

บทความวิชาการ : ตัวแบบการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับสำหรับคณะวิชาและการวิเคราะห์เกรดนักศึกษา

Ordinal Logistic Regression Model for Faculty and Student Grade Analysis

ดร.เกรียง กิจบำรุงรัตน์*

บทคัดย่อ

บทความนี้ต้องการหาตัวแบบการจัดกลุ่มการเรียนรู้ของนักศึกษาและตัวแบบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (เกรดนักศึกษา) วิชาพีชคณิตเชิงเส้นของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยรังสิต กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาเป็นนักศึกษาที่ลงทะเบียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้นระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยรังสิต ภาค 1 ปีการศึกษา 2554 แบ่งออกเป็น 3 คณะ คือคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันการบิน และคณะวิทยาศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์ตัวแบบการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ (Ordinal Logistic Regression Model) ผลสรุปคือปัจจัยที่สามารถจัดกลุ่มการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (เกรดนักศึกษา) คือ คะแนนสอบกลางภาค (x_1) คะแนนสอบปลายภาค (x_2) และคะแนนรายงาน (x_3) ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นตัวแปรอิสระและความน่าจะเป็นของคณะเป็นตัวแปรตาม มี 3 คณะ คือคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (p_1) สถาบันการบิน (p_2) และคณะวิทยาศาสตร์ (p_3) โดยมีคณะวิทยาศาสตร์เป็นคณะอ้างอิง ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง $p_i, i=1, 2, 3$ คือค่าความน่าจะเป็นที่นักศึกษาจะสอบผ่านพบว่าคะแนนสอบกลางภาคเพียงอย่างเดียวสามารถทำนายกลุ่มการเรียนรู้ของนักศึกษา (คณะวิชา) ได้ และจากผลการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบตัวแบบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่าตัวแบบเกรดนักศึกษาที่สามารถใช้ในการพยากรณ์เพื่อการจำแนกกลุ่มได้อย่างมีความเหมาะสม

คำสำคัญ : ตัวแบบการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ, การจัดกลุ่มการเรียนรู้, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ABSTRACT

The purpose of this study is to obtain student classification model and student achievement measurement model (Student Grade) in Linear Algebra undergraduate class at Rangsit University. Sampling data were randomly collected in Linear Algebra undergraduate class at Rangsit University semester 1/2009 based on three faculties: Information Technology, Science and Aviation Institute. The data is collected statistically analyzed by using the ordinal logistic regression model to obtain student classification model and student achievement student measurement model (Student Grade). Results of analysis are described as follows:

Mid-term examination score (x_1), final examination score (x_2) and report score (x_3), are independent variables. On the other side probability, each of three faculties is dependent variable: Information Technology (p_1), Aviation Institute (p_2) and Science (p_3). The reference category is Faculty of Science. $p_i, i = 1, 2, 3$ refers to the cumulative probability passing the examination. As a result, only mid-term examination score affects can the student

* ดร. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต E-mail: Kriengstat@yahoo.com

classification for each faculty. And the study results for flexibility student achievement measurement model that student grade can use predicted the student classification for flexibility.

Keywords: Ordinal Logistic Regression Model, Student Classification, Student Grade.

บทนำ

ปัจจุบันพบว่า ครู อาจารย์ และผู้บริหารในสถานศึกษาต่างให้ความสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมากกว่าสิ่งอื่น ตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 มาตรา 22 ระบุว่า การจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่าผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญสูงสุดกระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตนเองตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ ให้ความสำคัญในการบูรณาการความรู้ คุณธรรม กระบวนการเรียนรู้ตามความเหมาะสมของระดับการศึกษา (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ, 2542)

คณิตศาสตร์ เป็นวิชาในกลุ่มทักษะที่เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ ที่จะนำไปสู่การเรียนรู้ในกลุ่มประสบการณ์อื่นๆ และการเรียนในระดับสูง เป็นวิชาที่ช่วยพัฒนาคนให้รู้จักคิด และคิดเป็น คือ คิดอย่างมีเหตุผล มีระเบียบขั้นตอนในการคิด สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้โดยเฉพาอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน เราต้องใช้ความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์เกือบตลอดเวลา เช่น การประมาณค่า การซื้อขาย การดูเวลา การชั่ง การตวง การวัด และอื่นๆ อีกมาก ที่เกี่ยวกับจำนวนและตัวเลข อาจกล่าวได้ว่า คณิตศาสตร์เป็นวิชาทักษะที่สำคัญและสัมพันธ์กับชีวิตประจำวันอย่างแยกกันไม่ได้ ด้วยความสำคัญดังกล่าวข้างต้น การสอนคณิตศาสตร์เพียงเพื่อให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจเนื้อหาหลักของคณิตศาสตร์เท่านั้นยังไม่เพียงพอ แต่ครูคณิตศาสตร์ จำเป็นต้องสอนให้นักเรียนเห็นคุณค่าและเกิดทักษะในการคิดคำนวณ จนสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา ดังนั้นการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ จึงจำเป็นต้องเน้นการพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการแก้โจทย์ปัญหา การเรียนแก้โจทย์ปัญหาเป็นจุดประสงค์หลักของการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ โดยมีจุดมุ่งหมายในการสอนคณิตศาสตร์ คือ การทำให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้

การเรียนการสอนเกี่ยวกับโจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ในปัจจุบัน พบว่าเป็นปัญหาเรื้อรังมานานอาจมีสาเหตุหลายประการ เช่น การมีทัศนคติที่ไม่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ ไม่เห็นคุณค่าของวิชาคณิตศาสตร์ ไม่สามารถแก้ปัญหาโจทย์ที่ยากได้ มีความบกพร่องในด้านกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นฐานของผู้เรียน ความสนใจ ความถนัด ความชอบในการเรียนคณิตศาสตร์ และความสามารถของครู โดยครูที่สามารถสอนให้ผู้เรียนมีทักษะในการแก้โจทย์ปัญหาได้ดีต้องมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาคณิตศาสตร์เป็นอย่างดี รวมทั้งมีทักษะและเทคนิคการสอนเฉพาะในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ของตนเอง ดังนั้นเทคนิคการสอนของครู จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาได้ดียิ่งขึ้น (กมลพร จินดาหลวง, 2549)

พีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) เป็นวิชาพื้นฐานคณิตศาสตร์ที่จัดให้นักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์) สถาบันการบิน (นักบิน) และคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) ในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 ของมหาวิทยาลัยรังสิตได้ศึกษา เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษารายวิชา

ของแต่ละคณะ ถือได้ว่าเป็นวิชาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ผู้เรียนควรตั้งใจในการศึกษาเล่าเรียน แต่ผู้เรียนมักขาดประสบการณ์ในการวิเคราะห์ และการแก้ปัญหาโจทย์ จึงดูเหมือนว่าวิชานี้ยาก และน่าเบื่อหน่าย ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนค่อนข้างต่ำ

จากข้อมูลสถิติผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ในปีที่ผ่านมา นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนค่อนข้างต่ำ ขาดแรงจูงใจในการเรียนไม่สามารถสร้างองค์ความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ได้ นักศึกษาส่วนใหญ่ยังเคยชินกับการเป็นผู้รับมากกว่าเป็นผู้แสวงหาหาความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ในรายวิชาดังกล่าวโดยเฉพาะเนื้อหาเรื่องเมทริกซ์ และดีเทอร์มิแนนต์ ระบบสมการเชิงเส้น การแก้สมการหาคำตอบโดยวิธี Gaussian Elimination และ Gauss Jordan ปริภูมิเวกเตอร์ ปริภูมิย่อย ปริภูมิผลคูณภายใน ฐานหลักเชิงตั้งฉาก เมทริกซ์เปลี่ยนฐาน การแปลงเชิงเส้น ค่าเจาะจงและเวกเตอร์เจาะจงของเมทริกซ์ การหาเวกเตอร์เชิงตั้งฉากปกติโดยกระบวนการกราม-สมิทซ์ ที่มีความยุ่งยากซับซ้อน และลักษณะโจทย์มีหลากหลายรูปแบบ ทำให้นักศึกษาขาดทักษะในการวิเคราะห์ และการแก้ปัญหาโจทย์จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว (ทศนา แหมมณี, 2546). ผู้ศึกษาในฐานะอาจารย์ผู้สอนจึงมีแนวความคิดที่จะวิเคราะห์การจัดกลุ่มการเรียนรู้ของนักศึกษา เพื่อทราบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา (เกรดนักศึกษา) ซึ่งพิจารณาจากการออกข้อสอบโดยการให้คะแนนสอบกลางภาค คะแนนสอบปลายภาค และคะแนนรายงาน ระหว่างการกำหนดน้ำหนักคะแนนสอบที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคตัวแบบการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ (Ordinal Logistic Regression Model) ในการวิเคราะห์ว่าคะแนนสอบใดเป็นตัวแปรที่นักศึกษจะสามารถคาดหวังผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา และจะช่วยให้ นักศึกษาวิเคราะห์ผลการเรียนได้ (เกรดนักศึกษา) ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้ จะช่วยลดปัญหาการเรียนติดเกรด F และจะช่วยลดปัญหาการเรียนการสอนที่ยังขาดประสิทธิภาพอยู่ให้มีคุณภาพดียิ่ง ขึ้น ย่อมจะเป็นการแสดงถึงการพัฒนาระบบการเรียนการสอนที่มีคุณภาพ

ทฤษฎีและวิธีการศึกษา

1. ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ

วิธีวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับเป็นหนึ่งในวิธีการทางสถิติหลาย ๆ วิธีที่มีการนำมาใช้ในงานวิจัยทางการแพทย์และงานวิจัยทางสังคมศาสตร์ค่อนข้างมาก ซึ่งการถดถอยเชิงอันดับเป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้อ้างถึงตัวแบบการถดถอย โดยที่ตัวแปรตาม (Y) มีการแจกแจงแบบมัลติโนเมียลที่เป็นอิสระกัน และลักษณะข้อมูลเป็นลำดับที่ต่อเนื่องกัน (โดยมีระดับการวัดแบบมาตราเรียงลำดับ) โดยที่ระยะห่างของแต่ละลำดับที่ต่อเนื่องกันไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการประยุกต์วิเคราะห์เกรดของนักศึกษา (วีรนนท์ พงศาภักดี. 2541)

แนวคิดพื้นฐานและตัวแบบของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงอันดับมีดังนี้

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามในแต่ละระดับ
2. หาตัวแบบที่เหมาะสมในการจำแนกกลุ่มของตัวแปรตาม

เนื่องจากตัวแบบถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับเป็นส่วนหนึ่งของตัวแบบเชิงเส้นที่วางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models ,GLMs) ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ (กัลยา วานิชย์บัญชา. 2551)

1. ส่วนประกอบเชิงสุ่ม (Random component) เป็นส่วนที่แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม (Y) ที่เป็นตัวแปรตาม โดยแสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ $y_1, y_2, \dots, y_n$ ในรูปแบบที่อยู่ในกลุ่มเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Family)

2. ส่วนประกอบแบบมีระบบ (Systematic component) แสดงฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรอิสระหรือตัวพยากรณ์เชิงเส้น (Linear predictor)

3. ส่วนประกอบที่เชื่อมฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Link Function) สำหรับเชื่อมส่วนประกอบเชิงสุ่มและส่วนประกอบแบบมีระบบเข้าด้วยกัน

ดังนั้นจึงมี Link function เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การถดถอย และ Link function ที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงอันดับ มีอยู่หลายแบบ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาในกรณีที่ใช้ Logit เป็น Link function

ตัวแบบของการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ กรณีใช้ Logit เป็น Link function จะสามารถสร้างสมการ Logit function ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 (Chatterjee & Hadi. 2006 : 319)

$$\pi_i = P(Y = 1 | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_p = x_p) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p}} \quad \dots\dots (1)$$

$$1 - \pi_i = P(Y = 0 | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_p = x_p) = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p}} \quad \dots\dots (2)$$

เมื่อ π_i คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่นักศึกษาจะสอบได้เกรดที่ต้องการ

และ $1 - \pi_i$ คือความน่าจะเป็นเหตุการณ์ที่นักศึกษาจะสอบไม่ได้เกรดที่ต้องการ

ส่วนอัตราส่วนของความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่นักศึกษาจะสอบได้เกรดที่ต้องการ กับความน่าจะเป็นที่ของเหตุการณ์ที่นักศึกษาจะสอบไม่ได้เกรดที่ต้องการ เรียกว่า odds ratio แสดงได้ดังสมการที่ 3

$$\text{odds ratio} = \frac{\pi_i}{1 - \pi_i} = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p} \quad \dots\dots (3)$$

สมการที่ 3 เป็นสมการที่ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น ซึ่งค่า odds ratio สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ ดังสมการที่ 4

$$\ln\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \beta_0 + \beta x, \quad \dots\dots (4)$$

เมื่อ π_i คือ ความน่าจะเป็นสะสมของกลุ่มที่ i ; $i = 1, 2, 3, \dots, j - 1$

β_0 คือ ค่าคงที่สำหรับกลุ่มของตัวแปรตามที่ i ; $i = 1, 2, 3, \dots, j - 1$

i คือ จำนวนระดับของตัวแปรตาม

βx คือ $\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$; p คือ จำนวนสัมประสิทธิ์การถดถอย จากตัวแบบ จะได้ว่า β_0 และ β_p เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าสามารถประมาณค่าได้โดยใช้วิธี Maximum likelihood (ML)

ตัวประมาณที่ได้จะมีคุณสมบัติของความคงเส้นคงวา (consistent) ความพอเพียง (sufficiency) และมีประสิทธิภาพ (efficient) (Long, J.Scott, 1997)

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงอันดับ จะมีข้อกำหนดว่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวแปรแต่ละกลุ่มจะต้องเท่ากัน นั่นคือตัวแปรของแต่ละกลุ่มที่จะต้องขนานกัน ด้วยการทดสอบ Parallel lines และในการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรอิสระที่มีลักษณะของข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพจะเป็นปัจจัย (Factor) และข้อมูลเชิงปริมาณจะเป็นตัวแปรร่วม (Covariate variables) (Hair and et. al. 2006)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงอันดับ

1. เนื่องจากการใช้ Logit เป็น Link function ข้อมูลของตัวแปรตามในแต่ละกลุ่มควรมีการกระจายเท่าๆ กัน (Agresti, A, 2002). จึงทำการทดสอบความเท่ากันของข้อมูลในแต่ละระดับของตัวแปรตาม โดยมี สมมติฐานดังนี้

H_0 : ข้อมูลในแต่ละระดับของตัวแปรตามเท่ากัน (มีสัดส่วนเท่ากัน)

H_1 : ข้อมูลในแต่ละระดับของตัวแปรตามไม่เท่ากัน (มีสัดส่วนไม่เท่ากัน)

$$\text{สถิติทดสอบ } \chi^2 = \sum_{i=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}; i \text{ คือ จำนวนกลุ่มของตัวแปรตาม} \quad \dots\dots\dots (5)$$

2. ทดสอบชุดของตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่ โดยมี

สมมติฐานดังนี้ H_0 : ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน

$$\text{สถิติทดสอบคือ } \chi^2 = 2[\ln L_p - \ln L_o] ; df = p \quad \dots\dots\dots (6)$$

โดยที่ L_p แทน Log-likelihood ของตัวแปรที่ประกอบด้วยค่าคงที่และชุดตัวแปรอิสระ p ตัว

L_o แทน Log-likelihood ของตัวแปรที่ประกอบด้วยค่าคงที่เพียงอย่างเดียว

3. ทดสอบ parallel lines หรือ proportional odds โดยการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอย ในตัวแปรแต่ละกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่ (Lachin JM. 2000).

สมมติฐานดังนี้ $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{j-1}$

$H_1 : \beta_j$ อย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างกัน ; $j = 1, 2, \dots, J-1$

โดยที่ β_j คือเวกเตอร์ของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรกลุ่มที่ j

4. ทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม โดยมี

สมมติฐานดังนี้ $H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, p$

สถิติทดสอบคือ Wald test ซึ่งเป็นสถิติทดสอบความเป็นเชิงเส้น ซึ่งสถิติทดสอบคือ χ^2 ที่องศาความเป็นอิสระ (degrees of freedom; df) เท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการ

ทดสอบ

$$\chi^2 = \left[\frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \right]^2; df = 1 \quad \text{..... (7)}$$

5. ทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบที่ได้ โดยมี

สมมติฐานดังนี้ H_0 : ตัวแบบมีความเหมาะสม

H_1 : ตัวแบบไม่มีความเหมาะสม

สถิติทดสอบคือ Deviance (D);

$$D = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p o_{ij} \ln \left(\frac{o_{ij}}{E_{ij}} \right); df = n - p - (J - 1) \quad \text{..... (8)}$$

6. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระจาก odds ratios (Wallenstein S, Bodian C, 1987).

7. ตรวจสอบความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มของตัวแปรตามจากตัวแบบที่ได้ โดยในการพยากรณ์จำแนกกลุ่ม จะพิจารณาจากความเป็นที่ที่จะถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มนั้นๆ แต่เนื่องจากความเป็นที่คำนวณได้จากตัวแบบเชิงอันดับเป็นความน่าจะเป็นสะสม จึงต้องคำนวณหาความน่าจะเป็นของแต่ละกลุ่มจากผลต่างๆของความน่าจะเป็นสะสมของกลุ่มที่สนใจกับกลุ่มที่อยู่ก่อนหน้าซึ่งแสดงการคำนวณดังนี้

$$\ln \left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \right) = \alpha_i + \beta x \quad \text{..... (9)}$$

ถ้า ตัวแปรตามมี i ระดับ จะได้ตัวแบบในการพยากรณ์จำแนกกลุ่ม $i - 1$ กลุ่ม ดังนี้

$$\ln \left(\frac{\pi_1}{1 - \pi_1} \right) = \alpha_1 + \beta x$$

$$\ln \left(\frac{\pi_2}{1 - \pi_2} \right) = \alpha_2 + \beta x$$

:

$$\ln \left(\frac{\pi_{i-1}}{1 - \pi_{i-1}} \right) = \alpha_{i-1} + \beta x$$

โดยที่ตัวแบบของกลุ่มสุดท้ายจะเป็นตัวแบบอ้างอิงและจากตัวแบบที่ได้ สามารถคำนวณความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละกลุ่มของตัวแปรตามของเกรตนักศึกษาได้ดังนี้

$$\pi_i = \frac{\exp[\alpha_i + \beta x]}{1 + \exp[\alpha_i + \beta x]} \quad \text{..... (10)}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \pi_1 &= \frac{\exp[\alpha_1 + \beta x]}{1 + \exp[\alpha_1 + \beta x]} \\ \pi_2 &= \frac{\exp[\alpha_2 + \beta x]}{1 + \exp[\alpha_2 + \beta x]} \\ &: \\ \pi_{i-1} &= \frac{\exp[\alpha_{i-1} + \beta x]}{1 + \exp[\alpha_{i-1} + \beta x]} \end{aligned}$$

และความน่าจะเป็นสะสมของกลุ่มสุดท้าย (π_i) เท่ากับ 1 โดยสามารถคำนวณความน่าจะเป็นสำหรับจำแนกกลุ่มเกรดนักศึกษา ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 จะมีความน่าจะเป็นในการจำแนกกลุ่ม เท่ากับ π_1

กลุ่มที่ 2 จะมีความน่าจะเป็นในการจำแนกกลุ่ม เท่ากับ $\pi_2 - \pi_1$

:

กลุ่มที่ i จะมีความน่าจะเป็นในการจำแนกกลุ่ม เท่ากับ $1 - \pi_{i-1}$

ในการจำแนกกลุ่มจะพิจารณาจากกลุ่มที่มีความน่าจะเป็นสูงสุด เช่น ถ้ากลุ่มที่ 2 มีความน่าจะเป็นสูงสุด ก็จะจำแนกข้อมูลชุดนั้นอยู่ในกลุ่มที่ 2

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษานี้เป็นการศึกษาตัวแบบการจัดกลุ่มการเรียนรู้ของนักศึกษาแต่ละคณะวิชาและเป็นการศึกษาสมการพยากรณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา (เกรดนักศึกษา) ของคะแนนสอบกลางภาค 40% คะแนนสอบปลายภาค 45% และคะแนนรายงาน 15% ของวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ระหว่างการกำหนดน้ำหนักคะแนนที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิคตัวแบบการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ (Ordinal Logistic Regression Model) ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่างนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น ระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 ของมหาวิทยาลัยรังสิต ภาค 1 ปีการศึกษา 2554 แบ่งออกได้เป็น 3 คณะ คือ นักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์) จำนวน 74 คน รองลงมาคือ นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) จำนวน 31 คน และนักศึกษาสถาบันการบิณ (นักบิณ) จำนวน 23 คน (SPSS.Inc., 2005).

ผลการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มเรียนของนักศึกษา มีขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยการจัดกลุ่มการเรียนรู้ของนักศึกษาโดยใช้เกณฑ์จากคะแนนสอบกลางภาค 40% (x_1) คะแนนสอบปลายภาค 45% (x_2) และคะแนนรายงาน 15% (x_3) ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นตัวแปรอิสระ และความน่าจะเป็นของคณะเป็นตัวแปรตามมี 3 คณะ คือ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์) (p_1) สถาบันการบิณ (นักบิณ) (p_2) และคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) (p_3) โดยมีคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) เป็นคณะอ้างอิง โดยใช้การวิเคราะห์ตัวแบบการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบการเรียนรู้ของนักศึกษาแต่ละคณะวิชา

Dependent variable (คณะ ^า)	Independent variable	B	Wald-test	p-value
เทคโนโลยีสารสนเทศ	Intercept	6.933	2.804	0.094
	คะแนนสอบกลางภาค*	-0.076	6.328	0.012
	คะแนนสอบปลายภาค	-0.018	0.326	0.568
	คะแนนรายงาน	-0.319	0.276	0.248
สถาบันการป็น	Intercept	-81.522	61800	0.000
	คะแนนสอบกลางภาค*	-0.179	12.319	0.000
	คะแนนสอบปลายภาค	0.040	0.887	0.346
	คะแนนรายงาน	5.459	0.000	0.245

a: The reference category is : วิทยาศาสตร์, * : p-value < 0.05 มีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

จากตารางเขียนสมการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ ได้ 2 สมการ ดังนี้

$$\text{สมการที่ 1 คือ สมการคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ } \ln \left[\frac{P_1}{P_3} \right] = 6.933 - 0.076 X_1$$

$$\text{สมการที่ 2 คือ สมการสถาบันการป็น } \ln \left[\frac{P_2}{P_3} \right] = -81.522 - 0.179 X_1$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละกลุ่ม (คณะวิชา) ของตัวแปรตาม จะได้เป็นดังนี้ ความน่าจะเป็นสะสมของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์)

$$\pi_1 = \frac{\exp[\alpha_1 + \beta x]}{1 + \exp[\alpha_1 + \beta x]} = \frac{e^{6.933 - 0.076 x_1}}{1 + e^{6.933 - 0.076 x_1}}$$

ความน่าจะเป็นสะสมของสถาบันการป็น (นักป็น)

$$\pi_2 = \frac{\exp[\alpha_2 + \beta x]}{1 + \exp[\alpha_2 + \beta x]} = \frac{e^{-81.522 - 0.179 x_2}}{1 + e^{-81.522 - 0.179 x_2}}$$

และความน่าจะเป็นสะสมของคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) (π_3) เท่ากับ 1

จากการหาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับของคะแนนสอบวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ประกอบด้วยคะแนนสอบกลางภาค 40% คะแนนสอบปลายภาค 45% และคะแนนรายงาน 15% ที่เป็นนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์) เมื่อเทียบกับนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) คะแนนสอบกลางภาคมีค่า p-value = 0.012 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงว่าคะแนนสอบกลางภาคของวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) มี

ความสัมพันธ์กับการเรียนของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์) หรือคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) แสดงว่าคะแนนสอบกลางภาคมีผลต่อการเรียนทั้ง 2 คณะ เพราะคะแนนสอบกลางภาคเป็นการทดสอบการเรียนรู้พื้นฐานนักศึกษา ถ้านักศึกษาทำคะแนนสอบกลางภาคไม่ดี นักศึกษาอาจถอนการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) หรือควรปรับปรุงการเรียนให้ดีขึ้นในการสอบปลายภาค

จากการหาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับของคะแนนสอบวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ประกอบด้วยคะแนนสอบกลางภาค 40% คะแนนสอบปลายภาค 45% และคะแนนรายงาน 15% ที่เป็นนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรม (นักบิน) เมื่อเทียบกับนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) คะแนนสอบกลางภาคมีค่า $p\text{-value} = 0.000$ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงว่าคะแนนสอบกลางภาคของวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) มีความสัมพันธ์กับการเรียนของสถาปัตยกรรม (นักบิน) หรือคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) แสดงว่าคะแนนสอบกลางภาคมีผลต่อการเรียนทั้ง 2 คณะ เพราะคะแนนสอบกลางภาคเป็นการทดสอบการเรียนรู้พื้นฐานของนักศึกษา ถ้านักศึกษาทำคะแนนสอบกลางภาคไม่ดีนักศึกษาอาจถอนการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) หรือควรปรับปรุงการเรียนให้ดีขึ้นในการสอบปลายภาค

ขั้นตอนที่ 2 ในการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา (เกรดนักศึกษา) มีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกรดของนักศึกษาที่เรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ภาคการศึกษาที่1/2554

เกรด	จำนวนนักศึกษา	ร้อยละ
A	5	3.9
B ⁺	5	3.9
B	17	13.3
C ⁺	17	13.3
C	27	21.1
D ⁺	32	25.0
D	17	13.3
F	8	6.2
รวม	128	100.00

จากตารางที่ 2 แสดงเกรดของนักศึกษาที่เรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) โดยนักศึกษาได้เกรด D⁺ มากที่สุด จำนวน 32 คน (25%) รองลงมา คือ นักศึกษาได้เกรด C จำนวน 27 คน (21.1%) และน้อยที่สุด คือ นักศึกษาได้เกรด A และ B⁺ เท่า ๆ กัน จำนวน 5 คน (3.9%) โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 49.52 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.63

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของชุดตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

Model	-2 Log Likelihood	Chi-Square	df	Sig.
Intercept Only	487.890			
Final	45.600	442.289	6	0.000

จากตารางที่ 3 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยใช้ Logit เป็น Link function ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าถ้าตัวแบบประกอบด้วยค่าคงที่เพียงอย่างเดียว จะให้ค่า $-2LL = 487.89$ และถ้าตัวแบบประกอบด้วยค่าคงที่และตัวแปรอิสระ จะให้ค่า $-2LL=45.60$ นั่นคือตัวแบบที่มีตัวแปรอิสระรวมอยู่ด้วยมีความเหมาะสมมากกว่าตัวแบบที่มีค่าคงที่เพียงอย่างเดียว นั่นคือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรือจำนวนเหตุการณ์ของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับการตรวจแล้วพบว่าเป็นนักศึกษาสอบผ่านได้เกรดใดก็ตามหรือนักศึกษาสอบไม่ผ่านได้เกรด F แล้วจะได้ $Chi-Square = \text{Intercept Only} - \text{Final} (487.89 - 45.600) = 442.289$ จะได้ค่า $p\text{-value} = 0.000$ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม

ขั้นตอนที่ 3. ทดสอบความเท่ากันของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบแต่ละกลุ่ม โดยการทดสอบ Parallel line ผลการทดสอบดังตาราง 3

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบ Parallel line Likelihood Ratio Tests

Effect	Chi-Square	Df	Sig.
Intercept	182.860	7	0.000
คะแนนสอบกลางภาค	300.552 [*]	7	0.000
คะแนนสอบปลายภาค	307.783 [*]	7	0.000
คะแนนรายงาน	38.734 [*]	7	0.000

*: $p\text{-value} < 0.05$ มีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05

จากตารางที่ 4 พบว่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบแต่ละกลุ่มมีส่วนไม่เท่ากัน คือ x_1 (คะแนนสอบกลางภาค), x_2 (คะแนนสอบปลาย) และ x_3 (คะแนนรายงาน) เนื่องจากค่า $p\text{-value} = 0.000$ ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้นจะได้ตัวแบบในการพยากรณ์ความน่าจะเป็นสะสมเพื่อการจำแนกเกรดของนักศึกษา (Y) ในแต่ละระดับมีส่วนเท่ากันโดยมีค่า $P(Y \leq F)$ ของเกรด F เป็นตัวแปรอ้างอิง แล้วจะได้

$$\log it [P(Y \leq i)] = \ln \left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \right) = \alpha_i + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7$$

จะได้ตัวแบบในการพยากรณ์ในการจำแนกกลุ่มเกรดนักศึกษา ดังนี้

$$\log it [P(Y \leq A)] = -5,103.392 + 116.186(x_1) + 124.050(x_2) + 57.792(x_3)$$

$$\log it [P(Y \leq B^+)] = -4,779.112 + 108.895(x_1) + 116.710(x_2) + 62.964(x_3)$$

$$\log it [P(Y \leq B)] = -4,173.557 + 99.498(x_1) + 107.374(x_2) + 57.876(x_3)$$

$$\log it [P(Y \leq C^+)] = -3,622.793 + 86.666(x_1) + 88.014(x_2) + 74.40(x_3)$$

$$\log it [P(Y \leq C)] = -2,330.066 + 60.801(x_1) + 61.779(x_2) + 55.3449(x_3)$$

$$\log it [P(Y \leq D^+)] = -1,230.253 + 35.45(x_1) + 36.387(x_2) + 33.587(x_3)$$

$$\log it [P(Y \leq D)] = -305.645 + 9.494(x_1) + 10.173(x_2) + 11.240(x_3)$$

โดยมีค่า $P(Y \leq F)$ ของระยะสุดท้ายเป็นตัวแปรอ้างอิง และจากผลการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบเกรดนักศึกษา พบว่าตัวแบบเกรดนักศึกษาที่ได้สามารถใช้ในการพยากรณ์ค่า π_i ในการจำแนกกลุ่มความน่าจะเป็นสะสมของเกรดนักศึกษาที่สอบได้ เพื่อการจำแนกกลุ่มจะได้มีความเหมาะสม

ดังนั้นความน่าจะเป็นสะสมตั้งแต่กลุ่ม A ถึง กลุ่ม D (เกรดนักศึกษา) ของตัวแปรตาม โดยการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอย proportional odds จะได้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}\pi_A &= \frac{e^{-5,103.392+116.186x_1+124.050x_2+57.792x_3}}{1+e^{-5,103.392+116.186x_1+124.050x_2+57.792x_3}} \\ \pi_{B^+} &= \frac{e^{-4,779.112+108.895x_1+116.710x_2+62.964x_3}}{1+e^{-4,779.112+108.895x_1+116.710x_2+62.964x_3}} \\ \pi_B &= \frac{e^{-4,173.557+99.498x_1+107.374x_2+57.876x_3}}{1+e^{-4,173.557+99.498x_1+107.374x_2+57.876x_3}} \\ \pi_{C^+} &= \frac{e^{-3,622.793+86.666x_1+88.014x_2+74.40x_3}}{1+e^{-3,622.793+86.666x_1+88.014x_2+74.40x_3}} \\ \pi_C &= \frac{e^{-2,330.066+60.801x_1+61.779x_2+55.3449x_3}}{1+e^{-2,330.066+60.801x_1+61.779x_2+55.3449x_3}} \\ \pi_{D^+} &= \frac{e^{-1,230.253+35.45x_1+36.387x_2+33.587x_3}}{1+e^{-1,230.253+35.45x_1+36.387x_2+33.587x_3}} \\ \pi_D &= \frac{e^{-305.645+9.494x_1+10.173x_2+11.240x_3}}{1+e^{-305.645+9.494x_1+10.173x_2+11.240x_3}}\end{aligned}$$

จากผลการศึกษาได้ความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มผลการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ซึ่งผู้สอนสามารถใช้ผลที่ได้ทำนายผลการเรียนของนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น ในภาคการศึกษาต่อไปนอกจากนี้หากพิจารณาจากกลุ่มผลการเรียนได้ว่าเป็นนักศึกษาที่มีความสามารถในการเรียนอยู่ในกลุ่มต่ำผู้สอนควรแนะนำนักศึกษา่อนการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น หรือภาควิชาคณิตศาสตร์ควรจัดให้มีแบบทดสอบมาตรฐานให้กับนักศึกษา เพื่อวัดค่านักศึกษาคนใดควรได้รับการเสริมในการเรียนก่อนที่จะลงทะเบียนเรียนวิชานี้หรือไม่

สรุปและอภิปรายผล

การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับเป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามที่อยู่ในมาตรวัดเรียงลำดับ และตัวแปรอิสระอยู่ในมาตรวัดใดก็ได้ โดยในการวิเคราะห์จะคำนึงถึงอันดับของตัวแปรตาม และสามารถนำตัวแบบที่ได้มาพยากรณ์จำแนกกลุ่มได้อีกด้วย จากการประยุกต์ใช้กับข้อมูล จะเห็นว่าตัวแปรตามคือ เกรดนักศึกษา (A , B^+ , B , C^+ , C , D^+ , D และ F) ที่เรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้นของมหาวิทยาลัยรังสิต ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2554 แบ่งออกเป็น 3 คณะ คือ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์), สถาบันการบิน (นักบิน) และคณะวิทยาศาสตร์ (สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์) จะได้ว่าความแตกต่างของระดับเกรดนักศึกษาที่สอบผ่าน ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน จึงได้ตัวแบบในการพยากรณ์จำแนกกลุ่มจำนวน 7 ตัวแบบ และเมื่อทำการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแบบ พบว่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละกลุ่มเท่ากัน จึงสามารถใช้การถดถอยลอจิสติกเชิงอันดับวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวได้ ส่วนการจำแนกกลุ่มของคณะต่าง ๆ จะได้ว่าความแตกต่างของระดับการเรียนของนักศึกษาแต่ละคณะที่สอบผ่านไม่จำเป็นต้องเท่ากันโดยอ้างอิงจากคณะที่มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด และเมื่อทำการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบ พบว่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของคะแนนสอบกลางภาคมีผลต่อการเรียน เพราะคะแนนสอบกลางภาคเป็นการทดสอบการเรียนพื้นฐานของนักศึกษาถ้านักศึกษาทำคะแนนสอบกลางภาคไม่ดีนักก็อาจถอนการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้นของนักศึกษา หรือควรปรับปรุงการเรียนให้ดีขึ้นในการสอบปลายภาค ซึ่งผู้สอนสามารถใช้ผลที่ได้ทำนายผลการเรียนของนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้นในภาคการศึกษาต่อไป นอกจากนี้หากพิจารณาจากกลุ่มผลการเรียนได้ว่าเป็นนักศึกษาที่มีความสามารถในการเรียนอยู่ในกลุ่มต่ำผู้สอนควรแนะนำนักศึกษาให้อาจถอนการเรียนวิชาพีชคณิตเชิงเส้น หรือภาควิชาคณิตศาสตร์ควรจัดให้มีแบบทดสอบมาตรฐานให้กับนักศึกษา เพื่อวัดค่านักศึกษาคนใดที่ควรได้รับการเสริมในการเรียนก่อนที่จะลงทะเบียนเรียนวิชานี้หรือไม่

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (2542), มาตรา 22. พ.ศ. 2542 กระทรวงศึกษาธิการ

กมลพร จินดาหลวง. (2549). การพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ โดยการสร้างผัง ความคิด ของ

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา หลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- ทิตนา แคมมณี, (2546). รูปแบบการสอนทางเลือกที่หลากหลาย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีรานันท์ พงศาภักดี. (2541). การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกลุ่ม : ทฤษฎีและการประยุกต์ พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม: ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2551) การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2551) การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวิดา ศักดิ์ชัยนันท์ (2011). Comparison of confidence interval estimation methods for the difference of two population means for lognormal distribution Veridian E-Journal, SU Vol.4 No. 2 September – December 2011 เข้าถึงได้จาก <http://www.ejournal.su.ac.th>
- กรรณิการ์ จักรกรร (2012). “Learning Achievement in Mathematics on Linear Equation with one Variable Problem - Solving for Mathayomsuksa 2 by using the Guided Discovery” Veridian E-Journal, SU Vol.5 No. 1 January – April 2012 เข้าถึงได้จาก <http://www.ejournal.su.ac.th>
- ภาษาต่างประเทศ**
- Agresti, A., (2002). Categorical Data Analysis. 2nd rev-ed., New York: John Wiley & Sons, 2002.
- Chatterjee, S. & Hadi, A.S. (2006). Regression analysis by example. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Doungporn Niyomua, Krieng Kitbumrungrat. (2009). “Application and prediction stage of breast cancer with multinomial logistic regression” Volume 2, ICACTE 2009.
- Hair, Joseph F. and others. (2006). Multivariate data analysis. 6th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Hair, Joseph F. and others. (2010). Multivariate data analysis. 7th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Jiahe Qian, (2003), Application of Logistic Regression in Analysis of e-rater Data, Education Testing Service, ETS MS 02-T, Princeton, NJ 08541
- Lachin JM. (2000). Biostatistical methods: the assessment of relative rate. New York: Wiley-Interscience,
- Long, J.Scott, (1997). Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables. United States of America: Sage Publication, Inc.,
- Rahman, Mezbuhar, Cortes, Judy and Pardis, Cyrus (2001), A Note on Logistic Regression, *Journal of Statistics & Management Systems*, Vol. 4, No.2 p 175-187
- SPSS.Inc., (2005). SPSS (Thailand) Co., Ltd. SPSS for Windows version 16.0.2 , [homepage on the

internet]. Ordinal Regression. [cited 2005 Oct 31]. Available from:

http://www.norusis.com/pdf/ASPC_v13.pdf.

Wallenstein S, Bodian C.. (1987). Inferences on odds ratios, relative risks, and risk differences based on standard regression programs. *Am J Epidemiol* 1987;126:346–55.

Wacholder S. (1986). Binomial regression in GLIM: estimating risk ratios and risk differences. *Am J Epidemiol* 1986;123:174–84.