



การเปรียบเทียบวิธีการประมาณเวลากิจกรรมในเทคนิคการประเมินค่าและควบคุม

โครงการ



ฉัตรวัฒน์ มະหา

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณเวลากิจกรรมในเทคนิคการประเมินค่าและควบคุม
โครงการ



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเปรียบเทียบวิธีการประมาณเวลากิจกรรมในเทคนิคการประเมินค่าและ
ควบคุมโครงการ"
ของ ณิชวัฒน์ มหะ
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัชฌา อระวีพร)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา บุญหล้า)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนามัย นาอุดม)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบวิธีการประมาณเวลากิจกรรมในเทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการ
ผู้วิจัย	ณัฏฐวัฒน์ มะหา
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา บุญหล้า
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสถิติ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564
คำสำคัญ	งานวิกฤต, เทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการ, เวลากิจกรรม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม ด้วยเทคนิคการประมาณ 7 วิธี ได้แก่ วิธีการประมาณด้วยเทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการ วิธีประมาณแบบปรกติ วิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล วิธีประมาณด้วยเทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการแบบปรับปรุง วิธีประมาณของ Ginzburg วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha และวิธีประมาณแบบไวบูล โดยเกณฑ์ในการเปรียบเทียบคือ ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม ซึ่งจำนวนงานวิกฤตที่ใช้ในการศึกษา คือ 5, 10, 20, ..., 90 และ 100 กิจกรรม และกำหนดค่าความเบ้ของข้อมูลมีการแจกแจงแบบเอกรูป (1,2), (2,4), (4,6) และ (6,8) ทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำ 1,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ ผลการศึกษา พบว่า วิธีประมาณด้วยเทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการแบบปรับปรุง เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลและสถานการณ์ที่ได้ ทำการศึกษามากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการประมาณค่าอื่น ๆ และค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมที่ได้จะลดลงเมื่อจำนวนงานวิกฤตเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเบ้ของข้อมูลเพิ่มขึ้น

Title	A COMPARISON OF ACTIVITY TIME ESTIMATES METHODS IN PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE
Author	NANTHAWAT MAHA
Advisor	Assistant Professor Kanlaya Boonlha, Ph.D.
Academic Paper	M.S. Thesis in Statistics - (Type A 2), Naresuan University, 2021
Keywords	Critical Activity, PERT, Activity time

ABSTRACT

The objective of this research was to study and compare methods for estimating the mean and variance of activity time with 7 approximation techniques, including the program evaluation and review technique approximation method, Normal approximation method, Lognormal approximation method, the modified program evaluation and review technique approximation method, Ginzburg's approximation method, Ravi & Sireesha's approximation method and Weibull approximation method. The criterion for comparison is the percentage error of estimating mean and variance of activity time. The number of critical activity used in the study were 5, 10, 20, ..., 90, and 100 activities, and the skewness values were determined with a uniform distribution (1,2), (2,4), (4,6), (6,8) and repeated for each situation 1,000 times. The results of this research showed that the modified program evaluation and review technique approximation method is the most appropriate for the data and situation studied. the modified program evaluation and review technique approximation method's percentage error of estimating mean and variance of activity time decreases as the number of critical activity increases but it will increase as the skewness of the data increases.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา บุญหล้า เป็นอย่างสูงที่คอยให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ตลอดจนได้สละเวลาเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และชี้แนะแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัชฌา อระวีพร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์/ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ รองศาสตราจารย์ ดร.อนามัย นาอุดม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาและกรุณาให้คำแนะนำแก้ไขส่วนที่บกพร่องของงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อทองสุข มะหา คุณแม่เตือนใจ มะหา และคุณปาริตา ชุ่มเพ็งพันธุ์ ที่เป็นกำลังใจและแรงผลักดันเสมอมา รวมถึงเพื่อนร่วมรุ่นและรุ่นพี่ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฏวัฒน์ มะหา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศคุุณุปการ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.5 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 เทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการ (Program evaluation and review technique : PERT).....	6
2.1.2 วิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุง (Modified PERT approximation).....	9
2.1.3 วิธีประมาณแบบปกติ (Normal approximation).....	11

2.1.4	วิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (Lognormal approximation)	13
2.1.5	วิธีการประมาณแบบไวบูล (Weibull approximation)	15
2.1.6	วิธีการประมาณของ Ginzburg (Ginzburg's approximation)	18
2.1.9	วิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha (Ravi and Sireesha's approximation)	20
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย	24
3.1	ขั้นตอนการวิจัย	24
3.2	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	29
3.3	การประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง	30
3.3.1	ข้อมูลชุดที่ 1 ข้อมูลโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ	30
3.3.2	ข้อมูลชุดที่ 2 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	31
3.3.3	ข้อมูลชุดที่ 3 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง	32
บทที่ 4	ผลการวิจัย	34
4.1	ผลการประมาณค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมของแต่ละวิธีการประมาณค่า	35
4.2	ผลการประมาณความแปรปรวนเวลากิจกรรมของแต่ละวิธีการประมาณค่า	43
4.3	การประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลจริง	55
4.3.1	ข้อมูลโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ	55
4.3.2	ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	58
4.3.3	ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง	60
บทที่ 5	บทสรุป	63

5.1 สรุปผลการวิจัย.....	63
5.2 อภิปรายผล.....	66
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	75
ประวัติผู้วิจัย.....	79



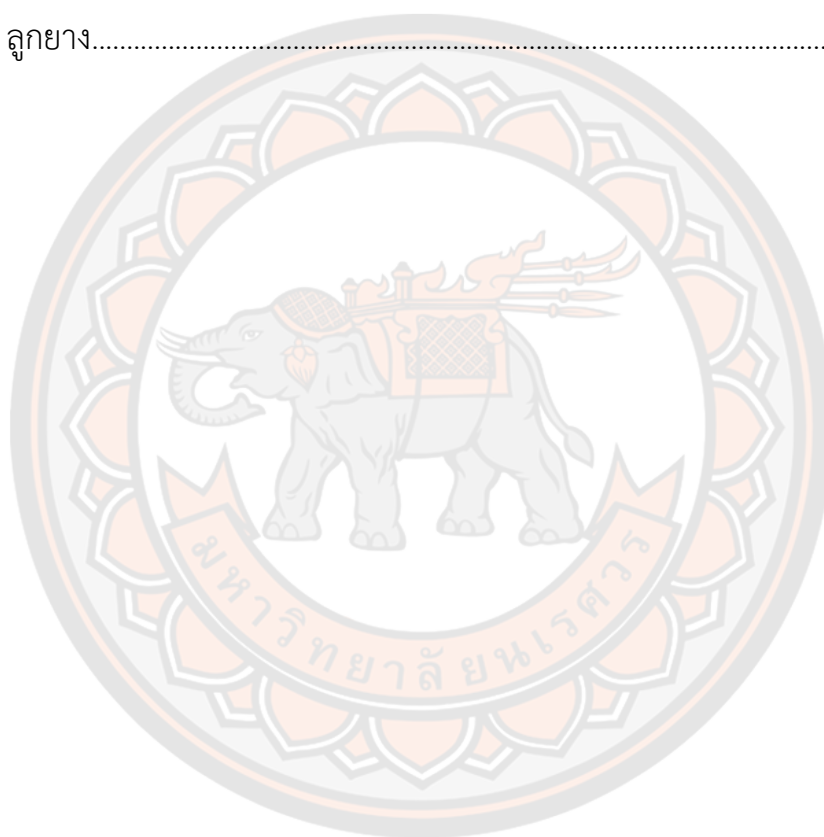
สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ข้อมูลเวลากิจกรรมของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ	30
ตาราง 2 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	31
ตาราง 3 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง.....	33
ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$...	35
ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$..	37
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$..	39
ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$..	41
ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$	43
ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$	46
ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$	49
ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$	52
ตาราง 12 ข้อมูลเวลากิจกรรมของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ	55
ตาราง 13 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเวลากิจกรรม โดยวิธีการประมาณต่าง ๆ เทียบกับค่าจริงภายในโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ	57
ตาราง 14 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	58

ตาราง 15 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเวลากิจกรรม โดย
 วิธีการประมาณวิธีต่าง ๆ เทียบกับค่าจริงภายในโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของ
 โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์.....59

ตาราง 16 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง60

ตาราง 17 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเวลากิจกรรม โดย
 วิธีการประมาณวิธีต่าง ๆ เทียบกับค่าจริงภายในโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือก
 ชนิด 6 ลูกยาง.....62



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ฝั่งงานของการทำงานโปรแกรม.....	29
ภาพ 2 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$	36
ภาพ 3 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$	38
ภาพ 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$	40
ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$	42
ภาพ 6 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$	45
ภาพ 7 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$	48
ภาพ 8 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$	51
ภาพ 9 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$	54
ภาพ 10 ข่ายงานและเส้นทางวิกฤตของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ	56
ภาพ 11 ข่ายงานและเส้นทางวิกฤตของโครงการก่อสร้างห้องสะอาด ของโรงงานผลิต ชิ้นส่วนยานยนต์.....	59
ภาพ 12 ข่ายงานและเส้นทางวิกฤตของโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูก ยาง	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันการบริหารโครงการให้มีประสิทธิภาพจัดเป็นเรื่องสำคัญ โดยเฉพาะโครงการที่มีขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วยงานย่อยหรือกิจกรรมต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยงานย่อยแต่ละงานต้องใช้ทรัพยากร เช่น เวลา เงินทุน วัสดุดิบ แรงงาน ฯลฯ และมีความยากง่ายแตกต่างกัน การบริหารโครงการจำเป็นต้องมีการวางแผนหรือกำหนดขั้นตอนและเวลาในการปฏิบัติงานย่อยแต่ละงาน ซึ่งบางงานอาจจะต้องการเรียงลำดับการดำเนินการ เช่น ต้องทำงาน A เสร็จก่อนจึงจะสามารถเริ่มต้นปฏิบัติงาน B ได้ ในขณะที่เดียวกันก็อาจมีงานที่สามารถดำเนินงานไปได้พร้อม ๆ กัน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2553) ดังนั้นการดำเนินงานโครงการใด ๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปนั้น จึงจำเป็นต้องมีการบริหารงานที่ดี สามารถแก้ไขปัญหาของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับโครงการขนาดเล็กอาจจะทำการบริหารงานโครงการโดยอาศัยความจำและประสบการณ์ของผู้บริหารก็สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้ลุล่วงไปได้ แต่สำหรับโครงการขนาดใหญ่แล้ว ประสบการณ์และความจำของผู้บริหารเพียงอย่างเดียวสามารถแก้ไขปัญหาได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้เพราะการดำเนินงานโครงการใหญ่ ๆ จำเป็นต้องใช้คนเป็นจำนวนมากในการปฏิบัติงาน ถ้าหากผู้บริหารงานไม่สามารถแสดงให้เห็นให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทราบถึงแผนงานและการควบคุมอย่างชัดเจนแล้วก็จะทำให้ผู้ปฏิบัติที่รับแผนการดำเนินงาน ปฏิบัติผิดไปจากความตั้งใจของผู้บริหาร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น จะทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมงานและแก้ไขได้ไม่ทันเวลา ดังนั้นหัวใจของการบริหารงานที่มีประสิทธิภาพ นอกจากจะประกอบด้วยประสบการณ์ของผู้บริหารแล้ว ยังต้องประกอบด้วยเครื่องมือที่ดีที่จะช่วยให้ผู้บริหารสามารถวางแผนและควบคุมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รัตกุม ครอบรอบทุกขั้นตอน มองเห็นภาพการดำเนินงานได้อย่างชัดเจน (พิภพ สถิตาภรณ์, 2541) ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการบริหารโครงการมีหลายเทคนิค โดยเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) ระเบียบวิธีวิฤต (Critical path method : CPM) และเทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการ (Program evaluation and review technique : PERT) สำหรับโครงการขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยกิจกรรมจำนวนมากควรที่จะใช้เทคนิค CPM และเทคนิค PERT ในการนำมาช่วยบริหารโครงการ ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจในเทคนิค PERT เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงวิธีการวางแผนและการดำเนินงานของโครงการวิจัยใหม่ ๆ ซึ่งผู้วางแผนไม่เคยมีประสบการณ์ในงานนั้นมาก่อนและระหว่างการปฏิบัติงานมักจะมีการเปลี่ยนแปลงในรายละเอียดของงานบ่อยครั้งและจุดประสงค์ของ เทคนิค PERT อีกประการหนึ่งคือต้องการเน้นความสำคัญที่

เหตุการณ์ไม่ใช้ที่งาน และงานแต่ละงานจะมีเวลาที่ใช้ไม่แน่นอน และต้องอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นในการคำนวณเวลาด้วย สำหรับการประมาณเวลาของแต่ละงานจะต้องใช้ทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมกับข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับข้อมูล คือ การแจกแจงบีตา (Beta distribution) ซึ่งการประมาณเวลาการทำงานของแต่ละงานประกอบด้วยข้อมูลเวลา 3 ค่า คือ ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้เร็วที่สุด (Optimistic time : a) ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้ช้าที่สุด (Pessimistic time : b) และระยะเวลาที่สามารถทำงานเสร็จได้โดยส่วนมาก (Most likely time : m) ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของโครงการได้จากการนำค่าประมาณข้อมูลเวลาทั้ง 3 ค่า

จากการศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่าและความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรมภายในโครงการ มีการศึกษาในงานวิจัยของ Premachandra (2001) Shankar (2009) โดยเป็นการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณของ Farnum วิธีการประมาณของ Ginzburg วิธีการประมาณแบบ PERT วิธีการประมาณของ Premachandra วิธีประมาณแบบปรกติ (a, m) วิธีประมาณแบบปรกติ (b, m) วิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล (a, m) และวิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล (b, m) โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในการพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละวิธี ซึ่งการประยุกต์ใช้การประมาณค่าเวลาและความแปรปรวนภายในโครงการถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น McCombs et al. (2009) ได้นำเสนอสูตรในการประมาณค่าของเวลาโดยใช้การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution) เป็นพื้นฐานและทำการทดสอบโดยการใช้ข้อมูลจริงที่เป็นข้อมูลเวลาการเดินทางของรถบรรทุกจากงานวิจัยของ Fente (2000) และ Shankar (2011) ได้นำมาประยุกต์ใช้กับโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือของประเทศอังกฤษ รวมถึงในงานวิจัยของ Mohan et al. (2007) ได้มีการนำเสนอวิธีการประมาณค่าที่นำมาใช้กับข้อมูลที่มีลักษณะเบ้ขวาอีกด้วย ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่า วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมหลายวิธีการประมาณที่ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงอยู่มาก ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้จะส่งผลต่อการหากิจกรรมวิกฤตของโครงการ ทำให้การบริหารจัดการโครงการนั้นเกิดข้อผิดพลาดและมีระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจในศึกษาและเปรียบเทียบเทคนิคการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพื่อหาวิธีที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยวิธีการประมาณที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบ ได้แก่ เทคนิคการประมาณแบบ PERT วิธีประมาณแบบปรกติ วิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล วิธีประมาณ PERT แบบปรับปรุง วิธีประมาณของ Ginzburg วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha และวิธีประมาณแบบไวบูล ภายใต้สถานการณ์ที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม

1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมในโครงการ ด้วยเทคนิคการประมาณ 7 วิธี ได้แก่ วิธีการประมาณแบบ PERT วิธีประมาณแบบปรกติ วิธีประมาณแบบลิกนอร์มัล วิธีประมาณ PERT แบบปรับปรุง วิธีประมาณของ Ginzburg วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha และวิธีประมาณแบบไวบูล

2. เพื่อเปรียบเทียบการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมในโครงการของแต่ละวิธีการประมาณ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตของงานวิจัย ไว้ดังนี้

- กำหนดจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) เท่ากับ 5, 10, 20, ..., 80, 90, 100
- สำหรับงานแต่ละงาน กำหนดให้
 - a แทน ขอบเขตล่างของเวลาที่เป็นไปได้ มีการแจกแจงเอกรูป (1,4)
 - b แทน ขอบเขตบนของเวลาที่เป็นไปได้ มีการแจกแจงเอกรูป (8,12)
 - α แทน พารามิเตอร์ที่แสดงรูปร่างของการแจกแจงปีตา มีการแจกแจงเอกรูป (1,5)
 - k แทน พารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของ m มีการแจกแจงเอกรูป (1,2), (2,4), (4,6), (6,8)
- กำหนดการจำลองสถานการณ์ทำการทดลองซ้ำ 1,000 ครั้ง
- การเปรียบเทียบของแต่ละเทคนิคการประมาณค่า โดยจะทำการเปรียบเทียบกับค่าจริง

โดยใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อน จากสูตร

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลาในการทำกิจกรรม

$$\sum_{i=1}^L \frac{|\hat{\mu}_i - \mu_i|}{\mu_i} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $\hat{\mu}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำกิจกรรมที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิคต่าง ๆ

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำกิจกรรม

L คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนเวลาในการทำกิจกรรม

$$\sum_{i=1}^L \frac{|\hat{\sigma}_i^2 - \sigma_i^2|}{\sigma_i^2} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ σ_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรมที่ได้จากการ
ประมาณด้วยเทคนิคต่าง ๆ

σ_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรม

L คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

กิจกรรม งานย่อย ๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงการซึ่งต้องใช้ทรัพยากร เช่น เวลา วัสดุ ติบ
คนงาน ฯลฯ

โครงการ กลุ่มของงานหรือกิจกรรมย่อย ๆ ที่มีการเริ่มต้นและสิ้นสุดตลอดจนมีขั้นตอนการ
ทำงานที่แน่นอน

กิจกรรมวิกฤต เป็นกิจกรรมที่ไม่สามารถเลื่อนเวลาในการปฏิบัติกิจกรรมได้ เพราะถ้าเลื่อน
จะทำให้โครงการเสร็จช้ากว่ากำหนด

เส้นทางวิกฤต เส้นทางที่เชื่อมต่อกิจกรรมวิกฤตเข้าด้วยกันตั้งแต่จุดเริ่มต้นโครงการไปยัง
สิ้นสุดโครงการ

ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้เร็วที่สุด เป็นช่วงเวลากิจกรรมที่สามารถทำงานได้
แล้วเสร็จเร็วที่สุด ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย a

ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้ช้าที่สุด เป็นช่วงเวลากิจกรรมที่สามารถทำงานได้
แล้วเสร็จช้าที่สุด ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย b

ระยะเวลาที่สามารถทำงานเสร็จได้โดยส่วนมาก เป็นช่วงเวลากิจกรรมที่สามารถทำงาน
เสร็จได้โดยส่วนมากใช้สัญลักษณ์แทนด้วย m ซึ่งค่า m นี้จะอยู่ระหว่างค่า a และ b

1.5 สมมติฐานของการวิจัย

วิธีการประมาณของ PERT แบบปรับปรุงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าเฉลี่ย
เวลาและความแปรปรวน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาเทคนิคที่เหมาะสมในการประมาณค่าเวลาเฉลี่ยและความ
แปรปรวนของข้อมูลที่มีลักษณะตามกรณีศึกษา
2. เพื่อใช้ในการเส้นทางวิกฤตของโครงการและป้องกันการเกิดความล่าช้าของโครงการซึ่งทำ
ให้โครงการเสร็จตามเวลาแล้วเสร็จที่กำหนดของแต่ละโครงการ

3. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการประมาณค่าเวลาเฉลี่ยและความแปรปรวนในเทคนิคการประมาณหรือข้อมูลในลักษณะอื่น ๆ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบเทคนิคการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมในโครงการในกรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เทคนิคการประเมินค่าและควบคุมโครงการ (Program evaluation and review technique : PERT)

เป็นเทคนิคเชิงปริมาณด้านการวิเคราะห์ข่ายงาน (Network analysis) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวางแผนและควบคุมงานที่มีลักษณะเป็นงานโครงการ กล่าวคือ เป็นงานที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่แน่นอน และสามารถกระจายเป็นงานย่อยซึ่งมีความสัมพันธ์กันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยงานย่อย ๆ จำนวนมาก มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ซับซ้อน ใช้คนงาน เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ ตลอดจนเงินทุนสูง การทำโครงการให้สำเร็จ ลุล่วงตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพนั้นเป็นภาระที่ยุ่งยากไม่น้อย เนื่องจากข้อบกพร่องเพียงเล็กน้อยอาจกระทบกระเทือนผลสำเร็จของโครงการได้ (สุทธิมา ชำนาญเวช, 2552) ดังนั้น การนำเทคนิค PERT มาช่วยในการวางแผนโครงการ ควบคุมโครงการ และบริหารโครงการ เพื่อให้เสร็จลุล่วงภายในระยะเวลาตามข้อจำกัดที่มีของโครงการ

เทคนิค PERT ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี พ.ศ. 2501 โดยความร่วมมือของเจ้าหน้าที่โครงการพิเศษจากกองทัพเรือสหรัฐและบริษัท Lockheed และบริษัท Booz-Allen and Hemiltion เพื่อใช้ในการวางแผนโครงการผลิตขีปนาวุธของกองทัพเรือสหรัฐ ซึ่งส่วนมากรู้จักในนามของโครงการ Polaris project โดยเทคนิค PERT มุ่งที่จะขจัดความขัดแย้งและความล่าช้าของโครงการให้น้อยลง และเร่งรัดการดำเนินงานโครงการให้เสร็จเร็วขึ้น นอกจากนั้นยังใช้ในการประเมินและตรวจสอบแผนงาน และการคาดการณ์ถึงปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับโครงการในอนาคต ทำให้เราสามารถเตรียมการแก้ไขปัญหาเอาไว้ล่วงหน้าได้ทันการณ์จากการใช้เทคนิค PERT ในโครงการ Polaris ทำให้การดำเนินงานของโครงการเสร็จก่อนเป้าหมายที่วางไว้ถึง 18 เดือน

สำหรับเทคนิค PERT ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการปรับปรุงวิธีการวางแผนและการดำเนินงานของโครงการวิจัยใหม่ ๆ ซึ่งผู้วางแผนไม่เคยมีประสบการณ์ในงานนั้นมาก่อน และระหว่างการปฏิบัติงานมักจะมีการเปลี่ยนแปลงในรายละเอียดของงานบ่อย ๆ และจุดประสงค์ของ PERT

อีกประการหนึ่งคือต้องการเน้นความสำคัญที่เหตุการณ์ไม่ใช้ที่งาน และงานแต่ละงานจะมีเวลาที่ใช้ไม่แน่นอนคือมีการประมาณเวลาถึง 3 ค่า และต้องอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นในการคำนวณเวลาด้วย ทั้งนี้เพราะส่วนใหญ่เทคนิค PERT ใช้ในการวางแผนโครงการใหม่ที่ไม่เคยทำมาก่อน โดยเทคนิค PERT มีฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็น คือ

$$f_x(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \frac{(x-a)^{\alpha-1} (b-x)^{\beta-1}}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}} \quad (3)$$

โดยที่ $a < x < b$, $\alpha, \beta > 0$

จากการแจกแจงแบบ PERT สามารถเขียนสมการของ ฐานนิยม ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน ดังนี้

ฐานนิยม

$$m = \left(\frac{\alpha-1}{\alpha+\beta-2} \right) b + \left(\frac{\beta-1}{\alpha+\beta-2} \right) a \quad (4)$$

ค่าเฉลี่ย

$$\mu = \left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta} \right) b + \left(\frac{\beta}{\alpha+\beta} \right) a \quad (5)$$

ความแปรปรวน

$$\sigma^2 = \frac{\alpha\beta(b-a)^2}{(\alpha+\beta+1)(\alpha+\beta)^2} \quad (6)$$

พิจารณาจากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ถ้า $m > \frac{a+b}{2}$ จะได้ว่า

$$\alpha = 3 + \sqrt{2} \quad \text{และ} \quad \beta = 3 - \sqrt{2} \quad (7)$$

ถ้า $m < \frac{a+b}{2}$ จะได้ว่า

$$\beta = 3 + \sqrt{2} \quad \text{และ} \quad \alpha = 3 - \sqrt{2} \quad (8)$$

ดังนั้น

$$\alpha + \beta = (3 + \sqrt{2}) + (3 - \sqrt{2}) = 6 \quad (9)$$

แทนค่าของ α, β และ $\alpha + \beta$ ในสมการ (7), (8) และ (9) ในสมการ (4) และ (5) จะได้

$$m = \left(\frac{3 + \sqrt{2} - 1}{6 - 2} \right) b + \left(\frac{3 - \sqrt{2} - 1}{6 - 2} \right) a$$

$$m = \left(\frac{3+\sqrt{2}-1}{6-2} \right) b + \left(\frac{3-\sqrt{2}-1}{6-2} \right) a$$

$$4m = 2b + \sqrt{2}b + 2a - \sqrt{2}a \quad (10)$$

และ

$$\begin{aligned} \mu &= \left(\frac{3+\sqrt{2}}{6} \right) b + \left(\frac{3-\sqrt{2}}{6} \right) a \\ &= \frac{3b + \sqrt{2}b + 3a - \sqrt{2}a}{6} \\ &= \frac{2b + b + \sqrt{2}b + 2a + a - \sqrt{2}a}{6} \\ &= \frac{a + (2b + \sqrt{2}b + 2a - \sqrt{2}a) + b}{6} \end{aligned} \quad (11)$$

แทนค่าของสมการ (10) ลงในสมการ (11) จะได้

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (12)$$

พิจารณา $\alpha\beta$ และ $\alpha + \beta + 1$ จะได้

$$\alpha\beta = (3+\sqrt{2})(3-\sqrt{2}) = 9-2 = 7 \quad (13)$$

และ

$$\alpha + \beta + 1 = (3-\sqrt{2}) + (3+\sqrt{2}) + 1 = 7 \quad (14)$$

ดังนั้น

$$\alpha\beta = \alpha + \beta + 1 \quad (15)$$

แทนค่าสมการ (9) และ (15) ลงในสมการ (6) จะได้

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{6^2} \quad (16)$$

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของเทคนิค PERT เป็นดังนี้ (Malcolm et al., 1959)

$$\hat{\mu}_1 = \frac{a+4m+b}{6} \quad (17)$$

$$\hat{\sigma}_1^2 = \frac{(b-a)^2}{6^2} \quad (18)$$

2.1.2 วิธีประมาณ PERT แบบปรับปรุง (Modified PERT approximation)

ในปี ค.ศ. 2008 David Vose นักสถิติเจ้าของ Vose Software ได้นำเสนอเทคนิค PERT แบบปรับปรุงซึ่งได้รับการยอมรับอย่างมาก เนื่องจากมีความยืดหยุ่นมากกว่าเทคนิค PERT และฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบ PERT แบบปรับปรุง (Vose, 2008) คือ

$$f_x(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \frac{(x - \min)^{\alpha-1} (\max - x)^{\beta-1}}{(\max - \min)^{\alpha+\beta-1}} \quad (19)$$

โดยที่

$$\alpha = 1 + \gamma \left(\frac{\text{mode} - \min}{\max - \min} \right) \text{ และ } \beta = 1 + \gamma \left(\frac{\max - \text{mode}}{\max - \min} \right)$$

และ γ คือ พารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของ PERT แบบปรับปรุง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

$$\mu = \frac{\min + \gamma(\text{mode}) + \max}{\gamma + 2} \quad (20)$$

และความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma^2 = \frac{(\mu - \min)(\max - \mu)}{\gamma + 3} \quad (21)$$

จากสูตรการประมาณของของ PERT แบบปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าประมาณเวลาทั้ง 3 ค่า จะได้ว่า

\min คือ ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้เร็วที่สุด แทนด้วย a

mode คือ ระยะเวลาที่สามารถทำงานเสร็จได้โดยส่วนมาก แทนด้วย m

\max คือ ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้ช้าที่สุด แทนด้วย b

จากสมการ (17) จะได้ฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบ PERT แบบปรับปรุง คือ

$$f_x(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \frac{(x - a)^{\alpha-1} (b - x)^{\beta-1}}{(b - a)^{\alpha+\beta-1}} \quad (22)$$

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของ PERT แบบปรับปรุง (γ) จะใช้วิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดในการหาตัวประมาณพารามิเตอร์ ซึ่งจากสมการ (22) ฟังก์ชันภาวน่าจะเป็นมีรูปแบบ ดังนี้

$$l(\alpha, \beta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha, \beta)$$

$$\begin{aligned}
&= \prod_{i=1}^n \left(\left(\frac{1}{B(\alpha, \beta)} \right) \frac{(x_i - a)^{\alpha-1} (b - x_i)^{\beta-1}}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}} \right) \\
&= \prod_{i=1}^n \left(\left(\frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \right) \frac{(x_i - a)^{\alpha-1} (b - x_i)^{\beta-1}}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}} \right) \\
&= \left(\frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \right)^n \left(\frac{1}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}} \right)^n \prod_{i=1}^n \left((x_i - a)^{\alpha-1} (b - x_i)^{\beta-1} \right) \quad (23)
\end{aligned}$$

จากสมการ (23) จะได้ฟังก์ชันลึอกภาวน่าจะเป็นมีรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{aligned}
L(\alpha, \beta) &= \ln(l(\alpha, \beta)) \\
&= n \ln \left(\frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \right) + n \ln \left(\frac{1}{(b-a)^{\alpha+\beta-1}} \right) + \ln \left(\prod_{i=1}^n \left((x_i - a)^{\alpha-1} \right) \right) \\
&\quad + \ln \left(\prod_{i=1}^n \left((b - x_i)^{\beta-1} \right) \right) \\
&= n \ln(\Gamma(\alpha + \beta)) - n \ln(\Gamma(\alpha)) - n \ln(\Gamma(\beta)) - (\alpha + \beta)n \ln(b-a) \\
&\quad + n \ln(b-a) + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i - a) + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \ln(b - x_i) \quad (24)
\end{aligned}$$

คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสมการ (24) เทียบกับ α จะได้

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} L(\alpha, \beta) = n \left(\frac{\Gamma'(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)} \right) - n \left(\frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \right) - n \ln(b-a) + \sum_{i=1}^n \ln(x_i - a) \quad (25)$$

คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสมการ (21) เทียบกับ β จะได้

$$\frac{\partial}{\partial \beta} L(\alpha, \beta) = n \left(\frac{\Gamma'(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)} \right) - n \left(\frac{\Gamma'(\beta)}{\Gamma(\beta)} \right) - n \ln(b-a) + \sum_{i=1}^n \ln(b - x_i) \quad (26)$$

กำหนดให้สมการ (25) และ (26) เท่ากับ 0 จะได้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \alpha} L(\alpha, \beta) &= 0 \\
n \left(\frac{\Gamma'(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)} \right) - n \left(\frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \right) - n \ln(b-a) + \sum_{i=1}^n \ln(x_i - a) &= 0 \quad (27)
\end{aligned}$$

และ

$$\frac{\partial}{\partial \beta} L(\alpha, \beta) = 0$$

$$n \left(\frac{\Gamma'(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)} \right) - n \left(\frac{\Gamma'(\beta)}{\Gamma(\beta)} \right) - n \ln(b - a) + \sum_{i=1}^n \ln(b - x_i) = 0 \quad (28)$$

จะเห็นว่าตัวประมาณของพารามิเตอร์ α และ β ที่ประมาณด้วยวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดนั้น ไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสูตรปิดได้จึงต้องหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันลือกภาวน่าจะเป็นจากค่าต่ำสุดของลบฟังก์ชันลือกภาวน่าจะเป็นแทน คำนวณโดยใช้วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน (Owen, 2008)

จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของ PERT แบบปรับปรุง (γ) โดยการแทนค่าพารามิเตอร์ α และ β ที่ได้จากการประมาณลงในสูตร ดังนี้ (Vose, 2008)

$$\alpha = 1 + \gamma \left(\frac{m - a}{b - a} \right) \quad \text{และ} \quad \beta = 1 + \gamma \left(\frac{b - m}{b - a} \right)$$

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของเทคนิคการประเมินแบบ PERT แบบปรับปรุงเป็นดังนี้

$$\hat{\mu}_2 = \frac{a + \gamma(m) + b}{\gamma + 2} \quad (29)$$

$$\hat{\sigma}_2^2 = \frac{(\hat{\mu}_2 - a)(b - \hat{\mu}_2)}{\gamma + 3} \quad (30)$$

2.1.3 วิธีประมาณแบบปกติ (Normal approximation)

การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการแจกแจงแบบเกาส์หรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution) โดย Karl Pearson เป็นคนแรกที่วิเคราะห์การแจกแจงแบบนี้ในปี ค.ศ. 1893 ซึ่งเป็นการแจกแจงความถี่ของค่าที่วัดเป็นปกติในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทางสถิติกับข้อมูลชนิดต่อเนื่องซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง +3 โดยไม่สามารถกำหนดได้ว่ามีค่าแน่นอนเท่าใด ซึ่งอาจจะมีค่าหลายค่าที่อยู่ในช่วงดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแจกแจงเพื่อให้ทราบค่าทั้งหมดซึ่งการแจกแจงปกติมักจะพบในเรื่องต่าง ๆ ได้แก่ ผลคะแนนรายได้ ความสูง น้ำหนัก อายุ และช่วงเวลา เป็นต้น เนื่องจากข้อมูลของสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวนี้นั้นส่วนใหญ่จะมีค่าเฉลี่ยอยู่กลาง ๆ โดยมีจำนวนไม่มากที่มีค่าสูงหรือมีค่าต่ำกว่าค่ากลาง เมื่อนำค่าทั้งหมดเขียนลงกราฟจะได้จุดสูงสุดอยู่ตรงกลางของกราฟ โดยมีเส้นโค้งทั้งสองข้างลาดลงคล้ายกับรูประฆังคว่ำซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งปกติที่เกิดจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548)

ฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ คือ

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad (31)$$

โดยที่ $-\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma^2 > 0$

ซึ่งมีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ μ และ ความแปรปรวน (Variance) เท่ากับ σ^2

เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อนำค่าเฉลี่ยของการแจกแจงปกตินี้เทียบกับการประมาณค่าของเวลาในการทำงานของโครงการ จะได้ว่า $\mu = m$

จากการแปลงข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน จะได้ว่า

$$z^* = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (32)$$

และเมื่อเทียบกับเวลาในการประมาณทั้ง 3 ค่า จะได้ว่า

$$z^* = \frac{b - m}{\sigma} \quad (33)$$

และ

$$z^* = \frac{m - a}{\sigma} \quad (34)$$

ปรับรูปแบบของสมการ จะได้ว่า

$$\sigma = \frac{b - m}{z^*} \quad (35)$$

และ

$$\sigma = \frac{m - a}{z^*} \quad (36)$$

โดยที่ $z^* = 3.44$

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของวิธีการประมาณแบบปกติ โดยใช้การประมาณเวลาทั้ง 2 ค่า คือ (Cottrell, 1999)

ใช้ค่าประมาณเวลา a และ m โดยที่ $z^* = 3.44$

$$\hat{\mu}_3 = m \quad (37)$$

$$\hat{\sigma}_3^2 = \left(\frac{m - a}{z^*} \right)^2 \quad (38)$$

ใช้ค่าประมาณเวลา b และ m โดยที่ $z^* = 3.44$

$$\hat{\mu}_4 = m \quad (39)$$

$$\hat{\sigma}_4^2 = \left(\frac{b-m}{z^*} \right)^2 \quad (40)$$

2.1.4 วิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (Lognormal approximation)

ในปี ค.ศ.1941 Finney ได้นำเสนอการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่ล็อกการิธีมีการแจกแจงปกติ นั่นคือถ้า $\ln X$ มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 แล้วตัวแปรสุ่ม X จะมีการแจกแจงล็อกนอร์มัล (Lognormal distribution) ที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ^2 ซึ่งมีฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงล็อกนอร์มัล คือ

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln(x)-\mu)^2} \quad (41)$$

โดยที่ $x > 0$

ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ

$$\mu = e^{\left(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2\right)} \quad (42)$$

และความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma^2 = e^{2(\mu+\sigma^2)} - e^{2\mu+\sigma^2} \quad (43)$$

ในการหาค่าฐานนิยม (Mode) สามารถหาได้โดยการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงล็อกนอร์มัล จะได้ว่า

$$\log(m) = \mu - \sigma^2 \quad (44)$$

$$\log(a) = \mu - z\sigma \quad (45)$$

จัดรูปแบบของสมการ

$$\mu = \log(a) + z\sigma \quad (46)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\mu = \log(a) - z\sigma \quad (47)$$

พิจารณาสมการ (45) – (44) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \log(a) - \log(m) &= -z\sigma + \sigma^2 \\ \log\left(\frac{a}{m}\right) &= -\frac{z^2}{4} + \frac{z^2}{4} - z\sigma + \sigma^2 \\ \frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right) &= \left(\frac{z}{2}\right)^2 - \frac{2z}{2}\sigma + \sigma^2 \\ \frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right) &= \left(\frac{z}{2} - \sigma\right)^2 \\ \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right)\right]^{\frac{1}{2}} &= \frac{z}{2} - \sigma \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{z}{2} - \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \\ \sigma^2 &= \left(\frac{z}{2} - \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right)\right]^{\frac{1}{2}}\right)^2 \end{aligned} \quad (48)$$

ในทำนองเดียวกันพิจารณา (47) – (44) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \log(b) - \log(m) &= z\sigma + \sigma^2 \\ \log\left(\frac{b}{m}\right) &= -\frac{z^2}{4} + \frac{z^2}{4} + z\sigma + \sigma^2 \\ \frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right) &= \left(\frac{z}{2}\right)^2 + \frac{2z}{2}\sigma + \sigma^2 \\ \frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right) &= \left(\frac{z}{2} + \sigma\right)^2 \\ \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right)\right]^{\frac{1}{2}} &= \frac{z}{2} + \sigma \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\sigma = -\frac{z}{2} - \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma^2 = \left(-\frac{z}{2} + \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right)^2 \quad (49)$$

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล เป็นดังนี้ (Mohan et al., 2007)

ใช้ค่าประมาณเวลา a และ m โดยที่ $z=3$

$$\hat{\mu}_5 = \log(a) + z\hat{\sigma}_5 \quad (50)$$

$$\hat{\sigma}_5^2 = \left(\frac{z}{2} - \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right)^2 \quad (51)$$

ใช้ค่าประมาณเวลา b และ m โดยที่ $z=3$

$$\hat{\mu}_6 = \log(b) - z\hat{\sigma}_6 \quad (52)$$

$$\hat{\sigma}_6^2 = \left(-\frac{z}{2} + \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right)^2 \quad (53)$$

2.1.5 วิธีการประมาณแบบไวบูล (Weibull approximation)

การแจกแจงไวบูลเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องโดย Fréchet เป็นคนแรกที่ระบุเกี่ยวกับการแจกแจงนี้ในปี ค.ศ.1927 ต่อมาในปี ค.ศ.1933 การแจกแจงนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดย Rosin และ Rammler และได้รับชื่อหลังจาก Waloddi Weibull ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับการแจกแจงนี้ในปี ค.ศ.1951 ซึ่งได้รับความนิยมมากเนื่องจากรูปแบบการแจกแจงมีความยืดหยุ่นและเรียบง่าย การแจกแจงไวบูลจึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง โดยที่

θ^* เป็นพารามิเตอร์กำหนดขนาด (Scale parameter)

β^* เป็นพารามิเตอร์กำหนดรูปร่าง (Shape parameter)

ฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงไวบูล คือ

$$f_x(x) = \left(\frac{\beta^*}{\theta^*}\right) \left(\frac{x}{\theta^*}\right)^{\beta^*-1} \left(e^{-\left(\frac{x}{\theta^*}\right)^{\beta^*}}\right) \quad (54)$$

โดยที่ $x \geq 0, \theta^* > 0$ และ $\beta^* > 0$

ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ

$$\mu = x_0 + \theta^* \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta^*}\right) \quad (55)$$

ความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma^2 = \theta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta^*}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta^*}\right)\right)^2 \right] \quad (56)$$

ฐานนิยม เท่ากับ

$$m = \theta^* \left(1 - \frac{1}{\beta^*}\right)^{1/\beta^*} \quad (57)$$

สำหรับ $\beta^* > 1$

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ขนาด (θ^*) และพารามิเตอร์รูปร่าง (β^*) จะคำนวณจากค่าประมาณเวลาทั้ง 3 ค่า โดยใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดในการหาตัวประมาณพารามิเตอร์ ซึ่งจากสมการ (54) ฟังก์ชันภาวะความน่าจะเป็นมีรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{aligned} l(\theta^*, \beta^*) &= \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta^*, \beta^*) \\ &= \prod_{i=1}^n \left(\left(\frac{\beta^*}{\theta^*}\right) \left(\frac{x_i}{\theta^*}\right)^{\beta^*-1} e^{-\left(\frac{x_i}{\theta^*}\right)^{\beta^*}} \right) \end{aligned} \quad (58)$$

จากสมการ (57) จะได้ฟังก์ชันล็อกภาวะความน่าจะเป็นมีรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{aligned} L(\theta^*, \beta^*) &= \ln(l(\theta^*, \beta^*)) \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\ln(\beta^*) - \ln(\theta^*) + (\beta^* - 1) \left(\ln(x_i) - \ln(\theta^*) \right) - \left(\frac{x_i}{\theta^*}\right)^{\beta^*} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\ln(\beta^*) - \beta^* \ln(\theta^*) + (\beta^* - 1) \ln(x_i) - \left(\frac{x_i}{\theta^*}\right)^{\beta^*} \right) \end{aligned} \quad (59)$$

คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสมการ (59) เทียบกับ θ^* จะได้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \theta^*} L(\theta^*, \beta^*) &= \frac{\partial}{\partial \theta^*} \sum_{i=1}^n \left(\ln(\beta^*) - \beta^* \ln(\theta^*) + (\beta^* - 1) \ln(x_i) - \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \right) \\
&= \sum_{i=1}^n \left(0 - \frac{\beta^*}{\theta^*} + 0 - \beta^* \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^* - 1} \left(-\frac{x_i}{\theta^{*2}} \right) \right) \\
&= \sum_{i=1}^n \left(-\frac{\beta^*}{\theta^*} + \frac{\beta^*}{\theta^*} \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \right)
\end{aligned} \tag{60}$$

คำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสมการ (59) เทียบกับ β^* จะได้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \beta^*} L(\theta^*, \beta^*) &= \frac{\partial}{\partial \beta^*} \sum_{i=1}^n \left(\ln(\beta^*) - \beta^* \ln(\theta^*) + (\beta^* - 1) \ln(x_i) - \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \right) \\
&= \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\beta^*} - \ln(\theta^*) + \ln(x_i) - \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \ln \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right) \right)
\end{aligned} \tag{61}$$

กำหนดให้สมการ (60) และ (61) เท่ากับ 0 จะได้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \theta^*} L(\theta^*, \beta^*) &= 0 \\
\sum_{i=1}^n \left(-\frac{\beta^*}{\theta^*} + \frac{\beta^*}{\theta^*} \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \right) &= 0 \\
\frac{\beta^*}{\theta^*} \sum_{i=1}^n \left(-1 + \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \right) &= 0 \\
\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{\beta^*})}{(\theta^*)^{\beta^*}} &= n
\end{aligned}$$

$$\theta^* = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{\beta^*})}{n} \right)^{\frac{1}{\beta^*}} \tag{62}$$

และ

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \beta^*} L(\theta^*, \beta^*) &= 0 \\
\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\beta^*} - \ln(\theta^*) + \ln(x_i) - \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \ln \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right) \right) &= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{n}{\beta^*} - n \ln(\theta^*) + \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{x_i}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \ln \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right) \right) &= 0 \\ \frac{n}{\beta^*} - n \ln(\theta^*) + \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \left(\frac{1}{\theta^*} \right)^{\beta^*} \sum_{i=1}^n \left(x_i^{\beta^*} \ln \left(\frac{x_i}{\theta^*} \right) \right) &= 0 \end{aligned} \quad (63)$$

จะเห็นว่าตัวประมาณของพารามิเตอร์ θ^* และ β^* ที่ประมาณด้วยวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดนั้นไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสูตรปิดได้จึงต้องหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันล๊อกริภาวน่าจะเป็นจากค่าต่ำสุดของลบฟังก์ชันล๊อกริภาวน่าจะเป็นแทน คำนวณโดยใช้วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน (ดุสิต ชัยประสิทธิกุล, 2560)

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของวิธีการประมาณแบบไวบูล เป็นดังนี้ (McCombs et al., 2009)

$$\hat{\mu}_7 = a + \theta^* \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta^*} \right) \quad (64)$$

$$\hat{\sigma}_7^2 = \theta^{*2} \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta^*} \right) - \left(\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta^*} \right) \right)^2 \right] \quad (65)$$

2.1.6 วิธีการประมาณของ Ginzburg (Ginzburg's approximation)

ในปี ค.ศ. 1988 Ginzburg ได้มีการนำเสนอวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยของเวลาและความแปรปรวน โดยแสดงผ่านสมมติฐานของ PERT ซึ่งรูปแบบมาตรฐานของฟังก์ชันความหนาแน่นของ PERT คือ

$$f_x(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} (x)^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}; \alpha, \beta > 0, 0 < x < 1 \quad (66)$$

โดยที่ $x = \frac{y-a}{b-a}$ นั่นคือ $\mu_x = \frac{\mu_y - a}{b - a}$, $\sigma_x = \frac{\sigma_y - a}{b - a}$, $m_x = \frac{m_y - a}{b - a}$

และ α, β คือ พารามิเตอร์ของการแจกแจงบีตา

กำหนดให้ $\alpha - 1 = p$ และ $\beta - 1 = q$ ดังนั้นฟังก์ชันความหนาแน่นเขียนได้ ดังนี้

$$f_x(x) = \frac{\Gamma(p+q+2)}{\Gamma(p+1)\Gamma(q+1)} (x)^p (1-x)^q \quad (67)$$

โดยที่ $p, q > 1, 0 < x < 1$

ซึ่งค่าเฉลี่ย เท่ากับ

$$\mu_x = \frac{p+1}{p+q+2} \quad (68)$$

ค่าความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma^2 = \frac{(p+1)(q+1)}{(p+q+2)^2(p+q+3)} \quad (69)$$

และฐานนิยม เท่ากับ

$$m_x = \frac{p}{p+q} \quad (70)$$

กำหนดสมมติฐานจากความสัมพันธ์ของ $p+q$ คือ $p+q \cong Z$ โดยที่ Z แทน ค่าคงที่ จากสมการที่ (70) จะได้ว่า $p = Zm_x$ ซึ่งจะได้ว่าค่าเฉลี่ย เท่ากับ

$$\mu_x(m_x) = \frac{Zm_x}{Z+2} \quad (71)$$

และค่าความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma^2(m_x) = \frac{1+Z+Z^2m_x-(Zm_x)^2}{(Z+2)^2(Z+3)} \quad (72)$$

โดยค่าเฉลี่ยของ $\sigma^2(m_x)$ สำหรับ $0 < m_x < 1$ จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{36}$ นั่นคือ

$$\int_0^1 \sigma^2(m_x) dx = \frac{1}{36}$$

แทนค่าสมการ (69) ลงในสมการปริพันธ์ จะได้ค่าประมาณของ Z คือ 4.5 ดังนั้น

$$p = 4.5m_x, \quad q = 4.5(1-m_x) \quad (73)$$

จากสมมติฐาน $p+q \cong Z$ และ $p = Zm_x$ จะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นอยู่ในรูป ดังนี้

$$f_x(x) = \frac{\Gamma(6.5)}{\Gamma(4.5m_x+1)\Gamma(5.5-4.5m_x)} (x)^{4.5m_x} (1-x)^{4.5(1-m_x)} \quad (74)$$

จะได้ว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ

$$\mu_x = \frac{9m_x+2}{13} \quad (75)$$

และค่าความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{1268} (22+81m_x-81m_x^2) \quad (76)$$

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของวิธีการประมาณแบบของ Ginzburg เป็นดังนี้ (Golenko-Ginzburg, 1988)

$$\hat{\mu}_8 = \frac{2a+9m+2b}{1268} \quad (77)$$

$$\hat{\sigma}_8^2 = \frac{(b-a)^2}{1268} \left[22 + 81 \left(\frac{m-a}{b-a} \right) - 81 \left(\frac{m-a}{b-a} \right)^2 \right] \quad (78)$$

2.1.9 วิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha (Ravi and Sireesha's approximation)

จากงานวิจัยของ Golenko-Ginzburg (1988) และงานวิจัยของ Farnum and Stanton (1987) พบว่าวิธีการประมาณแบบ PERT จะขึ้นอยู่กับสมมติฐานต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ปีตา สำหรับสูตรการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของวิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha ได้มีแนวคิดจากวิธีการประมาณของ Ginzburg โดยกำหนดสมมติฐานของ $p+q$ ในสมการที่ (67) เป็นค่าคงที่ นั่นคือ

$$p+q \cong c \text{ (ค่าคงที่)} \quad (79)$$

จากวิธีการประมาณแบบ PERT จะได้ว่า

$$\sigma_x(p, q) \cong \frac{1}{6} \quad (80)$$

จาก Farnum and Stanton (1987) และฟังก์ชันความหนาแน่นของ PERT พบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_x ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก หากทำการปรับค่าของ p และ q โดยมีสมมติฐาน คือ

$$\sigma_x(p+1, q+1) \cong \frac{1}{6} \text{ หรือ } \sigma_x^2(p+1, q+1) \cong \frac{1}{36} \quad (81)$$

โดยที่

$$\sigma_x^2(p+1, q+1) = \frac{(p+2)(q+2)}{(p+q+4)^2(p+q+5)} \quad (82)$$

จากสมการ (70) จะได้ว่า

$$p = cm_x \quad (83)$$

และค่าของ μ_x และ σ_x^2 คือ

$$\mu_x(m_x) = \frac{cm_x + 1}{c + 2} \quad (84)$$

$$\sigma_x^2(m_x) = \frac{(cm_x + 2)(c - cm_x + 2)}{(c + 4)^2(c + 5)} \quad (85)$$

เนื่องจากค่าเฉลี่ยของความแปรปรวน $\sigma_x^2(m_x)$ สำหรับ $0 < m_x < 1$ จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{36}$ นั่นคือ

$$\int_0^1 \sigma_x^2(m_x) dm_x = \frac{1}{36} \quad (86)$$

แทนค่าสมการ (83) ในสมการ (84) และคำนวณค่า c จากการอินทิเกรตสมการ (86) จะได้

$$c = 3.4 \quad (87)$$

นั่นคือ $p = 3.4m_x$ และ $q = 3.4(1-m_x)$

จากการแทนค่า p และ q ในสมการ (67) จะได้ว่า

$$f_x(x) = \frac{\Gamma(5.4)}{\Gamma(3.4m_x+1)\Gamma(4.4-3.4m_x)}(x)^{3.4m_x}(1-x)^{3.4(1-m_x)} \quad (88)$$

จะได้ว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ

$$\mu_x = \frac{17m_x+5}{27} \quad (89)$$

และค่าความแปรปรวน เท่ากับ

$$\sigma_x^2 = \frac{(17m_x+10)(27-17m_x)}{2300} \quad (90)$$

จากสูตรของการประมาณค่าเวลากิจกรรมของการแจกแจงบีตา สมการ (89) และ (90) จะได้ว่า

$$\mu = \frac{5a+17m+5b}{27} \quad (91)$$

และ

$$\sigma^2 = \frac{(17m-27a+10b)(27b-10a-17m)}{2300} \quad (92)$$

จากการวิเคราะห์กิจกรรมจำนวนมากภายในโครงการ แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่สามารถทำงานเสร็จได้โดยส่วนมาก (m) สามารถแทนได้ด้วย $\frac{2a+b}{3}$ เมื่อแทนลงใน (92) จะได้ว่า

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{35} \quad (93)$$

ดังนั้น สูตรในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลาในการทำโครงการของวิธีการประมาณแบบของ Ravi และ Sireesha เป็นดังนี้ (Shankar and Sireesha, 2009)

$$\hat{\mu}_9 = \frac{5a+17m+5b}{27} \quad (94)$$

$$\hat{\sigma}_9^2 = \frac{(b-a)^2}{35} \quad (95)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Premachandra (2001) ได้ศึกษาการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลา กิจกรรม โดยวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ วิธีการประมาณของ Farnum วิธีการประมาณของ Ginzburg วิธีการประมาณแบบ PERT วิธีการประมาณของ Premachandra โดยข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้จากการจำลองข้อมูลของค่าฐานนิยมที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่า ในการประมาณค่าเฉลี่ยของ

เวลากิจกรรมวิธีการประมาณของ Premachandra เป็นวิธีที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยที่สุด และในการประมาณค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมวิธีการประมาณของ Premachandra มีร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ใกล้เคียงกับวิธีการประมาณของ Farnum ซึ่งดีกว่าวิธีการประมาณของ Ginzburg และวิธีการประมาณแบบ PERT

Mohan et al. (2007) ได้ศึกษาและทำการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม ในกรณีที่มีข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ วิธีการประมาณแบบ PERT วิธีประมาณของ Premachandra วิธีประมาณแบบปกติ (a, m) วิธีประมาณแบบปกติ (b, m) วิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล (a, m) และวิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล (b, m) โดยข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบมาจากการจำลองข้อมูลของเวลากิจกรรมทั้ง 3 ค่า ที่มีการแจกแจงเอกรูปตามเงื่อนไขของข้อมูลที่ต้องมีลักษณะเบ้ขวาและกำหนดให้กิจกรรมวิกฤตมีจำนวนเท่ากับ 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 1,000 รอบ และใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่า วิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล (b, m) เป็นวิธีประมาณที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในการประมาณค่าเฉลี่ยเวลาและความแปรปรวน เมื่อเทียบกับค่าจริงในกรณีที่มีข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา

McCombs et al. (2009) ได้นำเสนอสูตรในการประมาณค่าของเวลาโดยใช้การแจกแจงไวบูล เป็นพื้นฐานและทำการทดสอบโดยการใช้ข้อมูลจริงที่เป็นข้อมูลเวลาการเดินทางของรถบรรทุก จากงานวิจัยของ Fente et al. (2000) โดยที่ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้เร็วที่สุด (a) เท่ากับ 7.67 ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้ช้าที่สุด (b) เท่ากับ 9.21 ระยะเวลาที่สามารถทำงานเสร็จได้โดยส่วนมาก (m) เท่ากับ 18.42 และพารามิเตอร์รูปร่างของการแจกแจงปีตา (α) เท่ากับ 1.898 และ β เท่ากับ 6.372 ซึ่งนำเสนอข้อมูลโดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบกับวิธีการประมาณจากการแจกแจงปีตา ผลการวิจัยพบว่า ทั้งสองวิธีมีลักษณะการกระจายของข้อมูลที่คล้ายคลึงกัน แต่วิธีการประมาณจากการแจกแจงปีตามีประสิทธิภาพดีกว่าสำหรับข้อมูลชุดนี้

Shankar and Sireesha (2009) ได้ศึกษาการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม โดยวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ วิธีการประมาณของ Ginzburg วิธีการประมาณแบบ PERT และวิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha ซึ่งใช้ข้อมูลจริงจากโครงการของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีกิจกรรมภายในโครงการจำนวน 8 กิจกรรมและมีกิจกรรมวิกฤตจำนวน 5 กิจกรรม ผลการวิจัยพบว่า วิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha เป็นวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจริง สำหรับกรณีศึกษา

Shankar and Sireesha (2011) ได้ศึกษาและทำการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม ในกรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยวิธีที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ วิธีการประมาณแบบ PERT วิธีประมาณของ Ginzburg วิธีประมาณของ Cottrell และวิธีประมาณของ Mohan และคณะ ในการทำการเปรียบเทียบใช้ข้อมูลจริงซึ่งเป็นข้อมูลเวลาในการต่อเรือของประเทศอังกฤษที่มีกิจกรรมจำนวน 15 กิจกรรมและมีกิจกรรมวิกฤตจำนวน 10 กิจกรรม ซึ่งใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่า วิธีการประมาณแบบ PERT เป็นวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยที่สุด

Buchsbaum (2012) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจง PERT (PERT distribution) การแจกแจง PERT แบบปรับปรุง (Modified PERT distribution) และการแจกแจงปีตานัยทั่วไป (Generalized beta distribution) ซึ่งพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ขนาดฐานนิยม ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสุดขีด จากการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ขนาดของการแจกแจง PERT แบบปรับปรุงมีค่าเท่ากับผลรวมของพารามิเตอร์ขนาดของการแจกแจงปีตา และในการประมาณค่าของโครงการแนะนำให้ใช้การแจกแจงของ PERT แบบปรับปรุง เนื่องจากเป็นวิธีการประมาณที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

Sireesha and Shankar (2015) ได้ศึกษาและทำการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม ในกรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา โดยวิธีที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ วิธีการประมาณแบบ PERT วิธีการประมาณของ Farnum-Stanton วิธีการประมาณของ Ginzburg วิธีการประมาณของ Premchandra วิธีการประมาณของ Herrerias และวิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha โดยข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้จากการจำลองข้อมูลของค่าฐานนิยมที่มีค่าเท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, ..., 0.85, 0.90, 0.95 ผลการวิจัยพบว่า วิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha สามารถทำการประมาณค่าเฉลี่ยของเวลากิจกรรมได้ใกล้เคียงกันกับวิธีอื่น ๆ แต่ในการประมาณค่าความแปรปรวนนั้นวิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha ให้ค่าที่สูงกว่าวิธีอื่น

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลา กิจกรรมในโครงการของแต่ละวิธีการประมาณ ในกรณีที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวาโดยเนื้อหาในบทนี้แบ่ง ออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการวิจัย
- 3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม
- 3.3 การประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

1. กำหนดจำนวนกิจกรรมวิกฤตภายในโครงการ (r) เท่ากับ 5, 10, ..., 90, 100
2. สร้างตัวแปรสุ่มของระยะเวลาที่คาดว่าจะทำงานเสร็จได้เร็วที่สุด (a) ระยะเวลาที่ คาดว่าจะทำงานเสร็จได้ช้าที่สุด (b) พารามิเตอร์ขนาดของการแจกแจงปิตา (α) และ พารามิเตอร์กำหนดช่วงของฐานนิยม (k) ที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในช่วงตามเงื่อนไข ขอบเขตการศึกษา (Mohan et al., 2007) โดยที่กำหนดให้

- | | |
|----------|--|
| a | มีการแจกแจงเอกรูป (1,4) |
| b | มีการแจกแจงเอกรูป (8,12) |
| α | มีการแจกแจงเอกรูป (1,5) |
| k | มีการแจกแจงเอกรูป (1,2), (2,4), (4,6), (6,8) |

ซึ่งแต่ละตัวแปรจะประกอบด้วยจำนวนของตัวแปรสุ่มเท่ากับจำนวนกิจกรรมวิกฤตภายใน โครงการ

3. คำนวณค่าของตัวแปรระยะเวลาที่สามารถทำงานเสร็จได้โดยส่วนมาก (m) และ พารามิเตอร์รูปร่างของการแจกแจงปิตา จากสมการ

$$m = \frac{b + ak}{k + 1} \quad (96)$$

$$\beta = \frac{(b - a)(\alpha - 1)}{m - a} - (\alpha - 2) \quad (97)$$

4. ประมาณค่าพารามิเตอร์ขนาดและพารามิเตอร์รูปร่างของเทคนิควิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงและวิธีการประมาณแบบไวบูล ด้วยวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุด

5. คำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรม จากสูตร

$$\mu = a + (b - a) \left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right) \quad (98)$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{(b - a)}{(\alpha + \beta)} \sqrt{\frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta + 1}} \right)^2 \quad (99)$$

6. คำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมของแต่ละวิธี จากสูตร

วิธีการประมาณแบบ PERT (PERT approximation)

$$\hat{\mu}_1 = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (100)$$

$$\hat{\sigma}_1^2 = \frac{(b - a)^2}{6^2} \quad (101)$$

วิธีการประมาณแบบปรับปรุง (Modified PERT approximation)

$$\hat{\mu}_2 = \frac{a + \gamma(m) + b}{\gamma + 2} \quad (102)$$

$$\hat{\sigma}_2^2 = \frac{(\mu - a)(b - \mu)}{\gamma + 3} \quad (103)$$

เมื่อ γ แทน พารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของการแจกแจงแบบ PERT

วิธีการประมาณแบบปกติ (Normal approximation)

ใช้ค่าประมาณเวลา a และ m โดยที่ $z^* = 3.44$

$$\hat{\mu}_3 = m \quad (104)$$

$$\hat{\sigma}_3^2 = \left(\frac{m - a}{z^*} \right)^2 \quad (105)$$

ใช้ค่าประมาณเวลา b และ m โดยที่ $z^* = 3.44$

$$\hat{\mu}_4 = m \quad (106)$$

$$\hat{\sigma}_4^2 = \left(\frac{b-m}{z^*} \right)^2 \quad (107)$$

วิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (Lognormal approximation)

ใช้ค่าประมาณเวลา a และ m โดยที่ $z = 3$

$$\hat{\mu}_5 = \log(a) + z\hat{\sigma}_5 \quad (108)$$

$$\hat{\sigma}_5^2 = \left(\frac{z}{2} - \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{a}{m}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right)^2 \quad (109)$$

ใช้ค่าประมาณเวลา b และ m โดยที่ $z = 3$

$$\hat{\mu}_6 = \log(b) - z\hat{\sigma}_6 \quad (110)$$

$$\hat{\sigma}_6^2 = \left(-\frac{z}{2} + \left[\frac{z^2}{4} + \log\left(\frac{b}{m}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right)^2 \quad (111)$$

วิธีการประมาณแบบไวบูล (Weibull approximation)

$$\hat{\mu}_7 = a + \theta^* \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta^*}\right) \quad (112)$$

$$\hat{\sigma}_7^2 = \theta^{*2} \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta^*}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta^*}\right) \right)^2 \right] \quad (113)$$

เมื่อ θ^* แทน พารามิเตอร์กำหนดขนาดของการแจกแจงไวบูล
 β^* แทน พารามิเตอร์กำหนดรูปร่างของการแจกแจงไวบูล

วิธีการประมาณของ Ginzburg (Ginzburg's approximation)

$$\hat{\mu}_8 = \frac{2a + 9m + 2b}{1268} \quad (114)$$

$$\hat{\sigma}_8^2 = \frac{(b-a)^2}{1268} \left[22 + 81 \left(\frac{m-a}{b-a} \right) - 81 \left(\frac{m-a}{b-a} \right)^2 \right] \quad (115)$$

วิธีการประมาณของ Ravi และ Sireesha (Ravi and Sireesha's approximation)

$$\hat{\mu}_9 = \frac{5a+17m+5b}{27} \quad (116)$$

$$\hat{\sigma}_9^2 = \frac{(b-a)^2}{35} \quad (117)$$

7. นำค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนในแต่ละวิธีการประมาณเปรียบเทียบกับค่าจริง โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อน

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลาในการทำกิจกรรม

$$\sum_{i=1}^L \frac{|\hat{\mu}_i - \mu_i|}{\mu_i} \times 100 \quad (118)$$

โดยที่ $\hat{\mu}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำกิจกรรมที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิคต่าง ๆ

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำกิจกรรม

L คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนเวลาในการทำกิจกรรม

$$\sum_{i=1}^L \frac{|\hat{\sigma}_i^2 - \sigma_i^2|}{\sigma_i^2} \times 100 \quad (119)$$

โดยที่ $\hat{\sigma}_i^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรมที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิคต่าง ๆ

σ_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรม

L คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

8. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 1,000 รอบ

9. คำนวณค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อน จากสูตร

ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลาในการทำกิจกรรม

$$\frac{\sum_{i=1}^L \frac{|\hat{\mu}_i - \mu_i|}{\mu_i}}{L} \times 100 \quad (120)$$

โดยที่ $\hat{\mu}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำกิจกรรมที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิคต่าง ๆ

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำกิจกรรม

L คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนเวลาในการทำกิจกรรม

$$\frac{\sum_{i=1}^L \frac{|\hat{\sigma}_i^2 - \sigma_i^2|}{\sigma_i^2}}{L} \times 100 \quad (121)$$

โดยที่ $\hat{\sigma}_i^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรมที่ได้จากการประมาณด้วยเทคนิคต่าง ๆ

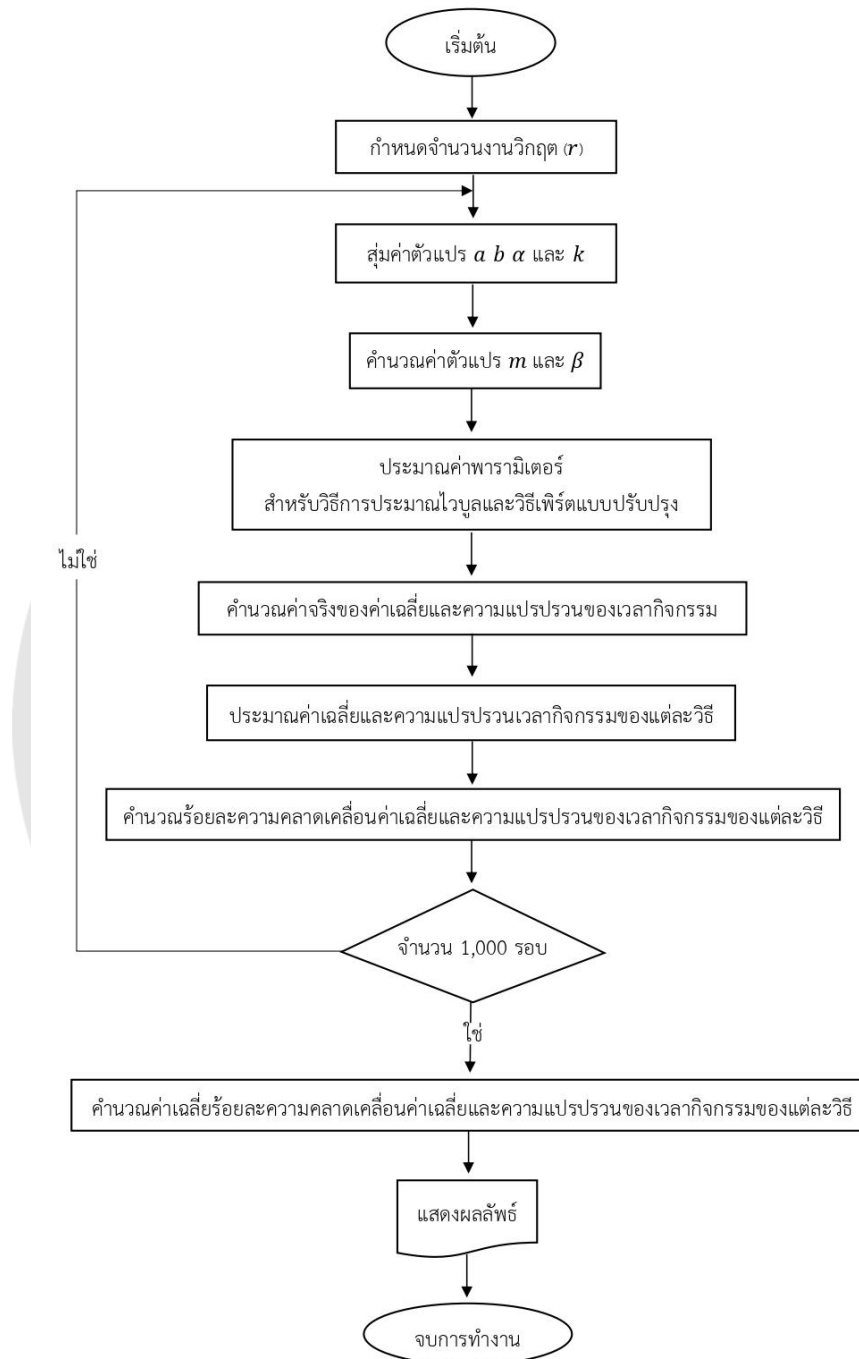
σ_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนของเวลาในการทำกิจกรรม

L คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

10. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลและอภิปรายผล



3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



ภาพ 1 ผังงานของการทำงานโปรแกรม

3.3 การประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง

ในการประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

3.3.1 ข้อมูลชุดที่ 1 ข้อมูลโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

เป็นข้อมูลจริงในโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือในประเทศอังกฤษ ซึ่งการผลิตเรือจะมีกระบวนการผลิตและการออกแบบที่อาศัยนวัตกรรมต่าง ๆ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงในการผลิตและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการประกอบเรือจะต้องใช้รถเครนในการประกอบถือว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนและระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการ โดยที่ระยะเวลาในการทำงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการวางแผนทางด้านวิศวกรรม ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาของโครงการ คือ การทำงานของรถเครนในงานประกอบชิ้นส่วนเรือขนาดใหญ่และประสิทธิภาพของรถเครน ซึ่งจะส่งผลให้โครงการมีความล่าช้ามาก โดยทั่วไปความล่าช้าของโครงการจะเกิดขึ้นมาจากความล่าช้าของกิจกรรมภายในโครงการ ซึ่งระยะเวลาเฉลี่ยของโครงการ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาเฉลี่ยของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโครงการ โดยมีข้อมูลของระยะเวลากิจกรรมต่าง ๆ ภายในการทำโครงการ ดังตาราง 1 (Taggart, 1980)

ตาราง 1 ข้อมูลเวลากิจกรรมของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)		
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
A	การออกแบบโครงสร้างของส่วนใต้ท้องเรือ	22	25	30
B	การออกแบบโครงสร้างของส่วนภายในเรือ	23	26	31
C	การออกแบบโครงสร้างของส่วนห้องเครื่อง	25	28	33
D	การออกแบบโครงสร้างของส่วนระบบท่อภายในเรือ	19	22	29
E	รวบรวมและประกอบโครงสร้างของส่วนใต้ท้องเรือ	35	37	43
F	ดำเนินการสร้างโครงสร้างของส่วนภายในเรือ	16	18	24
G	ดำเนินการสร้างโครงสร้างของส่วนห้องเครื่อง	33	35	40
H	ดำเนินการสร้างโครงสร้างของส่วนระบบท่อภายในเรือ	4	5	10
I	รวบรวมและประกอบโครงสร้างของส่วนภายในเรือ	11	14	20
J	ติดตั้งโครงสร้างต่าง ๆ ของส่วนภายในเรือ	6	7	12
K	ประกอบโครงสร้างส่วนใต้ท้องเรือกับส่วนภายในเรือ	27	30	37
L	ประกอบโครงสร้างส่วนส่วนห้องเครื่อง	6	7	11

ตาราง 1 (ต่อ) ข้อมูลเวลากิจกรรมของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)		
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
M	ติดตั้งเครื่องยนต์	6	7	12
N	ตรวจสอบการประกอบโครงสร้าง	4	5	9
O	ทดสอบเครื่องยนต์	17	20	26
P	ติดตั้งหม้อน้ำ	6	7	10
Q	ทดสอบหม้อน้ำ	9	10	15
R	การทดสอบครั้งสุดท้าย	13	15	20

3.3.2 ข้อมูลชุดที่ 2 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ระบบปรับอากาศของห้องสะอาด เป็นส่วนสำคัญในการช่วยรักษาความสะอาดของอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มคุณภาพทางการผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรกลที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งต้องการความแม่นยำ ความละเอียดในการทำงานสูง ซึ่งโครงการก่อสร้างห้องสะอาด เป็นโครงการที่ต้องอาศัยระยะเวลาดำเนินการและใช้ทรัพยากรจำนวนมาก การวางแผนและควบคุมด้วยการจัดตารางเวลา โดยมีข้อมูลของระยะเวลากิจกรรมต่าง ๆ ภายในการทำโครงการ ดังตาราง 2 (บุญสิน นาดอนตู และนพดล ศรีพุทธา, 2563)

ตาราง 2 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)		
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
A	การออกแบบสร้างทางวิศวกรรม	1	2	3
B	การรวมกลุ่มดำเนินการของบุคลากร	2	3	4
C	สร้างแผงรั้วชั่วคราวและสำนักงานก่อสร้าง	2	3	4
D	งานการรื้อถอนและแก้ไขปรับปรุง	2	3	4
E	การสร้างพื้นของสำนักงานชั้นที่สอง	3	4	5
F	การติดตั้งโครงสร้างของเหล็ก	3	4	5

ตาราง 2 (ต่อ) ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)		
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
G	การติดตั้ง Pank 50 mm	1	2	3
H	การติดตั้งระบบไฟฟ้าหลัก	9	10	12
I	ก่อสร้างผนังและเพดานของห้อง	7	8	10
J	การติดตั้งระบบไฟฟ้าภายในห้อง	6	7	9
K	สร้างฐานของเครื่องปรับอากาศ	3	4	5
L	ติดตั้งระบบเครื่องปรับอากาศ	7	8	10
M	ติดตั้งม่านอากาศและประตูเหล็กม้วน	3	4	5
N	ทดสอบทั้งระบบ	4	5	6
O	ตรวจสอบความปลอดภัย	1	2	3
P	จัดส่งแบบแปลนที่ก่อสร้างจริง	1	2	3

3.3.3 ข้อมูลชุดที่ 3 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

ประเทศไทยถือเป็นประเทศของเกษตรกรรม เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร และเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรนั้นส่งผลอย่างยิ่งในการพัฒนาทางด้านการเกษตรในด้านต่าง ๆ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรก็จะมีกระบวนการผลิต แผนการดำเนินการและระยะเวลาที่ต่างกันไป โดยโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง เป็นโครงการที่ต้องอาศัยระยะเวลาดำเนินการและการวางแผนโครงการ โดยมีข้อมูลของระยะเวลากิจกรรมต่าง ๆ ภายในการทำโครงการ ดังตาราง 3 (สุรพงศ์ บางพาน และคณะ, 2560)

ตาราง 3 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)		
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
A	โครงสร้างเครื่อง	3	4	6
B	โครงสร้างตัวเครื่อง	5	7	9
C	ฝาติดกับโครงเครื่องยึดติดกับใบพัดดูดกลบ	2	3	4
D	ใบพัดดูดกลบ	2	4	6
E	ชุดประกอบเพลาลูกเบี้ยวและแบริ่ง	8	10	12
F	เพลาลูกเบี้ยว	5	7	9
G	ฝาครอบใบพัดดูดกลบ	2	4	6
H	ฝาด้านหน้าชุดโครงสร้าง	3	4	5
I	เกลียวยึดแผ่นหน้าติดกับชุดฐาน	2	3	4
J	เพลาลูกเบี้ยวรองยึดด้านใน	3	5	7
K	ทางลงข้าว	3	4	5
L	ประกอบชุดเกลียวและทางลงข้าว	5	7	9
M	ประกอบชุดหลักรวมทั้งหมดชั้นที่สอง	7	9	11
N	ร่องสไลด์ฐานมอเตอร์	2	4	6
O	ตัวดันมอเตอร์	3	5	8
P	ติดตั้งมอเตอร์	2	4	6
Q	ติดตั้งชุดพูลเลย์	3	5	7
R	ติดตั้งชุดสายพาน	4	6	8
S	ประกอบและติดตั้งตัวดันสายพาน	2	3	4
T	ตรวจสอบการทำงานทั้งหมด	10	11	12

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลา กิจกรรมในโครงการ ด้วยเทคนิคการประมาณแบบ PERT วิธีประมาณแบบปกติ วิธีประมาณแบบ ลีอกนอร์มัล วิธีประมาณ PERT แบบปรับปรุง วิธีประมาณของ Ginzburg วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha และวิธีประมาณแบบไวบูล โดยทำการจำลองข้อมูลจำนวน 1,000 รอบและใช้ร้อยละ ความคลาดเคลื่อนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ โดยผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

k	แทน พารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยม
r	แทน จำนวนกิจกรรมวิกฤตในโครงการ
PT	แทน วิธีประมาณแบบ PERT
RS	แทน วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha
NA	แทน วิธีประมาณแบบปกติที่ใช้ค่าประมาณเวลา a และ m
NB	แทน วิธีประมาณแบบปกติที่ใช้ค่าประมาณเวลา b และ m
LA	แทน วิธีประมาณแบบลีอกนอร์มัลที่ใช้ค่าประมาณเวลา a และ m
LB	แทน วิธีประมาณแบบลีอกนอร์มัลที่ใช้ค่าประมาณเวลา b และ m
GB	แทน วิธีประมาณของ Ginzburg
WB	แทน วิธีประมาณแบบไวบูล
MP	แทน วิธีประมาณ PERT แบบปรับปรุง

4.1 ผลการประมาณค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมของแต่ละวิธีการประมาณค่า

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	0.924	0.509	4.235	4.235	8.653	1.162	12.737	0.939	1.016
10	0.668	0.233	4.205	4.205	8.615	0.976	12.118	0.727	0.736
20	0.474	0.101	4.278	4.278	8.613	0.920	11.825	0.597	0.535
30	0.425	0.062	4.273	4.273	8.669	0.912	11.714	0.584	0.462
40	0.383	0.047	4.263	4.263	8.688	0.887	11.740	0.550	0.423
50	0.333	0.034	4.249	4.249	8.613	0.872	11.590	0.516	0.390
60	0.316	0.031	4.277	4.277	8.600	0.892	11.587	0.517	0.370
70	0.294	0.028	4.277	4.277	8.574	0.897	11.528	0.519	0.340
80	0.286	0.028	4.271	4.271	8.691	0.884	11.610	0.513	0.345
90	0.279	0.028	4.284	4.284	8.669	0.897	11.579	0.517	0.323
100	0.264	0.030	4.284	4.284	8.786	0.885	11.748	0.507	0.322

หมายเหตุ : ตัวหนา แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

จากตาราง 4 และภาพ 2 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา กิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อจำนวน กิจกรรมวิกฤตเพิ่มมากขึ้น ($r = 5, 10, \dots, 90, 100$)

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อจำนวน กิจกรรมวิกฤตเพิ่มมากขึ้นและมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่เท่ากันเมื่อ $r = 70, 80, 90$ หลังจากนั้นค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี NA และ วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมที่เท่ากัน ในทุก ๆ จำนวนกิจกรรมวิกฤตและเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤตเพิ่มมากขึ้นและมีค่าที่เท่ากัน ในกรณีของ $r = 60$ และ $r = 70$ กับกรณีที่ $r = 90$ และ $r = 100$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน กิจกรรมวิกฤตเพิ่มมากขึ้น แต่มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วงที่ $r = 10, 20$ และลดลงอีกในช่วง $r = 50, 60, 70$ หลังจากนั้นค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 80, 90, 100$

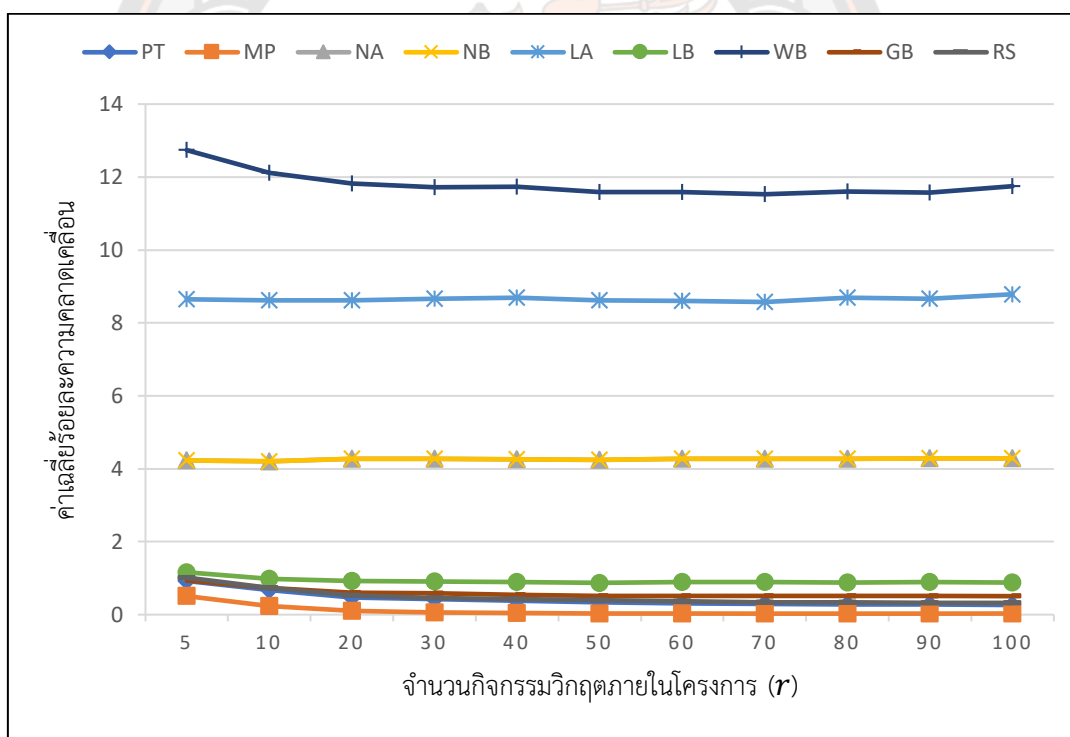
วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, \dots, 40, 50$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง $r = 60, 70, 80, 90, 100$

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, \dots, 60, 70$ และเพิ่มขึ้นในช่วง $r = 80, 90, 100$

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, \dots, 40, 50$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง $r = 60, 70, 90$ หลังจากนั้นจึงมีค่าลดลงเมื่อ $r = 100$ และมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่เท่ากันในกรณีที่ $r = 60$ กับ $r = 90$

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, \dots, 60, 70$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อ $r = 90, 100$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี PT เมื่อ $k \sim U(1,2)$



ภาพ 2 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	3.471	1.146	10.179	10.179	5.013	4.323	15.793	3.021	4.366
10	2.747	0.514	10.331	10.331	4.904	4.422	15.116	2.198	3.792
20	2.477	0.273	10.146	10.146	4.672	4.250	14.699	1.740	3.750
30	2.341	0.307	10.178	10.178	4.705	4.300	14.414	1.577	3.643
40	2.291	0.341	10.186	10.186	4.728	4.312	14.313	1.470	3.626
50	2.302	0.377	10.191	10.191	4.702	4.290	14.501	1.415	3.680
60	2.293	0.392	10.176	10.176	4.674	4.282	14.468	1.418	3.670
70	2.251	0.404	10.187	10.187	4.717	4.308	14.298	1.356	3.631
80	2.206	0.417	10.224	10.224	4.794	4.354	14.170	1.310	3.579
90	2.249	0.424	10.195	10.195	4.740	4.313	14.295	1.321	3.630
100	2.263	0.427	10.171	10.171	4.689	4.292	14.299	1.331	3.645

หมายเหตุ : **ตัวหนา** แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 5 และภาพ 3 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา กิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อจำนวน กิจกรรมวิกฤตเพิ่มมากขึ้น แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 50, 60$ และ $r = 90, 100$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20$ และเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 30, 40, \dots, 90, 100$

วิธี NA และ วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมที่เท่ากัน ในทุก ๆ จำนวนกิจกรรมวิกฤตและเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 5, 10$ และลดลงมากที่สุดเมื่อ $r = 20$ หลังจากนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง $r = 30, 40, 50, 80$ และลดลงในช่วง $r = 60, 70, 90, 100$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20$ แต่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงที่ $r = 30, 40$ และ $r = 70, 80$ หลังจากนั้น มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนลดลงเมื่อ $r = 90, 100$

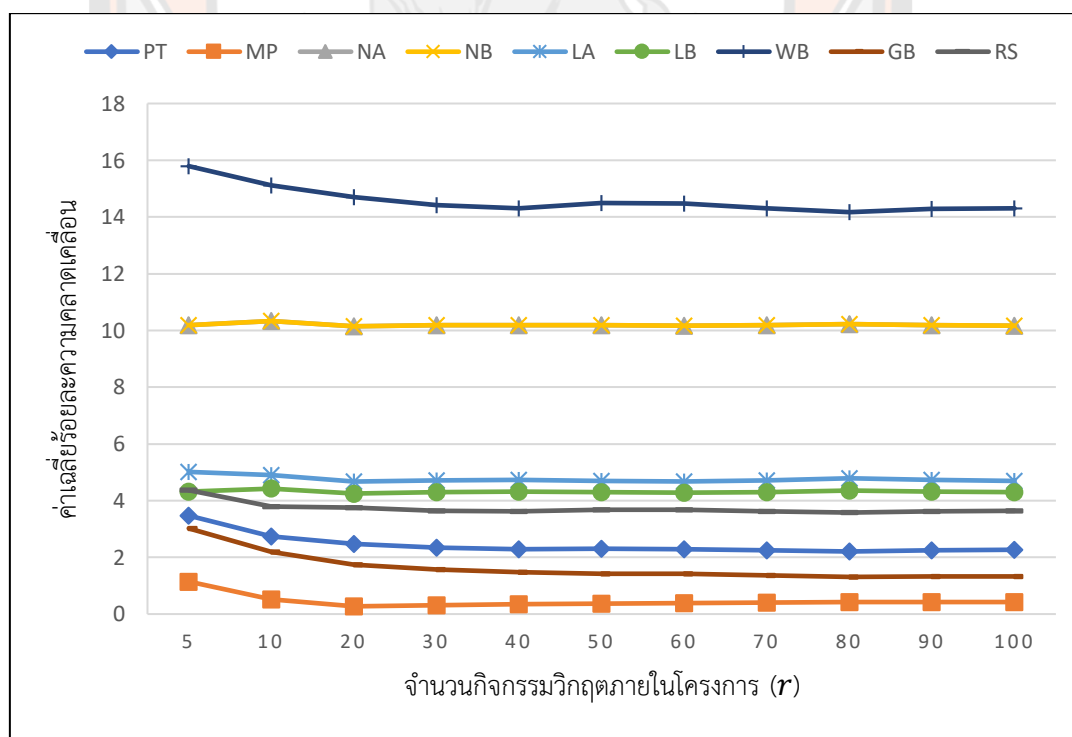
วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้น เมื่อ $r = 5, 10$ แต่มีค่าลดลงเมื่อ $r = 20$ และเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 30, 40, 70, 80$ หลังจากนั้นก็มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นลดลงเมื่อ $r = 60, 70, 80$ และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤตเพิ่มมากขึ้น แต่ในกรณีที่ $r = 60, 90, 100$ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้า

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 50, 60, 70$ และมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมน้อยสุดเมื่อ $r = 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 90, 100$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี GB เมื่อ $k \sim U(2,4)$



ภาพ 3 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$

ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	7.577	0.427	12.274	12.274	9.741	4.561	22.791	6.375	9.501
10	7.136	1.653	12.489	12.489	9.910	4.439	22.349	5.769	9.217
20	6.920	0.809	12.416	12.416	9.910	4.396	21.099	5.474	9.046
30	6.861	0.685	12.442	12.442	9.938	4.414	20.956	5.386	9.006
40	6.952	0.786	12.407	12.407	9.892	4.352	21.087	5.464	9.103
50	6.922	0.827	12.415	12.415	9.905	4.369	20.980	5.435	9.071
60	6.896	0.875	12.447	12.447	9.919	4.397	20.976	5.408	9.045
70	6.948	0.902	12.411	12.411	9.879	4.352	21.073	5.459	9.099
80	6.974	0.903	12.368	12.368	9.851	4.319	21.014	5.486	9.123
90	6.852	0.918	12.481	12.481	9.975	4.436	20.930	5.365	9.000
100	6.884	0.945	12.435	12.435	9.917	4.397	20.786	5.398	9.030

หมายเหตุ : **ตัวหนา** แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 6 และภาพ 4 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา กิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$ พบว่า

วิธี PT วิธี GB และ วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา กิจกรรม ลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 40$ หลังจากนั้นมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ $r = 50, 60$ และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 70, 80$ จากนั้นลดลงเมื่อ $r = 90$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าน้อยที่สุดและมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา กิจกรรมน้อยที่สุดเมื่อ $r = 5$ และมีค่ามากที่สุดเมื่อ $r = 10$ หลังจากนั้นลดลงเมื่อ $r = 20, 30$ และเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 40, 50, \dots, 90, 100$

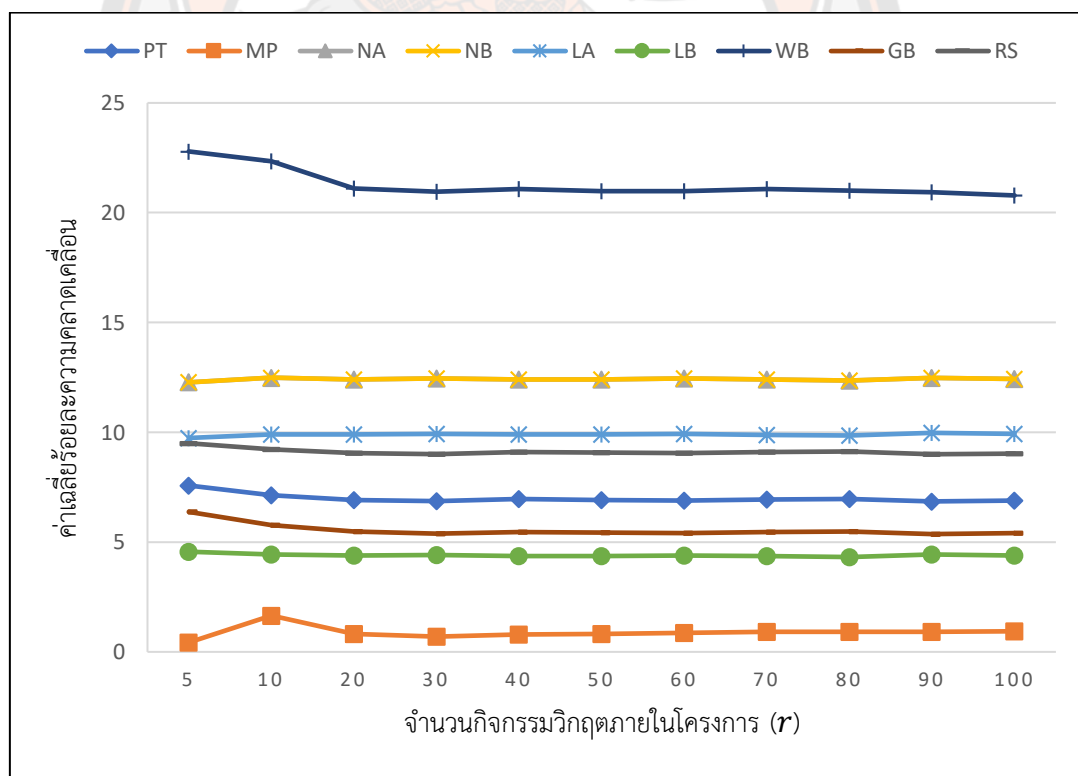
วิธี NA และ วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา กิจกรรมที่เท่ากัน ในทุก ๆ จำนวนกิจกรรมวิกฤตและมีค่าน้อยที่สุดเมื่อ $r = 5$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 10$ หลังจากนั้น ลดลงเมื่อ $r = 20$ ถึง $r = 80$ แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 30, 60, 90$ และมีการลดลงเมื่อ $r = 100$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ ซึ่งมีค่าที่เท่ากันเมื่อ $r = 10, 20$ หลังจากนั้นมามีค่าลดลงเมื่อ $r = 40$ และเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50, 60$ และลดลงอีกครั้งเมื่อ $r = 70, 80$ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อ $r = 80$ จากนั้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 90$ และมีค่าลดลงอีกเมื่อ $r = 100$

วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 40$ แต่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยจากจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 30, 50, 60$ หลังจากนั้นมามีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนลดลงเมื่อ $r = 70, 80$ และเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 40$ หลังจากนั้นมามีค่าลดลงเมื่อ $r = 50, 60$ และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 70$ และลดลงเมื่อ $r = 80, 90, 100$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี LB เมื่อ $k \sim U(4,6)$



ภาพ 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	12.081	1.959	12.372	12.372	10.828	4.131	30.948	10.390	14.640
10	11.515	0.994	12.544	12.544	11.052	3.544	28.935	9.698	14.161
20	11.317	0.911	12.525	12.525	11.041	3.222	27.517	9.488	13.965
30	11.121	1.052	12.677	12.677	11.196	3.302	27.259	9.290	13.765
40	10.916	1.147	12.781	12.781	11.316	3.395	26.700	9.093	13.549
50	11.118	1.131	12.627	12.627	11.159	3.212	26.862	9.291	13.756
60	11.212	1.130	12.609	12.609	11.127	3.159	27.147	9.380	13.859
70	11.053	1.168	12.666	12.666	11.195	3.260	26.641	9.229	13.689
80	11.179	1.177	12.607	12.607	11.137	3.168	26.995	9.349	13.822
90	11.144	1.204	12.696	12.696	11.213	3.225	27.120	9.311	13.793
100	11.151	1.185	12.601	12.601	11.128	3.171	26.823	9.324	13.790

หมายเหตุ : **ตัวหนา** แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 7 และภาพ 5 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลา
กิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50, 60$ หลังจากนั้นมียาลดลงเมื่อ $r = 70$ และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 80$ ซึ่งมีค่าลดลงอีกเมื่อ $r = 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมแนวโน้มลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 30, 40$ ซึ่งจะมีค่าลดลงอีกครั้งเมื่อ $r = 50, 60$ หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นในช่วงที่ $r = 70, 80, 90$ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี NA และ วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมที่เท่ากัน
ในทุก ๆ จำนวนกิจกรรมวิกฤตและมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อ $r = 5$ และมีค่า
เพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 10, 20, 30, 40$ หลังจากนั้นลดลงเมื่อ $r = 50, 60, 80, 90$ และ 100 และมีค่าเพิ่ม
มากขึ้นเพียงเล็กน้อยจากจำนวนกิจกรรมก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 90$

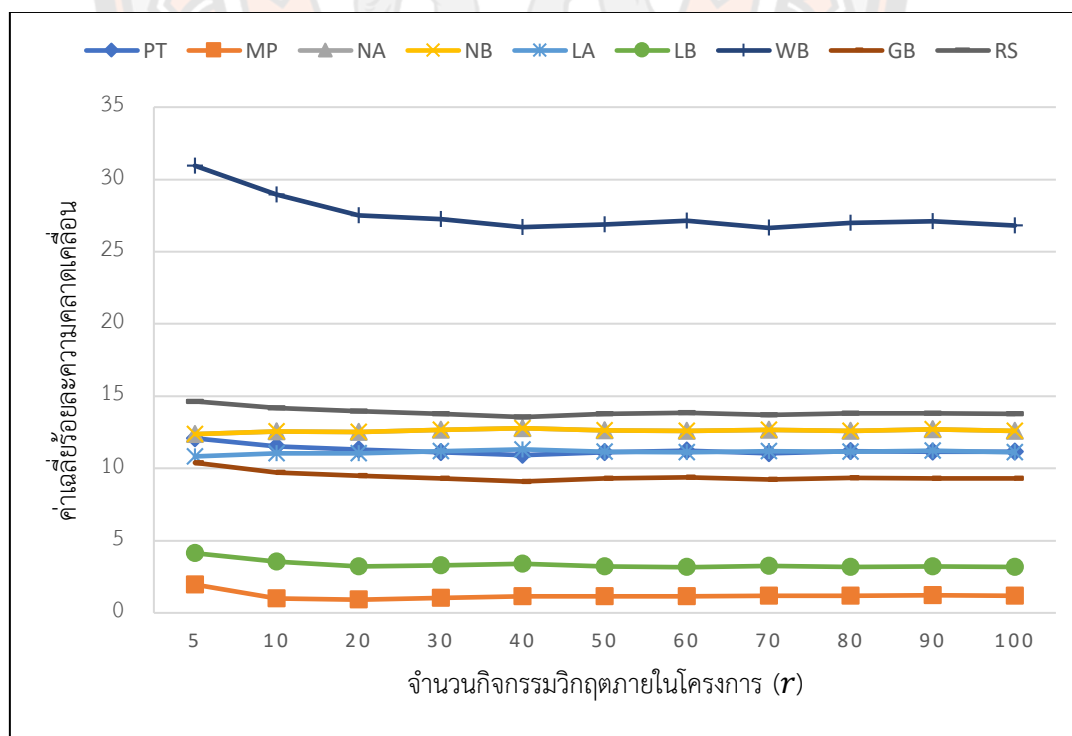
วิธี LA และ วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20$ และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 30, 40$ จากนั้นมีค่าลดลงอีกครั้งเมื่อ $r = 50, 60$ และเมื่อ $r = 70, 90$ มีค่าเพิ่มขึ้นจากจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้า แต่ลดลงเมื่อ $r = 80, 100$

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50, 60$ หลังจากนั้น มีค่าลดลงเมื่อ $r = 70$ และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 80, 90$ และลดลงอีกครั้งเมื่อ $r = 100$

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 50, 60$ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมน้อยสุดเมื่อ $r = 70$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 80$ หลังจากนั้น มีค่าลดลงอีกครั้งเมื่อ $r = 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 50, 60$ จากนั้นมีค่าลดลงเมื่อ $r = 70, 90, 100$ และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 80$ จากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้า

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี LB เมื่อ $k \sim U(6,8)$



ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$

4.2 ผลการประมาณความแปรปรวนเวลากิจกรรมของแต่ละวิธีการประมาณค่า

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	21.943	10.517	59.238	20.174	93.923	98.178	98.117	22.257	20.598
10	21.900	4.673	60.079	17.780	94.018	98.248	98.242	16.664	19.961
20	22.232	1.926	60.689	16.354	94.043	98.273	98.304	13.408	20.082
30	22.741	1.149	60.779	16.732	94.052	98.290	98.325	12.162	20.555
40	22.861	0.823	60.857	16.701	94.046	98.288	98.325	11.522	20.666
50	22.754	0.594	60.806	16.474	94.059	98.288	98.337	11.399	20.547
60	22.919	0.516	60.984	16.522	94.079	98.292	98.342	11.002	20.717
70	23.056	0.435	61.015	16.690	94.082	98.294	98.348	10.731	20.858
80	23.092	0.427	61.001	16.782	94.056	98.297	98.345	10.684	20.895
90	23.207	0.419	61.085	16.852	94.071	98.299	98.349	10.420	21.013
100	23.181	0.456	61.063	16.846	94.035	98.298	98.337	10.488	20.986

หมายเหตุ : ตัวหนา แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 8 และภาพ 6 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10$ โดยที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมน้อยที่สุดเมื่อ $r = 10$ และเพิ่มมากขึ้นในช่วงของ $r = 20, 30, 40$ หลังจากนั้นเมื่อ $r = 50, 100$ มีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงของ $r = 60, 70, 80, 90$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมที่มากที่สุดเมื่อ $r = 5$ หลังจากนั้นที่ลดลงเมื่อ $r = 10, 20, \dots, 80, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี NA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่า

ของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 90$ และมีค่าที่ลดลงเพียงเล็กน้อยจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 30$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 40, 50, 100$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 80, 90$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อ $r = 40$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 50, 60, 70, 90$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

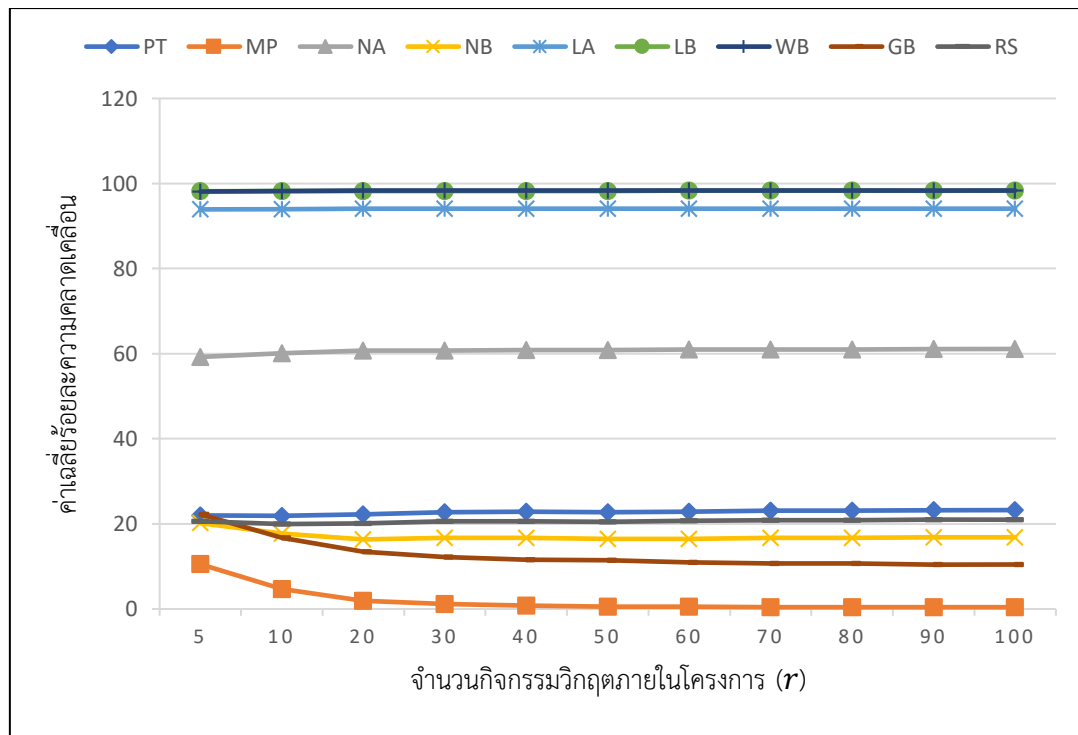
วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ จากนั้นเมื่อ $r = 40, 50$ จะมีค่าที่เท่ากันและที่ลดลง หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 80, 90$ และมีค่าที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 60, 70$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น อีกครั้งจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 100$ ซึ่งมีกรณีที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่เท่ากัน คือ $r = 30, 40$

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 80, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10$ และเพิ่มมากขึ้นในช่วงของ $r = 20, 30, 40$ หลังจากนั้นเมื่อ $r = 50, 100$ มีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงของ $r = 60, 70, 80, 90$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี GB เมื่อ $k \sim U(1,2)$



ภาพ 6 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(1,2)$

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	30.285	12.311	76.641	98.345	95.708	95.143	96.145	39.119	31.929
10	20.050	5.024	77.675	87.507	95.781	95.431	96.483	29.284	21.659
20	14.886	2.554	77.777	86.198	95.793	95.463	96.606	25.842	16.665
30	12.788	2.827	77.967	83.832	95.828	95.535	96.684	24.127	14.612
40	11.215	3.142	78.117	82.884	95.856	95.552	96.711	23.001	13.187
50	10.294	3.519	78.140	83.209	95.840	95.544	96.697	22.912	12.437
60	10.173	3.649	78.078	83.005	95.834	95.559	96.707	22.956	12.344
70	9.401	3.783	78.190	82.056	95.862	95.576	96.737	22.308	11.639
80	8.842	3.904	78.309	81.206	95.903	95.599	96.760	21.713	11.047
90	8.619	3.982	78.233	81.833	95.875	95.583	96.743	22.109	11.032
100	8.777	4.024	78.154	82.127	95.857	95.583	96.742	22.405	11.188

หมายเหตุ : **ตัวหนา** แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 9 และภาพ 7 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 80, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ $r = 5, 10, 20$ และเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 30, 40, \dots, 90, 100$

วิธี NA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 40, 50$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 60$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 80$ และมีค่าที่ลดลงเพียงเล็กน้อยจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าที่ลดลงจากค่าของ

จำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 80$ และมีค่าที่เพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50, 60$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 80$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90, 100$

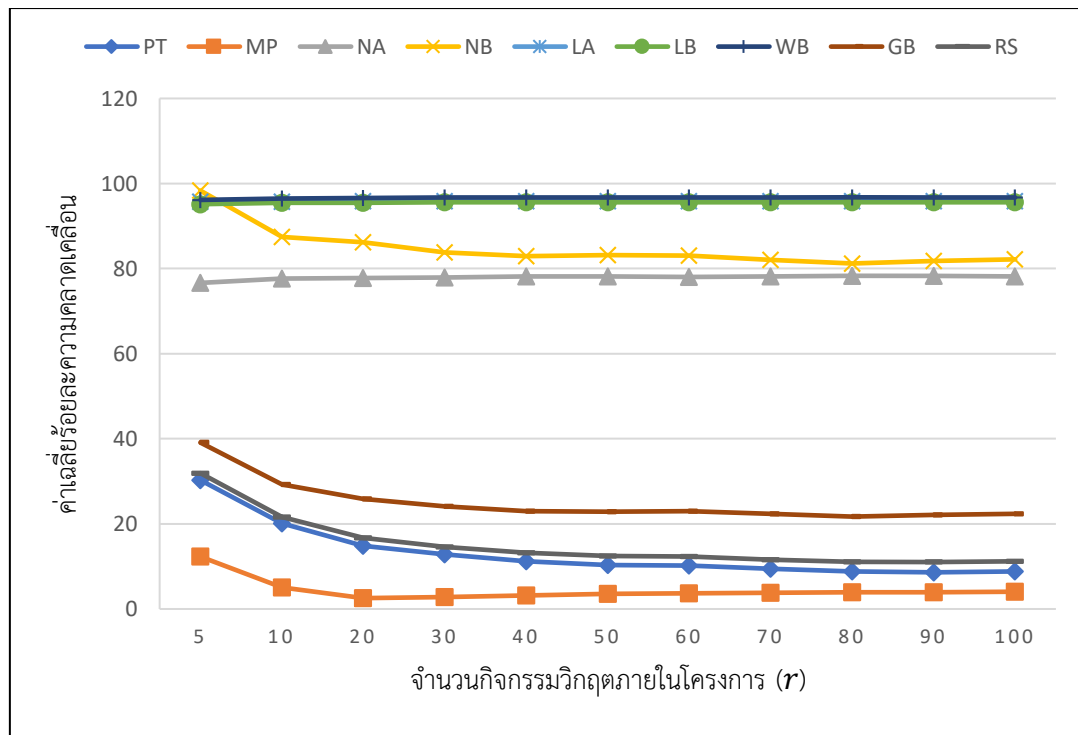
วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 80$ และเมื่อ $r = 90, 100$ มีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าและมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่เท่ากัน

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 80$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40, 50$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 60$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 80$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90, 100$

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 80, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี PT เมื่อ $k \sim U(2, 4)$



ภาพ 7 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(2,4)$

ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	84.257	18.664	84.382	281.65	96.529	89.484	92.408	77.726	88.915
10	68.949	7.683	85.472	253.89	96.684	90.296	93.156	62.796	73.515
20	61.639	4.907	86.013	240.01	96.827	90.695	93.661	55.490	66.178
30	58.378	5.462	86.248	233.48	96.891	90.888	93.823	52.305	62.892
40	58.340	5.821	86.263	233.51	96.888	90.896	93.832	52.229	62.864
50	57.226	6.298	86.345	231.10	96.904	90.952	93.886	51.180	61.718
60	56.627	6.559	86.387	229.78	96.889	90.983	93.906	50.632	61.102
70	57.208	6.579	86.322	230.93	96.878	90.956	93.885	51.225	61.699
80	57.307	6.770	86.321	231.18	96.893	90.957	93.902	51.298	61.801
90	55.564	6.947	86.496	227.62	96.926	91.029	93.937	49.570	60.008
100	55.906	6.954	86.452	228.28	96.912	91.034	93.977	49.933	60.361

หมายเหตุ : ตัวหนา แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 10 และภาพ 8 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 50, 60$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 70, 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 100$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ และหลังจากนั้นของค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 40, 50, \dots, 90, 100$

วิธี NA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 50, 60$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 70, 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90$ และมีค่าที่ลดลงเพียงเล็กน้อยจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 100$

วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 40$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 50, 60, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 80, 100$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30$ และมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ $r = 40$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 50, 80, 90$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 100$

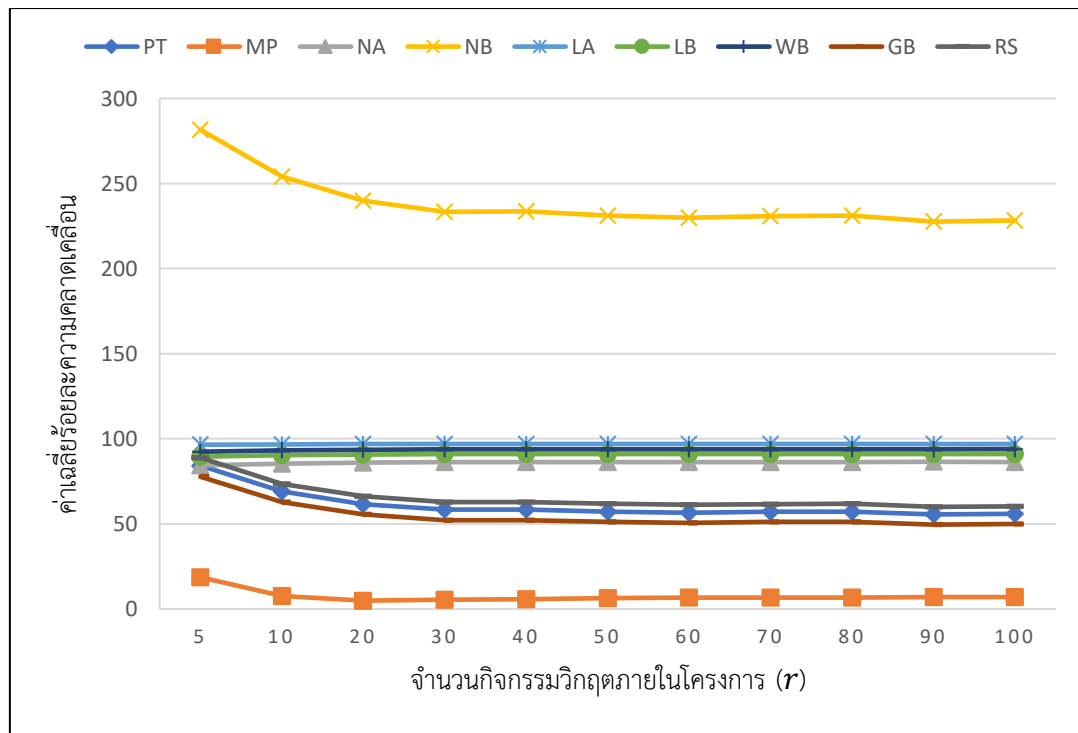
วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 50, 60$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 70$ หลังจากนั้นของค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นเมื่อ $r = 80, 90, 100$

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 50, 60$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 70$ หลังจากนั้นจะของค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งเมื่อ $r = 80, 90, 100$

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 50, 60$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 70, 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 100$

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, \dots, 50, 60$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 70, 80$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 100$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี GB เมื่อ $k \sim U(4, 6)$



ภาพ 8 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(4,6)$

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$

r	วิธีการประมาณค่า								
	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
5	168.53	26.384	87.103	521.81	96.818	81.737	86.734	136.78	175.96
10	137.27	10.544	88.601	451.75	97.143	83.748	88.805	108.07	144.00
20	123.11	6.270	89.231	418.96	97.298	84.846	89.983	95.584	129.48
30	114.86	6.554	89.620	399.71	97.387	85.404	90.383	88.309	121.00
40	110.63	7.168	89.823	389.88	97.453	85.712	90.671	84.617	116.65
50	112.41	7.172	89.753	394.11	97.417	85.533	90.576	86.117	118.48
60	112.37	7.195	89.748	393.98	97.405	85.556	90.560	86.115	118.43
70	110.60	7.665	89.830	389.83	97.427	85.667	90.718	84.567	116.62
80	111.07	7.710	89.820	391.03	97.434	85.639	90.645	84.947	117.10
90	109.62	7.850	89.885	387.62	97.432	85.702	90.654	83.697	115.61
100	110.21	7.826	89.841	388.88	97.436	85.705	90.724	84.247	116.22

หมายเหตุ : ตัวหนา แทน ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

จากตาราง 11 และภาพ 9 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$ พบว่า

วิธี PT มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

วิธี MP มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ $r = 5, 10, 20$ หลังจากนั้นของค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 30, 40, \dots, 80, 90$ และมีค่าลดลงอีกครั้งเพียงเล็กน้อยเมื่อ $r = 100$ วิธี NA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50, 60$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 90$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

วิธี NB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

วิธี LA มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้น เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50, 60$ หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70, 80, 100$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 90$

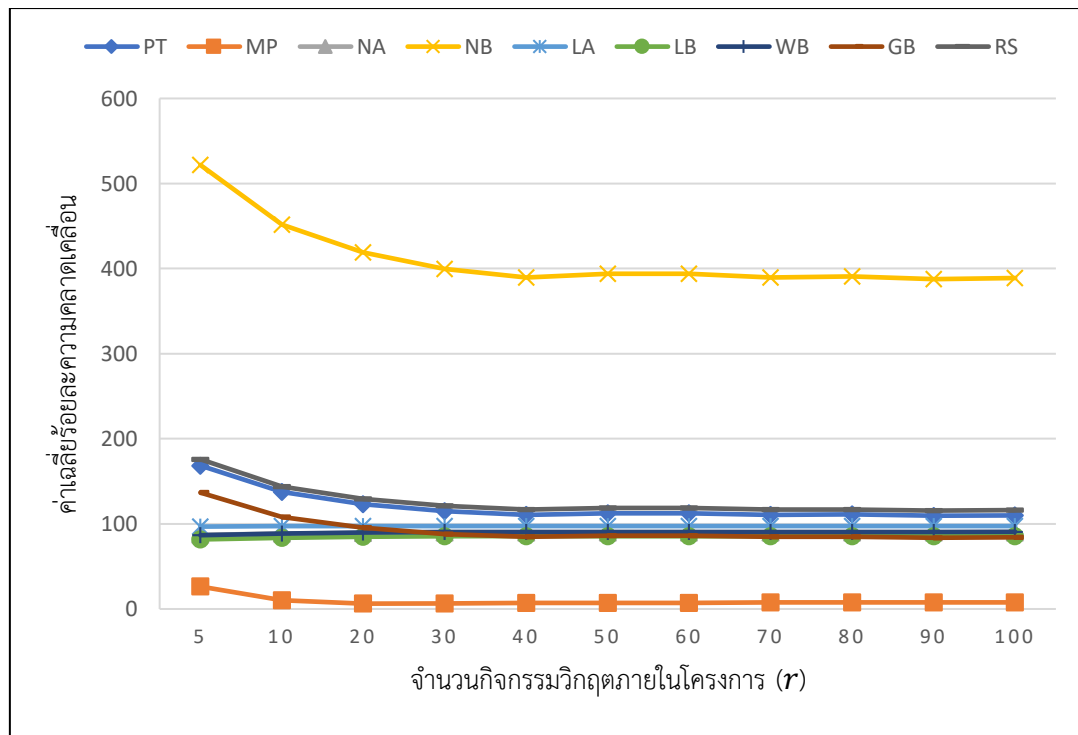
วิธี LB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้น เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50$ จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80$ ซึ่งหลังจากนั้นเมื่อ $r = 90, 100$ จะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

วิธี WB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมเพิ่มขึ้น เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าลดลงเมื่อ $r = 50, 60$ จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 70$ และมีค่าที่ลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80$ ซึ่งหลังจากนั้นเมื่อ $r = 90, 100$ จะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

วิธี GB มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

วิธี RS มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมลดลง เมื่อ $r = 5, 10, 20, 30, 40$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ $r = 50$ หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 60, 70, 90$ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของจำนวนกิจกรรมวิกฤตก่อนหน้าเมื่อ $r = 80, 100$

เมื่อเปรียบเทียบทุกวิธีการประมาณ พบว่า วิธี MP เป็นวิธีการประมาณที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและรองลงมาเป็นวิธี GB เมื่อ $k \sim U(6, 8)$



ภาพ 9 ค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนของค่าแปรปรวนเวลากิจกรรม เมื่อ $k \sim U(6,8)$

4.3 การประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลจริง

4.3.1 ข้อมูลโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

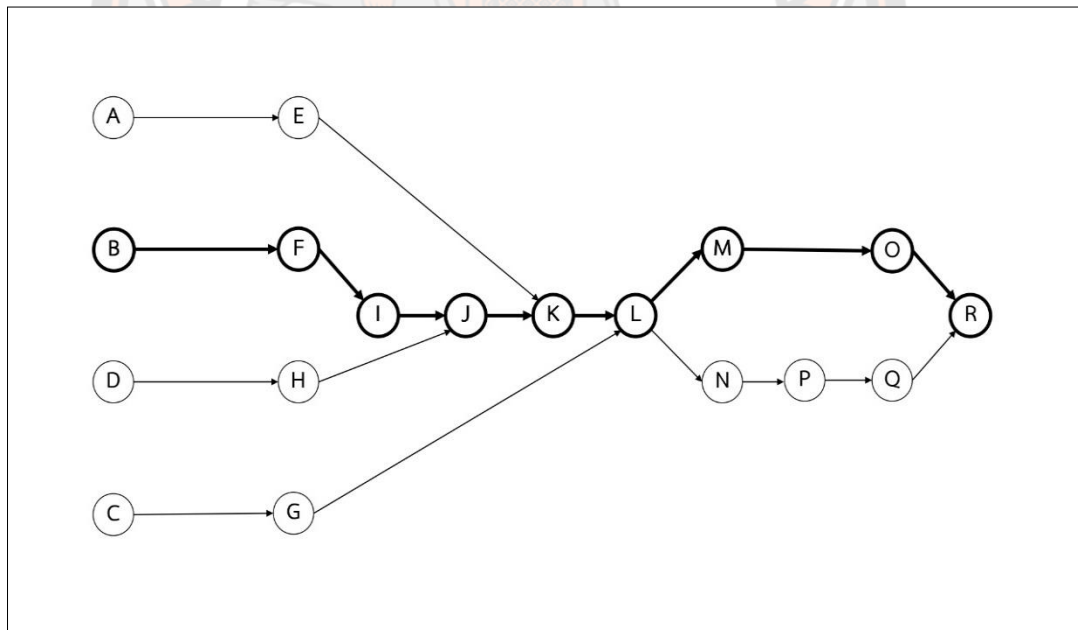
โครงการออกแบบและก่อสร้างเรือของประเทศอังกฤษ ซึ่งในการผลิตเรือจะมีกระบวนการผลิตและการออกแบบที่อาศัยนวัตกรรมต่าง ๆ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงในการผลิตและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการประกอบเรือจะต้องใช้รถเครนในการประกอบถือว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนและระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการ โดยที่ระยะเวลาในการทำงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการวางแผนทางด้านวิศวกรรม ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาของโครงการคือ การทำงานของรถเครนในงานประกอบชิ้นส่วนเรือขนาดใหญ่และประสิทธิภาพของรถเครน ซึ่งจะส่งผลให้โครงการมีความล่าช้ามาก โดยทั่วไปความล่าช้าของโครงการจะเกิดขึ้นมาจากความล่าช้าของกิจกรรมภายในโครงการ ซึ่งระยะเวลาเฉลี่ยของโครงการ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาเฉลี่ยของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโครงการ โดยมีข้อมูลของระยะเวลากิจกรรมต่าง ๆ ภายในการทำโครงการ ดังตาราง 12 และนำมาเขียนข่ายงานของโครงการได้ดังภาพ 10

ตาราง 12 ข้อมูลเวลากิจกรรมของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)			μ	σ^2
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>		
A	การออกแบบโครงสร้างของส่วนใต้ท้องเรือ	22	25	30	25.52	3.02
B	การออกแบบโครงสร้างของส่วนภายในเรือ	23	26	31	26.52	3.02
C	การออกแบบโครงสร้างของส่วนห้องเครื่อง	25	28	33	28.52	3.02
D	การออกแบบโครงสร้างของส่วนระบบท่อภายในเรือ	19	22	29	22.99	4.43
E	รวบรวมและประกอบโครงสร้างของส่วนใต้ท้องเรือ	35	37	43	37.95	2.68
F	ดำเนินการสร้างโครงสร้างของส่วนภายในเรือ	16	18	24	18.95	2.68
G	ดำเนินการสร้างโครงสร้างของส่วนห้องเครื่อง	33	35	40	35.73	2.14
H	ดำเนินการสร้างโครงสร้างส่วนระบบท่อภายในเรือ	4	5	10	5.85	1.33
I	รวบรวมและประกอบโครงสร้างของส่วนภายใน	11	14	20	14.76	3.70
J	ติดตั้งโครงสร้างต่าง ๆ ของส่วนภายในเรือ	6	7	12	7.85	1.33
K	ประกอบโครงสร้างส่วนใต้ท้องกับส่วนภายในเรือ	27	30	37	30.99	4.43
L	ประกอบโครงสร้างส่วนส่วนห้องเครื่อง	6	7	11	7.67	0.98

ตาราง 12 (ต่อ) ข้อมูลเวลากิจกรรมของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)			μ	σ^2
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>		
M	ติดตั้งเครื่องยนต์	6	7	12	7.85	1.33
N	ตรวจสอบการประกอบโครงสร้าง	4	5	9	5.67	0.98
O	ทดสอบเครื่องยนต์	17	20	26	20.76	3.7
P	ติดตั้งหม้อน้ำ	6	7	10	7.47	0.67
Q	ทดสอบหม้อน้ำ	9	10	15	10.85	1.33
R	การทดสอบครั้งสุดท้าย	13	15	20	15.73	2.14
ผลรวมของกิจกรรมวิกฤต					151.08	23.31



ภาพ 10 ข่ายงานและเส้นทางวิกฤตของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

ตาราง 13 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเวลากิจกรรม โดยวิธีการประมาณต่าง ๆ เทียบกับค่าจริงภายในโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือ

วิธีการประมาณ	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
ค่าเฉลี่ย	1.38	0.66	4.69	4.69	4.45	3.76	8.61	1.63	1.01
ความแปรปรวน	33.76	24.92	85.38	27.40	48.02	48.74	96.72	30.20	31.87

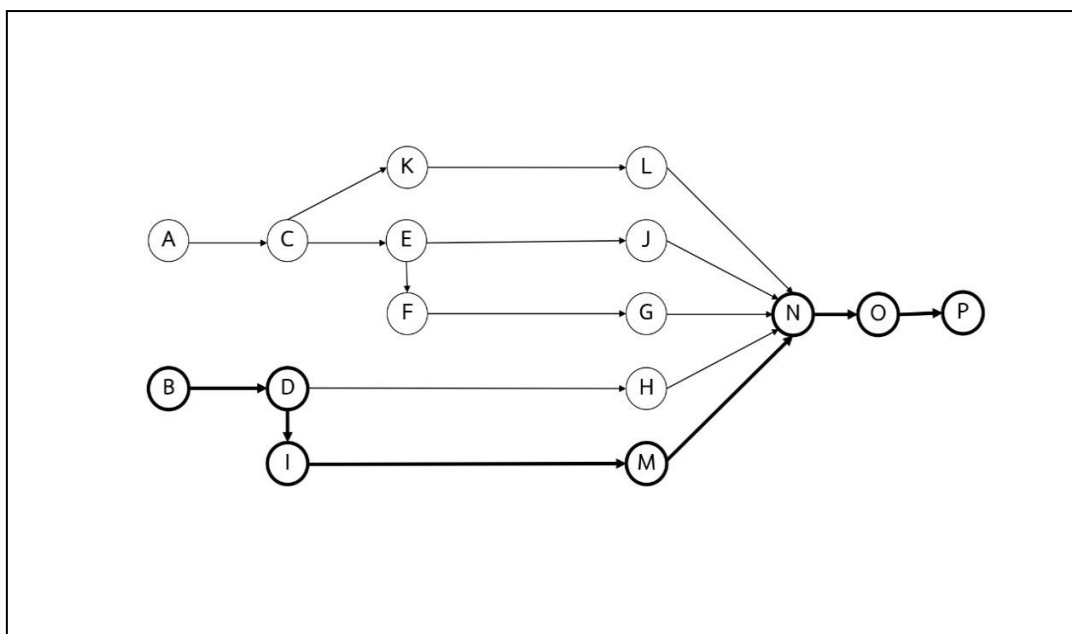
จากภาพ 10 พบว่า กิจกรรมวิกฤตของโครงการนี้ประกอบไปด้วยกิจกรรม B, F, I, J, K, L, M, O และ R เมื่อทำการประมาณค่า พบว่า ทุก ๆ วิธีการประมาณค่ามีกิจกรรมวิกฤตของโครงการ เช่นเดียวกันกับภาพ 10 และจากตาราง 13 พบว่า วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมภายในโครงการที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 3 อันดับ คือ วิธี MP วิธี RS และวิธี PT ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.66, 1.01 และ 1.38 ตามลำดับ และวิธีการประมาณค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมภายในโครงการที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 3 อันดับ คือ วิธี MP วิธี NB และวิธี GB ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเท่ากับ 24.92, 27.40 และ 30.20 ตามลำดับ เห็นได้ว่าวิธี MP เป็นวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลของโครงการออกแบบและก่อสร้างเรือซึ่งมีความสอดคล้องกับผลจากการวิจัยที่ทำการจำลองข้อมูล

4.3.2 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ระบบปรับอากาศของห้องสะอาด เป็นส่วนสำคัญในการช่วยรักษาความสะอาดของอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มคุณภาพทางการผลิต นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรกลที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งต้องการความแม่นยำ ความละเอียดในการทำงานสูง ซึ่งโครงการก่อสร้างห้องสะอาด เป็นโครงการที่ต้องอาศัยระยะเวลาดำเนินการ ทรัพยากร การวางแผนและควบคุม โดยมีข้อมูลของระยะเวลากิจกรรมต่าง ๆ ภายในโครงการ ดังตาราง 14 และนำมาเขียนข่ายงานของโครงการได้ดังภาพ 11

ตาราง 14 ข้อมูลโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)			μ	σ^2
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>		
A	การออกแบบสร้างทางวิศวกรรม	1	2	3	2.00	0.67
B	การรวมกลุ่มดำเนินการของบุคลากร	2	3	4	3.00	0.67
C	สร้างแผงรั้วชั่วคราวและสำนักงานก่อสร้าง	2	3	4	3.00	0.67
D	งานการรื้อถอนและแก้ไขปรับปรุง	2	3	4	3.00	0.67
E	การสร้างพื้นของสำนักงานชั้นที่สอง	3	4	5	4.00	0.67
F	การติดตั้งโครงสร้างของเหล็ก	3	4	5	4.00	0.67
G	การติดตั้ง Pank 50 mm	1	2	3	2.00	0.67
H	การติดตั้งระบบไฟฟ้าหลัก	9	10	12	10.33	1.56
I	ก่อสร้างผนังและเพดานของห้อง	7	8	10	8.33	1.56
J	การติดตั้งระบบไฟฟ้าภายในห้อง	6	7	9	7.33	1.56
K	สร้างฐานของเครื่องปรับอากาศ	3	4	5	4.00	0.67
L	ติดตั้งระบบเครื่องปรับอากาศ	7	8	10	8.33	1.56
M	ติดตั้งม่านอากาศและประตูเหล็กม้วน	3	4	5	4.00	0.67
N	ทดสอบทั้งระบบ	4	5	6	5.00	0.67
O	ตรวจสอบความปลอดภัย	1	2	3	2.00	0.67
P	จัดส่งแบบแปลนที่ก่อสร้างจริง	1	2	3	2.00	0.67
ผลรวมของกิจกรรมวิกฤต					27.33	5.56



ภาพ 11 ข่ายงานและเส้นทางวิกฤตของโครงการก่อสร้างห้องสะอาด
ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

ตาราง 15 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเวลากิจกรรม โดยวิธีการประมาณวิธีต่าง ๆ เทียบกับค่าจริงภายในโครงการก่อสร้างห้องสะอาดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

วิธีการประมาณ	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
ค่าเฉลี่ย	0.61	0.30	1.22	1.22	0.50	0.48	2.27	0.66	0.54
ความแปรปรวน	83.48	65.45	89.14	85.06	88.54	67.84	89.01	80.44	83.01

จากภาพ 11 พบว่า กิจกรรมวิกฤตของโครงการนี้ประกอบไปด้วยกิจกรรม B, D, I, M, N, O และ P เมื่อทำการประมาณค่า พบว่า ทุก ๆ วิธีการประมาณค่ามีกิจกรรมวิกฤตของโครงการเช่นเดียวกันกับภาพ 11 และจากตาราง 15 พบว่า วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมภายในโครงการที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 3 อันดับ คือ วิธี MP วิธี LB และวิธี LA ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30, 0.48 และ 0.50 ตามลำดับ และวิธีการประมาณค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมภายในโครงการที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 3 อันดับ คือ วิธี MP วิธี LB และวิธี GB ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 65.45, 67.84 และ 80.44 ตามลำดับ

เห็นได้ว่าวิธี MP เป็นวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลของโครงการก่อสร้างห้องสะอาดซึ่งมีความสอดคล้องกับผลจากการวิจัยที่ทำการจำลองข้อมูล

4.3.3 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

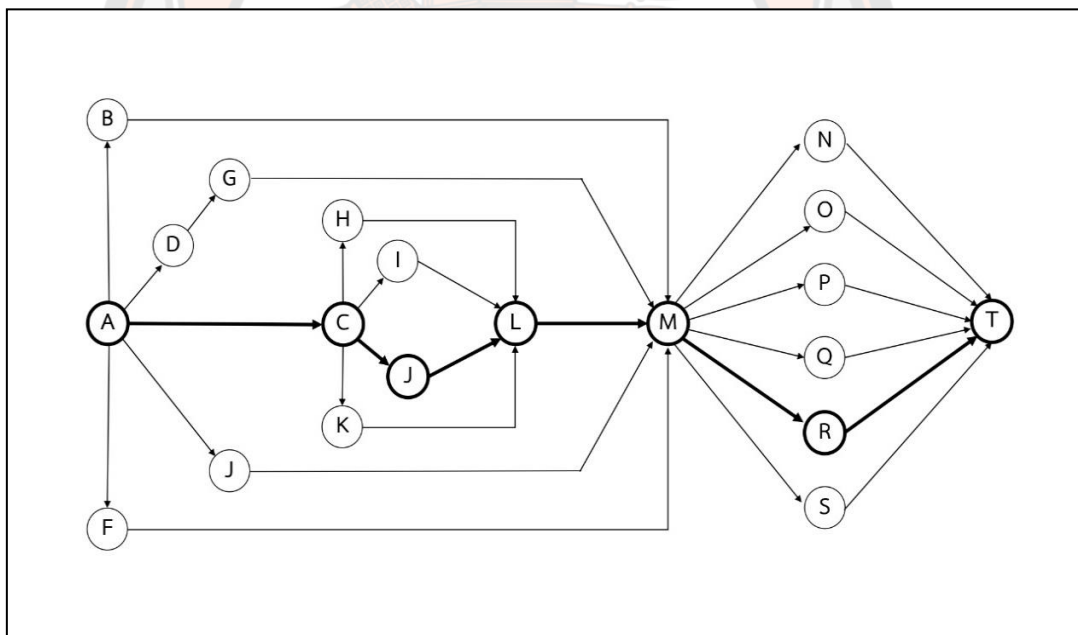
ประเทศไทยถือเป็นประเทศของเกษตรกรรม เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร และเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรนั้นส่งผลอย่างยิ่งในการพัฒนาทางด้านการเกษตรในด้านต่าง ๆ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรก็จะมีกระบวนการผลิต แผนการดำเนินการและระยะเวลาที่ต่างกันไป โดยโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง เป็นโครงการที่ต้องอาศัยระยะเวลาดำเนินการและการวางแผนโครงการ โดยมีข้อมูลของระยะเวลากิจกรรมต่าง ๆ ภายในโครงการ ดังตาราง 16 และนำมาเขียนข่ายงานของโครงการได้ดังภาพ 12

ตาราง 16 ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)			μ	σ^2
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>		
A	โครงสร้างเครื่อง	3	4	6	2.00	0.67
B	โครงสร้างตัวเครื่อง	5	7	9	3.00	0.67
C	ฝาติดกับโครงเครื่องยึดติดกับใบพัดดูดกลบ	2	3	4	3.00	0.67
D	ใบพัดดูดกลบ	2	4	6	3.00	0.67
E	ชุดประกอบเพลาลูกเบี้ยวและแบริ่ง	8	10	12	4.00	0.67
F	เพลาลูกเบี้ยว	5	7	9	4.00	0.67
G	ฝาครอบใบพัดดูดกลบ	2	4	6	2.00	0.67
H	ฝาด้านหน้าชุดโครงสร้าง	3	4	5	10.33	1.56
I	เกลียวยึดแผ่นหน้าติดกับชุดฐาน	2	3	4	8.33	1.56
J	เพลาลูกเบี้ยวรองยึดด้านใน	3	5	7	7.33	1.56
K	ทางลงข้าว	3	4	5	4.00	0.67
L	ประกอบชุดเกลียวและทางลงข้าว	5	7	9	8.33	1.56
M	ประกอบชุดหลักรวมทั้งหมดชั้นที่สอง	7	9	11	4.00	0.67
N	ร่องสไลด์ฐานมอเตอร์	2	4	6	5.00	0.67
O	ตัวดันมอเตอร์	3	5	8	2.00	0.67

ตาราง 16 (ต่อ) ข้อมูลโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

กิจกรรม	ชื่อกิจกรรม	เวลากิจกรรม (วัน)			μ	σ^2
		<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>		
P	ติดตั้งมอเตอร์	2	4	6	2.00	0.67
Q	ติดตั้งชุดพูลเลย์	3	5	7	2.00	0.67
R	ติดตั้งชุดสายพาน	4	6	8	3.00	0.67
S	ประกอบและติดตั้งตัวต้นสายพาน	2	3	4	3.00	0.67
T	ตรวจสอบการทำงานทั้งหมด	10	11	12	3.00	0.67
ผลรวมของกิจกรรมวิกฤต					27.33	5.56



ภาพ 12 ข่ายงานและเส้นทางวิกฤตของโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

ตาราง 17 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเวลากิจกรรม โดยวิธีการประมาณวิธีต่าง ๆ เทียบกับค่าจริงภายในโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง

วิธีการประมาณ	PT	MP	NA	NB	LA	LB	WB	GB	RS
ค่าเฉลี่ย	0.35	0.14	0.70	0.70	2.93	1.34	2.94	0.38	0.31
ความแปรปรวน	83.37	54.29	87.92	86.60	58.73	59.12	96.31	80.13	82.90

จากภาพ 12 พบว่า กิจกรรมวิกฤตของโครงการนี้ประกอบไปด้วยกิจกรรม A, C, J, L, M, R และ T เมื่อทำการประมาณค่า พบว่า ทุก ๆ วิธีการประมาณค่ามีกิจกรรมวิกฤตของโครงการเช่นเดียวกันกับภาพ 12 และจากตาราง 17 พบว่า วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยเวลากิจกรรมภายในโครงการที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 3 อันดับ คือ วิธี MP วิธี RS และวิธี PT ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14, 0.31 และ 0.35 ตามลำดับ และวิธีการประมาณค่าความแปรปรวนของเวลากิจกรรมภายในโครงการที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 3 อันดับ คือ วิธี MP วิธี LA และวิธี LB ซึ่งมีร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเท่ากับ 54.29, 58.73 และ 59.12 ตามลำดับ เห็นได้ว่าวิธี MP เป็นวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลของโครงการสร้างเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลจากการวิจัยที่ทำการจำลองข้อมูล

บทที่ 5

บทสรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมในโครงการ ด้วยวิธีการประมาณแบบ PERT วิธีประมาณแบบปรกติ วิธีประมาณแบบล็อกนอร์มัล วิธีประมาณ PERT แบบปรับปรุง วิธีประมาณของ Ginzburg วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha และวิธีประมาณแบบไวบูล โดยใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ เมื่อกำหนดจำนวนกิจกรรมวิกฤตเท่ากับ 5, 10, 20, ..., 80, 90 และ 100 กิจกรรม ทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำจำนวน 1,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของโครงการในทุกวิธีการประมาณค่า พบว่า

วิธีการประมาณแบบ PERT มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการประมาณแบบ PERT จะประมาณค่าเฉลี่ยได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(1,2)$ แต่สามารถประมาณค่าความแปรปรวนได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(2,4)$ และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนจะลดลงเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) เพิ่มขึ้นในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(1,2)$ และ $k \sim U(2,4)$ แต่การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) จะไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนภายในโครงการในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(4,6)$ และ $k \sim U(6,8)$

วิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงเป็นวิธีที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดกว่าวิธีอื่น ๆ ในทุกกรณีซึ่งสามารถประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนได้ดีมากที่สุดในช่วง $k \sim U(1,2)$ และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนจะลดลงเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) อยู่ในช่วง 5 ถึง 50 กิจกรรม แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) อยู่ในช่วงมากกว่า 50 กิจกรรมขึ้นไป และในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้ความมาก ๆ วิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงยังคงมีความเหมาะสมมากที่สุดในการประมาณค่า

วิธีการประมาณแบบปกติ (a, m) และ (b, m) จะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่เท่ากันในทุกกรณีเนื่องจากมีสูตรในการประมาณค่าที่เหมือนกัน โดยมีนิยามว่าค่าเฉลี่ยของเวลากิจกรรมแต่ละกิจกรรมมีค่าเท่ากับค่าของระยะเวลาที่ควรแล้วเสร็จของโครงการ ซึ่งจะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น แต่ในการประมาณค่าความแปรปรวนวิธีการประมาณแบบปกติ (a, m) สามารถทำการประมาณได้ดีกว่าวิธีการประมาณแบบปกติ (b, m) เนื่องจากมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนที่น้อยกว่า แต่ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนของทั้งสองวิธีเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) พบว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) ส่งผลให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนที่เพิ่มมากขึ้น แต่จะไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยภายในโครงการ

วิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (a, m) จะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (a, m) จะประมาณค่าเฉลี่ยได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(2, 4)$ แต่ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(4, 6)$ และ $k \sim U(6, 8)$ และเมื่อพิจารณาจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) พบว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) ไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของโครงการ

วิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (b, m) จะประมาณค่าเฉลี่ยได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(1, 2)$ เนื่องจากมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดและจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง $k \sim U(2, 4)$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับช่วง $k \sim U(4, 6)$ จากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วง $k \sim U(6, 8)$ ที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนที่ลดลง เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) พบว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) ไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของโครงการ

วิธีประมาณแบบไวบูล จะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนที่ลดลง เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น โดยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนน้อยที่สุดในช่วงที่ $k \sim U(6, 8)$ และเมื่อพิจารณาจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) พบว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) ไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของโครงการ

วิธีประมาณของ Ginzburg จะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีประมาณของ Ginzburg จะประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(1,2)$ และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนจะลดลงเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) เพิ่มขึ้นในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(1,2)$ และ $k \sim U(2,4)$ แต่การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) จะไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนภายในโครงการในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(4,6)$ และ $k \sim U(6,8)$ ซึ่งลักษณะแนวโน้มของร้อยละความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีประมาณของ Ginzburg จะมีลักษณะแนวโน้มเหมือนกันกับวิธีการประมาณแบบ PERT เนื่องจากวิธีประมาณของ Ginzburg เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวิธีการประมาณแบบ PERT เป็นต้นแบบ

วิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha จะมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha จะประมาณค่าเฉลี่ยได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(1,2)$ แต่จะประมาณค่าความแปรปรวนได้ดีที่สุดในช่วง $k \sim U(2,4)$ และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนจะลดลงเมื่อจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) เพิ่มขึ้นในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(1,2)$ และ $k \sim U(2,4)$ แต่การเพิ่มขึ้นของจำนวนกิจกรรมวิกฤต (r) จะไม่ส่งผลต่อค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนภายในโครงการในกรณีที่ข้อมูลมีความเบ้อยู่ในช่วง $k \sim U(4,6)$ และ $k \sim U(6,8)$ ซึ่งลักษณะแนวโน้มของร้อยละความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha จะมีลักษณะแนวโน้มเหมือนกันกับวิธีการประมาณแบบ PERT เนื่องจากวิธีประมาณของ Ravi และ Sireesha เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวิธีการประมาณแบบ PERT เป็นต้นแบบ

เมื่อพิจารณาวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมด้วยวิธีการประมาณต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ซึ่งทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำจำนวน 1,000 ครั้ง พบว่า วิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงเป็นวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมภายในโครงการได้ดีที่สุดสำหรับการทดลองในทุกสถานการณ์ที่ทำการศึกษารวมถึงข้อมูลที่น่ามาประยุกต์ใช้ทั้ง 3 ชุดข้อมูล เนื่องจากวิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงเป็นวิธีที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ทำการศึกษา

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษา พบว่า ร้อยละความคลาดเคลื่อนของทุกวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยเวลาและความแปรปรวนจะที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ยกเว้นวิธีการประมาณแบบล็อกนอร์มัล (b, m) ที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนลดลง ขึ้น เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดช่วงของฐานนิยมแต่ละช่วง (k) เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohan S และคณะ (2007) แต่เมื่อพิจารณาร้อยละความคลาดเคลื่อนของทุกวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยเวลาและความแปรปรวน พบว่า วิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเวลากิจกรรมโครงการที่ได้โดยการทำการทดลองในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวาน้อยไปถึงมาก รวมทั้งได้ทำการประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงทั้ง 3 โครงการ เนื่องจากมีร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประมาณอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Paulo B (2012) ที่นำเสนอไว้ว่า วิธีการประมาณ PERT แบบปรับปรุงเป็นวิธีที่แนะนำให้ใช้ในการประมาณค่าของโครงการมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการประมาณที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยสุดในการประมาณค่า

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเพิ่มขอบเขตการศึกษาในสถานการณ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น กำหนดสถานการณ์ของข้อมูลที่มีลักษณะเบ้ซ้าย เป็นต้น
2. การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมาณค่าที่ได้จากการแจกแจงอื่น ๆ เช่น การแจกแจงแกมมา (Gamma distribution) หรือ การแจกแจงเออแลง (Erlang distribution) เนื่องจากเป็นการแจกแจงที่ลักษณะเบ้ขวาซึ่งอาจจะทำให้มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าเวลากิจกรรมในข้อมูลที่มีลักษณะเบ้ขวาได้ดี
3. ควรปรับเปลี่ยนรูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์



```
t=1
mp=1
r = 90
L = 1000
z.norm = 3.44
z.lnorm = 3
p = c()
q = c()
p1 = matrix(c(0,L,1))
q1 = matrix(c(0,L,1))
sd = matrix(c(0,L,1))
kw = matrix(c(0,L,1))
x0 = matrix(c(0,L,1))
parawei = c()
mu.true1 = matrix(c(0,L,1))
mu.pert2 = matrix(c(0,L,1))
mu.ravi3 = matrix(c(0,L,1))
mu.noam4 = matrix(c(0,L,1))
mu.nobm5 = matrix(c(0,L,1))
mu.lgam6 = matrix(c(0,L,1))
mu.lgbm7 = matrix(c(0,L,1))
mu.ginz8 = matrix(c(0,L,1))
mu.weib9 = matrix(c(0,L,1))
mu.mop10 = matrix(c(0,L,1))
mu.mop11 = matrix(c(0,L,1))
mu.mop12 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.true1 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.pert2 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.ravi3 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.noam4 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.nobm5 = matrix(c(0,L,1))
```

```

Ssq.lgam6 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.lgbm7 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.ginz8 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.weib9 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.mop10 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.mop11 = matrix(c(0,L,1))
Ssq.mop12 = matrix(c(0,L,1))

```

```

while (t<=L) {
  t = t+1
  a = runif(r,min=1,max=4)
  b = runif(r,min=8,max=12)
  alpha = runif(r,min=1,max=5)
  k = runif(r,min=8,max=10)
  m = (b+(a*k))/(k+1)
  beta = ((b-a)/(m-a))*(alpha-1)-alpha+2
  x = runif(r,min=a,max=m)

  # true mu & variance
  mu.true = a+((b-a)*alpha/(alpha+beta))
  Ssq.true = ((b-a)^2)*alpha*beta/((alpha+beta+1)*((alpha+beta)^2))
  mu.true1[t-1] = mean(mu.true)
  Ssq.true1[t-1] = mean(Ssq.true)

  # PERT
  mu.pert = (a+(4*m)+b)/6
  Ssq.pert = ((b-a)^2)/36
  mu.pert2[t-1] = mean(mu.pert)
  Ssq.pert2[t-1] = mean(Ssq.pert)
}

```

#Ravi & Sireesha

$$\mu.\text{ravi} = ((5*a)+(17*m)+(5*b))/27$$

$$\text{Ssq.ravi} = ((b-a)^2)/35$$

$$\mu.\text{ravi3}[t-1] = \text{mean}(\mu.\text{ravi})$$

$$\text{Ssq.ravi3}[t-1] = \text{mean}(\text{Ssq.ravi})$$

#Normal(a,m)

$$\mu.\text{noam} = m$$

$$\text{Ssq.noam} = ((m-a)/z.\text{norm})^2$$

$$\mu.\text{noam4}[t-1] = \text{mean}(\mu.\text{noam})$$

$$\text{Ssq.noam4}[t-1] = \text{mean}(\text{Ssq.noam})$$

Normal(b,m)

$$\mu.\text{nobm} = m$$

$$\text{Ssq.nobm} = ((b-m)/z.\text{norm})^2$$

$$\mu.\text{nobm5}[t-1] = \text{mean}(\mu.\text{nobm})$$

$$\text{Ssq.nobm5}[t-1] = \text{mean}(\text{Ssq.nobm})$$

Lognormal(a,m)

$$\text{Ssq.lgam} = ((z.\text{lnorm}/2) - \text{sqrt}(((z.\text{lnorm}^2)/4) + \log(a/m)))^2$$

$$\mu.\text{lgam} = \exp(\log(a) + (z.\text{lnorm} * (\text{sqrt}(\text{Ssq.lgam}))))$$

$$\mu.\text{lgam6}[t-1] = \text{mean}(\mu.\text{lgam})$$

$$\text{Ssq.lgam6}[t-1] = \text{mean}(\text{Ssq.lgam})$$

Lognormal(b,m)

$$\text{Ssq.lgbm} = ((-z.\text{lnorm}/2) + \text{sqrt}(((z.\text{lnorm}^2)/4) + \log(b/m)))^2$$

$$\mu.\text{lgbm} = \exp(\log(b) - (z.\text{lnorm} * (\text{sqrt}(\text{Ssq.lgbm}))))$$

$$\mu.\text{lgbm7}[t-1] = \text{mean}(\mu.\text{lgbm})$$

$$\text{Ssq.lgbm7}[t-1] = \text{mean}(\text{Ssq.lgbm})$$


```

#Ginzburg
mu.ginz = ((2*a)+(9*m)+(2*b))/13
Ssq.ginz = (((b-a)^2)/1268)*(22+(81*(m-a)/(b-a))-(81*((m-a)/(b-a)^2)))
mu.ginz8[t-1] = mean(mu.ginz)
Ssq.ginz8[t-1] = mean(Ssq.ginz)

# Weibull
datawei = matrix(c(a,m,b), nrow = r , ncol = 3)
for(j in 1:r){
  parawei = fitdist(datawei[j,],"weibull")
  #shape parameter
  p[j] = parawei[["estimate"]][["shape"]]
  p1=mean(p)
  #scale parameter
  q[j] = parawei[["estimate"]][["scale"]]
  q1=mean(q)
}

sd = gamma(1+(2/p1))-((gamma(1+(1/p1)))^2)
kw = ((b-a)/sd)
x0 = m-(q1*((1-(1/p1))^(1/p1)))
mu.weib = x0+(q1*(gamma(1+(1/p1))))
  #q1*gamma(1+(1/p1))
  #x0+(q1*(gamma(1+(1/p1))))
Ssq.weib = ((b-a)/kw)^2
  #(q1^2)*((gamma(1+(2/p1)))-((gamma(1+(1/p1)))^2))
  #((b-a)/kw)^2
mu.weib9[t-1] = mean(mu.weib)
Ssq.weib9[t-1] = mean(Ssq.weib)

```

```

# Modified PERT
# estimate shape and scale parameter
MP_likelihoood <- function(para){sum (-log(beta(para[1],para[2]))+((para[1]-1)*log(x-
a))+((para[2]-1)*log(m-x))-((para[1]+para[2]-1)*log(b-a)))}
MLE = optim(c(alpha,beta), fn = MP_likelihoood, gr = NULL, method = "L-BFGS-B",
lower = 0.000001 , control = list(fnscale = -1), heRSian = FALSE)
MLE$par
mp=mp+1

shape = (MLE[["par"]]-1)*((b-a)/(m-a))
shape1 = (MLE[["par"]]-1)*((b-a)/(b-m))
shape2 = ((MLE[["par"]]-1)*((b-a)/(m-a))+MLE[["par"]]-1)*((b-a)/(b-m))/2
mu.mop = (a+(abs(shape)*m)+b)/(abs(shape)+2)
Ssq.mop = ((mu.mop-a)*(b-mop))/(abs(shape)+3)
mu.mop10[t-1] = mean(mu.mop)
Ssq.mop10[t-1] = mean(Ssq.mop)
}

value.mu1=abs(mu.true1-mu.pert2)/mu.true1
value.mu2=abs(mu.true1-mu.ravi3)/mu.true1
value.mu3=abs(mu.true1-mu.noam4)/mu.true1
value.mu4=abs(mu.true1-mu.nobm5)/mu.true1
value.mu5=abs(mu.true1-mu.lgam6)/mu.true1
value.mu6=abs(mu.true1-mu.lgbm7)/mu.true1
value.mu7=abs(mu.true1-mu.ginz8)/mu.true1
value.mu8=abs(mu.true1-mu.weib9)/mu.true1
value.mu9=abs(mu.true1-mu.mop10)/mu.true1
value.mu10=abs(mu.true1-mu.mop11)/mu.true1
value.mu11=abs(mu.true1-mu.mop12)/mu.true1

```

```
value.Ssq1=abs(Ssq.true1-Ssq.pert2)/Ssq.true1  
value.Ssq2=abs(Ssq.true1-Ssq.ravi3)/Ssq.true1  
value.Ssq3=abs(Ssq.true1-Ssq.noam4)/Ssq.true1  
value.Ssq4=abs(Ssq.true1-Ssq.nobm5)/Ssq.true1  
value.Ssq5=abs(Ssq.true1-Ssq.lgam6)/Ssq.true1  
value.Ssq6=abs(Ssq.true1-Ssq.lgbm7)/Ssq.true1  
value.Ssq7=abs(Ssq.true1-Ssq.ginz8)/Ssq.true1  
value.Ssq8=abs(Ssq.true1-Ssq.weib9)/Ssq.true1  
value.Ssq9=abs(Ssq.true1-Ssq.mop10)/Ssq.true1  
value.Ssq10=abs(Ssq.true1-Ssq.mop11)/Ssq.true1  
value.Ssq11=abs(Ssq.true1-Ssq.mop12)/Ssq.true1
```

```
mean(value.mu1)  
mean(value.mu2)  
mean(value.mu3)  
mean(value.mu4)  
mean(value.mu5)  
mean(value.mu6)  
mean(value.mu7)  
mean(value.mu8)  
mean(value.mu9)  
mean(value.mu10)  
mean(value.mu11)
```

```
mean(value.Ssq1)  
mean(value.Ssq2)  
mean(value.Ssq3)  
mean(value.Ssq4)  
mean(value.Ssq5)  
mean(value.Ssq6)  
mean(value.Ssq7)
```

mean(value.Ssq8)
mean(value.Ssq9)
mean(value.Ssq10)
mean(value.Ssq11)



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2553). *การวิเคราะห์เชิงปริมาณ* (พิมพ์ครั้งที่ 1). คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดุสิต ชัยประสิทธิกุล. (2560). *การประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงไวบูลเมื่อข้อมูลถูกตรวจนับแบบสุ่ม* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์). ThaiLIS. https://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php
- บุญสิน นาดอนคู่ และนพตล ศรีพุทธา. (2563). การศึกษาโครงการก่อสร้างห้องสะอาดด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการประเมินผลและทบทวนโครงการ/เส้นทางวิกฤต กรณีศึกษาโรงงานประกอบชิ้นส่วนยานยนต์. *วารสารการประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ*. 5. 227-233.
- พิภพ ลลิตาภรณ์. (2541). *เทคนิคการบริหารโครงการโดย CPM และ PERT* (พิมพ์ครั้งที่ 5). สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- มนต์ชัย เทียนทอง. (2548). *สถิติและวิธีการวิจัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุทธิมา ชำนาญเวช. (2552). *การวิจัยดำเนินงาน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์วิทย์พัฒนา.
- สุรพงศ์ บางพาน และคณะ. (2560). การสร้างข่ายงานกิจกรรมในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา: เครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*. 24(1). 9-19.
- BETTEMİR, O. (2020). Computation of Critical Path Probabilities by Modified PERT. *Gazi University Journal of Science*, 1-1.
- Buchsbaum, P. (2012). Modified PERT simulation. *Great Solutions, Rio de Janeiro, Brazil*.
- Cottrell, W. D. (1999). Simplified program evaluation and review technique (PERT). *Journal of construction Engineering and Management*, 125(1), 16-22.
- Farnum, N. R., & Stanton, L. W. (1987). Some results concerning the estimation of beta distribution parameters in PERT. *Journal of the Operational Research Society*, 287-290.
- Fente, J., Schexnayder, C., & Knutson, K. (2000). Defining a probability distribution function for construction simulation. *Journal of construction engineering and management*, 126(3), 234-241.

- Finney, D. J. (1941). On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. *Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society*, 7(2), 155-161.
- Golenko-Ginzburg, D. (1988). On the distribution of activity time in PERT. *Journal of the Operational Research Society*, 39(8), 767-771.
- Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., & Fazar, W. (1959). Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations research*, 7(5), 646-669.
- McCombs, E. L., Elam, M. E., & Pratt, D. B. (2009). Estimating task duration in PERT using the Weibull probability distribution. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 8(1), 26.
- Mohan, S., Gopalakrishnan, M., Balasubramanian, H., & Chandrashekar, A. (2007). A lognormal approximation of activity duration in PERT using two time estimates. *Journal of the Operational Research Society*, 58(6), 827-831.
- Owen, C. B. (2008). *Parameter estimation for the beta distribution*. Brigham Young University.
- Premachandra, I. M. (2001). An approximation of the activity duration distribution in PERT. *Computers & Operations Research*, 28(5), 443-452.
- Shankar, N. R., & Sireesha, V. (2009). An approximation for the activity duration distribution, supporting original PERT. *Applied Mathematical Sciences*, 3(57), 2823-2834.
- Shankar, N. R., Rao, K. S. N., & Sireesha, V. (2010). Estimating the Mean and Variance of activity duration in PERT. *International Mathematical Forum* (Vol. 5, No. 18, pp. 861-868).
- Shankar, N. R., Babu, S. S., Thorani, Y. L. P., & Raghuram, D. (2011). Right skewed distribution of activity times in PERT. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(4), 2932-2938.
- Sireesha, V., & Shankar, N. R. (2015). Improved approximation of PERT activity parameters and validation. *Journal of Engineering and Technology (SJET)*, 3(1), 55-60.

Taggart, R. (Ed.). (1980). *Ship design and construction*. Society of Naval Architects & Marine Engineers .

Vose, D. (2008). *Risk analysis: a quantitative guide*. John Wiley & Sons.

