



รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้
ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป

**An Analysis of Defective Products in Auto Parts Factories
with Generalized Linear Mixed Models**

ดร. พิษณุ ทองขาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุนีย์ สัมมาทัต

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร และเพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบ Generalized estimating equations (GEE) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนและความช่วยเหลือจากหลายท่าน คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. สุภัทรา โกไศยกานนท์ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มาตั้งแต่เริ่มต้น

ทำยนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย



ชื่อเรื่อง : การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวาง
นัยทั่วไป

ผู้วิจัย : ดร. พิษณุ ทองขาว ผศ. สุณีย์ สัมมาทัต

พ.ศ. : 2558

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ใน
อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้า
บกพร่อง หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร และ เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบ
ที่นำเสนอกับตัวแบบ Generalized estimating equations (GEE) ตัวแบบที่นำเสนอคือตัวแบบตัว
แบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized linear mixed model หรือ GLMM) ที่ตัวแปรตามมี
การแจกแจงแบบปัวซอง และใช้การประมาณค่าด้วยวิธีของเบย์ ข้อมูลเก็บรวบรวมจากเครื่องจักรใน
โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง จำนวน 12 เครื่องๆ ละ 15 วัน โดยวันที่เก็บข้อมูลแตกต่างกัน
ตาม ขั้นตอนการผลิต และชนิดของสินค้า ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับ
ข้อมูล ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานบกพร่องของเครื่องจักรได้แก่ ขั้นตอนการทำงาน คนงาน และ
ชนิดของสินค้า จากการเปรียบเทียบค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย พบว่าขั้นตอนที่ผลิตสินค้า
เสียมากที่สุด คือขั้นตอนที่ 2 รองลงมาคือขั้นตอนที่ 3, 1 และ 4 ตามลำดับ คนงานที่ผลิตสินค้าเสีย
มากที่สุด คือคนงานที่ 4 รองลงมาคือคนงานที่ 10, 5, 8, 6, 2, 3, 1, 7 และ 9 ตามลำดับ สินค้าที่
ผลิตเสียมากที่สุด คือสินค้าที่ 3 รองลงมาคือสินค้าที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ถ้าต้องการดูขนาดอิทธิพล
ของปัจจัยในลักษณะภาพรวม ดูได้จากค่าประมาณในตัวแบบ GEE แต่ถ้าต้องการดูขนาดอิทธิพลของ
ปัจจัยในลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละเครื่องจักร ดูได้จากค่าประมาณในตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

คำสำคัญ: ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (GLMM), การประมาณค่าแบบเบย์, โรงงานผลิตชิ้นส่วน
รถยนต์, สินค้าบกพร่อง

Title : The Analysis of Defective Products in Auto Parts Factories with
Generalized Linear Mixed Models

Researcher : Dr. Pitsanu Tongkhow Asst. Prof. Sunee Sammatat

Year : 2015

Abstract

The objectives of this research are to propose a proper model for defective products in an autoparts manufacturing industry, to apply the proposed model to the defective products data, to investigate the factors related to the machines producing defective products, and to compare the proposed model with the generalized estimating equations model (GEE). The proposed model is a generalized linear mixed model (GLMM) in which the dependent variables have a Poisson distribution. The parameter are estimated using a Bayesian method. The data were collected from 12 machines, 15 days for each machine, from an autoparts manufacturing factory. The data collection dates vary depending on the working steps and the product types. The results show that the proposed model fits the data. The factors related to the machines producing defective products are working steps, workers, and product types. According to the estimates of the factors effects, the working step producing the largest number of defective products is the working step 2 followed by the working steps 3, 1 and 4, respectively. The worker producing the largest of defective products is the worker 4, followed by the workers 10, 5, 8, 6, 2, 3, 1, 7 and 9, respectively. The product type 3 has the largest number of defective products, followed by the product types 2 and 1, respectively. If the population-averaged effects are focused, the GEE is applied. However, the subject-specific is focused, the GLMM is applied.

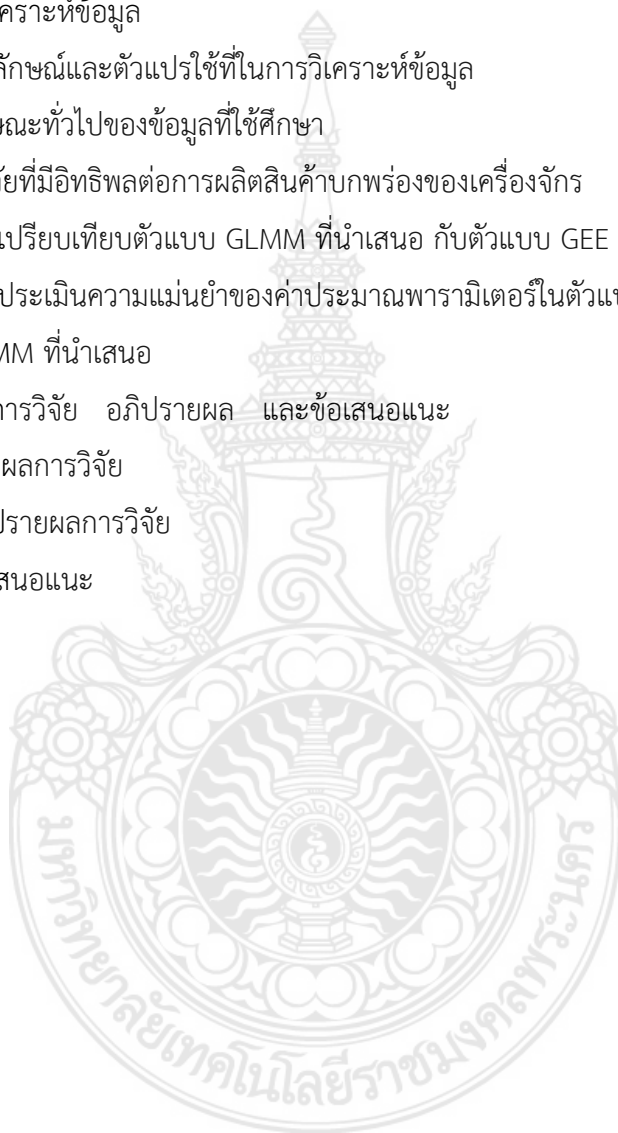
Keywords: Generalized linear mixed model (GLMM), Bayesian estimation, Autoparts manufacturing factory, Defective products

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	18
3.2 ตัวแปรสำหรับการวิจัย	18
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	19
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	19
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	19
3.6 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์	21
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	22

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	24
4.1 สัญลักษณ์และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	24
4.2 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่ใช้ศึกษา	25
4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบภร่องของเครื่องจักร	31
4.4 การเปรียบเทียบตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE	59
4.5 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้วิจัย	81



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	จำนวนข้อมูลแบ่งตามขั้นตอนการทำงาน	25
2	จำนวนข้อมูลแบ่งตามคนงาน	26
3	จำนวนข้อมูลแบ่งตามชนิดของสินค้า	27
4	จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามประเภทของเครื่องจักร	27
5	จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามตามขั้นตอนการทำงาน	29
6	จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามคนงาน	29
7	จำนวนสินค้าบกพร่องมี แบ่งตามชนิดของสินค้า	30
8	ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่อง ของเครื่องจักร จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ	49
9	ค่าประมาณ Random intercept จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ	51
10	ค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียเฉลี่ย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ	52
11	ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต สินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ของตัวแบบ GEE	59
12	ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่อง ของเครื่องจักร จากตัวแบบ GEE	60
13	การเปรียบเทียบค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยจากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอกับตัวแบบ GEE	62
14	ค่าการเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ของค่าประมาณขนาดอิทธิพลขนาดของปัจจัย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ	63
ตารางภาคผนวกที่		
1	ค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียเฉลี่ย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ	74

สารบัญภาพ

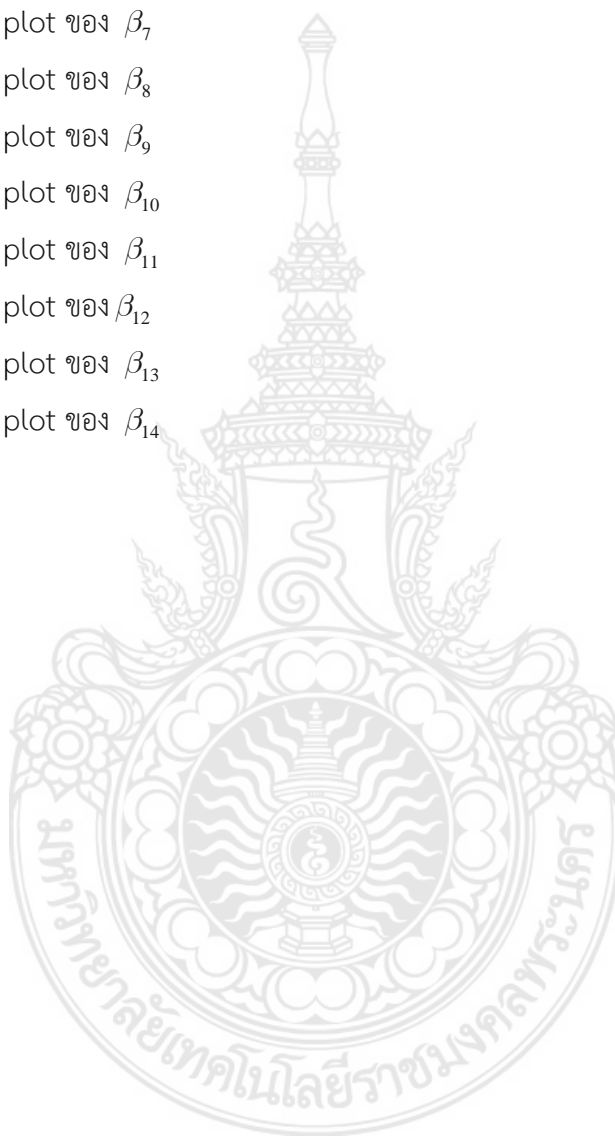
ภาพที่		หน้า
1	Trace plot ของ β_0	32
2	Trace plot ของ β_1	32
3	Trace plot ของ β_2	32
4	Trace plot ของ β_3	33
5	Trace plot ของ β_4	33
6	Trace plot ของ β_5	33
7	Trace plot ของ β_6	33
8	Trace plot ของ β_7	34
9	Trace plot ของ β_8	34
10	Trace plot ของ β_9	34
11	Trace plot ของ β_{10}	34
12	Trace plot ของ β_{11}	35
13	Trace plot ของ β_{12}	35
14	Trace plot ของ β_{13}	35
15	Trace plot ของ β_{14}	35
16	Kernel density plot ของ β_0	36
17	Kernel density plot ของ β_1	36
18	Kernel density plot ของ β_2	36
19	Kernel density plot ของ β_3	37
20	Kernel density plot ของ β_4	37
21	Kernel density plot ของ β_5	37
22	Kernel density plot ของ β_6	37
23	Kernel density plot ของ β_7	38
24	Kernel density plot ของ β_8	38
25	Kernel density plot ของ β_9	38
26	Kernel density plot ของ β_{10}	38

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
27	Kernel density plot ของ β_{11}	39
28	Kernel density plot ของ β_{12}	39
28	Kernel density plot ของ β_{13}	39
30	Kernel density plot ของ β_{14}	39
31	History plot ของ β_0	40
32	History plot ของ β_1	40
33	History plot ของ β_2	40
34	History plot ของ β_3	41
35	History plot ของ β_4	41
36	History plot ของ β_5	41
37	History plot ของ β_6	42
38	History plot ของ β_7	42
39	History plot ของ β_8	42
40	History plot ของ β_9	43
41	History plot ของ β_{10}	43
42	History plot ของ β_{11}	43
43	History plot ของ β_{12}	44
44	History plot ของ β_{13}	44
45	History plot ของ β_{14}	44
46	History plot ของ β_0	45
47	History plot ของ β_1	45
48	History plot ของ β_2	45
49	History plot ของ β_3	46
50	History plot ของ β_4	46
51	History plot ของ β_5	46
52	History plot ของ β_6	46

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
53	History plot ของ β_7	47
54	History plot ของ β_8	47
55	History plot ของ β_9	47
56	History plot ของ β_{10}	47
57	History plot ของ β_{11}	48
58	History plot ของ β_{12}	48
59	History plot ของ β_{13}	48
60	History plot ของ β_{14}	48



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย มีสัดส่วนประมาณ 11% ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ซึ่งปัจจุบันไทยสามารถผลิตรถยนต์เป็นลำดับที่ 9 ของโลก และเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน และสามารถส่งออกได้อันดับ 13 ของโลก ในปี 2556 ที่ผ่านมามีรายได้จากการส่งออกกว่า 754,225.90 ล้านบาท ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนที่สำคัญโดยเติบโตควบคู่กับอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของไทยมายาวนานกว่า 40 ปี จึงเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศและสร้างรายได้มหาศาล นับแสนล้านบาทต่อปี โดยรถยนต์ 1 คันประกอบด้วยชิ้นส่วนมากกว่า 20,000 ชิ้น โดยในปี 2556 ไทยสามารถผลิตรถยนต์ได้ รวมกว่า 2.45 ล้านคัน ขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 2% จากปี 2555

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ของไทยประกอบด้วยผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบยานยนต์สำเร็จรูปในประเทศ (OEM: Original equipment manufacturers) ผู้ประกอบการในชิ้นประกอบในกลุ่มระบบตัวถังรถยนต์ (Body parts) และผู้ประกอบการในชิ้นประกอบในกลุ่มกันชน ซึ่งเชื่อมโยงอุตสาหกรรมการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำโดยมีผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์กว่า 2,400 ราย แบ่งเป็นผู้ประกอบการไทย 1,850 ราย ผู้ประกอบการไทยร่วมทุนต่างชาติ 550 ราย

ในปี 2556 อุตสาหกรรมนี้สร้างรายได้ จากการส่งออกให้ประเทศกว่า 754,225.90 ล้านบาท โดยแบ่งเป็นมูลค่าส่งออกรถยนต์ 512,186.40 ล้านบาท เครื่องยนต์มูลค่า 28,353.85 ล้านบาท ชิ้นส่วนอะไหล่ มูลค่า 19,715.26 ล้านบาท อุปกรณ์ยึดจับและแม่พิมพ์ มูลค่า 2,636.44 ล้านบาท และชิ้นส่วนสำหรับโรงงานประกอบรถยนต์ (O.E.M Parts) 190,386.45 ล้านบาท และอื่นๆ 947.49 ล้านบาท (สมาคมผู้ผลิตยานยนต์, 2557)

อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยได้เปลี่ยนไป เนื่องจากผู้ผลิตชิ้นส่วนไทยต้องเผชิญกับภาวะการแข่งขันที่รุนแรงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศคู่แข่งที่มีความได้เปรียบด้านต้นทุนที่อยู่ในระดับต่ำกว่าเข้ามาชิงส่วนแบ่งตลาด ทำให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนไทยต้องมีการปรับตัวโดยเน้นการเสริมสร้างศักยภาพการออกแบบและพัฒนา พร้อมทั้งยกระดับคุณภาพการผลิต ตลอดจนลดการสูญเสียจากการผลิตด้วยการยกระดับเทคโนโลยีการผลิต และพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยให้สามารถเติบโตต่อไปได้ในระยะยาว

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีสินค้าบกพร่องเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ความบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต อาจเนื่องมาจากเครื่องจักร หรือคนงาน โรงงานส่วนใหญ่จะมีการเก็บข้อมูลจำนวนสินค้าเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ข้อมูลนี้จะมีประโยชน์มากขึ้น ถ้าได้มีการวิเคราะห์เชิงลึก ข้อมูลสินค้าบกพร่องเป็นจำนวนมาก และมีการเก็บอย่างต่อเนื่อง ตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นจำนวนมาก และมีการเก็บซ้ำ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ตัวแบบ ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Mixed Model หรือ GLMM) ตัวอย่างเช่น Krueger and Montgomery (2014) ใช้ตัวแบบ GLMM วิเคราะห์ข้อมูล จำนวนอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เพื่อหาสาเหตุของสินค้าบกพร่อง ควบคุมกระบวนการผลิต และพยากรณ์ผลผลิต การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ GLMM มีหลายวิธี วิธีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายคือ วิธีการของเบย์ วิธีการของเบย์จะกำหนดรูปแบบการแจกแจงของข้อมูล การแจกแจงของพารามิเตอร์ที่มองเป็นตัวแปรแปรสุ่ม การแจกแจงของพารามิเตอร์เรียกว่า Prior ผลคูณของการแจกแจงของข้อมูล กับ Prior เรียกว่า Posterior การประมาณค่าพารามิเตอร์ใน Posterior ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้หลักการของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) ที่ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ Gibbs sampling

การใช้ตัวแบบ GLMM สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นส่วนยานยนต์บกพร่องในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยยังไม่มีการใช้มาก่อน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำตัวแบบ GLMM ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซอง และประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีการของเบย์ มาใช้ ปัจจุบันนำมาพิจารณาได้แก่ ขั้นตอนการผลิตของเครื่องจักร ชนิดของชิ้นส่วนรถยนต์ คนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้ จะช่วยให้ผู้บริหารวางแผน ตัดสินใจในการดำเนินการเพื่อลดจำนวนสินค้าบกพร่องที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป ซึ่งยังผลให้การร้องเรียนของลูกค้าต่อสินค้า หรือบริการที่ส่งมอบช้าลดลง ความพึงพอใจของลูกค้าก็จะอยู่ในระดับสูงขึ้น ทำให้องค์กรมีศักยภาพการ

แข่งขันในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ราคา การส่งมอบ การบริการ รวมถึงการสร้างขวัญ กำลังใจ และสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างมีคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิต ชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง

1.2.3 เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบ Generalized estimating equations (GEE)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรคือ เครื่องจักรทั้งหมดในโรงงานที่ทำการศึกษแห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี

ตัวอย่างคือ เครื่องจักรที่สุ่มมาจากโรงงานที่ทำการศึกษา จำนวน 15 เครื่อง

ตัวแปรต้น คือ ขั้นตอนการทำงาน คนงาน และชนิดของสินค้า

ตัวแปรตาม คือจำนวนสินค้าบกพร่อง

1.4 สมมุติฐานในการวิจัย

ขั้นตอนการทำงาน คนงาน ชนิดของสินค้า มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

ชั้นส่วนรถยนต์ หมายถึงชั้นส่วนของระบบเครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง ช่วงล่าง ไฟฟ้า เครื่องยนต์ ไฟฟ้าตัวถัง และส่วนประกอบภายนอก

สินค้า หมายถึง ชั้นส่วนรถยนต์

สินค้าบกพร่อง หมายถึง ชั้นส่วนรถยนต์มีลักษณะบกพร่อง เช่น ครีบแหวง หรือ มีรอยตำหนิ และอื่นๆ

ขั้นตอนการทำงาน หมายถึง ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

คนงาน หมายถึง คนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร

ชนิดของสินค้า หมายถึง ชั้นส่วนรถยนต์รหัส DN20 RT50 และ AS39

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการการวางแผนควบคุมคุณภาพการผลิต ป้องกัน และแก้ไขปัญหาในโรงงานตัวอย่าง

1.6.2 สามารถนำผลไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ และใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาตัวแบบต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป นี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Generalized linear mixed model (GLMM)

2.1.2 ทฤษฎีของเบย์

2.1.3 GEE

2.1.4 อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ในประเทศไทย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Generalized linear mixed model (GLMM)

McCullouch and Searle (2001) อธิบายตัวแบบ GLMM พื้นฐาน ไว้ดังนี้

ตัวแบบ GLMM มีจุดเริ่มต้นจากการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของเวกเตอร์ของตัวแปรตาม \mathbf{y} เมื่อกำหนดค่าเวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม \mathbf{b} ที่แสดงอิทธิพลเชิงสุ่มที่มีอิทธิพลต่อเวกเตอร์ของตัวแปร \mathbf{y} แทนด้วย $\mathbf{y}|\mathbf{b}$ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะถูกระบุให้มีการแจกแจงอยู่ใน Exponential family มีลักษณะดังนี้

ให้ $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n_i$ และ $y_{ij} | \mathbf{b} \sim f(y_{ij} | \mathbf{b})$ มีการแจกแจงดังนี้

$$f(y_{ij} | \mathbf{b}) = \exp\{\phi^{-1}[Y_{ij}\eta_{ij} - \psi(\eta_{ij})] + c(Y_{ij}, \phi)\}$$

ค่าคาดหวังคือ $E(y_{ij} | \mathbf{b}) = \mu_{ij}$ และ

$$g(E(y_{ij} | \mathbf{b})) = g(\mu_{ij}) = \mathbf{x}_{ij}^T \boldsymbol{\beta} + \mathbf{z}_{ij}^T \mathbf{b},$$

เมื่อ $g(\mu_{ij})$ คือ link function, \mathbf{x}_{ij}^T คือสมาชิกในแถวที่ i ของเมตริกซ์ปัจจัยคงที่ (Fixed effects) $\boldsymbol{\beta}$ คือเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่เป็นค่าคงที่ \mathbf{z}_{ij}^T คือสมาชิกในแถวที่ i ของเมตริกซ์ปัจจัยเชิงสุ่ม (Random effects) \mathbf{b} คือเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่ม μ_{ij} คือค่าคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของ $y_{ij} | \mathbf{b}$

เนื่องจาก \mathbf{b} เป็นตัวแปรสุ่มจึงต้องกำหนดรูปแบบของการแจกแจงให้ \mathbf{b} ด้วย โดยทั่วไปจะกำหนดการแจกแจงของ \mathbf{b} เป็น $\mathbf{b} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{B})$

ค่าความแปรปรวนของ $y_{ij} | \mathbf{b}$ คือ $\text{var}(y_{ij} | \mathbf{b}) = \tau^2 v(\mu_{ij})$ ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าคงที่ τ^2 คูณอยู่กับเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ย $v(\mu_{ij})$ เรียก τ^2 ว่า Dispersion parameter

ถ้าสมมติให้ตัวแปร $y_{ij} | \mathbf{b}$ มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) Link function $g(\mu_{ij}) = 1$

ถ้ามีการแจกแจงแบบ Poisson $g(\mu_{ij}) = \log(\mu_{ij})$

และถ้ามีการแจกแจงแบบ Bernoulli $g(\mu_{ij}) = \text{logit}(\mu_{ij})$

หรือสามารถกำหนดเป็นฟังก์ชันอื่นๆหลายฟังก์ชันที่ซ้อนกันอยู่เพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูล

Link function ดังกล่าวเรียกว่า Canonical link สร้างจากการที่ตัวแปรตาม $y_{ij} | \mathbf{b}$ เป็นสมาชิกของ Exponential family

2.1.2 ทฤษฎีของเบย์ (Bayesian Theorem)

ประชุม สุวดี (2527) Carlin and Louis (2000) และ Congdon (2001) อธิบายทฤษฎีของเบย์ไว้ดังนี้

ทฤษฎีของเบย์เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วัดค่าได้ y กับเซตของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า θ และต้องการประมาณค่า โดยทั่วไปแล้วในการประมาณค่าพารามิเตอร์ θ มักจะถือหลักว่าพารามิเตอร์ θ เป็นค่าคงที่แต่ไม่ทราบค่าและการประมาณค่า θ จะทำโดยตัวอย่างสุ่ม (Random sample) จากการแจกแจงของประชากรนั้น ๆ ผู้ที่ประมาณค่าอาจทราบข้อเท็จจริงบางอย่างเกี่ยวกับ θ ก่อนที่จะสุ่มตัวอย่างซึ่งหากนำข้อเท็จจริงนั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะช่วยให้การประมาณค่าได้ผลยิ่งขึ้น

ให้เซตของข้อมูล y คือ $i = 1, \dots, n: y = \{y_1, \dots, y_n\}$

เซตของพารามิเตอร์คือ $\theta = \{\theta_1, \dots, \theta_k\}$

เซตของตัวแปรร่วมคือ $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_n\}$

ให้ y_1, \dots, y_n เป็นตัวอย่างสุ่ม (Random sample) จากประชากรที่มีฟังก์ชันความหนาแน่น (Probability density function หรือ p.d.f), $f(y|\theta)$

ในการประมาณค่าด้วยวิธีทฤษฎีของเบย์จะถือว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า θ จะถูกมองว่าเป็นตัวแปรสุ่มขณะที่ y ถูกมองว่าเป็นปริมาณที่ทราบค่า

การแจกแจงของ θ เมื่อทราบค่า y ที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ทราบล่วงหน้า โดยแสดงได้ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่น $f(y|\theta)$ และเรียก $f(y|\theta)$ นี้ว่าฟังก์ชันความหนาแน่นเบื้องต้น (Prior p.d.f) และให้

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสามารถเขียนในรูป $f(y|\theta, x)$ หรือ $f(y|\theta)$ และให้ $f(\theta|y)$ เป็นการแจกแจงของ θ

เมื่อกำหนดค่า $y_1 = y_1, \dots, y_n = y_n$ $y_1 = y_1$, เรียกว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นโพสทีเรีย (Posterior p.d.f) ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้โดยใช้ทฤษฎีของเบย์ดังนี้

$f(y|\theta)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นโพสทีเรีย (Posterior p.d.f) หรือ (Posterior Distribution)

$$\text{จะได้ } f(\theta|y) = \frac{f(y|\theta)f(\theta)}{f(y)}$$

เรียก $f(y|\theta)$ ว่า ฟังก์ชันไลค์ลิฮูด (Likelihood function)

เรียก $f(\theta)$ ว่า การแจกแจงเบื้องต้น (Prior distribution)

และเรียก $f(y) = \int_{\theta} f(y|\theta)f(\theta)d\theta$ ว่า (Prior predictive distribution)

เนื่องจาก $f(y) = \int_{\theta} f(y|\theta)f(\theta)d\theta$ เป็นค่าคงที่

ดังนั้น จะได้ว่า $f(\theta|y) \propto f(y|\theta)f(\theta)$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในการแจกแจงโพสทีเรีย (Posterior Distribution) โดยใช้การจำลองสถานการณ์ (simulation) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการแจกแจงโพสทีเรีย

$$f(\theta|y) = \frac{f(y|\theta)f(\theta)}{f(y)}$$

ซึ่งใช้วิธีการของมอนต์ คาร์โล (Monte Carlo method) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการแจกแจงโพสทีเรีย ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

เทคนิควิธีมอนติ คาร์โล (Monte Carlo method) หมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยใช้ตัวเลขสุ่ม (Random number) ที่มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform distribution) มาสร้างรูปแบบการตอบคำถามว่าถอนรายวิชาหรือไม่ถอนรายวิชาของกลุ่มตัวอย่างให้เหมือนสถานการณ์จริงและมีการทดลองซ้ำ เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ของผลลัพธ์

(Result) ที่เกิดขึ้นในการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง ซึ่งถ้าต้องการคำนวณค่าคาดหวังของโพสทีเรีย (Posterior expected value) ซึ่งต้องคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$E(\theta|y) = \int_{\theta} \theta f(\theta|y) d\theta$$

ถ้าสามารถสร้างลำดับการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มจำนวน G ครั้ง กำหนดให้เป็น $\theta^{(1)}, \theta^{(2)}, \dots, \theta^{(G)}$ จาก $f(\theta|y)$ ได้ก็สามารถประมาณค่าคาดหวังของโพสทีเรีย (Posterior expected value) ได้ดังนี้ คือ

$$E(\theta|y) = \int_{\theta} \theta f(\theta|y) d\theta \approx \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G \theta^{(g)}$$

วิธีการของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) เป็นกระบวนการสโตนอสติก (stochastic) ไม่ต่อเนื่องทั้งเชิงสถานะและเชิงเวลาซึ่งเพียงแค่ว่ารู้ถึงสถานะปัจจุบันก็เพียงพอเราเรียกกระบวนการมาร์คอฟแบบสถานะไม่ต่อเนื่องว่า ห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov chain)

วิธีการ MCMC ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการสุ่มตัวอย่างแบบกิบส์ (Gibbs sampling) วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกิบส์ (Casella and George, 1992) มีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนด $t = 0$ และกำหนดค่าเริ่มต้นให้ $\theta^0 = (\theta_1^0, \dots, \theta_k^0)$

2) สุ่มค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวใน θ ดังนี้

สุ่มค่า $\theta_1^{(t+1)}$ จาก $\pi(\theta_1 | \theta_2^{(t)}, \dots, \theta_k^{(t)}, \mathbf{y})$

สุ่มค่า $\theta_2^{(t+1)}$ จาก $\pi(\theta_2 | \theta_1^{(t+1)}, \theta_3^{(t)}, \dots, \theta_k^{(t)}, \mathbf{y})$

...

สุ่มค่า $\theta_k^{(t+1)}$ จาก $\pi(\theta_k | \theta_1^{(t+1)}, \theta_3^{(t+1)}, \dots, \theta_k^{(t+1)}, \mathbf{y})$

3) ให้ $t = t + 1$. ถ้า $t < T$ เมื่อ T คือจำนวนตัวอย่างที่ต้องการ ให้กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2) แต่ถ้า $t = T$ ให้หยุดทำการสุ่มตัวอย่าง

4) นำค่า $(\theta_1^0, \dots, \theta_k^0)$ ที่หาได้ในแต่ละตัวอย่าง มาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์แต่ละตัว

2.2.3 ตัวแบบ Generalized Estimating Equations (GEE)

Liang and Zeger (1986) นำเสนอตัวแบบ GEE ซึ่งเป็นตัวแบบที่ใช้สำหรับตัวแปรตามที่ค่าสังเกตมีความสัมพันธ์กัน ไว้ดังนี้

กำหนดให้ $Y_{ij}, j = 1, \dots, n_i, i = 1, \dots, M$ แทนค่าสังเกตของหน่วยศึกษาที่ i ในครั้งที่ j

ให้ N แทนจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด $N = \sum_{i=1}^K n_i$

Y_{ij} มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้น $\mathbf{X}_{ij} = (1, X_{ij.1}, \dots, X_{ij.p})^T$ และพารามิเตอร์

$\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$ ตามรูปแบบของ link function ต่อไปนี้

Identity link: $g(a) = a$

Natural log link: $g(a) = \log(a)$

Logit link: $g(a) = \text{logit}(a) = \log(a/(1-a))$

ความสัมพันธ์ของ Y_{ij} กับ $\mathbf{X}_{ij} = (1, X_{ij.1}, \dots, X_{ij.p})^T$ เขียนได้ดังนี้

$g(E(Y_{ij} | \mathbf{x}_{ij})) = g(\mu_{ij}) = \mathbf{x}_{ij}^T \boldsymbol{\beta}$ และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Marginal regression model

Covariance Matrix ของ $\mathbf{Y}_i = (Y_{i1}, \dots, Y_{in_i})^T$ คือ $\mathbf{V}_i = \phi \mathbf{A}_i^{1/2} \mathbf{R}(\rho) \mathbf{A}_i^{1/2}$

เมื่อ ϕ คือ Dispersion parameter \mathbf{A}_i คือ Diagonal matrix of a variance function และ $\mathbf{R}(\rho)$ คือ Correlation matrix แสดง รูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลของ $\mathbf{Y}_i = (Y_{i1}, \dots, Y_{in_i})^T$ ซึ่งมีหลายรูปแบบต่อไปนี้

Exchangeable มีโครงสร้างความสัมพันธ์คือ

$$\mathbf{R}(\rho) = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

First-order autoregressive model (AR(1)) มีโครงสร้างดังนี้

$$\mathbf{R}(\rho) = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho^{j-1} \\ \rho & 1 & \cdots & \rho^{j-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho^{j-1} & \rho^{j-2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Unstructured correlation มีโครงสร้างดังนี้

$$\mathbf{R}(\rho) = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1j} \\ \rho_{21} & 1 & \cdots & \rho_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{j1} & \rho_{j2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ $\boldsymbol{\beta}$ ใช้ตัวประมาณแบบ Quasi-likelihood ค่าประมาณหาได้จาก Quasi-likelihood equations ซึ่งถูกเรียกว่า Generalized estimating equations (GEE) สำหรับการหาค่าตอบของสมการนั้น ใช้วิธีการวนซ้ำเชิงตัวเลขหาค่าตอบของ Score function ของ $\boldsymbol{\beta}$ ซึ่งแทนด้วย

$$U(\boldsymbol{\beta}) = \sum \mathbf{D}_i^T \mathbf{V}_i^{-1} (\mathbf{Y}_i - \boldsymbol{\mu}_i) = \mathbf{0} \quad \text{โดยที่} \quad \mathbf{D}_i = \frac{\partial \boldsymbol{\mu}_i}{\partial \boldsymbol{\beta}}, k = 1, 2, \dots, p$$

- 1) กำหนดรูปแบบของ $\mathbf{R}(\rho)$ คำนวณค่า \mathbf{V}_i และ \mathbf{b} ซึ่งเป็นค่าประมาณของ $\boldsymbol{\beta}$
- 2) คำนวณค่าคลาดเคลื่อน $r_{ij} = Y_{ij} - \mu_{ij}$

- 3) คำนวณค่า V_i ขึ้นมาใหม่จากค่าความคลาดเคลื่อน r_{ij} ในข้อ 2)
- 4) คำนวณค่า b ขึ้นมาใหม่จากค่าจาก V_i ที่ได้จากข้อ 3)
- 5) ทำซ้ำข้อ 2) – 4) จนกระทั่ง b ลู่เข้า (Convergence) หาค่าคงที่

การประมาณค่าพารามิเตอร์ยังคงใช้ได้ถึงแม้จะระบุโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลไม่ถูกต้องก็ตาม การระบุโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลไม่ถูกต้องมีผลต่อค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error) ทำให้ได้ค่าไม่ดี ไม่ได้ค่าที่เหมาะสม

2.2.4 อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์

อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลากว่า 40 ปี ในระยะเริ่มแรกการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเกิดจากการดำเนินนโยบายทดแทนการนำเข้า (Import substitution policy) โดยการให้ความคุ้มครองอุตสาหกรรมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การตั้งกำแพงภาษีนำเข้ารถยนต์สำเร็จรูป การบังคับใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศ (Local content requirement: LCR) การห้ามนำเข้ารถยนต์นั่งสำเร็จรูป เป็นต้น ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการส่งออกยานยนต์และชิ้นส่วนไปจำหน่ายยังต่างประเทศ และกำลังพัฒนาไปสู่การเป็นฐานการผลิตรถยนต์เพื่อส่งออกที่สำคัญในภูมิภาคจากการเข้ามาลงทุนของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ระดับโลก โดยใช้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเพื่อการส่งออก

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ของไทย ได้มีการขยายการลงทุนและมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีความหลากหลาย ตลอดจนมีคุณภาพและมาตรฐานการผลิตอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตรถยนต์และรถจักรยานยนต์ระดับโลกยอมรับ ทำให้สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ ได้เพิ่มขึ้น ปี 2555-2557 ประเทศไทย มีมูลค่าส่งออกอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ (หน่วย: ล้านดอลลาร์สหรัฐอเมริกา) 11,624.81 12,515.24 และ 13,094.63 ตามลำดับ (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2557) ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทย สร้างงานให้กับแรงงานจำนวนมากกว่า 100,000 คน มีผู้ผลิต 1,657 ราย และโรงงานรวม 2,237 แห่ง ซึ่งส่วนมากผู้ผลิตดังกล่าวเป็น SMEs และจะกระจุกตัวอยู่ในเขตอุตสาหกรรมในกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง เช่น สมุทรปราการ ซึ่งพบว่ามีจำนวนของผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบตั้ง

โรงงานอยู่มากที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดระยองและจังหวัดอื่นๆ เช่น ฉะเชิงเทรา ชลบุรี เป็นต้น โดยโรงงานดังกล่าวมักตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานผลิตรถยนต์ โดยทั่วไปผู้ผลิต ชิ้นส่วนยานยนต์จะมีตลาดในการจัดจำหน่ายชิ้นส่วนอยู่ 2 ตลาดหลัก ได้แก่

1) ตลาดชิ้นส่วนเพื่อนำไปใช้ประกอบยานยนต์ (Original equipment market: OEM) โดยผู้ผลิตต้องผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ป้อนให้กับรถยนต์และจักรยายนตรุ่นใหม่ๆ สำหรับค่ายยานยนต์ที่เข้ามาตั้งฐานการผลิตในไทยเพื่อประกอบยานยนต์ส่งออกและจำหน่ายในประเทศ ทั้งนี้ความต้องการใช้ชิ้นส่วนยานยนต์ในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตรถยนต์และรถจักรยานยนต์

2) ตลาดชิ้นส่วนทดแทน หรืออะไหล่ทดแทน (Replacement equipment market :REM) เป็นตลาดชิ้นส่วนอะไหล่เพื่อการทดแทนชิ้นส่วนเดิมที่เสีย หรือสึกหรอตามสภาพการใช้งาน ซึ่งชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน ผู้ผลิตที่ทำการผลิตเพื่อป้อนให้กับตลาดทดแทนนี้มีทั้งผู้ประกอบการขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก จึงทำให้ชิ้นส่วนที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพที่หลากหลายทั้ง อะไหล่แท้ อะไหล่ปลอม และอะไหล่เทียม ซึ่งจะทำให้การจัดจำหน่ายให้กับศูนย์บริการอะไหล่ของค่ายยานยนต์ต่างๆ โดยปกติศูนย์บริการจะมีการจัดเก็บสต็อกอะไหล่ทดแทนไม่มากนัก จะเน้นเก็บเฉพาะอะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมยานยนต์บ่อยครั้งเท่านั้น

ยานยนต์ 1 คัน ประกอบด้วยชิ้นส่วน 20,000-30,000 ชิ้น ซึ่งโดยทั่วไปแม้บริษัทขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถผลิตทุกชิ้นส่วนได้ด้วยตนเอง การแบ่งงานกันทำและการจ้างผลิตจึงเป็นรูปแบบปกติที่เกิดขึ้น ชิ้นส่วนยานยนต์รวมถึงวัสดุอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการประกอบยานยนต์แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลักคือ ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก (Cast iron engine parts) เช่น Cylinder blocks ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กกล้า เช่น Chassis frames wheel parts และชิ้นส่วนที่เป็นโลหะพิเศษ โดยเหล็กและเหล็กกล้าซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์คือ เหล็กที่มีรูปทรงแบน เช่น เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น และเหล็กแผ่นเคลือบ เป็นต้น และในส่วนของยางล้อรถยนต์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของยานยนต์นั้น แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ยางที่มาจากยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ ซึ่งหากเป็นกรณีหลังจะมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงต่อไปกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วย

อุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สำหรับ OEM มีผู้ประกอบการเป็นจำนวนมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมยานยนต์มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากการย้ายฐานการผลิตรถกระบะ 1 ตัน มายังประเทศไทยตั้งแต่ปี 2539 โดยยอดการผลิตรถยนต์ในประเทศเพิ่มขึ้นจาก 0.60 ล้านคันในปีดังกล่าว เป็น 2.46 ล้านคันในปี 2555 และมีเป้าหมาย 3 ล้านคันในปี 2560 และการเปิดเสรี

ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ในปี 2558 จะทำให้การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนยานยนต์และแรงงานเป็นไปอย่างเสรีในภูมิภาคอาเซียน ภาวะการแข่งขันจะมีความรุนแรงมากขึ้น ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์รายใดที่ไม่สามารถปรับตัวกับการแข่งขันที่รุนแรงนี้ได้ อาจได้ผลกระทบอย่างมาก อย่างไรก็ตาม บริษัทฯ ได้เตรียมความพร้อมในการเปิดเสรีดังกล่าว ด้วยสายการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ครบวงจร รวมทั้งมีเครื่องจักร CNC สำหรับผลิตแม่พิมพ์เอง และการได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิต ตามที่กล่าวข้างต้น ทำให้บริษัทฯ มีความมั่นใจว่าสามารถแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นได้

สำหรับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ทดแทน (REM) การแข่งขันอยู่ในวงจำกัด ผู้ประกอบการแต่ละรายจะมีตลาดหรือกลุ่มลูกค้าเฉพาะ (Niche Market) ผู้ประกอบการยุโรปจะผลิตชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับค่ายยุโรป ผู้ประกอบการในสหรัฐอเมริกาจะผลิตชิ้นส่วนรถยนต์สำหรับรถค่ายสหรัฐอเมริกา เช่น เจนเนอรัล มอเตอร์ส, ฟอร์ด, ไครสเลอร์ส สำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ทดแทน โดยเฉพาะกลุ่มตัวถังที่ทำด้วยพลาสติก (Plastic Body Parts) สำหรับค่ายญี่ปุ่น โดยเฉพาะชิ้นส่วนรถกระบะ 1 ตัน มีประมาณ 10 ราย ซึ่งเป็นคู่แข่งหลักของบริษัทฯ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากบริษัทฯ อยู่ในอุตสาหกรรมนี้มากกว่า 21 ปี ทำให้มีแม่พิมพ์มากกว่า 1,500 แบบ โดยส่วนใหญ่จะเป็นแม่พิมพ์อะไหล่รถกระบะ 1 ตันของค่ายญี่ปุ่น ซึ่งบริษัทฯ ได้เปรียบเนื่องจากประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถกระบะ 1 ตัน นอกจากนี้ ด้วยคุณภาพการผลิตที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สำหรับตลาด OEM ส่งผลทำให้บริษัทฯ มีชื่อได้เปรียบในการแข่งขันในอุตสาหกรรมดังกล่าว (บริษัท ฟอร์จูน พาร์ท อินดัสตรี จำกัด (มหาชน), 2556)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รุจน์ นະสานี (2543) ศึกษาสภาพปัญหาเบื้องต้นในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง พบว่า ปัญหาที่สำคัญได้แก่ ปัญหาหลอดแดง และกระบวนการที่ส่งผลดังกล่าวคือ กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ เป็นการประกอบสายใยเข้ากับขั้วหลอด แล้วนำไปชุบน้ำยาอิมิตเตอร์

ชัยรัตน์ แจ้งเจนรบ (2545) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณกาวที่ติดอยู่ระหว่าง Flex และ Suspension ได้แก่ ขนาดของหยดกาว ความสูงของการหยดกาวที่จุดตัวเรือนระยะเวลาของการหยดกาวที่จุดคอของชิ้นงาน ความสูงของการหยดกาวที่จุดคอของชิ้นงาน

ระยะเวลาของการหยุดการที่จุด Gimbal ของชิ้นงาน และความสูงของการหยุดการที่ Gimbal ของชิ้นงาน

กฤตยา (2549) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงปัวส์ซองแบบช่วง 2 วิธี คือ วิธีการประมาณแบบแมกซิมัมไลกelihood และวิธีการประมาณแบบเบย์ ที่มีการแจกแจงก่อนเป็นแบบแกมมา ใช้วิธีการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลและทำซ้ำ 1,000 รอบในแต่ละสถานการณ์ที่ศึกษา การตัดสินใจพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น และค่าความยาวเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นผลการวิจัยพบว่าวิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่นแบบเบย์เมื่อการแจกแจงก่อนเป็นแบบแกมมาให้ผลดีกว่าแบบแมกซิมัมไลกelihood ในทุกกรณีที่ศึกษา โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแกมมาจะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง n และพารามิเตอร์

รุ่งเรืองรอง สิบมงคลชัย. (2551) ศึกษาการสร้างแม่แบบเว็บเพจสำหรับการทดสอบแบบเทเลอร์ตามยุทธวิธีของเบย์เซียน โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ การสร้างแม่แบบเว็บเพจสำหรับครู/อาจารย์ การสร้างแม่แบบเว็บเพจสำหรับนักเรียน/นักศึกษา การสร้างคู่มือการใช้งาน และการประเมินการใช้งานคู่มือและแม่แบบเว็บเพจ ผลการประเมินการใช้งานคู่มือและแม่แบบเว็บเพจสำหรับครู/อาจารย์ พบว่า โดยภาพรวม มีความเหมาะสมเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ผลการประเมินการใช้งานคู่มือและแม่แบบเว็บเพจ สำหรับนักเรียน/นักศึกษา พบว่า โดยภาพรวมมีความเหมาะสมเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก

สมศักดิ์ สัมฤทธิ์ และคณะ (2554) ศึกษาการลดเวลาสูญเสียที่เกิดจากความเสียหายของเครื่องจักรอย่างกะทันหันในระหว่างทำการผลิต เนื่องจากแผนการบำรุงรักษาที่ไม่เหมาะสม ใช้การประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือมาคำนวณรอบการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนอุปกรณ์และกำหนดเป็นแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องจักร

Shtub and Dar-El (1989) กล่าวว่า ในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วน มีปัจจัยพื้นฐาน 4 ปัจจัยที่ต้องพิจารณา คือ แรงงาน การสิ้นเปลืองของขั้นตอนการทดแทนกันได้ของชิ้นส่วน และการเคลื่อนที่ในระยะทางที่น้อยที่สุด

MacDuffie et al. (1996) พบว่า ในโรงงานอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วน มีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้กระบวนการผลิต และคุณภาพสินค้า ลดลง ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ คนงาน เครื่องจักร ตารางการผลิต การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน รวมทั้ง การประสานงานกับผู้จำหน่ายวัตถุดิบ

O'Brein และ Dunson (2004) ได้ศึกษาเรื่องการถดถอยโลจิสติกส์หลายตัวแปรแบบเบย์กับข้อมูลที่เป็นแบบ binary หรือ categorical และใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นก่อนแบบไม่เจาะจง (non informative prior) ได้แก่ uniform improper prior และนำไปประยุกต์ใช้กับการยับยั้งการเจริญเติบโตของทารกแฝดในครรภ์

Pedroza (2006) ใช้วิธีทางกระบวนการสโตแคสติกกับตัวแบบการประมาณค่าแบบเบย์ในการพยากรณ์อัตราการเสียชีวิต ของชายชาวสหรัฐอเมริกา ใช้ MCMC ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ และใช้ Gibbs sampling ในการสุ่มตัวอย่างจาก Posterior กลุ่มตัวอย่างเป็นข้อมูลการเสียชีวิตของชายชาวสหรัฐอเมริกา เป็นการพยากรณ์อัตราการเสียชีวิตในช่วงปี 1990-1999 โดยใช้ข้อมูลปี 1959-1989 การพยากรณ์นี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสังเกตจริง และวิธีการของ Lee-Carter พบว่าวิธีการของเบย์เหมาะสมกว่า

Saravanan et al. (2006) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรเสีย สำหรับการควบคุมคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต เครื่องจักรต้องไม่เกิดข้อบกพร่อง หรือถ้าเกิดต้องระบุได้ว่ามาจากสาเหตุใด ทำให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาได้และยังสามารถพยากรณ์อายุการใช้งานของเครื่องจักรได้อีกด้วยเช่นกัน

Pedroza (2006) ใช้ตัวแบบเบย์ในการพยากรณ์อัตราการเสียชีวิต ของชายชาวสหรัฐอเมริกา ใช้ MCMC ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ และใช้ Gibbs sampling ในการสุ่มตัวอย่างจาก Posterior กลุ่มตัวอย่างเป็นข้อมูลการเสียชีวิตของชายชาวสหรัฐอเมริกา เป็นการพยากรณ์อัตราการเสียชีวิตในช่วงปี 1990-1999 โดยใช้ข้อมูลปี 1959-1989 การพยากรณ์นี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสังเกตจริง และวิธีการของ Lee-Carter พบว่าวิธีการของเบย์เหมาะสมกว่า

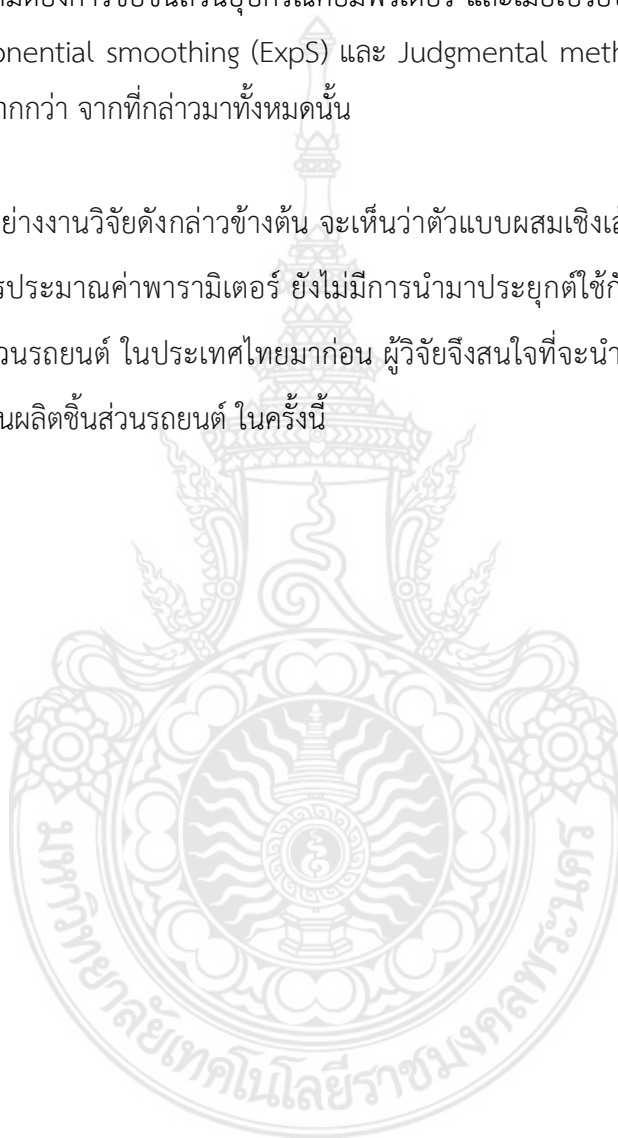
Yelland (2009) ใช้วิธีของเบย์ประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ state-space 3 ประเภท คือ Adjusted Gaussian dynamic linear model (AG), Poisson dynamic log-Linear model (PL) และ Gamma-Poisson local level model (GP) รวมทั้ง ตัวแบบ Climatological baseline model (Cm) กับข้อมูลปริมาณความต้องการซื้อสินค้า พบว่า ตัวแบบ GP ดีที่สุด

Patrick and Lutong (2010) เสนอเครื่องมือวิธีการประมาณค่าแบบเบย์ ด้วยหลักการ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) สำหรับสร้างอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหาด้วย glmmBUGS

ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมในภาษา R and BUGS สำหรับปัญหา Generalized linear mixed models (GLMM)

Yelland (2010) เสนอตัวแบบเบย์ ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับข้อมูลปริมาณความต้องการซื้อชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบมาตรฐานอื่นๆ ได้แก่ Exponential smoothing (ExpS) และ Judgmental methods (Judg) และวิธีเบย์ มีความเหมาะสมมากกว่า จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้

จากตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูล สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ในประเทศไทยมาก่อน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ในครั้งนี้



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบ ผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ใน อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูล สินค้าบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร เพื่อเปรียบเทียบตัว แบบที่นำเสนอกับตัวแบบ GEE คณะผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการศึกษาไว้ตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 3.2 ตัวแปรสำหรับการวิจัย
- 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.6 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์
- 3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือ เครื่องจักรทั้งหมดในโรงงานที่ทำการศึกษาแห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี

ตัวอย่างคือ เครื่องจักรที่สุ่มมาจากโรงงานที่ทำการศึกษา จำนวน 15 เครื่อง

3.2 ตัวแปรสำหรับการวิจัย

ตัวแปรต้น คือ ขั้นตอนการทำงาน คนงาน และชนิดของสินค้า

ตัวแปรตาม คือจำนวนสินค้าบกพร่อง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบบันทึกข้อมูล ซึ่งมีวิธีขั้นตอนการสร้างดังนี้

3.3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแบบตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซอง และใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์

3.3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีของเบย์ และการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร

3.3.3 ศึกษาข้อมูลการทำงานของเครื่องจักร ได้แก่ ชนิดของเครื่องจักร เครื่องจักร ขั้นตอนการทำงาน และ ผู้ปฏิบัติงาน

3.3.4 สร้างแบบบันทึกข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย รหัสเครื่องจักร ชนิดของเครื่องจักร ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร คนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร และจำนวนสินค้าบกพร่องในแต่ละวัน จำนวน 15 วัน โดยวันที่เก็บข้อมูลของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทำงาน และชนิดของสินค้าที่ผลิต

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้ บันทึกการทำงานของเครื่องจักรตัวอย่าง 15 เครื่อง ในแบบบันทึกข้อมูล ในช่วงเวลาที่ศึกษา

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 วิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของตัวอย่างเครื่องจักรที่ใช้ศึกษา ใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าร้อยละ

3.5.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซอง และใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

ให้ Y_{it} , $i=1,2,3,\dots,12$, $t=1,2,3,\dots,15$ แทนค่าจำนวนสินค้าบกพร่องจากเครื่องจักร i วันที่ t

Y_{it} การแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson) หรือ $Y_{it} \sim \text{Pois}(\mu_{it})$ โดยที่

$$\log(\mu_{it}) = \beta_0 + b1_i + b2_{it} + \beta_1 X_{it.1} + \beta_2 X_{it.2} + \beta_3 X_{it.3} + \dots + \beta_{14} X_{it.14}$$

$X_{it.1}, X_{it.2}, X_{it.3}$ หมายถึง ขั้นตอนการทำงานที่ 1 ถึงขั้นตอนการทำงานที่ 3 ตามลำดับ โดยขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบ

$X_{it.4}, \dots, X_{it.12}$ หมายถึง ปัจจัยด้าน คนงาน คนที่ 1 ถึง คนที่ 9 โดยคนที่ 10 เป็นบุคคลอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบ

$X_{it.13}, X_{it.14}$ หมายถึง ปัจจัยด้านชนิดของสินค้าที่ผลิตชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 โดยที่ชนิดที่ 3 เป็นชนิดอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบ

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{14}$ หมายถึง สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficients)

β_0 แสดงขนาดของอิทธิพลที่มีต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร โดยธรรมชาติเมื่อไม่มีปัจจัยใดๆ เกี่ยวข้อง

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ แสดงขนาดของอิทธิพลของปัจจัย ด้านขั้นตอนการทำงาน $X_{it.1}, X_{it.2}, X_{it.3}$ ที่มีต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ตามลำดับ

$\beta_4, \dots, \beta_{12}$ แสดงขนาดของอิทธิพลของปัจจัย ด้านคนงาน $X_{it.4}, \dots, X_{it.12}$ ที่มีต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ตามลำดับ

$\beta_{13}, \dots, \beta_{14}$ แสดงขนาดของอิทธิพลของปัจจัย ด้านชนิดของสินค้า $X_{it.13}, X_{it.14}$ ที่มีต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ตามลำดับ

การประมาณค่าพารามิเตอร์ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{14}$ ใช้วิธีการของเบย์นั้น ต้องกำหนด การแจกแจงเบื้องต้น (Prior distribution) ให้พารามิเตอร์ซึ่งมองว่าเป็นตัวแปรสุ่ม ภายใต้วิธีการของเบย์ นิยมใช้การแจกแจงแบบ Noninformative คือการแจกแจงที่ไม่มีผลต่อการแจกแจงโพลีที่เรีย เนื่องจากเรามักไม่ทราบรูปแบบการแจกแจงที่แน่นอนของพารามิเตอร์แต่ละตัว ตัวแบบที่นำเสนอในที่นี้ กำหนดการแจกแจงเบื้องต้นของพารามิเตอร์แต่ละตัวให้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนสูง โดยให้ความแปรปรวนมีค่า 1000 000 นั่นคือ

$$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{14} \sim \text{Norm}(0, 100\ 000)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ ใช้วิธีการของเบย์ซึ่งอาศัยวิธีการเชิงตัวเลขแบบ มาร์คอฟ เซน มอนติ คาร์โล (Markov chain Monte Carlo หรือ MCMC) ที่มีสุ่มตัวอย่างแบบ กิบส์ (Gibbs Sampling) โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBUGS (Ntzoufras, 2009) และประมวลผล ใน R ด้วยแพ็คเกจ R2OpenBUGS การทำงานของ MCMC ประกอบไปด้วยการเขียนการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่อยู่ในการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของโพลีที่เรีย แล้วใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ กิบส์ เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว เมื่อ MCMC ลู่เข้าสู่การแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง ก็จะได้ค่าประมาณพารามิเตอร์แต่ละตัว และช่วงความน่าเชื่อถือ (Credible Interval) ของพารามิเตอร์แต่ละตัวนั้น

การดูเข้าของ MCMC ของ MCMC พิจารณาจาก Trace Plots, History Plots, Kernel Density Plots และ Autocorrelation Plots

3.5.3 การเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE

ตัวแบบ GEE เป็นตัวแบบที่มองในภาพรวม ในขณะที่ GLMM เป็นตัวแบบที่มองเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหน่วยตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัว

3.6 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์

การตรวจสอบความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์ ใช้ การจำลองสถานการณ์ โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBUGS และ R2OpenBUGS เกณฑ์ที่ใช้ประเมินความแม่นยำของ

ค่าประมาณพารามิเตอร์คือ ค่าความเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ (Relative Bias หรือ RB) (Moineddin *et al.*, 2007)

ใช้ค่าประมาณของ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{14}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจริง เป็นค่าจริงของค่าพารามิเตอร์ การจำลองสถานการณ์ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ใช้ตัวแบบที่นำเสนอวิเคราะห์ข้อมูลจริง นำค่าประมาณพารามิเตอร์ ของ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{14}$ มาใช้เป็นค่าจริงของค่าพารามิเตอร์
- 2) คำนวณค่า μ_{it} จากความสัมพันธ์กับของ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{14}$ กับ $X_{it.1}, \dots, X_{it.14}$
- 3) สร้างค่า Y_{it} จากการแจกแจงแบบ ปัวซอง ที่มีค่าเฉลี่ย μ_{it} จำนวน 200 ชุดข้อมูล
- 4) ใช้ตัวแบบที่นำเสนอวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละชุด
- 5) คำนวณค่าความเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ ของพารามิเตอร์แต่ละตัว

ค่าความเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของผลต่างของค่าประมาณพารามิเตอร์ ($\hat{\theta}_i$) กับค่าจริงของพารามิเตอร์ θ_i

$$RB = \left| \frac{\theta_i - \hat{\theta}_i}{\theta_i} \right|$$

เมื่อ $\bar{\theta}_i = \frac{1}{S} \sum_{t=1}^S \hat{\theta}_i'$; S คือจะนวนชุดข้อมูล ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่มีความแม่นยำ ไม่ควร

มีค่าเกิน 0.05 (Moineddin *et al.*, 2007)

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซอง

ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีของเบย์ และใช้วิธีการ Maximum likelihood ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ตัวแบบ GEE



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยเรื่อง สำหรับงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร และเพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบ GEE ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 4.1 สัญลักษณ์และตัวแปรใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
- 4.2 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่ใช้ศึกษา
- 4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร
- 4.4 การเปรียบเทียบตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE
- 4.5 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยในตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

4.1 สัญลักษณ์และตัวแปรใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูล คณะผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และตัวแปร ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

Mean หมายถึงค่าเฉลี่ย

B แทนค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้น

S.E. แทนค่าผิดพลาดมาตรฐานของ B

Wald Chi-Square แทนค่าสถิติ Wald Chi-Square

df แทน องศาแห่งอิสระ

Sig. แทน ค่า p-value คือค่าที่ใช้ตรวจสอบการปฏิเสธหรือยอมรับสมมุติฐานหลัก

Exp(B) แทนค่า เลขยกกำลัง e^B เมื่อ e คือค่าคงที่มีค่าประมาณ 2.7182818

Relative Bias หมายถึงค่าการเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์

4.2 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ศึกษา รวบรวมจากการบันทึกการทำงานของเครื่องจักร 12 เครื่อง นับจำนวนสินค้าบกพร่องที่เกิดจาก ขั้นตอนการผลิต คนงาน และชนิดของสินค้า ในแต่ละวัน จำนวน 15 วัน โดยที่วันที่เก็บข้อมูลแตกต่างกันไปตามขั้นตอนการทำงาน และชนิดของสินค้าที่ผลิต จำนวนข้อมูลทั้งหมดมี 180 ค่า มีลักษณะดังนี้

4.2.1 จำนวนข้อมูลแบ่งตามจำนวนขั้นตอนการทำงาน

จำนวนข้อมูลแบ่งตามขั้นตอนการทำงาน 4 ขั้นตอน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนข้อมูลแบ่งตามขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
ขั้นตอนการทำงานที่ 1	54	30.00
ขั้นตอนการทำงานที่ 3	51	28.30
ขั้นตอนการทำงานที่ 4	38	21.10
ขั้นตอนการทำงานที่ 2	37	20.60
รวม	180	100.00

จากตารางที่ 1 พบว่าขั้นตอนการทำงานที่ 1 มีจำนวนข้อมูลมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 30 รองลงมาคือ ขั้นตอนที่ 3 ร้อยละ 28.30 ขั้นตอนที่ 4 ร้อยละ 21.10 และขั้นตอนที่ 2 ร้อยละ 20.60 ตามลำดับ

4.2.2 จำนวนข้อมูลแบ่งตามคนงาน

จำนวนข้อมูลแบ่งตามคนงาน 10 คน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนข้อมูลแบ่งตามคนงาน

คนงาน	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
คนงานที่ 1	41	22.80
คนงานที่ 4	35	19.40
คนงานที่ 2	32	17.80
คนงานที่ 6	14	7.80
คนงานที่ 5	13	7.20
คนงานที่ 8	13	7.20
คนงานที่ 3	9	5.00
คนงานที่ 7	8	4.40
คนงานที่ 10	8	4.40
คนงานที่ 9	7	3.90
รวม	180	100.00

จากตารางที่ 2 พบว่า จำนวนข้อมูลที่มีค่าสูงสุด 3 อันดับแรกคือ คนงานที่ 1 มีจำนวนข้อมูลมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 22.80 รองลงมาคือ คนงานที่ 4 ร้อยละ 19.40 และคนงานที่ 2 ร้อยละ 17.80 ตามลำดับ คนงานที่ 9 ต่ำสุด คิดเป็นร้อยละ 3.90

4.2.3 จำนวนข้อมูลแบ่งตามชนิดของสินค้า

จำนวนข้อมูลแบ่งตามชนิดของสินค้า 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนข้อมูลแบ่งตามชนิดของสินค้า

ชนิดสินค้า	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
สินค้าชนิดที่ 1	74	41.10
สินค้าชนิดที่ 2	59	32.80
สินค้าชนิดที่ 3	47	26.10
รวม	180	100.00

จากตารางที่ 3 พบว่าสินค้าชนิดที่ 1 มีจำนวนข้อมูลมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 41.10 รองลงมาคือ สินค้าชนิดที่ 2 ร้อยละ 32.80 และสินค้าชนิดที่ 3 ร้อยละ 26.10 ตามลำดับ

4.2.4 จำนวนข้อมูลสินค้าบกพร่อง

จำนวนข้อมูลสินค้าบกพร่องมีทั้งหมด 180 ค่า มีค่าเฉลี่ยต่อวัน 20.57 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.28 แบ่งตามประเภทของเครื่องจักร ชนิดของสินค้าที่ผลิต ขั้นตอนการทำงาน และคนงาน ได้ดังตารางที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ

4.2.4.1 จำนวนข้อมูลสินค้าบกพร่องแบ่งตามประเภทของเครื่องจักร

จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามประเภทของเครื่องจักร ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามประเภทของเครื่องจักร

ชนิดของเครื่องจักร	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เครื่องจักรที่ 5	41.20	41.63
เครื่องจักรที่ 4	36.13	32.52
เครื่องจักรที่ 8	29.60	28.90
เครื่องจักรที่ 12	27.33	23.10

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชนิดของเครื่องจักร	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เครื่องจักรที่ 3	21.20	18.75
เครื่องจักรที่ 13	20.33	20.96
เครื่องจักรที่ 10	17.00	11.63
เครื่องจักรที่ 7	15.87	7.47
เครื่องจักรที่ 1	13.67	6.77
เครื่องจักรที่ 9	10.20	5.78
เครื่องจักรที่ 6	7.87	11.24
เครื่องจักรที่ 2	6.47	11.80
รวม	20.57	23.28

จากตารางที่ 4 พบว่า เครื่องจักรที่ผลิตสินค้าออกมาบกพร่องมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ เครื่องจักรที่ 5 ผลิตออกมาบกพร่องมากที่สุด เฉลี่ยต่อวัน 41.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 41.63 รองลงมาคือ เครื่องจักร 4 ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 36.13 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 32.52 และเครื่องจักรที่ 8 ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 29.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 28.90 เครื่องจักร 2 ผลิตออกมาบกพร่องน้อยที่สุด เฉลี่ยต่อวัน 6.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 11.80 โดยรวมแล้ว เครื่องจักรแต่ละเครื่องจะผลิตสินค้าออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 20.57 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.28

4.2.4.2 จำนวนข้อมูลสินค้าบกพร่องแบ่งตามขั้นตอนการทำงาน

จำนวนสินค้าบกพร่องมี แบ่งตามขั้นตอนการทำงาน ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามตามขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ขั้นตอนการทำงานที่ 2	41.30	32.51
ขั้นตอนการทำงานที่ 3	23.06	22.38
ขั้นตอนการทำงานที่ 1	12.87	9.68
ขั้นตอนการทำงานที่ 4	8.00	9.74
รวม	20.57	23.28

จากตารางที่ 5 พบว่าขั้นตอนการทำงานที่ 2 ผลิตสินค้าออกมาบกพร่องมากที่สุด เฉลี่ยต่อวัน 41.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 32.51 รองลงมาคือ ขั้นตอนการทำงานที่ 3 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 23.06 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 22.38 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 12.87 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.68 และ ขั้นตอนการทำงานที่ 4 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 8.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.74 ตามลำดับ โดยรวมแล้ว ในแต่ละขั้นตอน จะผลิตสินค้าออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 20.57 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.28

4.2.4.3 จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามคนงาน

จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามคนงาน ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามคนงาน

คนงาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คนงานที่ 4	28.54	27.64
คนงานที่ 10	22.00	22.83
คนงานที่ 2	21.84	26.02
คนงานที่ 1	21.54	27.75
คนงานที่ 6	19.43	18.53
คนงานที่ 5	17.54	10.58
คนงานที่ 8	13.77	13.45

ตารางที่ 6 (ต่อ)

คนงาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คนงานที่ 7	12.88	16.38
คนงานที่ 3	12.00	6.34
คนงานที่ 9	8.00	3.74
รวม	20.57	23.28

จากตารางที่ 6 คนงานที่ผลิตสินค้าออกมาบกพร่องมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ คนงานที่ 4 ผลิตสินค้าออกมาบกพร่องมากที่สุด เฉลี่ยต่อวัน 28.54 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.64 คนงานที่ 10 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 22.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 22.83 และ คนงานที่ 2 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 21.84 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 26.02 โดยรวมแล้ว คนงานแต่ละคน จะผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ออกมาบกพร่องเฉลี่ยต่อวัน 20.57 และ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน 23.28

4.2.4.4 จำนวนสินค้าบกพร่องแบ่งตามชนิดของสินค้า

จำนวนสินค้าบกพร่องมีแบ่งตามชนิดของสินค้า ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนสินค้าบกพร่องมี แบ่งตามชนิดของสินค้า

ชนิดสินค้า	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สินค้าชนิดที่ 2	24.80	31.70
สินค้าชนิดที่ 3	24.21	23.96
สินค้าชนิดที่ 1	14.89	10.64
รวม	20.57	23.28

จากตารางที่ 7 พบว่าสินค้าชนิดที่ 2 ผลิตออกมาบกพร่องมากที่สุด เฉลี่ยต่อวัน 24.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 31.70 รองลงมาคือ สินค้าชนิดที่ 3 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อ วัน 24.21 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.96 และสินค้าชนิดที่ 1 ซึ่ง ผลิตออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน

14.89 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 10.64 ตามลำดับ โดยรวมแล้ว สินค้าแต่ละชนิด จะมีความบกพร่องเฉลี่ยต่อวัน 20.57 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.28

4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

ตัวแบบที่ใช้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร คือตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซอง และใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

ให้ Y_{it} , $i=1,2,3,\dots,12$, $t=1,2,3,\dots,15$ แทนค่าจำนวนสินค้าบกพร่องจากเครื่องจักร i วันที่ t

Y_{it} การแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson) หรือ $Y_{it} \sim Pois(\mu_{it})$ โดยที่

$$\log(\mu_{it}) = \beta_0 + b1_i + b2_{it} + \beta_1 X_{it.1} + \beta_2 X_{it.2} + \beta_3 X_{it.3} + \dots + \beta_{14} X_{it.14}$$

$X_{it.1}, X_{it.2}, X_{it.3}$ หมายถึง ปัจจัยด้านขั้นตอนการทำงานที่ 1 ถึงขั้นตอนการทำงานที่ 3 ตามลำดับ โดยขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบกับ

$X_{it.4}, \dots, X_{it.12}$ หมายถึง ปัจจัยด้าน คนงาน คนที่ 1 ถึง คนที่ 9 โดยคนที่ 10 เป็นบุคคลอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบกับ

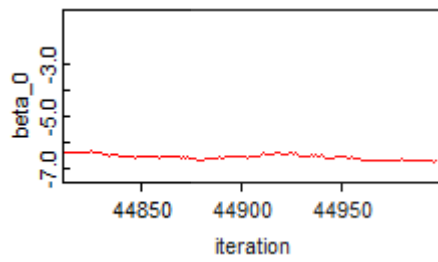
$X_{it.13}, X_{it.14}$ หมายถึง ปัจจัยด้านชนิดของสินค้าที่ผลิตชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 โดยที่ชนิดที่ 3 เป็นชนิดอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบกับ

4.3.1 ผลการตรวจสอบความลู่เข้าของ MCMC ของพารามิเตอร์แต่ละตัว

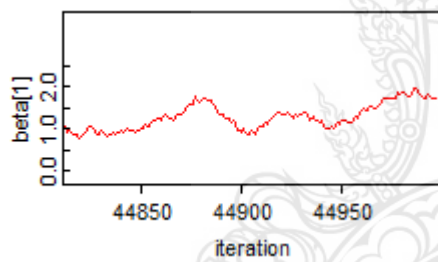
ผลการตรวจสอบความลู่เข้าของ MCMC โดยพิจารณาจากกราฟของ Trace, Kernel Density, History และ Autocorrelation พบว่า MCMC ลู่เข้าสู่การแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง เมื่อมีการสุ่มตัวอย่าง แบบกิบส์ จำนวน 50,000 รอบ โดยตัด 10,000 รอบแรกทิ้ง

4.3.1.1 Trace plot

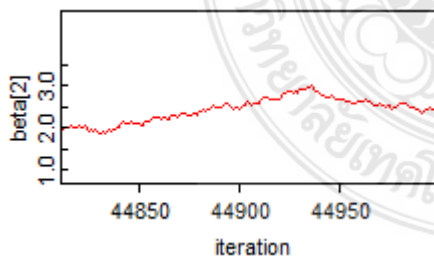
Trace plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 1 ถึง ภาพที่ 15



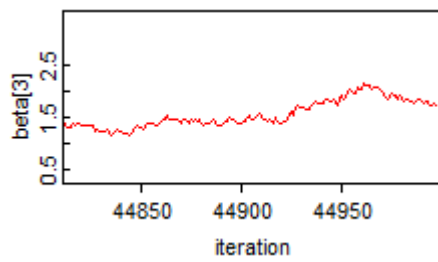
ภาพที่ 1 Trace plot ของ β_0



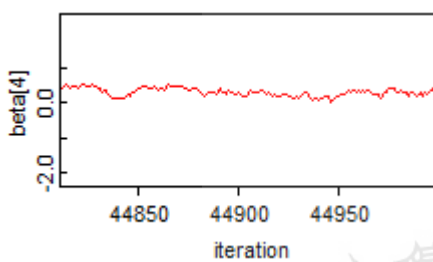
ภาพที่ 2 Trace plot ของ β_1



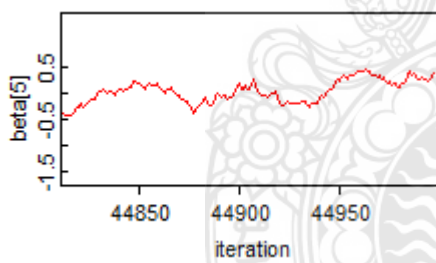
ภาพที่ 3 Trace plot ของ β_2



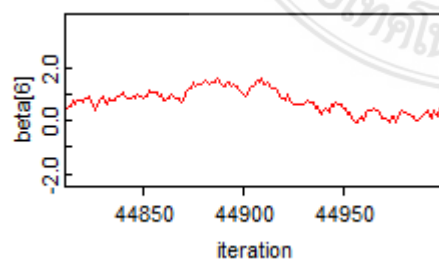
ภาพที่ 4 Trace plot ของ β_3



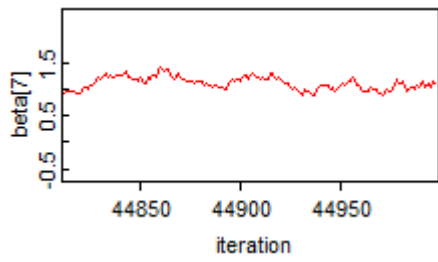
ภาพที่ 5 Trace plot ของ β_4



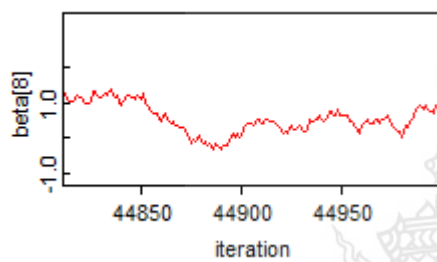
ภาพที่ 6 Trace plot ของ β_5



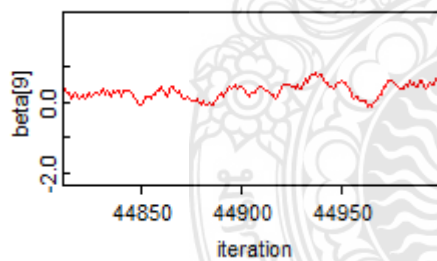
ภาพที่ 7 Trace plot ของ β_6



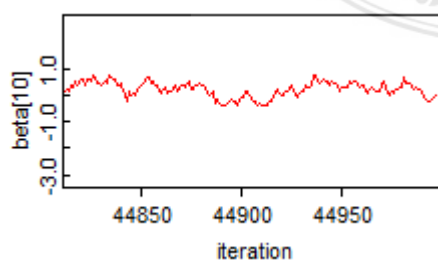
ภาพที่ 8 Trace plot ของ β_7



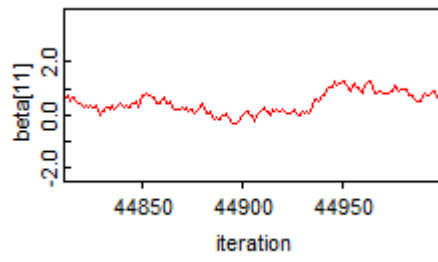
ภาพที่ 9 Trace plot ของ β_8



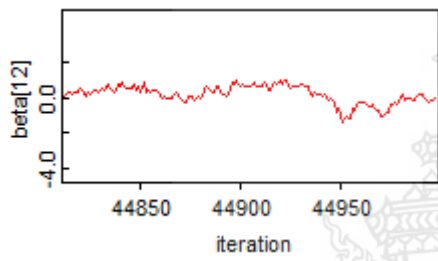
ภาพที่ 10 Trace plot ของ β_9



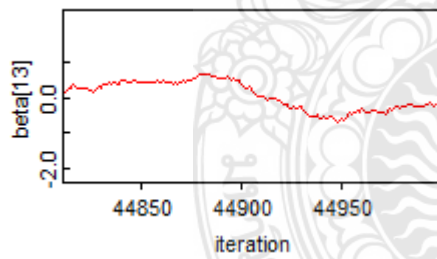
ภาพที่ 11 Trace plot ของ β_{10}



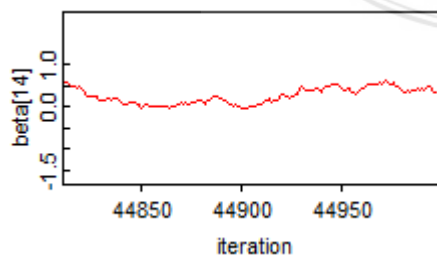
ภาพที่ 12 Trace plot ของ β_{11}



ภาพที่ 13 Trace plot ของ β_{12}



ภาพที่ 14 Trace plot ของ β_{13}

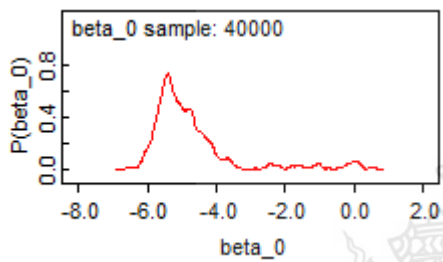


ภาพที่ 15 Trace plot ของ β_{14}

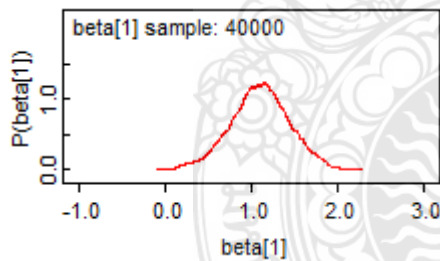
Trace plot ในภาพที่ 1- ภาพที่ 15 ไม่แสดงว่ามีแนวโน้มเกิดขึ้น แสดงถึงการลู่เข้าของ MCMC สำหรับพารามิเตอร์ β_0 ถึง β_{14}

4.3.1.2 Kernel density plot

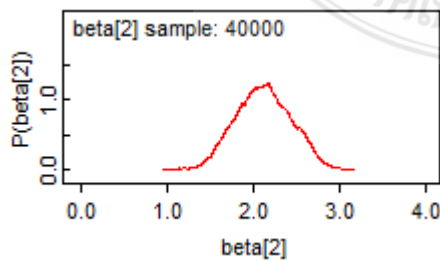
Kernel density plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 16 ถึง ภาพที่ 30



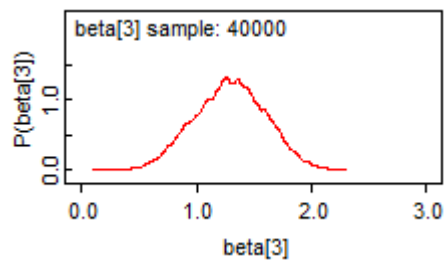
ภาพที่ 16 Kernel density plot ของ β_0



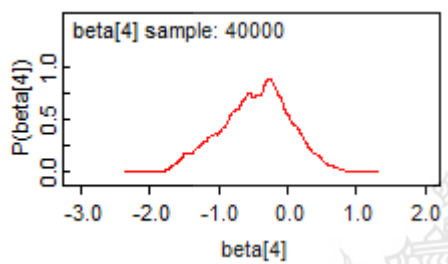
ภาพที่ 17 Kernel density plot ของ β_1



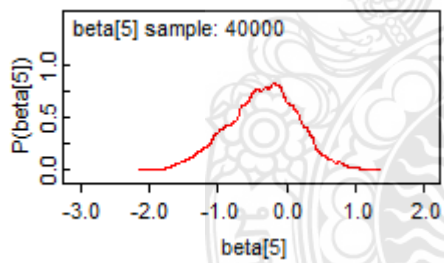
ภาพที่ 18 Kernel density plot ของ β_2



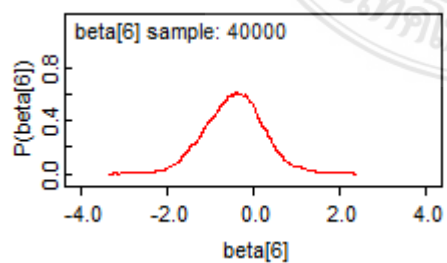
ภาพที่ 19 Kernel density plot ของ β_3



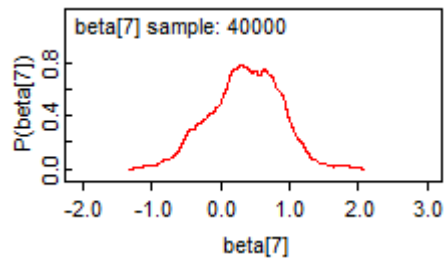
ภาพที่ 20 Kernel density plot ของ β_4



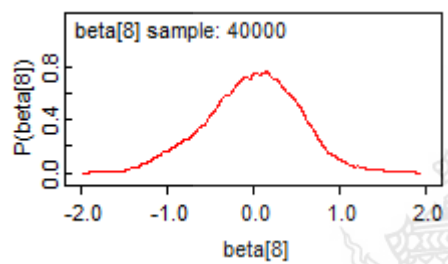
ภาพที่ 21 Kernel density plot ของ β_5



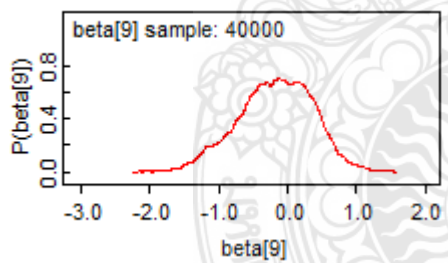
ภาพที่ 22 Kernel density plot ของ β_6



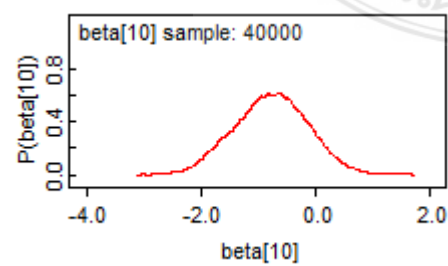
ภาพที่ 23 Kernel density plot ของ β_7



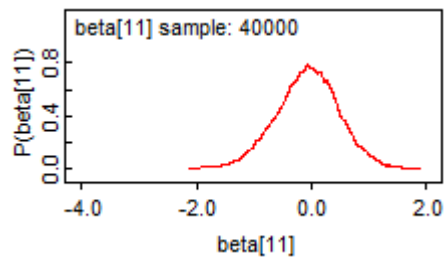
ภาพที่ 24 Kernel density plot ของ β_8



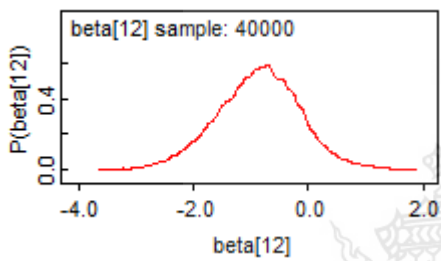
ภาพที่ 25 Kernel density plot ของ β_9



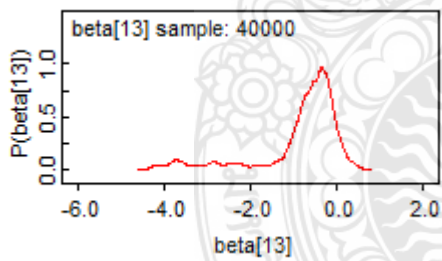
ภาพที่ 26 Kernel density plot ของ β_{10}



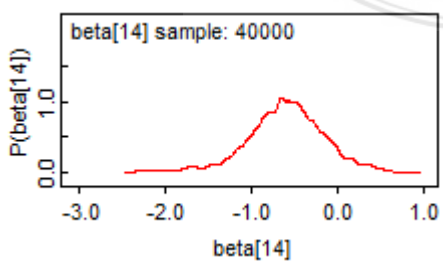
ภาพที่ 27 Kernel density plot ของ β_{11}



ภาพที่ 28 Kernel density plot ของ β_{12}



ภาพที่ 29 Kernel density plot ของ β_{13}

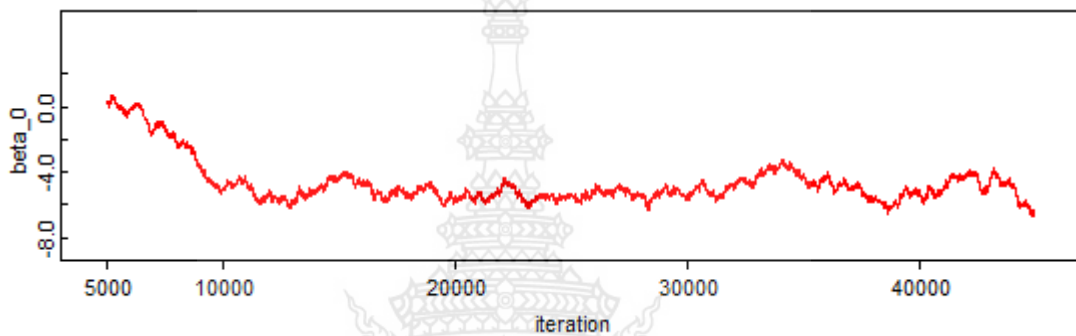


ภาพที่ 30 Kernel density plot ของ β_{14}

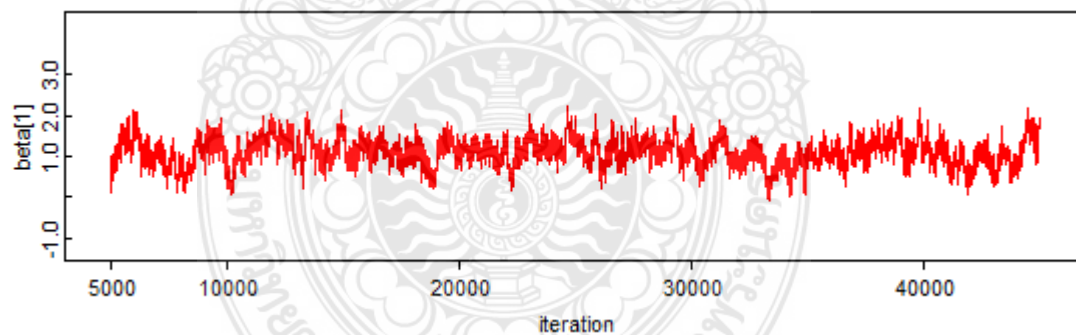
Kernel density ในภาพที่ 16 - ภาพที่ 30 มีลักษณะเป็นโค้งเรียบไม่ขรุขระ
สูงๆ ต่ำๆ หรือเป็นโค้งสองยอด แสดงให้เห็นว่า MCMC ลู่เข้าหาการแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง

4.3.1.3 History plot

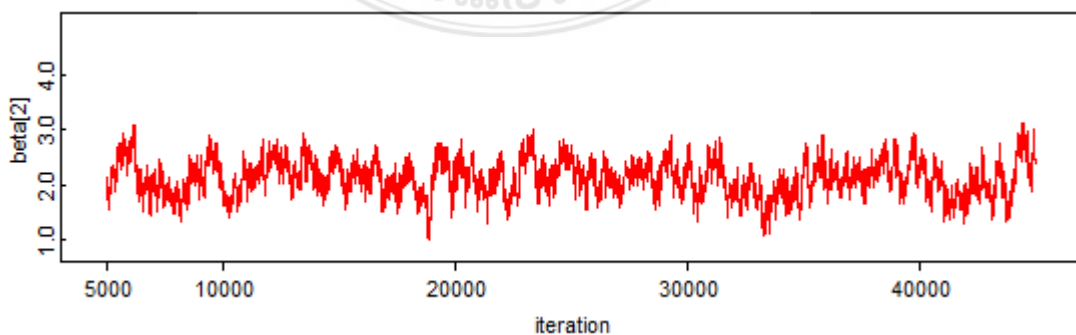
History plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 31 ถึง ภาพที่ 45



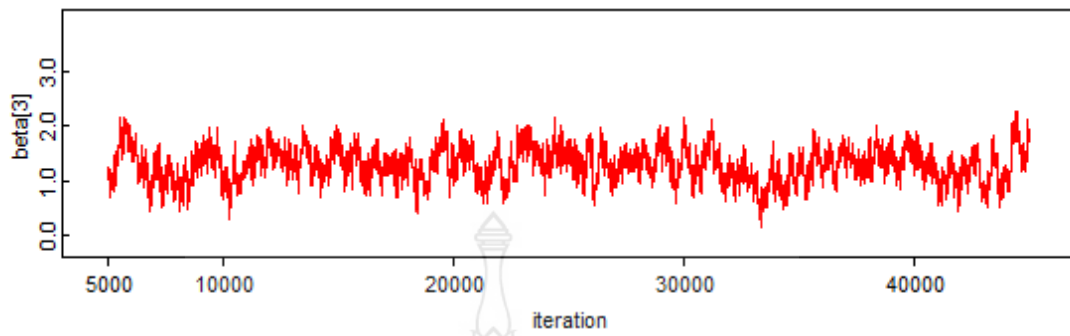
ภาพที่ 31 History plot ของ β_0



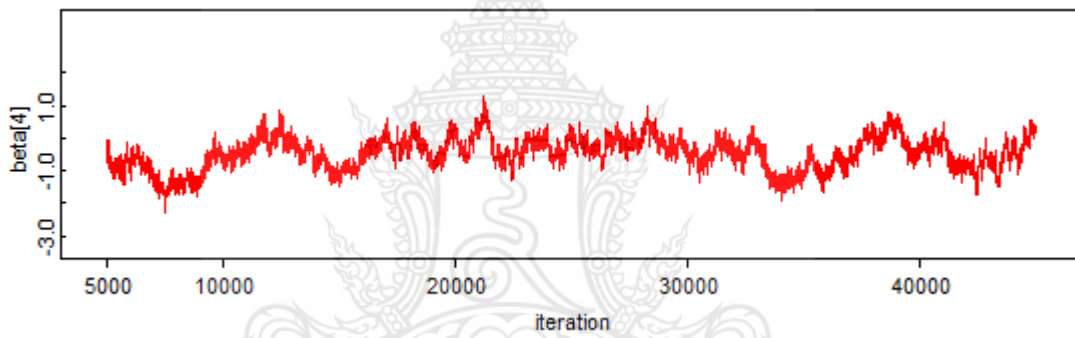
ภาพที่ 32 History plot ของ β_1



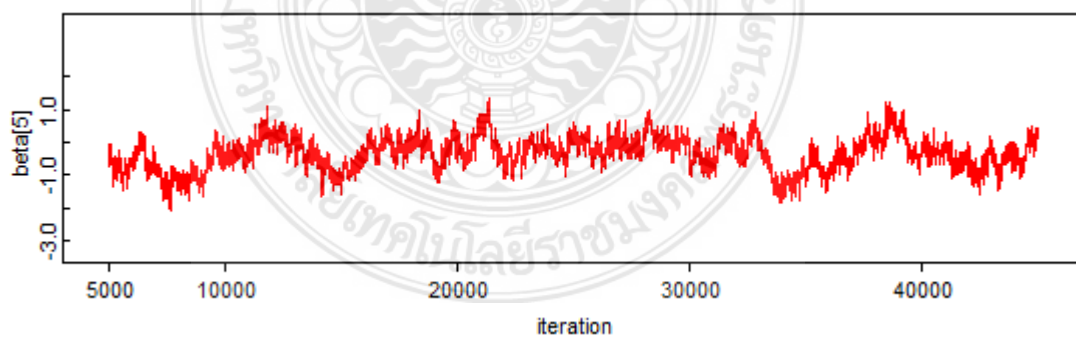
ภาพที่ 33 History plot ของ β_2



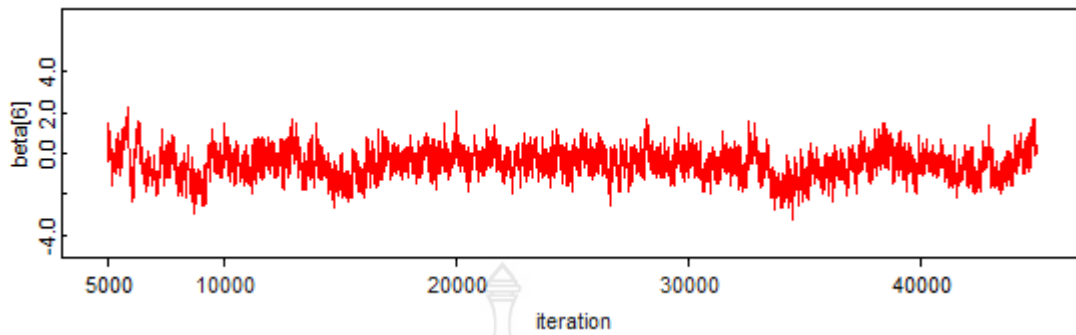
ภาพที่ 34 History plot ของ β_3



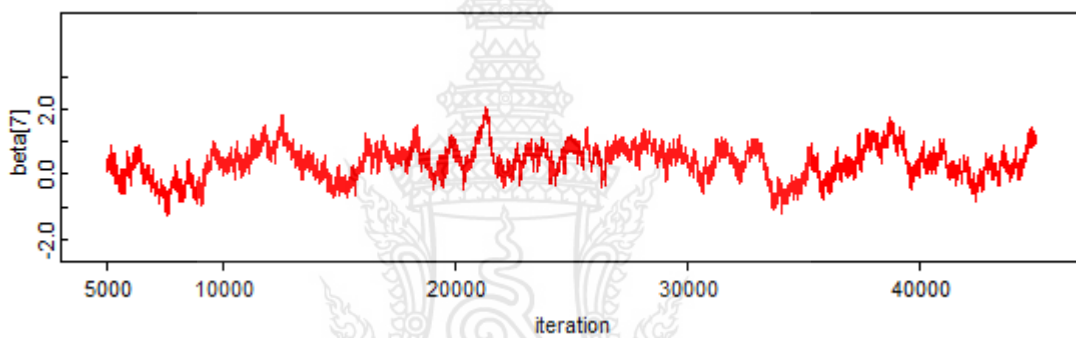
ภาพที่ 35 History plot ของ β_4



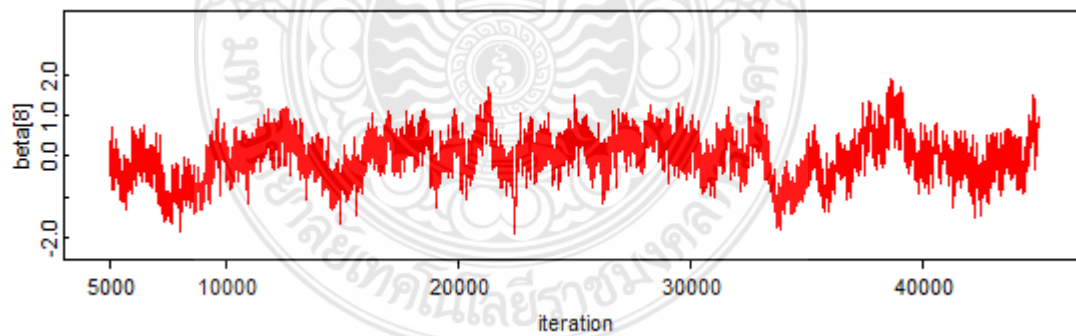
ภาพที่ 36 History plot ของ β_5



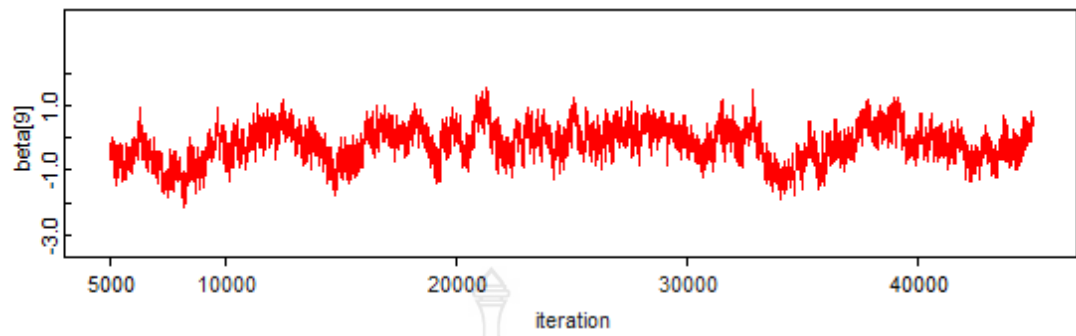
ภาพที่ 37 History plot ของ β_6



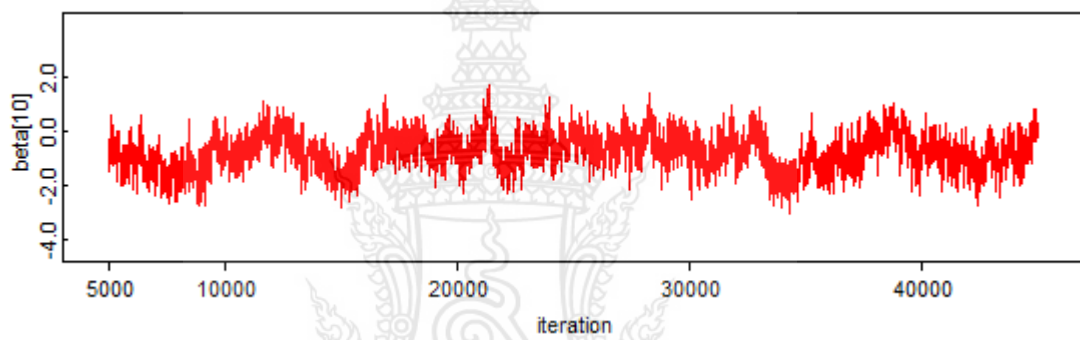
ภาพที่ 38 History plot ของ β_7



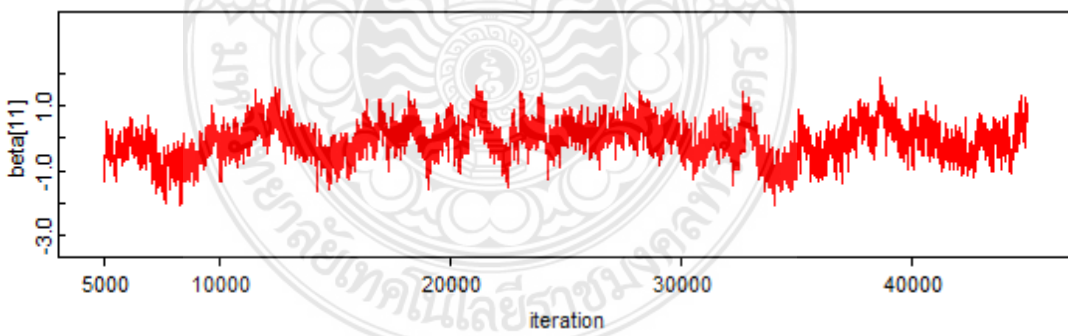
ภาพที่ 39 History plot ของ β_8



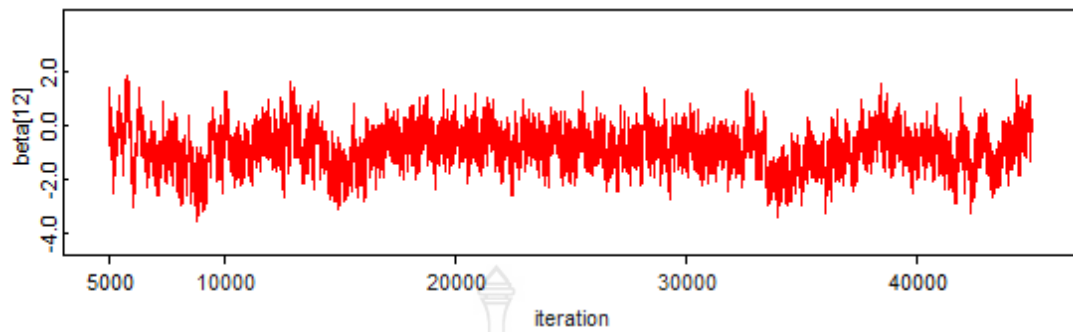
ภาพที่ 40 History plot ของ β_9



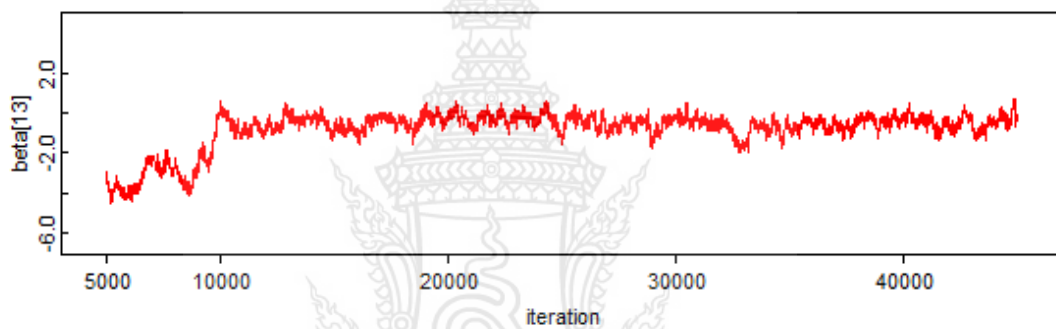
ภาพที่ 41 History plot ของ β_{10}



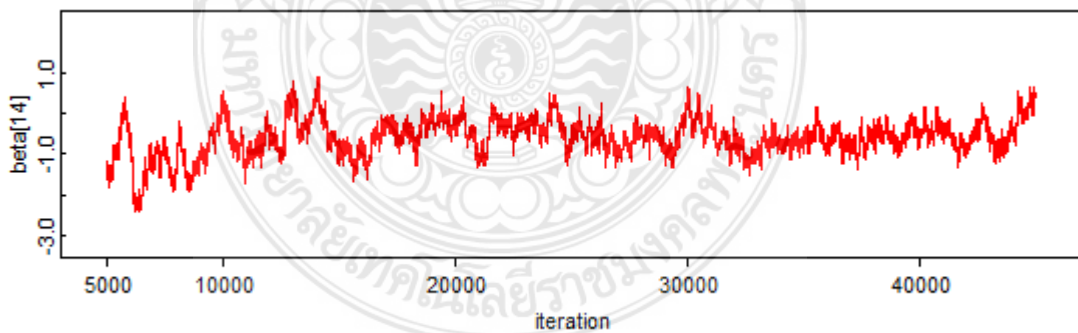
ภาพที่ 42 History plot ของ β_{11}



ภาพที่ 43 History plot ของ β_{12}



ภาพที่ 44 History plot ของ β_{13}

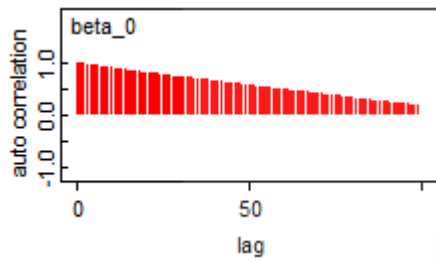


ภาพที่ 45 History plot ของ β_{14}

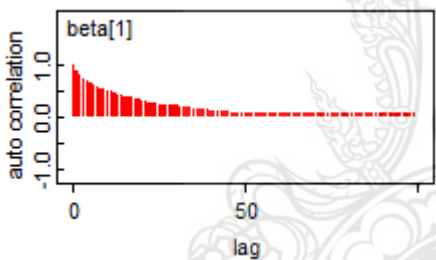
History plot ในภาพที่ 31- ภาพที่ 45 มีลักษณะเป็นแนวตรง แสดงให้เห็นว่า MCMC ลู่เข้าหาการแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง

4.3.1.4 Autocorrelation plot

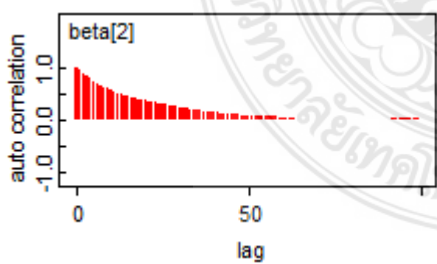
Autocorrelation plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 46 ถึง ภาพที่ 60



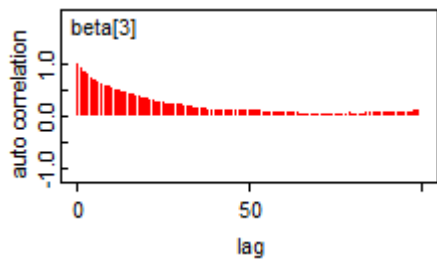
ภาพที่ 46 Autocorrelation plot ของ β_0



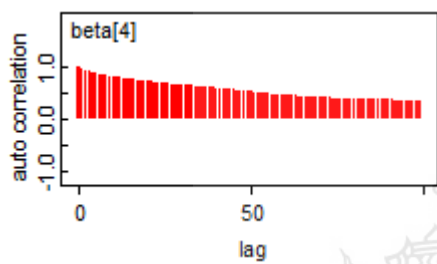
ภาพที่ 47 Autocorrelation plot ของ β_1



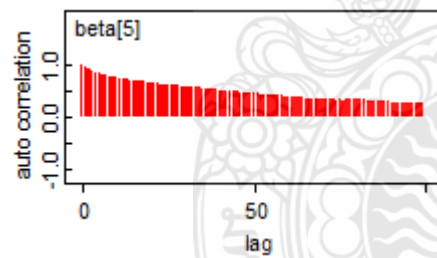
ภาพที่ 48 Autocorrelation plot ของ β_2



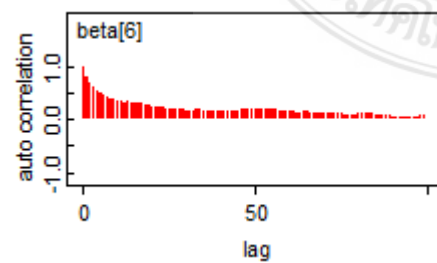
ภาพที่ 49 Autocorrelation plot ของ β_3



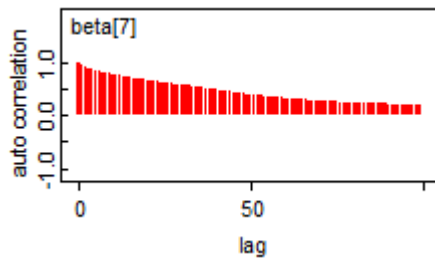
ภาพที่ 50 Autocorrelation plot ของ β_4



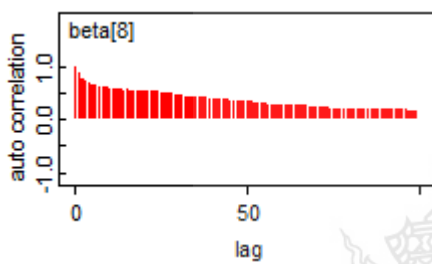
ภาพที่ 51 Autocorrelation plot ของ β_5



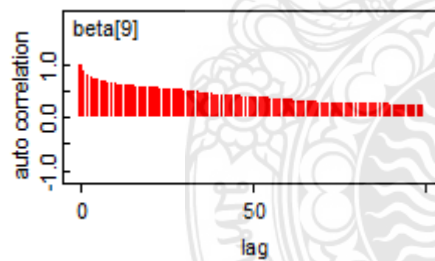
ภาพที่ 52 Autocorrelation plot ของ β_6



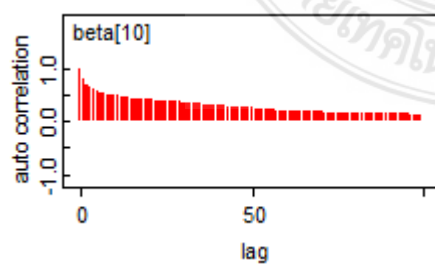
ภาพที่ 53 Autocorrelation plot ของ β_7



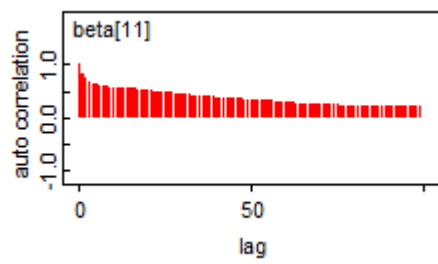
ภาพที่ 54 Autocorrelation plot ของ β_8



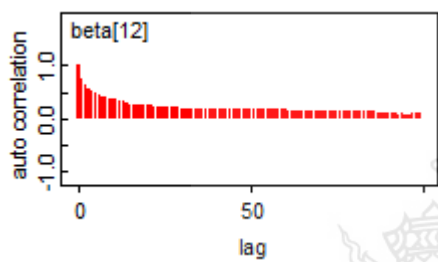
ภาพที่ 55 Autocorrelation plot ของ β_9



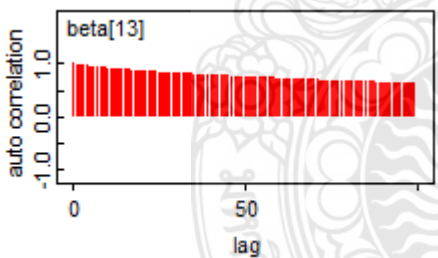
ภาพที่ 56 Autocorrelation plot ของ β_{10}



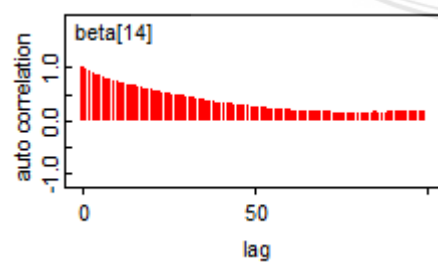
ภาพที่ 57 Autocorrelation plot ของ β_{11}



ภาพที่ 58 Autocorrelation plot ของ β_{12}



ภาพที่ 59 Autocorrelation plot ของ β_{13}



ภาพที่ 60 Autocorrelation plot ของ β_{14}

Autocorrelation plot ในภาพที่ 46 ภาพที่ 60 มีลักษณะลดลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีความสัมพันธ์กันหลัง lag ที่ 50 แสดงให้เห็นว่า MCMC ลู่เข้าหาการแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง

4.3.2 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	95% Credible Interval		exp(ค่าเฉลี่ย)
		มาตรฐาน			
intercept	-4.6890	1.3580	-6.0570	-0.0790	0.0092
ขั้นตอนการทำงานที่ 1	1.0960	0.3408	0.3938	1.7700	2.9922
ขั้นตอนการทำงานที่ 2	2.1220	0.3255	1.5070	2.7420	8.3478
ขั้นตอนการทำงานที่ 3	1.2890	0.3091	0.6891	1.8700	3.6292
ขั้นตอนการทำงานที่ 4 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.
คนงานที่ 1	-0.4604	0.5020	-1.4930	0.4641	0.6310
คนงานที่ 2	-0.3463	0.5054	-1.3810	0.6264	0.7073
คนงานที่ 3	-0.4584	0.6771	-1.7800	0.8628	0.6323
คนงานที่ 4	0.3595	0.5014	-0.6424	1.2710	1.4326
คนงานที่ 5	-0.0212	0.5370	-1.1260	0.9874	0.9790
คนงานที่ 6	-0.1737	0.5352	-1.2550	0.7920	0.8405
คนงานที่ 7	-0.7762	0.6399	-2.0130	0.4689	0.4602
คนงานที่ 8	-0.0649	0.5357	-1.1460	0.9679	0.9372
คนงานที่ 9	-0.8686	0.7184	-2.3530	0.5287	0.4195
คนงานที่ 10 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	95% Credible Interval		exp(ค่าเฉลี่ย)
สินค้าชนิดที่ 1	-0.8007	0.9448	-3.7580	0.1911	0.4490
สินค้าชนิดที่ 2	-0.5925	0.4474	-1.5970	0.2753	0.5529
สินค้าชนิดที่ 3 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.

จากตารางที่ 8 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักรได้แก่ ขั้นตอนการทำงาน คนงาน และชนิดของสินค้า เมื่อกำหนดให้ขั้นตอนการทำงานที่ 4 เป็นขั้นตอนที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่าขั้นตอนการทำงานที่ 1 ผลิตสินค้าบกพร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 1.9922 ชิ้น ขั้นตอนการทำงานที่ 2 ผลิตสินค้าบกพร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 7.3478 ชิ้น ขั้นตอนการทำงานที่ 3 ผลิตสินค้าบกพร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 2.6292 ชิ้น สรุปได้ว่าขั้นตอนที่ผลิตสินค้าบกพร่องมากที่สุด คือขั้นตอนที่ 2 รองลงมาคือขั้นตอนที่ 3, 1 และ 4 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดให้คนงานที่ 10 เป็นคนงานที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่า คนงานที่ 1 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.369 ชิ้น คนงานที่ 2 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ย วันละ 0.2927ชิ้น คนงานที่ 3 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.3677 ชิ้น คนงานที่ 4 ผลิตสินค้าบกพร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 0.4326 ชิ้น คนงานที่ 5 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ย วันละ 0.021 ชิ้น คนงานที่ 6 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.1595 ชิ้น คนงานที่ 7 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ย วันละ 0.5398 ชิ้น คนงานที่ 8 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.0628 ชิ้น คนงานที่ 9 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.5805 ชิ้น สรุปได้ว่าคนงานที่ผลิตสินค้าบกพร่องมากที่สุด คือคนงานที่ 4 รองลงมาคือคนงานที่ 10, 5, 8, 6, 2, 3, 1, 7 และ 9 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดให้สินค้าชนิดที่ 3 เป็นสินค้าที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่าสินค้าชนิดที่ 1 บกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.551 ชิ้น สินค้าชนิดที่ 2 บกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.4471 ชิ้น สรุปได้ว่าสินค้าที่ผลิตบกพร่องมากที่สุด คือสินค้าที่ 3 รองลงมาคือสินค้าที่ 2 และ 1 ตามลำดับ

4.3.3 ค่าประมาณ Random intercept จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

Random intercept เป็นค่าเฉพาะของละเครื่องจักร ที่มีอิทธิพลต่อผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ทำให้ตัวแบบ GLMM ถูกนำมาใช้เมื่อต้องการพิจารณาลักษณะเฉพาะของหน่วยตัวอย่างแต่ละหน่วย ที่ทำการศึกษา ค่าประมาณ Random intercept จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าประมาณ Random intercept จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

เครื่องจักร	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval		Exp(ค่าเฉลี่ย)
เครื่องจักร ที่ 1	-0.0695	0.5296	-1.6550	1.1160	0.9329
เครื่องจักร ที่ 2	-0.1682	0.5396	-1.8380	0.9038	0.8452
เครื่องจักร ที่ 3	0.5011	0.5644	-0.7245	1.9090	1.6505
เครื่องจักร ที่ 4	0.0827	0.5336	-1.4990	1.4040	1.0862
เครื่องจักร ที่ 5	-0.2559	0.5660	-2.1790	0.5535	0.7742
เครื่องจักร ที่ 6	-0.5882	1.0480	-4.5820	0.2111	0.5553
เครื่องจักร ที่ 7	-0.1063	0.9344	-3.7730	0.7061	0.8992
เครื่องจักร ที่ 8	-0.4318	1.0060	-4.3620	0.3203	0.6493
เครื่องจักร ที่ 9	-0.2252	0.9534	-3.9040	0.5808	0.7984
เครื่องจักร ที่ 10	-0.1578	1.0830	-4.5700	0.8353	0.8540
เครื่องจักร ที่ 11	-0.5994	1.3460	-5.7740	0.3761	0.5491
เครื่องจักร ที่ 12	-0.4034	1.1600	-5.1260	0.4713	0.6680

จากตารางที่ 9 เห็นว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เมื่อไม่พิจารณาปัจจัยอื่นๆ จะมีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องแตกต่างกัน เช่น เครื่องจักร ที่ 1 มีอิทธิพลต่อผลิตสินค้าบกพร่องเฉลี่ย 0.9329 ต่อวัน เครื่องจักร ที่ 2 อิทธิพลต่อผลิตสินค้าบกพร่องเฉลี่ย 0.8452 ต่อวัน และ เครื่องจักร ที่ 2 อิทธิพลต่อผลิตสินค้าบกพร่องเฉลี่ย 1.6505 ต่อวัน เป็นต้น

4.3.4 ค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียหายจากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

ค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียหายเฉลี่ยจากเครื่องจักร ในแต่ละวันที่ทำการเก็บข้อมูล แสดงในตารางที่ 10 และรายละเอียดค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียหาย แสดงในตารางภาคผนวกที่ 1

ตารางที่ 10 ค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียหายเฉลี่ย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 1	11.70	12	0.30
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 2	5.50	5	0.50
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 3	11.90	12	0.10
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 4	7.42	7	0.42
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 5	17.15	17	0.15
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 6	14.44	14	0.44
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 7	19.13	19	0.13
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 8	23.89	24	0.11
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 9	20.91	21	0.09
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 10	15.84	16	0.16
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 11	11.25	11	0.25
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 12	12.01	12	0.01
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 13	1.53	0	1.53
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 14	9.93	11	1.07
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 15	21.81	23	1.19
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 1	11.52	12	0.48
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 2	3.80	3	0.80
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 3	15.99	16	0.01
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 4	11.32	11	0.32
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 5	18.46	19	0.54
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 6	10.93	11	0.07

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 7	14.70	15	0.30
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 8	7.01	6	1.01
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 9	12.51	12	0.51
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 10	18.07	18	0.07
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 11	21.34	21	0.34
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 12	24.16	24	0.16
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 13	1.03	0	1.03
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 14	16.83	17	0.17
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 15	19.54	21	1.46
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 1	26.61	27	0.39
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 2	26.67	27	0.33
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 3	7.54	8	0.46
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 4	14.77	16	1.23
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 5	10.09	11	0.91
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 6	24.30	26	1.70
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 7	23.38	25	1.62
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 8	11.78	12	0.22
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 9	10.49	11	0.51
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 10	6.96	7	0.04
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 11	11.76	12	0.24
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 12	10.53	11	0.47
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 13	7.03	7	0.03
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 14	8.47	7	1.47
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 15	14.03	13	1.03
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 1	1.17	0	1.17
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 2	15.41	16	0.59

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 3	4.79	4	0.79
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 4	11.95	12	0.05
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 5	6.78	6	0.78
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 6	19.56	20	0.44
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 7	22.52	23	0.48
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 8	18.48	19	0.52
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 9	16.70	17	0.30
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 10	49.68	51	1.32
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 11	12.06	12	0.06
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 12	11.24	11	0.24
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 13	9.33	9	0.33
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 14	30.25	31	0.75
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 15	13.19	13	0.19
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 1	16.97	17	0.03
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 2	12.48	13	0.52
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 3	11.79	12	0.21
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 4	11.92	12	0.08
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 5	4.79	4	0.79
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 6	4.83	4	0.83
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 7	21.26	21	0.26
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 8	10.78	10	0.78
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 9	8.12	7	1.12
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 10	8.20	7	1.20
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 11	15.45	15	0.45
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 12	72.86	74	1.14
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 13	17.39	17	0.39

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 14	15.05	15	0.05
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 15	21.98	24	2.02
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 1	3.40	4	0.60
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 2	0.98	0	0.98
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 3	1.94	1	0.94
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 4	13.86	15	1.14
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 5	10.17	11	0.83
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 6	0.81	0	0.81
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 7	1.34	0	1.34
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 8	38.79	41	2.21
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 9	21.35	23	1.65
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 10	1.08	0	1.08
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 11	1.06	0	1.06
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 12	0.80	0	0.80
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 13	0.80	0	0.80
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 14	1.14	0	1.14
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 15	2.34	2	0.34
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 1	50.94	51	0.06
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 2	75.74	76	0.26
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 3	96.97	98	1.03
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 4	34.58	34	0.58
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 5	48.01	49	0.99
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 6	43.62	44	0.38
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 7	51.57	52	0.43
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 8	10.12	10	0.12
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 9	4.08	3	1.08

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 10	12.91	13	0.09
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 11	100.80	103	2.20
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 12	50.31	51	0.69
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 13	19.11	19	0.11
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 14	5.28	4	1.28
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 15	2.09	0	2.09
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 1	106.20	108	1.80
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 2	8.83	8	0.83
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 3	57.89	59	1.11
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 4	122.10	123	0.90
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 5	27.42	27	0.42
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 6	11.14	11	0.14
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 7	100.80	102	1.20
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 8	4.68	4	0.68
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 9	24.63	25	0.37
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 10	8.68	8	0.68
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 11	2.28	0	2.28
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 12	32.36	33	0.64
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 13	5.28	5	0.28
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 14	1.59	0	1.59
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 15	4.47	4	0.47
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 1	1.81	0	1.81
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 2	10.73	11	0.27
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 3	3.19	2	1.19
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 4	22.06	23	0.94
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 5	39.55	41	1.45

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 6	7.23	7	0.23
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 7	1.82	0	1.82
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 8	12.61	13	0.39
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 9	12.48	14	1.52
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 10	1.17	0	1.17
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 11	6.46	6	0.46
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 12	44.80	46	1.20
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 13	53.40	55	1.60
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 14	50.61	51	0.39
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 15	11.47	11	0.47
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 1	67.09	67	0.09
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 2	42.94	43	0.06
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 3	1.45	0	1.45
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 4	9.38	10	0.62
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 5	1.49	0	1.49
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 6	2.77	2	0.77
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 7	52.70	53	0.30
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 8	28.42	28	0.42
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 9	91.37	93	1.63
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 10	62.80	64	1.20
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 11	71.56	73	1.44
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 12	35.28	36	0.72
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 13	18.96	19	0.04
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 14	14.27	14	0.27
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 15	29.58	30	0.42
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 1	1.30	0	1.30

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 2	5.67	5	0.67
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 3	11.79	12	0.21
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 4	12.75	13	0.25
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 5	11.91	12	0.09
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 6	18.27	19	0.73
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 7	21.36	22	0.64
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 8	2.53	1	1.53
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 9	12.72	13	0.28
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 10	11.46	12	0.54
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 11	1.60	0	1.60
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 12	7.87	8	0.13
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 13	8.73	9	0.28
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 14	8.68	9	0.32
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 15	8.77	9	0.23
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 1	8.87	9	0.13
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 2	11.16	11	0.16
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 3	26.28	26	0.28
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 4	83.82	85	1.18
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 5	38.97	39	0.03
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 6	67.14	68	0.86
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 7	14.94	15	0.06
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 8	13.11	13	0.11
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 9	3.53	2	1.53
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 10	38.14	39	0.86
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 11	10.21	9	1.21
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 12	11.01	11	0.01

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวน สินค้าบกพร่องเฉลี่ย	ค่าจริงจำนวนสินค้า บกพร่อง	ค่าสัมบูรณ์ของ ค่า ผิดพลาด
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 13	32.94	33	0.06
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 14	29.47	29	0.47
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 15	10.92	11	0.08
ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาด (MAE)			0.69

จากตารางที่ 10 พบว่า ค่าประมาณจำนวนสินค้าบกพร่องที่ได้จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของจำนวนสินค้าบกพร่องมาก ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาด (Mean absolute error หรือ MAE) มีค่า 0.69 แสดงว่าตัวแบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับข้อมูลมาก

4.4 การเปรียบเทียบตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับ ตัวแบบ GEE

4.4.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร โดยใช้ตัวแบบ GEE

ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร โดยใช้ตัวแบบ GEE โดยใช้การทดสอบ Wald Chi-Square แสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ของตัวแบบ GEE

ปัจจัย	Wald Chi-Square	Sig.
Intercept	620.090	<0.0001
ขั้นตอนการทำงาน	26.328	<0.0001
คนงาน	1834.406	<0.0001
ชนิดของสินค้า	7.352	0.0250

จากตารางที่ 11 พบว่า ค่า Sig. ของแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า
ขั้นตอนการทำงาน ชนิดของสินค้า และคนงาน มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

4.4.2 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร
จากตัวแบบ GEE

ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร
จากตัวแบบ GEE แสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักรจาก
ตัวแบบ GEE

ปัจจัย	B	S.E	Hypothesis Test		Exp(B)
			Wald Chi-Square	Sig.	
Intercept	2.7800	0.3723	55.782	<0.0001	16.1250
ขั้นตอนการทำงานที่ 1	0.7240	0.3829	3.579	0.059	2.0640
ขั้นตอนการทำงานที่ 2	1.6250	0.3612	20.252	<0.0001	5.0800
ขั้นตอนการทำงานที่ 3	0.9580	0.3678	6.79	0.009	2.6080
ขั้นตอนการทำงานที่ 4 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.
คนงานที่ 1	-0.4420	0.2127	4.32	0.038	0.6430
คนงานที่ 2	-0.4990	0.2383	4.381	0.036	0.6070
คนงานที่ 3	-1.0200	0.3056	11.141	0.001	0.3610
คนงานที่ 4	-0.1570	0.1766	0.787	0.375	0.8550
คนงานที่ 5	-0.2920	0.2323	1.58	0.209	0.7470
คนงานที่ 6	-0.4690	0.2058	5.195	0.023	0.6260
คนงานที่ 7	-1.0110	0.3546	8.129	0.004	0.3640

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ปัจจัย	B	S.E	Hypothesis Test		Exp(B)
			Wald Chi-Square	Sig.	
คนงานที่ 8	-0.2390	0.4246	0.318	0.573	0.7870
คนงานที่ 9	-1.4250	0.3041	21.974	<0.0001	0.2400
คนงานที่ 10 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.
สินค้าชนิดที่ 1	-0.7250	0.2701	7.208	0.007	0.4840
สินค้าชนิดที่ 2	-0.1490	0.149	0.994	0.319	0.8620
สินค้าชนิดที่ 3 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.

จากตารางที่ 12 ค่า ที่ระดับนัยสำคัญ (Sig.) 0.05 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักรได้แก่ ขั้นตอนการทำงานที่ 2, 3 คนงานที่ 1, 2, 3, 6, 7, 9 และสินค้าชนิดที่ 1 ปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักรได้แก่ ขั้นตอนการทำงานที่ 1 คนงานที่ 4, 5, 8 และสินค้าชนิดที่ 2

เมื่อกำหนดให้ขั้นตอนการทำงานที่ 4 เป็นขั้นตอนที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่า ขั้นตอนการทำงานที่ 2 ผลิตสินค้าบกพร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 4.0800 ชิ้น ขั้นตอนการทำงานที่ 3 ผลิตสินค้าบกพร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 1.6080 ชิ้น สรุปได้ว่าขั้นตอนที่ผลิตสินค้าบกพร่องมากที่สุดคือขั้นตอนที่ 2 รองลงมาคือขั้นตอนที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดให้คนงานที่ 10 เป็นคนงานที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่า คนงานที่ 1 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.3570 ชิ้น คนงานที่ 2 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.3930 ชิ้น คนงานที่ 3 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.6390 ชิ้น คนงานที่ 6 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวัน 0.3740 ชิ้น คนงานที่ 7 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ย วันละ 0.6360 ชิ้น คนงานที่ 9 ผลิตสินค้าบกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.7600 ชิ้น สรุปได้ว่าคนงานที่ผลิตสินค้าบกพร่องมากที่สุด คือคนงานที่ 10 รองลงมาคือคนงานที่ 1, 6, 2, 7, 3 และ 9 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดให้สินค้าชนิดที่ 3 เป็นสินค้าที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่าสินค้าชนิดที่ 1 บกพร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.5160 ชิ้น สรุปได้ว่าสินค้าที่ผลิตบกพร่องมากที่สุด คือสินค้าที่ 3 รองลงมาคือสินค้าที่ 1

4.4.3 การเปรียบเทียบค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE

ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย ที่ได้จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยจากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE

ปัจจัย	GLMM		GEE	
	ค่าเฉลี่ย	Exp(ค่าเฉลี่ย)	ค่าเฉลี่ย	Exp(ค่าเฉลี่ย)
Intercept	-4.6890	0.0092	2.7800	16.1250
ขั้นตอนการทำงานที่ 1	1.0960	2.9922	0.7240	2.0640
ขั้นตอนการทำงานที่ 2	2.1220	8.3478	1.6250	5.0800
ขั้นตอนการทำงานที่ 3	1.2890	3.6292	0.9580	2.6080
ขั้นตอนการทำงานที่ 4 (อ้างอิง)	.	.	.	.
คนงานที่ 1	-0.4604	0.6310	-0.4420	0.6430
คนงานที่ 2	-0.3463	0.7073	-0.4990	0.6070
คนงานที่ 3	-0.4584	0.6323	-1.0200	0.3610
คนงานที่ 4	0.3595	1.4326	-0.1570	0.8550
คนงานที่ 5	-0.0212	0.9790	-0.2920	0.7470
คนงานที่ 6	-0.1737	0.8405	-0.4690	0.6260
คนงานที่ 7	-0.7762	0.4602	-1.0110	0.3640
คนงานที่ 8	-0.0649	0.9372	-0.2390	0.7870

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ปัจจัย	GLMM		GEE	
	ค่าเฉลี่ย	Exp(ค่าเฉลี่ย)	ค่าเฉลี่ย	Exp(ค่าเฉลี่ย)
คนงานที่ 9	-0.8686	0.4195	-1.4250	0.2400
คนงานที่ 10 (อ้างอิง)	.	.	.	.
สินค้าชนิดที่ 1	-0.8007	0.4490	-0.7250	0.4840
สินค้าชนิดที่ 2	-0.5925	0.5529	-0.1490	0.8620
สินค้าชนิดที่ 3 (อ้างอิง)	.	.	.	.

จากตารางที่ 13 จะเห็นว่าค่าประมาณขนาดของปัจจัย ที่ได้จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ กับตัวแบบ GEE มีค่าต่างกัน ถ้าต้องการมองภาพรวม ดูได้จากตัวแบบ GEE แต่ถ้าต้องการมองเป็นลักษณะเฉพาะ ในที่นี้คือลักษณะเฉพาะของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ดูได้จากตัวแบบ GLMM

4.5 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยในตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย จากตัวแบบ GLMM โดยใช้การจำลองสถานการณ์ และใช้เกณฑ์การเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ จากการสร้างข้อมูล 200 ชุด คำนวณค่าการเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ (Relative bias) ได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าการเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ของค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

ปัจจัย	ค่าประมาณที่ได้จากข้อมูลจริง	ค่าประมาณที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ เฉลี่ย	Relative bias
Intercept	-4.6890	-4.5296	0.0340
ขั้นตอนการทำงานที่ 1	1.0960	1.0522	0.0400

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าประมาณที่ได้จากข้อมูลจริง	ค่าประมาณที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ เฉลี่ย	Relative bias
ขั้นตอนการทำงานที่ 2	2.1220	2.0265	0.0450
ขั้นตอนการทำงานที่ 3	1.2890	1.2439	0.0350
ขั้นตอนการทำงานที่ 4 (อ้างอิง)	.	.	.
คนงานที่ 1	-0.4604	-0.4461	0.0310
คนงานที่ 2	-0.3463	-0.3366	0.0280
คนงานที่ 3	-0.4584	-0.4547	0.0080
คนงานที่ 4	0.3595	0.3487	0.0300
คนงานที่ 5	-0.0212	-0.0193	0.0900
คนงานที่ 6	-0.1737	-0.1671	0.0380
คนงานที่ 7	-0.7762	-0.7529	0.0300
คนงานที่ 8	-0.0649	-0.0645	0.0060
คนงานที่ 9	-0.8686	-0.8643	0.0050
คนงานที่ 10 (อ้างอิง)	.	.	.
สินค้าชนิดที่ 1	-0.8007	-0.7671	0.0420
สินค้าชนิดที่ 2	-0.5925	-0.5747	0.0300
สินค้าชนิดที่ 3 (อ้างอิง)	-4.6890	-4.5296	0.0340

จากตารางที่ 14 พบว่า ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่ได้จากข้อมูลจริง จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ ค่าการเอียงเฉลี่ยสัมพัทธ์ทุกค่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยมีความแม่นยำสูง

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักรเพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบ GEE สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ศึกษา รวบรวมจากการบันทึกการทำงานของเครื่องจักร 12 เครื่อง นับจำนวนสินค้าบกพร่องที่เกิดจากขั้นตอนการผลิต คนงาน และชนิดของสินค้า ในแต่ละวัน จำนวน 15 วัน โดยวันที่เก็บข้อมูลแตกต่างกันไปตามขั้นตอนการผลิต และชนิดของสินค้า จำนวนข้อมูลมีทั้งหมด 180 ค่า ขั้นตอนการทำงานที่ 1 มีจำนวนข้อมูลมากที่สุด รองลงมาคือ ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 2 ตามลำดับ คนงานที่ 1 มีจำนวนข้อมูลมากที่สุด รองลงมาคือ คนงานที่ และคนงานที่ 2 ตามลำดับ โดยที่ คนงานที่ 9 มีจำนวนข้อมูลต่ำสุด สินค้าชนิดที่ 1 มีจำนวนข้อมูลมากที่สุด รองลงมาคือ สินค้าชนิดที่ 2 และสินค้าชนิดที่ 3 ตามลำดับ

เครื่องจักรที่ผลิตสินค้าออกมาบกพร่องสูงสุด 3 อันดับแรกคือ เครื่องจักรที่ 5 รองลงมาคือเครื่องจักร 4 และเครื่องจักรที่ 8 โดยที่เครื่องจักรที่ 2 ผลิตสินค้าออกมาบกพร่องน้อยที่สุด โดยรวมแล้ว เครื่องจักรแต่ละเครื่องเครื่องจะผลิตสินค้าออกมาบกพร่อง เฉลี่ยต่อวัน 20.57 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.28

ขั้นตอนการทำงานที่ 2 ผลิตสินค้าออกมาบกร่องมากที่สุด รองลงมาคือ ขั้นตอนการทำงานที่ 3 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 ขั้นตอนการทำงานที่ 4 ตามลำดับ คนงานที่ 4 ผลิตสินค้าออกมาบกร่องมากที่สุด รองลงมาคือ คนงานที่ 10 สินค้าชนิดที่ 2 ผลิตออกมาบกร่องมากที่สุด รองลงมาคือ สินค้าชนิดที่ 3 และสินค้าชนิดที่ 1 ซึ่ง ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกร่องของเครื่องจักรได้แก่ ขั้นตอนการทำงาน คนงาน และชนิดของสินค้า เมื่อกำหนดให้ขั้นตอนการทำงานที่ 4 เป็นขั้นตอนที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่า ขั้นตอนการทำงานที่ 1 ผลิตสินค้าบกร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 1.9922 ขึ้น ขั้นตอนการทำงานที่ 2 ผลิตสินค้าบกร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 7.3478 ขึ้น ขั้นตอนการทำงานที่ 3 ผลิตสินค้าบกร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 2.6292 ขึ้น สรุปได้ว่าขั้นตอนที่ผลิตสินค้าบกร่องมากที่สุด คือขั้นตอนที่ 2 รองลงมาคือขั้นตอนที่ 3, 1 และ 4 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดให้คนงานที่ 10 เป็นคนงานที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่า คนงานที่ 1 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.369 ขึ้น คนงานที่ 2 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.2927 ขึ้น คนงานที่ 3 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.3677 ขึ้น คนงานที่ 4 ผลิตสินค้าบกร่องมากกว่า เฉลี่ยวันละ 0.4326 ขึ้น คนงานที่ 5 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ย วันละ 0.021 ขึ้น คนงานที่ 6 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.1595 ขึ้น คนงานที่ 7 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ย วันละ 0.5398 ขึ้น คนงานที่ 8 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.0628 ขึ้น คนงานที่ 9 ผลิตสินค้าบกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.5805 ขึ้น สรุปได้ว่าคนงานที่ผลิตสินค้าบกร่องมากที่สุด คือคนงานที่ 4 รองลงมาคือคนงานที่ 10, 5, 8, 6, 2, 3, 1, 7 และ 9 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดให้สินค้าชนิดที่ 3 เป็นสินค้าที่ใช้อ้างอิง เปรียบเทียบ พบว่าสินค้าชนิดที่ 1 บกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.551 ขึ้น สินค้าชนิดที่ 2 บกร่องน้อยกว่า เฉลี่ยวันละ 0.4471 ขึ้น สรุปได้ว่าสินค้าที่ผลิตบกร่องมากที่สุด คือสินค้าที่ 3 รองลงมาคือสินค้าที่ 2 และ 1 ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ตัวแบบ Generalized linear mixed model (GLMM) เป็นตัวแบบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่มีได้มากกว่า 1 ตัวกับตัวแปรตาม และยอมให้ข้อมูลของตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันได้ ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีการวัดซ้ำ ที่มีเทอมที่เป็นอิทธิพลสุ่ม (Random effect) อยู่ในตัวแบบด้วย ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการของแต่ละหน่วยตัวอย่างแตกต่างกัน เป็นการอธิบายขนาดอิทธิพลของปัจจัยในลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละหน่วยตัวอย่าง จึงจัดตัวแบบนี้อยู่ในประเภท Subject-specific model

ตัวแบบ GEE นำเสนอโดย Liang and Zeger (1986) ต่างจากตัวแบบ GLMM ที่ไม่มีเทอมที่เป็นอิทธิพลสุ่ม (Random effect) อยู่ เป็นตัวแบบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่มีได้มากกว่า 1 ตัวกับตัวแปรตาม โดยไม่มีข้อสมมติ (Assumption) ว่า ข้อมูลของตัวแปรตามต้องเป็นอิสระกัน นั่นคือยอมให้ข้อมูลของตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเก็บข้อมูลซ้ำในหน่วยตัวอย่างเดียวกัน ตัวแปรตามเป็นได้ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง รูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลในหน่วยตัวอย่างเดียวกันที่เกิดจากการวัดซ้ำมีหลายรูปแบบ ได้แก่ Independent สมมติให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของข้อมูลวัดซ้ำมีค่าเป็นศูนย์ Exchangeable กำหนดให้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดซ้ำมีค่าคงที่ Autoregressive กำหนดให้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดซ้ำมีค่าลดลงเมื่อเวลามากขึ้น ส่วน Unstructured สมมติให้ความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละคู่ไม่มีรูปแบบ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามของแต่ละหน่วยตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากัน เป็นการอธิบายขนาดอิทธิพลของปัจจัยในลักษณะภาพรวมของประชากร จึงจัดตัวแบบนี้อยู่ในประเภท Population-averaged model

การประมาณค่าแบบเบย์แตกต่างไปจากแบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ซึ่งกำหนดให้พารามิเตอร์คือ ค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า แต่แนวคิดแบบเบย์พิจารณาว่าพารามิเตอร์คือตัวแปรสุ่มที่เกิดขึ้นภายใต้รูปแบบการแจกแจงใดๆ โดยเรียกรูปแบบความน่าจะเป็นดังกล่าวว่ารูปแบบความน่าจะเป็นเบื้องต้น (Prior distribution) ซึ่งเป็นรูปแบบความน่าจะเป็นที่ขึ้นอยู่กับความเชื่อของผู้ทำการศึกษาเป็นเบื้องต้น จากนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างจำนวนหนึ่ง แล้วจึงนำสาระจากข้อมูลที่ได้รับซึ่งโดยแท้จริงแล้วก็คือ ความน่าจะเป็นร่วมของการเกิดขึ้นของชุดข้อมูลตัวอย่างมาทำการปรับปรุงรูปแบบความน่าจะเป็นขั้นต้นที่ได้กำหนดขึ้นในตอนแรก ซึ่งผลที่ได้รับคือรูปแบบความน่าจะเป็นที่ทำการปรับแล้ว เรียกว่า การแจกแจง โปสเตอร์เรีย (Posterior distribution) ของพารามิเตอร์ที่สนใจ

จากนั้นจึงนำค่าคาดหวังของพารามิเตอร์ภายใต้รูปแบบความน่าจะเป็นที่ปรับแล้วมาใช้เป็นตัวประมาณแบบเบย์ ปัจจุบันได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาได้ตั้งแต่ปัญหาแบบง่าย จนถึงปัญหาที่ซับซ้อนที่ไม่สามารถใช้การประมาณค่าแบบวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

การทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตชิ้นงานบกพร่องทำให้สามารถวางแผนซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงหมายถึงกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อทำให้เครื่องจักร อุปกรณ์ ตลอดจนสิ่งต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้า อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ทันทีตามที่ต้องการ การซ่อมบำรุง จึงเป็นการรักษาสรรถนะและความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรให้เป็นไปตามที่ฝ่ายผลิตต้องการ เพื่อให้การผลิตสินค้าดำเนินไปตามแผนที่กำหนดไว้ นอกจากนี้การซ่อมบำรุงเครื่องจักร อุปกรณ์ยังเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน สรุปได้ว่าวัตถุประสงค์ของการซ่อมบำรุงคือ เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะก่อให้เกิดรายได้กับองค์กร เพื่อให้สามารถใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตามแผนการผลิต และตารางการดำเนินการผลิตที่กำหนดไว้ รวมทั้งเพื่อให้สามารถสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

ในกรณีที่สินค้าบกพร่องเกิดจากกลุ่มคนงาน แนวทางแก้ไขคือ การจัดโปรแกรมฝึกอบรมเพิ่มทักษะ สร้างแรงจูงใจ ให้เกิดความรักในองค์กรปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ในกรณีที่เกิดจากเครื่องจักรต้องจัดตารางซ่อมบำรุงให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา ส่วนในกรณีเกิดจากขั้นตอนการผลิต ควรวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดชิ้นงานบกพร่องในขั้นต่อนั้น เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การวิจัยครั้งต่อไป อาจพิจารณาเพิ่มปัจจัยอื่นๆ ที่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร

5.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ สำหรับชิ้นส่วนย่อยๆ ในแต่ละเครื่องจักร เพื่อใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุง

5.3.3 นำการวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบผสมเชิงเส้น
วางนัยทั่วไป ไปประยุกต์ใช้กับข้อมูล ทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าอื่นๆ

5.3.4 ทั้งตัวแบบ GLMM และ GEE เมื่อตัวแปรตามมีค่าเป็นจำนวนนับมักจะถูกสมมติให้มี
การแจกแจงแบบปัวซอง แต่ในการศึกษาจำนวนมาก พบว่าข้อมูลที่ได้จากการนับมักจะมีค่าความ
แปรปรวน มากกว่าค่าเฉลี่ย เรียกว่าเกิด Over dispersion แก้ปัญหาได้โดยการใช้แจกแจงแบบ
Negative Binomial แทนการแจกแจงแบบปัวซอง จะทำให้ได้ตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพมากกว่า
ในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงควรพิจารณาปัญหา Over dispersion ด้วย



บรรณานุกรม

- กฤตยา โพธิ์แดง. 2549. วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบเบย์ สำหรับการแจกแจงปัวส์ซองเมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.
- ชัยรัตน์ แจ้เจนรบ. 2545. การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2557. ชิ้นส่วนและอุปกรณ์สำหรับยานยนต์. มูลค่าและปริมาณสินค้าออก จำแนกตามกิจกรรมการผลิต (ดอลลาร์ สหรัฐ.). แหล่งที่มา: <http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=748&language=th>, 5 มีนาคม 2558.
- บริษัท ฟอรัจูน พาร์ท อินดัสตรี จำกัด (มหาชน), 2556. ปัจจัยความเสี่ยง. แหล่งที่มา: http://www.irplus.in.th/Listed/FPI/f56_1/20120865T04_RISK.DOC, 5 มีนาคม 2558.
- ประชุม สุวัตถิ. 2527. ทฤษฎีการอนุมานเชิงสถิติ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- รุ่งเรืองรอง สืบมงคลชัย. 2551. การสร้างแม่แบบเว็บเพจสำหรับการทดสอบแบบเทอร์เลอร์ ตามยุทธวิธีของเบย์เซียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รุจน์ นະสาณี. 2543. การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงกรณีศึกษาโรงงานผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สมศักดิ์ สัมฤทธิ์, อรรถกร เก่งพล และ สมภพ ตลับแก้ว. 2554. การลดเวลาสูญเสียในการผลิตโดยวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานทฤษฎีความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมคอนกรีต. วารสารวิจัย มข. 16 (2): 145-158.

- สมาคมผู้ผลิตยางรถยนต์. 2557. 5 ยุทธศาสตร์รักษาแชมป์อุตสาหกรรมยางรถยนต์ไทย. แหล่งที่มา: <http://tatma.org>, 5 มีนาคม 2558.
- Carlin, B.P. and T.A. Louis. 2000. Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis. 2nd ed. Chapman & Hall/CRC, Florida.
- Casella, G., E.I. George. 1992. Explaining the Gibbs sampler. *The American Statistician* 46 (3): 167-174.
- Congdon, P. 2001. Bayesian Statistical Modelling. John Wiley & Sons, West Sussex.
- Krueger, D.C. and D. C. Montgomery. 2014. Modeling and analyzing semiconductor yield with generalized linear mixed models. *Applied Stochastic Models in Business and Industry* 30 (6): 691-707.
- Liang, K-Y and S.L. Zeger. 1986. Longitudinal Data Analysis Using Generalized Linear Models. *Biometrika* 73(1): 13-22.
- MacDuffie, J.P., K. Sethuraman, M.L. Fisher. 1996. Product Variety and Manufacturing Performance: Evidence from the International Automotive Assembly Plant Study. *Management Science* 42 (3), 350-369.
- McCulloch, C. E., S.R. Searle. 2001. Generalized, Linear and Mixed Models. Wiley-Interscience New York.
- Moineddin, R., F.I. Matheson and R. H. Glazier. 2007. A simulation study of sample size in multilevel regression models. *BMC Medical Research Methodology* 7: article 34.
- Ntzoufras, I. 2009. Bayesian Modeling Using WinBUGS. John Wiley & Sons, New Jersey.
- O'Brien, S.M and D.B. Dunson. 2004. Bayesian multivariate logistic regression. *Biometrics* 60(3): 739-46.

- Patrick, B. and Z. Lutong. 2010. MCMC for Generalized Linear Mixed Models with glmmBUGS. *The R Journal* 2(1): 13-17.
- Pedroza, C. 2006. A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality. *Biostatistics* 7(4): 530-550.
- Pedroza, C. 2006. A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality. *Biostatistics* 7(4): pp. 530-550.
- Saravanan, S., G.S. Yadava and P.V. Rao. 2006. Condition monitoring studies on spindle bearing of a lathe. *Int J Adv Manuf Technol* 28: 993-1005.
- Shtub, A., E.M. Dar-el. 1989. A methodology for selection of assembly systems. *Int. J. Prod. Res.* 27 (1): 175-186.
- Yelland, P. 2009. Bayesian forecasting for low-count time series using stat-space models: An empirical evaluation for inventory management. *International Journal of Production Economics* 118: 95-103.
- Yelland, P.M. (2010). Bayesian Forecasting of Part Demand. *International Journal of Forecasting* 26: 374-396.



ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่าประมาณจำนวนสินค้าเสียหายเฉลี่ย จากตัวแบบ GLMM ที่นำเสนอ

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 1	11.70	3.21	6.25	18.81
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 2	5.50	2.14	2.14	10.44
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 3	11.90	3.32	6.39	19.29
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 4	7.42	2.59	3.33	13.30
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 5	17.15	4.09	10.38	26.58
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 6	14.44	3.67	8.22	22.76
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 7	19.13	4.27	11.76	28.43
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 8	23.89	4.85	15.60	34.02
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 9	20.91	4.48	12.89	30.41
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 10	15.84	3.84	9.01	24.24
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 11	11.25	3.22	6.01	18.48
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 12	12.01	3.37	6.41	19.55
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 13	1.53	0.99	0.29	4.05
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 14	9.93	2.96	5.05	16.73
เครื่องจักรที่ 1 วันที่ 15	21.81	4.54	13.50	31.61
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 1	11.52	3.28	6.21	18.70
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 2	3.80	1.71	1.23	7.70
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 3	15.99	3.88	9.27	24.29
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 4	11.32	3.20	5.93	18.34
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 5	18.46	4.13	11.31	27.17
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 6	10.93	3.21	5.73	18.27
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 7	14.70	3.71	8.49	22.90
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 8	7.01	2.48	3.15	12.76
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 9	12.51	3.41	6.68	19.89
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 10	18.07	4.06	10.89	26.82
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 11	21.34	4.42	13.60	30.69
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 12	24.16	4.79	15.84	34.34
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 13	1.03	0.74	0.16	2.94
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 14	16.83	3.94	10.13	25.73

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 2 วันที่ 15	19.54	4.35	11.99	28.93
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 1	26.61	5.08	17.73	37.39
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 2	26.67	5.18	17.29	37.55
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 3	7.54	2.61	3.30	13.37
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 4	14.77	3.75	8.38	22.99
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 5	10.09	3.01	5.11	16.81
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 6	24.30	4.87	15.85	35.09
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 7	23.38	4.73	15.09	33.42
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 8	11.78	3.31	6.29	19.21
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 9	10.49	3.03	5.42	17.14
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 10	6.96	2.49	3.13	12.65
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 11	11.76	3.30	6.26	19.01
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 12	10.53	3.11	5.36	17.36
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 13	7.03	2.57	2.96	12.89
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 14	8.47	2.80	3.91	14.85
เครื่องจักรที่ 3 วันที่ 15	14.03	3.65	7.93	22.24
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 1	1.17	0.84	0.20	3.34
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 2	15.41	3.76	9.02	23.67
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 3	4.79	1.99	1.76	9.50
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 4	11.95	3.25	6.40	19.19
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 5	6.78	2.41	2.92	12.32
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 6	19.56	4.48	11.78	29.10
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 7	22.52	4.65	14.42	32.46
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 8	18.48	4.22	11.25	27.68
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 9	16.70	4.01	9.78	25.24
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 10	49.68	7.13	36.47	64.51
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 11	12.06	3.35	6.31	19.17
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 12	11.24	3.20	5.92	18.23
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 13	9.33	2.90	4.53	15.79

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 14	30.25	5.47	20.59	41.66
เครื่องจักรที่ 4 วันที่ 15	13.19	3.43	7.31	20.76
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 1	16.97	4.07	9.94	25.68
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 2	12.48	3.45	6.65	20.27
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 3	11.79	3.31	6.36	19.02
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 4	11.92	3.28	6.40	19.30
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 5	4.79	2.04	1.68	9.74
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 6	4.83	2.03	1.78	9.46
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 7	21.26	4.52	13.22	31.07
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 8	10.78	3.15	5.59	17.76
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 9	8.12	2.67	3.73	14.10
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 10	8.20	2.71	3.80	14.35
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 11	15.45	3.86	8.85	23.84
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 12	72.86	8.46	57.63	90.35
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 13	17.39	4.05	10.38	25.94
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 14	15.05	3.74	8.65	23.25
เครื่องจักรที่ 5 วันที่ 15	21.98	4.64	13.79	32.12
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 1	3.40	1.63	1.03	7.38
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 2	0.98	0.72	0.15	2.90
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 3	1.94	1.16	0.44	4.86
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 4	13.86	3.66	7.66	22.09
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 5	10.17	3.13	4.99	17.30
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 6	0.81	0.66	0.11	2.61
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 7	1.34	0.89	0.23	3.72
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 8	38.79	6.10	27.82	51.79
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 9	21.35	4.46	13.42	31.21
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 10	1.08	0.82	0.16	3.28
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 11	1.06	0.77	0.16	3.10
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 12	0.80	0.66	0.10	2.48

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 13	0.80	0.65	0.11	2.54
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 14	1.14	0.82	0.17	3.23
เครื่องจักรที่ 6 วันที่ 15	2.34	1.32	0.57	5.57
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 1	50.94	7.09	38.43	65.73
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 2	75.74	8.69	59.05	94.14
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 3	96.97	9.65	79.02	116.30
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 4	34.58	5.81	23.95	46.83
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 5	48.01	6.86	35.18	62.31
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 6	43.62	6.44	32.17	57.36
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 7	51.57	7.09	38.98	66.87
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 8	10.12	3.09	5.00	17.11
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 9	4.08	1.81	1.37	8.36
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 10	12.91	3.41	7.10	20.13
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 11	100.80	10.01	82.38	121.60
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 12	50.31	7.01	37.77	65.26
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 13	19.11	4.20	11.84	28.35
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 14	5.28	2.17	1.97	10.35
เครื่องจักรที่ 7 วันที่ 15	2.09	1.25	0.45	5.37
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 1	106.20	10.39	86.05	127.70
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 2	8.83	2.80	4.32	15.26
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 3	57.89	7.47	44.37	73.53
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 4	122.10	11.01	101.40	144.70
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 5	27.42	5.18	18.17	38.39
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 6	11.14	3.23	5.71	18.21
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 7	100.80	10.04	81.75	120.90
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 8	4.68	1.93	1.71	9.14
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 9	24.63	4.89	15.92	35.19
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 10	8.68	2.84	4.17	15.13
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 11	2.28	1.32	0.55	5.54

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 12	32.36	5.59	22.29	44.34
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 13	5.28	2.12	2.09	10.36
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 14	1.59	1.05	0.30	4.26
เครื่องจักรที่ 8 วันที่ 15	4.47	1.97	1.54	9.21
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 1	1.81	1.11	0.39	4.60
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 2	10.73	3.05	5.56	17.67
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 3	3.19	1.59	0.93	7.10
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 4	22.06	4.66	14.01	32.21
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 5	39.55	6.10	28.98	52.31
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 6	7.23	2.53	3.23	13.00
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 7	1.82	1.09	0.40	4.47
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 8	12.61	3.40	6.82	20.20
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 9	12.48	3.32	6.91	19.99
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 10	1.17	0.85	0.19	3.43
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 11	6.46	2.37	2.78	11.86
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 12	44.80	6.66	32.57	58.85
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 13	53.40	7.20	40.33	68.73
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 14	50.61	7.04	37.63	64.96
เครื่องจักรที่ 9 วันที่ 15	11.47	3.25	6.11	18.82
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 1	67.09	8.18	51.97	84.08
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 2	42.94	6.52	31.19	56.72
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 3	1.45	0.95	0.29	3.89
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 4	9.38	2.89	4.64	15.98
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 5	1.49	1.00	0.28	4.08
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 6	2.77	1.44	0.72	6.30
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 7	52.70	7.29	39.34	68.11
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 8	28.42	5.23	19.19	39.62
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 9	91.37	9.60	73.68	111.00
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 10	62.80	7.88	48.41	79.22

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 11	71.56	8.32	56.21	88.51
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 12	35.28	5.88	24.79	47.98
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 13	18.96	4.19	11.69	27.91
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 14	14.27	3.71	8.12	22.43
เครื่องจักรที่ 10 วันที่ 15	29.58	5.36	20.01	41.29
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 1	1.30	0.93	0.19	3.66
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 2	5.67	2.27	2.19	10.95
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 3	11.79	3.32	6.28	19.34
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 4	12.75	3.47	6.90	20.44
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 5	11.91	3.39	6.43	19.51
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 6	18.27	4.16	11.13	27.26
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 7	21.36	4.43	13.81	30.88
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 8	2.53	1.37	0.68	5.84
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 9	12.72	3.44	6.96	20.47
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 10	11.46	3.30	6.01	18.90
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 11	1.60	1.02	0.33	4.13
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 12	7.87	2.62	3.61	13.59
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 13	8.73	2.73	4.22	14.77
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 14	8.68	2.82	4.23	15.01
เครื่องจักรที่ 11 วันที่ 15	8.77	2.82	4.27	15.21
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 1	8.87	2.81	4.33	14.91
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 2	11.16	3.26	5.75	18.44
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 3	26.28	5.18	16.88	37.31
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 4	83.82	9.19	67.42	103.10
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 5	38.97	6.28	27.52	52.13
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 6	67.14	7.90	52.61	83.65
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 7	14.94	3.76	8.48	23.16
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 8	13.11	3.49	7.25	20.90
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 9	3.53	1.67	1.16	7.65

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

เครื่องจักรที่ - วันที่	ค่าประมาณจำนวนสินค้า บกพร่องเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 10	38.14	6.09	27.15	50.76
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 11	10.21	3.08	5.26	17.26
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 12	11.01	3.26	5.58	18.28
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 13	32.94	5.60	22.83	44.42
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 14	29.47	5.35	19.84	40.85
เครื่องจักรที่ 12 วันที่ 15	10.92	3.25	5.63	18.27



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล: ดร. พิษณุ ทองขาว

(Dr. Pitsanu Tongkhaw)

ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

การศึกษา: วศ.ด. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชื่อ-สกุล: ผศ. สุनीย์ สัมมาทัต

(Assist. Prof. Sunee Sammatat)

ตำแหน่ง: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ

การศึกษา: วท.ม. (คณิตศาสตร์ประยุกต์) มหาวิทยาลัยมหิดล

