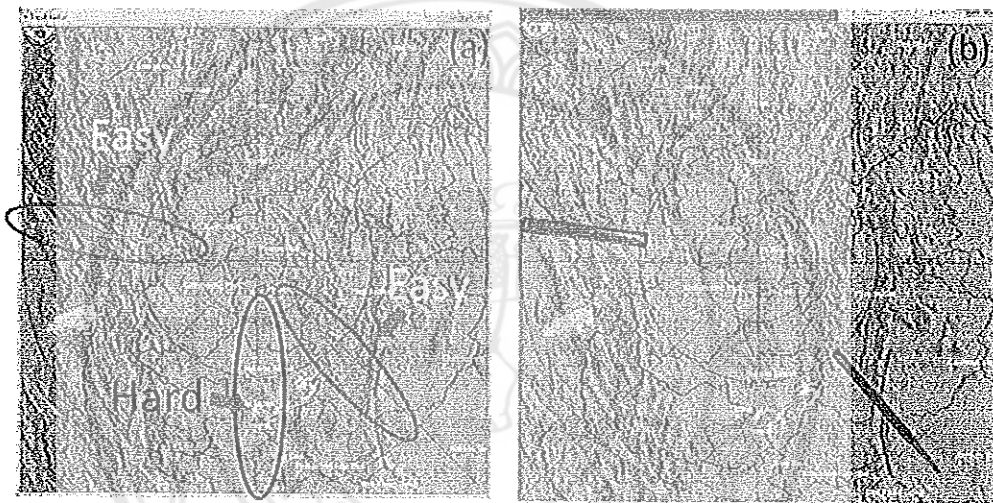


ภาพที่ 4.13 การสกัดการสะท้อนจากเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินสถานีพิษณุโลก วันที่ 26 กรกฎาคม 2560 เวลา 19.25 น. (a) ค่าการสะท้อนดั้งเดิม (b) ค่าการสะท้อนที่สกัดได้

OpenCV เพื่อกรองเอาเฉพาะค่าสีที่ต้องการที่ได้กำหนดไว้ในอาร์เรย์ค่าช่วงสี จากนั้นได้เก็บค่าสีที่สกัดได้ในอาร์เรย์ผลลัพธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบค่าสีเทา อย่างไรก็ตามค่าการสะท้อนที่สกัดได้นั้นยังมีจุดภาพที่ไม่ใช่ค่าฝนปะปนอยู่ด้วย ดังจะได้กล่าวถึงผลในหัวข้อถัดไป

4.2 การตรวจสอบค่าการสะท้อนที่ไม่ใช่กลุ่มฝนเกิดจากสัญญาณรบกวนหรือ Radar flares

ผลของการพัฒนาโค้ดในภาษาไพธอนเพื่อขจัดค่าสัญญาณรบกวนที่เรียกว่า Radar flares นั้นได้ทำการขจัดทั้งที่มีตำแหน่งที่ถาวรและไม่ถาวร กล่าวคือ Radar flares ที่ถาวรนั้นจะคงอยู่เสมอในตำแหน่งเดิมซึ่งปรากฏอยู่ทางทิศตะวันตกของภาพเรดาร์ดังเลข 1 ภาพที่ 4.13 ส่วนที่มีตำแหน่งถาวร



ภาพที่ 4.15 ภาพค่าการสะท้อนเรดาร์ที่ใช้ในการสกัดข้อมูลที่ไม่ใช่กลุ่มฝน (a) radar flares (b) การตรวจพบ radar flares

นั้นจะปรากฏเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาการกวาดข้อมูลภาพเรดาร์ ซึ่งผลที่ได้จากการพัฒนาอัลกอริทึมในส่วนนี้นั้นยังมีข้อด้อยและปัญหาที่ยังแก้ไม่ได้คือ บริเวณ Radar flare ที่มีส่วนซ้อนทับกับกลุ่มฝนจะทำให้อัลกอริทึมนี้ไม่ประสบความสำเร็จในการขจัดค่าการสะท้อนเพราะไม่สามารถแยกค่าการสะท้อนระหว่างกลุ่มฝนและไม่ใช่กลุ่มฝนได้เนื่องจากมีตัวแปรการสะท้อนตัวเดียวที่นำมาใช้ หากในอนาคตมีการใช้ค่าคอปเปอร์จะสามารถขจัดค่าการสะท้อนที่ไม่ใช่กลุ่มฝนได้ อย่างไรก็ตามการกำหนดค่าขั้นต่ำของพื้นที่ฝนที่ปกคลุมในระดับ 15% ของพื้นที่การตรวจวัดของเรดาร์สามารถขจัดค่า Radar flare อย่างมีประสิทธิภาพดังภาพที่ 4.15 จะพบว่าภาพเป็นภาพที่กลุ่มฝนน้อยกว่า 15% ของพื้นที่การตรวจวัดของเรดาร์ ดังนั้นจึงเข้าเงื่อนไขที่สามารถตรวจใช้โค้ดที่พัฒนาด้วยการตรวจวัดหาด้วยฟังก์ชัน fitEllipse ของ OpenCV ทำให้สามารถตรวจพบ radar flare สองพื้นที่คือทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่การตรวจวัดเรดาร์ อย่างไรก็ตาม radar flare ตอนล่าง

ของพื้นที่เรดาร์ไม่สามารถตรวจเจอได้ด้วยอัลกอริทึมปัจจุบันเนื่องจากมีกลุ่มฝนเคลื่อนที่ผ่านพอดี ทำให้การขจัดตรงบริเวณนี้ยังไม่สำเร็จ

```

max_eccenl=0.1 #-eccntless
min_ellipse_h=50.0 #-unit of km
max_ellipse_h=250.0 #-unit of km

ct=0 #-to count number of detected flare
for h,cnt in enumerate(contours):
    if cnt.shape[0]<5: #-prevent number of contour point less than 5
        continue

    #-apply rotated rectangle
    rect = cv2.minAreaRect(cnt) #-need to filter area of rect that more than defined
    box=cv2.boxPoints(rect)
    box = np.int0(box)
    area_rect=rect[1][0]*rect[1][1]

    #-apply fitting ellipse to contour
    ellipse = cv2.fitEllipse(cnt)
    eccentricity=ellipse[1][0]/ellipse[1][1] #-width/height
    ellipse_h=ellipse[1][1]*res #-height of ellipse in km

    #-to find radar flare meet criteria
    if ellipse_h>min_ellipse_h and ellipse_h<max_ellipse_h and eccentricity>max_eccenl: #

        print 'possible flare with area: ', area_rect*res, ' sq.km.'
        print cnt.shape[0], ';',area_rect, ';',eccentricity, '; ', ellipse_h
        #-plot possible flare area, rotated rectangle, fitting ellipse
        cv2.drawContours(img,[cnt],0,(255,0,0),-1)

        #-plot rotated box over possible flare area
        cv2.drawContours(img,[box],0,(0,0,0),3)

        #-plot fitting ellipse over possible flare area
        ellipse = cv2.fitEllipse(cnt)
        cv2.ellipse(img,ellipse,(0,0,255),2)
        #
        plot('Original 1401 radar' vs detected possible flare bounded by box and ellipse
        #
        np.imshow([img, img])

    #-create mask
    roi = np.array([cnt], dtype=np.int32)
    shape = (255, 255, 255)

    cv2.fillPoly(mask, roi, 255) #-fill mask by desired color
    plot('mask',mask)

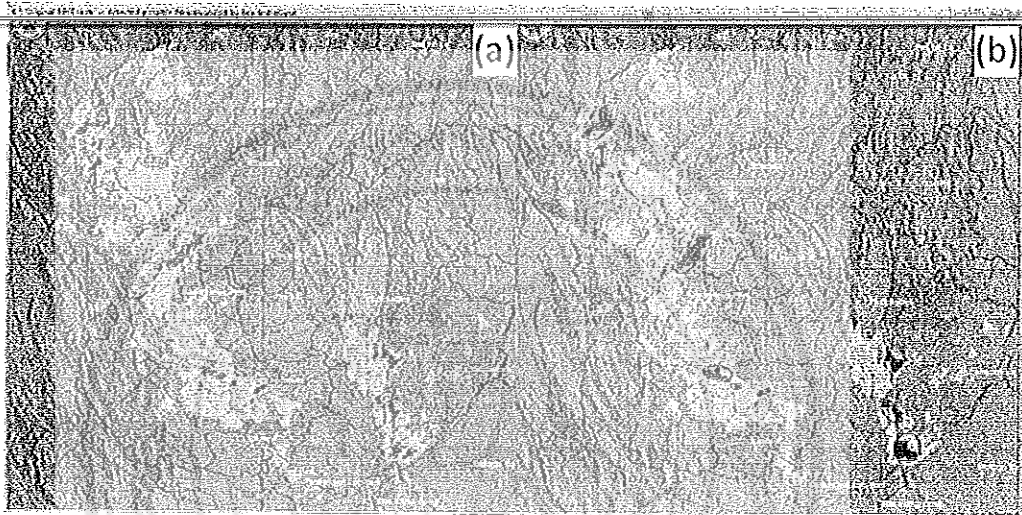
    #-count number of detected flares
    ct +=1
    
```

ภาพที่ 4.16 โค้ดไพธอนในการตรวจพื้นที่ radar flare

การตรวจ radar flare ในส่วนนี้จะใช้วงรีในการตรวจกลุ่มค่าการสะท้อนโดยมีค่าความยาวของแกนวงรีและค่า eccentricity ของวงรีเป็นเงื่อนไขในการหากลุ่มค่าการสะท้อนที่ไม่ใช่กลุ่มฝน จากนั้นทำการสร้าง mask เพื่อระบุว่าจะดูภาพบริเวณที่ตรวจพบนั้นเป็นกลุ่มของ radar flare ในอาร์เรย์ผลลัพธ์

4.3 การวิเคราะห์เมฆ

ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการในการตรวจก้อนเมฆ convective ในภาษาไพธอน ด้วยการใช้ปัจจัยนำเข้าคือ ค่าเมฆที่มีสีแดงนั่นคือ มีค่าการสะท้อนสูงแสดงถึงฝนตกหนัก เมฆที่ตรวจพบต้องมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 10 ตร.กม. หลักการในการค้นหาก้อนเมฆจะใช้ทั้งพื้นที่ขั้นต่ำรวมถึงความยาวของแกนยาววงรีที่ได้จากฟังก์ชัน fitEllipse



ภาพที่ 4.17 ผลการตรวจพบก้อนเมฆ convective วันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 19.25 LST
(a) ค่าการสะท้อนมุกแรก (b) ภาพผลการตรวจพบเมฆ convective ด้วย fitEllipse

```

max_area_rect=6000 # unit of number pixels
max_eccen=0.1 #unitless
min_ellipse_h=5.0 #unit of km
max_ellipse_h=500.0 #unit of km
cv_poly = np.zeros(close_in.shape, dtype=np.uint8) #to store roi of cv, will use in spatial analysis
ct=0 #to count number of detected flare
for h, cnt in enumerate(contours):
    if cnt.shape[0]<5: #prevent number of contour point less than 5
        continue
    #apply rotated rectangle
    rect = cv2.minAreaRect(cnt) #need to filter area of rect that sore than defined
    box=cv2.boxPoints(rect)
    box = np.int0(box)
    area_rect=rect[1][0]*rect[1][1]*res #unit in sq km
    #apply fitting ellipse to contour
    ellipse = cv2.fitEllipse(cnt)
    eccentricity=ellipse[1][0]/ellipse[1][1] #width/height
    ellipse_h=ellipse[1][1]*res #height of ellipse in km
    #apply criteria to find connective cloud
    #create mask of individual detected cloud
    mask = np.zeros(close_in.shape, dtype=np.uint8)
    if ellipse_h>min_ellipse_h and ellipse_h<max_ellipse_h and eccentricity<max_eccen and area_rect>min_area_rect:
        #plot possible cloud area, rotated rectangle, fitting ellipse
        cv2.drawContours(img, [cnt], 0, (255,0,0), 1) #by fitting center
        #plot fitting ellipse over possible cloud area
        ellipse = cv2.fitEllipse(cnt)
        cv2.ellipse(img, ellipse, (150,20,255),2) #just show
        #count number of detected connective cloud
        ct +=1
        #create mask to extract connective area
        roi = np.array([cnt], dtype=np.int32)
        cv2.fillpoly(mask, roi, 255) #fill each individual cv to find area
        plot(mask, img)
        cv2.fillpoly(cv_poly, roi, 255) #fill cv into file
        #calculate property of ellipse
        cv_area=mask[mask==255].size*res
        print 'Area of connective cloud no.',ct, ' ', cv_area, ' sq.km.' #unit in sq.km.
        print '--major axis length: ',ellipse_h, ' km.' #unit in sq.km.
        #write cv_area to file for further analysis of temporal analysis
        src= open(outpath+'stormproperties.txt', 'a')
        #add record the existing total from file in READ mode
        src=open('text.txt', 'r')
        fline= file_name[4:16]+' '+str(cv_area)+' '+str(ct)+' '+str(ellipse_h)+'\n' #problem here
        #line already added (RS) Line\n' #preexisting string
        oline=src.readlines()
        #here, we checked the string we want to on first line
        oline.insert(0, fline)
        src.close()
        #to update open the file in WRITE mode
        src=open(outpath+'stormproperties.txt', 'w')
        src.writelines(oline)
        src.close()
    #write cv_poly to file for spatial analysis of connective area
    cv2.imwrite(outpath+file_name, cv_poly)

```

ภาพที่ 4.18 โค้ดไพธอนในการการหาเมฆฝน convective

โค้ดจากภาพที่ 4.18 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจหาเมฆ convective จากข้อมูลค่าการสะท้อนที่มีปัจจัยนำเข้าคือค่าการสะท้อนของฝนที่ตกหนักที่แสดงเป็นสีแดง โดยจะทำการหา contour ของค่าการสะท้อนกลุ่มเป้าหมายที่ตรงกับเงื่อนไขกำหนดโดยค่า eccentricity ค่าความยาวของแกนวงรี และพื้นที่ของก้อนเมฆ เมื่อเงื่อนไขอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดจะทำการ mask จุดภาพของก้อนเมฆกลุ่มนั้นและทำการบันทึกค่าในอาร์เรย์ผลลัพธ์ โค้ดที่พัฒนานี้สามารถนำไปนับจำนวนก้อนเมฆได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามพื้นที่ของเมฆแต่ละก้อนจะขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนที่นำเข้าเพื่อประมวลผล หากมีข้อมูลที่ใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนในหน่วยของ dBZ จะสามารถทำให้สร้าง threshold ในการกำหนดค่าเมฆที่แตกต่างกันออกไปได้ ซึ่งอาจจะทำให้ได้ข้อมูลขนาดและจำนวนก้อนเมฆที่แตกต่างจากงานวิจัยชิ้นนี้ อีก

ทั้งหากจะพิจารณา mesoscale convective systems (MCSs) จำเป็นต้องมีการนำเมฆ stratiform เข้ามาเกี่ยวข้องในคำจำกัดความด้วย จำเป็นต้องมีการดัดแปลงโค้ดให้ตรงกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา

4.4 การวิเคราะห์การเกิดเมฆ convective เชิงพื้นที่และเวลา

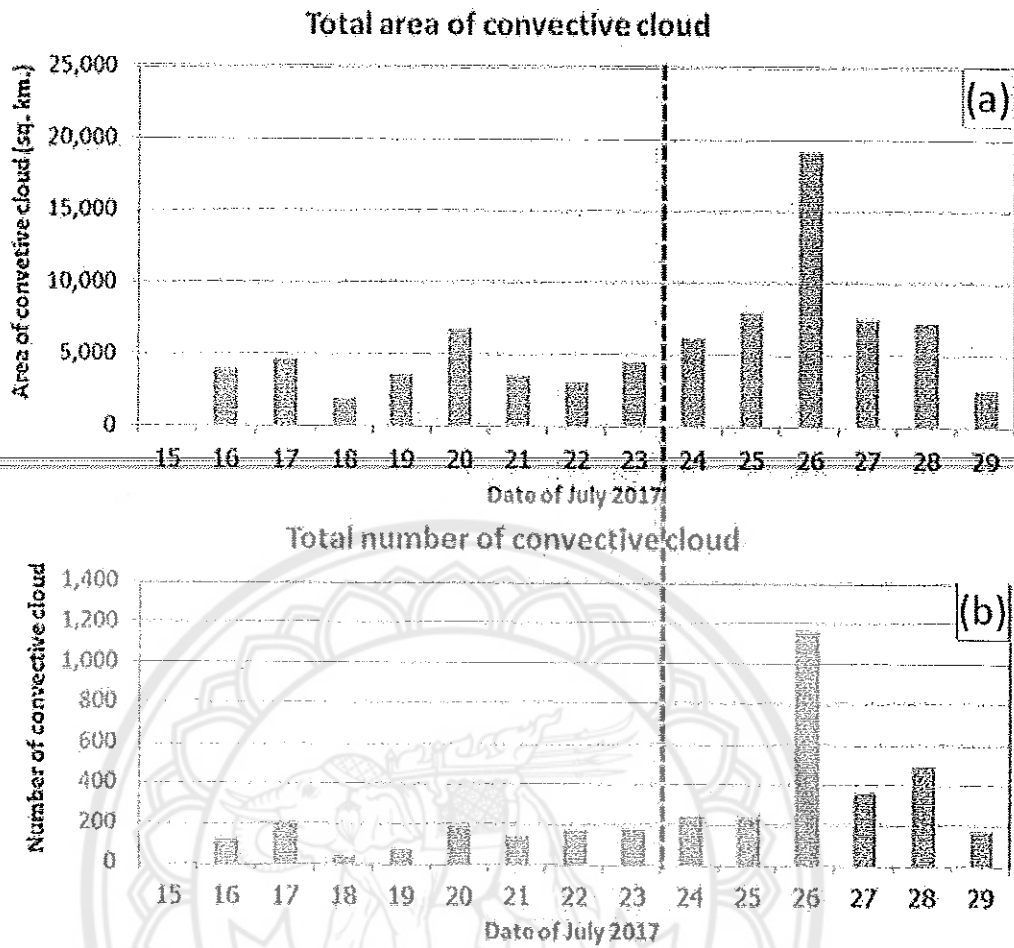
ในส่วนนี้นำข้อมูลแผนที่เรดาร์ convective ที่ได้จากหัวข้อ 4.3 มาวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่และเวลาเพื่อทำความเข้าใจลักษณะการกระจายตัวและลักษณะความถี่ของเมฆฝนที่รุนแรงในช่วงเหตุการณ์

Sonca ซึ่งแบ่งการเปรียบเทียบเป็นช่วงเวลา 9 วันก่อนพายุเข้ากับระหว่างเหตุการณ์พายุจำนวน 6 วันคือ ช่วงระหว่าง 15-23 กรกฎาคม 2560 กับ ช่วง 24-29 กรกฎาคม 2560 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 สถิติเปรียบเทียบเมฆ convective ก่อนและระหว่างเหตุการณ์พายุ Sonca

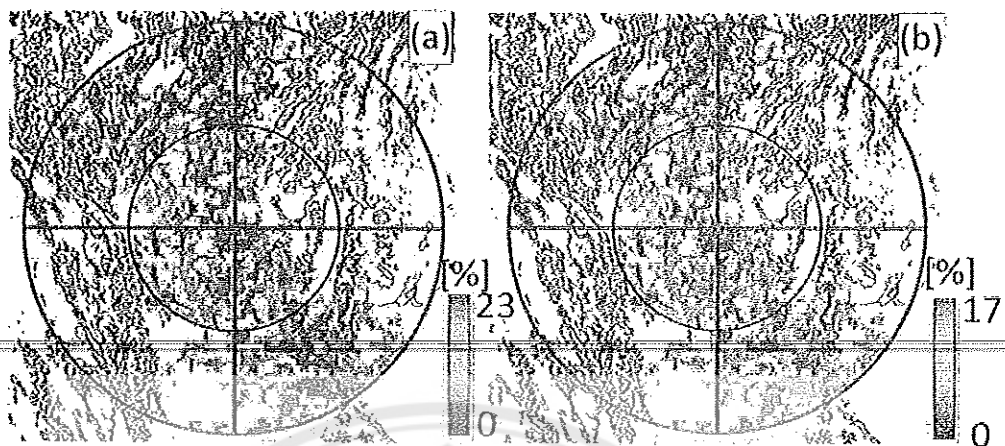
	SONCA Period	Before SONCA period
1 Total area (km ²)	50,810.23	31,973.57
2 Average area (km ²)	102.65	91.88
3 S.D. area (km ²)	151.19	120.34
4 Total number of CV	2,651.00	1,112.00
5 Average number of CV	5.36	3.20
6 S.D. number of CV	4.35	2.26
7 Total length of CV (km)	6,754.69	4,737.52
8 Average length of CV (km)	13.65	13.61
9 S.D. length of CV (km)	12.55	11.11

ตารางที่ 6 พบว่าพื้นที่ช่วงที่เกิดพายุ Sonca มีขนาดใหญ่เกือบเป็นสองเท่าตัวกับช่วงฝนก่อนเกิดเหตุการณ์พายุ นอกจากนั้นจำนวนพายุ convective ก็มีมากกว่า 2.5 เท่าเมื่อเทียบกับช่วงก่อนเหตุการณ์ แสดงถึงความรุนแรงของพายุที่สร้างผลกระทบต่อนพื้นที่ตอนกลางของอินโดจีน อย่างไรก็ตามรายงานเหตุการณ์ผลกระทบพบว่าจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับผลกระทบอย่างมากจากเหตุการณ์พายุนี้เนื่องจากเป็นเส้นทางผ่านของพายุและกำลังของพายุกำลังมีความรุนแรงมากกว่าในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย



ภาพที่ 4.19 สถิติรายวันในช่วงก่อนและระหว่างเหตุการณ์พายุ Sonca (a) พื้นเมฆ convective ที่ทั้งหมด (b) จำนวนเมฆ เส้นประสีแดงแสดงการแบ่งช่วงเวลาก่อนและระหว่างเกิดพายุ

สถิติที่พบระหว่างก่อนเกิดพายุและระหว่างเหตุการณ์พายุจะพบว่าก่อนเกิดพายุมีพื้นที่เมฆ convective ในจำนวนที่น้อยในแต่ละวันดังภาพ 4.19a ส่วนในช่วงระหว่างเหตุการณ์มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนเมฆ convective อย่างชัดเจน โดยเฉพาะวันที่ 26 กรกฎาคมนั้นมีพื้นที่สูงเกือบ 20,000 ตร.กม. ส่วนจำนวนก้อนเมฆก็เช่นกันดังภาพ 4.19b ในวันที่ 26 กรกฎาคมนั้นมีจำนวนเมฆที่สูงถึง 1,200 ก้อนมากกว่าวันอื่นๆในช่วงระหว่างเหตุการณ์ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ของเมฆ ข้อมูลที่พบนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลแนวทางที่จะเฝ้าติดตามความรุนแรงของพายุเพื่อเตือนภัยให้กับประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยเช่น ดินถล่ม น้ำท่วมฉับพลันบนพื้นที่สูงได้



ภาพที่ 4.20 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความถี่ในการเกิดเมฆ convective ในช่วง (a) วันที่ 26 กรกฎาคม 2560 (b) ชั่วโมงที่มีพื้นที่ฝนมากที่สุดคือ ชั่วโมงที่ 23, 12 และ 04 ตามเวลาท้องถิ่น

รูปแบบของความถี่ในการเกิดเมฆ convective ของวันที่มีความถี่สูงสุดและชั่วโมงที่มีความถี่สูงสุดตามภาพที่ 4.20a และ 4.20b พบว่าการวางตัวของแนวเมฆฝนในทิศตะวันตกเฉียงเหนือถึงตะวันออกเฉียงใต้ ภาพที่ 4.20a จะพบว่าความถี่ของเมฆจะเกิดบริเวณที่เป็นหน้าเขาหรือเชิงเขาสอดคล้องกับชั่วโมงที่มีความถี่ของการเกิดเมฆสูงสุด 3 ชั่วโมงตามภาพที่ 4.20b ข้อมูลเชิงพื้นที่นี้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อหน่วยงานกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่เป้าหมายซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนในการเตือนภัยอย่างมาก หากทางราชการได้นำเกณฑ์ด้านความเสี่ยงภัยมาใช้ในการเตือนภัยใกล้เวลาจริงร่วมกับข้อมูลเรดาร์ในช่วงที่เกิดพายุจะช่วยลดผลกระทบจากภัยพิบัติได้อย่างมาก

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาความผันแปรทางโครงสร้างกายภาพของเมฆฝนในตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีน โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานข้อมูลระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM ที่มีการตรวจวัดข้อมูลจากเซนเซอร์ ไมโครเวฟ เรดาร์ และฟ้าแลบ นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินมาใช้ในการศึกษาเมฆ convective ในช่วงที่พายุ SONCA พัดผ่านตอนกลางของอินโดจีน โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้พัฒนากระบวนการวิเคราะห์ในภพซิกไนท์เพื่อให้ได้โค้ดต้นแบบดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง

การศึกษาความผันแปรของโครงสร้างกายภาพระบบฝนในครั้งนี้แบ่งช่วงการศึกษาเป็นสามฤดูกาลคือ ช่วงก่อนฤดูมรสุม ฤดูมรสุมและช่วงหลังฤดูมรสุม โดยใช้ข้อมูล TRMM จำนวน 16 ปีตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 ถึง ค.ศ.2013 เหนือพื้นที่ตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีน ในการหาวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของฤดูมรสุมนั้นได้ใช้ข้อมูล TRMM 3b42 daily เพื่อกำหนดช่วงฤดูกาลตามวิธีการของ Matsumoto (1997) ส่วนข้อมูลระบบฝนนั้นได้มาจาก university of Utah หรือ TRMM Precipitation Features (PFs) database ซึ่งมีตัวแปรที่ถูกสร้างขึ้นจากเซนเซอร์ที่ตรวจวัดในระบบวงโคจรแล้วถูกแปลงจัดเก็บในรูปแบบเหตุการณ์ฝนแบบรายเดือน ได้ข้อสรุปของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- มีความผันแปรในรอบปีและระหว่างปีของความรุนแรงของฝนและช่วงเวลาของฤดูกาลทั้งสามที่แตกต่างกันในแต่ละปีตามวิธีการที่ใช้ พบว่า pentad ของวันเริ่มต้นฤดูมรสุมที่สุดและช้าที่สุดคือ 19 และ 26 ตามลำดับ ส่วนวันสุดท้ายของการสิ้นสุดฤดูมรสุมที่เร็วและช้าที่สุดเกิดขึ้นใน Pentad ที่ 53 และ 61 ตามลำดับ
- ระบบฝนแบบ MCSs มีอิทธิพลอย่างสูงเนื่องจากคิดเป็นสัดส่วนถึง 70% ของเหตุการณ์ฝนทั้งหมด พบว่า sub-MCSs มีอิทธิพลอย่างสูงในช่วงหลังฤดูมรสุมคิดเป็นสัดส่วนถึง 83.4% ในขณะที่ช่วงก่อนมรสุมพบ IMCS 2.7% ซึ่งถือว่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสามช่วงที่นำมาศึกษา
- รูปแบบกลุ่มฝนที่มีขนาดเล็กมีอิทธิพลต่อลักษณะฝนในพื้นที่ศึกษานี้มากพบว่า มากกว่า 95% จากระบบฝนทั้งหมดที่มีขนาดพื้นที่เล็กกว่า 1,000 ตร.กม. เมื่อพิจารณาเรื่องการกระจายเชิงพื้นที่ที่จะพบว่าในทางตะวันตกและทางเหนือของภูมิภาคอินโดจีนมีอัตราความถี่ของการเกิด sub-MCSs และ MCSs ที่สูงในช่วงฤดูมรสุม ในขณะที่ทางตอนใต้ของภูมิภาคอินโดจีนและ

เหนือพื้นมหาสมุทรช่วงหลังฤดูมรสุมจะพบว่ามีส่วน MCSs และ sub-MCSs ที่สูงตามลำดับ

- เมฆที่มีความรุนแรงและขนาดที่สูงจากตัวแปร Maxht30 และ Maxdbz6 ที่ได้จากเซนเซอร์ PR และผ่านการประมวลผลถูกจัดเก็บไว้ใน PFs database พบว่า IMCSs มีอิทธิพลที่สูงในตอนกลางของภูมิภาคอินโดจีนโดยจะพบว่าสูงในช่วงก่อนฤดูมรสุมซึ่งพบในทางตะวันตกที่เป็นแถบแนวเทือกเขาของภูมิภาคอินโดจีน นอกจากนี้ยังพบว่า sub-MCSs ในช่วงฤดูมรสุมมีอิทธิพลสูงมากในทางตอนเหนือของภูมิภาค
- จากการศึกษาลักษณะความรุนแรงของ convective โดยใช้ CDF พบว่ามีความผันแปรในรอบปีตามช่วงเวลาที่ศึกษาทั้งสามช่วง จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ที่ได้ค่าที่ได้จากตัวแปร min85pct maxht30 และ maxdbz6 พบว่า MCSs มีความรุนแรงในช่วงก่อนฤดูมรสุมหากเปรียบเทียบระหว่าง MCSs กับ sub-MCSs แล้วจะพบว่า MCSs มีความรุนแรงมากกว่าพบในช่วงก่อนฤดูมรสุมมีความสูงมากกว่า 18 กม.จากพื้นดินจากการวิเคราะห์ VPRR
- ค่าการกระเจิงของสัญญาณไมโครเวฟที่มีต่อแกนกลางของ convective ที่ได้จากตัวแปร 85PCT พบว่าตำแหน่งของระบบฝน convective มีการกระจายตัวแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกันไปตามช่วงเวลาที่ศึกษาทั้งสาม จากการใช้ข้อมูลความสูงของเมฆสูงสุดในช่วงก่อนฤดูมรสุมพบว่าความสูงเฉลี่ยของเมฆอยู่ที่ 8 กม.พบมากในทางตะวันตกของภูมิภาคอินโดจีน จากการใช้ข้อมูลฟ้าแลบและข้อมูลการกระเจิงสัญญาณไมโครเวฟพบว่ามีความแตกต่างของโครงสร้างไมโครฟิสิกส์ของเมฆในแต่ละช่วงเวลา
- ความถี่ของฟ้าแลบในพื้นที่แผ่นดินของภูมิภาคอินโดจีนมีสัดส่วนที่สูงกว่าพื้นที่รอบข้างที่เหนือน้ำทะเล พบว่าความถี่สูงสุดของฟ้าแลบในช่วงก่อนฤดูมรสุมโดยพบในทิศตะวันตก ทิศเหนือบริเวณพื้นที่สูงของภูมิภาคอินโดจีนโดยมีจำนวนฟ้าแลบ 20 ครั้งต่อหนึ่งระบบฝนในทางตอนเหนือของอินโดจีน

5.1.2 การศึกษาคุณสมบัติของเมฆฝน Convective ด้วยการพัฒนาระบบการสกัดค่าการสะท้อนจากเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินในช่วงพายุฝน Sonca ข้อมูลภาพเรดาร์แบบ GIF ของสถานีเรดาร์ที่พิษณุโลกถูกดาวน์โหลดจากเว็บสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) ซึ่งเป็นข้อมูลเรดาร์ที่ถูกตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาที่สามารถเข้าถึงได้อย่างสาธารณะ ผู้วิจัยได้มีการพัฒนาระบบการสกัดข้อมูลภาพเรดาร์และกระบวนการตรวจวัดเมฆ convective ในช่วงที่เกิดพายุ Sonca และช่วงก่อนเกิดพายุ โดยใช้ภาษาไพธอน ซึ่งทำให้ได้โค้ดต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อสร้างระบบเตือนภัยเมฆฝนที่รุนแรง

ในช่วงพายุให้กับพื้นที่เป้าหมาย จากผลการศึกษาพบว่าในช่วงที่เกิดพายุโดยเฉพาะวันที่ 26 กรกฎาคม 2560 มีจำนวนพายุและพื้นที่ฝนที่เกิดจาก convective ที่สูงอย่างเด่นชัดกว่าช่วงเวลาอื่น นอกจากนั้นช่วงที่เกิดพายุมีจำนวนเมฆและพื้นที่ฝนที่เกิดจาก convective มากกว่าช่วงก่อนเกิดเหตุ อย่างเด่นชัดเช่นกัน เมื่อนำข้อมูลแผนที่เรดาร์ที่ได้จากการตรวจพบ convective แต่ละช่วงเวลามาหา ความถี่ของการเกิดพายุฝนนี้ จะพบว่าสามารถระบุพื้นที่ที่มีความถี่สูงได้ ดังนั้นจากงานวิจัยครั้งนี้ สามารถเป็นแนวทางในการสร้างระบบเตือนภัยแบบใกล้เวลาจริงให้กับพื้นที่เป้าหมายภัยพิบัติเช่น ดิน ถล่มและน้ำท่วมฉับพลันในช่วงเกิดเหตุการณ์พายุได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ช่วงเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและช่วงฝนทิ้งช่วงเป็นช่วงที่นักศึกษาในเรื่องของคุณลักษณะและโครงสร้างของระบบฝนเนื่องจากมีความแตกต่างทางด้านไมโครฟิสิกส์ของเมฆ นอกจากนั้นการทำการเปรียบเทียบบนบกและทะเลยังทำให้ทราบถึงความแตกต่างของกายภาพเมฆได้
2. การใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินร่วมกับฐานข้อมูล TRMM และ GPM จะช่วยให้เข้าใจภูมิอากาศวิทยาของเมฆได้มากขึ้นในภูมิภาคอินโดจีน
3. นำเสนอแนวคิดและวิธีการที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้เพื่อสร้างระบบโดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเตือนภัยในพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติของประเทศไทย ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจของฝนในพื้นที่เป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- Carlson, T. N., S. G. Benjamin, G. S. Forbes, and Y.-F. Li, 1983: Elevated mixed layers in the regional severe storm environment: Conceptual model and case studies. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1453–1474.
- Cecil, D. J., and E. J. Zipser, 1999: Relationships between tropical cyclone intensity and satellite-based indicators of inner core convection: 85-GHz ice-scattering signature and lightning. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 103–123.
- DeMott, C. A., and S. A. Rutledge, 1998: The vertical structure of TOGA COARE convection. Part I: Radar echo distributions. *J. Atmos. Sci.*, 55, 2730–2747.
- Donaldson, R. J., 1961: Radar reflectivity profiles in thunderstorms. *J. Meteor.*, 18, 292–305.
- Dye, J. E., W. P. Winn, J. J. Jones, and D. W. Breed, 1989: The electrification of New Mexico thunderstorms. 1. Relationship between precipitation development and the onset of electrification. *J. Geophys. Res.*, 94, 8643–8656.
- Fudeyasu, H., S. Iizuka, and T. Matsuura, 2006: Impact of ENSO on landfall characteristics of tropical cyclones over the western North Pacific during the summer monsoon season. *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi:10.1029/2006GL 027449.
- Garreaud, R. D., and J. M. Wallace, 1998: Summertime incursions of midlatitude air into subtropical and tropical South America. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2713–2733.
- Hartman, D. L., H. H. Hendon, and R. A. Houze Jr., 1984: Some implications of the mesoscale circulations in tropical cloud clusters for large scale dynamics and climate. *J. Atmos. Sci.*, 41, 113–121.
- Houze, R. A., Jr., 1993: *Cloud Dynamics*. Academic Press, San Diego, 573 pp.
- Houze, R. A., Jr., D. C. Wilton, and B. F. Smull, 2007: Monsoon convection in the Himalayan region as seen by the TRMM Precipitation Radar. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 133, 1389–1411.
- Huffman, G. J., and Coauthors, 2007: The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeor.*, 8, 38–55, doi:10.1175/JHM560.1.

- Kummerow, C., W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, 1998: The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 15, 809–817.
- Liu, C., 2013: University of Utah TRMM precipitation and cloud feature database description version 2.0, Department of Atmospheric Sciences, University of Utah, 33pp.
- Liu, C., E. J. Zipser, D. J. Cecil, S. W. Nesbitt, and S. Sherwood, 2008: A cloud and precipitation feature database from nine years of TRMM observations. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 47, 2712–2728.
- Mahavik, N., T. Satomura, S. Shige, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2014: Rainfall pattern over the middle of Indochina Peninsula during 2009–2010 summer monsoon. *HRL.*, 8, 57–63.
- Mahavik, N., 2015: Study on rainfall over the middle of the Indo-China Peninsula during summer monsoon by producing gauge-calibrated ground-based radar data, Ph.D. Dissertation, Kyoto University, Japan, 114pp.
- Matsumoto, J., 1997: Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and adjacent monsoon region. *Adv. Atmos. Sci.*, 14, 231–245.
- Medina, S., R. A. Houze Jr., A. Kumar, and D. Niyogi, 2010: Summer monsoon convection in the Himalayan region: Terrain and land cover effects. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 136, 593–616.
- Mohr, K. I., and E. J. Zipser, 1996: Mesoscale convective systems defined by their 85-GHz ice scattering signature: Size and intensity comparison over tropical oceans and continents. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2417–2437.
- Nesbitt, S. W., E. J. Zipser, and D. J. Cecil, 2000: A census of precipitation features in the tropics using TRMM: Radar, ice scattering, and lightning observations. *J. Climate*, 13, 4087–4106.
- Nodzu, M. I., Ogino, Y. S., Tachibana, Y., and Yamanaka, M. D. (2006). Climatological description of seasonal variations in lower-tropospheric temperature inversion layers over the Indochina Peninsula. *Clim. J.* 19, 3307–3319.
doi:10.1175/JCLI3792.1

- Ohsawa, T., H. Ueda, T. Hayashi, A. Watanabe, and J. Matsumoto, 2001: Diurnal variations of convectivity and rainfall in tropical Asia. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 79, 333–352.
- Okumura, K., T. Satomura, T. Oki, and W. Khantiyanan, 2003: Diurnal variation of precipitation by moving mesoscale systems: radar observations in northern Thailand. *Geophys. Res. Lett.*, 30.
- Ose, T, 1998: Seasonal change of Asian summer monsoon circulation and its heat source. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 76, 1045– 1063.
- Petersen, W. A., and S. A. Rutledge, 2001: Regional variability in tropical convection: Observations from TRMM. *J. Climate*, 14, 3566–3586.
- Petersen, W. A., S. A. Rutledge, and R. E. Orville, 1996: Cloud-to-ground lightning observations from TOGA COARE: Selected results and lightning location algorithms. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 602–620.
- Petersen, W. A., R. C. Cifelli, S. A. Rutledge, B. S. Ferrier, and B. F. Smull, 1999: Shipborne dual-Doppler operations during TOGA COARE: Integrated observations of storm kinematics and electrification. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 81–96.
- Rasmussen, K. L., and R. A. Houze Jr., 2011: Orographic convection in subtropical South America as seen by the TRMM satellite. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 2399–2420.
- Romatschke, U., and R. A. Houze Jr., 2010: Extreme summer convection in South America. *J. Climate*, 23, 3761–3791.
- Satomura, T., 2000: Diurnal variation of precipitation over the Indo-China Peninsula: two-dimensional numerical simulation. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 78, 461–475.
- Satomura, T., K. Yamamoto, B. Sysouphanthavong, and S. Phonevilay, 2011: Diurnal variation of radar echo area in the middle of Indochina. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 89a, 299-305.
- Sperber, K. R., and T. Yasunari, 2006: Workshop on monsoon climate systems: Toward better prediction of the Monsoon. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 1399–1403.
- Spencer, R. W., H. G. Goodman, and R. E. Hood, 1989: Precipitation retrieval over land and ocean with the SSM/I: Identification and characteristics of the scattering signal. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 254–273.

- Takahashi, H., and T. Yasunari, 2006: A climatological monsoon break in rainfall over Indochina—A singularity in the seasonal march of the Asian summer monsoon. *J. Climate*, 19, 1545–1556.
- Vivekanandan, J., J. Turk, and V. N. Bringi, 1991: Ice water path estimation and characterization using passive microwave radiometry. *J. Appl. Meteor.*, 30, 1407–1421.
- Wang, B., and Lin Ho. (2002). Rainy season of the Asian–Pacific summer monsoon. *Clim. J.* 15, 386–398. doi:10.1175/1520-0442(2002)015<0386:RSOTAP>2.0.CO;2
- Williams, E. R., S. A. Rutledge, S. G. Geotis, N. Renno, E. Rasmussen, and T. Rickenbach, 1992: A radar and electrical study of tropical “hot towers.” *J. Atmos. Sci.*, 49, 1386–1395.
- Xie, S.-P., H. Xu, N. Saji, and Y. Wang, 2006: Role of narrow mountains in large-scale organization of Asian monsoon convection. *J. Climate.*, 19, 3420–3429.
- Xu, W., E. J. Zipser and C. Liu, 2009: Rainfall characteristics and convective properties of mei-yu precipitating systems over South China, Taiwan, and the South China Sea. Part I: TRMM observations. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 4261–4275.
- Xu, W., and E. J. Zipser, 2012: Properties of deep convection in tropical continental, monsoon, and oceanic rainfall regimes. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L07802, doi:10.1029/2012GL051242.
- Zipser, E. J., D. J. Cecil, C. Liu, S. W. Nesbitt, and D. P. Yorty, 2006: Where are the most intense thunderstorms on Earth? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 1057–1071.
- Zipser, E. J., and K. R. Lutz, 1994: The vertical profile of radar reflectivity of convective cells: A strong indicator of storm intensity and lightning probability? *Mon. Wea. Rev.*, 122, 1751–1759.

ภาคผนวก ก
การตัดข้อมูล HDF ให้ตรงกับขอบเขตพื้นที่ศึกษาและwrite ฟอ์แมท

binary

มหาวิทยาลัยนเรศวร

```
# -*- coding: utf-8 -*-  
...  
Created on Sun Apr 14 18:00:09 2019  
#--sub set parameter and study area  
Read all PFs for each month and subset for interested parameters by large studyarea  
and stack month to each year  
Write to pfs file of each year in binary format  
output array:  
MAXHTLAT;MAXHTLON;MAXHT;NPIXELS_PR;BOOST;LANDOCEAN;MAXHT30;  
NCONV_2A25;FLASHCOUNT;MIN85PCT;YEAR;MONTH;DAY;HOUR;MAXDBZ  
Next: read and subset for small subset areas [land and sea]  
  
@author: Nattapon Mahavik, Naresuan University, Thailand  
...  
#self.left = None  
import gc  
gc.collect()  
import os  
import matplotlib as mpl  
import matplotlib.pyplot as plt  
from mpl_toolkits.basemap import Basemap  
import numpy as np  
from pyhdf.SD import SD, SDC  
path='D:/Yang/1Geoinformatic_data/Satellite_Rain_products/TRMM/1PF_liu/RPF_level2/'  
output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1large_area_y  
early/'  
os.chdir(path)  
  
lst_fd_yr=[x[1] for x in os.walk(path)]  
lst_fd_yr=lst_fd_yr[0] #-get sub folder only  
  
#-loop through each year PFs  
#-loop main folder of all sub year folders here!  
#pfs=np.zeros(54) #-for Indochina land  
for yrfd in lst_fd_yr:
```

```

os.chdir(path+yrfd) #change dir
print "+"
print "+"
print "+"
print
"++++"
++++"
print "->Find pentad each year to define pre, monsoon and post period in: ",yrfd
print
"++++"
++++"

#-loop files *nc4 inside sub year
ct=0
pfs=np.zeros(54)
for filename in os.listdir(path+yrfd):
    if filename.endswith(".HDF"):
        print '---',filename
        hdf = os.path.join(path+yrfd, filename)
        hdf = SD(hdffile, SDC.READ)
        # Read dataset.
        lat = hdf.select('MAXHTLAT') #0
        lats = lat[:]
        lon = hdf.select('MAXHTLON') #-1
        lons = lon[:]
        mht = hdf.select('MAXHT') #-2
        mht= mht[:]
        npr = hdf.select('NPIXELS_PR') #-3
        npr = npr[:]
        bot = hdf.select('BOOST') #-4
        bot = bot[:]
        loc = hdf.select('LANDOCEAN')#-5
        loc = loc[:]
        m30 = hdf.select('MAXHT30')#-6
        m30 = m30[:]
        ncv = hdf.select('NCONV_2A25')#-7

```

```
ncv = ncv[:]  
fct = hdf.select('FLASHCOUNT')#-8  
fct = fct[:]  
m85 = hdf.select('MIN85PCT')#-9  
m85 = m85[:]  
yy = hdf.select('YEAR') #-10  
yy = yy[:]  
mm = hdf.select('MONTH')#-11  
mm = mm[:]  
dd = hdf.select('DAY')#-12  
dd = dd[:]  
hh = hdf.select('HOUR')  
hh = hh[:]  
mdz = hdf.select('MAXDBZ') #-40 columns  
mdz = mdz[:, :]/100.  
  
#-store > all parameters  
var=np.zeros((len(lats),54),dtype = "float")  
var[:,0]=lats[:]  
var[:,1]=lons[:]  
var[:,2]=mht[:]  
var[:,3]=npr[:]  
var[:,4]=bot[:]  
var[:,5]=loc[:]  
var[:,6]=m30[:]  
var[:,7]=ncv[:]  
var[:,8]=fct[:]  
var[:,9]=m85[:]  
var[:,10]=yy[:]  
var[:,11]=mm[:]  
var[:,12]=dd[:]  
var[:,13]=hh[:]  
var[:,14:]=mdz[:, :]  
  
del lats,lons,mht,npr,bot,loc,m85,yy,mm,dd,hh,mdz
```

```

#-----
#-find vertical profiles of maximum radar reflectivity for each PFs
#-pfs over land and sea
tmp_pfs=var[(var[:,0]>-2) & (var[:,0]<26.0) & (var[:,1]>88.0) & (var[:,1]<122.0)]
del var #-clear memory
pfs=np.vstack((pfs,tmp_pfs)) #-append
#     ct +=1
#     if ct<12:
#         pfs=np.vstack((pfs,tmp_pfs)) #-append
#     else:
#         break
# break
#-write array to binary for each year PFs
pfs.astype('float32').tofile(output_path+'pfs'+yrfd+'.bin')
print '--- writing: ',output_path+'pfs'+yrfd+'.bin'
del pfs

#-read binary array and reshape
#pfs_read=np.reshape(np.fromfile('pfs.bin',dtype=np.float32),pfs.shape)

```





```
# -*- coding: utf-8 -*-  
...  
  
Created on Sun Apr 14 21:17:27 2019  
#-subset seasons by excluding mdz used for VPR  
read parametrs from output "20190414PlotGetGmonsoonPentadAllyears.py"  
yrfd,p_mean,pt_os,pt_wd,date_onset,date_wtdrw,mno,mnw,leap_year, num_premns_date,  
num_monsn_date, num_posms_date  
  
prm=premonsoon  
msn=monsoon  
ptm=postmonsoon  
output array:  
MAXHTLAT;MAXHTLON;MAXHT;NPPIXELS_PR;BOOST;LANDOCEAN;MAXHT30;  
NCONV_2A25;FLASHCOUNT;MIN85PCT;YEAR;MONTH;DAY;HOUR  
#-next to subset by small areas land and sea  
@author: Nattapon Mahavik, Naresuan University, Thailand  
...  
  
import gc  
gc.collect()  
import os  
import matplotlib as mpl  
import matplotlib.pyplot as plt  
from mpl_toolkits.basemap import Basemap  
import numpy as np  
  
path_para=r'D:\Yang\1Reseach\0.2562.TRMM_PR_structurePrecp\1results'  
os.chdir(path_para)  
para = np.loadtxt("1output_monsoon_period.txt", delimiter=" ", unpack=False)  
  
pf_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1 data/1pfs_subset/1large_area_yearl  
y/'  
os.chdir(pf_path)  
#pfs_ms=np.zeros(54)  
#pfs_prem=np.zeros(54)  
#pfs_ptms=np.zeros(54)
```



```

pfs_ms=np.zeros(14)
pfs_prem=np.zeros(14)
pfs_ptms=np.zeros(14)
for i in range(len(para[:,0])):
# print int(i)
#-find dates on season
if para[i,8]==1.0:
#-premonsoon
if para[i,6]==4.0:
dt_endprem= para[i,4]-90+1-1
if para[i,6]==5.0:
dt_endprem=para[i,4]-120+1-1

#-monsoon
if para[i,7]==9.0:
dt_endms= para[i,5]-243+1-1
if para[i,7]==10.0:
dt_endms=para[i,5]-273+1-1
if para[i,7]==11.0:
dt_endms=para[i,5]-305+1-1
dt_endptms=336+1
else:
#-premonsoon
if para[i,6]==4.0:
dt_endprem= para[i,4]-90-1
if para[i,6]==5.0:
dt_endprem=para[i,4]-120-1

#-monsoon
if para[i,7]==9.0:
dt_endms= para[i,5]-243-1
if para[i,7]==10.0:
dt_endms=para[i,5]-273-1
if para[i,7]==11.0:
dt_endms=para[i,5]-305-1

```

```

dt_endptms=336
dt_stprem=1
dt_onset=dt_endprem+1
dt_wildw=dL_endms+1

#-screen period of season using finding dates above
pf_file='pfs'+str(int(para[i,0]))+'.bin'

print pf_file

#-read pfs file
pfs=np.fromfile(pf_file,dtype=np.float32)
row=pfs.shape[0]/54 #-get number of row by number of col=54
#-set new name by file name year
pfs=np.reshape(pfs,(row,54))
yy_pf=int(pf_file[3:7])
# print yy_pf

#-screen season period #-need to do one by one season due to memory error
#-stack screen data to each period file
#-run one by one season due to memory run out
#-pre_monsoon
prem=pfs[(pfs[:,10]==yy_pf)& (pfs[:,11]>=2) &(pfs[:,11]<=para[i,6]) &
(pfs[:,12]>dt_stprem)&(pfs[:,12]<dt_endprem)]
pfs_prem=np.vstack((pfs_prem,prem[:,14])) #-append not include mdz

# #-monsoon
ms=pfs[(pfs[:,10]==yy_pf)& (pfs[:,11]>=5) &(pfs[:,11]<=para[i,7]) &
(pfs[:,12]>=(dt_endprem+1))&(pfs[:,12]<dt_endptms)]
pfs_ms=np.vstack((pfs_ms,ms[:,14])) #-append not include mdz
# del ms,pfs,yy_pf
# gc.collect()

# #-postmonsoon
ptms=pfs[(pfs[:,10]==yy_pf)& (pfs[:,11]>=para[i,7]) &(pfs[:,11]<=11) &
(pfs[:,12]>=(dt_endms))&(pfs[:,12]<dt_endptms)]
pfs_ptms=np.vstack((pfs_ptms,ptms[:,14])) #-append not include mdz

```

```
#-write to files
output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1large_area_s
eason/'
pfs_prem.astype('float32').tofile(output_path+'pfs_premonsoon.bin')

output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1large_area_s
eason/'
pfs_ms.astype('float32').tofile(output_path+'pfs_monsoon.bin')
#
output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1large_area_s
eason/'
pfs_ptms.astype('float32').tofile(output_path+'pfs_postmonsoon.bin')
```



การตัดข้อมูลให้อยู่ในฤดูกาลและพื้นที่ที่ต้องการ

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
***
```

```
Created on Mon Apr 15 14:03:59 2019
```

```
#-subset seasons inland IP by including mdz used for VPR
```

```
read paramtrs from output "20190414PlotGetGmonsoonPentadAllyears.py"
```

```
yrfd,p_mean,pt_os,pt_wd,date_onset,date_wtdrw,mno,mnw,leap_year, num_premis_date,
```

```
num_monson_date,num_posms_date
```

```
prm=premonsoon
```

```
msn=monsoon
```

```
ptm=postmonsoon
```

```
output array:
```

```
MAXHTLAT;MAXHTLON;MAXHT;NPIXELS_PR;BOOST;LANDOCEAN;MAXHT30;
```

```
NCONV_2A25;FLASHCOUNT;MIN85PCT;YEAR;MONTH;DAY;HOUR;MAXDBZ
```

```
#-next to calculate vpr inland ip
```

```
@author: ANS
```

```
***
```

```
import gc
```

```
gc.collect()
```

```
import os
```

```
import matplotlib as mpl
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from mpl_toolkits.basemap import Basemap
```

```
import numpy as np
```

```
path_para='D:\Yang\1Reseach\0.2562.TRMM_PR_structurePrecp\1results'
```

```
os.chdir(path_para)
```

```
para = np.loadtxt("1output_monsoon_period.txt", delimiter=" ", unpack=False)
```

```
pf_path='D:\Yang\1Reseach\0.2562.TRMM_PR_structurePrecp\1data\1pfs_subset\1large_area_year\1'
```

```
os.chdir(pf_path)
```

```
pfs_ms=np.zeros(54)
```

```
pfs_prem=np.zeros(54)
```

```
pfs_ptms=np.zeros(54)
for i in range(len(para[:,0])):
# print int(i)
#-find dates on season
if para[i,8]==1.0:
#-premonsoon
if para[i,6]==4.0:
dt_endprem= para[i,4]-90+1-1
if para[i,6]==5.0:
dt_endprem=para[i,4]-120+1-1
```

```
#-monsoon
if para[i,7]==9.0:
dt_endms= para[i,5]-243+1-1
if para[i,7]==10.0:
dt_endms=para[i,5]-273+1-1
if para[i,7]==11.0:
dt_endms=para[i,5]-305+1-1
dt_endptms=336+1
else:
#-premonsoon
if para[i,6]==4.0:
dt_endprem= para[i,4]-90-1
if para[i,6]==5.0:
dt_endprem=para[i,4]-120-1
```

```
#-monsoon
if para[i,7]==9.0:
dt_endms= para[i,5]-243-1
if para[i,7]==10.0:
dt_endms=para[i,5]-273-1
if para[i,7]==11.0:
dt_endms=para[i,5]-305-1
dt_endptms=336
dt_siprem=1
```

```

dt_onset=dt_endprem+1
dt_witdw=dt_endms+1

#-screen period of season using finding dates above
pf_file='pfs'+str(int(para[i,0]))+'.bin'
print pf_file
#-read pfs file
pfs=np.fromfile(pf_file,dtype=np.float32)
row=pfs.shape[0]/54 #-get number of row by number of col=54
#-set new name by file name year
pfs=np.reshape(pfs,(row,54))
yy_pf=int(pf_file[3:7])
# print yy_pf

#-screen season period #-need to do one by one season due to memory error
#-stack screen data to each period file
#-select boundary
pfs=pfs[(pfs[:,0]>14) & (pfs[:,0]<21.0) & (pfs[:,1]>98.0) & (pfs[:,1]<105.0) & (pfs[:,5]==1)]

#-pre_monsoon
prem=pfs[(pfs[:,10] == yy_pf) & (pfs[:,11] >=2) & (pfs[:,11] <=para[i,6]) &
(pfs[:,12]>dt_stprem)&(pfs[:,12]<dt_endprem)]
pfs_prem=np.vstack((pfs_prem,prem)) #-append

# #-monsoon
ms=pfs[(pfs[:,10] == yy_pf) & (pfs[:,11] >=5) & (pfs[:,11] <=para[i,7]) &
(pfs[:,12]>=(dt_endprem+1))&(pfs[:,12]<dt_endptms)]
pfs_ms=np.vstack((pfs_ms,ms)) #-append
# del ms,pfs,yy_pf
# gc.collect()

# #-postmonsoon
ptms=pfs[(pfs[:,10] == yy_pf) & (pfs[:,11] >=para[i,7]) & (pfs[:,11] <=11) &
(pfs[:,12]>=(dt_endms))&(pfs[:,12]<dt_endptms)]

```

```

pfs_ptms=np.vstack((pfs_ptms,ptms)) #-append

#-write to files
output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1IP_inland_season/'
pfs_prem.astype('float32').tofile(output_path+'pfs_ip_premonsoon.bin')

output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1IP_inland_season/'
pfs_ms.astype('float32').tofile(output_path+'pfs_ip_monsoon.bin')

#
output_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1IP_inland_season/'
pfs_ptms.astype('float32').tofile(output_path+'pfs_ip_postmonsoon.bin')
    
```






```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
'''
```

```
Created on Tue Apr 09 20:08:29 2019
```

```
Plot graph VPR of classified PFs
```

```
Classify MCSs, intense MCSs, sub-mcscs follows Xu et al. (2009)
```

```
'Rainfall characteristics and convective properties of Mei-Yu Precipitation Systems...'
```

```
Output:
```

```
Plot graph of classified average MCSs MAXHT + std
```

```
Data:
```

```
#https://hdfEOS.org/software/pyhdf.php
```

```
#http://atmos.tamucc.edu/trmm/data/software/
```

```
#http://atmos.tamucc.edu/trmm/data/trmm/
```

```
@author: Nattapon Mahavik, Naresuan University, Thailand
```

```
'''
```

```
import os
```

```
import matplotlib as mpl
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from mpl_toolkits.basemap import Basemap
```

```
import numpy as np
```

```
#path=r'D:\Yang\1Reseach\0.2562.TRMM_PR_structurePrecp\1data\samplePfsLiu\level1'
```

```
path=r'D:\Yang\1Reseach\0.2562.TRMM_PR_structurePrecp\1data\samplePfsLiu\level2\vpf'
```

```
os.chdir(path)
```

```
#hdfFile = '1Z09.19980705.03455.7.hdf'
```

```
filename = 'pf_199807_level2.hdf'
```

```
#filename = 'pf_199801_level2.hdf'
```

```
hdfFile = os.path.join(path, filename)
```

```
from pyhdf.SD import SD, SDC
```

```
hdf = SD(hdfFile, SDC.READ)
```

```

# List available SDS datasets.
#print hdf.datasets()

# Read dataset.
lat = hdf.select('MAXHTLAT')
fats = lat[:]
lon = hdf.select('MAXHTLON')
lons = lon[:]
mht = hdf.select('MAXHT')
mht= mht[:]

npr = hdf.select('NPIXELS_PR')
npr = npr[:]
bot = hdf.select('BOOST')
bot = bot[:]
loc = hdf.select('LANDOCEAN')
loc = loc[:]
m30 = hdf.select('MAXHT30')
m30 = m30[:]
ncv = hdf.select('NCONV_2A25')
ncv = ncv[:]
mdz = hdf.select('MAXDBZ')
mdz = mdz[:,:]/100.

#-store > all parameters
var=np.zeros((len(lats),48),dtype = "float")
var[:,0]=lats[:]
var[:,1]=lons[:]
var[:,2]=mht[:]
var[:,3]=npr[:]
var[:,4]=bot[:]
var[:,5]=loc[:]
var[:,6]=m30[:]
var[:,7]=ncv[:]
var[:,8]=mdz[:,:]

```

```

#-----
#-find vertical profiles of maximum radar reflectivity for each PFs
#-IP land
pfs=var[(var[:,0]>14) & (var[:,0]<21.0) & (var[:,1]>98.0) & (var[:,1]<105.0) & (var[:,5]==1)]
mcs_int=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)>=1000.0) & (pfs[:,6]>8.0) & (pfs[:,7]>=1)]
mcs_ord=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)>=1000.0) & (pfs[:,6]<8.0) & (pfs[:,7]>=1)]
sub_mcs=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)<1000.0) & (pfs[:,7]>=1)]
ncs=pfs[(pfs[:,7]==0)]

#-average "MAXDBZ" by height
#-pfs
vpr=pfs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_pfs=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=range(vpr.shape[1])

#-mcs_int
vpr=mcs_int[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_mcs_int=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=range(vpr.shape[1])

#-mcs_ord
vpr=mcs_ord[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_mcs_ord=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=range(vpr.shape[1])

#-sub-mcs
vpr=sub_mcs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_sub_mcs=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=range(vpr.shape[1])

```

```

#-ncs
vpr=ncs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_ncs=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=range(vpr.shape[1])
#plt.plot(ip_avg_ncs,db_range)
#plt.show()

#-plot
#-https://matplotlib.org/gallery/lines_bars_and_markers/line_demo_dash_control.html
fig, ax = plt.subplots()
# Major ticks every 5, minor ticks every 5
major_ticks_x = np.arange(0, 75, 10)
major_ticks_y = np.arange(0, 75, 5)
minor_ticks = np.arange(0, 75, 1)
ax.set_xticks(major_ticks_x)
ax.set_xticks(minor_ticks, minor=True)
ax.set_yticks(major_ticks_y)
ax.set_yticks(minor_ticks, minor=True)
plt.axis([10, 60, 1, 20])

# Using set_dashes() to modify dashing of an existing line
line1, = ax.plot(ip_avg_mcs_int, db_range, label='Intense MCS')
line1.set_dashes([2, 2, 10, 2]) # 2pt line, 2pt break, 10pt line, 2pt break

# Using plot(..., dashes=...) to set the dashing when creating a line
line2, = ax.plot(ip_avg_mcs_ord, db_range, dashes=[6, 2], label='MCS-ORD')
line3, = ax.plot(ip_avg_sub_mcs, db_range, dashes=[6, 2], label='SUB-MCS')
line4, = ax.plot(ip_avg_ncs, db_range, dashes=[6, 2], label='NCS')
line5, = ax.plot(ip_avg_pfs, db_range, dashes=[6, 2], label='PFs all')

plt.xlabel('Max Radar dBZ')
plt.ylabel('Height [km]')
plt.title('Indochina Peninsula PFs')

```

```

ax.legend()
plt.show()

#-----
#-----

#-find vertical profiles of maximum radar reflectivity for each PFs

#-SCS
pfs=var[(var[:,0]>11) & (var[:,0]<17.0) & (var[:,1]>110.0) & (var[:,1]<116.0) & (var[:,5]==0)]
mcs_int=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)>=1000.0) & (pfs[:,6]>8.0)& (pfs[:,7]>=1)]
mcs_ord=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)>=1000.0) & (pfs[:,6]<8.0)& (pfs[:,7]>=1)]
sub_mcs=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)<1000.0) & (pfs[:,7]>=1)]
ncs=pfs[(pfs[:,7]==0)]

#-average "MAXDBZ" by height
#-pfs
vpr=pfs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_pfs=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=np.arange(0,20,0.5)

#-mcs_int
vpr=mcs_int[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_mcs_int=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-mcs_ord
vpr=mcs_ord[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_mcs_ord=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-sub-mcs
vpr=sub_mcs[:,8:]

```

```

vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_sub_mcs=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-ncs
vpr=ncs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_ncs=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-plot
#-https://matplotlib.org/gallery/lines_bars_and_markers/line_demo_dash_control.html
fig, ax = plt.subplots()
# Major ticks every 5, minor ticks every 5
major_ticks_x = np.arange(0, 75, 10)
major_ticks_y = np.arange(0, 75, 5)
minor_ticks = np.arange(0, 75, 1)
ax.set_xticks(major_ticks_x)
ax.set_xticks(minor_ticks, minor=True)
ax.set_yticks(major_ticks_y)
ax.set_yticks(minor_ticks, minor=True)
plt.axis([10, 60, 1, 20])

# Using set_dashes() to modify dashing of an existing line
line1, = ax.plot(ip_avg_mcs_int, db_range, label='Intense MCS')
line1.set_dashes([2, 2, 10, 2]) # 2pt line, 2pt break, 10pt line, 2pt break

# Using plot(..., dashes=...) to set the dashing when creating a line
line2, = ax.plot(ip_avg_mcs_ord, db_range, dashes=[6, 2], label='MCS-ORD')
line3, = ax.plot(ip_avg_sub_mcs, db_range, dashes=[6, 2], label='SUB-MCS')
line4, = ax.plot(ip_avg_ncs, db_range, dashes=[6, 2], label='NCS')
line5, = ax.plot(ip_avg_pfs, db_range, dashes=[6, 2], label='PFs all')

plt.xlabel('Max Radar dBZ')
plt.ylabel('Height [km]')

```

```

plt.title('SCS PFs')

ax.legend()
plt.show()

#-----
#-find vertical profiles of maximum radar reflectivity for each PFs
#-Andamam
pfs=var[(var[:,0]>8.0) & (var[:,0]<14.0) & (var[:,1]>91.0) & (var[:,1]<97.0) & (var[:,5]==0)]
mcs_int=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)>=1000.0) & (pfs[:,6]>8.0) & (pfs[:,7]>=1)]
mcs_ord=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)>=1000.0) & (pfs[:,6]<8.0) & (pfs[:,7]>=1)]
sub_mcs=pfs[(pfs[:,3]*(4.2**2.0)<1000.0) & (pfs[:,7]>=1)]
ncs=pfs[(pfs[:,7]==0)]

#-average "MAXDBZ" by height
#-pfs
vpr=pfs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_pfs=np.nanmean(vpr,axis=0)
db_range=np.arange(0,20,0.5)

#-mcs_int
vpr=mcs_int[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_mcs_int=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-mcs_ord
vpr=mcs_ord[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_mcs_ord=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-sub-mcs
vpr=sub_mcs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan

```

```
ip_avg_sub_mcs=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-ncs
vpr=ncs[:,8:]
vpr[(vpr==-88.88)]=np.nan
ip_avg_ncs=np.nanmean(vpr,axis=0)
#db_range=range(vpr.shape[1])

#-plot
#-https://matplotlib.org/gallery/lines_bars_and_markers/line_demo_dash_control.html
fig, ax = plt.subplots()
# Major ticks every 5, minor ticks every 5
major_ticks_x = np.arange(0, 75, 10)
major_ticks_y = np.arange(0, 75, 5)
minor_ticks = np.arange(0, 75, 1)
ax.set_xticks(major_ticks_x)
ax.set_xticks(minor_ticks, minor=True)
ax.set_yticks(major_ticks_y)
ax.set_yticks(minor_ticks, minor=True)
plt.axis([10, 60, 1, 20])

# Using set_dashes() to modify dashing of an existing line
line1, = ax.plot(ip_avg_mcs_int, db_range, label='Intense MCS')
line1.set_dashes([2, 2, 10, 2]) # 2pt line, 2pt break, 10pt line, 2pt break

# Using plot(..., dashes=...) to set the dashing when creating a line
line2, = ax.plot(ip_avg_mcs_ord, db_range, dashes=[6, 2], label='MCS-ORD')
line3, = ax.plot(ip_avg_sub_mcs, db_range, dashes=[6, 2], label='SUB-MCS')
line4, = ax.plot(ip_avg_ncs, db_range, dashes=[6, 2], label='NCS')
line5, = ax.plot(ip_avg_pfs, db_range, dashes=[6, 2], label='PFs all')

plt.xlabel('Max Radar dBZ')
plt.ylabel('Height [km]')
plt.title('Andaman PFs')
```


ax.legend()

plt.show()





```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
'''
```

```
Created on Mon Apr 01 18:29:35 2019
```

```
Created on Mon Apr 01 00:43:02 2019
```

```
Find (leap and non leap year)
```

```
1. pentad mean following Matsumoto(1997)
```

```
2. onset, monsoon, withdrawal pentad
```

```
#-subset data in netcdf file
```

```
https://stackoverflow.com/questions/29135885/netcdf4-extract-for-subset-of-lat-lon
```

```
#-modify codes from
```

```
https://github.com/quintusdias/hdfeos\_python\_zoo/blob/master/zoo/gesdisc/trmm/TRMM\_3B42\_precipitation\_scan0.py
```

```
@author: ANS
```

```
'''
```

```
import os
```

```
import matplotlib as mpl
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from mpl_toolkits.basemap import Basemap
```

```
import numpy as np
```

```
#path=r'D:\Yang\1Geoinformatic_data\Satellite_Rain_products\TRMM\3B42Daily\2004-2006'
```

```
path='D:/Yang/1Geoinformatic_data/Satellite_Rain_products/TRMM/3B42Daily/16yr_forStructurePR'
```

```
#path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/sampleTRMM3b42/3b42TMPA/2014/'
```

```
os.chdir(path)
```

```
#-inquire bounding box to get dimension of pm
```

```
filer = 'sample.nc4'
```

```
#filer = '3B42_Daily.20140629.7.nc4.nc4'
```

```
DATAFIELD_NAME = 'precipitation'
```

```
USE_NETCDF4 = True
```

```
if USE_NETCDF4:
```

```
from netCDF4 import Dataset
# Ignore the leading singleton dimension.
nc = Dataset(filer)
pc = nc.variables[DATAFIELD_NAME][:,:].astype(np.float64)

#-----
#-subset defined bounding box
#-https://stackoverflow.com/questions/29135885/netcdf4-extract-for-subset-of-lat-lon
latbounds = [ 14 , 21 ]
lonbounds = [ 98 , 105 ] # degrees east ?

lats = nc.variables['lat'][:]
lons = nc.variables['lon'][:]

# latitude lower and upper index
latli = np.argmin( np.abs( lats - latbounds[0] ) )
latui = np.argmin( np.abs( lats - latbounds[1] ) )

# longitude lower and upper index
lonli = np.argmin( np.abs( lons - lonbounds[0] ) )
lonui = np.argmin( np.abs( lons - lonbounds[1] ) )

# Precipitation (latitude, longitude)
PcSub = nc.variables['precipitation'][ lonli:lonui, latli:latui ]

# The lat and lon should be calculated manually.
# More information can be found at:
# http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/additional/faq/precipitation_faq.shtml#lat_lon
#latitude = np.arange(-49.875, 49.875, 0.249375)
#longitude = np.arange(-179.875, 179.876, 0.25)
latPc=nc.variables['lat'][latli:latui]
lonPc=nc.variables['lon'][lonli:lonui]

#-----
#-get folder names and loop all files in sub folder
lst_folder_main=[x[1] for x in os.walk(path)]
lst_folder_main=lst_folder_main[0] #-get sub folder only
```

```

output_para=np.zeros(12) #-store output parameters for each year
#-loop main folder of all sub year folders here!
for yrfd in lst_folder_main:
    os.chdir(path+yrfd) #-change dir
    print "+"
    print "+"
    print "+"
print
"+++++
++++"
    print "->Find pentad each year to define pre, monsoon and post period in: ",yrfd,"-----"
    ----"
    print
"+++++
++++"
    #-----
#   print yrfd

#-----

#-find pentad mean
pm=np.zeros((latPc.size,lonPc.size),dtype = "float")#-create array of pentad mean
pm_avg=np.zeros((73),dtype = "float")#-create array of pentad mean
c=0 #-counter
cp=0 #-counter day in pentad
p_sum=0
pi=0 #pentad counter
#-create array to store pm=pentad mean
for filename in os.listdir(path+yrfd):
    if filename.endswith(".nc4"):
#       print 'file: ', filename
#       #-read 3b42
        nc = Dataset(filename)
        pc = nc.variables[DATAFIELD_NAME][:,:].astype(np.float64)
#       #-clip 3b42 file
        PcSub = nc.variables['precipitation'][ lonli:lonui, latli:latui ] #-here should be index

```

```

    p_avg=np.mcan(PcSub)
#   if cp<5:
    p_sum += p_avg
    cp +=1
    if cp>=5:
        pm_avg[pi]=p_sum/5.0
        cp=0; p_sum=0;
        pi+=1

    c += 1

#print '1.number of read file: ', c

#-find pentad mean
p_mean=np.mean(pm_avg)
print "pentad mean: ",p_mean, "mm"

#-----
#-find mean for each pentad
#-calculate either exceed(1) or below (2) pentad annual mean array
#-find onset,1s monsoon, break,2nd monsoon,retreat pentad
pm_all=np.zeros((73),dtype = "uint8")#-create array of pentad mean [1 exceed pentad mean, 2
lower]
pc_all=np.zeros((73),dtype = "float")#-create array of pentad mean in mm.
c=0 #-counter files
cp=0 #-counter day in pentad
p_sum=0
pi=0 #pentad counter
#-create array to store pm=pentad mean
for filename in os.listdir(path+yrfd):
    if filename.endswith(".nc4"):
#       print 'file: ', filename
        #-read 3b42
        nc = Dataset(filename)
        pc = nc.variables[DATAFIELD_NAME][:,:].astype(np.float64)
        #-clip 3b42 file
        PcSub = nc.variables['precipitation'][ lonli:lonui, latli:latui ] #-here should be index

```

```

p_avg=np.mean(PcSub)
#   print 'file: ', c, ' area average: ', p_avg

#   if cp<>5:
p_sum += p_avg
cp +=1
if cp>=5:
p_avg=p_sum/5.0

if p_avg>p_mean: pm_all[pi]=1 #area average rain exceeding annual pentad mean
if p_avg<p_mean: pm_all[pi]=2 #area average rain below annual pentad mean
pc_all[pi]=p_avg
#   print 'area averag rain in pentad ',pi,' = ',p_avg,' cp=',cp

cp=0; p_sum=0;
pi+=1

c += 1
if pi>=73: break
#print '2.number of read file: ', c

#-find onset pentad
ct=0
for i in pm_all:
#   print i
if ((i==2) and (pm_all[ct+1]==1 and pm_all[ct+2]==1 and pm_all[ct+2]==1)):
pt_os=ct
print "pentad: ", pt_os+1, " is onset"
break
ct += 1

#-find withdraw pentad
ct=0
for i in pm_all:
#   print i
if ((i==2) and (pm_all[ct+1]==2 and pm_all[ct+2]==2) and ct > 30): #ct>30 is date to screen

```

```

pt_wd=ct
print "pentad: ", pt_wd+1, " is withdraw"
break
ct += 1

#-next refine codes
#1.by using 18 years TRMM by looping each folder years
#2.Get list of pentad mean(pc_all), mean anual pentad (pm_mean), marked period (pm_all)
(write to files)
#3.Get premonsoon, monsoon, postmonsoon, onset, withdrawal pentad (same array) (write to
files)

#-find result array
results=np.zeros((73,4),dtype = "float") #[0,1,2,3]=[index,pentad mean,marked period,periods]
for i in range(len(results)):
    if i<pt_os:
        results[i,0]=i
        results[i,1]=pc_all[i]
        results[i,2]=pm_all[i]
        results[i,3]=1 #-premonsoon

    if i==pt_os:
        results[i,0]=i
        results[i,1]=pc_all[i]
        results[i,2]=pm_all[i]
        results[i,3]=2 #-monsoon onset pentad

    if i>pt_os and i <pt_wd:
        results[i,0]=i
        results[i,1]=pc_all[i]
        results[i,2]=pm_all[i]
        results[i,3]=3#-monsoon

    if i==pt_wd:
        results[i,0]=i
        results[i,1]=pc_all[i]

```



```

results[i,2]=pm_all[i]
results[i,3]=4#-withdraw pentad

if i>pt_wd:
    results[i,0]=i
    results[i,1]=pc_all[i]
    results[i,2]=pm_all[i]
    results[i,3]=5#-post monsoon

#-next save "results" to file
#-----
#-finding date ranges of premonsoon, monsoon, postmonsoon
ly=np.array([2000,2004,2008,2012]) #-leap year 366 days
date_onset=(pt_os*5+3)
date_wtdrw=(pt_wd*5+3)
leap_year=0
if (yrfd=='2000') or (yrfd=='2004') or (yrfd=='2008') or (yrfd=='2012'):
    leap_year=1
    print "leap year !!!"
    #-onset
    if date_onset>=61 and date_onset <92: mno=3
    if date_onset>=92 and date_onset <122: mno=4
    if date_onset>=122 and date_onset <153: mno=5
    if date_onset>=153 and date_onset <183: mno=6
    print "date_onset: ", date_onset, "mon_onset: ", mno

    #-withdraw
    if date_wtdrw>=214 and date_wtdrw <245: mnw=8
    if date_wtdrw>=245 and date_wtdrw <275: mnw=9
    if date_wtdrw>=275 and date_wtdrw <307: mnw=10
    if date_wtdrw>=307 and date_wtdrw <338: mnw=11
    print "date_wtdrw: ", date_wtdrw, "mon_withdraw: ", mnw
    date_lastpostms=337 #-end of november

else: #-for leap year
    #-onset

```

```

print "common year !!!"
if date_onset >= 60 and date_onset < 91: mno=3
if date_onset >= 91 and date_onset < 121: mno=4
if date_onset >= 121 and date_onset < 152: mno=5
if date_onset >= 152 and date_onset < 182: mno=6
print "date_onset: ", date_onset, "mon_onset: ", mno

#-withdraw
if date_wtdrw >= 213 and date_wtdrw < 244: mnw=8
if date_wtdrw >= 244 and date_wtdrw < 274: mnw=9
if date_wtdrw >= 274 and date_wtdrw < 306: mnw=10
if date_wtdrw >= 306 and date_wtdrw < 337: mnw=11
print "date_wtdrw: ", date_wtdrw, "mon_withdraw: ", mnw
date_lastpostms=336 #-end of november

print 'premonsoon period: ', '32 -', date_onset-1
print 'monsoon period: ', date_onset, '-', date_wtdrw-1
print 'postmonsoon period: ', date_wtdrw, '-', date_lastpostms

#-next save "results" to file
#-----
#-plot
plt.plot(results[:,0], results[:,1], marker='o', markerfacecolor='blue', markersize=4, color='skyblue',
linewidth=4, label="pentad mean rain")

output_path_fig=r'D:\Yang\1Reseach\0.2562,TRMM_PR_structurePrecp\1results\1fig_pentad_season
s'

os.chdir(output_path_fig) #-change dir
fig, ax = plt.subplots(figsize=(8,6))

#-set font size
#-https://stackoverflow.com/questions/3899980/how-to-change-the-font-size-on-a-matplotlib-plot
SMALL_SIZE = 15
MEDIUM_SIZE = 20
BIGGER_SIZE = 30

```

```

plt.rc('font', size=SMALL_SIZE) # controls default text sizes
plt.rc('axes', titlesize=SMALL_SIZE) # fontsize of the axes title
plt.rc('axes', labelsiz=SMALL_SIZE) # fontsize of the x and y labels
plt.rc('xtick', labelsiz=SMALL_SIZE) # fontsize of the tick labels
plt.rc('ytick', labelsiz=SMALL_SIZE) # fontsize of the tick labels
plt.rc('legend', fontsize=SMALL_SIZE) # legend fontsize
plt.rc('figure', titlesize=BIGGER_SIZE) # fontsize of the figure title

# Major ticks every 20, minor ticks every 5
major_ticks = np.arange(0, 75, 5)
minor_ticks = np.arange(0, 75, 1)
ax.set_xticks(major_ticks)
ax.set_xticks(minor_ticks, minor=True)
ax.set_yticks(major_ticks)
ax.set_yticks(minor_ticks, minor=True)
# ax.tick_params(axis='y', direction='in')
ax.tick_params(which='minor', direction='in')
ax.tick_params(which='major', direction='in')

plt.bar(results[:,0],results[:,1])
plt.axis([0, 75, 0, 25])
plt.axhline(y = p_mean, marker="", color='red', linewidth=3, linestyle='dashed', label='pentad
annual mean')

#-plot month lines at pentad
if leap_year==0:
    xcoords = [1, 7.2, 12.8, 19, 25, 31.2, 37.2,43.4, 49.6, 55.6, 62, 68.2,74]
else:
    xcoords = [1, 7.4, 13.0, 19.2, 25.2, 31.4, 37.4,43.6, 49.8, 55.8, 62.2, 68.4,74]
for xc in xcoords:
    plt.axvline(x=xc, marker="", color='grey', linewidth=1, linestyle='dashed')

```

```

plt.xlabel('Pentad')
plt.ylabel('Rain [mm/Pentad]')
plt.title('Pentad mean rainfall year '+yrfd)
plt.show()
#pngfile = 'pentad_mean'+path[77:81]+'png'
pngfile='pentad_mean'+yrfd+'.png'
if os.path.isfile(output_path_fig+pngfile):
    os.remove(pngfile) # Opt.: os.system("rm "+strFile)
#plt.savefig(strFile)
fig.savefig(pngfile, dpi=300)

#-store parameters in array for each year
num_premis_date=date_onset-32+1 #-num of premonsoon dates starting form 1 february
num_monson_date=date_wtdrw-date_onset+1 #-num of monsoon date
num_posms_date=date_lastpostms-date_wtdrw+1 #-num of post monsoondate until end of
november

output_para=np.vstack((output_para,[yrfd,p_mean,pt_os,pt_wd,date_onset,date_wtdrw,mno,mnw,lea
p_year, num_premis_date, num_monson_date, num_posms_date]))
#-final output parameters will be used for screening PFs in next program
output_para=output_para[1:,:]
#np.savetxt('1output_monsoon_period.txt', output_para)
os.chdir('D:\Yang\1Reseach\0.2562.TRMM_PR_structurePrecp\1results')
np.savetxt('1output_monsoon_period.txt', output_para, delimiter=" ", fmt="%s")

```



```
# -*- coding: utf-8 -*-
'''
Created on Thu Apr 18 07:44:47 2019
Calculate FlashCount frequency and Average
We use conditional PFs where flashcount>0. It means use PFs when it meet condition
#-read files from '20190414subsetSeasons.py'
#-all parameters
MAXHT,LAT,MAXHT,LON,MAXHT,NPIXELS_PR,BOOST,LANDOCEAN,MAXHT30,
NCONV_2A25;FLASHCOUNT;MIN85PCT;YEAR;MONTH;DAY;HOUR
@author: Nattapon Mahavik, Naresuan-University, Thailand
'''

import gc
gc.collect()
import os
import matplotlib as mpl
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.basemap import Basemap
import numpy as np

pf_path='D:/Yang/1Reseach/0.2562.TRMM_PR_structurePrecp/1data/1pfs_subset/1large_area_season/'
os.chdir(pf_path)
#-----
#-find frequency of MAXHT
#https://stackoverflow.com/questions/33789379/netcdf-and-python-finding-the-closest-lon-lat-index-given-actual-lon-lat-values
def geo_idx(dd, dd_array):
    '''
    search for nearest decimal degree in an array of decimal degrees and return the index.
    np.argmin returns the indices of minium value along an axis.
    so subtract dd from all values in dd_array, take absolute value and find index of minium.
    '''
    geo_idx = (np.abs(dd_array - dd)).argmin()
    return geo_idx
```

```

#-----

for filename in os.listdir(pf_path):
    if not filename.endswith(".bin"): continue
    print '--->',filename, '...'
    pfs=np.fromfile(filename,dtype=np.float32)
    row=pfs.shape[0]/14 #get number of row by number of col=14 by excluding mdz
    pfs=np.reshape(pfs,(row,14))

#-----

#-find frequency pfs
print '----->','calculate frequency map'
lons=np.array(range(88,122,1))
lats=np.array(range(-2,26,1))
freq=np.zeros((len(lats),len(lons)),dtype = "float")
for i in range(0,len(pfs[:,0])):
    if (pfs[i,0]>-2) & (pfs[i,0]<26.0) & (pfs[i,1]>88.0) & (pfs[i,1]<122.0):
        lat_idx = geo_idx(pfs[i,0], lats)
        lon_idx = geo_idx(pfs[i,1], lons)
#         freq[lat_idx,lon_idx]=freq[lat_idx,lon_idx]+1
        if pfs[i,8]>0:
            freq[lat_idx,lon_idx]=freq[lat_idx,lon_idx]+1
#         print lats[lat_idx],',',lons[lon_idx]

nm_freq=freq/np.max(freq)*100.0 #normalized frequency
#-----

#-find average height of MAXHT
print '----->','calculate average FLASHCOUNT map'
lons=np.array(range(88,122,1))
lats=np.array(range(-2,26,1))
freq=np.zeros((len(lats),len(lons)),dtype = "float") #-sum number of MAXHT for each grid
sumh=np.zeros((len(lats),len(lons)),dtype = "float") #-sum MAXHT for each grid
for i in range(0,len(pfs[:,0])):
    if (pfs[i,0]>-2) & (pfs[i,0]<26.0) & (pfs[i,1]>88.0) & (pfs[i,1]<122.0):
        lat_idx = geo_idx(pfs[i,0], lats)

```

```

lon_idx = geo_idx(pfs[i,1], lons)
# sumh[lat_idx,lon_idx]+=pfs[i,8]
# freq[lat_idx,lon_idx]+=1
if pfs[i,8]>0:
    sumh[lat_idx,lon_idx]+=pfs[i,8]
    freq[lat_idx,lon_idx]+=1
# print lats[lat_idx],',',lons[lon_idx]

avg_FLCNT=sumh/freq #-average height of MAXHT
avg_FLCNT[np.isnan(avg_FLCNT)]=0.0 #-convert nan to zero for plotting

#-----
#-plot frequency map
# initialize basemap
# NOTE: TRMM data runs from 60N to 60S, 0E to 360E
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,7))
m = Basemap(projection='merc',llcrnrlat=0,urcrnrlat=25,llcrnrlon=90,urcrnrlon=115,resolution='l')

# create lat lon meshgrid
# trmm array has a resolution of 480x1440, with each pixel at 0.25 degrees
lons = np.arange(88, 122, 1.0)
lats = np.arange(-2, 26, 1.0)
xs, ys = np.meshgrid(lons, lats)
x, y = m(xs, ys)

# generate meridians and parallels for plotting
meridians = np.arange(90, 120, 4.0)
parallels = np.arange(0, 30, 2.0)

# plot
cmap = plt.cm.jet
cmap.set_bad(color='white')
m.pcolormesh(x, y, nm_freq, cmap=cmap, vmax=100, vmin=0)
m.colorbar(label='normalized frequency [%]')
# m.drawcoastlines()

```



```

m.drawcoastlines(linewidth=1.25, color='black')
m.drawmeridians(meridians, labels=[1,0,0,1])
m.drawparallels(parallels, labels=[1,0,0,1])
plt.title('Frequency of Flash Count'+str(filename))

# save the figure and show it
plt.savefig('Frequency_MAXHT_'+filename+'.png', format='png', dpi=500,transparent=True)
plt.show()

#-----
#-plot average MAXHT
# initialize basemap
# NOTE: TRMM data runs from 60N to 60S, 0E to 360E
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12,7))
m = Basemap(projection='merc',llcrnrlat=0,urcrnrlat=25,llcrnrlon=90,urcrnrlon=115,resolution='l')
# create lat lon meshgrid
# trmm array has a resolution of 480x1440, with each pixel at 0.25 degrees
lons = np.arange(88, 122, 1.0)
lats = np.arange(-2, 26, 1.0)
xs, ys = np.meshgrid(lons, lats)
x, y = m(xs, ys)
# generate meridians and parallels for plotting
meridians = np.arange(90, 120, 4.0)
parallels = np.arange(0, 30, 2.0)
# plot
cmap = plt.cm.jet
cmap.set_bad(color='white')
m.pcolormesh(x, y, avg_FLCNT, cmap=cmap, vmax=20.0, vmin=0)
m.colorbar(label='Average flash count [#/min]')
# m.drawcoastlines()
m.drawcoastlines(linewidth=1.25, color='white')
m.drawmeridians(meridians, labels=[1,0,0,1])
m.drawparallels(parallels, labels=[1,0,0,1])
plt.title('Average of Flash Count'+str(filename))
# save the figure and show it

```

Greater Mekong Subregion Academic and Research Network (GMSARN)



Asian Institute
of Technology



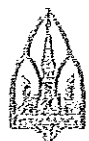
Honot
University
of Technology



Ho Chi Minh City
University of
Technology



Institute of
Technology
Cambodia



Khon Kaen
University



Kunming
University of
Science and
Technology

April 1, 2019

No. GMSARNJ 2019/06

Nattapon Mahavik
Department of natural resources and environment,
Faculty of agriculture natural resources and environment,
Naresuan University
Phitsanulok 65000
Thailand ,

Dear Nattapon Mahavik,

Subject: Acceptance Letter (Paper ID. GMSARN-2019-44-SD)

Title of the Journal: GMSARN International Journal
Paper Title: Developed Radar Quality Index of Mosaicked Weather
Radars over The Chao Phraya River Basin, Thailand
Authors: Nattapon Mahavik and Sarintip Tantanee
Corresponding Author: Nattapon Mahavik

Thank you very much for your submission to our journal. We are pleased to inform you that your paper has been reviewed, and accepted for publication in Volume 13, Number 4. In case you have not submitted copyright form; please send scanned copy shortly through e-mail: gmsarn@ait.ac.th. Thank you for making the journal a vehicle for your research interests.

Best wishes,

Prof. Weerakorn Ongsakul, PhD, CFA
Editor-in-Chief
GMSARN International Journal



National
University
of Laos



Royal University
of Phnom Penh



Thammasat
University



Yangon
Technological
University



Yunnan
University

GMSARN Office: Asian Institute of Technology

Postal Address:
P.O. Box 4
Klong Luang
Pathumthani 12120
Thailand

Street Address:
Km. 42 Paholyothin Highway
Klong Luang
Pathumthani 12120
Thailand

Tel: (66-2) 524-5437
Fax: (66-2) 524-6589
(for local calls, dial 02 before the tel/fax nos.)
E-mail: gmsarn@ait.ac.th
Internet: <http://www.gmsarn.org>

Developed Radar Quality Index of Mosaicked Weather Radars over The Chao Phraya River Basin, Thailand

Nattapon Mahavik* and Sarintip Tantanee

Abstract—The weather radar is one of the tools that can provide spatio-temporal information for Nowcast which is useful for hydro-meteorological disasters warning and mitigation system. The ground-based weather radar can provide spatial and temporal information to monitor severe storm over the risky area. However, the usage of multiple radars can provide more effective information over large study area where single radar beam may be blocked by surrounding terrain. Even though, the investigation of the severe storm physical characteristics needs the information from multiple radars, the mosaicked radar product has not been available for Thai researcher yet. In this study, algorithm of mosaicked radar reflectivity has been developed by using data from ground-based radar of Thai Meteorological Department over the Chao Phraya river basin in the middle of Thailand. The Python script associated with OpenCV and Wradlib libraries (Heistermann et al., 2013) are used in our investigations of the mosaicking processes. The radar quality index (RQI) field has been developed by implementing an equation of a quality radar index to identify the reliability of each mosaicked radar reflectivity pixels. First, the percentage of beam blockage is computed to understand the radar beam propagation obstructed by surrounding topography in order to clarify the limitations of the observed beam on producing radar reflectivity maps. Second, the elevation of beam propagation associated with distance field has been computed. Then, these two parameters and the obtained percentage of beam blockage are utilized as the parameters in the equation of RQI. Finally, the detected radar flare, non-precipitating radar area, has been included to the RQI field. Then, the RQI field has been applied to the extracted radar reflectivity to evaluate the quality of mosaicked radar reflectivity to inform end user in any application fields over the Chao Phraya river basin.

Keywords— Radar mosaicking, Quality index, Thailand, Chao Phraya river basin, Python.

1. INTRODUCTION

The developing countries including Thailand, people still have suffered from disaster since they are lacking adequate information to cope with disaster. Well preparedness for disaster management is one of the most important responsibilities of the governments all over the world. However, appropriate information is needed to cope with spatial and temporal variations of destructive disaster. The deployment of the weather radar network from Thai Meteorological Department (TMD) has provided meteorologists with critical information toward the issuance of warning for severe weathers, severe storms and flash flood. In addition, the information of moving precipitation derived only from the single radar has provided information to public over the radar coverage. The disadvantage of using single radar has been addressed such as spatial differences in the sampling properties for both horizontal and vertical, beam blockage, range-dependent biases [1]. However, the mosaicking of multiple radars will provide more information for meteorologists to observe an evolution of

severe storm which can increase the accuracy on forecasting and warning system.

In developed countries such the United State, the algorithm of the national mosaicking of multiple radar has been developed by using the operational WSR-88D for producing real time radar-derived rainfall product to support the warning and forecasting mission of the National Weather Service more than 20 years [2]. Recently, the national mosaic integrating radar, rain gauge, satellite and numerical weather prediction data have been fused into a seamless national 3D radar mosaic product [3]. The depiction and rendering of storm structure from the 3D radar mosaic products can provide more insightful information which US meteorologists can apply to their warning systems. This can help reducing the losses from the hydro-meteorological disasters. However, in the developing countries including Thailand, official mosaicked radar products are unavailable to be used for research purpose and real-time monitoring of severe weather.

Several factors affect to radar reflectivity observed by the weather radar leading to uncertainty of the radar measurements. Zhang et al. (2011) [4] have introduced the Radar Quality Index (RQI) by a combined measure for beam blockage and the vertical profile of reflectivity (VPR) effects in a national radar mosaic network. The quality of the next-generation multi-sensor quantitative precipitation estimation (QPE) varies in both space and time due to a number of factors, which includes: (1) errors in measuring radar reflectivity; (2) segregation of precipitation and non-precipitation echoes; (3) uncertainties in Z-R relationships; and (4) variability in VPR. The RQI field is developed to describe the radar

Nattapon Mahavik (corresponding author) is with Naresuan University, Thailand. He is now with the Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, 65000, Thailand (Phone: 66-94-927-4488; E-mail: nattaponmj@nu.ac.th)

Sarintip Tantanee is with Naresuan University, Thailand. She is now with the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and also with the Centre of Excellence on Energy Technology and Environment, Naresuan University, E-mail: sarintipt@nu.ac.th

QPE uncertainty associated with VPRs. The RQI field accounts for radar beam sampling characteristics (blockage, beam height and width) and their relationships with respect to the freezing level. However, the VPRs information is hard to derive from TMD data due to limitation of elevation angles used in the operational observation. In fact, the radar network over the middle of Indochina Peninsula mainly in Thailand is quite densely distributed, but rainfall products derived from these radars are not yet publicly. In addition, these radars are not unified in terms of their set parameters, scheduling of observation times, and data formats [5]. Apart from radar observation products, Friedrich et al. (2006)[6] have proposed the first quality control concept for radar reflectivity, polarimetric parameters and Doppler velocity based on a pixel-pixel basis. The quality-index field is transferred together with the radar data to end user who chooses the amount of data and the level of quality used for further processing.

In this study, the RQI for TMD radar mosaicking product has been developed. First, we develop simple method to obtain mosaicked radar reflectivity over the Chao Phraya River basin which locates in the middle of Thailand. The developed RQI field has been integrated with detected radar flares which are the non-precipitating rain pixel before applying to the mosaicked radar reflectivity.

2. DATA AND STUDY AREA

Radar reflectivity data of two stations, which are Phitsanulok and Chainat, has been used in mosaicking process to find radar flares. The Phitsanulok and Chainat weather radar stations are located in the Chao Phraya river basin, Thailand (Figure 1).

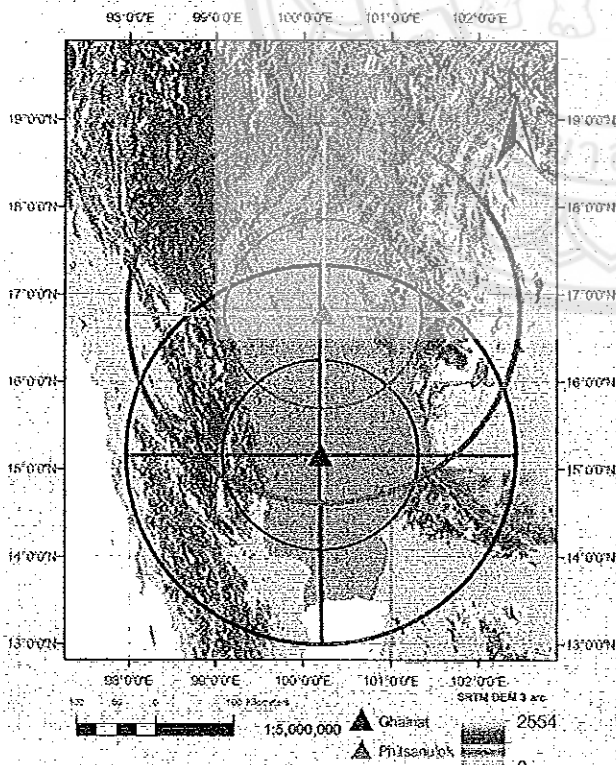


Figure 1 Study area over Chao Phraya River basin (shown in blue area) located in the middle of Thailand. Radar observation radius at Phitsanulok and Chainat stations with two observation ranges of 120 and 240 km, respectively, in the mode of 1st PPI (0.5°) provided by Thai Meteorological department.

The Phitsanulok radar site is located at latitude of 16°46'30.358"N and longitude of 100°13'4.312"E over the height of 47 m above mean sea level with tower height of 30 m. The Chainat radar is located in the middle of Chao Phraya River basin over the height of 18 m above mean sea level at latitude of 15°9'27.898"N and longitude of 100°11'24.242"E which is in relative flat area comparing to Phitsanulok radar. Both radar data are observed by Thai Meteorological Department (TMD) at four time per hour, while the data has been archived as images by Hydro and Agro Informatics Institute (HAI) at frequency of once per hour in format of GIF. The observation radius of the Phitsanulok and Chainat radar is 240 km observing in C-band frequency with beam width of 1°. In this study, the Plan Position Indicator (PPI) image of the first elevation at 0.5° from horizontal line have been collected and used in the analysis and radar data during influencing period of Sonca tropical storm on 26th July 2017 according to TMD warning announcement has been processed and investigated to develop RQI.

3. METHODOLOGY

The workflow of this study is shown in Figure 2. Quality index of mosaicked radars is developed to describe the quality of mosaicked radar reflectivity pixels. Three factors have been considered to develop the radar quality index (RQI). Python script was used during the development process for this study. An open source library of weather radar written in python, i.e. Wradlib [10], has been used in the analysis of beam-blockage fraction to simulate terrain obstructed for propagating beam. We have developed a method to detect the radar flares using Digital Image Processing (DIP) in computer vision technique by employing OpenCV (Open Source Computer Vision Library) using Python script interface.

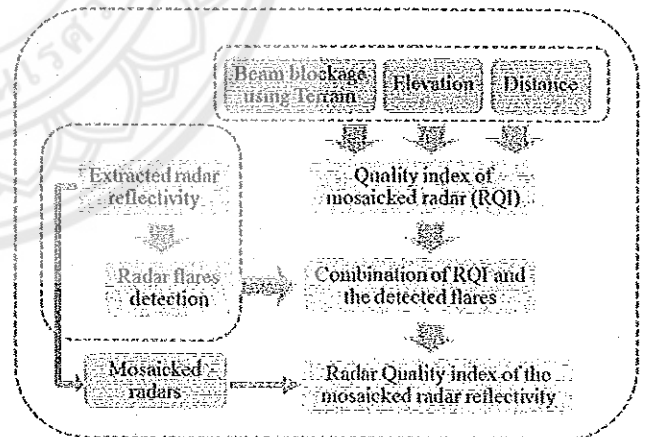


Figure 2 Flowchart of the developed radar quality index in assessment of the mosaicked reflectivity of two radars.

To reconstruct of the propagating radar beam through the atmosphere, the spherical coordinate radar reflectivity was considered with the elevation above mean sea level (MSL) obtained from the SRTM Digital Elevation Model (DEM) V4 with resolution of 3 arc second [7] for each range bin at resolution of 1 km. The height of each range bin was calculated using the standard refraction relation from [8]:

$$H = \sqrt{r^2 + R'^2 + 2rR' \sin \phi} - R' + H_0 \quad \dots (1)$$

where r is the range from the radar to the point of interest, σ is the elevation angle of the radar beam, H_0 is the height of the radar antenna, $R' = 4/3R$, and R is the earth's radius (approximately 6374 km).

First factor is the geometry of radar beam propagation which has been used to find area where beam blockage over 50% of beam width by considering with terrain data from SRTM DEM as equation (1). Second factor is the elevation of center radar beam as propagating through the air which has been included to the RQI calculation. The last factor is the distance of propagating radar beam which is also considered to realize the beam range to the end users. The combination of those mentioned three factors are simply integrated in the linear equation with initial weight based on reviews as shown in equation (2). Kajewski et al. (2005)[9] has concluded that using DEM in the prediction of radar beam occultation is a viable tool, as indicated by the good agreement of the calculated patterns of power loss with the actual long-term radar data. It is needed to quantify the beam blockage to realize the uncertainty of radar-rainfall products associated with the current scanning strategy and to design of future radar networks. Therefore, the beam blockage has been considered as the highest weights compared to the other two factors because the beam blockage can diminish the returned radar reflectivity and it may increase uncertainty of radar rainfall estimates. The computation of those three factors is done on the basis of single station afterward mosaicking the calculated factors.

$$RQI = (0.25 * \text{Distance}) + (0.25 * \text{Elevation}) + (0.5 * \text{Beam blockage}) \quad \dots(2)$$

The additional information of radar flares has been included to the RQI to inform the strong affected areas of radar reflectivity. The flares are not rain areas, but it occurs because of the interfering from other signal in communication sectors. The locations of radar flares usually change in both space and time. However, the radar flares are obviously detected over the Phitsanulok radar and the permanent flare location in the west of radar site is also detected after the radar beam crosses over the mountain in Sukhothai province.

To detect the radar flares, there are two main steps in the python script developing. First, the morphological transformations have been applied to the extracted reflectivity to detect the flares. The extracted reflectivity is, then, converted to grey scale image to be ready to apply kernel convolution window. To eliminate small holes inside foreground objects, the morphological close is applied following with application of erosion morphology to separate each possible flare apart from the group of rain pixels. Second, in order to apply the process of flare detection, the eroded image in greyscale has been scanned for delineating the contour of the pixel objects. The contoured image is used as the main input in the next process. Before the flare detection, it is needed to identify rain coverage area for classifying the instantaneous scan of radar reflectivity into two classes which are small rain and large rain classes. The threshold is set at the rain area of 15% of radar coverage area. If the rain area is greater than this threshold, it will be classified as large rain class;

otherwise, it will be classified as small rain class. The small rain class is applied to the automated flare detection later. After that, regional of interests has been applied to detect those flares in the small rain class. Eventually, the computed radar flares of the Phitsanulok radar have been included with the RQI.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Mosaicked radars

To study of rainfall characteristics in mesoscale, the mosaicked multiple radars is needed because of the high spatiotemporal information. This information can be used in rainfall analysis over large watershed such the Chao Phraya river basin. However, the mosaicked radar product is not available for research in Thailand. Therefore, the public accessible radar reflectivity is used in this study. The Reflectivity data from two stations are simply mosaicked using maximum value of extracted radar reflectivity as shown in Figure 3a.

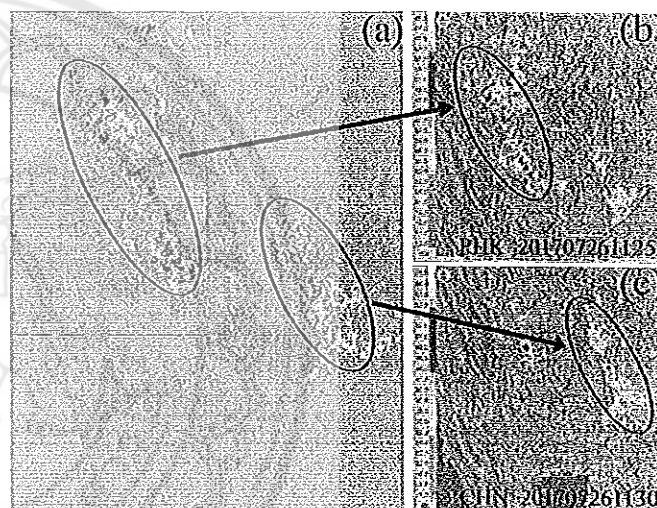


Figure 3 Results of mosaicked radar reflectivity of the 1st PPI on 26 July 2017 at 11.30. (a) the mosaicked map of the extracted radar reflectivity using Phitsanulok and Chainat stations (b) the original image of radar reflectivity at Phitsanulok (c) the original image of radar reflectivity at Chainat.

The two areas of mesoscale moving clouds of stratiform and convective clouds are obviously shown. Those reflectivity data are observed at 5 minutes of time difference (11:25 and 11:30 AM) of local time as shown in Figure 3b and 3c. In addition, the information of used cloud pixels in the mosaicking process has also been provided on pixel based basis in the Figure 4. The index map of used radar varies in time depending on the criteria of maximum intensity of considering pixels. It can be concluded that the reliability of mosaicked radar reflectivity is not yet provided in the index map of used radars. Therefore, the radar quality index must be further developed for end user.

Figure 4 shows the usage of radar reflectivity for both radar sites on the pixel-based basis. The method on mosaicked radar has been developed by using maximum value of reflectivity on 26 July 2017 at 11.30. This method can provide the information of used reflectivity in pixel location that informs the reflectivity in the overlapping area of these two radars. The results of the

mosaicked radar reflectivity that provide to end user are varied in spatio-temporal dimension. We realized that the mosaicked results are subjected to the calibration of the weather radar instruments. Thus, TMD need to consider by including the standardization in their calibration procedures for the construction of radar composite products over the Thailand in the near future.



Figure 4 Results of used radar on pixel-based location in the mosaicked radar reflectivity of the 1st PPI on 26 July 2017 at 11.30.

Beam blockage Analysis

In step of calculation PBB using Wradlib library in Python script [10], simulation of beam propagation has been generated over the terrain of Phitsanulok radar coverage using 0.5° of elevation angle as shown in Figure 5. The strong affected beam on the west side of radar observation has been found with percent of blockage over half of beam width while it is propagating through the atmosphere as shown in Figure 5a, 5b and 5c. The isolate mountain named Khao Luang in Sukhothai province (Figure 5c) which is higher than 800 m.MSL, obstructs the propagating beam led to deteriorate the observation in the azimuth range of around 280° as shown in Figure 5a and 5c. In addition, the beam-blockage fraction (BBF) has also shown over 50% in the east of Phitsanulok radar (Figure 5b). The simulated BBF over the east of the Phitsanulok radar caused by Phetchabun mountain range, which is prolongation of the southern end of the Luang Prabang Range, affecting the beam propagation over the 50% of beam width as shown in Figure 5b. The usage of the first elevation radar observation over the eastern side of Phitsanulok, therefore, should be cautiously. By using multiple radar beams from the other radar sites located in

the west and east sides of the Phitsanulok radar in the mosaicked procedure, the beam-blockage effects over the observed area can be mitigated.

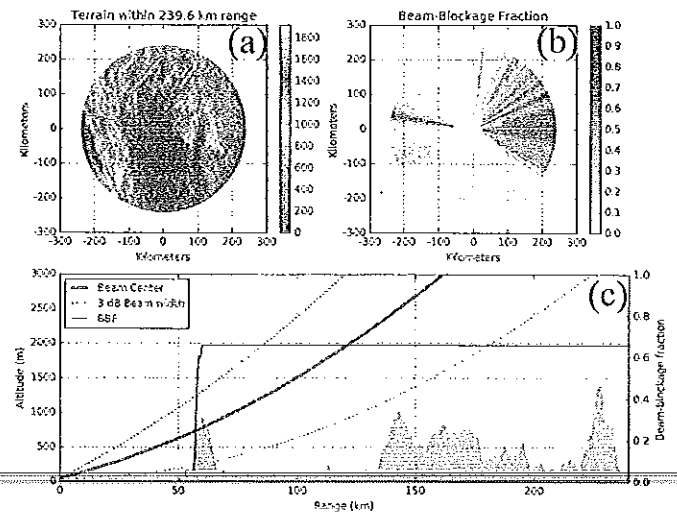


Figure 5 simulation of beam-blockage fraction using beam propagation equation implemented in Wradlib library over the terrain surrounding Phitsanulok radar of elevation angle at 0.5° . (a) terrain over the observed area and pointing azimuth direction shown in red line (b) beam-blockage fraction of each radar observation range (c) simulated result of propagating beam at azimuth of 280° .

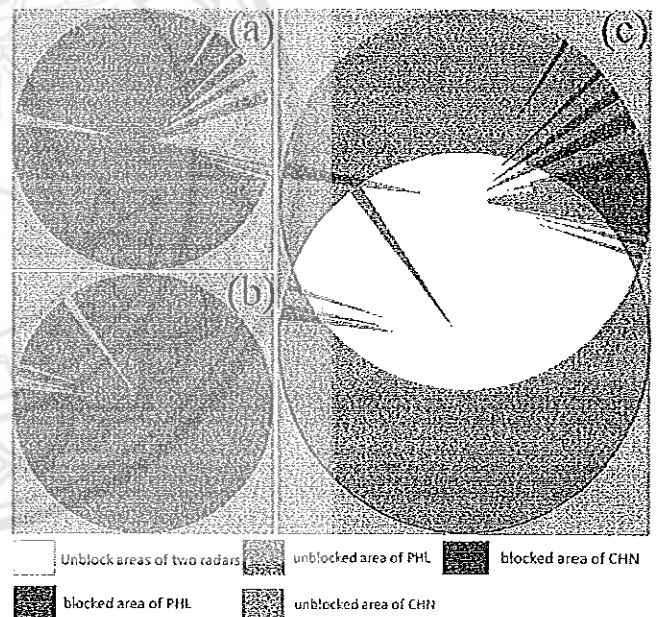


Figure 6 Beam blockage analysis with the surrounding terrain from SRTM DEM using threshold at 50% of beam width (a) Phitsanulok (b) Chainat (c) The mosaicked map of beam blockage from two radars.

Therefore, the highest impact factor for the radar quality index is the beam blockage information. In this study, the area of beam blockage at 50% by terrain information from SRTM DEM has been computed at pixel-based basis for each single radar as shown in Figure 6. The blocked beam by terrain for the first elevation at 0.5° is clearly shown over the west and east of Phitsanulok radars in Figure 6a, while the Chainat radar has small areas of blocked beam over the west side of radar coverage as shown in Figure 6b. The index map of beam blockage after mosaicking the two radars as shown in Figure 6c can be used to identify the unaffected area of

beam blockage for both radars. The large area of beam blockage in the east of Phitsanulok site cannot be corrected by the mosaicking. In the east of Phitsanulok radar, several pixels indicate the unreliable returned radar reflectivity. This mosaicked beam blockage map is useful to fill the gap of beam blockage for increasing the reliability of mosaicked radar products.

Radar Flares Detection

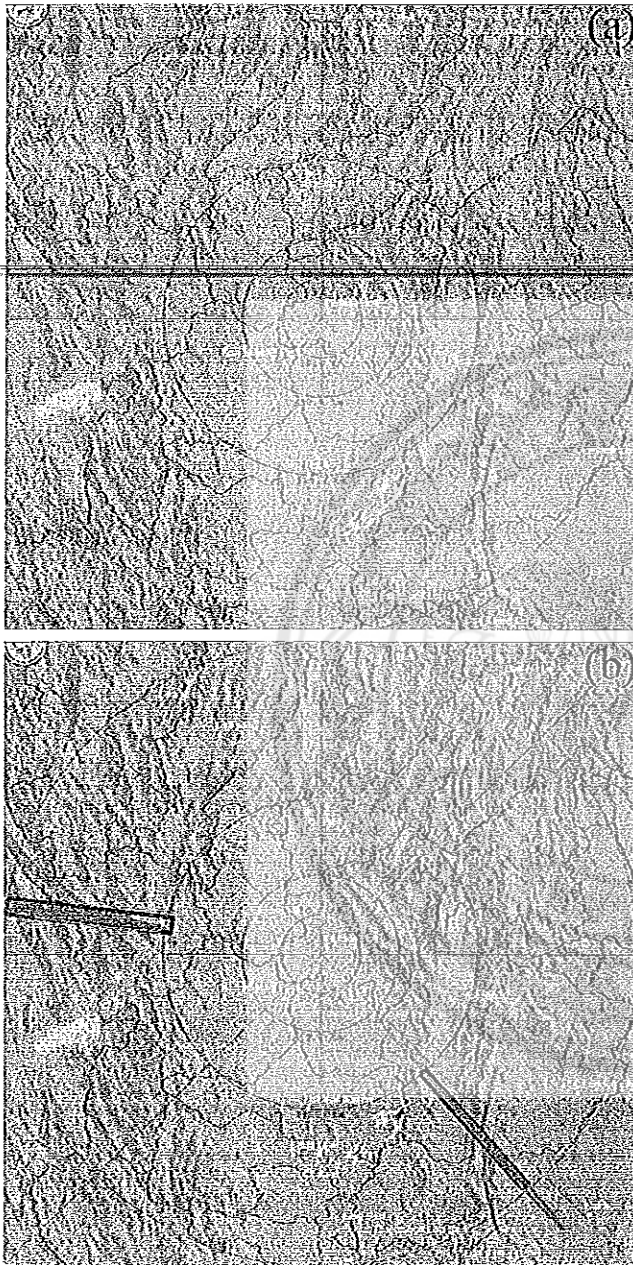


Figure 7 detection of radar flares (a) original radar reflectivity images from TMD on on 23 June 2018 at 12:25 a.m. (b) detected radar flares by best-fitting ellipses and best-fitting rectangles.

The development of automated radar flare detection has been applied on clearly seen flare on 23 June 2018 at 12:25 a.m. as shown in Figure 7a. Using the best-fitting ellipse criteria and best-fitting rectangles, the automated radar flare detection is detected in the west and south east of Phitsanulok radar as shown in Figure 7b. However, the radar flares will change from time to time of the observation due to the interfering on radar signal. Because the C-band frequency which is the main frequency usage

for the meteorological observation, has also been used by other sectors.

Radar Quality Index Fields

The beam distance and elevation have been repeatedly computed for each radar site and following by mosaicking of two radar coverage as shown in Figure 8. The far range from radar station may be either underestimate or overestimate rainfall when it is validated by gauge data at ground level. This two information are important for radar quality during the mosaicking process as weighting factors in the radar quality equation.

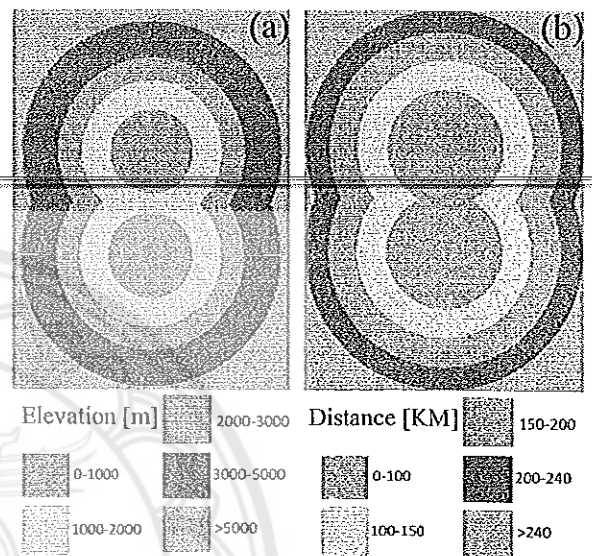


Figure 8 The mosaicked radar map for (a) elevation of radar beam propagation (b) distance of radar beam

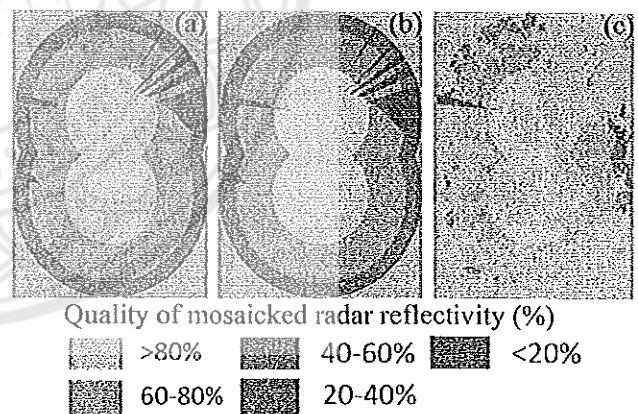


Figure 9 Radar quality index of (a) Quality index (QI) from the three factors (b) including the detected radar flares to the QI (c) results of applied the QIF to the extracted radar reflectivity on 26 July 2017 at 11.30.

The three factors are combined into the linear equation of the radar quality index using initial weighting and it is defined as the RQI as shown in Figure 9a. The interval of quality index indicates the reliability of mosaicked radar reflectivity in the sample scanning time. The west side of Phitsanulok radar is obviously recognized the low reliability at less than 20% due to beam blockage. However, the majority of the radar reflectivity pixels are in higher reliability at greater than 60%.

Finally, RQI which is the combination of the detected radar flares, has been processed to include the strong

influence of radar flares as shown in Figure 9b. The result after applying RQI to the extracted radar reflectivity is recognized by the extended triangle toward the radar station of Phitsanulok as shown in Figure 9c. However, the RQI varies from scan to scan due to unpredictable flare in their locations except the permanent flare located in the west of Phitsanulok radar. To understand the behavior of typhoons after their landing on the Indochina, Satomura et al. (2013)[5] have attempted to create Numerical model of mosaicked multiple radars from radar operated by national meteorological services of countries. The mosaicked multiple radars are very useful information to validate the simulated decaying stage of typhoon. The understanding of typhoon behavior can support the mitigation plan of meteorological disasters over the developing countries. The observed behavior of dissipating typhoon over the land of Indochina is so crucial as being pointed out by Asian Disaster Preparedness Center (ADPC) (2006) [11]. ADPC had observed flashflood/landslide in Uttaradit and Sukhothai provinces, northern region of Phitsanulok radar coverage, after low pressure caused by severe tropical storm named Chanchu on 21-23 May 2006. The provision of high spatio-temporal information of the dissipating typhoon is needed to monitor damaged area over the river basins.

It should be noted that the 1st PPI depends on several deteriorate factors of precipitation measurement. The overshoot of cloud in the far observation radar range normally occurs as shown in simulated beam propagation in Figure 5c. Radar rainfall estimates also depends on beam overshooting as comparing to observed rainfall at near surface [12]. The information of multiple elevation angles is usually used to observe severe storm to delineate the area of convective clouds (i.e. [13][14]). The usage of Constant altitude plan position indicator (CAPPI) provides radar rainfall closed to the observed rain at ground during rainy season over the middle of Indochina by extracting raw information of weather radar in Vientiane, Lao PDR [15]. To process CAPPI, the reflectivity derived from multiple elevation angles of observed weather radars are needed over the region.

Furthermore, the observation from the mosaicked radar products needs to deliver with RQI to end user in order to be more accurate information for the decision maker. In the future work, the multiple weather radars of TMD will be included to correct data over the area of low quality based on RQI. In addition, the implementation of RQI in the Geographic Information System would improve the design of radar network to reduce uncertainty of radar observation as done in the US [9][16].

5. CONCLUSION

A radar quality index (RQI) of mosaicked radar reflectivity has been developed in this study over area of Chao Phraya River basin, Thailand. The radar data from Phitsanulok and Chainat radar of Thai Meteorological Department has been used in the study. The geometry of beam propagation has been considered with the digital elevation model to find the beam blockage area. The beam blockage area is the highest influence factor to the developed linear radar quality equation. The elevation and distance of beam propagation has been calculated gridded

Cartesian system to include initial weighting factors in the radar quality equation. The initial weight of the equation can be used to assess each returned radar reflectivity of a particular scanning time. The extracted radar reflectivity has been used as input information to detect a radar flare, non-precipitating area, over the single radar. Then, the radar flare can be added into the RQI field as the lowest reliability of mosaicked radar areas. From scan to scan, the RQI is repeatedly computed for each scanning data that is identical field due to the changing in space and time of the detected radar flares. The result of applied RQI field indicates the reliability of the mosaicked radar reflectivity for each pixel. In addition, the RQI field indicates radar coverage voids which is for the future process of gap-filling radars.

Future work will be the including the validation process using a gauge network to assess the mosaicked radar products as one of factors. The developed radar quality equation will also be investigated on sensitivity analysis of each factor. The error-related RQI field will provide more information to the mosaicked radar product toward the real-time operation and reanalysis data implementation over the Chao Phraya river basin.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by National Research Council of Thailand (NRCT) through the Naresuan University R2561B062 and R2561B063. We are really appreciated to “Advancing Co-design of Integrated Strategies with Adaptation to Climate Change in Thailand (ADAP-T)” supported by the Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS), JST-JICA for providing research fund to support the project. Special thanks to the Thai Meteorological Department and Hydro and Agro Informatics Institute for providing free downloadable radar reflectivity images. In addition, we gratefully thank to developer of OpenCV and Wradlib libraries for providing source codes used in Python script to be adapted in the processing of radar reflectivity images.

REFERENCES

- [1] Mcroberts, D. B. and Nielsen-Gammon, J. W. 2017. Detecting Beam Blockage in Radar-Based Precipitation Estimates. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34, 1407–1422.
- [2] Fulton, R., Breidenbach, J., Seo, D.-J., Miller, D. and O'Bannon, T. 1998. The WSR-88D Rainfall Algorithm. *Weather and Forecasting*, 13, 377–395.
- [3] Zhang J. et al., 2011. National Mosaic and multi-sensor QPE (NMQ) system: Description, results, and future plans. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 1321–1338.
- [4] Zhang, J., Youcun, Q. I., Carrie, L. and Kaney, B. 2011. Radar Quality Index (RQI) – a combined measure for beam blockage and VPR effects in a national network. *Weather Radar and Hydrology (IAHS Proceeding and Reports)* 351, 2011.
- [5] Satomura, T., Katsumata, M., Mori, S., Yokoi, S., Matsumoto, J., Ogino, S. and Kamimera, Y. 2013. To understand typhoons' behavior over Indochina. *Journal of Disaster Research*, 8, 153–154.
- [6] Friedrich, K., Hagen, M., and Einfalt, T. 2006. A

- quality control concept for radar reflectivity, Polarimetric parameters, and doppler velocity. *Journal of atmospheric and Oceanic technology*, 23, 865-887.
- [7] Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. and Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57, 241–262.
- [8] Rinehart R.E., 1999: Radar for meteorologists 3rd ed, *Rinehart publication*, P.O.Box6124, Grand Forks, ND 58206-6124, USA, 428 pp.
- [9] Krajewski, W.F., Ntelekos, A A., and Goska, R. 2006. A GIS-based methodology for the assessment of weather radar beam blockage in mountainous regions: two examples from the US NEXRAD network. *Computers & Geosciences*, 32, 283–302.
- [10] Heistermann, M., Jacobi, S., and Pfaff, T. 2013. ~~Technical Note: An open source library for~~ processing weather radar data (wradlib). *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 863–871.
- [11] Asian Disaster Preparedness Center, 2006: Rapid assessment: flashflood and landslide disaster in the provinces of Uttaradit and Sukhothai, Northern Thailand, May 2006, *Urban Disaster Risk Management*, 19 pp.
- [12] Seo, D.-J., Breidenbaci, J., Fulton, R., and Miller, D. 2000. Real-Time Adjustment of Range-Dependent Biases in WSR-88D Rainfall Estimates due to Nonuniform Vertical Profile of Reflectivity. *Journal of Hydrometeorology*, 1(3), 222-240.
- [13] Johnson, J. T., MacKeen, P. L., Witt, A., Mitchell, E. D., Stumpf, G. J., Eilts, M. D., and Thomas, K. W. 1998. The Storm Cell Identification and Tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Weather Forecasting*, 13, 263–276.
- [14] Mosier, R. M., C. Schumacher, R. D. Orville, and Carey, L. D. 2011. Radar nowcasting of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas. *Weather Forecasting*, 26, 199–212.
- [15] Mahavik, N., Satomura, T., Shige, S., Sysouphanthavong, B., Phonevilay, S., Wakabayashi, M. and Baimoung, S. 2014. Rainfall pattern over the middle of Indochina Peninsula during 2009–2010 summer monsoon. *Hydrological Research Letters*, 8, 57–63.
- [16] Kucera, P.A., Krajewski, W.F., Young, C.B., 2004. Radar Beam Occultation Studies Using GIS and DEM Technology: An Example Study of Guam. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21, 995-1005.

[EASR] Editor Decision

Prof.Dr. Sujin Bureerat via Thai Journals Online (ThaiJO) <admin@tci-thaijo.org>

๑ 9/7/2019 15:15

ถึง: Nattapon Mahavik <nattaponm@nu.ac.th>

Dear Authors,

We have reached a decision regarding your submission to Engineering and Applied Science Research, "Convective systems observed by ground-based radar during seasonal march of Asian summer monsoon in the middle of Thailand".

Our decision is to: The paper can be accepted for publication in Engineering and Applied Science Research.

The acceptance date of your paper is July 9, 2019.

Thank you for submitting your work to Engineering and Applied Science Research.

Yours sincerely,
Editorial Office
Engineering and Applied Science Research
Faculty of Engineering,
Khon Kaen University, 40002 Thailand
kku.enjournal@gmail.com



1 **Convective systems observed by ground-based radar during seasonal**
2 **march of Asian summer monsoon in the middle of Thailand**

3 Nattapon Mahavik (1*), Sarintip Tantanee (2, 3)

4 ¹Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural
5 Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

6 ²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok,
7 65000, Thailand

8 ³Centre of Excellence on Energy Technology and Environment, Naresuan University,
9 Phitsanulok, 65000, Thailand

10
11 Email: nattaponm@nu.ac.th

12 **Abstract**

13 Understanding the characteristics of clouds is essential to support disaster mitigation and
14 improvement of cultivation planning. The convective system (CS) is a major contributor to
15 the total number of rain system populations over the tropics. In this study, the spatio-temporal
16 characteristics of CS extracted from instantaneous ground-based radar observations in
17 Phetchabun, in central Thailand, were investigated during the seasonal march of Asian
18 summer monsoons from July to September of 2010. The Open Source Library for Weather
19 Radar Data Processing (Wradlib) (Heistermann et al. 2013) was used to create gridded radar
20 reflectivity of instantaneous observed time at a constant altitude of 3 km above the mean sea
21 surface level. The geometric properties of the largest CS, such as echo size, fitted ellipse, and
22 centroid, were also extracted and analyzed by applying OpenCV library in a python
23 environment. CS classification produces two classes based on its speed: stationary and
24 propagating. Propagating CSs are most frequent in August, accounting for 20% of the total
25 number. In addition, the propagating CS in August cover relatively larger areas and produce
26 stronger radar echo than others, while the stationary CS in August have relatively more
27 elongated forms. Classifying CS based on direction, previous instantaneous scans show that
28 the westerly class dominates across the study area, especially in August. Moreover, the
29 westerly class is associated with stronger radar echo compared to the easterly class. In
30 addition, the average speed of the easterly class has a tendency to decrease toward the end of
31 the rainy season. The hotspot area with regard to CS severity has been identified as being in
32 the southwest part of the study area.

33
34

35 1. Introduction

36 In order to understand future climate change, the present characteristics and variability of
37 precipitation systems must be known (Pritchard et al. 2011). However, it has become clear
38 that Global Climate Models are unable to effectively capture mesoscale rainfall
39 characteristics. The rainfall amount of the inland tropics is almost entirely influenced by
40 mesoscale convective systems (MCSs) (Nebitts et al 2006). There have been several research
41 studies focusing on MCSs from the field observations and simulation models over the mid-
42 latitude regions and tropics, reported with the use of radar, satellite observations and field
43 experiments (i.e. Laing and Fritsch 2000; Coniglio 2006; Nebitts et al. 2006; Lang et al.
44 2007; Liu and Zipser 2013). However, when it comes to the inland of the Indochina
45 Peninsula (ICP) there have been very few studies of the characteristics of mesoscale
46 precipitation systems. Therefore, this study focuses on the characteristics of convective
47 systems in the center of the ICP during the rainy season.

48
49 Based on observations over South Asia from the Tropical Rainfall Measuring Mission
50 (TRMM), a large mountain range in South Asia is a key factor in the formation and behavior
51 of the precipitation systems (Romatschke and Houze 2011). Near the mountain range, the
52 convective cloud is small in size and weak intensity. Farther east, along the foothills, systems
53 are more stratified. Storm morphology characteristics result in differences in rainfall modes
54 regionally. Nebitts et al. (2006) applied an ellipse-fitting technique to TRMM PR near-
55 surface reflectivity in order to better understand storm morphology. In addition, Lang et al.
56 (2007) found that MCSs were responsible for up to 90% of rainfall in selected land regions.
57 The application of the ellipse-fitting technique to ground-based radar has also been used to
58 document storm morphology characteristics in the southern Gulf of California (Lang et al.
59 2007). The study focused on characteristics of convective clouds over India, which is located
60 in the Asian summer monsoon region, to understand precipitating clouds over rain-shadow
61 regions, using only one season of radar data in c-band mode. Additionally, the results of the
62 study of cloud characteristics based on the 2D background classification method of Steiner et
63 al (1995) has been useful for planning cloud seeding over drought-hit regions of India
64 (Morwal et al. 2017).

65
66 Understanding precipitation systems is essential for cultivation planning and disaster
67 mitigation in the developing countries located in the ICP. The complex terrain in the ICP
68 plays a critical role in rainfall patterns and characteristics (Xie et al. 2006). The ICP is a
69 tropical region influenced by both prevailing easterly and westerly winds during the rainy
70 season (e.g., Matsumoto 1997, Ohsawa et al. 2001, Wang and Ho 2002). The monsoon break
71 during the seasonal march of the Asian summer monsoons is notable in that the rainy season
72 is divided into two periods due to the movement of the intertropical convergence zone
73 (Takahashi et al. 2010). Therefore, the forcing synoptic systems are major influences on
74 mesoscale precipitation systems over the central ICP.

75
76 In the center of the ICP, studies on the characteristics of precipitation systems at the
77 mesoscale at range of 100-1,000 km are very limited. Satomura (2000) used a two-
78 dimensional, nonhydrostatic, and cloud-resolving numerical model to simulate squall lines
79 triggered over the extrusion of strong southwesterly prevailing winds during rainy season.
80 His results corresponded to the geostationary satellite images that showed persistent diurnal
81 propagating precipitation occurring in this region. These were responsible for maximum
82 rainfall during evening and night time, which corresponded to previous observations (Ohsawa
83 et al. 2001; Okumura et al. 2003; Takahashi et al. 2010). However, the spatio-temporal
84 characteristics of the CS have not been well described during the seasonal march of the Asian

85 summer monsoons in the central ICP. Ground-based radar is one of the methods of fine
86 resolution observation that can reveal the spatial and temporal structure of MCSs. Therefore,
87 in this study, the authors intended to describe the characteristics of the largest CS influencing
88 spatial rainfall patterns over the area of radar observation coverage of the Phetchabun radar
89 station, Thailand, which is in the middle of the ICP. In addition, spatial clustering of the CS
90 was also investigated to identify locations across the study area where the most severe
91 weather systems are found. The ellipse-fitting technique has been applied to find the
92 geometry of the CS in order to enhance the analysis of the precipitation systems.

93
94 This paper is organized as follows: The study area and radar data are described in section 2.
95 Section 3 describes the analysis of precipitating cloud types and spatial hotspots. Section 4
96 provides the results and discussion, and section 5 provides the summary.

97 2. Study area and radar data

98

99

[Figure 1]

100

101 In this study, radar echo data from the weather radar operated by the Thai Meteorological
102 Department (TMD) has been used. Data was gathered by Phetchabun radar, located in central
103 Thailand, and located in the middle of the ICP (Figure 1) at the geographic coordinates of
104 latitude $15^{\circ} 39' 24''$ and longitude $101^{\circ} 6' 29''$, among important Thai river basins such as
105 Pasak, Nan, Yom, Chao Phraya, Mun and Chi. Located on a plain of the Pasak river basin,
106 the radar is installed on a tower, 74 meters above the mean sea level (MSL). It is capable of
107 observing up to a range of 240 km in C-band frequency at resolution range of 500 meters
108 with a beam width of 1 degree. The scanning occurs continually at a rate of three scans per
109 hour, at the minutes of 00, 30 and 45 in the volume scanning mode of 10 elevation angles
110 (0.0° , 1.3° , 2.9° , 4.9° , 7.3° , 10.2° , 13.8° , 18.2° , 23.5° , 30.0°).

111

112 Because the radar site is surrounded by mountainous ranges in the west, east and southwest
113 which are the West Phetchabun, East Phetchabun, and Dong Phraya ranges, respectively, the
114 lower radar beam is shielded by the surrounding mountain ranges due to the beam blockage
115 effect. Therefore, in this study, the observation ranges have been limited to the range of 120
116 km, which is sufficient for the task of observing the rain systems over the radar coverage
117 area. This study involved analysis of 6,233 files compiled over three months (July
118 September of 2010) in a part of rainy season within the ICP. This huge volume radar scans
119 required effective data manipulation in order to do an effective spatio-temporal analysis for
120 rain system classification.

121

122 In order to observe the rain systems near the lower troposphere, the constant altitude plan
123 position indicator (CAPPI) at an altitude of 3 km above MSL was constructed as a radar
124 reflectivity map in dBZ units at a horizontal resolution of 1 km. A CAPPI was created for
125 each instantaneous radar scanning time using an open source library for manipulating the
126 radar data written in a python script environment, the Open Source Library for Weather
127 Radar Data Processing (Wradlib) (Heistermann et al. 2013). Therefore, the radar reflectivity
128 in the form of raster grid map was able to be easily manipulated and analyzed in the
129 Geographic information system.

130

131 **3. Methods**132 **a. The classification of precipitating clouds**

133

134

[Figure 2]

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

$$\Delta Z = \begin{cases} 10, & Z_{bg} < 0 \\ 10 - Z_{bg}^2 / 180, & 0 \leq Z_{bg} < 43 \\ 0, & Z_{bg} \geq 43 \end{cases} \quad (1)$$

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

[Figure 3]

171

172

173

174

175

176

177

178

Based on the intensity of horizontal reflectivity (Figure 3a), the radar echoes during the MCS overpass of the study area were classified into two classes, which are convective and non-convective (Figure 3b). The implemented program in python script can classify both types of radar echoes from the CAPPI created from the volume scan mode during the whole observation period. This study focuses on understanding the characteristics of the largest CS appearing on instantaneous radar scanning. The algorithm to detect the CS was implemented by using OpenCV library (OpenCV, 2019).

179 OpenCV, the open source library for digital image processing, is used within interface of
 180 python script to delineate the convective area and non-convective precipitating clouds (Figure
 181 3c). After detection of the largest CS, the fitellipse function in OpenCV is applied to the CS
 182 to realize its ellipse aspect ratio through major and minor ellipse axes (Figure 3c). Before the
 183 application of the fitellipse function, the closing morphology function in OpenCV,
 184 MORPH_CLOSE, is applied with a 10 x 10 km kernel to eliminate the small holes inside the
 185 foreground objects. If the ratio between major and minor ellipse (hereafter ratio) is far from
 186 1.0 that means the shape of the CS is a more elongate form.
 187 Since the ellipse axes are extracted from the fitted ellipse, the centroid and area of the fitted
 188 ellipse for each radar instantaneous scan is also extracted to further investigate the CS
 189 characteristics. The propagating criteria of CS are set by using the extracted information from
 190 the fitted ellipse of the CS to classify whether the CS is propagating or stationary class. The
 191 overlapping percentage of the ellipse area and propagating speed of the CS, based on centroid
 192 between the particular CS of the present radar scan and three continuous previous radar
 193 scans, are calculated. The propagating CS is assigned to this CS when the overlapping
 194 percentage and propagating speed of the CSs exceed 50% and 1 m s⁻¹, respectively.
 195

196 b. Hotspot analysis

197 To evaluate the spatial cluster of the convective centroids, Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*)
 198 is carried out based on (Getis and Ord, 1992) by using the Hot Spot Analysis function in
 199 ArcGIS. To be identified as a statistically significant CS hot spot, the convective centroid
 200 must have a high value and be surrounded by other centroids with high values as well. The
 201 Getis-Ord local statistics are given as:

$$202 \quad G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (2)$$

$$203 \quad \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (3)$$

$$204 \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (4)$$

205
 206 Where x_j is the convective centroid feature attributing value for convective feature j , w_{ij} is the
 207 spatial weight between convective i and j , and n is equal to total number of convective
 208 features. The G_i^* statistic is a z-score; no further calculation is required.

209 In order to detect hotspot (coldspot) areas where statistically significant hotspots (coldspot)
 210 are located, the Getis-Ord local statistic (Getis and Ord, 1992) was applied to the detected CS
 211 centroid dataset. Each of the CS centroids will be calculated using the G_i^* statistic, as shown
 212 in equation (2), which will return z-scores and p-value. The resultant z-scores and p-values
 213 identify where convective centroids, with either high or low values, cluster spatially. The
 214 statistically significant positive or negative z-scores of the CS centroid mean that the relevant
 215 CS is surrounded by CSs of relatively larger or smaller values.

216 c. Easterly and Westerly Classifications

217 During the boreal summer monsoon march, ICP is affected by the interconvergence zone of
 218 the two main wind systems, which are southwesterly and easterly from the western North
 219 Pacific (WNP).

220 The MCS characteristics generated over the study area by these two synoptic wind sources
 221 need to be well understood. The westerly and easterly classes of CS were classified in this
 222 study through the use of radar capability. Firstly, after the centroid of each CS was detected,

223 the bearing azimuth where the radar echo coming from was derived for each pair of the
224 considered radar scans, as well as the previous three instantaneous scans.
225 Next, the average of bearing azimuths for these three pairs of radar scans was calculated. The
226 determination of the average bearing azimuth was carried to 8 meteorological directions.
227 Finally, the majority of the meteorological directions were obtained and used for each scan in
228 the analysis.

229 4. Results and Discussion

230 a. Overall characteristics of convective systems

231

232

233

[Table 1]

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

The overall characteristics of the CS are summarized in Table 1. Average area of the CS is similar to the echo size observed by Vientiane radar, Lao PDR (Satomura et al. 2010) during the boreal monsoon season in the ICP. However, obtained standard deviation (S.D.) shows larger variation during the seasonal march. In addition, the CS's average speed also displayed large variations during the observation period. The strong radar echo in units of dBZ indicates reflectivity of the detected MCSs convective core. There has been a great deal of previous research on determining the minimum threshold in units of dBZ for using convective reflectivity. In this study, we have used the radar echo at 43 dBZ as the minimum threshold to detect CS, following the research of Steiner et al. (1995). Variation in surface heating is the main reason for mesoscale variation, as it causes more intense convection over continents and large islands compared to oceans (Robinson et al. 2011).

Taking a further step, the geometry of the fitted ellipse over the CS was used in CS shape investigation. Using the ratio between the majority and minority axes of the fitted ellipse can inform the described shape of the CS. If the ratio of the fitted ellipse is near 1.0, that means the CS's shape is rather circular; otherwise, the shape is a more elongated form. It was found that the elongated shapes were the most common in the study area during the studied seasonal monsoon march.

251

b. Propagating and stationary convective systems

252

253

254

[Table 2]

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

In order to compare CS characteristics, the CSs have been classified into two classes, which are propagating and stationary, based on the propagating criteria mentioned in the methodology part, and shown in Table 2. Propagating and stationary class CSs were found in 2,120 and 1,816, instantaneous scans, respectively. The average area of the propagating class is larger than that of the stationary class. Furthermore, a larger variation in the size of the propagating CS area was noted compared to that of the stationary class.

Conversely, radar intensity, shown by dBZ, of the stationary class shows high variation compared to the propagating class. This finding may explain why the internal dynamic of MCSs during the evolution stage of the propagating class is more stable in rainfall intensity than that of the stationary class. Based on the fitted ellipse, the shapes of the two CS classes are generally not different.

[Figure 4]

269 To understand the distribution of spatial CS, Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*) (Getis and
270 Ord, 1992) was applied to detected locations of the CS. The spatial statistics in the clustered
271 CS hotspots (cold spot) of the area indicate concentration of high larger (smaller) area of CS
272 centroids. It was found that clustered hotspot areas were located in the upper part of the study
273 area, along the Pasak basin (Figure 4a). Compared to hotspot areas of propagating CSs, the
274 clustered hotspot areas of all CSs were largely influenced by the hotspot areas of the
275 propagating convective (Figure 4b) rather than those of the stationary convective (Figure 4c).
276 The spatial clustering of hotspots (coldspots) in the case of radar echoes was clearly
277 delineated. Clustered stronger (weaker) radar echoes were detected in the lower (upper part)
278 of the study area (Figure 4c). Specifically, the stronger and weaker radar echoes were
279 generated by both propagating (Figure 4e) and stationary class CSs (Figure 4f) over the lower
280 and upper parts of the study area, respectively.

281

282

[Figure 5]

283

284 In order to understand the distribution of both propagating and stationary class CSs across the
285 area during the seasonal march, normalization of the area with respect to the total number of
286 the CS scans is shown in Figure 5. The large number of propagating CS contributes to the
287 total CS number during the observed period. Among three months of July, August and
288 September, both the highest percentage of propagating CSs and the lowest percentage of
289 stationary CSs occurred in August.

290

291

[Figure 6]

292

293 In order to understand the contribution of the average areas of the CS for both propagating
294 and stationary classes during the seasonal march, the CS area has been classified into four
295 levels during three months of the observed period. In the case of propagating CSs, the small
296 size CSs, at $1,000 \text{ km}^2$ dominated the observed area, except during August, when CSs of
297 $1000\text{-}5000 \text{ km}^2$ were most prevalent, as shown in Figure 6a. Specifically, the size of the CSs
298 found during August was relatively larger than those in other months. The stationary class, on
299 the other hand, are relatively smaller in size and widely distributed in large proportion over
300 the months of the scanning radar reflectivity, as shown in Figure 6b.

301 c. The influence of propagating convective systems on easterly and westerly 302 classes

303

304

[Figure 7]

305

306 In order to understand the contribution of the propagating CSs during the observed period,
307 frequency of propagating directions, that is, where radar echoes come from, have been
308 summarized in Figure 7. These are normalized with respect to the total number of convective
309 cloud populations. The largest number of coming echo directions identified during each one
310 hour period is counted as the coming direction for that hour. To observe a coming direction
311 of the CS, eight meteorological directions were used (1-8). All of the CSs observed during
312 July-September, 2010 are shown in Figure 5. Unclear direction means that no single direction
313 was identified by the count; direction 0 is used to represent those unclear directions in a given
314 hour.

315 Although unclear direction of propagating class comprise the largest number, Figure 9 shows
316 the result when the coming echoes were grouped into easterly and westerly. The result shows
317 that the southwest direction is dominant, followed by south, and southeast. In order to

318 determine the influence of the two dominant wind directions, the wind directions were
319 grouped into easterly and westerly by excluding southerly and northerly coming echoes. It
320 should be noted that the resulting number is not the total number of CSs; rather, it is the
321 number of available instantaneous scans of the CS findings.

322

323

[Figure 8]

324

325 Characteristics of the propagating and stationary classes of CS were investigated monthly
326 comparison between the two classes (Figure 8). The propagating class was found to be
327 stronger than stationary class in every month (Figure 8a). The strongest radar reflectivity was
328 ~~found in July for the propagating class, while it was found that the stationary class does not~~
329 vary much from month to month. Additionally, the average area of the propagating CSs was
330 found to be larger than that of the stationary class in every month. The largest area of the
331 echo size in August varied among the propagating class CSs, while it did not much vary in
332 the stationary class CSs by month (Figure 8c). Comparing the propagating class
333 characteristics in this study with the study of Satomura et al. (2010), which used data from
334 Vientiane radar, Lao PDR, it is found that the echo sizes of returning rain systems in July
335 2008 were relatively similar. However, the investigation of stationary class in July 2010
336 provided additional information about MCSs that showed a difference in area size.

337 In contrast to other CS characteristics, the shape of the fitted ellipse indicates high variation
338 between stationary class and propagating class by month. The stationary class in August
339 shows the highest value of ratio ellipse axis, which means a more elongated form (Figure 8d).
340 The relatively unvarying form of the CSs in the propagating class corresponds to the
341 propagating speeds of this class (Figure 8b).

342

343

[Figure 9]

344

345 In order to understand the characteristics of the largest propagating convective system for
346 each scan, the bearing direction of the returning echo was classified into easterly and westerly
347 classes as shown in Figure 9. The directions of NE, E and SE were grouped into easterly
348 classes, while the directions of NW, W and SW were grouped into westerly classes. The
349 investigation of these classes was separated into months and normalized with respect to the
350 total number of convective cloud populations.

351 The largest total number of propagating class CSs occurred in August, indicating the
352 dominance of the easterly class. An abrupt decrease in the number of propagating westerly
353 class CSs was found in September, when an increase in the number of the easterly class CSs
354 occurred. In the latter half of the monsoon season, the disturbance from WNP dominates the
355 ICP and introduces easterly rain systems during the second active period of the rainy season
356 (Takahashi and Yasunari, 2006).

357

358

[Figure 10]

359

360 Radar echoes have shown different characteristics during seasonal march, as illustrated in
361 Figure 10. In July, the elongated shape and relatively smaller size of the westerly class
362 dominates the observation area. Also, the echo intensity of the westerly class is usually
363 stronger than that of easterly class, as shown in Figure 10a. Decreasing trends of average
364 speed are found in the easterly class toward the retreat of the monsoon season, as shown in
365 Figure 10b. Generally, the largest mean area size of the westerly class is found in August, as
366 shown in Figure 10c. The westerly class provided the strongest radar echoes in all studied
367 months compared to the easterly class. Furthermore, the strongest average radar echo appears

368 in the westerly class during August. In contrast to the average propagating speed, the average
369 shape of the easterly class becomes a more elongated form, as shown in Figure 10d. Both
370 convective lines with trailing stratiform precipitation and with leading stratiform precipitation
371 have potential to create flash flooding (Parker and Johnson, 2004). Previously, Fritsch et al.
372 (1994) also used radar and satellite data to detect the size of slowly propagating mesovortices
373 that triggered heavy rain with localized flash flooding in the midlatitude regions of the United
374 States.

375 **d. Frequency occurrence of the convective systems in easterly and westerly** 376 **classes**

377

378

[Figure 11]

379

380 In order to understand the characteristics of propagating convective systems on the frequency
381 ~~of occurrence during the seasonal march of the summer monsoon, normalization of the total~~
382 number of relevant characteristics of the easterly and westerly classes has been undertaken, as
383 shown in Figure 11. In general, the frequency of the smaller CS of less than 1000 km²
384 dominates over the period in both classes, as shown in Figure 11 (a-b). However, in August,
385 CSs of greater than 1,000 km² tend to dominate the area in both classes.

386 Generally, it is found that the ratio of the fitted ellipse is mostly in range of 1.0-2.0 for both
387 classes throughout the studied period, as shown in Figure 11 (c-d). In particular, this is mostly
388 found in July for the easterly class, while it is mostly found in August for the westerly class.
389 More elongated forms of the propagating class at the fitted ellipse of greater than 2.0 are
390 found mostly in August for the easterly class, while those elongated CSs are mostly found in
391 July for the westerly class. The more elongated CSs at the ratio of the fitted ellipse greater
392 than 2.0 in westerly class decreases in frequency toward the end of September.

393

394

[Figure 12]

395

396 Generally, strong radar echoes greater than 55 dBZ were found to be the most common over
397 the study area for all studied months, as shown in Figure 12(a-b). Specifically, stronger radar
398 echoes were found more frequently in the westerly class than in the easterly class, and the
399 strongest radar echoes were found in July in case of the easterly class, and in August for the
400 westerly class. The very strong radar echoes of greater than 60 dBZ tend to decrease in
401 frequency toward the end of September.

402 In general, propagating class CSs with speeds of 5-10 m s⁻¹ are frequently found in both
403 classes, as shown in Figure 12(c-d). Remarkably, the frequency of CSs with speeds faster
404 than 15 m s⁻¹ decreases toward the end of September for the easterly class, while the
405 frequency of those with speeds slower than 5 m s⁻¹ increases toward the end of September for
406 the westerly class.

407 **e. Discussions**

408

409

[Figure 13]

410

411 To understand the spatial distribution of the easterly and the westerly classes over the study
412 area, we have investigated the clustered CSs using hotspot analysis, as shown in Figure 13.
413 The clustered size of the CS area has shown hotspot areas in the center and upper parts of the
414 study area (Figure 13a). Specifically, the center and upper parts of the area are covered by
415 hotspots related to the easterly class (Figure 13b), while the westerly class hotspot area is

416 located near the west side of the radar station (Figure 13c). In case of both classes in
417 combination, the stronger radar echoes identify clustered areas in the south and southwest of
418 the study area, while the weaker radar echoes occur in the northern and northeastern parts of
419 the area (Figure 13d). The clustered stronger radar echoes located in the south and southeast
420 of the area are related to the easterly and the westerly classes, respectively (Figure 13e and
421 13f). In addition, the clustered weaker radar echoes located in the northwest and northeast of
422 the area are related to both the easterly and the westerly classes.

423

424

[Figure 14]

425

426 ~~Interestingly, in the case of both classes in combination, the clustered hotspot of strong radar~~
427 ~~echoes, more elongated form, and high speed of CSs have shown their collocated locations to~~
428 ~~be over the southwest of the study area (Figure 14a and 14b). Detection of these~~
429 ~~corresponding locations implies the severity of the CS over the study area.~~

430 With the highest statistical significance at 99%, the elliptical shape of MCSs has been
431 investigated to better understand the time of occurrence of the more elongated form of MCSs.
432 Most of the CSs have been found in all easterly-westerly cases during evening and night
433 times, supported by observations of diurnal variation of propagating convective systems over
434 the tropic land mass by TRMM (Johnson 2011). In addition, this clustered CS is also
435 supported by the findings of Satomura (2000), in which the the mesoscale numerical model
436 was used to simulate diurnal variation of propagating eastward MCSs over the middle of the
437 ICP. Additionally, Takahashi et al. (2010) identified the diurnal pattern, and also found large
438 quantities of rainfall in the evening and night time over the middle of the ICP. To describe
439 diurnal variation of convective systems, infrared sensors on geostationary satellites were also
440 used to detect late night/early morning maximum rainfall over the windward areas of the
441 mountains, basins valleys, and coastal areas (Ohsawa et al.2001).

442

443

[Figure 15]

444

445 Figure15 shows a squall line, one of the MCSs types, in the shape of a bow echo propagating
446 over the southwest portion of the radar area. The convective system was initiated outside the
447 radar observation range by propagating toward the Dong Phraya range, as shown in Figure 1.
448 While it was propagating, their convective and stratiform cloud areas were enhanced. The
449 more elongated forms of the CS shape were detected in the form of squall lines propagating
450 over the radar in both easterly and westerly cases. As discussed by Houze (2014), there are
451 four stages of MCS evolution, which are formative, intensifying, mature and dissipating.
452 However, the radar used in this study does not cover a broad enough area to observe and
453 describe all of the MCSs stages. The study of MCS evolution above the landmass of the ICP
454 will be more complete when multiple radar composites are combined for study in the future,
455 similar to research done by Carbone et al. (2002) and Carbone and Tuttle (2008), using a
456 radar mosaic over the United States.

457 5. Summary

458 In order to describe characteristics of the largest convective systems (CS) during the
459 monsoon march of the rainy season over the middle Indochina in 2010, the gridded
460 reflectivity was created from instantaneous ground-based radar, at Phetchabun in middle of
461 Thailand, at height of 3 km by using an open source radar library called Wradlib. In addition,
462 the classifying scheme used for the convective region was adopted from Steiner et al. (1995)
463 based on a 2D classifying background method implemented in a Python environment. The

464 results show that propagating CSs comprise the major population contributing to the total
465 rainfall during the rainy season of the monsoonal march. It was found that, in August, the
466 highest number of the propagating CS were associated with relatively larger echo sizes. The
467 classification of propagating directions of the propagating CS demonstrated that the variation
468 in temporal characteristics was affected by the two prevailing synoptic winds. The speed of
469 the easterly CS decreases toward the end of rainy season, while the shape of the system
470 becomes more elongated. In addition, larger and stronger echo sizes occurred in August in the
471 case of the westerly classes. When considering the spatial analysis of the clustered hotspot
472 CVs, the southwest of the study area is identified as the most severe propagating CS class
473 based on the collocated area of the easterly and westerly classes.
474 There were two major limitations in this study. The first limitation was the time span of only
475 three months, which is too short to provide concrete conclusions for a climatological study.
476 The second limitation was the limited radar observation area, covering only 120 km due to
477 the beam blockage effect. Further study should be done to create a radar mosaic using
478 ~~multiple ground-based radar stations to extend the study area for better understanding of the~~
479 rain systems and the spatio-temporal characteristics of the extreme convective system. In
480 addition, inter-seasonal variations of the convective systems should also be investigated.

481 **Acknowledgements:**

482
483 This research was supported by National Research Council of Thailand (NRCT) through the
484 Naresuan University R2561B062, R2561B063 and R2562B031. We are really appreciated to
485 "Advancing Co-design of Integrated Strategies with Adaptation to Climate Change in
486 Thailand (ADAP-T)" supported by the Science and Technology Research Partnership for
487 Sustainable Development (SATREPS), JST-JICA for providing research fund to support the
488 project. The data was supported through project of Integrated Study Project on Hydro-
489 Meteorological Prediction and Adaptation to Climate Change in Thailand (IMPAC-T).
490 Special thanks to the Thai Meteorological Department for providing radar reflectivity data. In
491 addition, we gratefully thank to developer of OpenCV and Wradlib libraries for providing
492 source codes used in Python script.

493
494

495 **References**

- 496 [1]Carbone, R. E., and J. D. Tuttle, 2008: Rainfall occurrence in the U.S. warm season:
497 the diurnal cycle. *J. Climate.*, 21, 4132–4146.
- 498 [2]Carbone, R. E., J. D. Tuttle, D. Ahijevych, and S. B. Trier, 2002: Inferences of predict-
499 ability associated with warm season precipitation episodes. *J. Atmos. Sci.*, 59, 2033–
500 2056.
- 501 [3]Coniglio, M. C., D. J. Stensrud, and L. J. Wicker, 2006: Effects of upper-level shear on
502 the structure and maintenance of strong quasi-linear mesoscale convective systems. *J.*
503 *Atmos. Sci.*, 63, 1231–1252.
- 504 [4]Fritsch, J. M., R. J. Murphy, and J. S. Kain, 1994: Warm core vortex amplification
505 over land. *J. Atmos. Sci.*, 51, 1781–1806.
- 506 [5]Getis, A. and J.K. Ord, 1992: The Analysis of Spatial Association by Use of Distance
507 Statistics, *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206.
- 508 [6]Heistermann, M., Jacobi, S., Pfaff, T., 2013. Technical Note: An open source library
509 for processing weather radar data (wradlib). *Hydrology and Earth System Sciences*
510 17, 863–871.
- 511 [7]Houze, R. A., Jr., 2014: *Cloud Dynamics*, 2nd Ed., Elsevier/Academic Press, Oxford,
512 432 pp.
- 513 [8]Johnson, R. H., 2011: Diurnal cycle of monsoon convection. *The global monsoon sys-*
514 *tem: research and forecast*, World Scientific Publishing Co., 257–276.
- 515 [9]Lang, T. J., A. A. David, S. W. Nesbitt, R. E. Carbone, 2007: Radar-Observed
516 Characteristics of Precipitating Systems during NAME 2004, *J. Climate.*, 20, 1713-
517 1733.
- 518 [10]Lau, K.-M., and S. Yang, S. 1997: Climatology and interannual variability of the
519 south-east Asian summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 14, 141–162.
- 520 [11]Laing, A. G., and J. M. Fritsch, 2000: The large-scale environments of the global
521 populations of mesoscale convective complexes. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2756–2776.
- 522 [12]Liu, C. and E. Zipser, 2013: Regional variation of morphology of organized
523 convection in the tropics and subtropics. *J. Geophysical Research: Atmospheres*, 118,
524 453–466, doi:10.1029/2012JD018409.
- 525 [13]Matsumoto, J., 1997: Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and
526 adjacent monsoon region. *Adv. Atmos. Sci.*, 14, 231–245.
- 527 [14]Morwal, S. B., Narkhedkar, S. G., Padmakumari, B., Maheskumar, R. S., and J. R.
528 Kulkarni, 2017: Characteristics of precipitating monsoon clouds over rain-shadow and
529 drought-hit regions of India using radar. *Climate Dynamics.*, 9, 1-24.
- 530 [15]Nesbitt, S. W., R. Cifelli, and S. A. Rutledge, 2006: Storm morphology and rainfall
531 characteristics of TRMM precipitation features. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2702–2721.
- 532 [16]Ohsawa, T., H. Ueda, T. Hayashi, A. Watanabe, and J. Matsumoto, 2001: Diurnal
533 variations of convectivity and rainfall in tropical Asia. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 79,
534 333–352.
- 535 [17]Okumura, K., T. Satomura, T. Oki, and W. Khantayanan, 2003: Diurnal variation of
536 precipitation by moving mesoscale systems: radar observations in northern Thai-land.
537 *Geophys. Res. Lett.*, 30.
- 538 [18]OpenCV (2019, June 23) Retrieved from
539 https://docs.opencv.org/trunk/d0/de3/tutorial_py_intro.html
- 540 [19]Parker, M. D., and R. H. Johnson, 2004c: Simulated convective lines with leading
541 precipitation. Part II: Evolution and maintenance. *J. Atmos. Sci.*, 61, 1656–1673.
- 542 [20]Pritchard, M. S., M. W. Moncrieff, and R. C. Somerville, 2011: Orographic propagating
543 precipitation systems over the United States in a Global Climate Model with
544 embedded explicit convection. *J. Atmos. Sci.*, 68, 1821–1840.

- 545 [21]Rigo, T. and M. C. Llasat, 2004: A methodology for the classification of convective
546 structures using meteorological radar: Application to heavy rainfall events on the
547 Mediterranean coast of the Iberian Peninsula. *Natural Hazards and Earth System*
548 *Sciences* (2004) 4: 59–68.
- 549 [22]Rigo, T. and M. C. Llasat, 2007: Analysis of mesoscale convective systems in
550 Catalonia using meteorological radar for the period 1996–2000. *Atmospheric*
551 *Research* 83 (2007) 458–472.
- 552 [23]Romatschke, U., and R. A. Houze Jr., 2011: Characteristics of Precipitating
553 Convective Systems in the South Asian Monsoon. *J. Hydrometeorology*. 12, 3-26.
- 554 [24]Robinson, F. J., S. C. Sherwood, D. Gerstle, C. Liu, and D. J. Kirshbaum, 2011:
555 Exploring the land-ocean contrast in convective vigor using Islands. *J Atmos Sci*
556 68:602–618.
- 557 [25]Satomura, T., 2000: Diurnal variation of precipitation over the Indo-China Peninsula:
558 two-dimensional numerical simulation. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 78, 461–475.
- 559 ~~[26]Satomura, T., K. Yamamoto, B. Sysouphanthavong, and S. Phonevilay, 2011:~~
560 ~~Diurnal variation of radar echo area in the middle of Indochina. *J. Meteor. Soc.*~~
561 ~~*Japan.*, 89a, 299-305.~~
- 562 [27]Steiner, M., Houze, R.A., JR, Yuter, S.E.,1995. Climatological Characterization of
563 Three-Dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data.
564 *Journal of Applied meteorology* 34, 1978–2007.
- 565 [28]Takahashi, H. G., H. Fujinami, T. Yasunari, and J. Matsumoto, 2010: Diurnal rainfall
566 pattern observed by Tropical Rainfall Measuring Mission Precipitation Radar
567 (TRMM–PR) around the Indochina peninsula. *J. Geophys. Res.*, 115, 1–10.
- 568 [29]Takahashi, H., and T. Yasunari, 2006: A climatological monsoon break in rainfall
569 over Indochina—A singularity in the seasonal march of the Asian summer monsoon.
570 *J. Climate*, 19, 1545–1556.
- 571 [30]Wang, B., and L. Ho, 2002: Rainy season of the asian–Pacific summer monsoon. *J.*
572 *Climate.*, 15, 386–397.
- 573 [31]Xie, S.-P., H. Xu, N. Saji, and Y. Wang, 2006: Role of narrow mountains in large-
574 scale organization of Asian monsoon convection. *J. Climate.*, 19, 3420–3429.
- 575
- 576

577 **Figures and Tables**

578 **Figure 1:** Map of the study area within range of the Phetchabun radar (represented as a
579 triangle) at a radius of 60 and 120 km represented as dash lines. The boundary of river basins
580 under the radar observation area is represented as blue lines.

581 **Figure 2:** Schematic diagram of convective grid points adopted from Steiner et al. (1995).
582 The lightly shaded circular area indicates the area within the background radius surrounding a
583 given grid point. The darker-shaded area represents the area around the convective center, if
584 identified as such that is included as convective area. The radius of this convective area is a
585 function of the average reflectivity within the background radius.

586 **Figure 3:** classified rain cloud types on September 3, 2010 at 13:00 (a) original radar
587 reflectivity shown in dBZ (b) classified convective and stratiform clouds, shown as red and
588 green colors, respectively (c) classified convective clouds shown in different colors (d) the
589 fitted ellipse superimposed on the largest convective cloud after application of smooth kernel.

590 **Figure 4:** hotspot analysis of the largest convective clouds from July to September 2010 (a-c)
591 hotspots of area for all centroids, propagating and stationary class (d-f) hotspots of echo
592 intensity for all centroids, propagating and stationary classes. Contour lines shown in gray
593 represent elevation at interval of 100 meters. Triangle represents location of the radar station.
594 Radar observation ranges are represented in circles at distances of 60 and 120 km from the
595 radar station. G_i bin is a group of z-score calculated from G_i^* shown in equation 2.

596 **Figure 5:** Normalization of the number of the largest convective clouds for both propagating
597 and stationary class. The numbers above each bar indicate the total number of convective
598 clouds for each class.

599 **Figure 6:** Normalization of frequency radar echo area of the largest convective cloud for both
600 (a) propagating and (b) stationary classes

601 **Figure 7:** Normalization of the frequency of classified coming directions of the largest
602 propagating convective cloud. "0" indicates unclear coming direction (see text for details).
603 The patterns of vertical and horizontal filled bars indicate easterly and westerly classes,
604 respectively. The numbers above each bar indicate the total number of the convective clouds
605 for each class.

606 **Figure 8:** Characteristics of the largest convective cloud between propagating and stationary
607 class (a) echo intensity (b) moving speed of propagating class (c) echo area (d) ratio of the
608 axes of the best fitted ellipse. Standard errors are represented by error bars.

609 **Figure 9:** Normalized frequency of the two most dominant classified coming directions of
610 the largest propagating convective cloud. The numbers above each bar indicate the total
611 number of convective clouds for each class.

612 **Figure 10:** Characteristics of the largest convective cloud between easterly and westerly
613 classes (a) average echo intensity (b) average speed of convective cloud (c) area average of
614 radar echo (d) average ratio of the axes of the best fitted ellipse. Standard errors are
615 represented by error bars.

616 **Figure 11:** Normalized frequency of radar echo area for the largest convective cloud (a)
617 easterly class (b) westerly class; normalized frequency of the axis ratio between major and
618 minor axes of the fitted ellipse (c) easterly class (d) westerly class (see text for details).

619 **Figure 12:** Normalized frequency of radar echo characteristics for the largest convective
620 cloud (a) echo intensity of easterly class (b) echo intensity of westerly class; normalized
621 frequency of the convective cloud speed (c) easterly class (d) westerly class.

622 **Figure 13:** Hotspot analysis of the largest convective clouds from July to September 2010 (a-
623 c) hotspot of echo area for all centroids, easterly and westerly classes (d-f) hotspot of echo
624 intensity for all centroids, easterly and westerly classes. Contour lines represent elevation at
625 interval of 100 meters. Triangle represents the location of the radar station. Radar observation

626 ranges are represented in circles at distances of 60 and 120 km from radar station. Gi bin is a
627 group of z-score calculated from G_i^* shown in equation 2.

628 **Figure 14:** Hotspot analysis of the largest convective clouds in case of combination between
629 easterly and westerly classes from July to September 2010 (a) hotspot of the ratio of the axes
630 of the best fitted ellipse (b) hotspot of the speed of the convective cloud. Contour lines
631 represent elevation at intervals of 100 meters. Triangle represents the location of the radar
632 station. Radar observation ranges are represented in circles at distances of 60 and 120 km
633 from the radar station. Gi bin is a group of z-score calculated from G_i^* shown in equation 2.

634 **Figure 15:** Squall line evolutions during (a-f) at 13:00 - 1445 UTC on 13 August 2010 over
635 the study area (indicated by red arrows) displaying expansion of convective area during
636 dissipation stage of mesoscale convective systems. Color bar is radar intensity in dBZ.

637

638

639

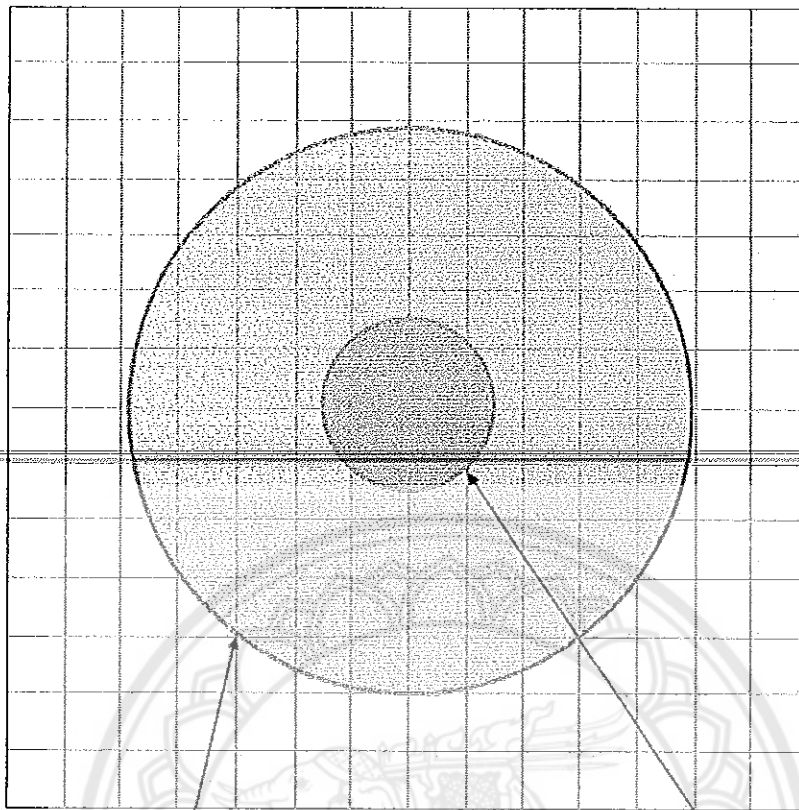
640

641

642

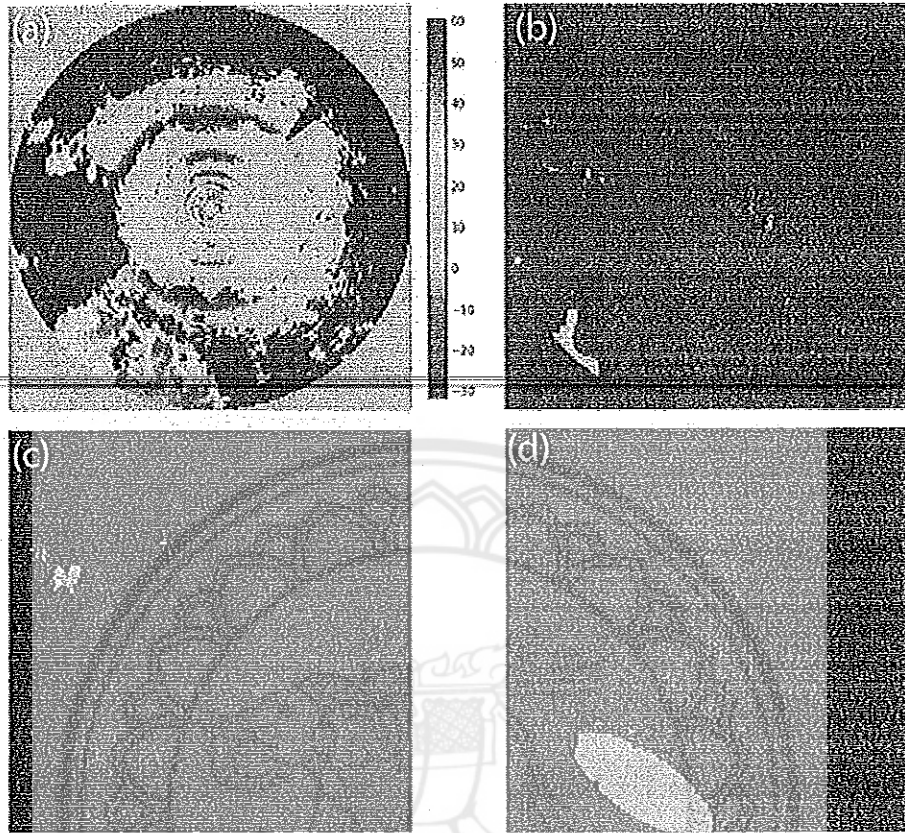


680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709



Background Radius = 10 km Convective radius
Figure 2

710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720



721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734

Figure 3

735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758

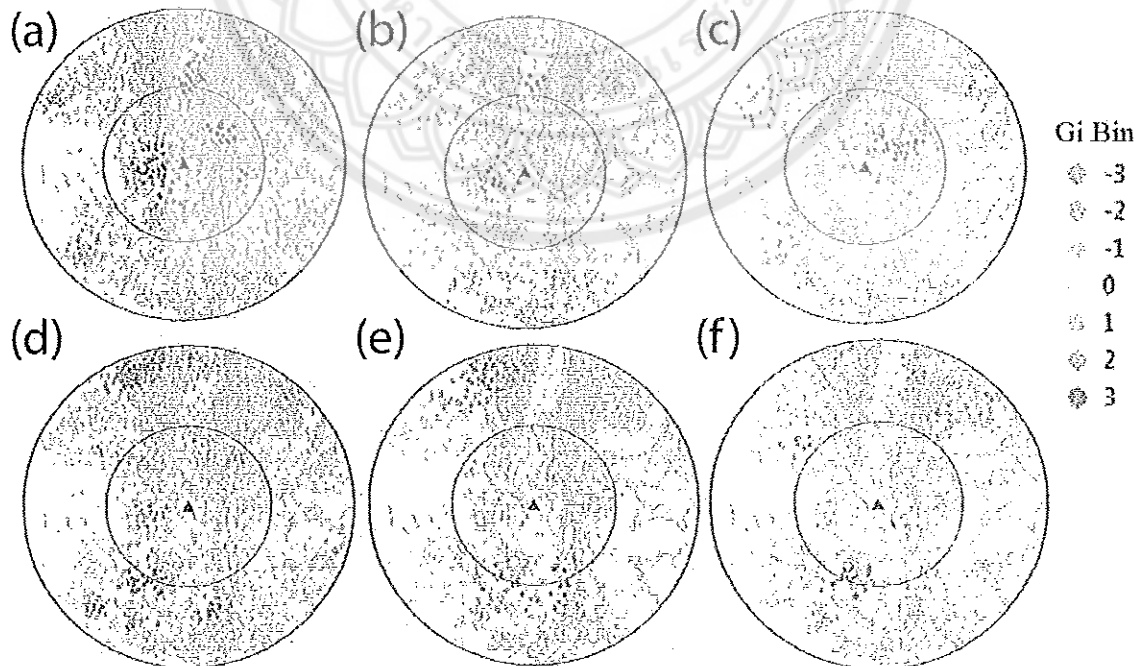


Figure 4

759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787

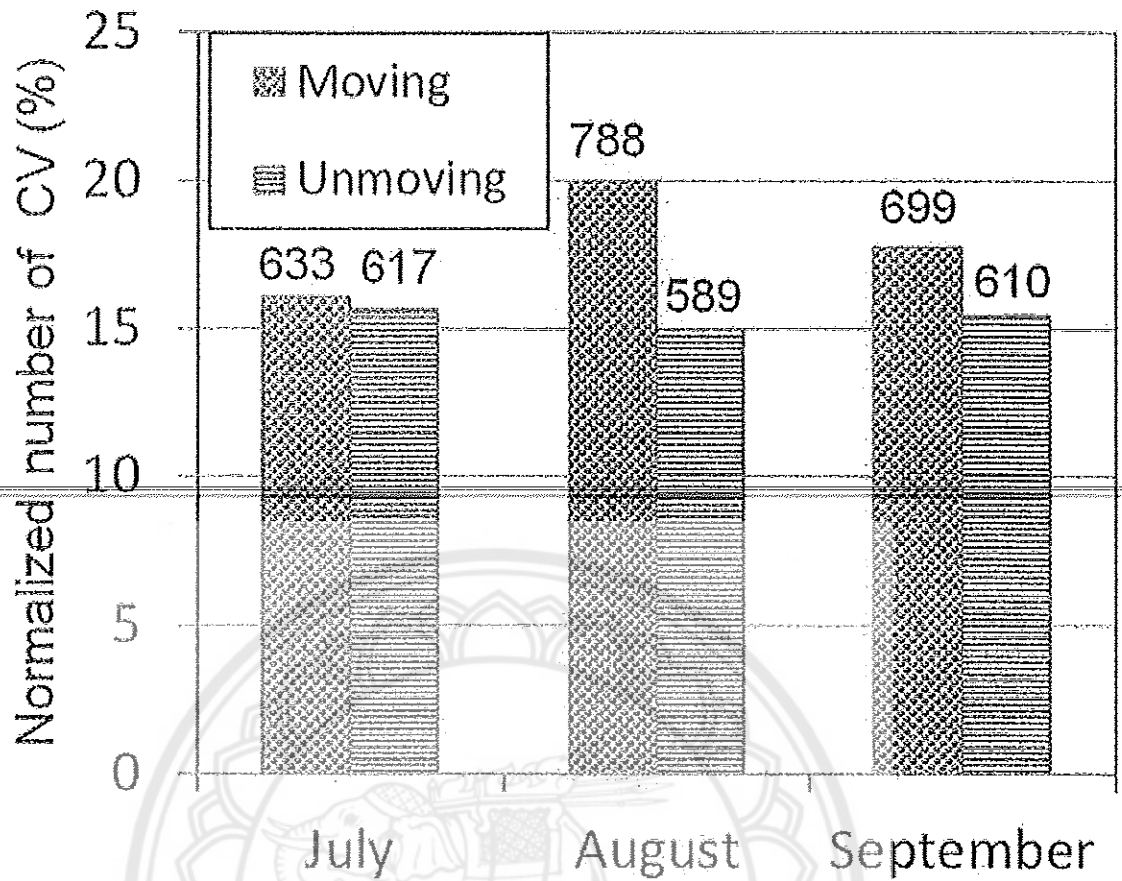
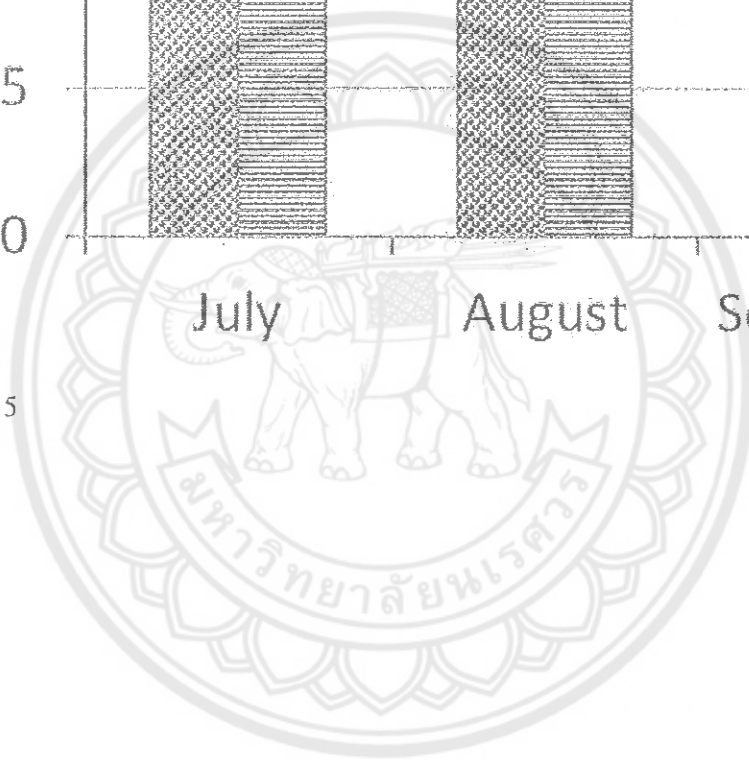


Figure 5



788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829

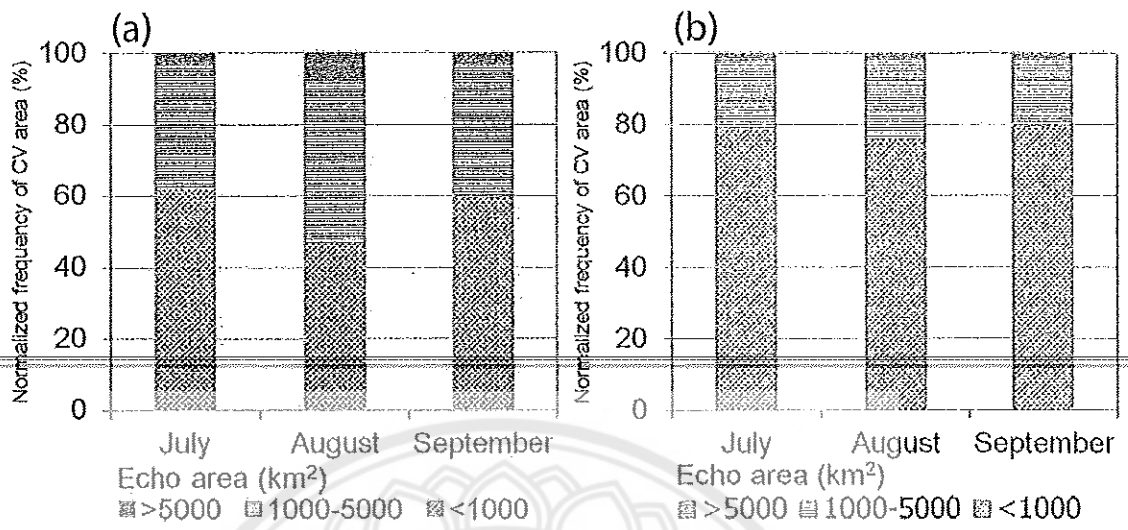


Figure 6

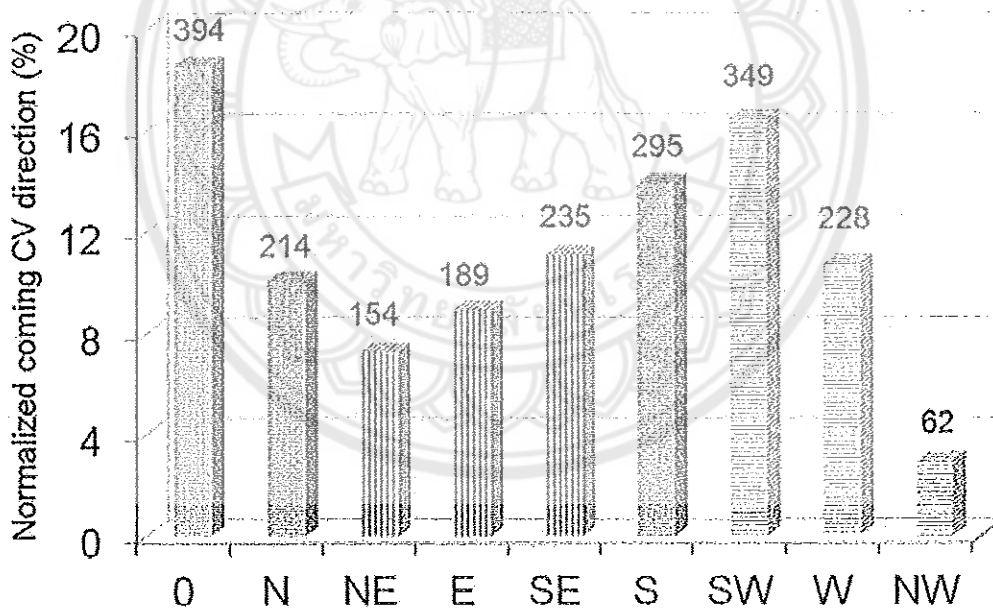


Figure 7

830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877

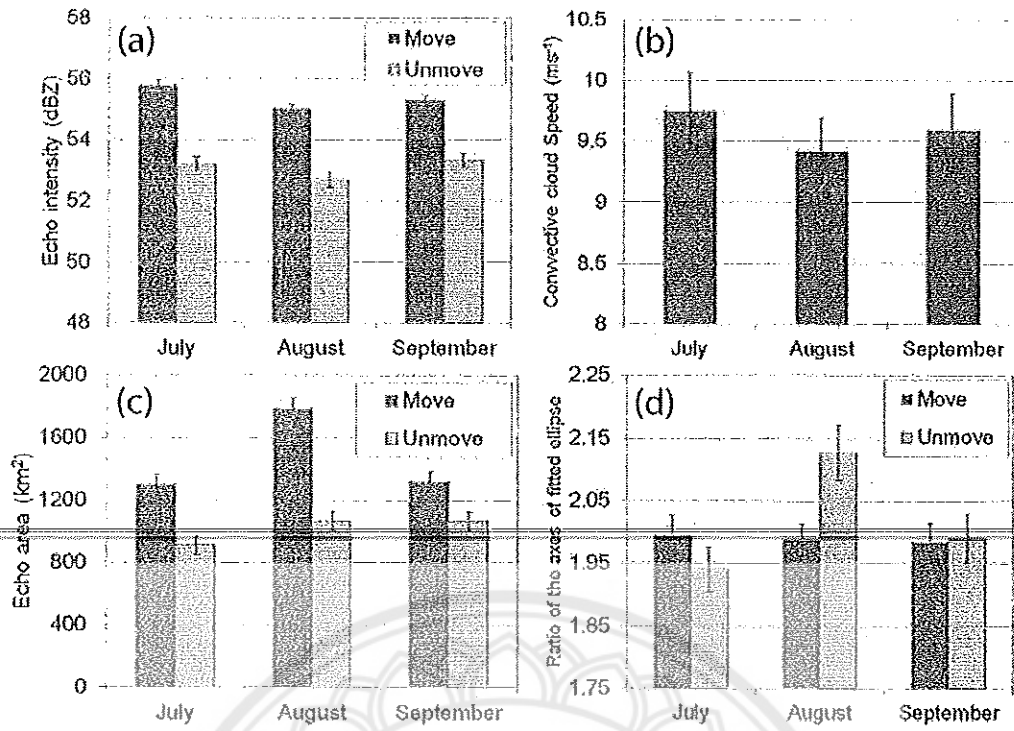


Figure 8

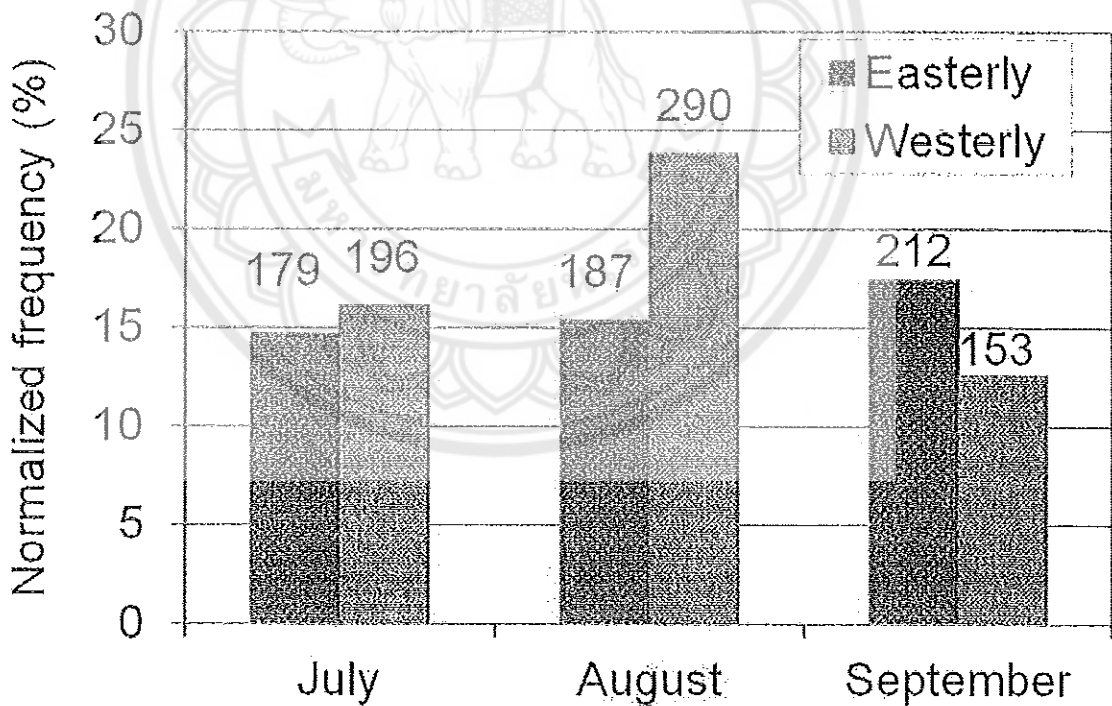


Figure 9

878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888

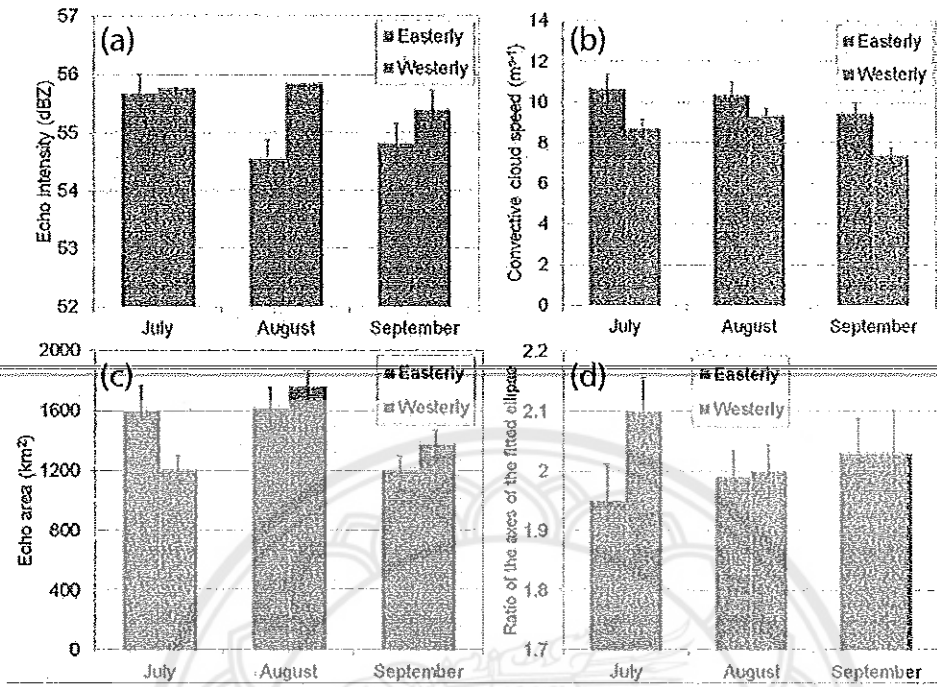


Figure 10

889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925

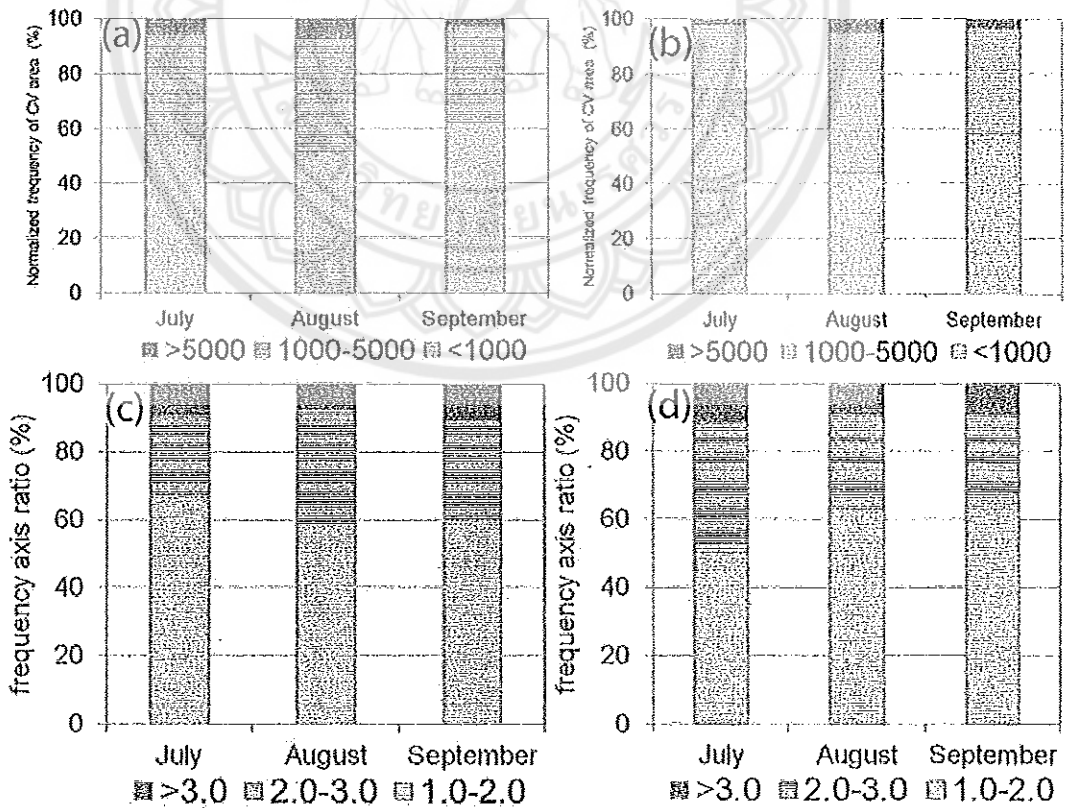


Figure 11

926

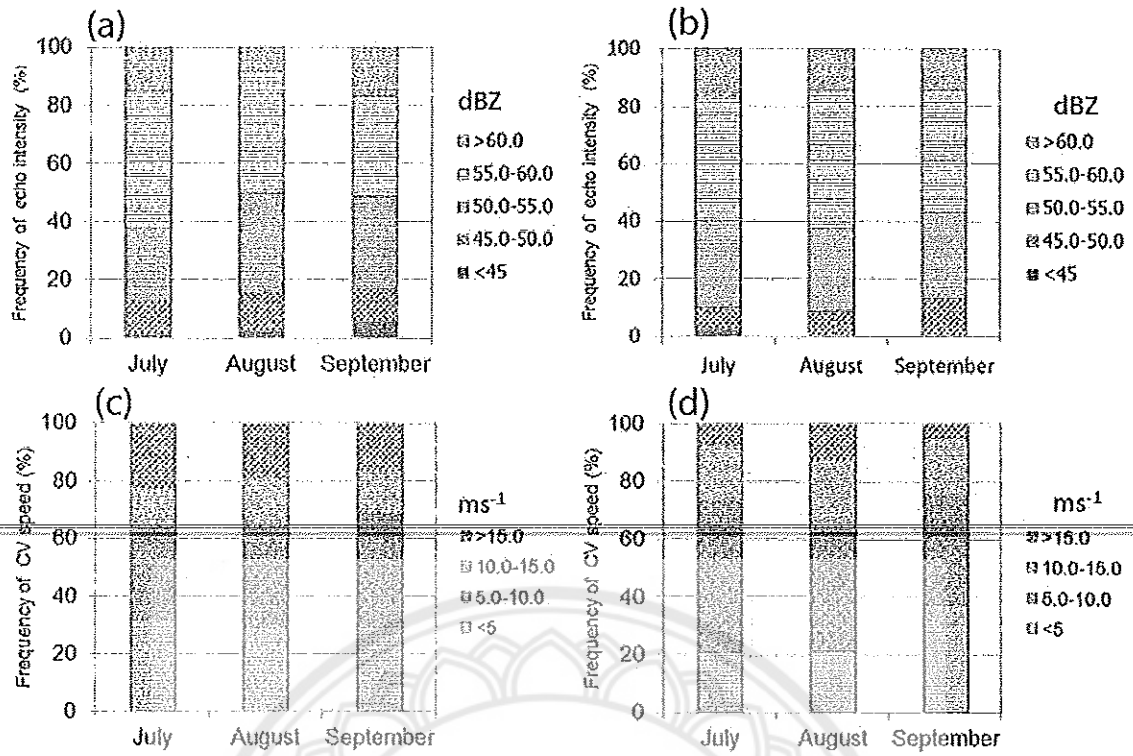


Figure 12

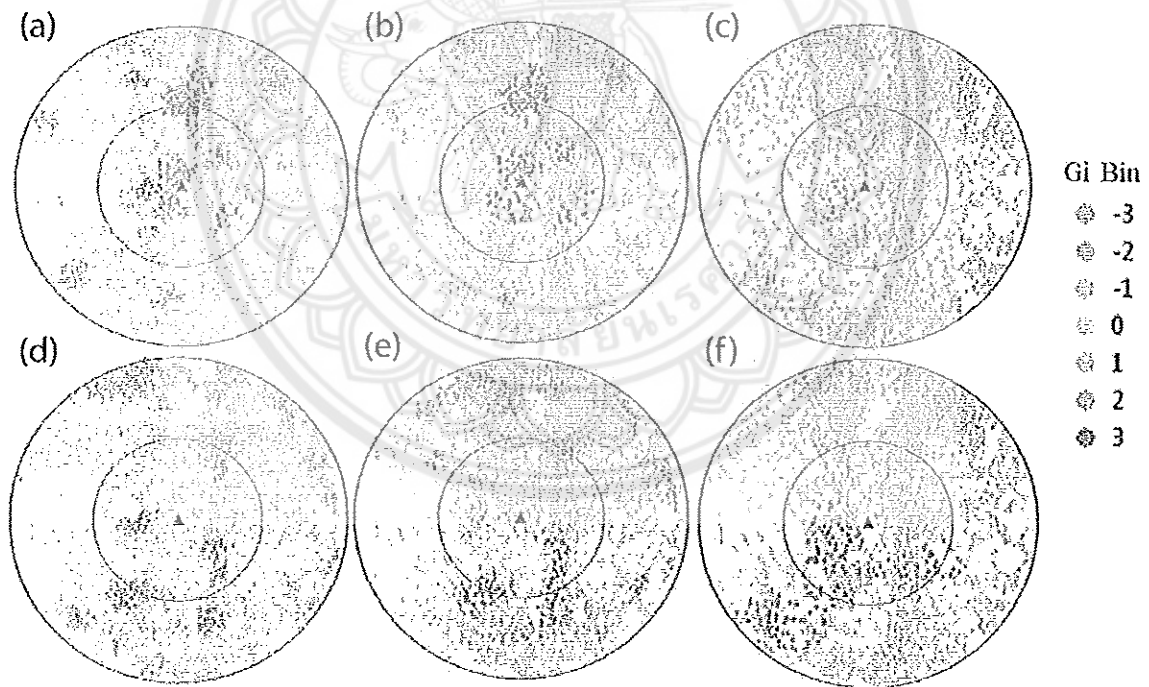


Figure 13

927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971

972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015

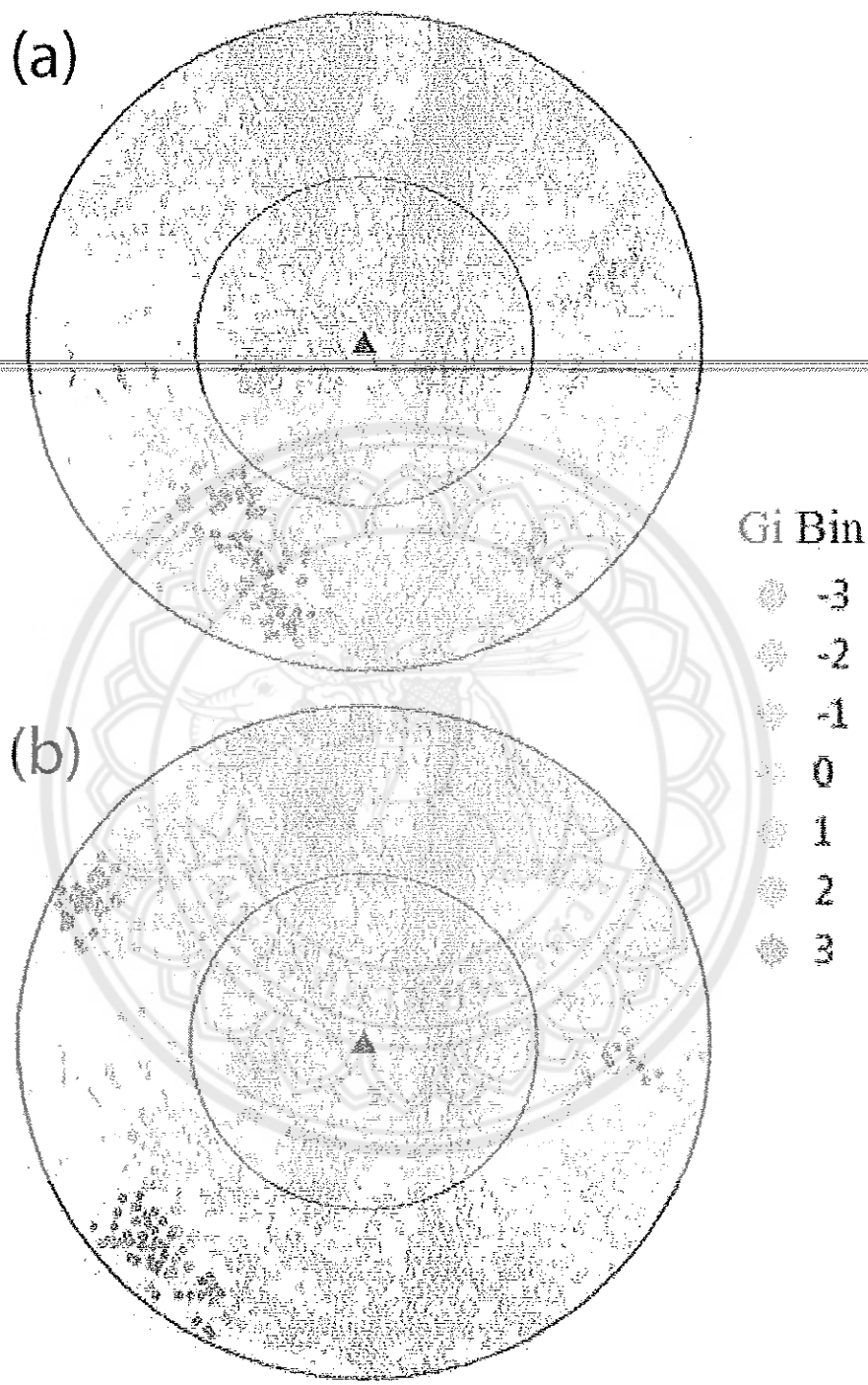


Figure 14

1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058

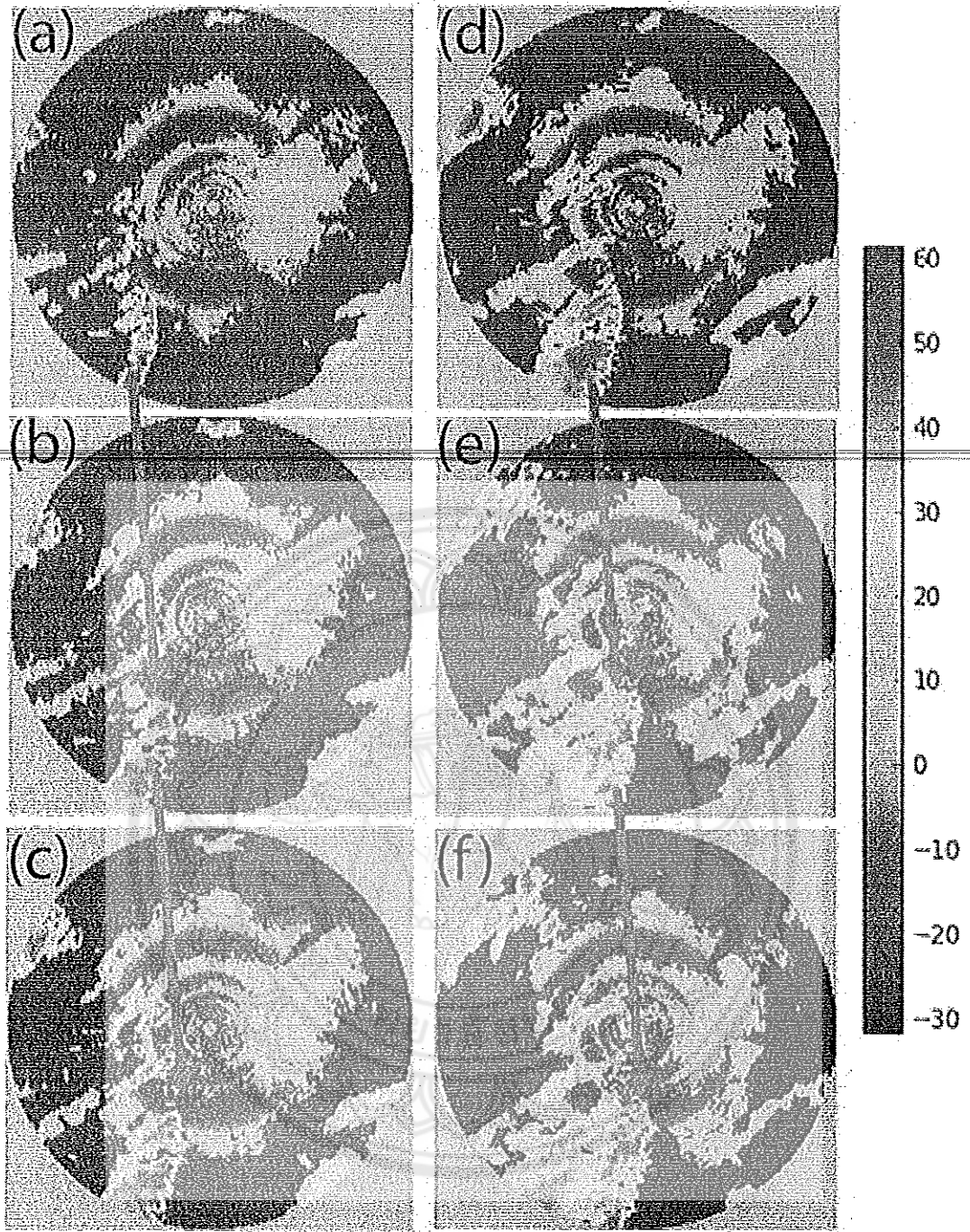


Figure 15

1059

1060 **Table 1:** overall statistics for the convective clouds

	Mean	Standard Deviation (S.D.)
Area (km ²)	1184.23	1650.59
Speed (m s ⁻¹)	9.58	7.75
Ellipse shape	1.99	0.83
Echo intensity (dBZ)	54.29	5.31

1061

1062 **Table 2:** overall statistics for propagating and stationary class

	Propagating class		Stationary class	
	Mean	Standard Deviation (S.D.)	Mean	Standard Deviation (S.D.)
Area (km ²)	1485.33	1838.03	832.53	1315.71
Ellipse shape	1.988	0.773	1.996	0.883
Echo intensity (dBZ)	55.33	4.59	53.07	5.82

1063

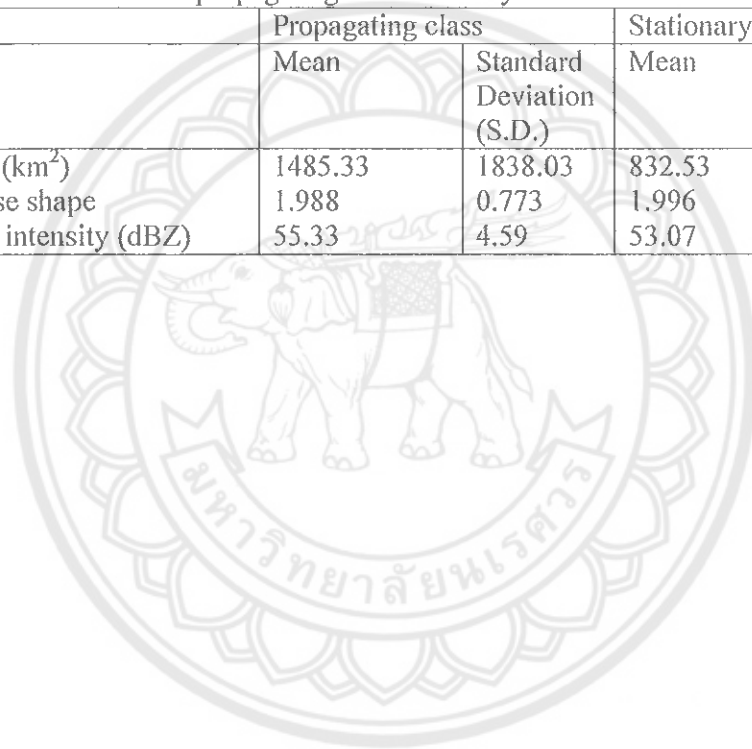
1064

1065

1066

1067

1068



Comparison of spatial error structures between TRMM products and APHRODITE over the Indochina Peninsula

Nattapon Mahavik (1^{*}), Sarintip Tantance (2)

¹Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

Email: nattaponm@nu.ac.th

Abstract

~~Precipitation is essential factor to drive agricultural activities in the tropical region including Indochina peninsula~~ (ICP). Natural hazards triggered by precipitation extremes such as drought, floods, and landslides have increased in the region over the past decade. Precipitation/rainfall estimates products from satellites occupying such high spatial and temporal resolution can be one of solutions for the disaster prevention and mitigation processes. However, the products need to be validated as well as understood in the spatial error structures prior to the application in the fields. In this study, we developed the method to validate the two products from TRMM Multi-satellite precipitation Analysis (TMPA) which are TRMM3B42 and TRMM342RT. The validating data as ground-based rainfall is derived from Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE). Python script and BaseMap library have been used in this study to find spatial structure errors. We have found that both the spatial errors and detection of performance statistics such as POD, CSI and FAR have shown significant difference for both products in comparison between dry and wet seasons over the ICP for the selected year of 2004. During wet season, the TRMM products have shown well performance to detect rain compared to dry season by providing the relative bias less than three times. Spatial bias of the gauge-correction procedure for TRMM3B42 has shown better performance compared to TRMM3B42RT. For the middle of ICP, it has been clearly seen that there is the least spatial bias compared to over Tennasserim hills or Peninsular Malaysia. The performance of TRMM products may subject to the quality of validated surface data the source surface data used to validate because over the plain of ICP, where there is dense of rain gauge distribution, it indicates better performance of rain detection than over the mountainous regions.

Keywords: Satellite Rainfall Estimates, Indochina peninsula, Validation, Python, BaseMap

1. Introduction

Precipitation represents the net heating from condensation in the atmosphere which is the key exchange process within the hydrological cycle. Precipitation measurement is the essential process to provide input information for hydrologic, climatologic, and agricultural studies, especially for those natural hazards linked with precipitation extremes, such as droughts, floods and landslides (Guo et al., 2015). Therefore, there are several attempts to measure precipitation precisely using several methods respected to spatial and temporal variability. Although the rain gauge accurately provides point rain measurement at the surface level, there are limitations to study and apply for regional and global scale due to small sampling area and inhomogeneous distribution of gauges installation. Ground-based radar network is one of the effective instruments to observe the quantitative precipitation. However, the inherent errors of the radar itself such as surface backscatter, attenuation and extinction of signal, bright band effects, and uncertainty of the reflectivity-rainrate ($Z-R$) relationship (Iguchi et al. 2000, 2009; Yang et al. 2006; Wolff and Fisher 2008; Kidd et al. 2012) cause the limitation on the usage of radar advantages over the regional scale. In addition, radar network does not coverage over the developing countries due to its expensive cost.

Satellite-based quantitative precipitation estimates (QPE) algorithms have been developed in recent years to be an alternative method to estimate precipitation dynamics at regional and global scale (Guo et al., 2015). The QPE has been produced by using sophisticate techniques to combine the geosynchronous infrared (IR) sensors on geostationary (GEO) satellites with high sampling frequency and polar-orbiting microwave sensors (PMW) on low-Earth-orbiting (LEO) satellites with less-frequent temporal sampling (Huffman et al. 2007). IR data are derived from the measurements of cloud-top temperature and cloud height, which may not directly relate to lower-level rainfall rates compared to PMW sensors (Sapiano and Arkin 2009). However, the error sources associated with these satellite products have not been clarified yet. The quantification of uncertainties and inherent errors in satellite precipitation data are needed to address before applications (Hong et al. 2006; Mehran et al. 2014; Tian et al. 2009; Sorooshian et al. 2011). In addition, the performance of the data can vary significantly among different seasons, regions and precipitation type (Ebert et al. 2007, Dinku et al. 2009; Gebregiorgis and Hossain, 2011; Veerakachen et al. 2014).

In this study, TRMM products have been validated with observed rain at ground surface. TRMM product is the satellite precipitation product produced by the algorithms combining PMW and IR data to estimate precipitation with spatial resolution of 0.258 latitude/longitude and temporal resolution of daily level integrated from 3 hour. The algorithm not only integrates IR and PMW data but also includes the TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) of real time (3B42-RT) and research version 7 (3B42-V7) (Huffman et al. 2007, 2010). The primary objective of this paper is to identify the strengths and weaknesses of TRMM products over Indochina Peninsula (ICP). Explicitly, the error structures are characterized in terms of spatial distribution and, spatial and temporal variations over dry and wet seasons.

2. Study area, data and statistics

2.1. Study area

In this study, the term of Indochina Peninsula (ICP) refers to land historically under the cultural influence of India and China corresponding to the lands of Myanmar, Thailand, Laos, Cambodia, Vietnam and Peninsular Malaysia. The ICP is located among two oceans which are Indian and Pacific oceans. The southwesterly inflow is predominant wind during wet season, while the northeasterly wind dominates during winter seasons affecting some areas of ICP to receive a huge of precipitation. The topography of different altitudes governs the climatic conditions of the ICP. The mountain range such as Arakan Mountains, Dawna range, Tennasserim hills and Annamite range determines the rainfall pattern over the mainland of the ICP. Over the wind ward side of the ranges, annual rainfall is larger than 2,000 mm such as in the west side of Tennasserim hills. Tropical cyclones has been active during wet season of boreal summer originating and moving from the northwest Pacific Ocean from June to October whereas September being the most active month for the tropical cyclones. As shown in Figure 1, the difference of rainfall pattern of two TRMM products has been illustrated as daily mean of rainfall during wet season (May to October 2004).

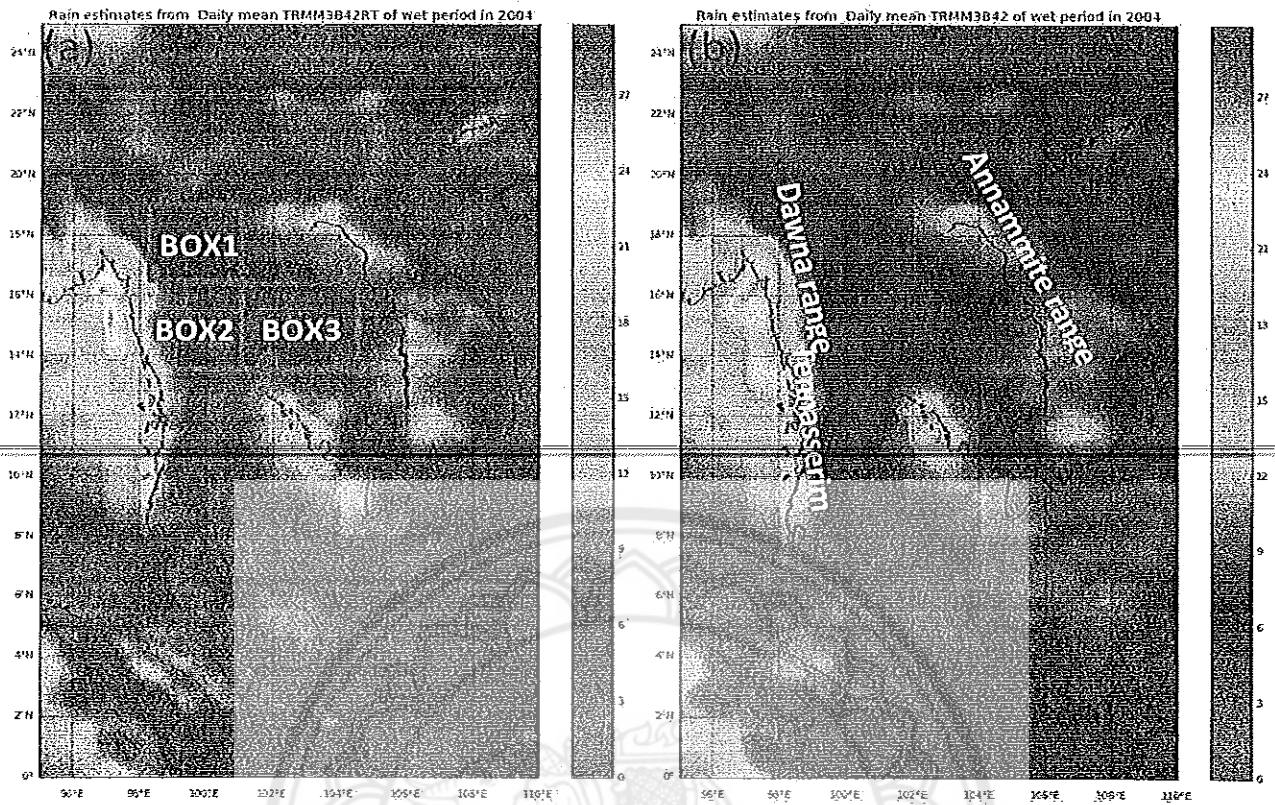


Figure 1 The daily rain estimates shown in color shade in unit of mm during wet season of boreal summer of study area over Indochina peninsula over latitude of 0-25°N and longitude of 95°E-110°E. Three red boxes indicate investigating area (see text for details): (a) The daily rain estimates from TRMM3B42RT (mm) (b) The daily rain estimates from TRMM3B42 (mm).

2.2 Datasets

2.2.1 Ground reference dataset

Product of the Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE's water resources) project has been used as a ground reference dataset (Yatagai et al. 2009). APHRODITE data has been produced from observed daily rain-gauge precipitation from meteorological agencies over the Asian monsoon region. The original spatial resolution is 0.05° grid size, and then the data have been interpolated into 0.5° and 0.25° grid size. The algorithm techniques have been developed for APHRODITE to interpolate using distance-weighting interpolation considering sphericity (Willmott et al., 1995) and orography based on sphere map (Schaake et al., 2004). In this study, the product with 0.25° daily resolution has been used as the ground reference data. The spatial distribution of rain gauge locations used to produce APHRODITE varies from location to locations based on Topography and sources of the gauge data.

2.2.2 Satellite-based precipitation dataset

The satellite rainfall products from National Aeronautics and Space Administration (NASA), TRMM products at 0.25° daily gridded resolution have been validated with ground reference of APHRODITE. TRMM3B42V7 and TRMM3B42RT have been selected to find spatial error of the product over the ICP. NASA Goddard space flight center (GSFC) has developed TMPA algorithm which is combination of the two products: the PMW and PMW calibrated IR. In the algorithm, the PMW data are calibrated by the combined TMI and precipitation radar (PR) products, and then used to calibrate the IR input data. The difference of two products is that 3B42RT is the real time products, while 3B42 is post-real-time research product that has been applied Global Precipitation Climatology Center (GPCC) products and Climate Assessment and Monitoring System (CAMS) gauge data to adjust spatial bias.

2.3 Statistical Evaluation Metrics

Bias, Relative bias (RB), root mean square error (RMSE) and Pearson linear correlation coefficient (CC), probability of detection (POD), false alarms ratio (FAR) and critical success index (CSI) are used to evaluate the performance of the two satellite rainfall products. RB, RMSE and CC are defined as followings.

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^N (G_i)} \tag{1}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - G_i)^2} \tag{2}$$

$$CC = \frac{Cov(S - G)}{\sigma_s \sigma_G} \tag{3}$$

Where S means TRMM products and G means gauge-based reference dataset. RB and CC are dimensionless. RMSE is in mm day⁻¹. Cov() in Equation (3) refers to the covariance, and σ denotes the standard deviation. RB indicates the degree of overestimation or underestimation in percentage. All above statistics have been computed on a grid-by-grid basis over ICP.

Table 1. Contingency table comparing precipitation detection by TRMM products and APHRODITE.

	Gauge ≥ Threshold	Gauge < Threshold
QPE ≥ threshold	H	F
QPE < threshold	M	Z

Where, H is the number of hits, F is the number of false alarms and M is the number of miss alarms.

To evaluate a relative performance of satellite products based on APHRODITE, these categorical statistical indices are computed based on a contingency table of the number of rainfall events detected correctly by the satellite products to the number of rainfall occurrence observed by reference data; FAR is the proportion of rainfall recorded by satellite but reference data does not exist; CSI denotes the overall proportion of rainfall events correctly recorded by satellite. POD, FAR and CSI range from 0 to 1, with 1 indicating a perfect performance for POD and CSI, and 0 being a perfect performance for FAR. These evaluation metrics are calculated as followings.

$$POD = \frac{H}{H + M} \tag{4}$$

$$FAR = \frac{F}{H + F} \tag{5}$$

$$CSI = \frac{H}{H + M + F} \tag{6}$$

3. Results and Discussions

Python script and BaseMap library have been used in this study to find spatial structure errors using statistical matrices. POD, FAR and CSI can be used to clarify the nature of the occurrence errors (Ebert et al., 2007). The contingency statistics (POD, FAR and CSI scores) between TRMM products and APHRODITE have been evaluated spatially shown in Fig.2. Spatial variations of these contingency statistics have been clearly shown over the study year of over 2004. In general, the gauge-corrected product of TRMM3B42 provided better performance compared with TRMM3B42RT as apparently shown of POD and CSI over the Tennasserim hills as shown in Figure 2a and 2b. In addition, over plain of the middle ICP, the obtained POD and CSI have shown relatively lower than over the mountain ranges for both products. However, FAR (Figure 2c and 2f) shows higher over mountain ranges compared to over plain area.

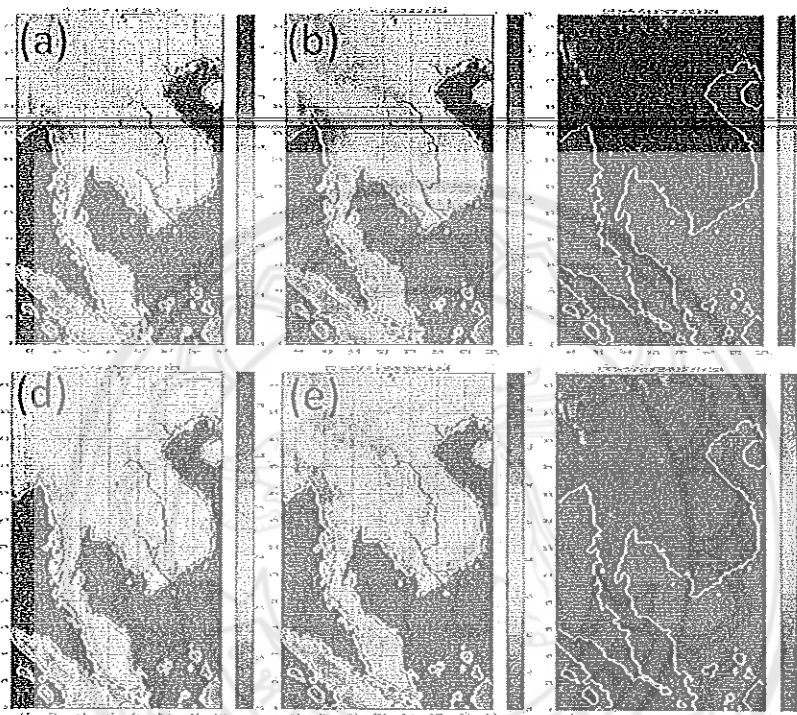


Figure 2 Verification of relative performance of TRMM3B42 and 3B42RT against with APHRODITE in 2004: Figure (a), (b) and (c) are POD, CSI, and FAR of TRMM3B42; figure (d), (e) and (f) are POD, CSI, and FAR of 3B42RT.

As there should have spatial variation between dry and wet season due to difference in sampling and rain characteristics, therefore, dry and wet seasons of the contingency statistics have been investigated as shown in Figure.3. The wet season ranges from May to October over the main land of ICP, while the dry season ranges from November to December and from January to April of 2004. Spatial and temporal variations of the two products can be observed from Figure 3 and Figure 4.

In dry season, the obtained POD and CSI are low for both products (Figure 3a, 3b, 4a and 4b) and FAR is high (Figure 3c and 4c). This means that the performances of these products are poor during dry season. It is probably caused by the effect of evaporation and high clouds. However, during wet period, it shows the better performance for both products as shown in Figure 3d, 3e, 3f, 4d, 4e and 4f. In addition, over the mountainous area, where is better performance of rain detection, the spatial variations of satellite products are clearly seen (Figure 3d, 3e, 4d and 4e). The obtained FAR index during wet season is low over the ICP with the spatial variation over mountainous area. Therefore, the satellite products provide the good performance on detecting rain during wet season.

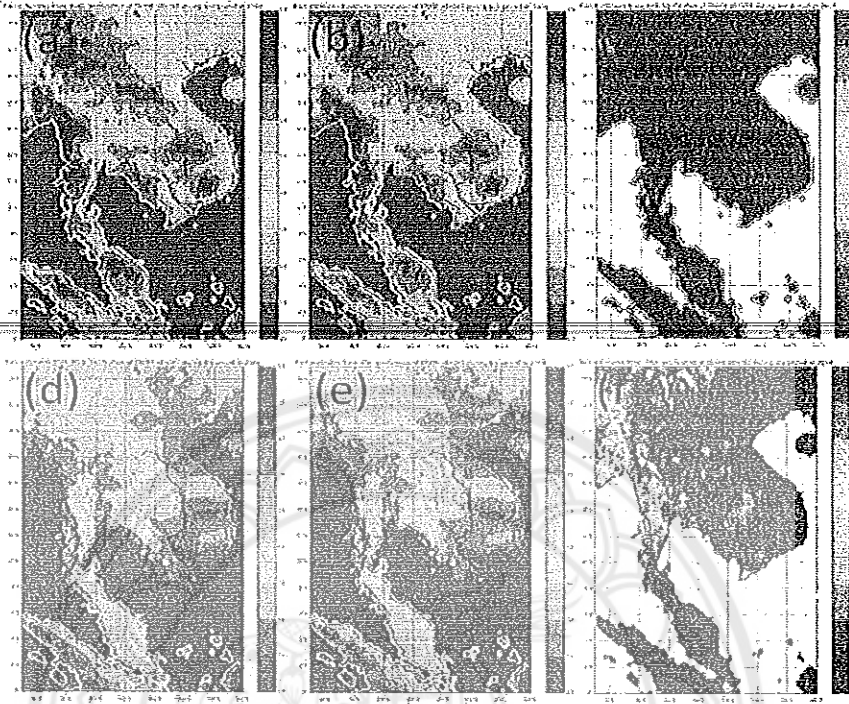


Figure 3 Verification of relative performance of TRMM3B42 against with APHRODITE for wet and dry periods in 2004: figure (a), (b) and (c) are POD, CSI, and FAR of wet season; figure (d), (e) and (f) are POD, CSI, and FAR of dry season.

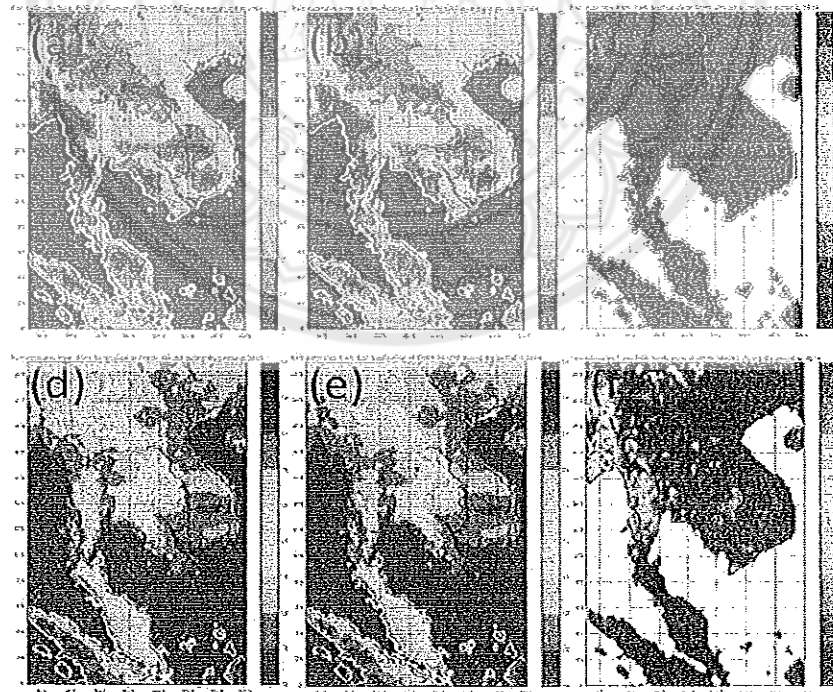


Figure 4 Verification of relative performance of TRMM3B42RT against with APHRODITE for wet and dry periods in 2004: figure (a), (b) and (c) are POD, CSI, and FAR of wet season; figure (d), (e) and (f) are POD, CSI, and FAR of dry season.

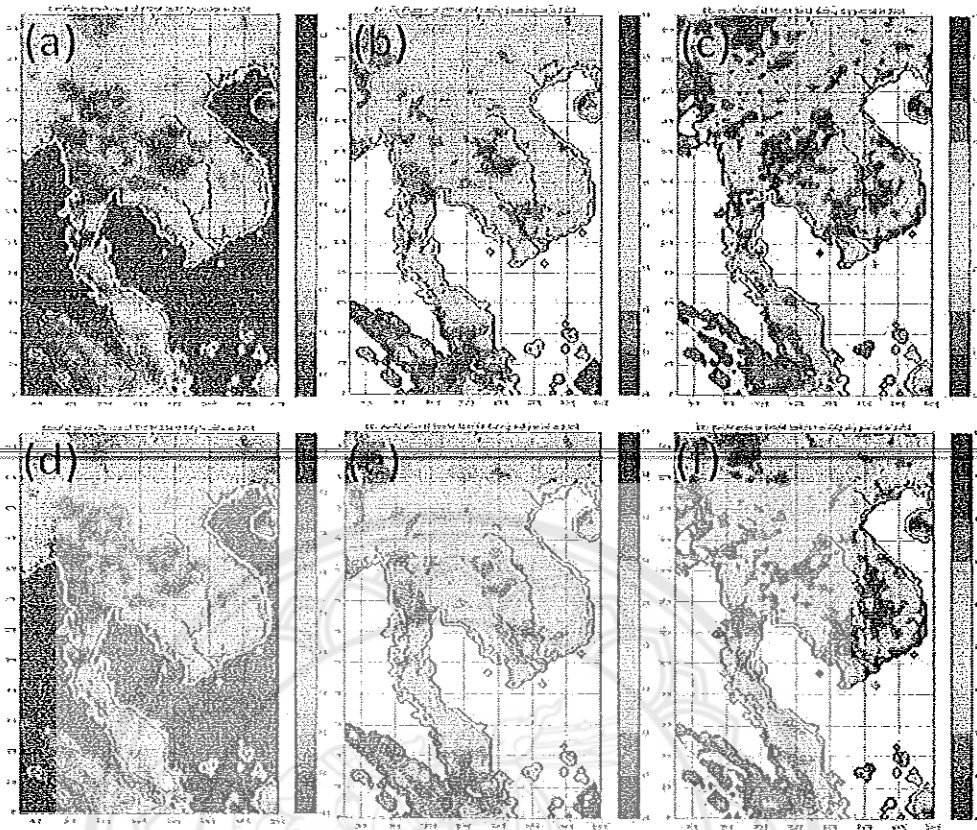


Figure 5 Spatial correlation of TRMM3B42 and 3B42RT against with APHRODITE for both wet and dry periods in 2004: figure (a) and (d) are spatial correlation for 2004 TRMM3B42 and 3B42RT; figure (b) and (c) are spatial correlation for wet and dry of TRMM3B42; figure (e) and (f) are spatial correlation for wet and dry seasons for 3B42RT.

To understand more in the spatial performance of satellite detection to rainfall, spatial correlation (CC) of TRMM products against with APHRODITE has been computed in 2004 as shown in results of Figure 5. Spatial correlation maps have shown high positive correlation over the middle of ICP, in particular, Thailand, where the dense of gauge distributed over the plain as shown in Figure 5a and 5d. However, TRMM3B42 provides better performance for CC than 3B42RT. Performance of TRMM, considering the temporal differences, has been observed by between dry and wet season. It's hard to justify whether dry or wet season perform the best of spatial correlation by consideration of visualization from Figure 5b, 5c, 5e and 5f. However, the spatial pattern of good positive correlation value also occurs over the middle of the ICP.

We examined spatial bias of the two products in 2004 to investigate the distribution of spatial error structure over the study area as shown in Figure 6. Spatial bias of the gauge-correction procedure for TRMM3B42 has shown better performance (Figure 6a) compared to TRMM3B42RT (Figure 6b). Over the middle of ICP, there is least spatial bias compared to over Tennasserim hills or Peninsular Malaysia. Spatial relative bias results in Figure 6c and 6d have also shown the consistency with the spatial bias of results from the satellite rainfall which overestimates the observed rain by APHRODITE. Gao et al. (2015) have also found that 3B42RTV7 overestimates precipitation significantly with large Relative Bias (RB) (128.17%) when against with APHRODITE over the central Asia.

Figure 7 shows the relationship between APHRODITE and TRMM products as scatterplot over the three boxes distributed over the middle of ICP. The overestimation of rainfall detection by TRMM products has been clearly seen over the three boxes when compared to APHRODITE's estimation. The conditional daily rain rate over 0.0

mm has been used to find correlation (CC), relative bias (RB) and Root mean square error (RMSE) by using area average of rainfall for both surface rain and TRMM products over these three boxes. There are not much different in correlation among these boxes. However, relative bias over box 1 (Figure 7c and 7d) demonstrates quite large meaning of TRMM overestimation on rainfall compared to the other boxes.

Temporal variations over spatial distribution in the middle of ICP have been investigated as shown in table 2. The data has been separated into dry and wet seasons producing some interesting statistics for performance valuation of the satellite rainfall detection. There is higher correlation of TRMM products and APHRODITE during wet season than dry season for both 3B42 and 3B42RT. The relative bias of wet season is less than dry season about three times for TRMM3B42 compared to APHRODITE. TRMM3B42RT has mostly higher relative bias compared to TRMM3B42.

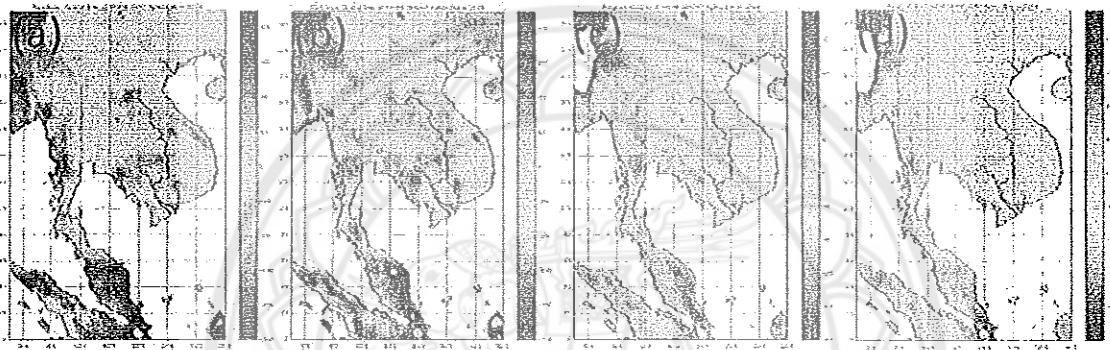


Figure 6 Figure (a) and (b) are spatial bias of TRMM3B42 and 3B42RT against with APHRODITE in 2004; figure (c) and (d) are percent of spatial relative bias of TRMM3B42 and 3B42RT against with APHRODITE in 2004.

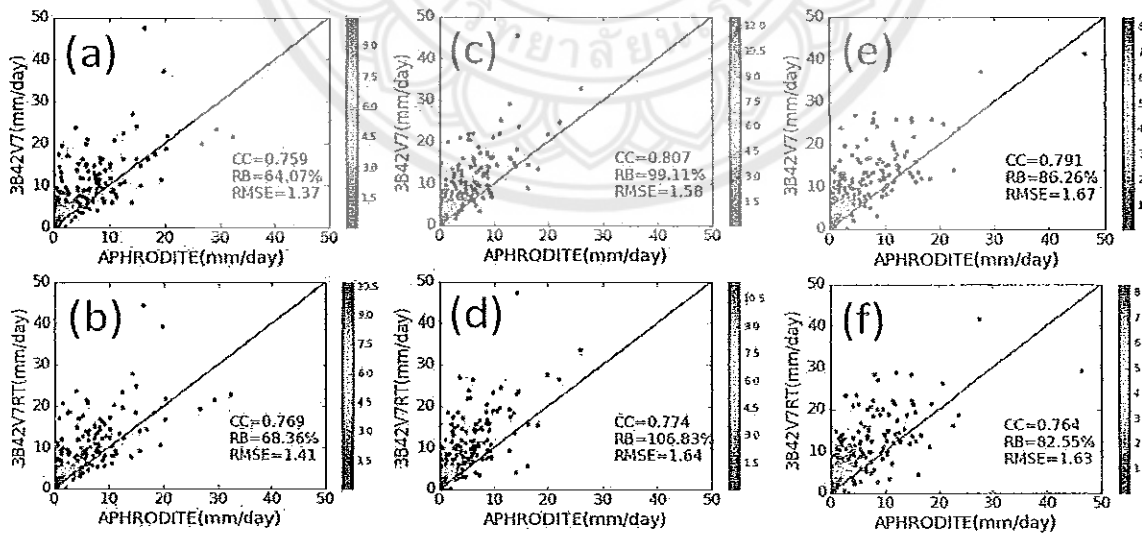


Figure 7 Scatter plot of three boxes (as shown in Figure 1) over the main land of ICP representing the daily conditional rainfall statistics between TRMM 3B42V7/Real time and Aphrodite in 2004; figure (a) and (b) represent box 1; figure (c) and (d) represent box 2; figure (e) and (f) represent box 3.

Table 2 statistics of comparison daily conditional rain estimates for both wet and dry season from TRMM3B42/real time and Aphrodite over the three boxes in 2004

	TRMM3B42			TRMM3B42RT		
	CC	RB (%)	RMSE (mm)	CC	RB (%)	RMSE (mm)
<i>Wet Season</i>						
Box1	0.697	51.52	1.63	0.691	59.11	1.75
Box2	0.766	85.96	1.93	0.76	100.73	2.09
Box3	0.772	67.99	1.91	0.714	77.21	2.03
<i>Dry Season</i>						
Box1	0.64	164.33	1.04	0.717	142.28	0.96
Box2	0.693	184.31	1.12	0.394	146.35	0.99
Box3	0.682	179.96	1.38	0.648	109.98	1.08

The poor agreements between TRMM products and APHRODITE are attributed to several factors. Duan et al. (2016) pointed out the error from evaluation results including satellite sampling error, errors in algorithms for estimation of precipitation from individual platform, errors in algorithms for combining individual estimates (Shen et al., 2010), errors in bias correction. In the southern part of the ICP, the northeast monsoon is dominated over the winter monsoon where peninsular Malaysia is located. Tan et al. (2015) evaluated Six High-Resolution Satellite and Ground-Based Precipitation Products over Malaysia. 3B42RT and 3B42V7 are also evaluated against with 342 rain gauges over Malaysia. They found during flood events which occurred in late 2006 and early 2007 were estimated the best by 3B42RT and 3B42V7, as shown by an R^2 value ranging from 0.49 to 0.88 and 0.52 to 0.86. Compared to our spatial correlation shown in Figure 5c and 5f during dry period of the ICP, the poor correlation has been found over peninsular Malaysia with correlation less than 0.4 of daily analysis. Therefore, the assessment of uncertainties satellite rainfall products is needed to be validated with high quality of near surface rain data to consider of both spatial and temporal variations. In addition, peak of monsoon periods varies spatially that could be considered in the validation processes for improved rainfall estimation and thus improved water management.

4. Conclusion

Satellite rainfall products are the important sources to study rainfall variations over the global and regional scale. Developing countries can use the satellite products for their operational applications as alternative data source that can be freely accessed. Therefore, the spatial errors and bias need to be quantified. In this study, TRMM products of 2004 (TRMM3B42 and 3B42RT) at daily basis have been validated by surface gridded data named APHRODITE. The statistical matrices have been used to quantify the spatial and temporal variations over the Indochina Peninsula (ICP). All of the investigations for this study have been done by using Python script and Base Map library. The major findings of this study are summarized as follows:

1. TRMM3B42 has mostly shown better performance of rain detection compared to 3B42RT with mostly overestimate surface rain. The metrics of POD and CSI shows spatially high value and FAR shows relatively low for 3B42 compared to 3B42RT over the main land of ICP, in particular.
2. Spatial bias of the gauge-correction procedure for TRMM3B42 has shown better performance compared to TRMM3B42RT. Over the middle of ICP, there is least spatial bias compared to over Tennasserim hills or Peninsular Malaysia.
3. During wet season, the TRMM products provide better performance to detect rain than dry season with three times less relative bias.

The next research should be done by expanding data to longer period and investigating the performance detection of other satellite rainfall products such as GSMaP, CMORPH, PERSIANN.

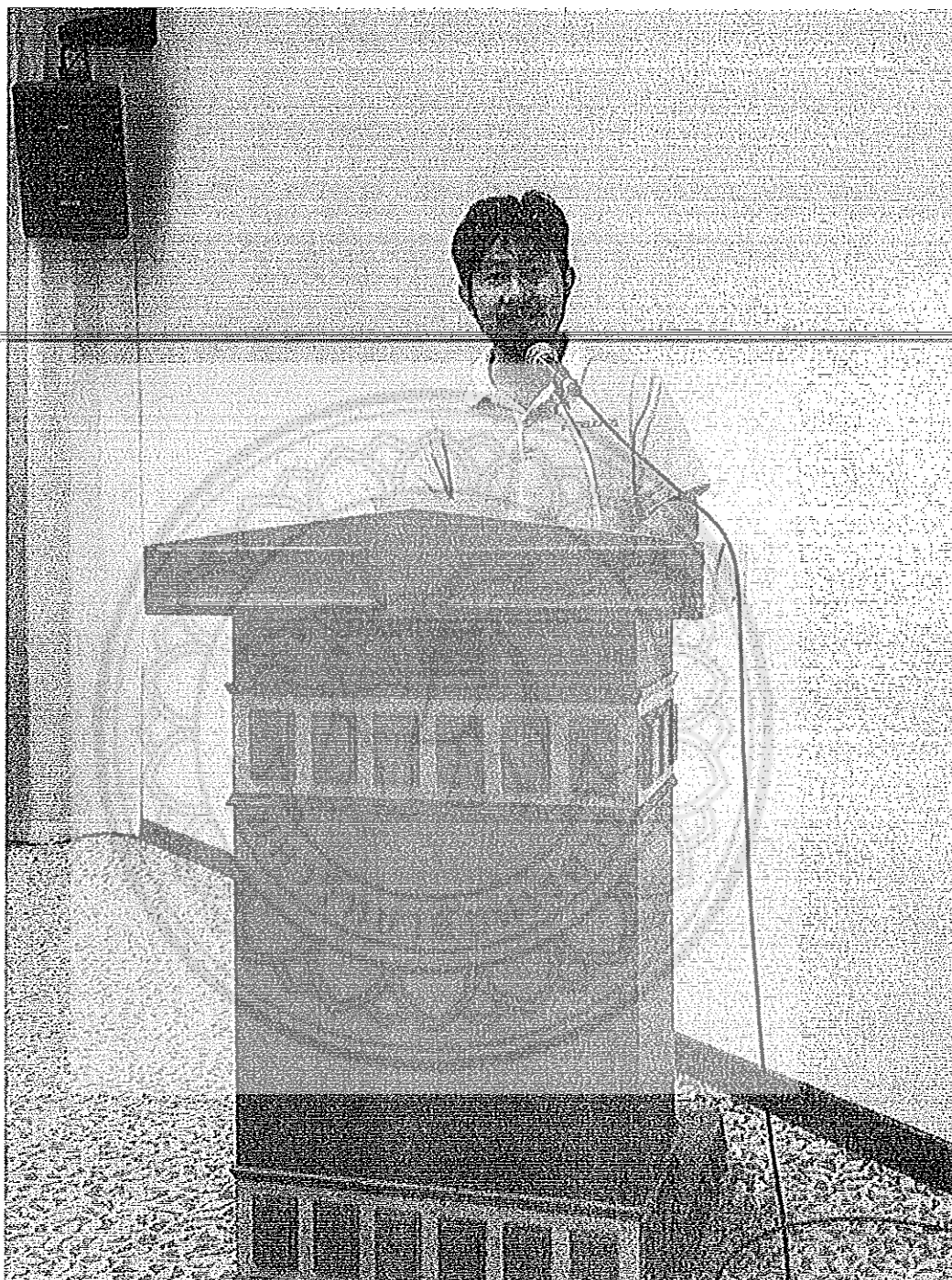
Acknowledgements

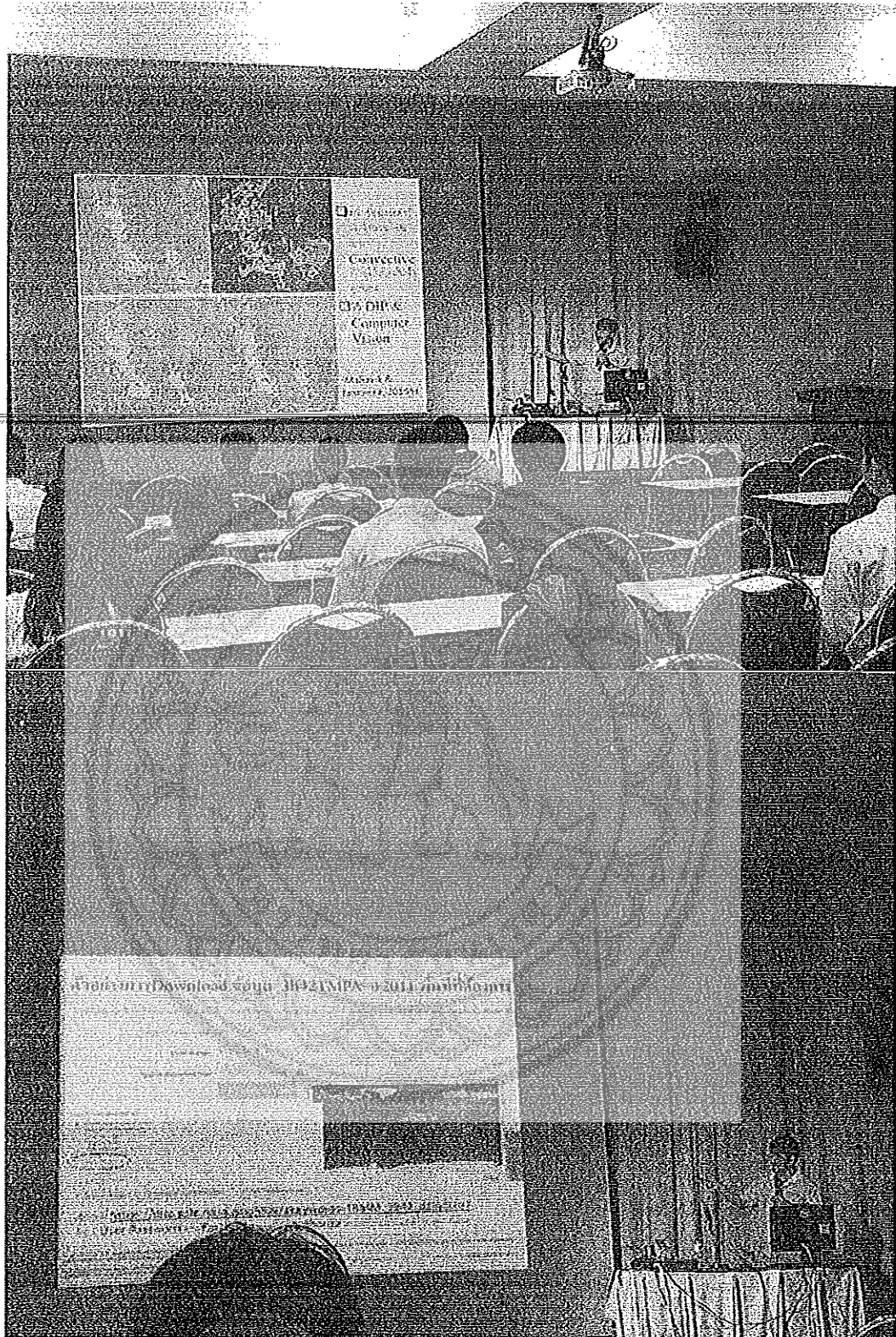
This research was supported by National Research Council of Thailand (NRCT) through the Naresuan University R2561B062 and R2561B063. We are really appreciated to Advancing Co-Design of Integrated Strategies with Adaptation to Climate Change in Thailand project (ADAP-T) in ST2-W1 group supported by JICA for providing additional fund to support the project. Special thanks to the original producers of TRMM and PHRODITE for providing free downloadable precipitation products.

References

- Dinku, T., E. N. Anagnostou, and M. Borga, 2002: Improving radarbased estimation of rainfall over complex terrain. *J. Appl. Meteor.*, 41, 1163–1178, doi:10.1175/1520-0450(2002)041<1163:IRBEOR.2.0.CO;2.
- Duan Z., J. Liu, Y. Tuo, G. Chiogna and M. Disse, 2016: Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales, *Science of the Total Environment*, 573, 1536–1553.
- Ebert, E.E. J.E. Janowiak, and C. Kidd, 2007: Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 88, 47–64.
- Gebregiorgis, A.S. and F. Hossain, 2011: Understanding the dependency of satellite rainfall uncertainty on topography and climate for hydrologic model simulation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 51, 704–718.
- Guo, H., S. Chen, A. Bao, J. Hu, A. S. Gebregiorgis, X. Xue, and X. Zhang, 2015: Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over central Asia. *J. Remote Sens.*, 7, 7181–7211, doi:10.3390/rs70607181.
- Hong, Y., K.-L. Hsu, H. Moradkhani, and S. Sorooshian, 2006: Uncertainty quantification of satellite precipitation estimation and Monte Carlo assessment of the error propagation into hydrologic response. *Water Resour. Res.*, 42, W08421.
- Huffman, G. J., and Coauthors, 2007: The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeorol.*, 8, 38–55, doi:10.1175/JHM560.1.
- Huffman, R. F. Adler, D. T. Bolvin, and E. J. Nelkin, 2010: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA). *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*, M. Gebremichael and F. Hossain, Eds., Springer, 3–22.
- Iguchi, T., T. Kozu, R. Meneghini, J. Awaka, and K. Okamoto, 2000: Rain-profiling algorithm for the TRMM Precipitation Radar. *J. Appl. Meteor.*, 39, 2038–2052, doi:10.1175/1520-0450(2001)040<2038:RPAFTT.2.0.CO;2.
- Kidd, C., and G. Huffman, 2011: Global precipitation measurement. *Meteor. Appl.*, 18, 334–353, doi:10.1002/met.284.
- Maggioni, V., P. C. Meyers, and M. D. Robinson, 2016: A review of merged high-resolution satellite precipitation product accuracy during the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) era. *J. Hydrometeorol.*, 17, 1101–1117, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0190.1>
- Mehran, A. and A. AghaKouchak, 2014: Capabilities of satellite precipitation datasets to estimate heavy precipitation rates at different temporal accumulations. *Hydrol. Process*, 28, 2262–2270.
- Schaake, J., A. Henkel, and S. Cong, 2004: Application of PRISM climatologies for hydrologic modeling and forecasting in the western U.S. In *Proceedings of 18th Conference on Hydrology*, Seattle, WA, USA, 15 January 2004.
- Shen, Y., A.Y. Xiong, Y. Wang, and P.P. Xie, 2010: Performance of high-resolution satellite precipitation products over China. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 115.
- Sorooshian, S., A. AghaKouchak, and P. Arkin, 2011: Eylander, J.; Foufoula-Georgiou, E.; Harmon, R.; Hendrickx, J.M.H.; Imam, B.; Kuligowski, R.; Skahill, B.; et al. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 92, 1353–1357.
- Tan, M.L., A. Ibrahim, Z. Duan, A. P. Cracknell, and V. Chaplot, 2015: Evaluation of six highresolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sens*, 7, 1504–1528.
- Tian, Y., C.D. Peters-Lidard, J.B. Eylander, R.J. Joyce, G.J. Huffman, R.F. Adler, K.-L. Hsu, F.J. Turk, M. Garcia, and J. Zeng, 2009: Component analysis of errors in satellite-based precipitation estimates. *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2009, 114, D24101.
- Veerakachen, W., M. Raksapatcharawong, and S. Seto, 2014: Performance evaluation of global satellite mapping of precipitation (GSMaP) products over the Chaophraya river basin, Thailand. *Hydrol. Res. Lett.*, 8, 39–44.
- Willmott, C.J. and K. Matsuura, 1995: Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. *J. Appl. Meteorol.*, 34, 2577–2586
- Wolff, D. B. and B. L. Fisher, 2008: Comparisons of instantaneous TRMM ground validation and satellite rain-rate estimates at different spatial scales. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 47, 2215–2237, doi:10.1175/2008JAMC1875.1.
- Yang, S., W. S. Olson, J. J. Wang, T. L. Bell, E. A. Smith, and C. D. Kummerow, 2006: Precipitation and latent heating distributions from satellite passive microwave radiometry. Part II: Evaluation of estimates using independent data. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 45, 721–739, doi:10.1175/JAM2370.1.
- Yatagai, A., O. Arakawa, K. Kamiguchi, H. Kawamoto, M.I. Nodzu, and A. Hamada, 2009: A 44-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Sola*, 5, 137–140.

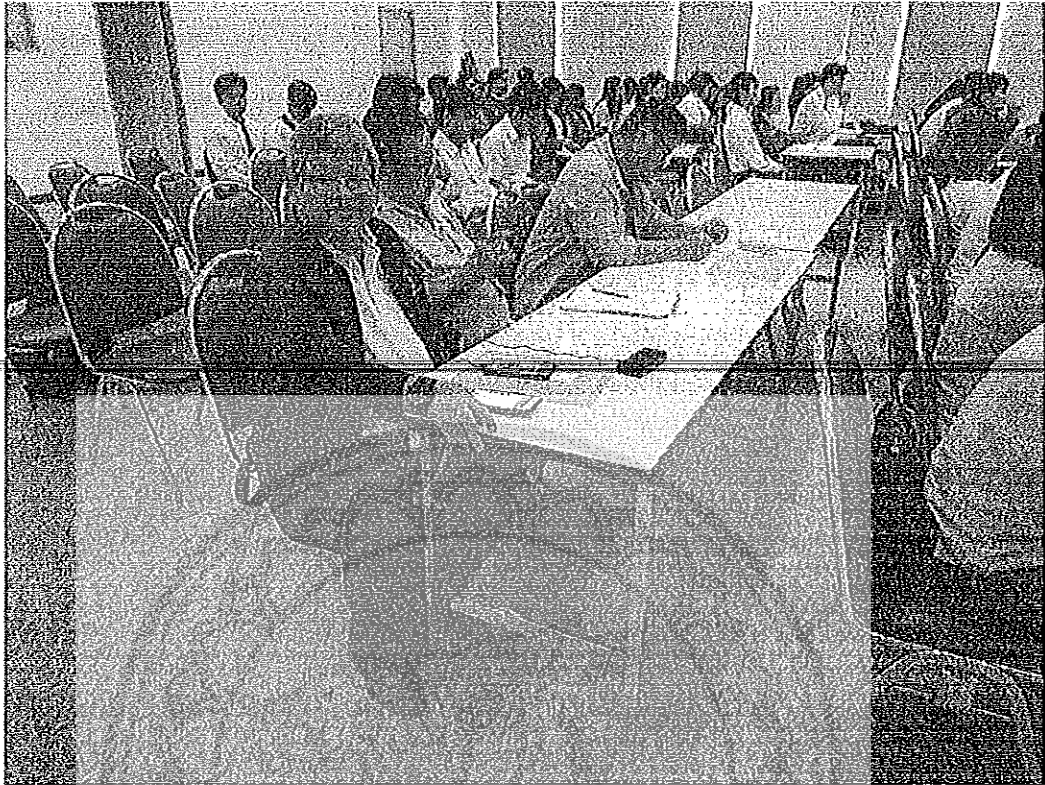


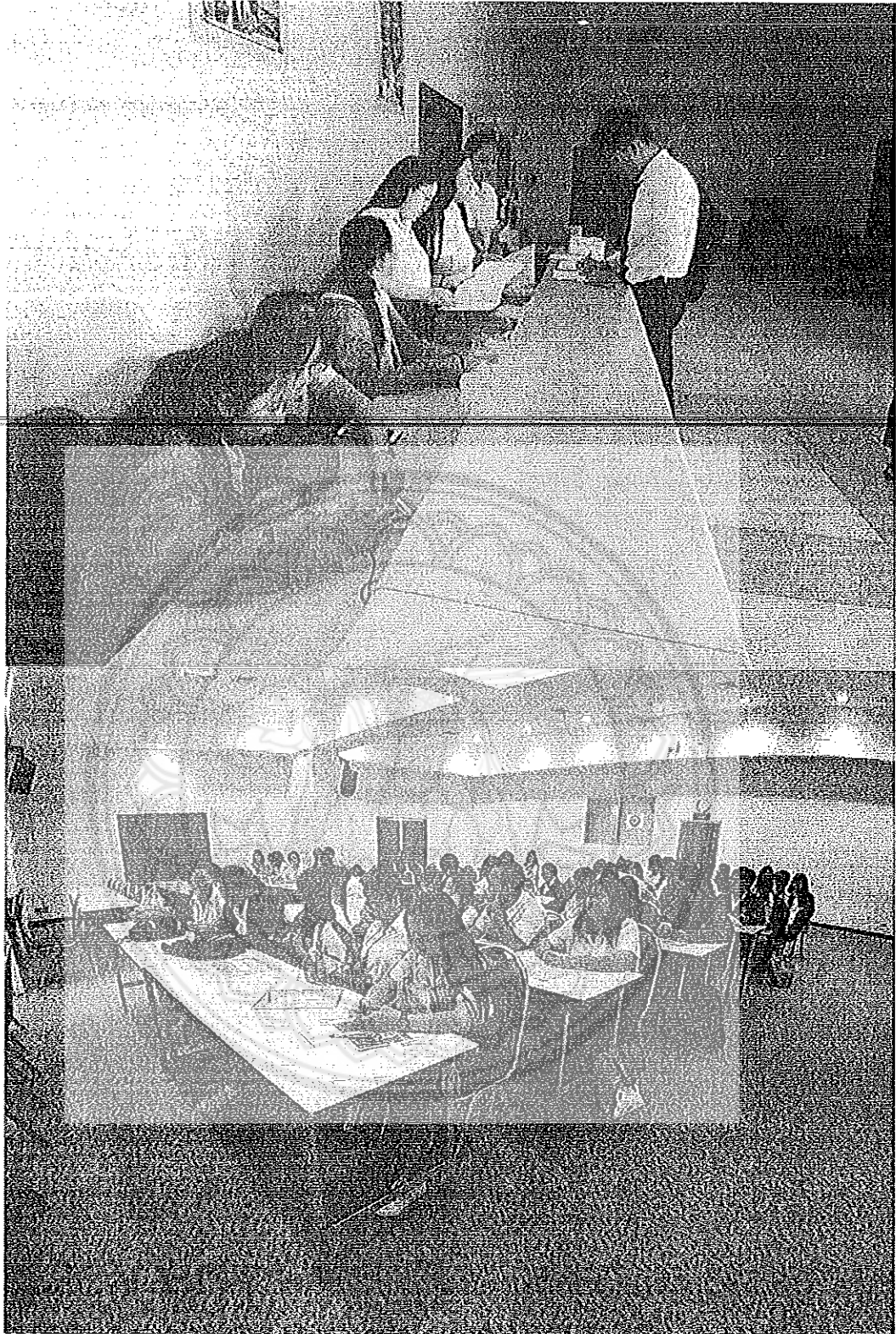














บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะเกษตรศาสตร์ฯ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โทร. 2757

ที่ อว 0603.07.01/

วันที่ มิถุนายน 2562

เรื่อง ขออนุมัติจัดโครงการอบรมปิดโครงการวิจัยบนแผ่นดินรหัสโครงการ R2561B062

เรียน คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ฯ

ตามที่มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ได้อนุมัติจัดสรรงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2561 ให้แก่สัญญาเลขที่ R2561B062โครงการวิจัยเรื่อง “ความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง” โดยมี ดร.นัฐพล มหาวิก สังกัดภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหัวหน้าโครงการนั้น บัดนี้โครงการได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้แล้ว

ดังนั้น ข้าพเจ้า ดร.นัฐพล มหาวิก จึงใคร่ขออนุมัติโครงการอบรมเผยแพร่องค์ความรู้ด้านอุตุนิยามวิทยาและการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพอากาศ ในวันที่ 10 กรกฎาคม 2562 ตั้งแต่เวลา 09.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมนคอนเฟอร์เร้นท์ อาคาร CITCOM โดยขอเบิกค่าใช้จ่ายดังนี้

1. ค่าอาหารผู้เข้าร่วมโครงการ (200บาทX40 คน)	8,000 บาท
2. ค่าอาหารว่าง (50บาทX2มื้อX40คน)	4,000 บาท
3. ค่าวัสดุสำนักงาน	4,400 บาท
4. ค่าวิทยากร (600บาทX2คนX3ชั่วโมง)	3,600 บาท
รวมเป็นเงิน	20,000 บาท

หมายเหตุ ถ้าวางได้ทุกรายการ

ทั้งนี้โดยเบิกจ่ายจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖1 โครงการความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง
จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

(ดร.นัฐพล มหาวิก)

หัวหน้าโครงการฯ

โครงการอบรมเผยแพร่องค์ความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยา
และการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพอากาศ
ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อโครงการ :

อบรมเผยแพร่องค์ความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยาและการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพ
อากาศ

หลักการและเหตุผล

ตามที่มหาวิทยาลัยนเรศวรได้อนุมัติจัดสรรงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณประจำปี
งบประมาณ 2561 ให้แก่สัญญาเลขที่ R2561B062โครงการวิจัยเรื่อง “ความผันแปรโครงสร้าง
กายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง” โดยมี ดร.นัฐพล มหาวีค
สังกัดภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหัวหน้าโครงการนั้น บัดนี้โครงการได้บรรลุ
วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในสัญญาแล้ว เพื่อให้มีการเข้าใจและตระหนักถึงองค์ความรู้ทางด้านอุตุนิยมวิทยาและ
การใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพอากาศ คณะผู้วิจัยจึงได้จัดการอบรมเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ใน
ชื่อโครงการอบรมเผยแพร่องค์ความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยาและการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพ
อากาศ โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญจากกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นวิทยากรในการบรรยายให้กับผู้เข้าประชุม

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยาและการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพ
อากาศ

รูปแบบการจัดประชุม

บรรยายองค์ความรู้ทางทฤษฎีและปฏิบัติ รวมถึงแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างหน่วยงาน
ที่เข้าร่วมอบรม

ผู้เข้าประชุม

เจ้าหน้าที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจากภาครัฐในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและสุโขทัยและนิสิตที่
สนใจ จำนวน 40 คน

ผลผลิตและตัวชี้วัดความสำเร็จ

ผลผลิต

ผู้เข้าประชุมมีความเข้าใจด้านอุตุนิยมวิทยาและการใช้ข้อมูลเรดาร์ในการวิเคราะห์สภาพอากาศ
ตัวชี้วัดความสำเร็จ

- (1) ร้อยละของผู้เข้าประชุม : ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
- (2) ร้อยละของผู้เข้าประชุมที่ผ่านการประเมิน : ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) ผู้เข้าประชุมเข้าใจด้านอุตุนิยมวิทยาและการประยุกต์ใช้ข้อมูล TRMM ในการวิเคราะห์สภาพอากาศ
- (2) ผู้เข้าประชุมเข้าใจสภาพอากาศผ่านกรณีตัวอย่างในการใช้ข้อมูล TRMM

หน่วยงานและผู้รับผิดชอบโครงการ

ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.นัฐพล มหาวีค

ระยะเวลาในการจัดอบรม

วันพุธที่ 11 กรกฎาคม 2562

สถานที่ดำเนินโครงการ

ห้อง ห้องเมนคอนเฟอร์เร้นท์ อาคาร CITCOM มหาวิทยาลัยนเรศวร

การฝึกอบรม

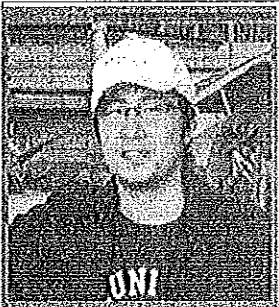
การเผยแพร่องค์ความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยาและการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพอากาศ
ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ๑ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันพุธที่ 10 กรกฎาคม 2562

08.30-09.00 น.	ลงทะเบียน (ห้องเมนคอนเฟอร์เร้นท์ อาคาร CITCOM)
09.00-10.45 น.	การบรรยายเรื่อง หลักการอุตุนิยมวิทยาและการปฏิบัติงานในด้านพยากรณ์อากาศ วิทยากร: อาจารย์ประพจน์ ยอดไพบูลย์ ผู้อำนวยการสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัด พิษณุโลก <ul style="list-style-type: none"> ▪ หลักการและการเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ▪ เครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยา ▪ หลักการพยากรณ์เพื่อการเตือนภัยในงานอุตุนิยมวิทยา ▪ ตัวอย่างกรณีศึกษาจากภาคปฏิบัติ
10.45-11.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
11.00-12.00 น.	การบรรยายเรื่อง ลักษณะสภาพอากาศภาคเหนือตอนล่าง วิทยากร: อาจารย์ประพจน์ ยอดไพบูลย์ <ul style="list-style-type: none"> ▪ การปฏิบัติงานและกรณีศึกษาตัวอย่างภาคเหนือตอนล่าง ▪ ภารกิจเฝ้าระวัง เตือนภัยและพยากรณ์ไฟป่า ภัยแล้ง ฝนจากร่องมรสุม ฝนจากพาย พายุฤดูร้อน ลูกเห็บ พื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ▪ ปัญหาและโจทย์งานวิจัยที่ต้องการพัฒนา (ถาม-ตอบอภิปราย)
12.00-13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00-14.30 น.	การบรรยายเรื่อง ข้อมูลดาวเทียม TRMM วิทยากร: ดร. นัฐพล มหาวิค <ul style="list-style-type: none"> ▪ หลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ▪ การประยุกต์ใช้และตัวอย่างการพัฒนาระบบการวิเคราะห์
14.30-14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
14.45-16.00 น.	การบรรยายเรื่อง ข้อมูลดาวเทียม TRMM วิทยากร: ดร. นัฐพล มหาวิค <ul style="list-style-type: none"> ▪ ปัญหาและโจทย์งานวิจัยที่ต้องการพัฒนา (ถาม-ตอบอภิปราย)
16.00-16.30 น.	สรุปผลการฝึกอบรมและมอบประกาศนียบัตร



ประวัติและผลงานทางวิชาการ [update June 13 , 2019]

	<p>Dr. Nattapon Mahavik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ D.Sc. in Atmospheric Science, Kyoto University, 2015 , Japan [MEXT] ทุนรัฐบาลญี่ปุ่น ▪ M.Sc. in Photogrammetry and Geoinformatics, Stuttgart University of Applied Sciences, 2009, Germany [DAAD] ทุนรัฐบาลเยอรมัน ▪ วทบ. ภูมิศาสตร์ (เกียรตินิยม), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545
	<p>+66(55)962752, nataponm@nu.ac.th</p>
<p>Research interests</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ground-based radar rainfall estimation ▪ Remote sensing in Urban Heat Island ▪ Rainfall estimation from satellite products

Awards and Honour

- 2018 Shunji Murai Award for best paper on Asian Conference on Remote Sensing 2018 for the title “*The convective cloud properties extraction from weather radar reflectivity during SONCA tropical storm over the Lower Northern Thailand*”
- 2010-2013 Japanese government scholarship (monbukagakusho: MEXT) ทุนนักศึกษาวิจัยปริญญาเอก
- 2007-2009 German Academic Exchange Service (DAAD) ทุนปริญญาโท
- 1999-2001 The Shell Company of Thailand Limited

Work experiences

Date	Position	Organization
25 May 2009 - Present	Lecturer responsible for Geography and Geoinformatics Curriculum	Department of Natural Resources and Environment, Naresuan University

Specialization skills

- Ground-based weather radar and Satellite rainfall product processing
- Fortran, Python Scripting Language, GrADS Scripting Language, NCL Scripting Language, R Scripting Language
- Linux systems (Centos, Ubuntu)
- ArcGIS, QGIS, ENVI, ERDAS IMAGINE, MATLAB
- Drone photogrammetry (DJI, Syma) for mapping

ผลงานทางวิชาการ

บทความวิจัย/บทความวิชาการที่ตีพิมพ์

ระดับนานาชาติ

1. Mahavik, N., Tantanee, S., (2019). Developed Radar Quality Index of Mosaicked Weather Radars over The Chao Phraya River Basin, Thailand. *GMSARN International Journal*. (Accepted in Scopus)
2. Mahavik, N., Tantanee, S., (2019). Spatio-Temporal Analysis of Convective Cloud Properties Deriving from Weather Radar Reflectivity during the Decaying Stage of Tropical Storm over the Lower Northern Thailand, *International Journal of Geoinformatics* (Accepted in Scopus).
3. Mahavik, N., Tantanee, S., (2019). Precipitating clouds analysis based on the developed radar mosaic products over the Chao Phraya River basin (Submitted in Scopus).
4. Mahavik, N., Tantanee, S., (2019). Convective systems observed by ground-based radar during seasonal march of Asian summer monsoon in the middle of Indochina Peninsula, *Engineering and applied science research* (Accepted in Scopus).
5. Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., Tantanee, S., (2018). Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. *Procedia Engineering*, 212, 340-347. (scopus)
6. Mahavik, N., (2017). Spatial Seasonal Distribution of Climatological Precipitation over the Middle of the Indochina Peninsula. *Applied Environmental Research*, 39(3), 63-76.
7. Mahavik, N., (2017). Extreme precipitation trends over the middle of Indochina Peninsula during the period from 1978-2007. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 10(3), 595-603.
8. Mahavik, N., (2017). Bias Adjustments of Radar Rainfall during Seasonal March of the Summer Monsoon in the Middle of Thailand. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 12(4), 577-594.

9. Mahavik, N., T. Satomura, S. Shige, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, S. Baimoung (2014). Rainfall Pattern over the Middle of Indochina Peninsula during 2009–2010 Summer Monsoon. *Hydrological Research Letter*, 8, 57-63.
10. Mahavik, N., T. Satomura, S. Baimoung (2013). Radar rainfall analysis in the middle of Indochina peninsula. *J. Disaster Res*, 8, 187-188. (SCOPUS)

ตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceedings) ระดับนานาชาติ

1. Mahavik, N., Tantanee, S. 2018: *Quality Assessment of mosaicked weather radars over the Chao Phraya river basin, Thailand*. Proceeding of GMSARN Int. Conf. on Energy, Environment, and Development in GMS, SD44, 1-4.
2. Mahavik, N., Tantanee, S. 2018: The convective cloud properties extraction from weather radar reflectivity during SONCA tropical storm over the Lower Northern Thailand. *Proceeding of Asian Conference on Remote Sensing 2018*, 3, 1604-1612.
3. Mahavik, N., Tantanee, S. 2018: Comparison of spatial error structures between TRMM products and APHRODITE over the Indochina Peninsula *Proceeding of Asian Conference on Remote Sensing 2018*, 3, 1754-1763.
4. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall pattern observed by radar calibrated by rain gauges in Indochina. *Proceeding of The Third International MAHASRI/HyARC Workshop on Asian Monsoon and Water Cycle*, 44-49.

ตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceedings) ระดับชาติ

1. มินตรา รอดจันทร์และรัฐพล มหาวิค. (2560). การวิเคราะห์หาวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดของฤดูมรสุมในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 2, 15 ธันวาคม 2560, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 170-179.
2. ศศิธร ฉัตรสุภารัตน์และรัฐพล มหาวิค. (2560). การศึกษาและวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ปลูกอ้อย โดยเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 กรณีศึกษา อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร. เรื่องเต็มการประชุม

- วิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 2, 15 ธันวาคม 2560, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 72-82.
3. อมินตรา เณลิมวัดและนัฐพล มหาวิค. (2560). การศึกษาและวิเคราะห์การตรวจพบไฟฟ้าของข้อมูลดาวเทียมกรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติในเขตจังหวัดแม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 2, 15 ธันวาคม 2560, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 180-189.
 4. กมลฉัตร ศรีจະตะและนัฐพล มหาวิค. (2559). การศึกษาความหนาแน่นของเมฆจากข้อมูลแบบจำลองความสูงโลดาร์ : กรณีศึกษาเขตดาวทาวน์และเขตสตรีป รัฐเพนซิลวาเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 1, 3 พฤศจิกายน 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 158-165.
 5. เนตรนภา หงษ์ทองและนัฐพล มหาวิค. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพของพื้นที่การเกษตรจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต : กรณีศึกษา อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 1, 3 พฤศจิกายน 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 92-98.
 6. หิมพ์ผกา อ่องแก้วและนัฐพล มหาวิค. (2559). การศึกษาปฏิทินการเพาะปลูกพืชจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา : กรณีศึกษา จังหวัดอุตรดิตถ์. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 1, 3 พฤศจิกายน 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 85-91.
 7. ทับทิม วงศ์ทะดำและนัฐพล มหาวิค. (2559). การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ บริเวณลุ่มน้ำยมตอนล่าง จังหวัดสุโขทัย. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 1, 3 พฤศจิกายน 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 115-122.
 8. ศิริภัทร เอี่ยมละออและนัฐพล มหาวิค. (2559). พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าจากฐานข้อมูลตำแหน่งไฟฟ้าปี 2547-2557 : กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 1, 3 พฤศจิกายน 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 174-182.
 9. อภิษฐา ยอดยิ่งและนัฐพล มหาวิค. (2559). การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายวันระหว่างผลิตภัณฑ์น้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียมกับข้อมูลน้ำฝนภาคพื้นดิน พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. เรื่องเติมการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 1, 3 พฤศจิกายน 2559, มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 99-106.

การนำเสนอภาคบรรยาย (Oral presentation)

1. Mahavik, N., Tantanee, S. 2018: Quality Assessment of Mosaicked Weather Radars Over the Chao Phraya River Basin, Thailand. *The Grand GMSARN International Conference 2018 on "Energy, Environment, and Development in GMS"*, 28-30 November 2018 at Ramada Encore Hotel Nanning, Nanning City, Guangxi Province, China.
2. Mahavik, N., Tantanee, S. 2018: The convective cloud properties extraction from weather radar reflectivity during SONCA tropical storm over the Lower Northern Thailand. *Asian Conference on Remote Sensing 2018*, 15-19 October 2018, Renaissance Hotel Kuala Lumpur, Kuala Lumpur, Malaysia.
3. Mahavik, N., Tantanee, S. 2018: Comparison of spatial error structures between TRMM products and APHRODITE over the Indochina Peninsula. *Asian Conference on Remote Sensing 2018*, 15-19 October 2018, Renaissance Hotel Kuala Lumpur, Kuala Lumpur, Malaysia.
4. Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., Tantanee, S., (2017). Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. *7th International Conference on Building Resilience Using scientific knowledge to inform policy and practice in Disaster Risk Reduction* 27-29 November, 2018- Swissotel Le Concorde, Bangkok, Thailand.
5. Mahavik, N., S. Shige, T. Hayashi, M. K. Yamamoto, 2015: Orographic propagating rain systems over the middle of Indochina observed by gauge-calibrated ground-based radar data. MAHASRI workshop, 4 March 2015, Nagoya, Japan.
6. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Calibration of rainfall observed by

weather radars and rainfall pattern study in Indochina peninsular. IMPAC-T final workshop, 11-12 November 2014, Sendai, Japan.

7. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall pattern in the middle of Indochina Peninsular during 2009-2010 summer monsoon. IGU regional conference, 4-9 August 2013, Kyoto, Japan.

8. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall pattern in the middle of Indochina peninsular using Vientiane radar. MAHASRI/HyARC Workshop, 14 March 2013, Nagoya, Japan.

9. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall pattern in the middle of Indochina peninsular. IMPAC-T workshop, 28-29 January 2013, Bangkok, Thailand.

การนำเสนอภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

1. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall Estimated by Radar Reflectivity Calibrated by Rain Gauges and Rainfall Patterns in Indochina. GCOE final symposium, 2-3 December 2013, Kyoto, Japan.

2. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Application of Ground Based Radar and TRMM Rainfall for Hydrological Analysis, Part of Calibration of rainfall observed by weather radars and rainfall pattern study in Indochina peninsular. IMPAC-T final workshop, 11-12 November 2013, Sendai, Japan.

3. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall pattern in the middle of

- Indochina Peninsular during 2009-2010 summer monsoon. DACA-13, 8-12 July 2013, Davos, Switzerland.
4. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2013: Rainfall pattern in the middle of Indochina Peninsula during 2009-2010 summer monsoon. JPGU 2013, 19-24 May 2013, Chiba, Japan.
 5. Mahavik, N., T. Satomura and S. Baimoung, 2012: Z-R parameter variations using conventional weather radar in the middle of Indochina peninsular. Meteorological Society of Japan (MSJ), 3-6 October 2012, Hokkaido, Japan.
 6. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2012: Radar rainfall analysis in the middle of Indochina peninsular. International symposium on GCOE ARS, 3-4 August 2012, Kyoto, Japan.
 7. Mahavik, N., T. Satomura and S. Baimoung, 2012: Calibration of weather radar for analyzing precipitation distribution in Thailand. Meteorological Society of Japan (MSJ), 25-28 May 2012, Tsukuba, Japan.
 8. Mahavik, N., T. Satomura and S. Baimoung, 2011: Investigation ZR relationship by using weather radar in Thailand. IMPAC-T Joint conference with SEA water 9th conference, 1-3 December 2012, Bangkok, Thailand.
 9. Mahavik, N., T. Satomura, B. Sysouphanthavong, S. Phonevilay, M. Wakabayashi, and S. Baimoung, 2011: Precipitation characteristics in Thailand using weather radars and surface meteorological observations. Meteorological Society of Japan (MSJ), 16-19 May 2011, Tokyo, Japan.

ประสบการณ์ในงานวิจัย

1. 2558-2559 (หัวหน้าโครงการ) โครงการการพัฒนากระบวนการทำแผนที่ข้อมูลน้ำฝนเชิงเลขจากเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินด้วยซอฟต์แวร์ระบบภูมิสารสนเทศรหัสเปิด ทุนพัฒนาบุคลากร มหาวิทยาลัยนเรศวร (งบประมาณ 220,000 บาท)
2. 2560-2561(หัวหน้าโครงการ) โครงการการพัฒนาวิธีการทำแผนที่โมเสคน้ำฝนประมาณค่าจากข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทุนงบประมาณแผ่นดิน วช. มหาวิทยาลัยนเรศวร (งบประมาณ 583,000 บาท)
3. 2560-2561(หัวหน้าโครงการ) โครงการความผันแปรโครงสร้างกายภาพระบบฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM บริเวณอินโดจีนตอนกลาง ทุนงบประมาณแผ่นดิน วช. มหาวิทยาลัยนเรศวร (งบประมาณ 599,500.00)
4. 2562-2563(หัวหน้าโครงการ) โครงการการวิเคราะห์รูปแบบฝนบนพื้นฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินรายละเอียดสูงในลุ่มน้ำยมและน่าน ทุนงบประมาณแผ่นดิน วช. มหาวิทยาลัยนเรศวร (งบประมาณ 460,000 บาท)
5. 2560-2564(ผู้ร่วมวิจัย) โครงการ Advancing Co-design of Integrated Strategies with Adaptation to Climate Change in Thailand (ADAP-T) สนับสนุนโดย Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS), JST-JICA (6,000,000 เยน)
6. 2553-2557 (ผู้ร่วมวิจัย) โครงการ Integrated Study Project on Hydro-Meteorological Prediction and Adaptation to Climate Change in Thailand (IMPAC-T) สนับสนุนโดย JICA/JST
7. 2559-2561 (ผู้ร่วมวิจัย) โครงการศึกษาความเป็นธรรมทางสุขภาพ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

การเข้ารับฝึกอบรม (Academic training)

1. Aerosol Modeling Workshop organized by National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT), University of Phayao (UP) & Hydro and Agro Informatics Institute (HAI) , February 19 – 21, 2019, Kantary Hills Hotel, Chiang Mai, Thailand.
2. Lidar data for biomass estimation by Silva Carbon supported by USAID, 5-11 Febuary 2017, The Bazaar Hotel, Bangkok, Thailand

3. Landuse and Landcover change using remote sensing by SERVIR Mekong and ADPC supported by USAID, October 2015, Pak Nai Lert Hotel, Bangkok, Thailand.
4. Capacity building and brainstorming by SERVIR Mekong and ADPC supported by USAID, November 2015, Pak Nai Lert Hotel, Bangkok, Thailand.
5. IHP 22nd Precipitation measured by Satellite, 18 November – 1 December 2012 at Nagoya university, Nagoya, Japan.
6. Climate change downscaling approaches and applications, 9-14 November 2011 at United Nations University, Tokyo, Japan.
7. TRMM and GSMaP training, 29 August-2 September 2011, by JAXA at Kyoto university and visited JAXA, Kyoto-Chiba-Tokyo, Japan

