การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ

นางสาวนรินทร์ทิพย์ เทียนสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-347-017-4

AN ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS FOR TWO CROSSED FACTORS DESIGN BY MODEL AVERAGING METHOD

MISS NARINTIP TEANSAWANG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Statistics
Department of Statistics
Faculty of Commerce and Accountancy
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-347-017-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ
โดย	นางสาวรินทร์ทิพย์ เทียนสว่าง
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัช อภิเมธีธำรง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพร วีระถาวร)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี)

นรินทร์ทิพย์ เทียนสว่าง : การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ. (AN ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS FOR TWO CROSSED FACTORS DESIGN BY MODEL AVERAGING METHOD.) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา, 147 หน้า. ISBN 974-347-017-4.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่ม 2 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยตัวแบบ (Model Averaging Method) และวิธีแบบฉบับ (Classical Method) โดยที่วิธีแบบฉบับทำการประมาณจากตัวแบบเต็มรูป (Full model) ส่วนวิธีการเฉลี่ยตัวแบบทำการประมาณด้วยการลดรูปตัวแบบ (Reduced model) จากตัวแบบเต็มรูปจนได้ตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วทำการเฉลี่ยตัวแบบ กำหนดให้ตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มมีตัวแบบเต็มรูปดังนี้

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad , i = 1,2,...,a \ ; \ j = 1,2,...,b \ ; \ k = 1,2,...,n$$

เมื่อ y_{ijk} แทนค่าสังเกตที่ k ระดับที่ i ของปัจจัยแรก และระดับที่ j ของปัจจัยสอง, μ แทนค่าเฉลี่ยรวม, α_i แทนผลกระทบระดับที่ i ของปัจจัยแรก, β_j แทนผลกระทบระดับที่ j ของปัจจัยสอง, $(\alpha\beta)_{ij}$ แทนอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างระดับที่ i ของปัจจัยแรกและระดับที่ j ของปัจจัยสอง, ε_{ijk} แทนความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ k ระดับที่ i ของปัจจัยแรกและระดับที่ j ของปัจจัยสอง โดยที่ α_i , β_j , $(\alpha\beta)_{ij}$ และ ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยศูนย์และความแปรปรวน σ^2_α , σ^2_β , $\sigma^2_{\alpha\beta}$ และ σ^2_ε ตามลำดับ, a แทนจำนวนระดับปัจจัยของปัจจัยแรก, b แทนจำนวนระดับปัจจัยของปัจจัยสอง และ n แทนขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ในแต่ละวิธีการทดลอง โดยที่พารามิเตอร์ $\sigma^2_\alpha , \sigma^2_\beta , \sigma^2_{\alpha\beta}$ และ σ^2_ε เรียกว่าส่วนประกอบความแปรปรวน

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลโดยใช้โปรแกรม S-plus 2000 การเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์ของระดับปัจจัยทั้งสอง ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) และได้ทำการจำลองข้อมูลในกรณีที่ a=b=2, 3, 4 และ 5 โดยที่ n=3,5 และ 7 ที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายเท่ากับ 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55% และ 65% ตามลำดับ สำหรับเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าประมาณจากวิธีการทั้งสองแบบนั้นได้ใช้วิธีการหาค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้มีค่ามากกว่าระดับปัจจัยที่เท่ากัน การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับ ส่วนในกรณีที่ขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับปัจจัยที่เท่ากัน การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยสูงกว่าการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับ ยกเว้นกรณีที่ระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้มีค่าเป็น 3 ที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่า

นั่นคือ การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบในแผนแบบการทดลองสมดุลย์ให้ค่าประมาณโดยส่วนใหญ่ดีกว่าการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับเมื่อแผนแบบการทดลองมีขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้มากกว่าระดับปัจจัยที่เท่ากัน

ภาควิชาสถิติ	ลายมือชื่อนิสิต ....นรินทร์ทิพย์ เทียนสว่าง....
สาขาวิชาสถิติ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา....................
ปีการศึกษา 2543	

4182252526 : MAJOR STATISTICS

KEYWORD: Variance Components / Model Averaging Method / Two Crossed Factors Design / Random-Effect

NARINTIP TEANSAWANG : AN ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS FOR TWO CROSSED FACTORS DESIGN BY MODEL AVERAGING METHOD. THESIS ADVISOR : PROF. SUPOL DURONGWATANA,Ph.D., 147 pp. ISBN 974-347-017-4

The objective of this study is to compare two methods of variance components estimation for two factorial crossed classification design; the model averaging method and the classical method. The classical method estimates all variance components directly by the full model while the model averaging method estimates those variance components using all possible reduced models and then averaging all of those estimates. The full model estimation for two factorial crosses classification design is as follows:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad , i = 1,2,...,a \ ; \ j = 1,2,...,b \ ; \ k = 1,2,...,n$$

Where y_{ijk} is the k^{th} observation for the i^{th} level of factor A and the j^{th} level of factor B, μ is grand mean, α_i is the i^{th} random effect of factor A, β_j is the j^{th} random effect of factor B, $(\alpha\beta)_{ij}$ is the random effect for interaction effect for the i^{th} level of factor A and the j^{th} level of factor B, ε_{ijk} is random error for the k^{th} observation at the i^{th} level of factor A and the j^{th} level of factor B and α_i , β_j , $(\alpha\beta)_{ij}$ and ε_{ijk} are independently and normally distributed with mean zero and variance σ^2_α , σ^2_β , $\sigma^2_{\alpha\beta}$ and σ^2_ε respectively, a is number of levels for factor A, b is number of levels for factor B, n is number of replication for each treatment combination. The parameters; σ^2_α , σ^2_β, $\sigma^2_{\alpha\beta}$ and σ^2_ε , are variance components for the model.

Monte Carlo Simulation is done through S-plus 2000 code. It is simulated under several situations due to the number of levels for factor A, the number of levels for factor B, the number of replication for each treatment combination and the coefficient of variation (C.V.) of the observed data. In this study, the simulation is specified at a=b=2, 3, 5 and 7 when n=3,5 and 7 respectively. The coefficient of variation is specified at 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, and 65% respectively. The average of Euclidean distance between the vector of variance component estimates and the vector of true values is a criteria for comparison between both methods.

The result of the study shows that point estimates for each variance components using the model averaging method; for , the number of replication greater than the number of levels for both factors; provides shorter averaged distance than the one from the classical method. When the number of replication is less than or equal to the number of levels for both factors, the distance from the averaging method is more than the one from the classical method except the case that the number of replication and the number of levels for both factors are equal to 3. In summary, the point estimation of variance components for balanced design of two factorial crossed classification model using the model averaging method is better than the one from the classical method when the number of replication is greater than the number of levels for both factors.

Department Statistics

Field of study Statistics

Academic year 2000

Student's signature ....Narintip Teansawang........

Advisor's signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยเหลือตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพร วีระถาวร และ รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติและภาควิชาคณิตศาสตร์ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ญาติพี่น้อง ที่สนับสนุนในด้านทุนการศึกษา อุปกรณ์ในการทำวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยจึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาตัวแบบในลักษณะของแผนแบบการทดลอง (Experimental Designs) จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance (ANOVA)) เป็นวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับกรณีที่ปัจจัยที่สนใจศึกษาเป็นปัจจัยที่สุ่มมาจากประชากรการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวน (Variance Components) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการแสดงค่าความแปรปรวนของปัจจัยที่สนใจศึกษาในแผนแบบการทดลองนั้น ๆ จะเป็นจุดประสงค์ที่สำคัญของการวิเคราะห์

สำหรับวิธีการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนในปัจจุบันนิยมทำการประมาณโดยใช้แนวคิดแบบแบบฉบับ (Classical Statistics) คือทำการสร้างสมการโดยให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองมีค่าเท่ากับค่าประมาณของค่าคาดหวังค่าเฉลี่ยกำลังสองซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าประมาณของส่วนประกอบความแปรปรวนที่ต้องการประมาณ วิธีการนี้เป็นวิธีที่ให้ผลเร็วเนื่องจากจะใช้เวลาในคำนวณตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพียงไม่นานก็จะได้ค่าประมาณที่ต้องการออกมาอีกทั้งยังทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติหลายประเภทได้อีก จึงส่งผลให้การประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนที่ใช้แนวคิดแบบแบบฉบับคำนวณได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว แต่วิธีการนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวแบบที่ขึ้นกับลักษณะของการรวบรวมข้อมูลเพียงตัวแบบเดียวเท่านั้น ดังนั้นอาจจะทำให้การประมาณค่าเกิดความคลาดเคลื่อนสูงได้

ปัจจุบันนี้มีนักวิชาการหลายท่านได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเฉลี่ยตัวแบบในการวิเคราะห์ความถดถอย[1]ขึ้น โดยวิธีการนี้เป็นกระบวนการประมาณค่าเชิงปริมาณภายใต้ตัวแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้แล้วทำการเฉลี่ยค่าประมาณที่ได้ในแต่ละตัวแบบ โดยผลที่ได้คือวิธีการนี้ให้ค่าประมาณที่ต้องการเกิดความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าวิธีการเดิม ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้นำหลักการของการเฉลี่ยตัวแบบในการวิเคราะห์ความถดถอยมาประยุกต์ใช้กับการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบในลักษณะของแผนแบบการทดลอง โดยมีแนวความคิดว่าถ้าทำการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนจากตัวแบบเต็มรูป (Full model) แล้วทำการลดรูปจากตัวแบบเต็มรูป (Reduced model) จนได้ตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากนั้นนำค่าประมาณที่ได้

---

[1] Larry Wasserman. "Bayesian Model Selection and Model Averaging." (Carnegie Mellon University), August 1997.

ทั้งหมดมาทำการเฉลี่ยรวมกัน ซึ่งวิธีการนี้อาจทำให้ค่าของส่วนประกอบความแปรปรวนมีค่าใกล้เคียงหรือลู่เข้าสู่ค่าจริงของพารามิเตอร์ในตัวแบบนั้น ๆ มากขึ้นก็เป็นได้

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษามีความสนใจที่จะศึกษาตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่ม (Two crossed factors design) กรณีที่ทั้งสองปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยสุ่ม กล่าวคือระดับของปัจจัยทั้งสองเป็นบางส่วนของระดับทั้งหมดที่เป็นไปได้หรือเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระดับประชากร ในการจัดปัจจัยทั้งสองจะจัดให้ปัจจัยที่ระดับทุกระดับของปัจจัยแรกไปปรากฏในทุกระดับของปัจจัยสองและให้แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเท่ากัน ซึ่งตัวแบบนี้เป็นกรณีเฉพาะของตัวแบบหลายปัจจัย (Factorial designs) สำหรับตัวแบบนี้มีการแยกการวิเคราะห์ส่วนประกอบความแปรปรวนของปัจจัยที่สนใจสองปัจจัยโดยที่ปัจจัยทั้งสองอาจจะมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองปัจจัยหรือไม่ก็ได้ ทำให้การประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการประมาณตัวแบบได้ง่ายเนื่องจากไม่ทราบแน่ชัดว่าปัจจัยทั้งสองจะมีผลกระทบร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้งสองปัจจัยหรือไม่ ซึ่งจากหลักการของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบอาจจะทำให้ปัญหานี้หมดไปได้เพราะวิธีการนี้ได้ทำการเฉลี่ยตัวแบบรวมทุกกรณีทั้งหมดที่เป็นไปได้ไว้แล้ว ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบทั้งสองวิธีเพื่อตรวจสอบว่าค่าประมาณของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มจากวิธีการใดที่ให้ค่าของส่วนประกอบความแปรปรวนโดยรวมใกล้เคียงกับค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนมากที่สุดและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่ม 2 รูปแบบ คือ

1.2.2.1 ตัวแบบจากวิธีแบบฉบับ (Classical Method)

1.2.2.2 ตัวแบบจากวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ (Model Averaging Method)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าประมาณโดยรวมใกล้เคียงกับค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนมากกว่าการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีแบบฉบับ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ทำการทดลองกับตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มโดยที่แต่ละปัจจัยเป็นปัจจัยสุ่มในแผนแบบการทดลองสมดุลย์ที่มีขนาด 2x2 , 3x3 , 4x4 และ 5x5 ตามลำดับ

1.4.2 ในแผนแบบการทดลองลักษณะของข้อมูลที่ต้องการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการประยุกต์กับข้อมูลในเชิงการแพทย์ที่ต้องทำการทดลองกับสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ เป็นต้น ทำให้การกำหนดขนาดตัวอย่างในแต่ละวิธีการทดลองไม่ควรที่จะมีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะทำการกำหนดให้ขนาดตัวอย่างของแต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 3 , 5 และ 7 โดยจะได้ขนาดตัวอย่างในแต่ละแผนแบบการทดลองดังนี้

1.4.2.1 ในแผนแบบการทดลองขนาด 2x2 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 3 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12

1.4.2.2 ในแผนแบบการทดลองขนาด 2x2 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 5 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20

1.4.2.3 ในแผนแบบการทดลองขนาด 2x2 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 7 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 28

1.4.2.4 ในแผนแบบการทดลองขนาด 3x3 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 3 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 27

1.4.2.5 ในแผนแบบการทดลองขนาด 3x3 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 5 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 45

1.4.2.6 ในแผนแบบการทดลองขนาด 3x3 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 7 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 63

1.4.2.7 ในแผนแบบการทดลองขนาด 4x4 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 3 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 48

1.4.2.8 ในแผนแบบการทดลองขนาด 4x4 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 5 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 80

1.4.2.9 ในแผนแบบการทดลองขนาด 4x4 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 7 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 112

1.4.2.10 ในแผนแบบการทดลองขนาด 5x5 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 3 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 75

1.4.2.11 ในแผนแบบการทดลองขนาด 5x5 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 5 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 125

1.4.2.12 ในแผนแบบการทดลองขนาด 5x5 ที่แต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 7 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 175

1.4.3 กำหนดให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation (C.V.(y_{ijk}))) ที่ครอบคลุมความเป็นไปได้ของข้อมูลในระดับต่าง ๆ กัน คือให้ C.V.(y_{ijk}) มีค่าเท่ากับ 5% , 15% , 25% , 35% , 45% , 55% และ 65% ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยประชากร (μ) เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นการที่จะกำหนด μ ให้มีค่าเป็นเท่าไรนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อการทดลอง แต่ต้องกำหนดโดยดูจากค่าความแปรปรวนว่าจะต้องมีค่าไม่น้อยจนเกินไป ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการกำหนดให้ μ มีค่าเท่ากับ 40 และจะได้ความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 4, 36, 100, 196, 324, 484 และ 676 ตามลำดับ

1.4.4 ทำการกำหนดค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (σ^2_ε) โดยมีหลักในการคำนวณดังนี้

$$C.V.(y_{ijk}) = \frac{SD(y_{ijk})}{\mu} = \frac{\sqrt{\sigma^2_\alpha + \sigma^2_\beta + \sigma^2_{\alpha\beta} + \sigma^2_\varepsilon}}{\mu}$$

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการกำหนดให้ ค่าความแปรปรวนของปัจจัยแรก เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของปัจจัยสอง เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของอันตรกริยาระหว่างปัจจัยแรกและปัจจัยสอง เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคูณกับค่าคงที่หนึ่ง ๆ* (c)

นั่นคือ $$\sigma^2_\alpha = \sigma^2_\beta = \sigma^2_{\alpha\beta} = c\sigma^2_\varepsilon$$

จะได้ว่า $$C.V.(y_{ijk}) = \frac{\sqrt{c\sigma^2_\varepsilon + c\sigma^2_\varepsilon + c\sigma^2_\varepsilon + \sigma^2_\varepsilon}}{\mu} = \frac{\sigma_\varepsilon\sqrt{3c+1}}{\mu}$$

ดังนั้น $$\sigma^2_\varepsilon = \frac{(C.V.(y_{ijk}) \times \mu)^2}{3c+1}$$ โดยกำหนดให้ c = 1, 2 และ 3

---

* ในทางปฏิบัติการกำหนดให้ $\sigma^2_\alpha = \sigma^2_\beta = \sigma^2_{\alpha\beta} = c\sigma^2_\varepsilon$ ไม่เสมอไป แต่เพื่อความสะดวกในการวิจัยจึงกำหนดให้มีค่าดังกล่าว

1.4.5 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองข้อมูล y_{ijk} ที่สุ่มมาจากแต่ละประชากรที่มีวิธีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 คือ ฟังก์ชัน rnorm(n, mean, sd)

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

mean คือ ค่าเฉลี่ยประชากร (μ)

sd คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

และทำการทดลองจนกว่าตัวเลขสุ่มจะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อกำหนดเกี่ยวกับข้อมูลจากแผนการทดลองแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่ม[2] โดยมีจำนวนหน่วยการทดลองเท่ากันตลอด มีดังนี้

1) หน่วยทดลองของแต่ละวิธีการทดลองจัดเป็นแต่ละชุดตัวอย่างสุ่มจากแต่ละประชากรของวิธีการทดลองทั้งหมด ab วิธี

2) แต่ละค่าข้อมูลตัวแปรตาม y เก็บรวบรวมจากแต่ละหน่วยทดลองสำหรับการทดลองนั้น ๆ

3) ค่าสังเกตจากแต่ละชุดตัวอย่างสุ่มนั้นถือว่าสุ่มมาจากแต่ละประชากรที่มีวิธีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ด้วยค่าเฉลี่ย μ_{ij} สำหรับ i = 1,2,...,a และ j = 1,2,...,b ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ทางสถิติของค่าสังเกตได้ดังนี้

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

สำหรับ i = 1,2,...,a

j = 1,2,...,b

k = 1,2,...,n

โดยที่ $E(y_{ijk}) = \mu_{ij}$

ดังนั้น จะได้ว่า $E(\varepsilon_{ijk}) = 0$ ทุก i , j และ k

4) การแจกแจงของ Y จากแต่ละประชากร มีการแจกแจงด้วยค่าความแปรปรวนเท่ากันคือ σ^2 นั่นคือ $V(y_{ijk}) = \sigma^2$ ดังนั้น $V(\varepsilon_{ijk}) = V(y_{ijk}) = \sigma^2$ ทุก i , j และ k

---

[2]สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 107-108.

ดังนั้น จะกำหนดให้ตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มกรณีที่ทั้งสองปัจจัยเป็นปัจจัยสุ่ม มีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

สำหรับ i = 1,2,...,a ; j = 1,2,...,b ; k = 1,2,...,n

เมื่อ y_{ijk} เป็นค่าสังเกตที่ k ระดับที่ i ของปัจจัยแรก และระดับที่ j ของปัจจัยสอง

μ เป็นค่าเฉลี่ยรวม

α_i เป็นผลกระทบระดับที่ i ของปัจจัยแรก

β_j เป็นผลกระทบระดับที่ j ของปัจจัยสอง

$(\alpha\beta)_{ij}$ เป็นอันตรกิริยาระหว่างระดับที่ i ของปัจจัยแรกและระดับที่ j ของปัจจัยสอง

และ ε_{ijk} เป็นค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าสังเกตที่ k ระดับที่ i ของปัจจัยแรก และระดับที่ j ของปัจจัยสอง

จะได้ตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับนำไปสู่การเฉลี่ยส่วนประกอบความแปรปรวน 8 รูปแบบ ดังต่อไปนี้คือ

(1) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

(2) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

(3) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

(4) $$y_{ijk} = \mu + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

(5) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk}$$

(6) $$y_{ijk} = \mu + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

(7) $$y_{ijk} = \mu + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

(8) $$y_{ijk} = \mu + \varepsilon_{ijk}$$

สำหรับ α_i, β_j, $(\alpha\beta)_{ij}$ และ ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงที่เป็นอิสระจากกัน* และ

$$\alpha_i \sim N(0,\sigma_\alpha^2)$$
$$\beta_j \sim N(0,\sigma_\beta^2)$$
$$(\alpha\beta)_{ij} \sim N(0,\sigma_{\alpha\beta}^2)$$
$$\varepsilon_{ijk} \sim N(0,\sigma_\varepsilon^2)$$

ทุก $i = 1,2,\ldots,a$; $j = 1,2,\ldots,b$; $k = 1,2,\ldots,n$

และ
$$Cov(y_{ijk}, y_{i'j'k'}) = \begin{cases} \sigma_\alpha^2+\sigma_\beta^2+\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2 & \text{สำหรับ } i=i', j=j', k=k' \\ \sigma_\alpha^2+\sigma_\beta^2+\sigma_{\alpha\beta}^2 & \text{สำหรับ } i=i', j=j', k\neq k' \\ \sigma_\alpha^2 & \text{สำหรับ } i=i', j\neq j' \\ \sigma_\beta^2 & \text{สำหรับ } i\neq i', j=j' \\ 0 & \text{สำหรับ } i\neq i', j\neq j' \end{cases}$$

จะได้ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลใด ๆ คือ

$$E(y_{ijk}) = \mu \quad \text{และ} \quad V(y_{ijk}) = \sigma_\alpha^2+\sigma_\beta^2+\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2$$

นั่นคือ $y_{ijk} \sim N(\mu, \sigma_\alpha^2+\sigma_\beta^2+\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2)$

และ $\bar{y}_{...} = \mu + \bar{\alpha}_i + \bar{\beta}_j + \overline{(\alpha\beta)}_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ijk}$

จะได้
$$E(\bar{y}_{...}) = \mu$$
$$\begin{aligned} V(\bar{y}_{...}) &= V(\bar{\alpha}_i) + V(\bar{\beta}_j) + V(\overline{(\alpha\beta)}_{ij}) + V(\bar{\varepsilon}_{ijk}) \\ &= V\left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\alpha_i}{a}\right) + V\left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\beta_j}{b}\right) + V\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{(\alpha\beta)_{ij}}{ab}\right) + V\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}\frac{\varepsilon_{ijk}}{abn}\right) \\ &= \frac{\sigma_\alpha^2}{a} + \frac{\sigma_\beta^2}{b} + \frac{\sigma_{\alpha\beta}^2}{ab} + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{abn} \\ &= \frac{1}{abn}(bn\sigma_\alpha^2 + an\sigma_\beta^2 + n\sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2) \end{aligned}$$

ดังนั้น
$$\bar{y}_{...} \sim N\left(\mu, \frac{1}{abn}(bn\sigma_\alpha^2 + an\sigma_\beta^2 + n\sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2)\right)$$

---

*เป็นความเป็นอิสระที่มีเงื่อนไข (Conditional Independence) จากการกำหนด $\sigma_\alpha^2 = \sigma_\beta^2 = \sigma_{\alpha\beta}^2 = c\sigma_\varepsilon^2$ จะได้ว่า $\sigma_\alpha^2, \sigma_\beta^2$ และ $\sigma_{\alpha\beta}^2$ เป็นอิสระซึ่งกันและกันเมื่อกำหนด σ_ε^2

โดยที่ μ เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า และ σ^2_α , σ^2_β , $\sigma^2_{\alpha\beta}$ และ σ^2_ε นี้เรียกว่า ส่วนประกอบความแปรปรวน (Variance Components) ที่ต้องการทำการประมาณ และสามารถทำการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนจากสาเหตุต่าง ๆ ได้จากการคำนวณหาค่าคาดหวังของผลรวมกำลังสองเฉลี่ยจากสาเหตุต่าง ๆ นั่นเอง ตารางข้างล่างแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนแบบการทดลองของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่ม

สาเหตุ	องศาอิสระ	ผลรวมกำลังสอง (SS)	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (MS)	ค่าคาดหวังผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (E(MS))
ปัจจัยแรก (A)	a-1	$bn\sum(\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{...})^2$	SSA / (a-1)	$bn\sigma^2_\alpha + n\sigma^2_{\alpha\beta} + \sigma^2_\varepsilon$
ปัจจัยสอง (B)	b-1	$an\sum(\bar{y}_{.j.}-\bar{y}_{...})^2$	SSB / (b-1)	$an\sigma^2_\beta + n\sigma^2_{\alpha\beta} + \sigma^2_\varepsilon$
ผลกระทบร่วม (AB)	(a-1)(b-1)	$n\sum\sum(\bar{y}_{ij.}-\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{.j.}+\bar{y}_{...})^2$	SSAB / (a-1)(b-1)	$n\sigma^2_{\alpha\beta} + \sigma^2_\varepsilon$
ความคลาดเคลื่อน (E)	ab(n-1)	$\sum\sum\sum(y_{ijk}-\bar{y}_{ij.})^2$	SSE / ab(n-1)	σ^2_ε
รวม	abn-1	$\sum\sum\sum(y_{ijk}-\bar{y}_{...})^2$		

โดยให้ค่าต่าง ๆ ที่อยู่ในตารางเป็นดังต่อไปนี้

y_{ijk} = ค่าสังเกตตัวที่ k ในระดับที่ j ของปัจจัยสอง และในระดับที่ i ของปัจจัยแรก

$\overline{y}_{...}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกระดับของปัจจัยแรก และในทุกระดับของปัจจัยสอง

$$= \frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}}{abn}$$

$\overline{y}_{i..}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกระดับของปัจจัยสอง ในระดับที่ i ของปัจจัยแรก

$$= \frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}}{bn}$$

$\overline{y}_{.j.}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกระดับของปัจจัยแรก ในระดับที่ j ของปัจจัยสอง

$$= \frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}}{an}$$

$\overline{y_{ij.}}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในระดับที่ j ของปัจจัยสอง และระดับที่ i ของปัจจัยแรก

$$= \frac{\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}}{n}$$

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 อิทธิพลหลัก (Main effects) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา

1.6.2 อันตรกิริยา (Interaction effects) หมายถึง ผลกระทบร่วมกันระหว่างอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา

1.6.3 อิทธิพลหลายปัจจัย (Factorial effects) หมายถึง อิทธิพลต่าง ๆ ทั้งอิทธิพลหลักและอันตรกิริยาทั้งหมดในการทดลอง ซึ่งจะมีเท่ากับ(จำนวนการรวมตัว - 1) หรือเท่ากับระดับชั้นความเป็นเสรี (Degree of Freedom) ของสิ่งทดลอง

1.6.4 สัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation หรือ C.V.) หมายถึง ค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลคิดในรูปของการกระจายสัมพัทธ์ (relative measurement) ซึ่งไม่มีหน่วยและคำนวณค่าได้ออกมาเป็นเปอร์เซนต์

1.6.5 ระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) หมายถึง ระยะทางระหว่างเวกเตอร์ค่าจริงกับเวกเตอร์ค่าประมาณของส่วนประกอบความแปรปรวนที่ศึกษา

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถทำการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยการเฉลี่ยตัวแบบได้

1.7.2 สามารถเปรียบเทียบการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มระหว่างการใช้วิธีแบบฉบับกับวิธีการเฉลี่ยตัวแบบว่าวิธีการใดให้ค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนที่ดีกว่า เพื่อจะเป็นประโยชน์ทางสถิติในวิเคราะห์ข้อมูลให้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

1.7.3 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบสำหรับตัวแบบอื่น ๆ ต่อไป

บทที่ 2
ระเบียบวิธีการวิจัย

การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนในการวิจัยครั้งนี้ ใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการประมาณการทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ วิธีการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนที่นำมาเปรียบเทียบในการศึกษาเป็นการศึกษาในส่วนที่แตกแขนงออกจากแนวคิดเดิม โดยแนวคิดของวิธีแบบฉบับจะพิจารณาเพียงกรณีที่น่าจะเป็นเพียงกรณีเดียว แต่แนวคิดของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นจะพิจารณาในทุก ๆ กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมดด้วย ซึ่งในการเฉลี่ยตัวแบบต้องอาศัยการถ่วงน้ำหนักในการทำให้ทุก ๆ ตัวแบบที่เป็นไปได้มีความสมดุลย์และเที่ยงตรง รายละเอียดต่าง ๆ ได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป

2.1 การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีแบบฉบับ

วิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีแบบฉบับนั้นใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการประมาณ วิธีการนี้ทำโดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS) โดยสมมติว่าค่าที่ได้เป็นค่าประมาณของค่าคาดหวังของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (E(MS)) ดังแสดงในสดมภ์สุดท้ายของตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (หน้า 8) จากนั้นใช้หลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวน สามารถแสดงได้ดังนี้

จาก $$\mathrm{E(MSE)} = \sigma_\varepsilon^2$$

ดังนั้น ค่าประมาณแบบจุดของ σ_ε^2 คือ $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \mathrm{MSE}$

และ
$$\mathrm{E(MSAB)} = n\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2$$
$$\mathrm{E(MSAB)} - \mathrm{E(MSE)} = (n\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2) - \sigma_\varepsilon^2$$
$$\mathrm{E(MSAB)} - \mathrm{E(MSE)} = n\sigma_{\alpha\beta}^2$$

ดังนั้น ค่าประมาณแบบจุดของ $\sigma_{\alpha\beta}^2$ คือ $\hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2 = \dfrac{MSAB - MSE}{n}$

และ
$$\mathrm{E(MSA)} = bn\sigma_\alpha^2+n\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2$$
$$\mathrm{E(MSA)} - \mathrm{E(MSAB)} = (bn\sigma_\alpha^2+n\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2) - (n\sigma_{\alpha\beta}^2+\sigma_\varepsilon^2)$$
$$\mathrm{E(MSA)} - \mathrm{E(MSAB)} = bn\sigma_\alpha^2$$

ดังนั้น ค่าประมาณแบบจุดของ σ_α^2 คือ $\hat{\sigma}_\alpha^2 = \dfrac{MSA - MSAB}{bn}$

และ $$\mathrm{E(MSB)} = an\sigma_\beta^2 + n\sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

$$\mathrm{E(MSB)} - \mathrm{E(MSAB)} = (an\sigma_\beta^2 + n\sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2) - (n\sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2)$$

$$\mathrm{E(MSB)} - \mathrm{E(MSAB)} = an\sigma_\beta^2$$

ดังนั้น ค่าประมาณแบบจุดของ σ_β^2 คือ $\hat{\sigma}_\beta^2 = \dfrac{MSB - MSAB}{an}$

จากค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนดังกล่าว จะเห็นได้ว่าโอกาสที่ค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนอาจเกิดค่าที่เป็นลบได้ซึ่งกรณีดังกล่าวทำให้ได้ตัวประมาณที่ไม่ดีนัก โดย Montgomery[3] ได้เสนอให้ค่าส่วนประกอบความแปรปรวนที่ติดลบมีค่าเป็นศูนย์หรือตัดค่าประมาณนั้นออกไป และในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกทำการตัดค่าประมาณที่ติดลบนั้นออกไป

2.2 การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ

วิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบใช้หลักการประมาณเช่นเดียวกับตัวแบบวิธีแบบฉบับ โดยทำการลดรูปจากตัวแบบเต็มรูป (ตัวแบบวิธีแบบฉบับ) จากนั้นจะทำการเฉลี่ยตัวแบบจากตัวแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ ในกรณีของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มจะได้ตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 8 รูปแบบ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนได้ดังนี้

กรณีตัวแบบ (1) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$\mathrm{E(MSA)} = bn\sigma_{(1)\alpha}^2 + n\sigma_{(1)\alpha\beta}^2 + \sigma_{(1)\varepsilon}^2$$

$$\mathrm{E(MSB)} = an\sigma_{(1)\beta}^2 + n\sigma_{(1)\alpha\beta}^2 + \sigma_{(1)\varepsilon}^2$$

$$\mathrm{E(MSAB)} = n\sigma_{(1)\alpha\beta}^2 + \sigma_{(1)\varepsilon}^2$$

และ $$\mathrm{E(MSE)} = \sigma_{(1)\varepsilon}^2$$

จะได้ $$\hat{\sigma}_{(1)\varepsilon}^2 = \mathrm{MSE}$$

$$\hat{\sigma}_{(1)\alpha\beta}^2 = \frac{MSAB - MSE}{n}$$

$$\hat{\sigma}_{(1)\beta}^2 = \frac{MSB - MSAB}{an}$$

และ $$\hat{\sigma}_{(1)\alpha}^2 = \frac{MSA - MSAB}{bn}$$

---

[3]Montgomery, D.C.(1996) Design and Analysis of Experiments. 4th ed. New York : John Wiley & Sons, pp. 474.

กรณีตัวแบบ (2) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

$$E(MSA) = bn\sigma^2_{(2)\alpha} + \sigma^2_{(2)\varepsilon}$$

$$E(MSB) = an\sigma^2_{(2)\beta} + \sigma^2_{(2)\varepsilon}$$

และ $$E(MSE) = \sigma^2_{(2)\varepsilon}$$

จะได้ $$\hat{\sigma}^2_{(2)\varepsilon} = MSE$$

$$\hat{\sigma}^2_{(2)\beta} = \frac{MSB - MSE}{an}$$

และ $$\hat{\sigma}^2_{(2)\alpha} = \frac{MSA - MSE}{bn}$$

กรณีตัวแบบ (3) $$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$E(MSA) = bn\sigma^2_{(3)\alpha} + n\sigma^2_{(3)\alpha\beta} + \sigma^2_{(3)\varepsilon}$$

$$E(MSAB) = n\sigma^2_{(3)\alpha\beta} + \sigma^2_{(3)\varepsilon}$$

และ $$E(MSE) = \sigma^2_{(3)\varepsilon}$$

จะได้ $$\hat{\sigma}^2_{(3)\varepsilon} = MSE$$

$$\hat{\sigma}^2_{(3)\alpha\beta} = \frac{MSAB - MSE}{n}$$

และ $$\hat{\sigma}^2_{(3)\alpha} = \frac{MSA - MSAB}{bn}$$

กรณีตัวแบบ (4) $$y_{ijk} = \mu + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$E(MSB) = an\sigma^2_{(4)\beta} + n\sigma^2_{(4)\alpha\beta} + \sigma^2_{(4)\varepsilon}$$

$$E(MSAB) = n\sigma^2_{(4)\alpha\beta} + \sigma^2_{(4)\varepsilon}$$

และ $$E(MSE) = \sigma^2_{(4)\varepsilon}$$

จะได้ $$\hat{\sigma}^2_{(4)\varepsilon} = MSE$$

$$\hat{\sigma}^2_{(4)\alpha\beta} = \frac{MSAB - MSE}{n}$$

และ $$\hat{\sigma}^2_{(4)\beta} = \frac{MSB - MSAB}{an}$$

กรณีตัวแบบ (5) $y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk}$

$$E(MSA) = bn\sigma^2_{(5)\alpha} + \sigma^2_{(5)\varepsilon}$$

และ $E(MSE) = \sigma^2_{(5)\varepsilon}$

จะได้ $\hat{\sigma}^2_{(5)\varepsilon} = MSE$

และ $\hat{\sigma}^2_{(5)\alpha} = \dfrac{MSA - MSE}{bn}$

กรณีตัวแบบ (6) $y_{ijk} = \mu + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$

$$E(MSB) = an\sigma^2_{(6)\beta} + \sigma^2_{(6)\varepsilon}$$

และ $E(MSE) = \sigma^2_{(6)\varepsilon}$

จะได้ $\hat{\sigma}^2_{(6)\varepsilon} = MSE$

และ $\hat{\sigma}^2_{(6)\beta} = \dfrac{MSB - MSE}{an}$

กรณีตัวแบบ (7) $y_{ijk} = \mu + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

$$E(MSAB) = n\sigma^2_{(7)\alpha\beta} + \sigma^2_{(7)\varepsilon}$$

และ $E(MSE) = \sigma^2_{(7)\varepsilon}$

จะได้ $\hat{\sigma}^2_{(7)\varepsilon} = MSE$

และ $\hat{\sigma}^2_{(7)\alpha\beta} = \dfrac{MSAB - MSE}{n}$

กรณีตัวแบบ (8) $y_{ijk} = \mu + \varepsilon_{ijk}$

$$E(MSE) = \sigma^2_{(8)\varepsilon}$$

จะได้ $\hat{\sigma}^2_{(8)\varepsilon} = MSE$

เนื่องจาก การแจกแจงของ Y จากแต่ละประชากร มีการแจกแจงด้วยค่าความแปรปรวนเท่ากันคือ σ^2

นั่นคือ

$$E(y_{ijk}) = \mu_{ij}$$
$$V(y_{ijk}) = \sigma^2$$

ดังนั้น แต่ละตัวแบบของตัวแบบลดรูปที่เป็นไปได้ทั้งหมดควรมีความแปรปรวนเท่ากับตัวแบบเต็มรูป ซึ่งสามารถปรับความแปรปรวนโดยใช้ตัวถ่วงน้ำหนัก (w) แสดงได้ดังนี้

ตัวแบบเต็มรูป (1) $\hat{\sigma}^2_{(1)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(1)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(1)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(1)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(1)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(1)}} = w_1$

ตัวแบบลดรูป (2) $\hat{\sigma}^2_{(2)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(2)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(2)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(2)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(2)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(2)}} = w_2$

(3) $\hat{\sigma}^2_{(3)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(3)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(3)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(3)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(3)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(3)}} = w_3$

(4) $\hat{\sigma}^2_{(4)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(4)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(4)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(4)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(4)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(4)}} = w_4$

(5) $\hat{\sigma}^2_{(5)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(5)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(5)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(5)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(5)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(5)}} = w_5$

(6) $\hat{\sigma}^2_{(6)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(6)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(6)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(6)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(6)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(6)}} = w_6$

(7) $\hat{\sigma}^2_{(7)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(7)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(7)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(7)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(7)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(7)}} = w_7$

และ (8) $\hat{\sigma}^2_{(8)\alpha} + \hat{\sigma}^2_{(8)\beta} + \hat{\sigma}^2_{(8)\alpha\beta} + \hat{\sigma}^2_{(8)\varepsilon} = \hat{\sigma}^2_{(8)}$ จะได้ $\dfrac{\hat{\sigma}^2_{(1)}}{\hat{\sigma}^2_{(8)}} = w_8$

และจากข้อตกลงเบื้องต้นได้กำหนดอัตราส่วนของส่วนประกอบความแปรปรวน คือ $\sigma_{\alpha}^{2}:\sigma_{\beta}^{2}:\sigma_{\alpha\beta}^{2}:\sigma_{\varepsilon}^{2}$ ไว้เป็น c : c : c : 1 โดยที่ c มีค่าเป็น 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อตัวแบบมีการลดรูปทำให้ส่วนประกอบความแปรปรวนที่มีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนสุ่มของตัวแบบลดรูปมีค่าแฝงจากส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่มีอิทธิพลต่อปัจจัยที่ศึกษารวมอยู่ด้วย ดังนั้นควรจะทำการถ่วงน้ำหนักส่วนประกอบความแปรปรวนที่มีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนเพื่อให้ได้ค่าประมาณที่แท้จริง และทำการประมาณค่าแฝงของส่วนประกอบความแปรปรวนให้มีค่าเป็นศูนย์ สามารถแสดงการถ่วงน้ำหนักได้ดังนี้

กรณีตัวแบบที่ 2 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{c+1}$

กรณีตัวแบบที่ 3 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{c+1}$

กรณีตัวแบบที่ 4 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{c+1}$

กรณีตัวแบบที่ 5 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{2c+1}$

กรณีตัวแบบที่ 6 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{2c+1}$

กรณีตัวแบบที่ 7 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{2c+1}$

และ กรณีตัวแบบที่ 8 ถ่วงน้ำหนักด้วย $\frac{1}{3c+1}$

จากนั้นจะทำการเฉลี่ยค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนจากสาเหตุความแปรปรวนต่าง ๆ ด้วยจำนวนตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด* โดยในงานวิจัยนี้มีจำนวนตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 8 ตัวแบบ แสดงการเฉลี่ยได้ดังนี้

---

* กรณีที่ทราบจำนวนตัวแบบที่ใช้ได้จากจำนวนตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด จะทำการเฉลี่ยค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยจำนวนตัวแบบที่ใช้ได้

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_α^2 คือ $\hat{\sigma}_\alpha^2 = \left(\sum_{m=1}^{M} \hat{\sigma}^2_{\alpha(m)}\right) \div M$

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_β^2 คือ $\hat{\sigma}_\beta^2 = \left(\sum_{m=1}^{M} \hat{\sigma}^2_{\beta(m)}\right) \div M$

ค่าประมาณแบบจุดของ $\sigma_{\alpha\beta}^2$ คือ $\hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2 = \left(\sum_{m=1}^{M} \hat{\sigma}^2_{\alpha\beta(m)}\right) \div M$

และ ค่าประมาณแบบจุดของ σ_ε^2 คือ $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \left(\sum_{m=1}^{M} \hat{\sigma}^2_{\varepsilon(m)}\right) \div M$

เมื่อ M แทนจำนวนตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด และ m แทนตัวแบบต่าง ๆ ที่เป็นไปได้

ดังนั้น สามารถสรุปวิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยการเฉลี่ยตัวแบบสำหรับตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่ม ดังตารางต่อไปนี้

ตัวแบบที่	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ผลกระทบร่วม AB	ความคลาดเคลื่อน
1	$\hat{\sigma}^2_{\alpha(1)} = \hat{\sigma}^2_{(1)\alpha} * w_1$	$\hat{\sigma}^2_{\beta(1)} = \hat{\sigma}^2_{(1)\beta} * w_1$	$\hat{\sigma}^2_{\alpha\beta(1)} = \hat{\sigma}^2_{(1)\alpha\beta} * w_1$	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(1)} = \hat{\sigma}^2_{(1)\varepsilon} * w_1$
2	$\hat{\sigma}^2_{\alpha(2)} = \hat{\sigma}^2_{(2)\alpha} * w_2$	$\hat{\sigma}^2_{\beta(2)} = \hat{\sigma}^2_{(2)\beta} * w_2$	0	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(2)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(2)\varepsilon} * w_2}{c+1}$
3	$\hat{\sigma}^2_{\alpha(3)} = \hat{\sigma}^2_{(3)\alpha} * w_3$	0	$\hat{\sigma}^2_{\alpha\beta(3)} = \hat{\sigma}^2_{(3)\alpha\beta} * w_3$	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(3)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(3)\varepsilon} * w_3}{c+1}$
4	0	$\hat{\sigma}^2_{\beta(4)} = \hat{\sigma}^2_{(4)\beta} * w_4$	$\hat{\sigma}^2_{\alpha\beta(4)} = \hat{\sigma}^2_{(4)\alpha\beta} * w_4$	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(4)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(4)\varepsilon} * w_4}{c+1}$
5	$\hat{\sigma}^2_{\alpha(5)} = \hat{\sigma}^2_{(5)\alpha} * w_5$	0	0	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(5)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(5)\varepsilon} * w_5}{2c+1}$
6	0	$\hat{\sigma}^2_{\beta(6)} = \hat{\sigma}^2_{(6)\beta} * w_6$	0	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(6)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(6)\varepsilon} * w_6}{2c+1}$
7	0	0	$\hat{\sigma}^2_{\alpha\beta(7)} = \hat{\sigma}^2_{(7)\alpha\beta} * w_7$	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(7)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(7)\varepsilon} * w_7}{2c+1}$
8	0	0	0	$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(8)} = \frac{\hat{\sigma}^2_{(8)\varepsilon} * w_8}{3c+1}$
เฉลี่ย	$\frac{\sum_{m=1}^{8} \sigma^2_{\alpha(m)}}{8}$	$\frac{\sum_{m=1}^{8} \sigma^2_{\beta(m)}}{8}$	$\frac{\sum_{m=1}^{8} \sigma^2_{\alpha\beta(m)}}{8}$	$\frac{\sum_{m=1}^{8} \sigma^2_{\varepsilon(m)}}{8}$

2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณ

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มระหว่างการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับกับวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ จะพิจารณาโดยทำการเปรียบเทียบในรูปขนาดเวกเตอร์ของส่วนประกอบความแปรปรวนระหว่างค่าประมาณของส่วนประกอบความแปรปรวนที่ศึกษากับค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนนั้น ๆ ซึ่งเกณฑ์นี้เรียกว่า "ระยะทางยุคลิด (เฉลี่ย)" (Euclidean distance) โดยมีหลักการในการหาระยะทางยุคลิดดังนี้

กำหนดให้ $\underset{\sim}{\theta}$ เป็นเวกเตอร์ค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ

$\hat{\underset{\sim}{\theta}}_{CI}$ เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณของส่วนประกอบความแปรปรวนวิธีแบบฉบับ

$\hat{\underset{\sim}{\theta}}_{MA}$ เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณของส่วนประกอบความแปรปรวนวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ

ซึ่ง

$$\underset{\sim}{\theta} = \begin{pmatrix} \sigma_\alpha^2 \\ \sigma_\beta^2 \\ \sigma_{\alpha\beta}^2 \\ \sigma_\varepsilon^2 \end{pmatrix}, \quad \hat{\underset{\sim}{\theta}}_{CI} = \begin{pmatrix} \hat{\sigma}_{\alpha_{CI}}^2 \\ \hat{\sigma}_{\beta_{CI}}^2 \\ \hat{\sigma}_{\alpha\beta_{CI}}^2 \\ \hat{\sigma}_{\varepsilon_{CI}}^2 \end{pmatrix}, \quad \hat{\underset{\sim}{\theta}}_{MA} = \begin{pmatrix} \hat{\sigma}_{\alpha_{MA}}^2 \\ \hat{\sigma}_{\beta_{MA}}^2 \\ \hat{\sigma}_{\alpha\beta_{MA}}^2 \\ \hat{\sigma}_{\varepsilon_{MA}}^2 \end{pmatrix}$$

สำหรับระยะทางยุคลิดระหว่าง $\underset{\sim}{\theta}$ และ $\hat{\underset{\sim}{\theta}}$ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\left\| \underset{\sim}{\theta} - \hat{\underset{\sim}{\theta}} \right\| = \sqrt{(\sigma_\alpha^2 - \hat{\sigma}_\alpha^2)^2 + (\sigma_\beta^2 - \hat{\sigma}_\beta^2)^2 + (\sigma_{\alpha\beta}^2 - \hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2)^2 + (\sigma_\varepsilon^2 - \hat{\sigma}_\varepsilon^2)^2}$$

ในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยลู่เข้าสู่ค่าคงที่หมายความว่าจะหยุดทำการทดลองเมื่อค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 $\left(\left| \overline{Eu}_{r-1} - \overline{Eu}_r \right| \leq 0.001 \right)$

จะได้ว่า ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีแบบฉบับสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\overline{EuCl} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\left\| \underset{\sim}{\theta_i} - \underset{\sim}{\hat{\theta}}_{Cl_i} \right\|}{r}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{r}\sqrt{(\sigma^2_{\alpha_i} - \hat{\sigma}^2_{\alpha_{Cl_i}})^2 + (\sigma^2_{\beta_i} - \hat{\sigma}^2_{\beta_{Cl_i}})^2 + (\sigma^2_{\alpha\beta_i} - \hat{\sigma}^2_{\alpha\beta_{Cl_i}})^2 + (\sigma^2_{\varepsilon_i} - \hat{\sigma}^2_{\varepsilon_{Cl_i}})^2}}{r}$$

และจะได้ว่า ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่าส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\overline{EuMA} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\left\| \underset{\sim}{\theta_i} - \underset{\sim}{\hat{\theta}}_{MA_i} \right\|}{r}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{r}\sqrt{(\sigma^2_{\alpha_i} - \hat{\sigma}^2_{\alpha_{MA_i}})^2 + (\sigma^2_{\beta_i} - \hat{\sigma}^2_{\beta_{MA_i}})^2 + (\sigma^2_{\alpha\beta_i} - \hat{\sigma}^2_{\alpha\beta_{MA_i}})^2 + (\sigma^2_{\varepsilon_i} - \hat{\sigma}^2_{\varepsilon_{MA_i}})^2}}{r}$$

เมื่อ r คือ จำนวนการทดลองทั้งหมด (ที่ให้ค่าประมาณเป็นบวก) ที่ทำให้ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยลู่เข้าสู่ค่าคงที่

ดังนั้นถ้าวิธีการใดที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณที่เหมาะสมกว่าในภาพรวมของการประมาณ แสดงว่าค่าประมาณของส่วนประกอบความแปรปรวนที่ได้โดยส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงค่าจริงของส่วนประกอบควมแปรปรวนมากกว่านั่นเอง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบกับวิธีแบบฉบับ เพื่อศึกษาว่าวิธีการประมาณวิธีใดจะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนมากกว่ากัน ซึ่งวิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนได้กล่าวไว้แล้วดังรายละเอียดในบทที่ 2 ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงการดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 ผลิตเลขสุ่มจากรูปแบบการแจกแจงประชากรแบบปกติ

3.3 คำนวณหาค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวน

3.4 เปรียบเทียบค่าประมาณโดยการคำนวณหาระยะทางยุคลิด (เฉลี่ย)

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม

ซึ่งขอกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการวิจัยเรื่องนี้ต้องการเปรียบเทียบวิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนของตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบกับวิธีแบบฉบับ ด้วยโปรแกรมภาษา S-plus 2000 และประมวลผลด้วยเครื่อง PC โดยได้กำหนดสถานการณ์ในการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 ทำการทดลองกับตัวแบบสองปัจจัยข้ามกลุ่มโดยที่แต่ละปัจจัยเป็นปัจจัยสุ่มในแผนแบบการทดลองสมดุลย์ที่มีขนาด 2x2, 3x3, 4x4 และ 5x5 ตามลำดับ

3.1.2 ขนาดตัวอย่างของแต่ละวิธีการทดลองมีหน่วยการทดลองเป็น 3, 5 และ 7 ตามลำดับ

3.1.3 ให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.(y_{ijk})) ที่ครอบคลุมความเป็นไปได้ของข้อมูลในระดับต่าง ๆ กัน คือให้ C.V.(y_{ijk}) มีค่าเท่ากับ 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55% และ 65% ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยประชากร (μ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 40 และจะได้ความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 4, 36, 100, 196, 324, 484 และ 676 ตามลำดับ

3.1.4 กำหนดให้ ค่าความแปรปรวนของปัจจัยแรก เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของปัจจัยสอง เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของอันตรกริยาระหว่างปัจจัยแรกและปัจจัยสอง เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคูณกับค่าคงที่จำนวนเต็ม (c)

นั่นคือ $\sigma_{\alpha}^{2} = \sigma_{\beta}^{2} = \sigma_{\alpha\beta}^{2} = c\sigma_{\varepsilon}^{2}$

โดยที่ c มีค่าเป็น 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

3.1.5 ทำการจำลองข้อมูล y_{ijk} จากฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 คือ ฟังก์ชัน rnorm(n, mean, sd)

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

mean คือ ค่าเฉลี่ยประชากร (μ)

sd คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

โดยทำการทดลองจนกว่าตัวเลขสุ่มจะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

3.2 ผลิตเลขสุ่มจากรูปแบบการแจกแจงประชากรแบบปกติ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสร้างข้อมูลจากการแจกแจงของประชากรแบบปกติด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 คือ ฟังก์ชัน rnorm(n, mean, sd) สร้างขึ้นโดย Kinderman และ Monahan[4] ซึ่งทำการสร้างข้อมูลด้วยการผลิตเลขสุ่ม (Random Number) ที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform distribution) ในช่วง (0,1) เป็นพื้นฐานในการสร้างเลขสุ่ม โดยเลขสุ่มที่ได้จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. ตัวเลขที่ได้มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอและเป็นอิสระซึ่งกันและกัน
2. อนุกรมของตัวเลขที่ได้สามารถสร้างซ้ำเดิมได้ (Reproducible)
3. อนุกรมของตัวเลขไม่ซ้ำเดิมในช่วงที่ต้องการใช้ตัวเลขแบบสุ่ม
4. ใช้เวลาสั้น ๆ ในการสร้างตัวเลขแบบสุ่ม
5. ใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์น้อย

3.3 คำนวณหาค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวน

เมื่อสร้างข้อมูล y_{ijk} ให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้นได้แล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทำให้ได้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS) ที่เกิดจากสาเหตุความแปรปรวนต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ได้ดังนี้

---

[4]Kinderman, A.J. and Monahan, J. F. (1977). "Computer generation of random variables using the ratio of uniform deviates." ACM Transactions on Mathematical Software. 3, 257-260.

3.3.1 **วิธีแบบฉบับ** แสดงได้ดังนี้

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_α^2 คือ $\hat{\sigma}_\alpha^2 = \dfrac{MSA - MSAB}{bn}$

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_β^2 คือ $\hat{\sigma}_\beta^2 = \dfrac{MSB - MSAB}{an}$

ค่าประมาณแบบจุดของ $\sigma_{\alpha\beta}^2$ คือ $\hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2 = \dfrac{MSAB - MSE}{n}$

และ ค่าประมาณแบบจุดของ σ_ε^2 คือ $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ = MSE

3.3.2 **วิธีการเฉลี่ยตัวแบบ** แสดงได้ดังนี้

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_α^2 คือ $\hat{\sigma}_\alpha^2 = \left(\sum_{m=1}^{M}\hat{\sigma}^2_{\alpha(m)}\right) \div M$

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_β^2 คือ $\hat{\sigma}_\beta^2 = \left(\sum_{m=1}^{M}\hat{\sigma}^2_{\beta(m)}\right) \div M$

ค่าประมาณแบบจุดของ $\sigma_{\alpha\beta}^2$ คือ $\hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2 = \left(\sum_{m=1}^{M}\hat{\sigma}^2_{\alpha\beta(m)}\right) \div M$

และ ค่าประมาณแบบจุดของ σ_ε^2 คือ $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \left(\sum_{m=1}^{M}\hat{\sigma}^2_{\varepsilon(m)}\right) \div M$

เมื่อ M แทนจำนวนตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด และ m แทนตัวแบบต่าง ๆ ที่เป็นไปได้

3.4 เปรียบเทียบค่าประมาณโดยการคำนวณหาระยะทางยุคลิด (เฉลี่ย)

การคำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\overline{EuCl} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\left\|\underset{\sim}{\theta} - \underset{\sim Cl}{\hat{\theta}}\right\|}{r} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\sqrt{(\sigma_\alpha^2 - \hat{\sigma}^2_{\alpha_{Cl}})^2 + (\sigma_\beta^2 - \hat{\sigma}^2_{\beta_{Cl}})^2 + (\sigma_{\alpha\beta}^2 - \hat{\sigma}^2_{\alpha\beta_{Cl}})^2 + (\sigma_\varepsilon^2 - \hat{\sigma}^2_{\varepsilon_{Cl}})^2}}{r}$$

การคำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\overline{EuMA} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\left\|\underset{\sim}{\theta} - \underset{\sim MA}{\hat{\theta}}\right\|}{r} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\sqrt{(\sigma_\alpha^2 - \hat{\sigma}^2_{\alpha_{MA}})^2 + (\sigma_\beta^2 - \hat{\sigma}^2_{\beta_{MA}})^2 + (\sigma_{\alpha\beta}^2 - \hat{\sigma}^2_{\alpha\beta_{MA}})^2 + (\sigma_\varepsilon^2 - \hat{\sigma}^2_{\varepsilon_{MA}})^2}}{r}$$

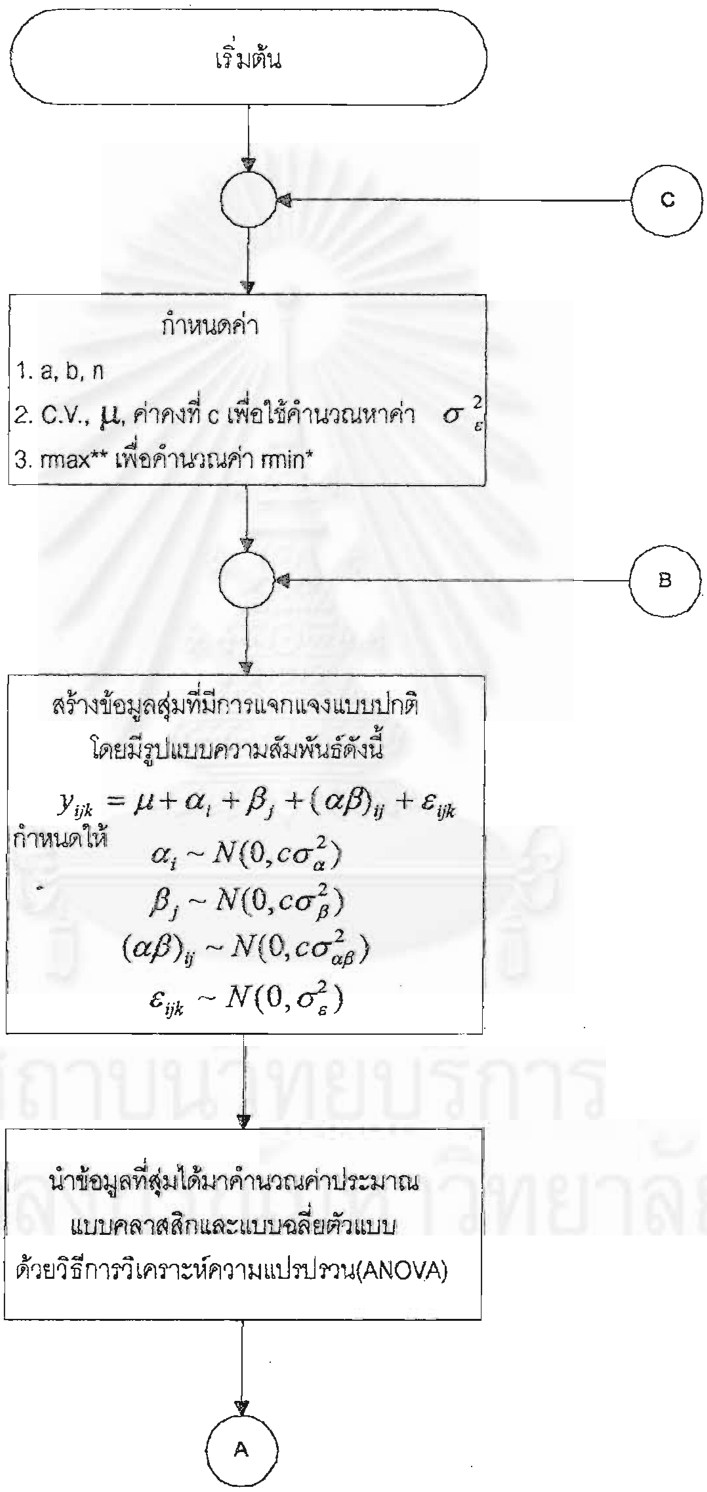
เมื่อ r คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยสู่เข้าสู่ค่าคงที่

ดังนั้น ถ้าวิธีการใดที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่า วิธีการนั้นก็จะถือว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสม

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม

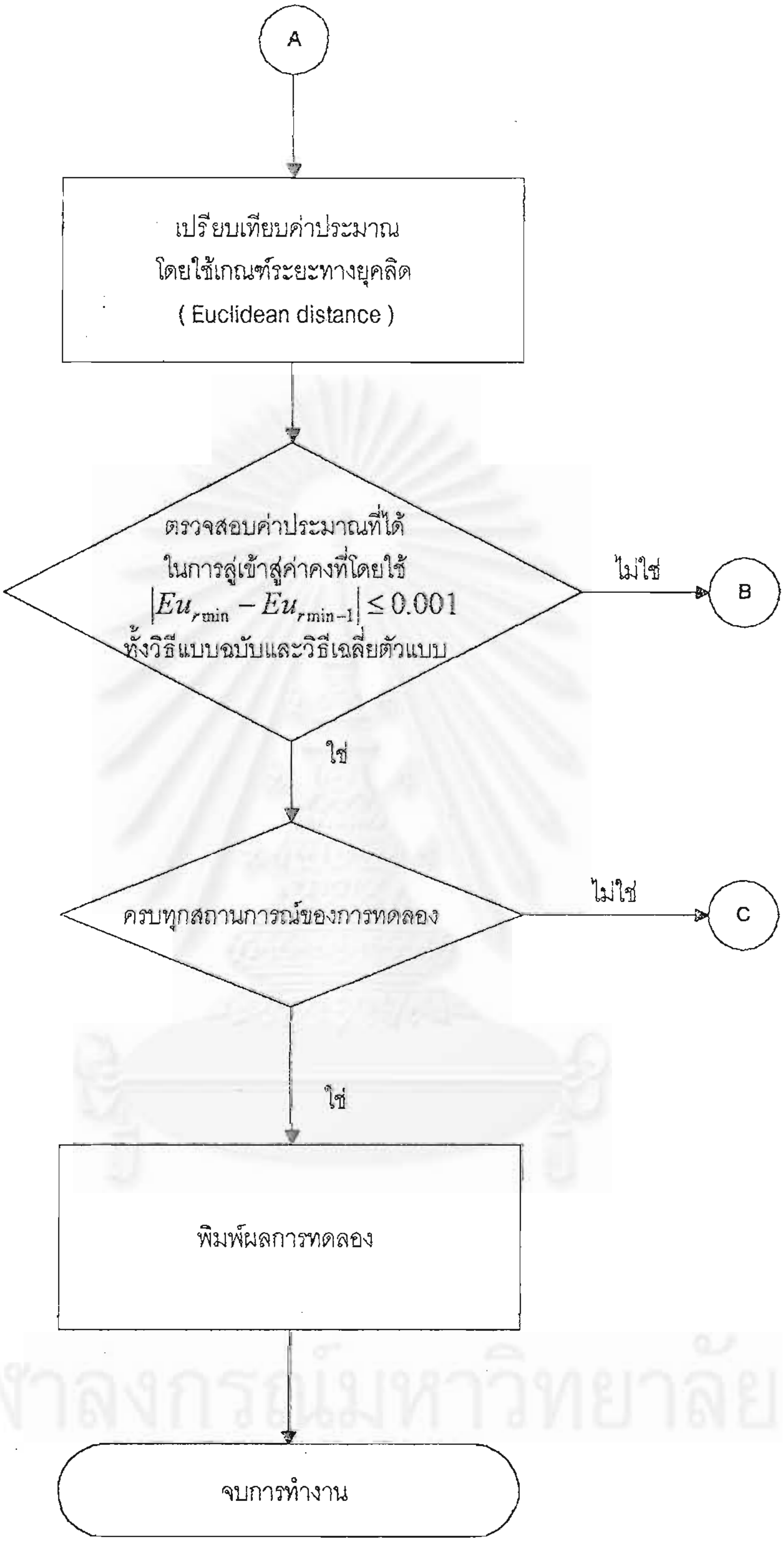
จากแผนการดำเนินงานข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถเขียนเป็นแผนผังสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



** จำนวนรอบสูงสุดต่อครั้ง

* จำนวนรอบที่ทำให้ค่าประมาณมีค่าเป็นบวก


A
เปรียบเทียบค่าประมาณ
โดยใช้เกณฑ์ระยะทางยุคลิด
(Euclidean distance)
ตรวจสอบค่าประมาณที่ได้
ในการลู่เข้าสู่ค่าคงที่โดยใช้
$\left|Eu_{r\min} - Eu_{r\min-1}\right| \le 0.001$
ทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีเฉลี่ยตัวแบบ
ไม่ใช่
B
ใช่
ครบทุกสถานการณ์ของการทดลอง
ไม่ใช่
C
ใช่
พิมพ์ผลการทดลอง
จบการทำงาน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบแผนแบบการทดลองสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มสองวิธี คือ วิธีแบบฉบับ (Classical method) และวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ (Model Averaging method) ได้ใช้ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณทั้งสองวิธีเพื่อหาวิธีการประมาณที่เหมาะสมที่สุด นั่นคือถ้าวิธีการใดที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยในภาพรวมต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณที่เหมาะสมกว่า แสดงได้ว่าค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนที่ได้โดยส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนนั้น

การนำเสนอค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยจากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี โดยผลการทดลองได้พิจารณาใน 4 ลักษณะ คือ

1) ที่ระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่ง ๆ เมื่อค่าคงที่ c มีค่าเพิ่มขึ้น ได้นำเสนอในตารางที่ 4.1 - 4.12 และรูปที่ 4.1 - 4.12
2) ที่ระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่ง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเพิ่มขึ้น ได้นำเสนอในตารางที่ 4.13 - 4.24 และรูปที่ 4.13 - 4.24
3) ที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c หนึ่ง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้น ได้นำเสนอในตารางที่ 4.25 - 4.31 และรูปที่ 4.25 - 4.31
4) ที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c หนึ่ง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ได้นำเสนอในตารางที่ 4.32 - 4.38 และรูปที่ 4.32 - 4.38

ผลจากการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการประมาณทั้งสองวิธี

4.1 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ ค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์การกระจาย ระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้คงที่ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

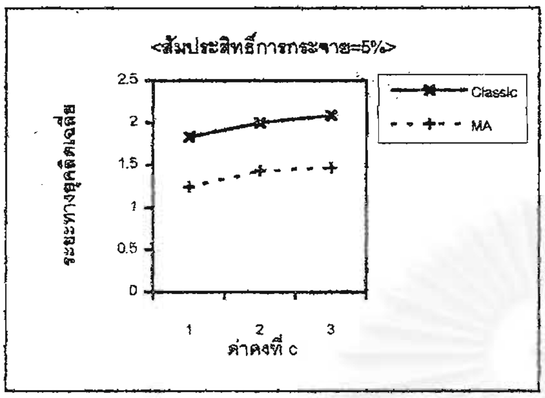
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ

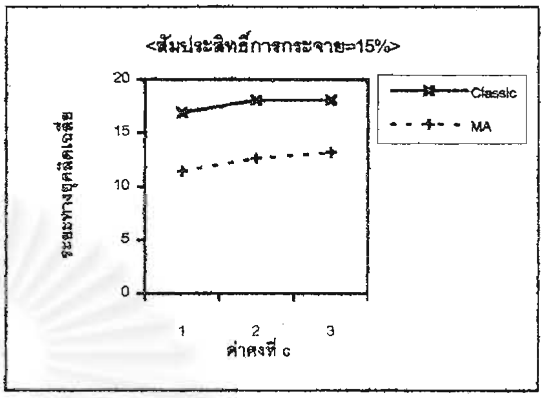
ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	157	1.833277	1.243233	0.590044
		2	194	2.001408	1.432496	0.568912
		3	275	2.086610	1.466233	0.620377
36	15	1	842**	16.892189	11.449949	5.442240
		2	842	18.060504	12.631294	5.429210
		3	941	18.084369	13.173451	4.910918
100	25	1	2133**	47.556924	31.866273	15.690651
		2	1725	47.843044	33.985247	13.857797
		3	2390	49.688749	35.779061	13.909688
196	35	1	767	92.859001	62.589762	30.269239
		2	1703	93.914421	66.426563	27.487858
		3	2636	95.752428	70.721221	25.031207
324	45	1	2724**	154.725767	103.425081	51.300686
		2	2450	157.558704	112.755079	44.803625
		3	2982	159.163965	116.007234	43.156731
484	55	1	2394	227.045889	152.374833	74.671056
		2	2777	237.118354	167.710702	69.407652
		3	2820	239.080013	175.392982	63.687031
676	65	1	4147	323.138343	214.577325	108.561018
		2	4386	327.409158	234.885163	92.523995
		3	5788	336.625824	245.039951	91.585873

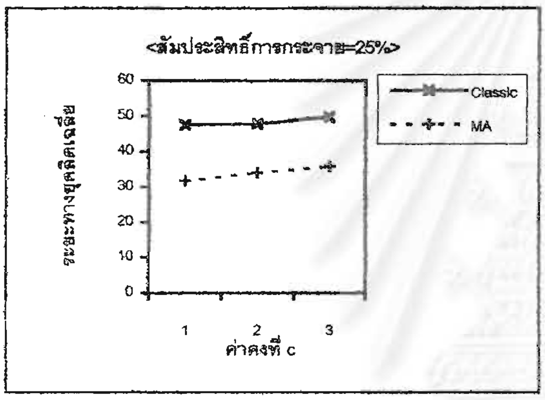
*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

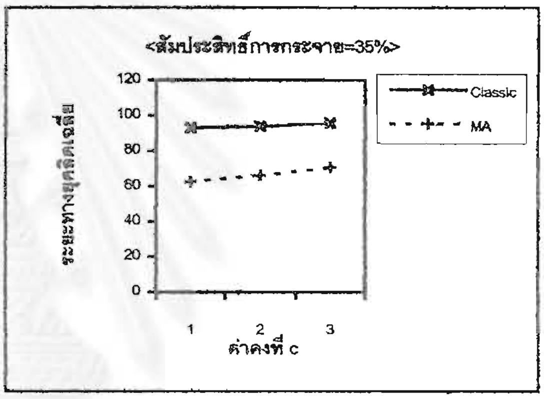
** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

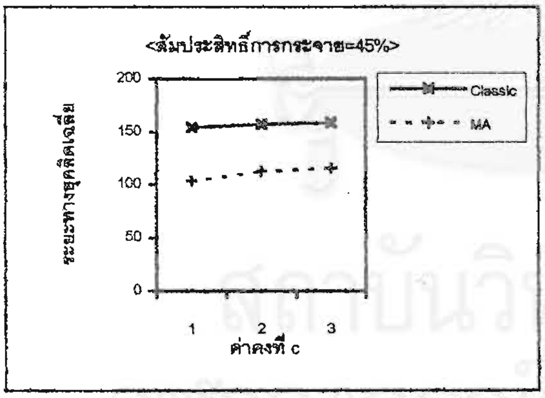
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ

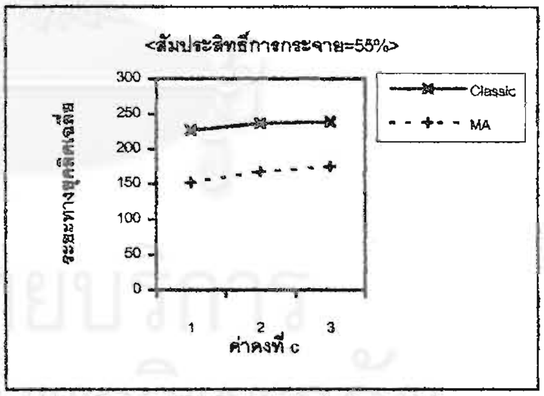


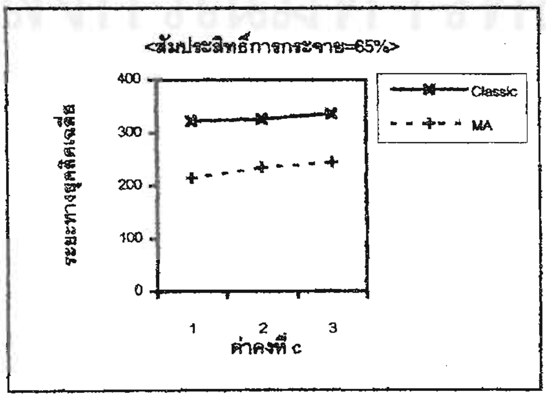












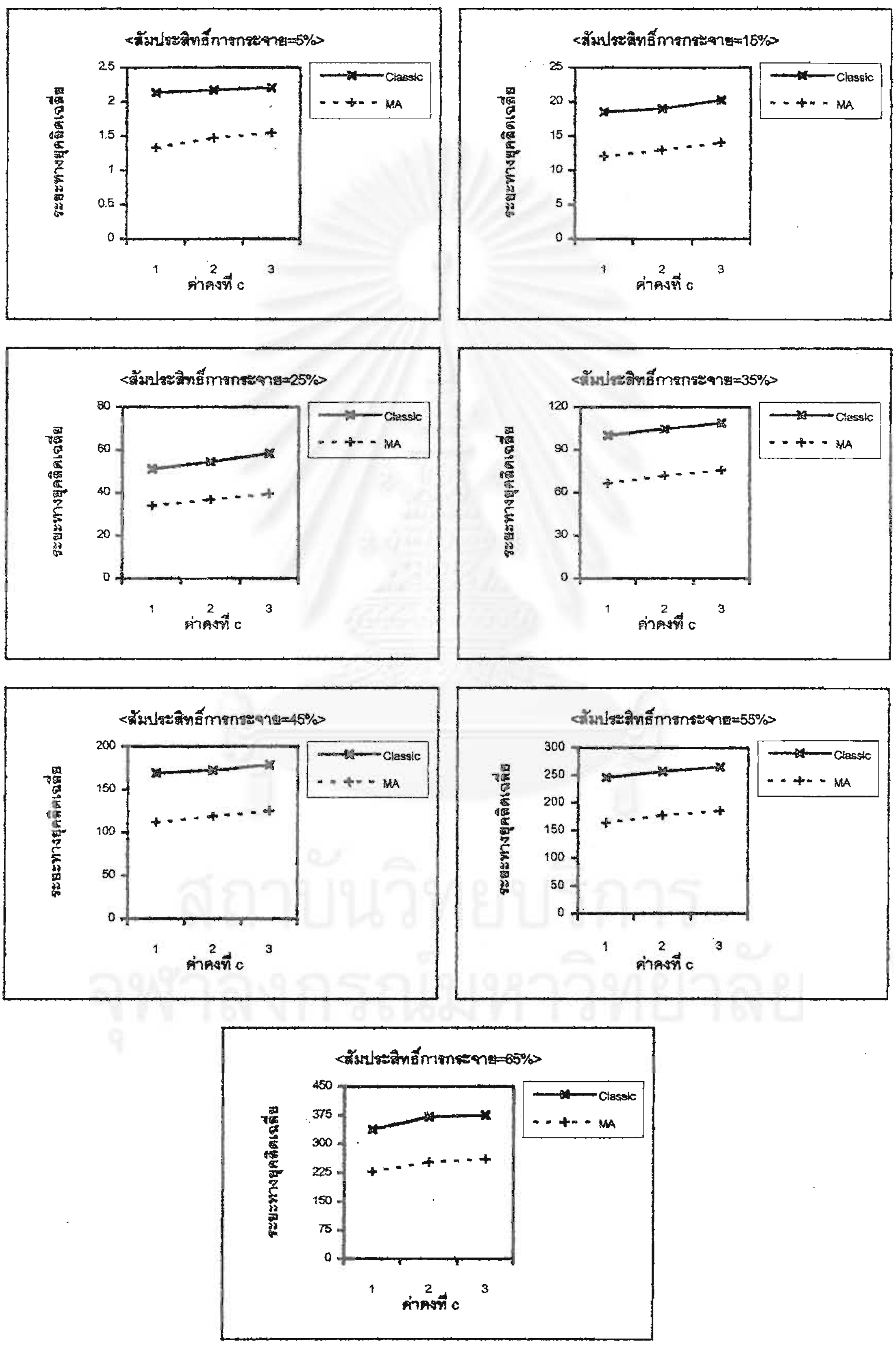
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองลู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	173	2.134258	1.331407	0.802851
		2	342**	2.170378	1.473659	0.696719
		3	228	2.207973	1.550894	0.657079
36	15	1	527	18.499010	12.059035	6.439975
		2	715	18.992930	12.973495	6.019435
		3	997	20.258985	14.048059	6.210926
100	25	1	2642**	51.288860	34.036379	17.252481
		2	1277	54.459576	36.895370	17.564206
		3	1387	58.374023	39.540636	18.833387
196	35	1	3189**	100.063483	66.528773	33.534710
		2	1277	104.726503	71.935786	32.790717
		3	2069	109.041921	75.760010	33.281911
324	45	1	2777**	169.547427	111.756022	57.791405
		2	2945**	172.499089	118.849396	53.649693
		3	2298	178.682030	124.986207	53.695823
484	55	1	2243	245.905255	163.466212	82.439043
		2	3995**	257.499073	177.328847	80.170226
		3	3840	265.917912	185.533067	80.384845
676	65	1	5804**	338.949196	227.978666	110.970530
		2	4527**	371.676171	253.281693	118.394478
		3	4412	375.744606	261.099053	114.645553

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ



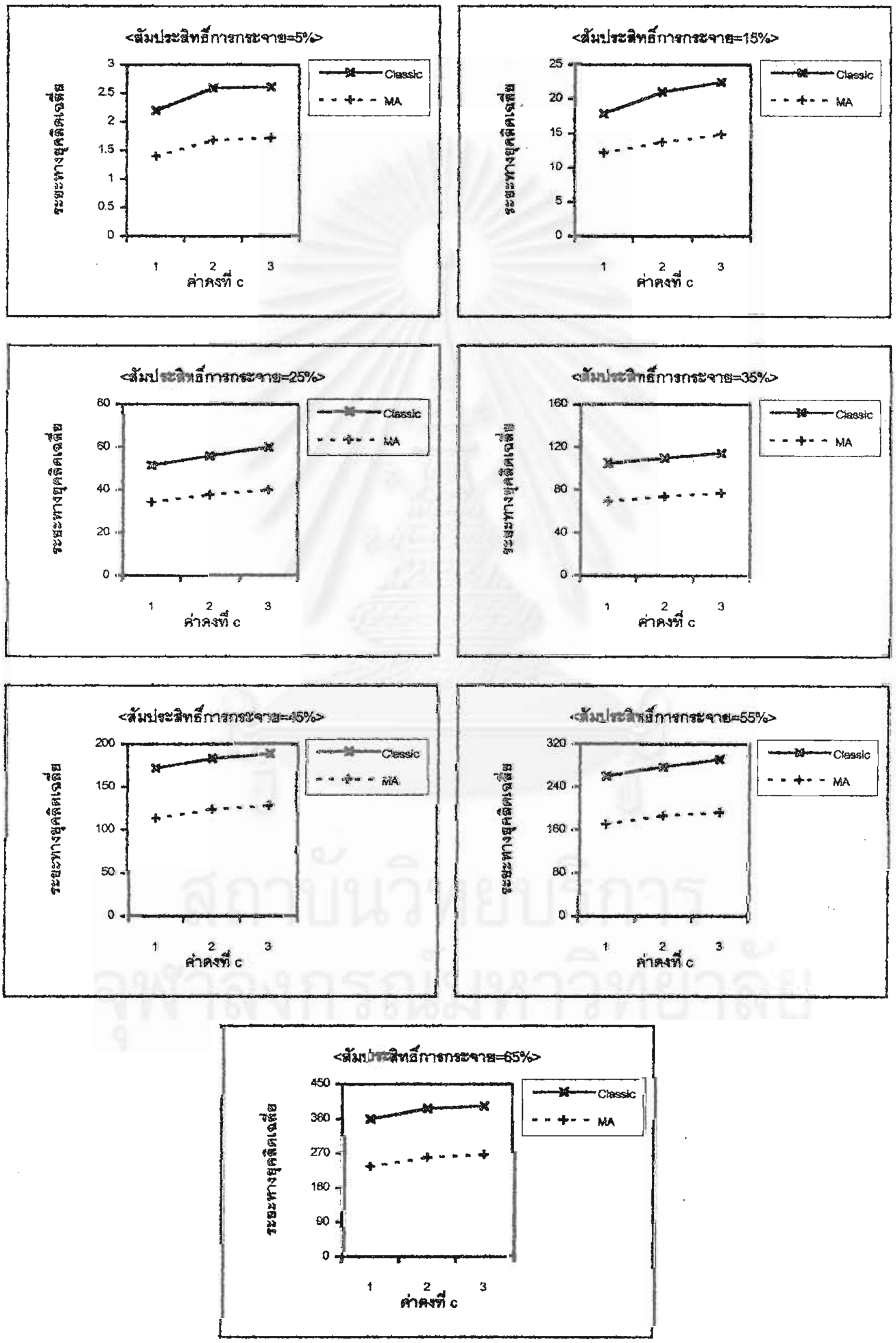
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	139	2.194368	1.404815	0.789553
		2	242**	2.590467	1.681567	0.908900
		3	197	2.612842	1.722469	0.890373
36	15	1	811	17.860850	12.197377	5.663473
		2	1016**	20.973967	13.777941	7.196026
		3	899	22.433327	14.884213	7.549114
100	25	1	1330	51.608922	34.424472	17.184450
		2	1506	56.003971	37.917933	18.086038
		3	1711	60.168748	40.220498	19.948250
196	35	1	3045**	105.329026	69.570639	35.758387
		2	2343	109.873090	74.258526	35.614564
		3	3269	114.637388	77.737313	36.900075
324	45	1	3693**	171.960952	113.514239	58.446713
		2	2633**	183.436018	124.137167	59.298851
		3	2127	188.405302	128.557781	59.847521
484	55	1	4461**	260.540931	171.275984	89.264947
		2	4452**	277.308706	186.437509	90.871197
		3	4393	291.811187	192.970535	98.840652
676	65	1	6049**	359.724854	236.704709	123.020145
		2	5114	386.845712	259.658436	127.187276
		3	5332	394.024215	267.861127	126.163088

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 7 ตามลำดับ



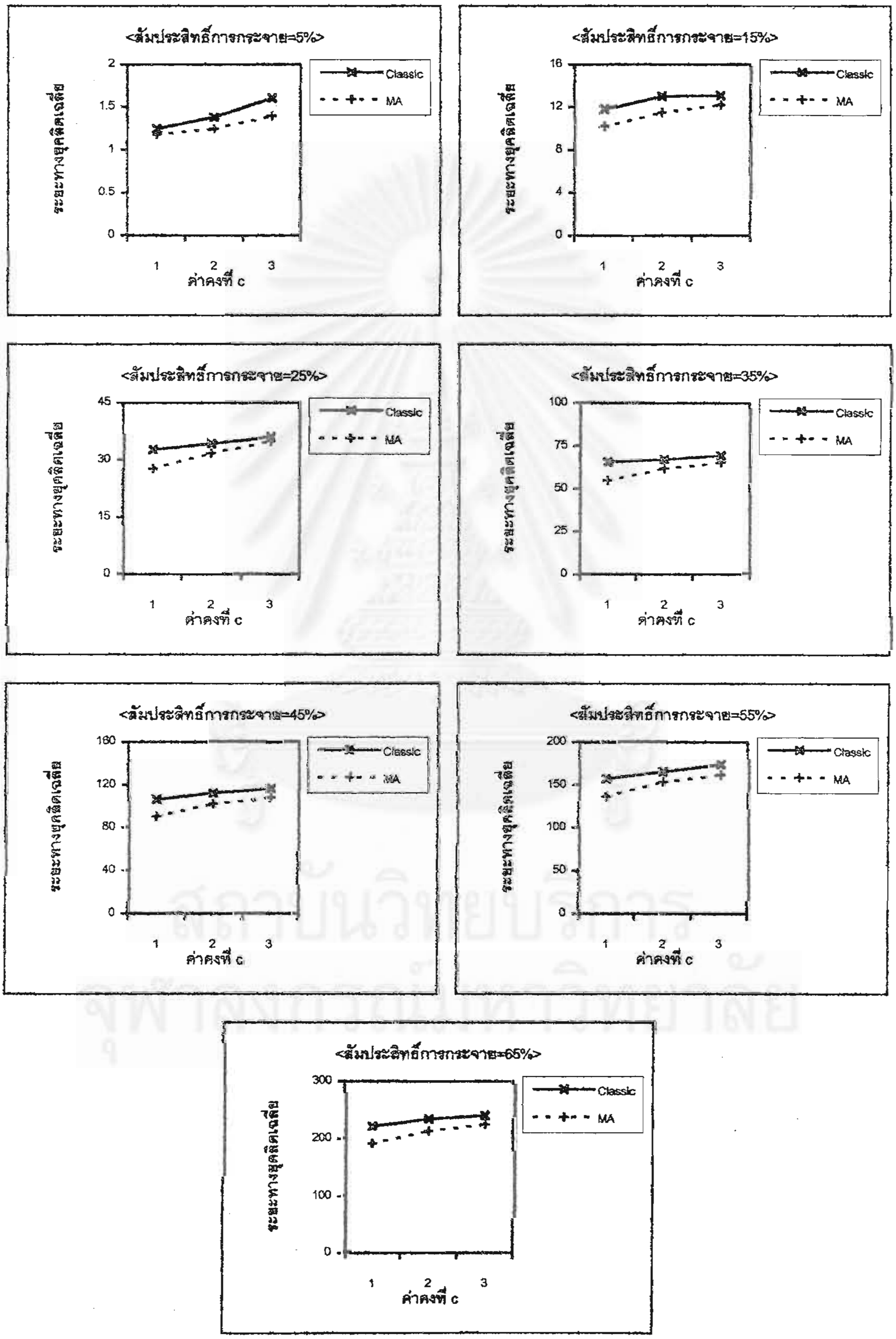
ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	63	1.243381	1.177603	0.065778
		2	91**	1.378612	1.244723	0.133889
		3	71	1.603366	1.396556	0.206810
36	15	1	347	11.715386	10.137518	1.577868
		2	379	12.995539	11.475246	1.520293
		3	457	13.061331	12.194586	0.866745
100	25	1	754	32.696546	27.799890	4.896656
		2	914**	34.263277	31.790952	2.472325
		3	771	36.032891	34.838918	1.193973
196	35	1	1538	65.796026	54.914715	10.881311
		2	1845	67.186158	61.918328	5.267830
		3	1978	69.610273	65.549477	4.060796
324	45	1	1199	106.582900	90.415493	16.167407
		2	2055	112.329396	102.533822	9.795574
		3	3006	116.421873	108.105008	8.316865
484	55	1	1245**	157.452895	136.390655	21.062240
		2	854	165.595625	153.798940	11.796685
		3	2768	173.479334	161.414745	12.064589
676	65	1	4268**	222.369934	191.660868	30.709066
		2	3212**	234.567633	214.028263	20.539370
		3	3148	241.042537	225.755820	15.286717

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 3 ตามลำดับ



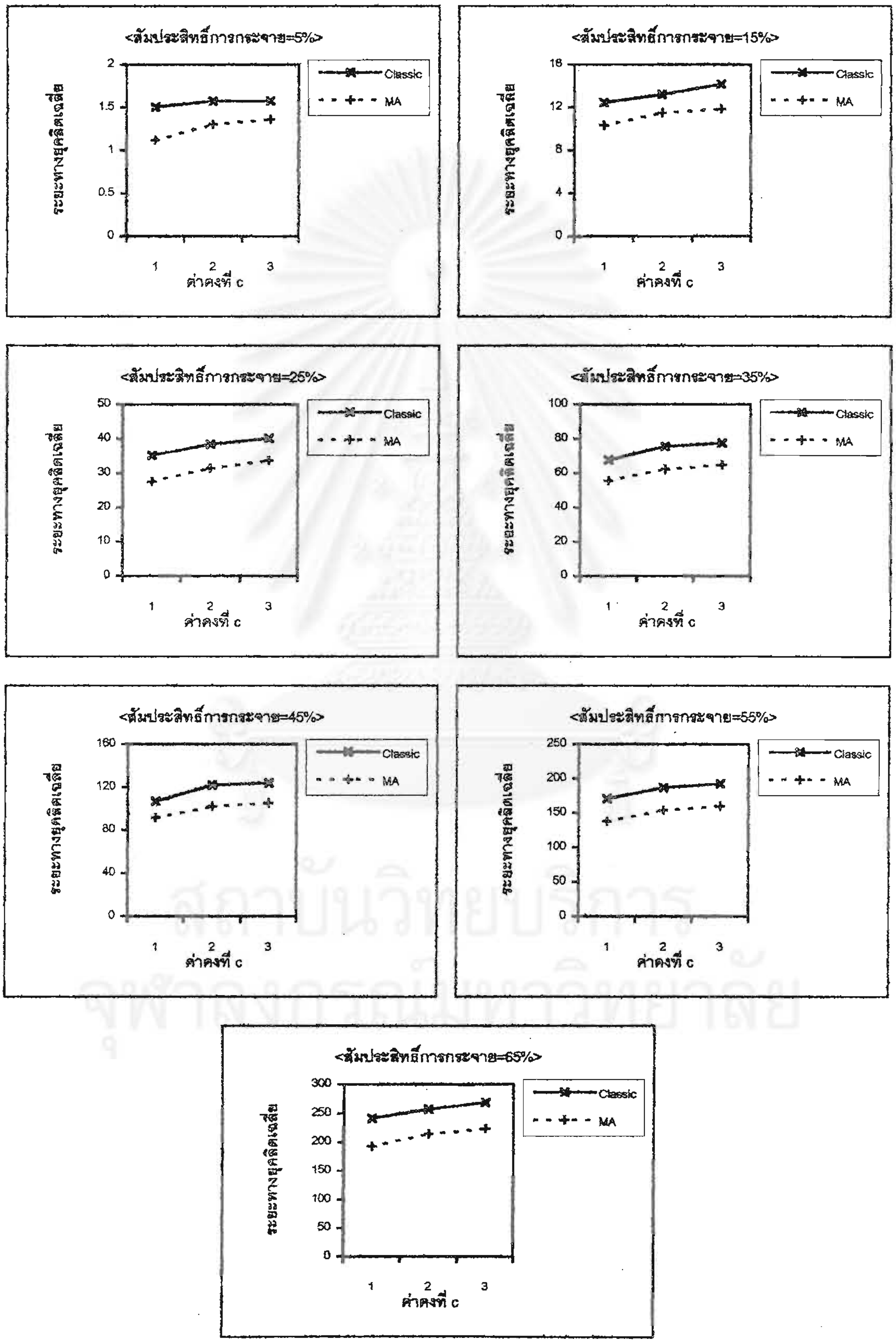
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	93	1.506555	1.118318	0.388237
		2	99	1.576095	1.304157	0.271938
		3	155	1.577210	1.359363	0.217847
36	15	1	621**	12.442037	10.308187	2.133850
		2	421	13.189785	11.475093	1.714692
		3	668	14.171246	11.849030	2.322216
100	25	1	444	35.148965	27.456211	7.692754
		2	955**	38.333501	31.432433	6.901068
		3	781	40.127414	33.628383	6.499031
196	35	1	1615**	67.798608	55.494279	12.304329
		2	1351	75.609875	62.351741	13.258134
		3	1892	77.552837	64.788336	12.764501
324	45	1	1002	106.873959	91.425834	15.448125
		2	2047**	122.034127	101.810168	20.223959
		3	1408	124.079186	105.344981	18.734205
484	55	1	3525**	170.860234	137.461444	33.398790
		2	3845**	187.048304	153.457960	33.590344
		3	2883	192.253078	160.127209	32.125869
676	65	1	3262	241.868569	192.401875	49.466694
		2	5038**	257.251004	214.387699	42.863305
		3	4034	268.544004	223.821499	44.722505

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ



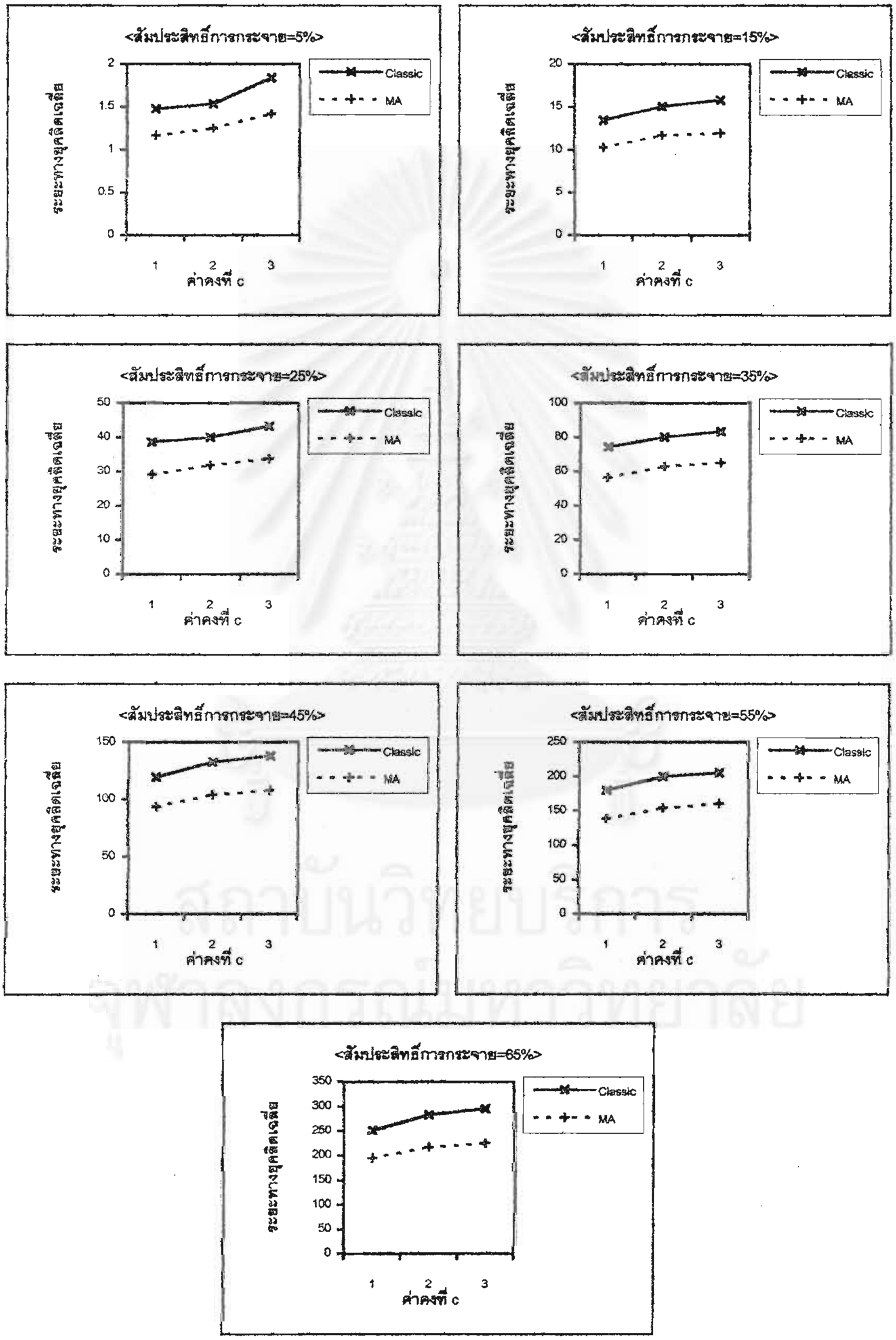
ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	85	1.476221	1.163673	0.312548
		2	122	1.534995	1.250080	0.284915
		3	129	1.841379	1.417444	0.423935
36	15	1	820**	13.462170	10.322082	3.140088
		2	514	15.050093	11.720796	3.329297
		3	527	15.804327	11.962581	3.841746
100	25	1	377	38.593810	29.078273	9.515537
		2	826**	39.989380	31.876258	8.113122
		3	586	43.296850	33.736691	9.560159
196	35	1	1338**	74.239264	56.584352	17.654912
		2	1514**	80.258100	62.941474	17.316626
		3	1217	83.478740	65.205597	18.273143
324	45	1	2798**	119.685688	93.569409	26.116279
		2	2423	132.644233	104.411670	28.232563
		3	2513	137.831003	107.977334	29.853669
484	55	1	2323	180.000453	138.865280	41.135173
		2	3075**	200.089770	154.074176	46.015594
		3	2381	205.761193	160.693665	45.067528
676	65	1	3790	251.898672	194.939953	56.958719
		2	5502**	283.468303	217.817342	65.650961
		3	4456	295.716340	225.559442	70.156898

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 7 ตามลำดับ



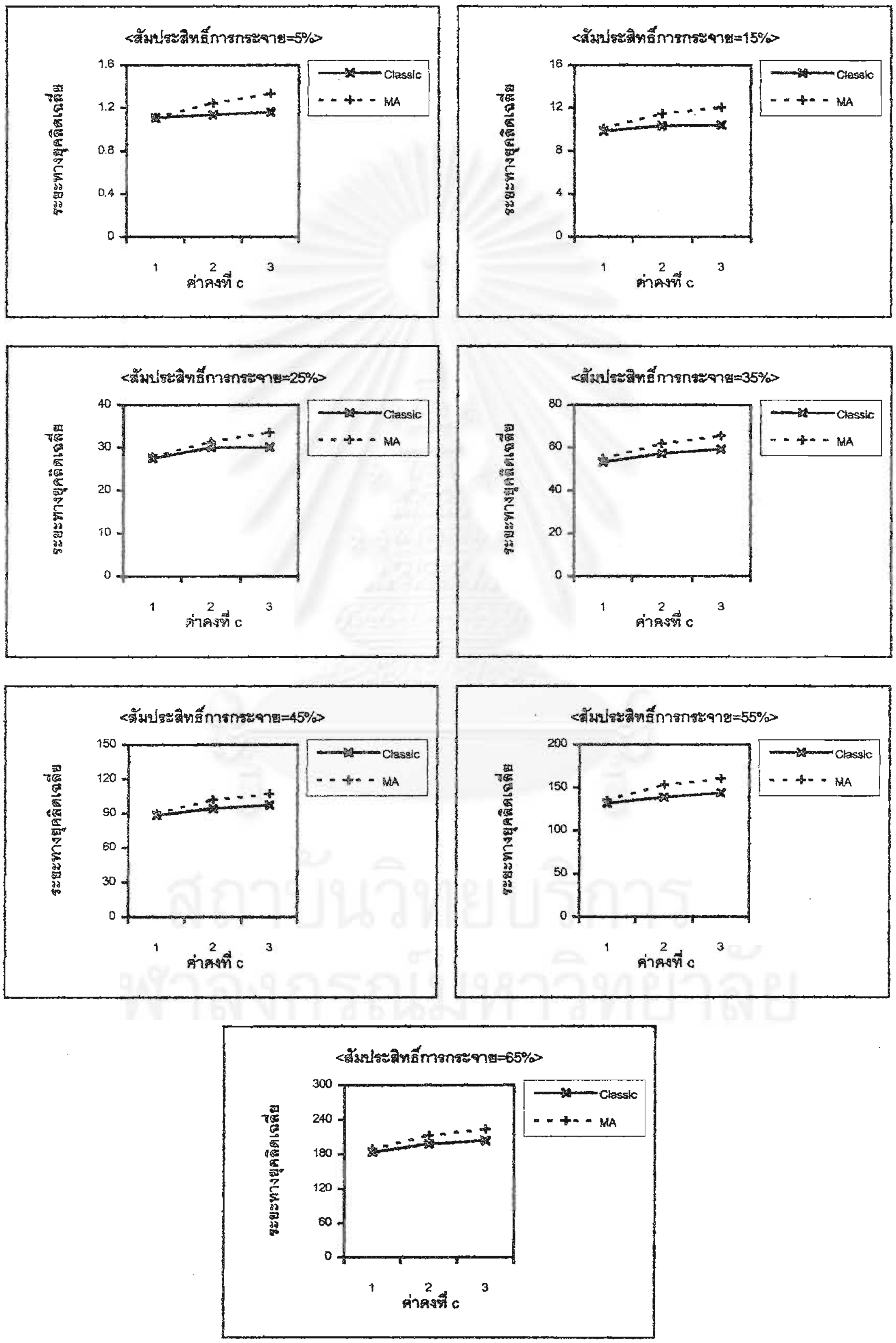
ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	93**	1.106434	1.113002	-0.006568
		2	78	1.134127	1.242205	-0.108078
		3	99	1.160991	1.331303	-0.170312
36	15	1	425**	9.850921	10.097268	-0.246347
		2	387	10.321016	11.428713	-1.107697
		3	452	10.413325	12.059792	-1.646467
100	25	1	398	27.540744	27.765772	-0.225028
		2	521	30.001085	31.422524	-1.421439
		3	837	30.068963	33.520128	-3.451165
196	35	1	1317	53.239752	54.707341	-1.467589
		2	1405**	57.217572	61.828284	-4.610712
		3	1350	59.172839	65.323562	-6.150723
324	45	1	1407**	88.650349	90.408993	-1.758644
		2	1241	94.533205	102.106683	-7.573478
		3	1595	97.373265	107.429481	-10.056216
484	55	1	1924**	131.811030	135.111411	-3.300381
		2	2114**	138.945740	153.620083	-14.674343
		3	1511	143.944554	160.385075	-16.440521
676	65	1	1707	183.442336	188.832510	-5.390174
		2	1914	197.898387	213.298048	-15.399661
		3	2716	204.069896	224.322557	-20.252661

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ



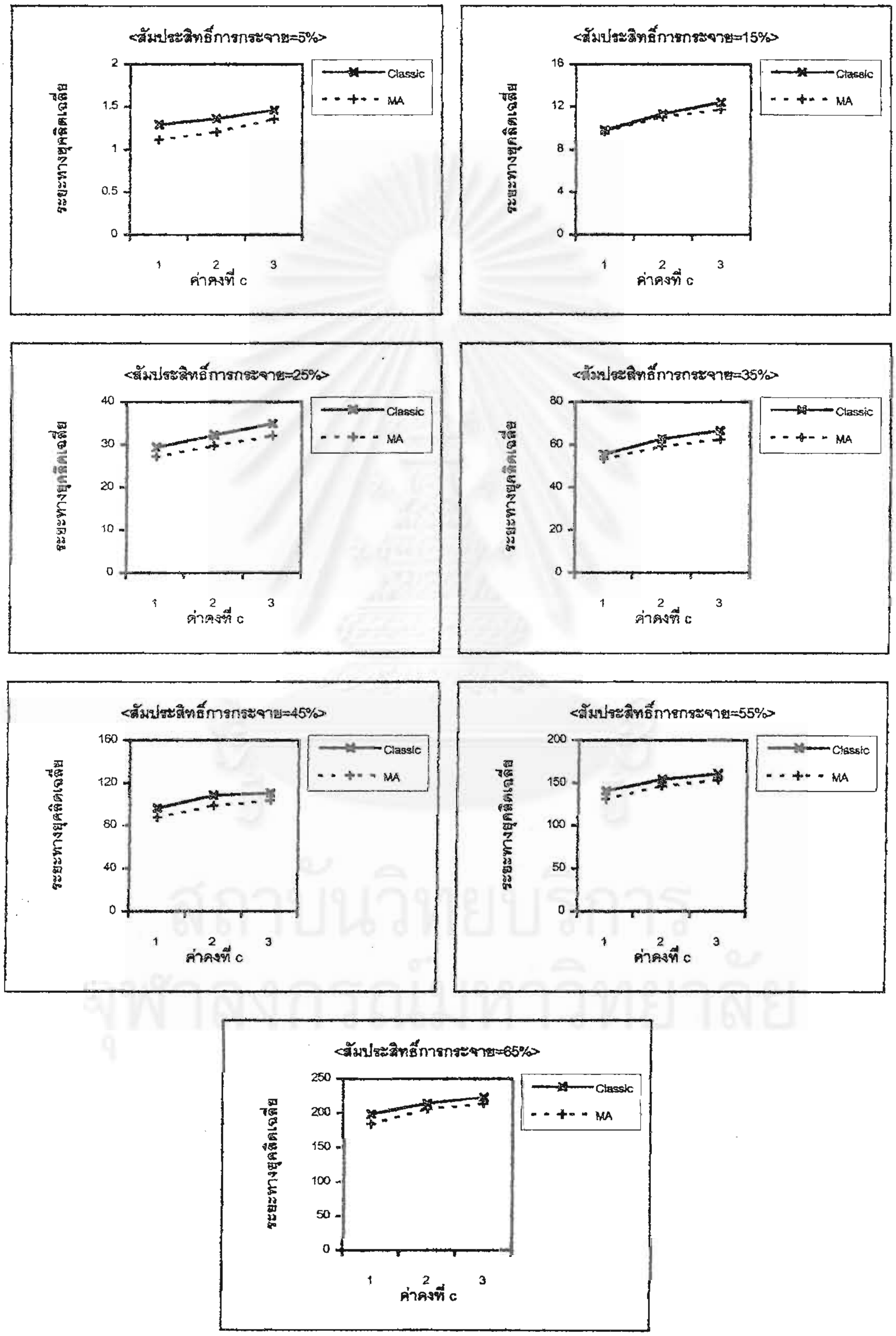
ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	118**	1.291979	1.114849	0.177130
		2	106	1.361167	1.204981	0.156186
		3	165	1.458520	1.356743	0.101777
36	15	1	354**	9.798241	9.681496	0.116745
		2	200	11.304372	11.049037	0.255335
		3	437	12.387266	11.724573	0.662693
100	25	1	717**	29.429695	27.182638	2.247057
		2	442	32.167514	29.789598	2.377916
		3	621	34.854668	32.125476	2.729192
196	35	1	1158**	55.600082	53.400735	2.199347
		2	920	62.802871	59.414773	3.388098
		3	1524	66.612889	62.596741	4.016148
324	45	1	981	96.317648	87.779793	8.537855
		2	1289	108.503102	98.886811	9.616291
		3	1460	110.226980	103.693402	6.533578
484	55	1	1932**	140.676044	130.770975	9.905069
		2	1881	154.394449	146.630906	7.763543
		3	2307	161.040939	153.934080	7.106859
676	65	1	2798**	198.582476	184.211472	14.371004
		2	2357	214.214736	206.445574	7.769162
		3	3884	223.412232	213.792028	9.620204

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ



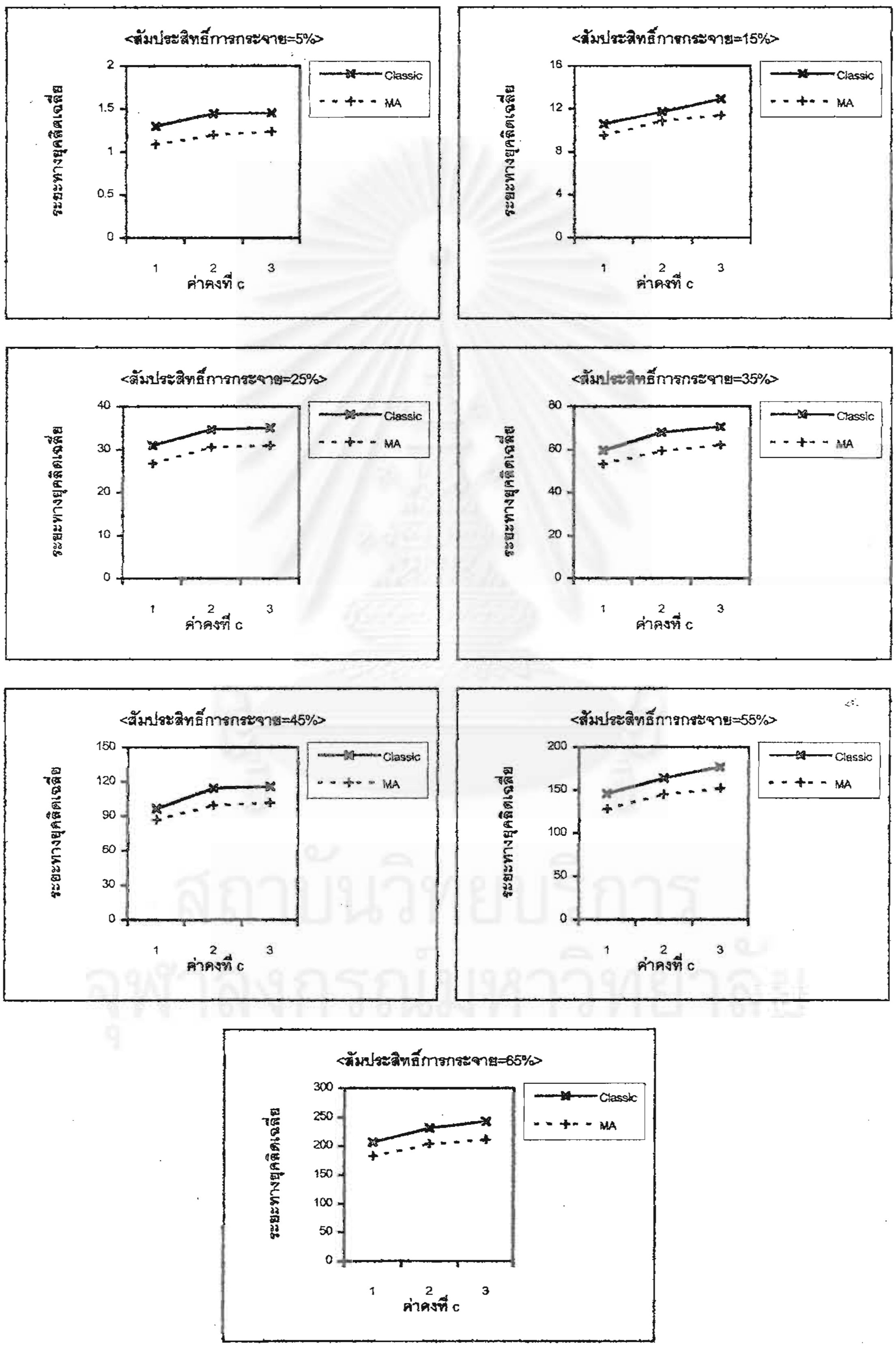
ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองลู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	74	1.302428	1.090869	0.211559
		2	107	1.443221	1.200578	0.242643
		3	110	1.452565	1.239335	0.213230
36	15	1	222	10.593589	9.574254	1.019335
		2	424	11.704939	10.887541	0.817398
		3	449	12.925293	11.391323	1.533970
100	25	1	588**	31.008907	26.666048	4.342859
		2	389	34.667631	30.642371	4.025260
		3	599	35.050367	31.030332	4.020035
196	35	1	1153	59.878362	53.266542	6.611820
		2	1440	67.913897	59.401758	8.512139
		3	1958	70.597553	62.179795	8.417758
324	45	1	2740**	96.259708	86.724245	9.535463
		2	1426	114.369327	99.249944	15.119383
		3	2785	115.737243	101.571379	14.165864
484	55	1	1356	146.066691	128.062979	18.003712
		2	1545	164.043366	145.151870	18.891496
		3	2150	176.828660	151.763371	25.065289
676	65	1	1328	206.802834	182.765608	24.037226
		2	1548	231.901585	204.130934	27.770651
		3	2147	242.663626	211.747387	30.916239

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 7 ตามลำดับ



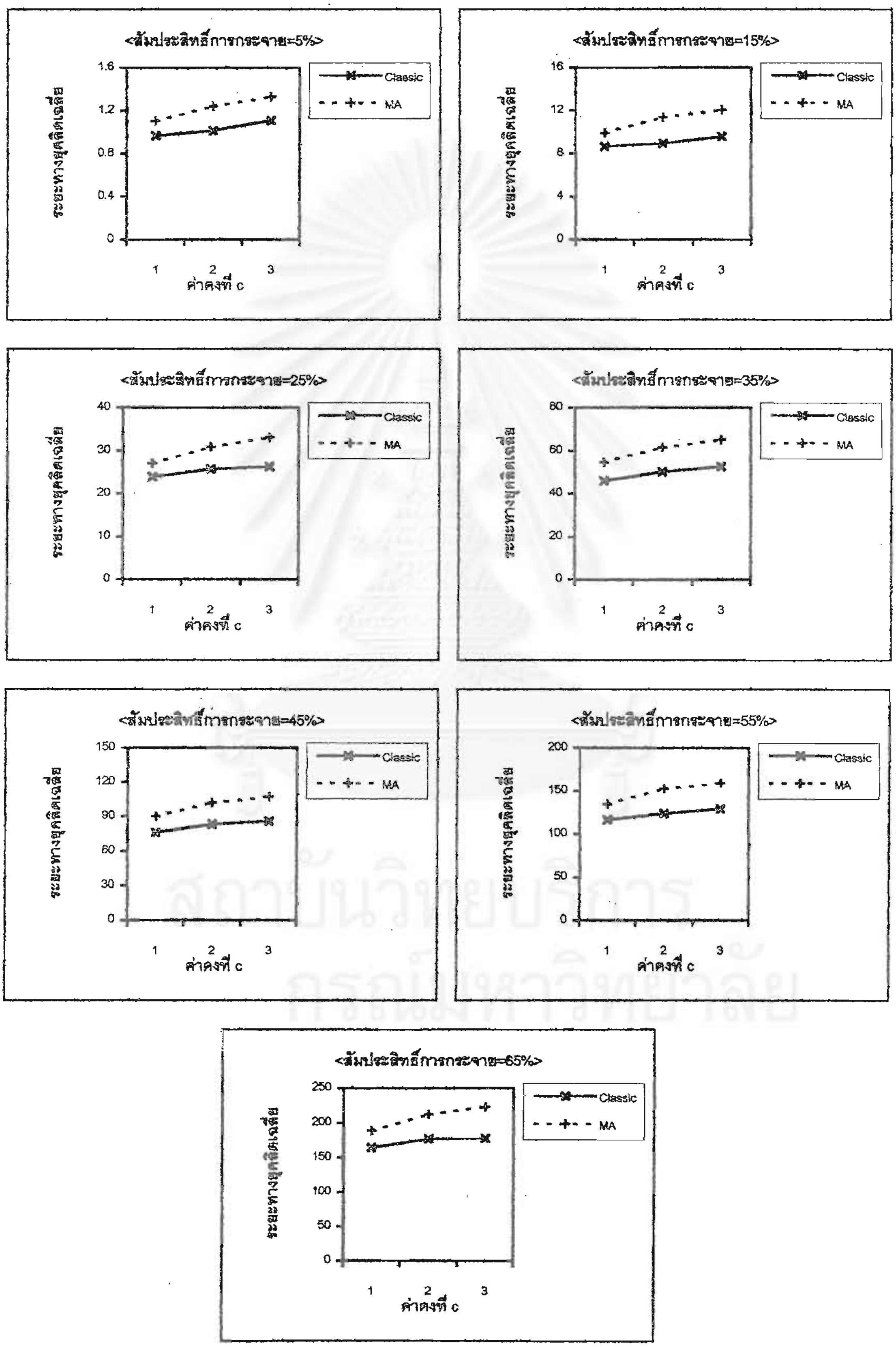
ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	82**	0.969287	1.103173	-0.133886
		2	64	1.015176	1.239945	-0.224769
		3	109	1.107432	1.329125	-0.221693
36	15	1	297**	8.679404	9.929870	-1.250466
		2	267	8.946483	11.351060	-2.404577
		3	325	9.600266	12.042887	-2.442621
100	25	1	628	23.868457	26.968868	-3.100411
		2	761	25.679325	30.880459	-5.201134
		3	867	26.338593	33.142842	-6.804249
196	35	1	1250**	45.994043	54.609087	-8.615044
		2	1152	50.145562	61.654406	-11.508844
		3	1222	52.608282	65.159534	-12.551252
324	45	1	1106	76.029183	90.105480	-14.076297
		2	1974	83.207730	102.037747	-18.830017
		3	2082	85.847307	107.229583	-21.382276
484	55	1	993	116.683446	134.746069	-18.062623
		2	2538**	123.354175	152.474170	-29.119995
		3	1515	129.194201	159.003736	-29.809535
676	65	1	925	164.375219	188.587040	-24.211821
		2	1603	176.686997	212.421622	-35.734625
		3	3527	178.142914	223.005377	-44.862463

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 3 ตามลำดับ



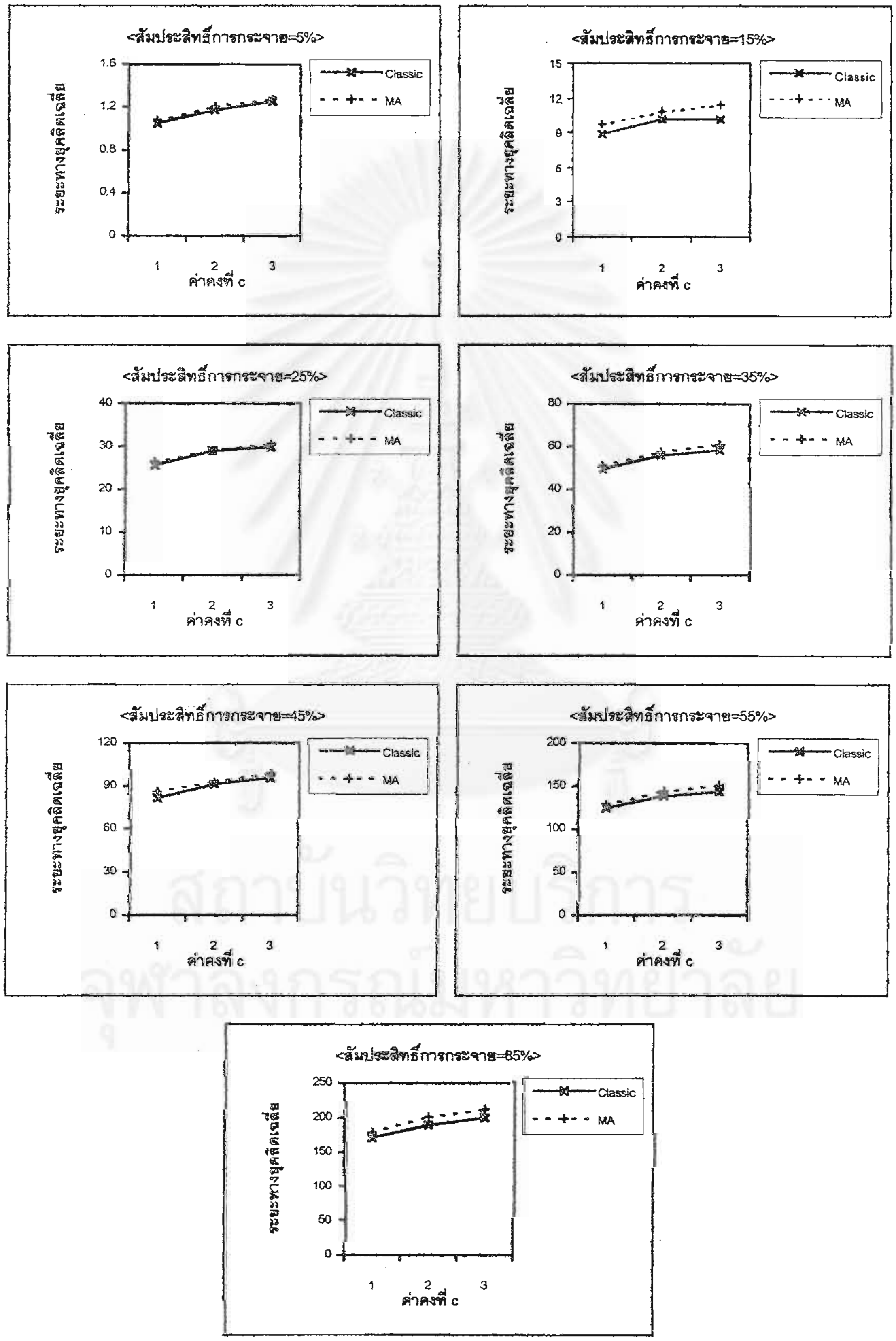
ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองลู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	79	1.053878	1.072459	-0.018581
		2	109	1.173481	1.202013	-0.028532
		3	133	1.253379	1.271669	-0.018290
36	15	1	286	8.886224	9.655362	-0.769138
		2	290	10.127868	10.787875	-0.660007
		3	410	10.199300	11.426704	-1.227404
100	25	1	634**	25.638056	26.346669	-0.708613
		2	597	28.996667	29.089500	-0.092833
		3	836	29.856777	30.488912	-0.632135
196	35	1	934	49.650878	51.032205	-1.381327
		2	1335**	56.001307	57.525560	-1.524253
		3	1082	58.424075	60.937716	-2.513641
324	45	1	1153	81.569537	86.385137	-4.815600
		2	2302**	91.461223	92.951731	-1.490508
		3	1600	96.058529	98.751353	-2.692824
484	55	1	1334	124.567901	128.138393	-3.570492
		2	1729**	137.942372	143.492210	-5.549838
		3	1623	143.732029	151.233688	-7.501659
676	65	1	1421	171.246646	178.739468	-7.492822
		2	2702**	189.248858	201.301259	-12.052401
		3	1548	200.306153	211.938132	-11.631979

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 5 ตามลำดับ



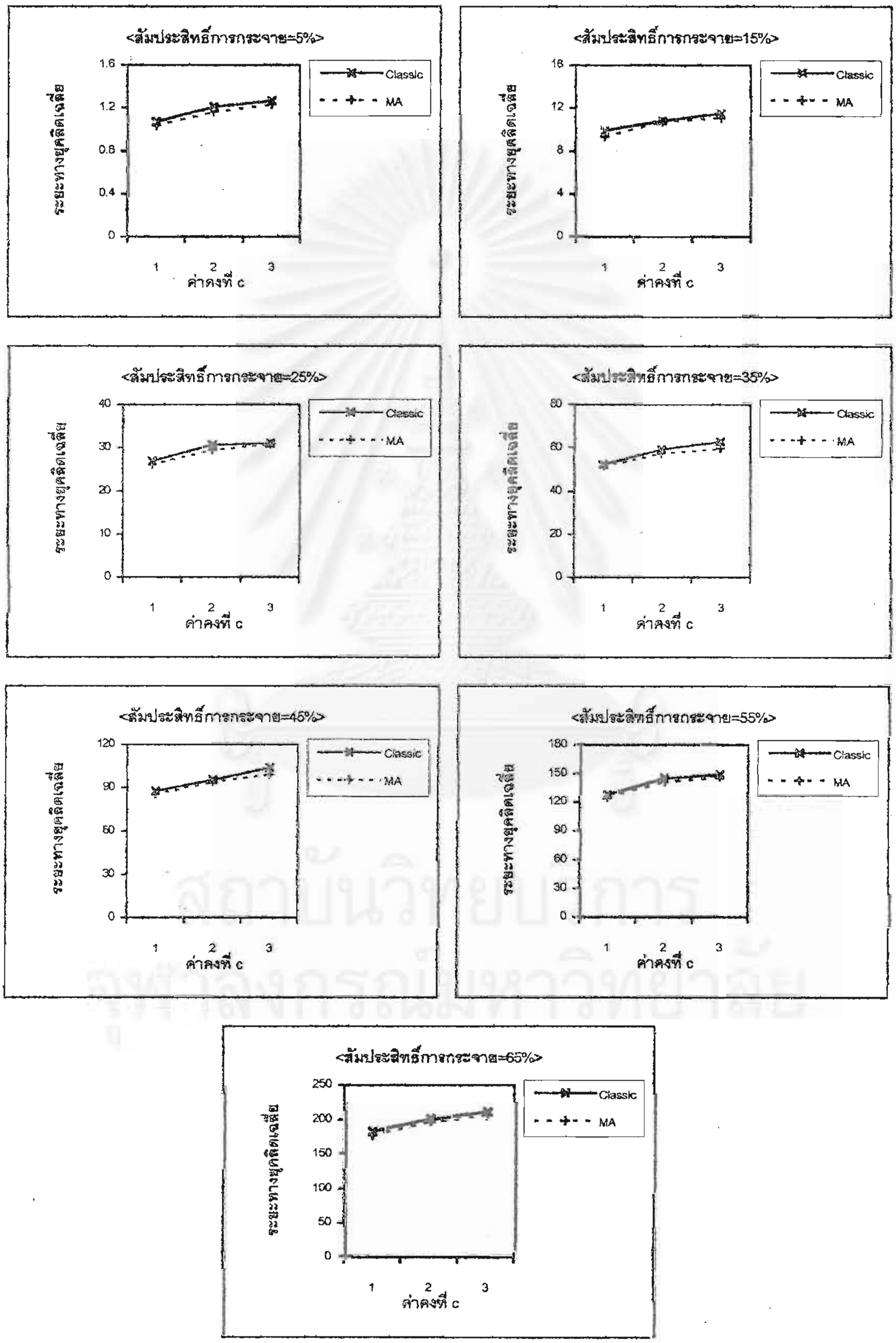
ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับค่าคงที่ c ต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองลู่เข้าสู่ค่าคงที่*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	70	1.072149	1.035030	0.037119
		2	77	1.207621	1.159532	0.048089
		3	96	1.264165	1.232316	0.031849
36	15	1	280**	9.901656	9.363713	0.537943
		2	395**	10.798968	10.710895	0.088073
		3	248	11.481828	11.092191	0.389637
100	25	1	536	26.882884	26.015414	0.867470
		2	1116**	30.655338	29.458178	1.197160
		3	780	31.030464	30.905651	0.124813
196	35	1	1297**	51.949877	51.212190	0.737687
		2	1033	59.397349	57.292120	2.105229
		3	1037	62.933584	59.893658	3.039926
324	45	1	1064	87.939988	85.130567	2.809421
		2	1201	95.729376	94.228030	1.501346
		3	1945	103.660945	98.898445	4.762500
484	55	1	2935**	127.929218	124.882424	3.046794
		2	2173	144.806010	141.492587	3.313423
		3	2405	148.896457	146.897315	1.999142
676	65	1	1550**	182.219291	176.903906	5.315385
		2	1076	200.243754	196.301703	3.942051
		3	2419	210.193444	205.822549	4.370895

*การหยุดนิ่งช้าหรือเร็วเกิดจากการกำหนดให้ทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001 กรณีเกิดการหยุดนิ่งช้าอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติเชิงสถิติของเลขสุ่มยังไม่ดีพอ

** ดูคำอธิบายเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ 5.3.4

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าคงที่ c เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 7 ตามลำดับ



จากรูปที่ 4.1 – 4.12 จะเห็นได้ว่าที่ระดับปัจจัยและหน่วยการทดลองที่ใช้หนึ่ง ๆ เมื่อค่าคงที่ c เพิ่มขึ้นค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนักในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

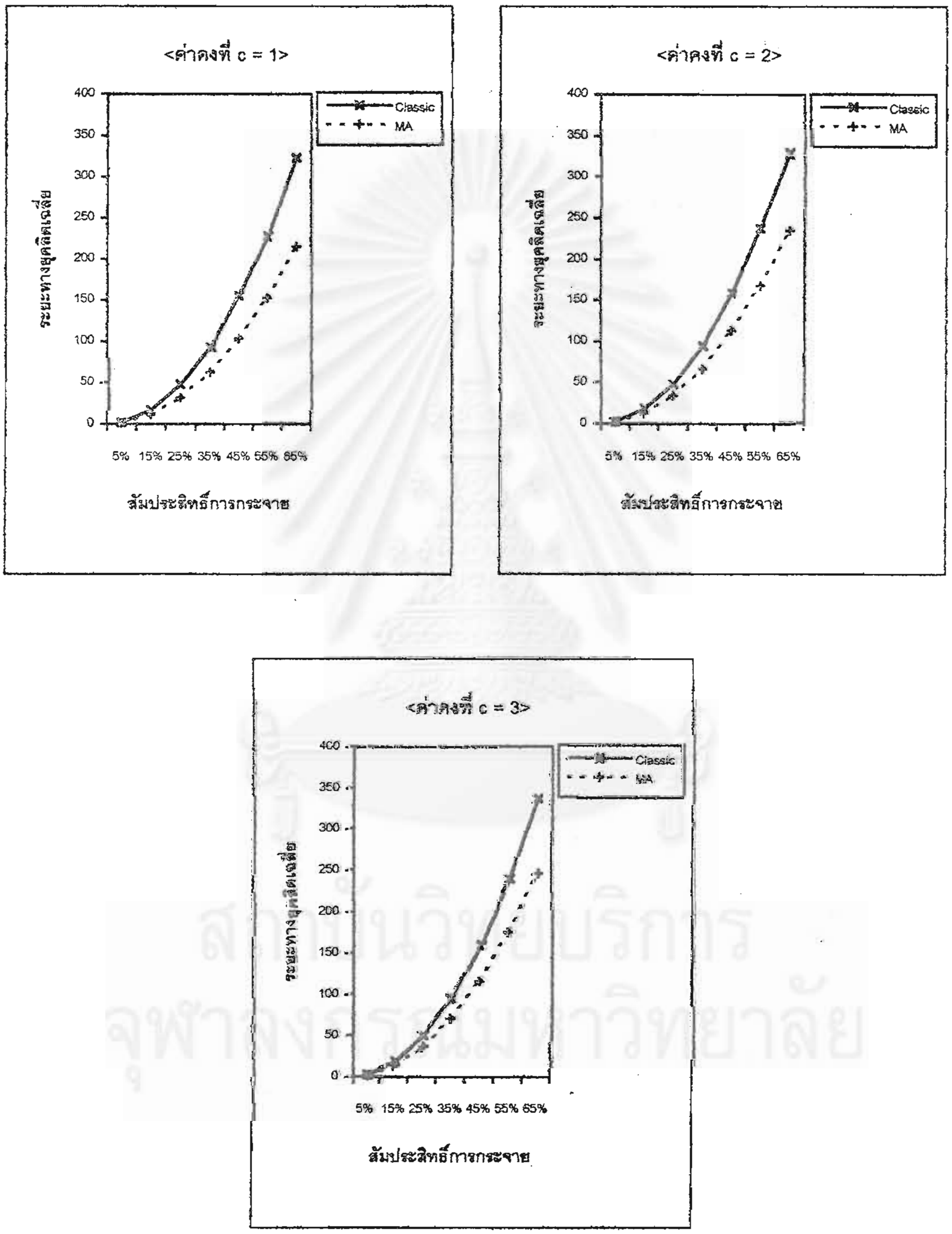
และที่ค่าคงที่ c ณ ระดับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ของสถานการณ์ของการทดลองค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ ยกเว้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.7 , 4.10 และ 4.11 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่มี a=b=4, n=3 ; a=b=5, n=3 และ a=b=5, n=5 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าสูงกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ

4.2 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ สัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ค่าคงที่ c ระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้คงที่ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.833277	1.243233	0.590044
36	15	1	16.892189	11.449949	5.442240
100	25	1	47.556924	31.866273	15.690651
196	35	1	92.859001	62.589762	30.269239
324	45	1	154.725767	103.425081	51.300686
484	55	1	227.045889	152.374833	74.671056
676	65	1	323.138343	214.577325	108.561018
4	5	2	2.001408	1.432496	0.568912
36	15	2	18.060504	12.631294	5.429210
100	25	2	47.843044	33.985247	13.857797
196	35	2	93.914421	66.426563	27.487858
324	45	2	157.558704	112.755079	44.803625
484	55	2	237.118354	167.710702	69.407652
676	65	2	327.409158	234.885163	92.523995
4	5	3	2.086610	1.466233	0.620377
36	15	3	18.084369	13.173451	4.910918
100	25	3	49.688749	35.779061	13.909688
196	35	3	95.752428	70.721221	25.031207
324	45	3	159.163965	116.007234	43.156731
484	55	3	239.080013	175.392982	63.687031
676	65	3	336.625824	245.039951	91.585873

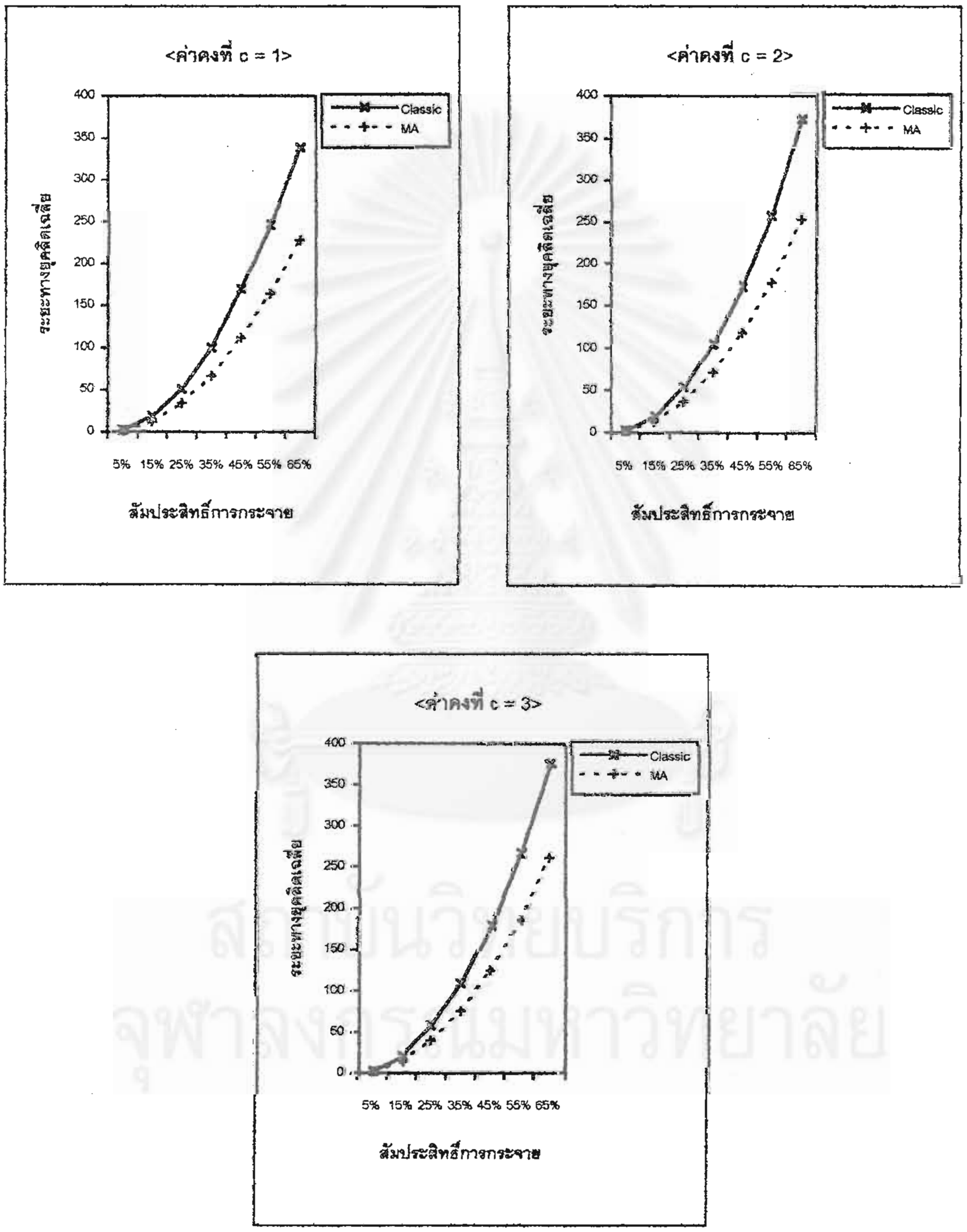
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	2.134258	1.331407	0.802851
36	15	1	18.499010	12.059035	6.439975
100	25	1	51.288860	34.036379	17.252481
196	35	1	100.063483	66.528773	33.534710
324	45	1	169.547427	111.756022	57.791405
484	55	1	245.905255	163.466212	82.439043
676	65	1	338.949196	227.978666	110.970530
4	5	2	2.170378	1.473659	0.696719
36	15	2	18.992930	12.973495	6.019435
100	25	2	54.459576	36.895370	17.564206
196	35	2	104.726503	71.935786	32.790717
324	45	2	172.499089	118.849396	53.649693
484	55	2	257.499073	177.328847	80.170226
676	65	2	371.676171	253.281693	118.394478
4	5	3	2.207973	1.550894	0.657079
36	15	3	20.258985	14.048059	6.210926
100	25	3	58.374023	39.540636	18.833387
196	35	3	109.041921	75.760010	33.281911
324	45	3	178.682030	124.986207	53.695823
484	55	3	265.917912	185.533067	80.384845
676	65	3	375.744606	261.099053	114.645553

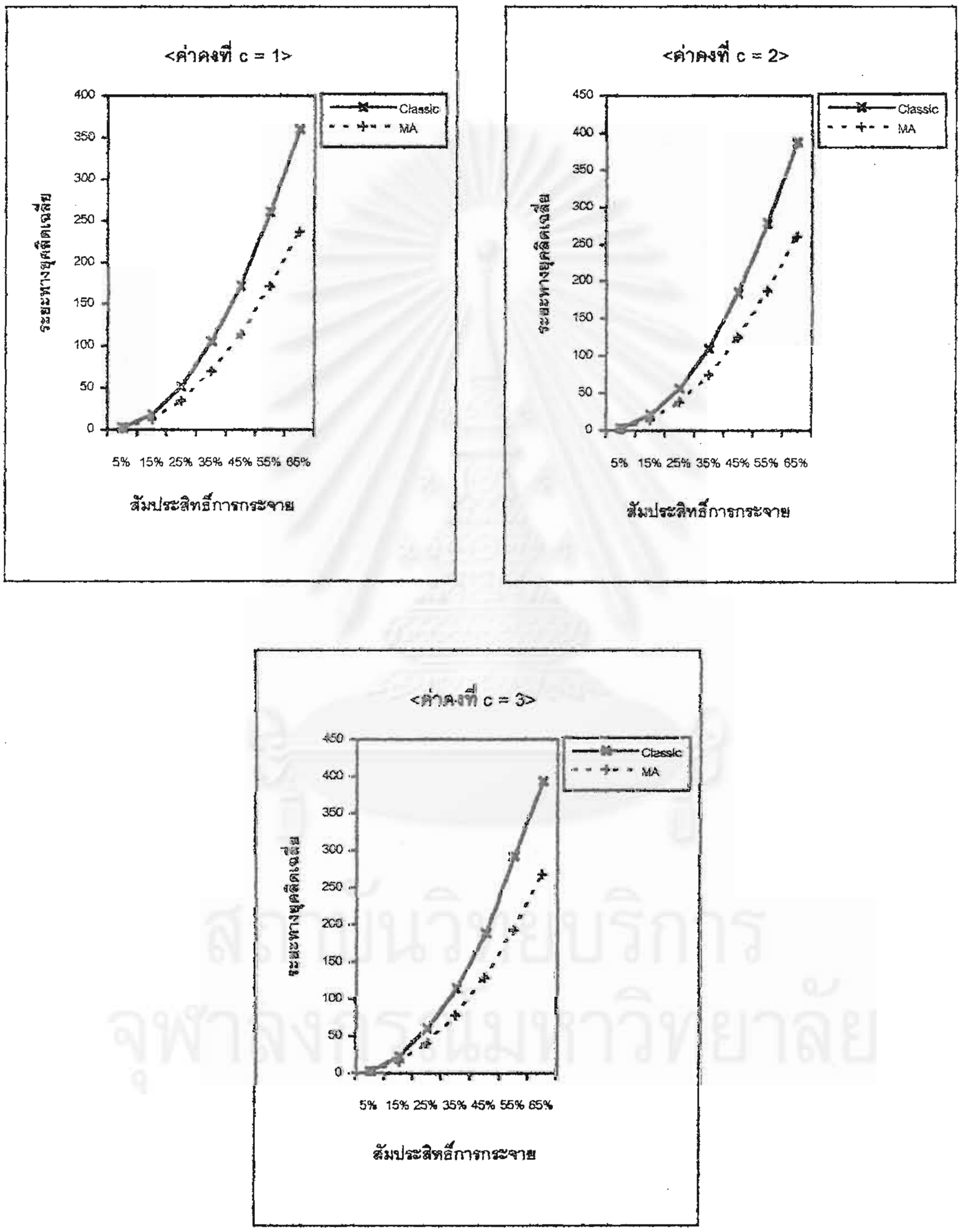
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ



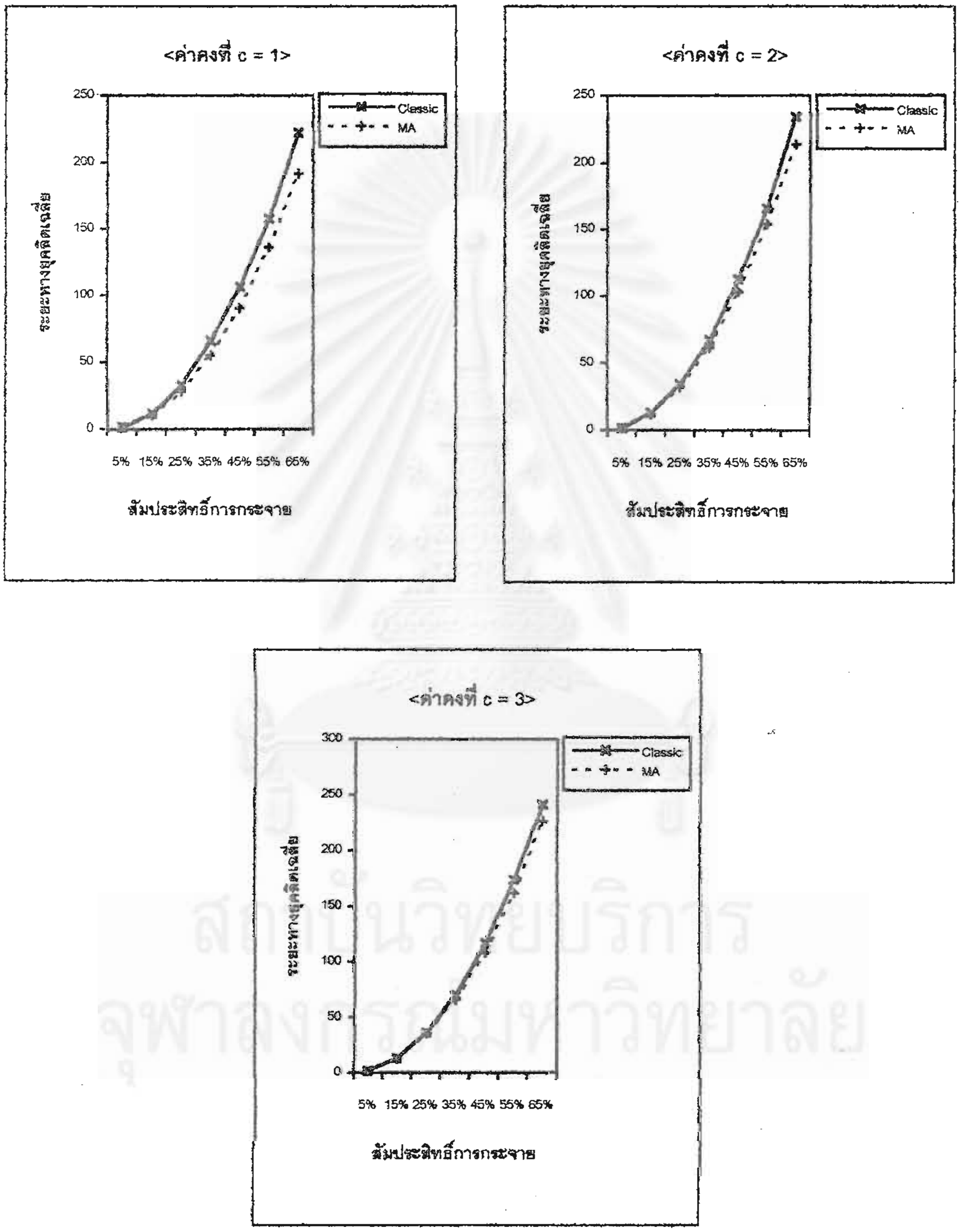
ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	2.194368	1.404815	0.789553
36	15	1	17.860850	12.197377	5.663473
100	25	1	51.608922	34.424472	17.184450
196	35	1	105.329026	69.570639	35.758387
324	45	1	171.960952	113.514239	58.446713
484	55	1	260.540931	171.275984	89.264947
676	65	1	359.724854	236.704709	123.020145
4	5	2	2.590467	1.681567	0.908900
36	15	2	20.973967	13.777941	7.196026
100	25	2	56.003971	37.917933	18.086038
196	35	2	109.873090	74.258526	35.614564
324	45	2	183.436018	124.137167	59.298851
484	55	2	277.308706	186.437509	90.871197
676	65	2	386.845712	259.658436	127.187276
4	5	3	2.612842	1.722469	0.890373
36	15	3	22.433327	14.884213	7.549114
100	25	3	60.168748	40.220498	19.948250
196	35	3	114.637388	77.737313	36.900075
324	45	3	188.405302	128.557781	59.847521
484	55	3	291.811187	192.970535	98.840652
676	65	3	394.024215	267.861127	126.163088

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 7 ตามลำดับ



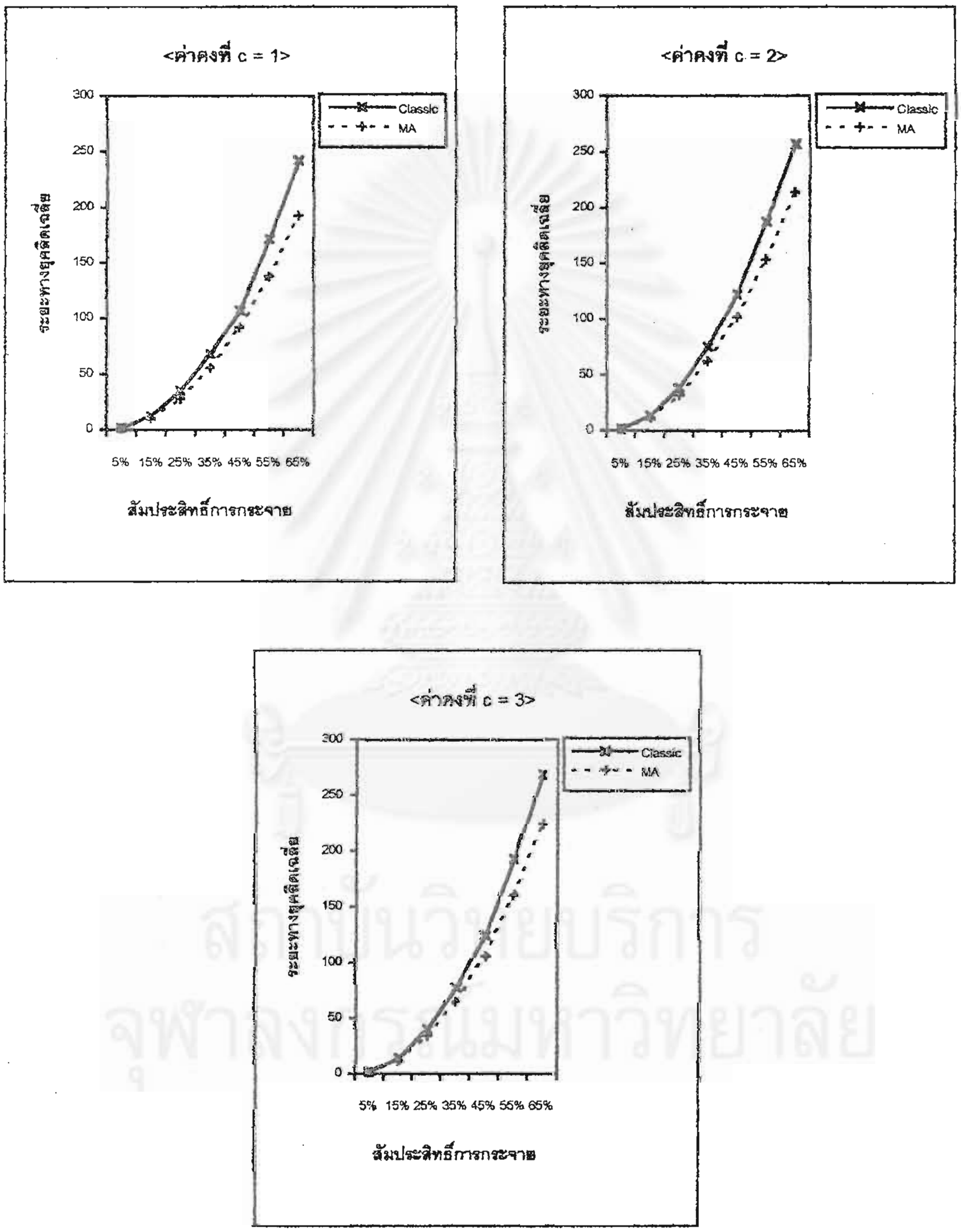
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 3 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.506555	1.118318	0.388237
36	15	1	12.442037	10.308187	2.133850
100	25	1	35.148965	27.456211	7.692754
196	35	1	67.798608	55.494279	12.304329
324	45	1	106.873959	91.425834	15.448125
484	55	1	170.860234	137.461444	33.398790
676	65	1	241.868569	192.401875	49.466694
4	5	2	1.576095	1.304157	0.271938
36	15	2	13.189785	11.475093	1.714692
100	25	2	38.333501	31.432433	6.901068
196	35	2	75.609875	62.351741	13.258134
324	45	2	122.034127	101.810168	20.223959
484	55	2	187.048304	153.457960	33.590344
676	65	2	257.251004	214.387699	42.863305
4	5	3	1.577210	1.359363	0.217847
36	15	3	14.171246	11.849030	2.322216
100	25	3	40.127414	33.628383	6.499031
196	35	3	77.552837	64.788336	12.764501
324	45	3	124.079186	105.344981	18.734205
484	55	3	192.253078	160.127209	32.125869
676	65	3	268.544004	223.821499	44.722505

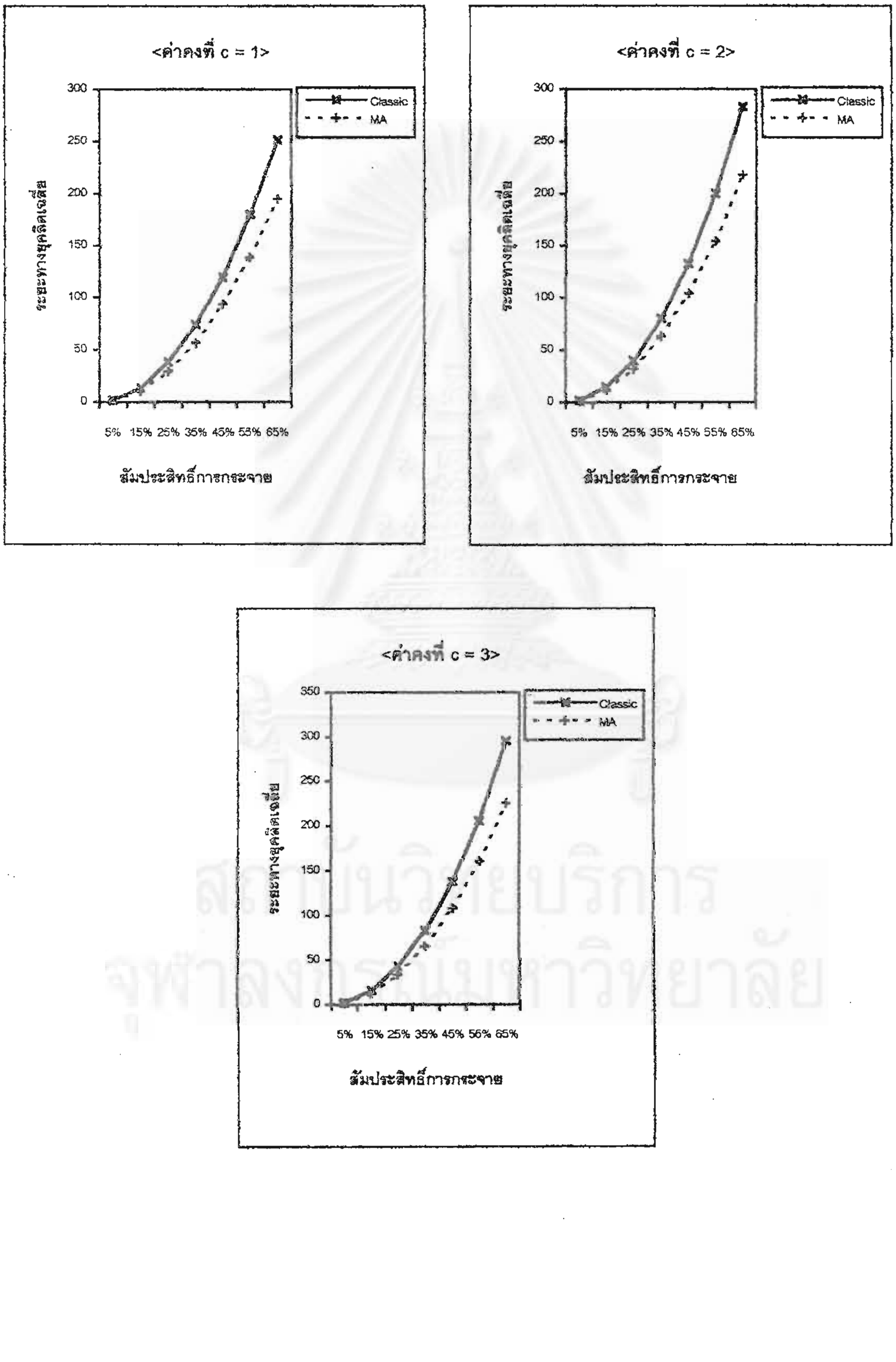
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.476221	1.163673	0.312548
36	15	1	13.462170	10.322082	3.140088
100	25	1	38.593810	29.078273	9.515537
196	35	1	74.239264	56.584352	17.654912
324	45	1	119.685688	93.569409	26.116279
484	55	1	180.000453	138.865280	41.135173
676	65	1	251.898672	194.939953	56.958719
4	5	2	1.534995	1.250080	0.284915
36	15	2	15.050093	11.720796	3.329297
100	25	2	39.989380	31.876258	8.113122
196	35	2	80.258100	62.941474	17.316626
324	45	2	132.644233	104.411670	28.232563
484	55	2	200.089770	154.074176	46.015594
676	65	2	283.468303	217.817342	65.650961
4	5	3	1.841379	1.417444	0.423935
36	15	3	15.804327	11.962581	3.841746
100	25	3	43.296850	33.736691	9.560159
196	35	3	83.478740	65.205597	18.273143
324	45	3	137.831003	107.977334	29.853669
484	55	3	205.761193	160.693665	45.067528
676	65	3	295.716340	225.559442	70.156898

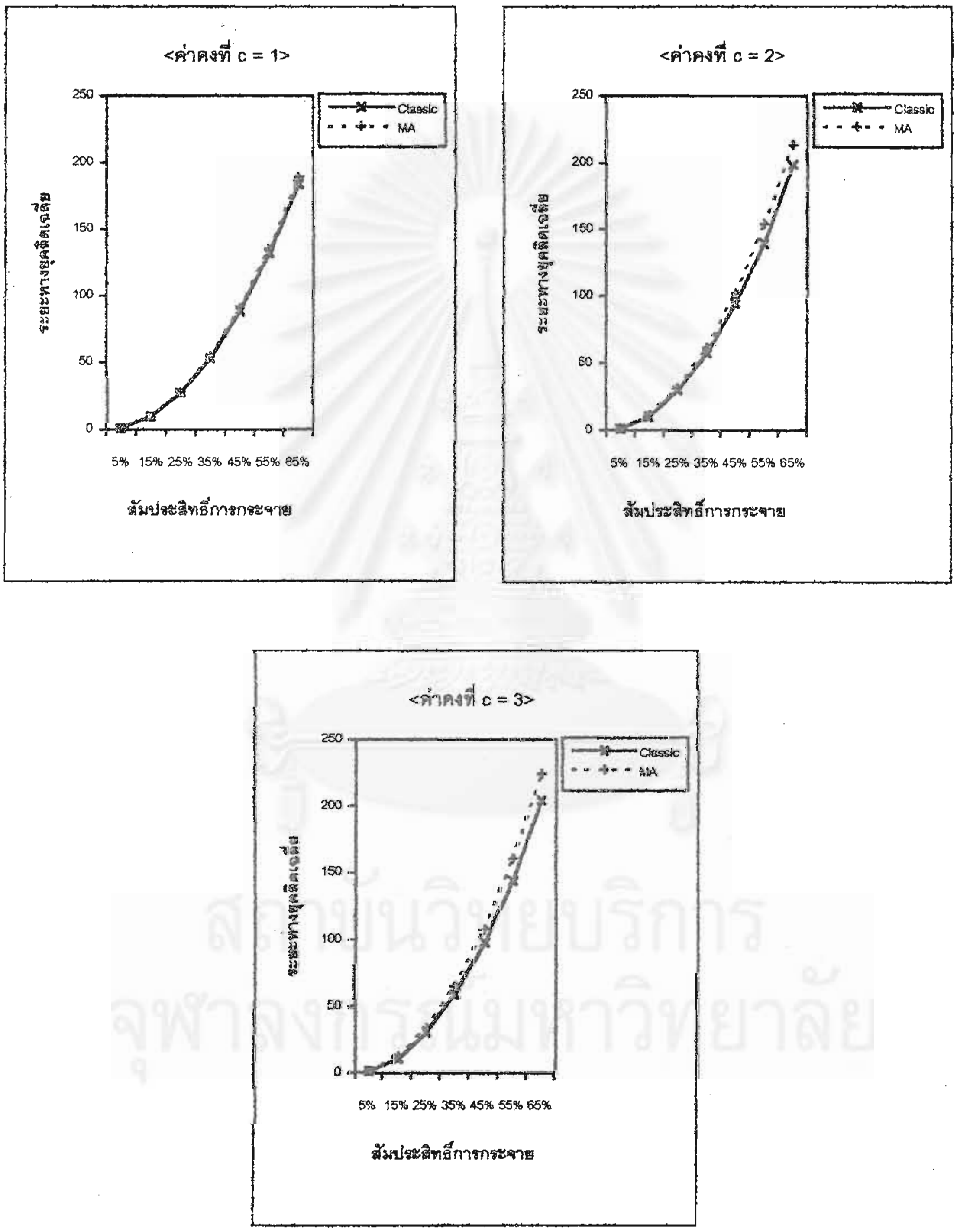
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 7 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.106434	1.113002	-0.006568
36	15	1	9.850921	10.097268	-0.246347
100	25	1	27.540744	27.765772	-0.225028
196	35	1	53.239752	54.707341	-1.467589
324	45	1	88.650349	90.408993	-1.758644
484	55	1	131.811030	135.111411	-3.300381
676	65	1	183.442336	188.832510	-5.390174
4	5	2	1.134127	1.242205	-0.108078
36	15	2	10.321016	11.428713	-1.107697
100	25	2	30.001085	31.422524	-1.421439
196	35	2	57.217572	61.828284	-4.610712
324	45	2	94.533205	102.106683	-7.573478
484	55	2	138.945740	153.620083	-14.674343
676	65	2	197.898387	213.298048	-15.399661
4	5	3	1.160991	1.331303	-0.170312
36	15	3	10.413325	12.059792	-1.646467
100	25	3	30.068963	33.520128	-3.451165
196	35	3	59.172839	65.323562	-6.150723
324	45	3	97.373265	107.429481	-10.056216
484	55	3	143.944554	160.385075	-16.440521
676	65	3	204.069896	224.322557	-20.252661

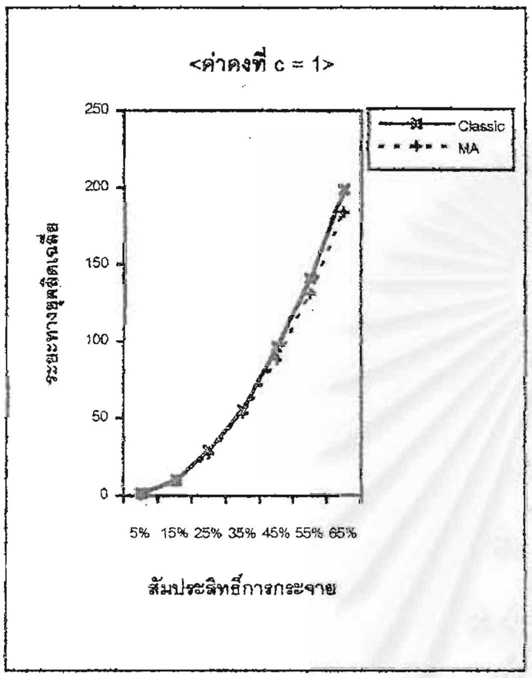
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ

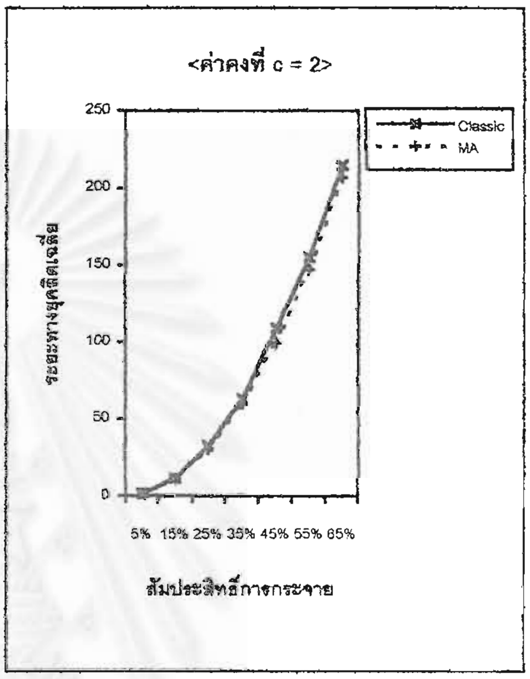


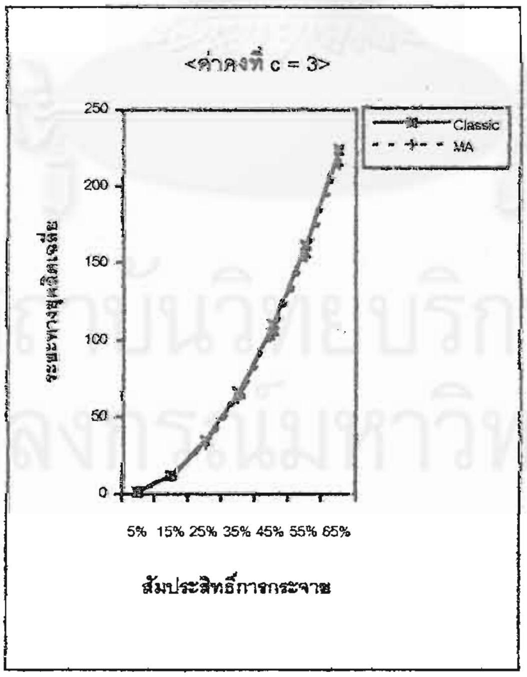
ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.291979	1.114849	0.177130
36	15	1	9.798241	9.681496	0.116745
100	25	1	29.429695	27.182638	2.247057
196	35	1	55.600082	53.400735	2.199347
324	45	1	96.317648	87.779793	8.537855
484	55	1	140.676044	130.770975	9.905069
676	65	1	198.582476	184.211472	14.371004
4	5	2	1.361167	1.204981	0.156186
36	15	2	11.304372	11.049037	0.255335
100	25	2	32.167514	29.789598	2.377916
196	35	2	62.802871	59.414773	3.388098
324	45	2	108.503102	98.886811	9.616291
484	55	2	154.394449	146.630906	7.763543
676	65	2	214.214736	206.445574	7.769162
4	5	3	1.458520	1.356743	0.101777
36	15	3	12.387266	11.724573	0.662693
100	25	3	34.854668	32.125476	2.729192
196	35	3	66.612889	62.596741	4.016148
324	45	3	110.226980	103.693402	6.533578
484	55	3	161.040939	153.934080	7.106859
676	65	3	223.412232	213.792028	9.620204

รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ



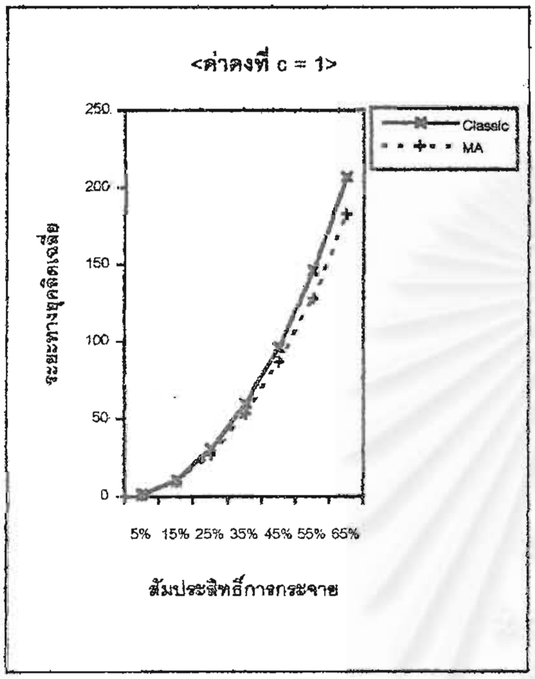


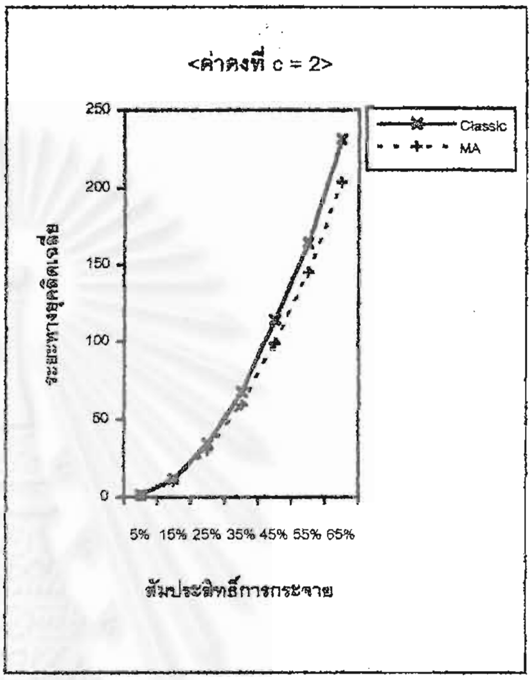


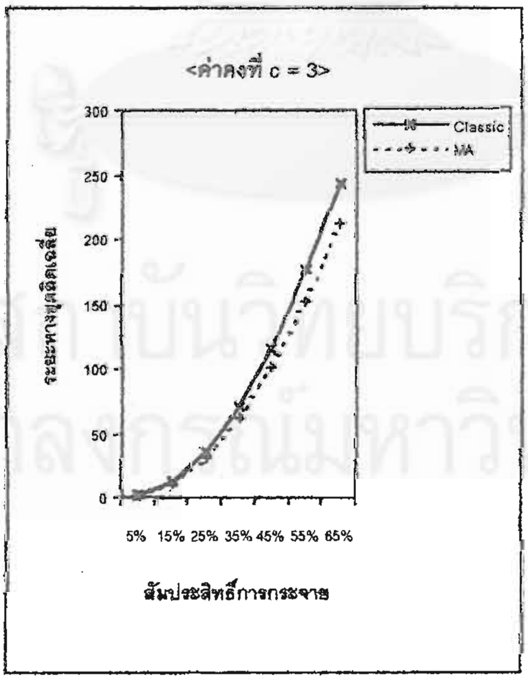
ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.302428	1.090869	0.211559
36	15	1	10.593589	9.574254	1.019335
100	25	1	31.008907	26.666048	4.342859
196	35	1	59.878362	53.266542	6.611820
324	45	1	96.259708	86.724245	9.535463
484	55	1	146.066691	128.062979	18.003712
676	65	1	206.802834	182.765608	24.037226
4	5	2	1.443221	1.200578	0.242643
36	15	2	11.704939	10.887541	0.817398
100	25	2	34.667631	30.642371	4.025260
196	35	2	67.913897	59.401758	8.512139
324	45	2	114.369327	99.249944	15.119383
484	55	2	164.043366	145.151870	18.891496
676	65	2	231.901585	204.130934	27.770651
4	5	3	1.452565	1.239335	0.213230
36	15	3	12.925293	11.391323	1.533970
100	25	3	35.050367	31.030332	4.020035
196	35	3	70.597553	62.179795	8.417758
324	45	3	115.737243	101.571379	14.165864
484	55	3	176.828660	151.763371	25.065289
676	65	3	242.663626	211.747387	30.916239

รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 7 ตามลำดับ



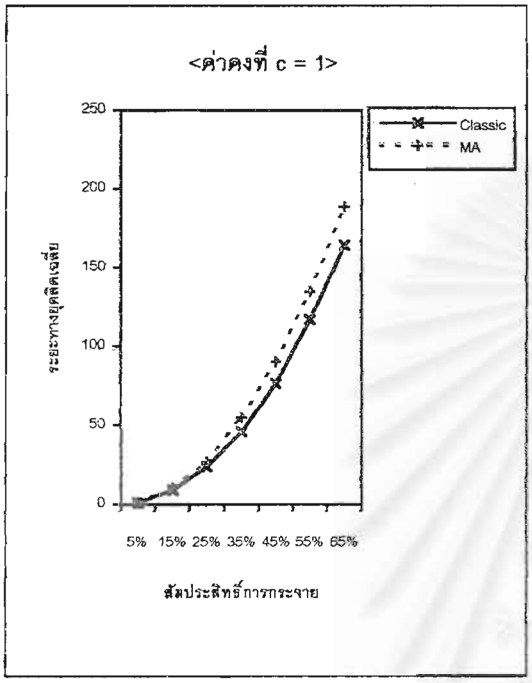


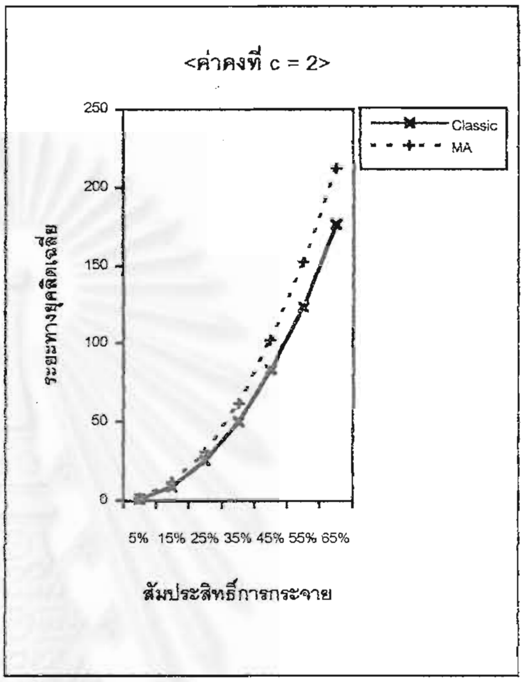


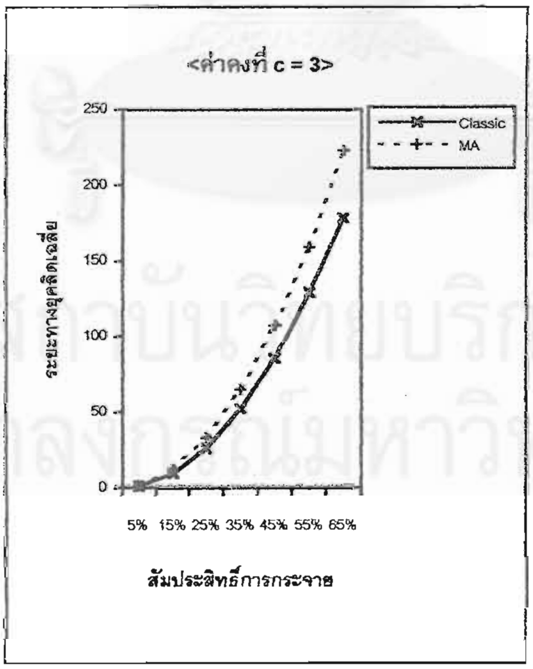
ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	0.969287	1.103173	-0.133886
36	15	1	8.679404	9.929870	-1.250466
100	25	1	23.868457	26.968868	-3.100411
196	35	1	45.994043	54.609087	-8.615044
324	45	1	76.029183	90.105480	-14.076297
484	55	1	116.683446	134.746069	-18.062623
676	65	1	164.375219	188.587040	-24.211821
4	5	2	1.015176	1.239945	-0.224769
36	15	2	8.946483	11.351060	-2.404577
100	25	2	25.679325	30.880459	-5.201134
196	35	2	50.145562	61.654406	-11.508844
324	45	2	83.207730	102.037747	-18.830017
484	55	2	123.354175	152.474170	-29.119995
676	65	2	176.686997	212.421622	-35.734625
4	5	3	1.107432	1.329125	-0.221693
36	15	3	9.600266	12.042887	-2.442621
100	25	3	26.338593	33.142842	-6.804249
196	35	3	52.608282	65.159534	-12.551252
324	45	3	85.847307	107.229583	-21.382276
484	55	3	129.194201	159.003736	-29.809535
676	65	3	178.142914	223.005377	-44.862463

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 3 ตามลำดับ



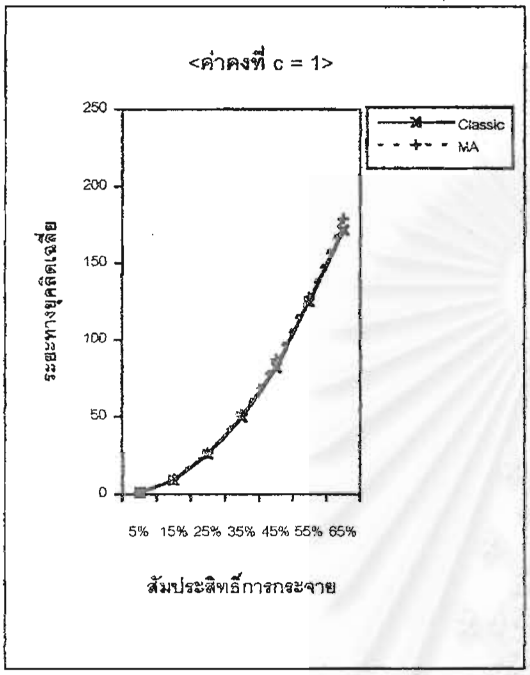


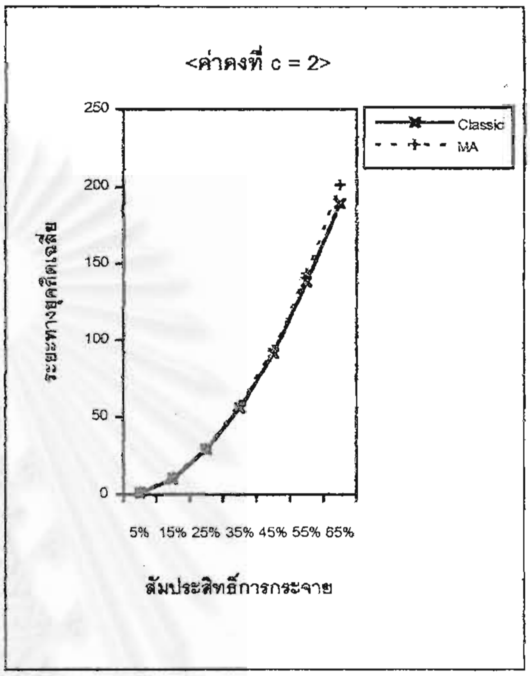


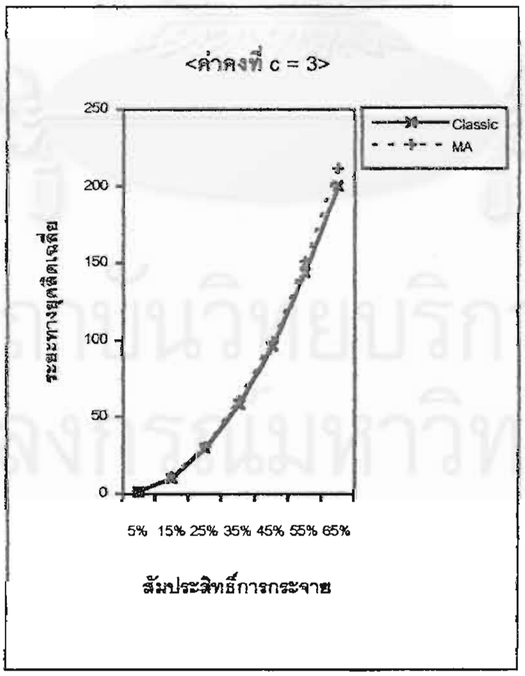
ตารางที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 5 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.053878	1.072459	-0.018581
36	15	1	8.886224	9.655362	-0.769138
100	25	1	25.638056	26.346669	-0.708613
196	35	1	49.650878	51.032205	-1.381327
324	45	1	81.569537	86.385137	-4.815600
484	55	1	124.567901	128.138393	-3.570492
676	65	1	171.246646	178.739468	-7.492822
4	5	2	1.173481	1.202013	-0.028532
36	15	2	10.127868	10.787875	-0.660007
100	25	2	28.996667	29.089500	-0.092833
196	35	2	56.001307	57.525560	-1.524253
324	45	2	91.461223	92.951731	-1.490508
484	55	2	137.942372	143.492210	-5.549838
676	65	2	189.248858	201.301259	-12.052401
4	5	3	1.253379	1.271669	-0.018290
36	15	3	10.199300	11.426704	-1.227404
100	25	3	29.856777	30.488912	-0.632135
196	35	3	58.424075	60.937716	-2.513641
324	45	3	96.058529	98.751353	-2.692824
484	55	3	143.732029	151.233688	-7.501659
676	65	3	200.306153	211.938132	-11.631979

รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 5 ตามลำดับ



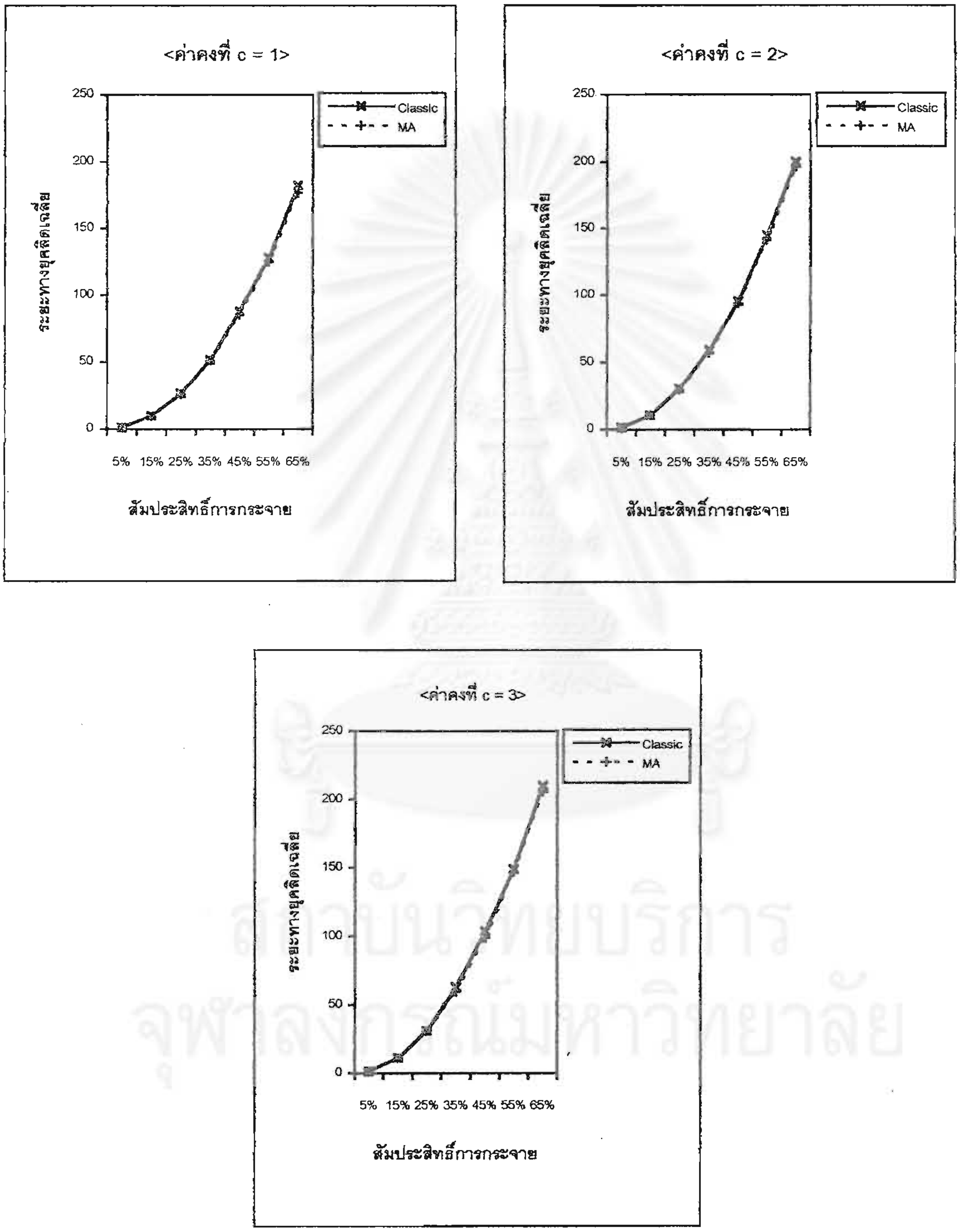




ตารางที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายต่าง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 7 ตามลำดับ

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%)	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
4	5	1	1.072149	1.035030	0.037119
36	15	1	9.901656	9.363713	0.537943
100	25	1	26.882884	26.015414	0.867470
196	35	1	51.949877	51.212190	0.737687
324	45	1	87.939988	85.130567	2.809421
484	55	1	127.929218	124.882424	3.046794
676	65	1	182.219291	176.903906	5.315385
4	5	2	1.207621	1.159532	0.048089
36	15	2	10.798968	10.710895	0.088073
100	25	2	30.655338	29.458178	1.197160
196	35	2	59.397349	57.292120	2.105229
324	45	2	95.729376	94.228030	1.501346
484	55	2	144.806010	141.492587	3.313423
676	65	2	200.243754	196.301703	3.942051
4	5	3	1.264165	1.232316	0.031849
36	15	3	11.481828	11.092191	0.389637
100	25	3	31.030464	30.905651	0.124813
196	35	3	62.933584	59.893658	3.039926
324	45	3	103.660945	98.898445	4.762500
484	55	3	148.896457	146.897315	1.999142
676	65	3	210.193444	205.822549	4.370895

รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 7 ตามลำดับ



จากรูปที่ 4.13 – 4.24 จะเห็นได้ว่าที่ระดับปัจจัยและหน่วยการทดลองที่ใช้หนึ่ง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายเพิ่มขึ้นค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าเพิ่มขึ้นด้วยในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

และที่สัมประสิทธิ์การกระจาย ณ ระดับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ของสถานการณ์ของการทดลองค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ ยกเว้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.19 , 4.22 และ 4.23 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่มี a=b=4, n=3 ; a=b=5, n=3 และ a=b=5, n=5 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าสูงกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ

4.3 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ สัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c คงที่ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่างๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

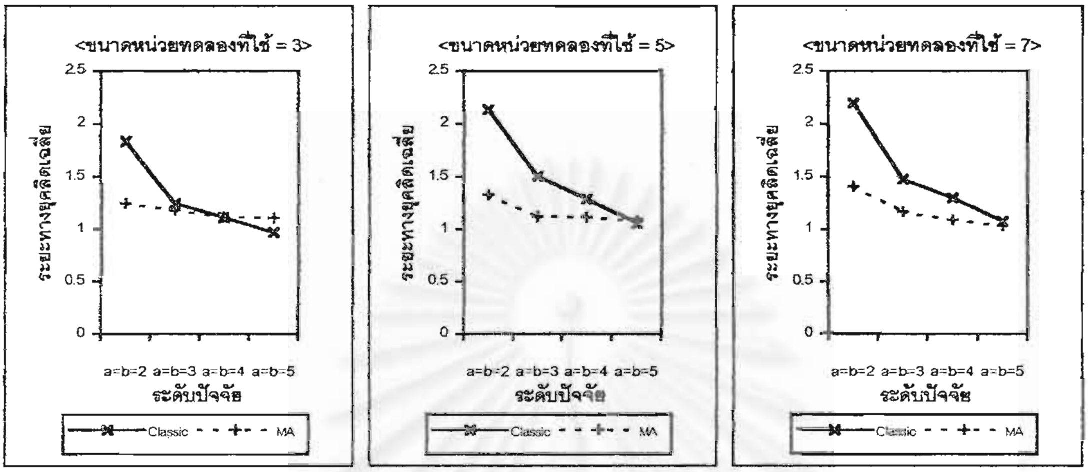
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	1.833277	1.243233	0.590044
a=b=3,n=3	1	1.243381	1.177603	0.065778
a=b=4,n=3	1	1.106434	1.113002	-0.006568
a=b=5,n=3	1	0.969287	1.103173	-0.133886
a=b=2,n=5	1	2.134258	1.331407	0.802851
a=b=3,n=5	1	1.506555	1.118318	0.388237
a=b=4,n=5	1	1.291979	1.114849	0.177130
a=b=5,n=5	1	1.053878	1.072459	-0.018581
a=b=2,n=7	1	2.194368	1.404815	0.789553
a=b=3,n=7	1	1.476221	1.163673	0.312548
a=b=4,n=7	1	1.302428	1.090869	0.211559
a=b=5,n=7	1	1.072149	1.035030	0.037119
a=b=2,n=3	2	2.001408	1.432496	0.568912
a=b=3,n=3	2	1.378612	1.244723	0.133889
a=b=4,n=3	2	1.134127	1.242205	-0.108078
a=b=5,n=3	2	1.015176	1.239945	-0.224769
a=b=2,n=5	2	2.170378	1.473659	0.696719
a=b=3,n=5	2	1.576095	1.304157	0.271938
a=b=4,n=5	2	1.361167	1.204981	0.156186
a=b=5,n=5	2	1.173481	1.202013	-0.028532

ตารางที่ 4.25(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

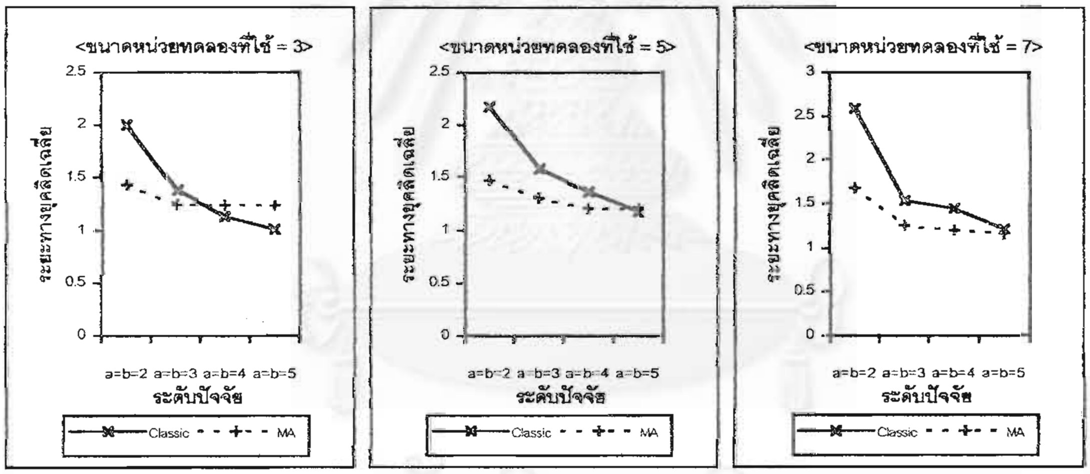
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=7	2	2.590467	1.681567	0.908900
a=b=3,n=7	2	1.534995	1.250080	0.284915
a=b=4,n=7	2	1.443221	1.200578	0.242643
a=b=5,n=7	2	1.207621	1.159532	0.048089
a=b=2,n=3	3	2.086610	1.466233	0.620377
a=b=3,n=3	3	1.603366	1.396556	0.206810
a=b=4,n=3	3	1.160991	1.331303	-0.170312
a=b=5,n=3	3	1.107432	1.329125	-0.221693
a=b=2,n=5	3	2.207973	1.550894	0.657079
a=b=3,n=5	3	1.577210	1.359363	0.217847
a=b=4,n=5	3	1.458520	1.356743	0.101777
a=b=5,n=5	3	1.253379	1.271669	-0.018290
a=b=2,n=7	3	2.612842	1.722469	0.890373
a=b=3,n=7	3	1.841379	1.417444	0.423935
a=b=4,n=7	3	1.452565	1.239335	0.213230
a=b=5,n=7	3	1.264165	1.232316	0.031849

รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

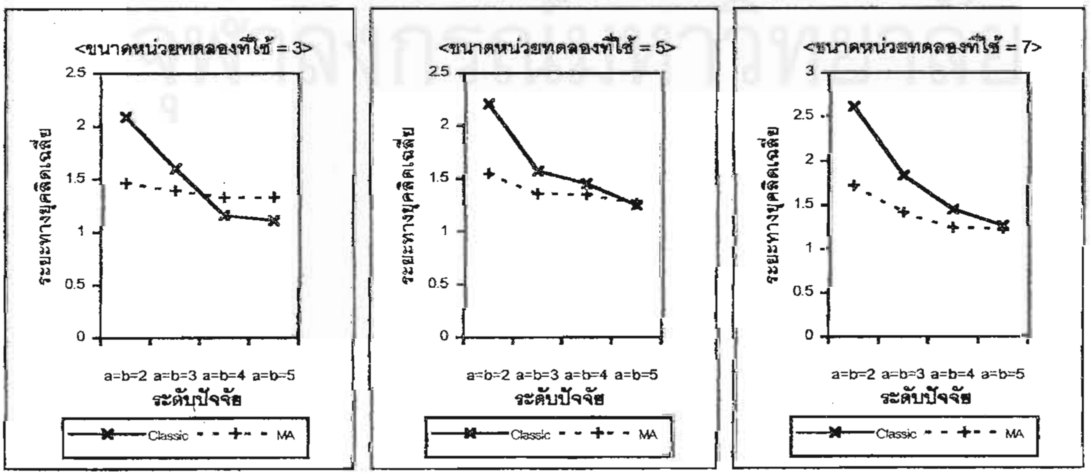
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 15%

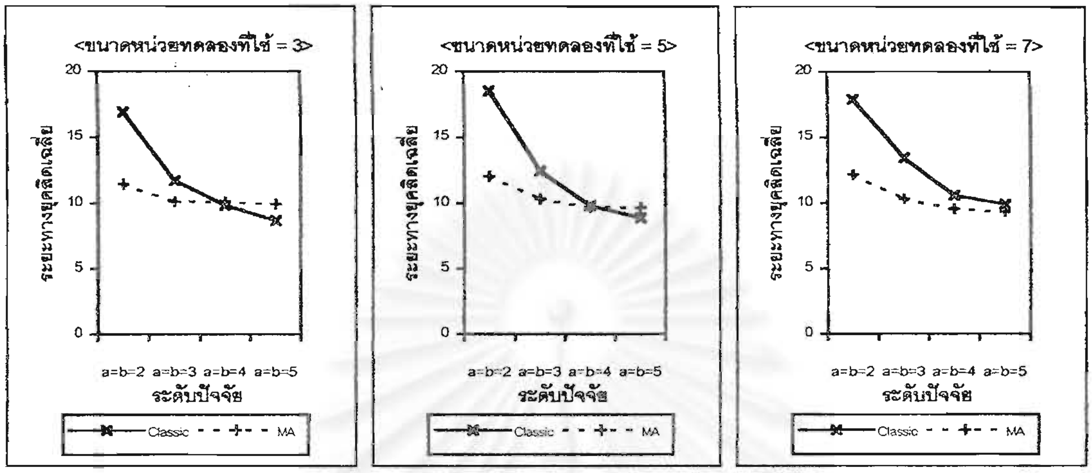
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	16.892189	11.449949	5.442240
a=b=3,n=3	1	11.715386	10.137518	1.577868
a=b=4,n=3	1	9.850921	10.097268	-0.246347
a=b=5,n=3	1	8.679404	9.929870	-1.250466
a=b=2,n=5	1	18.499010	12.059035	6.439975
a=b=3,n=5	1	12.442037	10.308187	2.133850
a=b=4,n=5	1	9.798241	9.681496	0.116745
a=b=5,n=5	1	8.886224	9.655362	-0.769138
a=b=2,n=7	1	17.860850	12.197377	5.663473
a=b=3,n=7	1	13.462170	10.322082	3.140088
a=b=4,n=7	1	10.593589	9.574254	1.019335
a=b=5,n=7	1	9.901656	9.363713	0.537943
a=b=2,n=3	2	18.060504	12.631294	5.429210
a=b=3,n=3	2	12.995539	11.475246	1.520293
a=b=4,n=3	2	10.321016	11.428713	-1.107697
a=b=5,n=3	2	8.946483	11.351060	-2.404577
a=b=2,n=5	2	18.992930	12.973495	6.019435
a=b=3,n=5	2	13.189785	11.475093	1.714692
a=b=4,n=5	2	11.304372	11.049037	0.255335
a=b=5,n=5	2	10.127868	10.787875	-0.660007
a=b=2,n=7	2	20.973967	13.777941	7.196026
a=b=3,n=7	2	15.050093	11.720796	3.329297
a=b=4,n=7	2	11.704939	10.887541	0.817398
a=b=5,n=7	2	10.798968	10.710895	0.088073

ตารางที่ 4.26(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 15%

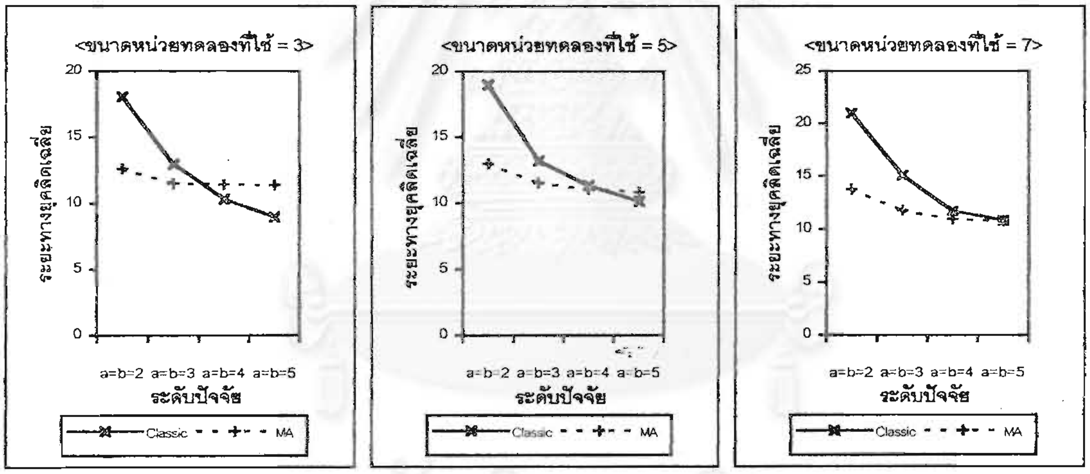
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	18.084369	13.173451	4.910918
a=b=3,n=3	3	13.061331	12.194586	0.866745
a=b=4,n=3	3	10.413325	12.059792	-1.646467
a=b=5,n=3	3	9.600266	12.042887	-2.442621
a=b=2,n=5	3	20.258985	14.048059	6.210926
a=b=3,n=5	3	14.171246	11.849030	2.322216
a=b=4,n=5	3	12.387266	11.724573	0.662693
a=b=5,n=5	3	10.199300	11.426704	-1.227404
a=b=2,n=7	3	22.433327	14.884213	7.549114
a=b=3,n=7	3	15.804327	11.962581	3.841746
a=b=4,n=7	3	12.925293	11.391323	1.533970
a=b=5,n=7	3	11.481828	11.092191	0.389637

รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 15%

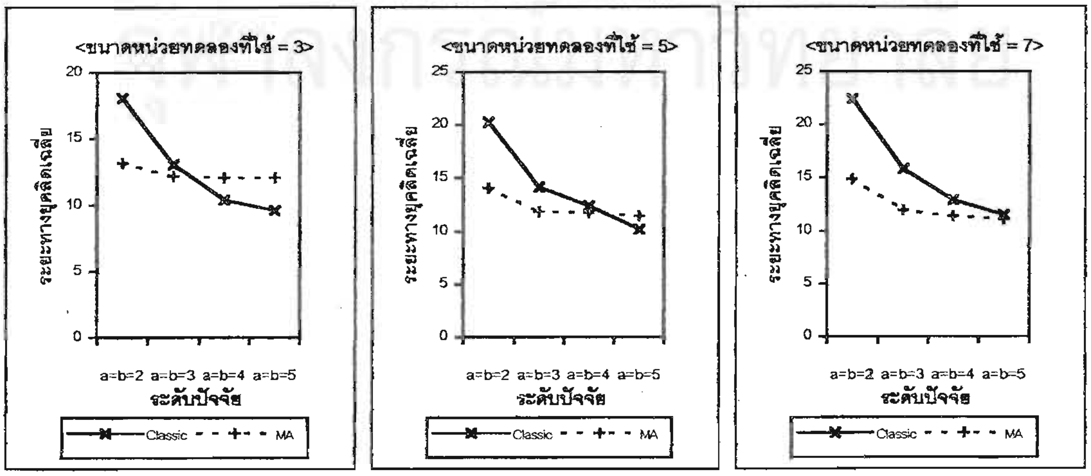
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 25%

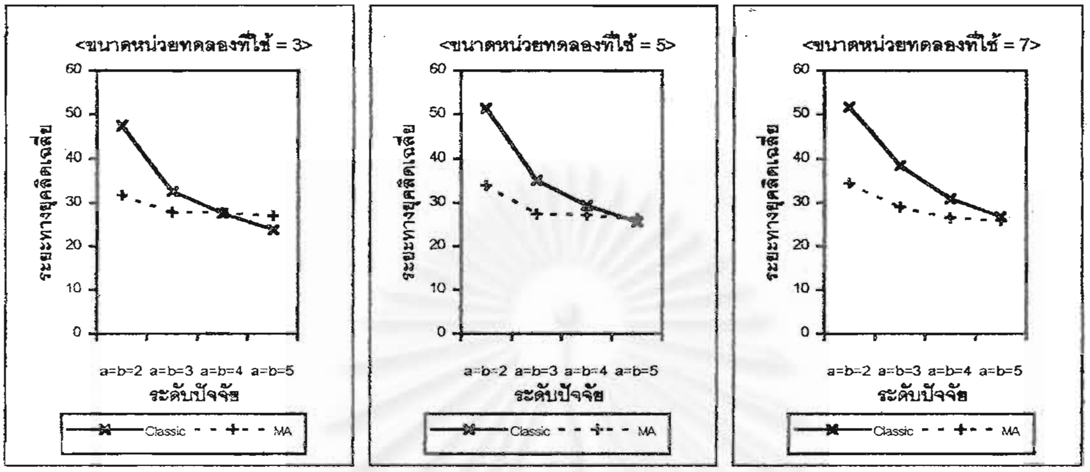
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	47.556924	31.866273	15.690651
a=b=3,n=3	1	32.696546	27.799890	4.896656
a=b=4,n=3	1	27.540744	27.765772	-0.225028
a=b=5,n=3	1	23.868457	26.968868	-3.100411
a=b=2,n=5	1	51.288860	34.036379	17.252481
a=b=3,n=5	1	35.148965	27.456211	7.692754
a=b=4,n=5	1	29.429695	27.182638	2.247057
a=b=5,n=5	1	25.638056	26.346669	-0.708613
a=b=2,n=7	1	51.608922	34.424472	17.184450
a=b=3,n=7	1	38.593810	29.078273	9.515537
a=b=4,n=7	1	31.008907	26.666048	4.342859
a=b=5,n=7	1	26.882884	26.015414	0.867470
a=b=2,n=3	2	47.843044	33.985247	13.857797
a=b=3,n=3	2	34.263277	31.790952	2.472325
a=b=4,n=3	2	30.001085	31.422524	-1.421439
a=b=5,n=3	2	25.679325	30.880459	-5.201134
a=b=2,n=5	2	54.459576	36.895370	17.564206
a=b=3,n=5	2	38.333501	31.432433	6.901068
a=b=4,n=5	2	32.167514	29.789598	2.377916
a=b=5,n=5	2	28.996667	29.089500	-0.092833
a=b=2,n=7	2	56.003971	37.917933	18.086038
a=b=3,n=7	2	39.989380	31.876258	8.113122
a=b=4,n=7	2	34.667631	30.642371	4.025260
a=b=5,n=7	2	30.655338	29.458178	1.197160

ตารางที่ 4.27(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 25%

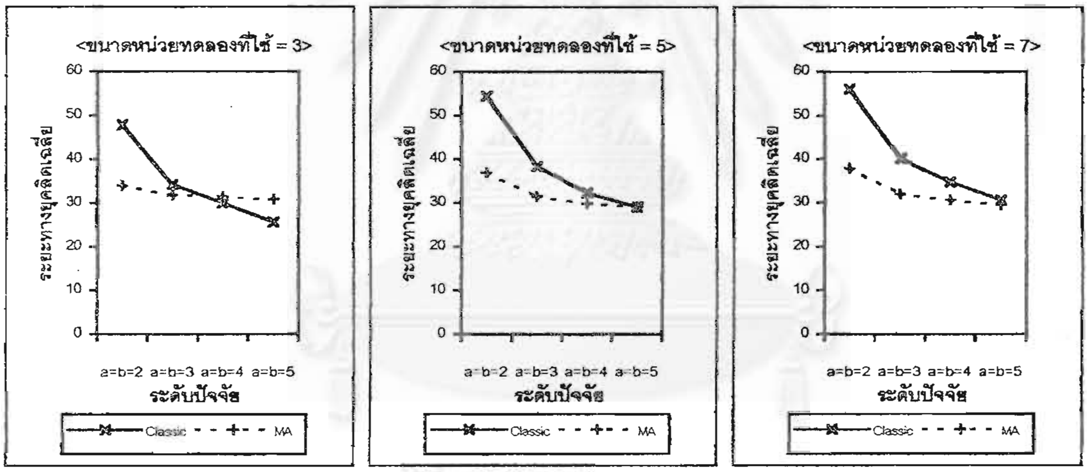
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	49.688749	35.779061	13.909688
a=b=3,n=3	3	36.032891	34.838918	1.193973
a=b=4,n=3	3	30.068963	33.520128	-3.451165
a=b=5,n=3	3	26.338593	33.142842	-6.804249
a=b=2,n=5	3	58.374023	39.540636	18.833387
a=b=3,n=5	3	40.127414	33.628383	6.499031
a=b=4,n=5	3	34.854668	32.125476	2.729192
a=b=5,n=5	3	29.856777	30.488912	-0.632135
a=b=2,n=7	3	60.168748	40.220498	19.948250
a=b=3,n=7	3	43.296850	33.736691	9.560159
a=b=4,n=7	3	35.050367	31.030332	4.020035
a=b=5,n=7	3	31.030464	30.905651	0.124813

รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 25%

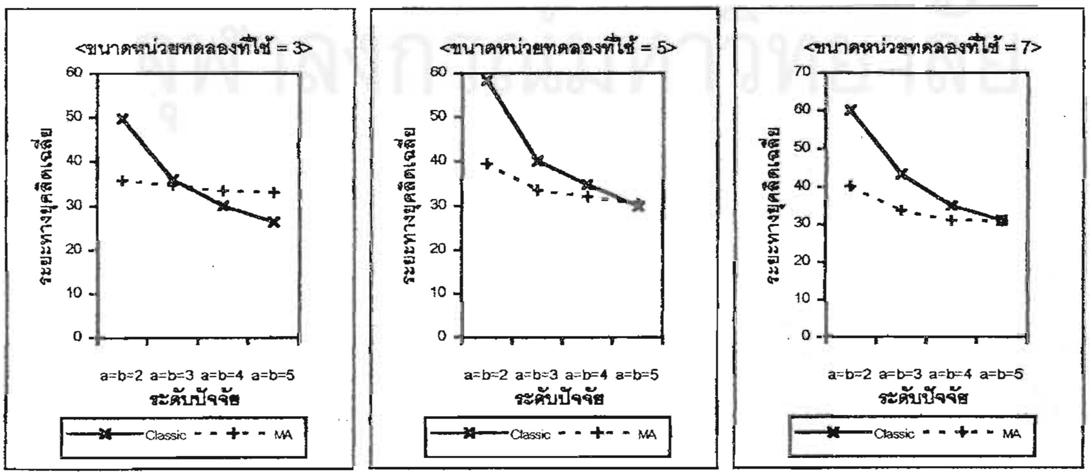
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 35%

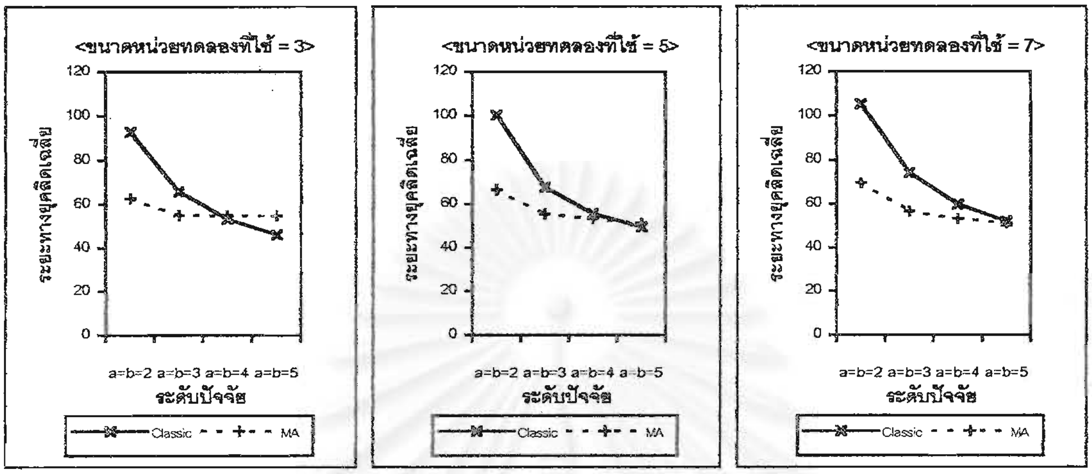
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	92.859001	62.589762	30.269239
a=b=3,n=3	1	65.796026	54.914715	10.881311
a=b=4,n=3	1	53.239752	54.707341	-1.467589
a=b=5,n=3	1	45.994043	54.609087	-8.615044
a=b=2,n=5	1	100.063483	66.528773	33.534710
a=b=3,n=5	1	67.798608	55.494279	12.304329
a=b=4,n=5	1	55.600082	53.400735	2.199347
a=b=5,n=5	1	49.650878	51.032205	-1.381327
a=b=2,n=7	1	105.329026	69.570639	35.758387
a=b=3,n=7	1	74.239264	56.584352	17.654912
a=b=4,n=7	1	59.878362	53.266542	6.611820
a=b=5,n=7	1	51.949877	51.212190	0.737687
a=b=2,n=3	2	93.914421	66.426563	27.487858
a=b=3,n=3	2	67.186158	61.918328	5.267830
a=b=4,n=3	2	57.217572	61.828284	-4.610712
a=b=5,n=3	2	50.145562	61.654406	-11.508844
a=b=2,n=5	2	104.726503	71.935786	32.790717
a=b=3,n=5	2	75.609875	62.351741	13.258134
a=b=4,n=5	2	62.802871	59.414773	3.388098
a=b=5,n=5	2	56.001307	57.525560	-1.524253
a=b=2,n=7	2	109.873090	74.258526	35.614564
a=b=3,n=7	2	80.258100	62.941474	17.316626
a=b=4,n=7	2	67.913897	59.401758	8.512139
a=b=5,n=7	2	59.397349	57.292120	2.105229

ตารางที่ 4.28(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 35%

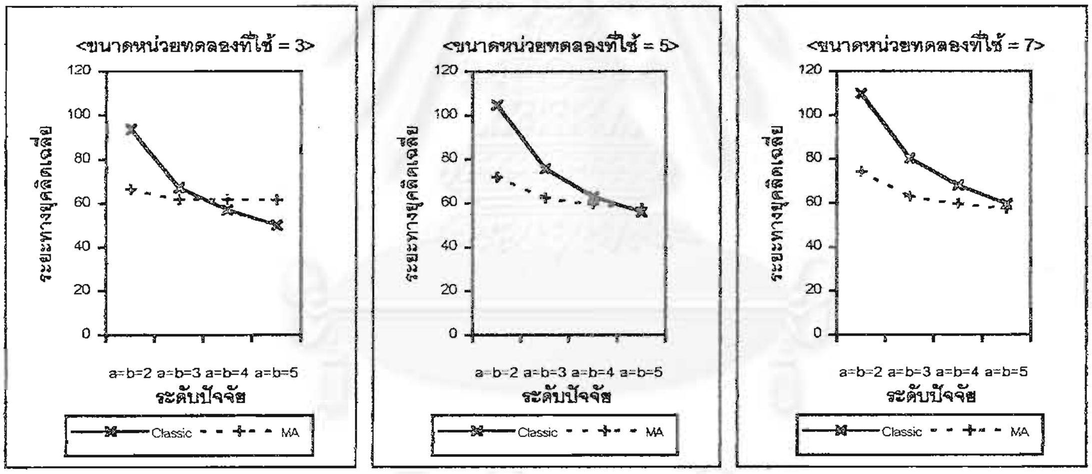
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	95.752428	70.721221	25.031207
a=b=3,n=3	3	69.610273	65.549477	4.060796
a=b=4,n=3	3	59.172839	65.323562	-6.150723
a=b=5,n=3	3	52.608282	65.159534	-12.551252
a=b=2,n=5	3	109.041921	75.760010	33.281911
a=b=3,n=5	3	77.552837	64.788336	12.764501
a=b=4,n=5	3	66.612889	62.596741	4.016148
a=b=5,n=5	3	58.424075	60.937716	-2.513641
a=b=2,n=7	3	114.637388	77.737313	36.900075
a=b=3,n=7	3	83.478740	65.205597	18.273143
a=b=4,n=7	3	70.597553	62.179795	8.417758
a=b=5,n=7	3	62.933584	59.893658	3.039926

รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 35%

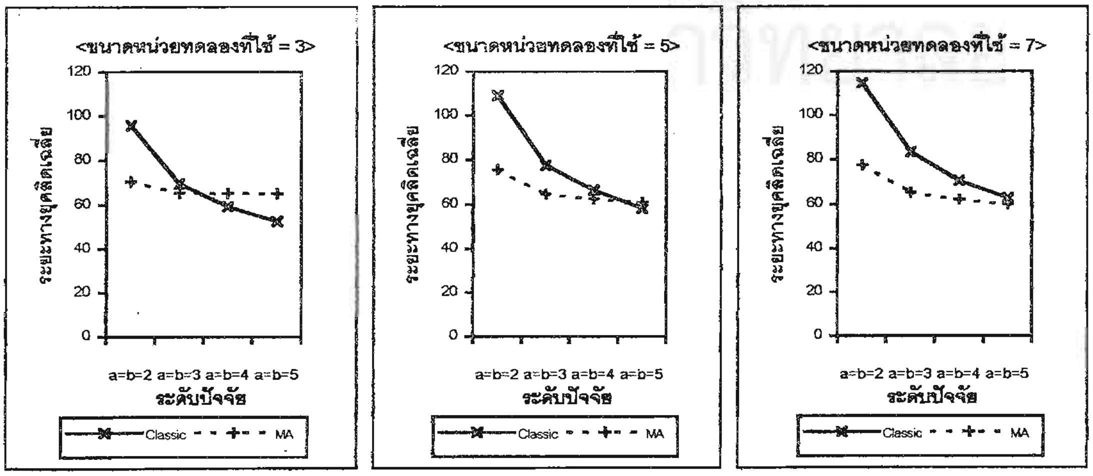
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 45%

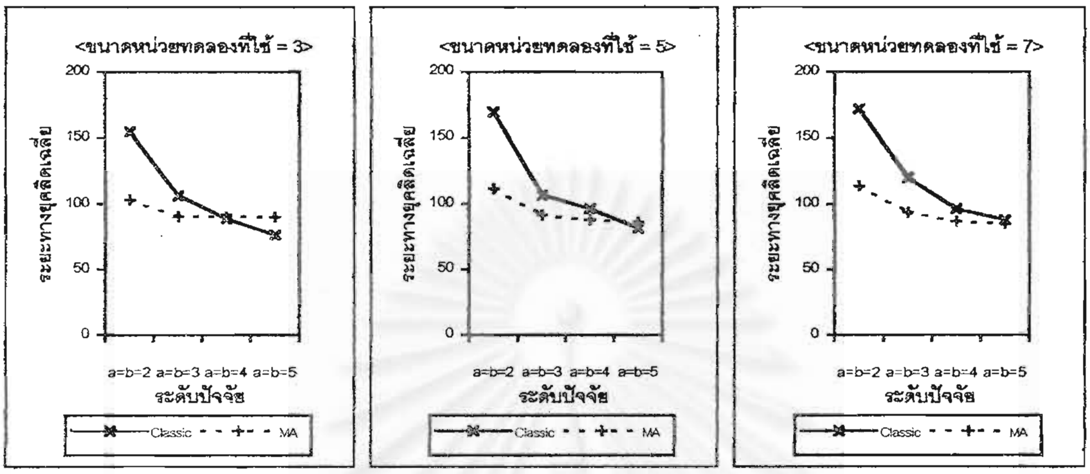
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCI}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	154.725767	103.425081	51.300686
a=b=3,n=3	1	106.582900	90.415493	16.167407
a=b=4,n=3	1	88.650349	90.408993	-1.758644
a=b=5,n=3	1	76.029183	90.105480	-14.076297
a=b=2,n=5	1	169.547427	111.756022	57.791405
a=b=3,n=5	1	106.873959	91.425834	15.448125
a=b=4,n=5	1	96.317648	87.779793	8.537855
a=b=5,n=5	1	81.569537	86.385137	-4.815600
a=b=2,n=7	1	171.960952	113.514239	58.446713
a=b=3,n=7	1	119.685688	93.569409	26.116279
a=b=4,n=7	1	96.259708	86.724245	9.535463
a=b=5,n=7	1	87.939988	85.130567	2.809421
a=b=2,n=3	2	157.558704	112.755079	44.803625
a=b=3,n=3	2	112.329396	102.533822	9.795574
a=b=4,n=3	2	94.533205	102.106683	-7.573478
a=b=5,n=3	2	83.207730	102.037747	-18.830017
a=b=2,n=5	2	172.499089	118.849396	53.649693
a=b=3,n=5	2	122.034127	101.810168	20.223959
a=b=4,n=5	2	108.503102	98.886811	9.616291
a=b=5,n=5	2	91.461223	92.951731	-1.490508
a=b=2,n=7	2	183.436018	124.137167	59.298851
a=b=3,n=7	2	132.644233	104.411670	28.232563
a=b=4,n=7	2	114.369327	99.249944	15.119383
a=b=5,n=7	2	95.729376	94.228030	1.501346

ตารางที่ 4.29(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 45%

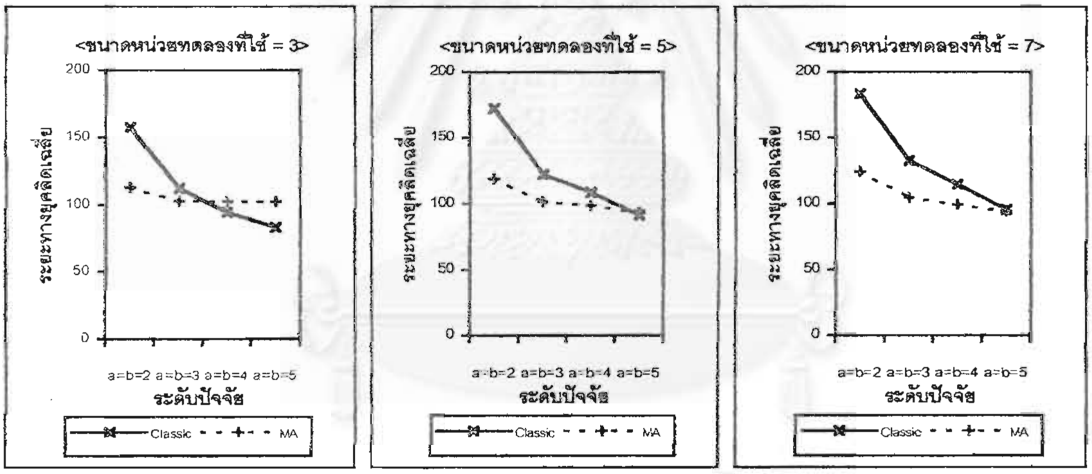
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	159.163965	116.007234	43.156731
a=b=3,n=3	3	116.421873	108.105008	8.316865
a=b=4,n=3	3	97.373265	107.429481	-10.056216
a=b=5,n=3	3	85.847307	107.229583	-21.382276
a=b=2,n=5	3	178.682030	124.986207	53.695823
a=b=3,n=5	3	124.079186	105.344981	18.734205
a=b=4,n=5	3	110.226980	103.693402	6.533578
a=b=5,n=5	3	96.058529	98.751353	-2.692824
a=b=2,n=7	3	188.405302	128.557781	59.847521
a=b=3,n=7	3	137.831003	107.977334	29.853669
a=b=4,n=7	3	115.737243	101.571379	14.165864
a=b=5,n=7	3	103.660945	98.898445	4.762500

รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 45%

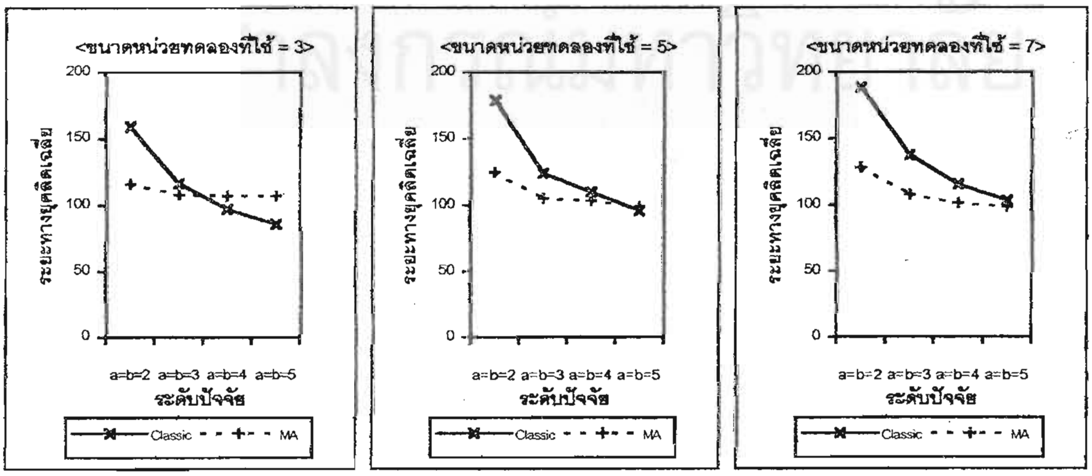
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 55%

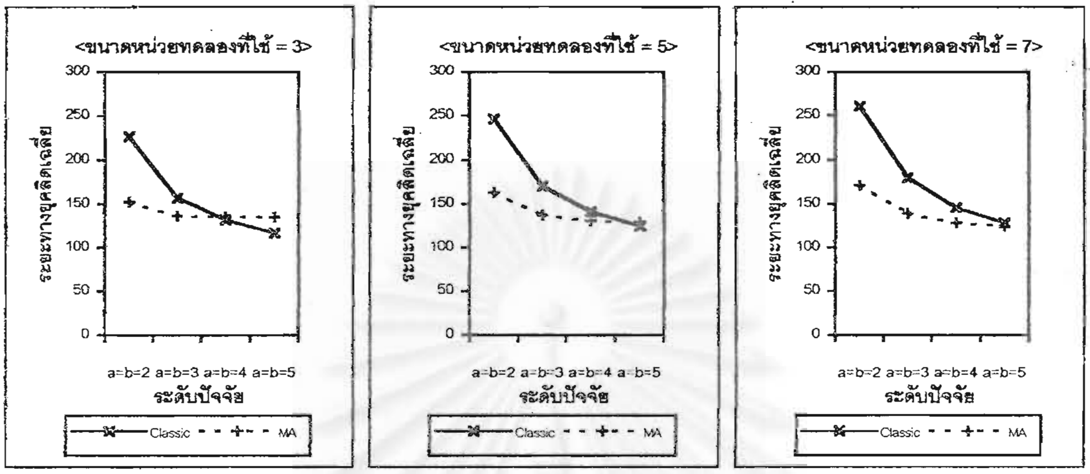
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	227.045889	152.374833	74.671056
a=b=3,n=3	1	157.452895	136.390655	21.062240
a=b=4,n=3	1	131.811030	135.111411	-3.300381
a=b=5,n=3	1	116.683446	134.746069	-18.062623
a=b=2,n=5	1	245.905255	163.466212	82.439043
a=b=3,n=5	1	170.860234	137.461444	33.398790
a=b=4,n=5	1	140.676044	130.770975	9.905069
a=b=5,n=5	1	124.567901	128.138393	-3.570492
a=b=2,n=7	1	260.540931	171.275984	89.264947
a=b=3,n=7	1	180.000453	138.865280	41.135173
a=b=4,n=7	1	146.066691	128.062979	18.003712
a=b=5,n=7	1	127.929218	124.882424	3.046794
a=b=2,n=3	2	237.118354	167.710702	69.407652
a=b=3,n=3	2	165.595625	153.798940	11.796685
a=b=4,n=3	2	138.945740	153.620083	-14.674343
a=b=5,n=3	2	123.354175	152.474170	-29.119995
a=b=2,n=5	2	257.499073	177.328847	80.170226
a=b=3,n=5	2	187.048304	153.457960	33.590344
a=b=4,n=5	2	154.394449	146.630906	7.763543
a=b=5,n=5	2	137.942372	143.492210	-5.549838
a=b=2,n=7	2	277.308706	186.437509	90.871197
a=b=3,n=7	2	200.089770	154.074176	46.015594
a=b=4,n=7	2	164.043366	145.151870	18.891496
a=b=5,n=7	2	144.806010	141.492587	3.313423

ตารางที่ 4.30(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 55%

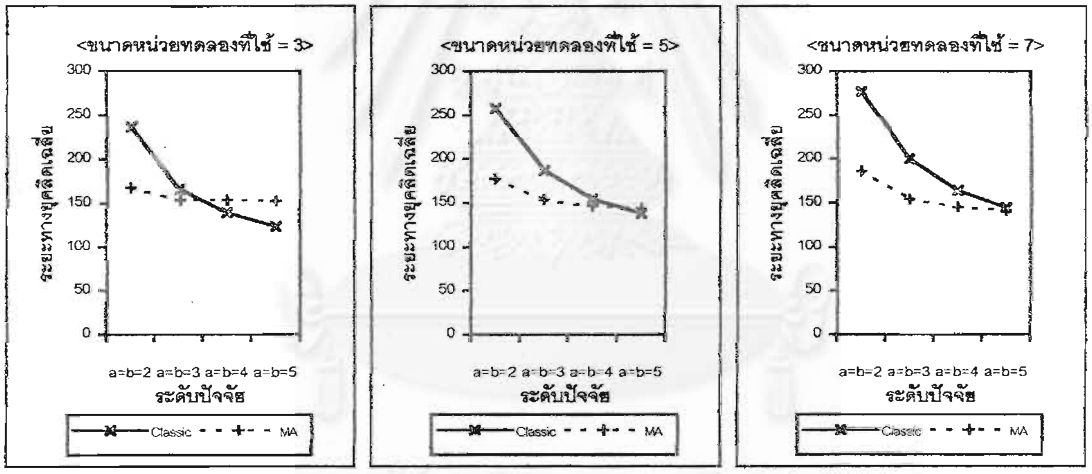
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	239.080013	175.392982	63.687031
a=b=3,n=3	3	173.479334	161.414745	12.064589
a=b=4,n=3	3	143.944554	160.385075	-16.440521
a=b=5,n=3	3	129.194201	159.003736	-29.809535
a=b=2,n=5	3	265.917912	185.533067	80.384845
a=b=3,n=5	3	192.253078	160.127209	32.125869
a=b=4,n=5	3	161.040939	153.934080	7.106859
a=b=5,n=5	3	143.732029	151.233688	-7.501659
a=b=2,n=7	3	291.811187	192.970535	98.840652
a=b=3,n=7	3	205.761193	160.693665	45.067528
a=b=4,n=7	3	176.828660	151.763371	25.065289
a=b=5,n=7	3	148.896457	146.897315	1.999142

รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 55%

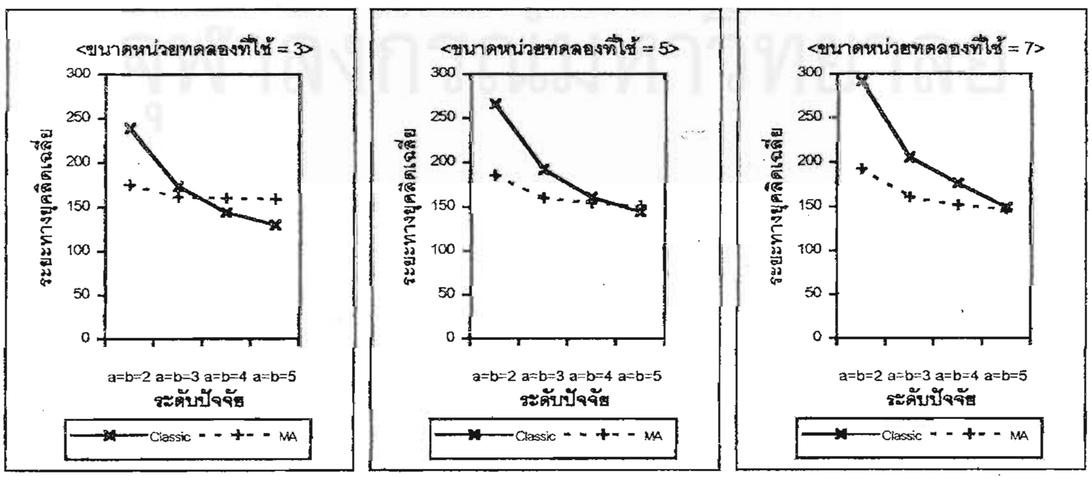
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 65%

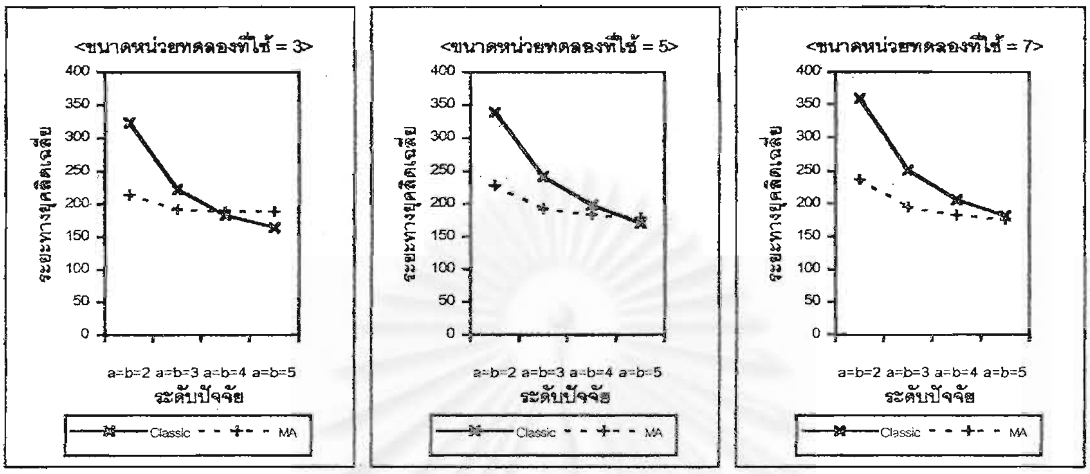
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	323.138343	214.577325	108.561018
a=b=3,n=3	1	222.369934	191.660868	30.709066
a=b=4,n=3	1	183.442336	188.832510	-5.390174
a=b=5,n=3	1	164.375219	188.587040	-24.211821
a=b=2,n=5	1	338.949196	227.978666	110.970530
a=b=3,n=5	1	241.868569	192.401875	49.466694
a=b=4,n=5	1	198.582476	184.211472	14.371004
a=b=5,n=5	1	171.246646	178.739468	-7.492822
a=b=2,n=7	1	359.724854	236.704709	123.020145
a=b=3,n=7	1	251.898672	194.939953	56.958719
a=b=4,n=7	1	206.802834	182.765608	24.037226
a=b=5,n=7	1	182.219291	176.903906	5.315385
a=b=2,n=3	2	327.409158	234.885163	92.523995
a=b=3,n=3	2	234.567633	214.028263	20.539370
a=b=4,n=3	2	197.898387	213.298048	-15.399661
a=b=5,n=3	2	176.686997	212.421622	-35.734625
a=b=2,n=5	2	371.676171	253.281693	118.394478
a=b=3,n=5	2	257.251004	214.387699	42.863305
a=b=4,n=5	2	214.214736	206.445574	7.769162
a=b=5,n=5	2	189.248858	201.301259	-12.052401
a=b=2,n=7	2	386.845712	259.658436	127.187276
a=b=3,n=7	2	283.468303	217.817342	65.650961
a=b=4,n=7	2	231.901585	204.130934	27.770651
a=b=5,n=7	2	200.243754	196.301703	3.942051

ตารางที่ 4.31(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ระดับปัจจัยที่เท่ากันต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 65%

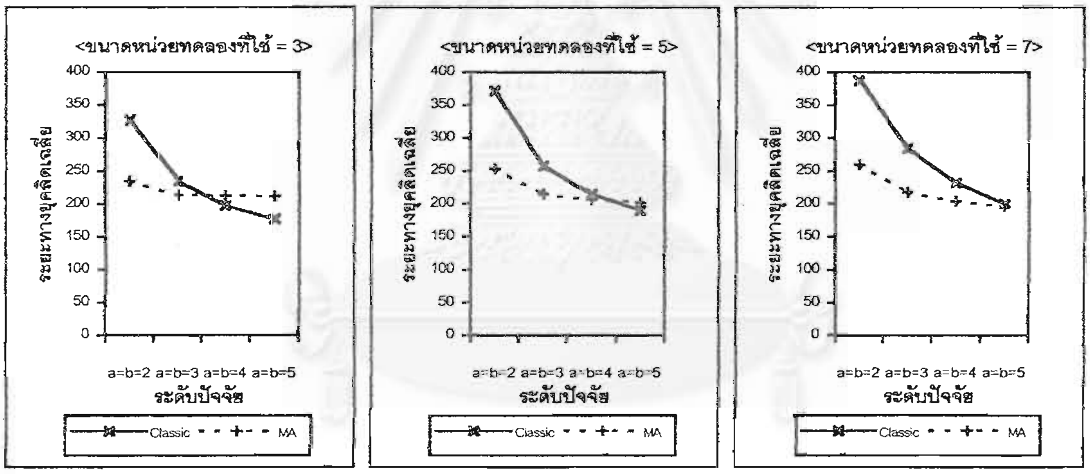
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	336.625824	245.039951	91.585873
a=b=3,n=3	3	241.042537	225.755820	15.286717
a=b=4,n=3	3	204.069896	224.322557	-20.252661
a=b=5,n=3	3	178.142914	223.005377	-44.862463
a=b=2,n=5	3	375.744606	261.099053	114.645553
a=b=3,n=5	3	268.544004	223.821499	44.722505
a=b=4,n=5	3	223.412232	213.792028	9.620204
a=b=5,n=5	3	200.306153	211.938132	-11.631979
a=b=2,n=7	3	394.024215	267.861127	126.163088
a=b=3,n=7	3	295.716340	225.559442	70.156898
a=b=4,n=7	3	242.663626	211.747387	30.916239
a=b=5,n=7	3	210.193444	205.822549	4.370895

รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 65%

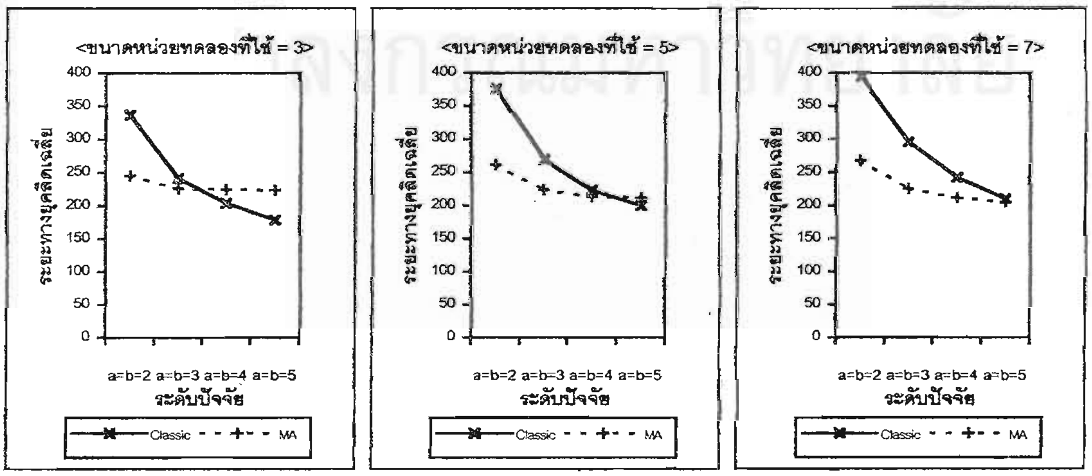
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



จากรูปที่ 4.25 - 4.31 จะเห็นได้ว่าที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c หนึ่ง ๆ เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันมีขนาดเพิ่มขึ้นแต่ขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้คงที่ ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าลดลงในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

และที่ระดับปัจจัย ณ ระดับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ของสถานการณ์ของการทดลองค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ ยกเว้นเมื่อพิจารณาจากกรณีศึกษาที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีขนาดเท่ากับ 3 และ 5 จะเห็นได้ว่า ในกรณีที่ a=b=4, n=3 ; a=b=5, n=3 และ a=b=5, n=5 ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าสูงกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ

4.4 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ระดับปัจจัยที่เท่ากัน สัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c คงที่ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

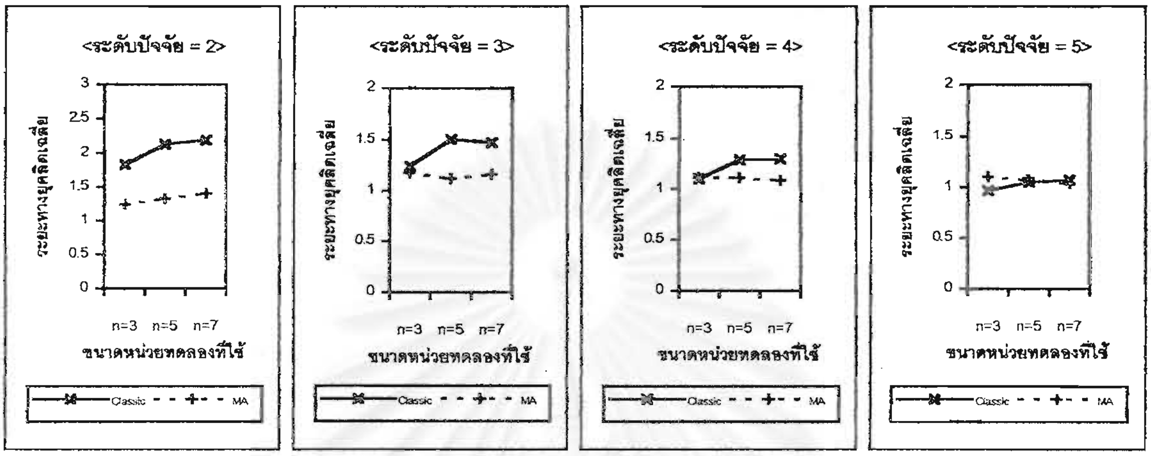
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCI}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	1.833277	1.243233	0.590044
a=b=2,n=5	1	2.134258	1.331407	0.802851
a=b=2,n=7	1	2.194368	1.404815	0.789553
a=b=3,n=3	1	1.243381	1.177603	0.065778
a=b=3,n=5	1	1.506555	1.118318	0.388237
a=b=3,n=7	1	1.476221	1.163673	0.312548
a=b=4,n=3	1	1.106434	1.113002	-0.006568
a=b=4,n=5	1	1.291979	1.114849	0.177130
a=b=4,n=7	1	1.302428	1.090869	0.211559
a=b=5,n=3	1	0.969287	1.103173	-0.133886
a=b=5,n=5	1	1.053878	1.072459	-0.018581
a=b=5,n=7	1	1.072149	1.035030	0.037119
a=b=2,n=3	2	2.001408	1.432496	0.568912
a=b=2,n=5	2	2.170378	1.473659	0.696719
a=b=2,n=7	2	2.590467	1.681567	0.908900
a=b=3,n=3	2	1.378612	1.244723	0.133889
a=b=3,n=5	2	1.576095	1.304157	0.271938
a=b=3,n=7	2	1.534995	1.250080	0.284915
a=b=4,n=3	2	1.134127	1.242205	-0.108078
a=b=4,n=5	2	1.361167	1.204981	0.156186
a=b=4,n=7	2	1.443221	1.200578	0.242643

ตารางที่ 4.32(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

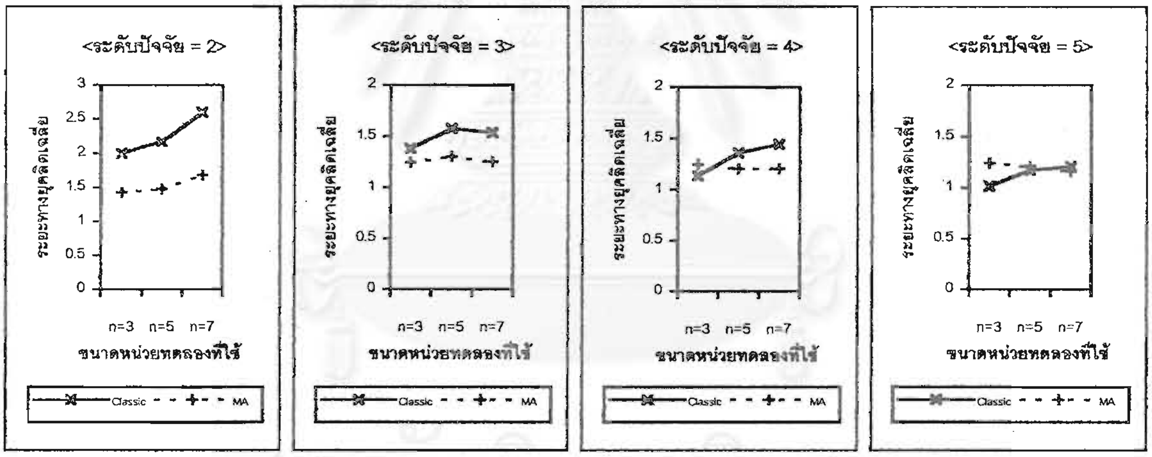
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=5,n=3	2	1.015176	1.239945	-0.224769
a=b=5,n=5	2	1.173481	1.202013	-0.028532
a=b=5,n=7	2	1.207621	1.159532	0.048089
a=b=2,n=3	3	2.086610	1.466233	0.620377
a=b=2,n=5	3	2.207973	1.550894	0.657079
a=b=2,n=7	3	2.612842	1.722469	0.890373
a=b=3,n=3	3	1.603366	1.396556	0.206810
a=b=3,n=5	3	1.577210	1.359363	0.217847
a=b=3,n=7	3	1.841379	1.417444	0.423935
a=b=4,n=3	3	1.160991	1.331303	-0.170312
a=b=4,n=5	3	1.458520	1.356743	0.101777
a=b=4,n=7	3	1.452565	1.239335	0.213230
a=b=5,n=3	3	1.107432	1.329125	-0.221693
a=b=5,n=5	3	1.253379	1.271669	-0.018290
a=b=5,n=7	3	1.264165	1.232316	0.031849

รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

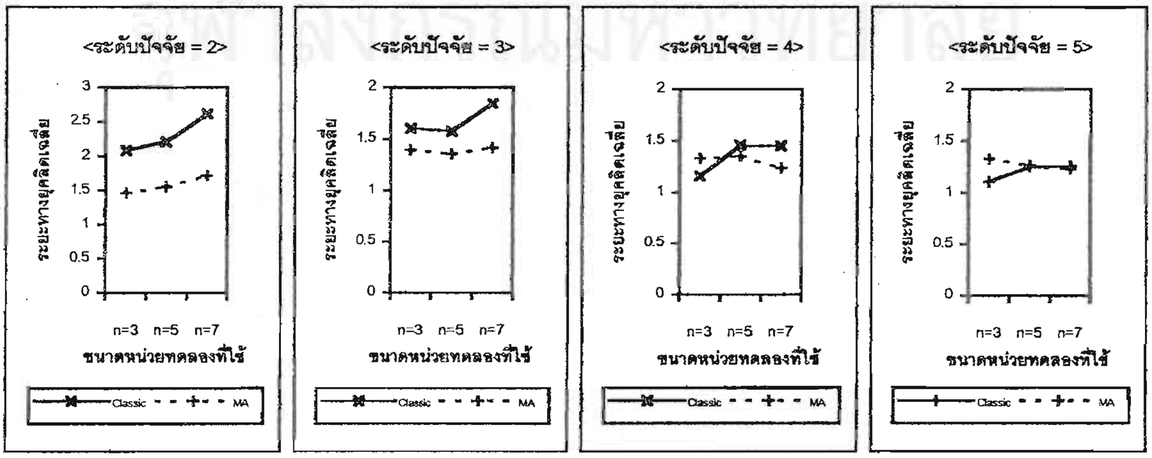
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



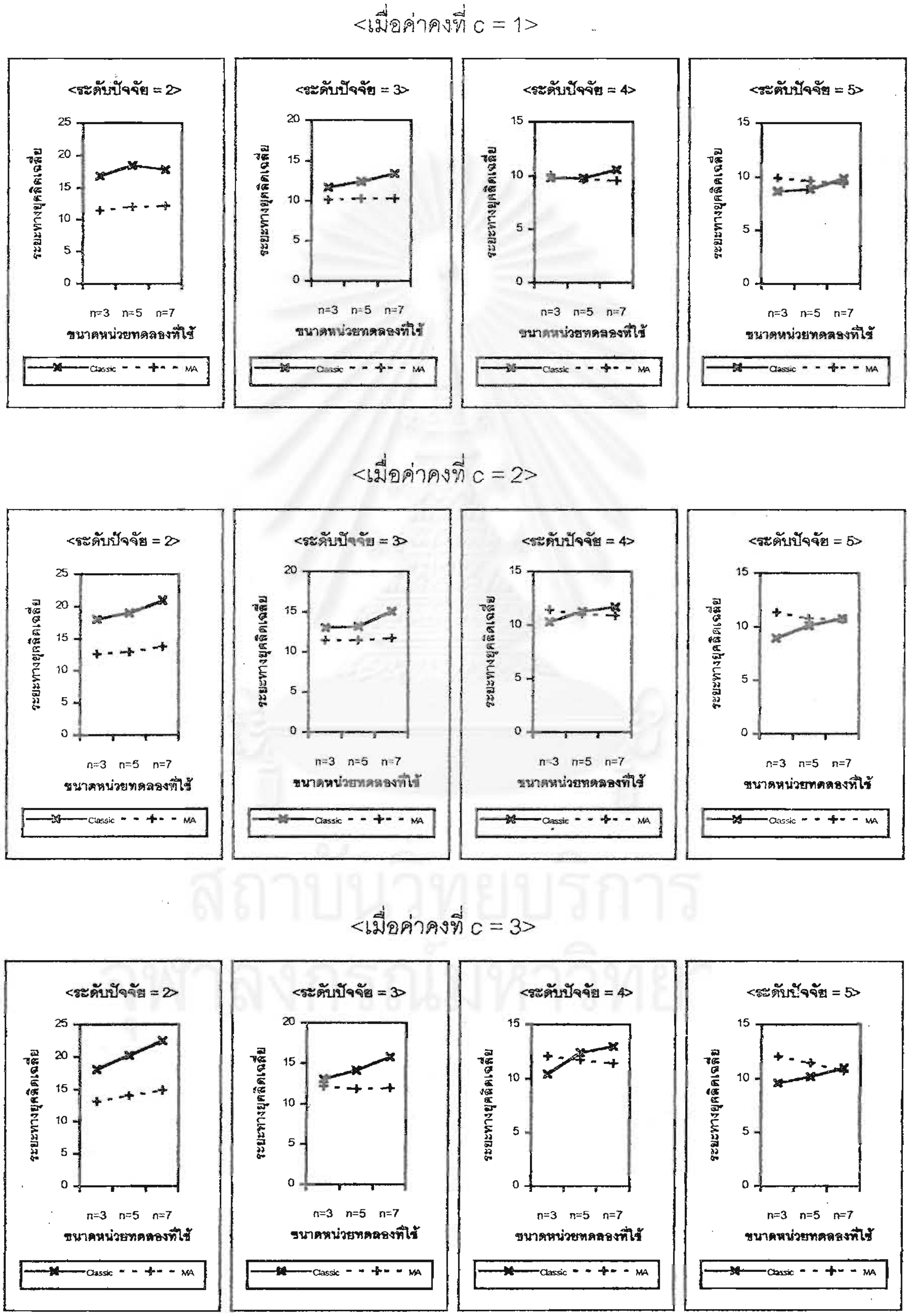
ตารางที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 15%

ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	16.892189	11.449949	5.442240
a=b=2,n=5	1	18.499010	12.059035	6.439975
a=b=2,n=7	1	17.860850	12.197377	5.663473
a=b=3,n=3	1	11.715386	10.137518	1.577868
a=b=3,n=5	1	12.442037	10.308187	2.133850
a=b=3,n=7	1	13.462170	10.322082	3.140088
a=b=4,n=3	1	9.850921	10.097268	-0.246347
a=b=4,n=5	1	9.798241	9.681496	0.116745
a=b=4,n=7	1	10.593589	9.574254	1.019335
a=b=5,n=3	1	8.679404	9.929870	-1.250466
a=b=5,n=5	1	8.886224	9.655362	-0.769138
a=b=5,n=7	1	9.901656	9.363713	0.537943
a=b=2,n=3	2	18.060504	12.631294	5.429210
a=b=2,n=5	2	18.992930	12.973495	6.019435
a=b=2,n=7	2	20.973967	13.777941	7.196026
a=b=3,n=3	2	12.995539	11.475246	1.520293
a=b=3,n=5	2	13.189785	11.475093	1.714692
a=b=3,n=7	2	15.050093	11.720796	3.329297
a=b=4,n=3	2	10.321016	11.428713	-1.107697
a=b=4,n=5	2	11.304372	11.049037	0.255335
a=b=4,n=7	2	11.704939	10.887541	0.817398
a=b=5,n=3	2	8.946483	11.351060	-2.404577
a=b=5,n=5	2	10.127868	10.787875	-0.660007
a=b=5,n=7	2	10.798968	10.710895	0.088073

ตารางที่ 4.33(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 15%

ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	18.084369	13.173451	4.910918
a=b=2,n=5	3	20.258985	14.048059	6.210926
a=b=2,n=7	3	22.433327	14.884213	7.549114
a=b=3,n=3	3	13.061331	12.194586	0.866745
a=b=3,n=5	3	14.171246	11.849030	2.322216
a=b=3,n=7	3	15.804327	11.962581	3.841746
a=b=4,n=3	3	10.413325	12.059792	-1.646467
a=b=4,n=5	3	12.387266	11.724573	0.662693
a=b=4,n=7	3	12.925293	11.391323	1.533970
a=b=5,n=3	3	9.600266	12.042887	-2.442621
a=b=5,n=5	3	10.199300	11.426704	-1.227404
a=b=5,n=7	3	10.960557	10.725679	0.234878

รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 15%



ตารางที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 25%

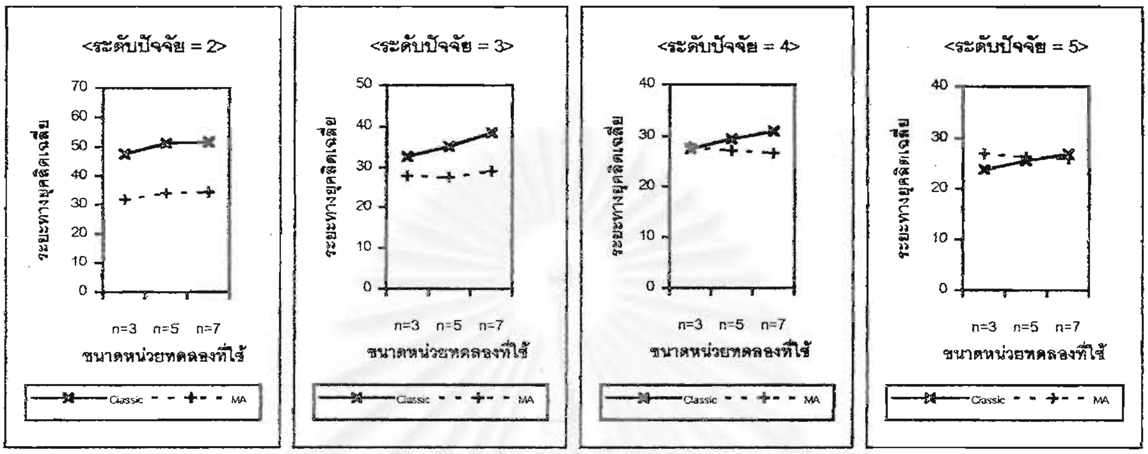
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	47.556924	31.866273	15.690651
a=b=2,n=5	1	51.288860	34.036379	17.252481
a=b=2,n=7	1	51.608922	34.424472	17.184450
a=b=3,n=3	1	32.696546	27.799890	4.896656
a=b=3,n=5	1	35.148965	27.456211	7.692754
a=b=3,n=7	1	38.593810	29.078273	9.515537
a=b=4,n=3	1	27.540744	27.765772	-0.225028
a=b=4,n=5	1	29.429695	27.182638	2.247057
a=b=4,n=7	1	31.008907	26.666048	4.342859
a=b=5,n=3	1	23.868457	26.968868	-3.100411
a=b=5,n=5	1	25.638056	26.346669	-0.708613
a=b=5,n=7	1	26.882884	26.015414	0.867470
a=b=2,n=3	2	47.843044	33.985247	13.857797
a=b=2,n=5	2	54.459576	36.895370	17.564206
a=b=2,n=7	2	56.003971	37.917933	18.086038
a=b=3,n=3	2	34.263277	31.790952	2.472325
a=b=3,n=5	2	38.333501	31.432433	6.901068
a=b=3,n=7	2	39.989380	31.876258	8.113122
a=b=4,n=3	2	30.001085	31.422524	-1.421439
a=b=4,n=5	2	32.167514	29.789598	2.377916
a=b=4,n=7	2	34.667631	30.642371	4.025260
a=b=5,n=3	2	25.679325	30.880459	-5.201134
a=b=5,n=5	2	28.996667	29.089500	-0.092833
a=b=5,n=7	2	30.655338	29.458178	1.197160

ตารางที่ 4.34(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 25%

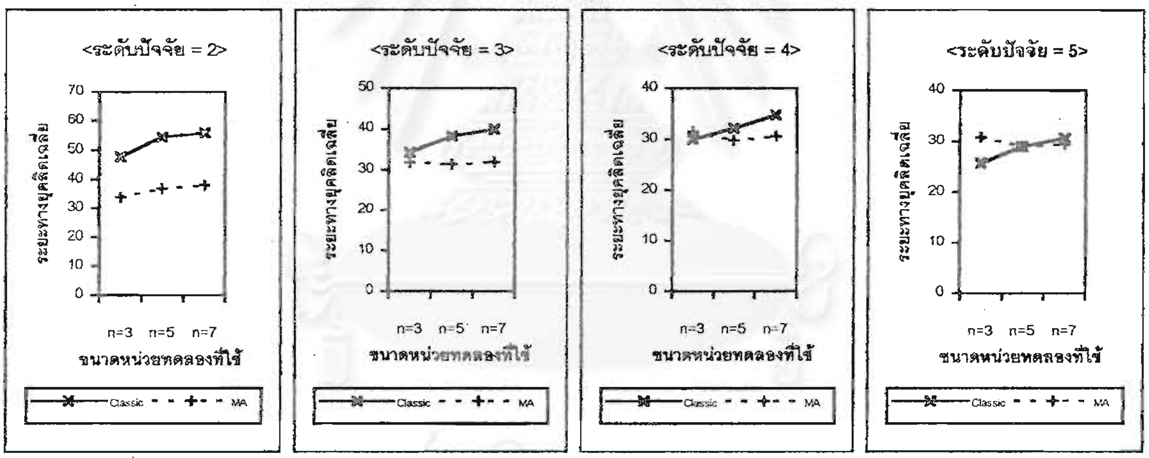
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	49.688749	35.779061	13.909688
a=b=2,n=5	3	58.374023	39.540636	18.833387
a=b=2,n=7	3	60.168748	40.220498	19.948250
a=b=3,n=3	3	36.032891	34.838918	1.193973
a=b=3,n=5	3	40.127414	33.628383	6.499031
a=b=3,n=7	3	43.296850	33.736691	9.560159
a=b=4,n=3	3	30.068963	33.520128	-3.451165
a=b=4,n=5	3	34.854668	32.125476	2.729192
a=b=4,n=7	3	35.050367	31.030332	4.020035
a=b=5,n=3	3	26.338593	33.142842	-6.804249
a=b=5,n=5	3	29.856777	30.488912	-0.632135
a=b=5,n=7	3	31.030464	30.905651	0.124813

รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 25%

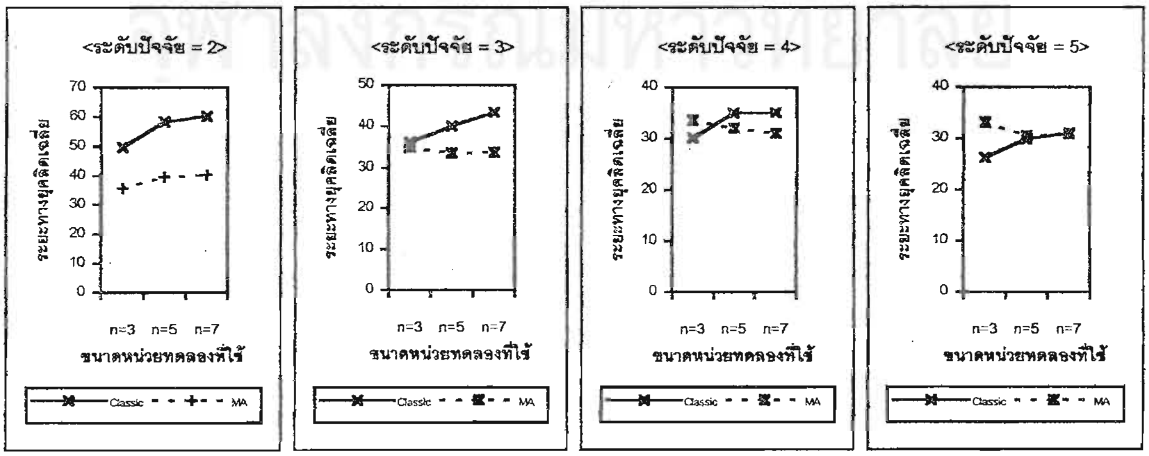
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 35%

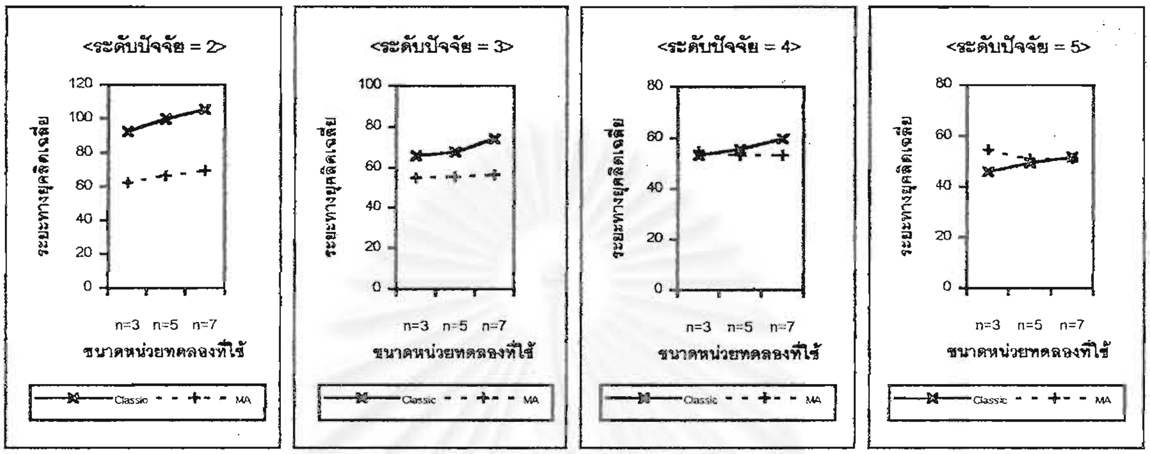
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	92.859001	62.589762	30.269239
a=b=2,n=5	1	100.063483	66.528773	33.534710
a=b=2,n=7	1	105.329026	69.570639	35.758387
a=b=3,n=3	1	65.796026	54.914715	10.881311
a=b=3,n=5	1	67.798608	55.494279	12.304329
a=b=3,n=7	1	74.239264	56.584352	17.654912
a=b=4,n=3	1	53.239752	54.707341	-1.467589
a=b=4,n=5	1	55.600082	53.400735	2.199347
a=b=4,n=7	1	59.878362	53.266542	6.611820
a=b=5,n=3	1	45.994043	54.609087	-8.615044
a=b=5,n=5	1	49.650878	51.032205	-1.381327
a=b=5,n=7	1	51.949877	51.212190	0.737687
a=b=2,n=3	2	93.914421	66.426563	27.487858
a=b=2,n=5	2	104.726503	71.935786	32.790717
a=b=2,n=7	2	109.873090	74.258526	35.614564
a=b=3,n=3	2	67.186158	61.918328	5.267830
a=b=3,n=5	2	75.609875	62.351741	13.258134
a=b=3,n=7	2	80.258100	62.941474	17.316626
a=b=4,n=3	2	57.217572	61.828284	-4.610712
a=b=4,n=5	2	62.802871	59.414773	3.388098
a=b=4,n=7	2	67.913897	59.401758	8.512139
a=b=5,n=3	2	50.145562	61.654406	-11.508844
a=b=5,n=5	2	56.001307	57.525560	-1.524253
a=b=5,n=7	2	59.397349	57.292120	2.105229

ตารางที่ 4.35(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 35%

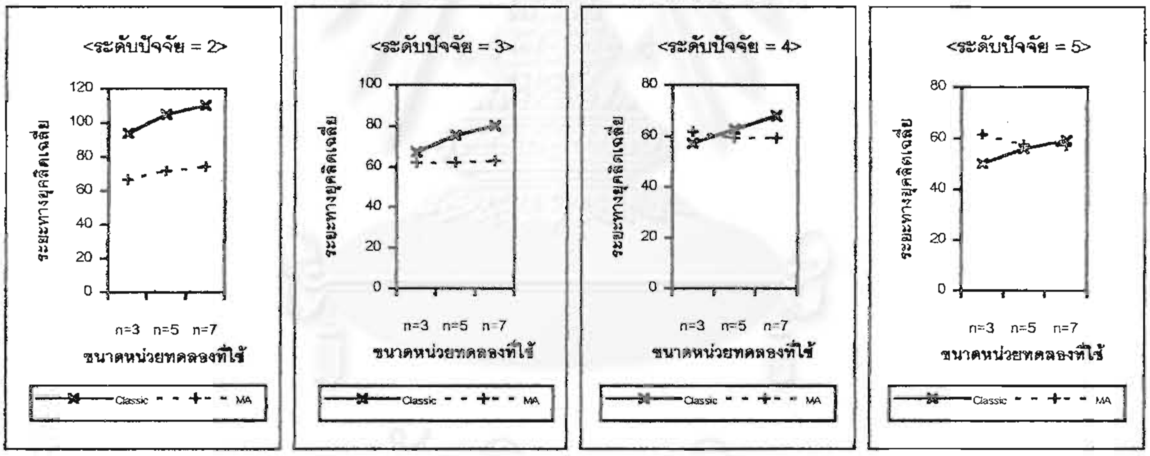
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	95.752428	70.721221	25.031207
a=b=2,n=5	3	109.041921	75.760010	33.281911
a=b=2,n=7	3	114.637388	77.737313	36.900075
a=b=3,n=3	3	69.610273	65.549477	4.060796
a=b=3,n=5	3	77.552837	64.788336	12.764501
a=b=3,n=7	3	83.478740	65.205597	18.273143
a=b=4,n=3	3	59.172839	65.323562	-6.150723
a=b=4,n=5	3	66.612889	62.596741	4.016148
a=b=4,n=7	3	70.597553	62.179795	8.417758
a=b=5,n=3	3	52.608282	65.459534	-12.551252
a=b=5,n=5	3	58.424075	60.937716	-2.513641
a=b=5,n=7	3	62.933584	59.893658	3.039926

รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 35%

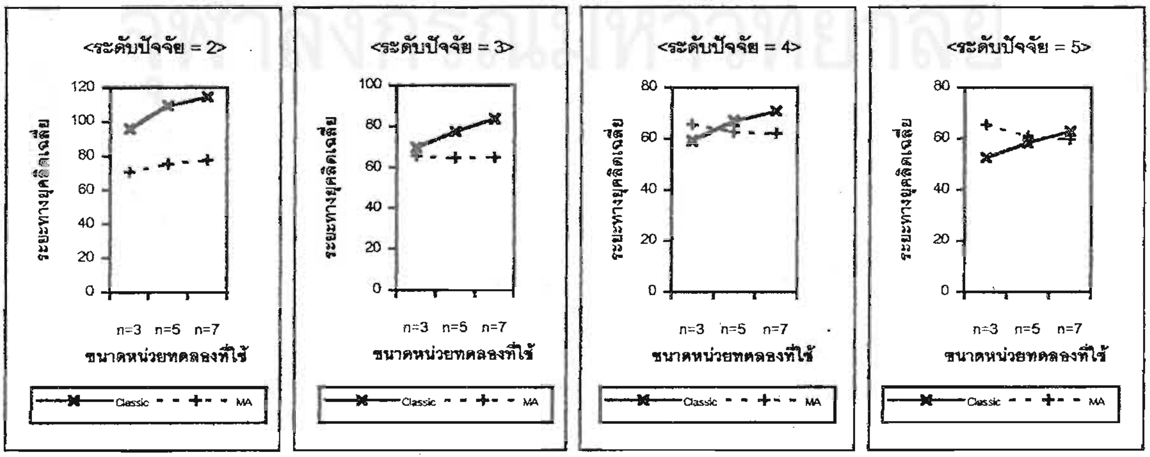
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 45%

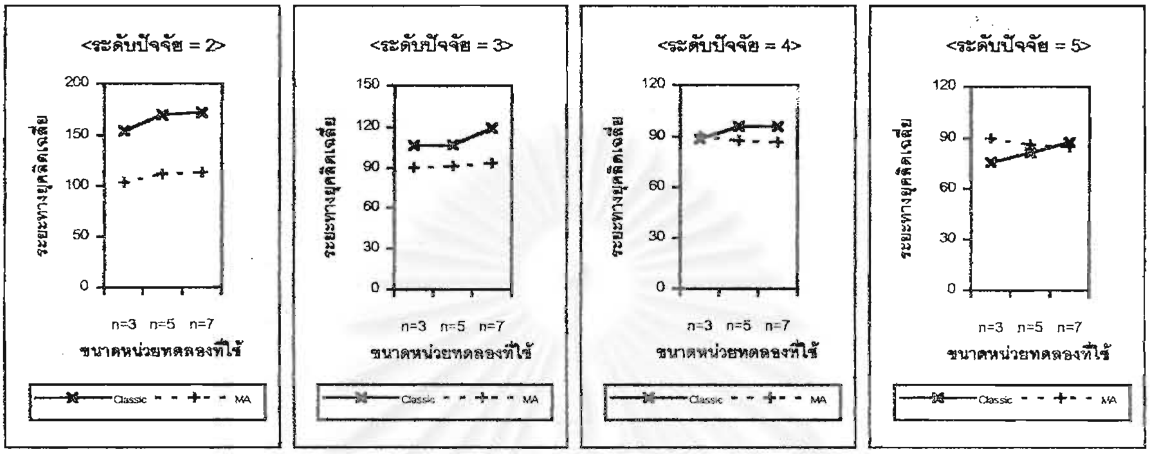
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	154.725767	103.425081	51.300686
a=b=2,n=5	1	169.547427	111.756022	57.791405
a=b=2,n=7	1	171.960952	113.514239	58.446713
a=b=3,n=3	1	106.582900	90.415493	16.167407
a=b=3,n=5	1	106.873959	91.425834	15.448125
a=b=3,n=7	1	119.685688	93.569409	26.116279
a=b=4,n=3	1	88.650349	90.408993	-1.758644
a=b=4,n=5	1	96.317648	87.779793	8.537855
a=b=4,n=7	1	96.259708	86.724245	9.535463
a=b=5,n=3	1	76.029183	90.105480	-14.076297
a=b=5,n=5	1	81.569537	86.385137	-4.815600
a=b=5,n=7	1	87.939988	85.130567	2.809421
a=b=2,n=3	2	157.558704	112.755079	44.803625
a=b=2,n=5	2	172.499089	118.849396	53.649693
a=b=2,n=7	2	183.436018	124.137167	59.298851
a=b=3,n=3	2	112.329396	102.533822	9.795574
a=b=3,n=5	2	122.034127	101.810168	20.223959
a=b=3,n=7	2	132.644233	104.411670	28.232563
a=b=4,n=3	2	94.533205	102.106683	-7.573478
a=b=4,n=5	2	108.503102	98.886811	9.616291
a=b=4,n=7	2	114.369327	99.249944	15.119383
a=b=5,n=3	2	83.207730	102.037747	-18.830017
a=b=5,n=5	2	91.461223	92.951731	-1.490508
a=b=5,n=7	2	95.729376	94.228030	1.501346

ตารางที่ 4.36(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 45%

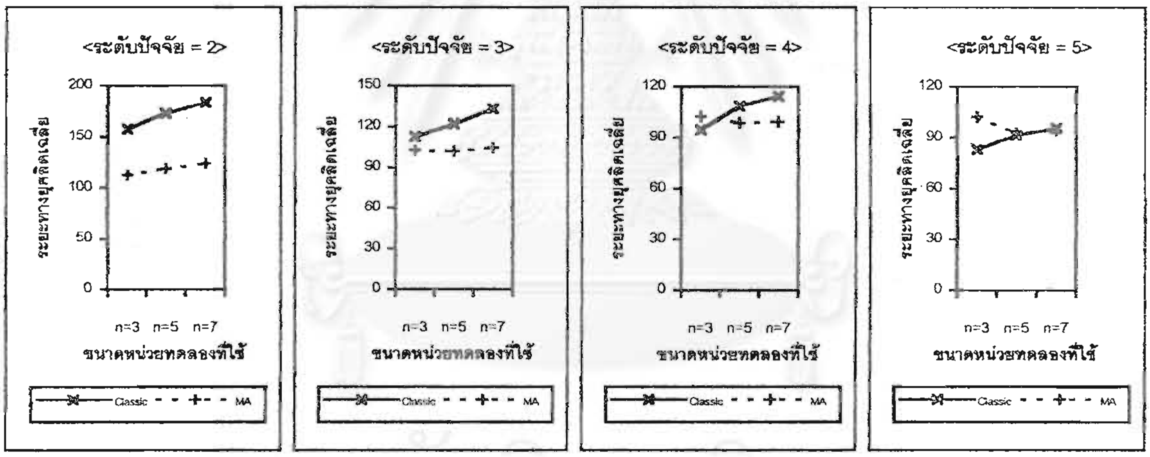
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	159.163965	116.007234	43.156731
a=b=2,n=5	3	178.682030	124.986207	53.695823
a=b=2,n=7	3	188.405302	128.557781	59.847521
a=b=3,n=3	3	116.421873	108.105008	8.316865
a=b=3,n=5	3	124.079186	105.344981	18.734205
a=b=3,n=7	3	137.831003	107.977334	29.853669
a=b=4,n=3	3	97.373265	107.429481	-10.056216
a=b=4,n=5	3	110.226980	103.693402	6.533578
a=b=4,n=7	3	115.737243	101.571379	14.165864
a=b=5,n=3	3	85.847307	107.229583	-21.382276
a=b=5,n=5	3	96.058529	98.751353	-2.692824
a=b=5,n=7	3	103.660945	98.898445	4.762500

รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 45%

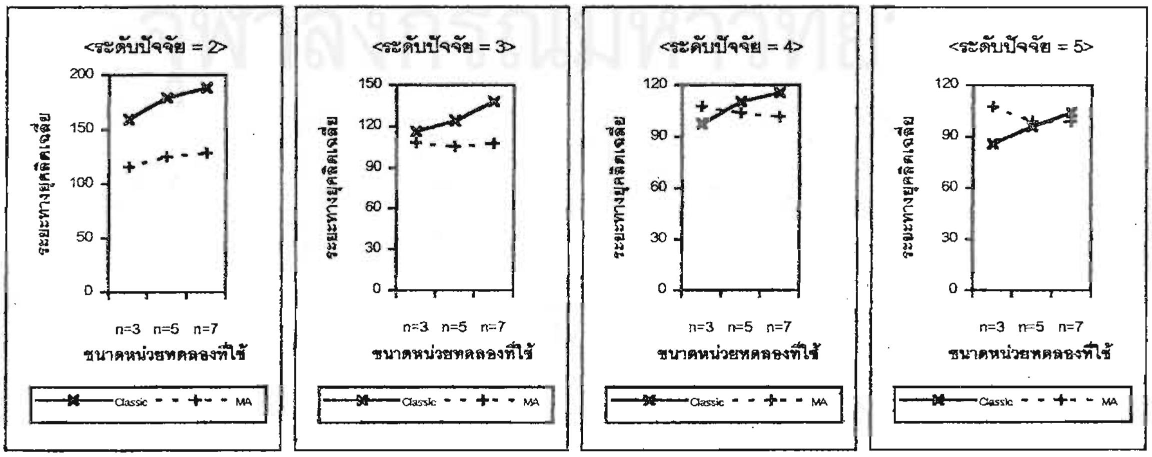
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 55%

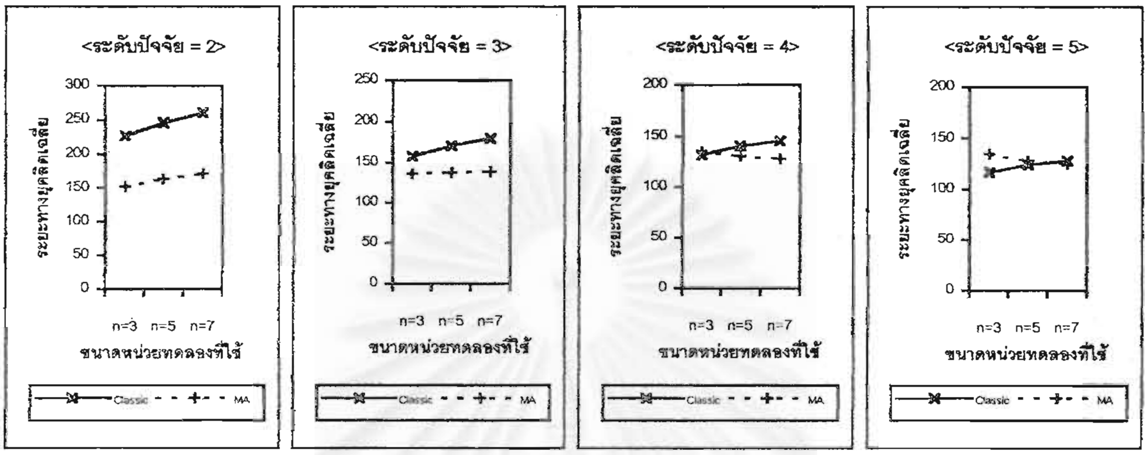
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	227.045889	152.374833	74.671056
a=b=2,n=5	1	245.905255	163.466212	82.439043
a=b=2,n=7	1	260.540931	171.275984	89.264947
a=b=3,n=3	1	157.452895	136.390655	21.062240
a=b=3,n=5	1	170.860234	137.461444	33.398790
a=b=3,n=7	1	180.000453	138.865280	41.135173
a=b=4,n=3	1	131.811030	135.111411	-3.300381
a=b=4,n=5	1	140.676044	130.770975	9.905069
a=b=4,n=7	1	146.066691	128.062979	18.003712
a=b=5,n=3	1	116.683446	134.746069	-18.062623
a=b=5,n=5	1	124.567901	128.138393	-3.570492
a=b=5,n=7	1	127.929218	124.882424	3.046794
a=b=2,n=3	2	237.118354	167.710702	69.407652
a=b=2,n=5	2	257.499073	177.328847	80.170226
a=b=2,n=7	2	277.308706	186.437509	90.871197
a=b=3,n=3	2	165.595625	153.798940	11.796685
a=b=3,n=5	2	187.048304	153.457960	33.590344
a=b=3,n=7	2	200.089770	154.074176	46.015594
a=b=4,n=3	2	138.945740	153.620083	-14.674343
a=b=4,n=5	2	154.394449	146.630906	7.763543
a=b=4,n=7	2	164.043366	145.151870	18.891496
a=b=5,n=3	2	123.354175	152.474170	-29.119995
a=b=5,n=5	2	137.942372	143.492210	-5.549838
a=b=5,n=7	2	144.806010	141.492587	3.313423

ตารางที่ 4.37(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 55%

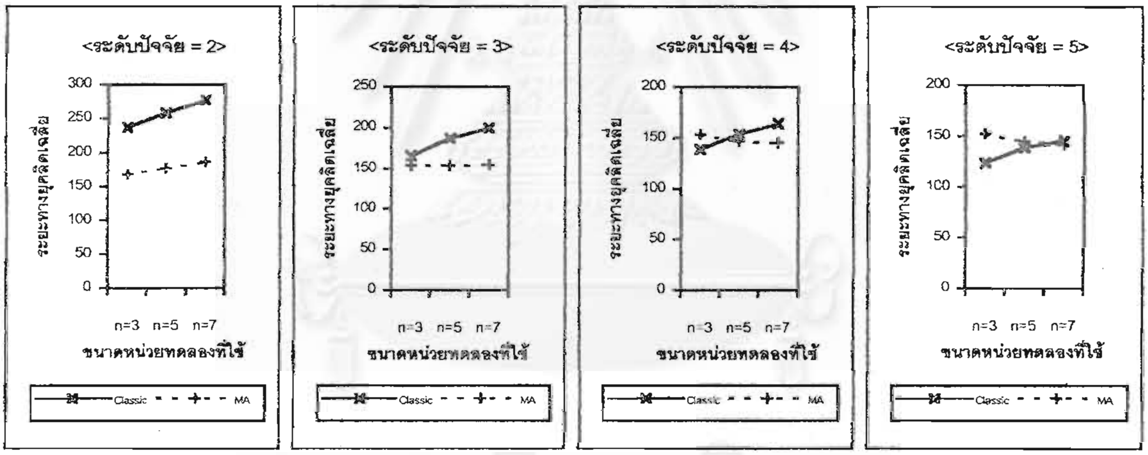
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	239.080013	175.392982	63.687031
a=b=2,n=5	3	265.917912	185.533067	80.384845
a=b=2,n=7	3	291.811187	192.970535	98.840652
a=b=3,n=3	3	173.479334	161.414745	12.064589
a=b=3,n=5	3	192.253078	160.127209	32.125869
a=b=3,n=7	3	205.761193	160.693665	45.067528
a=b=4,n=3	3	143.944554	160.385075	-16.440521
a=b=4,n=5	3	161.040939	153.934080	7.106859
a=b=4,n=7	3	176.828660	151.763371	25.065289
a=b=5,n=3	3	129.194201	159.003736	-29.809535
a=b=5,n=5	3	143.732029	151.233688	-7.501659
a=b=5,n=7	3	148.896457	146.897315	1.999142

รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 55%

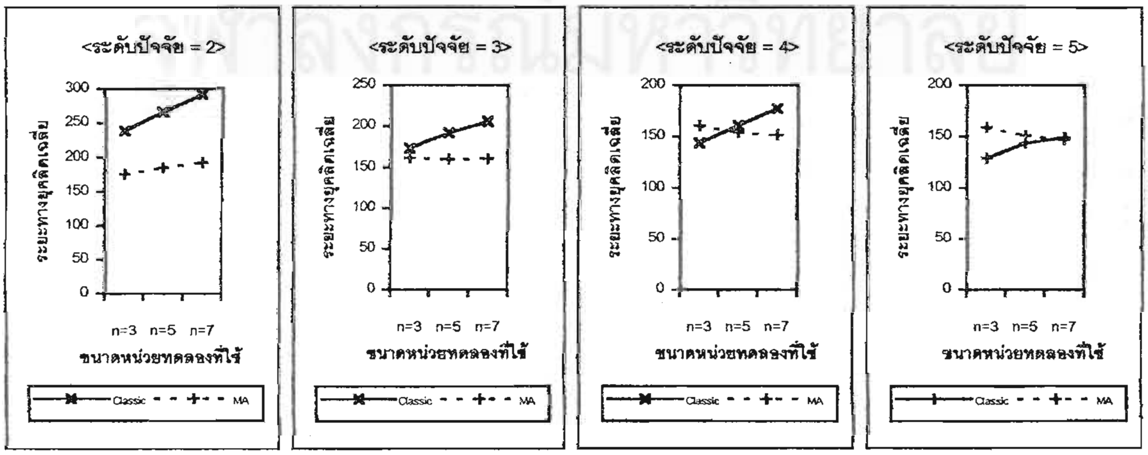
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



ตารางที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 65%

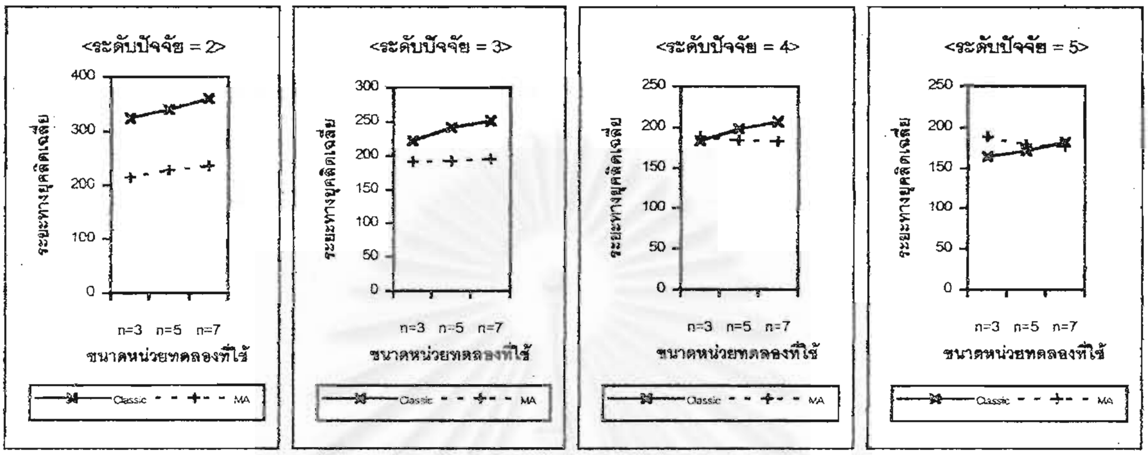
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCI}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	1	323.138343	214.577325	108.561018
a=b=2,n=5	1	338.949196	227.978666	110.970530
a=b=2,n=7	1	359.724854	236.704709	123.020145
a=b=3,n=3	1	222.369934	191.660868	30.709066
a=b=3,n=5	1	241.868569	192.401875	49.466694
a=b=3,n=7	1	251.898672	194.939953	56.958719
a=b=4,n=3	1	183.442336	188.832510	-5.390174
a=b=4,n=5	1	198.582476	184.211472	14.371004
a=b=4,n=7	1	206.802834	182.765608	24.037226
a=b=5,n=3	1	164.375219	188.587040	-24.211821
a=b=5,n=5	1	171.246646	178.739468	-7.492822
a=b=5,n=7	1	182.219291	176.903906	5.315385
a=b=2,n=3	2	327.409158	234.885163	92.523995
a=b=2,n=5	2	371.676171	253.281693	118.394478
a=b=2,n=7	2	386.845712	259.658436	127.187276
a=b=3,n=3	2	234.567633	214.028263	20.539370
a=b=3,n=5	2	257.251004	214.387699	42.863305
a=b=3,n=7	2	283.468303	217.817342	65.650961
a=b=4,n=3	2	197.898387	213.298048	-15.399661
a=b=4,n=5	2	214.214736	206.445574	7.769162
a=b=4,n=7	2	231.901585	204.130934	27.770651
a=b=5,n=3	2	176.686997	212.421622	-35.734625
a=b=5,n=5	2	189.248858	201.301259	-12.052401
a=b=5,n=7	2	200.243754	196.301703	3.942051

ตารางที่ 4.38(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 5%

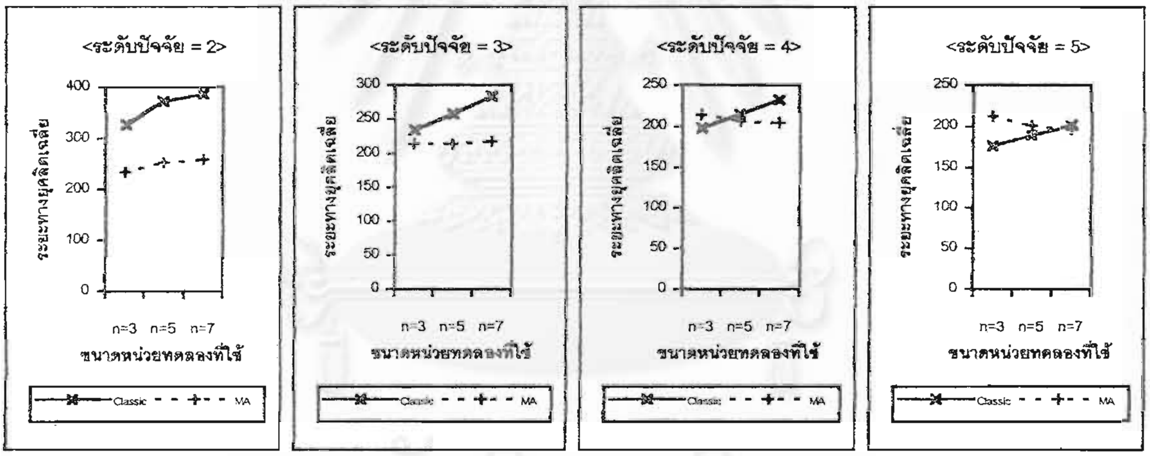
ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ค่าคงที่ c	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีแบบฉบับ ($\overline{EuCl}$)	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ ($\overline{EuMA}$)	ความแตกต่างระหว่างระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี
a=b=2,n=3	3	336.625824	245.039951	91.585873
a=b=2,n=5	3	375.744606	261.099053	114.645553
a=b=2,n=7	3	394.024215	267.861127	126.163088
a=b=3,n=3	3	241.042537	225.755820	15.286717
a=b=3,n=5	3	268.544004	223.821499	44.722505
a=b=3,n=7	3	295.716340	225.559442	70.156898
a=b=4,n=3	3	204.069896	224.322557	-20.252661
a=b=4,n=5	3	223.412232	213.792028	9.620204
a=b=4,n=7	3	242.663626	211.747387	30.916239
a=b=5,n=3	3	178.142914	223.005377	-44.862463
a=b=5,n=5	3	200.306153	211.938132	-11.631979
a=b=5,n=7	3	210.193444	205.822549	4.370895

รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายมีค่าเท่ากับ 65%

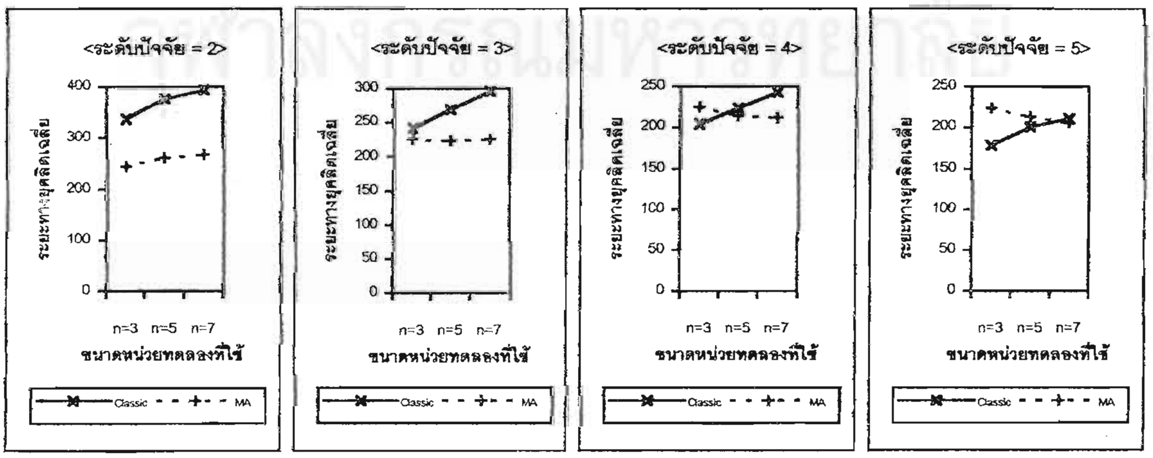
<เมื่อค่าคงที่ c = 1>



<เมื่อค่าคงที่ c = 2>



<เมื่อค่าคงที่ c = 3>



จากรูปที่ 4.32 - 4.38 จะเห็นได้ว่าที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c หนึ่ง ๆ เมื่อขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้เพิ่มขึ้นแต่ระดับปัจจัยที่เท่ากันคงที่ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

และที่ขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้ ณ ระดับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ของสถานการณ์ของการทดลองค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ ยกเว้นเมื่อพิจารณาจากกรณีศึกษาที่ระดับปัจจัยมีค่าเป็น 4 และ 5 จะเห็นได้ว่า ในกรณีที่ a=b=4, n=3 ; a=b=5, n=3 และ a=b=5, n=5 ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นมีค่าสูงกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีแบบฉบับ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบแผนแบบการทดลองสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่ม 2 วิธี คือ วิธีแบบฉบับ (Classical Estimation) และวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ (Model Averaging Estimation) การเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์ของระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ ได้แก่ a=b=2, n=3,5,7 ; a=b=3, n=3,5,7 ; a=b=4, n=3,5,7 และ a=b=5, n=3,5,7 ที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.%) เท่ากับ 5% , 15% , 25% , 35% , 45% , 55% และ 65% โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) เป็น 40 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองด้วยฟังก์ชัน rnorm(n, mean, sd) ซึ่งเป็นฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 โดยทำการทดลองซ้ำ ๆ กันจนกว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยจากวิธีการประมาณทั้งสองวิธีลู่เข้าสู่ค่าคงที่ สำหรับเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าประมาณจากวิธีการทั้งสองวิธีได้ใช้วิธีการหาค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทำการวิจัยเปรียบเทียบการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบแผนแบบการทดลองสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มในแผนแบบการทดลองสมดุลย์ด้วยวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ในกรณีที่สถานการณ์ของการทดลองที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่ามากกว่าระดับปัจจัยที่เท่ากัน การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับ

ส่วนกรณีที่สถานการณ์ของการทดลองที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับปัจจัยที่เท่ากัน การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยสูงกว่าการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับ ยกเว้นกรณีที่ระดับปัจจัยของทั้งสองปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้เป็น 3 ที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่า

5.1.2 ที่ระดับปัจจัยที่เท่ากันและหน่วยการทดลองที่ใช้หนึ่ง ๆ เมื่อค่าคงที่ c เพิ่มขึ้น ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีเฉลี่ยตัวแบบมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะไม่แตกต่างกันมากนักในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

5.1.3 ที่ระดับปัจจัยที่เท่ากันและหน่วยการทดลองที่ใช้หนึ่ง ๆ เมื่อสัมประสิทธิ์การกระจายเพิ่มขึ้น ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าเพิ่มขึ้นด้วยในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

5.1.4 ที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c หนึ่ง ๆ เมื่อระดับปัจจัยมีขนาดเพิ่มขึ้นแต่ขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้คงที่ ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าลดลงในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

5.1.5 ที่ระดับสัมประสิทธิ์การกระจายและค่าคงที่ c หนึ่ง ๆ เมื่อขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้เพิ่มขึ้นแต่ระดับปัจจัยคงที่ ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีเฉลี่ยตัวแบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบแผนแบบการทดลองสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มในแผนแบบการทดลองสมดุลย์ด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบนั้นให้ค่าประมาณโดยส่วนใหญ่ดีกว่าการประมาณด้วยวิธีแบบฉบับเมื่อแผนแบบการทดลองมีขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้มากกว่าระดับปัจจัยที่เท่ากัน เมื่อพิจารณากรณีที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับระดับปัจจัยที่เท่ากันจะเห็นได้ว่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของทั้งสองวิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และเมื่อพิจารณากรณีที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่ำกว่าระดับปัจจัยค่าประมาณที่ได้จากวิธีการเฉลี่ยตัวแบบจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยสูงกว่าวิธีแบบฉบับ ซึ่งเป็นไปได้ว่ากรณีที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับระดับปัจจัยที่เท่ากันจะเป็นจุดเปลี่ยนแปลงสำหรับวิธีการประมาณด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ เนื่องจากจะเห็นได้ว่าค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อขนาดหน่วยการทดลองมีค่าต่ำหรือสูงกว่าระดับปัจจัยเพิ่มมากขึ้นระยะห่างระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับกรณีที่ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบสูงกว่าวิธีแบบฉบับนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากการลดรูปตัวแบบของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบทำให้ค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยบางตัวเสียองศาอิสระ (Degree of freedom) ไป จึงส่งผลให้เมื่อทำการเฉลี่ยตัวแบบทั้งหมดแล้วค่าประมาณที่ได้มีค่าแตกต่างจากค่าจริงของส่วนประกอบความแปรปรวนมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนแบบจุดเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์และเวลาที่ใช้ในการทำวิจัยเพื่อให้การวิจัยสมบูรณ์ขึ้นควรทำการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนแบบช่วงเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของค่าประมาณที่ได้

5.3.2 ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเฉลี่ยตัวแบบในวิธีอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการแบบเบส์หรืออาจจะหาหลักการอื่นๆมาประยุกต์ในเรื่องของการถ่วงน้ำหนักและการเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

5.3.3 ทำการเปรียบเทียบการประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยตัวแบบสำหรับตัวแบบกรณีอื่น ๆ อีก เช่น แผนแบบการทดลองสองปัจจัยข้ามกลุ่มเชิงสุ่มกรณีแผนแบบการทดลองไม่สมดุลย์ เป็นต้น

5.3.4 เมื่อค่าคงที่ c เพิ่มขึ้นแสดงว่าส่วนประกอบความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยแรก ปัจจัยสอง และอันตรกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำนวนการทดลองลู่เข้าสู่ค่าคงที่ควรที่จะเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วย แต่จากตารางที่ 4.1 – 4.12 มีบางสถานการณ์ที่จำนวนการทดลองลู่เข้าสู่ค่าคงที่มากผิดปกติ ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากคุณสมบัติของเลขสุ่มที่ได้ยังไม่ดีพอจึงต้องทำการสุ่มชุดข้อมูลเป็นจำนวนมากเพื่อทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ย (แสดงในภาคผนวก ข.) มีค่าลดลงและส่งผลให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่ได้ลู่เข้าสู่ค่าจริงมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธีระพร วีระถาวร. การอนุมานสถิติชั้นกลาง : โครงสร้างและความหมาย. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ธีระพร วีระถาวร. ตัวแบบเชิงเส้น : ทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

มัลลิกา บุนนาค. สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวิเคราะห์ความแปรปรวน ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวางแผนการทดลองขั้นสูง. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนการทดลองขั้นสูง ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สุรพล อุปดิสสกุล. สถิติการวางแผนการทดลอง. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: แอ๊สเสทการพิมพ์, 2529.

ภาษาอังกฤษ

Adrian E. Raftery, David Madigan and Jennifer A. Hoeting. "Bayesian Model Averaging for Linear Regression Model." Journal of the American Statistical Association, Vol.92, No.437(March 1997) : 179-191.

Box, G.E.P., Hunter, W.G. and Hunter, J.S. Statistic for Experiments. New York: John Wiley & Sons, 1978.

Charles E. McCulloch, George Casella and Shayle R. Searle. Variance Components. New York : John Wiley & Sons, 1992.

Cochran, W.G. and Cox, G.M. Experimental Designs. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1957.

Dean A.M., Voss D.T. Design and analysis of experiments. New York : Springer, 1999.

Herbert Kui Han Lee. Model Selection and Model Averaging for Neural Networks. Department of Statistics, Carnegie Melon University, 1999.

Keppel, G. Design and Analysis a Researcher's Handbook. London: Prentice-Hall, 1973.

Kinderman, A.J. and Monahan, J. F. (1977). "Computer generation of random variables using the ratio of uniform deviates." ACM Transactions on Mathematical Software. 3, 257-260.

Larry Wasserman. "Bayesian Model Selection and Model Averaging." Carnegie Mellon University, August 1997.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 4rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมการคำนวณหาค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนทั้งวิธีแบบฉบับและวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ

```
(/* โปรแกรมหลักในการคำนวณหาค่าประมาณ เป็นขั้นตอนในการกำหนดค่า a, b, n, cv, c, u,
   rmax สูงสุดในแต่ละรอบ เพื่อคำนวณค่าและเรียกฟังก์ชันย่อยต่าง ๆ ในโปรแกรม */)
a <- 2
b <- 2
n <- 3
c <- 1
cv <- 0.05
u <- 40
rmax <- 200
rmin <- array(0, c(2))
var.e <- (cv*u)^2 / ((3*c)+1)
var.a <- c*var.e
var.b <- c*var.e
var.ab <- c*var.e
conv.cla <- 1
conv.ma <- 1
avgucl.cla <- 0
avgucl.ma <- 0
rconv <- 1
rcount <- 1
repeat
{
   sampling.prog()
   rmin[1] <- 0
   rmin <- expssig.prog()
   keep.val <- converge.prog()
```

```
    rconv <- unlist(keep.val[1])
    avgucl.cla <- unlist(keep.val[2])
    avgucl.ma <- unlist(keep.val[3])
    conv.cla <-  unlist(keep.val[4])
    conv.ma <-  unlist(keep.val[5])
    rcount <- unlist(keep.val[6])
    if (conv.cla < 0.001 & conv.ma < 0.001)  {
        rconv <- rconv - 1
        avgucl.cla <- avgucl.cla / rconv
        avgucl.ma <- avgucl.ma / rconv
        cat ("a = ", a, "b = ", b, "n = ", n, "c = ", c, "cv= ", cv,"rconv = ", rconv," avgucl.cla
          = ", avgucl.cla, " avgucl.ma = ", avgucl.ma, "\n", file="converge.ssc", sep = "  ",
          append=T)
        break
    }
    else
        next
}

(/* ขั้นตอนในการสร้างข้อมูล */)
"sampling.prog" <- function() {
for (r in 1:rmax)  {
        dvar.e <- round(rnorm(a*b*n ,0 ,sqrt(var.e)), 4)
        dvar.a <- round(rnorm(a ,0 ,sqrt(var.a)), 4)
        dvar.b <- round(rnorm(b ,0 ,sqrt(var.b)), 4)
        dvar.ab <- round(rnorm(a*b ,0 ,sqrt(var.ab)), 4)
        i <- 1
        j <- 1
        ij <- 1
        count1 <- 0
        count2 <- 0
```

```
        data <- array(0, c(a*b*n))
        for (k in 1:(a*b*n))        {
                data[k] <- (u)+(dvar.a[i])+(dvar.b[j])+(dvar.ab[ij])+(dvar.e[k])
                count1 <- count1 + 1
                if (count1 == n)  {
                        j <- j + 1
                        ij <- ij + 1
                        count1 <- 0
                }
                count2 <- count2 + 1
                if (count2 == (a*n))  {
                        i <- i + 1
                        count2 <- 0
                }
                if (j == (b+1))
                         j <- 1
        }
        if (r == 1)
                write(data, file="data.aov", ncol=a*b*n)
        else
                write(data, file="data.aov", ncol=a*b*n ,append=T)
}}
```

(/* ขั้นตอนในการคำนวณค่าประมาณส่วนประกอบความแปรปรวนทั้งวิธีแบบฉบับ
และวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ */)

```
"expssig.prog" <- function(){
for (r in 1:rmax){
        data <- scan("data.aov", n=(a*b*n), skip=(r-1))
        data.arr <- array(data, c(n, b, a))
        count1 <- 1
        sum.tot <- 0
```

```
sum.fa <- array(0, c(a))
sum.fb <- array(0, c(b))
sum.fab <- array(0, c(a*b))
ssum.tot <- 0
ssum.fa <- 0
ssum.fb <- 0
ssum.fab <- 0
for (i in 1:a)    {
   for (j in 1:b)    {
       for (k in 1:n)    {
                   sum.tot <- data.arr[k, j, i] + sum.tot
                   sum.fa[i] <- data.arr[k, j, i] + sum.fa[i]
                   sum.fb[j] <- data.arr[k, j, i] + sum.fb[j]
                   sum.fab[count1] <- data.arr[k, j, i] + sum.fab[count1]
                   if (k == n)    {
                      ssum.fab <- ((sum.fab[count1])^2  /  n) + ssum.fab
                      count1 <- count1 + 1
                   }
                   ssum.tot <- (data.arr[k, j, i])^2 + ssum.tot
              }   }
              ssum.fa <- ((sum.fa[i])^2  / (b*n)) + ssum.fa
       }
for (j in 1:b)
       ssum.fb <- ((sum.fb[j])^2 / (a*n)) + ssum.fb
cf <- (sum.tot)^2 / (a*b*n)
sst <- ssum.tot - cf
ssa <- ssum.fa - cf
ssb <- ssum.fb - cf
ssab <- ssum.fab - ssum.fa - ssum.fb + cf
dfa <- a-1
dfb <- b-1
```

```
dfab <- (a-1)*(b-1)
msa <- ssa / dfa
msb <- ssb / dfb
msab <- ssab / dfab
ssiga.exp <- array(0,c(8))
ssigb.exp <- array(0,c(8))
ssigab.exp <- array(0,c(8))
ssige.exp <- array(0,c(8))
check <- T
i <- 1
while (i < 9)     {
        if (i == 1 )        {
                        sse.cla <- sst - ssa - ssb - ssab
                        dfe.cla <- (a*b*(n-1))
                        mse.cla <- sse.cla / dfe.cla
                        ssiga.exp[i] <- ((msa - msab) / (b*n))
                        ssigb.exp[i] <- ((msb - msab) / (a*n))
                        ssigab.exp[i] <- ((msab - mse.cla) / n)
                        ssige.exp[i] <- mse.cla
        }
        else if (i == 2 ) {
                        sse <- sst - ssa - ssb
                        dfe <- (a*b*(n-1)) + dfab
                        mse <- sse / dfe
                        ssiga.exp[i] <- ((msa - mse) / (b*n))
                        ssigb.exp[i] <- ((msb - mse) / (a*n))
                        ssige.exp[i] <- mse
        }
        else if (i == 3 ) {
                        sse <- sst - ssa - ssab
                        dfe <- ( a*b*(n-1)) + dfb
```

```
        mse <- sse / dfe
        ssiga.exp[i] <- ((msa - msab) / (b*n))
        ssigab.exp[i] <- ((msab - mse) / n)
        ssige.exp[i] <- mse
}
else if (i == 4 ) {
        sse <- sst  - ssb - ssab
        dfe <- (a*b*(n-1)) + dfa
        mse <- sse / dfe
        ssigb.exp[i] <- ((msb - msab) / (a*n))
        ssigab.exp[i] <- ((msab - mse) / n)
        ssige.exp[i] <- mse
}
else if (i == 5 ) {
        sse <- sst  - ssa
        dfe <- (a*b*(n-1)) + dfb + dfab
        mse <- sse / dfe
        ssiga.exp[i] <- ((msa - mse) / (b*n))
        ssige.exp[i] <- mse
}
else if (i == 6 ) {
        sse <- sst  - ssb
        dfe <- (a*b*(n-1)) + dfa + dfab
        mse <- sse / dfe
        ssigb.exp[i] <- ((msb - mse) / (a*n))
        ssige.exp[i] <- mse
}
else if (i == 7 ) {
        sse <- sst  - ssab
        dfe <- (a*b*(n-1)) + dfa + dfb
        mse <- sse / dfe
```

```
                    ssigab.exp[i] <- ((msab - mse) / n)
                    ssige.exp[i] <- mse
          }
          else if (i == 8 ) {
                    sse <- sst
                    dfe <- (a*b*(n-1)) + dfa + dfb + dfab
                    mse <- sse / dfe
                    ssige.exp[i] <- mse
          }
          if (ssiga.exp[i]<0  || ssigb.exp[i]<0 || ssigab.exp[i]<0 || ssige.exp[i]<0)   {
                    check <- F
                    i <- 9
          }
          i <-  i + 1
     }
     if (check == T) {
          rmin[1] <- rmin[1] + 1
          rmin[2] <- rmin[2] + 1
          ucl.cla <- sqrt((ssiga.exp[1] - var.a)^2 + (ssigb.exp[1] - var.b)^2
                         + (ssigab.exp[1] - var.ab)^2 + (ssige.exp[1] - var.e)^2)
          write(round(ucl.cla, 4), file="ucl.ssc", append=T)
          if (rmin[1] == 1)
               write(round(ucl.cla, 4), file="cal_ucl.ssc")
          else
               write(round(ucl.cla, 4), file="cal_ucl.ssc", append=T)
          wgtratio.prog(ssiga.exp, ssigb.exp, ssigab.exp, ssige.exp,rmin)
     }
}
return(rmin)   }
```

```
(/* ขั้นตอนในการถ่วงน้ำหนักแต่ละตัวแบบของวิธีการเฉลี่ยตัวแบบ */)
"wgtratio.prog" <- function(ssiga.exp, ssigb.exp, ssigab.exp, ssige.exp,rmin)   {
model.tot <- array(0,c(8))
weight <- array(0,c(8))
ssiga.wgt <- array(0,c(8))
ssigb.wgt <- array(0,c(8))
ssigab.wgt <- array(0,c(8))
ssige.wgt <- array(0,c(8))
ssiga.tot <- 0
ssigb.tot <- 0
ssigab.tot <- 0
ssige.tot <- 0
cat("ssiga", "ssigb", "ssigab", "ssige", "\n", file="e_ssigma.ssc", sep = "\t", append=T)
for (i in 1:8) {
        model.tot[i] <- ssiga.exp[i] + ssigb.exp[i] + ssigab.exp[i] + ssige.exp[i]
        weight[i] <- model.tot[1] / model.tot[i]
        ssiga.wgt[i] <- ssiga.exp[i] * weight[i]
        ssigb.wgt[i] <- ssigb.exp[i] * weight[i]
        ssigab.wgt[i] <- ssigab.exp[i]  * weight[i]
        if (i==1)
                ssige.wgt[i] <- ssige.exp[i] * weight[i]
        else if (i==2 || i==3 || i==4)
                ssige.wgt[i] <- ssige.exp[i] * weight[i] / (c + 1)
        else if (i==5 || i==6 || i==7)
                ssige.wgt[i] <- ssige.exp[i] * weight[i] / ((2 * c) + 1)
        else
                ssige.wgt[i] <- ssige.exp[i] * weight[i] / ((3 * c) + 1)
        cat(round(ssiga.wgt[i], 4), round(ssigb.wgt[i], 4), round(ssigab.wgt[i], 4),
        round(ssige.wgt[i], 4), "\n", file="e_ssigma.ssc", sep = "\t", append=T)
        ssiga.tot <- ssiga.wgt[i] + ssiga.tot
        ssigb.tot <- ssigb.wgt[i] + ssigb.tot
```

```
        ssigab.tot <- ssigab.wgt[i] + ssigab.tot
        ssige.tot <- ssige.wgt[i] + ssige.tot
}
ssiga.avg <- ssiga.tot / 8
ssigb.avg <- ssigb.tot / 8
ssigab.avg <- ssigab.tot / 8
ssige.avg <- ssige.tot / 8
cat(round(ssiga.exp[1], 4), round(ssigb.exp[1], 4), round(ssigab.exp[1], 4), round
      (ssige.exp[1], 4), "\t", "\t",round(ssiga.avg, 4), round(ssigb.avg, 4), round
      (ssigab.avg, 4), round(ssige.avg, 4), "\n", file="ss_cl&ma.ssc", sep = " ",
      append=T)
ucl.ma <- sqrt((ssiga.avg - var.a)^2 + (ssigb.avg - var.b)^2 + (ssigab.avg - var.ab)^2 +
      (ssige.avg - var.e)^2)
write(round(ucl.ma, 4), file="uma.ssc", append=T)
if (rmin[1] == 1)
        write(round(ucl.ma, 4), file="cal_uma.ssc")
else
        write(round(ucl.ma, 4), file="cal_uma.ssc", append=T)
}

(/* การคำนวณระยะทางยุคลิดเฉลี่ยลู่เข้าสู่ค่าคงที่ */)
"converge.prog" <- function()  {
r <- 1
while ( r<=rmin[1] & (conv.cla>0.001 || conv.ma>0.001))  {
        ucl.cla <-  scan("cal_ucl.ssc", n=1, skip=(r-1))
        ucl.ma <-  scan("cal_uma.ssc", n=1, skip=(r-1))
        avgucl.cla <- (ucl.cla + avgucl.cla) / rconv
        avgucl.ma <- (ucl.ma + avgucl.ma) / rconv
        write(avgucl.cla, file="cal_avgucl.ssc", append=T)
        write(avgucl.ma, file="cal_avguma.ssc", append=T)
        write(avgucl.cla, file="avgucl.ssc", append=T)
```

```
        write(avgucl.ma, file="avguma.ssc", append=T)
        avgucl.cla <-  avgucl.cla * rconv
        avgucl.ma <-  avgucl.ma * rconv
        if (rconv > 1 & rcount > 1)      {
                avgucla.cla <-  scan("cal_avgucl.ssc", n=2, skip=(rcount-2))
                avguclm.ma <-  scan("cal_avguma.ssc", n=2, skip=(rcount-2))
                conv.cla <- abs(avgucla.cla[1] - avgucla.cla[2])
                conv.ma <- abs(avguclm.ma[1] - avguclm.ma[2])
                write(conv.cla, file="convcla.ssc", append=T)
                write(conv.ma, file="convma.ssc", append=T)
        }
        r <-  r + 1
        rcount <- rcount + 1
        if (r > rmin[1] & (conv.cla>0.001 || conv.ma>0.001))   {
                        write((avgucl.cla / rconv), file="cal_avgucl.ssc")
                        write((avgucl.ma / rconv), file="cal_avguma.ssc")
                        rcount <- 2
        }
        rconv <-  rconv + 1
}
return(rconv, avgucl.cla, avgucl.ma, conv.cla, conv.ma,rcount)
}
```

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	157	1.833277	1.2720	1.243233	0.5804
	2	194	2.001408	1.4325	1.432496	0.6421
	3	275	2.086610	1.7453	1.466233	0.7002
15	1	842	16.892189	12.2071	11.449949	4.7451
	2	842	18.060504	13.5634	12.631294	5.2947
	3	941	18.084369	13.8185	13.173451	5.6761
25	1	2133	47.556924	35.0294	31.866273	12.2178
	2	1725	47.843044	38.8438	33.985247	13.4251
	3	2390	49.688749	39.7083	35.779061	13.5395
35	1	767	92.859001	74.6921	62.589762	30.1353
	2	1703	93.914421	74.9770	66.426563	30.5874
	3	2636	95.752428	75.9979	70.721221	30.9417
45	1	2724	154.725767	119.9509	103.425081	46.9747
	2	2450	157.558704	124.1403	112.755079	48.0142
	3	2982	159.163965	123.0038	116.007234	47.3705
55	1	2394	227.045889	176.8623	152.374833	70.6308
	2	2777	237.118354	184.8056	167.710702	70.8900
	3	2820	239.080013	191.6099	175.392982	72.4862
65	1	4147	323.138343	256.9162	214.577325	101.0411
	2	4386	327.409158	260.2805	234.885163	102.8789
	3	5788	336.625824	266.4477	245.039951	101.3673

ตารางที่ ข.2 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $_{\overline{EuCl}}$	$\overline{EuMA}$	SD $_{\overline{EuMA}}$
5	1	173	2.134258	1.6274	1.331407	0.7059
	2	342	2.170378	1.6061	1.473659	0.6820
	3	228	2.207973	1.8010	1.550894	0.7169
15	1	527	18.499010	14.5542	12.059035	6.8194
	2	715	18.992930	14.2631	12.973495	6.2065
	3	997	20.258985	17.4829	14.048059	7.1863
25	1	2642	51.288860	42.1178	34.036379	18.1120
	2	1277	54.459576	46.4589	36.895370	19.4155
	3	1387	58.374023	51.3785	39.540636	20.9936
35	1	3189	100.063483	83.5468	66.528773	36.4567
	2	1277	104.726503	86.7578	71.935786	35.7969
	3	2069	109.041921	91.4089	75.760010	36.1959
45	1	2777	169.547427	143.4274	111.756022	60.7444
	2	2945	172.499089	138.2958	118.849396	55.0666
	3	2298	178.682030	147.4741	124.986207	59.4728
55	1	2243	245.905255	208.6690	163.466212	90.8551
	2	3995	257.499073	207.9339	177.328847	83.1361
	3	3840	265.917912	212.4789	185.533067	89.6256
65	1	5804	338.949196	298.9632	227.978666	123.2809
	2	4527	371.676171	315.5909	253.281693	126.5902
	3	4412	375.744606	316.6418	261.099053	127.3212

ตารางที่ ข.3 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 7 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	139	2.194368	1.8100	1.404815	0.7929
	2	242	2.590467	1.7996	1.681567	0.7088
	3	197	2.612842	2.3948	1.722469	0.9382
15	1	811	17.860850	16.0359	12.197377	6.7661
	2	1016	20.973967	15.8313	13.777941	6.0590
	3	899	22.433327	18.7708	14.884213	7.4823
25	1	1330	51.608922	42.9814	34.424472	18.3884
	2	1506	56.003971	45.9803	37.917933	18.6945
	3	1711	60.168748	51.2473	40.220498	20.8487
35	1	3045	105.329026	85.0309	69.570639	34.5995
	2	2343	109.873090	88.8198	74.258526	35.7080
	3	3269	114.637388	90.9399	77.737313	38.8519
45	1	3693	171.960952	148.2281	113.514239	60.2200
	2	2633	183.436018	155.6802	124.137167	62.6015
	3	2127	188.405302	156.7309	128.557781	62.4611
55	1	4461	260.540931	228.2560	171.275984	94.5421
	2	4452	277.308706	231.5721	186.437509	94.1607
	3	4393	291.811187	236.7227	192.970535	95.8050
65	1	6049	359.724854	316.6027	236.704709	133.0486
	2	5114	386.845712	323.0919	259.658436	133.4649
	3	5332	394.024215	325.8646	267.861127	135.7537

ตารางที่ ข.4 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 3 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	63	1.243381	0.6644	1.177603	0.2451
	2	91	1.378612	0.6669	1.244723	0.2772
	3	71	1.603366	1.1031	1.396556	0.3726
15	1	347	11.715386	6.4549	10.137518	2.6023
	2	379	12.995539	6.6374	11.475246	2.7957
	3	457	13.061331	7.1039	12.194586	3.1726
25	1	754	32.696546	17.1760	27.799890	6.8732
	2	914	34.263277	17.9548	31.790952	7.7051
	3	771	36.032891	18.4118	34.838918	8.3418
35	1	1538	65.796026	36.9362	54.914715	14.9409
	2	1845	67.186158	37.9857	61.918328	14.9682
	3	1978	69.610273	38.7243	65.549477	16.3403
45	1	1199	106.582900	55.4043	90.415493	23.2021
	2	2055	112.329396	61.2098	102.533822	25.5505
	3	3006	116.421873	59.5466	108.105008	26.4552
55	1	1245	157.452895	80.4617	136.390655	33.5874
	2	854	165.595625	85.3615	153.798940	37.6883
	3	2768	173.479334	89.8457	161.414745	40.1671
65	1	4268	222.369934	119.6431	191.660868	49.8966
	2	3212	234.567633	122.9303	214.028263	53.5904
	3	3148	241.042537	125.2561	225.755820	53.5981

ตารางที่ ข.5 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	93	1.506555	0.8247	1.118318	0.3122
	2	99	1.576095	0.9114	1.304157	0.3512
	3	155	1.577210	0.9320	1.359363	0.3559
15	1	621	12.442037	7.0308	10.308187	2.7912
	2	421	13.189785	9.4309	11.475093	3.7781
	3	668	14.171246	8.6370	11.849030	3.3232
25	1	444	35.148965	20.9435	27.456211	8.0978
	2	955	38.333501	21.5300	31.432433	7.9328
	3	781	40.127414	25.1805	33.628383	9.4924
35	1	1615	67.798608	40.6871	55.494279	15.7709
	2	1351	75.609875	49.0062	62.351741	18.6728
	3	1892	77.552837	46.3016	64.788336	17.1063
45	1	1002	106.873959	67.4568	91.425834	26.4056
	2	2047	122.034127	63.8067	101.810168	26.3947
	3	1408	124.079186	69.8635	105.344981	27.1377
55	1	3525	170.860234	106.9749	137.461444	42.2301
	2	3845	187.048304	114.4403	153.457960	43.6841
	3	2883	192.253078	119.5293	160.127209	46.1614
65	1	3262	241.868569	161.3517	192.401875	59.3895
	2	5038	257.251004	153.7729	214.387699	58.1722
	3	4034	268.544004	164.2777	223.821499	62.9317

ตารางที่ ข.6 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 7 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	85	1.476221	1.0467	1.163673	0.3885
	2	122	1.534995	1.1214	1.250080	0.3938
	3	129	1.841379	1.1980	1.417444	0.4108
15	1	820	13.462170	8.8369	10.322082	3.3982
	2	514	15.050093	10.5785	11.720796	3.8699
	3	527	15.804327	10.4715	11.962581	3.7575
25	1	377	38.593810	25.6030	29.078273	9.8001
	2	826	39.989380	24.0490	31.876258	9.1290
	3	586	43.296850	29.3648	33.736691	10.5206
35	1	1338	74.239264	49.6941	56.584352	19.5420
	2	1514	80.258100	50.7166	62.941474	19.4271
	3	1217	83.478740	53.0150	65.205597	19.4921
45	1	2798	119.685688	78.8709	93.569409	29.9278
	2	2423	132.644233	89.8675	104.411670	32.3059
	3	2513	137.831003	90.1906	107.977334	32.7985
55	1	2323	180.000453	116.5539	138.865280	44.1751
	2	3075	200.089770	125.1614	154.074176	48.5967
	3	2381	205.761193	135.9711	160.693665	49.1802
65	1	3790	251.898672	183.4263	194.939953	68.2741
	2	5502	283.468303	179.8923	217.817342	67.5094
	3	4456	295.716340	192.4884	225.559442	71.4433

ตารางที่ ข.7 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	93	1.106434	0.4227	1.113002	0.2232
	2	78	1.134127	0.5737	1.242205	0.2585
	3	99	1.160991	0.4513	1.331303	0.2665
15	1	425	9.850921	4.4815	10.097268	2.0428
	2	387	10.321016	4.7072	11.428713	2.3044
	3	452	10.413325	4.5105	12.059792	2.2442
25	1	398	27.540744	11.3215	27.765772	5.6512
	2	521	30.001085	12.8555	31.422524	6.1297
	3	837	30.068963	13.7090	33.520128	6.5835
35	1	1317	53.239752	23.7577	54.707341	11.0467
	2	1405	57.217572	25.0012	61.828284	12.1595
	3	1350	59.172839	25.0952	65.323562	12.3083
45	1	1407	88.650349	37.9347	90.408993	18.0645
	2	1241	94.533205	42.1171	102.106683	20.2450
	3	1595	97.373265	42.8039	107.429481	21.9728
55	1	1924	131.811030	58.2203	135.111411	27.6646
	2	2114	138.945740	60.6922	153.620083	31.3150
	3	1511	143.944554	62.2401	160.385075	31.3335
65	1	1707	183.442336	83.9935	188.832510	38.2228
	2	1914	197.898387	88.0977	213.298048	41.9204
	3	2716	204.069896	89.5111	224.322557	43.3757

ตารางที่ ข.8 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	118	1.291979	0.6879	1.114849	0.2353
	2	106	1.361167	0.7316	1.200981	0.2701
	3	165	1.458520	0.7473	1.356743	0.2255
15	1	354	9.798241	4.9749	9.681496	2.0230
	2	200	11.304372	6.0854	11.049037	2.4984
	3	437	12.387266	7.0191	11.724573	2.8787
25	1	717	29.429695	15.5254	27.182638	6.0835
	2	442	32.167514	18.0574	29.789598	6.9712
	3	621	34.854668	19.8929	32.125476	7.4419
35	1	1158	55.600082	28.6340	53.400735	11.8458
	2	920	62.802871	32.3836	59.414773	13.1639
	3	1524	66.612889	34.7202	62.596741	13.8351
45	1	981	96.317648	54.2031	87.779793	21.4875
	2	1289	108.503102	59.4779	98.886811	22.4897
	3	1460	110.226980	60.6096	103.693402	23.3752
55	1	1932	140.676044	72.8697	130.770975	29.3485
	2	1881	154.394449	84.3035	146.630906	33.3868
	3	2307	161.040939	86.3725	153.934080	33.8393
65	1	2798	198.582476	106.3171	184.211472	41.7331
	2	2357	214.214736	111.3368	206.445574	46.2253
	3	3884	223.412232	120.3614	213.792028	48.0588

ตารางที่ ข.9 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 7 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	74	1.302428	0.7086	1.090869	0.2349
	2	107	1.443221	0.8643	1.200578	0.2835
	3	110	1.452565	0.8661	1.239335	0.2989
15	1	222	10.593589	5.5925	9.574254	2.3781
	2	424	11.704939	6.7042	10.887541	2.6058
	3	449	12.925293	7.4638	11.391323	2.6646
25	1	588	31.008907	18.4551	26.666048	6.7643
	2	389	34.667631	19.1594	30.642371	6.8460
	3	599	35.050367	19.4491	31.030332	7.4007
35	1	1153	59.878362	38.2287	53.266542	13.0032
	2	1440	67.913897	41.4996	59.401758	15.0690
	3	1958	70.597553	46.3488	62.179795	16.2476
45	1	2740	96.259708	52.3725	86.724245	20.3887
	2	1426	114.369327	66.0913	99.249944	23.4964
	3	2785	115.737243	67.3328	101.571379	24.4683
55	1	1356	146.066691	83.0799	128.062979	32.8754
	2	1545	164.043366	95.3597	145.151870	35.4233
	3	2150	176.828660	105.6171	151.763371	38.7454
65	1	1328	206.802834	119.8697	182.765608	45.7876
	2	1548	231.901585	133.9688	204.130934	50.2111
	3	2147	242.663626	143.6709	211.747387	52.4119

ตารางที่ ข.10 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 3 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $_{\overline{EuCl}}$	$\overline{EuMA}$	SD $_{\overline{EuMA}}$
5	1	82	0.969287	0.3459	1.103173	0.2034
	2	64	1.015176	0.3642	1.239945	0.2266
	3	109	1.107432	0.3750	1.329125	0.2122
15	1	297	8.679404	3.4222	9.929870	1.7990
	2	267	8.946483	3.7393	11.351060	2.0580
	3	325	9.600266	3.7685	12.042887	2.0628
25	1	628	23.868457	9.0249	26.968868	5.1094
	2	761	25.679325	10.2739	30.880459	5.2647
	3	867	26.338593	10.2902	33.142842	5.7049
35	1	1250	45.994043	19.6014	54.609087	9.9170
	2	1152	50.145562	20.0559	61.654406	10.7358
	3	1222	52.608282	21.0065	65.159534	10.8179
45	1	1106	76.029183	28.6092	90.105480	16.0356
	2	1974	83.207730	32.3563	102.037747	17.3989
	3	2082	85.847307	33.8116	107.229583	18.2999
55	1	993	116.683446	44.6697	134.746069	23.2879
	2	2538	123.354175	46.2881	152.474170	26.3339
	3	1515	129.194201	51.4695	159.003736	26.7666
65	1	925	164.375219	66.7985	188.587040	33.0288
	2	1603	176.686997	72.2839	212.421622	37.4643
	3	3527	178.142914	74.7470	223.005377	39.8672

ตารางที่ ข.11 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 5 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $\overline{EuCl}$	$\overline{EuMA}$	SD $\overline{EuMA}$
5	1	79	1.053878	0.5432	1.072459	0.1937
	2	109	1.173481	0.6435	1.202013	0.2264
	3	133	1.253379	0.6523	1.271669	0.2669
15	1	286	8.886224	3.6500	9.655362	1.7967
	2	290	10.127868	5.2208	10.787875	2.1186
	3	410	10.199300	5.7815	11.426704	2.2054
25	1	634	25.638056	13.7288	26.346669	5.4015
	2	597	28.996667	14.6244	29.089500	5.7985
	3	836	29.856777	14.7000	30.488912	6.4605
35	1	934	49.650878	21.0217	51.032205	9.6597
	2	1335	56.001307	26.2516	57.525560	11.8948
	3	1082	58.424075	29.0939	60.937716	12.4555
45	1	1153	81.569537	40.0366	86.385137	16.6976
	2	2302	91.461223	44.9326	92.951731	18.8830
	3	1600	96.058529	48.9535	98.751353	20.2002
55	1	1334	124.567901	60.1626	128.138393	25.0278
	2	1729	137.942372	69.6591	143.492210	28.2617
	3	1623	143.732029	74.8623	151.233688	29.1358
65	1	1421	171.246646	85.5113	178.739468	35.0996
	2	2702	189.248858	90.6646	201.301259	40.4488
	3	1548	200.306153	103.3429	211.938132	43.6656

ตารางที่ ข.12 แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อระดับปัจจัยที่เท่ากันและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 และ 7 ตามลำดับ

C.V.%	ค่าคงที่ c	จำนวนการทดลองสู่เข้าสู่ค่าคงที่	$\overline{EuCl}$	SD $_{\overline{EuCl}}$	$\overline{EuMA}$	SD $_{\overline{EuMA}}$
5	1	70	1.072149	0.5601	1.035030	0.2219
	2	77	1.207621	0.6287	1.159532	0.2426
	3	96	1.264165	0.6705	1.232316	0.2465
15	1	280	9.901656	5.5017	9.363713	2.0466
	2	395	10.798968	5.8967	10.710895	2.2702
	3	248	11.481828	6.4296	11.092191	2.5054
25	1	536	26.882884	14.3073	26.015414	5.1917
	2	1116	30.655338	13.8385	29.458178	5.1012
	3	780	31.030464	17.9648	30.905651	6.6260
35	1	1297	51.949877	26.6522	51.212190	10.8081
	2	1033	59.397349	34.8605	57.292120	12.7370
	3	1037	62.933584	33.9821	59.893658	12.8089
45	1	1064	87.939988	48.6260	85.130567	17.9007
	2	1201	95.729376	51.1183	94.228030	19.9144
	3	1945	103.660945	56.4055	98.898445	21.1638
55	1	2935	127.929218	68.7788	124.882424	26.5454
	2	2173	144.806010	76.4553	141.492587	30.0434
	3	2405	148.896457	77.9827	146.897315	31.3311
65	1	1550	182.219291	102.5713	176.903906	37.0987
	2	1076	200.243754	106.6839	196.301703	41.4976
	3	2419	210.193444	110.0171	205.822549	45.1656

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนรินทร์ทิพย์ เทียนสว่าง เกิดเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกสถิติ มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน ชลบุรี ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541