

การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม



นางสาวกนกพร เกลียวปิยะ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1239-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS FOR BALANCED HIERARCHICAL
RANDOM-EFFECT MODEL



Miss Kanokporn Kleawpiya

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2002

ISBN 974-17-1239-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผน
แบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม

โดย

นางสาว กนกพร เกลี้ยงวิยะ

สาขาวิชา

ภาควิชาสถิติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา

คณะแพทยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับ
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะแพทยศาสตร์และการบัญชี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัช อภิเมธีอำรง)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกตอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ผกาวัต ศิริรังษี)

กนกพร เกลียวปิยะ : การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้น
กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม. (ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS FOR
BALANCED HIERARCHICAL RANDOM-EFFECT MODEL.) อ.ที่ปรึกษา :
รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา, 97 หน้า. ISBN 974-171-239-1

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณองค์ประกอบความแปร
ปรวนของแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น กรณีแผนแบบสมดุลเชิงสุ่ม 2 วิธี คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน
(Analysis of Variance) และวิธีประมาณสามลำดับชั้น (Three-Stage Estimation) โดยที่แผนแบบเชิง
ชั้นสามชั้นมีตัวแบบ ดังนี้ $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \varepsilon_{ijkl}$, $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, b$;
 $k = 1, \dots, c$; $l = 1, \dots, n$ a แทนจำนวนระดับปัจจัยของปัจจัยแรก, b แทนจำนวนระดับปัจจัยของ
ปัจจัยสอง, c แทนจำนวนระดับปัจจัยของปัจจัยสาม และ n แทนขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ในแต่ละวิธีการ
ทดลอง, Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตที่ตัวอย่างย่อย n ในปัจจัยสามภายใต้ปัจจัยที่สอง ที่ระดับ j และภายใต้ปัจจัย
แรก ที่ระดับ i , μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง, τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัยแรก ที่ระดับ i , $\beta_{j(i)}$ คือ
อิทธิพลของปัจจัยสอง ที่ระดับ j ภายใต้ในปัจจัยแรก ที่ระดับ i , $\alpha_{k(ij)}$ คือ อิทธิพลของปัจจัยสาม ที่ระดับ
k ภายใต้ปัจจัยสอง ที่ระดับ j และภายใต้ในปัจจัยแรก ที่ระดับ i , ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่มซึ่งเป็นตัว
แปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระ มีค่าเฉลี่ย 0 และ ความแปรปรวน $\sigma_\tau^2, \sigma_\beta^2, \sigma_\alpha^2$ และ
 σ_ε^2 ตามลำดับ โดยที่พารามิเตอร์ $\sigma_\tau^2, \sigma_\beta^2, \sigma_\alpha^2$ และ σ_ε^2 เรียกว่า องค์ประกอบความแปรปรวน

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลโดยใช้โปรแกรม S-plus 2000 และ
ทำการเปรียบเทียบภายใต้สถานการณ์ทดลองที่กำหนดให้ระดับปัจจัยแรก (a) เท่ากับ 2, 3, 4, ระดับของ
ปัจจัยที่สอง (b) เท่ากับ 2, 3, 4, ระดับปัจจัยที่สาม (c) เท่ากับ 2, 3, 4 และขนาดหน่วยทดลอง n เท่ากับ
2, 3, 4 ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ($cv = \frac{sd}{\mu} * 100$) เท่ากับ 10%, 50% และ 90% ตามลำดับ
โดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าประมาณจากวิธีการทั้งสองด้วยวิธีการหาค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ในการศึกษาเปรียบเทียบไม่มีวิธีใดที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดต่ำกว่าในทุก
สถานการณ์ ดังนั้น ในการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบ
สมดุลอย่างสุ่ม สามารถเลือกใช้วิธีประมาณวิธีใดวิธีหนึ่งได้เป็นกรณีๆ ไป

ภาควิชา สถิติ

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา สถิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545

2152526 : MAJOR STATISTICS

KEY WORD: Variance Components / Hierarchical / Random-Effect Model

KANOKPORN KLEAWPIYA : (ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS FOR
BALANCED HIERARCHICAL RANDOM-EFFECT MODEL.) THESIS ADVISOR :
PROF. SUPOL DURONGWATANA, Ph.D., 97 pp. ISBN 974-171-239-1

The objective of this study is to compare two methods of variance components estimation for three hierarchical classification design; analysis of variance method and three-stage estimation method. The full model estimation for three hierarchical classification design is as follows:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \varepsilon_{ijkl} ; i = 1, \dots, a ; j = 1, \dots, b ; k = 1, \dots, c ; l = 1, \dots, n$$

Where Y_{ijk} is the n observation for the k^{th} level of factor C is nested under the j^{th} level of factor B is nested under the i^{th} level of factor A, μ is grand mean, τ_i is the i^{th} random-effect of factor A, $\beta_{j(i)}$ is the j^{th} random-effect of factor B is nested under the i^{th} level of factor A, $\alpha_{k(ij)}$ is the k^{th} random-effect of factor C is nested under the j^{th} level of factor B is nested under the i^{th} level of factor A, ε_{ijk} is random error for the k^{th} level of factor C is nested under the j^{th} level of factor B is nested under the i^{th} level of factor A and τ_i , $\beta_{j(i)}$, $\alpha_{k(ij)}$ and ε_{ijk} are independently and normally distributed with 0 and variance σ_τ^2 , σ_β^2 , σ_α^2 and σ_ε^2 respectively, a is number of levels for factor A, b is number of levels for factor B, c is number of levels for factor C, n is number of replication for each treatment combination. The parameters; σ_τ^2 , σ_β^2 , σ_α^2 and σ_ε^2 are variance components for the model.

In this study, Monte Carlo simulation technique is used through S-plus 2000 code. It is simulated under several situations due to the number of levels for factor A = 2, 3, 4, the number of levels for factor B = 2, 3, 4, the number of levels for factor C = 2, 3, 4 and the sample size = 2, 3, 4. The coefficient of variation is specified ($CV = \frac{sd}{\mu} * 100$) at 10%, 50% and 90% respectively. The average of Euclidean distance between the vector of variance component estimates and the vector of true values is a measure for comparison between both methods.

The results of the study show that there are no significant of average Euclidean distances for all situations from one of both methods. Then both methods can be interchangeably in the three hierarchical model.

Department Statistics

Student's signature.....

Field of study Statistics

Advisor's signature

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. สุกพล คุรงค์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกตทอง รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี และ อ. ดร.อรุณี กำลิ่ง ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาค วิชาสถิติและภาควิชาคณิตศาสตร์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ทำยนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ญาติพี่น้อง ที่สนับสนุนในด้านการเงิน อุปกรณ์ในการทำวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณ คุณธรรมรัตน์ ศศิมนทลกุล ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษา ในการเขียนโปรแกรม ภาษา s-plus มา ณ ที่นี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2. ระเบียบวิธีการวิจัย.....	7
2.1 การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	7
2.2 การประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีประมาณสามลำดับขั้น.....	12
2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณ.....	13
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	15
3.2 การสร้างรูปแบบการแจกแจงของประชากรแบบปกติ.....	16
3.3 คำนวณหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน.....	16
3.4 คำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ย.....	17
3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม.....	18

บทที่	หน้า
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	20
4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี.....	41
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	43
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	43
รายการอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ภาคผนวก ข.....	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาตัวแบบในลักษณะแผนการทดลอง (Experimental designs) นิยมใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) สำหรับกรณีที่ปัจจัยที่สนใจศึกษาเป็นปัจจัยที่สุ่มมาจากประชากร การประมาณค่าองค์ประกอบ ความแปรปรวนของปัจจัยที่สนใจศึกษาในแผนแบบการทดลองนั้นๆ จะเป็นจุดประสงค์ที่สำคัญของการวิเคราะห์

ปัจจุบันนิยมทำการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยใช้แนวคิดแบบคลาสสิก (Classical Statistics) คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์จากการสร้างสมการโดยให้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square) เท่ากับค่าประมาณของค่าคาดหวังของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Expected Mean Square) ทำให้ได้ฟังก์ชันของค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวนที่ต้องการประมาณ ซึ่งค่าประมาณของตัวประมาณ ANOVA ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นทั้งค่าประมาณที่ไม่เอนเอียง (Unbiased Estimator) และมีความแปรปรวนน้อยที่สุด (Minimum Variance) วิธีการนี้เป็นวิธีที่การประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนคำนวณได้สะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากจะใช้เวลาน้อยในการคำนวณค่าประมาณในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน และสามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติได้อีกหลายประเภท

วิธีประมาณสามลำดับชั้น¹ (Three-Stage Estimation) เป็นวิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่ Fred C. Leone และ Lloyd S. Nelson ทำการศึกษาจนได้รูปแบบทั่วไปของแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น ซึ่งมีการถ่วงน้ำหนักด้วยขนาดตัวอย่างในแต่ละระดับชั้นของแผนแบบเชิงชั้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีประมาณสามลำดับชั้นเป็นอีกหนึ่งวิธีการหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน

การวิจัยครั้งนี้พิจารณาแผนแบบการทดลองเชิงชั้นสามชั้น (Three Hierarchical Model) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ คือ แต่ละระดับของปัจจัย B ปรากฏเพียงหนึ่งระดับของปัจจัย A เขียนแทนได้ว่า B(A) เรียกว่า ปัจจัย B ซึ่กับปัจจัย A (B nested in A) และ C ปรากฏเพียงหนึ่งระดับของปัจจัย B(A) เขียนแทนได้ว่า C(AB) เรียกว่า ปัจจัย C ซึ่กับปัจจัย B ซึ่กับปัจจัย A (C nested in B(A)) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของหน่วยทดลอง โดยสุ่มเลือกหน่วยตัวอย่างจากแต่ละหน่วยทดลอง เพื่อทำการ

¹ Fred, C. Leone.; Lloyd, S. Nelson, Sampling Distributions of Variance Components I. Empirical Studies of Balanced Nested Designs.

วัดความผันแปรระหว่างหน่วยตัวอย่างภายในหน่วยทดลอง กรณีข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในแบบจำลองเชิงสุ่ม (Random Model) ที่มีลักษณะสมดุล (Balanced Data) และผลกระทบ (effects) ทุกตัวมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบแบบเชิงชั้นทั้งสองวิธี เพื่อตรวจสอบค่าประมาณของตัวแบบเชิงชั้นจากวิธีการใดที่ให้ค่าขององค์ประกอบความแปรปรวนโดยรวมใกล้เคียงกับค่าจริงของพารามิเตอร์มากที่สุด และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน สำหรับตัวแบบเชิงชั้นสามชั้น (Three Hierarchical Model) กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม 2 วิธี คือ

1.2.1 วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

1.2.2 วิธีประมาณสามลำดับชั้น (Three-Stage Estimation)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนของตัวแบบเชิงชั้นโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) จะให้ค่าประมาณใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์มากกว่าการประมาณโดยวิธีประมาณสามลำดับชั้น (Three-Stage Estimation)

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 กำหนดระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองดังนี้

$$a = 2,3,4$$

$$b = 2,3,4$$

$$c = 2,3,4$$

$$n = 2,3,4$$

รวมทั้งหมด 81 สถานการณ์การทดลอง

1.4.2 กำหนดให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation : CV) 10%, 50% และ 90%

พารามิเตอร์ของประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ย μ เท่ากับ 40 และความแปรปรวน σ^2 เท่ากับ 16, 400 และ 1296

1.4.3 กำหนดค่าความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง σ_ϵ^2 โดยมีหลักการ ดังนี้

$$\text{เนื่องจาก } CV(Y_{ijkl}) = \frac{SD(Y_{ijkl})}{\mu} = \frac{\sqrt{\sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 + \sigma_\epsilon^2}}{\mu}$$

ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ $\sigma_\tau^2 = \sigma_\beta^2 = \sigma_\alpha^2 = h\sigma_\epsilon^2$ *

$$\text{จะได้ว่า } CV(Y_{ijkl}) = \frac{\sqrt{h\sigma_\epsilon^2 + h\sigma_\epsilon^2 + h\sigma_\epsilon^2 + \sigma_\epsilon^2}}{\mu} = \frac{\sqrt{\sigma_\epsilon^2(3h + 1)}}{\mu}$$

ดังนั้น $\sigma_\epsilon^2 = \frac{(CV \times \mu)^2}{3h + 1}$ โดยที่ h เป็นค่าจำนวนเต็มคงที่ เท่ากับ 1, 2 และ 3

1.4.4 กำหนดระดับความเชื่อมั่น เท่ากับ 95 %

1.4.5 สร้างแบบจำลองข้อมูลโดยเทคนิคมอนติคาร์โล ซึ่งทำการจำลองข้อมูล Y_{ijkl} ที่สุ่มมาจากแต่ละประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 คือ ฟังก์ชัน rnorm (n, mean, sd)

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ
Mean คือ ค่าเฉลี่ยประชากร (μ)
sd คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

และในแต่ละสถานการณ์ของการทดลองจะทำการทดลองจนกระทั่งตัวเลขสุ่มเข้าสู่ค่าคงที่

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.5.1 ประชากรที่ทำการศึกษาร่างจากตัวแบบเชิงชั้นสามชั้น (Three Hierarchical Model) ดังนั้นจะมีค่าสังเกตในการทดลอง เท่ากับ $a \times b \times c \times n$ ข้อมูล จะได้ตัวแบบสำหรับ Y_{ijkl} คือ ค่าที่ได้จากข้อมูลแต่ละตัวหรือค่าที่ได้จากตัวอย่างย่อย n ในปัจจัยสาม ภายใต้ปัจจัยสอง ที่ระดับ j และภายใต้ปัจจัยแรก ที่ระดับ i ดังนั้นจะได้ตัวแบบ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \epsilon_{ijkl} \quad \text{โดยที่} \quad \begin{aligned} i &= 1, \dots, a \\ j &= 1, \dots, b \\ k &= 1, \dots, c \\ l &= 1, \dots, n \end{aligned}$$

* ในทางปฏิบัติ $\sigma_\tau^2 = \sigma_\beta^2 = \sigma_\alpha^2 = h\sigma_\epsilon^2$ ไม่เสมอไป แต่เพื่อให้ง่ายต่อการวิจัยจึงกำหนดดังกล่าวข้างต้น

ค่าสังเกต Y_{ijkl} ประกอบด้วย

- μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง
- τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัยแรก ที่ระดับ i
- $\beta_{j(i)}$ คือ อิทธิพลของปัจจัยสอง ที่ระดับ j ภายใต้ปัจจัยแรก ที่ระดับ i
- $\alpha_{k(ij)}$ คือ อิทธิพลของปัจจัยสาม ที่ระดับ k ภายใต้ปัจจัยสอง ที่ระดับ j และภายใต้ปัจจัยแรก ที่ระดับ i
- ε_{ijkl} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

1.5.2 ตัวแบบที่ศึกษาเป็นแบบสุ่ม ในแผนแบบการทดลองสมดุล

สมมติให้ μ เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า และ $\tau_i, \beta_{j(i)}, \alpha_{k(ij)}$ และ ε_{ijkl} เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระซึ่งกันและกัน และมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่

$$E(\tau_i) = E(\beta_{j(i)}) = E(\alpha_{k(ij)}) = 0$$

$$\text{และ } \text{Var}(\tau_i) = \text{Var}(\tau_{i'}) = \sigma_\tau^2$$

$$\text{Var}(\beta_{j(i)}) = \text{Var}(\beta_{j'(i')}) = \sigma_\beta^2$$

$$\text{Var}(\alpha_{k(ij)}) = \text{Var}(\alpha_{k'(ij')}) = \sigma_\alpha^2$$

$$\text{Var}(\varepsilon_{ijk}) = \text{Var}(\varepsilon_{ijk'}) = \sigma_\varepsilon^2$$

ค่าความแปรปรวนของค่าสังเกต คือ

$$\text{Var}(y_{ijkl}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

$$\text{Cov}(y_{ijk}, y_{ijk'}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 \quad i = i', j = j', k \neq k'$$

$$\sigma_\tau^2 \quad i = i', j \neq j'$$

$$0 \quad i \neq i', j = j'$$

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม

สาเหตุ	องศาอิสระ	ผลรวมกำลังสอง	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย	ค่าคาดหวังของผลรวมกำลังสองเฉลี่ย
ปัจจัยแรก A	a-1	$bcn \sum_i (\bar{y}_{i...} - \bar{y}_{....})^2$	MS_A	$\sigma^2 + n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2 + bcn\sigma_\tau^2$
ปัจจัยสอง B(A)	a(b-1)	$cn \sum_i \sum_j (\bar{y}_{ij..} - \bar{y}_{i...})^2$	$MS_{B(A)}$	$\sigma^2 + n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2$
ปัจจัยสาม C(AB)	ab(c-1)	$n \sum_i \sum_j \sum_k (\bar{y}_{ijk.} - \bar{y}_{ij..})^2$	$MS_{C(AB)}$	$\sigma^2 + n\sigma_\alpha^2$
ความคลาดเคลื่อน	abc(n-1)	$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l (y_{ijkl} - \bar{y}_{ijk.})^2$	MS_E	σ_ϵ^2
รวม	abcn-1	$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l (y_{ijkl} - \bar{y}_{....})^2$		

โดยที่

y_{ijkl} คือ ค่าสังเกตตัวที่ l ของปัจจัยสามที่ระดับ k ภายใต้ปัจจัยสองที่ระดับ j และภายใต้ปัจจัยแรกที่ระดับ i

$\bar{y}_{....}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในทุกะดับของปัจจัยแรก และในทุกะดับของปัจจัยสองและปัจจัยสาม

$$\bar{y}_{....} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}}{abcn}$$

$\bar{y}_{i...}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกะดับของปัจจัยสองและปัจจัยสาม ในระดับที่ i

$$\bar{y}_{i...} = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}}{bcn}$$

$\bar{y}_{ij..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกะดับของปัจจัยสาม ในระดับที่ j ของระดับสอง และระดับที่ i ของปัจจัยแรก

$$\bar{y}_{ij..} = \frac{\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}}{cn}$$

\overline{y}_{ijk} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัว ในระดับที่ k ของปัจจัยสาม ระดับที่ j ของระดับสอง และระดับที่ i ของปัจจัยแรก

$$\overline{y}_{ijk} = \frac{\sum_{l=1}^n y_{ijkl}}{n}$$

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation (CV)) หมายถึง ค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูล คิดในรูปของการกระจายสัมพัทธ์ (Relative measurement) ซึ่งไม่มีหน่วยและคำนวณค่าได้เป็นเปอร์เซ็นต์

1.6.2 ระยะทางยูคลิด (Euclidean Distance) หมายถึง ระยะทางระหว่างเวกเตอร์ค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวนโดยส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษากับเวกเตอร์ค่าจริงขององค์ประกอบความแปรปรวน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน สำหรับตัวแบบเชิงชั้นสามชั้น (Three Hierarchical Model) กรณีแผนแบบสมดุลง่ายๆ

1.7.2 สามารถเปรียบเทียบวิธีการประมาณพารามิเตอร์ขององค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีประมาณสามลำดับชั้น ว่าวิธีการใดให้ค่าประมาณที่ดีกว่าเชิงสถิติ

1.7.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการประมาณพารามิเตอร์ขององค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับแผนแบบการทดลองของตัวแบบอื่นๆ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระเบียบวิธีการวิจัย

การประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนในตัวแบบเชิงชั้นในการวิจัยครั้งนี้ ใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการประมาณการโดยทำการเปรียบเทียบจากวิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน 2 วิธี คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีประมาณสามลำดับชั้น มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน

วิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์จากการสร้างสมการโดยให้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square) เท่ากับค่าประมาณของค่าคาดหวังของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Expected Mean Square) จากนั้นใช้หลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน แสดงได้ดังนี้

$$\text{จาก } E(MS_E) = \sigma_\epsilon^2$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\epsilon^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\epsilon^2 = MS_E$$

$$\begin{aligned} \text{และ } E(MS_{C(AB)}) &= n\sigma_\alpha^2 + \sigma_\epsilon^2 \\ E(MS_{C(AB)}) - E(MS_E) &= (n\sigma_\alpha^2 + \sigma_\epsilon^2) - \sigma_\epsilon^2 \\ E(MS_{C(AB)}) - E(MS_E) &= n\sigma_\alpha^2 \end{aligned}$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\alpha^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\alpha^2 = \frac{MS_{C(AB)} - MS_E}{n}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } E(MS_{B(A)}) &= n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2 + \sigma_\epsilon^2 \\ E(MS_{B(A)}) - E(MS_{C(AB)}) &= (n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2 + \sigma_\epsilon^2) - (n\sigma_\alpha^2 + \sigma_\epsilon^2) \\ E(MS_{B(A)}) - E(MS_{C(AB)}) &= cn\sigma_\beta^2 \end{aligned}$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\beta^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\beta^2 = \frac{MS_{B(A)} - MS_{C(AB)}}{cn}$$

และ

$$\begin{aligned} E(MS_A) &= n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2 + bcn\sigma_\tau^2 + \sigma_\varepsilon^2 \\ E(MS_A) - E(MS_{B(A)}) &= (n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2 + bcn\sigma_\tau^2 + \sigma_\varepsilon^2) - (n\sigma_\alpha^2 + cn\sigma_\beta^2 + \sigma_\varepsilon^2) \\ E(MS_A) - E(MS_{B(A)}) &= bcn\sigma_\tau^2 \end{aligned}$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\tau^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\tau^2 = \frac{MS_A - MS_{B(A)}}{bcn}$$

ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_\tau^2 &= \frac{MS_A - MS_{B(A)}}{bcn} \\ \hat{\sigma}_\beta^2 &= \frac{MS_{B(A)} - MS_{C(AB)}}{cn} \\ \hat{\sigma}_\alpha^2 &= \frac{MS_{C(AB)} - MS_E}{n} \\ \hat{\sigma}_\varepsilon^2 &= MS_E \end{aligned}$$

ในอีกแนวทางหนึ่งสามารถคำนวณที่ระดับชั้นจะได้ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน เช่นเดียวกับการคำนวณโดยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงได้ดังนี้

$$\text{จากตัวแบบ } Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \varepsilon_{ijkl} \quad \text{โดยที่ } \begin{aligned} i &= 1, \dots, a \\ j &= 1, \dots, b \\ k &= 1, \dots, c \\ l &= 1, \dots, n \end{aligned}$$

ระดับที่ 1

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{i\dots} &= \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \bar{\varepsilon}_{i\dots} \\ \tau_i &\sim N(0, \sigma_\tau^2) \\ \beta_{j(i)} &\sim N(0, \sigma_\beta^2) \\ \alpha_{k(i,j)} &\sim N(0, \sigma_\alpha^2) \\ \bar{\varepsilon}_{i\dots} &\sim N\left(0, \frac{\sigma_\varepsilon^2}{bcn}\right) \end{aligned}$$

$$E(\bar{y}_{i\dots}) = \mu$$

$$\text{Var}(\bar{y}_{i\dots}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{bcn}$$

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในระดับขั้นที่ 1

สาเหตุ	องศาอิสระ	ผลรวมกำลังสอง	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย	ค่าคาดหวังของผลรวมกำลังสองเฉลี่ย
ปัจจัยแรก	a-1	$bcn \sum_i (\bar{y}_{i...} - \bar{y}_{....})^2$	MS_A	$\sigma_A^2 + bcn \sigma_\tau^2$
ความคลาดเคลื่อน	a(b-1)	$cn \sum_i \sum_j (\bar{y}_{ij..} - \bar{y}_{i...})^2$	MS_{E_1}	σ_A^2
รวม	ab-1	$cn \sum_i \sum_j (\bar{y}_{ij..} - \bar{y}_{....})^2$		

ระดับที่ 2

$$\bar{Y}_{ij..} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \bar{\varepsilon}_{ij..}$$

$$\tau_i \sim N(0, \sigma_\tau^2)$$

$$\beta_{j(i)} \sim N(0, \sigma_\beta^2)$$

$$\alpha_{k(i,j)} \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$$

$$\bar{\varepsilon}_{ij..} \sim N\left(0, \frac{\sigma_\varepsilon^2}{cn}\right)$$

$$E(\bar{y}_{ij..}) = \mu$$

$$\text{Var}(\bar{y}_{ij..}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{cn}$$

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในระดับขั้นที่ 2

สาเหตุ	องศาอิสระ	ผลรวมกำลังสอง	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย	ค่าคาดหวังของผลรวมกำลังสองเฉลี่ย
ปัจจัยสอง	b-1	$cn \sum_i \sum_j (\bar{y}_{ij..} - \bar{y}_{i...})^2$	$MS_{B(A)}$	$\sigma_{B(A)}^2 + cn \sigma_\beta^2$
ความคลาดเคลื่อน	b(c-1)	$n \sum_i \sum_j \sum_k (\bar{y}_{ijk.} - \bar{y}_{ij..})^2$	MS_{E_2}	$\sigma_{B(A)}^2$
รวม	bc-1	$n \sum_i \sum_j \sum_k (\bar{y}_{ijk.} - \bar{y}_{i...})^2$		

ระดับที่ 3

$$\bar{Y}_{ijk.} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \alpha_{k(ij)} + \bar{\varepsilon}_{ijk.}$$

$$\tau_i \sim N(0, \sigma_\tau^2)$$

$$\beta_{j(i)} \sim N(0, \sigma_\beta^2)$$

$$\alpha_{k(i,j)} \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$$

$$\bar{\varepsilon}_{ijk.} \sim N\left(0, \frac{\sigma_\varepsilon^2}{n}\right)$$

$$E(\bar{y}_{ijk.}) = \mu$$

$$Var(\bar{y}_{ijk.}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{n}$$

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในระดับขั้นที่ 3

สาเหตุ	องศาอิสระ	ผลรวมกำลังสอง	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย	ค่าคาดหวังของผลรวมกำลังสองเฉลี่ย
ปัจจัยสาม	c-1	$n \sum_i \sum_j \sum_k (\bar{y}_{ijk.} - \bar{y}_{ij..})^2$	$MS_{C(AB)}$	$\sigma_\varepsilon^2 + n\sigma_\alpha^2$
ความคลาดเคลื่อน	n(c-1)	$\sum_i \sum_j \sum_k (y_{ijkl} - \bar{y}_{ijk.})^2$	MS_{E_3}	σ_ε^2
รวม	cn-1	$\sum_i \sum_j \sum_k (y_{ijkl} - \bar{y}_{ij..})^2$		

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับขั้นข้างต้น สามารถใช้หลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน แสดงได้ดังนี้

ระดับที่ 1 ให้ A เป็น ปัจจัยแรก

$$E(MS_{E_1}) = \sigma_A^2$$

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_A^2 คือ $\hat{\sigma}_A^2 = MS_{E_1}$

$$E(MS_A) = bcn\sigma_\tau^2 + \sigma_A^2$$

$$E(MS_A) - E(MS_{E_1}) = (bcn\sigma_\tau^2 + \sigma_A^2) - \sigma_A^2$$

$$E(MS_A) - E(MS_{E_1}) = bcn\sigma_\tau^2$$

ค่าประมาณแบบจุดของ σ_τ^2 คือ $\hat{\sigma}_\tau^2 = \frac{MS_A - MS_{E_1}}{bcn}$

ระดับที่ 2 ให้ B(A) เป็น ปัจจัยที่สอง

$$E(MS_{E_2}) = \sigma_{B(A)}^2$$

ค่าประมาณแบบจุดของ $\sigma_{B(A)}^2$ คือ $\hat{\sigma}_{B(A)}^2 = MS_{E_2}$

$$E(MS_{B(A)}) = cn\sigma_\beta^2 + \sigma_{B(A)}^2$$

$$E(MS_{B(A)}) - E(MS_{E_2}) = (cn\sigma_\beta^2 + \sigma_{B(A)}^2) - \sigma_{B(A)}^2$$

$$E(MS_{B(A)}) - E(MS_{E_2}) = cn\sigma_\beta^2$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\beta^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\beta^2 = \frac{MS_{B(A)} - MS_{E_2}}{cn}$$

ระดับที่ 3 ให้ C(AB) เป็น ปัจจัยที่สาม

$$E(MS_{E_3}) = \sigma_\varepsilon^2$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\varepsilon^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\varepsilon^2 = MS_{E_3}$$

$$E(MS_{C(AB)}) = n\sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

$$E(MS_{C(AB)}) - E(MS_{E_3}) = (n\sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2) - \sigma_\varepsilon^2$$

$$E(MS_{C(AB)}) - E(MS_{E_3}) = n\sigma_\alpha^2$$

$$\text{ค่าประมาณแบบจุดของ } \sigma_\alpha^2 \text{ คือ } \hat{\sigma}_\alpha^2 = \frac{MS_{C(AB)} - MS_{E_3}}{n}$$

ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนของการคำนวณที่ละระดับชั้น คือ

$$\hat{\sigma}_\tau^2 = \frac{MS_A - MS_{E_1}}{bcn}$$

$$\hat{\sigma}_\beta^2 = \frac{MS_{B(A)} - MS_{E_2}}{cn}$$

$$\hat{\sigma}_\alpha^2 = \frac{MS_{C(AB)} - MS_{E_3}}{n}$$

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = MS_E$$

โดยที่ MS_{E_1} คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 1

MS_{E_2} คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 2

MS_{E_3} คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 3

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนของวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยการคำนวณจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนและการคำนวณที่ระดับชั้น

สาเหตุ	การคำนวณจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน	การคำนวณที่ระดับชั้น
ปัจจัยแรก A	$\sigma_{\tau}^2 = \frac{MS_A - MS_{B(A)}}{bcn}$	$\sigma_{\tau}^2 = \frac{MS_A - MS_{E_1}}{bcn}$
ปัจจัยสอง B(A)	$\sigma_{\beta}^2 = \frac{MS_{B(A)} - MS_{C(AB)}}{cn}$	$\sigma_{\beta}^2 = \frac{MS_{B(A)} - MS_{E_2}}{cn}$
ปัจจัยสาม C(AB)	$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{MS_{C(AB)} - MS_E}{n}$	$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{MS_{C(AB)} - MS_{E_3}}{n}$
ความคลาดเคลื่อน	$\sigma_{\epsilon}^2 = MS_E$	$\sigma_{\epsilon}^2 = MS_E$

2.2 การประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีประมาณสามลำดับชั้น

เป็นวิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่ Fred C. Leone และ Lloyd S. Nelson ทำการศึกษาจนได้รูปแบบทั่วไปของแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น ซึ่งมีการถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนปัจจัยทั้งหมดในแต่ละระดับชั้นของแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น จะได้รูปแบบทั่วไปของค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนในแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น คือ

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{a * b * c} (\text{mean square for stage 1} - \text{mean square for stage 2})$$

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{1}{a * b} (\text{mean square for stage 2} - \text{mean square for stage 3})$$

$$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{1}{a} (\text{mean square for stage 3} - \text{mean square for stage 4})$$

$$\sigma_{\epsilon}^2 = MS_E$$

ในการวิจัยครั้งนี้ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีประมาณสามลำดับชั้น คือ

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{a * b * c} (MS_A - MS_{B(A)})$$

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{1}{a * b} (MS_{B(A)} - MS_{C(AB)})$$

$$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{1}{a} (MS_{C(AB)} - MS_E)$$

$$\sigma_{\epsilon}^2 = MS_E$$

โดยที่	MS_A	คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 1
	$MS_{B(A)}$	คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 2
	$MS_{C(AB)}$	คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 3
	MS_E	คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยในระดับที่ 4
	$a * b * c$	คือ จำนวนปัจจัยทั้งหมดในระดับชั้นที่ 3
	$a * b$	คือ จำนวนปัจจัยทั้งหมดในระดับชั้นที่ 2
	a	คือ จำนวนปัจจัยทั้งหมดในระดับชั้นที่ 1

จากค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนดังกล่าว จะเห็นได้ว่ามีโอกาสที่ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนเกิดค่าติดลบได้ ซึ่งจะทำได้ตัวประมาณที่ไม่ดีเท่าที่ควร จาก Montgomery² ได้เสนอให้ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่ติดลบมีค่าเป็นศูนย์หรือตัดค่าประมาณนั้นออก ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกให้ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่ติดลบมีค่าเป็นศูนย์

2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณ

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนทั้ง 2 วิธี คือ การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าแบบจุดขององค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับตัวแบบเชิงชั้นสามชั้นโดยการเปรียบเทียบขนาดเวกเตอร์ขององค์ประกอบความแปรปรวนระหว่างค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่ศึกษากับค่าจริงขององค์ประกอบความแปรปรวน ซึ่งเรียกเกณฑ์นี้ว่า ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย (Euclidean Distance) โดยสมมติว่า องค์ประกอบความแปรปรวนแต่ละตัวเป็นอิสระซึ่งกันและกัน มีหลักการดังนี้

กำหนดให้

θ เป็นเวกเตอร์ค่าจริงขององค์ประกอบความแปรปรวน

$\hat{\theta}_{\sim A}$ เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวนวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน

$\hat{\theta}_{\sim T}$ เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวนวิธีประมาณสามลำดับชั้น

² Montgomery, D.C.(1996) Design and Analysis of Experiments. 4th ed. New York : John Wiley & Sons, 474.

$$\underset{\sim}{\theta} = \begin{bmatrix} \sigma_{\tau}^2 \\ \sigma_{\beta}^2 \\ \sigma_{\alpha}^2 \\ \sigma_{\varepsilon}^2 \end{bmatrix}, \quad \underset{\sim}{\hat{\theta}}_{\sim A} = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{\tau_A}^2 \\ \hat{\sigma}_{\beta_A}^2 \\ \hat{\sigma}_{\alpha_A}^2 \\ \hat{\sigma}_{\varepsilon_A}^2 \end{bmatrix}, \quad \underset{\sim}{\hat{\theta}}_{\sim T} = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{\tau_T}^2 \\ \hat{\sigma}_{\beta_T}^2 \\ \hat{\sigma}_{\alpha_T}^2 \\ \hat{\sigma}_{\varepsilon_T}^2 \end{bmatrix}$$

ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยจากการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ

$$\overline{EuA} = \frac{\sum_{i=1}^m \|\underset{\sim}{\hat{\theta}}_{\sim A} - \underset{\sim}{\theta}\|}{N} = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{(\hat{\sigma}_{\tau_A}^2 - \sigma_{\tau}^2) + (\hat{\sigma}_{\beta_A}^2 - \sigma_{\beta}^2) + (\hat{\sigma}_{\alpha_A}^2 - \sigma_{\alpha}^2) + (\hat{\sigma}_{\varepsilon_A}^2 - \sigma_{\varepsilon}^2)}}{N}$$

ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยจากการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีประมาณสามลำดับชั้น คือ

$$\overline{EuT} = \frac{\sum_{i=1}^m \|\underset{\sim}{\hat{\theta}}_{\sim T} - \underset{\sim}{\theta}\|}{N} = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{(\hat{\sigma}_{\tau_T}^2 - \sigma_{\tau}^2) + (\hat{\sigma}_{\beta_T}^2 - \sigma_{\beta}^2) + (\hat{\sigma}_{\alpha_T}^2 - \sigma_{\alpha}^2) + (\hat{\sigma}_{\varepsilon_T}^2 - \sigma_{\varepsilon}^2)}}{N}$$

โดยที่ i คือ ค่าเริ่มต้นในการหาค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย

N คือ จำนวนรอบที่ทำให้ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีคู่เข้าสู่ค่าคงที่

ดังนั้น ถ้าวิธีการประมาณใดให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณที่เหมาะสม คือ ค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวนโดยรวมที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่าจริงขององค์ประกอบความแปรปรวน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น 2 วิธี คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้น เพื่อศึกษาว่าวิธีประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนใดจะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของพารามิเตอร์มากกว่ากัน ซึ่งรายละเอียดของวิธีการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนทั้ง 2 วิธี ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการวิจัยโดยขั้นตอนแรก คือ การสร้างรูปแบบการแจกแจงของประชากรแบบปกติ ชั้นที่สอง คำนวณหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน และขั้นตอนสุดท้ายเปรียบเทียบค่าประมาณโดยการคำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ย

3.1 แผนการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้นสามชั้นด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีประมาณสามลำดับชั้น โดยโปรแกรมภาษา S-plus 2000 และประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) มีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 ทำการทดลองกับแผนแบบเชิงชั้นสามชั้น กรณีข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในแบบจำลองเชิงสุ่มที่มีลักษณะสมดุลง

3.1.2 ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองของแต่ละวิธีการทดลองเป็น 2, 3 และ 4

3.1.3 กำหนดให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation : CV) 10%, 50% และ 90% สำหรับค่าเฉลี่ยของประชากร μ เท่ากับ 40 และความแปรปรวน σ^2 เท่ากับ 16, 400 และ 1296 ตามลำดับ

3.1.4 กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

3.1.5 กำหนดให้ ค่าความแปรปรวนของปัจจัยแรก เท่ากับ ค่าความแปรปรวนที่สอง เท่ากับ ค่าความแปรปรวนที่สาม เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคูณกับค่าคงที่จำนวนเต็ม (h) นั่นคือ $\sigma_\tau^2 = \sigma_\beta^2 = \sigma_\alpha^2 = h\sigma_\epsilon^2$ โดยที่ h เป็นค่าจำนวนเต็มคงที่ เท่ากับ 1, 2 และ 3

3.1.6 ทำการจำลองข้อมูล Y_{ijkl} ที่สุ่มมาจากแต่ละประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 คือ ฟังก์ชัน mnorm (n, mean, sd)

เมื่อ	n	คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ
	Mean	คือ ค่าเฉลี่ยประชากร (μ)
	sd	คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

และทำการทดลองจนกระทั่งตัวเลขสุ่มเข้าสู่ค่าคงที่ในแต่ละสถานการณ์ทดลอง

3.2 การสร้างรูปแบบการแจกแจงของประชากรแบบปกติ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสร้างข้อมูลจากการแจกแจงของประชากรแบบปกติ ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) โดยฟังก์ชันที่มีอยู่ในโปรแกรมสำเร็จรูป S-plus 2000 คือฟังก์ชัน rnorm (n, mean, sd) สร้างโดย Kinderman และ Monahan³ ซึ่งทำการสร้างข้อมูลด้วยการผลิตเลขสุ่ม (Random Number) ที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอ (Uniform distribution) ในช่วง (0,1) เป็นพื้นฐานในการสร้างเลขสุ่ม โดยเลขสุ่มที่ได้จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. ตัวเลขที่ได้มีการกระจายความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอและเป็นอิสระซึ่งกันและกัน
2. อนุกรมของตัวเลขที่ได้สามารถสร้างซ้ำเดิมได้ (Reproducible)
3. อนุกรมของตัวเลขไม่ซ้ำเดิมในช่วงที่ต้องการใช้ตัวเลขแบบสุ่ม
4. ใช้เวลาสั้นในการสร้างตัวเลขแบบสุ่ม
5. ใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์น้อย

3.3 คำนวณหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน

เมื่อสร้างข้อมูล y_{ijkl} ให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้นแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยกำลังสอง ซึ่งเป็นสาเหตุของความแปรปรวน เพื่อนำไปคำนวณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีประมาณสามลำดับชั้น ได้ดังนี้

3.3.1 วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนมีค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน คือ

$$\hat{\sigma}_\tau^2 = \frac{MS_A - MS_{B(A)}}{bcn}$$

$$\hat{\sigma}_\beta^2 = \frac{MS_{B(A)} - MS_{C(AB)}}{cn}$$

$$\hat{\sigma}_\alpha^2 = \frac{MS_{C(AB)} - MS_E}{n}$$

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2 = MS_E$$

³ 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.

3.3.2 วิธีประมาณสามลำดับชั้น มีค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน คือ

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{a * b * c} (MS_A - MS_{B(A)})$$

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{1}{a * b} (MS_{B(A)} - MS_{C(AB)})$$

$$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{1}{a} (MS_{C(AB)} - MS_E)$$

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = MS_E$$

3.4 คำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ย

การคำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน แสดงได้ดังนี้

ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ

$$\overline{EuA} = \frac{\sum_{i=1}^m \|\hat{\theta}_{\sim A} - \theta\|}{N} = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{(\sigma_{\tau_A}^2 - \sigma_{\tau}^2) + (\sigma_{\beta_A}^2 - \sigma_{\beta}^2) + (\sigma_{\alpha_A}^2 - \sigma_{\alpha}^2) + (\sigma_{\varepsilon_A}^2 - \sigma_{\varepsilon}^2)}}{N}$$

ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยโดยวิธีประมาณสามลำดับชั้น คือ

$$\overline{EuT} = \frac{\sum_{i=1}^m \|\hat{\theta}_{\sim T} - \theta\|}{N} = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{(\sigma_{\tau_T}^2 - \sigma_{\tau}^2) + (\sigma_{\beta_T}^2 - \sigma_{\beta}^2) + (\sigma_{\alpha_T}^2 - \sigma_{\alpha}^2) + (\sigma_{\varepsilon_T}^2 - \sigma_{\varepsilon}^2)}}{N}$$

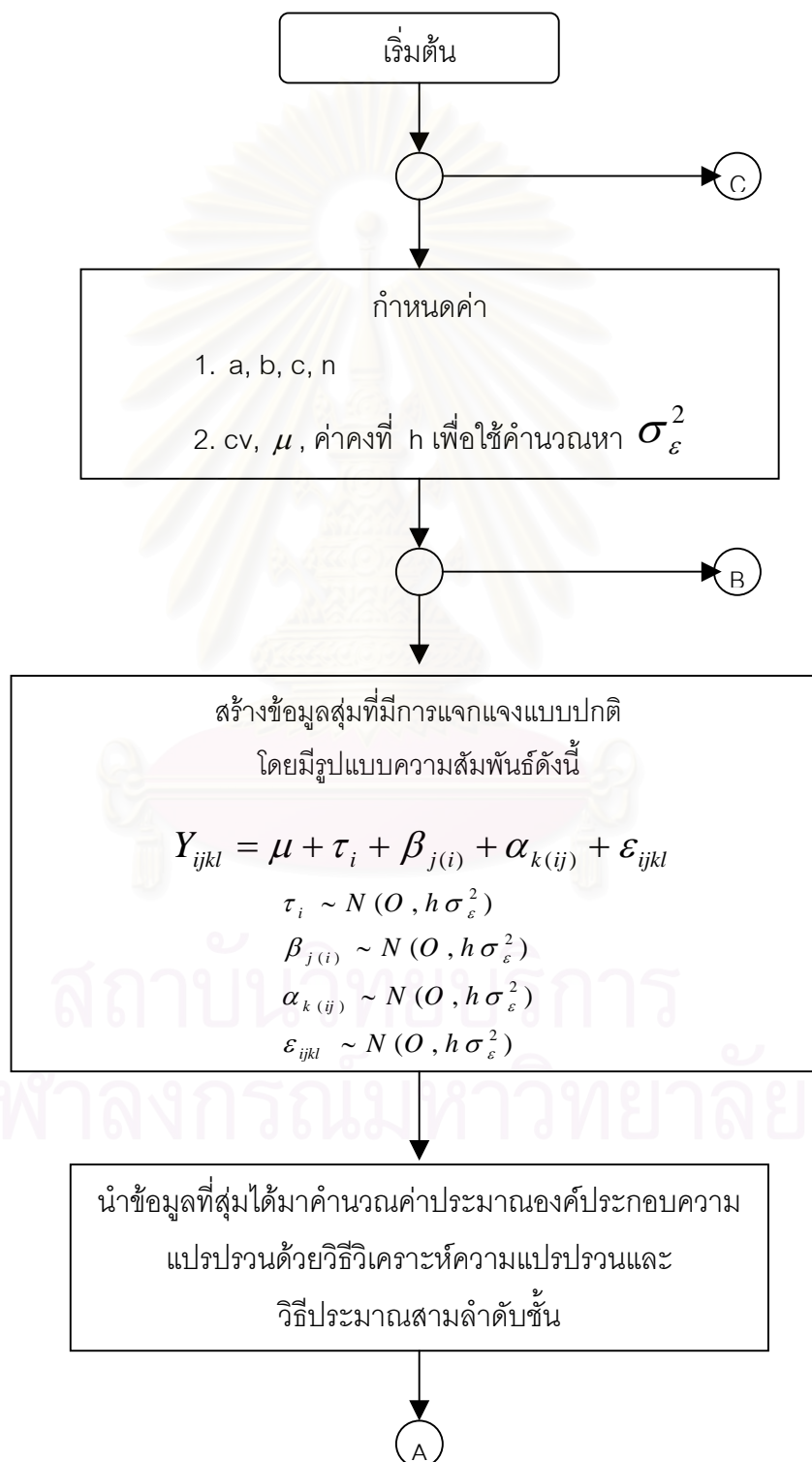
ดังนั้น ถ้าวิธีใดให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม

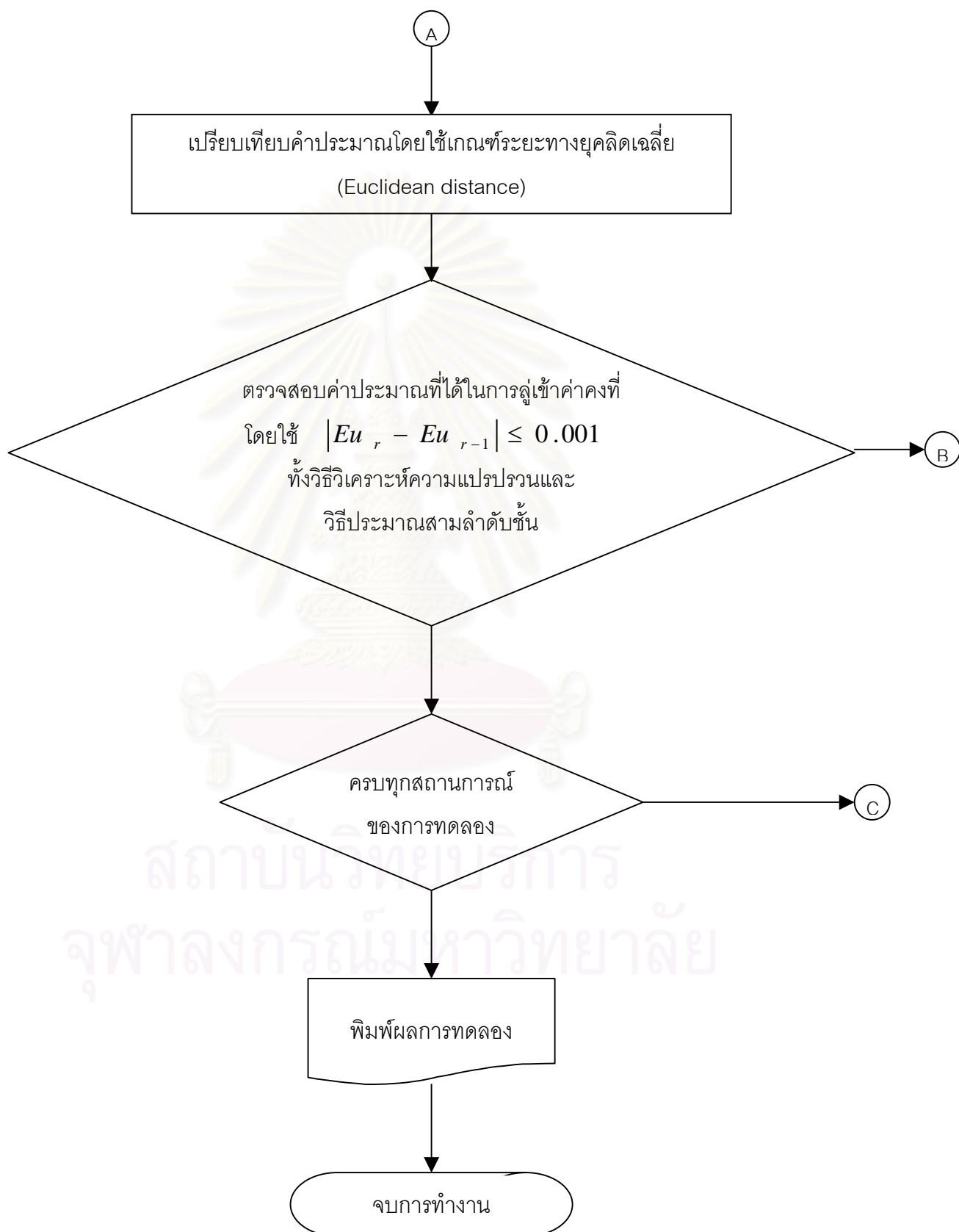
สงวนลิขสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม

จากแผนการดำเนินงานข้างต้น สามารถเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน





บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับแผนแบบเชิงชั้นสามชั้นเชิงสุ่ม 2 วิธี คือ วิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้น โดยใช้ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวน กล่าวคือ ถ้าวิธีการประมาณแบบใดให้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งแสดงได้ว่า ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่าจริงขององค์ประกอบความแปรปรวนนั้น

จากการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธีแบบจับคู่ (Paired Samples T-Test) ซึ่งจากการทดลองพิจารณา 4 กรณี ดังนี้ คือ

- 1) ที่ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h เพิ่มขึ้น
- 2) ที่ระดับค่าคงที่หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเพิ่มขึ้น
- 3) ที่ระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันหนึ่งๆ เมื่อค่าคงที่ h มีค่าเพิ่มขึ้น
- 4) ที่ระดับปัจจัยคงที่แต่ขนาดหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h หนึ่งๆ

กรณีที่ 1 ที่ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h เพิ่มขึ้น

แสดงกรณีตัวอย่าง คือ ตารางที่ 4.1 เป็นสถานการณ์ทดลองที่ $a=2$, $b=2$, $c=2$, $n=3$ พิจารณาตามเกณฑ์ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย คือ วิธีการประมาณใดให้ค่าระยะทางยูคลิดต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณที่ดีกว่า โดยการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีแบบจับคู่ จะได้ค่า $t\text{-test} = 3.704$ และ ค่า $\text{Sig. (2-tailed)} = 0.006$ ซึ่งปฏิเสธสมมติฐานหลัก อธิบายได้ว่า ค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสอง วิธีมีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในส่วนรายละเอียดสถานการณ์อื่นๆ แสดงในตารางที่ 4.9 – 4.88 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ $a=2, b=2, c=2, n=3$

ค่าความแปรปรวน	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าคู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีการประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	80	59.67508	59.72237	3.704	0.006*
		2	112	56.28881	56.29732		
		3	203	59.95829	59.96675		
400	50	1	273	176.7148	176.1793		
		2	244	205.102	204.5891		
		3	341	215.349	214.7713		
1296	90	1	424	616.9161	616.4423		
		2	327	708.874	708.4554		
		3	438	746.5982	746.0721		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

จากทั้ง 81 สถานการณ์ทดลองมีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1. มีสถานการณ์ทดลอง 11 สถานการณ์ ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้ เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยของทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากัน
2. มีสถานการณ์ทดลอง 20 สถานการณ์ ได้ค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
3. มีสถานการณ์ทดลอง 50 สถานการณ์ ได้ค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีมีค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้
 - 3.1 มีสถานการณ์ทดลอง 26 สถานการณ์ทดลอง ได้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนต่ำกว่าค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยของวิธีประมาณสามลำดับชั้น
 - 3.2 มีสถานการณ์ทดลอง 24 สถานการณ์ทดลอง ได้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยของวิธีประมาณสามลำดับชั้นต่ำกว่าค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน

กรณีที่ 2 ณ ระดับค่าคงที่หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเพิ่มขึ้น

ได้นำเสนอตารางที่ 4.2-4.4 มีผลการวิเคราะห์ ดังนี้ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 10%, 50% และ 90% ที่ค่าคงที่ $h=1, h=2$ และ $h=3$ จากทั้ง 3 สถานการณ์ทดลองมีผลการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของระยะทางยุคคิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีแบบจับคู่ คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก อธิบายได้ว่า ค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีมีค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระยะทางยุคคิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้น เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 1$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=2, c=2, n=2	14.22	14.22	191.26	191.26	638.97	638.97
a=2, b=2, c=2, n=3	59.68	59.72	176.71	176.18	616.92	616.44
a=2, b=2, c=2, n=4	137.42	137.46	181.06	180.15	589.73	588.7
a=2, b=2, c=3, n=2	35.39	35.39	180.83	180.83	625.86	625.85
a=2, b=2, c=3, n=3	140.39	140.42	183.82	183.37	589.57	589.07
a=2, b=2, c=3, n=4	314.72	314.74	284.63	284.2	565.5	564.71
a=2, b=2, c=4, n=2	68.4	68.4	166.67	166.67	605.3	605.3
a=2, b=2, c=4, n=3	249.87	250.01	236.55	236.07	567.16	566.57
a=2, b=2, c=4, n=4	569.83	569.84	509.2	508.93	621.48	620.8
a=2, b=3, c=2, n=2	32.54	32.44	182.25	182.69	628.04	628.44
a=2, b=3, c=2, n=3	137.49	137.49	181.14	180.88	589.62	589.38
a=2, b=3, c=2, n=4	318.51	318.54	289.68	289.14	565.52	564.82
a=2, b=3, c=3, n=2	82.87	82.87	167.37	167.37	602.96	602.96
a=2, b=3, c=3, n=3	320.06	320.1	286.65	286.38	565.23	564.79
a=2, b=3, c=3, n=4	731.54	731.54	668.76	668.63	704.47	703.9
a=2, b=3, c=4, n=2	155.4	155.4	162.52	162.51	564.39	564.39
a=2, b=3, c=4, n=3	580.22	580.3	511.75	511.62	621.75	621.23
a=2, b=3, c=4, n=4	1285.09	1285.09	1226.24	1226.19	1138.46	1138.23
a=2, b=4, c=2, n=2	61.34	60.96	172.67	174.29	614.12	615.69
a=2, b=4, c=2, n=3	251.62	251.56	237.38	237.88	564.69	565.48
a=2, b=4, c=2, n=4	573.72	573.72	504.17	504.1	616.5	616.26
a=2, b=4, c=3, n=2	146.01	146.01	170.82	170.91	574.61	574.67
a=2, b=4, c=3, n=3	567.09	567.12	516.09	516.03	623	622.76

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยุคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 1$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=4, c=3, n=4	1289.81	1289.81	1206.6	1206.54	1131.41	1131.21
a=2, b=4, c=4, n=2	273.6	273.6	224.08	224.08	527.02	527.02
a=2, b=4, c=4, n=3	1018.57	1018.61	943.11	943.06	916.53	916.29
a=2, b=4, c=4, n=4	2300.18	2300.18	2225.43	2225.41	2042.97	2042.91
a=3, b=2, c=2, n=2	14.53	14.59	191.35	191.79	639.17	639.6
a=3, b=2, c=2, n=3	61.65	61.65	176.72	176.72	617.98	617.98
a=3, b=2, c=2, n=4	140.71	140.71	181.82	181.55	588.92	588.59
a=3, b=2, c=3, n=2	34.89	33.92	180.74	182.04	626.38	627.83
a=3, b=2, c=3, n=3	135.19	135.19	181.6	181.59	590.66	590.66
a=3, b=2, c=3, n=4	320.44	320.44	286.34	286.17	564.16	563.96
a=3, b=2, c=4, n=2	66.44	62.6	166.27	169.66	606.58	610.44
a=3, b=2, c=4, n=3	253.45	253.45	239.35	239.35	566.19	566.19
a=3, b=2, c=4, n=4	571.87	571.87	500.61	500.54	617.63	617.4
a=3, b=3, c=2, n=2	32.61	32.41	182.52	183.54	628.89	629.77
a=3, b=3, c=2, n=3	139.17	139.15	180.29	180.68	587.7	588.1
a=3, b=3, c=2, n=4	325.91	325.9	283.97	284.01	563.47	563.49
a=3, b=3, c=3, n=2	79.99	77.71	167.95	170.21	603.37	606.1
a=3, b=3, c=3, n=3	319.83	319.83	284.6	284.6	563.76	563.76
a=3, b=3, c=3, n=4	731.9	731.9	658.77	658.74	705.57	705.49
a=3, b=3, c=4, n=2	152.67	145.35	162.67	166.67	565.19	572.9
a=3, b=3, c=4, n=3	571.19	571.19	506.02	506.02	619.16	619.16
a=3, b=3, c=4, n=4	1298.35	1298.35	1208.18	1208.17	1128.45	1128.4
a=3, b=4, c=2, n=2	60.38	59.91	173.35	175.79	614.86	617.11
a=3, b=4, c=2, n=3	252.7	252.64	234.21	235.39	564	565.66
a=3, b=4, c=2, n=4	576.34	576.31	505.88	506.2	614.55	615.52
a=3, b=4, c=3, n=2	144.02	141.19	169.18	172.39	576.28	580.94
a=3, b=4, c=3, n=3	567.8	567.8	498.57	498.58	620.59	620.64
a=3, b=4, c=3, n=4	1302.87	1302.87	1194.71	1194.7	1134.26	1134.24
a=3, b=4, c=4, n=2	274.46	263.81	219.81	219.79	524.87	537.35

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 1$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=3, b=4, c=4, n=3	1007.72	1007.72	936.57	936.57	899.2	899.2
a=3, b=4, c=4, n=4	2304.99	2304.99	2208.98	2208.98	2052.3	2052.29
a=4, b=2, c=2, n=2	13.73	13.78	191.32	191.96	638.88	639.41
a=4, b=2, c=2, n=3	60.6	60.62	177.12	177.32	617.72	617.9
a=4, b=2, c=2, n=4	140.6	140.6	180.05	180.05	589.36	589.36
a=4, b=2, c=3, n=2	701.29	702.73	180.65	182.74	626.77	629.02
a=4, b=2, c=3, n=3	141.52	141.52	180	180.18	589.48	589.66
a=4, b=2, c=3, n=4	322.76	322.76	280.51	280.5	563.51	563.51
a=4, b=2, c=4, n=2	65.21	61.44	166.36	171.62	606.61	612.46
a=4, b=2, c=4, n=3	254.5	254.5	235.02	235.19	565.98	566.15
a=4, b=2, c=4, n=4	570.6	570.6	501.92	501.92	620.39	620.39
a=4, b=3, c=2, n=2	31.7	31.63	183.38	184.41	628.64	629.64
a=4, b=3, c=2, n=3	141.06	141.06	179.61	180.19	587.31	587.92
a=4, b=3, c=2, n=4	318.43	318.43	277.72	277.96	561.97	562.33
a=4, b=3, c=3, n=2	80.36	78.47	166.78	170.76	603.06	606.96
a=4, b=3, c=3, n=3	317.55	317.55	282.92	282.96	563.42	563.49
a=4, b=3, c=3, n=4	727.54	727.54	653.13	653.13	698.37	698.37
a=4, b=3, c=4, n=2	150.44	142	161.04	168.54	564.29	576.56
a=4, b=3, c=4, n=3	565.14	565.13	507.12	507.14	619.31	619.37
a=4, b=3, c=4, n=4	1288.09	1288.09	1201	1201	1126.08	1126.08
a=4, b=4, c=2, n=2	60.54	60.18	173.95	176.36	615.23	617.75
a=4, b=4, c=2, n=3	254.2	254.16	234.2	235.61	563.26	565.39
a=4, b=4, c=2, n=4	575.18	575.16	507	507.49	618.65	620.08
a=4, b=4, c=3, n=2	145.98	142.47	167.59	173.07	576.23	583
a=4, b=4, c=3, n=3	565.03	565.03	506.75	506.76	627.1	627.16
a=4, b=4, c=3, n=4	1290.82	1290.82	1206.85	1206.85	1123.86	1123.87
a=4, b=4, c=4, n=2	272.51	258.48	1206.85	1206.85	522.43	542.82
a=4, b=4, c=4, n=3	1021.85	1021.85	943.27	943.28	922.23	922.24
a=4, b=4, c=4, n=4	2292.72	2292.72	2201.42	2201.42	2056.79	2056.79
t-test	-2.081					
Sig(2-tailed)	0.038 [*]					

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.3

การเปรียบเทียบระยะเวลาทางยุคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสาม
ลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 2$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=2, c=2, n=2	13.97	13.97	218.15	218.15	731.49	731.49
a=2, b=2, c=2, n=3	56.29	56.3	205.1	204.59	708.87	708.46
a=2, b=2, c=2, n=4	134.62	134.71	203.09	202.15	679.79	678.82
a=2, b=2, c=3, n=2	34.71	34.71	208.2	208.19	718.11	718.1
a=2, b=2, c=3, n=3	141.51	141.54	201.78	201.14	678.52	678.02
a=2, b=2, c=3, n=4	328.54	328.55	290.06	289.52	647.15	646.41
a=2, b=2, c=4, n=2	67.23	67.23	193.62	193.61	698.73	698.73
a=2, b=2, c=4, n=3	247.84	247.9	245.1	244.52	653.36	652.56
a=2, b=2, c=4, n=4	569.02	569.03	497.67	497.33	682.07	681.38
a=2, b=3, c=2, n=2	30.24	30.14	210.05	210.49	720	720.36
a=2, b=3, c=2, n=3	141.29	141.3	202.11	201.91	679.67	679.5
a=2, b=3, c=2, n=4	323.03	323.05	296.02	295.46	646.25	645.38
a=2, b=3, c=3, n=2	79.46	79.46	192.77	192.77	694.22	694.22
a=2, b=3, c=3, n=3	327.74	327.77	296.89	296.66	646.65	646.19
a=2, b=3, c=3, n=4	725.14	725.15	644.29	644.09	744.92	744.52
a=2, b=3, c=4, n=2	154.86	154.86	181.95	181.94	612.53	612.53
a=2, b=3, c=4, n=3	567.18	567.31	496.37	496.15	910.79	910.35
a=2, b=3, c=4, n=4	1258.66	1258.66	1210.73	1210.66	2039.32	2039.24
a=2, b=4, c=2, n=2	61.09	60.69	199.57	201.22	705.23	706.81
a=2, b=4, c=2, n=3	255.28	255.22	247.28	247.83	650.82	651.57
a=2, b=4, c=2, n=4	569.19	569.19	505.12	505.01	679.24	679.07
a=2, b=4, c=3, n=2	149.39	149.38	190.52	190.6	665.05	665.14
a=2, b=4, c=3, n=3	576.18	576.21	508.64	508.58	681.8	681.54
a=2, b=4, c=3, n=4	1296.95	1296.95	1202.83	1202.77	1128.8	1128.51
a=2, b=4, c=4, n=2	277.81	277.81	227.88	227.88	612.53	612.53
a=2, b=4, c=4, n=3	1037.43	1037.49	931.16	931.1	910.79	910.35
a=2, b=4, c=4, n=4	2311.91	2311.91	2198.48	2198.46	2039.32	2039.24

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยุคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 2$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=3, b=2, c=2, n=2	14.24	14.28	219.63	220.07	731.36	731.84
a=3, b=2, c=2, n=3	61.67	61.67	203.94	203.94	710.99	710.99
a=3, b=2, c=2, n=4	136.2	136.2	201.18	200.87	680.29	680.05
a=3, b=2, c=3, n=2	33.68	32.79	207.98	209.5	719.29	720.81
a=3, b=2, c=3, n=3	136.7	136.7	202.79	202.79	678.38	678.38
a=3, b=2, c=3, n=4	318.6	318.6	291.06	290.9	645.14	644.88
a=3, b=2, c=4, n=2	66.77	63.24	192.55	196.3	699.76	703.66
a=3, b=2, c=4, n=3	243.78	243.78	247.54	247.54	652.73	652.73
a=3, b=2, c=4, n=4	561.85	561.85	507.05	506.96	681.31	681.1
a=3, b=3, c=2, n=2	36.74	36.73	210.92	211.92	721.07	722.04
a=3, b=3, c=2, n=3	143.17	143.16	201.18	201.47	678.85	679.23
a=3, b=3, c=2, n=4	323.15	323.14	289.42	289.45	644.24	644.28
a=3, b=3, c=3, n=2	80	78.13	193.33	195.88	694.8	697.57
a=3, b=3, c=3, n=3	317.32	317.32	285.19	285.19	645.03	645.03
a=3, b=3, c=3, n=4	724.57	724.57	648.35	648.32	741.47	741.37
a=3, b=3, c=4, n=2	151.24	143.97	180.91	185.99	655.3	663.1
a=3, b=3, c=4, n=3	573.81	573.81	510.04	510.04	679.39	679.39
a=3, b=3, c=4, n=4	1289.59	1289.59	1196.73	1196.71	1130.09	1130.04
a=3, b=4, c=2, n=2	60.34	59.91	200.82	203.04	706.69	709.12
a=3, b=4, c=2, n=3	255.23	255.14	244.02	245.43	649.51	651.17
a=3, b=4, c=2, n=4	570.95	570.93	503.11	503.53	674.14	675.17
a=3, b=4, c=3, n=2	144.91	142.35	188.27	192.23	665.85	670.54
a=3, b=4, c=3, n=3	573.91	573.91	507.2	507.22	678.37	678.4
a=3, b=4, c=3, n=4	1282.13	1282.13	1187.4	1187.39	1126.12	1126.12
a=3, b=4, c=4, n=2	271.9	260.5	224.79	226.2	608.51	621.69
a=3, b=4, c=4, n=3	1015.15	1015.15	934.42	934.42	916.65	916.65
a=3, b=4, c=4, n=4	2289.27	2289.27	2207.52	2207.52	2040.51	2040.5

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 2$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=4, b=2, c=2, n=2	13.76	13.93	219.75	220.37	731.47	732.13
a=4, b=2, c=2, n=3	59.05	59.06	204.41	204.58	710.49	710.69
a=4, b=2, c=2, n=4	141.16	141.16	200.72	200.72	680.1	680.1
a=4, b=2, c=3, n=2	33.71	32.73	208.56	210.75	719.04	721.23
a=4, b=2, c=3, n=3	136.79	136.8	202.72	202.9	680.28	680.46
a=4, b=2, c=3, n=4	317.65	317.65	291.81	291.81	644.12	644.12
a=4, b=2, c=4, n=2	65.45	61.32	192.7	198.41	698.96	704.99
a=4, b=2, c=4, n=3	246.78	246.78	246.27	246.44	652.68	652.89
a=4, b=2, c=4, n=4	569.5	569.5	495.56	495.56	677.44	677.44
a=4, b=3, c=2, n=2	32	32.02	211.42	212.46	721.27	722.23
a=4, b=3, c=2, n=3	140.76	140.76	201.52	202.08	679.41	680.06
a=4, b=3, c=2, n=4	318.89	318.89	289.4	289.64	644.34	644.72
a=4, b=3, c=3, n=2	80.29	78.23	194.64	197.92	694.89	699.11
a=4, b=3, c=3, n=3	320.77	320.78	289.78	289.84	644.65	644.74
a=4, b=3, c=3, n=4	728.54	728.54	645.61	645.61	737.05	737.05
a=4, b=3, c=4, n=2	152.41	143.79	179.48	188.65	655.37	667.71
a=4, b=3, c=4, n=3	570.79	570.79	513.66	513.7	676.82	676.96
a=4, b=3, c=4, n=4	1294.12	1294.12	1202.91	1202.91	1126.36	1126.36
a=4, b=4, c=2, n=2	59.82	59.64	201.16	203.7	707.14	709.98
a=4, b=4, c=2, n=3	249.61	249.56	243.54	245.12	649.19	651.27
a=4, b=4, c=2, n=4	569.9	569.88	500.55	501.15	673.33	674.81
a=4, b=4, c=3, n=2	143.74	140.07	189.42	195.16	666.95	673.28
a=4, b=4, c=3, n=3	578.22	578.22	505.77	505.79	673.38	673.43
a=4, b=4, c=3, n=4	1295.72	1295.72	1196.89	1196.89	1130.73	1130.74
a=4, b=4, c=4, n=2	270.48	256.55	223.69	229.26	608.7	629.04
a=4, b=4, c=4, n=3	1017.99	1017.99	939.4	939.41	920.82	920.85
a=4, b=4, c=4, n=4	2317.55	2317.55	2186.14	2186.14	2054.27	2054.27
t-test	-2.275					
Sig(2-tailed)	0.024*					

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.4

การเปรียบเทียบระยะทางยุคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสาม
ลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 3$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=2, c=2, n=2	14.61	14.61	230.28	230.28	768.23	768.23
a=2, b=2, c=2, n=3	59.96	59.97	215.35	214.77	746.6	746.07
a=2, b=2, c=2, n=4	139.99	140.02	212.02	210.97	716.06	715.15
a=2, b=2, c=3, n=2	34.06	34.06	219.63	219.61	754.96	754.95
a=2, b=2, c=3, n=3	139.9	139.94	212.95	212.47	717.8	717.25
a=2, b=2, c=3, n=4	317.33	317.34	301.15	300.59	680.58	679.71
a=2, b=2, c=4, n=2	67.76	67.76	205	205	735.47	735.47
a=2, b=2, c=4, n=3	249.87	250.01	252.33	251.79	686.75	686.07
a=2, b=2, c=4, n=4	577.45	577.46	506.76	506.46	707.94	707.24
a=2, b=3, c=2, n=2	33.35	33.24	221.6	222	756.71	757.07
a=2, b=3, c=2, n=3	141.72	141.72	210.85	210.67	715.87	715.72
a=2, b=3, c=2, n=4	316.47	316.49	289.03	288.47	678.95	678.05
a=2, b=3, c=3, n=2	79.49	79.49	204.19	204.19	732.49	732.49
a=2, b=3, c=3, n=3	318.19	318.21	296.48	296.2	680.15	679.77
a=2, b=3, c=3, n=4	726.95	726.95	646.26	646.06	764.04	763.6
a=2, b=3, c=4, n=2	155.14	155.14	192.23	192.23	690.09	690.09
a=2, b=3, c=4, n=3	572.04	572.1	503.46	503.3	706.4	705.76
a=2, b=3, c=4, n=4	1305.96	1305.96	1197.7	1197.62	1136.45	1136.19
a=2, b=4, c=2, n=2	55.21	54.82	211.32	212.78	743.74	745.11
a=2, b=4, c=2, n=3	247.38	247.31	251.22	251.8	685.11	685.94
a=2, b=4, c=2, n=4	579.74	579.74	497.49	497.38	706.35	706.16
a=2, b=4, c=3, n=2	148.15	148.14	199.08	199.16	701.93	701.97
a=2, b=4, c=3, n=3	564.13	564.14	503.77	503.65	707.31	707.09
a=2, b=4, c=3, n=4	1262.93	1262.93	1185.45	1185.37	1132.2	1131.98
a=2, b=4, c=4, n=2	272.57	272.57	235.47	235.47	644.83	644.83
a=2, b=4, c=4, n=3	1010.91	1010.99	927.2	927.15	936.29	935.87
a=2, b=4, c=4, n=4	2308.73	2308.73	2218.11	2218.08	2024.76	2024.67

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะเวลาทางยุคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 3$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=3, b=2, c=2, n=2	14.35	14.46	230.64	231.14	768.65	769.05
a=3, b=2, c=2, n=3	59	59	214.6	214.6	746.59	746.59
a=3, b=2, c=2, n=4	142.03	142.03	210.81	210.51	716.27	715.97
a=3, b=2, c=3, n=2	33.42	32.47	219.94	221.47	755.27	756.85
a=3, b=2, c=3, n=3	138.57	138.57	211.21	211.21	714.82	714.82
a=3, b=2, c=3, n=4	325.85	325.85	294.43	294.26	678.84	678.59
a=3, b=2, c=4, n=2	64.09	60.88	204.3	207.76	735.78	739.66
a=3, b=2, c=4, n=3	252.62	252.62	250.19	250.19	686.99	686.99
a=3, b=2, c=4, n=4	568.94	568.94	495.63	495.55	702.7	702.47
a=3, b=3, c=2, n=2	32.21	32.11	221.95	222.92	758.43	759.46
a=3, b=3, c=2, n=3	145.62	145.61	210.46	210.84	717.52	717.88
a=3, b=3, c=2, n=4	318.04	318.03	294.87	294.9	676.8	676.82
a=3, b=3, c=3, n=2	80.4	78.26	203.61	206.34	732.14	734.7
a=3, b=3, c=3, n=3	313.18	313.18	293.31	293.31	677.71	677.71
a=3, b=3, c=3, n=4	721.8	721.8	646.25	646.21	762.31	762.19
a=3, b=3, c=4, n=2	151.87	144.94	189.93	195.39	692.44	700.34
a=3, b=3, c=4, n=3	561.8	561.8	497.95	497.94	705.58	705.58
a=3, b=3, c=4, n=4	1274.34	1274.34	1193.73	1193.71	1133.78	1133.71
a=3, b=4, c=2, n=2	58.87	58.39	211.69	214.21	744.13	746.36
a=3, b=4, c=2, n=3	256.37	256.32	249.88	251.16	683.68	685.44
a=3, b=4, c=2, n=4	568.61	568.59	506.36	506.79	701.61	702.63
a=3, b=4, c=3, n=2	146.27	143.53	199.04	202.59	702.62	707.14
a=3, b=4, c=3, n=3	563.46	563.46	496.2	496.21	705.7	705.74
a=3, b=4, c=3, n=4	1300.5	1300.5	1202.9	1202.89	1127.9	1127.87
a=3, b=4, c=4, n=2	271.94	260.55	229.04	231.01	642.99	656.58
a=3, b=4, c=4, n=3	1032.41	1032.41	938.09	938.09	929.41	929.41
a=3, b=4, c=4, n=4	2294.89	2294.89	2182.51	2182.51	2036.69	2036.68

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%, 50%, 90% และค่าคงที่ $h = 3$

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 10%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 50%		ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน = 90%	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สาม ลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=4, b=2, c=2, n=2	14.27	14.47	231.21	231.75	768.61	769.2
a=4, b=2, c=2, n=3	60.76	60.78	215.16	215.35	746.66	746.81
a=4, b=2, c=2, n=4	139.73	139.73	211.44	211.44	717.73	717.73
a=4, b=2, c=3, n=2	33.03	32.16	220.07	222.21	755.72	757.99
a=4, b=2, c=3, n=3	137.14	137.15	210.58	210.77	716.66	716.84
a=4, b=2, c=3, n=4	321.1	321.1	293.74	293.74	678.06	678.06
a=4, b=2, c=4, n=2	64.56	60.58	204.71	209.89	735.53	741.32
a=4, b=2, c=4, n=3	249.87	249.87	251.44	251.58	685.86	686.06
a=4, b=2, c=4, n=4	577.34	577.34	520.46	520.46	706.05	706.05
a=4, b=3, c=2, n=2	32	31.99	222.74	223.8	758.28	759.38
a=4, b=3, c=2, n=3	138.98	138.99	209.67	210.28	715.83	716.34
a=4, b=3, c=2, n=4	319.72	319.72	293.73	294	677.05	677.43
a=4, b=3, c=3, n=2	79.29	77.26	204.3	208.04	732.01	735.79
a=4, b=3, c=3, n=3	317.17	317.18	296.41	296.46	678.45	678.54
a=4, b=3, c=3, n=4	732.51	732.51	635.74	635.74	759.92	759.92
a=4, b=3, c=4, n=2	151.25	142.75	187.38	197.07	691.29	703.79
a=4, b=3, c=4, n=3	576.91	576.91	499.71	499.75	704.28	704.39
a=4, b=3, c=4, n=4	1286.86	1286.86	1202.59	1202.59	1119.27	1119.27
a=4, b=4, c=2, n=2	58.13	57.85	212.08	214.6	744.39	746.99
a=4, b=4, c=2, n=3	253.14	253.09	247.21	248.79	683.81	685.91
a=4, b=4, c=2, n=4	574.69	574.67	503.44	504.06	701.29	702.73
a=4, b=4, c=3, n=2	142.99	139.58	197.9	203.89	702.98	710.14
a=4, b=4, c=3, n=3	575.25	575.25	500.15	500.19	702.39	702.44
a=4, b=4, c=3, n=4	1280.53	1280.53	1198.67	1198.68	1131.41	1131.43
a=4, b=4, c=4, n=2	271.12	257	226.91	233.82	643.6	664.22
a=4, b=4, c=4, n=3	1020.68	1020.68	932.74	932.75	926.37	926.39
a=4, b=4, c=4, n=4	2293.08	2293.08	2204.13	2204.13	2022.22	2022.22
t-test	-2.302					
Sig(2-tailed)	0.022 [*]					

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

กรณีที่ 3 ณ ระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันหนึ่ง ๆ เมื่อค่าคงที่ h มีค่าเพิ่มขึ้น

ได้นำเสนอตารางที่ 4.5-4.7 มีผลการวิเคราะห์ ดังนี้ เมื่อค่าคงที่ $h=1, 2$ และ 3 และระดับสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10% , 50% และ 90% จากทั้ง 3 สถานการณ์ทดลองมีผลการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของระยะทางยุคคิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีแบบจับคู่ คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก อธิบายได้ว่า ค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีมีค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบระยะทางยุคคิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ $1, 2, 3$ และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
$a=2, b=2, c=2, n=2$	14.22	14.22	13.97	13.97	14.61	14.61
$a=2, b=2, c=2, n=3$	59.68	59.72	56.29	56.3	59.96	59.97
$a=2, b=2, c=2, n=4$	137.42	137.46	134.62	134.71	139.99	140.02
$a=2, b=2, c=3, n=2$	35.39	35.39	34.71	34.71	34.06	34.06
$a=2, b=2, c=3, n=3$	140.39	140.42	141.51	141.54	139.9	139.94
$a=2, b=2, c=3, n=4$	314.72	314.74	328.54	328.55	317.33	317.34
$a=2, b=2, c=4, n=2$	68.4	68.4	67.23	67.23	67.76	67.76
$a=2, b=2, c=4, n=3$	249.87	250.01	247.84	247.9	249.87	250.01
$a=2, b=2, c=4, n=4$	569.83	569.84	569.02	569.03	577.45	577.46
$a=2, b=3, c=2, n=2$	32.54	32.44	30.24	30.14	33.35	33.24
$a=2, b=3, c=2, n=3$	137.49	137.49	141.29	141.3	141.72	141.72
$a=2, b=3, c=2, n=4$	318.51	318.54	323.03	323.05	316.47	316.49
$a=2, b=3, c=3, n=2$	82.87	82.87	79.46	79.46	79.49	79.49
$a=2, b=3, c=3, n=3$	320.06	320.1	327.74	327.77	318.19	318.21
$a=2, b=3, c=3, n=4$	731.54	731.54	725.14	725.15	726.95	726.95
$a=2, b=3, c=4, n=2$	155.4	155.4	154.86	154.86	155.14	155.14
$a=2, b=3, c=4, n=3$	580.22	580.3	567.18	567.31	572.04	572.1
$a=2, b=3, c=4, n=4$	1285.09	1285.09	1258.66	1258.66	1305.96	1305.96
$a=2, b=4, c=2, n=2$	61.34	60.96	61.09	60.69	55.21	54.82
$a=2, b=4, c=2, n=3$	251.62	251.56	255.28	255.22	247.38	247.31
$a=2, b=4, c=2, n=4$	573.72	573.72	569.19	569.19	579.74	579.74
$a=2, b=4, c=3, n=2$	146.01	146.01	149.39	149.38	148.15	148.14
$a=2, b=4, c=3, n=3$	567.09	567.12	576.18	576.21	564.13	564.14

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=4, c=3, n=4	1289.81	1289.81	1296.95	1296.95	1262.93	1262.93
a=2, b=4, c=4, n=2	273.6	273.6	277.81	277.81	272.57	272.57
a=2, b=4, c=4, n=3	1018.57	1018.61	1037.43	1037.49	1010.91	1010.99
a=2, b=4, c=4, n=4	2300.18	2300.18	2311.91	2311.91	2308.73	2308.73
a=3, b=2, c=2, n=2	14.53	14.59	14.24	14.28	14.35	14.46
a=3, b=2, c=2, n=3	61.65	61.65	61.67	61.67	59	59
a=3, b=2, c=2, n=4	140.71	140.71	136.2	136.2	142.03	142.03
a=3, b=2, c=3, n=2	34.89	33.92	33.68	32.79	33.42	32.47
a=3, b=2, c=3, n=3	135.19	135.19	136.7	136.7	138.57	138.57
a=3, b=2, c=3, n=4	320.44	320.44	318.6	318.6	325.85	325.85
a=3, b=2, c=4, n=2	66.44	62.6	66.77	63.24	64.09	60.88
a=3, b=2, c=4, n=3	253.45	253.45	243.78	243.78	252.62	252.62
a=3, b=2, c=4, n=4	571.87	571.87	561.85	561.85	568.94	568.94
a=3, b=3, c=2, n=2	32.61	32.41	36.74	36.73	32.21	32.11
a=3, b=3, c=2, n=3	139.17	139.15	143.17	143.16	145.62	145.61
a=3, b=3, c=2, n=4	325.91	325.9	323.15	323.14	318.04	318.03
a=3, b=3, c=3, n=2	79.99	77.71	80	78.13	80.4	78.26
a=3, b=3, c=3, n=3	319.83	319.83	317.32	317.32	313.18	313.18
a=3, b=3, c=3, n=4	731.9	731.9	724.57	724.57	721.8	721.8
a=3, b=3, c=4, n=2	152.67	145.35	151.24	143.97	151.87	144.94
a=3, b=3, c=4, n=3	571.19	571.19	573.81	573.81	561.8	561.8
a=3, b=3, c=4, n=4	1298.35	1298.35	1289.59	1289.59	1274.34	1274.34
a=3, b=4, c=2, n=2	60.38	59.91	60.34	59.91	58.87	58.39
a=3, b=4, c=2, n=3	252.7	252.64	255.23	255.14	256.37	256.32
a=3, b=4, c=2, n=4	576.34	576.31	570.95	570.93	568.61	568.59
a=3, b=4, c=3, n=2	144.02	141.19	144.91	142.35	146.27	143.53
a=3, b=4, c=3, n=3	567.8	567.8	573.91	573.91	563.46	563.46
a=3, b=4, c=3, n=4	1302.87	1302.87	1282.13	1282.13	1300.5	1300.5
a=3, b=4, c=4, n=2	274.46	263.81	271.9	260.5	271.94	260.55

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=3, b=4, c=4, n=3	1007.72	1007.72	1015.15	1015.15	1032.41	1032.41
a=3, b=4, c=4, n=4	2304.99	2304.99	2289.27	2289.27	2294.89	2294.89
a=4, b=2, c=2, n=2	13.73	13.78	13.76	13.93	14.27	14.47
a=4, b=2, c=2, n=3	60.6	60.62	59.05	59.06	60.76	60.78
a=4, b=2, c=2, n=4	140.6	140.6	141.16	141.16	139.73	139.73
a=4, b=2, c=3, n=2	701.29	702.73	33.71	32.73	33.03	32.16
a=4, b=2, c=3, n=3	141.52	141.52	136.79	136.8	137.14	137.15
a=4, b=2, c=3, n=4	322.76	322.76	317.65	317.65	321.1	321.1
a=4, b=2, c=4, n=2	65.21	61.44	65.45	61.32	64.56	60.58
a=4, b=2, c=4, n=3	254.5	254.5	246.78	246.78	249.87	249.87
a=4, b=2, c=4, n=4	570.6	570.6	569.5	569.5	577.34	577.34
a=4, b=3, c=2, n=2	31.7	31.63	32	32.02	32	31.99
a=4, b=3, c=2, n=3	141.06	141.06	140.76	140.76	138.98	138.99
a=4, b=3, c=2, n=4	318.43	318.43	318.89	318.89	319.72	319.72
a=4, b=3, c=3, n=2	80.36	78.47	80.29	78.23	79.29	77.26
a=4, b=3, c=3, n=3	317.55	317.55	320.77	320.78	317.17	317.18
a=4, b=3, c=3, n=4	727.54	727.54	728.54	728.54	732.51	732.51
a=4, b=3, c=4, n=2	150.44	142	152.41	143.79	151.25	142.75
a=4, b=3, c=4, n=3	565.14	565.13	570.79	570.79	576.91	576.91
a=4, b=3, c=4, n=4	1288.09	1288.09	1294.12	1294.12	1286.86	1286.86
a=4, b=4, c=2, n=2	60.54	60.18	59.82	59.64	58.13	57.85
a=4, b=4, c=2, n=3	254.2	254.16	249.61	249.56	253.14	253.09
a=4, b=4, c=2, n=4	575.18	575.16	569.9	569.88	574.69	574.67
a=4, b=4, c=3, n=2	145.98	142.47	143.74	140.07	142.99	139.58
a=4, b=4, c=3, n=3	565.03	565.03	578.22	578.22	575.25	575.25
a=4, b=4, c=3, n=4	1290.82	1290.82	1295.72	1295.72	1280.53	1280.53
a=4, b=4, c=4, n=2	272.51	258.48	270.48	256.55	271.12	257
a=4, b=4, c=4, n=3	1021.85	1021.85	1017.99	1017.99	1020.68	1020.68
a=4, b=4, c=4, n=4	2292.72	2292.72	2317.55	2317.55	2293.08	2293.08
t-test	0.242					
Sig(2-tailed)	0.000 [*]					

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.6

การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 50%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=2, c=2, n=2	191.26	191.26	218.15	218.15	230.28	230.28
a=2, b=2, c=2, n=3	176.71	176.18	205.1	204.59	215.35	214.77
a=2, b=2, c=2, n=4	181.06	180.15	203.09	202.15	212.02	210.97
a=2, b=2, c=3, n=2	180.83	180.83	208.2	208.19	219.63	219.61
a=2, b=2, c=3, n=3	183.82	183.37	201.78	201.14	212.95	212.47
a=2, b=2, c=3, n=4	284.63	284.2	290.06	289.52	301.15	300.59
a=2, b=2, c=4, n=2	166.67	166.67	193.62	193.61	205	205
a=2, b=2, c=4, n=3	236.55	236.07	245.1	244.52	252.33	251.79
a=2, b=2, c=4, n=4	509.2	508.93	497.67	497.33	506.76	506.46
a=2, b=3, c=2, n=2	182.25	182.69	210.05	210.49	221.6	222
a=2, b=3, c=2, n=3	181.14	180.88	202.11	201.91	210.85	210.67
a=2, b=3, c=2, n=4	289.68	289.14	296.02	295.46	289.03	288.47
a=2, b=3, c=3, n=2	167.37	167.37	192.77	192.77	204.19	204.19
a=2, b=3, c=3, n=3	286.65	286.38	296.89	296.66	296.48	296.2
a=2, b=3, c=3, n=4	668.76	668.63	644.29	644.09	646.26	646.06
a=2, b=3, c=4, n=2	162.52	162.51	181.95	181.94	192.23	192.23
a=2, b=3, c=4, n=3	511.75	511.62	496.37	496.15	503.46	503.3
a=2, b=3, c=4, n=4	1226.24	1226.19	1210.73	1210.66	1197.7	1197.62
a=2, b=4, c=2, n=2	172.67	174.29	199.57	201.22	211.32	212.78
a=2, b=4, c=2, n=3	237.38	237.88	247.28	247.83	251.22	251.8
a=2, b=4, c=2, n=4	504.17	504.1	505.12	505.01	497.49	497.38
a=2, b=4, c=3, n=2	170.82	170.91	190.52	190.6	199.08	199.16
a=2, b=4, c=3, n=3	516.09	516.03	508.64	508.58	503.77	503.65
a=2, b=4, c=3, n=4	1206.6	1206.54	1202.83	1202.77	1185.45	1185.37
a=2, b=4, c=4, n=2	224.08	224.08	227.88	227.88	235.47	235.47
a=2, b=4, c=4, n=3	943.11	943.06	931.16	931.1	927.2	927.15
a=2, b=4, c=4, n=4	2225.43	2225.41	2198.48	2198.46	2218.11	2218.08

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 50%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=3, b=2, c=2, n=2	191.35	191.79	219.63	220.07	230.64	231.14
a=3, b=2, c=2, n=3	176.72	176.72	203.94	203.94	214.6	214.6
a=3, b=2, c=2, n=4	181.82	181.55	201.18	200.87	210.81	210.51
a=3, b=2, c=3, n=2	180.74	182.04	207.98	209.5	219.94	221.47
a=3, b=2, c=3, n=3	181.6	181.59	202.79	202.79	211.21	211.21
a=3, b=2, c=3, n=4	286.34	286.17	291.06	290.9	294.43	294.26
a=3, b=2, c=4, n=2	166.27	169.66	192.55	196.3	204.3	207.76
a=3, b=2, c=4, n=3	239.35	239.35	247.54	247.54	250.19	250.19
a=3, b=2, c=4, n=4	500.61	500.54	507.05	506.96	495.63	495.55
a=3, b=3, c=2, n=2	182.52	183.54	210.92	211.92	221.95	222.92
a=3, b=3, c=2, n=3	180.29	180.68	201.18	201.47	210.46	210.84
a=3, b=3, c=2, n=4	283.97	284.01	289.42	289.45	294.87	294.9
a=3, b=3, c=3, n=2	167.95	170.21	193.33	195.88	203.61	206.34
a=3, b=3, c=3, n=3	284.6	284.6	285.19	285.19	293.31	293.31
a=3, b=3, c=3, n=4	658.77	658.74	648.35	648.32	646.25	646.21
a=3, b=3, c=4, n=2	162.67	166.67	180.91	185.99	189.93	195.39
a=3, b=3, c=4, n=3	506.02	506.02	510.04	510.04	497.95	497.94
a=3, b=3, c=4, n=4	1208.18	1208.17	1196.73	1196.71	1193.73	1193.71
a=3, b=4, c=2, n=2	173.35	175.79	200.82	203.04	211.69	214.21
a=3, b=4, c=2, n=3	234.21	235.39	244.02	245.43	249.88	251.16
a=3, b=4, c=2, n=4	505.88	506.2	503.11	503.53	506.36	506.79
a=3, b=4, c=3, n=2	169.18	172.39	188.27	192.23	199.04	202.59
a=3, b=4, c=3, n=3	498.57	498.58	507.2	507.22	496.2	496.21
a=3, b=4, c=3, n=4	1194.71	1194.7	1187.4	1187.39	1202.9	1202.89
a=3, b=4, c=4, n=2	219.81	219.79	224.79	226.2	229.04	231.01
a=3, b=4, c=4, n=3	936.57	936.57	934.42	934.42	938.09	938.09
a=3, b=4, c=4, n=4	2208.98	2208.98	2207.52	2207.52	2182.51	2182.51

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 50%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=4, b=2, c=2, n=2	191.32	191.96	219.75	220.37	231.21	231.75
a=4, b=2, c=2, n=3	177.12	177.32	204.41	204.58	215.16	215.35
a=4, b=2, c=2, n=4	180.05	180.05	200.72	200.72	211.44	211.44
a=4, b=2, c=3, n=2	180.65	182.74	208.56	210.75	220.07	222.21
a=4, b=2, c=3, n=3	180	180.18	202.72	202.9	210.58	210.77
a=4, b=2, c=3, n=4	280.51	280.5	291.81	291.81	293.74	293.74
a=4, b=2, c=4, n=2	166.36	171.62	192.7	198.41	204.71	209.89
a=4, b=2, c=4, n=3	235.02	235.19	246.27	246.44	251.44	251.58
a=4, b=2, c=4, n=4	501.92	501.92	495.56	495.56	520.46	520.46
a=4, b=3, c=2, n=2	183.38	184.41	211.42	212.46	222.74	223.8
a=4, b=3, c=2, n=3	179.61	180.19	201.52	202.08	209.67	210.28
a=4, b=3, c=2, n=4	277.72	277.96	289.4	289.64	293.73	294
a=4, b=3, c=3, n=2	166.78	170.76	194.64	197.92	204.3	208.04
a=4, b=3, c=3, n=3	282.92	282.96	289.78	289.84	296.41	296.46
a=4, b=3, c=3, n=4	653.13	653.13	645.61	645.61	635.74	635.74
a=4, b=3, c=4, n=2	161.04	168.54	179.48	188.65	187.38	197.07
a=4, b=3, c=4, n=3	507.12	507.14	513.66	513.7	499.71	499.75
a=4, b=3, c=4, n=4	1201	1201	1202.91	1202.91	1202.59	1202.59
a=4, b=4, c=2, n=2	173.95	176.36	201.16	203.7	212.08	214.6
a=4, b=4, c=2, n=3	234.2	235.61	243.54	245.12	247.21	248.79
a=4, b=4, c=2, n=4	507	507.49	500.55	501.15	503.44	504.06
a=4, b=4, c=3, n=2	167.59	173.07	189.42	195.16	197.9	203.89
a=4, b=4, c=3, n=3	506.75	506.76	505.77	505.79	500.15	500.19
a=4, b=4, c=3, n=4	1206.85	1206.85	1196.89	1196.89	1198.67	1198.68
a=4, b=4, c=4, n=2	1206.85	1206.85	223.69	229.26	226.91	233.82
a=4, b=4, c=4, n=3	943.27	943.28	939.4	939.41	932.74	932.75
a=4, b=4, c=4, n=4	2201.42	2201.42	2186.14	2186.14	2204.13	2204.13
t-test	-6.559					
Sig(2-tailed)	0.000 [*]					

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 90%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=2, b=2, c=2, n=2	638.97	638.97	731.49	731.49	768.23	768.23
a=2, b=2, c=2, n=3	616.92	616.44	708.87	708.46	746.6	746.07
a=2, b=2, c=2, n=4	589.73	588.7	679.79	678.82	716.06	715.15
a=2, b=2, c=3, n=2	625.86	625.85	718.11	718.1	754.96	754.95
a=2, b=2, c=3, n=3	589.57	589.07	678.52	678.02	717.8	717.25
a=2, b=2, c=3, n=4	565.5	564.71	647.15	646.41	680.58	679.71
a=2, b=2, c=4, n=2	605.3	605.3	698.73	698.73	735.47	735.47
a=2, b=2, c=4, n=3	567.16	566.57	653.36	652.56	686.75	686.07
a=2, b=2, c=4, n=4	621.48	620.8	682.07	681.38	707.94	707.24
a=2, b=3, c=2, n=2	628.04	628.44	720	720.36	756.71	757.07
a=2, b=3, c=2, n=3	589.62	589.38	679.67	679.5	715.87	715.72
a=2, b=3, c=2, n=4	565.52	564.82	646.25	645.38	678.95	678.05
a=2, b=3, c=3, n=2	602.96	602.96	694.22	694.22	732.49	732.49
a=2, b=3, c=3, n=3	565.23	564.79	646.65	646.19	680.15	679.77
a=2, b=3, c=3, n=4	704.47	703.9	744.92	744.52	764.04	763.6
a=2, b=3, c=4, n=2	564.39	564.39	612.53	612.53	690.09	690.09
a=2, b=3, c=4, n=3	621.75	621.23	910.79	910.35	706.4	705.76
a=2, b=3, c=4, n=4	1138.46	1138.23	2039.32	2039.24	1136.45	1136.19
a=2, b=4, c=2, n=2	614.12	615.69	705.23	706.81	743.74	745.11
a=2, b=4, c=2, n=3	564.69	565.48	650.82	651.57	685.11	685.94
a=2, b=4, c=2, n=4	616.5	616.26	679.24	679.07	706.35	706.16
a=2, b=4, c=3, n=2	574.61	574.67	665.05	665.14	701.93	701.97
a=2, b=4, c=3, n=3	623	622.76	681.8	681.54	707.31	707.09
a=2, b=4, c=3, n=4	1131.41	1131.21	1128.8	1128.51	1132.2	1131.98
a=2, b=4, c=4, n=2	527.02	527.02	612.53	612.53	644.83	644.83
a=2, b=4, c=4, n=3	916.53	916.29	910.79	910.35	936.29	935.87
a=2, b=4, c=4, n=4	2042.97	2042.91	2039.32	2039.24	2024.76	2024.67

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะเวลาทางยุคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 90%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=3, b=2, c=2, n=2	639.17	639.6	731.36	731.84	768.65	769.05
a=3, b=2, c=2, n=3	617.98	617.98	710.99	710.99	746.59	746.59
a=3, b=2, c=2, n=4	588.92	588.59	680.29	680.05	716.27	715.97
a=3, b=2, c=3, n=2	626.38	627.83	719.29	720.81	755.27	756.85
a=3, b=2, c=3, n=3	590.66	590.66	678.38	678.38	714.82	714.82
a=3, b=2, c=3, n=4	564.16	563.96	645.14	644.88	678.84	678.59
a=3, b=2, c=4, n=2	606.58	610.44	699.76	703.66	735.78	739.66
a=3, b=2, c=4, n=3	566.19	566.19	652.73	652.73	686.99	686.99
a=3, b=2, c=4, n=4	617.63	617.4	681.31	681.1	702.7	702.47
a=3, b=3, c=2, n=2	628.89	629.77	721.07	722.04	758.43	759.46
a=3, b=3, c=2, n=3	587.7	588.1	678.85	679.23	717.52	717.88
a=3, b=3, c=2, n=4	563.47	563.49	644.24	644.28	676.8	676.82
a=3, b=3, c=3, n=2	603.37	606.1	694.8	697.57	732.14	734.7
a=3, b=3, c=3, n=3	563.76	563.76	645.03	645.03	677.71	677.71
a=3, b=3, c=3, n=4	705.57	705.49	741.47	741.37	762.31	762.19
a=3, b=3, c=4, n=2	565.19	572.9	655.3	663.1	692.44	700.34
a=3, b=3, c=4, n=3	619.16	619.16	679.39	679.39	705.58	705.58
a=3, b=3, c=4, n=4	1128.45	1128.4	1130.09	1130.04	1133.78	1133.71
a=3, b=4, c=2, n=2	614.86	617.11	706.69	709.12	744.13	746.36
a=3, b=4, c=2, n=3	564	565.66	649.51	651.17	683.68	685.44
a=3, b=4, c=2, n=4	614.55	615.52	674.14	675.17	701.61	702.63
a=3, b=4, c=3, n=2	576.28	580.94	665.85	670.54	702.62	707.14
a=3, b=4, c=3, n=3	620.59	620.64	678.37	678.4	705.7	705.74
a=3, b=4, c=3, n=4	1134.26	1134.24	1126.12	1126.12	1127.9	1127.87
a=3, b=4, c=4, n=2	524.87	537.35	608.51	621.69	642.99	656.58
a=3, b=4, c=4, n=3	899.2	899.2	916.65	916.65	929.41	929.41
a=3, b=4, c=4, n=4	2052.3	2052.29	2040.51	2040.5	2036.69	2036.68

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) การเปรียบเทียบระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่างวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้นเมื่อค่าคงที่ h เท่ากับ 1, 2, 3 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 90%

ระดับปัจจัย และ ขนาดหน่วยทดลอง	ค่าคงที่ $h = 1$		ค่าคงที่ $h = 2$		ค่าคงที่ $h = 3$	
	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น	วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวน	วิธีประมาณ สามลำดับชั้น
a=4, b=2, c=2, n=2	638.88	639.41	731.47	732.13	768.61	769.2
a=4, b=2, c=2, n=3	617.72	617.9	710.49	710.69	746.66	746.81
a=4, b=2, c=2, n=4	589.36	589.36	680.1	680.1	717.73	717.73
a=4, b=2, c=3, n=2	626.77	629.02	719.04	721.23	755.72	757.99
a=4, b=2, c=3, n=3	589.48	589.66	680.28	680.46	716.66	716.84
a=4, b=2, c=3, n=4	563.51	563.51	644.12	644.12	678.06	678.06
a=4, b=2, c=4, n=2	606.61	612.46	698.96	704.99	735.53	741.32
a=4, b=2, c=4, n=3	565.98	566.15	652.68	652.89	685.86	686.06
a=4, b=2, c=4, n=4	620.39	620.39	677.44	677.44	706.05	706.05
a=4, b=3, c=2, n=2	628.64	629.64	721.27	722.23	758.28	759.38
a=4, b=3, c=2, n=3	587.31	587.92	679.41	680.06	715.83	716.34
a=4, b=3, c=2, n=4	561.97	562.33	644.34	644.72	677.05	677.43
a=4, b=3, c=3, n=2	603.06	606.96	694.89	699.11	732.01	735.79
a=4, b=3, c=3, n=3	563.42	563.49	644.65	644.74	678.45	678.54
a=4, b=3, c=3, n=4	698.37	698.37	737.05	737.05	759.92	759.92
a=4, b=3, c=4, n=2	564.29	576.56	655.37	667.71	691.29	703.79
a=4, b=3, c=4, n=3	619.31	619.37	676.82	676.96	704.28	704.39
a=4, b=3, c=4, n=4	1126.08	1126.08	1126.36	1126.36	1119.27	1119.27
a=4, b=4, c=2, n=2	615.23	617.75	707.14	709.98	744.39	746.99
a=4, b=4, c=2, n=3	563.26	565.39	649.19	651.27	683.81	685.91
a=4, b=4, c=2, n=4	618.65	620.08	673.33	674.81	701.29	702.73
a=4, b=4, c=3, n=2	576.23	583	666.95	673.28	702.98	710.14
a=4, b=4, c=3, n=3	627.1	627.16	673.38	673.43	702.39	702.44
a=4, b=4, c=3, n=4	1123.86	1123.87	1130.73	1130.74	1131.41	1131.43
a=4, b=4, c=4, n=2	522.43	542.82	608.7	629.04	643.6	664.22
a=4, b=4, c=4, n=3	922.23	922.24	920.82	920.85	926.37	926.39
a=4, b=4, c=4, n=4	2056.79	2056.79	2054.27	2054.27	2022.22	2022.22
t-test	-5.597					
Sig(2-tailed)	0.000 [*]					

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

กรณีที่ 4 ที่ระดับปัจจัยคงที่แต่ขนาดหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h หนึ่งๆ

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10% และค่าคงที่ $h=1$

ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	14.22	14.22	1.164	0.278
a=2, b=2, c=2, n=3	59.68	59.72		
a=2, b=2, c=2, n=4	137.42	137.46		
a=3, b=3, c=3, n=2	79.99	77.71		
a=3, b=3, c=3, n=3	319.83	319.83		
a=3, b=3, c=3, n=4	731.9	731.9		
a=4, b=4, c=4, n=2	272.51	258.48		
a=4, b=4, c=4, n=3	1021.85	1021.85		
a=4, b=4, c=4, n=4	2292.72	2292.72		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

จากตารางที่ 4.8 เป็นสถานการณ์ทดลองที่สัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10% และค่าคงที่ $h=1$ ผลการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีแบบจับคู่ จะได้ค่า $t\text{-test} = 1.164$ และ ค่า $\text{Sig. (2-tailed)} = 0.278$ ซึ่งยอมรับสมมติฐานหลัก อธิบายได้ว่าค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการพิจารณาทั้ง 9 สถานการณ์ทดลอง พบว่ายอมรับสมมติฐานหลัก จะได้ว่า ค่าผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในส่วนสถานการณ์ทดลองอื่นๆ มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.89-4.96 ในภาคผนวก ก.

4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี

4.1.1 การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ให้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีประมาณสามลำดับชั้น ที่ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h เพิ่มขึ้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.1.2 การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ให้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีประมาณสามลำดับชั้น ที่ระดับค่าคงที่หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.1.3 การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ให้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีประมาณสามลำดับชั้น ที่ระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันหนึ่งๆ เมื่อค่าคงที่ h มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.1.4 เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันหนึ่งๆ และค่าคงที่ h มีค่าเพิ่มขึ้น วิธีประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ให้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยไม่แตกต่างจากวิธีประมาณสามลำดับชั้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จะเห็นว่าวิธีการประมาณทั้งสองให้ค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนที่มีค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยแตกต่างกันในบางสถานการณ์ เช่น ที่ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h เพิ่มขึ้น, ที่ระดับค่าคงที่หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันหนึ่งๆ เมื่อค่าคงที่ h มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ไม่มีวิธีใดที่ให้ค่าระยะทางยูคลิดต่ำกว่าในทุกสถานการณ์ ดังนั้น ในการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม สามารถเลือกใช้วิธีประมาณวิธีใดวิธีหนึ่งได้เป็นกรณีๆ ไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับแผนแบบเชิงชั้นสามชั้นเชิงสุ่ม 2 วิธี คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และวิธีประมาณสามลำดับชั้น (Three-Stage Estimation) การเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์การทดลอง ซึ่งกำหนดระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a, b, c และ n เท่ากับ 2,3,4 โดยการจำลองสถานการณ์จะกระทำเมื่อ สัมประสิทธิ์การแปรผัน (CV%) คือ 10%, 50% และ 90% ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการสร้างแบบจำลองข้อมูลโดยเทคนิคมอนติคาร์โล ซึ่งทำการจำลองข้อมูล Y_{ijkl} ที่สุ่มมาจากแต่ละประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่มีอยู่ในโปรแกรม S-plus 2000 คือ ฟังก์ชัน $morm(n, mean, sd)$ ทำการทดลองซ้ำๆ กัน จนกระทั่งค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยจากการประมาณทั้ง 2 วิธี อยู่ใกล้ค่าคงที่ และใช้เกณฑ์ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทำการวิจัยเปรียบเทียบการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับแผนแบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบสมดุลง่ายสุ่ม ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิธีประมาณสามลำดับชั้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ในกรณีที่สถานการณ์ทดลองมีระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h เพิ่มขึ้น การประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยส่วนใหญ่ให้ค่าระยะทางยุคลิดต่ำกว่าวิธีประมาณสามลำดับชั้น

5.1.2 ที่ระดับค่าคงที่หนึ่งๆ เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเพิ่มขึ้น การประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่าระยะทางยุคลิดต่ำกว่าวิธีประมาณสามลำดับชั้น

5.1.3 ที่ระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันหนึ่งๆ เมื่อค่าคงที่ h มีค่าเพิ่มขึ้น การประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่าระยะทางยุคลิดต่ำกว่าวิธีประมาณสามลำดับชั้น

5.1.4 ที่ระดับปัจจัยคงที่แต่ขนาดหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น เมื่อระดับสัมประสิทธิ์การแปรผันและค่าคงที่ h หนึ่งๆ การประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่าระยะทางยูคลิดไม่แตกต่างจากวิธีประมาณสามลำดับชั้น

ดังนั้นในการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้ไม่มีวิธีใดที่ให้ค่าระยะทางยูคลิดต่ำกว่าในทุกสถานการณ์ ดังนั้น ในการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม สามารถเลือกใช้วิธีประมาณวิธีใดวิธีหนึ่งได้เป็นกรณีๆ ไป

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีประมาณสามลำดับชั้น จะได้ค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงนำหลักการทางสถิติมาใช้ เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง โดยการทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยทั้ง 2 วิธี แบบจับคู่ พบว่าไม่มีวิธีใดที่ให้ค่าระยะทางยูคลิดต่ำกว่าในทุกสถานการณ์ ดังนั้น ในการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของแผนแบบเชิงชั้น กรณีแผนแบบสมดุลอย่างสุ่ม สามารถเลือกใช้วิธีประมาณวิธีใดวิธีหนึ่งได้เป็นกรณีๆ ไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากการทดลองกำหนดพารามิเตอร์ของประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 จะให้ผลสรุปจากการวิจัยเช่นเดิม ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดให้มีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 40

5.3.2 ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับแผนแบบเชิงชั้นสามชั้นกรณีแผนแบบการทดลองสมดุล เชิงสุ่ม ในการศึกษาค้างต่อไป อาจศึกษา กรณีแผนแบบการทดลองไม่สมดุล

5.3.3 ในการวิจัยครั้งนี้ ทำการเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์การทดลอง ซึ่งกำหนดระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a, b, c และ n เท่ากับ 2,3,4 โดยการจำลองสถานการณ์จะกระทำ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (CV%) คือ 10%, 50% และ 90% ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการศึกษาค้างต่อไป อาจศึกษาเมื่อ a, b, c, n สัมประสิทธิ์การแปรผัน (CV%) เป็นค่าอื่นๆ

5.3.4 ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้ $\sigma_r^2 = \sigma_\beta^2 = \sigma_\alpha^2 = h\sigma_\varepsilon^2$ โดยที่ h เป็นค่าจำนวนเต็มคี่ที่ เท่ากับ 1, 2 และ 3 ในการศึกษารั้งต่อไป อาจศึกษาเมื่อ $\sigma_r^2 = k_1\sigma_\varepsilon^2, \sigma_\beta^2 = k_2\sigma_\varepsilon^2, \sigma_\alpha^2 = k_3\sigma_\varepsilon^2$ โดยที่ $k_1 \neq k_2 \neq k_3$ และ $k_1 > 0, k_2 > 0, k_3 > 0$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ธีระพร วีระถาวร. การอนุมานสถิติขั้นกลาง : โครงสร้างและความหมาย. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- มัลลิกา บุนนาค. สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวางแผนการทดลองขั้นสูง. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนการทดลองขั้นสูง ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2541.
- สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวิเคราะห์ความแปรปรวน. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- สุรพล อุบัติสสกุล. สถิติการวางแผนการทดลอง. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : แอ็สเสทการพิมพ์, 2529.

ภาษาอังกฤษ

- 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 Design. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1976.
- Dean A.M., Voss D.T. Design and Analysis of Experiments. New York : Springer, 1999.
- Fred C. Leone and Lloyd S. Nelsen. "Technometrics" Sampling Distributions of Variance Components. 8 vol., 1966 : 457 - 468
- Keppel, G. Design and Analysis a Researcher's Handbook. London : Prentice-Hall, 1973.

Kindemam, 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

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



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	172	14.2225731	14.2225731	-	-
		2	273	13.9745862	13.9745862		
		3	76	14.6083033	14.6083033		
400	50	1	169	191.261961	191.261961		
		2	54	218.145435	218.145435		
		3	88	230.281297	230.281297		
1296	90	1	134	638.973178	638.973178		
		2	71	731.489087	731.489087		
		3	50	768.233052	768.233052		

หมายเหตุ ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	478	137.417877	137.459262	3.678	0.006*
		2	280	134.623459	134.712455		
		3	183	139.992927	140.018461		
400	50	1	511	181.064186	180.147818		
		2	168	203.094192	202.154534		
		3	489	212.021885	210.973692		
1296	90	1	689	589.733794	588.698419		
		2	487	679.790214	678.815667		
		3	412	716.061594	715.149178		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	81	35.38712	35.38646	3.000	0.017*
		2	266	34.71063	34.70834		
		3	338	34.05943	34.05778		
400	50	1	74	180.8333	180.8333		
		2	85	208.1976	208.1947		
		3	153	219.6255	219.614		
1296	90	1	101	625.8591	625.8467		
		2	317	718.1147	718.095		
		3	22	754.9609	754.9455		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	217	140.3926	140.4243	3.556	0.007*
		2	265	141.5137	141.5441		
		3	377	139.8974	139.9415		
400	50	1	286	183.8209	183.3659		
		2	285	201.776	201.1393		
		3	402	212.9479	212.4664		
1296	90	1	434	589.5702	589.0746		
		2	295	678.5206	678.0223		
		3	332	717.8036	717.2534		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	437	314.7183	314.7383	3.569	0.007*
		2	297	328.5355	328.5548		
		3	393	317.3264	317.3407		
400	50	1	509	284.6302	284.2003		
		2	589	290.0594	289.5192		
		3	435	301.152	300.5885		
1296	90	1	265	565.4992	564.7066		
		2	554	647.1495	646.4097		
		3	370	680.5813	679.7135		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	245	68.40027	68.39985	1.600	0.148
		2	285	67.23203	67.23156		
		3	297	67.76112	67.76112		
400	50	1	161	166.6704	166.6704		
		2	146	193.6154	193.6115		
		3	65	205.0025	205.0025		
1296	90	1	158	605.3022	605.3022		
		2	135	698.7287	698.7273		
		3	150	735.4745	735.4745		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	376	257.085	257.1712	3.110	0.014*
		2	429	247.8413	247.898		
		3	350	249.8713	250.0052		
400	50	1	518	236.5496	236.0709		
		2	588	245.1035	244.5211		
		3	839	252.327	251.7898		
1296	90	1	290	567.1569	566.5656		
		2	529	653.3581	652.5618		
		3	192	686.7532	686.0684		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=2, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	451	569.8282	569.8391	3.232	0.012*
		2	353	569.0178	569.0299		
		3	446	577.4482	577.461		
400	50	1	515	509.204	508.9308		
		2	548	497.675	497.3289		
		3	624	506.7642	506.4621		
1296	90	1	678	621.4781	620.799		
		2	640	682.0654	681.3775		
		3	550	707.9438	707.2435		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	331	32.53565	32.43597	-2.752	0.025*
		2	176	30.2356	30.1366		
		3	233	33.34697	33.23581		
400	50	1	222	182.2527	182.6921		
		2	213	210.0491	210.4901		
		3	95	221.5981	221.9963		
1296	90	1	271	628.0449	628.4446		
		2	303	720.0018	720.3636		
		3	266	756.7124	757.0732		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	523	137.4872	137.4922	3.685	0.006*
		2	318	141.2904	141.3003		
		3	194	141.7234	141.7217		
400	50	1	246	181.1408	180.8785		
		2	214	202.1091	201.9091		
		3	182	210.8485	210.6702		
1296	90	1	273	589.6226	589.3791		
		2	239	679.6682	679.4967		
		3	130	715.8738	715.7164		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	544	318.5113	318.5412	3.575	0.007*
		2	896	323.0332	323.0548		
		3	582	316.4716	316.4909		
400	50	1	318	289.6754	289.139		
		2	202	296.0232	295.4568		
		3	176	289.0257	288.4659		
1296	90	1	330	565.5224	564.8154		
		2	515	646.2452	645.3771		
		3	579	678.9518	678.0494		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	159	82.86646	82.86646	-	-
		2	132	79.4643	79.4643		
		3	99	79.4889	79.4889		
400	50	1	340	167.3689	167.3689		
		2	183	192.7695	192.7695		
		3	105	204.1922	204.1922		
1296	90	1	62	602.9576	602.9576		
		2	176	694.2161	694.2161		
		3	76	732.4874	732.4874		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	449	320.0598	320.0988	3.268	0.011*
		2	523	327.7424	327.7651		
		3	276	318.1864	318.2144		
400	50	1	181	286.6512	286.3774		
		2	486	296.8936	296.6599		
		3	430	296.4766	296.1998		
1296	90	1	357	565.2312	564.7913		
		2	228	646.6468	646.1932		
		3	460	680.155	679.7742		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	489	731.5381	731.5415	2.990	0.017*
		2	726	725.1442	725.1471		
		3	1011	726.9498	726.9541		
400	50	1	684	668.7551	668.6304		
		2	377	644.287	644.0946		
		3	1094	646.256	646.0633		
1296	90	1	514	704.4691	703.9025		
		2	411	744.9161	744.5157		
		3	740	764.0394	763.596		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.23 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	164	155.4046	155.4048	0.775	0.460
		2	499	154.8598	154.8598		
		3	288	155.1371	155.1384		
400	50	1	146	162.5158	162.5146		
		2	232	181.9476	181.9447		
		3	190	192.2256	192.2256		
1296	90	1	201	564.3907	564.3906		
		2	162	653.7552	653.7552		
		3	227	690.0933	690.0933		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.24 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	1168	580.2211	580.3033	2.196	0.059
		2	756	567.1812	567.3084		
		3	146	572.0409	572.1021		
400	50	1	472	511.7533	511.6244		
		2	727	496.3664	496.1455		
		3	714	503.4615	503.2991		
1296	90	1	383	621.7452	621.2334		
		2	726	681.5351	681.133		
		3	884	706.3979	705.7552		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=3, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	1099	1285.087	1285.089	2.849	0.022*
		2	276	1258.664	1258.665		
		3	118	1305.955	1305.957		
400	50	1	873	1226.244	1226.188		
		2	311	1210.732	1210.659		
		3	551	1197.704	1197.619		
1296	90	1	666	1138.456	1138.227		
		2	718	1135.23	1134.974		
		3	949	1136.446	1136.191		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	351	61.344	60.96294	-2.791	0.024*
		2	212	61.08568	60.69219		
		3	69	55.20547	54.82453		
400	50	1	377	172.6725	174.2852		
		2	285	199.5666	201.2196		
		3	237	211.3155	212.7843		
1296	90	1	465	614.1206	615.6866		
		2	257	705.2323	706.8109		
		3	120	743.7376	745.1123		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อุณหภูมิ	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	500	251.6183	251.5567	-3.363	0.010*
		2	241	255.2758	255.2234		
		3	441	247.3756	247.3144		
400	50	1	536	237.384	237.8842		
		2	646	247.2791	247.8339		
		3	195	251.225	251.7983		
1296	90	1	284	564.6902	565.4839		
		2	700	650.8223	651.5745		
		3	501	685.1145	685.9431		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อุณหภูมิ	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	188	573.7201	573.7218	3.224	0.012*
		2	643	569.1877	569.1893		
		3	376	579.7355	579.7362		
400	50	1	642	504.1663	504.1038		
		2	219	505.1236	505.0126		
		3	426	497.4915	497.3832		
1296	90	1	445	616.5032	616.2562		
		2	218	679.2365	679.0678		
		3	410	706.3529	706.164		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	166	146.0122	146.0086	-3.205	0.013*
		2	308	149.391	149.3785		
		3	411	148.1485	148.1416		
400	50	1	262	170.8229	170.9123		
		2	157	190.5164	190.6003		
		3	301	199.0751	199.1635		
1296	90	1	154	574.6128	574.6738		
		2	243	665.0456	665.1358		
		3	153	701.9262	701.9661		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.30 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	586	567.0924	567.1174	2.547	0.034*
		2	554	576.1791	576.21		
		3	474	564.1314	564.1442		
400	50	1	316	516.0885	516.0294		
		2	229	508.635	508.5766		
		3	147	503.7744	503.6515		
1296	90	1	338	623.0013	622.7609		
		2	260	681.8019	681.5425		
		3	435	707.3149	707.0903		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อุณหภูมิ	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	608	1289.807	1289.811	2.717	0.026*
		2	1111	1296.947	1296.95		
		3	193	1262.926	1262.934		
400	50	1	608	1206.601	1206.541		
		2	1160	1202.834	1202.775		
		3	581	1185.455	1185.373		
1296	90	1	665	1131.406	1131.21		
		2	685	1128.796	1128.51		
		3	545	1132.202	1131.979		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.32 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อุณหภูมิ	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	111	273.5968	273.5968	-	-
		2	641	277.8076	277.8076		
		3	513	272.5679	272.5679		
400	50	1	391	224.0833	224.0833		
		2	433	227.8767	227.8767		
		3	578	235.4738	235.4738		
1296	90	1	146	527.0211	527.0211		
		2	222	612.5317	612.5317		
		3	140	644.8281	644.8281		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยุคคิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.33 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	810	1018.566	1018.614	1.787	0.112
		2	739	1037.428	1037.487		
		3	669	1010.913	1010.994		
400	50	1	1088	943.1113	943.057		
		2	1173	931.1638	931.1049		
		3	287	927.1976	927.1507		
1296	90	1	417	916.5291	916.2865		
		2	457	910.7877	910.3477		
		3	687	936.2863	935.8685		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.34 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=2, b=4, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	999	2300.181	2300.182	2.677	0.028*
		2	343	2311.909	2311.909		
		3	630	2308.734	2308.735		
400	50	1	304	2225.426	2225.411		
		2	860	2198.484	2198.465		
		3	1117	2218.106	2218.08		
1296	90	1	597	2042.974	2042.908		
		2	1802	2039.322	2039.243		
		3	889	2024.76	2024.665		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.35 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	189	14.53384	14.58807	-5.073	0.001*
		2	242	14.23592	14.28256		
		3	205	14.3499	14.46218		
400	50	1	241	191.3526	191.7892		
		2	261	219.6346	220.0677		
		3	197	230.6446	231.1362		
1296	90	1	187	639.1738	639.6005		
		2	204	731.364	731.8366		
		3	76	768.6457	769.0503		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.36 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	225	61.65022	61.65022	-	-
		2	201	61.67108	61.67108		
		3	140	59.00127	59.00127		
400	50	1	129	176.7228	176.7228		
		2	147	203.9371	203.9371		
		3	162	214.6011	214.6011		
1296	90	1	122	617.9771	617.9771		
		2	166	710.9891	710.9891		
		3	159	746.5889	746.5889		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.37 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	294	140.7087	140.7066	4.004	0.004*
		2	195	136.2004	136.198		
		3	390	142.0348	142.0301		
400	50	1	334	181.8182	181.5481		
		2	214	201.1754	200.875		
		3	317	210.809	210.514		
1296	90	1	251	588.9159	588.5914		
		2	87	680.2852	680.051		
		3	137	716.2714	715.9695		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.38 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	360	34.89178	33.91706	-1.675	0.132
		2	678	33.68352	32.79488		
		3	596	33.4175	32.47377		
400	50	1	42	180.7398	182.0405		
		2	245	207.9751	209.4982		
		3	298	219.9422	221.4708		
1296	90	1	181	626.3796	627.8286		
		2	161	719.2932	720.8126		
		3	276	755.2702	756.8479		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.39 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	82	135.1917	135.1911	1.501	0.172
		2	43	136.702	136.7018		
		3	189	138.5657	138.5656		
400	50	1	84	181.6006	181.5859		
		2	251	202.7873	202.7856		
		3	15	211.2128	211.2128		
1296	90	1	189	590.6612	590.6599		
		2	112	678.3773	678.3767		
		3	169	714.822	714.8201		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.40 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	643	320.4405	320.4399	3.761	0.006*
		2	231	318.5953	318.5953		
		3	327	325.8494	325.8485		
400	50	1	499	286.3375	286.1727		
		2	388	291.0606	290.9046		
		3	301	294.426	294.2563		
1296	90	1	65	564.1646	563.9573		
		2	257	645.1444	644.8758		
		3	353	678.8387	678.5872		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.41 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	713	66.44108	62.60314	-1.072	0.315
		2	758	66.76593	63.23924		
		3	586	64.09173	60.87763		
400	50	1	373	166.268	169.659		
		2	436	192.5482	196.2982		
		3	537	204.2985	207.7628		
1296	90	1	537	606.5809	610.4436		
		2	165	699.7641	703.658		
		3	624	735.7834	739.659		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.42 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	550	253.4538	253.4538	1.021	0.337
		2	243	243.7791	243.7791		
		3	190	252.6214	252.6214		
400	50	1	304	239.3492	239.3492		
		2	316	247.5372	247.5371		
		3	66	250.1931	250.1931		
1296	90	1	147	566.1915	566.1915		
		2	213	652.7331	652.7278		
		3	113	686.9897	686.9897		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.43 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=2, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	436	571.8702	571.8703	3.173	0.013*
		2	381	561.8472	561.8465		
		3	480	568.9438	568.943		
400	50	1	596	500.6088	500.5351		
		2	464	507.051	506.9582		
		3	329	495.633	495.5459		
1296	90	1	227	617.6282	617.3999		
		2	420	681.3069	681.0984		
		3	287	702.6958	702.4736		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.44 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	317	32.60832	32.41104	-3.402	0.009*
		2	56	36.73759	36.73281		
		3	226	32.21448	32.10657		
400	50	1	445	182.5244	183.5398		
		2	307	210.9184	211.9173		
		3	373	221.9457	222.9168		
1296	90	1	270	628.8941	629.7714		
		2	260	721.0715	722.0423		
		3	326	758.4313	759.4645		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.45 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	139.167	139.1538	139.167	3.801	0.005*
			143.1656	143.1612	143.1656		
			145.6201	145.6106	145.6201		
400	50	1	180.2927	180.6776	180.2927		
			201.1807	201.4686	201.1807		
			210.4583	210.8439	210.4583		
1296	90	1	587.7018	588.0974	587.7018		
			678.8485	679.229	678.8485		
			717.5199	717.8766	717.5199		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.46 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	319	325.9076	325.9043	-3.141	0.014*
			198	323.1454	323.1415		
			792	318.0369	318.0344		
400	50	1	306	283.9675	284.0115		
			728	289.4193	289.4503		
			529	294.8685	294.9022		
1296	90	1	135	563.4697	563.4876		
			213	644.2379	644.2776		
			49	676.8005	676.8235		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.47 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	378	79.98894	77.70976	-1.317	0.224
		2	885	80.00073	78.12923		
		3	728	80.40482	78.26442		
400	50	1	57	167.9522	170.2093		
		2	407	193.3286	195.881		
		3	346	203.6066	206.3359		
1296	90	1	487	603.3694	606.1019		
		2	437	694.8013	697.5725		
		3	481	732.1382	734.6951		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.48 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	456	319.8313	319.8313	-	-
		2	176	317.3223	317.3223		
		3	224	313.1816	313.1816		
400	50	1	481	284.5996	284.5996		
		2	307	285.1892	285.1892		
		3	110	293.311	293.311		
1296	90	1	147	563.7574	563.7574		
		2	209	645.0258	645.0258		
		3	48	677.7126	677.7126		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.49 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	606	731.8982	731.8983	3.017	0.017*
		2	1011	724.5657	724.5655		
		3	759	721.7969	721.7967		
400	50	1	85	658.7733	658.7392		
		2	494	648.3495	648.3163		
		3	602	646.2461	646.2073		
1296	90	1	163	705.5697	705.4924		
		2	439	741.4684	741.3699		
		3	350	762.3097	762.1908		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.50 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	1201	152.6683	145.35	-0.796	0.449
		2	1077	151.244	143.9681		
		3	1239	151.8722	144.9387		
400	50	1	642	162.6651	166.6668		
		2	420	180.9118	185.9932		
		3	370	189.926	195.388		
1296	90	1	888	565.1917	572.9044		
		2	262	655.2989	663.1007		
		3	141	692.4364	700.3442		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.51 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	958	571.1948	571.1948	1.662	0.135
		2	420	573.8145	573.8145		
		3	426	561.7956	561.7956		
400	50	1	291	506.0241	506.0241		
		2	455	510.0415	510.0406		
		3	514	497.9451	497.9449		
1296	90	1	537	619.1578	619.1566		
		2	322	679.3895	679.3895		
		3	313	705.5817	705.5817		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.52 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=3, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	658	1298.348	1298.348	2.783	0.024*
		2	673	1289.592	1289.592		
		3	453	1274.339	1274.339		
400	50	1	925	1208.184	1208.169		
		2	425	1196.728	1196.714		
		3	563	1193.73	1193.713		
1296	90	1	429	1128.445	1128.4		
		2	385	1130.095	1130.036		
		3	1140	1133.776	1133.711		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.53 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	658	60.38422	59.91451	-3.007	0.017*
		2	659	60.34443	59.90765		
		3	296	58.86799	58.39143		
400	50	1	326	173.3492	175.7931		
		2	319	200.8227	203.0382		
		3	301	211.6933	214.2083		
1296	90	1	249	614.8591	617.1117		
		2	316	706.6939	709.1164		
		3	411	744.1285	746.3634		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.54 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	650	252.7005	252.6365	-3.641	0.007*
		2	105	255.2337	255.1415		
		3	193	256.3654	256.3224		
400	50	1	265	234.2123	235.3938		
		2	272	244.0232	245.4324		
		3	517	249.8845	251.1575		
1296	90	1	520	564.005	565.6564		
		2	179	649.514	651.1695		
		3	170	683.678	685.4414		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.55 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	242	576.3396	576.3135	-3.048	0.016*
		2	340	570.95	570.9254		
		3	486	568.6068	568.5852		
400	50	1	169	505.8829	506.2007		
		2	183	503.1124	503.5311		
		3	932	506.3583	506.7932		
1296	90	1	910	614.5491	615.5186		
		2	435	674.1429	675.1742		
		3	702	701.6142	702.632		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.56 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	636	144.0152	141.1942	-1.595	0.149
		2	476	144.9117	142.3549		
		3	762	146.2741	143.5274		
400	50	1	514	169.1848	172.3904		
		2	246	188.2662	192.2288		
		3	334	199.0418	202.5895		
1296	90	1	515	576.2842	580.9372		
		2	378	665.8538	670.5421		
		3	621	702.6188	707.1361		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.57 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	131	567.7968	567.7966	-3.016	0.017*
		2	106	573.9084	573.908		
		3	321	563.4565	563.4559		
400	50	1	341	498.5679	498.5809		
		2	604	507.198	507.2177		
		3	362	496.1995	496.2144		
1296	90	1	278	620.5945	620.6442		
		2	446	678.3737	678.4039		
		3	470	705.6957	705.7369		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.58 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	156	1302.87	1302.87	2.455	0.040*
		2	545	1282.126	1282.126		
		3	174	1300.503	1300.503		
400	50	1	1071	1194.706	1194.7		
		2	343	1187.397	1187.386		
		3	960	1202.901	1202.894		
1296	90	1	885	1134.262	1134.242		
		2	212	1126.121	1126.121		
		3	497	1127.898	1127.873		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.59 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	1089	274.4616	263.8064	-0.290	0.779
		2	1461	271.8967	260.5006		
		3	2173	271.9437	260.5459		
400	50	1	1462	219.815	219.7867		
		2	1198	224.7918	226.2043		
		3	706	229.0403	231.0127		
1296	90	1	731	524.8745	537.3477		
		2	720	608.5108	621.6895		
		3	547	642.9938	656.5781		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.60 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	870	1007.722	1007.722	-	-
		2	482	1015.149	1015.149		
		3	185	1032.41	1032.41		
400	50	1	252	936.5673	936.5673		
		2	310	934.4169	934.4169		
		3	304	938.0902	938.0902		
1296	90	1	360	899.1991	899.1991		
		2	1223	916.6483	916.6483		
		3	590	929.4058	929.4058		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.61 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=3, b=4, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	1023	2304.987	2304.987	3.156	0.013*
		2	390	2289.269	2289.269		
		3	1017	2294.891	2294.891		
400	50	1	470	2208.981	2208.978		
		2	1192	2207.523	2207.518		
		3	936	2182.515	2182.51		
1296	90	1	1423	2052.299	2052.288		
		2	1303	2040.51	2040.498		
		3	938	2036.694	2036.684		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.62 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	33	13.73414	13.77702	-5.603	0.001*
		2	275	13.75752	13.92535		
		3	139	14.26807	14.4683		
400	50	1	202	191.3165	191.9642		
		2	210	219.7528	220.3675		
		3	202	231.2131	231.7517		
1296	90	1	156	638.8764	639.4062		
		2	164	731.4697	732.1294		
		3	226	768.6103	769.1968		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.63 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	49	60.6041	60.61581	-4.430	0.002*
		2	192	59.04598	59.06041		
		3	419	60.76241	60.7783		
400	50	1	94	177.1179	177.3157		
		2	59	204.41	204.5777		
		3	130	215.1621	215.3527		
1296	90	1	213	617.7239	617.9013		
		2	238	710.4872	710.6863		
		3	109	746.6599	746.8094		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.64 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองคู่เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	184	140.5992	140.5992	-	-
		2	220	141.1599	141.1599		
		3	229	139.7296	139.7296		
400	50	1	163	180.0507	180.0507		
		2	111	200.7192	200.7192		
		3	68	211.4431	211.4431		
1296	90	1	121	589.3612	589.3612		
		2	62	680.1032	680.1032		
		3	32	717.735	717.735		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.65 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	282	33.55384	32.62474	-2.219	0.057
		2	202	33.70719	32.73327		
		3	459	33.03138	32.16416		
400	50	1	428	180.6463	182.7402		
		2	351	208.5551	210.7505		
		3	373	220.065	222.2138		
1296	90	1	381	626.7742	629.0178		
		2	363	719.0418	721.2306		
		3	271	755.7199	757.9855		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.66 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	438	141.5212	141.5248	-4.144	0.003*
		2	156	136.791	136.7951		
		3	65	137.1435	137.1487		
400	50	1	235	179.9969	180.1758		
		2	166	202.7194	202.9006		
		3	177	210.584	210.7704		
1296	90	1	259	589.4844	589.661		
		2	155	680.284	680.4603		
		3	113	716.6625	716.8442		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.67 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	180	322.755	322.755	1.821	0.106
		2	419	317.6538	317.6538		
		3	247	321.0976	321.0976		
400	50	1	322	280.5099	280.5049		
		2	36	291.8079	291.807		
		3	177	293.7363	293.7353		
1296	90	1	81	563.5104	563.5081		
		2	20	644.1167	644.1167		
		3	108	678.0615	678.0615		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.68 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	615	65.21468	61.44254	-1.521	0.167
		2	225	65.4504	61.32479		
		3	742	64.56308	60.57828		
400	50	1	513	166.361	171.6183		
		2	313	192.6969	198.4065		
		3	351	204.7093	209.8908		
1296	90	1	570	606.6107	612.4638		
		2	432	698.9573	704.9943		
		3	456	735.5306	741.3179		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.69 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	140	254.5028	254.4999	-3.876	0.005*
		2	450	246.7804	246.7784		
		3	296	249.865	249.8664		
400	50	1	302	235.024	235.1935		
		2	403	246.2702	246.4411		
		3	202	251.4354	251.5836		
1296	90	1	211	565.9811	566.145		
		2	216	652.677	652.8877		
		3	145	685.8569	686.0583		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.70 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=2, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	517	570.6049	570.6049	-	-
		2	326	569.5011	569.5011		
		3	505	577.3375	577.3375		
400	50	1	479	501.9243	501.9243		
		2	186	495.5579	495.5579		
		3	117	520.4618	520.4618		
1296	90	1	384	620.3914	620.3914		
		2	247	677.4377	677.4377		
		3	142	706.0504	706.0504		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยุคคิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.71 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	122	31.70057	31.62881	-3.873	0.005*
		2	222	32.00199	32.01735		
		3	157	31.99557	31.99263		
400	50	1	422	183.3803	184.4059		
		2	391	211.4227	212.4578		
		3	216	222.7385	223.7971		
1296	90	1	338	628.6412	629.6404		
		2	371	721.2708	722.2332		
		3	416	758.2805	759.3814		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.72 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	95	141.0618	141.0636	-4.004	0.004*
		2	137	140.7612	140.7644		
		3	263	138.9846	138.9906		
400	50	1	425	179.6136	180.1903		
		2	272	201.5219	202.0811		
		3	316	209.6688	210.2823		
1296	90	1	318	587.3126	587.9172		
		2	397	679.4149	680.0631		
		3	166	715.8279	716.3387		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.73 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	450	318.4314	318.429	-3.746	0.006*
			77	318.8874	318.8874		
			565	319.7214	319.7211		
400	50	1	262	277.7236	277.9567		
			275	289.4034	289.6405		
			342	293.7309	294.0013		
1296	90	1	230	561.969	562.3315		
			347	644.3397	644.7195		
			170	677.0468	677.4263		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.74 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	425	80.36431	78.46687	-1.931	0.090
			852	80.291	78.22703		
			684	79.29123	77.26095		
400	50	1	305	166.7843	170.7583		
			127	194.6425	197.9178		
			368	204.3029	208.0416		
1296	90	1	370	603.061	606.9602		
			366	694.8862	699.1094		
			199	732.006	735.7923		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.75 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	204	317.5467	317.5473	-3.728	0.006*
		2	644	320.7743	320.7752		
		3	423	317.1749	317.1759		
400	50	1	223	282.9244	282.9617		
		2	242	289.7771	289.8379		
		3	114	296.4077	296.4623		
1296	90	1	134	563.4215	563.4874		
		2	237	644.6519	644.736		
		3	131	678.454	678.5373		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.76 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	403	727.5435	727.5435	-	-
		2	499	728.5352	728.5352		
		3	301	732.5095	732.5095		
400	50	1	936	653.1294	653.1294		
		2	390	645.6131	645.6131		
		3	375	635.7419	635.7419		
1296	90	1	625	698.3665	698.3665		
		2	456	737.0527	737.0527		
		3	444	759.9194	759.9194		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.77 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	933	150.4414	141.9979	-1.304	0.229
		2	458	152.4081	143.7869		
		3	1120	151.2544	142.754		
400	50	1	700	161.0424	168.5436		
		2	435	179.4837	188.655		
		3	430	187.3786	197.0749		
1296	90	1	635	564.2859	576.5551		
		2	986	655.3673	667.7075		
		3	686	691.2927	703.7918		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.78 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ว่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	430	565.1357	565.1345	-2.671	0.028*
		2	857	570.794	570.7909		
		3	494	576.9125	576.9122		
400	50	1	427	507.1201	507.145		
		2	197	513.6613	513.6978		
		3	307	499.7124	499.7469		
1296	90	1	228	619.308	619.3669		
		2	57	676.8233	676.9577		
		3	474	704.2846	704.3921		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.79 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยुकิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=3, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยुकิดเฉลี่ย วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยुकิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	1119	1288.094	1288.094	-	-
		2	385	1294.123	1294.123		
		3	1069	1286.863	1286.863		
400	50	1	198	1201.001	1201.001		
		2	514	1202.912	1202.912		
		3	482	1202.595	1202.595		
1296	90	1	308	1126.081	1126.081		
		2	537	1126.361	1126.361		
		3	245	1119.268	1119.268		

หมายเหตุ ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยुकิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.80 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยुकิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=2, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยुकิดเฉลี่ย วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยुकิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	187	60.54489	60.18197	-3.412	0.009*
		2	175	59.81861	59.6439		
		3	199	58.13039	57.85011		
400	50	1	437	173.954	176.3607		
		2	359	201.1637	203.701		
		3	471	212.0791	214.5959		
1296	90	1	418	615.2267	617.7545		
		2	274	707.1364	709.9822		
		3	568	744.3876	746.9895		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.81 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=2, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	295	254.2003	254.1555	-3.709	0.006*
		2	751	249.6078	249.5574		
		3	277	253.137	253.0884		
400	50	1	578	234.1961	235.6062		
		2	570	243.5356	245.1158		
		3	545	247.2083	248.7906		
1296	90	1	182	563.2649	565.3889		
		2	287	649.194	651.2656		
		3	198	683.8104	685.9121		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.82 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคคิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=2, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยุคคิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	421	575.1803	575.156	-3.114	0.014*
		2	440	569.8995	569.8834		
		3	960	574.6881	574.6683		
400	50	1	426	506.9992	507.4863		
		2	427	500.5463	501.1478		
		3	935	503.4444	504.0639		
1296	90	1	546	618.649	620.0823		
		2	618	673.3281	674.8078		
		3	423	701.2921	702.7338		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.83 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=3, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	930	145.9819	142.4663	-1.822	0.106
		2	844	143.7443	140.0708		
		3	1129	142.9943	139.5816		
400	50	1	684	167.5888	173.0668		
		2	686	189.4192	195.1613		
		3	518	197.9032	203.8876		
1296	90	1	351	576.226	583.0016		
		2	543	666.9456	673.2814		
		3	541	702.98	710.141		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.84 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=3, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่วัดค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับชั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	455	565.0303	565.0303	-3.193	0.013*
		2	155	578.2229	578.2224		
		3	520	575.2466	575.2466		
400	50	1	350	506.7518	506.7645		
		2	379	505.765	505.7906		
		3	303	500.152	500.186		
1296	90	1	72	627.0987	627.1603		
		2	243	673.3827	673.4323		
		3	171	702.3864	702.4399		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.85 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=3, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	638	1290.818	1290.818	-2.488	0.038*
		2	529	1295.72	1295.72		
		3	126	1280.525	1280.525		
400	50	1	308	1206.849	1206.851		
		2	987	1196.887	1196.889		
		3	485	1198.672	1198.677		
1296	90	1	471	1123.855	1123.874		
		2	943	1130.727	1130.743		
		3	546	1131.407	1131.426		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.86 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=4, n=2

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่ค่าคงที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	969	272.5057	258.478	-0.760	0.469
		2	879	270.4752	256.5455		
		3	2189	271.1177	256.9979		
400	50	1	395	219.3621	221.802		
		2	1286	223.6866	229.2595		
		3	659	226.9078	233.8231		
1296	90	1	304	522.4269	542.8206		
		2	594	608.6956	629.0405		
		3	621	643.6012	664.2175		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.87 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=4, n=3

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	651	1021.854	1021.854	-2.849	0.022*
			586	1017.987	1017.986		
			88	1020.682	1020.681		
400	50	1	305	943.268	943.2773		
			740	939.4003	939.409		
			1406	932.7429	932.7516		
1296	90	1	139	922.2283	922.244		
			363	920.8203	920.8481		
			324	926.3657	926.3936		

หมายเหตุ

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.88 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้ จากวิธีการประมาณทั้งสอง ณ ระดับค่าคงที่ h ต่างๆ เมื่อระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลอง คือ a=4, b=4, c=4, n=4

ค่าความแปรปรวน (σ^2)	สัมประสิทธิ์การแปรผัน (cv%)	ค่าคงที่ (h)	จำนวนการทดลองผู้เข้าสู่อันดับที่	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวน (\overline{EuA})	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ย วิธีการประมาณแบบสามลำดับขั้น (\overline{EuT})	t-test	Sig. (2-tailed)
16	10	1	658	2292.725	2292.725	-	-
			409	2317.551	2317.551		
			891	2293.079	2293.079		
400	50	1	616	2201.422	2201.422		
			279	2186.141	2186.141		
			900	2204.125	2204.125		
1296	90	1	448	2056.786	2056.786		
			1023	2054.269	2054.269		
			922	2022.216	2022.216		

หมายเหตุ

ไม่สามารถทำการทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากค่าระยะทางยูคลิดเท่ากัน

ตารางที่ 4.89 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10% และค่าคงที่ $h=2$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	13.97	13.97	1.135	0.289
a=2, b=2, c=2, n=3	56.29	56.3		
a=2, b=2, c=2, n=4	134.62	134.71		
a=3, b=3, c=3, n=2	80	78.13		
a=3, b=3, c=3, n=3	317.32	317.32		
a=3, b=3, c=3, n=4	724.57	724.57		
a=4, b=4, c=4, n=2	270.48	256.55		
a=4, b=4, c=4, n=3	1017.99	1017.99		
a=4, b=4, c=4, n=4	2317.55	2317.55		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.90 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 10% และค่าคงที่ $h=3$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	14.61	14.61	1.157	0.281
a=2, b=2, c=2, n=3	59.96	59.97		
a=2, b=2, c=2, n=4	139.99	140.02		
a=3, b=3, c=3, n=2	80.4	78.26		
a=3, b=3, c=3, n=3	313.18	313.18		
a=3, b=3, c=3, n=4	721.8	721.8		
a=4, b=4, c=4, n=2	271.12	257		
a=4, b=4, c=4, n=3	1020.68	1020.68		
a=4, b=4, c=4, n=4	2293.08	2293.08		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.91 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 50% และค่าคงที่ $h=1$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	191.26	191.26	-0.304	0.769
a=2, b=2, c=2, n=3	176.71	176.18		
a=2, b=2, c=2, n=4	181.06	180.15		
a=3, b=3, c=3, n=2	167.95	170.21		
a=3, b=3, c=3, n=3	284.6	284.6		
a=3, b=3, c=3, n=4	658.77	658.74		
a=4, b=4, c=4, n=2	1206.85	1206.85		
a=4, b=4, c=4, n=3	943.27	943.28		
a=4, b=4, c=4, n=4	2201.42	2201.42		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.92 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 50% และค่าคงที่ $h=2$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	218.15	218.15	-1.079	0.312
a=2, b=2, c=2, n=3	205.1	204.59		
a=2, b=2, c=2, n=4	203.09	202.15		
a=3, b=3, c=3, n=2	193.33	195.88		
a=3, b=3, c=3, n=3	285.19	285.19		
a=3, b=3, c=3, n=4	648.35	648.32		
a=4, b=4, c=4, n=2	223.69	229.26		
a=4, b=4, c=4, n=3	939.4	939.41		
a=4, b=4, c=4, n=4	2186.14	2186.14		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.93 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 50% และค่าคงที่ $h=3$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	230.28	230.28	-1.069	0.316
a=2, b=2, c=2, n=3	215.35	214.77		
a=2, b=2, c=2, n=4	212.02	210.97		
a=3, b=3, c=3, n=2	203.61	206.34		
a=3, b=3, c=3, n=3	293.31	293.31		
a=3, b=3, c=3, n=4	646.25	646.21		
a=4, b=4, c=4, n=2	226.91	233.82		
a=4, b=4, c=4, n=3	932.74	932.75		
a=4, b=4, c=4, n=4	2204.13	2204.13		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.94 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 90% และค่าคงที่ $h=1$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	638.97	638.97	-1.052	0.324
a=2, b=2, c=2, n=3	616.92	616.44		
a=2, b=2, c=2, n=4	589.73	588.7		
a=3, b=3, c=3, n=2	603.37	606.1		
a=3, b=3, c=3, n=3	563.76	563.76		
a=3, b=3, c=3, n=4	705.57	705.49		
a=4, b=4, c=4, n=2	522.43	542.82		
a=4, b=4, c=4, n=3	922.23	922.24		
a=4, b=4, c=4, n=4	2056.79	2056.79		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.95 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 90% และค่าคงที่ $h=2$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	731.49	731.49	-1.061	0.320
a=2, b=2, c=2, n=3	708.87	708.46		
a=2, b=2, c=2, n=4	679.79	678.82		
a=3, b=3, c=3, n=2	694.8	697.57		
a=3, b=3, c=3, n=3	645.03	645.03		
a=3, b=3, c=3, n=4	741.47	741.37		
a=4, b=4, c=4, n=2	608.7	629.04		
a=4, b=4, c=4, n=3	920.82	920.85		
a=4, b=4, c=4, n=4	2054.27	2054.27		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ตารางที่ 4.96 การเปรียบเทียบค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยที่คำนวณจากวิธีการประมาณทั้ง 2 วิธี เมื่อสัมประสิทธิ์การแปรผัน เท่ากับ 90% และค่าคงที่ $h=3$

ระดับปัจจัยและ ขนาดหน่วยทดลอง	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี วิเคราะห์ความแปรปรวน	ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยวิธี ประมาณสามลำดับชั้น	t-test	Sig. (2-tailed)
a=2, b=2, c=2, n=2	768.23	768.23	-1.045	0.326
a=2, b=2, c=2, n=3	746.6	746.07		
a=2, b=2, c=2, n=4	716.06	715.15		
a=3, b=3, c=3, n=2	732.14	734.7		
a=3, b=3, c=3, n=3	677.71	677.71		
a=3, b=3, c=3, n=4	762.31	762.19		
a=4, b=4, c=4, n=2	643.6	664.22		
a=4, b=4, c=4, n=3	926.37	926.39		
a=4, b=4, c=4, n=4	2022.22	2022.22		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (significant)

ภาคผนวก ข

(โปรแกรมการคำนวณหาค่าประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีประมาณสามลำดับชั้น)

```

PresetConstant<-function()
{
  a_2
  b_3
  c_4
  n_4

  u_40
  cv_0.1
  h_1

  vare_(cv*u)^(2/((3*h)+1))

  v1_hvare
  v2_hvare
  v3_hvare
  v4_hvare

  # create duplicator for randomdata

  level1_rep(1:a, each=(b*c*n))
  level2_rep(1:(a*b), each=(c*n))
  level3_rep(1:(a*b*c), each=n)
}

GenerateRandomData<-function()
{
  # this function create random data and return to array named toty

  toty_array(,dim=c(a*b*c*n))

  effects1_rnorm(a, v1)
  effects2_rnorm(a*b, v2)
  effects3_rnorm(a*b*c, v3)
  effects4_rnorm(a*b*c*n, v4)
  effects1[level1]
  effects2[level2]
  effects3[level3]
  effects4

  toty_u+effects1[level1]+effects2[level2]+effects3[level3]+effects4

  # write(toty,"textfile.txt",a*b*c*n)

  GenerateRandomData_toty
}

SumData<-function(i1, i2, i3, toty)

```

```

{
# This function calculate sum for subscript of toty array
# for example sum_SumData(1,1,0,toty)mean as sum of toty[1, 1, 1:c, 1:n]
# or          sum_Sumdata(1,2,3,toty)mean as sum of toty[1, 2, 3, 1:n]

sum_0
if (i1==0)
{
  for(i in 1:a)
    for(j in 1:b)
      for(k in 1:c)
        for(l in 1:n)
          sum_sum+toty[i,j,k,l]
}
else
{
  if (i2==0)
  {
    for(j in 1:b)
      for(k in 1:c)
        for(l in 1:n)
          sum_sum+toty[i1,j,k,l]
  }
  else
  {
    if (i3==0)
    {
      for(k in 1:c)
        for(l in 1:n)
          sum_sum+toty[i1,i2,k,l]
    }
    else
    {
      for(l in 1:n)
        sum_sum+toty[i1,i2,i3,l]
    }
  }
}
SumData_sum
}

```

```

SumOfLevel<-function(level)
{
# this function calculate sum for determined level
# which 0 as top and then 1, 2, 3 in order
# this function return sum as array which has a'b'c'n column
if (level==0)
{
  # sum for level-0
  sum_0
  for(k in 1:(a'b'c'n))
    sum_sum+toty[k]
  sum_rep(sum,a'b'c'n)
  SumOfLevel_sum
}
else
{
  if (level==1)
  {

```

```

sum_array(,dim=c(a))
for(j in 1:a)
{
  sum[j]_0
  for(k in 1:(b*c*n))
  {
    sum[j]_sum[j]+toty[k+((j-1)*(b*c*n))]
  }
}
SumOfLevel_sum[level1]
}
else
{
  if (level==2)
  {
    sum_array(,dim=c(a*b))
    for(j in 1:(a*b))
    {
      sum[j]_0
      for(k in 1:(c*n))
      {
        sum[j]_sum[j]+toty[k+((j-1)*(c*n))]
      }
    }
    SumOfLevel_sum[level2]
  }
  else
  {
    sum_array(,dim=c(a*b*c))
    for(j in 1:(a*b*c))
    {
      sum[j]_0
      for(k in 1:n)
      {
        sum[j]_sum[j]+toty[k+((j-1)*n)]
      }
    }
    SumOfLevel_sum[level3]
  }
}
}
}
}

TotalOfSqaareData<-function(toty)
{
  # this function return sum of toty^2 in array a*b*c*n column

  totysqr_toty^2
  tottotysqr_0

  for(j in 1:(a*b*c*n))
  tottotysqr_tottotysqr+totysqr[j]

  TotalOfSqaareData_rep(tottotysqr ,a*b*c*n)
}

MeanOf<-function(arVal)
{
  sum_0
  for(i in 1:(a*b*c*n))

```

```

        sum_sum+arVal[i]
      MeanOf_sum/(a*b*c*n)
    }

TestSigma<-function(sma)
{
  if ((sma[1,1]<=0) || (sma[1,2]<=0) || (sma[1,3]<=0) || (sma[1,4]<=0) || (sma[2,1]<=0) || (sma[2,2]
<=0) || (sma[2,3]<=0) || (sma[2,4]<=0))
    TestSigma_0
  else
    TestSigma_1
}

CalculateSigma<-function(s,sL0,sL1,sL2,sL3)
{
  # calculate sigma data

  sigma_array(dim=c(2,4))

  ssa_sL0-sL1
  ssb_sL1-sL2
  ssc_sL2-sL3
  sse_s-sL3
  sst_s-sL0

  ssa_MeanOf(ssa)
  ssb_MeanOf(ssb)
  ssc_MeanOf(ssc)
  sse_MeanOf(sse)
  sst_MeanOf(sst)

  msa_ssa/(a-1)
  msb_ssb/a*(b-1)
  msc_ssc/a*b*(c-1)
  mse_sse/a*b*c*(n-1)

  sigma[1,1]_abs((msa-msb))/b*c*n
  sigma[1,2]_abs((msb-msc))/c*n
  sigma[1,3]_abs((msc-mse))/n
  sigma[1,4]_abs(mse)

  sigma[2,1]_(1/(a*b*c))*abs((msa-msb))
  sigma[2,2]_(1/(a*b))*abs((msb-msc))
  sigma[2,3]_(1/a)*abs((msc-mse))
  sigma[2,4]_abs(mse)

  CalculateSigma_sigma
}

GenerateData<-function()
{
  chk_0

  # generate data which give sigma value > 0

  while (chk==0)
  {
    toty_GenerateRandomData()
  }
}

```

```

        sL0_SumOfLevel(0)
        sL1_SumOfLevel(1)
        sL2_SumOfLevel(2)
        sL3_SumOfLevel(3)
        s_TotalOfSqaareData(toty)
        sigma_CalculateSigma(s, sL0, sL1, sL2, sL3)
        chk_TestSigma(sigma)
    }
    GenerateData_sigma
}

#----Lines below is main part that call all function -----

chk1_10
chk2_10

EU_array(,dim=c(14))

PresetConstant()

sigma_GenerateData()
eua_sqrt((sigma[1, 1]-v1)^2+(sigma[1, 2]-v2)^2+(sigma[1, 3]-v3)^2+(sigma[1, 4]-v4)^2)
eut_sqrt((sigma[2, 1]-v1)^2+(sigma[2, 2]-v2)^2+(sigma[2, 3]-v3)^2+(sigma[2, 4]-v4)^2)
PrvEuaMean_eua
PrvEutMean_eut
LoopCnt_2

while ((chk1>0.05) || (chk2>0.05))
{
    sigma_GenerateData()
    eua_sqrt((sigma[1, 1]-v1)^2+(sigma[1, 2]-v2)^2+(sigma[1, 3]-v3)^2+(sigma[1, 4]-v4)^2)
    eut_sqrt((sigma[2, 1]-v1)^2+(sigma[2, 2]-v2)^2+(sigma[2, 3]-v3)^2+(sigma[2, 4]-v4)^2)
    EuaMean_(((PrvEuaMean*(LoopCnt-1))+eua) / LoopCnt)
    EutMean_(((PrvEutMean*(LoopCnt-1))+eut) / LoopCnt)
    chk1_abs(PrvEuaMean-EuaMean)
    chk2_abs(PrvEutMean-EutMean)
    EU[1]_PrvEuaMean
    EU[2]_(PEUA) = "
    EU[3]_EuaMean
    EU[4]_(EUA) = "
    EU[5]_chk1
    EU[6]_" | "
    EU[7]_PrvEutMean
    EU[8]_(PEUT) = "
    EU[9]_EutMean
    EU[10]_(EUT) = "
    EU[11]_chk2
    EU[12]_" | "
    EU[13]_ LptCnt = "
    EU[14]_LoopCnt

    PrvEuaMean_EuaMean
    PrvEutMean_EutMean

    write(EU,"textfile.txt", 14, T)

    LoopCnt_LoopCnt+1
}

```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว กนกพร เกลียวปิยะ เกิดวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต วิชาเอกเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิตที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย