การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์

Detection of Defective Machines in Auto Parts Factories Using Bayesian Hidden Markov Models

พิษณุ ทองขาว

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2560

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์

Detection of Defective Machines in Auto Parts Factories Using Bayesian Hidden Markov Models

พิษณุ ทองขาว

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์
ผู้วิจัย : พิษณุ ทองขาว
พ.ศ. : 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง และเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ผลการวิจัยพบว่า ถ้าค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องในแต่ละวันมีค่ามากขึ้น เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะเสีย ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของเครื่องจักรจากเสียมาเป็นดีสูงกว่าความน่าจะเป็นที่จะเปลี่ยนสถานะจากดีมาเป็นดี ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 4 สูงสุด รองลงมาคือ 1, 3, และ 2 ตามลำดับ ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรโดยการทำงานของคนงานที่ 10 สูงที่สุดรองลงมาคือ การทำงานของคนงานที่ 9, 3, 12, 7, 2, 1, 6, 11, 4, 8 และ 5ตามลำดับ ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรจากการผลิตสินค้าชนิดที่ 1 สูงที่สุดรองลงมาคือ 2 และ 3 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (GLMM), การประมาณค่าแบบเบย์, โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, สินค้าบกพร่อง

Title : Detection of Defective Machines in Auto Parts Factories Using Bayesian Hidden Markov Models
Researcher: Pitsanu Tongkhow
Year : 2017

Abstract

The objectives of this research are to propose a proper model for detecting defective machines in auto parts factories, to apply the proposed model to the defective product data, and to investigate the factors influencing on the machine producing defective products. A Bayesian hidden Markov model (HMM) is adopted. The results show that if the number of defective products increases, the machine will be in the hidden bad state. The probability of changing from a hidden bad state to a hidden good state is higher than the probability of changing from a hidden good state to a hidden good state. The highest probability that the machine will be in a good state is at the work process 4, followed by 1, 3 and 2 respectively. The highest probability that the machine will be in hidden good state is at the Worker no. 10 followed 9, 3, 12, 7, 2, 1, 6, 11, 4, 8 and 5, respectively, and The highest probability that the machine will be in the hidden good state is at the product type 1 followed by 2 and 3, respectively.

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

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์ มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่องในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนและความช่วยเหลือจากหลายท่าน คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. สุภัทรา โกไศยกานนท์ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ดร.ประกอบ ชาติภุกต์ ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนาทุกท่านที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มาตั้งแต่เริ่มต้น

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.6 กรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
1.7 คำสำคัญของการวิจัย	4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.9 นิยามคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	18
3.2 ตัวแปรสำหรับการวิจัย	18
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	18
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	19
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	19
3.6 สถานที่ใช้ในการทำวิจัย	21

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
3.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย	21
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	22
4.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่ใช้ศึกษา	22
4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร	23
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการวิจัย	33
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	34
5.3 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	39
ประวัติผู้วิจัย	54

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ข้อมูลทั่วไป 25

2 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่อง ของเครื่องจักร จากตัวแบบ HMM ที่นำเสนอ 26

3 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดี 27

ตารางภาคผนวกที่

1 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดี 39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ของไทยประกอบด้วยผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบยานยนต์สำเร็จรูปในประเทศ (OEM: Original equipment manufacturers) ผู้ประกอบการในส่วนประกอบในกลุ่มระบบตัวถังรถยนต์ (Body parts) และผู้ประกอบการในส่วนประกอบในกลุ่มกันชน 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 (สมาคมผู้ผลิตยางรถยนต์, 2557)

อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยได้เปลี่ยนไป เนื่องจากผู้ผลิตชิ้นส่วนไทยต้องเผชิญกับภาวะการแข่งขันที่รุนแรงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศคู่แข่งที่มีความได้เปรียบด้านต้นทุนที่อยู่ในระดับต่ำกว่าเข้ามาชิงส่วนแบ่งตลาด ทำให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนไทยต้องมีการ

ปรับตัวโดยเน้นการเสริมสร้างศักยภาพการออกแบบและพัฒนา พร้อมทั้งยกระดับคุณภาพการผลิต ตลอดจนลดการสูญเสียจากการผลิตด้วยการยกระดับเทคโนโลยีการผลิต และพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยให้สามารถเติบโตต่อไปได้ในระยะยาว

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีสินค้าบกพร่องเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ความบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นในการะบวนการผลิต อาจเนื่องมาจากเครื่องจักร หรือคนงาน โรงงานส่วนใหญ่จะมีการเก็บข้อมูลจำนวนสินค้าเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ข้อมูลนี้จะมีประโยชน์มากขึ้นถ้าได้มีการวิเคราะหเชิงลึก ข้อมูลสินค้าบกพร่องเป็นจำนวนนับ และมีการเก็บอย่างต่อเนื่อง ตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นจำนวนนับ และมีการเก็บซ้ำ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ตัวแบบ ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Mixed Model หรือ GLMM) ตัวอย่างเช่น Krueger and Montgomery (2014) ใช้ตัวแบบ GLMM วเคราะห์ข้อมูล จำนวนอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เพื่อหาสาเหตุของสินค้าบกพร่อง ควบคุมกระบวนการผลิต และพยากร์ผลผลผลิต การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ GLMM มีหลายวิธี วิธีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ วิธีการของเบย์ วิธีการของเบย์จะกำหนดรูปแบบการแจกแจงของข้อมูล การแจกแจงของพารามิเตอร์ที่มองเป็นตัวแปรแปรสุ่ม การแจกแจงของพารามิเตอร์เรียกว่า Prior ผลคูณของการแจกแจงของข้อมูล กับ Prior เรียกว่า Posterior การประมาณค่าพารามิเตอร์ใน Posteriorที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้หลักการของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) ที่ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ Gibbs sampling

การใช้ตัวแบบ GLMM สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลชิ้นส่วนยานยนต์บกพร่องในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยยังไม่มีการใช้มาก่อน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำตัวแบบ GLMM ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซง และประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีการของเบย์ มาใช้ ปัจจัยนำมาพิจารณาได้แก่ ขั้นตอนการผลิตของเครื่องจักร ชนิดของชิ้นส่วนรถยนต์ คนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้ จะช่วยให้ผู้บริหารวางแผน ตัดสินใจในการดำเนินการเพื่อลดจำนวนสินค้าบกพร่องที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป ซึ่งยังผลให้การร้องเรียนของลูกค้าต่อสินค้า หรือบริการที่ส่งมอบช้าลดลง ความพึงพอใจของลูกค้าก็จะอยู่ในระดับสูงขึ้น ทำให้องค์กรมีศักยภาพการแข่งขันในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ราคา การส่งมอบ การบริการ รวมถึงการสร้างขวัญ กำลังใจ และสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างมีคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง

1.2.3 เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรคือ เครื่องจักรทั้งหมดในโรงงานที่ทำการศึกษาแห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี

ตัวอย่างคือ เครื่องจักรที่สุ่มมาจากโรงงานที่ทำการศึกษา จำนวน 15 เครื่อง

ตัวแปรต้น คือ ขั้นตอนการทำงาน คนงาน และชนิดของสินค้า

ตัวแปรตาม คือจำนวนสินค้าบกพร่อง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ใช้ศึกษาเป็นข้อมูลจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ชิ้นส่วนที่ศึกษาคือ สินค้ารหัส DN20 RT50 และ AS39 และอื่นๆ ลักษณะที่บกพร่องคือ ครีบแหว่ง หรือ มีรอยตำหนิ โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2559 ถึงเดือน กรกฎาคม 2560
2. ตัวแปรตามคือจำนวนชิ้นงานบกพร่อง ตัวแปรต้นคือ คนงาน เครื่องจักร และ ขั้นตอนการผลิต
3. ตัวแบบเบื้องต้นที่ใช้คือ ตัวแบบฮิดเดนมาร์คอฟ ที่ประมาณพารามิเตอร์ด้วยวิธีการของเบย์ : ซึ่งการประมาณค่าพารามิเตอร์ ใช้วิธีการของเบย์ โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBugsและใน R2OpenBugs
4. สรุปผลการวิจัย

5. เขียนรายงานการวิจัยและจัดทำรูปเล่มรวมถึงเผยแพร่ผลที่ได้ของการวิจัยให้แก่ผู้เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น โรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม และในการประชุมวิชาการหรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ หรือนานาชาติขึ้นไป

1.5 สมมุติฐานในการวิจัย

ขั้นตอนการทำงาน คนงาน ชนิดของสินค้า มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

1.6 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

สร้างตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์ในกรณีที่ไม่สามารถสังเกตเห็นสถานการณ์ที่สำคัญใดๆ เพื่อตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยการเขียนโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองสถานการณ์และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีในปัจจุบัน

1.7 คำสำคัญของการวิจัย

ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (GLMM), การประมาณค่าแบบเบย์, โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, สินค้าบกพร่อง

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ตัวแบบที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกและมีความซับซ้อนเพื่อใช้ตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งเหมือนกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

2) ทราบสาเหตุที่มีอิทธิพลต่อเครื่องจักรบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

3) นำผลการศึกษาในการใช้ในการดำเนินการลดจำนวนเครื่องจักรบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

4) นำหลักในงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ข้อมูลอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ

5) ใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาตัวแบบต่อไป

1.9 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

ชิ้นส่วนรถยนต์ หมายถึงชิ้นส่วนของระบบเครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง ช่วงล่าง ไฟฟ้าเครื่องยนต์ ไฟฟ้าตัวถัง และส่วนประกอบภายนอก

สินค้า หมายถึง ชิ้นส่วนรถยนต์

สินค้าบกพร่อง หมายถึง ชิ้นส่วนรถยนต์มีลักษณะบกพร่อง เช่น ครีบแหว่ง หรือ มีรอยตำหนิและอื่นๆ

ขั้นตอนการทำงาน หมายถึง ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

คนงาน หมายถึง คนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร

ชนิดของสินค้า หมายถึง ชิ้นส่วนรถยนต์รหัส DN20 RT50 และ AS39

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยเรื่อง การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์นี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Generalized linear mixed model (GLMM)

2.1.2 ทฤษฎีของเบย์

2.1.3 GEE

2.1.4 อุตสหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ในประเทศไทย

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 $\mathbf{y}|\mathbf{b}$ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะถูกสมมติให้มีการแจกแจงอยู่ใน Exponential family มีลักษณะดังนี้

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

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

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

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

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 (Radom effects) $\mathbf{b}$ คือเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่ม μ_{ij} คือค่าคาดหวัง หรือค่าเฉลี่ยของการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของ $y_{ij} \mid \mathbf{b}$

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

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

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

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

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

หรือสามารถกำหนดเป็นฟังก์ชันอื่นๆหลายฟังก์ชันที่ซ้อนกันอยู่เพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูล

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

2.1.2 ทฤษฎีของเบย์ (Bayesian Theorem)

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

ทฤษฎีของเบย์เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วัดค่าได้ y กับเซตของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า θ และต้องการประมาณค่า โดยทั่วไปแล้วในการประมาณค่าพารามิเตอร์ θ มักจะถือหลักว่าพารามิเตอร์ θ เป็นค่าคงที่แต่ไม่ทราบค่าและการประมาณ ค่า θ จะทำโดย

ตัวอย่างสุ่ม (Random sample) จากการแจกแจงของประชากรนั้น ๆ ผู้ที่ประมาณค่าอาจทราบข้อเท็จจริงบางอย่างเกี่ยวกับ θ ก่อนที่จะสุ่มตัวอย่างซึ่งหากนำข้อเท็จจริงนั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะช่วยให้การประมาณค่าได้ผลยิ่งขึ้น

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

เซตของพารามิเตอร์คือ $\boldsymbol{\theta}=\{\theta_1,...,\theta_k\}$

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

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

ในการประมาณค่าด้วยวิธีทฤษฎีของเบย์จะถือว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า θ จะถูกมองว่าเป็นตัวแปรสุ่มขณะที่ y ถูกมองว่าเป็นปริมาณที่ทราบค่า

การแจกแจงของ θ เมื่อทราบค่า y ที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ทราบล่วงหน้าโดยแสดงได้ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่น $f(y|\theta)$ 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 $y_1=y_1,...,y_n=y_n$ $y_1=y_1$, เรียกว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นโพสทีเรีย (Posterior p.d.f) ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้โดยใช้ทฤษฎีของเบย์ดังนี้
$f(y|\theta)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นโพสทีเรีย (Posterior p.d.f) หรือ (Posterior Distribution)

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 ใน การแจกแจงโพสทีเรีย

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

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 $\theta^{(1)}, \theta^{(2)},..., \theta^{(G)}$ จาก $f(\theta|y)$ ได้ก็สามารถประมาณค่าคาดหวังของโพสทีเรีย (Posterior expected value) ได้ดังนี้คือ

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

วิธีการของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) เป็นกระบวนการสโทแคสติก (stochastic) ไม่ต่อเนื่องทั้งเชิงสถานะและเชิงเวลาซึ่งเพียงแค่รู้ถึงสถานะปัจจุบันก็เพียงพอเราเรียกกระบวนการมาร์คอฟแบบสถานะไม่ต่อเนื่องว่า ห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov chain)

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

1) กำหนด $t=0$ และกำหนดค่าเริ่มต้นให้ $\boldsymbol{\theta}^0=(\theta^0{}_1,...,\theta_k{}^0)$

2) สุ่มค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวใน $\boldsymbol{\theta}$ ดังนี้

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

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

...

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

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

4) นำค่า $(\theta^0{}_1,...,\theta_k{}^0)$ ที่หาได้ในแต่ละตัวอย่าง มาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์แต่ละตัว

2.1.3 ตัวแบบ Generalized Estimating Equations (GEE)

Liang and Zeger (1986) นำเสนอตัวแบบ GEE ซึ่งเป็นตัวแบบที่ใช้สำหรับตัวแปรตามที่ค่าสังเกตมีความสัมพันธ์กัน ไว้ดังนี้

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

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

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

$\boldsymbol{\beta}=(\beta_0,\beta_1,...,\beta_p)^T$ 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 $\mathbf{X}_{ij}=(1,X_{ij.1},...,X_{ij.p})^T$ เขียนได้ดังนี้

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

Covariance Matrix ของ $\mathbf{Y}_i=(Y_{i1},...,Y_{ij})^T$ 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 $\mathbf{Y}_i=(Y_{i1},...,Y_{ij})^T$ 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) สำหรับการหาคำตอบของสมการนั้น ใช้วิธีการวนซ้ำเชิงตัวเลขหาคำตอบของ Score function ของ $\boldsymbol{\beta}$ ซึ่งแทนด้วย

$U(\boldsymbol{\beta})=\sum \mathbf{D}_i{}^T \mathbf{V}_i^{-1}(\mathbf{Y}_i-\boldsymbol{\mu}_i)=\mathbf{0}$ โดยที่ $\mathbf{D}_i=\dfrac{\partial \mu_{ij}}{\partial \beta_k}, k=1,2,...,p$

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 $\mathbf{V}_i$ ขึ้นมาใหม่จากค่าความคลาดเคลื่อน r_{ij} ในข้อ 2)

4) คำนวณค่า $\mathbf{b}$ ขึ้นมาใหม่จากค่าจาก $\mathbf{V}_i$ ที่ได้จากข้อ 3)

5) ทำซ้ำข้อ 2) – 4) จนกระทั่ง $\mathbf{b}$ ลู่เข้า (Convergence) หาค่าคงที่

การประมาณค่าพารามิเตอร์ยังคงใช้ได้ถึงแม้จะระบุโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลไม่ถูกต้องก็ตาม การระบุโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลไม่ถูกต้องมีผลต่อค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error) ทำให้ได้ค่าไม่ดี ไม่ได้ค่าที่เหมาะสม

2.1.4 อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์

อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย และมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลากว่า 40 ปี ในระยะเริ่มแรกการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเกิดจากการดำเนินนโยบายทดแทนการนำเข้า (Import substitution policy) โดยการให้ความคุ้มครองอุตสาหกรรมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การตั้งกำแพงภาษีนำเข้ารถยนต์สำเร็จรูป การบังคับใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศ (Local content requirement: LCR) การห้ามนำเข้ารถยนต์นั่ง

สำเร็จรูป เป็นต้น ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง มีการส่งออกยานยนต์และชิ้นส่วนไปจำหน่ายยังต่างประเทศ และกำลังพัฒนาไปสู่การเป็นฐานการผลิตรถยนต์เพื่อส่งออกที่สำคัญในภูมิภาคจากการเข้ามาลงทุนของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ระดับโลก โดยใช้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเพื่อการส่งออก

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ของไทย ได้มีการขยายการลงทุนและมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนสามารถผลิตชิ้นส่วนให้มีความหลากหลาย ตลอดจนมีคุณภาพและมาตรฐานการผลิตอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตรถยนต์และรถจักรยานยนต์ระดับโลกยอมรับ ทำให้สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ ได้เพิ่มขึ้น ปี 2555-2557 ประเทศไทย มีมูลค่าส่งออกอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ (หน่วย: ล้านดอลล่าสหรัฐอเมริกา) 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 ซึ่งพบว่ามีจำนวนของผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบตั้งโรงงานอยู่มากที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดระยองและจังหวัดอื่นๆ เช่น ฉะเชิงเทรา ชลบุรี เป็นต้น โดยโรงงานดังกล่าวมักตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานผลิตยานยนต์ โดยทั่วไปผู้ผลิต ชิ้นส่วนยานยนต์จะมีตลาดในการจัดจำหน่ายชิ้นส่วนอยู่ 2 ตลาดหลัก ได้แก่

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

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

ยานยนต์ 1 คัน ประกอบด้วยชิ้นส่วน 20,000-30,000 ชิ้น ซึ่งโดยทั่วไปแม้บริษัทขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถผลิตทุกชิ้นส่วนได้ด้วยตนเอง การแบ่งงานกันทำและการจ้างผลิตจึงเป็นรูปแบบปกติที่

เกิดขึ้น ชิ้นส่วนยานยนต์รวมถึงวัสดุอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการประกอบยานยนต์แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก (Cast iron engine parts) เช่น Cylinder blocks ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กกล้า เช่น Chassis frames wheel parts และชิ้นส่วนที่เป็นโลหะพิเศษ โดยเหล็กและเหล็กกล้าซึ่งเป็นวัตถุกิบที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์คือ เหล็กที่มีรูปทรงแบน เช่น เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น และเหล็กแผ่นเคลือบ เป็นต้น และในส่วนของยางล้อรถยนต์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของยานยนต์นั้น แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ยางที่ทำจากยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ ซึ่งหากเป็นกรณีหลังจะมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงต่อไปกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วย

อุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สำหรับ OEM มีผู้ประกอบการเป็นจำนวนมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมยานยนต์มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากการย้ายฐานการผลิตรถกระบะ 1 ตัน มายังประเทศไทยตั้งแต่ปี 2539 โดยยอดการผลิตรถยนต์ในประเทศเพิ่มขึ้นจาก 0.60 ล้านคันในปีดังกล่าว เป็น 2.46 ล้านคันในปี 2555 และมีเป้าหมาย 3 ล้านคันในปี 2560 และการเปิดเสรีประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ในปี 2558 จะทำให้การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนยานยนต์และแรงงานเป็นไปอย่างเสรีในภูมิภาคอาเซียน ภาวะการแข่งขันจะมีความรุนแรงมากขึ้น ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์รายใดที่ไม่สามารถปรับตัวกับการแข่งขันที่รุนแรงนี้ได้ อาจได้ผลกระทบอย่างมาก อย่างไรก็ตาม บริษัทฯ ได้เตรียมความพร้อมในการเปิดเสรีดังกล่าว ด้วยสายการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ครบวงจร รวมทั้งมีเครื่องจักร CNC สำหรับผลิตแม่พิมพ์เอง และการได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิต ตามที่กล่าวข้างต้น ทำให้บริษัทฯ มีความมั่นใจว่าสามารถแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นได้

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

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รุจน์ นะสานี (2543) ศึกษาสภาพปัญหาเบื้องต้นในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรง พบว่า ปัญหาที่สำคัญได้แก่ ปัญหาหลอดแดง และกระบวนการที่ส่งผลดังกล่าวคือ กระบวนการผลิตเม้าท์เป็นการประกอบสายใยเข้ากับขั้วหลอด แล้วนำไปชุบน้ำยาอีมิตเตอร์

ชัยรัตน์ แจ้งเจนรบ (2545) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณกาวที่ติดอยู่ระหว่าง Flex และ Suspension ได้แก่ ขนาดของหยดกาว ความสูงของการหยดกาวที่จุดตัวเรือน ระยะเวลาของการหยดกาวที่จุดคอของชิ้นงาน ความสูงของการหยดกาวที่จุดคอของชิ้นงาน ระยะเวลาของการหยดกาวที่จุด Gimbal ของชิ้นงาน และความสูงของการหยดกาวที่ Gimbal ของชิ้นงาน

กฤตยา (2549) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงปัวส์ซองแบบช่วง 2 วิธี คือ วิธีการประมาณแบบแมกซิมัมไลลิฮูด และวิธีการประมาณแบบเบย์ ที่มีการแจกแจงก่อนเป็นแบบแกมมา ใช้วิธีการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลและทำซ้ำ 1,000 รอบในแต่ละสถานการณ์ที่ศึกษา การตัดสินใจพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น และค่าความยาวเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นผลการวิจัยพบว่าวิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่นแบบเบย์เมื่อการแจกแจงก่อนเป็นแบบแกมมาให้ผลดีกว่าแบบแมกซิมัมไลลิฮูดในทุกกรณีที่ศึกษา โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแกมมาจะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง n และพารามิเตอร์

รุ่งเรืองรอง สืบมงคลชัย. (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 เนื่องมาจากแผนการบำ รุงรักษาที่ไม่เหมาะสม โช้การประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือมาคำนวณรอบการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนอุปกรณ์และกำ หนดเป็นแผนการบำ รุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องจักร

Shtub and Dar-El (1989) กล่าวว่า ในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วน มีปัจจัยพื้นฐาน 4 ปัจจัยที่ต้องพิจารณา คือ แรงงาน การลื่นไหลของขั้นตอนการการทดแทนกันได้ของชิ้นส่วน 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 สำหรับการควคคุมคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต 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 ประเภทคือ 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 จากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น

จากตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ใช้วิธีการของเบย์ในในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูล สินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ในประเทศไทยมาก่อน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ในครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานวิจัยเรื่อง การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร คณะผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการศึกษาไว้ตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3.2 ตัวแปรสำหรับการวิจัย
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล
3.6 สถานที่ใช้ในการทำวิจัย
3.7 ระยะเวลาในการวิจัย

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 ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซง 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 ใช้สถิติพรรณา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าร้อยละ

3.5.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ใช้ตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซง และใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

ให้ Y_{it}, $i=1,2,3,...,13$, $t=1,2,3,...,30$ แทนค่าจำนวนสินค้าบกพร่องจากเครื่องจักร i วันที่ t

Y_{it} การแจกแจงแบบปัวซง (Poisson) หรือ $Y_{it} \sim \text{Pois}(\theta_{\text{it}})$ โดยที่

$$\log(\theta_{it}) = \lambda_1 + \lambda_2 C_{it}$$

$$C_{it} \sim Bern(\mu_{it})$$

$$\text{logit}(\mu_{it}) = \beta_1 + \beta_2 C_{i(t-1)} + \beta_3 X_{it.1} + \beta_4 X_{it.2} + \beta_5 X_{it.3} + \cdots \beta_{19} X_{it.17}$$

C_{it} มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ถ้า C_{it} เท่ากับ 0 หมายถึง เครื่องจักรอยู่ในสถานะเสีย ถ้า C_{it} เท่ากับ 1 หมายถึง เครื่องจักรอยู่ในสถานะดี

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

$X_{it.4}, \cdots, X_{it.14}$ หมายถึง ปัจจัยด้าน คนงาน คนที่ 1 ถึง คนที่ 11 โดยคนที่ 12 เป็นบุคคลอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบ

$X_{it.15}$ หมายถึง อิทธิพลเชิงสุ่ม

$X_{it.16}, X_{it.17}$ หมายถึง ปัจจัยด้านชนิดของสินค้าที่ผลิตชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 โดยที่ชนิดที่ 3 เป็นชนิดอ้างอิง ใช้เปรียบเทียบ

$\beta_1, \beta_2, ..., \beta_{19}$ หมายถึง สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficients)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_{19}$ ใช้วิธีการของเบย์นั้น ต้องกำหนด การแจกแจงเบื้องต้น (Prior distribution) ให้พารามิเตอร์ซึ่งมองว่าเป็นตัวแปรสุ่ม ภายใต้วิธีการของเบย์ นิยมใช้การแจกแจงแบบ Noninfomative คือการแจกแจงที่ไม่มีผลต่อการแจกแจงโพสทีเรีย เนื่องจากเรามักไม่ทราบรูปแบบการแจกแจงที่แน่นอนของพารามิเตอร์แต่ละตัว ตัวแบบที่นำเสนอในที่นี้กำหนดการแจกแจงเบื้องต้นของพารามิเตอร์แต่ละตัวให้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนสูง โดยให้ความแปรปรวนมีค่า 1000 นั่นคือ

$$\beta_1, \beta_2, ..., \beta_{19} \sim Norm(0, 1000)$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \sim Norm(0, 1000)$$

$$X_{it.15} \sim Norm(0, \tau^2)$$

$$\tau^2 \sim InvGamma(0.01, 0.01)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ ใช้วิธีการของเบย์ซึ่งอาศัยวิธีการเชิงตัวเลขแบบมาร์คอฟ เชน มอนติ คาร์โล (Markov chain Monte Carlo หรือ MCMC) ที่มีสุ่มตัวอย่างแบบ กิบส์ (Gibbs Sampling) โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBUGS (Ntzoufras, 2009) และประมวลผล ใน R ด้วยแพคเกจ R2OpenBUGS การทำงานของ MCMC ประกอบไปด้วยการเขียนการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่อยู่ในการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของโพสทีเรีย แล้วใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ กิบส์ เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว เมื่อ MCMC ลู่เข้าสู่การแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง ก็จะได้ค่าประมาณพารามิเตอร์แต่ละตัว และช่วงความน่าเชื่อถือ (Credible Interval) ของพารามิเตอร์แต่ละตัวนั้น

3.6 สถานที่ใช้ในการทำวิจัย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งตั้งอยู่ที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.7 ระยะเวลาในการวิจัย

เริ่มตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2559 สิ้นสุดการวิจัย 30 กันยายน 2560

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยเรื่อง การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่ใช้ศึกษา
4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

4.1 ลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่ใช้ศึกษา

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยจำนวนสินค้าบกพร่องสูงสุด 5 อันดับแรก คือ สินค้าที่ผลิตจากเครื่องจักรที่ 12 (40.27) 4 (37.47) 8 (37.07) 5 (34.97) และ 3 (29.43) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

หมายเลขเครื่องจักร	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
12	40.27	32.80
4	37.47	33.76
8	37.07	38.32
5	34.97	36.26
3	29.43	30.80
13	22.10	21.24
7	17.10	7.09
10	17.00	11.43
11	15.83	22.50
1	13.40	7.98
9	8.73	6.12
6	6.80	11.45
2	4.47	9.00
Total	21.89	26.42

4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร

ตัวแบบที่ใช้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร คือตัวแบบผสมเชิงเส้นวางนัยทั่วไป ที่ตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปัวซง และใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

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

Y_{it} การแจกแจงแบบปัวซง (Poisson) หรือ $Y_{it} \sim \text{Pois}(\theta_{\text{it}})$ โดยที่

$$\log(\theta_{it}) = \lambda_1 + \lambda_2 C_{it}$$

$$C_{it} \sim Bern(\mu_{it})$$

$$\text{logit}(\mu_{it}) = \beta_1 + \beta_2 C_{i(t-1)} + \beta_3 X_{it.1} + \beta_4 X_{it.2} + \beta_5 X_{it.3} + \cdots \beta_{19} X_{it.17}$$

C_{it} มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ถ้า C_{it} เท่ากับ 0 หมายถึง เครื่องจักรอยู่ในสถานะเสีย ถ้า C_{it} เท่ากับ 1 หมายถึง เครื่องจักรอยู่ในสถานะดี

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

$X_{it.4}, \cdots, X_{it.12}$ 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

4.2.2 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัย จากตัวแบบ HMM ที่นำเสนอ

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าประมาณของ λ_1 แสดงว่า เมื่อไม่มีปัจจัยใดๆมาเกี่ยวข้องหรือโดยธรรมชาติแล้ว ค่าเฉลี่ยของปริมาณจำนวนชิ้นงานบกพร่องในแต่ละวัน จะมีค่าเท่ากับ 4.16 ชิ้น ค่าประมาณของ λ_2 (มีค่าเป็นลบ) แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องในแต่ละวันขึ้นอยู่กับสถานะเสียของเครื่องจักร

ค่าประมาณ β_1 แสดงให้เห็นว่า โดยธรรมชาติแล้ว ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีสูงกว่าที่จะอยู่ในสถานะเสีย ค่าประมาณของ β_2 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของเครื่องจักรจากเสียมาเป็นดีสูงกว่าความน่าจะเป็นที่จะเปลี่ยนสถานะจากดีมาเป็นดี ค่าประมาณ β_3 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 1 ต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 4

ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีในขั้นตอนการทำงานที่ 2 และที่ 3 จะต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 4

ค่าประมาณของ β_6 แสดงให้เห็นว่า ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรโดยการทำงานของคนงานที่ 1 จะต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรโดยการทำงานของคนงานที่ 12

ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 2,4,5,6,7,8 และ 11 จะอยู่ในสถานะดีต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 12

ในทางตรงข้าม ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 3,9 และ 10 จะอยู่ในสถานะดี มีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 12

ค่าประมาณของ β_{17} และ β_{18} แสดงให้เห็นว่า ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรจากการผลิตสินค้าชนิดที่ 1 และ 2 จะสูงกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรจากการผลิตสินค้าชนิดที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าประมาณขนาดอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร จากตัวแบบ HMM ที่นำเสนอ

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
λ_1	4.16	0.02	4.13	4.19
λ_2	-1.82	0.02	-1.86	-1.77
Intercept (β_1)	3.75	1.38	1.28	6.68
สถานะก่อนหน้า (β_2)	0.5	0.41	-0.3	1.3
ขั้นตอนการทำงานที่ 1 (β_3)	-1.64	1.04	-3.86	0.28
ขั้นตอนการทำงานที่ 2 (β_4)	-4.66	0.87	-6.71	-3.18
ขั้นตอนการทำงานที่ 3 (β_5)	-2.74	0.88	-4.77	-1.24
ขั้นตอนการทำงานที่ 4 (อ้างอิง)	.	.	.	.
คนงานที่ 1 (β_6)	-0.72	1.25	-3.28	1.59
คนงานที่ 2 (β_7)	-0.3	1.31	-2.96	2.14
คนงานที่ 3 (β_8)	25.24	18.96	0.62	70.59
คนงานที่ 4 (β_9)	-0.77	1.16	-3.17	1.35
คนงานที่ 5 (β_{10})	-1.44	1.23	-4	0.86
คนงานที่ 6 (β_{11})	-0.73	1.16	-3.09	1.44
คนงานที่ 7 (β_{12})	-0.14	1.25	-2.66	2.22
คนงานที่ 8 (β_{13})	-1.17	1.18	-3.56	1.01
คนงานที่ 9 (β_{14})	25.36	19.05	0.92	71.45
คนงานที่ 10 (β_{15})	25.38	19.23	0.58	70.72
คนงานที่ 11 (β_{16})	-0.73	1.23	-3.25	1.6
คนงานที่ 12(อ้างอิง)	.	.	.	.

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สินค้าชนิดที่ 1 (β_{17})	3.18	0.64	1.98	4.5	0.449
สินค้าชนิดที่ 2 (β_{18})	0.54	0.44	-0.33	1.41	0.5529
สินค้าชนิดที่ 3 (อ้างอิง)	.	.	.	.	.

จากตารางที่ 3 อธิบายได้ว่า ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรที่ 1 จะอยู่ในสถานะดี ในวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.45 และจะอยู่ในสถานะดีในวันที่ 2 และวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1.00 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรที่ 2 จะอยู่ในสถานะดี ในวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.45 และจะอยู่ในสถานะดีในวันที่ 2 และวันที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1.00 ความน่าจะเป็นของเครื่องจักรอื่นๆอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

ตารางที่ 3 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดี

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
1	1	0.45	0.50	0.00	1.00
1	2	1.00	0.00	1.00	1.00
1	3	1.00	0.00	1.00	1.00
1	4	1.00	0.00	1.00	1.00
1	5	1.00	0.00	1.00	1.00
1	6	1.00	0.00	1.00	1.00
1	7	1.00	0.00	1.00	1.00
1	8	1.00	0.00	1.00	1.00
1	9	1.00	0.00	1.00	1.00
1	10	1.00	0.00	1.00	1.00
1	11	1.00	0.00	1.00	1.00
1	12	1.00	0.00	1.00	1.00
1	13	1.00	0.00	1.00	1.00
1	14	1.00	0.00	1.00	1.00
1	15	1.00	0.00	1.00	1.00
1	16	1.00	0.00	1.00	1.00
1	17	1.00	0.00	1.00	1.00
1	18	1.00	0.00	1.00	1.00
1	19	1.00	0.00	1.00	1.00
1	20	1.00	0.00	1.00	1.00
1	21	1.00	0.00	1.00	1.00
1	22	1.00	0.00	1.00	1.00
1	23	1.00	0.00	1.00	1.00
1	24	1.00	0.00	1.00	1.00
1	25	1.00	0.00	1.00	1.00
1	26	1.00	0.00	1.00	1.00
1	27	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
1	28	1.00	0.00	1.00	1.00
1	29	1.00	0.00	1.00	1.00
1	30	1.00	0.00	1.00	1.00
2	1	0.45	0.50	0.00	1.00
2	2	1.00	0.00	1.00	1.00
2	3	1.00	0.00	1.00	1.00
2	4	1.00	0.00	1.00	1.00
2	5	1.00	0.00	1.00	1.00
2	6	1.00	0.00	1.00	1.00
2	7	1.00	0.00	1.00	1.00
2	8	1.00	0.00	1.00	1.00
2	9	1.00	0.00	1.00	1.00
2	10	1.00	0.00	1.00	1.00
2	11	1.00	0.00	1.00	1.00
2	12	1.00	0.00	1.00	1.00
2	13	1.00	0.00	1.00	1.00
2	14	1.00	0.00	1.00	1.00
2	15	1.00	0.00	1.00	1.00
2	16	0.00	0.00	0.00	0.00
2	17	1.00	0.00	1.00	1.00
2	18	1.00	0.00	1.00	1.00
2	19	1.00	0.00	1.00	1.00
2	20	1.00	0.00	1.00	1.00
2	21	1.00	0.00	1.00	1.00
2	22	1.00	0.00	1.00	1.00
2	23	1.00	0.00	1.00	1.00
2	24	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
2	25	1.00	0.00	1.00	1.00
2	26	1.00	0.00	1.00	1.00
2	27	1.00	0.00	1.00	1.00
2	28	1.00	0.00	1.00	1.00
2	29	1.00	0.00	1.00	1.00
2	30	1.00	0.00	1.00	1.00
3	1	0.42	0.49	0.00	1.00
3	2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4	1.00	0.00	1.00	1.00
3	5	1.00	0.00	1.00	1.00
3	6	1.00	0.00	1.00	1.00
3	7	1.00	0.00	1.00	1.00
3	8	1.00	0.00	1.00	1.00
3	9	1.00	0.00	1.00	1.00
3	10	1.00	0.00	1.00	1.00
3	11	1.00	0.00	1.00	1.00
3	12	1.00	0.00	1.00	1.00
3	13	1.00	0.00	1.00	1.00
3	14	1.00	0.00	1.00	1.00
3	15	1.00	0.00	1.00	1.00
3	16	1.00	0.00	1.00	1.00
3	17	1.00	0.00	1.00	1.00
3	18	1.00	0.00	1.00	1.00
3	19	1.00	0.00	1.00	1.00
3	20	1.00	0.00	1.00	1.00
3	21	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
3	22	1.00	0.00	1.00	1.00
3	23	1.00	0.00	1.00	1.00
3	24	1.00	0.00	1.00	1.00
3	25	1.00	0.00	1.00	1.00
3	26	0.00	0.06	0.00	0.00
3	27	1.00	0.00	1.00	1.00
3	28	0.00	0.00	0.00	0.00
3	29	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1	0.42	0.49	0.00	1.00
4	2	0.00	0.00	0.00	0.00
4	3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4	1.00	0.00	1.00	1.00
4	5	1.00	0.00	1.00	1.00
4	6	1.00	0.00	1.00	1.00
4	7	1.00	0.00	1.00	1.00
4	8	1.00	0.00	1.00	1.00
4	9	1.00	0.00	1.00	1.00
4	10	1.00	0.00	1.00	1.00
4	11	1.00	0.00	1.00	1.00
4	12	0.00	0.00	0.00	0.00
4	13	0.00	0.00	0.00	0.00
4	14	0.00	0.00	0.00	0.00
4	15	1.00	0.00	1.00	1.00
4	16	0.00	0.02	0.00	0.00
4	17	1.00	0.00	1.00	1.00
4	18	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
4	19	1.00	0.00	1.00	1.00
4	20	0.00	0.00	0.00	0.00
4	21	0.00	0.00	0.00	0.00
4	22	0.00	0.00	0.00	0.00
4	23	1.00	0.00	1.00	1.00
4	24	0.00	0.00	0.00	0.00
4	25	0.00	0.00	0.00	0.00
4	26	0.99	0.11	1.00	1.00
4	27	0.00	0.00	0.00	0.00
4	28	1.00	0.00	1.00	1.00
4	29	1.00	0.00	1.00	1.00
4	30	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1	0.37	0.48	0.00	1.00
5	2	0.00	0.00	0.00	0.00
5	3	1.00	0.00	1.00	1.00
5	4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	1.00	0.00	1.00	1.00
5	6	1.00	0.00	1.00	1.00
5	7	1.00	0.00	1.00	1.00
5	8	1.00	0.00	1.00	1.00
5	9	0.00	0.00	0.00	0.00
5	10	0.91	0.29	0.00	1.00
5	11	1.00	0.00	1.00	1.00
5	12	0.00	0.00	0.00	0.00
5	13	1.00	0.00	1.00	1.00
5	14	1.00	0.00	1.00	1.00
5	15	1.00	0.00	1.00	1.00

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยเรื่อง การตรวจติดตามเครื่องจักรบกพร่องในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟแบบเบย์นี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่อง ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ที่มีความเหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลสินค้าบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสินค้าบกพร่องของเครื่องจักร สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เมื่อไม่มีปัจจัยใดๆมาเกี่ยวข้องหรือโดยธรรมชาติแล้ว ค่าเฉลี่ยของปริมาณจำนวนชิ้นงานบกพร่องในแต่ละวัน จะมีค่าเท่ากับ 4.16 ชิ้น ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องในแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับสถานะเสียของเครื่องจักร โดยธรรมชาติแล้ว ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีสูงกว่าที่จะอยู่ในสถานะเสีย ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของเครื่องจักรจากเสียมาเป็นดีสูงกว่าความน่าจะเป็นที่จะเปลี่ยนสถานะจากดีมาเป็นดี ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 1 ต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 4 ในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีในขั้นตอนการทำงานที่ 2 และที่ 3 จะต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรในขั้นตอนการทำงานที่ 4 ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรโดยการทำงานของคนงานที่ 1 จะต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรโดยการทำงานของคนงานที่ 12 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 2,4,5,6,7,8 และ 11 จะอยู่ในสถานะดีต่ำกว่าความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 12 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 3,9 และ 10 จะอยู่ในสถานะดี มีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดีโดยการทำงานของคนงานที่ 12 ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรจากการผลิตสินค้าชนิดที่ 1 และ 2 จะสูงกว่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดีของเครื่องจักรจากการผลิตสินค้าชนิดที่ 3

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟ (Hidden Markov Model หรือ HMM) ถูกนำมาใช้เมื่อไม่ทราบสถานะเครื่องจักร (สถานะที่ซ่อนอยู่) แต่อาจจะสังเกตุเห็นข้อมูลที่สัมพันธ์กับสถานะนั้นได้ เช่นถ้าพบว่ามีสินค้าที่ผลิตออกมาจากเครื่องจักรมีความบกพร่องมากว่าค่าเฉลี่ย อาจบ่งบอกได้ว่าเครื่องจักรนั้นอยู่ในสถานะเสีย ตัวแบบตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟ ยังสามารถใช้สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาได้ด้วย ถ้าข้อมูลเวลาที่ได้มานั้นเป็นผลลัพธ์มาจากสถานะเครื่องจักร

การประมาณค่าแบบเบย์ปัจจุบันได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาได้ตั้งแต่ปัญหาแบบง่าย จนถึงปัญหาที่ซับซ้อน การประมาณค่าแบบเบย์พิจารณาว่าพารามิเตอร์คือตัวแปรสุ่มที่เกิดขึ้นภายใต้รูปแบบการแจกแจงใดๆ โดยเรียกรูปแบบความน่าจะเป็นดังกล่าวว่ารูปแบบความน่าจะเป็นเบื้องต้น (Prior distribution) ซึ่งเป็นรูปแบบความน่าจะเป็นที่ขึ้นอยู่กับความเชื่อของผู้ทำการศึกษาเป็นเบื้องต้น จากนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างจำนวนหนึ่ง แล้วจึงนำสาระจากข้อมูลที่ได้รับซึ่งโดยแท้จริงแล้วก็คือ ความน่าจะเป็นร่วมของการเกิดขึ้นของชุดข้อมูลตัวอย่างมาทำการปรับปรุงรูปแบบความน่าจะเป็นขั้นต้นที่ได้กำหนดขึ้นในตอนแรก ซึ่งผลที่ได้รับคือรูปแบบความน่าจะเป็นที่ทำการปรับแล้ว เรียกว่า การแจกแจง โพสทีเรีย (Posterior distribution) ของพารามิเตอร์ที่สนใจ จากนั้นจึงนำค่าคาดหวังของพารามิเตอร์ภายใต้รูปแบบความน่าจะเป็นที่ปรับแล้วมาใช้เป็นตัวประมาณแบบเบย์

การทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตชิ้นงานบกพร่องทำให้สามารถวางแผนซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงหมายถึงกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อทำให้เครื่องจักร อุปกรณ์ตลอดจนสิ่งต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้า อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ทันทีตามที่ต้องการ การซ่อมบำรุง จึงเป็นการรักษาสมรรถนะและความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรให้เป็นไปตามที่ฝ่ายผลิตต้องการ เพื่อให้การผลิตสินค้าดำเนินไปตามแผนที่กำหนดไว้ นอกจากนี้การซ่อมบำรุงเครื่องจักร อุปกรณ์ยังเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน สรุปได้ว่าวัตถุประสงค์ของการซ่อมบำรุงคือ เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะก่อให้เกิดรายได้กับองค์กร เพื่อให้สามารถใช้บุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพตามแผนการผลิต และตารางการดำเนินการผลิตที่กำหนดไว้ รวมทั้งเพื่อให้สามารถสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

ในกรณีที่สินค้าบกพร่องเกิดจากกลุ่มคนงาน แนวทางแก้ไขคือ การจัดโปรแกรมฝึกอบรมเพิ่มทักษะ สร้างแรงจูงใจ ให้เกิดความรักในองค์กรปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสม

ยิ่งขึ้น ในกรณีที่เกิดจากเครื่องจักรต้องจัดตารางซ่อมบำรุงให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา ส่วนในกรณีเกิดจากขั้นตอนการผลิต ควรวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดชิ้นงานบกพร่องในขั้นตอนนั้น เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การวิจัยครั้งต่อไป อาจพิจารณาเพิ่มปัจจัยอื่นๆ ที่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องการการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร

5.3.2 วิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟ ที่ใช้วิธีการของเบย์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ สำหรับชิ้นส่วนย่อยๆ ในแต่ละเครื่องจักร เพื่อใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุง

5.3.3 นำการวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบฮิดเด็นมาร์คอฟ ไปประยุกต์ใช้กับข้อมูล ทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าอื่นๆ

บรรณานุกรม

กฤตยา โพธิ์แดง. 2549. วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบเบย์ สำหรับการแจกแจงปัวส์ซองเมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

ชัยรัตน์ แจ้งเจนรบ. 2545. การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2557. ชิ้นส่วนและอุปกรณ์สำหรับยานยนต์. มูลค่าและปริมาณสินค้าออกจำแนกตามกิจกรรมการผลิต (ดอลลาร์ สรอ.). แหล่งที่มา: http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=748&language=th, 5 มีนาคม 2558.

บริษัท ฟอร์จูน พาร์ท อินดัสตรี้ จำกัด (มหาชน), 2556. ปัจจัยความเสี่ยง. แหล่งที่มา: http://www.irplus.in.th/Listed/FPI/f56_1/20120865T04_RISK.DOC, 5 มีนาคม 2558.

ประชุม สุวัตถี. 2527. ทฤษฎีการอนุมานเชิงสถิติ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งเรืองรอง สืบมงคลชัย. 2551. การสร้างแม่แบบเว็บเพจสำหรับการทดสอบแบบเทเลอร์ ตามยุทธวิธีของเบย์เซียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุจน์ นะสานี. 2543. การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงกรณีศึกษาโรงงานผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สมศักดิ์ สัมฤทธิ์, อรรถกร เก่งพล และ สมภพ ตลับแก้ว. 2554. การลดเวลาสูญเสียในการผลิตโดยวิธีการบำ รุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานทฤษฎีความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมคอนกรีต. วารสารวิจัย มข. 16 (2): 145-158.

สมาคมผู้ผลิตยางรถยนต์. 2557. 5 ยุทธศาสตร์รักษาแชมป์อุตฯชิ้นส่วนยานยนต์ไทย. 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. and 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, and 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. and S.R. Searle. 2001. Generalized, Linear and Mixed Models. Wiley-Interscience New York.

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): 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. and 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

ตารางที่ภาคผนวก 1 ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะอยู่ในสถานะดี

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
1	1	0.45	0.50	0.00	1.00
1	2	1.00	0.00	1.00	1.00
1	3	1.00	0.00	1.00	1.00
1	4	1.00	0.00	1.00	1.00
1	5	1.00	0.00	1.00	1.00
1	6	1.00	0.00	1.00	1.00
1	7	1.00	0.00	1.00	1.00
1	8	1.00	0.00	1.00	1.00
1	9	1.00	0.00	1.00	1.00
1	10	1.00	0.00	1.00	1.00
1	11	1.00	0.00	1.00	1.00
1	12	1.00	0.00	1.00	1.00
1	13	1.00	0.00	1.00	1.00
1	14	1.00	0.00	1.00	1.00
1	15	1.00	0.00	1.00	1.00
1	16	1.00	0.00	1.00	1.00
1	17	1.00	0.00	1.00	1.00
1	18	1.00	0.00	1.00	1.00
1	19	1.00	0.00	1.00	1.00
1	20	1.00	0.00	1.00	1.00
1	21	1.00	0.00	1.00	1.00
1	22	1.00	0.00	1.00	1.00
1	23	1.00	0.00	1.00	1.00
1	24	1.00	0.00	1.00	1.00
1	25	1.00	0.00	1.00	1.00
1	26	1.00	0.00	1.00	1.00
1	27	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
1	28	1.00	0.00	1.00	1.00
1	29	1.00	0.00	1.00	1.00
1	30	1.00	0.00	1.00	1.00
2	1	0.45	0.50	0.00	1.00
2	2	1.00	0.00	1.00	1.00
2	3	1.00	0.00	1.00	1.00
2	4	1.00	0.00	1.00	1.00
2	5	1.00	0.00	1.00	1.00
2	6	1.00	0.00	1.00	1.00
2	7	1.00	0.00	1.00	1.00
2	8	1.00	0.00	1.00	1.00
2	9	1.00	0.00	1.00	1.00
2	10	1.00	0.00	1.00	1.00
2	11	1.00	0.00	1.00	1.00
2	12	1.00	0.00	1.00	1.00
2	13	1.00	0.00	1.00	1.00
2	14	1.00	0.00	1.00	1.00
2	15	1.00	0.00	1.00	1.00
2	16	0.00	0.00	0.00	0.00
2	17	1.00	0.00	1.00	1.00
2	18	1.00	0.00	1.00	1.00
2	19	1.00	0.00	1.00	1.00
2	20	1.00	0.00	1.00	1.00
2	21	1.00	0.00	1.00	1.00
2	22	1.00	0.00	1.00	1.00
2	23	1.00	0.00	1.00	1.00
2	24	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
2	25	1.00	0.00	1.00	1.00
2	26	1.00	0.00	1.00	1.00
2	27	1.00	0.00	1.00	1.00
2	28	1.00	0.00	1.00	1.00
2	29	1.00	0.00	1.00	1.00
2	30	1.00	0.00	1.00	1.00
3	1	0.42	0.49	0.00	1.00
3	2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4	1.00	0.00	1.00	1.00
3	5	1.00	0.00	1.00	1.00
3	6	1.00	0.00	1.00	1.00
3	7	1.00	0.00	1.00	1.00
3	8	1.00	0.00	1.00	1.00
3	9	1.00	0.00	1.00	1.00
3	10	1.00	0.00	1.00	1.00
3	11	1.00	0.00	1.00	1.00
3	12	1.00	0.00	1.00	1.00
3	13	1.00	0.00	1.00	1.00
3	14	1.00	0.00	1.00	1.00
3	15	1.00	0.00	1.00	1.00
3	16	1.00	0.00	1.00	1.00
3	17	1.00	0.00	1.00	1.00
3	18	1.00	0.00	1.00	1.00
3	19	1.00	0.00	1.00	1.00
3	20	1.00	0.00	1.00	1.00
3	21	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
3	22	1.00	0.00	1.00	1.00
3	23	1.00	0.00	1.00	1.00
3	24	1.00	0.00	1.00	1.00
3	25	1.00	0.00	1.00	1.00
3	26	0.00	0.06	0.00	0.00
3	27	1.00	0.00	1.00	1.00
3	28	0.00	0.00	0.00	0.00
3	29	0.00	0.00	0.00	0.00
3	30	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1	0.42	0.49	0.00	1.00
4	2	0.00	0.00	0.00	0.00
4	3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4	1.00	0.00	1.00	1.00
4	5	1.00	0.00	1.00	1.00
4	6	1.00	0.00	1.00	1.00
4	7	1.00	0.00	1.00	1.00
4	8	1.00	0.00	1.00	1.00
4	9	1.00	0.00	1.00	1.00
4	10	1.00	0.00	1.00	1.00
4	11	1.00	0.00	1.00	1.00
4	12	0.00	0.00	0.00	0.00
4	13	0.00	0.00	0.00	0.00
4	14	0.00	0.00	0.00	0.00
4	15	1.00	0.00	1.00	1.00
4	16	0.00	0.02	0.00	0.00
4	17	1.00	0.00	1.00	1.00
4	18	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
4	19	1.00	0.00	1.00	1.00
4	20	0.00	0.00	0.00	0.00
4	21	0.00	0.00	0.00	0.00
4	22	0.00	0.00	0.00	0.00
4	23	1.00	0.00	1.00	1.00
4	24	0.00	0.00	0.00	0.00
4	25	0.00	0.00	0.00	0.00
4	26	0.99	0.11	1.00	1.00
4	27	0.00	0.00	0.00	0.00
4	28	1.00	0.00	1.00	1.00
4	29	1.00	0.00	1.00	1.00
4	30	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1	0.37	0.48	0.00	1.00
5	2	0.00	0.00	0.00	0.00
5	3	1.00	0.00	1.00	1.00
5	4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	1.00	0.00	1.00	1.00
5	6	1.00	0.00	1.00	1.00
5	7	1.00	0.00	1.00	1.00
5	8	1.00	0.00	1.00	1.00
5	9	0.00	0.00	0.00	0.00
5	10	0.91	0.29	0.00	1.00
5	11	1.00	0.00	1.00	1.00
5	12	0.00	0.00	0.00	0.00
5	13	1.00	0.00	1.00	1.00
5	14	1.00	0.00	1.00	1.00
5	15	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
5	16	1.00	0.00	1.00	1.00
5	17	0.98	0.14	1.00	1.00
5	18	1.00	0.00	1.00	1.00
5	19	1.00	0.01	1.00	1.00
5	20	0.00	0.00	0.00	0.00
5	21	1.00	0.01	1.00	1.00
5	22	0.00	0.00	0.00	0.00
5	23	1.00	0.00	1.00	1.00
5	24	1.00	0.01	1.00	1.00
5	25	1.00	0.00	1.00	1.00
5	26	1.00	0.00	1.00	1.00
5	27	0.00	0.00	0.00	0.00
5	28	0.01	0.08	0.00	0.00
5	29	0.00	0.00	0.00	0.00
5	30	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1	0.46	0.50	0.00	1.00
6	2	1.00	0.00	1.00	1.00
6	3	1.00	0.00	1.00	1.00
6	4	1.00	0.00	1.00	1.00
6	5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6	1.00	0.00	1.00	1.00
6	7	1.00	0.00	1.00	1.00
6	8	1.00	0.00	1.00	1.00
6	9	1.00	0.00	1.00	1.00
6	10	1.00	0.00	1.00	1.00
6	11	1.00	0.00	1.00	1.00
6	12	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
6	13	1.00	0.00	1.00	1.00
6	14	1.00	0.00	1.00	1.00
6	15	1.00	0.00	1.00	1.00
6	16	1.00	0.00	1.00	1.00
6	17	1.00	0.00	1.00	1.00
6	18	1.00	0.00	1.00	1.00
6	19	1.00	0.00	1.00	1.00
6	20	1.00	0.00	1.00	1.00
6	21	1.00	0.00	1.00	1.00
6	22	1.00	0.00	1.00	1.00
6	23	1.00	0.00	1.00	1.00
6	24	1.00	0.00	1.00	1.00
6	25	1.00	0.00	1.00	1.00
6	26	1.00	0.00	1.00	1.00
6	27	0.00	0.00	0.00	0.00
6	28	1.00	0.00	1.00	1.00
6	29	1.00	0.00	1.00	1.00
6	30	1.00	0.00	1.00	1.00
7	1	0.44	0.50	0.00	1.00
7	2	1.00	0.00	1.00	1.00
7	3	1.00	0.00	1.00	1.00
7	4	1.00	0.00	1.00	1.00
7	5	1.00	0.00	1.00	1.00
7	6	1.00	0.00	1.00	1.00
7	7	1.00	0.00	1.00	1.00
7	8	1.00	0.01	1.00	1.00
7	9	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
7	10	1.00	0.00	1.00	1.00
7	11	1.00	0.00	1.00	1.00
7	12	1.00	0.00	1.00	1.00
7	13	1.00	0.00	1.00	1.00
7	14	1.00	0.00	1.00	1.00
7	15	1.00	0.00	1.00	1.00
7	16	1.00	0.00	1.00	1.00
7	17	1.00	0.00	1.00	1.00
7	18	1.00	0.00	1.00	1.00
7	19	1.00	0.00	1.00	1.00
7	20	1.00	0.00	1.00	1.00
7	21	1.00	0.00	1.00	1.00
7	22	1.00	0.00	1.00	1.00
7	23	1.00	0.00	1.00	1.00
7	24	1.00	0.00	1.00	1.00
7	25	1.00	0.00	1.00	1.00
7	26	1.00	0.00	1.00	1.00
7	27	1.00	0.00	1.00	1.00
7	28	1.00	0.00	1.00	1.00
7	29	1.00	0.00	1.00	1.00
7	30	1.00	0.00	1.00	1.00
8	1	0.44	0.50	0.00	1.00
8	2	1.00	0.00	1.00	1.00
8	3	1.00	0.00	1.00	1.00
8	4	0.00	0.00	0.00	0.00
8	5	1.00	0.00	1.00	1.00
8	6	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
8	7	1.00	0.00	1.00	1.00
8	8	1.00	0.00	1.00	1.00
8	9	1.00	0.00	1.00	1.00
8	10	1.00	0.00	1.00	1.00
8	11	0.00	0.00	0.00	0.00
8	12	1.00	0.00	1.00	1.00
8	13	1.00	0.00	1.00	1.00
8	14	1.00	0.00	1.00	1.00
8	15	1.00	0.00	1.00	1.00
8	16	1.00	0.00	1.00	1.00
8	17	0.00	0.00	0.00	0.00
8	18	0.00	0.00	0.00	0.00
8	19	0.00	0.00	0.00	0.00
8	20	0.77	0.42	0.00	1.00
8	21	0.00	0.00	0.00	0.00
8	22	0.00	0.00	0.00	0.00
8	23	0.00	0.00	0.00	0.00
8	24	0.00	0.00	0.00	0.00
8	25	0.00	0.00	0.00	0.00
8	26	1.00	0.00	1.00	1.00
8	27	0.00	0.00	0.00	0.00
8	28	1.00	0.04	1.00	1.00
8	29	0.00	0.00	0.00	0.00
8	30	0.00	0.00	0.00	0.00
9	1	0.44	0.50	0.00	1.00
9	2	1.00	0.00	1.00	1.00
9	3	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
9	4	1.00	0.00	1.00	1.00
9	5	1.00	0.00	1.00	1.00
9	6	1.00	0.00	1.00	1.00
9	7	1.00	0.00	1.00	1.00
9	8	1.00	0.00	1.00	1.00
9	9	1.00	0.00	1.00	1.00
9	10	1.00	0.00	1.00	1.00
9	11	1.00	0.00	1.00	1.00
9	12	1.00	0.00	1.00	1.00
9	13	1.00	0.00	1.00	1.00
9	14	1.00	0.00	1.00	1.00
9	15	1.00	0.00	1.00	1.00
9	16	1.00	0.00	1.00	1.00
9	17	1.00	0.00	1.00	1.00
9	18	1.00	0.00	1.00	1.00
9	19	1.00	0.00	1.00	1.00
9	20	1.00	0.00	1.00	1.00
9	21	1.00	0.00	1.00	1.00
9	22	1.00	0.00	1.00	1.00
9	23	1.00	0.00	1.00	1.00
9	24	1.00	0.00	1.00	1.00
9	25	1.00	0.00	1.00	1.00
9	26	1.00	0.00	1.00	1.00
9	27	1.00	0.00	1.00	1.00
9	28	1.00	0.00	1.00	1.00
9	29	1.00	0.00	1.00	1.00
9	30	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
10	1	0.37	0.48	0.00	1.00
10	2	0.00	0.00	0.00	0.00
10	3	1.00	0.00	1.00	1.00
10	4	1.00	0.00	1.00	1.00
10	5	1.00	0.00	1.00	1.00
10	6	1.00	0.00	1.00	1.00
10	7	1.00	0.00	1.00	1.00
10	8	1.00	0.00	1.00	1.00
10	9	1.00	0.00	1.00	1.00
10	10	1.00	0.00	1.00	1.00
10	11	1.00	0.00	1.00	1.00
10	12	0.67	0.47	0.00	1.00
10	13	1.00	0.00	1.00	1.00
10	14	1.00	0.00	1.00	1.00
10	15	1.00	0.00	1.00	1.00
10	16	1.00	0.00	1.00	1.00
10	17	0.00	0.00	0.00	0.00
10	18	1.00	0.00	1.00	1.00
10	19	1.00	0.00	1.00	1.00
10	20	1.00	0.00	1.00	1.00
10	21	1.00	0.00	1.00	1.00
10	22	1.00	0.00	1.00	1.00
10	23	1.00	0.00	1.00	1.00
10	24	1.00	0.00	1.00	1.00
10	25	1.00	0.00	1.00	1.00
10	26	1.00	0.00	1.00	1.00
10	27	0.67	0.47	0.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
10	28	1.00	0.00	1.00	1.00
10	29	1.00	0.00	1.00	1.00
10	30	1.00	0.00	1.00	1.00
11	1	0.44	0.50	0.00	1.00
11	2	1.00	0.00	1.00	1.00
11	3	1.00	0.00	1.00	1.00
11	4	1.00	0.00	1.00	1.00
11	5	0.00	0.00	0.00	0.00
11	6	1.00	0.00	1.00	1.00
11	7	1.00	0.00	1.00	1.00
11	8	0.00	0.00	0.00	0.00
11	9	0.00	0.00	0.00	0.00
11	10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	11	1.00	0.00	1.00	1.00
11	12	1.00	0.00	1.00	1.00
11	13	1.00	0.00	1.00	1.00
11	14	1.00	0.00	1.00	1.00
11	15	1.00	0.00	1.00	1.00
11	16	0.00	0.00	0.00	0.00
11	17	0.00	0.00	0.00	0.00
11	18	1.00	0.00	1.00	1.00
11	19	1.00	0.00	1.00	1.00
11	20	0.00	0.00	0.00	0.00
11	21	0.00	0.00	0.00	0.00
11	22	1.00	0.00	1.00	1.00
11	23	1.00	0.00	1.00	1.00
11	24	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
11	25	1.00	0.00	1.00	1.00
11	26	1.00	0.00	1.00	1.00
11	27	1.00	0.00	1.00	1.00
11	28	1.00	0.00	1.00	1.00
11	29	1.00	0.00	1.00	1.00
11	30	1.00	0.00	1.00	1.00
12	1	0.47	0.50	0.00	1.00
12	2	1.00	0.00	1.00	1.00
12	3	1.00	0.00	1.00	1.00
12	4	1.00	0.00	1.00	1.00
12	5	0.99	0.10	1.00	1.00
12	6	0.00	0.00	0.00	0.00
12	7	0.00	0.00	0.00	0.00
12	8	1.00	0.00	1.00	1.00
12	9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	10	0.00	0.00	0.00	0.00
12	11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	12	0.00	0.06	0.00	0.00
12	13	0.01	0.08	0.00	0.00
12	14	0.00	0.06	0.00	0.00
12	15	0.78	0.41	0.00	1.00
12	16	1.00	0.00	1.00	1.00
12	17	0.99	0.08	1.00	1.00
12	18	1.00	0.03	1.00	1.00
12	19	1.00	0.00	1.00	1.00
12	20	0.00	0.00	0.00	0.00
12	21	1.00	0.00	1.00	1.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
12	22	0.00	0.01	0.00	0.00
12	23	1.00	0.00	1.00	1.00
12	24	1.00	0.00	1.00	1.00
12	25	0.00	0.00	0.00	0.00
12	26	0.00	0.00	0.00	0.00
12	27	0.00	0.00	0.00	0.00
12	28	0.00	0.00	0.00	0.00
12	29	0.00	0.00	0.00	0.00
12	30	0.00	0.00	0.00	0.00
13	1	0.47	0.50	0.00	1.00
13	2	1.00	0.00	1.00	1.00
13	3	0.00	0.00	0.00	0.00
13	4	0.00	0.00	0.00	0.00
13	5	1.00	0.00	1.00	1.00
13	6	1.00	0.00	1.00	1.00
13	7	1.00	0.00	1.00	1.00
13	8	1.00	0.00	1.00	1.00
13	9	1.00	0.00	1.00	1.00
13	10	1.00	0.00	1.00	1.00
13	11	1.00	0.00	1.00	1.00
13	12	1.00	0.00	1.00	1.00
13	13	1.00	0.00	1.00	1.00
13	14	1.00	0.00	1.00	1.00
13	15	0.00	0.00	0.00	0.00
13	16	1.00	0.00	1.00	1.00
13	17	0.00	0.00	0.00	0.00
13	18	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	วันที่	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% Credible Interval	
13	19	1.00	0.00	1.00	1.00
13	20	1.00	0.00	1.00	1.00
13	21	1.00	0.00	1.00	1.00
13	22	1.00	0.00	1.00	1.00
13	23	1.00	0.00	1.00	1.00
13	24	1.00	0.00	1.00	1.00
13	25	1.00	0.00	1.00	1.00
13	26	1.00	0.00	1.00	1.00
13	27	1.00	0.00	1.00	1.00
13	28	1.00	0.00	1.00	1.00
13	29	0.00	0.00	0.00	0.00
13	30	1.00	0.00	1.00	1.00

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล: ดร. พิษณุ ทองขาว
(Dr. Pitsanu Tongkhow)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
การศึกษา: วศ.ด. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์