

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้ดังนี้ ในส่วนแรกจะกล่าวถึงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าลำคัญของงานวิจัย ลักษณะท่าเทียบเรือในงานวิจัย การแบ่งลักษณะปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ การทบทวนวรรณกรรมของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ และนำเสนอแบบจำลองของ Imai, et al. (2006) สำหรับส่วนที่สองนั้นจะกล่าวถึงทฤษฎีวิธีการ AFSA การทบทวนวรรณกรรมของวิธีการ AFSA นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพวิธีการ AFSA และในที่สุดท้ายจะกล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้ และจากที่กล่าวมาสามารถนำเสนอรายละเอียดได้ดังนี้

ข้อมูลนำเข้าที่สำคัญ

ในปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือที่พบในงานวิจัยส่วนใหญ่แล้วจะมีเรื่องเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง และเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์หลักในการแก้ปัญหาโดยตรงซึ่งข้อมูลนำเข้าสำคัญด้านเวลาของการจัดการท่าเทียบเรือ (Berth planning) คือ เวลาการมาถึงของเรือ (Arrival time) และเวลาในการปฏิบัติงาน (Handling time) ซึ่งจากศึกษาเวลาการมาถึงของ Imai, et al. (2001) สามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 เวลาการมาถึงแบบสถิต (Static arrival) คือ ไม่กำหนดเวลาการมาถึงให้กับเรือโดยสมมติเรือทุกๆ ลำพร้อมที่จะเทียบท่าได้ทันที หรืออาจพิจารณาว่าเรือทุกลำมีเวลาเริ่มต้นที่เวลาศูนย์สำหรับท่าเรือทุกๆ ท่าเทียบเรือ และกำหนดให้เรือมารอที่ท่าเรือแล้วสามารถเทียบท่าเรือได้ทันที

แบบที่ 2 เวลาการมาถึงแบบพลวัต (Dynamic arrival) คือ เรือแต่ละลำมีเวลาการมาถึงที่แน่นอน โดยเรือไม่สามารถเข้ามาเทียบท่าได้ก่อนเวลาการมาถึง

สำหรับเวลาในการปฏิบัติงานของท่าเรือ หรือเวลาที่เรือใช้บนท่าเทียบเรือมักจะขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของท่าเรือหรือปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบกับเวลาในการปฏิบัติงานของเรือบนท่าเทียบเรือ โดยในงานวิจัยของ Bierwirth and Meisel (2010) ได้อธิบายคำนิยามของปัจจัยที่มีผลกระทบกับเวลาในการปฏิบัติงานของเรือไว้ดังนี้

1. การขนถ่ายของผู้คอนเทนเนอร์ออกจากเรือ (Discharge) และขนถ่ายของผู้คอนเทนเนอร์เข้าเรือ (Load) จะส่งผลต่อเวลาในการปฏิบัติงานของเครนหมายความว่า การจัดเรียงของผู้คอนเทนเนอร์บนเรือสอดคล้องกับการทำงานของเครนหรือไม่ หรือการจัดเรียงผู้คอนเทนเนอร์บนเรือทำให้ง่ายต่อการยกลงจากเรือหรือไม่ ดังนั้นถ้ามีการจัดการในการขนถ่ายที่ดี หรือมีความเหมาะสมจะช่วยลดเวลาในการขนถ่ายผู้คอนเทนเนอร์ได้

2. จำนวนของเครน (Crane) จำนวนเครนมีผลโดยตรงต่อเวลาการขนถ่ายผู้คอนเทนเนอร์ สมมุติให้มีเรือเป็นเรือขนาดใหญ่ที่มีผู้คอนเทนเนอร์จำนวนมากถ้าใช้เครนจำนวนเพิ่มขึ้นก็สามารถลดระยะเวลาในการขนถ่ายผู้คอนเทนเนอร์ได้ แต่ถ้ามีจำนวนเครนที่ให้บริการน้อยเกินไป จะส่งผลให้ระยะเวลาในการขนถ่ายผู้คอนเทนเนอร์เพิ่มขึ้นได้เช่นกัน

3. การกำหนดตารางการทำงานของเครน ซึ่งจะกำหนดว่าเครนตัวใดจะทำงานที่ท่าเทียบเรือใดและใช้เวลาเท่าใด

4. ตำแหน่งที่เรือเทียบท่ามักมีผลต่อเวลาการทำงานหรือบริเวณพื้นที่จัดเก็บสินค้าของเครน เช่น เรือเทียบท่าไกลจากเครนจะต้องเสียเวลาในการย้ายเครนไปที่เรือ หรือส่งผลให้เวลาในการขนย้ายผู้คอนเทนเนอร์โดยรถบรรทุกจากเรือไปสู่พื้นที่จัดเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะทางที่ไกลขึ้น เป็นต้น

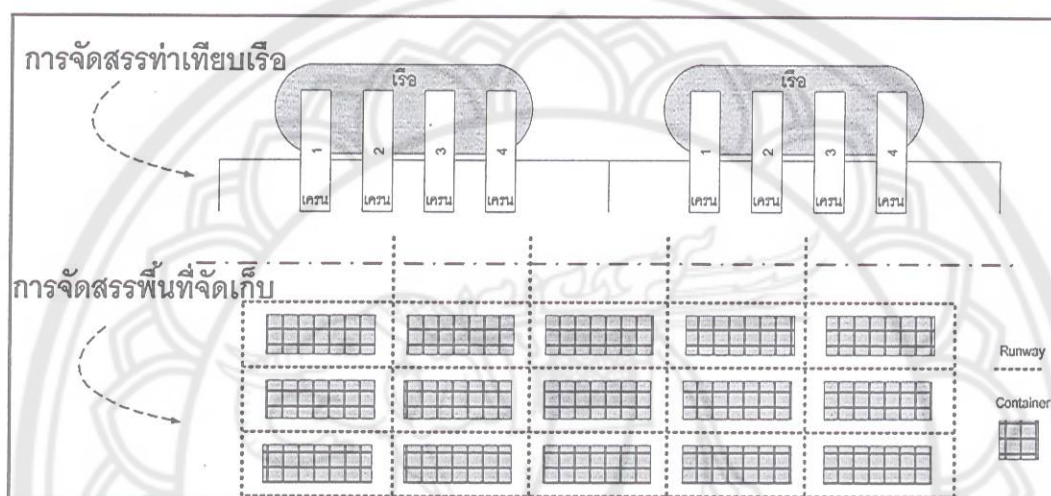
ท่าเรือและลักษณะท่าเทียบเรือ

ปัจจุบันคำว่า ท่าเรือ มักเข้าใจกันว่าเป็นพื้นที่สำหรับไว้เทียบท่าของเรือหรือเก็บเรือเพียงเท่านั้น ข้อมูลจากกรมเจ้าท่าประเทศไทยได้ให้นิยามท่าเรือไว้ว่า “ท่าเรือ หรือ เมืองท่า ซึ่งในภาษาอังกฤษใช้ว่า Port หรือ Seaport นั้นหมายถึงอาณาบริเวณพื้นที่สำหรับให้เรือเข้าเทียบท่ามีการทอดสมอเรือ มีอุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการดำเนินกิจกรรมระหว่างเรือกับชายฝั่ง เช่น การขนถ่ายสินค้าจากเรือขึ้นสู่ฝั่ง หรือจากเรือลงเรือจากล่าวอย่างสั้นๆ ว่า ท่าเรือ คือ อาณาบริเวณพื้นที่ที่มีการติดต่อกันระหว่างเรือกับชายฝั่ง” จะเห็นว่านอกเหนือจากกิจกรรมการเทียบท่าและออกจากท่าของเรือ และยังมีกิจกรรมอื่นที่มีการดำเนินงานบนท่าเรืออีกด้วย เช่น กิจกรรมการขนถ่ายสินค้าขึ้นลงเรือ เป็นต้น ดังนั้นจึงได้นำเสนอลักษณะของท่าเรือและของท่าเทียบเรือไว้ ดังนี้

1. ท่าเรือ

อาจแบ่งพื้นที่ของท่าเรือออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของท่าเรือ (Quay) และส่วนของพื้นที่จัดเก็บ (Yard) โดยส่วนของท่าเรือมีองค์ประกอบย่อยอยู่ 2 อย่าง คือ ท่าเทียบเรือ (Berth) และเครน โดยทั่วไปท่าเทียบเรือทำหน้าที่ในการรับบริการเรือที่เข้ามาเทียบท่า และเครนทำหน้าที่

ในการขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ หรือสินค้าในส่วนของพื้นที่จัดเก็บซึ่งเป็นพื้นที่จัดเก็บตู้คอนเทนเนอร์และสินค้า นอกจากนี้จากยังมีอีกองค์ประกอบหนึ่งที่เป็นตัวเชื่อมการทำงานระหว่างท่าเรือและพื้นที่จัดเก็บ คือ เส้นทางการเดินทางรถขนถ่าย หรือเส้นทางรถขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ โดยเป็นเส้นทางที่มีไว้เพื่อขนสินค้าจากพื้นที่จัดเก็บไปยังท่าเรือ หรือจากท่าเรือมายังพื้นที่จัดเก็บ ซึ่งแสดงดังภาพ 3



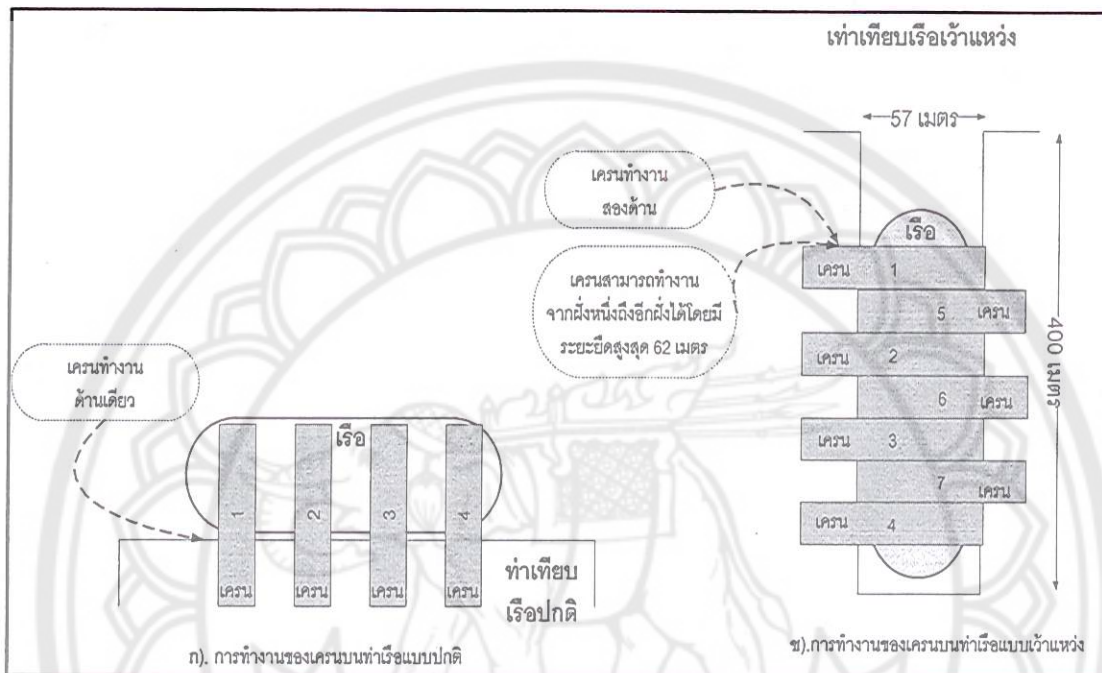
ภาพ 3 แสดงพื้นที่การจัดสรรท่าเรือ

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่ส่วนของท่าเรือ และเน้นไปในส่วนของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับท่าเทียบเรือซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อต่อไป

2. ลักษณะท่าเทียบเรือ

ในการสร้างท่าเรือโดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ชายฝั่ง เช่น ความยาว ความกว้างของชายฝั่ง หรือระดับความลึกของน้ำทะเลมีความลึกเพียงพอที่เรือจะสามารถเทียบท่าเรือได้ ดังนั้นลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ชายฝั่งจะมีผลต่อรูปร่างหรือลักษณะของท่าเทียบเรือ จากการศึกษาพบว่านอกจากท่าเทียบเรือแบบปกติ (Conventional berth) ที่พบเห็นตามท่าเรือขนส่งสินค้าทั่วไปมีลักษณะของท่าเทียบเรือเป็นแนวยาวต่อกันเรื่อยๆ แต่พบว่า ยังมีท่าเทียบเรืออีกรูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะเป็นช่องให้เรือเข้าไปเทียบท่า เรียกว่าท่าเทียบเรือลักษณะนี้ว่าท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง (Indented berth) ข้อมูลจากงานวิจัยของ Ligteringen, et al. (2002) ได้นำเสนอข้อมูลท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งภายในท่าเรืออัมสเตอร์ดัม จากการศึกษาพบว่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งมีขนาดความยาว 400 เมตร และความกว้าง 57 เมตร สามารถให้บริการเรือขน

ตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยสามารถให้บริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง์เครนได้ สูงสุด 9 เครน ซึ่งเป็นเครนที่มีลักษณะเป็นแบบจากฝั่งถึงเรือ (ship to shore cranes) โดยแต่ละเครน นั้นมีขนาดความสูง 40 เมตร และมีระยะยึดของเครนสูงสุดได้ 62 เมตร ดังภาพ 4



ภาพ 4 แสดงท่าเทียบเรือแบบปกติและแบบเว้าแหง์

จากภาพ 4 จะเห็นว่าภาพ ก เป็นท่าเทียบเรือแบบปกติและภาพ ข เป็นท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง์ เมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นว่าท่าเทียบเรือแบบปกติมีความเหมาะสมที่จะสร้างในภูมิประเทศของพื้นที่ชายฝั่งที่ไม่มีข้อจำกัดทางด้านความยาวของชายฝั่ง และท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง์น่าจะเหมาะกับภูมิประเทศของพื้นที่ชายฝั่ง มีข้อจำกัดทางด้านความยาวของชายฝั่ง และนอกจากนี้จะเห็นข้อแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง์สามารถติดตั้งเครนได้มากกว่าท่าเทียบเรือแบบปกติ และท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง์นั้นสามารถติดตั้งเครนได้สองด้าน

ท่าเทียบเรือและขนาดของเรือในประเทศไทย

ลักษณะที่ตั้งของประเทศไทยที่มีอาณาเขตเชื่อมต่อกับหลายประเทศ ได้แก่ พม่า ลาว กัมพูชา และมาเลเซีย อีกทั้งยังสามารถติดต่อทำการค้าผ่านแดนกับประเทศใกล้เคียง ได้แก่ จีนตอนใต้ และ เวียดนาม เป็นต้น โดยมีลักษณะเป็นหน้าด่านของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ทำให้ประเทศไทยต้องมีท่าเรือขนาดใหญ่ไว้ติดต่อการค้าขายกับประเทศเพื่อนบ้าน โดยมีท่าเรือระหว่างประเทศของไทยที่สำคัญ ได้แก่

1. ภาคกลางและภาคตะวันออก คือ ท่าเรือกรุงเทพ, ท่าเรือน้ำลึก แหลมฉบัง จ.ชลบุรี, ท่าเรือมาบตาพุด จ.ระยอง

2. ภาคใต้ คือ ท่าเรือน้ำลึกสงขลา และภูเก็ต, ท่าเรือระนอง จ.ระนอง

3. ภาคเหนือ คือ ท่าเรือเชียงแสน จ.เชียงราย

จากการสืบค้นพบว่า ท่าเรือแหลมฉบังนั้นเป็นท่าเรือขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศไทย และมีบทบาทในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศเป็นอย่างมาก ข้อมูลจากท่าเรือแหลมฉบัง ปี พ.ศ.2555 พบว่า ท่าเรือแหลมฉบังเป็นท่าเรือหลักในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทยมีพื้นที่ขนาด 6,340 ไร่ โดยมีกาให้บริการท่าเทียบเรือตู้คอนเทนเนอร์ถึง 7 ท่า ทำให้ท่าเรือแหลมฉบังมีศักยภาพสูงในการพัฒนาไปเป็นท่าเรือส่งออกที่มีประสิทธิภาพ และยิ่งไปกว่านั้นท่าเรือแหลมฉบังยังมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับพัฒนาในธุรกิจเกี่ยวเนื่องอื่นๆ เช่น สถานีจ่อรถบรรทุก (Truck terminal) ศูนย์กระจายสินค้า และพื้นที่การค้าขายแบบปลอดภาษี (Free trade area) เป็นต้น รวมทั้งมีสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ด้วย เช่น คลังสินค้าอันตราย ศูนย์ฝึกป้องกันความเสียหายจากอัคคีภัยที่ได้มาตรฐานสากล ซึ่งพร้อมที่จะรองรับการพัฒนาการให้บริการแบบครบวงจรได้

ท่าเรือแหลมฉบังเป็นท่าเรือที่มีสินค้าเข้าออกมากที่สุดในประเทศไทยเฉลี่ยประมาณ 10,000 เทียบต่อปี ในจำนวนดังกล่าวมีเรือหลากหลายประเภทเข้ามาจอดเทียบท่า หนึ่งในนั้นคือเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1. Feeder เป็นเรือตู้สินค้าขนาดเล็กที่ส่งระหว่างท่าเรือหลักกับท่าเรือย่อยบรรทุกสินค้าไม่เกิน 500 ทีอียู มีขนาดความยาวโดยเฉลี่ย 135 เมตร และความกว้างโดยเฉลี่ยไม่เกิน 23 เมตร

2. Feedermax เป็นเรือตู้สินค้าขนาดเล็กเช่นเดียวกับ Feeder แต่มีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย สามารถบรรทุกสินค้าได้ 500 – 1,000 ทีอียู มีขนาดความยาวโดยเฉลี่ย 135-200 เมตร และความกว้างโดยเฉลี่ย 23-30 เมตร

3. Panamax เป็นเรือสินค้าขนาดใหญ่ขึ้นมา มักใช้ขนสินค้าระหว่างท่าเรือหลักทั่วโลก สามารถบรรทุกสินค้าได้ 3,000 – 5,000 ทีอียู มีขนาดความยาวโดยเฉลี่ย 250-290 เมตร และความกว้างโดยเฉลี่ย 32.2 เมตร

4. Post-Panamax เป็นเรือสินค้าขนาดใหญ่สามารถบรรทุกสินค้าได้ 5,000 – 10,000 ทีอียู มีขนาดความยาวโดยเฉลี่ย 275-335 เมตร และความกว้างโดยเฉลี่ยมากกว่า 43 เมตร

จากข้อมูลเบื้องต้นนั้นทำให้ทราบประเภทของเรือที่เข้ามาใช้บริการท่าเรือแหลมฉบัง ดังนั้นจึงพิจารณาเรือจากขนาดความยาว และความกว้างของเรือ ซึ่งจากการพิจารณาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขนาดและสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการทำวิจัยดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงขนาดความยาวและความกว้างของเรือ

ประเภทเรือ	ความยาว (m)	ความกว้าง (m)
ขนาดเล็ก	135	25
ขนาดกลาง	250	32
ขนาดใหญ่	305	43

ข้อมูลจากตาราง 1 เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยได้จัดแบ่งประเภทของเรือจากขนาดความยาวเรือ ขนาดความกว้างเรือ และจำนวนคอนเทรนเนอร์ที่สามารถบรรทุกได้โดยพิจารณาให้จัดแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยได้เฉลี่ยค่าความยาวและค่าความกว้างของเรือให้เป็นตัวเลขคงที่เนื่องจากต้องการลดความซับซ้อนของปัญหา

ความหมายของการจัดสรรท่าเทียบเรือและปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ

การจัดสรรท่าเทียบเรือ (Berth allocation) คือ การจัดแบ่ง หรือจัดลำดับของเรือที่จะเข้ามาเทียบท่าในท่าเรือเพื่อให้มีความเหมาะสม ดังนั้นสามารถอธิบายความหมายของ ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ (Berth allocation problem) คือ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพื้นที่ในท่าเทียบเรือให้กับเรือที่เข้ามาเทียบท่า โดยกำหนดให้เรือแต่ละลำควรเข้าเทียบท่าที่ทำเทียบเรือใด ณ เวลาใดเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายของการจัดการของท่าเรือ โดยทั่วแล้ววัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของการจัดสรรท่าเทียบเรือ มักจะต้องการลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นกับการบริหารจัดการของท่าเทียบเรือ เช่น ท่าเทียบเรือมีการจัดสรรท่าเรือไม่ดีทำให้เรือที่เข้ามาใช้บริการเกิดการรอคอยเป็นเวลานานทำให้ผู้ที่มารับบริการเกิดความสูญเสียทางธุรกิจเนื่องจากเกิดความล่าช้าในการขนส่งเป็นผลให้ท่าเรือหรือองค์กรเกิดการสูญเสียค่าปรับตามสัญญา เนื่องจากท่าเรือไม่สามารถให้บริการเรือของลูกค้าตามระยะเวลาที่กำหนด เป็นต้น

ดังนั้น ในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรท่าเทียบเรือมักจะกำหนดวัตถุประสงค์หลักของปัญหา คือ การลดระยะเวลาการให้บริการรวมของท่าเทียบเรือ ลดการปฏิเสธเรือที่ทำเทียบเรือไม่สามารถให้บริการได้ หรือลดระยะเวลาในการรอคอยของเรือที่ต้องรอรับบริการที่เป็นผลมาจาก

การเกิดความล่าช้าในการให้บริการเป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือนั้นมักจะมีเงื่อนไขหรือขอบเขตของท่าเรือมาเกี่ยวข้อง เช่น ความยาวท่าเรือ จำนวนครน ความลึกของท่าเรือ หรือ เวลาในการมาถึงเป็นต้น ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้มักจะส่งผลทำให้การจัดสรรท่าเทียบเรือมีความยุ่งยากและซับซ้อนเพิ่มขึ้น

ลักษณะปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ

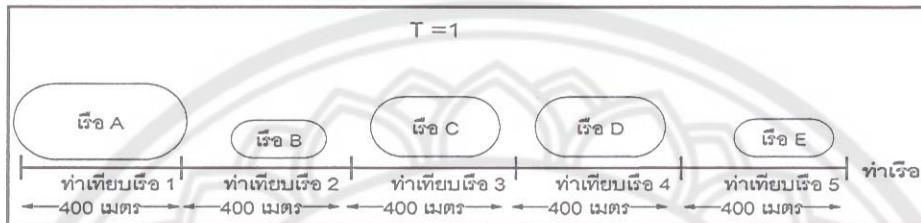
เมื่อไม่นานมานี้จากศึกษาปัญหาของการจัดสรรท่าเทียบเรือของ Christian and Frank (2009) พบว่าได้แบ่งลักษณะของการจัดสรรท่าเทียบเรือออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง การจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง และการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม ในการแยกประเภทนั้นได้พิจารณาตามลักษณะการเทียบท่าของเรือซึ่งจะมีลักษณะต่างกัันดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete berth) หรือ การวางผังแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete layout) คือ ท่าเรือมีการจัดแบ่งออกเป็นท่า และหนึ่งท่าเทียบเรือสามารถจอดเรือได้เพียงหนึ่งลำเท่านั้น การแบ่งท่าเทียบเรือนั้นมักจะขึ้นอยู่กับลักษณะของท่าเรือหรือตามความเหมาะสมของเรือ เช่น การจัดแบ่งท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องนั้นจะแบ่งให้แต่ละท่ามีความยาวเท่ากัน ซึ่งแสดงดังตัวอย่างโดยกำหนดขนาดของเรือและเวลาที่ใช้ในท่าเรือในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงตัวอย่างขนาดและเวลาปฏิบัติงานของเรือเพื่ออธิบายปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ

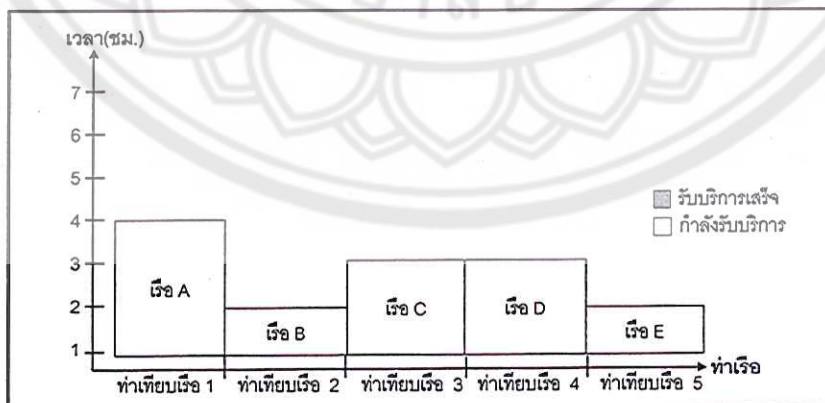
เรือ	ขนาด	ความยาว (m)	ความกว้าง (m)	เวลาการมาถึง (Hr)	เวลาปฏิบัติงาน (Hr)
A	ใหญ่	305	43	1	3
F	ใหญ่	305	43	1.5	3
C,D	กลาง	250	32	1	2
B,E	เล็ก	135	25	1	1

ข้อมูลจากตารางจะนำไปใช้ในการยกตัวอย่างเพื่ออธิบายลักษณะปัญหาการจัดสรร
ท่าเทียบเรือและเพื่อความสะดวกของการนำเสนอตัวอย่างในบางปัญหาอาจจะพิจารณาเรือ
บางลำเท่านั้นโดยที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณาเรือจากตาราง 2 ทุกลำ ซึ่งสามารถนำเสนอตัวอย่างของ
ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือได้ ดังนี้



ภาพ 5 แสดงท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง

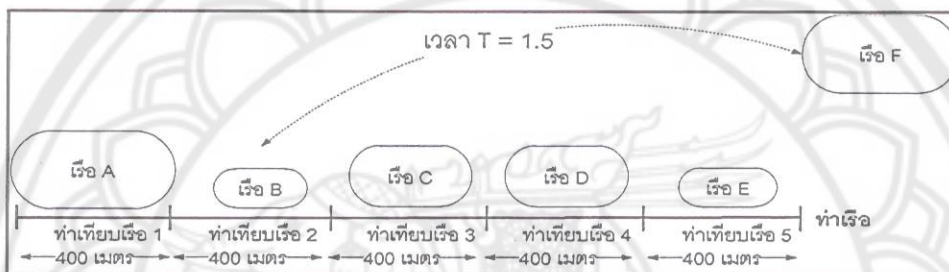
จากภาพ 5 กำหนดให้ท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องมีการจัดแบ่งออกเป็นท่า 1, 2, 3, 4 และ 5 กำหนดให้แต่ละท่ามีขนาด 400 เมตร โดยที่เวลา $T = 1$ มีเรือ A, B, C, D, E เข้ามาใช้
บริการครบทุกท่าและเห็นได้ว่าไม่ว่าเรือมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็สามารถนำเรือเทียบท่าได้เพียง 1 ลำ
ต่อ 1 ท่าเทียบเรือเท่านั้นถึงแม้ท่าเทียบเรือจะมีพื้นที่เหลือมากเพียงใดก็ตาม การแสดงผลลัพธ์
ของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือสามารถแสดงได้ในรูปของกราฟ โดยกำหนดให้แกน Y คือ
แกนของเวลามีหน่วยของเวลาเป็นชั่วโมง และแกน X คือ แกนของท่าเทียบเรือมีหน่วยความยาว
เป็นเมตร แสดงดังภาพ 5



ภาพ 6 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเรือเทียบแบบไม่ต่อเนื่องเวลา $T=1$

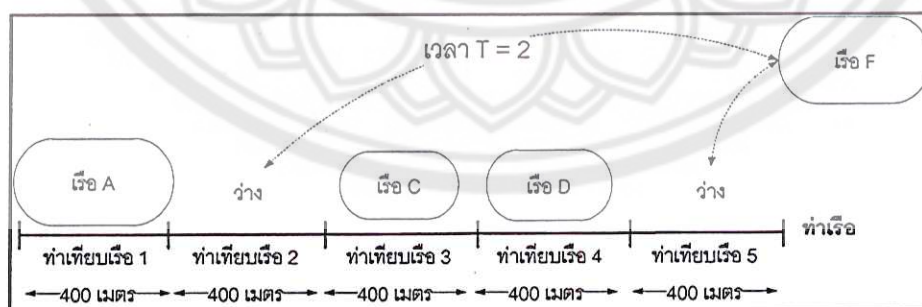
จากภาพ 6 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเวลากับท่าเทียบเรือ โดยแสดงให้เห็นว่าเรือแต่ละลำเทียบท่าอยู่ในท่าไหน จากภาพ เรือ A, B, C, D, E เทียบท่าอยู่ในท่าที่ 1, 2, 3, 4, 5 ซึ่งเข้ามาเทียบท่าที่เวลา $T=1$ และกราฟยังสามารถอธิบายได้อีกว่าเมื่อเวลาที่ $T=2$ เรือ B และเรือ E จะรับบริการเสร็จ เรือ C และเรือ D จะรับบริการเสร็จเมื่อเวลา $T=3$ และเรือ A จะรับบริการเสร็จเมื่อเวลา $T=4$

ในกรณีที่ท่าเทียบเรือมีการให้บริการจนเต็มทุกท่าเรือที่มาจะต้องรอจนกว่าท่าเทียบเรือจะว่างถึงจะเข้าเทียบท่าได้ ดังภาพ 7



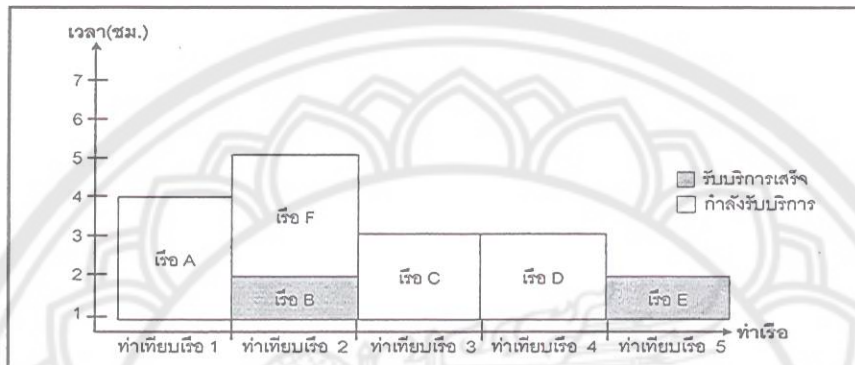
ภาพ 7 แสดงท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องเวลา $T=1.5$

จากภาพ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลา $T=1.5$ เรือ F ได้เข้าแต่เนื่องจากท่าเทียบเรือทั้งยังมีการให้บริการอยู่ ดังนั้น เรือ F ต้องคอยจนกว่าจะมีท่าเทียบเรือว่างซึ่งหมายความว่า จะต้องมีการให้บริการเสร็จอย่างน้อยหนึ่งลำแล้วออกจากท่าเทียบเรือไป เรือ F ถึงจะสามารถเข้าเทียบท่าได้ ดังภาพ 8



ภาพ 8 แสดงท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องเวลา $T=2$

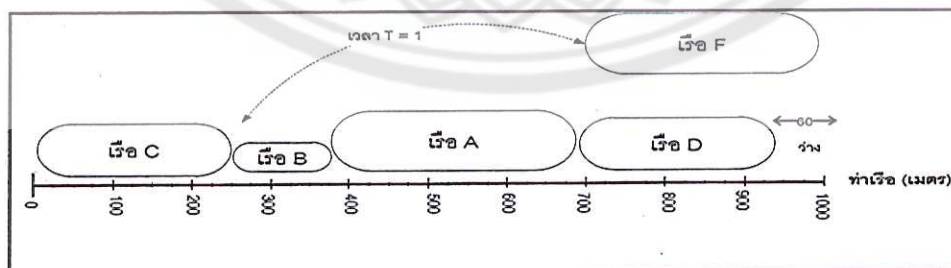
เมื่อเวลาผ่านไปที่เวลา $T=2$ เรือ B และเรือ E ได้ออกไปจากท่าเทียบเรือแล้วเนื่องจากเรือ B และเรือ E ใช้เวลาปฏิบัติงานบนท่าเทียบเรือเพียงแค่ 1 ชั่วโมง ดังนั้นเรือ F จึงสามารถเข้าเทียบท่าได้ทั้งท่าเทียบเรือ 2 และ 3 ในที่นี้กำหนดให้เรือ F เข้าเทียบท่าในท่าเทียบเรือที่ 2 ดังนั้นภาพแสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือที่เวลาซึ่งแสดงดังภาพ 9



ภาพ 9 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องเวลา $T=2$

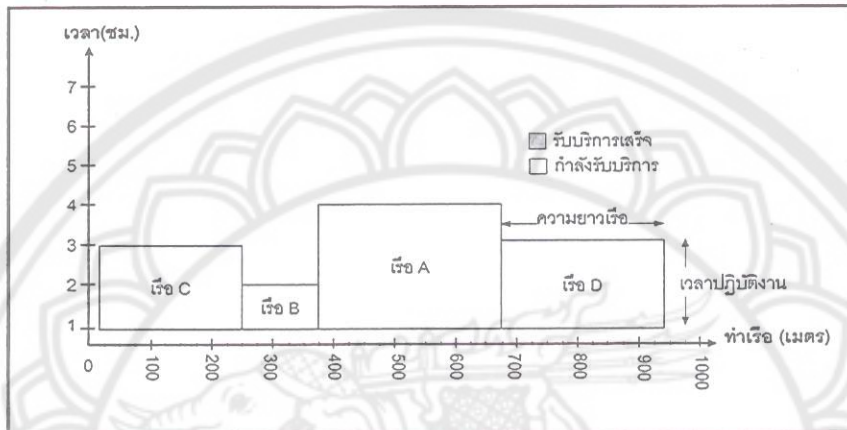
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาที่ $T=2$ ในท่าเทียบเรือ 2 มีเรือ F เข้ามาใช้บริการต่อจากเรือ B และในท่าเรือ 5 ที่เวลา $T=2$ ยังไม่มีเรือเข้ามาใช้บริการ

2. ท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง (Continuous berth) หรือ การวางผังแบบต่อเนื่อง (Continuous layout) คือ ท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องนั้นไม่มีการจัดแบ่งออกเป็นท่าเทียบเรือ โดยจะมองว่าท่าเรือทั้งหมดเป็นท่าเทียบเรือเดียวกัน ซึ่งจะแสดงดังภาพ 10 โดยใช้ข้อมูลของเรือจากตาราง 2 ซึ่งในที่นี้จะไม่พิจารณาเรือ E โดยกำหนดให้ท่าเทียบเรือของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องมีความยาวทั้งหมด 1,000 เมตร



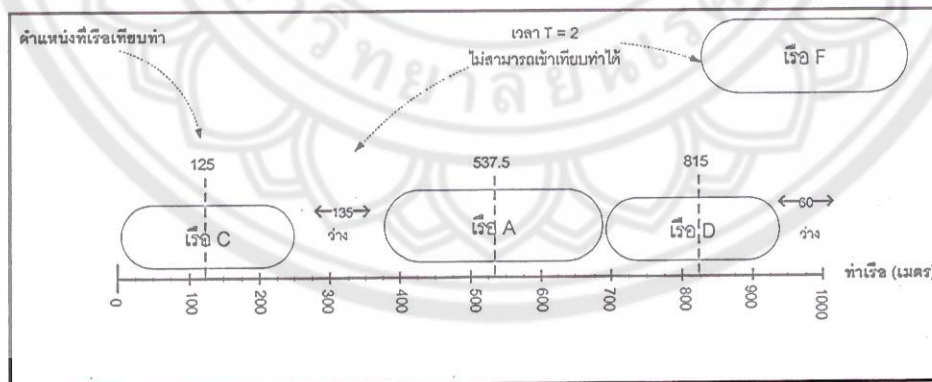
ภาพ 10 แสดงท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องเวลา $T=1$

จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีการจัดแบ่งท่าเทียบเรือสามารถจอดเรือตำแหน่งใดก็ได้ จึงมีผลให้ท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง มีตัวแปรที่เข้ามามีความสำคัญในปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง คือความยาวของท่าเทียบเรือ ซึ่งมีผลต่อการกำหนดตำแหน่งการเทียบท่าของเรือแต่ละลำ และกราฟความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือนั้นจะแสดงในภาพ 11



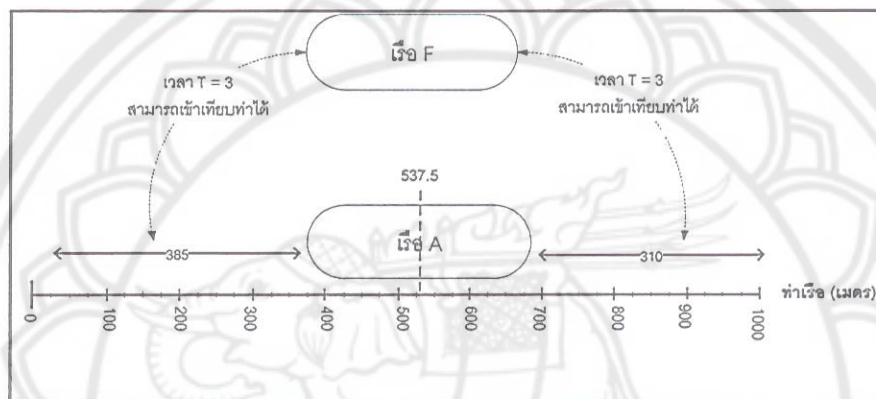
ภาพ 11 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องที่เวลา $T=1$

ในการพิจารณาตำแหน่งที่เรือเทียบท่าในท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องจะพิจารณาจากตำแหน่งที่เรือเทียบท่าจากตำแหน่งกึ่งกลางของความยาวรวมเรือดังภาพ 12



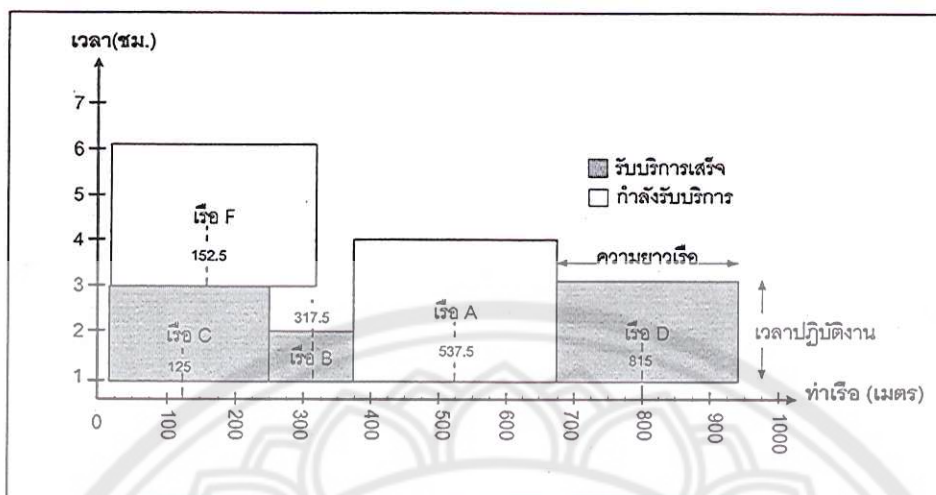
ภาพ 12 แสดงท่าเทียบเรือของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องเวลา $T=2$

จากภาพ 12 จะเห็นว่าเรือ C เข้ามาเทียบท่าที่ตำแหน่งที่ระยะ 125 เมตร เรือ A เข้ามาเทียบท่าที่ตำแหน่งที่ระยะ 537.5 เมตร และเรือ D เข้ามาเทียบท่าที่ตำแหน่งที่ระยะ 815 เมตรโดยพิจารณาจากความยาวท่าเทียบเรือ ดังนั้นเมื่อเวลาที่ $T=2$ เรือ B ได้รับบริการเสร็จสิ้นและออกไปจากท่าเทียบเรือแล้วแต่เรือ F ยังไม่สามารถเทียบท่าได้ เนื่องจากเรือ B ที่ออกจากท่าไปมีความยาวในการเทียบท่าเพียง 135 เมตร แต่เรือ F ที่กำลังรอรับบริการนั้นมีความยาว 305 เมตร จึงไม่สามารถเข้าเทียบท่าได้เนื่องจากพื้นที่ในการเทียบท่าไม่พอกับความยาวของเรือ F



ภาพ 13 แสดงท่าเทียบเรือของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องเวลา $T=4$

จากภาพ 13 จะเห็นว่าเมื่อเวลา $T=3$ เรือ C และเรือ D รับบริการเสร็จแล้วจึงออกจากท่าไปจึงทำให้เรือ F สามารถเข้ารับบริการได้ในท่าเทียบเรือที่มีความยาวมากกว่า 305 เมตร โดยเทียบท่าที่ตำแหน่งที่ระยะ 152.5 เมตร และในภาพ 14 จะแสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องที่เวลา $T=3$

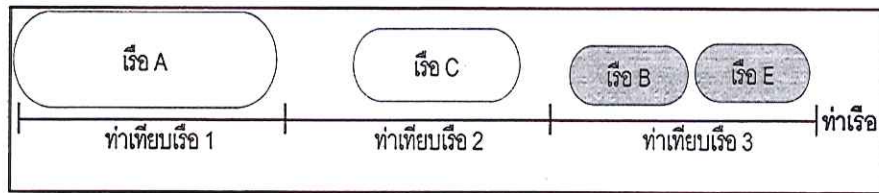


ภาพ 14 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องเวลา $T=3$

ในท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องนั้น ตำแหน่งที่เรือเทียบท่าจะมีอิทธิพลกับการจัดสรรท่าเทียบเรือค่อนข้างมาก เนื่องจากถ้ากำหนดตำแหน่งที่เรือเทียบท่าได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้พื้นที่ว่างของท่าเทียบเรือที่ไม่ได้ใช้งาน ณ เวลาใดๆ ลดลง ซึ่งหมายความว่าพื้นที่ที่เรือสามารถเทียบท่าได้ ณ เวลาใดๆ ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. ท่าเทียบเรือแบบผสม (Hybrid berth) หรือ การวางผังแบบผสม (Hybrid layout) คือ เป็นท่าเทียบเรือที่มีลักษณะคล้ายกับท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในการพิจารณาการเทียบท่าของเรือนั้นจะพิจารณาท่าเทียบเรือที่เรือเข้าเทียบท่า และจะพิจารณาความยาวภายในท่าเทียบเรือที่ยังไม่ได้ใช้งานในท่านั้นด้วย จากศึกษาพบว่าสามารถจัดแบ่งลักษณะการเทียบของเรือได้ 2 แบบ ดังต่อไปนี้

3.1 ท่าเรือมีการจัดแบ่งเป็นท่าเทียบเรือแต่ภายในท่าเทียบเรือหนึ่งท่าสามารถให้บริการเรือได้มากกว่าหนึ่งลำได้ ขึ้นอยู่กับความยาวของท่าเทียบเรือที่มีเรือเข้ามาใช้บริการภายในท่าเทียบเรือนั้นเหลือพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับความยาวเรือหรือไม่ ถ้าท่าเทียบเรือมีพื้นที่ว่างเพียงพอกับความยาวเรือที่จะเข้ามาให้บริการก็สามารถอนุญาตให้ท่าเทียบเรือนั้นๆ รับบริการเรือได้มากกว่าหนึ่งลำซึ่งแสดงไว้ดังภาพ 15



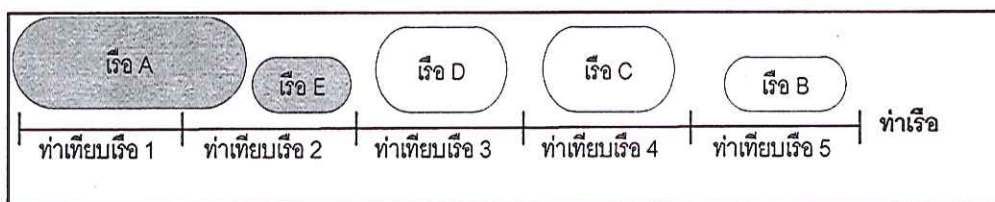
ภาพ 15 แสดงทำเทียบเรือ 1 ทำ รับบริการเรือได้มากกว่าหนึ่งลำ

3.2 ท่าเรือมีการจัดแบ่งเป็นทำเทียบเรือและเรือที่เข้ามาใช้บริการสามารถใช้พื้นที่ในการเทียบท่าของเรือหนึ่งลำเกินความยาวของท่าเรือหนึ่งท่าได้ นั้นหมายความว่าทำเทียบเรือใกล้เคียง หรือทำเทียบเรือที่อยู่ถัดไปจากทำเทียบเรือที่มีเรือเข้ามาใช้บริการต้องเป็นทำเทียบเรือที่ว่าง หรือมีพื้นที่ว่างพอสำหรับส่วนเกินของเรือลำที่ใช้พื้นที่ในการเทียบท่าเกินหนึ่งทำเทียบเรือด้วย ดังภาพ 16



ภาพ 16 แสดงเรือ 1 ลำ สามารถใช้พื้นที่ในการเทียบท่าเรือเกิน 1 ท่า

จากสองลักษณะที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาพิจารณาลักษณะการเข้าเทียบท่าของเรือพร้อมกันทั้งสองแบบได้ยกตัวอย่าง เช่น จากภาพ 15 จะเห็นว่าเรือ A ใช้พื้นที่ในการเทียบท่าเกิน 1 ท่าเทียบเรือ โดยใช้พื้นที่เกินมายังท่าเทียบเรือที่ 2 และสมมติให้ยังเหลือพื้นที่ว่างในท่าเทียบเรือที่ 2 ถ้าเรือลำต่อไปที่มามีความยาวไม่เกินพื้นที่ว่างในท่าเทียบเรือที่ 2 ก็สามารถเข้ารับบริการภายในท่าเทียบเรือ 2 ได้ดังภาพ 17

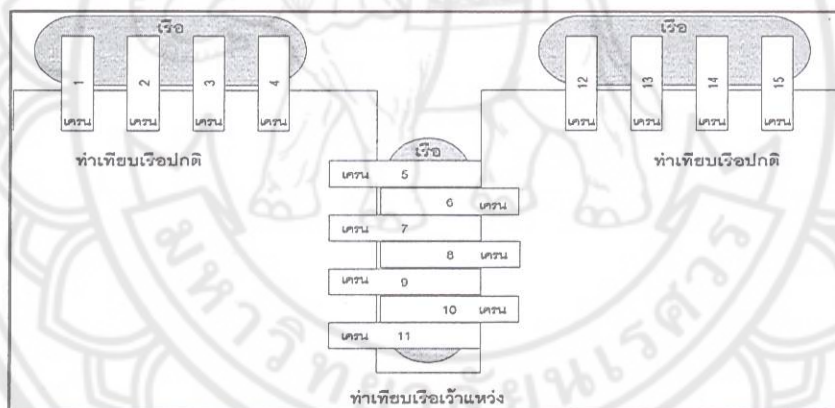


ภาพ 17 แสดงการเทียบท่าของเรือโดยพิจารณาแบบ 1 และแบบ 2

จากภาพ 17 แสดงการเทียบท่าแบบผสมที่นำเอาท่าเทียบเรือในหัวข้อ 3.1 และ 3.2 มารวมกัน โดยท่าเทียบเรือแบบผสมสามารถรับบริการเรือได้เกินหนึ่งลำและเรือหนึ่งลำสามารถให้บริการท่าเทียบเรือได้เกินหนึ่งท่า ซึ่งภายในท่าเรือที่ 2 นั้นมีเรือ E และเรือ A ซึ่งรับบริการในท่าเทียบเรือที่ 1 ด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการเทียบท่าของเรือจะเห็นว่าเรือ A รับบริการที่ท่าเทียบเรือ 1 และท่าเทียบเรือ 2 เรือ E เข้ารับบริการท่าเทียบเรือที่ 2

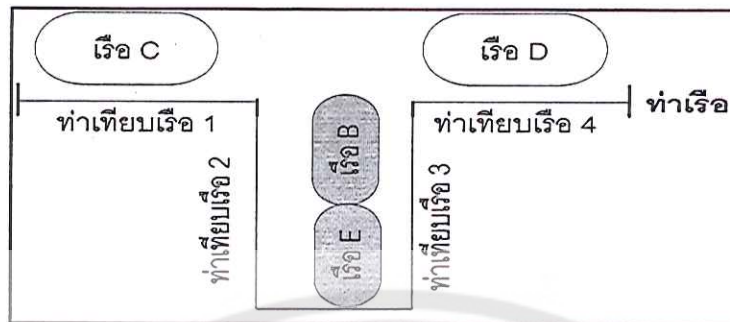
ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมที่บางท่าเทียบเรือเป็นท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง (HIBAP)

เมื่อกล่าวถึงท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง ในความเป็นจริงแล้วท่าเรือที่มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งจะไม่สร้างเพียงท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งแบบเดียวหรือสร้างแยกออกมาจากท่าเทียบเรืออื่นโดยจะสร้างทั้งท่าเทียบแบบเว้าแหว่งอยู่กับท่าเทียบเรือแบบปกติด้วย (Ligteringen, et al. 2002) ดังตัวอย่างภาพ 18



ภาพ 18 แสดงท่าเทียบเรือที่บางท่าเทียบเรือเป็นท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

ดังนั้น ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งสามารถจัดอยู่ในท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง แต่ในงานวิจัยนี้ได้จัดให้ท่าเทียบเรืออยู่ในหมวดของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม เนื่องจากกำหนดให้พิจารณาจากลักษณะการเข้าเทียบท่าของเรือในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งมีการเข้าเทียบท่าของเรือที่มารับบริการเป็นแบบผสม ยกตัวอย่างการเข้าเทียบดังภาพ 19 และภาพ 20



ภาพ 19 แสดงท่าเทียบเรือที่บางท่าเทียบเรือเป็นท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่ง
1 ท่ารับบริการเรือได้เกินหนึ่งลำ

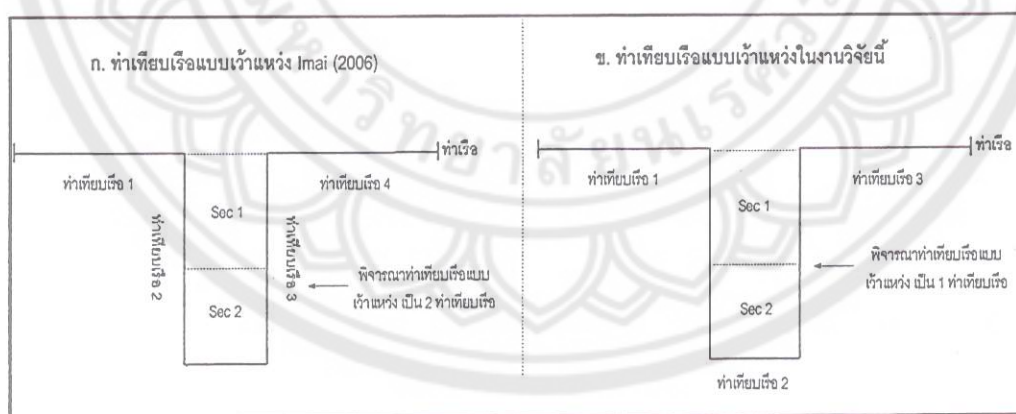
จากภาพ 19 ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่งนั้นคือท่าเทียบเรือ 2 และท่าเรือ 3 แต่ท่าเทียบเรือ 1 และท่าเทียบเรือ 4 ซึ่งเป็นท่าเทียบเรือแบบปกติจะเห็นว่าท่าเทียบเรือภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่งนั้นสามารถรับบริการเรือได้มากกว่าหนึ่งลำเช่นเดียวท่าเทียบเรือแบบปกติ และในการพิจารณาการเข้าออกจากท่าเทียบเรือต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่งด้วย เนื่องจากท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่งที่มีระยะห่างระหว่างท่าไม่มากอาจทำให้เกิดการชนกันของเรือได้ และท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่งมีเรือเข้ามาบริการ 1 ลำ สามารถอนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการเทียบท่าเกิน 1 ท่าได้ดังภาพ 20



ภาพ 20 แสดงท่าเทียบเรือที่บางท่าเทียบเรือเป็นท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง่งเรือใช้
พื้นที่ในการเทียบท่าเกิน 1 ท่าเทียบเรือ

กรณีดังภาพ 20 กำหนดให้เรือ A เข้าเทียบท่าในท่าเทียบเรือที่ 2 และท่าเทียบเรือที่ 3 เนื่องจากจากงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) ได้พิจารณาแบ่งท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งออกเป็น 2 ท่าเทียบเรือ ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าเรือหนึ่งลำสามารถให้บริการท่าเทียบเรือได้เกินหนึ่งท่าเทียบเรือเช่นเดียวกับท่าเทียบเรือปกติ

จากที่กล่าวมาข้างต้นการจัดแบ่งท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งนั้นพิจารณาจากลักษณะการเข้าเทียบของเรือจากงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นิยามความหมายของคำว่า ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมที่มีท่าเทียบเรือเป็นท่าเทียบแบบปกติ (Hybrid layout conventional berth allocation problem, HBAP) คือ ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบที่มีท่าเทียบเรือทุกๆ ท่าเป็นท่าเทียบเรือแบบปกติโดยมีลักษณะการเข้าเทียบท่าของเรือเป็นแบบผสม และนิยามความหมายของคำว่า ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมที่บางท่าเทียบเรือเป็นแบบเว้าแหว่ง (Hybrid layout indented berth allocation problem, HIBAP) คือ ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบที่มีบางท่าเทียบเรือเป็นท่าเทียบเรือแบบปกติและบางท่าเรือเป็นท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง โดยมีลักษณะการเข้าเทียบท่าของเรือเป็นแบบผสม และในงานวิจัยนี้จะพิจารณานับท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งเป็น 1 ท่าเทียบเรือ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการนับจำนวนท่าเทียบเรือและเกิดความชัดเจนในการพิจารณาท่าเทียบเรือ ซึ่งมีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) ที่มีการจัดแบ่งท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งออกเป็น 2 ท่า แสดงดังภาพ 21



ภาพ 21 แสดงการจัดแบ่งท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งในงานวิจัย

ซึ่งในหัวข้อต่อไปจะแสดงให้เห็นถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับลักษณะปัญหาท่าเรือที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้าทั้ง 3 กรณี คือ ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง และปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม จากการทบทวน

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ นั้น พบว่า ปัญหากลุ่มนี้ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นจำนวนมาก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ

ในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาท่าเทียบเรือมีจำนวนมากและถึงแม้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาท่าเทียบเรือจะมีหลายประเภท เช่น ปัญหาการจัดตารางการทำงานของเครนในท่าเรือ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรพื้นที่การจัดเก็บตู้คอนเทนเนอร์ หรือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนตู้คอนเทนเนอร์ในท่าเทียบเรือ เป็นต้น แต่ปัญหาหนึ่งที่มีความนิยมมากเช่นกัน คือ ปัญหาการจัดสรรท่าเรือ (Berth allocation problem) เมื่อไม่นานมานี้ Bierwirth and Meisel (2010) ได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาท่าเทียบเรือและได้เรียบเรียงจัดแบ่งกลุ่มของปัญหาและแยกประเภทของปัญหาเป็น 3 แบบ คือ ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete BAP) ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง (Continuous BAP) และปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม (Hybrid BAP)

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องเป็นที่นิยมและมีงานวิจัยออกมาเป็นจำนวนมาก จึงได้เลือกศึกษาบางงานวิจัยเพื่อให้มีความเข้าใจกับลักษณะของปัญหาเพิ่มขึ้น จากการศึกษางานวิจัยของ Imai, et al. (2001) งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอการจัดลำดับความสำคัญของเรือที่เข้ามาเทียบท่าในท่าเรือที่มีการดำเนินงานแบบหลายผู้ใช้ (MUT) ซึ่งต้องการปรับปรุงแบบจำลองที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการเข้าเทียบท่าของเรือ และพัฒนาวิธีการเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic-search Algorithm, GA) เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาการจัดสรรท่าเรือที่เป็นปัญหาแบบไม่เชิงเส้นตรง (non-linear problem) ซึ่งได้ทำการทดลองหาคำตอบจากปัญหาที่มีจำนวนเรือ 25, 50, 75 และ 150 ลำ โดยมีท่าเรือ 5 ท่า พบว่า การจัดลำดับความสำคัญนั้นขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักของความสำคัญที่กำหนดให้เรือ และค่าน้ำหนักนี้จะเป็นดัชนีชี้วัดในกระบวนการตัดสินใจการจัดสรรท่าเทียบเรือได้ นอกจากนี้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแล้วยังมีบางงานวิจัย ได้นำเอาปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือมาพิจารณาร่วมกับเครน (QCAP) ในงานวิจัยของ Wang and Meng (2007) ซึ่งได้พิจารณาเวลาการทำงานของท่าเทียบเรือโดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเครนและท่าเทียบเรือ โดยเสนอวิธีการพัฒนาการทำงานของตารางการทำงานของเครนและการเข้าจอดของเรือ โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมหากการจัดสรรท่าเทียบเรือที่เหมาะสม และใช้วิธีแอนติโคโลนีออฟติไมเซชัน (Ant Colony Optimization, ACO) เพื่อแก้ไขปัญหาการทำงานของเครน พบว่า วิธีการนี้

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยจากเดิม 20.3% เป็น 50.7% และลดระยะเวลาคอยจาก 4.8 นาที เป็น 0.6 นาที และลดแถวคอยเฉลี่ยจาก 9 ลำ เหลือเพียง 4 ลำ

ต่อมางานวิจัยได้พัฒนาให้มีรูปแบบของปัญหาสมจริงขึ้นโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเทียบท่าของเรือ และค่าใช้จ่ายจากการดำเนินงานในกิจกรรมอื่นๆ ดังงานวิจัยของ Hansen and Oguz (2008) ได้นำค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการดำเนินงานบนท่าเรือมาพิจารณาร่วมกับปัญหาการจัดสรรท่าเรือ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายเนื่องจากเวลาการรอคอย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนถ่ายสินค้า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเทียบท่าคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งที่ต้องการ และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความล่าช้า โดยใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (Mix integer linear programming, MIP) เพื่อหาผลลัพธ์ในเวลาที่กำหนดสามารถหาคำตอบได้เพียงปัญหามีขนาดเล็ก เพื่อแก้ปัญหาขนาดใหญ่ขึ้นได้ประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาประกอบไปด้วย วิธีวาริเอเบิลเนเบอร์ฮูดเสิร์ช (Variable Neighborhood Search, VNS) วิธีฮิวริสติกมัลติสตาร์ท (Heuristic Multi-Start MS) วิธีจีเนติกอัลกอริทึมและวิธีการเมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic-Algorithm) และได้นำผลลัพธ์ของวิธีการเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกัน จากการทดลองพบว่าวิธีวาริเอเบิลเนเบอร์ฮูดเสิร์ช สามารถแก้ปัญหาได้มีประสิทธิภาพกว่าวิธีอื่น QIN Jin (2009) ได้ศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งมีเป้าหมายที่ต้องการจะหาค่าเหมาะสมที่สุดของเวลารวมในการให้บริการรวมของเรือโดยพิจารณาภายใต้กรอบเวลา (Time window) ของเวลาในการให้บริการของเรือโดยนำเสนอแบบจำลองโดยที่เพิ่มฟังก์ชันของการเสียค่าปรับเพื่อหลีกเลี่ยงการละเมิดเงื่อนไขของปัญหา และวิธีการแก้ไขปัญหโดยวิธีทาบูลิวเสิร์ชฮิวริสติก (Tabu- Search Heuristics) ที่พัฒนามาเพื่อใช้สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง สำหรับปัญหาที่มีท่าเทียบเรือเป็นแบบต่อเนื่องนั้นก็ได้รับความนิยม และมีการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยพบว่างานวิจัย Wang and Lim (2007) ได้ศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง โดยมีเวลาการมาถึงของเรือแบบไม่คงที่เพื่อกำหนดตำแหน่งและเวลาสำหรับการมาถึงของเรือให้เหมาะสม เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมในท่าเรือ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความล่าช้า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการปฏิเสธเรือ และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจอดเรือในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม โดยใช้วิธีการค้นหาลำแสงแบบสุ่ม (Stochastic Beam Search) ในการแก้ปัญหาและมีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับวิธีการรอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาลำแสงแบบดั้งเดิม (Traditional Beam Search) ผลที่ได้คือคำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาลำแสงแบบสุ่มให้คำตอบที่น้อยกว่าและรวดเร็วกว่าวิธีการค้นหาลำแสงแบบดั้งเดิมและวิธีการรอบอ่อนจำลอง

เช่นเดียวกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องก็มีงานวิจัยที่ได้พิจารณาเครนร่วมกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือเช่นกัน ดังในงานวิจัยของ Zhang, et al. (2009) ศึกษาวิธีการจัดสรรท่าเทียบเรือและเครน โดยคำนึงถึงเวลาที่เครนต้องการใช้ในการขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์เพื่อต้องการหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาได้นำมาใช้แบบจำลองเชิงจำนวนเต็มแบบผสม และประยุกต์ใช้วิธีชันพเกรเดียน (sub-gradient) แก้ไขปัญหาที่มี 2 ฟังก์ชัน โดยใช้วิธีแก้ปัญหาแบบผ่อนคลายลาแกรงเจียน (Lagrangian Relaxation) นำมาประยุกต์ใช้ในการเลือกและช่วยสร้างตัวคูณที่เหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขอบบน (Upper bound) และขอบล่าง (Lower bound) ของปัญหา และต้องการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขปัญหานี้นำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง

เมื่อไม่นานมานี้งานวิจัยของ S. R. Seyedalizadeh Ganji (2010) ต้องการศึกษากการแก้ปัญหาท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง โดยที่นักวิจัยมีแนวคิดว่ ปัญหาการขนส่งส่วนมากมักใช้วิธีการแก้ไขปัญหาแบบการแตกกิ่งและการจำกัดเขต (Branch & Bound) หรือใช้แบบจำลองเชิงจำนวนเต็มแบบผสม แก้ปัญหาเนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้ค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหา แต่ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นวิธีการที่กล่าวมาอาจไม่เหมาะสม จึงได้เลือกใช้เจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการแก้ไขปัญหามีระดับสูงขึ้นไป ในงานวิจัยนี้ได้ทำแก้ไขปัญหขนาดเล็และขนาดใหญ่โดยทำการเปรียบเทียบปัญหาขนาดเล็กระหว่างวิธิขยายและการจำกัดเขตกับเจเนติกอัลกอริทึม พบว่าวิธิเจเนติกอัลกอริทึมสามารถแก้ปัญหาได้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีการขยายและการจำกัดเขตที่ปัญหขนาดเล็กแล้วมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.5% และเป็นทางเลือกที่ดีในการนำไปพัฒนาการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องได้ และ Lee (2010) ศึกษาการลดเวลารวมที่ใช้ในการดำเนินการขนถ่ายเรือซึ่ง ได้ศึกษาปัญหาสองขนาดโดยแบ่งออกเป็นปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดใหญ่ และปัญหาที่ศึกษานั้นเป็นปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องได้นำเสนอวิธีการระบุปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการแก้ปัญหา โดยใช้กริดดีแรนดอมไมซ์อะแด็ปทีฟเลิร์ซ (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, GRASP) 2 รูปแบบ รูปแบบแรก (GRASP-1) ใช้กฎของการมาถึงก่อนรับบริการก่อน (FCFS) รูปแบบที่สอง (GRASP-2) ไม่คำนึงถึงลำดับความสำคัญและกฎของการมาถึงก่อนรับบริการก่อนโดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียง (Local search) ปรับปรุงวิธีการหาคำตอบ และนำวิธีการ GRASP-1 และ GRASP-2 เปรียบเทียบกับวิธีการของ Wang and Lim (2007) ซึ่งกำหนดให้ใช้กฎของการมาถึงก่อนรับบริการก่อน พบว่า วิธีการ GRASP-2

ให้ผลลัพธ์ของคำตอบที่ดีที่สุดแต่จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้นตามขนาดปัญหา ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้วิธีการ GRASP-1 ในปัญหาขนาดใหญ่และสำหรับปัญหาขนาดเล็กแนะนำให้ใช้ GRASP-2

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม สำหรับปัญหานี้มีงานวิจัยที่ศึกษาค่อนข้างน้อย อาจสืบเนื่องมาจากท่าเรือที่ศึกษาส่วนมากเป็นท่าเทียบเรือที่มีลักษณะการเทียบเป็นแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง หรืองานวิจัยบางงานวิจัยไม่สามารถระบุประเภทของท่าเทียบเรือหรือรูปแบบของปัญหาได้อย่างชัดเจน และจากการทบทวนงานวิจัย Cordeau, et al. (2005) งานวิจัยนี้ศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมในการจัดสรรท่าเทียบเรือ ซึ่งต้องการหาค่าเวลารวมในการรับบริการของเรือต่างๆ ลำที่น้อยที่สุด ในการพิจารณาปัญหาได้แยกพิจารณา 2 แบบ คือ ปัญหาท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องและปัญหาท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง ทดลองปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนเรือ 25 ลำ ท่าเรือ 5, 7 และ 10 ท่า สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ใช้เรือ 35 ลำ โดยมีท่าเทียบเรือ 7 ท่า และ 10 ท่า สำหรับวิธีการแก้ปัญหานั้นได้เสนอวิธีการทาบูลิธิติก ในการแก้ปัญหาท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้แบบจำลองของ Imai, et al. (2001) ได้พัฒนาวิธีการทาบูลิธิติก (Ts^2) โดยปรับปรุงเงื่อนไขให้เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่อง พบว่า กรณีปัญหาท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องขนาดเล็กนั้นวิธีการ T^2s สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ทุกปัญหา เมื่อนำวิธีการ T^2s และ Ts^2 มาประยุกต์ใช้ในปัญหาท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องที่พัฒนาแบบจำลองมาจากงานวิจัยของ Kim and Moon (2003) พบว่า ทั้งสองวิธีการสามารถแก้ไขปัญหาท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องได้

Moorthy (2006) งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการแก้ปัญหการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมโดยมีการมาถึงเป็นแบบพลวัต โดยใช้วิธีการออกแบบแม่แบบ (Template design) โดยพิจารณาเวลาในการรับบริการของเรือ และค่าใช้จ่ายในการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์จากท่าเทียบเรือไปพื้นที่จัดเก็บตู้คอนเทนเนอร์ ได้นำเสนอแบบจำลองของปัญหาแบบบรรจุรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle packing) โดยใช้วิธีจำลองการอบอ่อน (SA) ในการแก้ปัญหการจัดลำดับการให้บริการ และยังต้องการนำเสนอแม่แบบที่มีประสิทธิภาพในการหาแนวทางในการจัดลำดับการให้บริการของท่าเรือ จากการใช้แม่แบบในการแก้ปัญหาก็ทำให้สามารถลดปัญหาการทับกันของการให้บริการ (Overlap) ของเรือได้ และแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการจัดลำดับการให้บริการของที่จะเข้ามาเทียบท่า แต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับวิธีการนี้ คือ วิธีการแก้ปัญหโดยใช้วิธีการออกแบบแม่แบบยังไม่สามารถแก้ไขปัญหการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบต่อเนื่องได้

นอกจากนี้ในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือนั้นมีบางงานวิจัยที่ต้องการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective function) ดังในการวิจัยของ Cheong, et al. (2008) ได้พิจารณาการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบหลายวัตถุประสงค์ ประกอบด้วย การหาค่าที่เหมาะสมของเวลาที่ใช้การปฏิบัติงาน เวลารอคอย และระดับของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตารางจัดลำดับความสำคัญ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการทำงานของท่าเทียบเรือและเรือ และการพิจารณาการเข้าเทียบท่าของเรือโดยปกติจะคำนึงถึงความยาวเรือ ความยาวท่าเทียบเรือ แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำความลึกของเรือและระดับความลึกของน้ำมาพิจารณาด้วย ในการแก้ปัญหานั้นได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้สามขั้นตอนหลัก คือ วิธีการหาค่าตอบในพื้นที่ใกล้เคียง การผสมรูปแบบการถอดรหัส (Hybrid decoding) และวิธีการแทรกค่าที่เหมาะสม (Optimal berth- insertion) พบว่าในการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์นั้น วิธีการทั้งสามวิธีนั้นสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์แต่ละข้อด้วย นอกจากนี้ได้เสนอแผนภาพพาเรโต (Pareto) เพื่อนำไปพิจารณาในการเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่น่าพอใจสำหรับปัญหาด้วย และ Dai, et al. (2008) ได้ศึกษาปัญหาการจัดท่าเทียบเรือโดยต้องการบริการจัดการพื้นที่ว่างในท่าเรือให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด และต้องการลดเวลาการรอคอยของเรือ โดยนำวิธีการบรรจุรูปสี่เหลี่ยม (Rectangle packing) มาช่วยในการจัดสรรพื้นที่ว่างในปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือที่เป็นแบบสถิตย์ (Static berth allocation problem) และใช้วิธีการหาค่าตอบในพื้นที่ใกล้เคียงรวมกับการวิธีการหาค่าตอบในพื้นที่ใกล้เคียงของวิธีการจำลองการอบอ่อน (SA) เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบพลวัต (Dynamic berth allocation problem) พบว่าวิธีการแก้ปัญหาคิดขึ้นมาสำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบพลวัตนั้นสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาค่าได้ และเทคนิควิธีการบรรจุรูปสี่เหลี่ยม สามารถช่วยในการจัดสรรท่าเทียบเรือได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองสามารถช่วยจัดสรรท่าเทียบเรือได้ดีกว่าการทำงานเดิมจาก 95% เพิ่มขึ้นเป็น 97% และยังช่วยลดเวลาคอยของเรือได้ถึง 80% จากเดิมอยู่ที่ 40%

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง จากการศึกษาพบว่ามีงานนำเสนอปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งครั้งแรกโดย Imai, et al. (2006) ได้ศึกษาการแก้ไขปัญหาค่าเรือที่มีลักษณะการจอดแบบผสม ในการจัดสรรท่าเทียบเรือที่มีหลายผู้ใช้ (Multi user container terminal) กับท่าเทียบเรือที่มีลักษณะเว้าแหว่ง เพื่อต้องการลดเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการ ซึ่งนำเสนอแบบจำลองโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มแบบผสมโดยจะพิจารณาเรือขนาดใหญ่และเรือขนาดเล็ก ถึงแม้ว่าปัญหานี้สมการจะเป็นแบบเส้นตรงแต่ปัญหามีความยุ่งยาก

และซับซ้อนดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาของแบบจำลองโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มแบบผสมแบบเป็นเส้นตรง พบว่าทำเทียบเรือแบบเว้าแหว่งจะลดเวลาดำเนินงานของเรือขนาดใหญ่ได้ดีกว่าแบบทั่วไป

นอกจากนี้งานวิจัยของ Vis, et al. (2010) นำเสนอการจำลองการดำเนินงานในท่าเทียบเรือปกติและท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งใช้ข้อมูลจากท่าเรืออัมสเตอร์ดัมในปี 2006-2007 โดยต้องการเปรียบเทียบเวลารวมในการขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ และจำนวนเรือที่เข้ามาให้บริการระหว่างท่าเทียบเรือทั้งสองแบบ นอกจากนี้ยังจะพิจารณาถึงพื้นที่การจัดเก็บตู้คอนเทนเนอร์ และระยะทางในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์จากท่าเรือไปยังพื้นที่จัดเก็บตู้คอนเทนเนอร์ งานวิจัยนี้พิจารณาเรือขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์อยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ จากการทดลองพบว่า การดำเนินงานของเรือขนาดใหญ่ในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งนั้นสามารถปฏิบัติงานได้ไวกว่าท่าเรือแบบปกติอยู่ 27% แต่สำหรับเรือขนาดเล็กท่าเทียบเรือแบบปกติใช้เวลาในการขนถ่ายเฉลี่ยรวมน้อยกว่าท่าเรือแบบเว้าแหว่งอยู่ 30% และ J. Chen, et al. (2011) ศึกษาปัญหาการจัดตารางการทำงานของเครนบนท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง ซึ่งปัญหานี้ครอบคลุมในส่วนของ การดำเนินงานในการจัดตารางการทำงานของเครนและส่วนของการดำเนินงานขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ โดยนำเสนอแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็ม โดยใช้วิธีทาบูลิเธียริสติก แก้ปัญหาการจัดตารางการทำงานของเครนในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรท่าเทียบเรือสามารถแบ่งประเภทงานวิจัยได้ดังตาราง 3 โดยแสดงให้เห็นถึงลักษณะของปัญหาท่าเทียบเรือที่ใช้ในการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาจัดสรรท่าเทียบเรือ

ตาราง 3 แสดงการแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ

ผู้วิจัย (ปี)	Problem			Terminal		หมายเหตุ
	Disc.	Cont.	Hybr.	Conventional	Indented	
Imai, et al. (2002)	✓			✓		
Cordeau, et al. (2005)			✓	✓		
Moorthy (2006)			✓	✓		
Imai, et al. (2006)			✓	✓	✓	
Wang (2007)	✓			✓		QC scheduling
Lim (2007)		✓		✓		
Hansen (2008)	✓			✓		
Cheong, et al. (2008)			✓	✓		
Dai, et al. (2008)			✓	✓		
QIN Jin (2009)	✓			✓		
Zhang, et al. (2009)		✓		✓		QC scheduling
Ganji (2010)		✓		✓		
Lee (2010)		✓		✓		
Vis , et al. (2010)	✓			✓	✓	
Yun Cai (2010)	✓			✓		
Chen, et al. (2011)	✓				✓	QC scheduling

ดังนั้น จากการทบทวนวรรณกรรมทำให้ทราบว่างานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสมที่มีลักษณะท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง ยังมีการศึกษาและวิจัยออกมาค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง ทำให้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมและท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

ลักษณะท่าเทียบเรือแบบปกติและเว้าแหงจากงานวิจัยของ Imai, et al. (2006)

Imai, et al. (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเวลาการขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ระหว่างท่าเทียบเรือแบบผสมที่มีท่าเทียบเรือแบบปกติกับท่าเรือแบบผสมที่มีบางท่าเทียบเรือเป็นแบบเว้าแหง และพิจารณาขนาดของเรือเพียง 2 ขนาด คือ เรือขนาดเล็ก และเรือขนาดใหญ่ โดยได้อธิบายข้อตกลงเบื้องต้นและลักษณะการเทียบท่าของปัญหาการจัดสรรท่าเรือไว้ ดังนี้

1. ข้อตกลงเบื้องต้น Imai, et al. (2006)

- 1.1 ท่าเรือมีการจัดแบ่งออกเป็นท่าเทียบเรือ
- 1.2 เรือแต่ละลำมีเวลาในการรับบริการไม่เท่ากัน และเวลาในการรับบริการกำหนดโดยท่าเทียบเรือที่เรือเข้าไปเทียบท่า
- 1.3 เรือทุกลำสามารถเข้าเทียบท่าได้ทุกเวลาโดยไม่คำนึงถึงปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง
- 1.4 ไม่มีช่วงเวลาในการหยุดพักของการให้บริการท่าเทียบเรือ
- 1.5 ท่าเทียบเรือ 1 ท่า สามารถรับบริการเรือสูงสุดไม่เกิน 2 ลำ ถ้าความยาวของท่าเทียบเรือเพียงพอสำหรับเรือที่เข้ามาเทียบท่า
- 1.6 เรือ 1 ลำ ไม่สามารถใช้บริการท่าเทียบเรือพร้อมกัน 2 ท่า ณ เวลาเดียวกัน
- 1.7 ภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง 1 ท่า ได้แบ่งท่าเทียบเรือออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2
- 1.8 พิจารณาขนาดเรือเพียงสองขนาด คือ เรือขนาดเล็ก และขนาดใหญ่
- 1.9 กำหนดให้เรือขนาดใหญ่ไม่เกิดการรอคอยในการเข้าเทียบท่า

ในงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) ได้พิจารณาท่าเรืออยู่สองลักษณะ คือ ท่าเทียบเรือแบบปกติ และท่าเทียบเรือแบบเว้าแหง ซึ่งท่าเรือทั้งสองลักษณะมีการปฏิบัติการเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นดังกล่าวไว้ข้างต้น แต่เงื่อนไขในการเข้าและออกจากท่าเทียบเรือแบบปกติและท่าเทียบเรือแบบเว้าแหงจะแตกต่างกันไป โดยได้อธิบายรายละเอียดไว้ในข้อที่ 3.1 (หน้า 38) และ ข้อที่ 3.2 (หน้า 46)

2. ลักษณะการเทียบท่าแบบผสมบนท่าเทียบเรือแบบปกติของ Imai, et al. (2006)

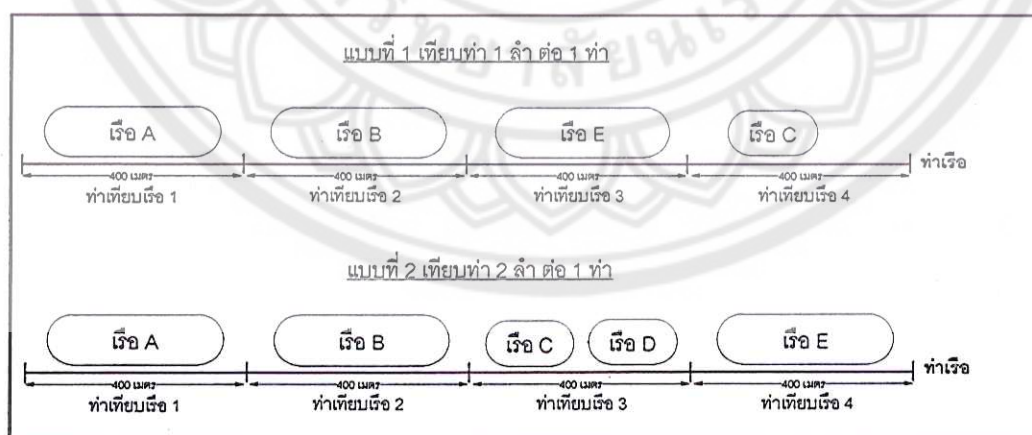
ในปัญหาของ Imai, et al. (2006) ได้พิจารณาขนาดเรือเพียงสองขนาด คือ เรือขนาดเล็กและขนาดใหญ่ จากข้อตกลงเบื้องต้นของ Imai, et al. (2006) จึงได้ยกตัวอย่างเพื่อแสดงการดำเนินการเทียบท่าของเรือในกรณีที่สามารถเกิดขึ้นตามข้อตกลงเบื้องต้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงรายละเอียดและข้อมูลของโจทย์ตัวอย่างในตาราง 4 จะแสดงขนาด เวลาการมาถึง ความยาว และเวลาที่เรือใช้ขนถ่ายบนท่าเทียบเรือของเรือแต่ละลำ ซึ่งในตัวอย่างโดยกำหนดข้อมูลของเรือ A, B, E, F และ K เป็นเรือขนาดใหญ่โดยมีความยาวของเรือ 305 เมตร มีเวลาปฏิบัติงาน

ที่ใช้ในท่าเทียบเรือลำละ 4 ชั่วโมง และกำหนดให้เรือ C, D, G, H, I และเรือ J เป็นเรือขนาดเล็กโดยมีความยาวของเรือ 135 เมตร มีเวลาปฏิบัติงานที่ใช้ในท่าเทียบเรือลำละ 2 ชั่วโมง

ตาราง 4 แสดงตัวอย่างขนาดและเวลาปฏิบัติงานของเรือเพื่ออธิบายลักษณะท่าเทียบเรือแบบปกติและไว้ห่างจากงานวิจัยของ Imai, et al. (2006)

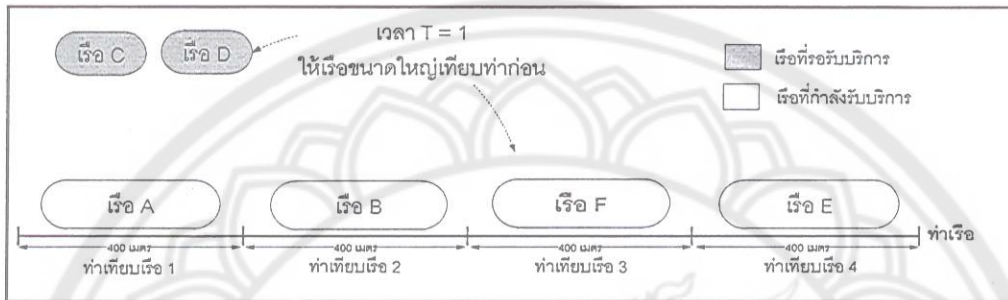
เรือ	ขนาด	เวลาการมาถึง	ความยาวเรือ (เมตร)	ความกว้าง (เมตร)	เวลาปฏิบัติงาน (ชั่วโมง)											
A,B,E,F	ใหญ่	1	305	43	4											
C,D,G,H,I	เล็ก	1	23	2	K	ใหญ่	2	305	43	4	J	เล็ก	2	135	23	2
K	ใหญ่	2	305	43	4											
J	เล็ก	2	135	23	2											

ลักษณะการเข้าเทียบท่าของเรือในปัญหาที่ท่าเทียบเรือเป็นแบบผสมโดยมีท่าเรือเทียบเรือเป็นแบบปกติของ Imai, et al. (2006) มีลักษณะการเข้าเทียบท่าเป็นแบบกำหนดลำดับการเข้าเทียบท่าของเรือ โดยกำหนดให้ภายในท่าเทียบเรือหนึ่งท่าอนุญาตให้เรือเทียบท่าได้ไม่เกินจำนวน 2 ลำ ถ้าความยาวเพียงพอสำหรับเรือ 2 ลำ ซึ่งแสดงไว้ดังภาพ 22



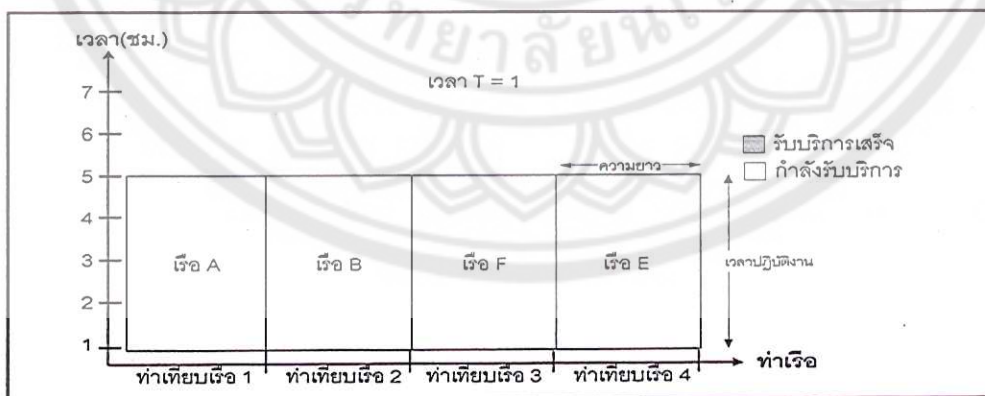
ภาพ 22 แสดงลักษณะการเทียบท่าของปัญหา Imai, et al. (2006)

ในกรณีที่เรือมีเวลาการถึงพร้อมกัน ใช้ข้อมูลจากตาราง 4 โดยสมมติให้ท่าเทียบเรือหนึ่งท่ามีความยาว 400 เมตร โดยให้เรือ A, B, C, D, E, F มาถึงท่าเทียบที่เวลา $T=1$ จากข้อกำหนดเบื้องต้นได้กำหนดให้เรือขนาดใหญ่ไม่เกิดการรอคอย ดังนั้น จึงจัดลำดับการเทียบท่าของเรือใหญ่ ดังภาพ 23



ภาพ 23 แสดงการจัดลำดับการเทียบท่าเรือ Imai, et al. (2006) ท่าเทียบเรือปกติ เวลา $T=1$

จากข้อกำหนดเบื้องต้นได้กำหนดให้เรือขนาดใหญ่มีลำดับความสำคัญมากกว่าเรือขนาดเล็ก และไม่ต้องทำให้เกิดการรอคอยสำหรับเรือขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงจัดลำดับการเทียบท่าให้เรือขนาดใหญ่เทียบท่าก่อนเรือขนาดเล็ก และสามารถแสดงให้เห็นเวลาของเรือที่ใช้ในการรับบริการบนท่าเทียบเรือของเรือแต่ละลำ ณ เวลา $T=1$ ดังภาพ 24

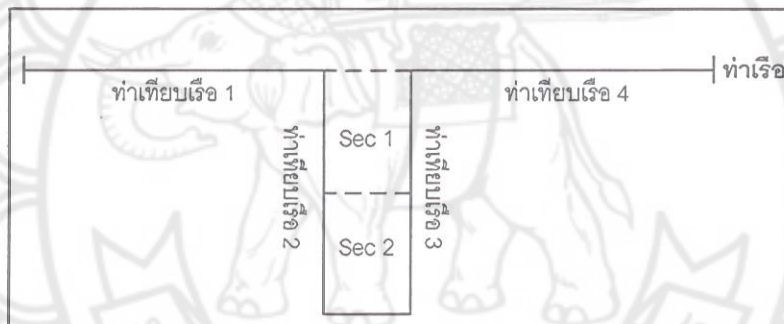


ภาพ 24 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือกับท่าเทียบเรือ Imai, et al. (2006) ท่าเทียบเรือปกติ เวลา $T=1$

จากภาพ 24 แสดงให้เห็นเวลาของเรือที่ใช้ในการให้บริการบนท่าเทียบเรือของเรือแต่ละลำ ณ เวลา $T=1$ โดยเรือ A, B, E, F เป็นเรือขนาดใหญ่และเรือทุกลำจะรับบริการเสร็จเมื่อเวลาที่ $T=5$

3. ลักษณะการเทียบท่าบนท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai, et al. (2006)

สำหรับปัญหานี้ Imai, et al. (2006) ได้พิจารณาท่าเทียบเรือแบบผสมที่มีท่าเทียบเรือบางท่าเป็นท่าเทียบแบบเว้าแหว่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าท่าเทียบเรือไม่ได้เป็นแบบเว้าแหว่งทั้งหมดซึ่งจะมีเพียงบางท่าเทียบเรือเท่านั้น สำหรับท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งนั้นภายในท่าเรือมีการจัดแบ่งท่าเทียบเรือออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2 แสดงดังภาพ 25 และพิจารณาเรือเพียง 2 ขนาดเหมือนกับท่าเทียบเรือแบบปกติ คือ เรือขนาดใหญ่และเรือขนาดเล็ก ในหัวข้อนี้กำหนดให้ใช้ขนาดเรือและท่าเทียบเรือตามตาราง 4

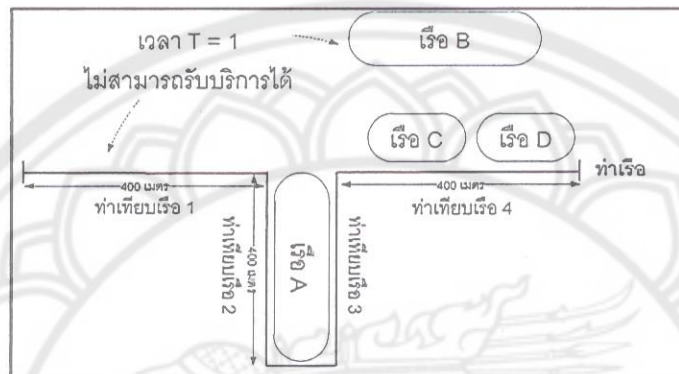


ภาพ 25 แสดงการแบ่งท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai, et al. (2006)

จากภาพ 25 จะเห็นว่าภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งนั้นได้แบ่งเป็น ส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2 โดยกำหนดให้ ส่วนที่ 1 อยู่ด้านนอก และ ส่วนที่ 2 อยู่ด้านในของท่าเทียบเรือที่เป็นแบบเว้าแหว่ง

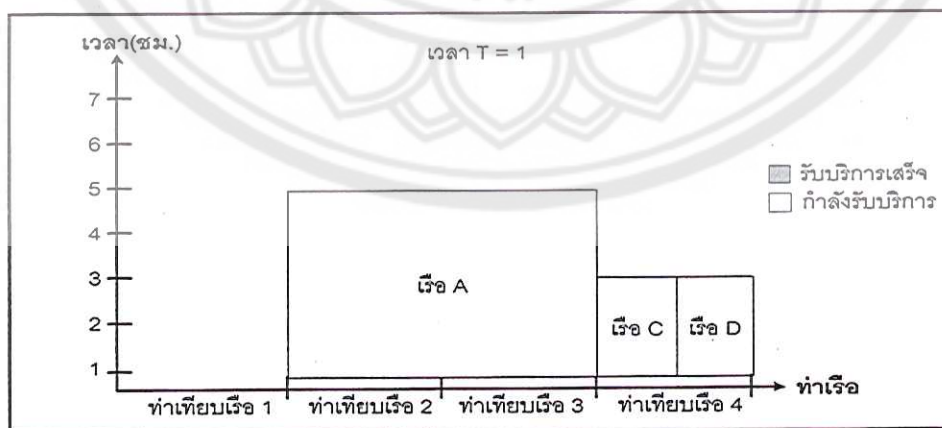
ในการพิจารณาปัญหา HIBAP ของ Imai, et al. (2006) ได้กำหนดเงื่อนไขเบื้องต้นในการเข้าเทียบท่าของเรือเหมือนกับหัวข้อ ที่ 1 ซึ่งหมายความว่าท่าเทียบเรือที่เป็นแบบปกติและแบบเว้าแหว่งสามารถรับบริการเรือได้สูงสุดไม่เกิน 2 ลำ และให้ลำดับความสำคัญในการเทียบท่าของเรือขนาดใหญ่มากกว่าเรือขนาดเล็ก แต่อาจมีบางเงื่อนไขที่ลักษณะการเข้าเทียบท่าของเรือภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งแตกต่างจากท่าเทียบเรือแบบปกติ ดังนี้

เงื่อนไขข้อที่หนึ่ง กำหนดให้เรือขนาดใหญ่รับบริการได้เฉพาะในท่าเทียบเรือแบบ
 เหว่งเท่านั้น และเรือขนาดเล็กจะใช้บริการท่าเทียบเรือแบบเวิ้งได้ก็ต่อเมื่อท่าเทียบเรือนั้น
 ว่าง ในการเข้าเทียบท่าเพื่อรับบริการของเรือขนาดใหญ่นั้นจะไม่สามารถรับบริการในท่าเทียบเรือ
 แบบปกติได้ นอกจากท่าเทียบเรือแบบเวิ้งเท่านั้นถึงแม้ว่าท่าเทียบเรืออื่นจะว่างก็ตาม



ภาพ 26 แสดงการเทียบท่าของเรือขนาดใหญ่บนท่าเทียบเรือแบบเวิ้งแห่งของ
 Imai, et al. (2006)

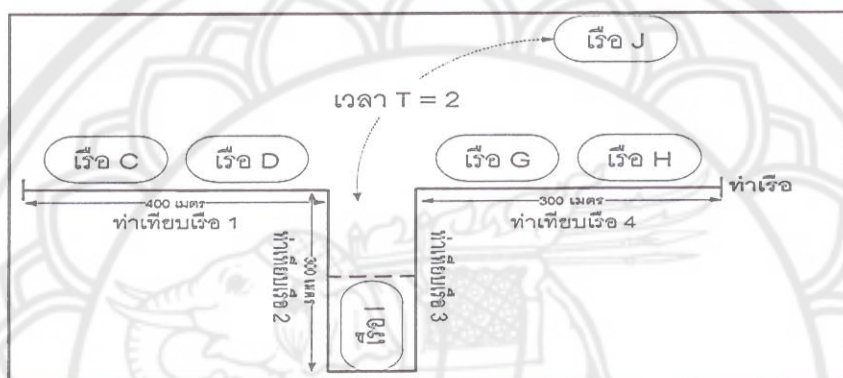
จากภาพ 26 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าที่เวลา $T=1$ ท่าเทียบเรือแบบปกติว่างอยู่แต่เรือ
 B ที่มาถึงจะไม่สามารถรับบริการได้เนื่องจากกำหนดให้เรือ B เป็นเรือขนาดใหญ่เรือ B สามารถเข้า
 รับบริการได้เฉพาะท่าเทียบเรือแบบเวิ้งแห่ง ดังนั้นเรือ B จะต้องรอเรือ A รับบริการเสร็จและออก
 จากท่าเทียบเรือก่อนเท่านั้นจึงจะเข้ารับบริการได้



ภาพ 27 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาของเรือขนาดใหญ่กับท่าเทียบเรือแบบเวิ้งแห่ง
 ของ Imai, et al. (2006) เวลา $T=1$

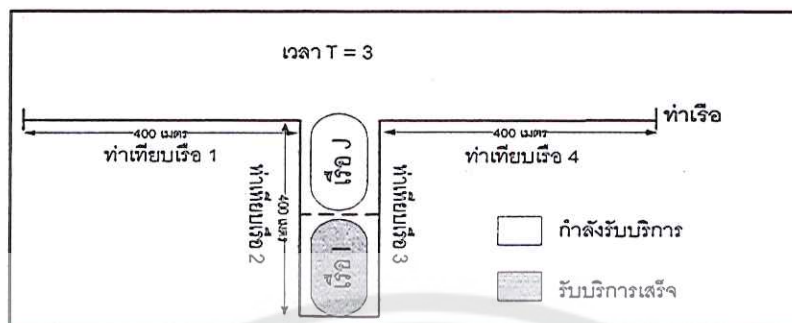
ในภาพ 27 แสดงให้เห็นว่าเรือ B จะสามารถเข้ารับบริการได้เมื่อเวลาที่ $T=5$ เป็นต้นไป เนื่องจากเวลาที่เรือ A ใช้ในการรับบริการเสร็จสิ้นเมื่อเวลาที่ $T=5$

เงื่อนไขข้อที่สอง ในกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อมีเรือขนาดเล็ก 2 ลำ ที่รับบริการท่าเทียบเรือที่มีเรืออยู่ในส่วนของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง 2 ลำ กำหนดให้เรือที่อยู่ในส่วนที่ 2 เมื่อรับบริการเสร็จแล้ว จะสามารถออกจากท่าเรือได้ก็ต่อเมื่อเรือที่อยู่ในส่วนที่ 1 รับบริการเสร็จและออกจากท่าเรือก่อน แสดงในภาพ 28 และ 29



ภาพ 28 แสดงการเข้าท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของเรือขนาดเล็กในส่วนที่ 1 และ 2 ของ Imai, et al. (2006) เวลา $T = 2$

จากภาพ 28 กำหนดให้เรือ I, C, D, G และเรือ H เป็นเรือขนาดเล็กใช้เวลาในการรับบริการลำละ 2 ชั่วโมง เข้ามาบริการที่เวลา $T=1$ และจากนั้นเรือ J มาถึงท่าเทียบเรือที่เวลา $T=2$ หมายความว่าเรือ I, C, D, G และเรือ H เหลือเวลาอีก 1 ชั่วโมง หรือที่เวลา $T=3$ รับบริการเสร็จสิ้นและออกจากท่าเทียบเรือ



ภาพ 29 แสดงการเข้าทำเทียบเรือแบบเว้าแห่งของเรือขนาดเล็กในส่วนของ ส่วนที่ 1 และ 2 ของ Imai, et al. (2006) เวลา $T = 3$

จากภาพ 29 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาที่ $T = 3$ เรือ I, C, D, G และเรือ H รับบริการเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งเรือ C, D, G และเรือ H สามารถออกจากท่าได้ทันที ยกเว้นเรือ I เนื่องจากเรือ J ที่รับบริการใน ส่วนที่ 1 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่งยังรับบริการไม่เสร็จจึงทำให้เรือ I ต้องรอเรือ J รับบริการเสร็จก่อนจึงจะสามารถออกจากท่าเทียบเรือได้

3.1 แบบจำลองโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม

แบบจำลองของ Imai, et al. (2006) ได้นำเสนอแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสมไว้ในรูปของแบบจำลองโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (MIP) โดยแบบจำลองกำหนดตัวแปรการตัดสินใจของเรือ ท่าเทียบเรือและลำดับการให้บริการเหมือนกับงานวิจัยของ Imai, et al. (2001) และจากการศึกษาของ กนกวรรณ และณรงค์ธร (2554) นำเสนอแบบจำลองที่ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) ไว้ดังนี้

3.1.1 ดัชนีและเซต (Indices and Set)

i คือ ดัชนีของท่าเทียบเรือ ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) $\in B$

j, j' คือ ดัชนีของเรือ ($j, j' = 1, 2, 3, \dots, T$) $\in V$

k, k' คือ ดัชนีของลำดับการให้บริการ ($k, k' = 1, 2, 3, \dots, T$) $\in U$

B คือ เซตของท่าเทียบเรือ

V คือ เซตของเรือ

U คือ เซตของลำดับการให้บริการ

3.1.2 พารามิเตอร์ (Parameters)

TM คือ จำนวนบวกที่มีค่ามาก

A_j คือ เวลาการมาถึงของเรือ j

BL_i คือ ความยาวของท่าเทียบเรือ i

L_j คือ ความยาวของเรือ j

S_i คือ เวลาที่ท่าเทียบเรือ i ว่าง และสามารถเริ่มรับเรือเข้ามาเทียบท่า

C_{ij} คือ เวลาปฏิบัติงานที่เรือ j ใช้ในท่าเทียบเรือ i

3.1.3 ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variables)

x_{ijk} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j รับบริการลำดับที่ k บนท่าเทียบเรือที่ i , ในกรณีอื่นให้เป็น 0

$\tau_{ijj'}$ มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j และ j' รับบริการบนท่าเทียบเรือที่ i เมื่อเรือ j เทียบท่าก่อน j' , ในกรณีอื่นให้เป็น 0

$\omega_{ijj'}$ มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j และ j' รับบริการ ณ เวลาเดียวกันบนท่าเทียบเรือที่ i , ในกรณีอื่นให้เป็น 0

b_{ij} คือ เวลาเริ่มของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ท่าเทียบเรือ i

f_{ij} คือ เวลาเสร็จสิ้นของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ท่าเทียบเรือ i

3.1.4 แบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j \in V} \left\{ \sum_{i \in B} f_{ij} - A_j \right\} \quad (2.1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in U \quad (2.3)$$

$$b_{ij} \geq \sum_{k \in U} \max\{S_i, A_j\} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.4)$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \geq \sum_{j \in V} x_{ij(k+1)} \quad \forall i \in B, k+1 \in U, k < \max U \quad (2.6)$$

$$\sum_{k \in U} kx_{ijk} \leq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (1 - \tau_{ijj'}) TM \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.7)$$

$$b_{ij} \leq b_{ij'} + (1 - \tau_{ij'})TM \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.8)$$

$$f_{ij} < b_{ij'} + (1 + \omega_{ij'} - \tau_{ij'})TM \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.9)$$

$$\omega_{ij'}(L_j + L_{j'}) \leq BL_i \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.10)$$

$$\omega_{ij'} \leq \tau_{ij'} \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.11)$$

$$\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k}) - 1 \leq \tau_{ij'} + \tau_{ij'j} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad (2.12)$$

$$\sum_{j'} \omega_{ij'} \leq 1 \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.13)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U \quad (2.14)$$

$$\tau_{ij'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.15)$$

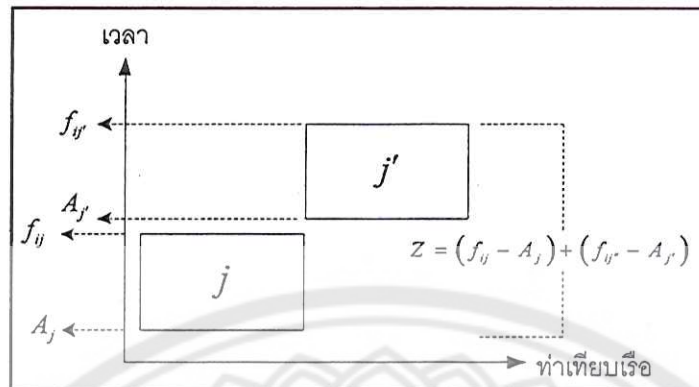
$$\omega_{ij'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j, j' \in V \quad (2.16)$$

$$b_{ij} \geq 0, f_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.17)$$

จากการศึกษาแบบจำลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นสามารถนำมาอธิบายความหมายของสมการและอสมการได้ ดังนี้

สมการที่ 2.1 อธิบายถึงวัตถุประสงค์หลักของแบบจำลอง ซึ่งต้องการหาเวลารวมที่เรือ ใช้ไปในการรับบริการบนท่าเทียบเรือสำหรับเรือทุกลำ และท่าเทียบเรือทุกท่า

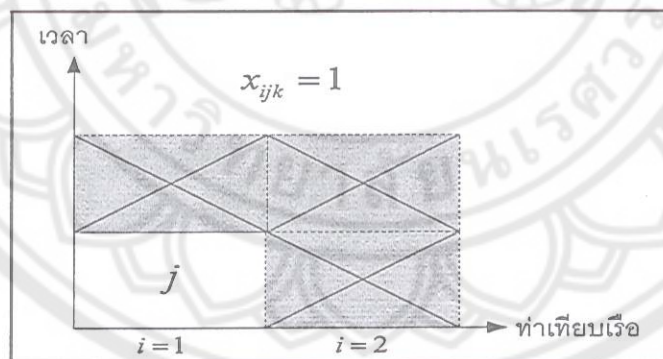
ดั่งภาพ 30



ภาพ 30 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและทำเทียบเรือของสมการ 2.1

จากภาพจะเห็นว่าเวลาในการปฏิบัติงานของเรือ j นั้นหาได้จาก $(f_{ij} - A_j)$ เวลาเสร็จสิ้นของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ทำเทียบเรือ i ลบด้วยเวลาการมาถึงของเรือ j โดยหาผลรวมของเรือทุกลำ และทำเทียบเรือทุกท่า

สมการที่ 2.2 เป็นการกำหนดว่าเรือหนึ่งลำสามารถเทียบท่าได้เพียงหนึ่งท่า และจะมีเพียงหนึ่งลำดับในการเข้ารับบริการเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าเรือที่เทียบท่าแล้วจะไม่สามารถไปเทียบท่าอื่นได้นั้นหมายความว่า $x_{ijk} = 1$ ดังภาพ 31

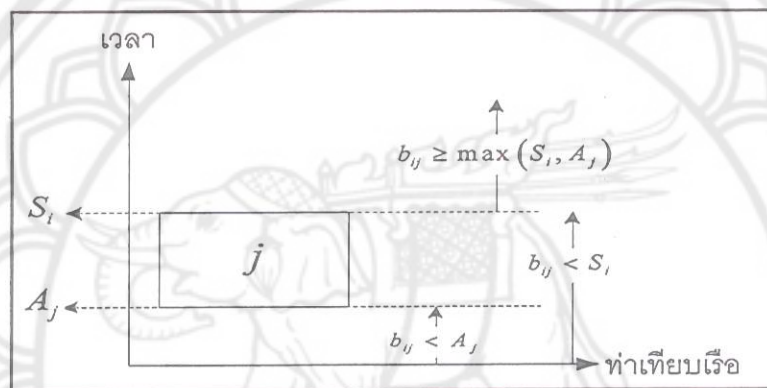


ภาพ 31 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและทำเทียบเรือของสมการ 2.2

จากภาพยกตัวอย่างโดยกำหนดให้เป็นเรือ j_1 รับบริการที่ทำเทียบเรือที่ 1 รับบริการเป็นลำดับที่ 1 แสดงว่า $x_{111} = 1$ หมายความว่าเรือ j_1 ($j=1$) รับบริการที่ทำเทียบเรือที่ 1 ($i=1$) และกำหนดให้ลำดับที่ 1 ($k=1$)

อสมการที่ 2.3 เป็นการกำหนดให้ทุกท่าเทียบเรือจะสามารถให้บริการเรือได้สูงสุดหนึ่งลำ ต่อหนึ่งลำดับการให้บริการเท่านั้น ดังตัวอย่างในสมการที่ 2.2 โดย $x_{111} = 1$ แสดงว่าเรือ j_1 ที่เข้ามาให้บริการในท่าเทียบเรือที่ 1 จะไม่สามารถไปรับบริการในท่าเทียบที่ 2 หรือท่าเทียบเรืออื่นได้อีก ดังนั้นจึงเป็นการกำหนดให้เรือ j_1 รับบริการเสร็จแล้วก็จะออกจากท่าไป แต่ในกรณีที่ $x_{ijk} = 0$ นั้นแสดงว่าไม่มีเรือเข้ามาให้บริการในท่าเรือนั้น

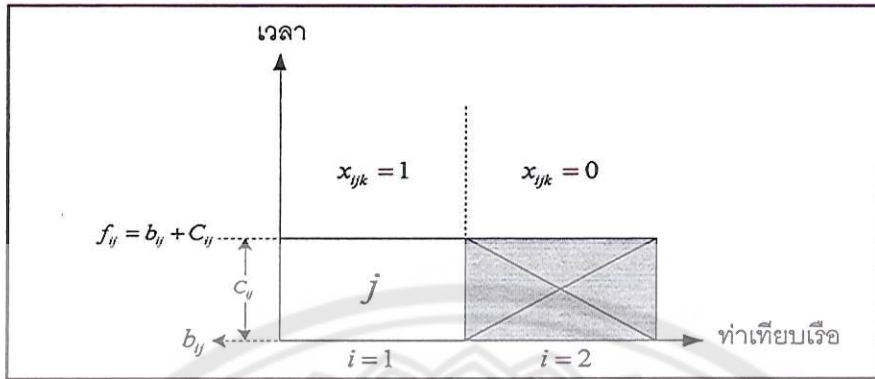
อสมการที่ 2.4 เป็นอสมการที่กำหนดเวลาเริ่มของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ท่าเทียบเรือ i ดังภาพ 32



ภาพ 32 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.4

จากภาพจะเห็นว่าถ้าเวลาที่เรือเริ่มปฏิบัติงานเริ่มก่อนก่อนเวลาการมาถึงของเรือ j แสดงว่า $(b_{ij} < A_j)$ ซึ่งในความเป็นจริงจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากเรือ j ยังมาไม่ถึงท่าเทียบเรือ จึงยังไม่สามารถเริ่มรับบริการได้ เรือจะเริ่มรับบริการได้ก็ต่อเมื่อเรือมาถึงท่าเทียบเรือแล้ว $(b_{ij} \geq A_j)$ แต่ในกรณีที่ท่าเทียบเรือ i ยังไม่พร้อมให้บริการหรือไม่ว่าง เช่น ท่าเทียบเรือ i ที่เรือ j จะเข้ารับบริการยังไม่พร้อมจะให้บริการการเทียบท่า เรือ j จะไม่สามารถเข้าเทียบท่าได้เนื่องจากท่าเรือยังไม่ว่าง $(b_{ij} < S_i)$ ดังนั้น เรือ j จะเริ่มรับบริการได้ก็ต่อเมื่อท่าเทียบเรือนั้นเริ่มว่างแล้ว $(b_{ij} \geq S_i)$

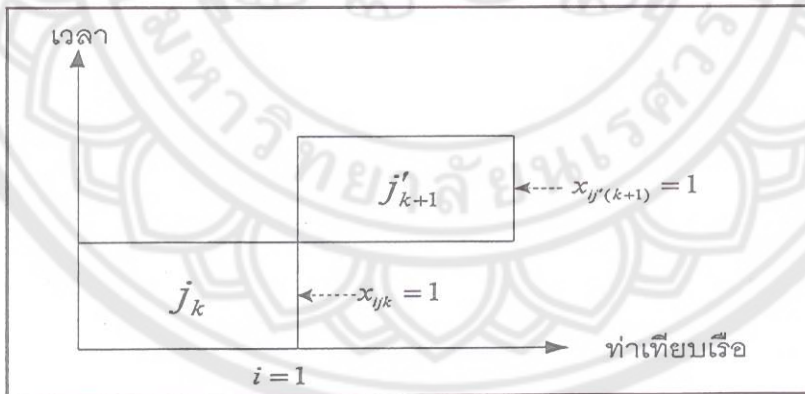
สมการที่ 2.5 สมการนี้ต้องการหาเวลาเสร็จสิ้นของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ท่าเทียบเรือ i โดยหาจากผลรวมของเวลาเริ่มของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ท่าเทียบเรือ i กับเวลาปฏิบัติงานที่เรือ j ใช้นในท่าเทียบเรือเรือ i เมื่อ $x_{ijk} = 1$ ดังภาพ 33



ภาพ 33 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและทำเทียบเรือของสมการ 2.5

จากภาพ 33 เวลาเสร็จสิ้นของเวลาปฏิบัติงาน (f_{ij}) หาได้จากเวลาของเวลาเริ่มของเวลาปฏิบัติงาน (b_{ij}) บวกกับเวลาปฏิบัติงาน (C_{ij}) เมื่อเรือ j รับบริการที่ทำเทียบเรือ i เป็นลำดับที่ k

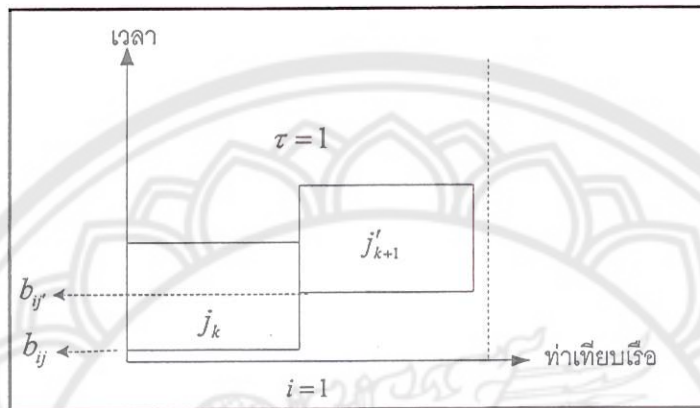
สมการที่ 2.6 เป็นสมการที่กำหนดลำดับ k ของเรือ j ที่ทำเทียบเรือ i เพื่อต้องการให้ในลำดับการเทียบท่าของเรือลำต่อไปเป็นลำดับที่ $k+1$ ซึ่งลำดับ k จะไม่เกินจำนวนของเรือดังภาพ 34



ภาพ 34 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและทำเทียบเรือของสมการ 2.6

จากภาพถ้ากำหนดให้เรือ j เข้ามารับเทียบท่าเป็นลำดับที่ $k=1$ เรือลำถัดมาที่เข้ารับบริการคือเรือ j' เมื่อเข้าเทียบท่าเรือเพื่อรับบริการโดยเป็นลำดับที่ $k+1$ ดังนั้นลำดับของเรือ j' จะเท่ากับ $k+1=1+1$ เท่ากับ 2

อสมการที่ 2.7 อสมการนี้ต้องการความมั่นใจในการกำหนดลำดับ k ในกรณีที่มีเรือสองลำเข้ามาให้บริการในท่าเทียบเรือเดียวกัน โดยต้องการให้เรือที่เข้ามาเทียบท่าก่อน มีลำดับที่น้อยกว่าเรือที่เข้ามาเทียบท่าทีหลัง ($k \leq k'$) ดังภาพ 35

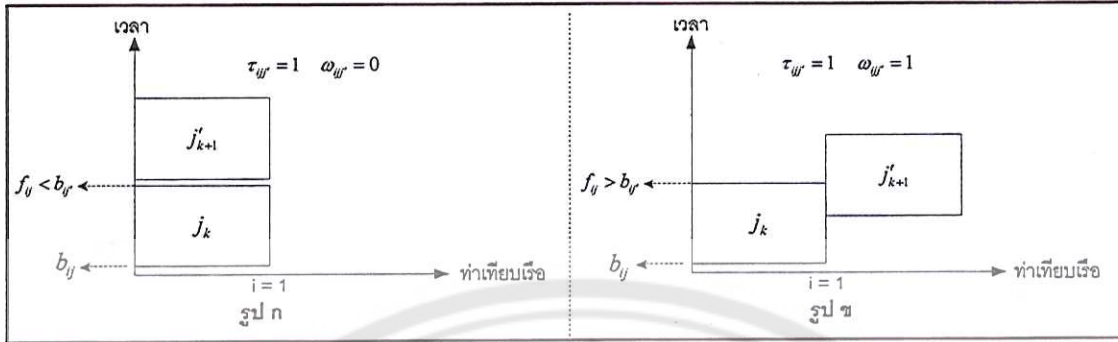


ภาพ 35 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.7

จากสมการในกรณีนี้ถ้า $\tau_{j,j'} = 1$ แสดงว่าเรือ j และ j' รับบริการบนท่าเทียบเรือที่ i โดยเรือ j เทียบท่าก่อน j' แต่ในกรณีอื่นให้เป็น $\tau_{j,j'} = 0$ ดังนั้นลำดับการรับบริการ $k \leq k'$

อสมการที่ 2.8 อสมการนี้ต้องการความมั่นใจว่าเวลาเริ่มปฏิบัติงานของเรือ j ในกรณีที่มีเรือสองลำเข้ามาให้บริการในท่าเทียบเรือเดียวกัน ($\tau_{j,j'} = 1$) เริ่มก่อนเวลาของเรือ j' ดังนั้น ($b_{ij} \geq b_{ij'}$) ดังภาพ 36

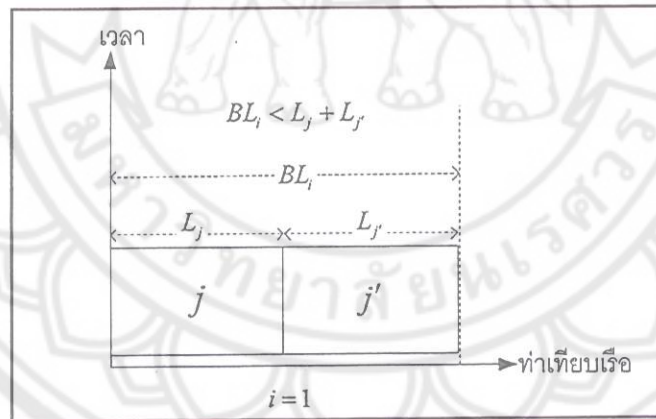
อสมการที่ 2.9 อสมการนี้ต้องการยืนยันว่าในกรณีมีเรือสองลำเข้ามาให้บริการในท่าเทียบเรือเดียวกันโดย ..และกรณีที่ $\omega_{j,j'} = 1$ นั้นเกิดขึ้นจริง โดยต้องการให้เวลาเสร็จสิ้นของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ท่าเทียบเรือ i มีค่าน้อยกว่าเวลาเริ่มของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j' ที่ท่าเทียบเรือ i ดังภาพ 36



ภาพ 36 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและทำเทียบเรือของอสมการ 2.9

จากภาพ 36 จะเห็นว่าทั้งสองกรณี $\tau_{j,j'} = 1$ และ $\omega_{j,j'} = 1$ จะเกิดขึ้นจริงก็ต่อเมื่อเรือสองลำมารับบริการที่ทำเดียวกัน โดยที่เวลาเสร็จสิ้นของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j ที่ทำเทียบเรือ i มีค่าน้อยกว่าเวลาเริ่มของเวลาปฏิบัติงานของเรือ j' ที่ทำเทียบเรือ i ($f_{j'} < b_{j'}$)

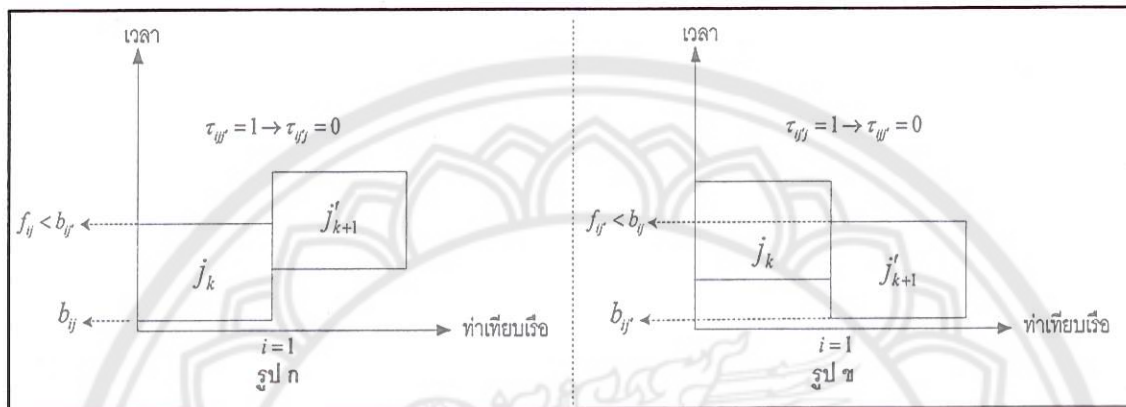
อสมการที่ 2.10 ต้องการกำหนดให้ในกรณีที่มีเรือสองลำมารับบริการที่ทำเดียวกัน ความยาวเรือของเรือทั้งสองลำจะต้องไม่เกินความยาวรวมของทำเทียบเรือ i ดังภาพ 36



ภาพ 37 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและทำเทียบเรือของอสมการ 2.10

อสมการที่ 2.11 เป็นอสมการที่ต้องการยืนยันว่าในกรณีที่มีเรือสองลำมารับบริการที่ทำเดียวกันโดยกรณีที่ $\tau_{j,j'} = 1$ และกรณีที่ $\omega_{j,j'} = 1$ จะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันในทำเทียบเรือเดียวกัน

อสมการที่ 2.12 ต้องการยืนยันว่าเมื่อเกิดกรณีมีเรือสองลำมารับบริการที่ทำเดียวกันโดยกรณีที่ τ_{ij} หรือ $\tau_{ij'}$ จะต้องมีการใดกรณีหนึ่งมีค่าเท่ากับ 1 และเรือ j และ j' จะต้องรับบริการบนท่าเทียบเรือที่ i ดังภาพ 38



ภาพ 38 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.12

จากภาพ 38 จะเห็นว่าเมื่อ $\tau_{ij} = 1$ แสดงว่าเรือ j และ j' รับบริการบนท่าเทียบเรือที่ i โดยเรือ j เทียบท่าก่อน j' ดังนั้น $\tau_{ij'} = 0$ แต่กรณีที่ τ_{ij} และ $\tau_{ij'}$ มีค่าเท่ากับ 0 ทั้งคู่แสดงว่าไม่เกิดกรณีที่มีเรือสองลำเข้ามาให้บริการในท่าเทียบเรือเดียวกัน

อสมการที่ 2.13 เป็นอสมการที่ต้องการกำหนดเมื่อเกิดกรณีที่มีเรือสองลำมารับบริการที่ทำเทียบเดียวกัน และเรือทั้งสองลำสามารถเทียบท่าพร้อมกันได้ดังภาพ 37

อสมการที่ 2.14, 2.15, และ 2.16 ต้องการกำหนดให้ตัวแปร x_{ijk} , τ_{ij} และ ω_{ij} เป็นสมาชิกของ $\{0, 1\}$ ในอสมการที่ 2.17 ต้องการกำหนดให้ตัวแปร b_{ij} และ f_{ij} มีค่าน้อยที่สุดคือ 0

3.2 แบบจำลองโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ท่าเรือแบบผสมที่มีบางท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

แบบจำลองของ Imai, et al. (2006) ได้นำเสนอแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งไว้ในรูปของแบบจำลองโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (MIP) และจากการศึกษาพบว่า กนกวรรณ และ ณรงค์ธร (2554) ได้นำเสนอแบบจำลองที่ดัดแปลงมาจากแบบจำลองปัญหาการจัดสรรท่าเรือในส่วนของท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งจากงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) โดยได้นำเสนอแบบจำลอง และกำหนดตัวแปรการตัดสินใจของเรือ ท่าเทียบเรือ และลำดับการให้บริการไว้ ดังนี้

3.2.1 ดัชนี (Indices)

B^* คือ เซตของท่าเรือแบบเว้าแห้ง

VM คือ เซตของเรือขนาดใหญ่

VS คือ เซตของเรือขนาดเล็ก

3.2.2 ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variables)

δ_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j' รับบริการบนส่วนที่ 1 หรือ 2 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i ก่อนเรือ j โดยไม่คำนึงถึงเรือ j จะเริ่มรับบริการบนส่วนที่ 1 หรือ 2 และในกรณีอื่นให้เป็น 0

ϕ_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j' รับบริการบนส่วนที่ 1 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i เมื่อเรือ j รับบริการบนส่วนที่ 2 ในกรณีอื่นให้เป็น 0

ρ_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j' รับบริการบนส่วนที่ 2 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i เมื่อเรือ j รับบริการบนส่วนที่ 1 ในกรณีอื่นให้เป็น 0

σ_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือ j รับบริการบนส่วนที่ 1 หรือ 2 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i ก่อนเรือ j' โดยไม่คำนึงถึงเรือ j' จะเริ่มรับบริการที่ส่วนที่ 1 หรือ 2 และในกรณีอื่นให้เป็น 0

O_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือขนาดใหญ่ j' มารับบริการก่อนเรือขนาดใหญ่ j บนท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i และในกรณีอื่นให้เป็น 0

K_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือขนาดใหญ่ j' มารับบริการก่อนเรือขนาดเล็ก j บนท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i และในกรณีอื่นให้เป็น 0

M_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้าเรือขนาดใหญ่ j' มารับบริการหลังเรือขนาดเล็ก j บนท่าเทียบเรือแบบเว้าแห้ง i และในกรณีอื่นให้เป็น 0

d_{ij} คือ ระยะเวลาที่เกิดจากเงื่อนไขการรอคอยเพื่อออกจากท่าเทียบของเรือบนส่วนที่ 2

3.2.3 แบบจำลองปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเจ้าแห่ง

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j \in V} \left\{ \sum_{i \in B} f_{ij} - A_j \right\} \quad (2.18)$$

Subject to

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2.19)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in U \quad (2.20)$$

$$b_{ij} \geq \sum_{k \in U} \max\{S_i, A_j\} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.21)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \geq \sum_{j \in V} x_{ij(k+1)} \quad \forall i \in B, k+1 \in U, k < \max U \quad (2.22)$$

$$b_{ij} = \sum_{k \in U} A_j x_{ijk} \quad \forall i \in B^*, j \in VM \quad (2.23)$$

$$b_{ij} - (\delta_{ijj'} - 1)TM > b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.24)$$

$$b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.25)$$

$$b_{ij} \leq b_{ij'} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.26)$$

$$b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.27)$$

$$b_{ij'} \leq b_{ij} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.28)$$

$$b_{ij'} - (\sigma_{ijj'} - 1)TM > b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.29)$$

$$\frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.30)$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in V \quad (2.31)$$

$$\sum_{i \in B^*} \sum_{k \in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in VM \quad (2.32)$$

$$\sum_{k \in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k'x_{ij'k'} + (\delta_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.33)$$

$$\sum_{k \in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k'x_{ij'k'} + (\rho_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.34)$$

$$\sum_j \phi_{ijj'} \leq 1 \quad \forall i \in B^*, j \in VS \quad (2.35)$$

$$\sum_j \phi_{ijj'} + \sum_j \rho_{ijj'} \leq 1 \quad \forall i \in B^*, j \in VS \quad (2.36)$$

$$\sum_{k \in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k'x_{ij'k'} + (K_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \quad (2.37)$$

$$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'}x_{ij'k} + d_{ij'} - (K_{ijj'} - 1)TM$$

$$\forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \quad (2.38)$$

$$\sum_{k' \in U} k'x_{ij'k'} \geq \sum_{k \in U} kx_{ijk} + (M_{ijj'} - 1)TM$$

$$\forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \quad (2.39)$$

$$b_{ij'} - (M_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij}x_{ijk} + d_{ij}$$

$$\forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \quad (2.40)$$

$$\frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq K_{ijj'} + M_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2}$$

$$\forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \quad (2.41)$$

$$\sum_{k \in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k'x_{ij'k'} + (O_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VM \quad (2.42)$$

$$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'}x_{ij'k} + d_{ij'} - (O_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VM \quad (2.43)$$

$$\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k}) - 1 \leq O_{ijj'} + O_{ijj} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2}$$

$$\forall i \in B^*, j, j' \in VM \quad (2.44)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U \quad (2.45)$$

$$b_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.46)$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.47)$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \quad (2.48)$$

$$\delta_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.49)$$

$$\phi_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.50)$$

$$\rho_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.51)$$

$$\sigma_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \quad (2.52)$$

$$O_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VM \quad (2.53)$$

$$K_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \quad (2.54)$$

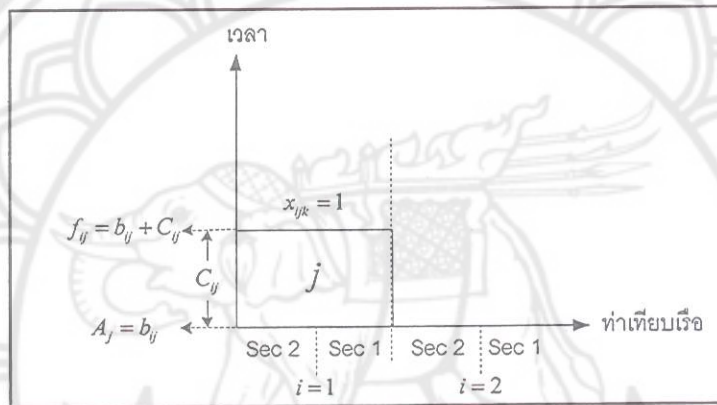
$$M_{ijj'} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \quad (2.55)$$

จากการศึกษาแบบจำลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นสามารถนำมาอธิบายความหมายของสมการและอสมการได้ดังนี้

สมการที่ 2.18 อธิบายวัตถุประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเวลารวมที่เรือรับบริการบนท่าเทียบเรือ

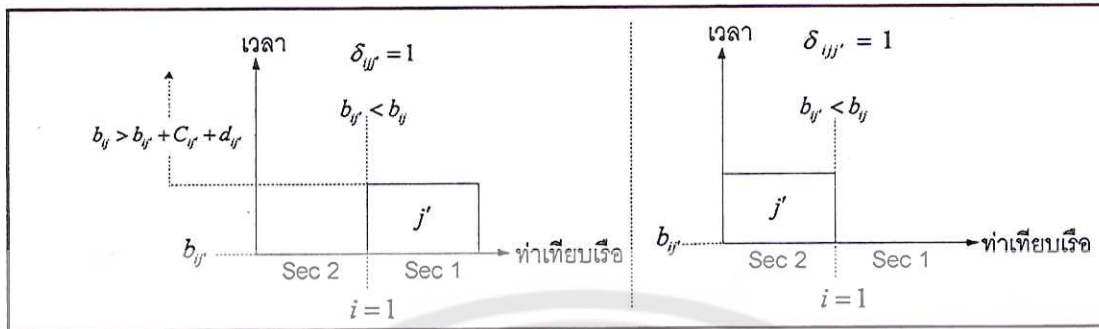
สมการที่ 2.19 และอสมการ 2.20 - 2.22 อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.1.4

สมการที่ 2.23 อธิบายถึงการหาเวลาเริ่มปฏิบัติงานของเรือในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งสามารถอธิบายได้ดังภาพ 39



ภาพ 39 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของสมการ 2.23

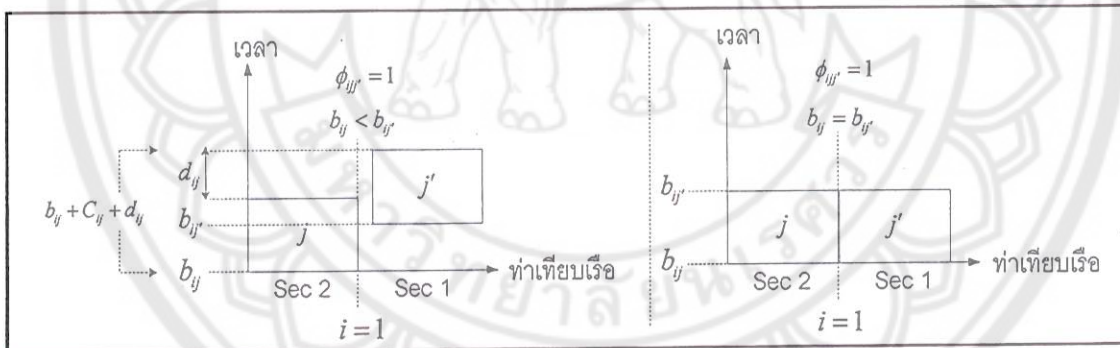
จากอสมการที่ 2.24 อธิบายการเทียบท่าของเรือในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง ถ้ามีเรือ j' เข้ามาใช้บริการในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งโดยไม่คำนึงว่าเรือ j' จะเทียบท่าในส่วนที่ 1 หรือ 2 ก่อนเรือ j จะรับบริการโดยไม่คำนึงว่าเรือ j จะเทียบท่าในส่วนที่ 1 หรือ 2 เช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังภาพ 40



ภาพ 40 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.24

จากภาพ 40 สามารถอธิบายได้ว่าในกรณีใดๆ ที่มีเรือ j' เข้ามาเทียบท่าใน ส่วนที่ 1 หรือ 2 ก่อนเรือ j จะทำให้เวลาเริ่มรับบริการของเรือ j มีค่าน้อยกว่าเวลารวมของเรือ j'

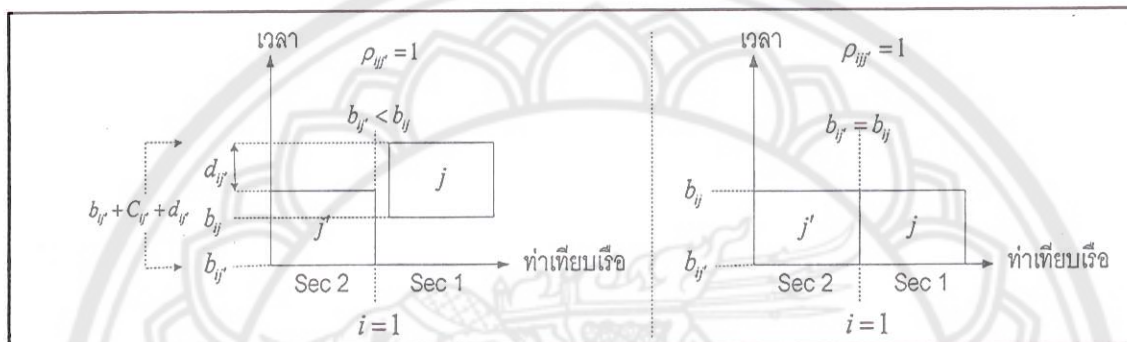
ในอสมการที่ 2.25 และ 2.26 เป็นอสมการที่อธิบายกรณีที่มีเรือมากกว่า 1 ลำเข้ามาใช้บริการท่าเทียบเรือแบบหัวแห่วงพร้อมกัน จะไม่ทำให้เกิดการเทียบท่าทับตำแหน่งกัน ระหว่างเรือ 2 ลำ แสดงดังภาพ 41



ภาพ 41 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.25 และ 2.26

จากภาพจะเห็นว่าถ้าเรือ j' รับบริการบนส่วนที่ 1 ของท่าเทียบเรือแบบ หัวแห่วง i และเรือ j รับบริการบนส่วนที่ 2 เมื่อเวลาเริ่มรับบริการของเรือ j จะมีค่ามากกว่าเวลา เริ่มรับบริการของเรือ j' ดังนั้น $(b_j < b_{j'})$ และเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j ไม่เกินเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j' ดังนั้น $(f_j \leq f_{j'})$ และเวลารวมที่ใช้ไปของเรือ j มีค่าไม่น้อยกว่าเวลารวมของเรือ j'

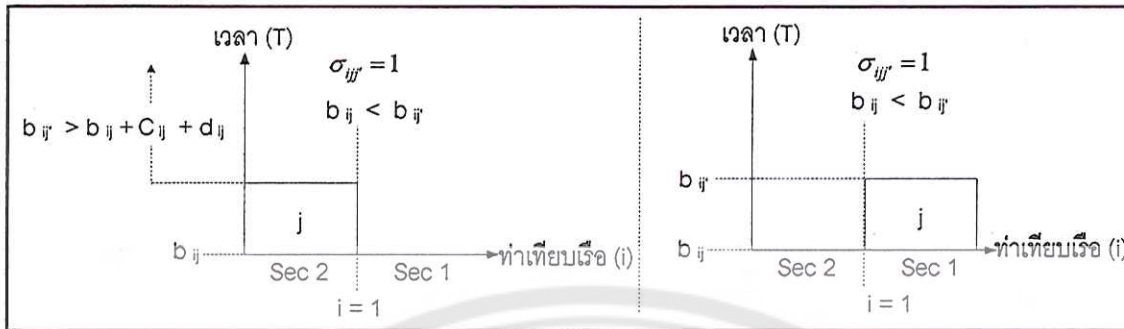
ในอสมการที่ 2.27 และ 2.28 เป็นสมการที่อธิบายในกรณีที่มีเรือมากกว่า 1 ลำ เข้ามาใช้บริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่งพร้อมกัน โดยไม่ทำให้เกิดการเทียบท่าทับตำแหน่งกันระหว่างเรือ 2 ลำ เช่นเดียวกับสมการที่ได้กล่าวไปในข้างต้น แต่จะพิจารณาเมื่อเรือ j' รับบริการบนส่วนที่ 2 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่ง i และเรือ j รับบริการบนส่วนที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังภาพ 42



ภาพ 42 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.27 และ 2.28

จากภาพจะเห็นว่าถ้าเรือ j รับบริการบนส่วนที่ 1 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่ง i และเรือ j' รับบริการบนส่วนที่ 2 เมื่อเวลาเริ่มรับบริการของเรือ j' มีค่ามากกว่าเวลาเริ่มรับบริการของเรือ j ดังนั้น $(b_{j'} \leq b_j)$ และเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j' ไม่เกินเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j ดังนั้น $(f_{j'} \leq f_j)$ และเวลารวมที่ใช้ไปของเรือ j' มีค่าไม่น้อยกว่าเวลารวมของเรือ j

ในอสมการที่ 2.29 อธิบายการเทียบท่าของเรือในท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่ง ถ้ามีเรือ j' เข้ามาใช้บริการในท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่งโดยไม่คำนึงว่าเรือ j' จะเทียบท่าในส่วนที่ 1 หรือ 2 หลังเรือ j รับบริการโดยไม่คำนึงว่าเรือ j จะเทียบท่าในส่วนที่ 1 หรือ 2 เช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังภาพ 43



ภาพ 43 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.29

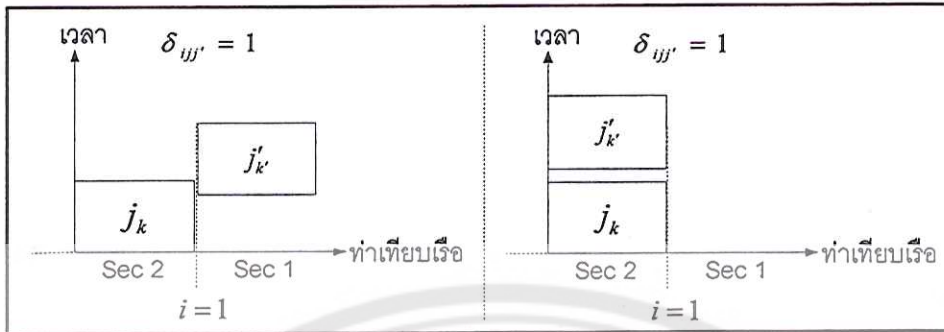
จากภาพสามารถอธิบายได้ว่าในกรณีใดๆ ที่มีเรือ j เข้ามาเทียบท่าใน ส่วนที่ 1 หรือ 2 ก่อนเรือ j' จะทำให้เวลาเริ่มรับบริการของเรือ j' มีค่าน้อยกว่าเวลารวมของเรือ j

อสมการที่ 2.30 เป็นอสมการที่ตรวจสอบความถูกต้องของอสมการที่ 2.24 ถึง อสมการที่ 2.29 จะพิจารณาจากลักษณะการเทียบท่าของเรือบนท่าเทียบเรือแบบ เว้าแหว่ง หมายความว่า จะพิจารณาตัวแปรการตัดสินใจ $\delta_{ijj'}$, $\phi_{ijj'}$, $\rho_{ijj'}$ และ $\sigma_{ijj'}$ ถ้ามีเรือเข้ามา เทียบท่าจากตัวแปรที่กล่าวมาสามารถเป็น 1 ได้เพียงกรณีเดียวเท่านั้น ซึ่งจากสมการจะแสดงให้เห็นว่าค่าทางซ้ายมือของสมการจะไม่เกิน 0.5 ค่าทางขวามือจะไม่เกิน 1 แต่ในกรณีที่ไม่มีมาเทียบท่า ค่าทางซ้ายมือของสมการจะเท่ากับ -0.5 และค่าทางขวามือจะเท่ากับ 0

สมการ 2.31 อธิบายการหาเวลาเสร็จสิ้นของเรือขนาดเล็ก และเรือขนาดใหญ่ที่เข้ามาใช้บริการในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

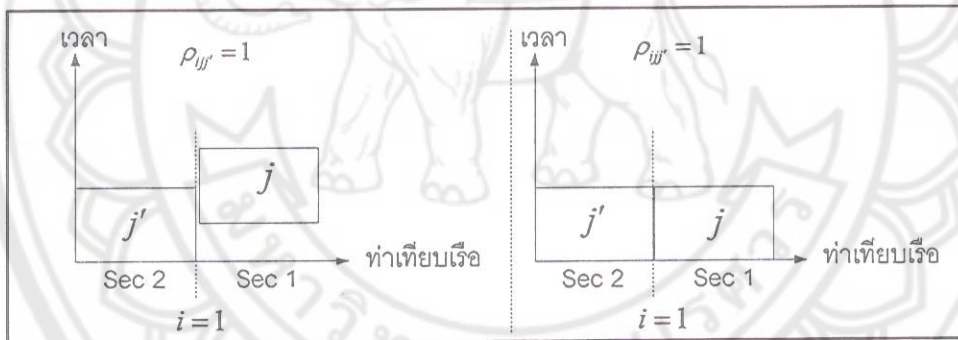
สมการ 2.32 ในทุกๆท่าและทุกๆลำดับการให้บริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งอนุญาตให้เรือขนาดใหญ่รับบริการได้เพียง 1 ลำ เท่านั้น

อสมการ 2.33 กำหนดให้เมื่อ $\delta_{ijj'}$ ค่าเท่ากับ 1 ลำดับการให้บริการของเรือขนาดเล็ก j จะต้องมีค่ามากกว่าลำดับการให้บริการของเรือขนาดเล็ก j' ดังภาพ 44



ภาพ 44 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.33

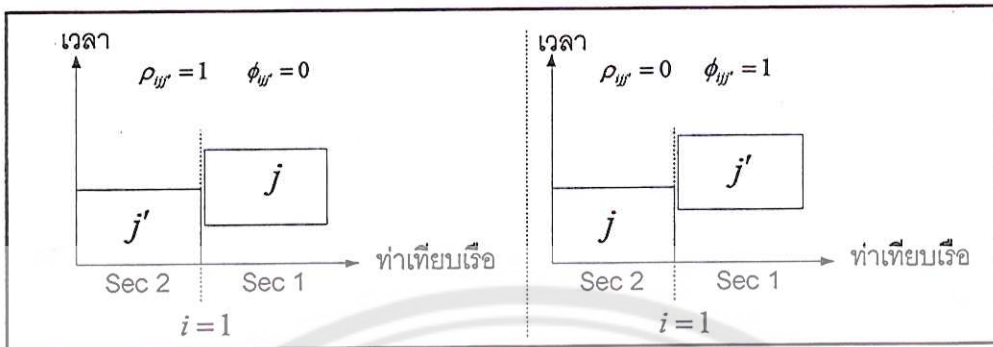
จากภาพ กำหนดให้เมื่อ $\rho_{ijj'}$ มีค่าเป็น 1 เรือขนาดเล็ก j ต้องเข้ารับบริการในส่วนที่ 1 และเรือขนาดเล็ก j' ต้องเข้ารับบริการในส่วนที่ 2 ของท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง โดยลำดับการให้บริการของเรือขนาดเล็ก j ต้องมีค่ามากกว่าลำดับการให้บริการของเรือขนาดเล็ก j' ดังภาพ 45



ภาพ 45 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.34

อสมการที่ 2.35 กำหนดให้เรือขนาดเล็ก j ทุกๆ ลำ สามารถรับบริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งร่วมกับเรือขนาดเล็ก j' ได้เพียง 1 ลำเท่านั้น สำหรับท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งทุกๆ ท่า

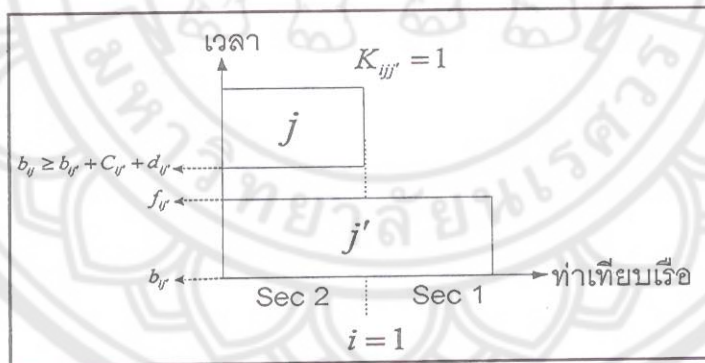
อสมการที่ 2.36 เมื่อเรือขนาดเล็ก j และเรือขนาดเล็ก j' รับบริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งเดียวกัน กำหนดให้ค่าของ $\phi_{ijj'}$ และ $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ได้เพียงตัวแปรเดียวเท่านั้น กรณีแรกถ้า $\phi_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 และ $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 0 กรณีที่สองถ้า $\phi_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 0 และ $\rho_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 สามารถอธิบายได้ดังภาพ 46



ภาพ 46 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.36

อสมการที่ 2.37 เมื่อ $K_{jj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 กำหนดให้ลำดับการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j' จะต้องมีค่ามากกว่าลำดับการรับบริการของเรือขนาดเล็ก j ที่รับบริการก่อนหน้า

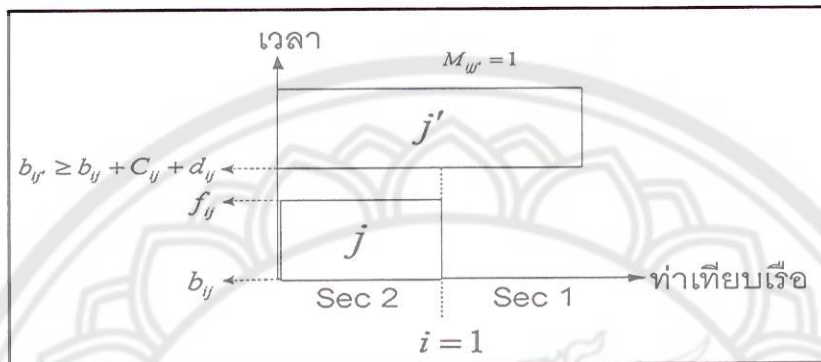
อสมการที่ 2.38 เมื่อ $K_{jj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 กำหนดให้เวลาเสร็จสิ้นในการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j' จะต้องมีค่าไม่เกินเวลาเริ่มต้นในการรับบริการของเรือขนาดเล็ก j ที่รับบริการก่อนหน้า จากอสมการที่ 2.37 และ 2.38 อธิบายได้ดังภาพ 47



ภาพ 47 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.37 และ 2.38

อสมการที่ 2.39 เมื่อ $M_{jj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 กำหนดให้ลำดับการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j' จะต้องมีค่ามากกว่าลำดับการรับบริการของเรือขนาดเล็ก j ที่รับบริการก่อนหน้า

อสมการที่ 2.40 เมื่อ M_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 กำหนดให้เวลาเริ่มต้นในการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j' ต้องมีค่ามากกว่าเวลาเสร็จสิ้นในการรับบริการของเรือขนาดเล็ก j ที่รับบริการก่อนหน้า จากอสมการที่ 2.39 และ 2.40 อธิบายได้ดังภาพ 48

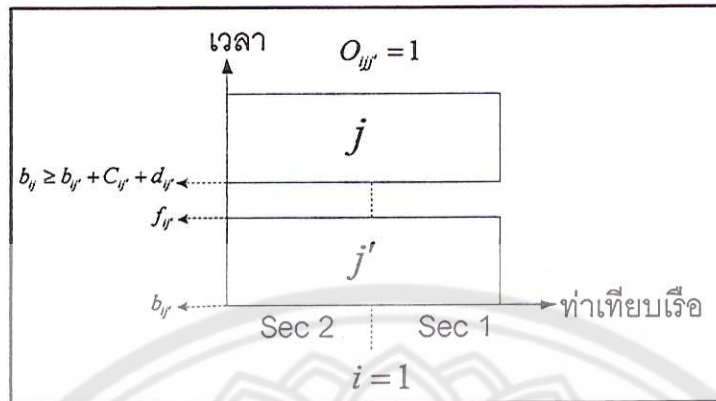


ภาพ 48 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.39 และ 2.40

อสมการ 2.41 เมื่อเรือขนาดเล็ก j และเรือขนาดใหญ่ j' รับบริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งเดียวกัน กำหนดให้ค่าของ K_{ij} และ M_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 ได้เพียงตัวแปรเดียวเท่านั้น กรณีแรกถ้า K_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 และ M_{ij} มีค่าเท่ากับ 0 กรณีที่สองถ้า K_{ij} มีค่าเท่ากับ 0 และ M_{ij} จะมีค่าเท่ากับ 1 และในกรณี K_{ij} และ M_{ij} มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีเรือมาเทียบท่าหรือในกรณีที่เรือ j และ j' เป็นเรือขนาดเล็ก

อสมการที่ 2.42 เมื่อ O_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 กำหนดให้ลำดับการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j' จะต้องมีค่ามากกว่าลำดับการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j

อสมการที่ 2.43 เมื่อ O_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 กำหนดให้เวลาเสร็จสิ้นในการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j' ต้องมีค่ามากกว่าเวลาเริ่มต้นในการรับบริการของเรือขนาดใหญ่ j ที่รับบริการก่อนหน้าจากอสมการที่ 2.42 และ 2.43 อธิบายได้ดังภาพ 49



ภาพ 49 แสดงความสัมพันธ์ด้านเวลาและท่าเทียบเรือของอสมการ 2.42 และ 2.43

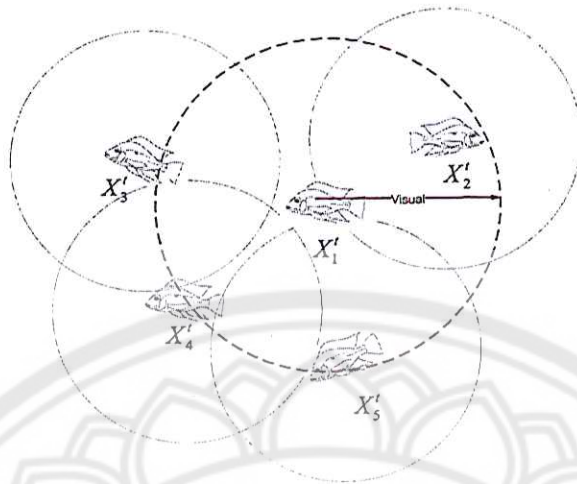
อสมการที่ 2.44 เมื่อเรือขนาดใหญ่ j และเรือขนาดใหญ่ j' รับบริการภายในท่าเทียบเรือแบบเว้าแห่งเดียวกัน กำหนดให้ค่าของ $O_{jj'}$ และ $O_{j'j}$ มีค่าเท่ากับ 1 ได้เพียงตัวแปรเดียวเท่านั้น กรณีแรกถ้า $O_{jj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 และ $O_{j'j}$ มีค่าเท่ากับ 0 กรณีที่สองถ้า $O_{j'j}$ มีค่าเท่ากับ 0 และ $O_{jj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 และในกรณี $O_{jj'}$ และ $O_{j'j}$ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีเรือมาเทียบท่าหรือในกรณีที่เรือ j และ j' เป็นเรือขนาดเล็ก

วิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา (AFSA)

วิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา หรือ Artificial fish swarm algorithm (AFSA) จัดว่าอยู่ในกลุ่มของความฉลาดแบบกลุ่ม Swarm intelligence (SI) และกลุ่มปัญญาประดิษฐ์ Artificial intelligence (AI) ได้มีการนำเสนอครั้งแรกในปี 2002 โดย Li xiao lei ซึ่งมีแนวความคิดที่พัฒนามาจากพฤติกรรมดำรงชีวิตเพื่อหาอาหารของปลาในธรรมชาติที่มีลักษณะการดำรงชีวิตอยู่กันเป็นฝูงหรือกลุ่ม วิธีการจำลองลักษณะการรวมกลุ่มของปลาเบื้องต้นมี 4 ลักษณะดังนี้

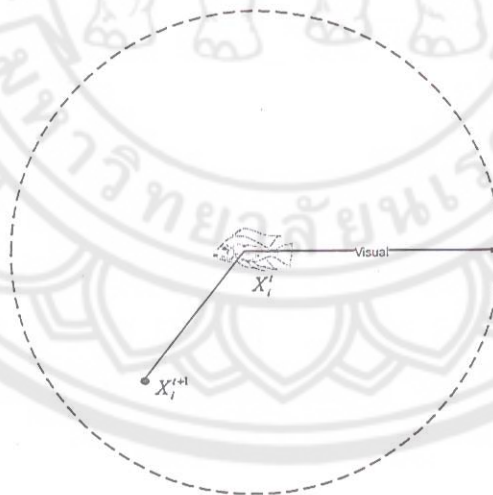
1. พฤติกรรมการเคลื่อนอย่างอิสระของปลา (Random moving behavior)

ในธรรมชาติของปลาจะมีลักษณะการเคลื่อนที่อย่างอิสระเพื่อหาแหล่งอาหารหรือหลบหนีผู้ล่า การเคลื่อนที่อย่างอิสระมีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอนคล้ายลักษณะการสุ่มสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของปลา



ภาพ 50 แสดงขอบเขตการมองเห็นของปลาแต่ละตัว

จากภาพ 50 กำหนดให้มีปลาทั้งหมด 5 ตัว โดยมีตำแหน่งเป็น $X'_1, X'_2, X'_3, X'_4, X'_5$ เมื่อกำหนดให้ X'_i เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของปลา i ณ เวลา t ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าปลาแต่ละตัวจะมีขอบเขตการมองเห็น (Visual) ของปลาแต่ละตัวที่สามารถมองเห็นตำแหน่งใหม่ที่ปลาสามารถเคลื่อนที่ไปได้ดังภาพ 51



ภาพ 51 แสดงการเคลื่อนที่ของปลาในพฤติกรรมเคลื่อนที่อย่างอิสระของปลา

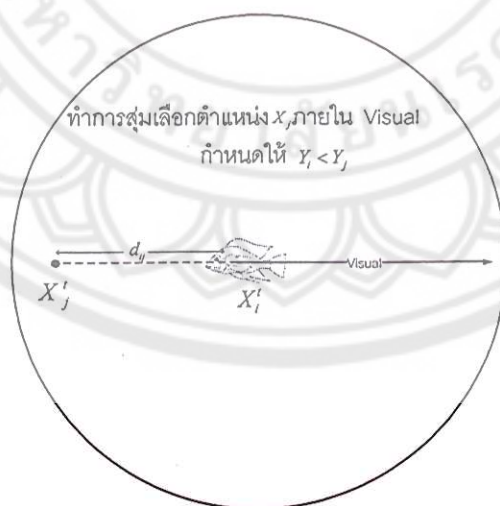
จากภาพจะเห็นว่าจากตำแหน่งปัจจุบัน X_i^t ปลาจะมีการเคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งปัจจุบันอย่างอิสระไปยังตำแหน่งที่ปลาเคลื่อนที่ออกไปเพื่อค้นหาอาหาร หรือเพื่อค้นหาตำแหน่งใหม่ที่เวลา $t+1$ โดยกำหนดให้ X_i^{t+1} คือ ตำแหน่งที่ปลาตัวที่ i ณ เวลาที่ $t+1$ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 2.56

$$X_i^{t+1} = X_i^t + Visual \times Rand() \quad (2.56)$$

จากสมการสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อปลาที่เคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งปัจจุบัน X_i^t มีการเคลื่อนที่ออกไปอย่างอิสระที่ตำแหน่ง X_i^{t+1} ที่อยู่ภายใต้ขอบเขตการมองเห็น และค่า $Rand()$ คือ ค่าที่สามารถหาได้จากการสุ่ม ซึ่งจากงานวิจัยของ Saeed Farzi (2009), Yongming Cheng, et al. (2009), Mingyan Jiang, et al. (2010) และ Mehdi Neshat, et al. (2012) ได้เสนอการใช้ค่า $Rand()$ มีค่าอยู่ระหว่างอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2. พฤติกรรมการหาอาหาร (Preying behavior)

ในธรรมชาตินั้นปลาจะเคลื่อนที่ในน้ำอย่างอิสระเพื่อหาอาหาร และเมื่อปลาเจออาหารปลาจะเคลื่อนที่เข้าไปตรงจุดที่มีอาหารอย่างรวดเร็ว ในพฤติกรรมการหาอาหารจะพิจารณาตำแหน่งของ X_j^t ที่พบภายในขอบเขตการมองเห็นของปลา X_i^t เพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าตำแหน่งปัจจุบัน แสดงดังภาพ 52



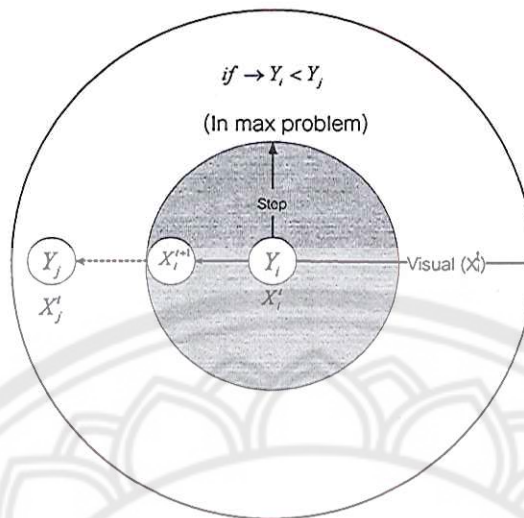
ภาพ 52 แสดงการสุ่มเลือกปลาในที่พบในขอบเขตการมองเห็น

จากภาพแสดงให้เห็นว่าภายในขอบเขตการมองเห็นของตำแหน่งของปลาปัจจุบัน คือ X'_i ได้สุ่มหาตำแหน่ง X'_j ณ เวลา t ที่อยู่ในขอบเขตการมองเห็น ($d_{ij} < \text{Visual}$) โดย $d_{ij} = \|X'_i - X'_j\|$ และในการพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งใหม่นั้นจะใช้วิธีการสุ่มเลือกตำแหน่ง ดังสมการ 2.57

$$X'_j = X'_i + \text{Visual} \times \text{Rand}() \quad (2.57)$$

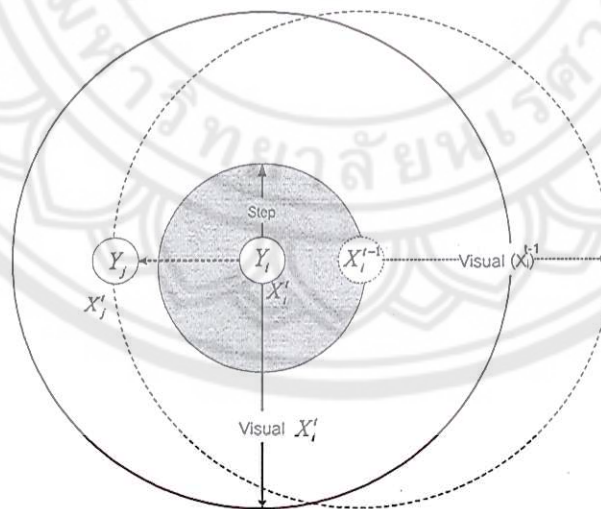
โดยกำหนดให้คำตอบของตำแหน่งใหม่เป็น Y_j และคำตอบ ณ ตำแหน่งปัจจุบันเป็น Y_i ถ้า $Y_i < Y_j$ แสดงว่าค่าคำตอบตำแหน่งใหม่มีค่าของคำตอบดีกว่าคำตอบ ณ ตำแหน่งปัจจุบัน (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) แต่ถ้าในกรณีที่ $Y_i > Y_j$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) จะกำหนดให้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่ง X'_j ใหม่ โดยหากไม่พบตำแหน่งใหม่ที่มีค่าคำตอบดีกว่าค่าคำตอบตำแหน่งเดิมจนครบ try_number ครั้ง จะหยุดการหาค่าตอบในพฤติกรรมการหาอาหาร และทำขั้นตอนต่อไป เมื่อ try_number คือ จำนวนครั้งที่สามารถสุ่มเลือกตำแหน่ง X'_j ใหม่

ในกรณี $Y_i < Y_j$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ตำแหน่งของปลาปัจจุบัน X'_i จะปรับปรุงตำแหน่งเพื่อเข้าขยับเข้าหาตำแหน่งใหม่ แต่ในการเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งใหม่ของปลา ในพฤติกรรมการหาอาหารจะมีลักษณะคล้ายกับพฤติกรรมเคลื่อนที่อย่างอิสระของปลา โดยมีการกำหนดระยะในการเคลื่อนที่ภายในระยะขอบเขตการมองเห็นของ X'_i ซึ่งในการเคลื่อนที่ของปลาไปสู่ตำแหน่งตำแหน่งใหม่นั้นจะมีระยะการเคลื่อนที่ภายในขอบเขตการมองเห็น คือ ค่า Step โดยระยะการเคลื่อนที่ต้องมีค่าไม่เกินขอบเขตการมองเห็นของปลาดังนั้นๆ ได้ สามารถอธิบายได้ ดังภาพ 53



ภาพ 53 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของปลา ดัดแปลงจาก S.Farzi (2009)

จากภาพแสดงการหาตำแหน่งใหม่ของปลาเมื่อ $Y_i < Y_j$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ปลาจะทำการขยับตำแหน่งปัจจุบัน X_i' เป็นตำแหน่งใหม่ $X_i'^{+1}$ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อตำแหน่งมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ขอบเขตการมองเห็นของปลาเปลี่ยนตามตำแหน่งใหม่ด้วยเช่นกัน แสดงดังภาพ 54



ภาพ 54 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของปลา

จากภาพ 54 ได้แสดงการเคลื่อนย้ายเข้าหาตำแหน่งใหม่โดยจากภาพวงกลมเส้นประ แสดงให้เห็นถึงขอบเขตการมองเห็นของ $X'_i{}^{t-1}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งของปลาที่เวลา $t-1$ และเมื่อปลาเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งจะเห็นว่าจากตำแหน่งใหม่ $X'_i{}^{t+1}$ ได้เปลี่ยนเป็นตำแหน่งของปลา ณ ปัจจุบัน X'_i โดยมี Y_i เป็นค่าคำตอบในรอบการค้นหาปัจจุบัน ซึ่งจากภาพ 52 และภาพ 53 ซึ่งสามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.58

$$X'_i{}^{t+1} = X'_i{}^t + \frac{X'_j{}^t - X'_i{}^t}{\|X'_j{}^t - X'_i{}^t\|} \times \text{Step} \times \text{Rand}() \quad (2.58)$$

จากสมการเมื่อปลาสามารถหาตำแหน่งใหม่ได้จะสิ้นสุดการหาปรับปรุงตำแหน่งในขั้นตอนของพฤติกรรมกรหาอาหาร

แต่ในกรณีที่ $Y_i > Y_j$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ให้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งเพื่อหาคำตอบใหม่ แต่ถ้าไม่สามารถหาตำแหน่งใหม่ที่มีคำตอบดีกว่าคำตอบของตำแหน่งเดิมได้จนครบจำนวนครั้งที่สามารถสุ่มเลือกปลาภายในของเขตการมองเห็นได้สูงสุด (try_number) จะกำหนดให้ปลามีพฤติกรรมเคลื่อนที่อย่างอิสระ $X'_i{}^{t+1}$ ดังสมการ 2.59

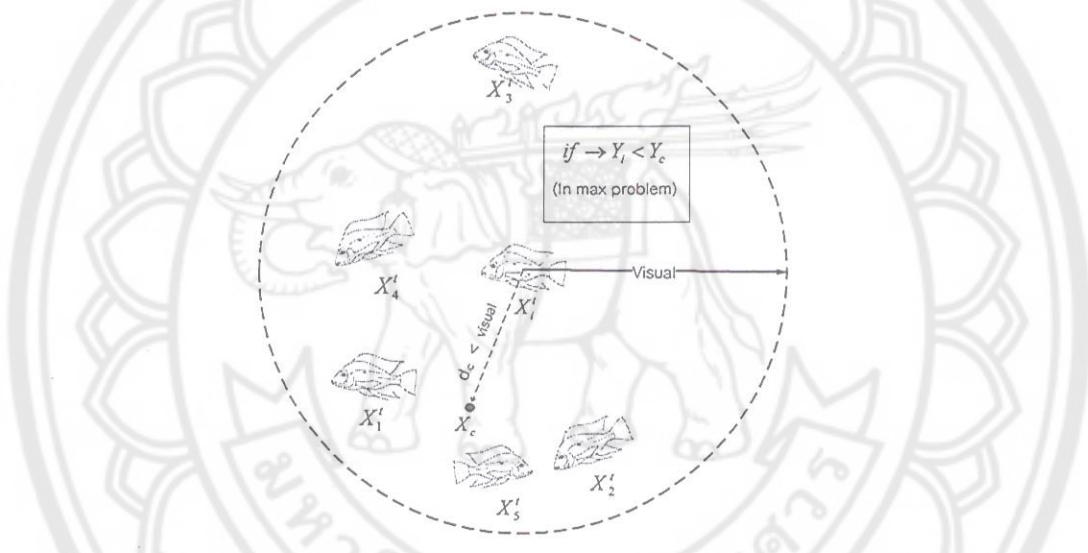
$$X'_i{}^{t+1} = X'_i{}^t + \text{Visual} \times \text{Rand}() \quad (2.59)$$

3. พฤติกรรมการรวมกลุ่มของปลา (Swarming behavior)

ปลาในธรรมชาติจะมีพฤติกรรมเคลื่อนที่เป็นกลุ่มหรือฝูง เพื่อหาอาหารและหลีกเลี่ยงอันตรายซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ต้องการแสดงอาณาเขตของตัวเอง และปกป้องตัวเองจากอันตราย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อปลาพบอาหารบริเวณที่ปลารวมกลุ่มกันมากที่สุดมีความเป็นไปได้ว่าบริเวณจุดศูนย์กลางของกลุ่มนั้นมีอาหารจำนวนมาก และในกรณีที่ปลาหลีกเลี่ยงอันตรายบริเวณจุดศูนย์กลางของกลุ่มนั้นมีความปลอดภัยมากเช่นเดียวกัน จากพฤติกรรมนี้แสดงให้เห็นว่าบริเวณตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่ม คือ X'_c อาจพบคำตอบที่ดีกว่าตำแหน่งของปลาปัจจุบัน X'_i

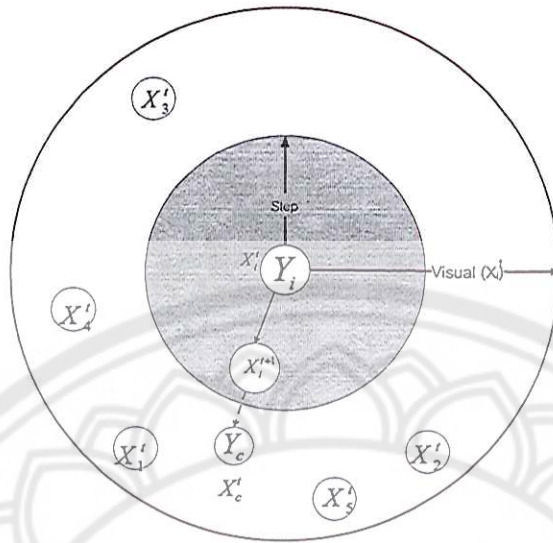
เมื่อกำหนดให้ X'_i เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของปลา i ณ เวลา t และกำหนดให้ X'_c เป็นตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่มปลาที่อยู่ภายในระยะของขอบเขตการมองเห็น ($d_{ic} < \text{Visual}$) ณ เวลา t โดย $d_{ic} = \|X'_c - X'_i\|$ ในกรณีที่ $Y_i < Y_c$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) กำหนดให้ Y_i คือ ค่าคำตอบ ณ ตำแหน่งปัจจุบันของปลา i และ Y_c เป็นค่าคำตอบที่จุดศูนย์กลางของกลุ่มซึ่งคำตอบที่จุดศูนย์กลางของกลุ่ม โดยต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสัดส่วนระหว่างจำนวนของปลาที่

อยู่ในขอบเขตการมองเห็นของปลา ณ ตำแหน่งปัจจุบันและจำนวนปลาทั้งหมด โดยมีค่าไม่เกิน ความหนาแน่นของกลุ่มปลาที่กำหนดไว้ $\frac{nf}{n} < \delta$ โดยกำหนดให้ nf คือ จำนวนของปลาที่อยู่ใน ขอบเขตการมองเห็นของปลา ณ ตำแหน่งปัจจุบัน n คือ จำนวนปลาทั้งหมด และ δ คือ ความ หนาแน่นของกลุ่มปลา จากงานวิจัยของ Saeed Farzi, 2009; Wang Jian-ping and Hu Meng- jie, 2009; Jie Hu, et al., 2010; Mehdi Neshat, et al., 2012 ได้เสนอค่าความหนาแน่นของกลุ่ม ปลาที่มีค่ามากกว่า 0 แต่ไม่เกิน 1 ($0 < \delta < 1$) โดยสามารถแสดงการเคลื่อนจากตำแหน่งปัจจุบัน เพื่อเข้าหาตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่มปลาได้ดังภาพ 55 และภาพ 56



ภาพ 55 แสดงตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่มปลา

จากภาพ 55 กำหนดให้มีปลาทั้งหมด 5 ตัว ในขอบเขตการมองเห็นของปลา i โดยมี ตำแหน่งเป็น $X_1^t, X_2^t, X_3^t, X_4^t, X_5^t$ เมื่อ X_i^t แสดงตำแหน่งของปลาตัวที่ i ณ เวลา t ในกรณีที่ $Y_i < Y_c$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ตำแหน่งของปลา X_i^t จะทำการเคลื่อนเข้าหาตำแหน่ง ของจุดศูนย์กลาง X_c^t สามารถแสดงได้ดังภาพ 56



ภาพ 56 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง

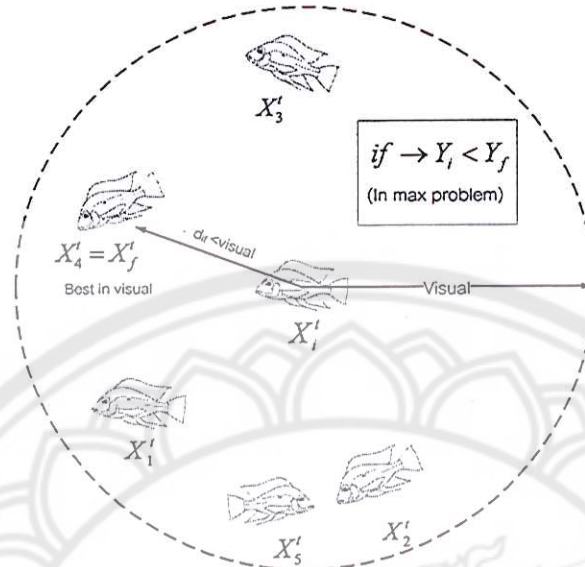
จากภาพ 56 อธิบายได้ว่าปลาตำแหน่งปัจจุบัน X_i^t เคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มปลา X_c^t ที่อยู่ภายในขอบเขตการมองเห็นของปลา X_i^t เพื่อค้นหาตำแหน่งใหม่ที่เวลา $t+1$ โดยกำหนดให้ X_i^{t+1} คือ ตำแหน่งที่ปลาตัวที่ i ณ เวลาที่ $t+1$ และในการเคลื่อนที่ของปลานั้นต้องไม่เกินระยะการเคลื่อนที่ภายในขอบเขตการมองเห็น (step) ด้วยเช่นกัน จากภาพ 54 และภาพ 55 สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.60

$$X_i^{t+1} = X_i^t + \frac{X_c^t - X_i^t}{\|X_c^t - X_i^t\|} \times \text{Step} \times \text{Rand}() \quad (2.60)$$

ในกรณี $Y_i < Y_c$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ค่าคำตอบของตำแหน่งศูนย์กลาง X_c^t ไม่สามารถให้คำตอบดีกว่าคำตอบของตำแหน่งปัจจุบัน X_i^t จะสิ้นสุดกระบวนการ และกลับไปขั้นตอนการทำพฤติกรรมกรหาอาหาร

4. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ตามกัน (Following behavior)

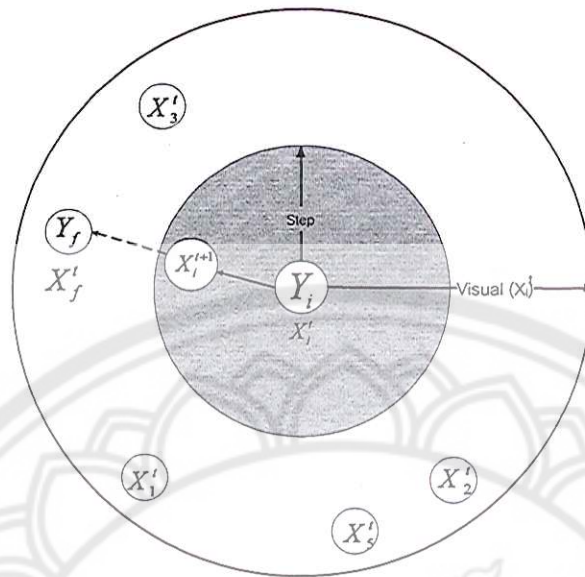
พฤติกรรมการเคลื่อนที่ตามกันของปลานั้น จะเกิดขึ้นเมื่อมีปลาตัวหนึ่งในกลุ่มพบแหล่งอาหารที่ดีกว่าปลาที่พิจารณาอยู่ ณ ปัจจุบัน โดยปลาที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงจะเคลื่อนที่ไปยังจุดดังกล่าว ดังภาพ 57



ภาพ 57 แสดงตำแหน่งของปลาที่มีค่าตอบดีที่สุด

จากภาพ 57 กำหนดให้มีปลาทั้งหมด 5 ตัว ภายในขอบเขตการมองเห็นของปลา i โดยมีตำแหน่งเป็น $X_1', X_2', X_3', X_4', X_5'$ และกำหนดให้ตำแหน่งของปลาปัจจุบัน X_i' สมมติให้ภายในขอบเขตการมองเห็นของปลา X_i' ปลาตัวที่ X_4' มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากปลาทั้งหมดที่อยู่ในขอบเขตการมองเห็นเดียวกัน ดังนั้นจึงพิจารณาให้ $X_4' = X_f'$ เมื่อ X_f' คือ ตำแหน่งของปลาที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปลาทุกตัวที่อยู่ในขอบเขตการมองเห็นของปลา i ณ เวลา t และกำหนดให้คำตอบของปลาตัวที่ดีที่สุดเป็น Y_f

เมื่อกำหนดให้ X_i' ตำแหน่งของปลาปัจจุบัน ณ เวลา t และตำแหน่งของที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุด X_f' อยู่ในในระยะของขอบเขตการมองเห็น ($d_{if} < \text{Visual}$) โดย $d_{if} = \|X_i - X_f'\|$ และกำหนดให้ Y_i คือ คำตอบที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบัน และ Y_f คือ คำตอบที่ดีที่สุดของปลาที่พบในขอบเขตการมองเห็นของปลา X_i' ดังภาพ 58



ภาพ 58 แสดงการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ตามกันของปลา

จากภาพ 58 ณ เวลา t ปลาตัวที่ i ซึ่งมีตำแหน่ง X'_i จะพิจารณาปลาที่พบในระยะขอบเขตการมองเห็น โดยจะพิจารณาเลือกปลาที่อยู่ภายในขอบเขตการมองเห็นที่มีค่าตอบดีที่สุด ซึ่งมี X'_f เป็นตำแหน่งของปลาที่มีค่าคำตอบดีที่สุด เพื่อค้นหาตำแหน่งใหม่ X'_{i+1} คือ ตำแหน่งของปลาตัวที่ i ณ เวลา $t+1$ ในกรณีที่ $Y_i < Y_f$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ปลา ณ ตำแหน่งปัจจุบัน X'_i จะเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่ให้ค่าตอบดีที่สุด X'_f เพื่อค้นหาตำแหน่งใหม่ X'_{i+1} ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 2.61

$$X'_{i+1} = X'_i + \frac{X'_f - X'_i}{\|X'_f - X'_i\|} \times \text{Step} \times \text{Rand}() \quad (2.61)$$

ในกรณีที่ $Y_i > Y_f$ (ในปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ค่าคำตอบของปลาตัวที่ดีที่สุดที่พบในระยะขอบเขตการมองเห็นมีค่าไม่ดีกว่าคำตอบของปลา ณ ตำแหน่งปัจจุบัน ให้กลับไปขั้นตอนการทำพฤติกรรมหาอาหาร

นอกจากพฤติกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้นในบางงานวิจัยยังมีการพิจารณาพฤติกรรมอื่นๆ นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ พฤติกรรมกระโดด (Leaping behavior) และพฤติกรรมการกลืนกิน (Swallowing behavior)

5. พฤติกรรมการกระโดด (Leaping behavior)

พฤติกรรมปกติของปลาในธรรมชาตินั้น โดยทั่วไปเมื่อหยุดอยู่ที่พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งใต้น้ำ เป็นไปได้ว่าปลาอาจจะไม่สามารถหาแหล่งอาหารใหม่ที่ดีกว่าเดิมได้ ซึ่งในบางกรณีวิธีการ AFSA อาจติดอยู่ในพื้นที่ของคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local optimal) แนวคิดของพฤติกรรมการกระโดดเป็นพฤติกรรมที่ช่วยให้ปลาสามารถออกจากพื้นที่ของคำตอบ เมื่อค่าคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือคำตอบเปลี่ยนแปลงน้อยมากภายใน $m-n$ รอบ ($m > n$) โดยทำการเลือก $f_{best}^{iterations(m)}$ ค่าตอบดีที่สุดในรอบที่ m ลบกับ $f_{best}^{iterations(n)}$ ค่าตอบดีที่สุดในรอบที่ n โดยกำหนดค่าความต่างที่มีค่าน้อย (eps) และกำหนดค่าคงที่ใดๆ ที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของปลาได้ (β) โดย Saeed Farzi (2009) และ Fernandes, et al. (2009) ได้เสนอกระบวนการกระโดดของปลาไว้ดังสมการ 2.62

$$if \rightarrow [f_{best}^{iterations(m)} - f_{best}^{iterations(n)}] < eps,$$

$$then \rightarrow X_{some}^{t+1} = X_{some}^t + \beta \times Visual \times Rand() \quad (2.62)$$

เมื่อค่าคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือคำตอบเปลี่ยนแปลงน้อยมากภายในรอบ $m-n$ และค่าตอบดีที่สุดในรอบที่ m ลบกับค่าตอบดีที่สุดในรอบที่ n มีค่าน้อยกว่าค่าความต่าง eps ในกรณีนี้จะทำการสุ่มเลือกตำแหน่งของปลามาหนึ่งตัว ซึ่งอยู่ที่ X_{some}^t ณ เวลา t ที่อยู่ภายในระยะขอบเขตการมองเห็นของปลา ณ ตำแหน่งปัจจุบัน X_{some}^t เพื่อค้นหาตำแหน่งใหม่ X_{some}^{t+1} ณ เวลาที่ $t+1$

6. พฤติกรรมการกินกันเอง (Swallowing behavior)

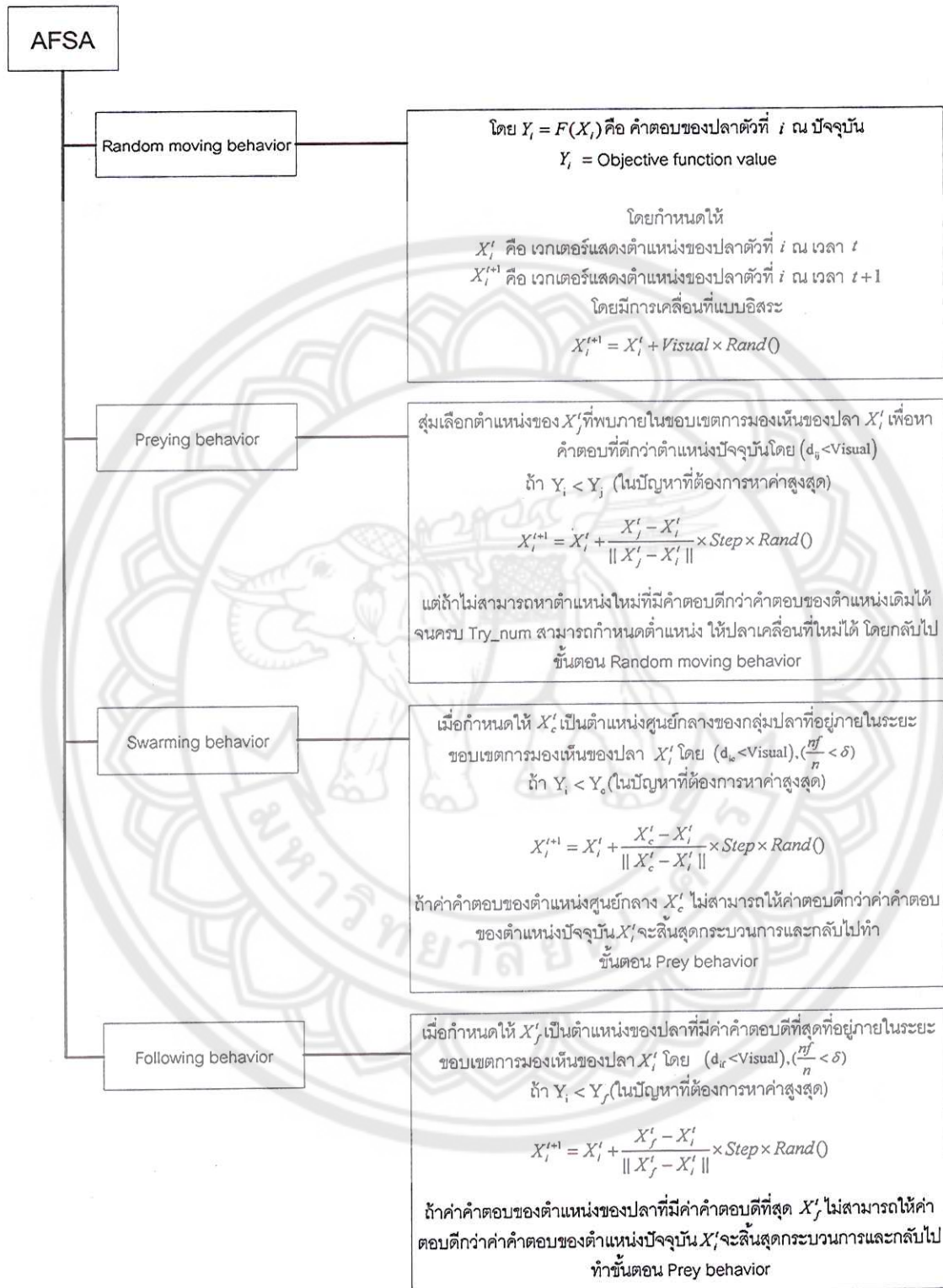
ความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบและความแม่นยำในการหาคำตอบของวิธีการ AFSA มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มจำนวนปลาให้สูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามทำให้ใช้เวลาในการแก้ปัญหาเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากการสร้างประชากรเริ่มต้นมีจำนวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการที่ช่วยลดเวลาของกระบวนการการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลาได้ คือ พฤติกรรมการกินกันเองของปลา โดยธรรมชาติแล้วปลาที่แข็งแรงจะกินปลาที่อ่อนแอกว่า พฤติกรรมกินกันเองของปลาจะช่วยเพิ่มค่าของฟิตเนสฟังก์ชันสำหรับปัญหาที่ต้องการค่ามากที่สุดเป็นคำตอบ และช่วยลดค่าของฟิตเนสฟังก์ชันสำหรับปัญหาที่ต้องการค่าน้อยที่สุดเป็นคำตอบ โดย Yongming Cheng, et al. (2009) ได้นำเสนอสมการของพฤติกรรมการกินกันเองของปลาไว้ดังสมการ 2.63

$$af_total = af_total - 1 \quad (2.63)$$

พฤติกรรมการกินกันเองจะเกิดขึ้นเมื่อปลาที่กำลังพิจารณาอยู่ ณ ตำแหน่งปัจจุบัน ไม่สามารถหาตำแหน่งที่ให้ค่าคำตอบดีกว่าปลาที่พิจารณาในช่วงเวลาก่อนหน้าจนกระทั่งครบตามจำนวนรอบการทำซ้ำ (Number of iterations) ที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคำตอบปลา ก็จะเริ่มทำพฤติกรรมการกินกันเอง ดังสมการ 2.63 ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาเงื่อนไขของพฤติกรรมการกินกันเองแล้วจำนวนปลาเริ่มต้นทั้งหมด (af_total) จะลดลง 1 ตัว ทำให้จำนวนปลาเริ่มต้นทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $af_total - 1$ ซึ่งพฤติกรรมการนี้มักส่งผลให้เวลาในการทำงานของพฤติกรรมในวิธีการ AFSA มีค่าลดลง

จากการศึกษาวิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา ซึ่งพัฒนาแนวคิดมาจากมาจากพฤติกรรมดำรงชีวิตเพื่อหาอาหารของปลาในธรรมชาติที่มีลักษณะการดำรงชีวิตอยู่กันเป็นฝูงหรือกลุ่ม สามารถสรุปกระบวนการที่สำคัญได้ 4 กระบวนการ ดังภาพ 59





ภาพ 59 แสดงกระบวนการของวิธี AFSA

จากภาพ 59 สามารถพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทั้ง 4 กระบวนการได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงพารามิเตอร์วิธีการ AFSA

พฤติกรรม	พารามิเตอร์				
	Visual	Step	Try_num	δ	n
Random moving	✓				
Preying	✓	✓	✓		
Swarming	✓	✓		✓	✓
Following	✓	✓		✓	✓

จากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาและนำเสนอขั้นตอนของกระบวนการหาคำตอบของวิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา พบว่าในขั้นตอนการหาคำตอบของวิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา มีวิธีการพัฒนาคำตอบ คือ พฤติกรรมการหาอาหาร พฤติกรรมการรวมกลุ่ม พฤติกรรมเคลื่อนที่ตามกัน และมีวิธีการสำรวจคำตอบ คือ พฤติกรรมเคลื่อนที่แบบอิสระ นอกจากนี้ได้นำเสนอจุดเด่นและจุดด้อยที่พบจากการศึกษาวิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลาไว้ ดังนี้

จุดเด่นของวิธีการ AFSA

1. โดยงานวิจัยของ (Wang Jian-ping and Hu Meng-jie, 2009; Dengxu He, et al., 2009; Xuan Ma and Qing Liu, 2009; Kongcun Zhu and Mingyan Jiang, 2010; Yun Cai, 2010) ได้นำเสนอจุดเด่นวิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลาตรงกันว่า มีอัตราการสุ่มหาคำตอบที่เร็ว
2. วิธีการ AFSA มีความยืดหยุ่นของการจัดลำดับกระบวนการสูง (Wang Jian-ping and Hu Meng-jie, 2009)
3. สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่ของคำตอบได้รวดเร็ว (Dengxu He, et al., 2009; Xuan Ma and Qing Liu, 2009; Jie Hu, et al., 2010)

4. สามารถใช้วิธีการ AFSA ทำงานร่วมกับเมตาฮิวริสติกส์อื่นเพื่อปรับปรุงกระบวนการหาคำตอบให้ดีขึ้น ดังในงานวิจัย Mingyan Jiang, et al. (2010) และ Kongcun Zhu and Mingyan Jiang (2010)

จุดด้อยของวิธีการ AFSA

1. บางครั้งในการหาคำตอบของวิธีการ AFSA ไม่สามารถหลุดออกจากพื้นที่คำตอบและติดอยู่ในพื้นที่ของคำตอบที่มีคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local- optimum) (Mehdi Neshat, et al., 2012)

2. วิธีการ AFSA ความแม่นยำในการหาคำตอบไม่คงที่ ซึ่งในบางปัญหาวิธีการ AFSA อาจมีการกระจายตัวของคำตอบมาก (Jie Hu, et al., 2010)

ดังนั้น จากการศึกษาวิธีการ AFSA ผู้วิจัยพบว่าข้อดีหลายประการที่มีความเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนและต้องใช้เวลาในการหาคำตอบที่รวดเร็ว โดยสังเกตได้จากจุดเด่นของวิธีการ AFSA คือ มีอัตราการลู่เข้าหาคำตอบที่รวดเร็ว มีความยืดหยุ่นของการจัดลำดับกระบวนการสูง และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่ของคำตอบได้รวดเร็วถึงแม้บางครั้งในการหาคำตอบของวิธีการ AFSA ไม่สามารถหลุดออกจากพื้นที่คำตอบได้ แต่สามารถเพิ่มวิธีการที่ทำให้หลุดออกจากพื้นที่ของคำตอบได้ เช่น วิธีการกระโดดของปลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเสนอการแก้ไขปัญหา HIBAP โดยใช้วิธีการ AFSA

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา

ปัจจุบันวิธีการการแก้ไขปัญหโดยการจำลอง หรือเลียนแบบความฉลาดทางธรรมชาติมีความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปัจจุบันปัญหานั้นมีความยากลำบากในแก้เพื่อหาคำตอบ เช่น ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก พื้นที่ในการหาคำตอบมีขนาดใหญ่ ปัญหาที่มีเงื่อนไขและข้อจำกัดเยอะมาก หรือฟังก์ชันในการแก้ไขปัญหามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เป็นต้น ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหเหล่านี้ได้ คือ วิธีเมตาฮิวริสติกส์ ซึ่งปัจจุบันนี้มีวิธีการแก้ปัญหหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เช่น วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (GA), วิธีพาทิเคิลสวอม (PSO), วิธีแอนติโคโลนีออฟติไมเซชัน (ACO) เป็นต้น ซึ่งข้อดีของวิธีเมตาฮิวริสติกส์ คือ สามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดและโดยมากจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ค่อนข้างเร็ว และเมื่อไม่นานมานี้มีอีกหนึ่งวิธีที่เริ่มจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น คือ วิธีการเลียนแบบการรวมกลุ่มของฝูงปลา หรือ Artificial fish swarm algorithm ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ได้เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ปี 2002 โดยได้ในงานวิจัยนี้ได้จัดแบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ AFSA ออกเป็น 2 ลักษณะปัญหา คือ วิธีการ AFSA ที่ใช้กับปัญหาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete problem) และปัญหาแบบต่อเนื่อง (Continues problem)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ AFSA ที่ใช้กับปัญหาแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าในปี 2009 งานวิจัยของ Wang Jian ping and Hu Meng jie (2009) ได้นำเสนอและศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) โดยใช้วิธีการ AFSA วิเคราะห์คุณภาพของวิธีการแก้ปัญหาบนพื้นฐานของปัญหา TSP พบว่าวิธีการ AFSA มีการกระจายตัวของคำตอบไม่คงที่ และเมื่อเข้าสู่พื้นที่ของคำตอบไม่สามารถหลุดออกจากพื้นที่ของคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ได้ แต่วิธีการ AFSA มีกระบวนการที่สามารถเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบได้ไว และสามารถหาคำตอบที่มีค่าของคำตอบที่สามารถยอมรับได้ W.Tian and Y. Tiana (2009) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดระดับทรัพยากร (Resource leveling) โดยใช้วิธีการ AFSA และต้องการนำเสนอกระบวนการปรับปรุงขั้นตอนการเคลื่อนที่ (step -length) ของ AFSA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบให้ดีขึ้น พบว่าในการปรับปรุงสามารถเพิ่มความเร็วในการหาคำตอบและสามารถหลีกเลี่ยงคำตอบที่ไม่ดีในพื้นที่ที่ดีขึ้น เมื่อนำไปเทียบกับวิธี GA และ PSO ซึ่งพบว่า AFSA ที่ปรับปรุงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า โดย D. He, et al. (2009) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) โดยใช้วิธีการ AFSA ซึ่งนำผลไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ S. Gao and J. Yang (2005), Parsopoulos, K.E. and Vrahatis, M.N. (2002), Y. Tan, H. Gao and J. Zeng (2001) พบว่า วิธีการ AFSA สามารถหาคำตอบโดยเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบได้เร็วกว่าของงานวิจัยทั้งสามที่ได้นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งยังมีงานวิจัยนำวิธีการ AFSA ไปเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาอื่นๆอีก ดังเช่นในงานวิจัยของ Xuan Ma and Qing Liu (2009) งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอวิธีการ พบว่า วิธีการ AFSA เพื่อแก้ปัญหาแผนภูมิต้นไม้สไตเนอร์ (Steiner Tree Problem ,STP) ในการพิจารณาปัญหา STP ได้พิจารณาที่จำนวนจุดตั้งแต่ 26-100 จุด และนำเสนอวิธีการที่สามารถแก้ปัญหา STP ได้ดีที่สุดโดยการเปรียบเทียบวิธีการ AFSA กับวิธีการมินิมัมพาวเวอร์แฮนด์ออฟ (Minimum Power-Handoff, MPH), PSO และ GA ซึ่งวิธีการที่ให้ผลดีที่สุดทั้งในด้านผลของคำตอบ คือ วิธีการ AFSA ส่วนในด้านของเวลานั้นวิธีการ PSO และ AFSA ใช้เวลาใกล้เคียงกัน

ยังมีบางงานวิจัยที่นำวิธีการ AFSA ทำงานร่วมกับเมตาฮิวริสติกส์อื่นๆ เช่น Zhu and Jiang (2010) นำเสนอวิธีการผสมวิธีการ AFSA ร่วมกับขั้นตอนในการหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในพื้นที่คำตอบของวิธิตาบูลิธ (AFSA+Tabu) เพื่อนำไปแก้ไขปัญหาการจัดตารางการทำงานของเครื่องจักร (Job shop scheduling problem) พบว่าจากการทดลองโดยเปรียบเทียบที่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา เมื่อเทียบระหว่างวิธีการ GA และ AFSA+Tabu พบว่าทั้งวิธีการ GA และ AFSA+Tabu สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ แต่วิธี AFSA+Tabu ใช้เวลาในการหาคำตอบ

และจำนวนประชากรเริ่มต้นน้อยกว่าวิธีการ GA เมื่อนำวิธี AFSA+Tabu เปรียบเทียบกับวิธีการ AFSA พบว่าความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบของวิธี AFSA+Tabu โดยเฉลี่ยนั้นเร็วกว่าวิธีการจำลองการจับกลุ่มของปลา

นอกจากนี้ จากการศึกษาพบว่า มีงานวิจัยที่ได้นำ AFSA มาแก้ไขปัญหาคำถามการจัดสรร ทำเทียบเรือดังในวิจัยของ Yun Cai (2010) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาคำถามการจัดสรรท่าเรือโดยใช้วิธีการ AFSA เพื่อหาเวลารวมในการให้บริการของท่าเรือที่ต่ำที่สุด และต้องการนำเสนอค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง และแสดงให้เห็นว่าผลของคำตอบเมื่อนำไปเทียบกับ GA และ ACO พบว่าวิธีการ AFSA สามารถหาคำตอบได้ไวกว่า GA และ ACO

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ AFSA ที่ใช้กับปัญหาแบบต่อเนื่อง มีงานวิจัยที่นำ AFSA มาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาคำถาม หรือนำมาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังในงานของ Yongming Cheng, et al. (2010) ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงวิธีการ AFSA เพื่อหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยจะนำเสนอกระบวนการที่ทำให้ความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence speed) ในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการ AFSA แบบปกติ ในการปรับปรุงได้เพิ่มขั้นตอนของวิธีการขึ้นมาสองขั้นตอน คือ พฤติกรรมการกระโดดของปลาการเป็นวิธีการที่เพิ่มความสามารถในการกระโดดออกจากพื้นที่คำตอบ และอีกวิธีการหนึ่งคือพฤติกรรมการกินกันเองของปลา โดยหวังว่าวิธีการเหล่านี้จะทำให้หลุดออกจากพื้นที่คำตอบ พบว่า จากผลการจากการทดลอง AFSA แบบปรับปรุงมีความเร็วในการหาคำตอบที่เพิ่มขึ้นและผลของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมีค่าที่ดีกว่าวิธีการ AFSA แบบปกติ และ Hu, et al. (2010) ได้ศึกษา AFSA เพื่อแก้ไขปัญหาคำถาม ฟังก์ชันออปติไมเซชัน (Function optimization) โดยต้องการนำเสนอว่าวิธีการ AFSA สามารถหาคำคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ซึ่งจะเปรียบเทียบกับอีกสามวิธี คือ GA, ACO, PSO พบว่าจากผลการทดลอง AFSA หาคำคำตอบที่เหมาะสมที่สุดดีกว่าทั้งสามวิธีที่ได้นำมาเปรียบเทียบ แต่การลู่เข้าหาคำตอบของวิธีการ AFSA ไม่คงที่

นอกจากนี้ในกลุ่มงานวิจัยของปัญหาแบบต่อเนื่องยังได้นำวิธีการ AFSA ผสมกับวิธีการแก้ปัญหาคำถามอื่น เช่น งานวิจัยของ Jiang (2010) ได้ศึกษาและนำเสนอวิธีการผสมวิธีการแก้ปัญหาคำถาม (Hybrid Algorithm) โดยใช้กระบวนการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงของวิธีการแก้ปัญหาคำถามจำลองการอบอ่อน (SA) และวิธีการ AFSA โดยนำไปทดลองการแก้ปัญหาคำถามแบบหลายโมเดล (Multi-model Problem) ที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งจัดเป็นปัญหาเอ็นพี (NP-Problem) ซึ่งในการทดสอบนั้นจะนำผลของคำตอบเปรียบเทียบกับ AFSA และวิธีการ K-means พบว่าประสิทธิภาพ

ในการหาคำตอบของวิธีการ SA+AFSA สามารถหาคำคำตอบได้ดีและแม่นยำกว่าวิธีการ AFSA และวิธีการ K-means

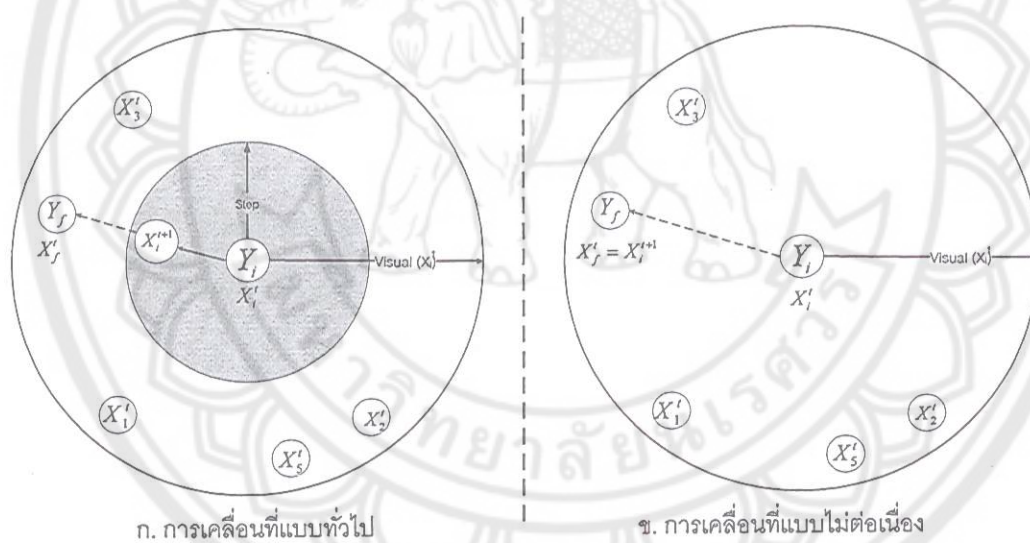
จากทบทวนวรรณกรรมที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นที่ผู้วิจัยได้จัดแบ่งปัญหาออกเป็นสองลักษณะ คือ ปัญหาแบบไม่ต่อเนื่องและปัญหาแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถสรุปดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงการแบ่งประเภทงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ AFSA

งานวิจัย (ปี)	ปัญหา	ลักษณะปัญหา		หมายเหตุ
		Dis.	Con.	
Wang Jian-ping และ Hu Meng-jie (2009)	ปัญหา Traveling salesman problem(TSP)	✓		
WenJie Tian และ Yue Tian (2009)	การจัดระดับทรัพยากร (Resource Leveling)	✓		
Dengxu He et al. (2009)	ปัญหาแบบจำลองเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming)	✓		
Xuan Ma และ Qing Liu (2009)	แก้ปัญหา Steiner Tree Problem (STP)	✓		
Yun Cai (2010)	ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ	✓		
Yongming Cheng et al. (2009)	ทดสอบโดยใช้ Function optimization และปัญหา Clustering		✓	
Mingyan Jiang et al. (2010)	ทดสอบโดยใช้ Function Expression		✓	Hybrid (SA)
Kongcun Zhu และ Mingyan Jiang (2010)	ปัญหาการจัดตารางการทำงาน ของเครื่องจักร	✓		Hybrid (Tabu)
Jie Hu et al.(2010)	ปัญหา Function optimization		✓	

จากตาราง 6 ฟังก์ชันออฟติไมเซชันและฟังก์ชันเอ็กเพลสชันนั้น เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการหาคำตอบของวิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global optimum) โดยจะมีคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่หลายคำตอบแต่มีคำตอบที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียวและจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นว่า AFSA สามารถนำไปใช้แก้ไขที่มีลักษณะปัญหาเป็นแบบไม่ต่อเนื่องและปัญหาแบบต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถนำวิธีการ AFSA ใช้ร่วมกับวิธีการแก้ไขปัญหาแบบอื่นๆ ได้

โดยจากการศึกษาพบว่าในงานวิจัยปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือที่มีลักษณะปัญหาเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนบางสมการเพื่อให้เหมาะกับปัญหายกตัวอย่าง (Yun Cai (2010)) เช่น พฤติกรรมการเคลื่อนที่ตามกันของปลา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปลาตัวที่ X'_i จะพิจารณาปลาที่พบในระยะขอบเขตการมองเห็น โดยจะพิจารณาเลือก X'_j ตำแหน่งของปลาที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อค้นหาตำแหน่งใหม่ X'^{i+1} ดังภาพ ก ในภาพ 60



ภาพ 60 แสดงความแตกต่างการเคลื่อนที่ของปลาแบบทั่วไปและแบบไม่ต่อเนื่อง

จากภาพ 60 (ก) ปลาจะเคลื่อนเข้าหาตำแหน่ง X'_j โดยกำหนดตำแหน่งใหม่ X'^{i+1} แต่ในกรณีการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่องจากงานวิจัยของ Yun Cai (2010) ดังภาพ 60 (ข) ซึ่งอธิบายได้ว่าการเคลื่อนที่เข้าหา X'_j ของปลา ณ ตำแหน่งปัจจุบัน X'_i เคลื่อนที่เข้าไปแทนที่ตำแหน่ง X'_j โดยสังเกตได้จากการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่องนั้นไม่ได้พิจารณาระยะที่ปลาสามารถเคลื่อนที่ได้ เพราะถ้าหากใช้วิธีการดังภาพ 60 (ก) เวกเตอร์ตำแหน่งใหม่ X'^{i+1} อาจจะมีค่าเป็นค่าที่ต่อเนื่องไม่ใช่จำนวนเต็ม

นอกจากนี้ยังพบอีกการจัดลำดับกระบวนการในการหาคำตอบของวิธีการ AFSA มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ AFSA พบว่ามีการจัดลำดับของกระบวนการในการหาคำตอบที่แตกต่างกันสามารถแสดงดังตาราง 7 โดยกำหนดให้หมายเลขแสดงถึงจัดลำดับของกระบวนการของวิธีการ AFSA ที่ใช้ในการหาคำตอบ

ตาราง 7 แสดงการเรียงลำดับกระบวนการในวิธีการ AFSA

การจัดเรียง ลำดับกระบวนการ	Prey	Swarm	Follow	Move	Leap	Swallow
แบบที่ 1						
Yongming Cheng, et al. (2009)	3	2	2	4	-	1
Mingyan Jiang et al. (2010)						
แบบที่ 2						
Kongcun Zhu (2010)	2	1	1	3	-	-
Dengxu He et al. (2009)						
Hu et al.(2010)						
แบบที่ 3						
Fernandes, et al. (2009)	2	3	3	1	4	-
แบบที่ 4						
Yun Cai (2010)	2	2	1	3	-	-

จากตารางข้างต้นสังเกตได้ว่าวิธีการ AFSA สามารถจัดเรียงลำดับได้หลายลักษณะตามความเหมาะสมของปัญหา หรือตามความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหา

ทฤษฎีการปรับปรุงวิธีการ AFSA

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีการ AFSA พบว่ายังมีการพัฒนาวิธีการ AFSA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบ และให้วิธีการหาคำตอบมีความเหมาะสมกับการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้น จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถจำแนกวิธีการปรับปรุง AFSA ได้ดังภาพ 61



ภาพ 61 แสดงการจำแนกวิธีการปรับปรุง AFSA

การปรับปรุงวิธีการ AFSA สามารถจัดแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ การปรับปรุงลำดับของกระบวนการของ AFSA วิธีการปรับปรุงนี้เป็นการจัดเรียงลำดับของกระบวนการหาคำตอบของวิธีการ AFSA ที่แตกต่างไปจากวิธีการพื้นฐาน หรือ มีการเพิ่มพฤติกรรมการกระโดดของปลา หรือ พฤติกรรมการกินกันเองเข้าไป อีกกระบวนการหนึ่ง คือ วิธีการปรับปรุงวิธีการหาคำตอบของ AFSA เป็นการปรับปรุงกระบวนการ หรือปรับปรุงบางสมการที่ใช้หาคำตอบในวิธีการ AFSA ที่แตกต่างจากสมการเดิม หรือ การปรับปรุงวิธีการหาคำตอบพื้นฐานของวิธีการ AFSA เพื่อให้มีความเหมาะสมกับปัญหาและการปรับปรุงสุดท้าย คือ วิธีการผสมซึ่งหมายถึงการนำวิธีการหาคำตอบอื่นมาปรับใช้กับวิธีการ AFSA เพื่อพัฒนากระบวนการหาคำตอบโดยคาดหวังว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธีการ AFSA ได้

ทฤษฎีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีส่วนที่ต้องการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีการ AFSA ซึ่งวิธีการทางสถิติที่จะนำมาช่วยในกระบวนการดังกล่าว คือ การออกแบบการทดลอง (Design of experiments, DOE) ซึ่งจะนำมาช่วยในการศึกษาความแปรปรวนของปัจจัย และวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์เพื่อตัดสินใจหาทางเลือก

การออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือทดสอบแบบต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้า (Input variables) ในระบบหรือกระบวนการที่ศึกษาเพื่อสังเกต และอธิบายสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Output) (ประไพศรีสุทัศน์, ณ อยุธยา และพงศัชนัน เหลืองไพบุลย์, 2551) และเป็นกระบวนการที่ใช้วางแผนไว้ล่วงหน้าเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงตามความต้องการของกระบวนการทดลอง โดยการนำหลักการทางสถิติ

มาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตรงกับเป้าหมายของการทดลอง ซึ่งการออกแบบการทดลอง ควรจะมีวิธีการที่ง่าย มีประสิทธิภาพ และใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่ามากที่สุด (ปารเมศ ชุตติมา, 2545)

การออกแบบการทดลองเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น (Hunter, 1985) และถ้าการออกแบบการทดลองคำนึงถึงผลกระทบของตัวแปรภายนอกจะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น (Montgomery, 1999) ดังนั้น การเลือกประเภทของการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับปัญหาและปัจจัยที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำโดยเป็นไปตามหลักทางสถิติจึงมีความสำคัญโดยทั่วไปแล้วรูปแบบการเลือกประเภทการออกแบบการทดลองจะขึ้นอยู่กับปัจจัยในปัญหาที่ต้องการศึกษา การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial experiment) เป็นการออกแบบการทดลองประเภทหนึ่งที่ได้รับคามนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบตั้งแต่สองปัจจัยเป็นต้นไป ซึ่งจะศึกษาผลกระทบหลัก (Main effects) และศึกษาผลกระทบร่วมของปัจจัย (Interaction effects) (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์, 2551)

1. การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลมีต้นกำเนิดมาจากนักสถิติชาวอังกฤษ ชื่อ Donald Fisher โดยออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเพื่อนำมาทดแทนวิธีการออกแบบการทดลองแบบเปลี่ยนค่าปัจจัยครั้งละหนึ่งปัจจัย (One factor at a time) (ชาญณรงค์ สายแก้ว, 2555) ซึ่งผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 คือ ผลกระทบหลัก เป็นผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาหนึ่งปัจจัย

ประเภทที่ 2 คือ ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (2-ways interactions) ซึ่งเป็นผลกระทบในกรณีที่สนใจพิจารณา 2 ปัจจัยพร้อมกัน

ประเภทที่ 3 คือ ผลกระทบร่วมระหว่างหลายปัจจัย (Multi-ways interactions) เป็นผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณามากกว่า 2 ปัจจัยพร้อมกัน แต่ในการทำการทดลองโดยทั่วไปแล้ว จะให้ความสำคัญการพิจารณาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย

โดยการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full-factorial experiment) และการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional-factorial experiment) โดยเนื้อหาในงานวิจัยจะพิจารณาเพียงการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปเท่านั้น เนื่องจากการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปเป็นการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบร่วมตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้พร้อมกัน นอกจากนี้ผู้ทดลองยังสามารถใช้ผลการทดลองยืนยันเพื่อลดปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบในการศึกษาครั้งต่อไป ซึ่งจำนวนการทดลองจะแปรผันตามผลคูณของจำนวนระดับปัจจัยของทุกปัจจัยและคูณกับจำนวนการทำซ้ำ การทดลองโดยทั่วไปจะนิยมศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับ และ 3 ระดับเท่านั้นโดยเรียกแผนการทดลองนี้ว่า 2^k และ 3^k การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงค์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

1.1 การทดลอง 2^k แฟคทอเรียลเต็มรูป (2^k Full-factorial) สามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลายๆ ปัจจัยได้พร้อมกัน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวัตถุประสงค์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลเต็มรูปยังสามารถช่วยคัดกรองจำนวนปัจจัยและศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear model) (ชาญณรงค์ สายแก้ว, 2555) โดยจำนวนการทดลองที่เป็นไปได้ (ไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับ 2^k กำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ จำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีค่าสองระดับ (Level) มักจะกำหนดไว้ที่ค่าต่ำสุด (-) และค่าสูงสุด (+) ของแต่ละปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น การทดลอง 2^2 แฟคทอเรียลเต็มรูป จะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง

1.2 การทดลอง 3^k แฟคทอเรียลเต็มรูป (3^k Full-factorial)

ในกรณีที่ศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไปนั้น จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง หรือโพลิโนเมียลกำลังสองขึ้นไป (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงค์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) โดยจำนวนการทดลองที่เป็นไปได้ (ไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับ 3^k กำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ จำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีค่าสามระดับมักกำหนดไว้ที่ค่าต่ำสุด (-) ค่ากลาง (0) และค่าสูงสุด (+) ของแต่ละปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น การทดลอง 3^3 แฟคทอเรียลเต็มรูป จะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง

ดังนั้น จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าข้อดีในการใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปนั้น มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถศึกษาผลกระทบต่อบุคคลหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้พร้อมกัน เหมาะกับการทดลองที่มีต้นทุนทางด้านทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองน้อยและไม่ซับซ้อนจำกัดในด้านเวลาที่ใช้ในการทดลองเนื่องจากจำนวนการทดลองแปรผัน

ตามจำนวนการทดลอง แต่ในทางกลับกันการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปอาจจะไม่เหมาะสมกับการทดลองที่มีต้นทุนทางด้านทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองสูงและมีข้อจำกัดในด้านเวลาด้วยเช่นกัน

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เป็นวิธีการพื้นฐานทางสถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response, Y) หรือค่าผลลัพธ์จากระบบที่กำลังศึกษา ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ 3 กรณี คือ กรณีแรกเป็นการวิเคราะห์ที่สนใจพิจารณาเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลต่อค่าตัวตอบสนอง (One-way anova) มีระดับที่ต้องการศึกษาเท่ากับ a ระดับ ในกรณีที่สองเป็นการวิเคราะห์ที่สนใจพิจารณาผลกระทบของสองปัจจัย (Two-way anova) ที่ระดับต่างซึ่งมีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง และกรณีสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ที่สนใจพิจารณาผลกระทบร่วมต่อค่าตอบสนองที่มีปัจจัย ≥ 2 ปัจจัย (ประไพศรี สุกทัศน์ ณ ออยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

จากกรณีของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้กล่าวมาสามารถอธิบายความแตกต่างที่ได้จากผลการวิเคราะห์ 2 ลักษณะ คือ ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained variation) เป็นความแตกต่างที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง และอีกกรณีหนึ่งคือ ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained variation) เป็นความแตกต่างที่อาจจะเกิดจากข้อมูลที่นำมาใช้ไม่เพียงพอหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (ประไพศรี สุกทัศน์ ณ ออยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบข้อมูลที่น่าไปใช้ในการหาความแปรปรวนได้ดังตาราง 8

ตาราง 8 แสดงลักษณะข้อมูลที่น่าไปใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Factor A	Factor B						Total	Average
	1	2	...	j	...	b		
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1j}	...	y_{1b}	$y_{1..}$	$\bar{y}_{1..}$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2j}	...	y_{2b}	$y_{2..}$	$\bar{y}_{2..}$
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮	⋮
i	y_{i1}	y_{i2}	...	y_{ij}	...	y_{ib}	$y_{i..}$	$\bar{y}_{i..}$
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮	⋮
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{aj}	...	y_{ab}	$y_{a..}$	$\bar{y}_{a..}$
Total	$y_{.1}$	$y_{.2}$	...	$y_{.j}$	...	$y_{.b}$	$y_{...}$	
Average	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$	...	$\bar{y}_{.j}$	...	$\bar{y}_{.b}$		$\bar{y}_{...}$

จากตาราง 8 กำหนดให้

$y_{i.}$ แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองที่ระดับ i ของปัจจัย A

$y_{.j}$ แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองที่ระดับ j ของปัจจัย B

y_{ij} แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองที่ระดับ ij

$y_{...}$ แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองทั้งหมด

$\bar{y}_{i.}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองที่ระดับ i ของปัจจัย A

$\bar{y}_{.j}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองที่ระดับ j ของปัจจัย B

\bar{y}_{ij} แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองที่ระดับ ij

$\bar{y}_{...}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองทั้งหมด

หลังจากการหาค่าเฉลี่ยและผลรวมของข้อมูลทั้งหมด โดยทั่วไปจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of squares, SS) หาค่าผลเฉลี่ยกำลังสอง (Mean squares, MS) หาองศาเสรี (Degrees of freedom, d.f.) และหาค่าสถิติ (F value, F) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์หาความแปรปรวน และข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีที่ใช้การทดลองแบบ 2^k , 3^k แฟคทอเรียลเต็มรูป จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ตาราง ANOVA ได้ก็ต่อเมื่อการทดลองนั้นมีการทดลองซ้ำเท่านั้น (Replicate (n) > 1) (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) และจะต้องตรวจเงื่อนไขเหล่านี้ให้เป็นจริงก่อน นั่นคือ กลุ่มประชากรมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ค่าความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน และการสุ่มตัวอย่างจากชุดประชากรแต่ละตัวอย่างต้องเป็นอิสระต่อกัน

ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวมาสามารถตรวจสอบได้โดย ตรวจสอบจากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) โดยลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง และตรวจสอบจากกราฟระหว่างค่า Residuals กับระดับของปัจจัยโดยจะพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่า Residuals ของแต่ละระดับปัจจัยว่าแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าหากการกระจายตัวของค่า Residuals ไม่แตกต่างกันแสดงว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน และสุดท้ายตรวจสอบจากกราฟระหว่างค่า Residuals กับเวลาหรือลำดับการทดลอง ซึ่งพิจารณาค่า Residuals ค่าบวก (+) และค่าลบ (-) โดยกราฟจะต้องไม่มีการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบแต่มีการกระจายตัวอย่างอิสระต่อกัน (นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์, 2554) ซึ่งสามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงตาราง ANOVA การทดลองแฟคทอเรียล 2 ตัวแปร

Source Of Variation	SS	d.f.	MS	F
A	$SS_a = \sum_{i=1}^a \frac{\bar{y}_{i...}^2}{bn} - \frac{y^2_{i...}}{abn}$	a-1	$MS_a = \frac{SS_a}{d.f._a}$	$F_a = \frac{MS_a}{MS_E}$
B	$SS_b = \sum_{j=1}^b \frac{\bar{y}_{.j.}^2}{an} - \frac{y^2_{.j.}}{abn}$	b-1	$MS_b = \frac{SS_b}{d.f._b}$	$F_b = \frac{MS_b}{MS_E}$
AB	$SS_{subtotals(ab)} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y^2_{ij}}{n} - \frac{y^2_{...}}{abn}$ $SS_{ab} = SS_{subtotals(ab)} - SS_a - SS_b$	(a-1)(b-1)	$MS_{ab} = \frac{SS_{ab}}{d.f._{ab}}$	$F_{ab} = \frac{MS_{ab}}{MS_E}$
Error	$SS_E = SS_T - SS_{ab} - SS_a - SS_b$	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{d.f._E}$	
Total	$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y^2_{ijk} - \frac{y^2_{...}}{abn}$	abn-1		

ในการวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปจะทำการพิจารณาผลกระทบร่วมกันก่อนเสมอ แต่ไม่นิยมวิเคราะห์ผลกระทบตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป และถ้าผลกระทบร่วมกันมีนัยสำคัญ (P-value < α) จะไม่ทำการพิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเทอมของผลกระทบร่วมกันนั้น โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแสดงกราฟผลกระทบได้ 2 แบบ ดังนี้

Main Effect Plot คือ กราฟค่าเฉลี่ยหรือกราฟผลกระทบหลัก เป็นกราฟที่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตอบสนอง ในกรณีที่ปัจจัยหลักมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ

Interaction Plot คือ กราฟอันตรกิริยาหรือกราฟผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย เป็นกราฟที่ใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยตัวแปรตอบสนอง และใช้ในการกำหนดจุดที่เหมาะสมสำหรับผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย

ดังนั้น ในการทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัย k ใดๆ หลักการใช้ตาราง ANOVA และหลักการใช้กราฟยังคงเดิม เพียงแต่ตาราง ANOVA จะมีพจน์ในช่อง Source เพิ่มตามปัจจัยที่ศึกษา (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์, 2551)

ความแตกต่างเงื่อนไขของปัญหาการจัดสรรทำเทียบแบบเว้าแห่งระหว่างงานวิจัยของ Imai, et al. (2006) และเงื่อนไขที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

ทฤษฎีภาษาไพธอน

ภาษาไพธอน (Python language) เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1990 โดย Guido Van Rossum เป็นผู้ออกแบบและสร้างภาษาไพธอน ซึ่งโค้ดภาษาไพธอนทั้งหมดนั้นถูกสร้างขึ้นมาจากภาษาซี โดยภาษาไพธอนเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถอินเตอร์เฟสกับระบบหรือภาษาอื่นได้ ซึ่งมีการประมวลผลของคำสั่งที่ละบรรทัดและยังสามารถเขียนโปรแกรมเป็นซอร์ส (Source) ไฟล์เพื่อนำมาประมวลผลในภายหลังได้เช่นกัน โดยภาษาไพธอนนั้นได้รับความนิยมเป็นจำนวนมากและถูกนำไปใช้งานในด้านต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพและอย่างกว้างขวาง (จักรกฤษณ์ แสงแก้ว, 2549)

ภาษาไพธอนเป็นโอเพนซอร์ส (Open source) และสามารถอนุญาตให้นักพัฒนาสามารถแก้ไขโปรแกรมให้มีความสามารถสูงขึ้นได้อีกด้วย ดังนั้นจึงเป็นผลให้ผู้เชี่ยวชาญในหลากหลายสาขาวิชา ต่างร่วมกันสร้างเครื่องมือเพื่อทำให้ไพธอนเป็นโปรแกรมที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง และภายในไพธอนนั้นยังประกอบด้วยมอดูลต่างๆ มากมายและในแต่ละมอดูลยังประกอบไปด้วยคำสั่งหรือฟังก์ชันจำนวนมาก เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้ชุดคำสั่งเหล่านั้นได้อย่างสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (จักรกฤษณ์ แสงแก้ว, 2549)

นอกจากนี้ ในปัจจุบันมีผู้เชี่ยวชาญหลากหลายด้านได้สร้างเครื่องมือเพื่อสนับสนุนการใช้งานภายในภาษาไพธอน ได้แก่ ด้านปัญญาประดิษฐ์ ด้านคณิตศาสตร์ ด้านกราฟิก และด้านเน็ตเวิร์ก เป็นต้น เนื่องจากภาษาไพธอนนั้นจัดอยู่ภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง (High level language) ซึ่งเป็นภาษาที่สร้างขึ้นเพื่อความสะดวกสบายในการใช้งานและง่ายสำหรับการเขียนโปรแกรม เพื่อสามารถสร้างคำสั่งเพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผล โดยลักษณะเด่นของภาษาไพธอนมีดังนี้ (จักรกฤษณ์ แสงแก้ว, 2549)

1. ไพธอนเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ไม่คิดมูลค่าในการใช้งาน
2. ไพธอนสนับสนุนแนวคิดแบบ Object Oriented Programming
3. โค้ดที่เขียนด้วยภาษาไพธอนสามารถนำไปใช้งานในระบบปฏิบัติการอื่นได้ เช่น Linux, Ms-windows (98, NT, 2000, XP, window7), Amiga, Be-OS, VMS, QNX เป็นต้น
4. ภาษาไพธอนสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบ Dynamic typing คือ สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดของข้อมูลได้ง่ายและสะดวก
5. มีโครงสร้างข้อมูลที่สามารถใช้ได้ภายในภาษาไพธอน ประกอบด้วย ลิสต์, ดิกชันนารี, และ สตริง ที่ง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูง
6. ไพธอนมีเครื่องมือต่างๆ มากมาย เช่น การประมวลผลโดยใช้เท็กซ์ไฟล์, การเรียงข้อมูล, การเชื่อมต่อข้อมูล, การตรวจสอบเงื่อนไขของข้อความ, การแทนที่ของคำ เป็นต้น

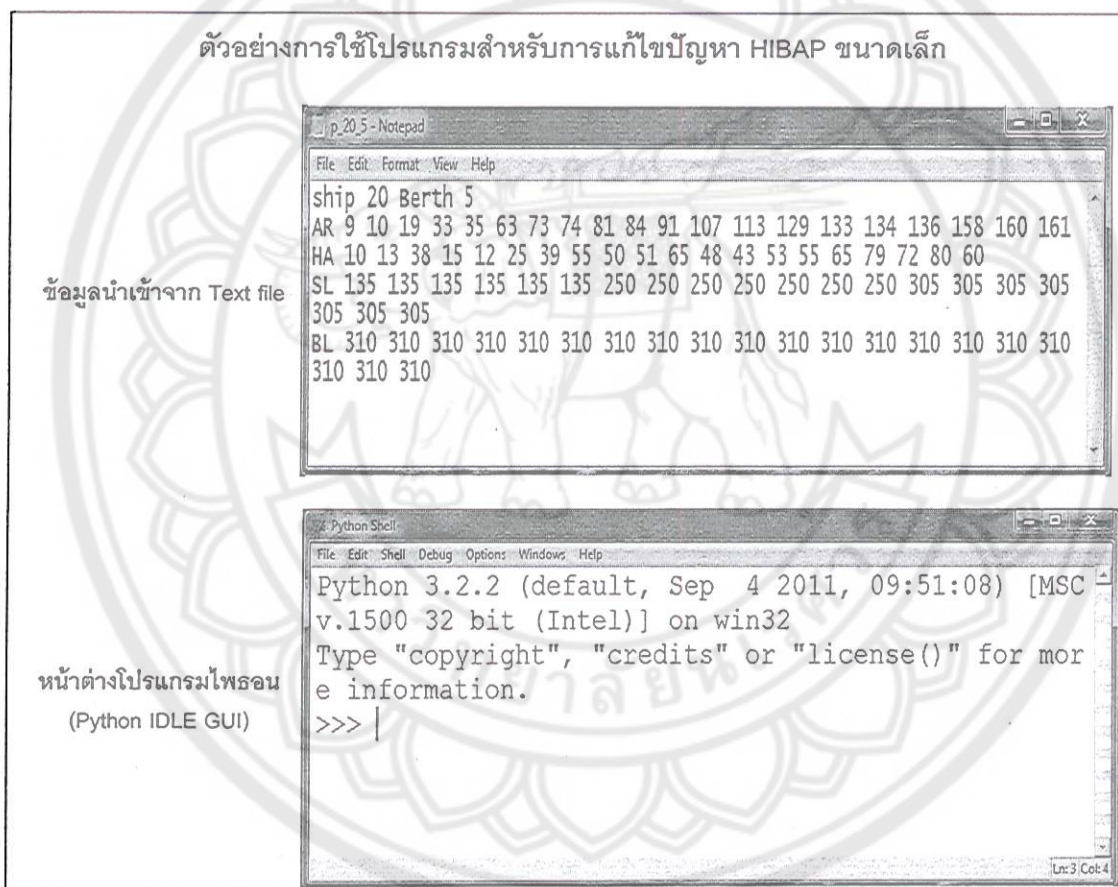
7. ไพธอนสามารถจัดการหน่วยความจำได้อย่างอัตโนมัติและสามารถจัดการพื้นที่หน่วยความจำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. ไพธอนอนุญาตให้ฝั่งชุดคำสั่งของไพธอนไว้ในโค้ดภาษาซีได้

9. ไพธอนมีไลบรารีสนับสนุนในด้านการสร้างภาพกราฟิก เช่น การทำภาพเบลอหรือชุดการเขียนข้อความบนภาพ ตลอดจนการบันทึกไฟล์ในรูปแบบต่างๆ

10. ไพธอนมีไลบรารีสนับสนุนด้านปัญญาประดิษฐ์

ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างในการใช้งานโปรแกรมไพธอนได้ดังภาพ 62



ภาพ 62 แสดงตัวอย่างการใช้งานและหน้าต่างของโปรแกรมไพธอน

ตัวอย่างการใช้โปรแกรมสำหรับการแก้ไขปัญหา HIBAP ขนาดเล็ก

หน้าต่างแสดงโค้ดไพธอน	<pre> import random import math import copy from time import clock, time random.seed(10) f=open('D:\\Py\\Data\\thesis\\p_20_5.txt') RF=f.readline() RF=RF.split() SN=int (RF[1]) BN=int (RF[3]) ## SN is ship number ## BN is berth number </pre>
หน้าต่างแสดงคำตอบ	<pre> >>> -----Best-Description----- min per round [1086, 1086, 1086, 1086, 1086, 1086, 1066, 1066, 106 6, 1065, 1065, 1019, 1019, 1019, 1019, 1019, 1019, 1019, 1019, 101 9, 1019, 1019, 1005, 1005, 1005, 1005, 1005, 1005, 1005, 1005, 100 5, 1005, 1005, 1005, 1005] round_changed [7, 10, 12, 23] Behavior_best ['P', 'P', 'P', 'S', 'P'] rep_best_min> [[[1, 9, 17, 13, 5], [10, 2, 15], [19, 12, 16, 7, 3] , [4, 18, 11], [8, 6, 14, 20]]] Time 2.9648101580935866 >>> </pre>

ภาพ 63 แสดงตัวอย่างการใช้งานและหน้าต่างของโปรแกรมไพธอน 2

จากภาพข้างต้นแสดงให้เห็นถึงหน้าต่างและวิธีการใช้งานโปรแกรมไพธอนในเบื้องต้น โดยขั้นตอนแรก ให้สร้างข้อมูลนำเข้าในแฟ้มข้อความ (Text file) ขั้นตอนที่สอง ให้เปิดหน้าต่างโปรแกรมไพธอน ขั้นตอนที่สาม เขียนคำสั่งการใช้งานโดยใช้ภาษาไพธอนเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหา และขั้นตอนสุดท้าย สั่งให้โปรแกรมแสดงผลข้อมูลโดยการกดปุ่ม F5 เป็นพิมพ์

ดังนั้น จากลักษณะเด่นของไพธอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น และจากลักษณะเด่นของภาษาไพธอนที่มีไลบรารีสนับสนุนด้านปัญญาประดิษฐ์และมีโครงสร้างข้อมูลที่สามารถใช้ได้ภาษาไพธอน คือ ลิสต์, ดิกชันนารี, และสตริง ที่ง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งยังไม่มีค่าใช้จ่ายในการนำมาใช้งาน ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและนำมาเขียนโปรแกรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้

ซึ่งในบทถัดไปจะกล่าวถึงการพัฒนาเงื่อนไขปัญหาท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง โดยนำเสนอลักษณะของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมา