รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสียด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

Cause Analysis of Defective and Bad Products using Bayesian Logistic Regression Models: A Case Study of an Autoparts Manufacturing Factory

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรินทร์ แสงมา

นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์

นายวรพจน์ โหรวิชิต

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณปี พ.ศ. 2557

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสียด้วยตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

ผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรินทร์ แสงมา นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์ นายวรพจน์ โหรวิชิต

พ.ศ. : 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ ประยุกต์ใช้กับข้อมูลเครื่องจักรผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์บกพร่อง และเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์ที่ใช้การประมาณ ค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ข้อมูลเก็บรวบรวมจากเครื่องจักรจำนวน 132 เครื่อง ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง ผลการวิจัยพบว่า อายุการใช้งานเครื่องจักร เครื่องจักรชนิดที่ 6 คนงานกลุ่มที่ 3 และที่ 4 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 และที่ 2 มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงในการผลิตชิ้นส่วนบกพร่องและเสีย โดยเมื่อเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานมากขึ้น 1 ปีจะมีความเสี่ยงในการผลิตสิค้าบกพร่องและเสียเพิ่มขึ้น 2.2 % เครื่องจักรชนิดที่ 6 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าเครื่องจักรชนิดที่ 8 อยู่ 4.078 เท่า คนงานกลุ่มที่ 3 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียน้อยกว่าคนงานกลุ่มที่ 12 อยู่ 61.7% กลุ่มที่ 4 ความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียน้อยกว่าคนงานกลุ่มที่ 12 อยู่ 61.5% ขั้นตอนการทำงานที่ 1 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าขั้นตอนการทำงานที่ 4 อยู่ 2.831 เท่า และขั้นตอนการทำงานที่ 2 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าขั้นตอนการทำงานที่ 4 อยู่ 13.8% ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ และการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบถาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก

คำสำคัญ: การถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์, โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, ความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย

Title : **Cause Analysis of Defective and Bad Products using Bayesian Logistic Regression Model: Case Study of Autoparts Manufacturing Factory y**

Researcher : **Assistant Professor Watcharin Sangma Mr.Pichet Jiraprasertwong Mr. Worapot Honwichit**

Year : **2014**

Abstract

This research proposes a Bayesian logistic regression model which is applied to the data from autoparts manufacturing machines. Factors related to defective and bad products are investigated. The proposed model is compared with the logistic regression using maximum likelihood method for parameter estimation. The data were collected from 132 machines in an autoparts manufacturing factory. The research found that useful life, machine type 6, worker group 3 and 4, working step 1 and 2 influence to the risk of producing defective and bad products. When the useful life is increased by 1 month the risk of producing defective and bad products will be increased by 2.2%. The risk that the machine type 6 will produce defective and bad products is 4.078 times greater than the risk that the machine type will do. The risk that the worker group 3 will produce defective and bad products is 61.7% less than the risk that the worker group 12 will do. The risk that the worker group 4 will produce defective and bad products is 61.5% less than the risk that the worker group 12 will do. The risk that the working step 1 will produce defective and bad products is 2.831 times greater than the risk that the working step 4 will do. The risk that the working step 2 will produce defective and bad products is 13.8 % greater than the risk that the working step 4 will do. The parameter estimates from the Bayesian logistic regression are very close to the ones from the logistic regression using maximum likelihood method for parameter estimation.

Keywords: Bayesian logistic regression, Autoparts manufacturing factory, Risk of producing defective and bad products

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสียด้วยตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยการสนับสนุนและความช่วยเหลือจากหลายท่าน คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. สุภัทรา โกไศยกานนท์ รักษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผศ. ดร. วัลลภ ภูผา คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ผศ.จุฑามาศ พีรพัชระ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มาตั้งแต่เริ่มต้น ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ทุนสนับสนุน จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
สมมุติฐานในการวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ทฤษฎีของเบย์ และการถดถอยโลจิสติก	4
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	10
ตัวแปรสำหรับการวิจัย	10
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	10
การเก็บรวบรวมข้อมูล	11
การวิเคราะห์ข้อมูล	11
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	14
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	15
สัญลักษณ์และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	15
ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	15
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการผลิตชิ้นงานบกพร่อง	19
การเปรียบเทียบตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์ กับ ตัวแบบโลจิสติดส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด	45
การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	48
สรุปผลการวิจัย	48
อภิปรายผล	48
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	53
ประวัติคณะผู้วิจัย	65

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตสินค้าที่มีข้อบกพร่องและสินค้าเสียนั้น ทำให้เกิดผลกระทบต่างๆตามมากมาย เช่น ส่งมอบให้กับลูกค้าล่าช้าและอาจทำให้สูญเสียลูกค้าในอนาคตได้ มีต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นที่เกิดจากเสียเวลา เสียค่าแรงที่เพิ่มขึ้นสำหรับการซ่อมแซม และเสียค่าทำงานล่วงเวลา หรือเสียวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตสินค้าเสียโดยที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ เป็นต้น ซึ่งถ้าเราสามารถพิจารณาว่าจะมีข้อบกพร่องอะไรบ้างที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยข้อบกพร่องนั้นจะมีผลกระทบรุนแรงมากน้อยเพียงใด ข้อบกพร่องแต่ละลักษณะเกิดจากสาเหตุใด และมีระบบในการตรวจจับข้อบกพร่องนั้นได้อย่างไรก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการถัดไป มีความยากในการตรวจจับสินค้าที่มีข้อบกพร่องหรือเสียเพียงใด และการสร้างระบบในการป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะของข้อบกพร่องหรือเสียโดยการกำจัดสาเหตุของข้อบกพร่องนั้นจะต้องทราบสาเหตุที่ชัดเจนว่ามาจากที่ใด เพื่อจะได้แก้ปัญหาได้ถูกจุด

ตัวแบบที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสินค้าบกพร่องหรือสินค้า มีหลายชนิด ตัวแบบหนึ่งที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายคือ ตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นตัวแบบที่ใช้สำหรับพยากรณ์ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการ์ที่สนใจ เช่นความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะทำงานบกพร่อง เป็นตัวแบบที่มีความยืดหยุ่นและความแกร่ง (Robustness) สูง (Hamadicharef et al. 2008, Tabachnick and Fidell, 2007) ตัวแบบที่มีความแกร่งสูงหมายถึง ตัวแบบที่มีสมรรถนะสูง การบ่ายเบนไปจากข้อสมมติเบื้องต้นของตัวแบบไปบ้าง ไม่ทำให้สมรรถนะของตัวแบบด้อยลงจนเกิดความเสียหาย การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์ โดยทั่วไปใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด และแก้ระบบสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยวิธีการของ Newton-Raphson นอกจานี้ยังมีวิธีการประมาณค่าอีกแบบหนึ่งที่กำลังได้รับยความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบง่าย ๆ หรือตัวแบบที่ซับซ้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การประมาณค่าด้วยวิธีการของเบย์ งานวิจัยนี้จะนำตัวแบบโลจีกติกส์แบบเบย์มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์จัดเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่รัฐบาลให้การสนับสนุน เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทในการสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์ซึ่งไทยเป็นฐานการผลิตขนาดใหญ่ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก และมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งในส่วนที่ก่อให้เกิดการจ้างงานเป็นจำนวนมาก และก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่องต่างๆ พร้อมทั้งเป็นอุตสาหกรรมที่สามารถทำรายได้เข้าสู่ประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนนับแสนล้านบาท

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะวิเคราะห์ข้อบกพร่องและหาสาเหตุของข้อบกพร่องต่างๆ ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยใช้ตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป ซึ่งยังผลให้การร้องเรียนของลูกค้าต่อสินค้า หรือบริการที่ส่งมอบช้าลดลง ความพึงพอใจของลูกค้าก็จะอยู่ในระดับสูงขึ้น ทำให้องค์กรมีศักยภาพการแข่งขันในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ราคา การส่งมอบ การบริการ รวมถึงการสร้างขวัญ กำลังใจ และสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างมีคุณภาพ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อนำเสนอตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์

2) ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลเครื่องจักรผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

3) เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์บกพร่อง

4) เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์ที่ใช้การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรคือ เครื่องจักรทั้งหมดในโรงงาน
ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ เครื่องจักรที่สุ่มมาศึกษา จำนวน 312 เครื่อง

ตัวแปรต้น คือ ชนิดของเครื่องจักร ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร กลุ่มคนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร

ตัวแปรตาม คือเครื่องจักรผลิตชิ้นงานบกพร่อง

สมมุติฐานในการวิจัย

ชนิดของเครื่องจักร กลุ่มคนงาน ขั้นตอนการผลิต อายุการใช้งานของเครื่องจักร มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร

นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1) ความเสี่ยงของการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร หมายถึง ความเสี่ยงที่คำนวณได้จากตัวแบบการถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) ที่ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการของเบย์

2) ชิ้นส่วนรถยนต์ หมายถึงชิ้นส่วนของระบบเครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง ช่วงล่าง ไฟฟ้าเครื่องยนต์ ไฟฟ้าตัวถัง และส่วนประกอบภายนอก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถประยุกต์ใช้ ตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ในการวางแผนควบคุมคุณภาพการผลิตได้

2) สามารถนำผลไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ได้ใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาตัวแบบต่อไป

3) เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการ วางแผนป้องกัน และแก้ไขปัญหาในโรงงานตัวอย่าง

4) เพื่อนำเสนอหลักการและโปรแกรมที่เขียนได้ไปประยุกต์ใช้กับ อุตสาหกรรมการผลิตด้านอื่นๆ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการการวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสียด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

ทฤษฎีของเบย์ และการถดถอยโลจิสติก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีของเบย์ (Bayesian Theorem) (Congdon , 2001)

ทฤษฎีของเบย์เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วัดค่าได้ y กับเซตของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า θ และต้องการประมาณค่า โดยทั่วไปแล้วในการประมาณค่าพารามิเตอร์ θ มักจะถือหลักว่าพารามิเตอร์ θ เป็นค่าคงที่แต่ไม่ทราบค่าและการประมาณ ค่า θ จะทำโดยตัวอย่างสุ่ม (Random sample) จากการแจกแจงของประชากรนั้น ๆ ผู้ที่ประมาณค่าอาจทราบข้อเท็จจริงบางอย่างเกี่ยวกับ θ ก่อนที่จะสุ่มตัวอย่างซึ่งหากนำข้อเท็จจริงนั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะช่วยให้การประมาณค่าได้ผลยิ่งขึ้น (ประชุม สุวัตถี. 2527)

ให้เซตของข้อมูล y คือ $i = 1,2,...,n \;:\; y = \{ y_1, y_2, ..., y_n \}$

เซตของพารามิเตอร์คือ $\theta = \{ \theta_1, \theta_2, ..., \theta_k \}$

เซตของตัวแปรร่วมคือ $x = \{ x_1, x_2, ..., x_n \}$

ให้ $y_1, y_2, ..., y_n$ เป็นตัวอย่างสุ่ม (Random sample) จากประชากรที่มีฟังก์ชันความหนาแน่น (Probability density function หรือ p.d.f) , $f(y|\theta)$

ในการประมาณค่าด้วยวิธีทฤษฎีของเบย์จะถือว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า θ จะถูกมองว่าเป็นตัวแปรสุ่มขณะที่ y ถูกมองว่าเป็นปริมาณที่ทราบค่า

การแจกแจงของ θ เมื่อทราบค่า y ที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ทราบล่วงหน้าโดยแสดงได้ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่น $f(\theta)$ และเรียก $f(\theta)$ นี้ว่าฟังก์ชันความหนาแน่นเบื้องต้น (prior p.d.f) และให้

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

และให้ $f(\theta|y)$ เป็นการแจกแจงของ θ เมื่อกำหนดค่า $y_1 = y_1,\ y_2 = y_2\ ,...,\ y_n = y_n$ เรียกว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นโพสทีเรีย (posterior p.d.f) ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้โดยใช้ทฤษฎีของเบย์ดังนี้

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

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

จะเรียก $f(y|\theta)$ ว่า ฟังก์ชันไลค์ลิฮูด (Likelihood Function)

และเรียก $f(\theta)$ 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 $f(\theta|y) \ \alpha \ f(y|\theta)\, f(\theta)$

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 (รัตนา ศรีเหรัญ .2539 : 11) ของผลลัพธ์ (result) ที่เกิดขึ้นในการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง ซึ่งถ้าต้องการคำนวณค่าคาดหวังของโพสทีเรีย (Posterior Expected Value) ซึ่งต้องคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

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

ถ้าสามารถสร้างลำดับการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มจำนวน G ครั้ง กำหนดให้เป็น $\theta^{(1)}, \theta^{(2)}, \ldots, \theta^{(G)}$ 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 เป็นกระบวนการสโทแคสติก (stochastic)ไม่ต่อเนื่องทั้งเชิงสถานะและเชิงเวลาซึ่งเพียงแค่รู้ถึงสถานะปัจจุบันก็เพียงพอเราเรียกกระบวนการมาร์คอฟแบบสถานะไม่ต่อเนื่องว่า ห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov chain) และการนำเทคนิคทางสถิติที่ชื่อการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงพหุแบบหนึ่งซึ่งใช้ทำนายค่าความน่าจะเป็น นับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์ตัวแปรตามที่มาค่าของข้อมูลเพียง 2 ค่า ซึ่งเราพบว่าในสถานการณ์ต่างๆข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีค่าของตัวแปรตามไม่ต่อเนื่อง เช่นผลลัพธ์ที่ได้คือการถอนรายวิชาและการไม่ถอนรายวิชา เป็นต้น

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) เป็นการประมาณค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว ตัวแบบ การถดถอยโลจิสติก สามารถเขียนได้ดังนี้ (Carlin and Louis, 2000)

$$\text{Prob (event)} = \frac{e^{(\beta_0+\beta_1 X)}}{1+e^{(\beta_0+\beta_1 X)}} \quad (1)$$

หรืออาจเขียน

$$\text{Prob (event)} = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 X)}} \quad (2)$$

เมื่อ β_0 และ β_1 คือ ค่าพารามิเตอร์เมื่อทำการประมาณค่า

$\hat{\beta}_0$ และ $\hat{\beta}_1$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ประมาณได้จากข้อมูล

X คือ ตัวแปรอิสระ

e คือ ค่าลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) ซึ่ง e มีค่าประมาณ 2.71828... ในทำนองเดียวกันถ้ามีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปรจะเขียน Model ได้ดังนี้

$$\text{Prob (event)} = \frac{e^{Z}}{1+e^{Z}} \quad (3)$$

หรืออาจเขียน

$$\text{Prob (event)} = \frac{1}{1+e^{-Z}} = \pi \quad (4)$$

เมื่อ Z คือการจัดหมู่เชิงเส้น (Linear Combination) ดังนี้

$$z = \beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+...+\beta_P X_P \quad (5)$$

โดยที่ β_i ; $i = 1,2,3,...,P$ คือค่าพารามิเตอร์เมื่อทำการประมาณค่า $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2,..., \hat{\beta}_P$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ประมาณได้จากข้อมูล $X_1, X_2,..., X_P$ คือ ค่าตัวแปรอิสระซึ่งมีทั้งหมด P ตัว

เมื่อเราได้ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ที่สามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการไม่เกิดเหตุการณ์นั้นได้ว่า

$$\text{Prob (no event)} = 1-\text{P (event)} = 1-\left(\frac{1}{1+e^{-Z}}\right) = 1-\pi \quad (6)$$

จากตัวแบบที่ประมาณได้จากสมการที่ (4) และ (6) เราสามารถทำให้อยู่ในรูปอัตราส่วนของความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์นั้นและความน่าจะเป็นของการไม่เกิดเหตุการณ์นั้นเราเรียกว่า ออด (Odds)

นั่นคือ

$$\text{Odds} = \frac{\pi}{1-\pi} = 1^{Z} = 1^{(\beta_0+\beta_1 X+.....\beta_P X_P)}$$

$$= e^{\beta_0} e^{\beta_1 X}.....e^{\beta_P X_P} \quad (7)$$

ค่าของ e^{β_i} จะเรียกว่าปัจจัย (Factor) โดยที่ค่านี้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ ออด (Odds) นั่นคือที่ครั้งที่ X_i เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ก็ทำให้ออด (Odds) เพิ่มขึ้นเป็น e^{β_i} เท่าจากอัตราส่วนเดิม สำหรับในการแปลความหมายต้องคำนึงถึงเครื่องหมายด้วย เช่น ในกรณีที่มีค่ามากกว่า 0 ก็ทำให้ ออด (Odds) เพิ่มขึ้นแต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0 ก็จะทำให้ ออด (Odds) ลดลง และถ้า β_i มีค่าเท่ากับ 0 ก็จะทำให้ $e^{\beta_i}=1$ ซึ่งจะไม่ทำให้ออด (Odds) เปลี่ยนแปลงสมการ การถดถอยโลจิสติก แสดงความสัมพันธ์ในรูปของ การถดถอยเชิงเส้นพหุ (Multiple Linear Regression) เราเรียก ตัวแบบโลจิสติก(Logistic Model) เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงในรูปของ $\ln$ (Odds) หรืออาจเรียกว่าการแปลงโลจิท (Logit Transformation)
ดังนี้

$$\ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \ln(e^{Z}) = Z = \beta_0+\beta_1 X_1+.....+\beta_P X_P \quad (8)$$

ตัวแบบที่ได้ในสมการที่ (8) นั้นง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

อัตราส่วนออด (Odds Ratio) และค่าประมาณของสัมประสิทธิ์

จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ในสมการ เราจะได้ค่าความชัน $\hat{\beta}_i$ ค่าเหล่านี้ได้จากการแปลงค่าแบบ การถดถอยโลจิสติก ให้เป็นสมการที่เราสามารถทำการคำนวณได้ง่าย ด้วยการทำให้อยู่ในรูปของสมการ Regression ที่ใช้ OLS ค่าเหล่านี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม เมื่อ X_i เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย ส่วนค่า อัตราส่วนออด คือค่า $e^{\hat{\beta}_i}$ หรือ $\text{Exp}\left(\hat{\beta}_i\right)$ ค่านี้เป็นอัตราส่วนของออด (Odds) ของเหตุการณ์ที่มีค่าของตัวแปรต้นที่กำลังพิจารณาโดยใช้ตัวแปรต้นอื่น ๆ คงที่ นั้นต่างกันอยู่ 1 หน่วย โดยตัวเศษจะเป็นออด (Odds) ของการที่ค่า X เพิ่มขึ้นจากตัวส่วนอยู่ 1 หน่วย และ $\ln\left(e^{\hat{\beta}_i}\right)=\hat{\beta}_i$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤตยา (2549) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงปัวส์ซองแบบช่วง 2 วิธี คือ วิธีการประมาณแบบแมกซิมัมไลลิฮูด และวิธีการประมาณแบบเบย์ ที่มีการแจกแจงก่อนเป็นแบบแกมมา ใช้วิธีการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลและทำซ้ำ 1,000 รอบในแต่

ละสถานการณ์ที่ศึกษา การตัดสินใจพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น และค่าความยาวเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นผลการวิจัยพบว่าวิธีการประมาณช่วงความเชื่อมั่นแบบเบย์เมื่อการแจกแจงก่อนเป็นแบบแกมมาให้ผลดีกว่าแบบแมกซิมัมไลลิฮูดในทุกกรณีที่ศึกษา โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแกมมาจะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง n และพารามิเตอร์

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

Adams และ Becker (1990) ศึกษาการถอนรายวิชาของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยมินนีโซตา (University of Minnesota) โดยใช้ตัวแบบ โพรบิต (Probit Model) พบว่า นักศึกษาที่เคยถอนรายวิชาเรียนมาก่อนมีแนวโน้มที่จะถอนรายวิชานั้นอีกครั้ง ความบกพร่องทางกายและทางสมอง มีผลต่อการถอนรายวิชาเรียน ความน่าจะเป็นที่นักศึกษาที่เป็นนักกีฬาจะถอนรายวิชาเรียนมีค่าน้อยกว่านักศึกษาที่ไม่ได้เป็นนักกีฬา แรงจูงใจมีผลต่อการตัดสินใจถอนรายวิชา และ จำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนไม่มีความสัมพันธ์กับการถอนรายวิชา

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

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 (2010) เสนอตัวแบบเบย์ ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับข้อมูลปริมาณความต้องการซื้อชิ้นส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบมาตรฐานอื่นๆ ได้แก่ Exponential smoothing (ExpS) และ Judgmental Methods (Judg) และวิธีเบย์ มีความเหมาะสมมากกว่า จากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น

Downey (2014) ได้อธิบายความสัมพันธ์กันระหว่างทฤษฎีของเบย์กับทฤษฎีการถดถอยโลจิสติกส์ว่าทั้งสองทฤษฎีมีหลักการคล้ายๆกันสามารถนำมาเชื่อมโยงกันได้ หลังจากนั้นได้นำไปทดลอง

ใช้กับปัญหาจริง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเรื่องการวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลเครื่องจักรผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์บกพร่อง และเพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์ที่ใช้การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด คณะผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการศึกษาไว้ตามขั้นตอนดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
ตัวแปรสำหรับการวิจัย
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
การเก็บรวบรวมข้อมูล
การวิเคราะห์ข้อมูล
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือ เครื่องจักรทั้งหมดในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี
ตัวอย่างคือ เครื่องจักรที่สุ่มอย่างง่ายมาศึกษา จำนวน 312 เครื่อง

ตัวแปรสำหรับการวิจัย

ตัวแปรตาม คือเครื่องจักรผลิตชิ้นงานบกพร่อง
ตัวแปรต้น คือ ชนิดของเครื่องจักร ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร กลุ่มคนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบบันทึกข้อมูล ซึ่งมีวิธีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแบบโลจิสติกส์ เพื่อดูว่าข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยข้อมูลใดบ้าง
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบโลจิสติกส์ ตัวแบบเบย์ และการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร

3. ศึกษาข้อมูลการทำงานของเครื่องจักร ได้แก่ ชนิดของเครื่องจักร อายุการทำงานของเครื่องจักร ขั้นตอนการทำงาน และ ผู้ปฏิบัติงาน

4. สร้างแบบบันทึกข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย รหัสเครื่องจักร ชนิดของเครื่องจักร ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร กลุ่มคนงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร และเครื่องจักรทำงานบกพร่องในช่วงเวลาที่ศึกษาหรือไม่

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้การสังเกต บันทึกการทำงานของเครื่องจักรตัวอย่าง 312 เครื่อง ในแบบบันทึกข้อมูล ในช่วงเวลาที่ศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของตัวอย่างใช้สถิติพรรณา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าร้อยละ

2. วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเสี่ยงของการทำงานบกพร่อง ใช้ตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

ให้ Y_i, $i=1,2,3,...,132$ แทนค่าสังเกต 0 และ1

เมื่อ 1 แทนเครื่องจักร i ทำงานบกพร่อง ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

0 แทนเครื่องจักร i ทำงานปกติ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

Y_i การแจกแจงแบบเบอร์นูลี (Bernoulli) หรือ $Y_i \sim \text{Bern}(P_i)$ โดยที่ $P(Y_i = 1) = P_i$ โดยที่

$$P_i = \frac{e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}}{1+e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}}$$

เมื่อ $P(Y=1)$ หมายถึง ความน่าจะเป็นหรือความเสี่ยงที่จะเกิดจะเกิดสินค้าบกพร่อง

Time หมายถึง ปัจจัยด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร

$M_1, M_2, ..., M_7$ หมายถึง ปัจจัยด้านชนิดของเครื่องจักร ชนิดที่ 1 ถึงชนิดที่ 7 โดยที่ M_8 เป็นกลุ่มอ้างอิง

$W_1, W_2, ..., W_{11}$ หมายถึง ปัจจัยด้าน กลุ่มคนงาน กลุ่มที่ 1 ถึง กลุ่มที่ 11 โดยที่ W_{12} เป็นกลุ่มอ้างอิง

S_1, S_2, S_3 หมายถึง ปัจจัยด้านขั้นตอนการทำงาน โดยที่

$\alpha, \alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3}$ หมายถึง สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression Coefficients)

α แสดงขนาดของอิทธิพลที่มีต่อความเสี่ยงของการผลิตสินค้าบกพร่อง โดยธรรมชาติ เมื่อไม่มีปัจจัยใดๆ เกี่ยวข้อง

$\alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3}$ แสดงขนาดของอิทธิพลของปัจจัย $M_1, M_2, ..., M_7, W_1, W_2, ..., W_{11}, S_1, S_2, S_3$ มีต่อความเสี่ยงความเสี่ยงของการผลิตสินค้าบกพร่องตามลำดับ

การประมาณค่าพารามิเตอร์ $\alpha, \alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3}$ ใช้วิธีการของเบย์มีขั้นตอนดังนี้

ฟังก์ชันไลค์ลิฮูด (Likelihood Function) คือ

$$f(Y_1, ..., Y_{132} \mid \alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3})$$
$$= \prod_{i=1}^{132} \left(\frac{e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}}{1+e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}} \right)^{Y_i}$$
$$\times \left(\frac{1}{1+e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}} \right)^{1-Y_i}$$

การแจกแจงโพสทีเรีย (Posterior Distribution) คือ

$$f(\alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3}) \mid Y_1, ..., Y_{132})$$
$$\propto f(Y_1, ..., Y_{132} \mid \alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3})$$
$$\times f(\alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3})$$

การแจกแจงเบื้องต้น (Prior Distribution) ของพารามิเตอร์ภายใต้วิธีการของเบย์ นิยมใช้การแจกแจงแบบ Noninfomative คือการแจกแจงที่ไม่มีผลต่อการแจกแจงโพสทีเรีย เนื่องจากเรามักไม่ทราบรูปแบบการแจกแจงที่แน่นอนของพารามิเตอร์แต่ละตัว ตัวแบบที่นำเสนอในที่นี้กำหนดการแจกแจงเบื้องต้นของพารามิเตอร์แต่ละตัวให้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนสูง โดยให้ความแปรปรวนมีค่า 1000 000 นั่นคือ

$$\alpha, \alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3} \sim \text{Norm}(0, 100\,000)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ ใช้วิธีการของเบย์ซึ่งอาศัยวิธีการเชิงตัวเลขแบบมาร์คอฟ เชน มอนติ คาร์โล (Markov chain Monte Carlo หรือ MCMC) ที่มีสุ่มตัวอย่างแบบ กิบส์ (Gibbs Sampling) โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBUGS และประมวลผล ใน R ด้วยแพคเกจ

R2OpenBUGS การทำงานของ MCMC ประกอบไปด้วยการเขียนการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่อยู่ในการแจกแจงแบบมีเงื่อนไขของโพสทีเรีย แล้วใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ กิบส์ เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว เมื่อ MCMC ลู่เข้าสู่การแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง ก็จะได้ค่าประมาณพารามิเตอร์แต่ละตัว และช่วงความน่าเชื่อถือ (Credible Interval) ของพารามิเตอร์แต่ละตัวนั้น

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

3. การเปรียบเทียบตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์ กับ ตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์ กับ ตัวแบบโลจิสติดส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ว่าแตกต่างกันหรือไม่ การวิเคราะห์ตัวแบบโลจิสติดส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ใช้โปรแกรม SPSS for Windows.

4. การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์

การตรวจสอบความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์ ใช้ การจำลองสถานการณ์ โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBUGS และ R2OpenBUGS เกณฑ์ที่ใช้ประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์คือ ค่าความเอียงเฉสัมพัทธ์ (Relative Bias หรือ RB) (Moineddin *et al*., 2007)

ใช้ค่าประมาณของ $\alpha,\alpha_1,\beta_{m1},...,\beta_{m7},\beta_{w1},...,\beta_{w11},\beta_{s1},\beta_{s2},\beta_{s3}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจริง เป็นค่าจริงของค่าพารามิเตอร์ การจำลองสถานการณ์ มีขั้นตอนดังนี้

1) ใช้ตัวแบบที่นำเสนอวิเคราะห์ข้อมูลจริง นำค่าประมาณพารามิเตอร์ของ $\alpha,\alpha_1,\beta_{m1},...,\beta_{m7},\beta_{w1},...,\beta_{w11},\beta_{s1},\beta_{s2},\beta_{s3}$ มาใช้เป็นค่าจริงของค่าพารามิเตอร์

2) คำนวณค่า P_i จากความสัมพันธ์กับของ $\alpha,\alpha_1,\beta_{m1},...,\beta_{m7},\beta_{w1},...,\beta_{w11},\beta_{s1},\beta_{s2},\beta_{s3}$ กับ Time $M_1,M_2,...,M_7,W_1,W_2,...,W_{11},S_1,S_2,S_3$

3) สร้างค่า Y_i จากการการแจกแจงแบบ เบอร์นูลี ที่มีค่าเฉลี่ย P_i จำนวน 200 ชุดข้อมูล

4) ใช้ตัวแบบที่นำเสนอวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละชุด

5) คำนวณค่าความเอียงเฉสัมพัทธ์ ของพารามิเตอร์แต่ละตัว

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

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

เมื่อ $\bar{\hat{\theta}}_i = \frac{1}{S}\sum_{t=1}^{S} \hat{\theta}_i^t$; S คือจะนวนชุดข้อมูล ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่มีความแม่นยำ ไม่ควรมีค่าเกิน 0.05 (Moineddin *et al*., 2007).

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์ และแบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

ประเมินผลการวิจัย

นำผลการวิจัยที่ได้มาวิเคราะห์ และพิจารณาเพื่อหาข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

สถานที่เก็บรวบรวมข้อมูล

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี

สถานที่ใช้ในการทำวิจัย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งตั้งอยู่ที่ศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ระยะเวลาในการวิจัย

เริ่มตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 สิ้นสุดการวิจัย 30 กันยายน 2557

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลเครื่องจักรผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์บกพร่องและเสีย และเพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์ที่ใช้การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์และตัวแปรใช้ที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล
ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการผลิตชิ้นงานบกพร่อง
การเปรียบเทียบตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์ กับ ตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์
การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์

4.1 สัญลักษณ์และตัวแปรใช้ที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูล คณะผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และตัวแปร ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

Mean หมายถึงค่าเฉลี่ย

B แทนค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้น

S.E. แทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ B

Wald แทนค่าสถิติ Wald

df แทน องศาแห่งอิสระ

Sig. แทน ค่า p-value คือค่าที่ใช้ตรวจสอบการปฏิเสธหรือยอมรับสมมุติฐานหลัก

Exp(B) แทนค่า Odds Ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ Odds โดยที่ Odds คืออัตราส่วนระหว่างโอกาสที่จะเกิดกับโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์เครื่องจักรการทำงานบกพร่อง

Relative Bias หมายถึงค่าการเอียงเฉสัมพัทธ์

4.2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างคือเครื่องจักรจำนวน 312 เครื่อง มีลักษณะทั่วไปดังนี้

1. การทำงานบกพร่อง

จำนวนเครื่องจักรที่ทำงานบกพร่องในช่วงที่ทำการศึกษาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนเครื่องจักรทำงานบกพร่อง

การทำงานของเครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร	ร้อยละ
ทำงานปกติ	158	50.6
ทำงานบกพร่อง	154	49.4
รวม	312	100.0

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเครื่องจักรที่ทำงานปกติ และทำงานบกพร่องมีจำนวนใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 50.6 และ 49.4 ตามลำดับ

2. อายุการใช้งานของเครื่องจักร

อายุการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อายุการใช้งานของเครื่องจักร

ปัจจัย	จำนวน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อายุการใช้งาน	312	2.00	123.00	29.416	27.610

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าอายุการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ย 29.416 เดือน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.610 เดือน

3. ประเภทของเครื่องจักร

จำนวนเครื่องจักรจำแนกตามประเภทแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ชนิดของเครื่องจักร

ชนิดเครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร	ร้อยละ
ชนิดเครื่องจักร 1	7	2.24
ชนิดเครื่องจักร 2	26	8.33
ชนิดเครื่องจักร 3	24	7.69
ชนิดเครื่องจักร 4	30	9.62
ชนิดเครื่องจักร 5	40	12.82
ชนิดเครื่องจักร 6	15	4.81
ชนิดเครื่องจักร 7	41	13.14
ชนิดเครื่องจักร 8	129	41.35
รวม	312	100.00

จากตารางที่ 3 ชนิดเครื่องจักร 8 มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 41.35 รองลงมาคือ ชนิดเครื่องจักร 5 คิดเป็นร้อยละ 12.82 และชนิดเครื่องจักร 1 มีจำนวนน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 2.24

4. กลุ่มคนงาน

กลุ่มคนงาน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 จำนวนกลุ่มคนงาน

กลุ่มคนงาน	จำนวนเครื่องจักร	ร้อยละ
กลุ่มคนงาน 1	40	12.82

ตารางที่ 4 (ต่อ)

กลุ่มคนงาน	จำนวนเครื่องจักร	ร้อยละ
กลุ่มคนงาน 2	6	1.92
กลุ่มคนงาน 3	52	16.67
กลุ่มคนงาน 4	37	11.86
กลุ่มคนงาน 5	43	13.78
กลุ่มคนงาน 6	22	7.05
กลุ่มคนงาน 7	38	12.18
กลุ่มคนงาน 8	9	2.88
กลุ่มคนงาน 9	30	9.62
กลุ่มคนงาน 10	5	1.60
กลุ่มคนงาน 11	30	9.62
รวม	312	100.00

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า กลุ่มคนงาน 3 ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 16.67 รองลงมาคือ กลุ่มคนงาน 5 คิดเป็นร้อยละ 13.78 และกลุ่มคนงาน 10 ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 1.60

5. ขั้นตอนการทำงาน

จำนวนเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	จำนวนเครื่องจักร	ร้อยละ
ขั้นตอนการทำงาน 1	90	28.85
ขั้นตอนการทำงาน 2	81	25.96
ขั้นตอนการทำงาน 3	66	21.15
ขั้นตอนการทำงาน 4	75	24.04
รวม	312	100.00

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า ขั้นตอนการทำงาน 1 ใช้เครื่องจักรจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 28.85 รองลงมาคือ ขั้นตอนการทำงาน 2 คิดเป็นร้อยละ 25.96 และขั้นตอนการทำงาน 4 ใช้เครื่องจักรจำนวนน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 21.15

4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการผลิตชิ้นงานบกพร่อง

ตัวแบบที่ใช้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของของการผลิตชิ้นงานบกพร่องของการผลิตชิ้นงานบกพร่องคือตัวแบบ การถดถอยโลจิสติก ซึ่งมีลักษณะดังนี้

ให้ Y_i, i=1,2,3,...,132 แทนค่าสังเกต 0 และ1

เมื่อ 1 แทนเครื่องจักร i ทำงานบกพร่อง ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

0 แทนเครื่องจักร i ทำงานปกติ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

Y_i การแจกแจงแบบเบอร์นูลี (Bernoulli) หรือ $Y_i \sim \text{Bern}(P_i)$ โดยที่ $P(Y_i = 1) = P_i$ โดยที่

$$P_i = \frac{e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}}{1+e^{(\alpha+\alpha_1 \text{Time}+\beta_{m1}M_{i1}+\beta_{m2}M_{i2}+\cdots+\beta_{m7}M_{i7}+\beta_{w1}W_{i1}+\beta_{w2}W_{i2}+\cdots+\beta_{w11}W_{i11}+\beta_{S1}S_{i1}+\beta_{S2}S_{i12}+\beta_{S3}S_{i3})}}$$

เมื่อ $P(Y=1)$ หมายถึง ความน่าจะเป็นหรือความเสี่ยงที่จะเกิดจะเกิดสินค้าบกพร่อง

Time หมายถึง ปัจจัยด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร

$M_1, M_2, ..., M_7$ หมายถึง ปัจจัยด้านชนิดของเครื่องจักร ชนิดที่ 1 ถึงชนิดที่ 7 โดยที่ M_8 เป็นกลุ่มอ้างอิง

$W_1, W_2, ..., W_{11}$ หมายถึง ปัจจัยด้าน กลุ่มคนงาน กลุ่มที่ 1 ถึง กลุ่มที่ 11 โดยที่ W_{12} เป็นกลุ่มอ้างอิง

S_1, S_2, S_3 หมายถึง ปัจจัยด้านขั้นตอนการทำงาน โดยที่

$\alpha, \alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3}$ หมายถึง สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression Coefficients)

α แสดงขนาดของอิทธิพลที่มีต่อความเสี่ยงของการผลิตสินค้าบกพร่อง โดยธรรมชาติ เมื่อไม่มีปัจจัยใดๆ เกี่ยวข้อง

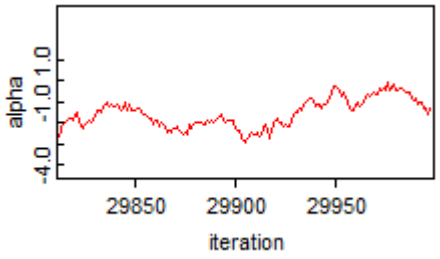
$\alpha_1, \beta_{m1}, ..., \beta_{m7}, \beta_{w1}, ..., \beta_{w11}, \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s3}$ แสดงขนาดของอิทธิพลของปัจจัย $M_1, M_2, ..., M_7, W_1, W_2, ..., W_{11}, S_1, S_2, S_3$ มีต่อความเสี่ยงความเสี่ยงของการผลิตสินค้าบกพร่องตามลำดับ

1. ผลการตรวจสอบความลู่เข้าของ MCMC

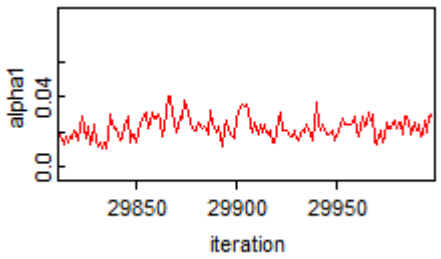
ผลการตรวจสอบความลู่เข้าของ MCMC โดยพิจารณาจากกราฟของ Trace, Kernel Density, History และ Autocorrelation พบว่า MCMC ลู่เข้าสู่การแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง เมื่อมีการสุ่มตัวอย่าง แบบกิบส์ จำนวน 30,000 รอบ โดยตัด 10,000 รอบแรกทิ้ง

1.1 Trace plot

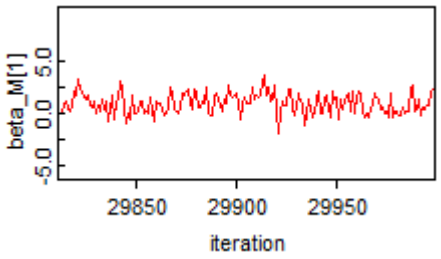
Trace plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 1 ถึง ภาพที่ 22



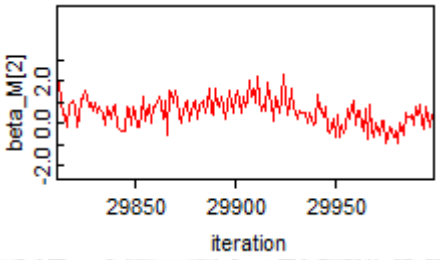
ภาพที่ 1 Trace plot ของ α



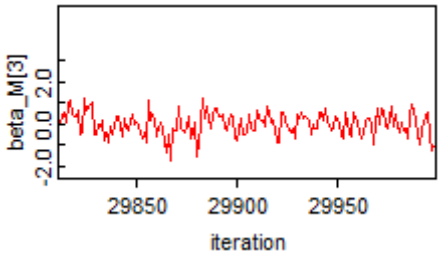
ภาพที่ 2 Trace plot ของ α_1



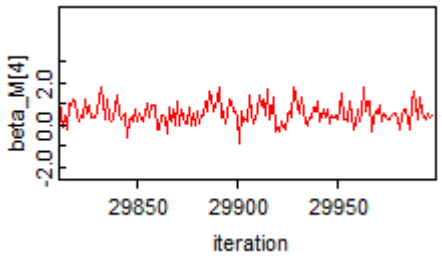
ภาพที่ 3 Trace plot ของ β_{m1}



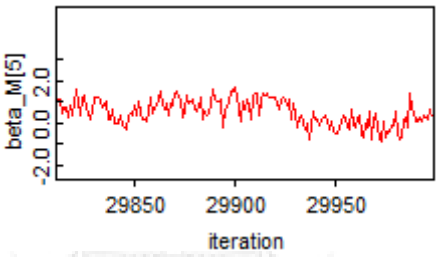
ภาพที่ 4 Trace plot ของ β_{m2}



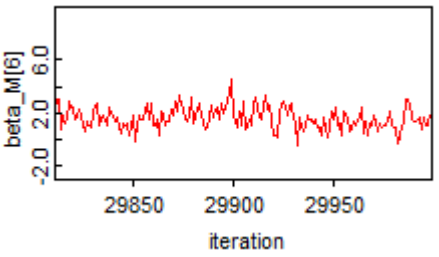
ภาพที่ 5 Trace plot ของ β_{m3}



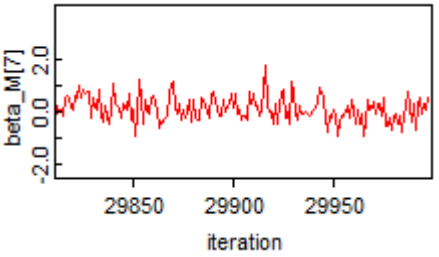
ภาพที่ 6 Trace plot ของ β_{m4}



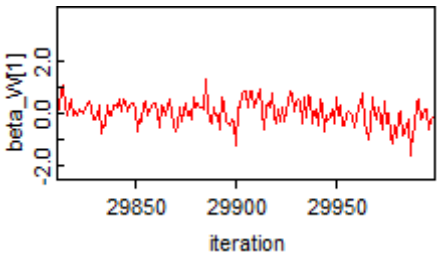
ภาพที่ 7 Trace plot ของ β_{m5}



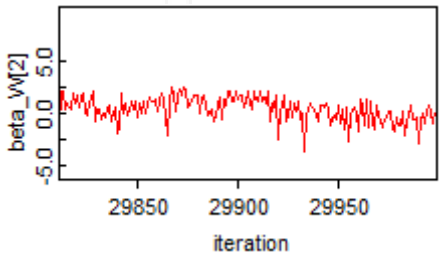
ภาพที่ 8 Trace plot ของ β_{m6}



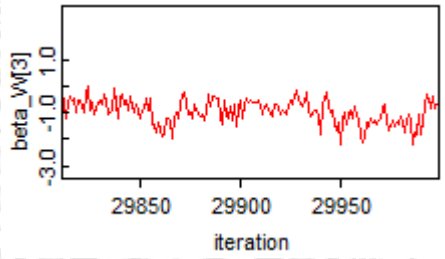
ภาพที่ 9 Trace plot ของ β_{m7}



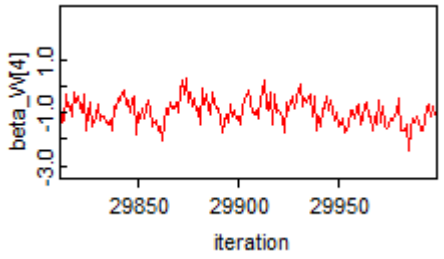
ภาพที่ 10 Trace plot ของ β_{w1}



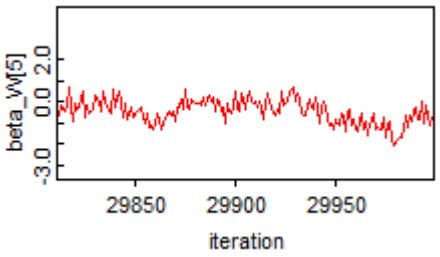
ภาพที่ 11 Trace plot ของ β_{w2}



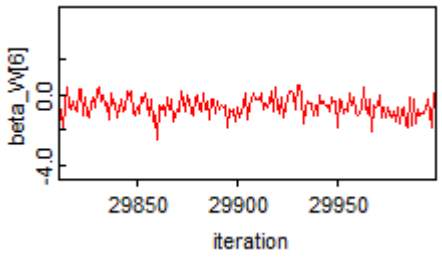
ภาพที่ 12 Trace plot ของ β_{w3}



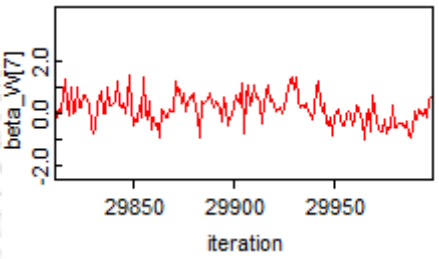
ภาพที่ 13 Trace plot ของβ_{w4}



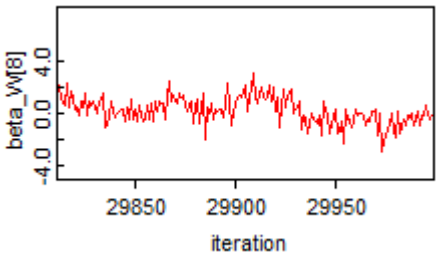
ภาพที่ 14 Trace plot ของ β_{w5}



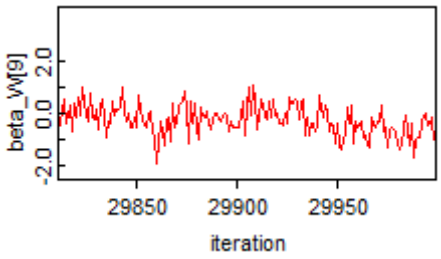
ภาพที่ 15 Trace plot ของ β_{w6}



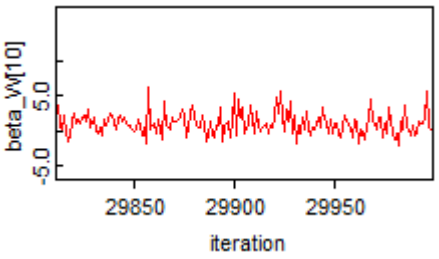
ภาพที่ 16 Trace plot ของ β_{w7}



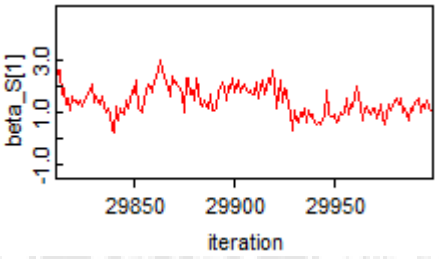
ภาพที่ 17 Trace plot ของ β_{w8}



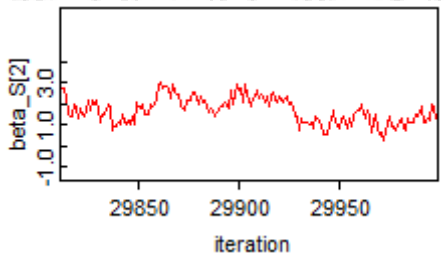
ภาพที่ 18 Trace plot ของ β_{w9}



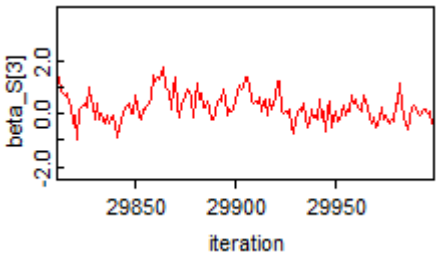
ภาพที่ 19 Trace plot ของ β_{w10}



ภาพที่ 20 Trace plot ของ β_{s1}



ภาพที่ 21 Trace plot ของ β_{s2}

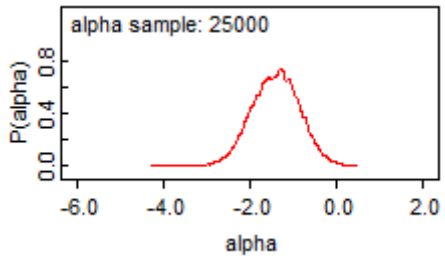


ภาพที่ 22 Trace plot ของ β_{s3}

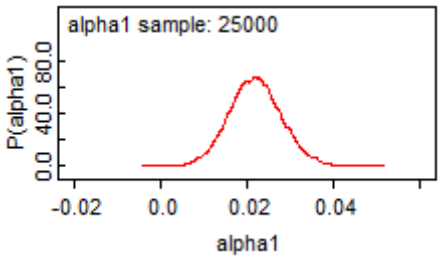
Trace plot ในภาพที่ 1- ภาพที่ 22 ไม่แสดงว่ามีแนวโน้มเกิดขึ้น แสดงถึงการลู่เข้าของ MCMC สำหรับพารามิเตอร์, $\lambda_0, \lambda_1, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$

1.2 Kernel density plot

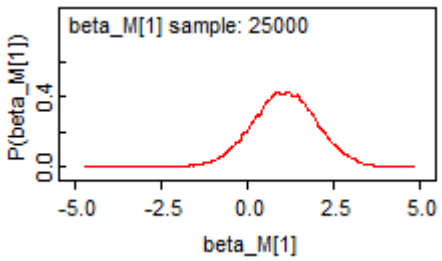
Kernel density plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 23 ถึง ภาพที่10



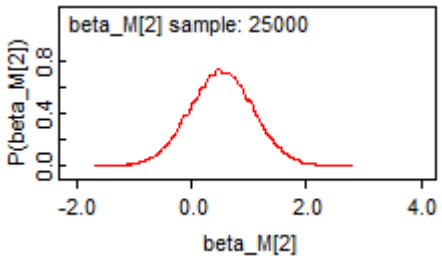
ภาพที่23 Kernel density plot ของ α



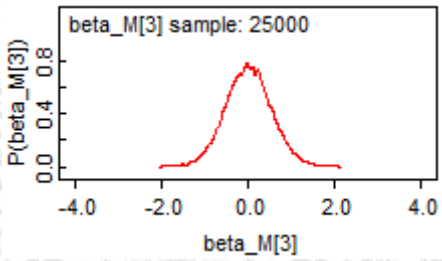
ภาพที่24 Kernel density plot ของ α_1



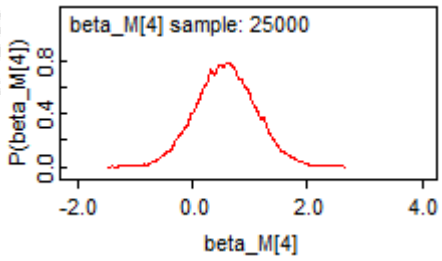
ภาพที่25 Kernel density plot ของ β_{m1}



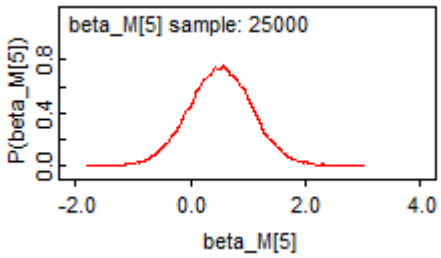
ภาพที่26 Kernel density plot ของ β_{m2}



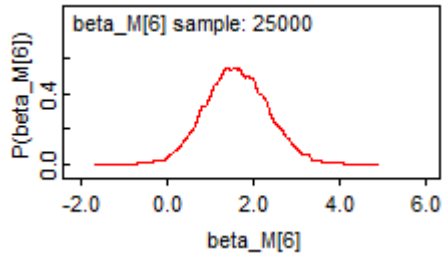
ภาพที่27 Kernel density plot ของ β_{m3}



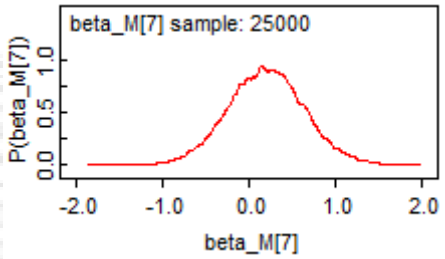
ภาพที่28 Kernel density plot ของ β_{m4}



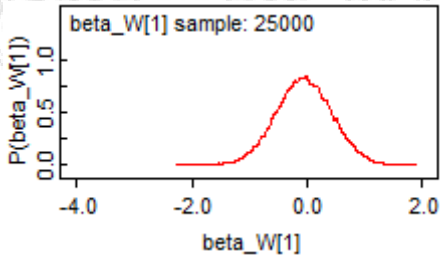
ภาพที่29 Kernel density plot ของ β_{m5}



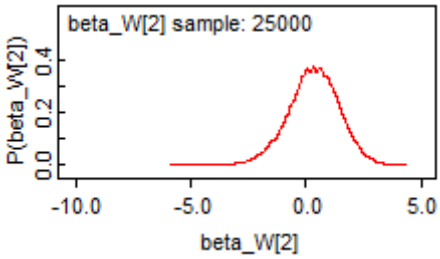
ภาพที่30 Kernel density plot ของ β_{m6}



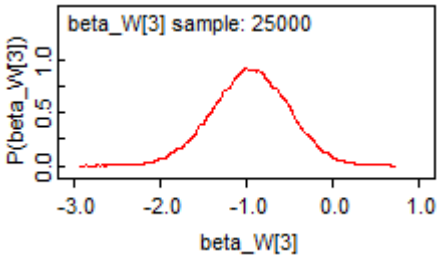
ภาพที่31 Kernel density plot ของ β_{m7}



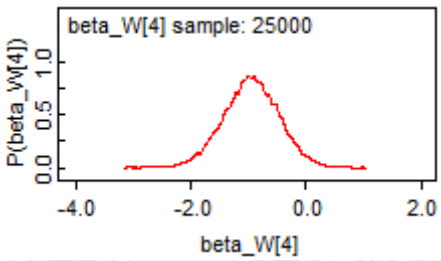
ภาพที่32 Kernel density plot ของ β_{w1}



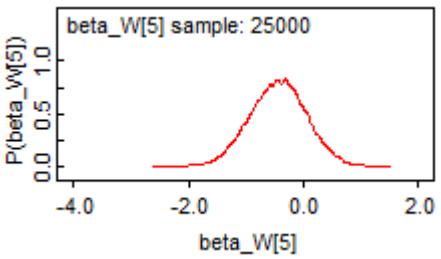
ภาพที่33 Kernel density plot ของ β_{w2}



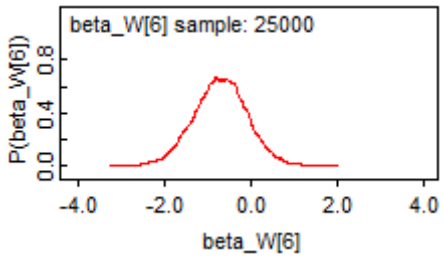
ภาพที่34 Kernel density plot ของ β_{w3}



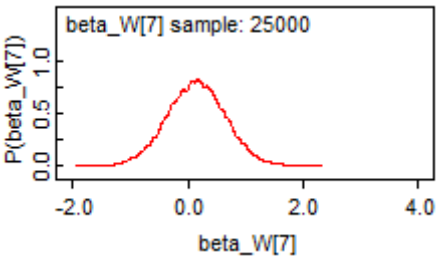
ภาพที่35 Kernel density plot ของ β_{w4}



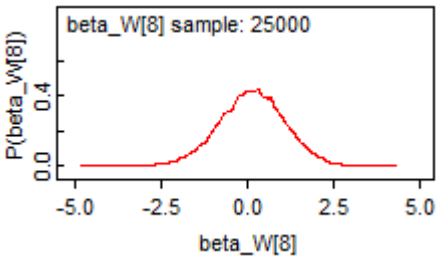
ภาพที่36 Kernel density plot ของ β_{w5}



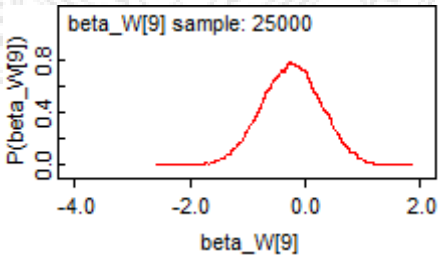
ภาพที่37 Kernel density plot ของ β_{w6}



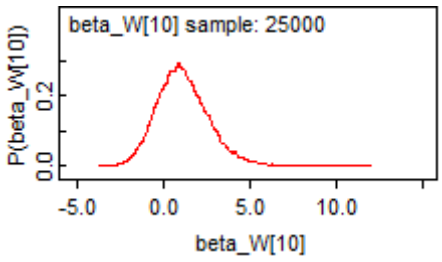
ภาพที่38 Kernel density plot ของ β_{w7}



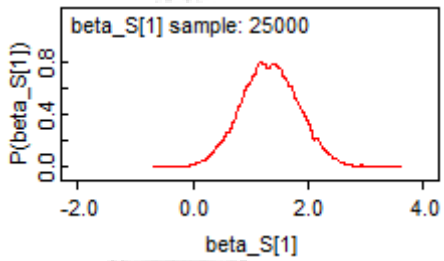
ภาพที่39 Kernel density plot ของ β_{w8}



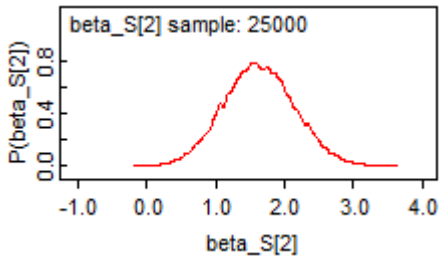
ภาพที่ 40 Kernel density plot ของ β_{w9}



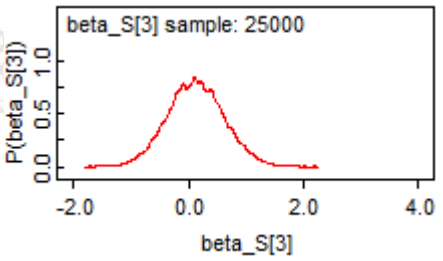
ภาพที่41 Kernel density plot ของ β_{w10}



ภาพที่42 Kernel density plot ของ β_{s1}



ภาพที่43 Kernel density plot ของ β_{s2}

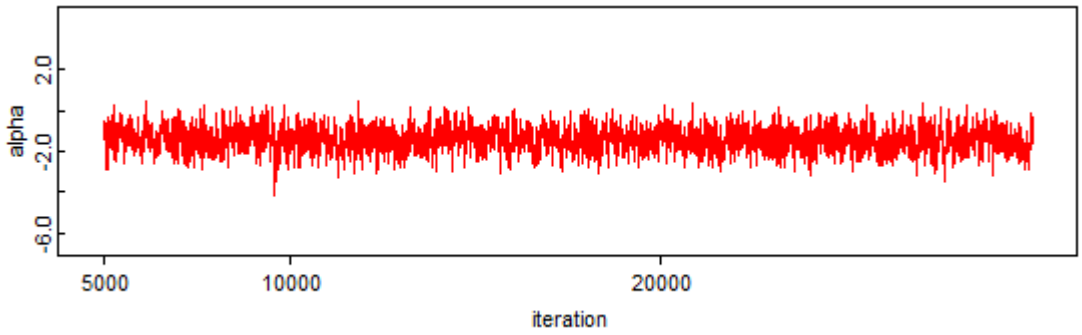


ภาพที่44 Kernel density plot ของ β_{s3}

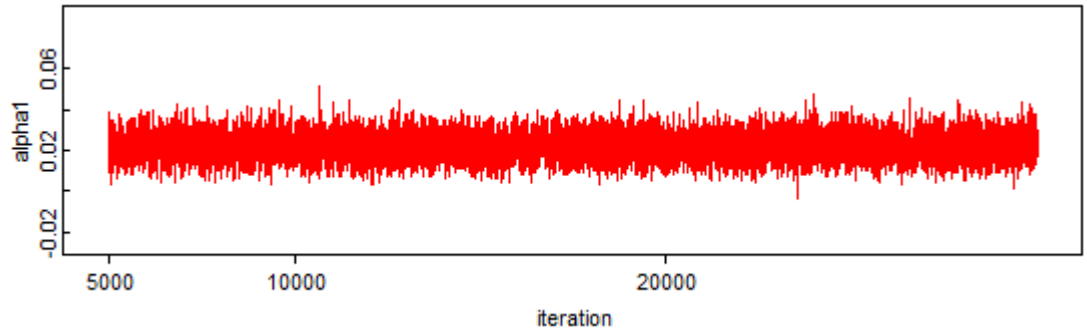
Kernel density ในภาพที่ 23 - ภาพที่ 44 มีลักษณะเป็นโค้งเรียบไม่ขรุขระ สูงๆ ต่ำๆ หรือเป็นโค้งสองยอด แสดงให้เห็นว่า MCMC ลู่เข้าหาการแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง

1.3 History plot

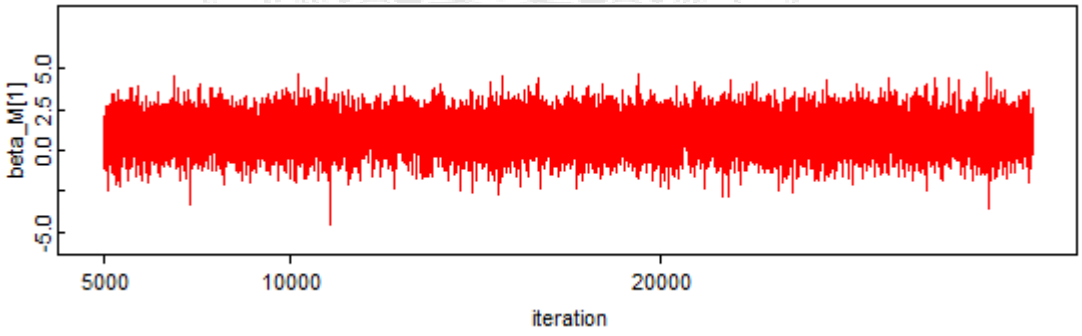
History plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 45 ถึง ภาพที่ 66



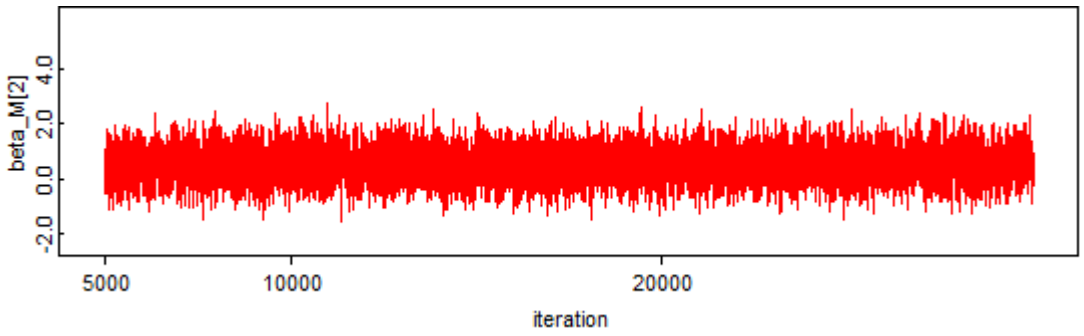
ภาพที่ 45 History plot ของ α



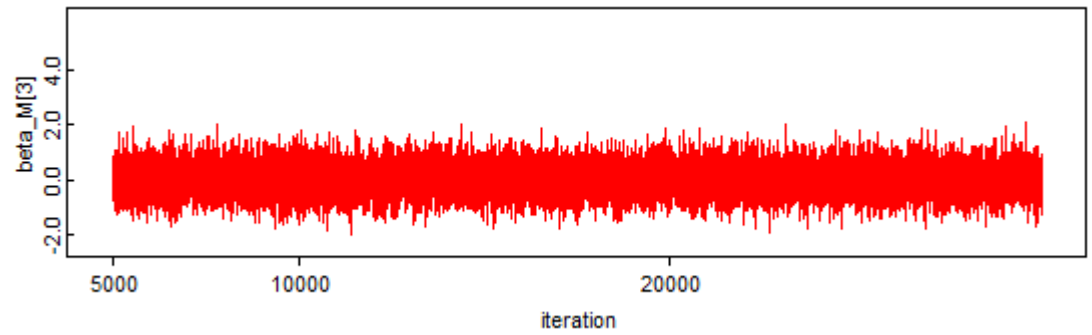
ภาพที่ 46 History plot ของ α_1



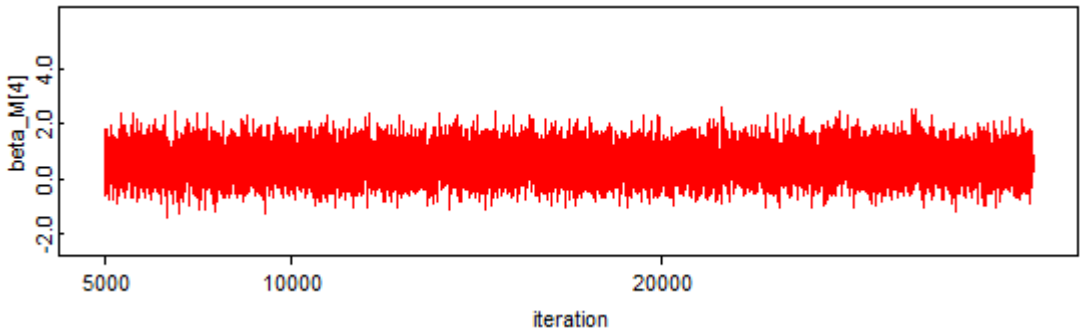
ภาพที่ 47 History plot ของ β_{m1}



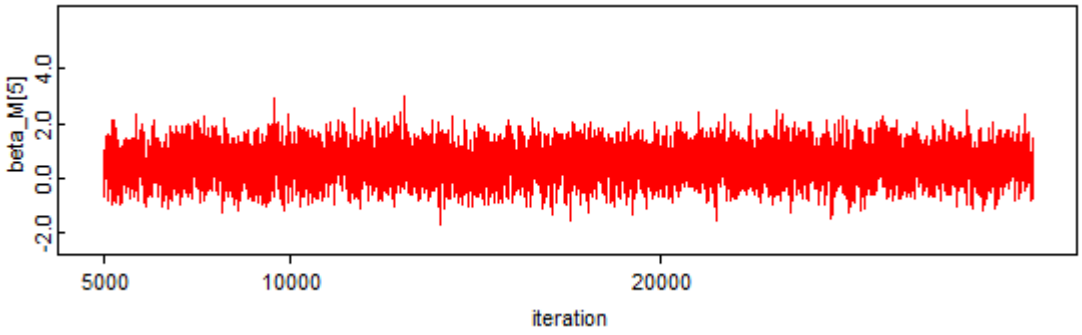
ภาพที่ 48 History plot ของ β_{m2}



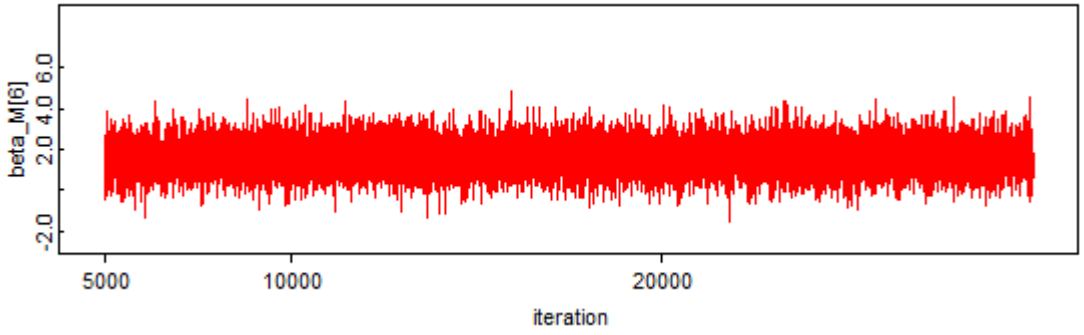
ภาพที่ 49 History plot ของ β_{m3}



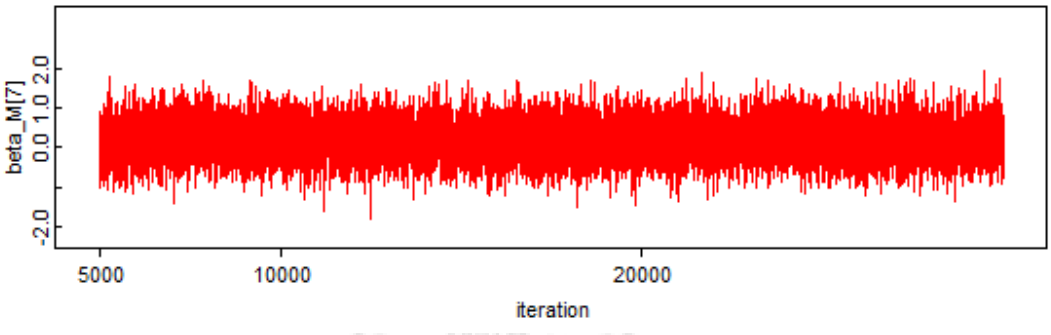
ภาพที่ 50 History plot ของ β_{m4}



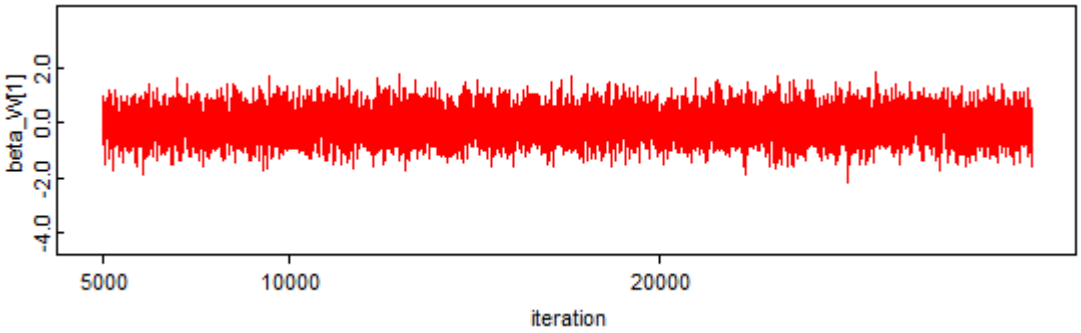
ภาพที่ 51 History plot ของ β_{m5}



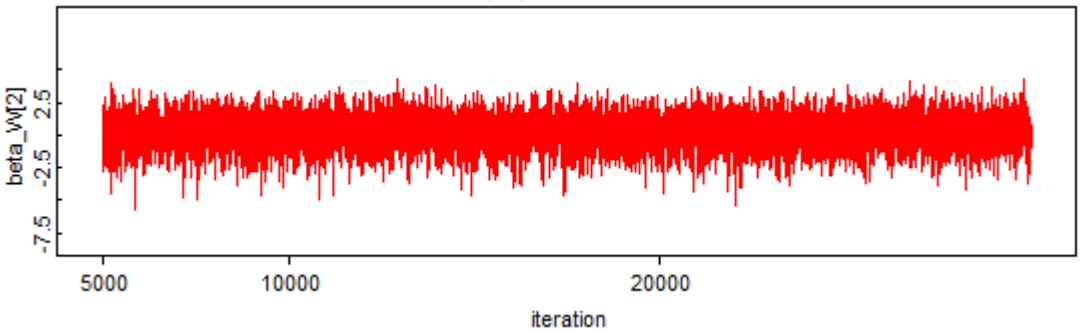
ภาพที่ 52 History plot ของ β_{m6}



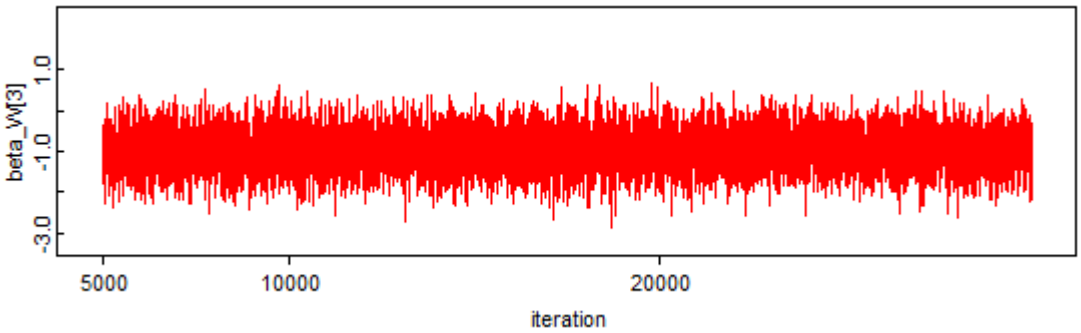
ภาพที่ 53 History plot ของ β_{m7}



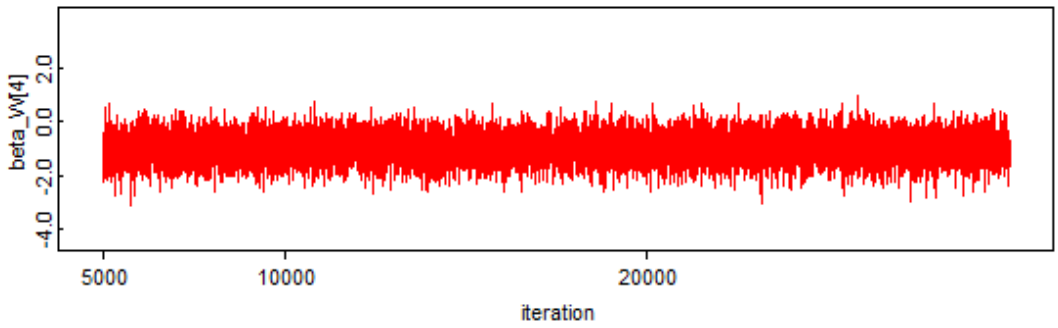
ภาพที่ 54 History plot ของ β_{w1}



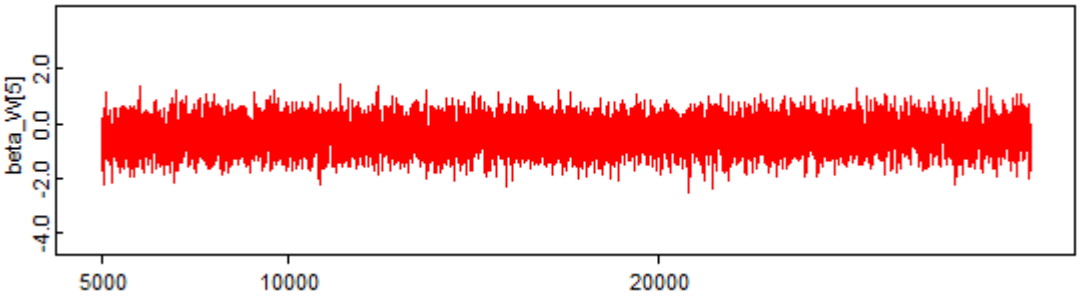
ภาพที่ 55 History plot ของ β_{w2}



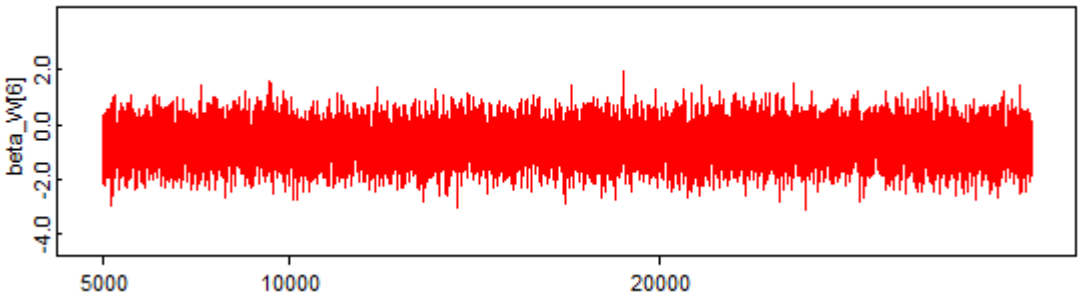
ภาพที่ 56 History plot ของ β_{w3}



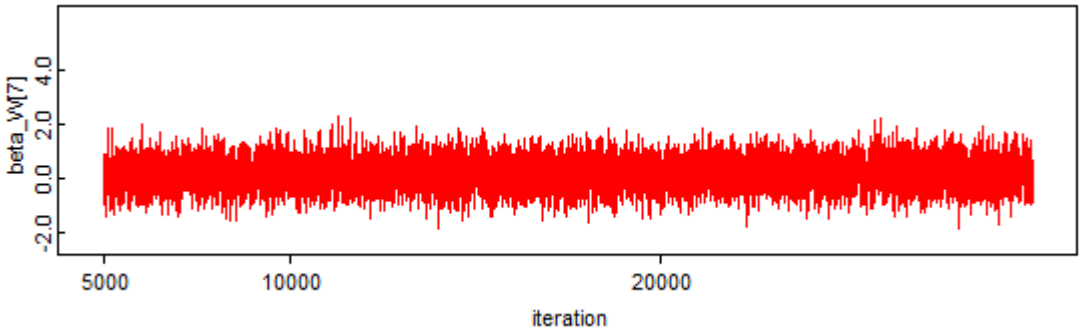
ภาพที่ 57 History plot ของ β_{w4}



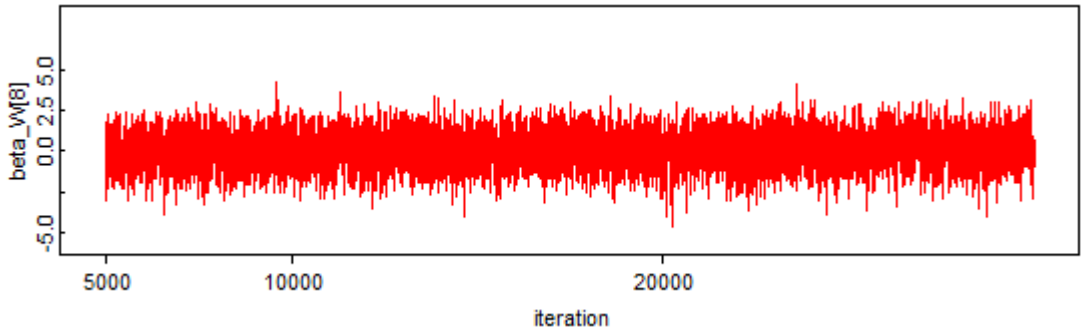
ภาพที่ 58 History plot ของ β_{w5}



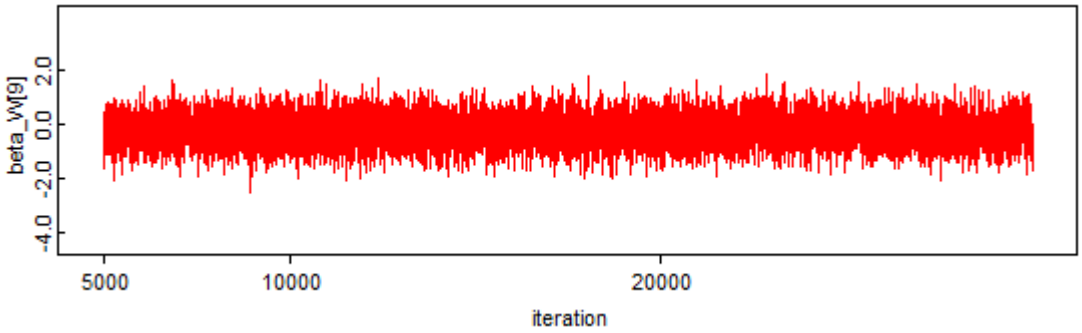
ภาพที่ 59 History plot ของ β_{w6}



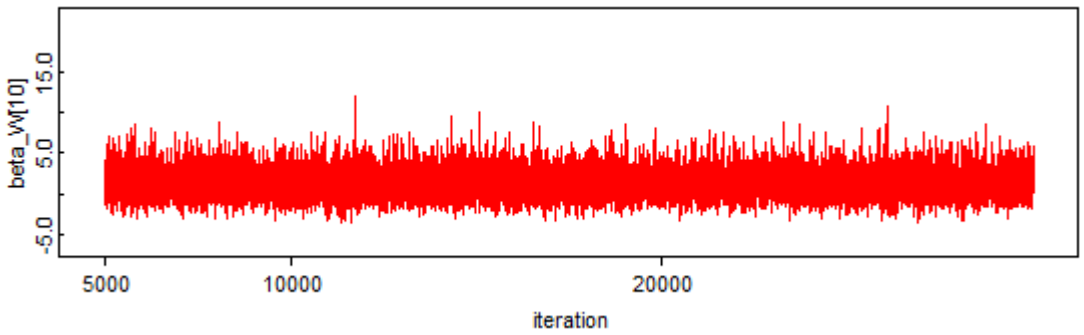
ภาพที่ 60 History plot ของ β_{w7}



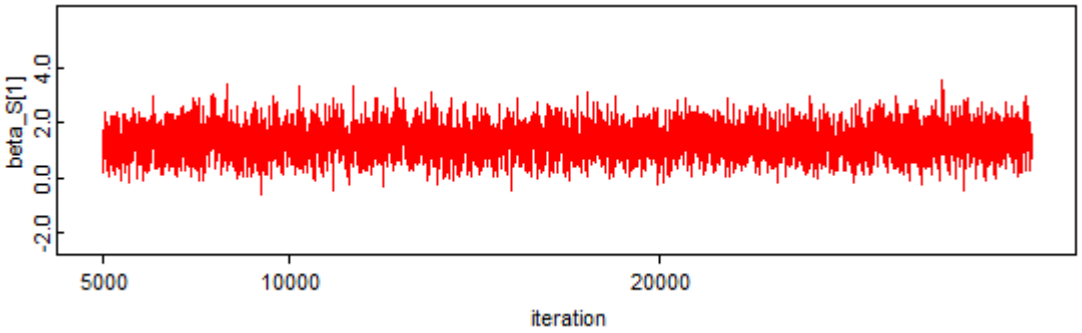
ภาพที่ 61 History plot ของ β_{w8}



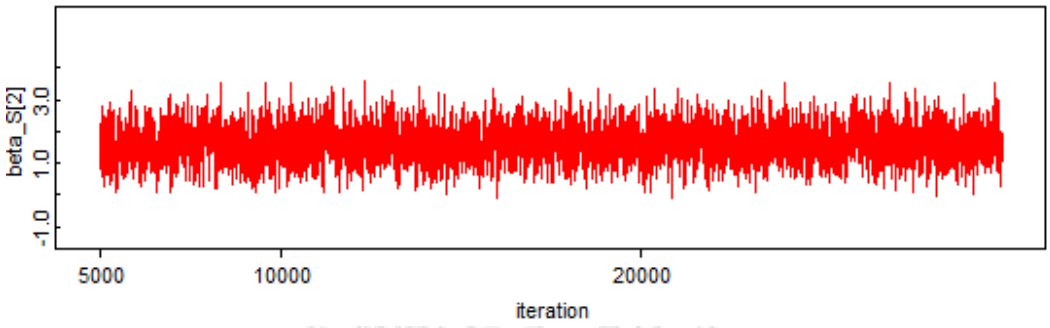
ภาพที่ 62 History plot ของ β_{w9}



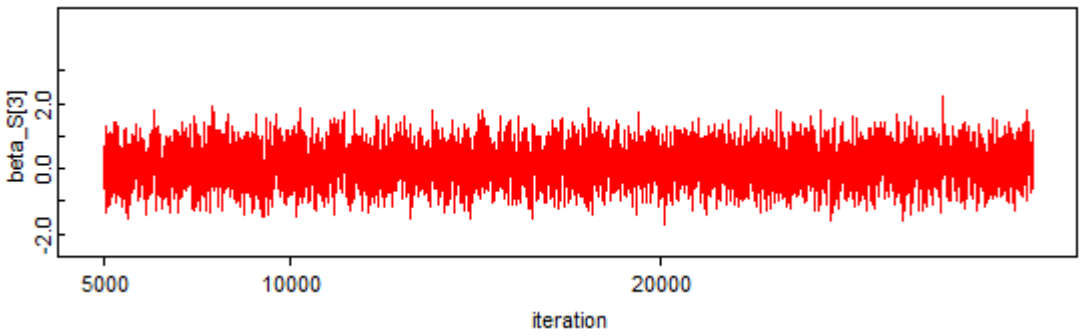
ภาพที่ 63 History plot ของ β_{w10}



ภาพที่ 64 History plot ของ β_{s1}



ภาพที่ 65 History plot ของ β_{s2}

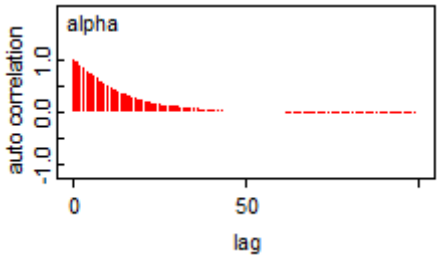


ภาพที่ 66 History plot ของ β_{s3}

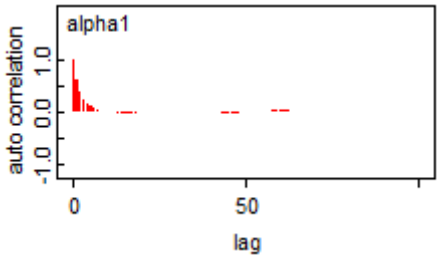
History plot ในภาพที่ 45- ภาพที่ 66 มีลักษณะเป็นแนวตรง แสดงให้เห็นว่า MCMC ลู่เข้าหาการแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง

1.4 Autocorrelation plot

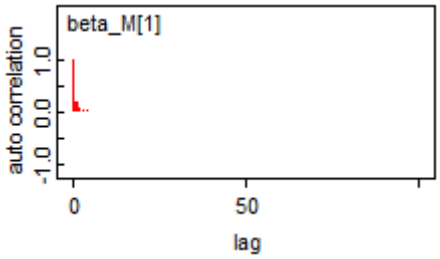
Autocorrelation plot ของพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงในภาพที่ 67 ถึง ภาพที่ 85



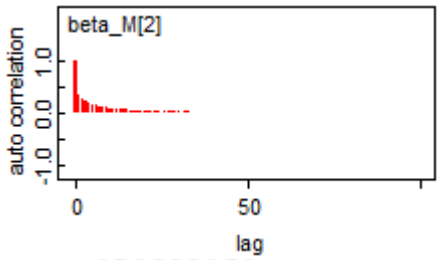
ภาพที่ 67 Autocorrelation plot ของ α



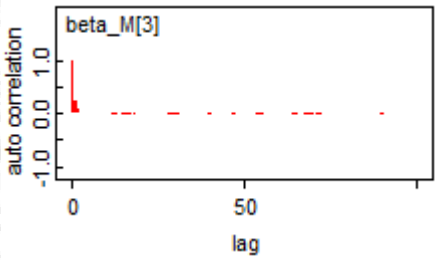
ภาพที่ 68 Autocorrelation plot ของ α_1



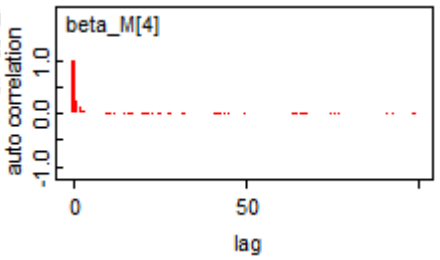
ภาพที่ 69 Autocorrelation plot ของ β_{m1}



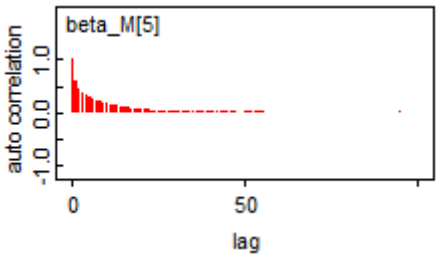
ภาพที่ 70 Autocorrelation plot ของ β_{m2}



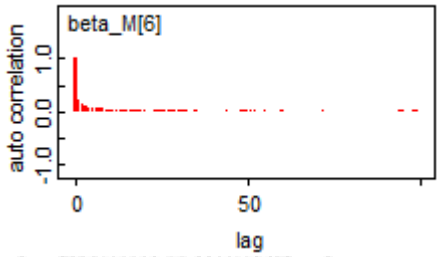
ภาพที่ 71 Autocorrelation plot ของ β_{m3}



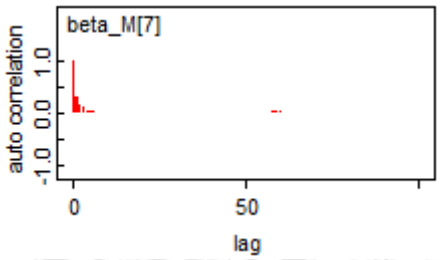
ภาพที่ 72 Autocorrelation plot ของ β_{m4}



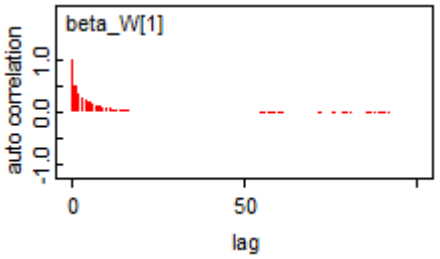
ภาพที่ 73 Autocorrelation plot ของ β_{m5}



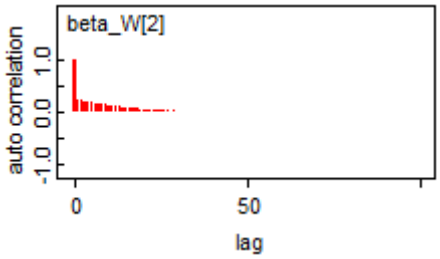
ภาพที่ 74 Autocorrelation plot ของ β_{m6}



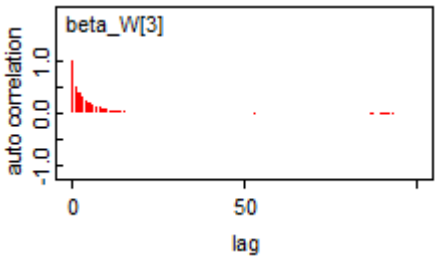
ภาพที่ 75 Autocorrelation plot ของ β_{m7}



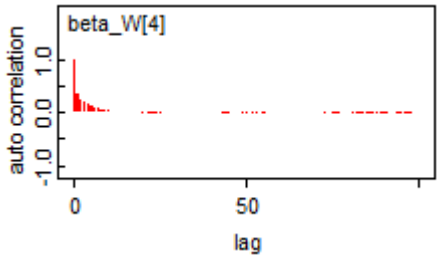
ภาพที่ 76 Autocorrelation plot ของ β_{w1}



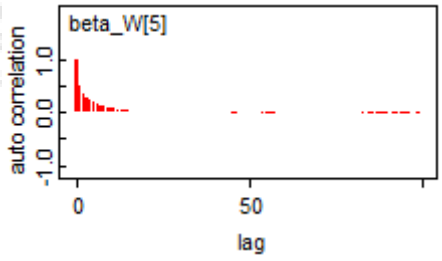
ภาพที่ 77 Autocorrelation plot ของ β_{w2}



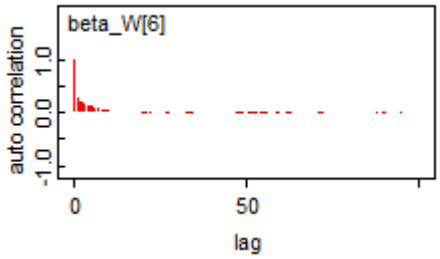
ภาพที่ 78 Autocorrelation plot ของ β_{w3}



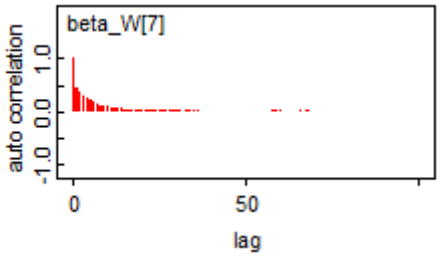
ภาพที่ 79 Autocorrelation plot ของ β_{w4}



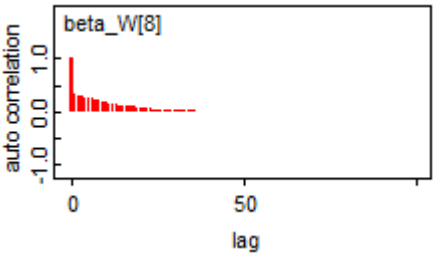
ภาพที่ 80 Autocorrelation plot ของ β_{w5}



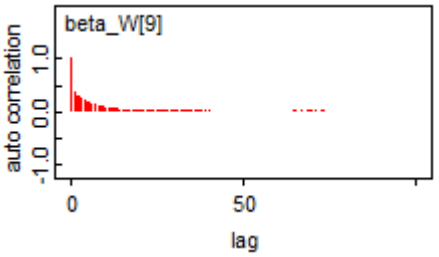
ภาพที่ 81 Autocorrelation plot ของ β_{w6}



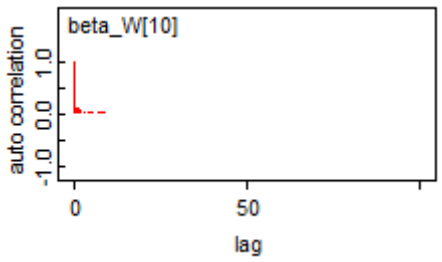
ภาพที่ 82 Autocorrelation plot ของ β_{w7}



ภาพที่ 83 Autocorrelation plot ของ β_{w8}



ภาพที่ 84 Autocorrelation plot ของ β_{w9}



ภาพที่ 85 Autocorrelation plot ของ β_{w10}

Autocorrelation plot ในภาพที่ 67 ภาพที่ 85 มีลักษณะลดลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีความสัมพันธ์กันหลัง lag ที่ 50 แสดงให้เห็นว่า MCMC ลู่เข้าหาการแจกแจงใดการแจกแจงหนึ่ง

2. ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบโลจิสติกส์แบบเบย์

ค่าประมาณค่าพารามิเตอร์ $\alpha,\alpha_1,\beta_{m1},\ldots,\beta_{m7},\beta_{w1},\ldots,\beta_{w11},\beta_{s1},\beta_{s2},\beta_{s3}$ ในตัวแบบโลจิสติกส์แบบเบย์ โดยการเขียนโปรแกรมใน OpenBUGS แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบโลจิสติกส์แบบเบย์

พารามิเตอร์	Mean	S.E.	95% Credible Interval		Exp(Mean)
α (ค่าคงที่)	0.022	0.006	0.010	0.034	1.022
α_1 (อายุการใช้งาน)	-1.414	0.546	**-2.484**	**-0.371**	0.243
β_{m1} (ชนิดเครื่องจักร 1)	1.070	0.943	-0.805	2.913	2.915
β_{m2} (ชนิดเครื่องจักร 2)	0.524	0.556	-0.568	1.620	1.689
β_{m3} (ชนิดเครื่องจักร 3)	0.004	0.527	-1.019	1.056	1.004
β_{m4} (ชนิดเครื่องจักร 4)	0.582	0.517	-0.417	1.623	1.790
β_{m5} (ชนิดเครื่องจักร 5)	0.526	0.537	-0.526	1.582	1.692
β_{m6} (ชนิดเครื่องจักร 6)	1.625	0.727	**0.240**	**3.077**	5.078
β_{m7} (ชนิดเครื่องจักร 7)	0.196	0.439	-0.665	1.068	1.217
β_{w1} (กลุ่มคนงาน 1)	-0.046	0.488	-0.997	0.914	0.955
β_{w2} (กลุ่มคนงาน 2)	0.329	1.105	-1.966	2.394	1.389
β_{w3} (กลุ่มคนงาน 3)	-0.959	0.441	**-1.844**	**-0.102**	0.383
β_{w4} (กลุ่มคนงาน 4)	-0.956	0.481	**-1.921**	**-0.018**	0.385
β_{w5} (กลุ่มคนงาน 5)	-0.434	0.488	-1.388	0.512	0.648

ตารางที่ 6 (ต่อ)

พารามิเตอร์	Mean	S.E.	95% Credible Interval		Exp(Mean)
β_{w6} (กลุ่มคนงาน 6)	-0.693	0.601	-1.878	0.480	0.500
β_{w7} (กลุ่มคนงาน 7)	0.151	0.502	-0.835	1.134	1.163
β_{w8} (กลุ่มคนงาน 8)	0.144	0.948	-1.769	1.967	1.155
β_{w9} (กลุ่มคนงาน 9)	-0.231	0.516	-1.246	0.770	0.794
β_{w10} (กลุ่มคนงาน 10)	1.161	1.535	-1.510	4.592	3.193
β_{s1} (ขั้นตอนการผลิต 1)	1.343	0.498	**0.386**	**2.331**	3.831
β_{s2} (ขั้นตอนการผลิต 2)	1.638	0.514	**0.658**	**2.667**	5.145
β_{s3} (ขั้นตอนการผลิต 3)	0.130	0.489	-0.822	1.106	1.138

จากตารางที่ 6 พบว่าช่วงความน่าเชื่อถือ (Credible interval) 95% ของ $\alpha_1,\beta_{m6},\beta_{w3},\beta_{w4},\beta_{s1},\beta_{s2}$ ไม่มี 0 อยู่แสดงว่าปัจจัย อายุการใช้งาน เครื่องจักรชนิดที่ 6 คนงานกลุ่มที่ 3 และที่ 4 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 และที่ 2 มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงในการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย นอกนั้นช่วงความน่าเชื่อถือ 95% มี 0 อยู่ แสดงว่าไม่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงความของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย

เมื่อเครื่องจักรมีอายุการใช้งานมากขึ้น 1 เดือนจะมีความเสี่ยงในการผลิตสินค้าบกพร่องและเสียเพิ่มขึ้น 2.2 % เครื่องจักรชนิดที่ 6 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าเครื่องจักรชนิดที่ 8 อยู่ 4.078 เท่า คนงานกลุ่มที่ 3 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียน้อยกว่าคนงานกลุ่มที่ 12 อยู่ 61.7% กลุ่มที่ 4 ความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียน้อยกว่าคนงานกลุ่มที่ 12 อยู่ 61.5% ขั้นตอนการทำงานที่ 1 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าขั้นตอนการทำงานที่ 4 อยู่ 2.831 เท่า และ ขั้นตอนการทำงานที่ 2 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าขั้นตอนการทำงานที่ 4 อยู่ 13.8%

4.4 การเปรียบเทียบตัวแบบโลจิสติดส์แบบเบย์ กับ ตัวแบบโลจิสติดส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบโลจิสติกส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุดแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าประมาณพารามิเตอร์ในตัวแบบโลจิสติกส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

พารามิเตอร์	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
α (ค่าคงที่)	-1.309	0.539	5.893	1	0.015	0.2700
α_1 (อายุการใช้งาน)	0.020	0.006	12.188	1	**0.000**	1.0202
β_{m1} (ชนิดเครื่องจักร 1)	1.009	0.876	1.328	1	0.249	2.7433

ตารางที่ 7 (ต่อ)

พารามิเตอร์	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
β_{m2} (ชนิดเครื่องจักร 2)	0.481	0.541	0.791	1	0.374	1.6180
β_{m3} (ชนิดเครื่องจักร 3)	0.000	0.511	0.000	1	0.999	1.0003
β_{m4} (ชนิดเครื่องจักร 4)	0.524	0.499	1.105	1	0.293	1.6893
β_{m7} (ชนิดเครื่องจักร 7)	0.187	0.424	0.195	1	0.659	1.2061
β_{w1} (กลุ่มคนงาน 1)	-0.039	0.470	0.007	1	0.934	0.9619
β_{w2} (กลุ่มคนงาน 2)	0.382	1.014	0.142	1	0.707	1.4648
β_{w3} (กลุ่มคนงาน 3)	-0.877	0.432	4.125	1	**0.042**	0.4162
β_{w4} (กลุ่มคนงาน 4)	-0.881	0.466	3.578	1	**0.049**	0.4143
β_{w5} (กลุ่มคนงาน 5)	-0.395	0.478	0.683	1	0.409	0.6737
β_{w6} (กลุ่มคนงาน 6)	-0.632	0.583	1.174	1	0.279	0.5315
β_{w7} (กลุ่มคนงาน 7)	0.154	0.490	0.099	1	0.752	1.1670
β_{w8} (กลุ่มคนงาน 8)	0.179	0.898	0.040	1	0.842	1.1962
β_{w9} (กลุ่มคนงาน 9)	-0.198	0.502	0.156	1	0.693	0.8204
β_{w10} (กลุ่มคนงาน 10)	0.775	1.292	0.360	1	0.549	2.1699
β_{s1} (ขั้นตอนการผลิต 1)	1.244	0.485	6.568	1	**0.010**	3.4681
β_{s2} (ขั้นตอนการผลิต 2)	1.515	0.505	8.995	1	**0.003**	4.5515
β_{s3} (ขั้นตอนการผลิต 3)	0.111	0.474	0.054	1	0.815	1.1171

จากตารางที่ 7 ค่าประมาณพารามิเตอร์ตัวแบบโลจิสติกส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุดกับค่าประมาณพารามิเตอร์ตัวแบบโลจิสติกส์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการผลิตชิ้นงานบกพร่องและเสีย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พิจารณาจาค่า p-value หรือ sig ที่มีค่าน้อยกว่า 0.5 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการผลิตสินค้างานบกพร่องและเสีย คือ อายุการใช้งาน เครื่องจักรชนิดที่ 6 คนงานกลุ่มที่ 3 และที่ 4 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 และที่ 2 ตรงกับที่พบในตัวแบบโลจิสติกส์แบบเบย์

4.5 การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์

การประเมินความแม่นยำของค่าประมาณพารามิเตอร์โดยใช้การจำลองสถาการณ์ และใช้เกณฑ์การเอียงเฉสัมพัทธ์ จากการสร้างข้อมูล 200 ชุด คำนวณค่า การเอียงเฉสัมพัทธ์ (Relative Bias) ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าการเอียงเฉสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	Mean	Relative Bias
α (ค่าคงที่)	0.022	0.036
α_1 (อายุการใช้งาน)	-1.414	0.043
β_{m1} (ชนิดเครื่องจักร 1)	1.070	0.026
β_{m2} (ชนิดเครื่องจักร 2)	0.524	0.027
β_{m3} (ชนิดเครื่องจักร 3)	0.004	0.017
β_{m4} (ชนิดเครื่องจักร 4)	0.582	0.037
β_{m5} (ชนิดเครื่องจักร 5)	0.526	0.027
β_{m6} (ชนิดเครื่องจักร 6)	1.625	0.039
β_{m7} (ชนิดเครื่องจักร 7)	0.196	0.038
β_{w1} (กลุ่มคนงาน 1)	-0.046	0.025
β_{w2} (กลุ่มคนงาน 2)	0.329	0.041
β_{w3} (กลุ่มคนงาน 3)	-0.959	0.041
β_{w4} (กลุ่มคนงาน 4)	-0.956	0.028
β_{w5} (กลุ่มคนงาน 5)	-0.434	0.001
β_{w6} (กลุ่มคนงาน 6)	-0.693	0.002
β_{w7} (กลุ่มคนงาน 7)	0.151	0.038
β_{w8} (กลุ่มคนงาน 8)	0.144	0.016
β_{w9} (กลุ่มคนงาน 9)	-0.231	1.035
β_{w10} (กลุ่มคนงาน 10)	1.161	0.038
β_{s1} (ขั้นตอนการผลิต 1)	1.343	0.044
β_{s2} (ขั้นตอนการผลิต 2)	1.638	0.029
β_{s3} (ขั้นตอนการผลิต 3)	0.130	0.036

จากตารางที่ 8 พบว่า ค่าประมาณพารามิเตอรีมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของค่าพารามิเตอร์ ค่าการเอียงเฉสัมพัทธ์ทุกค่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าประมาณพารามิเตอร์มีความแม่นยำสูง

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ ประยุกต์ใช้ตัวแบบที่นำเสนอกับข้อมูลเครื่องจักรผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์บกพร่องและเสีย และเพื่อเปรียบเทียบตัวแบบที่นำเสนอกับตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์ที่ใช้การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

เครื่องจักรที่ทำงานปกติ และทำงานบกพร่องมีจำนวนใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 50.6 และ 49.4 ตามลำดับ อายุการใช้งานเครื่องจักรเฉลี่ย 29.416 เดือน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.610 เดือน ชนิดเครื่องจักร 8 มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 41.35 กลุ่มคนงาน 3 ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 16.67 ขั้นตอนการทำงาน 1 ใช้เครื่องจักรจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 28.85

ปัจจัย อายุการใช้งาน เครื่องจักรชนิดที่ 6 คนงานกลุ่มที่ 3 และที่ 4 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 และที่ 2 มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงในการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย นอกนั้นไม่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย เมื่อเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานมากขึ้น 1 เดือนจะมีความเสี่ยงในการผลิตสินค้าบกพร่องและเสียเพิ่มขึ้น 2.2 % เครื่องจักรชนิดที่ 6 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าเครื่องจักรชนิดที่ 8 อยู่ 4.078 เท่า คนงานกลุ่มที่ 3 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียน้อยกว่าคนงานกลุ่มที่ 12 อยู่ 61.7% กลุ่มที่ 4 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียน้อยกว่าคนงานกลุ่มที่ 12 อยู่ 61.5% ขั้นตอนการทำงานที่ 1 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าขั้นตอนการทำงานที่ 4 อยู่ 2.831 เท่า และ ขั้นตอนการทำงานที่ 2 มีความเสี่ยงที่จะผลิตสินค้าบกพร่องและเสียมากกว่าขั้นตอนการทำงานที่ 4 อยู่ 13.8%

ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบเบย์ และการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบถาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก

5.2 อภิปรายผล

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ (ตัวแปรตาม) พร้อมทั้งศึกษาระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวเพื่อพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ จากสมการที่เหมาะสม หรือใช้สมการโดยการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเพื่อทำให้เปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องในการพยากรณ์มีค่าสูงสุด การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ จะมีเงื่อนไขน้อยกว่าการวิเคราะห์การถดถอยแบบปกติ (Multiple regression) จึงเหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยนี้

การประมาณค่าแบบเบย์แตกต่างไปจากแบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ซึ่งกำหนดให้พารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า แต่แนวคิดแบบเบย์สพิจารณาว่าพารามิเตอร์คือตัวแปรสุ่มที่เกิดขึ้นภายใต้รูปแบบการแจกแจงใดๆ โดยเรียกรูปแบบความน่าจะเป็นดังกล่าวว่ารูปแบบความน่าจะเป็นเบื้องต้น (Prior Distribution) ซึ่งเป็นรูปแบบความน่าจะเป็นที่ขึ้นอยู่กับความเชื่อของผู้ทำการศึกษาเป็นเบื้องต้น จากนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างจำนวนหนึ่ง แล้วจึงนำสาระจากข้อมูลที่ได้รับซึ่งโดยแท้จริงแล้วก็คือ ความน่าจะเป็นร่วมของการเกิดขึ้นของชุดข้อมูลตัวอย่างมาทำการปรับปรุงรูปแบบความน่าจะเป็นขั้นต้นที่ได้กำหนดขึ้นในตอนแรก ซึ่งผลที่ได้รับคือรูปแบบความน่าจะเป็นที่ทำการปรับแล้ว เรียกว่า การแจกแจง โพสทีเรีย (Posterior Distribution) ของพารามิเตอร์ที่สนใจ จากนั้นจึงนำค่าคาดหวังของพารามิเตอร์ภายใต้รูปแบบความน่าจะเป็นที่ปรับแล้วมาใช้เป็นตัวประมาณแบบเบย์ ปัจจุบันได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาได้ตั้งแต่ปัญหาแบบง่าย จนถึงปัญหาที่ซับซ้อนที่ไม่สามารถใช้การประมาณค่าแบบวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์ และการถดถอยเชิงโลจิสติกส์แบบถาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก

การทราบค่าความน่าจะป็นที่เครื่องจักรจะทำงานบกพร่องทำให้สามารถวางแผนซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงหมายถึงกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อทำให้เครื่องจักร อุปกรณ์ตลอดจนสิ่งต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้า อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ทันทีตามที่ต้องการ การซ่อมบำรุง จึงเป็นการรักษาสมรรถนะและความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรให้เป็นไปตามที่ฝ่ายผลิตต้องการ เพื่อให้การผลิตสินค้าดำเนินไปตามแผนที่กำหนดไว้ นอกจากนี้การซ่มบำรุงเครื่องจักร อุปกรณ์ยังเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน สรุปได้ว่าวัตถุประสงค์ขงการซ่อมบำรุงคือ เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะก่อให้เกิดรายได้กับองค์กร เพื่อให้สามารถใช้บุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพตามแผนการผลิต และตารางการดำเนินการผลิตที่กำหนดไว้ รวมทั้งเพื่อให้สามารถสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

ในกรณีที่สินค้าบกพร่องเกิดจากกลุ่มคนงาน แนวทางแก้ไขคือ การจัดโปรแกรมฝึกอบรมเพิ่มทักษะ สร้างแรงจูงใจ ให้เกิดความรักในองค์กรปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ในกรณีที่เกิดจากเครื่องจักรต้องจัดตารางซ่อมบำรุงให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่

ตลอดเวลา ส่วนในกรณีเกิดจากขั้นตอนการผลิต ควรวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดชิ้นงานบกพร่องในขั้นตอนนั้น เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การวิจัยครั้งต่อไป อาจพิจารณาเพิ่มปัจจัยอื่นๆ ที่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องการการทำงานบกพร่องของเครื่องจักร

2. วิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์สำหรับชิ้นส่วนย่อยๆ ในแต่ละเครื่องจักร เพื่อใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุง

3. นำการวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตสินค้าบกพร่องและเสีย ด้วยตัวแบบการถดถอยโลจิสติกส์แบบเบย์ไปประยุกต์ใช้กับข้อมูล ทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าอื่นๆ

บรรณานุกรม

กฤตยา โพธิ์แดง. 2549. วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบเบย์ สำหรับการแจกแจงปัวส์ซองเมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสถิติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. กรุงเทพ ฯ : ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประชุม สุวัตถี. 2527. ทฤษฎีการอนุมานเชิงสถิติ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

รุ่งเรืองรอง สืบมงคลชัย. 2551. การสร้างแม่แบบเว็บเพจสำหรับการทดสอบแบบเทเลอร์ ตามยุทธวิธีของเบย์เซียน. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิจัยและสถิติการศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Carlin, B.P. and Louis, T.A. 2000. Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis, second edition. Florida: Chapman & Hall/CRC.

Congdon, P. 2001. Bayesian Statistical Modelling. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Downey, A.B. 2014. Bayes's theorem and logistic regression. Franklin W. Olin College of Engineering, MA, USA. pp. 1-7 .

Hamadicharef, B. Guan, C. Ifeachor, E. C. Hudson, N. and Wimalaratna, S. 2008. Performance evaluation and fusion of methods for early detection of alzheimer disease, In Proc. Int. Conf. BioMedical Engineering and Informatics BMEI 2008, vol. 1, pp. 347–351.

Ntzoufras, I. 2009. Bayesian Modeling Using WinBUGS. New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc., Publication.

O'Brein,S.M. and Dunson, D.B. 2004. Bayesian multivariate logistic regression. Nation Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NY, USA, pp. 1-24.

Pedroza, C. 2006. A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality. Biostatistics. 7(4): pp. 530-550.

Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. 2007. Using Multivariate Statistics, 5th ed., Allyn & Bacon, Inc., Needham Heights, MA, USA, pp. 437-505.

Yelland, P.M. (2010). Bayesian Forecasting of Part Demand. International Journal of Forecasting. 26: pp. 374-396.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวก1 ค่าต่างๆที่ได้จากการคำนวนด้วยโปรแกรมOpenBUGS

value	mean	sd	MC_error	val2.5pc	median	val97.5pc	start	sample
p[1]	0.3578	0.1218	9.63E-04	0.1496	0.3492	0.6163	5001	25000
p[2]	0.2208	0.09419	6.39E-04	0.07594	0.2081	0.4399	5001	25000
p[3]	0.3587	0.09483	6.32E-04	0.1899	0.3536	0.5543	5001	25000
p[4]	0.3444	0.09387	6.47E-04	0.1793	0.3386	0.5395	5001	25000
p[5]	0.5353	0.1277	8.77E-04	0.2871	0.5356	0.777	5001	25000
p[6]	0.3831	0.09642	6.11E-04	0.208	0.3794	0.5793	5001	25000
p[7]	0.4133	0.09832	5.94E-04	0.2309	0.4106	0.6104	5001	25000
p[8]	0.4597	0.1011	5.92E-04	0.2669	0.4593	0.6579	5001	25000
p[9]	0.3036	0.1115	7.43E-04	0.1187	0.2937	0.5478	5001	25000
p[10]	0.4963	0.1032	6.15E-04	0.2962	0.4975	0.6949	5001	25000
p[11]	0.6063	0.1923	0.001607	0.2039	0.6264	0.9121	5001	25000
p[12]	0.3835	0.1248	0.00107	0.1643	0.3772	0.6419	5001	25000
p[13]	0.4683	0.139	0.001264	0.2101	0.468	0.7399	5001	25000
p[14]	0.6125	0.1629	0.001503	0.2724	0.6254	0.8843	5001	25000
p[15]	0.253	0.1276	0.001246	0.06689	0.2319	0.5486	5001	25000
p[16]	0.3513	0.1275	0.001303	0.132	0.3416	0.6199	5001	25000
p[17]	0.2483	0.1036	9.75E-04	0.08487	0.2345	0.4827	5001	25000
p[18]	0.3643	0.1593	9.50E-04	0.09445	0.3515	0.6959	5001	25000
p[19]	0.7222	0.1412	0.001354	0.3992	0.744	0.9312	5001	25000
p[20]	0.3849	0.1245	8.99E-04	0.1682	0.3768	0.6432	5001	25000
p[21]	0.6305	0.1033	8.17E-04	0.416	0.6364	0.8133	5001	25000
p[22]	0.6665	0.1437	0.001213	0.3521	0.6828	0.8983	5001	25000
p[23]	0.736	0.112	0.001249	0.4816	0.7509	0.9106	5001	25000
p[24]	0.1968	0.07613	8.69E-04	0.07795	0.1865	0.3716	5001	25000
p[25]	0.5519	0.1377	0.001858	0.2775	0.556	0.8024	5001	25000
p[26]	0.342	0.155	9.26E-04	0.08516	0.3273	0.6708	5001	25000
p[27]	0.2985	0.1215	0.001539	0.1019	0.285	0.5684	5001	25000
p[28]	0.6424	0.1766	0.001336	0.2506	0.6656	0.9142	5001	25000
p[29]	0.5469	0.1395	0.003358	0.2753	0.5497	0.8032	5001	25000
p[30]	0.1408	0.05889	7.20E-04	0.05279	0.1319	0.2793	5001	25000
p[31]	0.6449	0.102	8.22E-04	0.4312	0.6514	0.8243	5001	25000
p[32]	0.5514	0.1397	0.002086	0.2729	0.5561	0.8046	5001	25000
p[33]	0.4783	0.1316	0.001082	0.2316	0.4773	0.7342	5001	25000
p[34]	0.4559	0.1385	0.001969	0.1997	0.4527	0.7276	5001	25000

p[35]	0.2642	0.1108	0.001434	0.09017	0.2499	0.515	5001	25000
p[36]	0.5143	0.1515	0.001886	0.2264	0.515	0.7979	5001	25000
p[37]	0.4605	0.127	0.001471	0.223	0.4587	0.7092	5001	25000
p[38]	0.3634	0.1248	0.001302	0.1495	0.3542	0.6285	5001	25000
p[39]	0.4649	0.1015	5.94E-04	0.2714	0.4647	0.6627	5001	25000
p[40]	0.3326	0.1032	8.08E-04	0.1535	0.325	0.5524	5001	25000
p[41]	0.78	0.1175	8.15E-04	0.4967	0.8013	0.9459	5001	25000
p[42]	0.2991	0.09063	6.96E-04	0.1442	0.2918	0.4923	5001	25000
p[43]	0.4963	0.1963	0.001445	0.1314	0.4971	0.8576	5001	25000
p[44]	0.1759	0.09017	0.001053	0.04895	0.159	0.3937	5001	25000
p[45]	0.5669	0.1381	0.001639	0.2921	0.5724	0.8181	5001	25000
p[46]	0.3485	0.1209	9.60E-04	0.1431	0.3395	0.6062	5001	25000
p[47]	0.111	0.04982	6.35E-04	0.03904	0.1026	0.2305	5001	25000
p[48]	0.2564	0.1347	8.54E-04	0.05413	0.2351	0.5649	5001	25000
p[49]	0.3006	0.1279	0.001693	0.09727	0.2852	0.5856	5001	25000
p[50]	0.2227	0.1186	0.001238	0.05542	0.2007	0.5044	5001	25000
p[51]	0.3094	0.1232	0.001239	0.1101	0.2957	0.5816	5001	25000
p[52]	0.5138	0.1123	8.35E-04	0.2949	0.5148	0.728	5001	25000
p[53]	0.4736	0.1931	0.001622	0.1228	0.4699	0.839	5001	25000
p[54]	0.6848	0.1283	8.79E-04	0.402	0.6982	0.8934	5001	25000
p[55]	0.2601	0.1357	8.57E-04	0.05569	0.239	0.5705	5001	25000
p[56]	0.03381	0.03694	3.92E-04	0.002961	0.02204	0.1358	5001	25000
p[57]	0.2171	0.09411	0.002076	0.07366	0.203	0.4362	5001	25000
p[58]	0.5495	0.1234	0.001621	0.3046	0.5523	0.7813	5001	25000
p[59]	0.1893	0.0874	0.001706	0.06039	0.1758	0.3971	5001	25000
p[60]	0.5575	0.2596	0.001755	0.09487	0.5645	0.9781	5001	25000
p[61]	0.3247	0.11	0.001645	0.1382	0.3156	0.5617	5001	25000
p[62]	0.1773	0.06957	6.36E-04	0.06881	0.1678	0.3365	5001	25000
p[63]	0.1833	0.08924	0.001084	0.05541	0.1678	0.3956	5001	25000
p[64]	0.3065	0.1722	0.001113	0.04686	0.2835	0.6867	5001	25000
p[65]	0.1773	0.06957	6.36E-04	0.06881	0.1678	0.3365	5001	25000
p[66]	0.3531	0.08562	6.86E-04	0.2001	0.3494	0.5295	5001	25000
p[67]	0.5241	0.1116	8.28E-04	0.306	0.5255	0.7357	5001	25000
p[68]	0.4067	0.1059	9.46E-04	0.2128	0.4022	0.6239	5001	25000
p[69]	0.5793	0.09509	0.001496	0.3888	0.5809	0.7572	5001	25000
p[70]	0.1666	0.08489	8.77E-04	0.04651	0.1514	0.3731	5001	25000
p[71]	0.6273	0.1276	0.001442	0.3577	0.6352	0.8486	5001	25000
p[72]	0.1891	0.0882	9.01E-04	0.06006	0.1746	0.3973	5001	25000
p[73]	0.1173	0.05174	6.54E-04	0.042	0.1087	0.2417	5001	25000
p[74]	0.5723	0.1162	9.78E-04	0.3372	0.5763	0.7855	5001	25000

p[75]	0.109	0.05807	0.001271	0.03001	0.09768	0.2525	5001	25000
p[76]	0.6351	0.1549	0.001186	0.3039	0.6489	0.8902	5001	25000
p[77]	0.791	0.1811	0.001217	0.3382	0.843	0.9945	5001	25000
p[78]	0.3213	0.09226	6.71E-04	0.1612	0.3147	0.5156	5001	25000
p[79]	0.1834	0.07095	6.41E-04	0.07221	0.1739	0.3448	5001	25000
p[80]	0.3351	0.1201	0.001863	0.1311	0.3255	0.5893	5001	25000
p[81]	0.5547	0.1161	0.001011	0.3251	0.5569	0.7744	5001	25000
p[82]	0.4167	0.1056	9.28E-04	0.2222	0.4127	0.6316	5001	25000
p[83]	0.1714	0.08556	9.05E-04	0.04929	0.1565	0.3801	5001	25000
p[84]	0.4862	0.1121	9.15E-04	0.2709	0.4853	0.705	5001	25000
p[85]	0.2836	0.09913	9.43E-04	0.1212	0.2737	0.5006	5001	25000
p[86]	0.5774	0.1156	9.69E-04	0.3425	0.5816	0.7889	5001	25000
p[87]	0.2836	0.09913	9.43E-04	0.1212	0.2737	0.5006	5001	25000
p[88]	0.6418	0.1378	0.001099	0.3508	0.6525	0.8741	5001	25000
p[89]	0.3719	0.1231	9.68E-04	0.1594	0.3643	0.6305	5001	25000
p[90]	0.6248	0.1323	0.00102	0.3475	0.6333	0.8526	5001	25000
p[91]	0.5047	0.129	8.95E-04	0.259	0.5038	0.7555	5001	25000
p[92]	0.2197	0.08626	7.42E-04	0.08535	0.2082	0.4174	5001	25000
p[93]	0.2755	0.1398	8.68E-04	0.06077	0.2554	0.5893	5001	25000
p[94]	0.2755	0.1398	8.68E-04	0.06077	0.2554	0.5893	5001	25000
p[95]	0.6131	0.1537	0.001296	0.297	0.6232	0.8768	5001	25000
p[96]	0.6713	0.13	0.001525	0.3879	0.6839	0.8855	5001	25000
p[97]	0.2243	0.09499	6.42E-04	0.07773	0.2117	0.4445	5001	25000
p[98]	0.3726	0.08648	6.71E-04	0.216	0.3697	0.5494	5001	25000
p[99]	0.2794	0.1408	8.71E-04	0.06213	0.2596	0.5945	5001	25000
p[100]	0.3263	0.1319	0.001781	0.1104	0.3126	0.6151	5001	25000
p[101]	0.3359	0.1276	0.00126	0.1243	0.3233	0.6126	5001	25000
p[102]	0.1151	0.0604	0.001321	0.03234	0.1036	0.2642	5001	25000
p[103]	0.3806	0.1647	0.001842	0.1085	0.3648	0.7275	5001	25000
p[104]	0.3756	0.1074	7.77E-04	0.1855	0.3687	0.5984	5001	25000
p[105]	0.521	0.1386	0.001049	0.2501	0.5234	0.7791	5001	25000
p[106]	0.2216	0.1149	0.001131	0.05684	0.2018	0.4972	5001	25000
p[107]	0.3391	0.1403	9.46E-04	0.1102	0.3238	0.6442	5001	25000
p[108]	0.3756	0.1074	7.77E-04	0.1855	0.3687	0.5984	5001	25000
p[109]	0.1897	0.07235	6.46E-04	0.07549	0.1803	0.3531	5001	25000
p[110]	0.2055	0.09178	0.001788	0.06797	0.1923	0.4219	5001	25000
p[111]	0.6014	0.1333	0.001546	0.3308	0.6094	0.8373	5001	25000
p[112]	0.6118	0.1425	0.001017	0.3141	0.6223	0.8557	5001	25000
p[113]	0.3777	0.1308	0.001736	0.1512	0.3686	0.6496	5001	25000
p[114]	0.3268	0.1772	0.001142	0.05186	0.3059	0.7109	5001	25000

p[115]	0.5261	0.1382	0.001043	0.2544	0.5288	0.7826	5001	25000
p[116]	0.6531	0.1517	0.00117	0.3235	0.6685	0.899	5001	25000
p[117]	0.2449	0.09467	0.002833	0.09655	0.2341	0.4569	5001	25000
p[118]	0.3088	0.1623	9.81E-04	0.06358	0.2852	0.6738	5001	25000
p[119]	0.3397	0.09355	6.51E-04	0.1757	0.3337	0.5341	5001	25000
p[120]	0.6356	0.1411	0.001168	0.3382	0.6474	0.8737	5001	25000
p[121]	0.4519	0.136	0.001165	0.2044	0.4473	0.7253	5001	25000
p[122]	0.751	0.1102	8.02E-04	0.5006	0.7663	0.9218	5001	25000
p[123]	0.3825	0.08693	6.65E-04	0.2246	0.3798	0.5595	5001	25000
p[124]	0.3825	0.08693	6.65E-04	0.2246	0.3798	0.5595	5001	25000
p[125]	0.2487	0.09547	0.002856	0.09864	0.238	0.4623	5001	25000
p[126]	0.3309	0.1781	0.001148	0.05278	0.3104	0.7156	5001	25000
p[127]	0.6099	0.09164	0.001416	0.4231	0.6125	0.7793	5001	25000
p[128]	0.627	0.1515	0.001265	0.313	0.6385	0.8835	5001	25000
p[129]	0.5	0.1571	0.001488	0.2055	0.4993	0.7963	5001	25000
p[130]	0.6435	0.1369	0.001548	0.3539	0.6545	0.8736	5001	25000
p[131]	0.4152	0.1535	0.001029	0.1486	0.4045	0.7343	5001	25000
p[132]	0.1844	0.09099	9.27E-04	0.05288	0.1689	0.402	5001	25000
p[133]	0.2913	0.1437	8.80E-04	0.06647	0.2721	0.6095	5001	25000
p[134]	0.1995	0.07452	6.53E-04	0.08087	0.1901	0.3665	5001	25000
p[135]	0.3351	0.1791	0.001154	0.05377	0.3152	0.7196	5001	25000
p[136]	0.489	0.1225	9.55E-04	0.2556	0.489	0.7262	5001	25000
p[137]	0.3582	0.1235	0.001893	0.1439	0.3505	0.6149	5001	25000
p[138]	0.1866	0.09084	9.53E-04	0.05468	0.1714	0.4062	5001	25000
p[139]	0.6149	0.09107	0.001402	0.4289	0.6175	0.7826	5001	25000
p[140]	0.4521	0.1319	9.61E-04	0.2058	0.4501	0.712	5001	25000
p[141]	0.3903	0.1082	7.65E-04	0.1964	0.3839	0.6132	5001	25000
p[142]	0.2822	0.1096	0.00224	0.1062	0.2697	0.5236	5001	25000
p[143]	0.2822	0.1096	0.00224	0.1062	0.2697	0.5236	5001	25000
p[144]	0.4907	0.1233	9.97E-04	0.2556	0.4901	0.7323	5001	25000
p[145]	0.2265	0.1501	0.00189	0.03265	0.1923	0.5937	5001	25000
p[146]	0.4591	0.1542	0.001083	0.1769	0.4556	0.7626	5001	25000
p[147]	0.3491	0.09419	6.42E-04	0.1827	0.3436	0.5443	5001	25000
p[148]	0.3538	0.129	8.08E-04	0.1356	0.3446	0.6285	5001	25000
p[149]	0.3393	0.18	0.00116	0.05511	0.3199	0.7241	5001	25000
p[150]	0.4473	0.1044	8.72E-04	0.2512	0.4453	0.6561	5001	25000
p[151]	0.3925	0.08738	6.60E-04	0.2331	0.3901	0.5698	5001	25000
p[152]	0.1868	0.08178	0.001685	0.06372	0.1746	0.376	5001	25000
p[153]	0.6199	0.09051	0.001389	0.435	0.6227	0.7857	5001	25000
p[154]	0.5951	0.1166	0.001498	0.3569	0.5997	0.8073	5001	25000

p[155]	0.6518	0.1011	7.54E-04	0.4397	0.6585	0.8317	5001	25000
p[156]	0.3925	0.08738	6.60E-04	0.2331	0.3901	0.5698	5001	25000
p[157]	0.318	0.1262	9.43E-04	0.1139	0.3045	0.597	5001	25000
p[158]	0.5276	0.1607	0.00129	0.2174	0.5298	0.8247	5001	25000
p[159]	0.464	0.1542	0.001077	0.1809	0.461	0.7661	5001	25000
p[160]	0.4406	0.1468	0.001125	0.1764	0.4351	0.7321	5001	25000
p[161]	0.3801	0.1243	9.06E-04	0.1647	0.3717	0.6391	5001	25000
p[162]	0.6647	0.1085	0.001074	0.4338	0.6727	0.8505	5001	25000
p[163]	0.2549	0.1102	0.001162	0.08581	0.2402	0.5075	5001	25000
p[164]	0.4002	0.1087	7.57E-04	0.2036	0.3943	0.6225	5001	25000
p[165]	0.3253	0.1659	0.001	0.06924	0.3036	0.6931	5001	25000
p[166]	0.6298	0.08939	0.001361	0.4472	0.633	0.7932	5001	25000
p[167]	0.3724	0.1255	0.001909	0.1519	0.3659	0.6309	5001	25000
p[168]	0.4026	0.08785	6.57E-04	0.2412	0.4003	0.5802	5001	25000
p[169]	0.5954	0.1109	9.08E-04	0.3703	0.5997	0.7995	5001	25000
p[170]	0.4723	0.1321	9.46E-04	0.2215	0.4715	0.7289	5001	25000
p[171]	0.6499	0.1477	0.001212	0.337	0.6632	0.8941	5001	25000
p[172]	0.5329	0.1103	9.10E-04	0.3153	0.5341	0.7425	5001	25000
p[173]	0.5709	0.1086	0.002001	0.3526	0.5742	0.7731	5001	25000
p[174]	0.5709	0.1086	0.002001	0.3526	0.5742	0.7731	5001	25000
p[175]	0.1331	0.06716	0.001462	0.03922	0.1208	0.2982	5001	25000
p[176]	0.7103	0.1215	0.001455	0.4363	0.7249	0.9037	5001	25000
p[177]	0.258	0.1023	6.76E-04	0.09548	0.2464	0.4887	5001	25000
p[178]	0.4223	0.1689	0.001855	0.1299	0.4114	0.7632	5001	25000
p[179]	0.2978	0.1173	7.62E-04	0.1079	0.2839	0.5561	5001	25000
p[180]	0.3869	0.1275	0.001922	0.1601	0.3809	0.6464	5001	25000
p[181]	0.6753	0.1308	0.001496	0.3924	0.688	0.889	5001	25000
p[182]	0.6128	0.1339	0.001074	0.338	0.6196	0.8482	5001	25000
p[183]	0.4267	0.1288	8.75E-04	0.1967	0.4211	0.6898	5001	25000
p[184]	0.4035	0.1255	9.70E-04	0.1819	0.3977	0.6612	5001	25000
p[185]	0.4231	0.08882	6.53E-04	0.2573	0.4215	0.601	5001	25000
p[186]	0.3649	0.1855	0.001197	0.06206	0.3488	0.75	5001	25000
p[187]	0.6874	0.1045	0.001024	0.4616	0.6962	0.8638	5001	25000
p[188]	0.4231	0.08882	6.53E-04	0.2573	0.4215	0.601	5001	25000
p[189]	0.2064	0.08728	0.001787	0.0724	0.1938	0.4059	5001	25000
p[190]	0.4849	0.1411	0.001462	0.2201	0.4829	0.7563	5001	25000
p[191]	0.3413	0.1077	9.65E-04	0.1559	0.3338	0.5692	5001	25000
p[192]	0.7873	0.09961	7.42E-04	0.5545	0.8032	0.9367	5001	25000
p[193]	0.6463	0.1074	8.62E-04	0.4183	0.6533	0.8346	5001	25000
p[194]	0.5575	0.1408	0.001098	0.2775	0.5616	0.8139	5001	25000

p[195]	0.5424	0.1464	0.001107	0.2528	0.5478	0.8088	5001	25000
p[196]	0.2167	0.08754	7.48E-04	0.0808	0.205	0.4178	5001	25000
p[197]	0.6073	0.1416	0.001156	0.3174	0.6156	0.8532	5001	25000
p[198]	0.6109	0.105	8.12E-04	0.3944	0.6161	0.7995	5001	25000
p[199]	0.6127	0.1365	0.001773	0.3283	0.6219	0.8506	5001	25000
p[200]	0.4387	0.08959	6.53E-04	0.27	0.4372	0.6165	5001	25000
p[201]	0.2699	0.1293	0.001241	0.07367	0.2516	0.5672	5001	25000
p[202]	0.4406	0.1106	7.35E-04	0.2341	0.4375	0.6634	5001	25000
p[203]	0.3182	0.1008	0.001875	0.1462	0.3102	0.5324	5001	25000
p[204]	0.3981	0.09737	6.01E-04	0.2191	0.3948	0.5946	5001	25000
p[205]	0.3596	0.1726	0.001044	0.08214	0.3419	0.7297	5001	25000
p[206]	0.6683	0.08512	0.001254	0.4902	0.6731	0.8207	5001	25000
p[207]	0.2045	0.1004	0.001009	0.05919	0.1875	0.4428	5001	25000
p[208]	0.3227	0.1015	0.001883	0.1492	0.3149	0.5381	5001	25000
p[209]	0.1481	0.07274	0.001572	0.04494	0.1355	0.3265	5001	25000
p[210]	0.5893	0.122	0.001221	0.3408	0.5942	0.812	5001	25000
p[211]	0.6355	0.1291	8.86E-04	0.3637	0.645	0.8583	5001	25000
p[212]	0.2238	0.08931	7.59E-04	0.08428	0.2124	0.4281	5001	25000
p[213]	0.2427	0.08399	6.89E-04	0.1041	0.2339	0.4282	5001	25000
p[214]	0.3602	0.1103	9.73E-04	0.1672	0.3533	0.5913	5001	25000
p[215]	0.6739	0.1515	0.001131	0.3449	0.6921	0.9135	5001	25000
p[216]	0.4086	0.1487	9.62E-04	0.1491	0.3982	0.7126	5001	25000
p[217]	0.505	0.1409	0.001474	0.2358	0.505	0.7726	5001	25000
p[218]	0.8007	0.09552	7.21E-04	0.5756	0.8167	0.9418	5001	25000
p[219]	0.5906	0.1242	8.63E-04	0.3401	0.5945	0.8165	5001	25000
p[220]	0.1481	0.09086	8.57E-04	0.03134	0.1281	0.3773	5001	25000
p[221]	0.3728	0.144	0.001266	0.1282	0.3616	0.672	5001	25000
p[222]	0.474	0.1815	0.001963	0.1489	0.4685	0.8242	5001	25000
p[223]	0.4951	0.146	0.001063	0.2188	0.4947	0.7728	5001	25000
p[224]	0.434	0.1257	8.32E-04	0.2051	0.4292	0.6859	5001	25000
p[225]	0.4133	0.09832	5.94E-04	0.2309	0.4106	0.6104	5001	25000
p[226]	0.6163	0.103	0.001861	0.4049	0.6212	0.8034	5001	25000
p[227]	0.6305	0.1033	8.17E-04	0.416	0.6364	0.8133	5001	25000
p[228]	0.2902	0.1007	8.03E-04	0.1237	0.28	0.5108	5001	25000
p[229]	0.5327	0.133	0.00104	0.2751	0.5341	0.7854	5001	25000
p[230]	0.7105	0.1159	8.88E-04	0.4527	0.7239	0.897	5001	25000
p[231]	0.4649	0.09092	6.62E-04	0.291	0.4645	0.6436	5001	25000
p[232]	0.6207	0.1752	0.001651	0.2519	0.6374	0.9051	5001	25000
p[233]	0.8466	0.1481	9.78E-04	0.451	0.8946	0.9965	5001	25000
p[234]	0.6562	0.1173	8.19E-04	0.4088	0.6659	0.8566	5001	25000

p[235]	0.2216	0.1057	0.001047	0.06522	0.2045	0.4704	5001	25000
p[236]	0.4755	0.09147	6.69E-04	0.2995	0.4752	0.6542	5001	25000
p[237]	0.7315	0.0898	7.20E-04	0.5339	0.7406	0.8812	5001	25000
p[238]	0.6295	0.121	8.64E-04	0.3783	0.6361	0.8424	5001	25000
p[239]	0.4966	0.09259	6.86E-04	0.3163	0.4969	0.6759	5001	25000
p[240]	0.5584	0.1312	9.07E-04	0.2925	0.5629	0.7979	5001	25000
p[241]	0.7396	0.0886	7.19E-04	0.5436	0.749	0.8862	5001	25000
p[242]	0.435	0.1389	0.001181	0.1867	0.4283	0.7153	5001	25000
p[243]	0.4545	0.1008	5.90E-04	0.2631	0.4538	0.6527	5001	25000
p[244]	0.5551	0.1395	0.001498	0.2783	0.5597	0.8079	5001	25000
p[245]	0.5124	0.09343	7.02E-04	0.3288	0.5132	0.6924	5001	25000
p[246]	0.7578	0.09141	8.77E-04	0.5523	0.7689	0.9039	5001	25000
p[247]	0.747	0.1041	9.36E-04	0.5093	0.7607	0.9109	5001	25000
p[248]	0.5724	0.09801	6.82E-04	0.3747	0.5752	0.755	5001	25000
p[249]	0.5631	0.1311	0.00104	0.2996	0.5679	0.8028	5001	25000
p[250]	0.4526	0.1085	0.001064	0.2509	0.45	0.67	5001	25000
p[251]	0.5775	0.09772	6.77E-04	0.3799	0.5804	0.759	5001	25000
p[252]	0.7044	0.1162	8.37E-04	0.4492	0.7166	0.8942	5001	25000
p[253]	0.5826	0.09742	6.73E-04	0.3851	0.5857	0.7632	5001	25000
p[254]	0.4911	0.103	6.11E-04	0.2922	0.4918	0.6897	5001	25000
p[255]	0.4414	0.1842	0.001171	0.1155	0.435	0.8023	5001	25000
p[256]	0.6355	0.1088	8.85E-04	0.4057	0.6425	0.8284	5001	25000
p[257]	0.5928	0.09684	6.66E-04	0.3954	0.5963	0.7712	5001	25000
p[258]	0.8769	0.1273	8.39E-04	0.5233	0.92	0.9974	5001	25000
p[259]	0.2634	0.109	8.28E-04	0.09148	0.2493	0.5119	5001	25000
p[260]	0.3042	0.1083	9.00E-04	0.1239	0.2946	0.5398	5001	25000
p[261]	0.6053	0.1267	8.54E-04	0.3464	0.6102	0.8337	5001	25000
p[262]	0.4847	0.1186	0.001051	0.2601	0.4829	0.7166	5001	25000
p[263]	0.7124	0.09542	8.54E-04	0.5042	0.7218	0.872	5001	25000
p[264]	0.8226	0.08495	5.05E-04	0.6185	0.8371	0.9467	5001	25000
p[265]	0.5644	0.1139	7.74E-04	0.3359	0.5677	0.7757	5001	25000
p[266]	0.5102	0.1398	0.001113	0.2432	0.5094	0.7743	5001	25000
p[267]	0.5329	0.1052	6.58E-04	0.3244	0.5356	0.7302	5001	25000
p[268]	0.5881	0.1291	8.82E-04	0.3268	0.5928	0.82	5001	25000
p[269]	0.7529	0.1051	7.33E-04	0.5145	0.7667	0.9167	5001	25000
p[270]	0.6364	0.1329	0.001558	0.3583	0.6462	0.8628	5001	25000
p[271]	0.4661	0.1381	0.002546	0.2114	0.4628	0.7352	5001	25000
p[272]	0.6436	0.1219	8.11E-04	0.3871	0.6504	0.8573	5001	25000
p[273]	0.6874	0.1054	7.56E-04	0.4578	0.6978	0.8645	5001	25000
p[274]	0.647	0.09356	6.52E-04	0.4527	0.6526	0.814	5001	25000

p[275]	0.6865	0.1026	8.85E-04	0.4648	0.6954	0.8613	5001	25000
p[276]	0.7617	0.09606	6.70E-04	0.5429	0.7742	0.9132	5001	25000
p[277]	0.7487	0.09131	8.68E-04	0.5445	0.7596	0.8955	5001	25000
p[278]	0.6962	0.1043	7.52E-04	0.4679	0.7067	0.8699	5001	25000
p[279]	0.7188	0.09799	9.82E-04	0.5014	0.7281	0.8801	5001	25000
p[280]	0.8531	0.07514	4.70E-04	0.6684	0.8674	0.9588	5001	25000
p[281]	0.5566	0.1194	9.96E-04	0.3204	0.5593	0.7783	5001	25000
p[282]	0.8355	0.08506	5.33E-04	0.6283	0.8512	0.9548	5001	25000
p[283]	0.7894	0.08129	5.98E-04	0.6046	0.7999	0.9175	5001	25000
p[284]	0.847	0.07233	7.12E-04	0.6738	0.8594	0.9507	5001	25000
p[285]	0.9316	0.08584	6.22E-04	0.6836	0.9627	0.999	5001	25000
p[286]	0.8013	0.0842	8.71E-04	0.6051	0.8142	0.9287	5001	25000
p[287]	0.7229	0.08823	6.85E-04	0.5299	0.7309	0.8734	5001	25000
p[288]	0.8067	0.07611	0.001098	0.6338	0.8168	0.9251	5001	25000
p[289]	0.8689	0.06694	6.70E-04	0.7054	0.8816	0.9613	5001	25000
p[290]	0.7415	0.121	0.001498	0.4647	0.7594	0.9242	5001	25000
p[291]	0.75	0.105	7.45E-04	0.514	0.762	0.9161	5001	25000
p[292]	0.8437	0.07097	5.75E-04	0.6753	0.8555	0.9478	5001	25000
p[293]	0.8047	0.08448	8.67E-04	0.6079	0.8172	0.9322	5001	25000
p[294]	0.8286	0.07985	8.47E-04	0.6396	0.8416	0.9455	5001	25000
p[295]	0.7545	0.1275	9.12E-04	0.4582	0.775	0.9386	5001	25000
p[296]	0.9073	0.05616	5.81E-04	0.7645	0.9199	0.9777	5001	25000
p[297]	0.8143	0.09176	7.20E-04	0.5963	0.8291	0.9479	5001	25000
p[298]	0.8709	0.0755	8.10E-04	0.6837	0.887	0.9702	5001	25000
p[299]	0.8946	0.05907	5.35E-04	0.7456	0.9074	0.9725	5001	25000
p[300]	0.8363	0.09121	7.79E-04	0.6127	0.8546	0.9603	5001	25000
p[301]	0.7843	0.1032	8.64E-04	0.5423	0.8014	0.9363	5001	25000
p[302]	0.9009	0.06927	6.48E-04	0.7188	0.9187	0.9818	5001	25000
p[303]	0.8342	0.08699	7.08E-04	0.6232	0.8498	0.9568	5001	25000
p[304]	0.8456	0.07396	7.23E-04	0.6692	0.8583	0.9526	5001	25000
p[305]	0.9034	0.05668	5.24E-04	0.759	0.9161	0.9763	5001	25000
p[306]	0.9338	0.04652	4.67E-04	0.8134	0.9455	0.9877	5001	25000
p[307]	0.8353	0.09748	8.28E-04	0.5918	0.8556	0.964	5001	25000
p[308]	0.9469	0.03999	3.50E-04	0.8412	0.9577	0.991	5001	25000
p[309]	0.9524	0.04963	4.49E-04	0.8153	0.9685	0.9959	5001	25000
p[310]	0.9687	0.04009	4.85E-04	0.8579	0.9823	0.9984	5001	25000
p[311]	0.9674	0.03626	3.45E-04	0.867	0.979	0.9975	5001	25000
p[312]	0.9537	0.04904	5.08E-04	0.8171	0.9694	0.9963	5001	25000

โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล

```
model {
        for (i in 1 : N)
        {
                o[i]  ~ dbern(p[i])
                logit(p[i]) <-  alpha + beta[1] * x1[i] + beta[2]*x2[i] + beta[3]*x3[i]
+beta[4]*x4[4] +beta[5]*x5[i] +beta[6]*x6[i]
        }
alpha~dnorm(0.1,1.0E-6)
        for (i in 1:6)
        {beta[i] ~ dnorm(0.1,1.0E-6)}
}
Data
list(N = 226,
o =
c(.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1
.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00
,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.
00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,),
x1=
c(2.00,4.00,2.00,4.00,3.00,4.00,3.00,3.00,3.00,3.00,2.00,2.00,3.00,3.00,2.00,3.00,2.00,1.00,3.00,1
.00,2.00,3.00,3.00,5.00,3.00,2.00,3.00,3.00,2.00,3.00,3.00,3.00,3.00,5.00,3.00,3.00,3.00,3.00,4.00
```

,3.00,3.00,3.00,4.00,3.00,4.00,3.00,2.00,2.00,3.00,2.00,2.00,2.00,4.00,2.00,2.00,2.00,2.00,3.00,3.
00,4.00,3.00,4.00,4.00,3.00,3.00,3.00,3.00,4.00,4.00,3.00,5.00,4.00,5.00,4.00,6.00,4.00,5.00,3.00,
4.00,4.00,3.00,2.00,3.00,4.00,3.00,4.00,3.00,2.00,4.00,4.00,3.00,3.00,4.00,6.00,5.00,3.00,5.00,3.0
0,2.00,3.00,3.00,4.00,3.00,2.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,1.00,1.00,4.00,4.00,3.00,2.00,2.00,4
.00,4.00,6.00,2.00,3.00,2.00,2.00,2.00,3.00,2.00,3.00,3.00,2.00,3.00,2.00,3.00,3.00,4.00,2.00,3.00
,3.00,2.00,2.00,2.00,5.00,3.00,3.00,3.00,4.00,1.00,3.00,2.00,2.00,3.00,3.00,2.00,4.00,3.00,3.00,2.
00,2.00,3.00,2.00,2.00,1.00,3.00,1.00,1.00,3.00,2.00,3.00,3.00,4.00,1.00,2.00,1.00,1.00,2.00,2.00,
3.00,3.00,3.00,2.00,2.00,4.00,3.00,2.00,2.00,2.00,1.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,1.00,2.00,2.00,2.0
0,2.00,2.00,2.00,5.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,3.00,2.00,3.00,2.00,2.00,3.00,2
.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,3.00,3.00),

x2=

c(2.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,2.00,4.00,1.00,2
.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,2.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00
,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.
00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.0
0,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,3.00,1.00,1.00,1
.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,2.00,2.00,2.00,2.00,2.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00
,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.
00,1.00,1.00,2.00,2.00,1.00,3.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,2.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,2.00,1.00,1.0
0,3.00,1.00,1.00,3.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,2.00,2.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1
.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00),

x3=

c(7.00,5.00,7.00,6.00,7.00,4.00,6.00,5.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,5.00,5.00,2.00,7.00,7
.00,7.00,7.00,7.00,1.00,5.00,7.00,6.00,5.00,7.00,6.00,5.00,6.00,7.00,1.00,7.00,6.00,7.00,6.00,5.00
,5.00,7.00,7.00,4.00,7.00,5.00,4.00,7.00,7.00,7.00,7.00,5.00,7.00,5.00,6.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.
00,6.00,3.00,1.00,6.00,6.00,5.00,2.00,5.00,7.00,4.00,7.00,4.00,6.00,6.00,7.00,1.00,6.00,3.00,7.00,
6.00,6.00,7.00,7.00,7.00,2.00,6.00,7.00,6.00,7.00,6.00,5.00,7.00,7.00,4.00,3.00,1.00,7.00,2.00,7.0
0,7.00,7.00,5.00,1.00,5.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,3.00,2.00,5.00,7.00,7.00,6

.00,6.00,1.00,7.00,5.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,5.00,3.00,3.00,6.00
,3.00,6.00,7.00,5.00,2.00,6.00,6.00,6.00,2.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,5.00,7.00,6.00,7.
00,7.00,7.00,7.00,7.00,5.00,7.00,7.00,1.00,7.00,7.00,5.00,7.00,2.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,
7.00,7.00,5.00,7.00,7.00,6.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.0
0,7.00,7.00,7.00,1.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,6.00,1
.00,7.00,3.00,7.00,6.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00,7.00),

x4=

c(4.00,4.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,4.00,3.00,3.00,3.00,4.00,3.00,3.00,3.00,4.00,4.00,3.00,2
.00,4.00,3.00,3.00,2.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,4.00,4.00,4.00,3.00,1.00,3.00,3.00,4.00
,3.00,2.00,2.00,3.00,3.00,3.00,2.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,3.00,3.00,3.
00,4.00,4.00,2.00,3.00,2.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,4.00,4.00,4.00,3.00,4.00,4.00,4.00,4.00,
4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,3.00,3.00,2.00,3.00,3.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.0
0,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,2.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4
.00,4.00,4.00,4.00,4.00,2.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,3.00,3.00,2.00,4.00,4.00,4.00,3.00,4.00,4.00
,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,1.00,4.00,3.00,3.00,3.00,3.00,3.00,4.00,4.00,3.00,3.00,1.00,3.
00,3.00,3.00,4.00,4.00,3.00,4.00,4.00,1.00,3.00,4.00,3.00,3.00,3.00,4.00,3.00,4.00,4.00,4.00,2.00,
2.00,2.00,3.00,3.00,4.00,3.00,3.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,3.00,4.00,4.00,3.00,3.00,4.00,4.0
0,4.00,4.00,3.00,3.00,1.00,2.00,4.00,1.00,2.00,1.00,4.00,4.00,4.00,4.00,3.00,3.00,2.00,2.00,2.00,1
.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00,4.00),

x5=

c(1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.0
0,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1
.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.
00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.
00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1
.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,.00
,.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.

```
00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.
00,1.00),
x6=
c(1.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,.00,1.00,.00,.00,.00,1.00,.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,.0
0,.00,.00,.00,.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,.0
0,.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,.00,
.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.
00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,.00,1.00,.00,.00,1.00,.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,.00,1.
00,.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.0
0,1.00,.00,1.00,1.00,.00,1.00,.00,.00,1.00,.00,.00,.00,.00,.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,.00,.00,.00,.0
0,1.00,.00,.00,.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,.00,1.00,.00,1.00,1.00,
1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00))
list(alpha=0, beta = c(0,0,0,0,0,0))
```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล: **ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรินทร์ แสงมา**
(Assist. Prof. Watcharin Sangma)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
การศึกษา: วศ.ม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม

ชื่อ-สกุล: **นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์**
(Mr.Pichet Jiraprasertwong)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
การศึกษา: วศ.บ วิศวกรรมอุตสาหการ
ค.อ.ม.เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา

ชื่อ-สกุล: **นายวรพจน์ โหรวิชิต**
(Mr. Worapot Honwichit)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาคณิตศาสตร์ และสถิติ
การศึกษา: วท.ม. สถิติ