การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาว

นางสาวไพจิตร สิงหาโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-3408-5

PARAMETERS ESTIMATION FOR A FIXED-EFFECT COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN WITH LONGITUDINAL DATA

Miss Phaijit Singharchot

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 974-17-3408-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาว
โดย	นางสาวไพจิตร สิงหาโชติ
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

ดนุชา คุณพนิชกิจ ....คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดนุชา คุณพนิชกิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นพรัตน์ รุ่งอุทัยศิริ)

ไพจิตร สิงหาโชติ : การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาว.(PARAMETERS ESTIMATION FOR A FIXED – EFFECT COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN WITH LONGITUDINAL DATA.) อ.ที่ปรึกษา:รศ.ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา, 138 หน้า ISBN 974-17-3408-5.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 2 วิธี คือ วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likahood Estimation) และวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares Method) โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว ซึ่งสนใจศึกษากรณีที่ลักษณะของความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน กำหนดให้ตัวแบบที่ศึกษาเป็นดังนี้ คือ

$Y_{ijk} = \mu + \alpha_k + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$, i = 1,2,…,a : j = 1,2,…,n : k = 1,2,…,t เมื่อ Y_{ijk} แทนค่าสังเกตที่ j ปัจจัยทดลองที่ i และเก็บข้อมูลในครั้งที่ k, μ แทนค่าเฉลี่ยรวม α_k แทนอิทธิพลระดับที่ i ของปัจจัยทดลองและ ε_{ijk} แทนความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ j ระดับที่ i ของปัจจัยทดลองและเก็บข้อมูลในครั้งที่ k โดยที่ μ, α_k, τ_i เป็นอิทธิพลกำหนดและ ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยศูนย์และความแปรปรวน (σ^2) คงที่, a แทนจำนวนระดับปัจจัยทดลอง n แทนขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ในแต่ละวิธีการทดลอง และ t แทนจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลโดยที่มีพารามิเตอร์ คือ μ, α_k, τ_i

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6 การเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์ของจำนวนปัจจัยทดลอง ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล และได้ทำการจำลองข้อมูลในกรณีที่ a = 2, 3 และ 4 ; n = 3, 4 และ 5 โดยที่ t = 2, 4 และ 6 สำหรับเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าประมาณจากวิธีการทั้งสองแบบนั้นได้ใช้วิธีการหาค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

ในกรณีที่จำนวนปัจจัยการทดลอง ขนาดหน่วยการทดลองที่ใช้และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าน้อย การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยใกล้เคียงกับการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ส่วนในกรณีที่จำนวนปัจจัยทดลอง ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่ามาก การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยสูงกว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

นั่นคือการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบปัจจัยคงที่สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ กรณีข้อมูลระยะยาวและมีลักษณะความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดจะให้ค่าประมาณโดยส่วนใหญ่ดีกว่าการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ภาควิชาสถิติ ลายมือชื่อนิสิต…………………………………………..

สาขาวิชาสถิติ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา……………………………

ปีการศึกษา 2545

##4282339626 : MAJOR STATISTICS

KEYWORD: Parameter Estimation / Longitudinal Data / Maximum Likelihood Estimation / Completely Randomized Design

PHAIJIT SINGHARCHOT : PARAMETERS ESTIMATION FOR A FIXED-EFFECT COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN WITH LONGITUDINAL DATA. THESIS ADVISOR PROF. SUPOL DURONGWATANA,Ph.D., 138 pp.ISBN 974-17-3408-5.

The objective of this study is to compare two methods of parameters estimation for a fixed-effect completely randomized design with longitudinal data; maximun likelihood estimation and ordinary least square method.The model estimation for a fixed-effect completely randomized design is as follows :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_k + \tau_i + \varepsilon_{ijk} \qquad , i = 1,2,\ldots,a : j = 1,2,\ldots,n : k = 1,2,\ldots,t$$

Where Y_{ijk} is the j^{th} observation for the i^{th} level of treatment and the k^{th} level of period. μ is grand mean , α_k is the k^{th} fixed-effect of period, τ_i is the i^{th} fixed-effect of treatment, ε_{ijk} is random error for the j^{th} observation at the i^{th} level of treatment and tha k^{th} level of period and μ, α_k, τ_i are fixed effect and ε_{ijk} is independently and normally distributed with mean zero and variance σ_ε^2, a is number of levels for treatment, t is number of levels for period, n is number of replication for each treatment combination. The parameters;μ, α_k, τ_i and σ_ε^2 are parameters for the model. Monte Carlo Simulation is done through Visual Basic 6.0 Code. It is simulated under several situations due to the number of levels for treatment, the number of levels for period, the number of replication for each treatment combination of the observed data. In this study, the simulation is specified at a=2, 3 and 4 ;n=3, 4 and 5 when t=2, 4 and 6 respectively. The average of Euclidean distance between the vector of parameter estimates and the vector of true values is a criteria for comparison between both methods.

The result of the study shows that parameter estimates for each parameter using maximum likelihood estimation for the number of levels for treatment, the number of levels for period, the number of replication for each treatment combination of the observed data greater than; provides shortor averaged distance than the one from the ordinary least square method. When the number of levels for treatment, the number of levels for period, the number of replication for each treatment combination of the observed data less than; the distance from the maximum likelihood estimation is not difference the one from the ordinary least square method.

Department Statistics Student's signature.....................................

Field of study Statistics Advisor's signature.....................................

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ผู้ซึ่งกรุณาให้แนวคิดและแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง รองศาสตราจารย์ นพรัตน์ รุ่งอุทัยศิริ และ รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติที่ให้โอกาสทางการศึกษาและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ภาควิชาสถิติ และเจ้าหน้าที่สำนักทะเบียนและประมวลผลที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการวิจัยในครั้งนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ญาติพี่น้องและพี่ๆที่สำนักงานบริหารแผนและการคลังทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำวิจัยในครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ไพจิตร สิงหาโชติ

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวางแผนการทดลอง (Experimental Design) เป็นระเบียบวิธีการทางสถิติที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับสาขาวิชาต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร เป็นต้น ซึ่งแผนการทดลองมีลักษณะที่ง่ายและนิยมใช้ในทางปฏิบัติมากที่สุดแผนหนึ่งคือ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) เป็นแผนการทดลองเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของปัจจัยทดลองเมื่อหน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอ ไม่มีความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น อายุ น้ำหนัก เป็นต้น หรือแม้จะมีก็จัดว่าน้อยมาก

โดยปกติแล้ว แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จะใช้กับข้อมูลภาคตัดขวาง (Cross-Sectional Data) และไม่มีการทำซ้ำ (Repeated Measure) การประมาณค่าพารามิเตอร์นั้นผู้วิจัยมักจะเลือกใช้วิธีกำลังสองต่ำสุดสามัญ (Ordinary Least Square Method : OLS) เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ตัวประมาณมีคุณสมบัติเป็น ตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงเชิงเส้นและมีความแปรปรวนต่ำสุด
(Best Linear Unbiased Estimator : BLUE) ทั้งนี้ต้องกระทำภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนสุ่ม (ε_t) ดังนี้ คือ

1. ε_t มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ; $t=1,2,\ldots,n$
2. ε_t มีความแปรปรวนคงที่ $Var(\varepsilon_t) = \sigma^2$; $t=1,2,\ldots,n$
3. ε_t และ ε_k ไม่มีความสัมพันธ์กันหรือ $Cov(\varepsilon_t ,\varepsilon_k) = 0$ เมื่อ $t \neq k$

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติบ่อยครั้งที่เราพบว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีอยู่ไม่น้อยที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นดังกล่าว เช่น ความคลาดเคลื่อนจะมีสหสัมพันธ์กันกล่าวคือ
$E(\varepsilon_i\varepsilon_j) \neq 0$ เมื่อ $i \neq j$ ซึ่งในสถานการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า อัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation)
ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาเฉพาะกรณีที่ข้อมูลเป็นข้อมูลระยะยาว (Longitudinal Data) คือการเก็บข้อมูลจากหน่วยทดลองหน่วยเดิมซ้ำกันมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งพบมากในข้อมูลทางด้านชีววิทยา และการแพทย์ เป็นต้น และเนื่องจากการเก็บข้อมูลซ้ำจากหน่วยทดลองเดิมจึงทำให้ข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ ข้อมูลมีสหสัมพันธ์กัน และข้อมูลไม่มีสหสัมพันธ์กันกับข้อมูลในเวลาที่ผ่านมา

ในด้านการทดลอง ข้อมูลจะเกิดสหสัมพันธ์กันก็ต่อเมื่อมีการเก็บข้อมูลซ้ำจากหน่วยทดลองเดิมโดยที่หน่วยทดลองนั้นได้รับปัจจัยทดลองปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล ส่วนในกรณีข้อมูลไม่มีสหสัมพันธ์กันจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้วิจัยได้ทำการกำจัดอิทธิพลของปัจจัยการทดลองก่อนที่จะมีการวัดซ้ำ เช่น มีการสุ่มให้ปัจจัยทดลองใหม่กับหน่วยทดลองก่อนที่จะมีการวัดซ้ำ ดังนั้นการเก็บข้อมูลซ้ำจากหน่วยทดลองเดิม จึงอาจทำให้เกิดปัญหาความคลาดเคลื่อนมีอัตตสหสัมพันธ์กันและรูปแบบที่พบโดยทั่วไปในอัตตสหสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนคือ อัตตถดถอยอันดับที่1 (First Order Autoregressive : AR(1)) ดังนั้นถ้าหากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เกิดปัญหาดังกล่าวและผู้วิจัยยังคงทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองต่ำสุดสามัญ ย่อมทำให้เกิดผลเสีย โดยเฉพาะในแง่คุณภาพของตัวประมาณจะทำให้ตัวประมาณที่ได้ไม่มีคุณสมบัติเป็น ตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงเชิงเส้นที่ดีที่สุด เนื่องจากมีความแปร

ปรวนไม่ต่ำสุด ถึงแม้จะยังคงเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงก็ตาม ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการในการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันกัน โดยสนใจที่จะศึกษาวิธีประมาณสองวิธีต่อไปนี้

1.วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation : MLE)

2.วิธีกำลังสองน้อยที่สุด(Ordinary Least Square Method:OLS)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีทั้งสองดังกล่าว สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว โดยศึกษาเฉพาะกรณีที่ความคลาดเคลื่อนไม่มีสหสัมพันธ์กัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว โดยข้อมูลที่ศึกษามีลักษณะของความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน โดยเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ใน 2 วิธี ต่อไปนี้

1. วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation : MLE)
2. วิธีกำลังสองน้อยที่สุด(Ordinary Least Square Method:OLS)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ กรณีข้อมูลระยะยาว ในสถานการณ์ที่จำนวนระดับของปัจจัยการทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าน้อยการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และในสถานการณ์ที่จำนวนระดับของปัจจัยการทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่ามากการประมาณด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงของพารามิเตอร์มากกว่า

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โดยกำหนดค่าต่างๆ เบื้องต้นดังต่อไปนี้

1.4.1 ศึกษาภายใต้ลักษณะการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนสุ่ม (ε_{ijt}) ที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยกำหนด ε_{ijt} มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนคงที่

1.4.2 กำหนดระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ คือ

2.1 a = 2 , n = 3,4,5
2.2 a = 3 , n = 3,4,5
2.3 a = 4 , n = 3,4,5

1.4.3 กำหนดจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลโดยให้ระยะเวลามีช่วงห่างเท่ากันคือ 2,4,6

1.4.4 การวิจัยครั้งนี้ จำลองข้อมูลขึ้นตามสถานการณ์ที่ต้องการศึกษา โดยใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) โดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic 6

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. 5.1 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาภายใต้แผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลเป็นแบบสมดุล (Balanced Data)

1.5.2 ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว ซึ่งข้อมูลมีการวัดซ้ำด้วยระยะห่างของเวลาเท่า ๆ กัน ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยสนใจศึกษาเฉพาะกรณีที่ลักษณะของความคลาดเคลื่อนไม่มีสหสัมพันธ์กัน

1.5.3 ค่าสังเกตจากแต่ละชุดตัวอย่างสุ่มนั้นถือว่าสุ่มมาจากแต่ละประชากรที่มีวิธีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ด้วยค่าเฉลี่ย μ_{ik} สำหรับ i = 1,2,…,a และ k = 1,2,…,t ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ทางสถิติของค่าสังเกตได้ดังนี้

$$y_{ijk} = \mu_{ik} + \varepsilon_{ijk} \qquad \text{สำหรับ } i = 1,2,\ldots,a;\ j = 1,2,\ldots,n;\ k = 1,2,\ldots,t$$

โดยที่ $E(y_{ijk}) = \mu_{ik}$

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

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

ดังนั้น จะกำหนดให้ตัวแบบสำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาว มีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_k + \varepsilon_{ijk} \qquad \text{สำหรับ } i = 1,2,\ldots,a;\ j = 1,2,\ldots,n;\ k = 1,2,\ldots,t$$

เมื่อ y_{ijk} เป็นค่าสังเกตที่ j ของปัจจัยทดลองที่ i และวัดซ้ำเป็นครั้งที่ k

โดยกำหนดให้ a เป็นจำนวนปัจจัยทดลอง

n เป็นจำนวนซ้ำในปัจจัยทดลองที่ i

t เป็นจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล

μ หมายถึง ค่าเฉลี่ยทั้งหมด เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า

τ_i หมายถึง อิทธิพลกระทบของปัจจัยทดลองที่ i

α_k หมายถึง อิทธิพลกระทบของการวัดซ้ำในเวลาที่ k

ε_{ijk} หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม (random error) ของค่าสังเกตที่ j ของระดับปัจจัยทดลอง ที่ i และวัดซ้ำในเวลาที่ k ซึ่ง ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าความแปรปรวนคงที่

สำหรับ τ_i และ α_k เป็นพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาภายใต้ตัวแบบอิทธิพลคงที่ (Fixed - Effect Model) โดยมีข้อกำหนด คือ

$$\sum_{i=0}^{a} \tau_i = 0 \quad \text{และ} \quad \sum_{k=0}^{t} \alpha_k = 0$$

จะได้ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลใด ๆ คือ

$E(y_{ijk}) = \mu + \tau_i + \alpha_k$ และ $V(y_{ijk}) = \sigma^2$

ดังนั้น $y \sim N(\mu + \tau_i + \alpha_k,\ \sigma^2)$

จากตัวแบบข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\underline{Y} = \underline{X}\,\underline{\beta} + \underline{\varepsilon}$$

โดยที่ $\underline{Y}$ เป็นเวคเตอร์ของค่าสังเกตขนาด (ant) x 1

$\underline{X}$ เป็นเมตริกซ์ค่าคงที่ขนาด (ant)x(1+a+t+at)

$\underline{\beta}$ เป็นเวคเตอร์พารามิเตอร์ขนาด (1+a+t+at)x1

$\underline{\varepsilon}$ เป็นเวคเตอร์ของความคลาดเคลื่อนสุ่มขนาด (ant) x 1

กำหนดให้ $y_{ik} = (y_{i1k}, y_{i2k}, \ldots, y_{ink})'$ เป็นเวคเตอร์ของค่าสังเกตที่ 1, 2, …, n ของระดับปัจจัยทดลองที่ i และวัดซ้ำในเวลาที่ k

และ $\varepsilon_{ik} = (\varepsilon_{i1k}, \varepsilon_{i2k}, \ldots, \varepsilon_{ink})'$ เป็นเวคเตอร์ของความคลาดเคลื่อน

$\underline{Y} = (y_{11}, \ldots, y_{a1}, y_{12}, \ldots, y_{a2}, \ldots, y_{1t}, \ldots, y_{at})'$

$\underline{\varepsilon} = (\varepsilon_{11}, \ldots, \varepsilon_{a1}, \varepsilon_{12}, \ldots, \varepsilon_{a2}, \ldots, \varepsilon_{1t}, \ldots, \varepsilon_{at})'$

$\underline{\beta} = (\mu, \alpha, \tau)'$

เมื่อ $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_t)'$

$\tau = (\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_a)'$

$\underline{X} = (X_{i1}, X_{i2}, \ldots X_{ik})'$

เมื่อ X_{i1} คือ

$$
\left[\begin{array}{ccccc:cccc:cccc:cccc:c:cccc}
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
\hdashline
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
\hdashline
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\hdashline
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0
\end{array}\right]
$$

ε_{ijk} ความคลาดเคลื่อนไม่มีสหสัมพันธ์กัน (การวัดซ้ำแต่ละครั้งเป็นอิสระกัน)

ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระกัน มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนเป็น σ_k^2 นั่นคือ

$$E(\varepsilon_{ijk}) = 0$$

$$Var(\varepsilon_{ijk}) = \sigma^2$$

$$Cov(\varepsilon_{ijt}, \varepsilon_{ijk}) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad t \neq k$$

เมตริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมของ ε_{ijk} กรณีที่ไม่มีสหสัมพันธ์กัน คือ

$$
\left[\begin{array}{ccc|ccc|c|ccc}
\sigma^2 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\
\vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
0 & \cdots & \sigma^2 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\
\hline
0 & \cdots & 0 & \sigma^2 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\
\vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & \sigma^2 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\
\hline
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\hline
0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \sigma^2 & \cdots & 0 \\
\vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \sigma^2
\end{array}\right]
$$

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 การศึกษาข้อมูลระยะยาว (Longitudinal Data) หมายถึง การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งติดตามวัดตัวแปรตาม (response variable) ซ้ำๆในหน่วยทดลองเดียวกันระยะยาว

1.6.2 ระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) หมายถึง ระยะทางระหว่างเวกเตอร์ค่าจริงกับเวกเตอร์ค่าประมาณของพารามิเตอร์ในตัวแบบที่ศึกษา

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและเลือกวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลระยะยาวได้อย่างเหมาะสม

1.7.2 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลระยะยาวโดยใช้วิธีการประมาณค่าอื่นๆต่อไป

บทที่ 2
ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้สนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาวและเป็นอิสระกัน โดยเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ใน 2 วิธี คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด และวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อต่อไปนี้

2.1 วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

ในการวิจัยครั้งนี้ได้เสนอวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ 2 วิธี คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 วิธีกำลังสองน้อยสุด (Ordinary Least Squares : OLS)

วิธีการหาตัวประมาณพารามิเตอร์วิธีนี้ เป็นวิธีที่มีรากฐานมาจากทฤษฎีการประมาณเชิงเส้น (Theory of Linear Estimation) โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้ คือ ทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน $\sum \varepsilon_t^2$ มีค่าน้อยที่สุด ภายใต้ข้อสมมติเบื้องต้นของสมการถดถอยดังนี้

1. ค่าคลาดเคลื่อน (ε_t) เป็นตัวแปรสุ่ม
2. E (ε_t) = 0
3. E ($\varepsilon_s\varepsilon_t$) = σ^2 เมื่อ s = t (Homoscedasticity)
4. E ($\varepsilon_s\varepsilon_t$) = 0 เมื่อ s $\neq$ t (Nonautocorrelation)

เขียนสมการให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\underset{\sim}{Y} = X \underset{\sim}{\beta} + \underset{\sim}{\varepsilon}$$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ . \\ . \\ . \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & . & . & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & . & . & X_{k2} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & . & . & X_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_o \\ \beta_1 \\ . \\ . \\ . \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ . \\ . \\ . \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$\underset{\sim}{Y}$ เป็นเวตเตอร์ขนาด nx1 ของตัวแปรตาม Y

X เป็นเมตริกซ์ขนาด nx(k+1) ของสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ $\underset{\sim}{\beta}$

$\underset{\sim}{\beta}$ เป็นเวคเตอร์ขนาด (k+1)x1 ของพารามิเตอร์

$\underset{\sim}{\varepsilon}$ เป็นเวคเตอร์ขนาด nx1 ของค่าคลาดเคลื่อน

เมื่อ k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

ให้ $\underset{\sim}{\hat{\beta}}$ เป็นเวคเตอร์ของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ $\underset{\sim}{\beta}$ ซึ่งเมื่อแทนที่ $\underset{\sim}{\hat{\beta}}$ ลงในสมการ (2.5) จะได้

$$\underset{\sim}{Y} = X\underset{\sim}{\hat{\beta}} + \underset{\sim}{e}$$

เมื่อ $\underset{\sim}{e} = \underset{\sim}{\hat{\varepsilon}} = \underset{\sim}{Y} - X\underset{\sim}{\hat{\beta}}$

พิจารณาผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum Squares of Residual : SSE)

$$\begin{aligned} SSE &= \sum_{t=1}^{n} e_t^2 \\ &= \underset{\sim}{e}'\underset{\sim}{e} \\ &= (\underset{\sim}{Y} - X\underset{\sim}{\hat{\beta}})'(\underset{\sim}{Y} - X\underset{\sim}{\hat{\beta}}) \\ &= (\underset{\sim}{Y}' - \underset{\sim}{\hat{\beta}}'X')(\underset{\sim}{Y} - X\underset{\sim}{\hat{\beta}}) \\ &= \underset{\sim}{Y}'\underset{\sim}{Y} - Y'X\underset{\sim}{\hat{\beta}} - \underset{\sim}{\hat{\beta}}'X'\underset{\sim}{Y} + \underset{\sim}{\hat{\beta}}'X'X\underset{\sim}{\hat{\beta}} \end{aligned}$$

$$= \quad \underset{\sim}{Y}'\underset{\sim}{Y} - 2\underset{\sim}{\hat{\beta}}'X'\underset{\sim}{Y} + \underset{\sim}{\hat{\beta}}'X'X\underset{\sim}{\hat{\beta}}$$

การหาค่าต่ำสุดของผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ทำได้โดยการหาอนุพันธ์ของผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ $\underset{\sim}{\hat{\beta}}$ แล้ว กำหนดให้เท่ากับ $\underset{\sim}{0}$ ดังนี้

$$\frac{\partial(\underset{\sim}{Y}'\underset{\sim}{Y} - 2\underset{\sim}{\hat{\beta}}'X'\underset{\sim}{Y} + \underset{\sim}{\hat{\beta}}'X'X\underset{\sim}{\hat{\beta}})}{\partial\underset{\sim}{\hat{\beta}}} = \underset{\sim}{0}$$

$$-2X'\underset{\sim}{Y} + 2X'X\underset{\sim}{\hat{\beta}} = \underset{\sim}{0}$$

จะได้สมการปกติ คือ

$$X'X\underset{\sim}{\hat{\beta}} = X'\underset{\sim}{Y}$$

ดังนั้น $$\underset{\sim}{\hat{\beta}} = (X'X)^{-1}(X'\underset{\sim}{Y})$$

2.1.2 วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimawtion)

ตามหลักการของวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด จะต้องทำให้ L(B) มีค่ามากที่สุด (maximize) โดยการหาอนุพันธ์ (differentiate) เทียบกับ $\beta_0,\beta_1,\ldots,\beta_m$ แล้วให้ผลลัพธ์เป็นศูนย์ ได้สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น m + 1 สมการ ซึ่งสามารถหาค่าของ $\beta_0,\beta_1,\ldots,\beta_m$ ได้จากวิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Method) หรือจากวิธี Newton – Raphson หรือจากวิธีทำซ้ำ (Iterative Method (McCullagh และ Nelder (1981)) ในการวิจัยนี้จะใช้วิธี Newton - Raphson

ตามวิธี Newton – Raphson เรียกอนุพันธ์ย่อย (partial derivative) เทียบกับ $\beta_0,\beta_1,\ldots,\beta_m$ ของลอการิทึมธรรมชาติของฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น L(B) ว่า efficient scores แล้วนำมาเป็นสมาชิกของเวกเตอร์ U(B) มิติ (m + 1) x 1

$$U(B) = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial L(B)}{\partial \beta_0} \\ \dfrac{\partial L(B)}{\partial \beta_1} \\ \vdots \\ \dfrac{\partial L(B)}{\partial \beta_m} \end{bmatrix}$$

กำหนดเมทริกซ์ H(B) มิติ (m + 1) x (m + 1) มีสมาชิกเป็นอนุพันธ์ย่อยอันดับที่สอง (second partial derivative) ของ L(B)

โดยที่ สมาชิกตัวที่ (j, k) คือ $\dfrac{\partial^2 L(B)}{\partial \beta_j \partial \beta_k}$ j,k = 0,1,2,…,m

เรียกเมทริกซ์ H(B) ว่า Hessian matrix

$$H(B) = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial^2 L(B)}{\partial \beta_0^2} & \dfrac{\partial^2 L(B)}{\partial \beta_0 \partial \beta_1} \\ \dfrac{\partial^2 L(B)}{\partial \beta_1 \partial \beta_0} & \dfrac{\partial^2 L(B)}{\partial \beta_1^2} \end{bmatrix}$$

พิจารณาหาเวกเตอร์ U($\hat{B}$) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ของ efficient scores ของ B ที่ประกอบด้วยภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ใช้ Taylor Series กระจาย U(B) รอบ B^* ซึ่ง B^* อยู่ใกล้ ๆ $\hat{B}$ จะได้

$$U(\hat{B}) \approx U(B^*) + H(B^*)(\hat{B} - B^*)$$

โดยนิยามของตัวประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของ B จะได้ว่า

$$\frac{\partial L(B)}{\partial \beta_j}\Big|_{\hat{B}} = 0 \quad \text{สำหรับ } j = 0,1,2,\dots,m$$

และ $U(\hat{B}) = 0$

ดังนั้น $\hat{B} = B^* - H^{-1}(B^*)U(B^*)$

ซึ่งชี้นำไปให้มีการประมาณ $\hat{B}$ โดยการคำนวณซ้ำ ๆ ซึ่งค่าประมาณ $\hat{B}$ ณ รอบที่ r + 1

คือ $\hat{B}_{r+1} = \hat{B}_r$ - $H^{-1}(B_r)\ U(B_r)$

สำหรับ r = 0,1,2,... ซึ่ง $\hat{B}_0$ เป็นเวกเตอร์ของตัวประมาณเริ่มต้น

ถ้าผลต่างระหว่าง $\hat{B}$ ในรอบที่ r กับรอบที่ r + 1 มีค่าน้อยมากจนถือว่าไม่แตกต่างกัน โดยกำหนดเกณฑ์ว่า $\left|\hat{\beta}_{r+1} - \hat{\beta}\right|$ < 0.0000001 ค่า $\hat{B}_{r+1}$ นั้นจะเป็นค่าที่ยอมรับได้

2. เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณ

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ระหว่างการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดและวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด จะพิจารณาโดยทำการเปรียบเทียบในรูปขนาดเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ระหว่างค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่ศึกษากับค่าจริงของพารามิเตอร์นั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า “ระยะทางยุคลิด(เฉลี่ย)” (Euclidean distance) โดยมีหลักการดังนี้

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

$\hat{\underset{\sim}{\theta}}_{MLE}$ เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณของพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

$\hat{\underset{\sim}{\theta}}_{OLS}$ เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณของพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ซึ่ง $$\underset{\sim}{\theta} = \begin{pmatrix} \mu \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_t \\ \tau_1 \\ \tau_2 \\ \vdots \\ \tau_a \end{pmatrix} \quad \hat{\underset{\sim}{\theta}}_{MLE} = \begin{pmatrix} \mu_{MLE} \\ \alpha_{MLE_1} \\ \alpha_{MLE_2} \\ \vdots \\ \alpha_{MLE_t} \\ \tau_{MLE_1} \\ \tau_{MLE_2} \\ \vdots \\ \tau_{MLE_a} \end{pmatrix} \quad \hat{\underset{\sim}{\theta}}_{OLS} = \begin{pmatrix} \mu_{OLS} \\ \alpha_{OLS_1} \\ \alpha_{OLS_2} \\ \vdots \\ \alpha_{OLS_t} \\ \tau_{OLS_1} \\ \tau_{OLS_2} \\ \vdots \\ \tau_{OLS_a} \end{pmatrix}$$

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

$$\left\| \underset{\sim}{\theta} - \underset{\sim}{\hat{\theta}} \right\| = \sqrt{\begin{array}{l}(\mu - \hat{\mu})^2 + (\alpha_1 - \hat{\alpha}_1)^2 + (\alpha_2 - \hat{\alpha}_2)^2 + \ldots + (\alpha_t - \hat{\alpha}_t)^2 + (\tau_1 - \hat{\tau}_1)^2 + \\ (\tau_2 - \hat{\tau}_2)^2 + \ldots + (\tau_a - \hat{\tau}_a)^2\end{array}}$$

ในการวิจัยส่วนใหญ่จะทำการทดลองจนกว่าค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยลู่เข้าสู่ค่าคงที่หมายความว่าจะหยุดทำการทดลองเมื่อค่าสัมบูรณ์ของระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองก่อนหน้ามีค่าแตกต่างจากระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของจำนวนการทดลองถัดไปน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001

$$\left(\left| E_{u_{r\,\min}} - E_{u_{r\,\min-1}} \right| \le 0.001 \right)$$

ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$EuOLS = \frac{1}{N}\sum_{\ell=1}^{N} \left\| \underset{\sim}{\theta} - \underset{\sim OLS\ell}{\hat{\theta}} \right\| = \frac{1}{N}\sum_{\ell=1}^{N} \sqrt{\begin{array}{l}(\mu - \hat{\mu}_{OLS})^2 + (\alpha_1 - \hat{\alpha}_{OLS_1})^2 + \\ (\alpha_2 - \hat{\alpha}_{OLS_2})^2 + \ldots(\alpha_t - \hat{\alpha}_{OLS_t})^2 + \\ (\tau_1 - \hat{\tau}_{OLS_1})^2 + (\tau_2 - \hat{\tau}_{OLS_2})^2 + \ldots + (\tau_a - \hat{\tau}_{OLS_a})^2\end{array}}$$

และจะได้ว่า ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$EuMLE = \frac{1}{N}\sum_{\ell=1}^{N} \left\| \underset{\sim}{\theta} - \hat{\theta}_{\sim MLE} \right\| = \frac{1}{N}\sum_{\ell=1}^{N} \sqrt{\begin{aligned}&(\mu - \hat{\mu}_{MLE})^2 + (\alpha_1 - \hat{\alpha}_{MLE_1})^2 + \\ &(\alpha_2 - \hat{\alpha}_{MLE_2})^2 + \ldots(\alpha_t - \hat{\alpha}_{MLE_t})^2 + \\ &(\tau_1 - \hat{\tau}_{MLE_1})^2 + (\tau_2 - \hat{\tau}_{MLE_2})^2 + \ldots + (\tau_a - \hat{\tau}_{MLE_a})^2\end{aligned}}$$

เมื่อ N คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำให้ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยลู่เข้าสู่ค่าคงที่

ดังนั้นถ้าวิธีการใดที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าจะเป็นวิธีการประมาณที่เหมาะสมกว่าในภาพรวมของการประมาณ แสดงว่าค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่ได้โดยส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงค่าจริงของพารามิเตอร์มากกว่านั่นเอง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาว เพื่อศึกษาว่าวิธีการประมาณวิธีใดจะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของพารามิเตอร์มากกว่ากัน ซึ่งวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้กล่าวไว้แล้วดังรายละเอียดในบทที่ 2 ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงการดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 ผลิตเลขสุ่มจากรูปแบบการแจงแจงประชากรแบบปกติ

3.3 คำนวณหาค่าประมาณของพารามิเตอร์

3.4 เปรียบเทียบค่าประมาณโดยการคำนวณหาระยะทางยุคลิด (เฉลี่ย)

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม

ซึ่งขอกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาว ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) กับ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) ด้วยโปรแกรมภาษา Visual Basic 6 และประมวลผลด้วยเครื่อง PC โดยกำหนดสถานการณ์ในการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 ทำการทดลองกับตัวแบบสำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ กรณีข้อมูลเป็นแบบสมดุล (Balanced Data) โดยศึกษาตามลักษณะของความคลาดเคลื่อนไม่มีสหสัมพันธ์กัน

3.1.2 กำหนดขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ของแต่ละวิธีการทดลอง และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เป็นดังนี้

จำนวนระดับปัจจัยทดลอง เป็น 2, 3 และ 4

ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ คือ 3,4 และ 5

จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล คือ 2, 4 และ 6

3.1.3 สำหรับค่าเฉลี่ยประชากร (μ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5, 40, 75, 110 และ 180 ตามลำดับ และกำหนดให้ค่าความแปรปรวน (σ^2) มีค่าคงที่เป็น 10

3.2 ผลิตเลขสุ่มจากรูปแบบการแจงแจงประชากรแบบปกติ

เทคนิคที่ใช้ในการจำลองข้อมูลครั้งนี้อาศัยเทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Techniqune) สร้างสถานการณ์ต่าง ๆ ดังนั้นจะขอกล่าวถึงวิธีการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล แล้วจึงแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการวิจัยและโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยตามลำดับ

เทคนิคที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาในการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้นมีอยู่หลายวิธี วิธีการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งหลักการของการจำลองโดยเทคนิคดังกล่าว จะอาศัยตัวเลขสุ่ม (Random Numbers) มาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษา ขั้นตอนของวิธีการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

3.2.1 การสร้างเลขสุ่ม การสร้างเลขสุ่มเป็นสิ่งที่สำคัญมากในเทคนิคนี้ ทั้งนี้เพราะว่า หลักการของการจำลองแบบมอนติคาร์โลนั้นจะใช้เลขสุ่มมาช่วยในการหาคำตอบของปัญหา โดยลักษณะของเลขสุ่มที่สร้างขึ้นนี้ จะมีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ในช่วง (0,1) และเลขสุ่มแต่ละตัวจะเป็นอิสระกัน

3.2.2 การนำเลขสุ่มที่สร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ต้องการศึกษา บางปัญหาใช้เลขสุ่มโดยตรง ในบางปัญหาต้องใช้ขั้นตอนอื่นอีกหลายขั้นตอน โดยที่มีการใช้เลขสุ่มในบางขั้นตอนเท่านั้น

3.2.3 การทดลองกระทำ เมื่อนำเลขสุ่มมาประยุกต์ให้เข้ากับปัญหาที่ต้องการศึกษาได้แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือการทดลองโดยใช้กระบวนการสุ่ม (Random Process) มากระทำในลักษณะที่ซ้ำ ๆ กัน หลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษา

3.3 คำนวณหาค่าประมาณของพารามิเตอร์

เมื่อสร้างข้อมูล y_{ijk} ให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้นได้แล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้เสนอวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ 2 วิธี ดังต่อไปนี้

3.3.1 วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (MLE)

3.3.2 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS)

3.4 เปรียบเทียบค่าประมาณโดยการคำนวณหาระยะทางยุคลิด (เฉลี่ย)

การคำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\overline{EuOLS} = \frac{\sum_{i=1}^{rr}\left\|\beta - \hat{\beta}_{OLS}\right\|}{r} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\sqrt{\left(\mu - \hat{\mu}_{OLS}\right)^2 + \left(\tau_i - \hat{\tau}_{OLSi}\right)^2 + \left(\alpha_k - \hat{\alpha}_{OLSk}\right)^2}}{r}$$

การคำนวณหาระยะทางยุคลิดเฉลี่ยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดสามารถแสดงได้ดังนี้

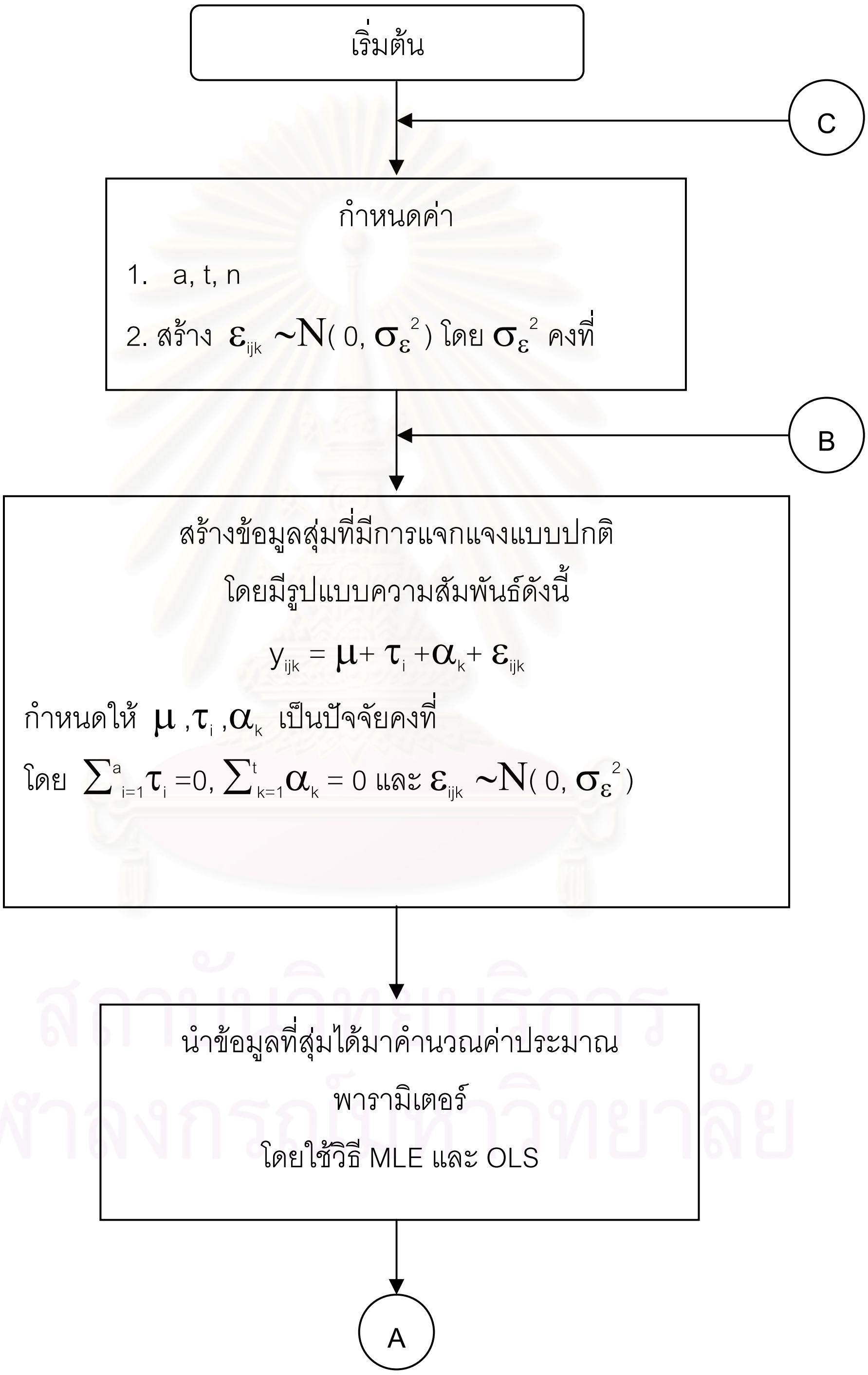
$$\overline{EuMLE} = \frac{\sum_{i=1}^{rr}\left\|\beta - \hat{\beta}_{MLE}\right\|}{r} = \frac{\sum_{i=1}^{r}\sqrt{\left(\mu - \hat{\mu}_{MLE}\right)^2 + \left(\tau_i - \hat{\tau}_{MLEi}\right)^2 + \left(\alpha_k - \hat{\alpha}_{MLEk}\right)^2}}{r}$$

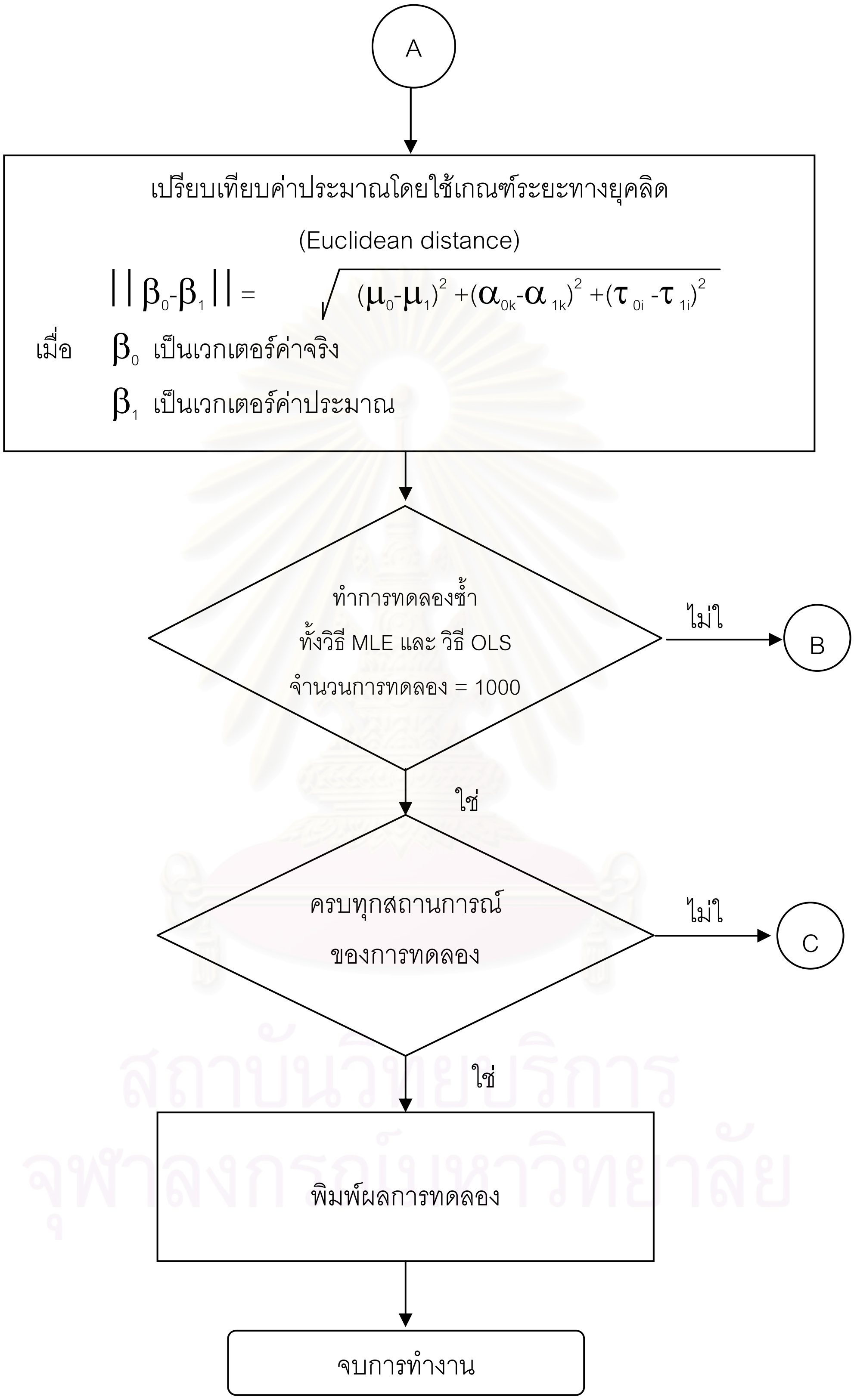
เมื่อ r คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยลู่เข้าสู่ค่าคงที่

ดังนั้น ถ้าวิธีการใดที่ให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่า วิธีการนั้นก็จะถือว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสม

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม

จากแผนการดำเนินงานข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถเขียนเป็นแผนผังสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้




A
เปรียบเทียบค่าประมาณโดยใช้เกณฑ์ระยะทางยุคลิด
(Euclidean distance)
$||\beta_0-\beta_1|| = \sqrt{(\mu_0-\mu_1)^2+(\alpha_{0k}-\alpha_{1k})^2+(\tau_{0i}-\tau_{1i})^2}$
เมื่อ β_0 เป็นเวกเตอร์ค่าจริง
β_1 เป็นเวกเตอร์ค่าประมาณ
ทำการทดลองซ้ำ
ทั้งวิธี MLE และ วิธี OLS
จำนวนการทดลอง = 1000
ไม่ใ
B
ใช่
ครบทุกสถานการณ์
ของการทดลอง
ไม่ใ
C
ใช่
พิมพ์ผลการทดลอง
จบการทำงาน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ สำหรับตัวแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ปัจจัยคงที่ กรณีข้อมูลระยะยาวสองวิธี คือ วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation : MLE) และวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares : OLS) โดยใช้ระยะทางยุคลิดเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณทั้งสองวิธีเพื่อหาวิธีการประมาณที่เหมาะสมกว่า และแสดงได้ว่าค่าประมาณพารามิเตอร์ ที่ได้โดยส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของพารามิเตอร์นั้น

การนำเสนอค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยจากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี โดยผลการทดลองได้พิจารณา 6 ลักษณะ คือ

1) เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลคงที่

2) เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลอง และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลคงที่

3) เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลอง และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้คงที่

4) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง 1000 รอบ กับจำนวนหน่วยทั้งหมดของการทดลอง ณ ที่ค่าเฉลี่ย 5, 40, 75, 110 และ 180

ผลจากการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของวิธีการประมาณทั้งสองวิธี

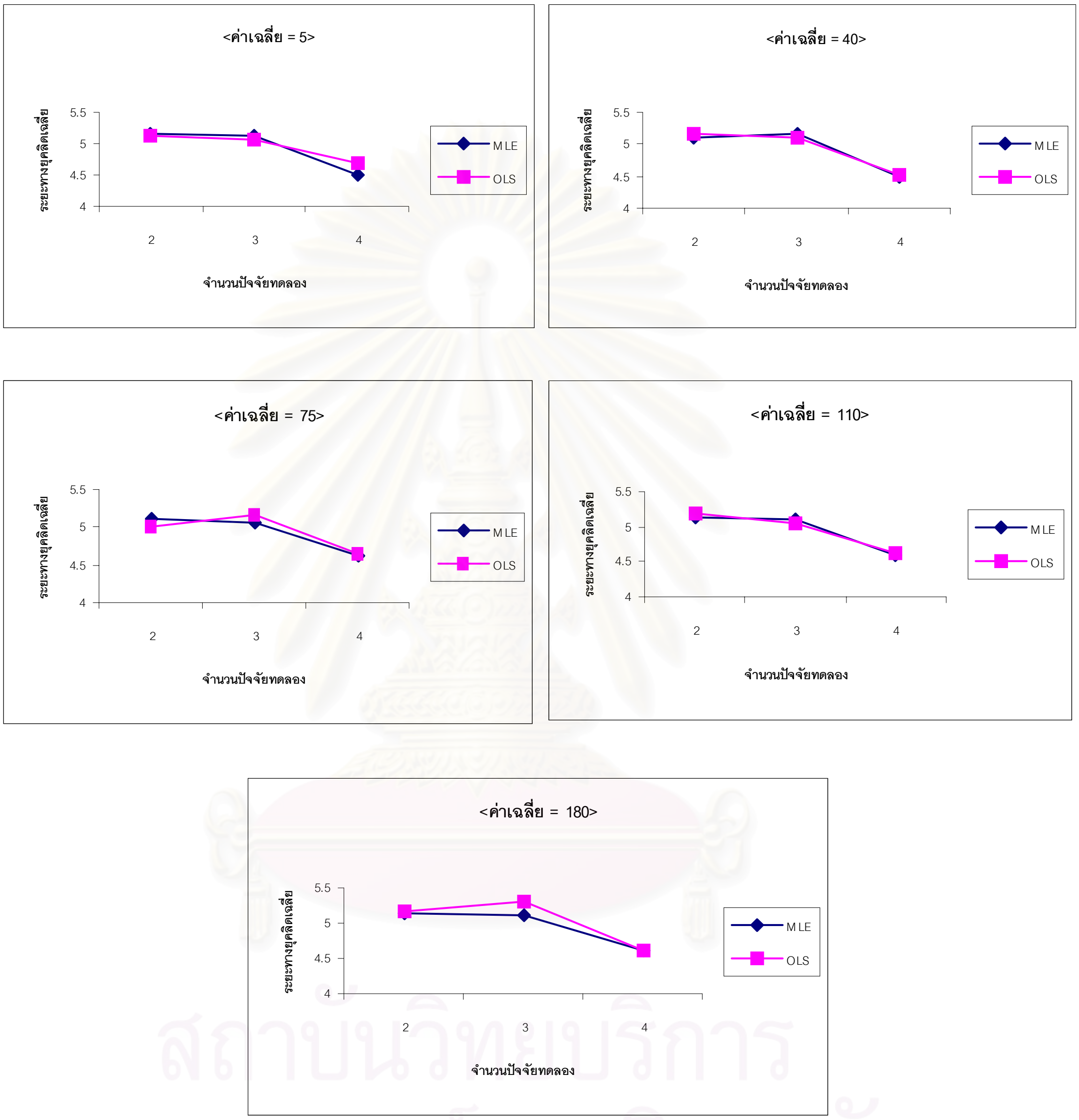
4.1 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้ขนาดของหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าคงที่ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00238567	5.16436908	0.00238567	5.13425355
	3	0.00313935	5.13350105	0.00791833	5.07772273
	4	0.00316075	4.51072388	0.00374947	4.67713135
40	2	0.00010109	5.10700136	0.00966159	5.0052245
	3	0.00100127	5.05940676	0.00095992	5.16833049
	4	0.00324036	4.60861838	0.00306207	4.64690442
75	2	0.00379542	5.10543054	0.0050156	5.1487957
	3	0.00118196	5.17156200	0.0005002	5.10940043
	4	0.00268908	4.49874495	0.00105249	4.51625049
110	2	0.00078201	5.13095340	0.00465471	5.18130252
	3	0.00299957	5.09424038	0.00463303	5.05116019
	4	0.00020009	4.59378686	0.0015072	4.61282724
180	2	0.00192704	5.14241205	0.00183733	5.1742332
	3	0.00126721	5.10078051	0.00031614	5.318342
	4	0.00187256	4.62111790	0.00497089	4.62185926

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ

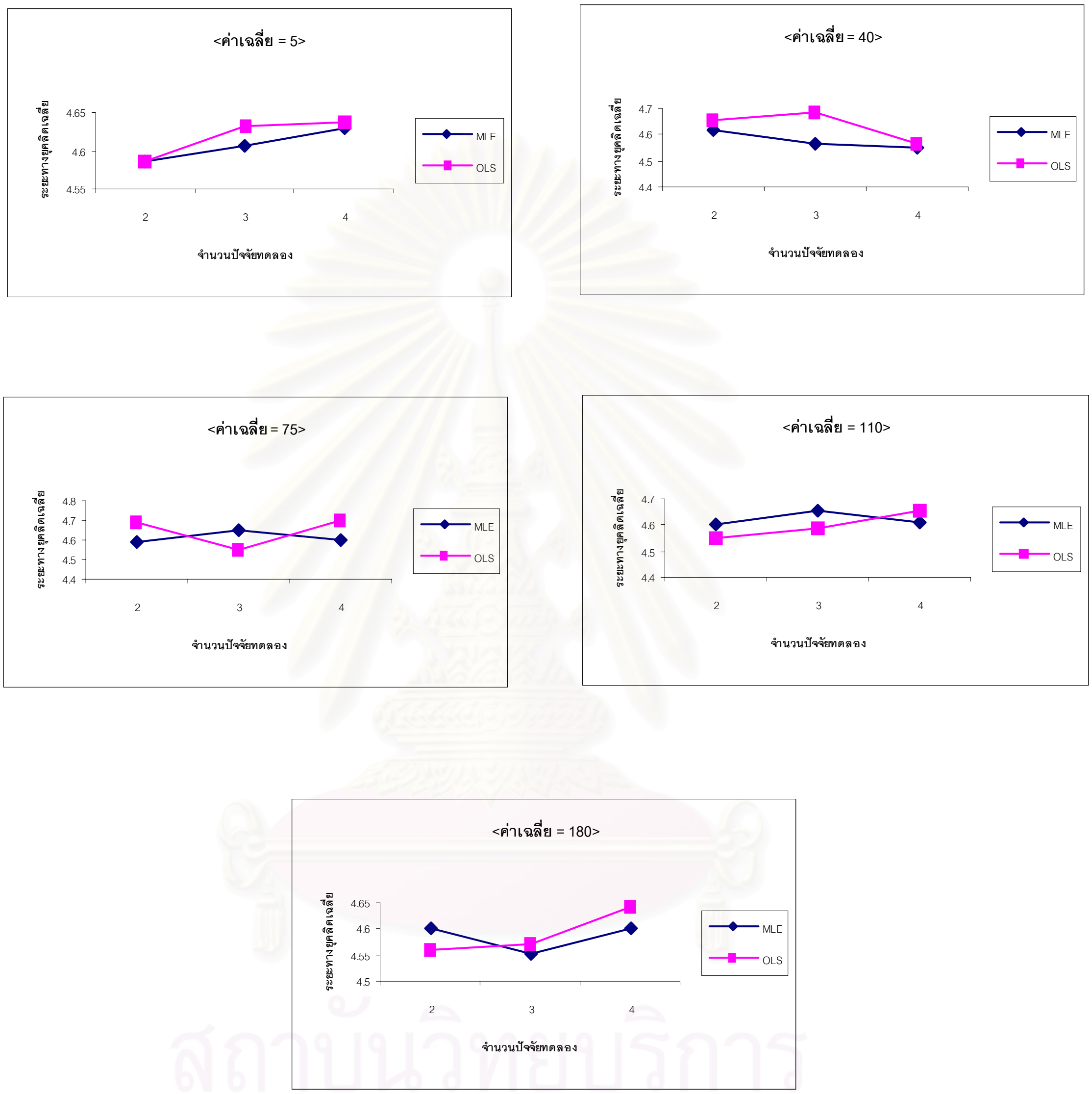


ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00038098	4.58565483	0.00010863	4.58621987
	3	0.00020950	4.60650444	0.00000143	4.63186934
	4	0.00150595	4.62870987	0.00539554	4.63634749
40	2	0.00734696	4.61461956	0.00484395	4.65719228
	3	0.00056356	4.56275277	0.00021319	4.68841874
	4	0.00275693	4.55330297	0.02395923	4.56654545
75	2	0.00056244	4.58816871	0.00306312	4.68835998
	3	0.00088912	4.64842047	0.00807587	4.55143687
	4	0.00040140	4.59535937	0.00251100	4.70189013
110	2	0.00123421	4.60446696	0.00002221	4.55030670
	3	0.00198059	4.65390137	0.00711784	4.58408672
	4	0.00052729	4.60749925	0.00167603	4.65197058
180	2	0.00044847	4.60045185	0.00196035	4.55963896
	3	0.00202596	4.55248523	0.00015527	4.57211593
	4	0.00452908	4.60151210	0.00003184	4.64208313

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

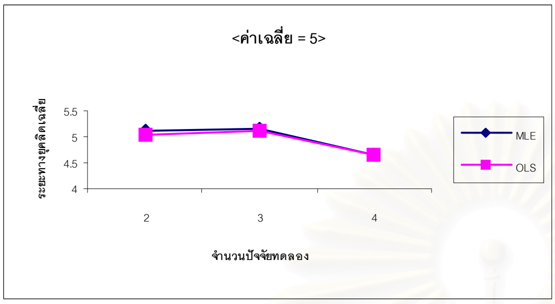


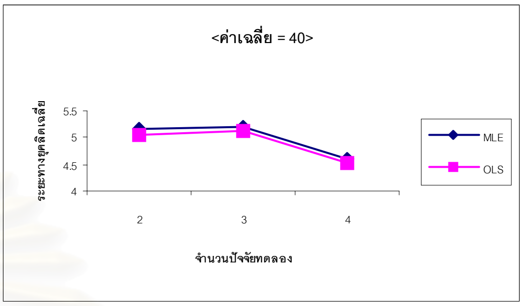
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 6 ตามลำดับ

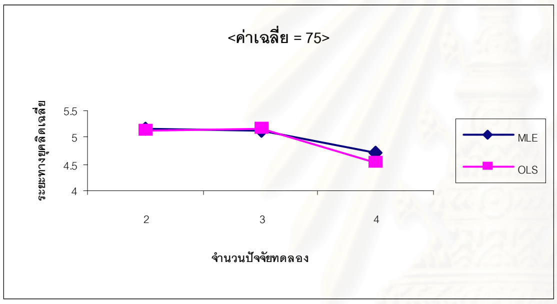
ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00014968	5.12481917	0.00510840	5.04443261
	3	0.00164826	5.14644426	0.00230170	5.11554398
	4	0.00198938	4.66156429	0.00350090	4.63620999
40	2	0.00328995	5.15037590	0.00213149	5.06764182
	3	0.00112650	5.19569774	0.00032164	5.14022015
	4	0.00481854	4.59940336	0.00409545	4.53637849
75	2	0.00162949	5.15903960	0.00008335	5.11991795
	3	0.00317702	5.11487951	0.00120454	5.17662721
	4	0.00146611	4.70324324	0.00110781	4.53524853
110	2	0.01000754	5.13369459	0.00210257	5.15825142
	3	0.00070761	5.11038029	0.00779038	5.16952024
	4	0.00180093	4.51710805	0.00191928	4.62462449
180	2	0.00037746	5.01573072	0.00829576	5.05614958
	3	0.00019845	5.12784510	0.00492965	5.11499380
	4	0.00182339	4.52381103	0.00526185	4.59686685

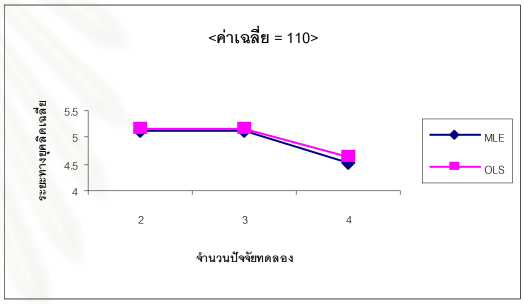
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

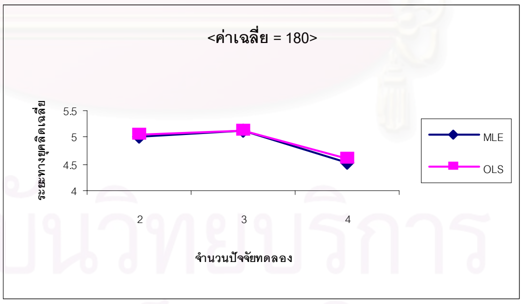
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 6 ตามลำดับ









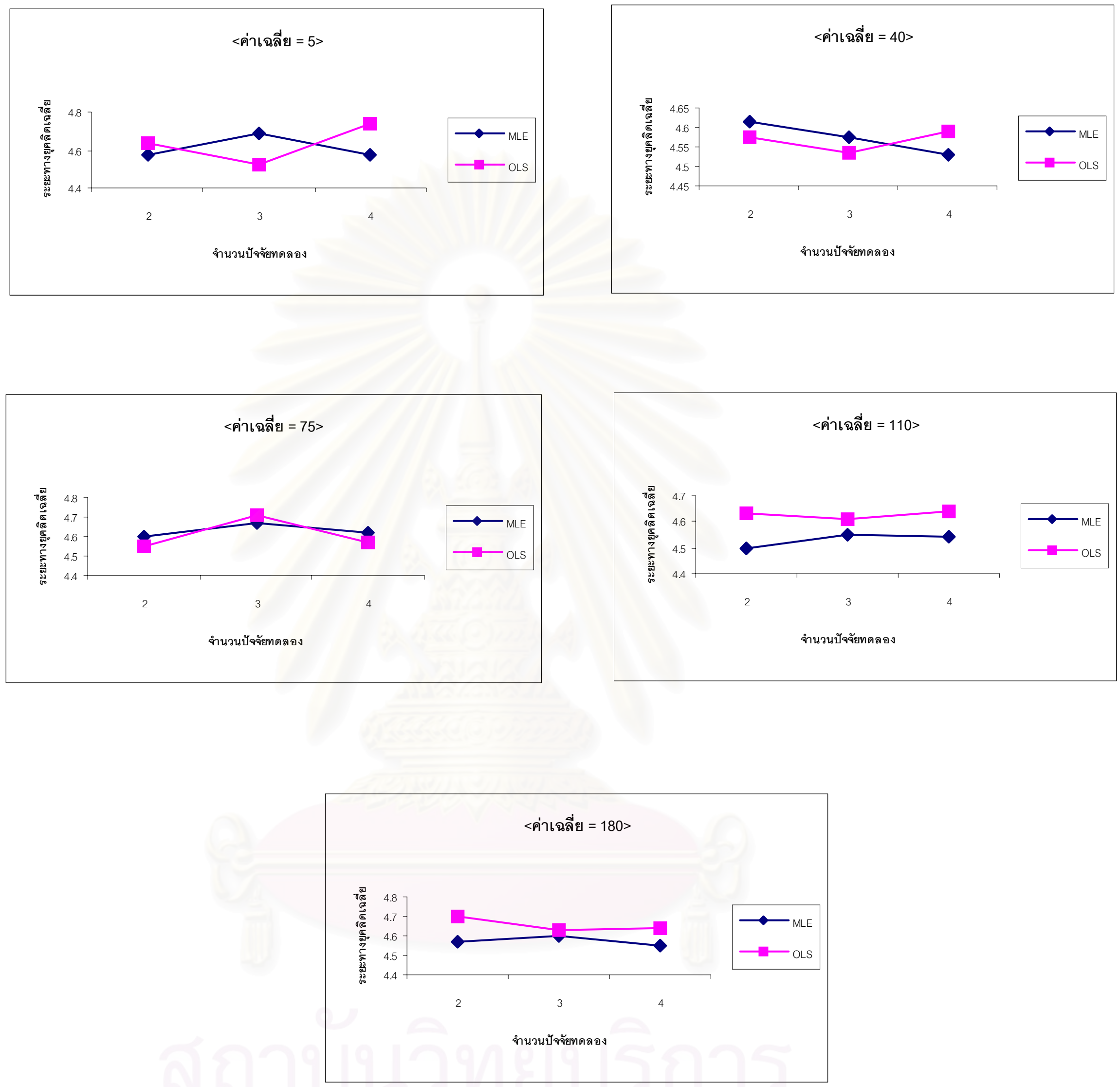


ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 2 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00089906	4.57690666	0.00278202	4.63411362
	3	0.00039190	4.68567283	0.00058235	4.51995749
	4	0.00104127	4.57145770	0.00235878	4.73541790
40	2	0.00096840	4.61678562	0.00043204	4.57534988
	3	0.00105249	4.57743612	0.00145098	4.53490835
	4	0.00036507	4.53156371	0.00029135	4.59030690
75	2	0.00275908	4.59655759	0.00313635	4.54806610
	3	0.00005876	4.66603980	0.00383272	4.70671157
	4	0.00083241	4.61727355	0.00227864	4.56880876
110	2	0.00387708	4.50069169	0.00406211	4.63069459
	3	0.00570605	4.55167040	0.00190368	4.60775629
	4	0.00173182	4.54012960	0.00108525	4.64210190
180	2	0.00092179	4.57002846	0.00377134	4.70330664
	3	0.00137425	4.60182741	0.00819921	4.62630326
	4	0.00016253	4.55067026	0.00138087	4.63759409

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 2 ตามลำดับ

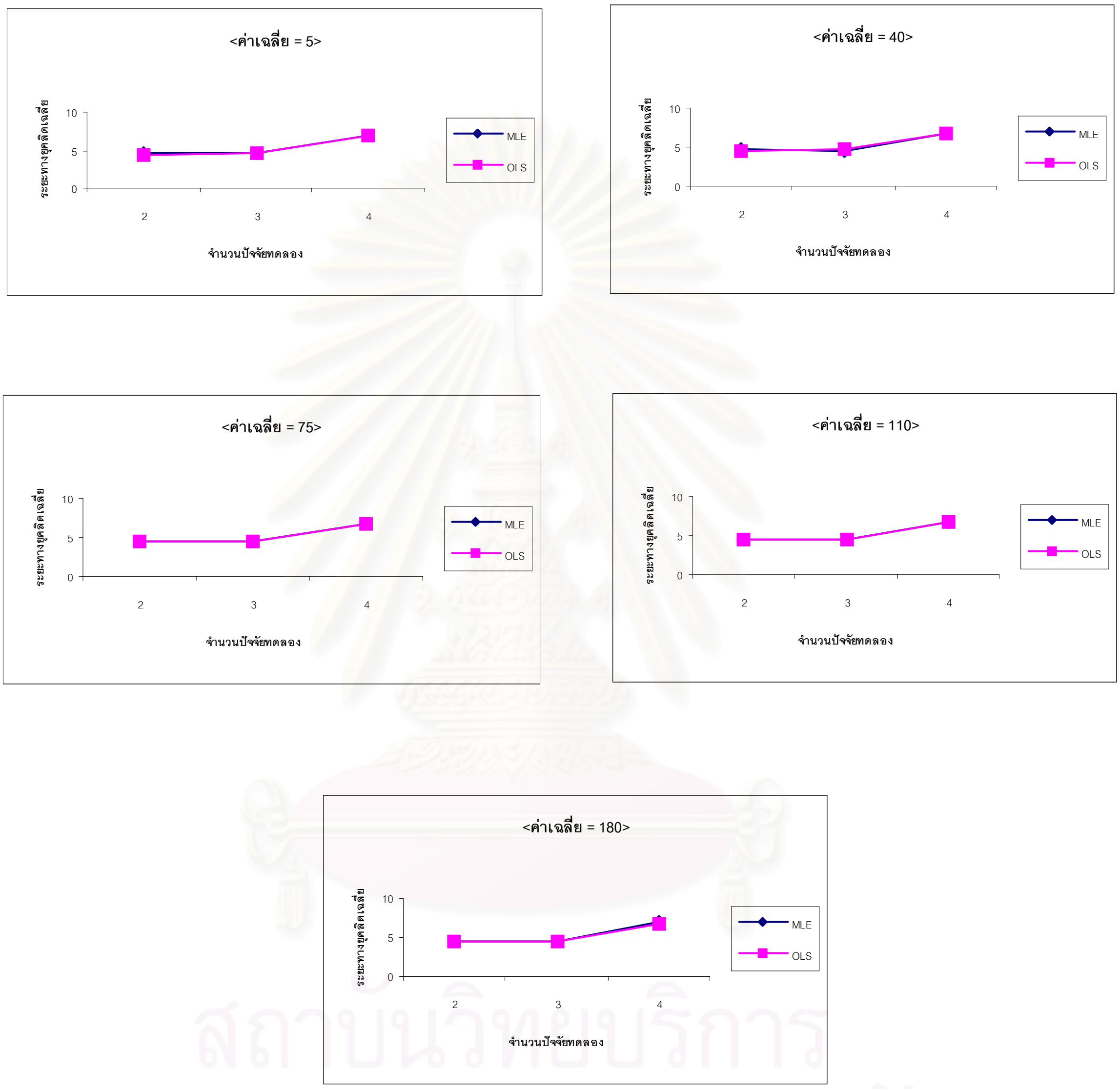


ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00236236	4.58598160	0.00062530	4.43663105
	3	0.00258705	4.66063237	0.01051687	4.62078144
	4	0.00364248	6.82736456	0.00731382	6.80163067
40	2	0.00117927	4.65020508	0.00142505	4.60280652
	3	0.00182238	4.54097708	0.00001497	4.66654451
	4	0.00359284	6.82480863	0.00111975	6.84067293
75	2	0.00063365	4.61317767	0.00401937	4.55077180
	3	0.00085737	4.51805382	0.00127188	4.59074112
	4	0.00199874	6.76796720	0.00239748	6.80903222
110	2	0.00098605	4.60145272	0.00338449	4.52287642
	3	0.00235304	4.57241874	0.00567263	4.56513815
	4	0.00025428	6.85314458	0.00210031	6.81606974
180	2	0.00147342	4.61451602	0.00014274	4.52823751
	3	0.00042622	4.60457628	0.00906291	4.55016504
	4	0.00146320	6.87561679	0.00254658	6.84914263

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 4 ตามลำดับ

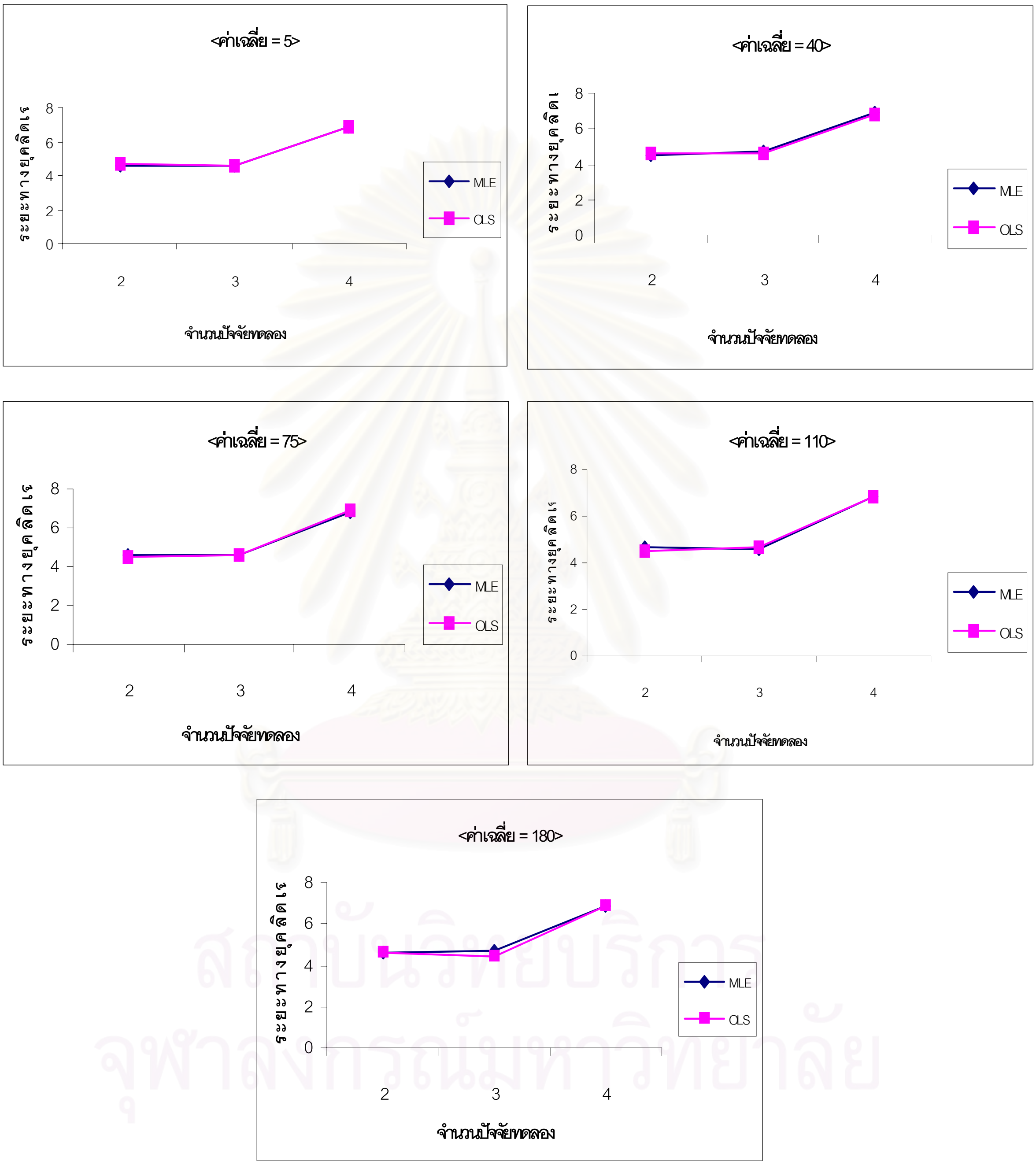


ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00060560	4.60257540	0.00258705	4.68136454
	3	0.00119638	4.54526190	0.00000840	4.52353850
	4	0.00123292	6.82142659	0.00034555	6.81915128
40	2	0.00114778	4.54714485	0.00422146	4.62016384
	3	0.00106695	4.66465662	0.00210910	4.56234755
	4	0.00141289	6.87710921	0.00514362	6.82062552
75	2	0.00248028	4.60118484	0.00583798	4.54818350
	3	0.00418367	4.61646573	0.00127709	4.56844954
	4	0.00008165	6.83590474	0.00258028	6.85360186
110	2	0.00153506	4.67198806	0.00450900	4.51237109
	3	0.00092084	4.54498126	0.00021874	4.67802819
	4	0.00161260	6.83746777	0.00001548	6.83889030
180	2	0.00485699	4.63383161	0.01417114	4.63531791
	3	0.00269491	4.71269955	0.00456162	4.65291867
	4	0.00222754	6.85883290	0.00008577	6.87169987

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ

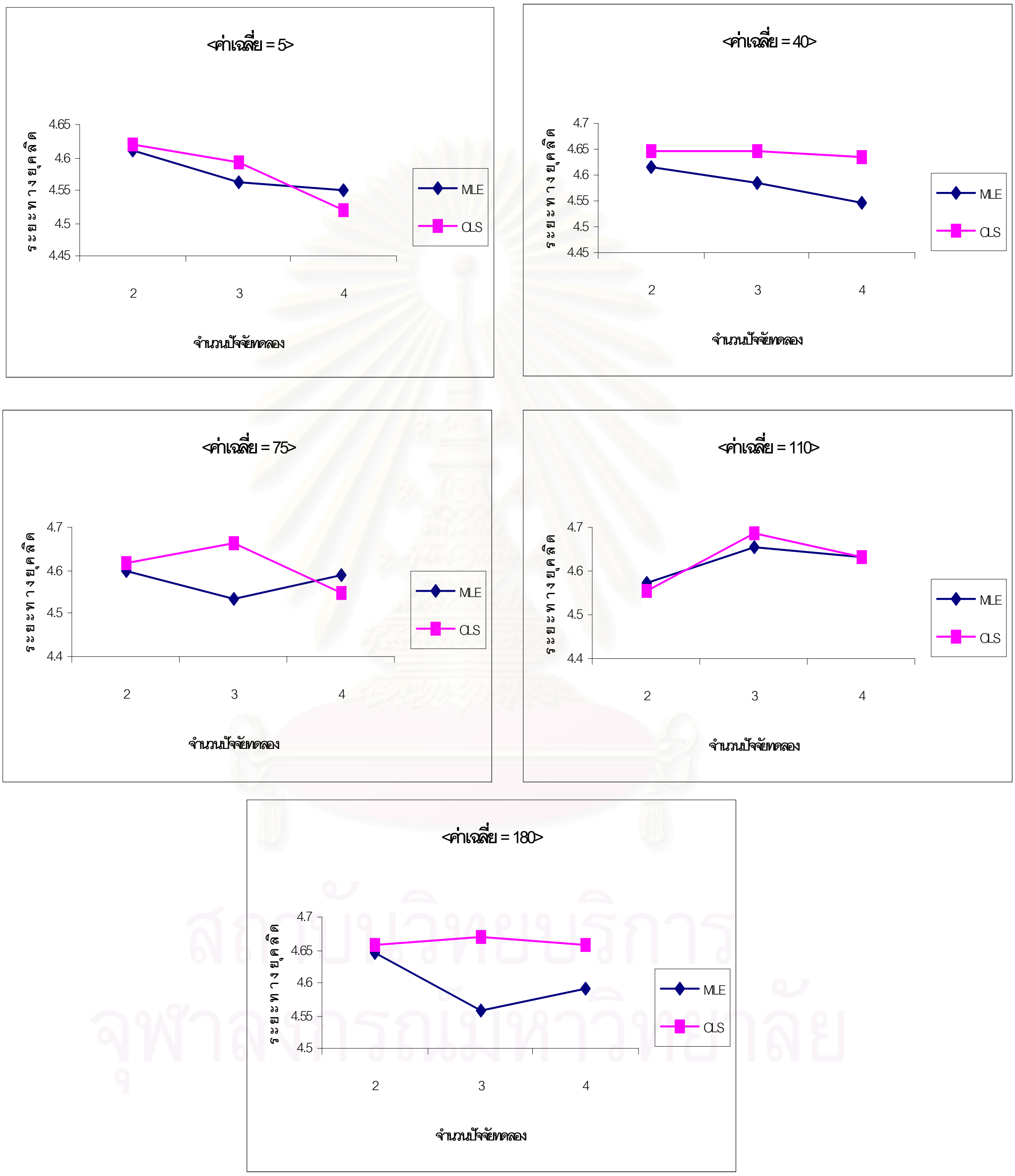


ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 5 และ 2 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00085071	4.60950376	0.00417730	4.61987351
	3	0.00122066	4.56262524	0.00677551	4.59371693
	4	0.00147280	4.55103684	0.00643463	4.51913201
40	2	0.00041471	4.61489262	0.00320330	4.64557710
	3	0.00338503	4.58329752	0.00029355	4.64567914
	4	0.00127327	4.54610932	0.00653905	4.63645185
75	2	0.00011794	4.59672264	0.00264499	4.61478732
	3	0.00491607	4.53591837	0.00443453	4.66317320
	4	0.00390960	4.58844853	0.00680280	4.54836515
110	2	0.00171072	4.57421795	0.00345063	4.55489274
	3	0.00050914	4.65514120	0.00189093	4.68680246
	4	0.00005844	4.63389942	0.00312392	4.63238151
180	2	0.00007440	4.64488651	0.00249345	4.65712068
	3	0.00077737	4.55774865	0.00226683	4.67018018
	4	0.00184870	4.59212118	0.00721804	4.65683695

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 5 และ 2 ตามลำดับ

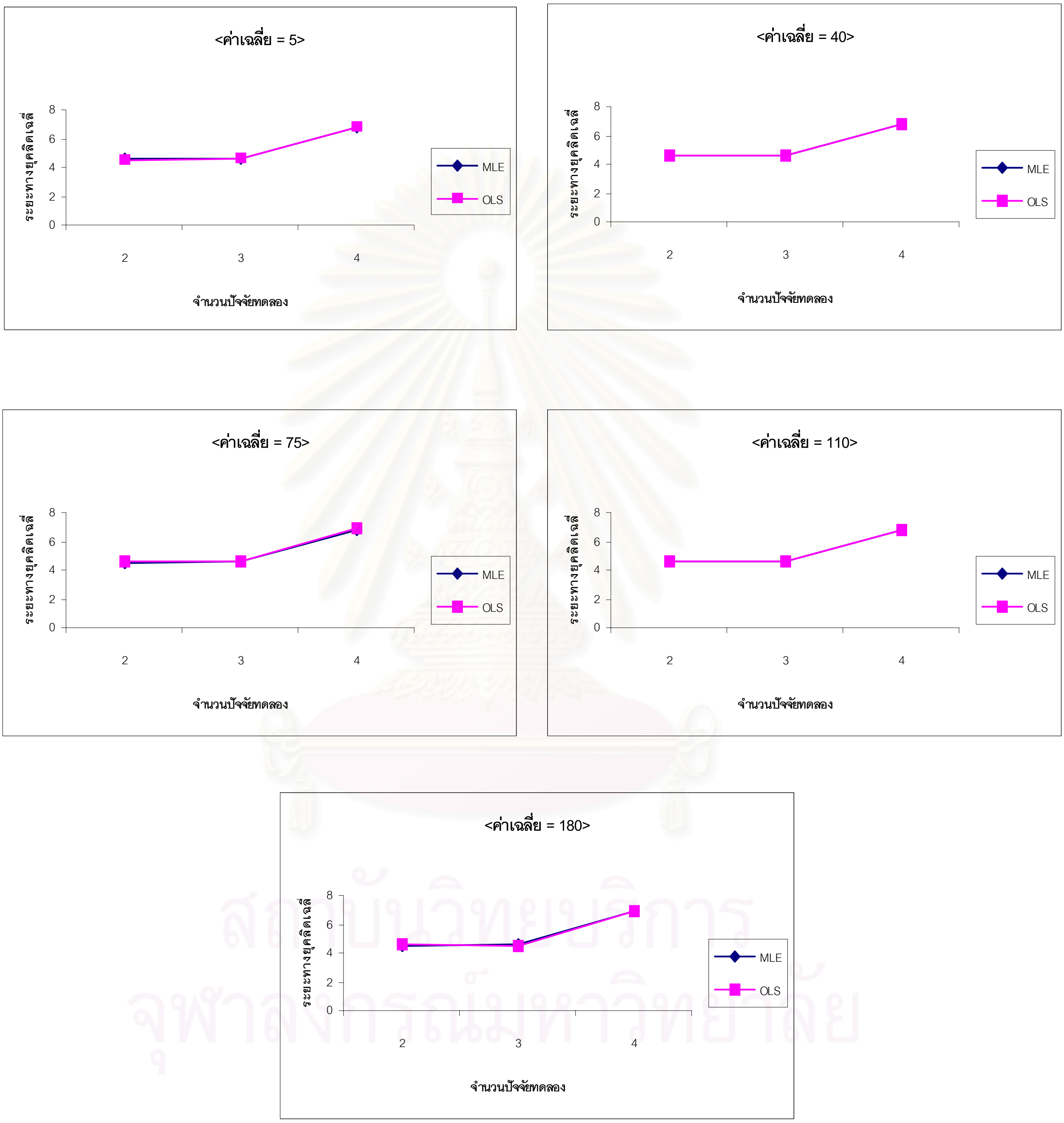


ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 5 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00377737	4.62342036	0.00493201	4.53225130
	3	0.00099674	4.55001099	0.00072848	4.65066958
	4	0.00064284	6.84594096	0.00004901	6.82696042
40	2	0.00122628	4.66244884	0.01254637	4.65965974
	3	0.00008082	4.59927914	0.00071295	4.64948648
	4	0.00167320	6.81945484	0.00580199	6.80177835
75	2	0.00144301	4.52510045	0.00353184	4.57932079
	3	0.00080810	4.62844268	0.00010338	4.55733353
	4	0.00118745	6.84451486	0.00489462	6.90777263
110	2	0.00126504	4.60823043	0.00243562	4.65649716
	3	0.00072116	4.60817242	0.00627352	4.61817288
	4	0.00093054	6.84763155	0.00233619	6.81416113
180	2	0.00001007	4.54072285	0.00612827	4.58885032
	3	0.00253249	4.55612527	0.00223857	4.51736984
	4	0.00152015	6.87553521	0.00409466	6.87243214

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 5 และ 4 ตามลำดับ

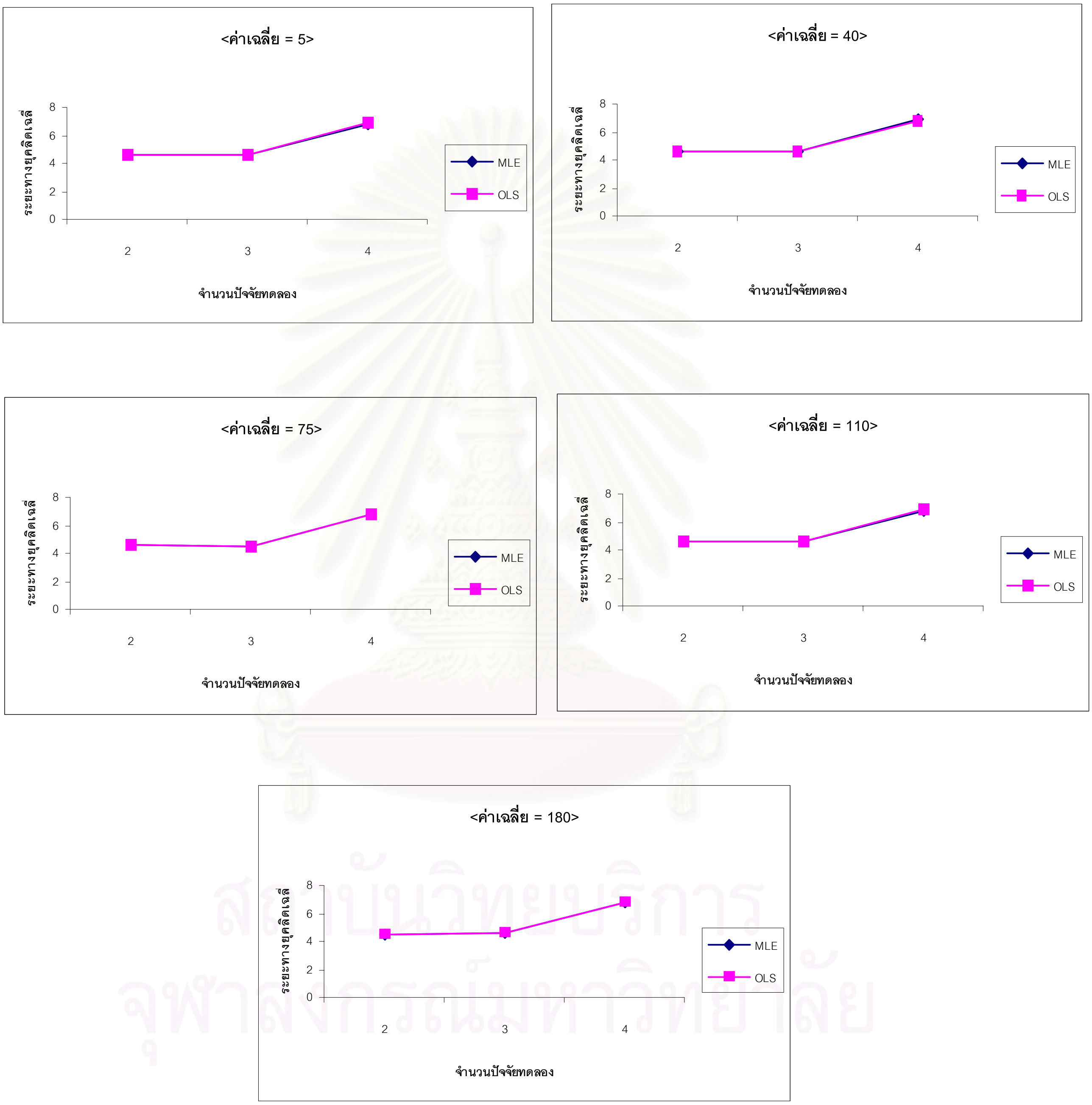


ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนปัจจัยทดลองต่าง ๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 5 และ 6 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนปัจจัยทดลอง	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00098634	4.59962317	0.00287179	4.63332622
	3	0.00168058	4.59313939	0.00342404	4.57174712
	4	0.00148803	6.82363246	0.00196643	6.88428545
40	2	0.00193700	4.58783045	0.00245658	4.63385497
	3	0.00136400	4.58423940	0.00610548	4.55446694
	4	0.00006747	6.87181335	0.00148803	6.84417982
75	2	0.00426751	4.63304718	0.00835306	4.59092987
	3	0.00033428	4.54524507	0.00000231	4.50980843
	4	0.00143311	6.78548968	0.00226062	6.82214568
110	2	0.00144185	4.55126382	0.00094058	4.61528805
	3	0.00238795	4.60060538	0.00102273	4.64245427
	4	0.00039606	6.83851446	0.00006747	6.85787914
180	2	0.00303188	4.50843757	0.00150097	4.52541548
	3	0.00249491	4.60920649	0.00246136	4.62325545
	4	0.00391312	6.83572081	0.00143311	6.82183091

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนปัจจัยทดลองต่างๆเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 5 และ 6 ตามลำดับ



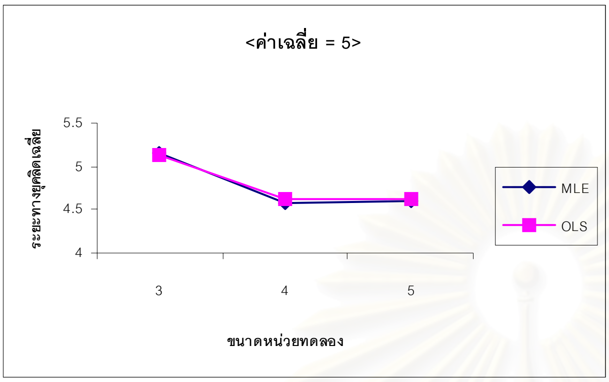
4.2 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลอง และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลคงที่ สามารถแสดงได้ดังนี้

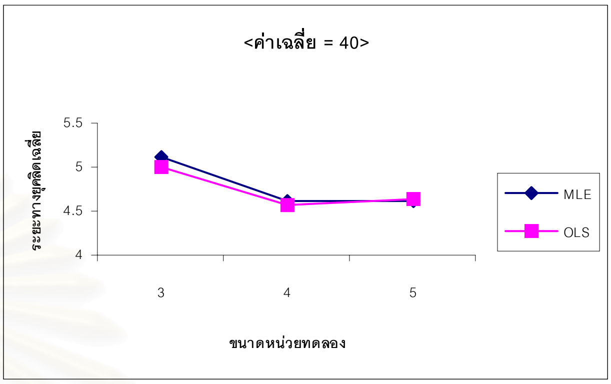
ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 และ 2 ตามลำดับ

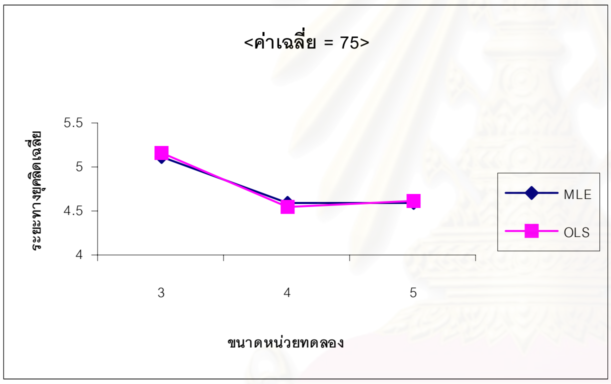
ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00238567	5.16436908	0.00238567	5.13425355
	4	0.00089906	4.57690666	0.00278202	4.63411362
	5	0.00085071	4.60950376	0.00417730	4.61987351
40	3	0.00010109	5.10700136	0.00966159	5.00522450
	4	0.00096840	4.61678562	0.00043204	4.57534988
	5	0.00041471	4.61489262	0.00320330	4.64557710
75	3	0.00379542	5.10543054	0.00501560	5.14879570
	4	0.00275908	4.59655759	0.00313635	4.54806610
	5	0.00011794	4.59672264	0.00264499	4.61478732
110	3	0.00078201	5.13095340	0.00465471	5.18130252
	4	0.00387708	4.50069169	0.00406211	4.63069459
	5	0.00171072	4.57421795	0.00345063	4.55489274
180	3	0.00192704	5.14241205	0.00183733	5.17423320
	4	0.00092179	4.57002846	0.00377134	4.70330664
	5	0.00007440	4.64488651	0.00249345	4.65712068

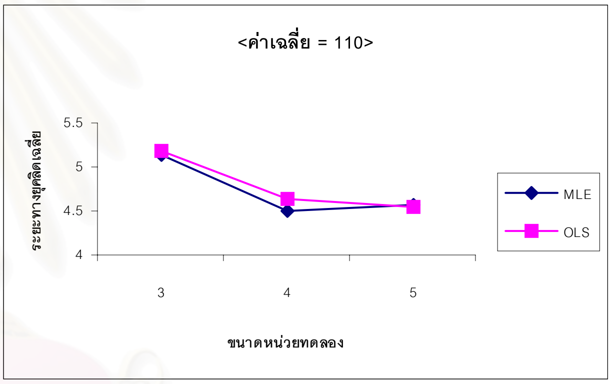
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

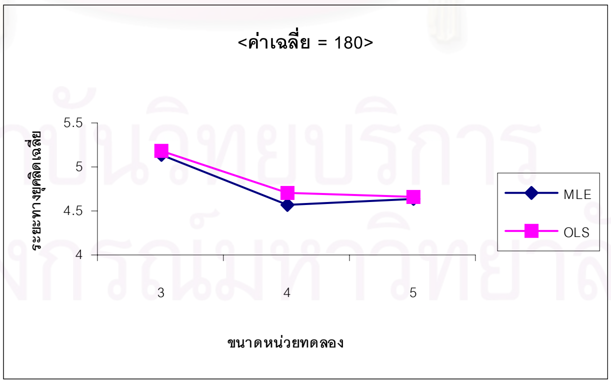
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 และ 2 ตามลำดับ









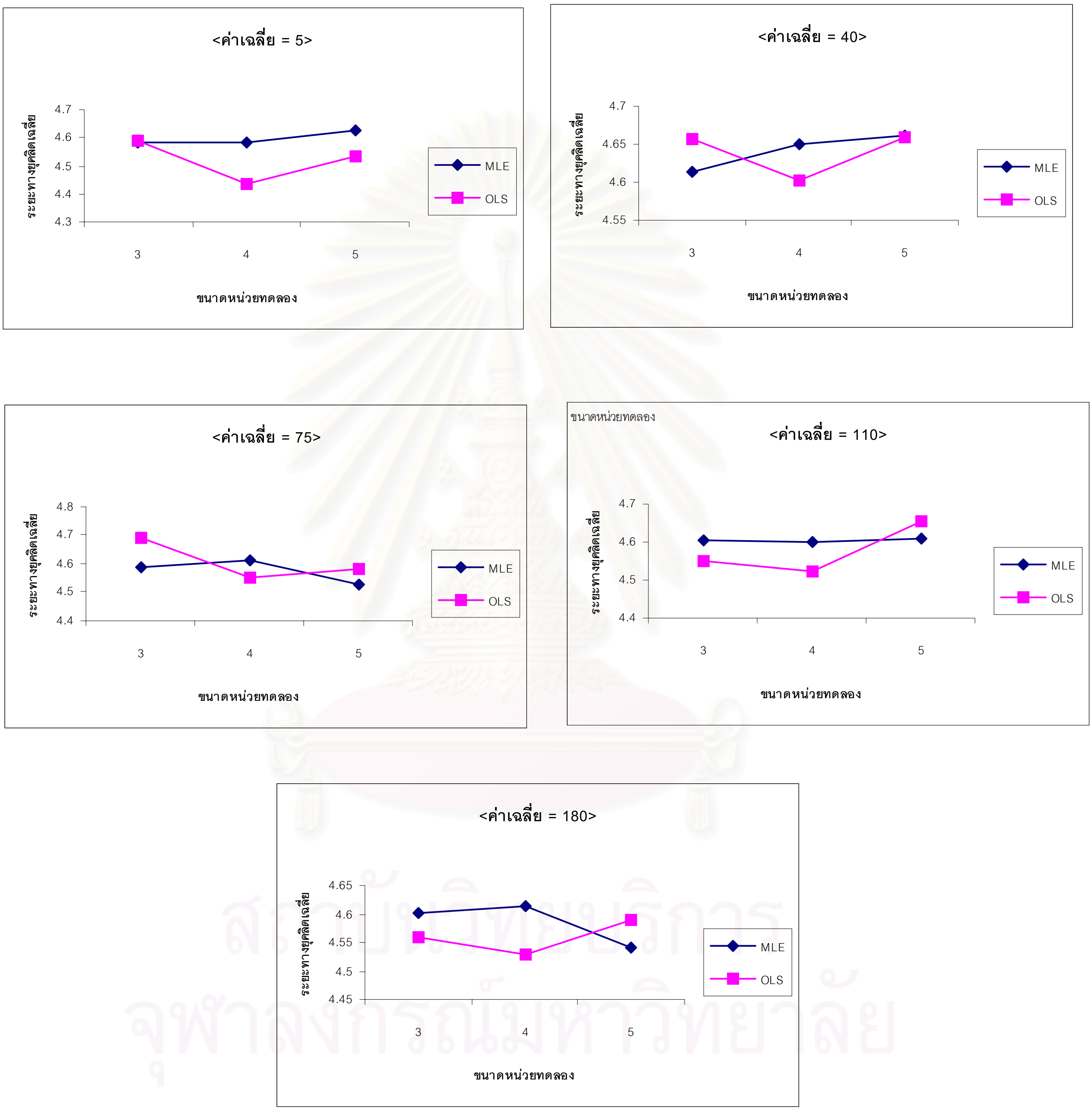


ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00038098	4.58565483	0.00010863	4.58621987
	4	0.00236236	4.58598160	0.00062530	4.43663105
	5	0.00377737	4.62342036	0.00493201	4.53225130
40	3	0.00734696	4.61461956	0.00484395	4.65719228
	4	0.00117927	4.65020508	0.00142505	4.60280652
	5	0.00122628	4.66244884	0.01254637	4.65965974
75	3	0.00056244	4.58816871	0.00306312	4.68835998
	4	0.00063365	4.61317767	0.00401937	4.55077180
	5	0.00144301	4.52510045	0.00353184	4.57932079
110	3	0.00123421	4.60446696	0.00002221	4.55030670
	4	0.00098605	4.60145272	0.00338449	4.52287642
	5	0.00126504	4.60823043	0.00243562	4.65649716
180	3	0.00044847	4.60045185	0.00196035	4.55963896
	4	0.00147342	4.61451602	0.00014274	4.52823751
	5	0.00001007	4.54072285	0.00612827	4.58885032

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 และ 4 ตามลำดับ

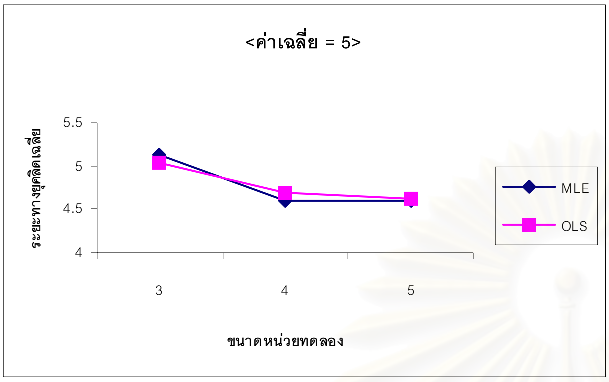


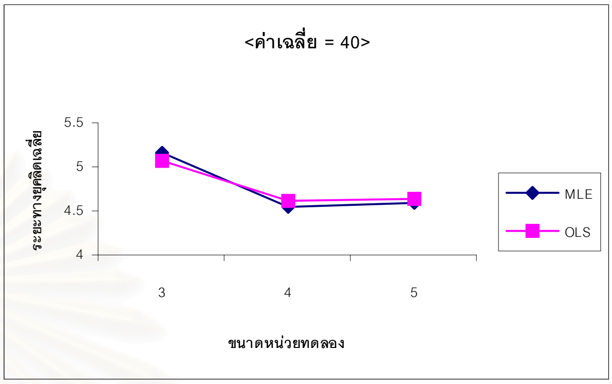
ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 และ 6 ตามลำดับ

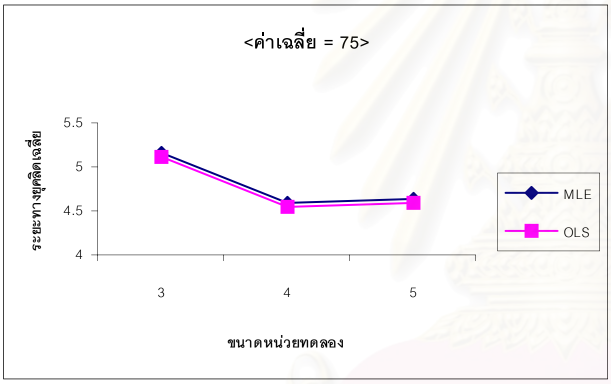
ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00014968	5.12481917	0.00510840	5.04443261
	4	0.00060560	4.60257540	0.00258705	4.68136454
	5	0.00098634	4.59962317	0.00287179	4.63332622
40	3	0.00328995	5.15037590	0.00213149	5.06764182
	4	0.00114778	4.54714485	0.00422146	4.62016384
	5	0.00193700	4.58783045	0.00245658	4.63385497
75	3	0.00162949	5.15903960	0.00008335	5.11991795
	4	0.00248028	4.60118484	0.00583798	4.54818350
	5	0.00426751	4.63304718	0.00835306	4.59092987
110	3	0.01000754	5.13369459	0.00210257	5.15825142
	4	0.00153506	4.67198806	0.00450900	4.51237109
	5	0.00144185	4.55126382	0.00094058	4.61528805
180	3	0.00037746	5.01573072	0.00829576	5.05614958
	4	0.00485699	4.63383161	0.01417114	4.63531791
	5	0.00303188	4.50843757	0.00150097	4.52541548

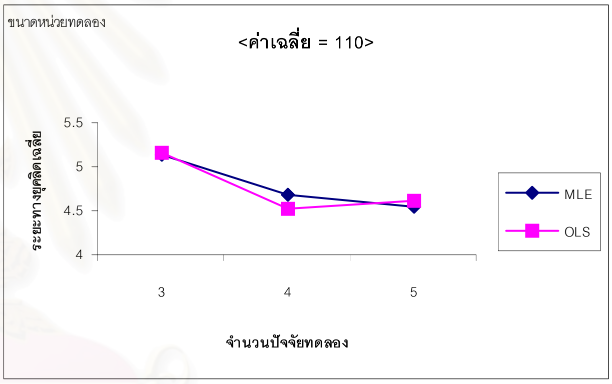
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

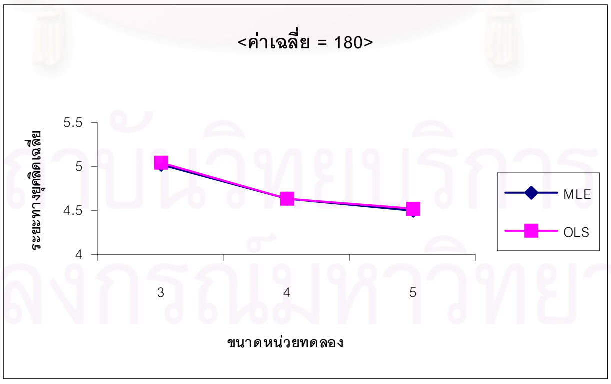
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อ จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 และ 6 ตามลำดับ









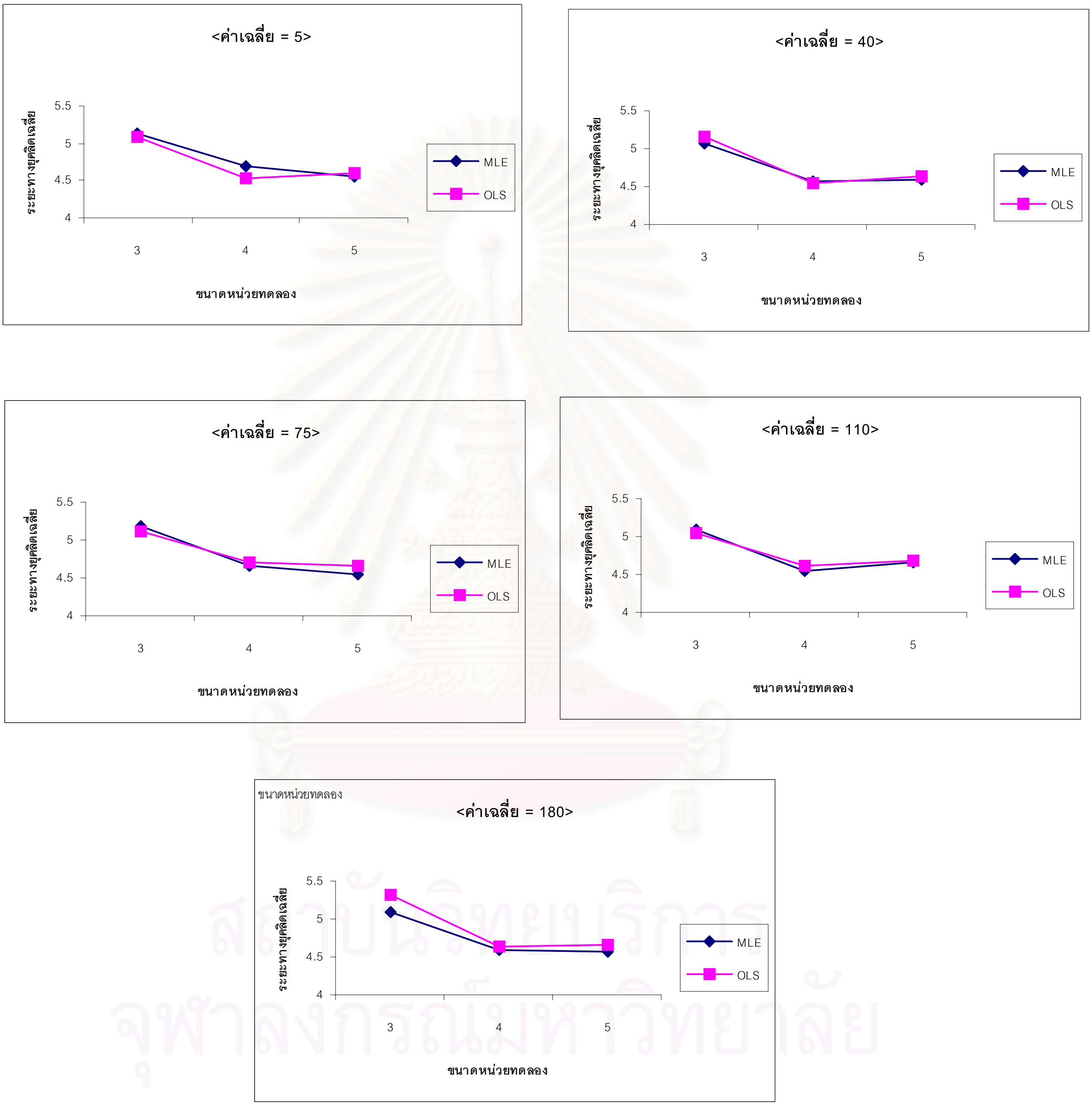


ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00313935	5.13350105	0.00791833	5.07772273
	4	0.00039190	4.68567283	0.00058235	4.51995749
	5	0.00122066	4.56262524	0.00677551	4.59371693
40	3	0.00100127	5.05940676	0.00095992	5.16833049
	4	0.00105249	4.57743612	0.00145098	4.53490835
	5	0.00338503	4.58329752	0.00029355	4.64567914
75	3	0.00118196	5.17156200	0.00050020	5.10940043
	4	0.00005876	4.66603980	0.00383272	4.70671157
	5	0.00491607	4.53591837	0.00443453	4.66317320
110	3	0.00299957	5.09424038	0.00463303	5.05116019
	4	0.00570605	4.55167040	0.00190368	4.60775629
	5	0.00050914	4.65514120	0.00189093	4.68680246
180	3	0.00126721	5.10078051	0.00031614	5.31834200
	4	0.00137425	4.60182741	0.00819921	4.62630326
	5	0.00077737	4.55774865	0.00226683	4.67018018

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ

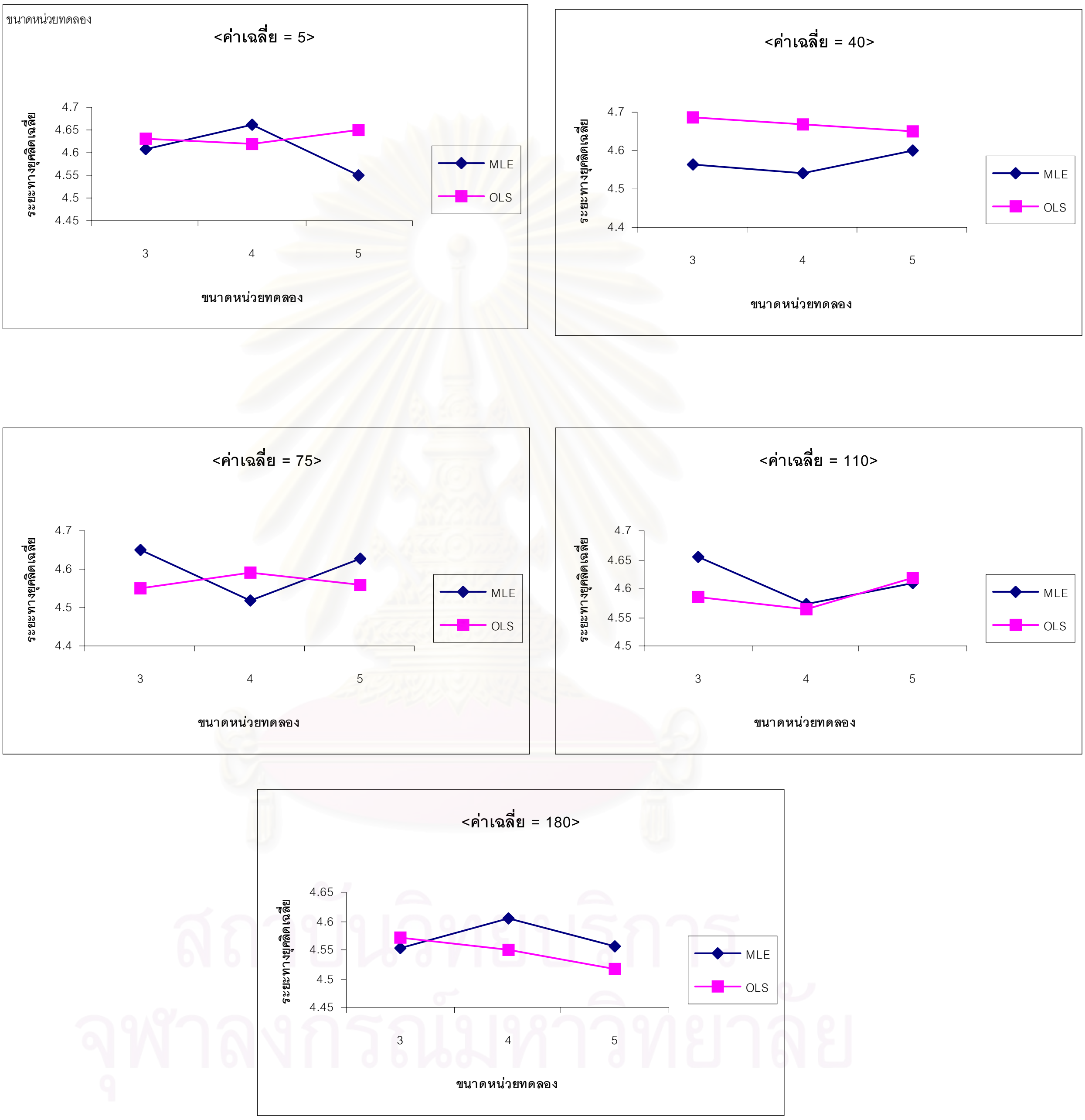


ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00020950	4.60650444	0.00000143	4.63186934
	4	0.00258705	4.66063237	0.01051687	4.62078144
	5	0.00099674	4.55001099	0.00072848	4.65066958
40	3	0.00056356	4.56275277	0.00021319	4.68841874
	4	0.00182238	4.54097708	0.00001497	4.66654451
	5	0.00008082	4.59927914	0.00071295	4.64948648
75	3	0.00088912	4.64842047	0.00807587	4.55143687
	4	0.00085737	4.51805382	0.00127188	4.59074112
	5	0.00080810	4.62844268	0.00010338	4.55733353
110	3	0.00198059	4.65390137	0.00711784	4.58408672
	4	0.00235304	4.57241874	0.00567263	4.56513815
	5	0.00072116	4.60817242	0.00627352	4.61817288
180	3	0.00202596	4.55248523	0.00015527	4.57211593
	4	0.00042622	4.60457628	0.00906291	4.55016504
	5	0.00253249	4.55612527	0.00223857	4.51736984

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

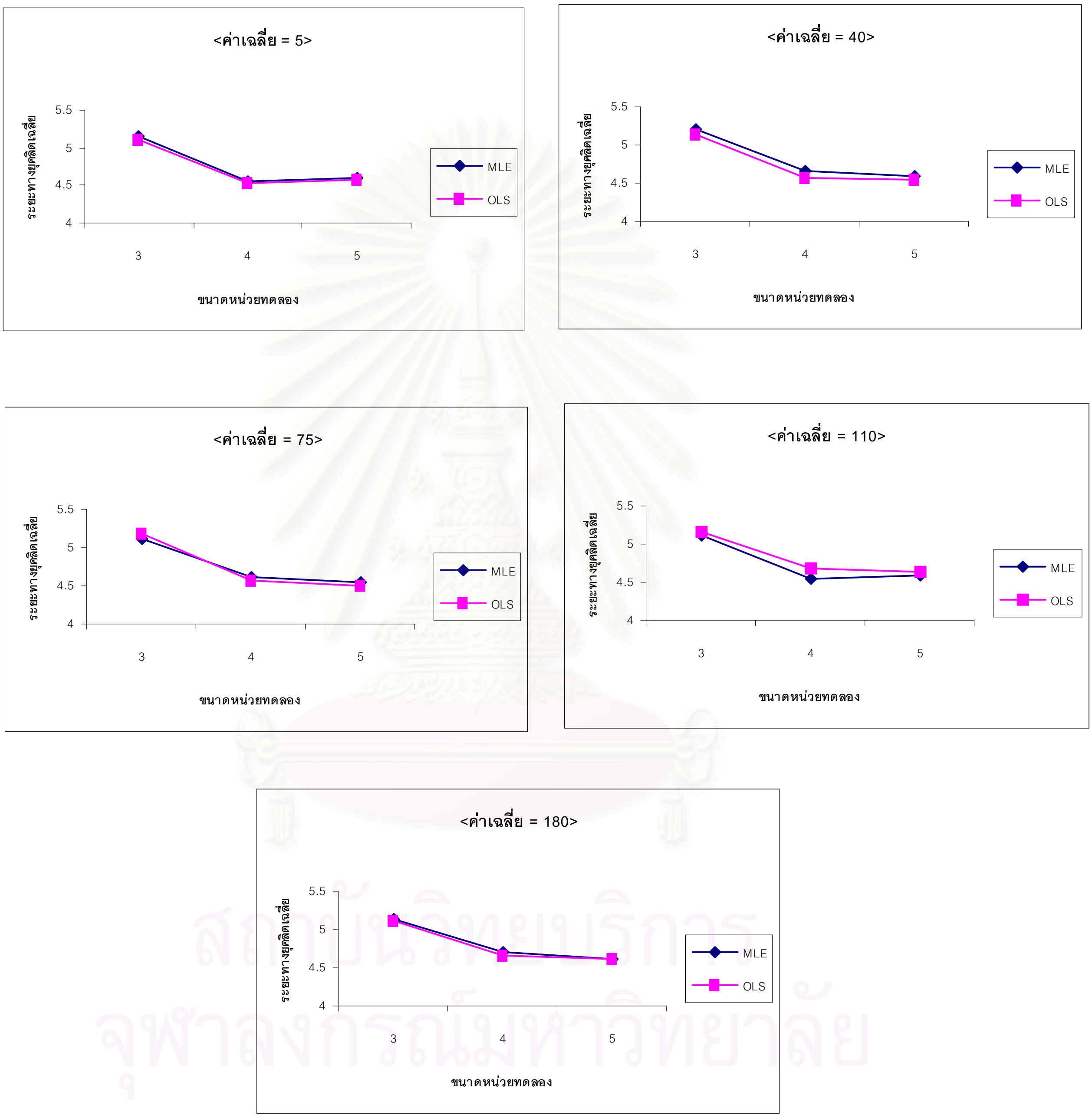


ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 6 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00164826	5.14644426	0.00230170	5.11554398
	4	0.00119638	4.54526190	0.00000840	4.52353850
	5	0.00168058	4.59313939	0.00342404	4.57174712
40	3	0.00112650	5.19569774	0.00032164	5.14022015
	4	0.00106695	4.66465662	0.00210910	4.56234755
	5	0.00136400	4.58423940	0.00610548	4.55446694
75	3	0.00317702	5.11487951	0.00120454	5.17662721
	4	0.00418367	4.61646573	0.00127709	4.56844954
	5	0.00033428	4.54524507	0.00000231	4.50980843
110	3	0.00070761	5.11038029	0.00779038	5.16952024
	4	0.00092084	4.54498126	0.00021874	4.67802819
	5	0.00238795	4.60060538	0.00102273	4.64245427
180	3	0.00019845	5.12784510	0.00492965	5.11499380
	4	0.00269491	4.71269955	0.00456162	4.65291867
	5	0.00249491	4.60920649	0.00246136	4.62325545

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 3 และ 6 ตามลำดับ

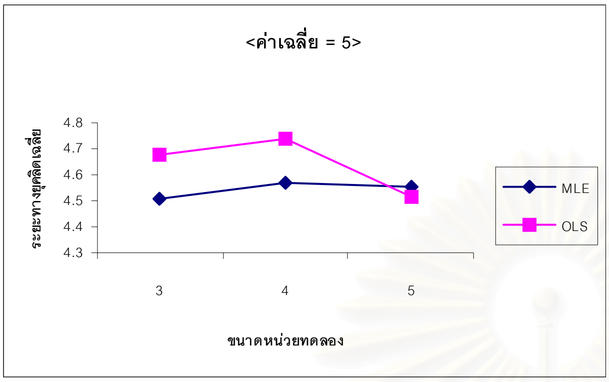


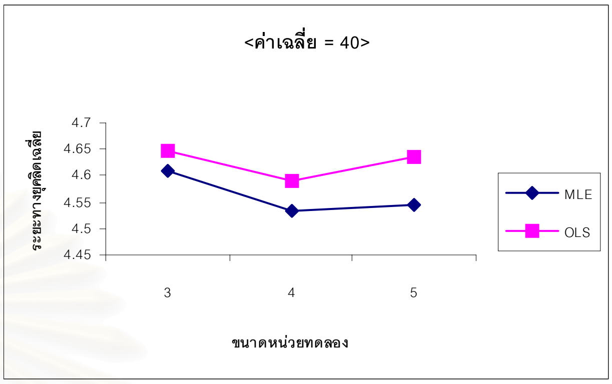
ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 2 ตามลำดับ

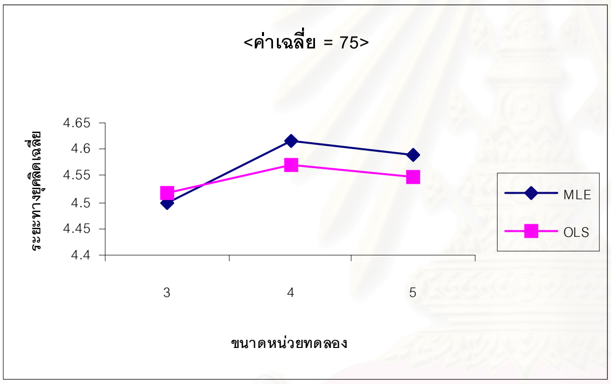
ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00316075	4.51072388	0.00374947	4.67713135
	4	0.00104127	4.57145770	0.00235878	4.73541790
	5	0.00147280	4.55103684	0.00643463	4.51913201
40	3	0.00324036	4.60861838	0.00306207	4.64690442
	4	0.00036507	4.53156371	0.00029135	4.59030690
	5	0.00127327	4.54610932	0.00653905	4.63645185
75	3	0.00268908	4.49874495	0.00105249	4.51625049
	4	0.00083241	4.61727355	0.00227864	4.56880876
	5	0.00390960	4.58844853	0.00680280	4.54836515
110	3	0.00020009	4.59378686	0.00150720	4.61282724
	4	0.00173182	4.54012960	0.00108525	4.64210190
	5	0.00005844	4.63389942	0.00312392	4.63238151
180	3	0.00187256	4.62111790	0.00497089	4.62185926
	4	0.00016253	4.55067026	0.00138087	4.63759409
	5	0.00184870	4.59212118	0.00721804	4.65683695

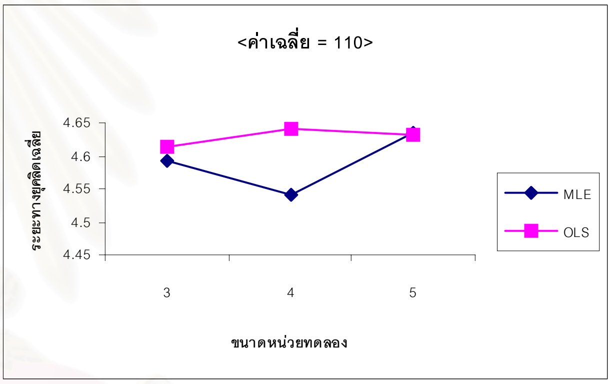
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

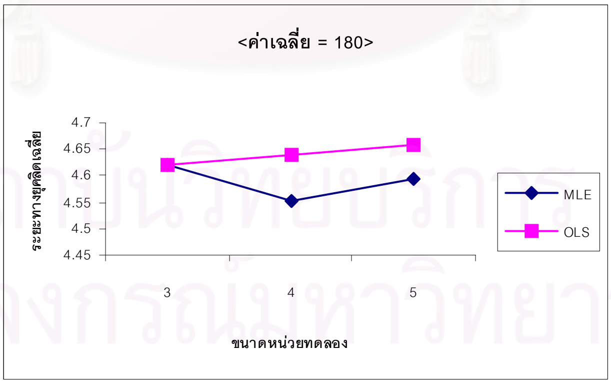
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 2 ตามลำดับ









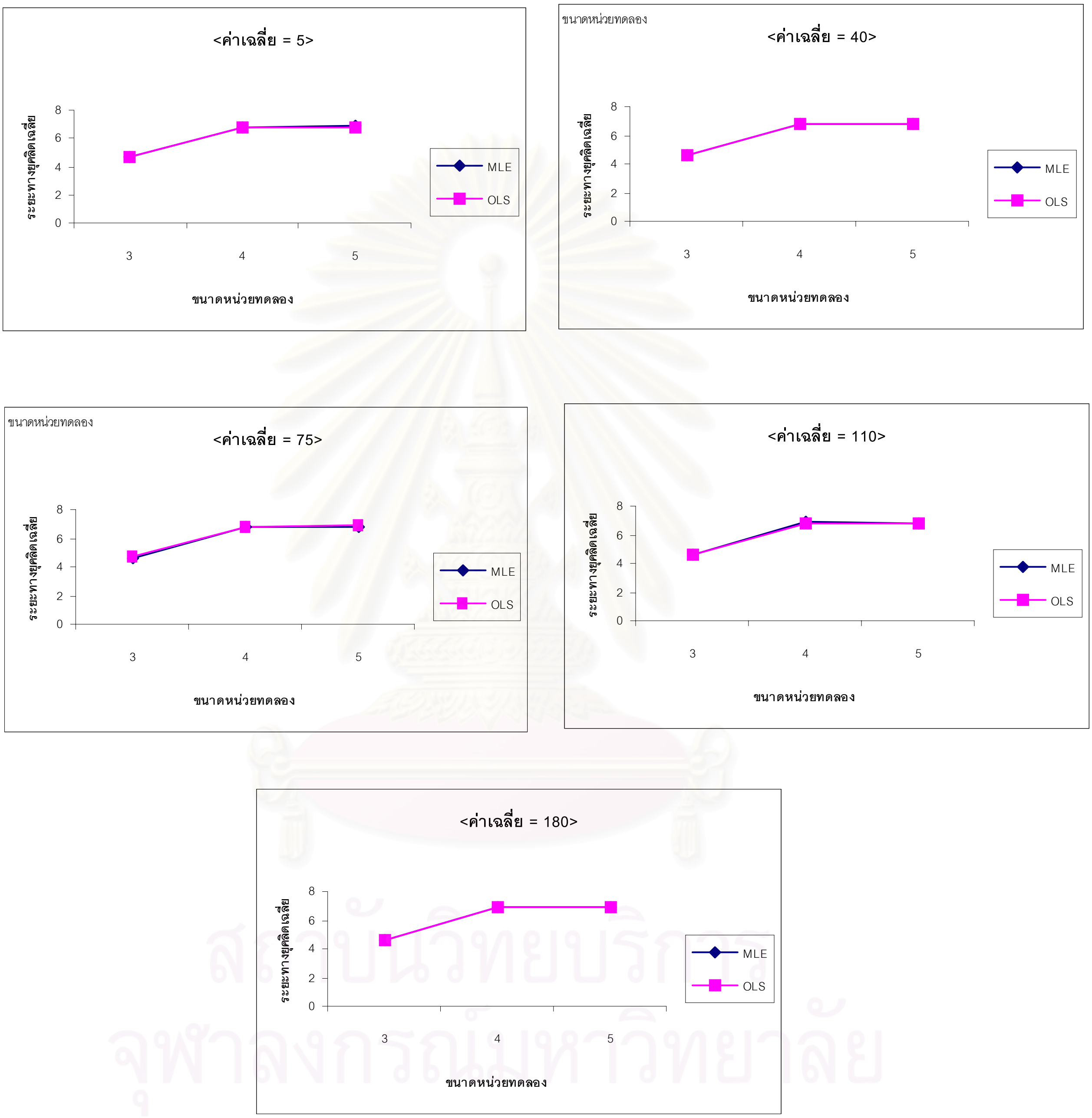


ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00150595	4.62870987	0.00539554	4.63634749
	4	0.00364248	6.82736456	0.00731382	6.80163067
	5	0.00064284	6.84594096	0.00004901	6.82696042
40	3	0.00275693	4.55330297	0.02395923	4.56654545
	4	0.00359284	6.82480863	0.00111975	6.84067293
	5	0.00167320	6.81945484	0.00580199	6.80177835
75	3	0.00040140	4.59535937	0.00251100	4.70189013
	4	0.00199874	6.76796720	0.00239748	6.80903222
	5	0.00118745	6.84451486	0.00489462	6.90777263
110	3	0.00052729	4.60749925	0.00167603	4.65197058
	4	0.00025428	6.85314458	0.00210031	6.81606974
	5	0.00093054	6.84763155	0.00233619	6.81416113
180	3	0.00452908	4.60151210	0.00003184	4.64208313
	4	0.00146320	6.87561679	0.00254658	6.84914263
	5	0.00152015	6.87553521	0.00409466	6.87243214

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 4 ตามลำดับ

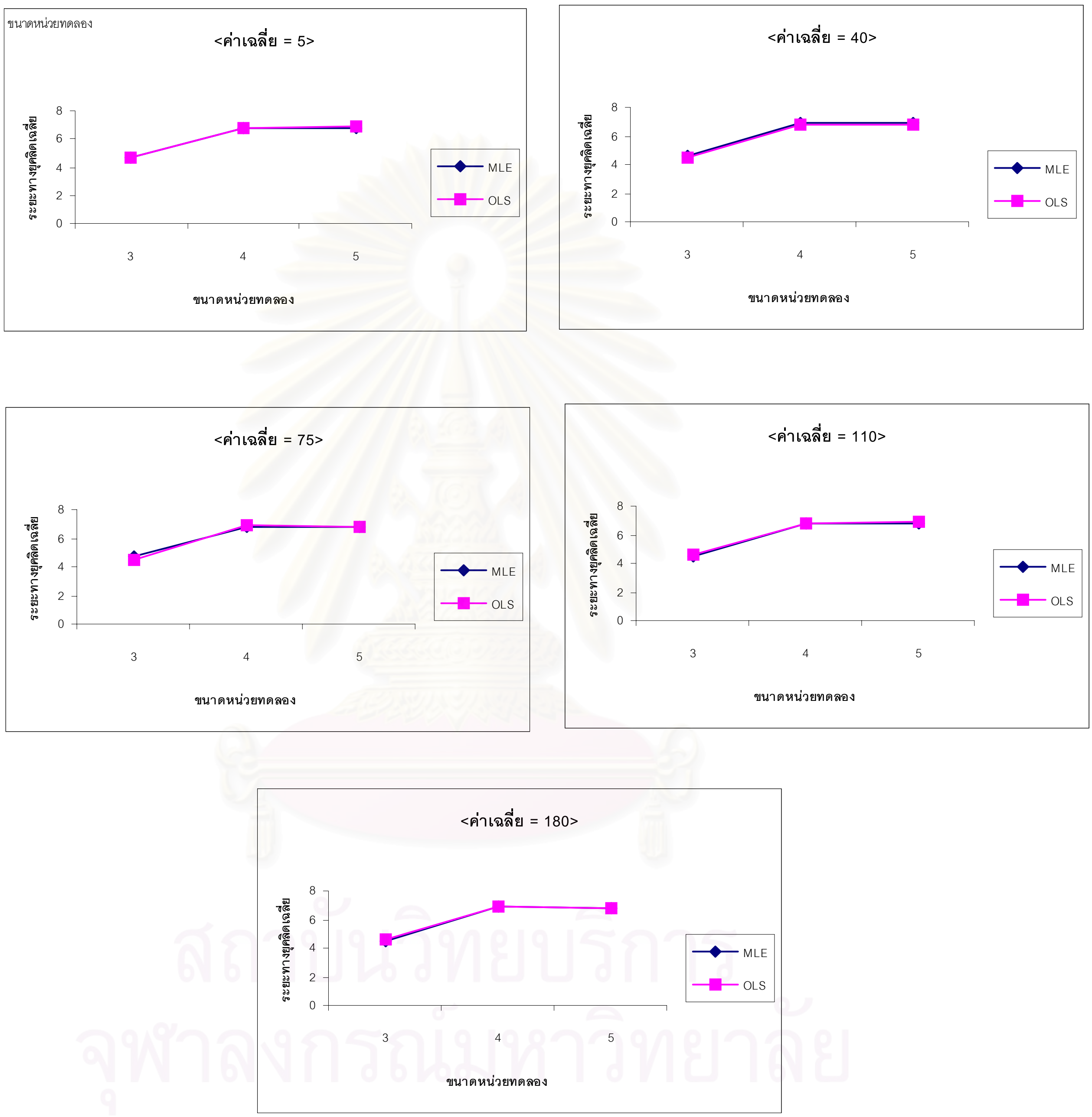


ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	3	0.00198938	4.66156429	0.00350090	4.63620999
	4	0.00123292	6.82142659	0.00034555	6.81915128
	5	0.00148803	6.82363246	0.00196643	6.88428545
40	3	0.00481854	4.59940336	0.00409545	4.53637849
	4	0.00141289	6.87710921	0.00514362	6.82062552
	5	0.00006747	6.87181335	0.00148803	6.84417982
75	3	0.00146611	4.70324324	0.00110781	4.53524853
	4	0.00008165	6.83590474	0.00258028	6.85360186
	5	0.00143311	6.78548968	0.00226062	6.82214568
110	3	0.00180093	4.51710805	0.00191928	4.62462449
	4	0.00161260	6.83746777	0.00001548	6.83889030
	5	0.00039606	6.83851446	0.00006747	6.85787914
180	3	0.00182339	4.52381103	0.00526185	4.59686685
	4	0.00222754	6.85883290	0.00008577	6.87169987
	5	0.00391312	6.83572081	0.00143311	6.82183091

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 4 และ 6 ตามลำดับ



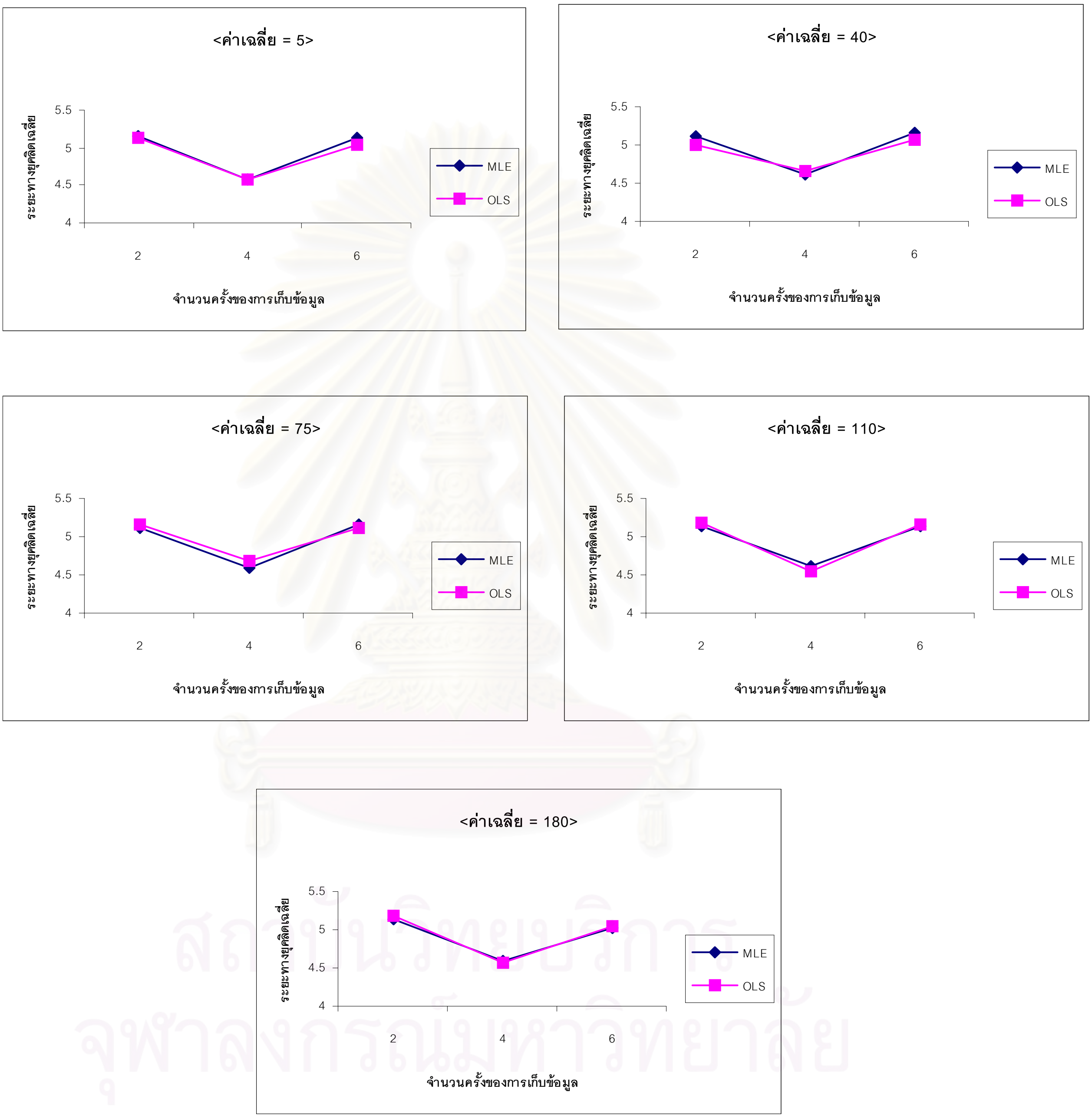
4.3 เปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ย ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลอง และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้คงที่ สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00238567	5.16436908	0.00238567	5.13425355
	4	0.00038098	4.58565483	0.00010863	4.58621987
	6	0.00014968	5.12481917	0.00510840	5.04443261
40	2	0.00010109	5.10700136	0.00966159	5.00522450
	4	0.00734696	4.61461956	0.00484395	4.65719228
	6	0.00328995	5.15037590	0.00213149	5.06764182
75	2	0.00379542	5.10543054	0.00501560	5.14879570
	4	0.00056244	4.58816871	0.00306312	4.68835998
	6	0.00162949	5.15903960	0.00008335	5.11991795
110	2	0.00078201	5.13095340	0.00465471	5.18130252
	4	0.00123421	4.60446696	0.00002221	4.55030670
	6	0.01000754	5.13369459	0.00210257	5.15825142
180	2	0.00192704	5.14241205	0.00183733	5.17423320
	4	0.00044847	4.60045185	0.00196035	4.55963896
	6	0.00037746	5.01573072	0.00829576	5.05614958

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 ตามลำดับ

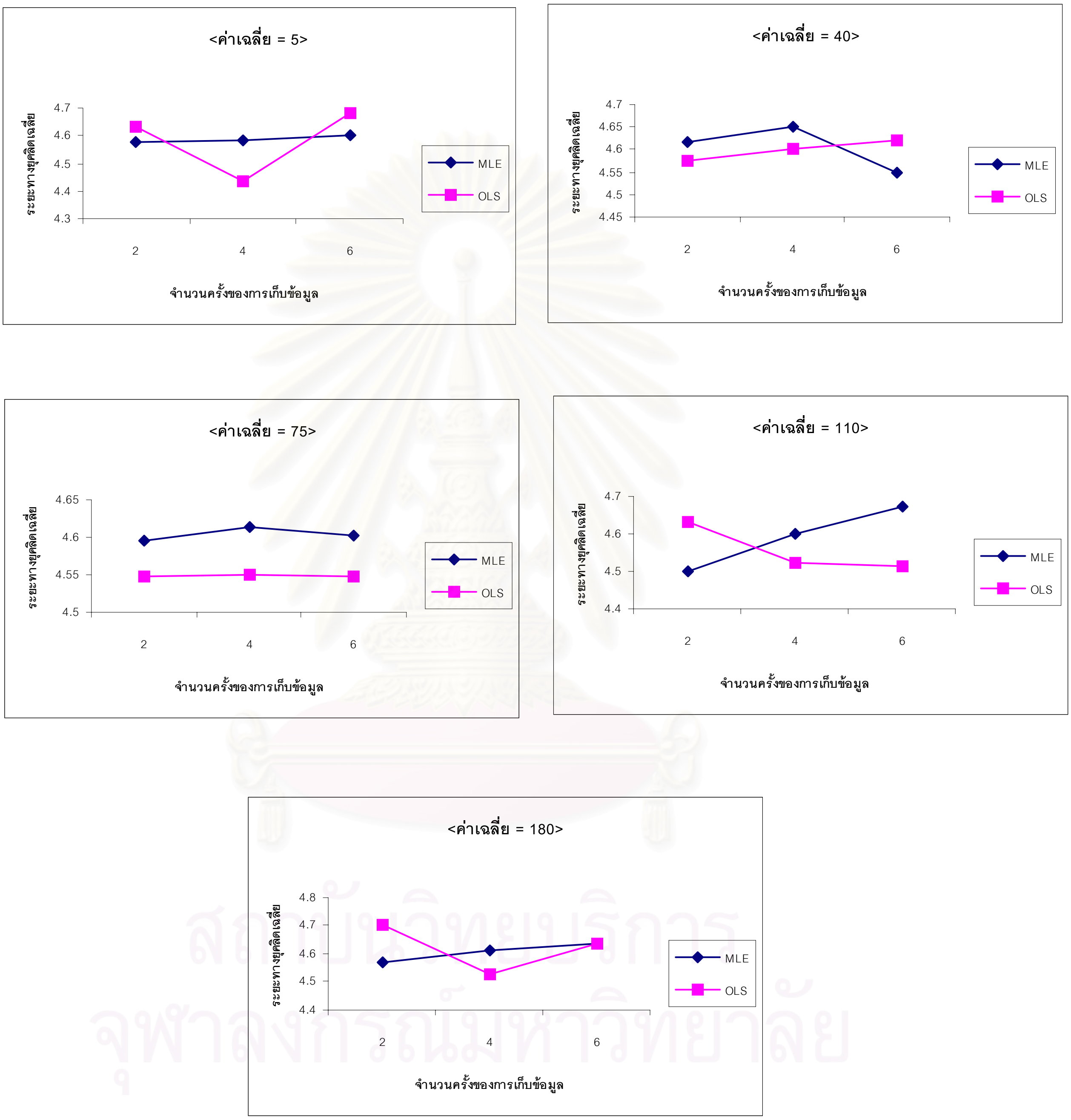


ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00089906	4.57690666	0.00278202	4.63411362
	4	0.00236236	4.58598160	0.00062530	4.43663105
	6	0.00060560	4.60257540	0.00258705	4.68136454
40	2	0.00096840	4.61678562	0.00043204	4.57534988
	4	0.00117927	4.65020508	0.00142505	4.60280652
	6	0.00114778	4.54714485	0.00422146	4.62016384
75	2	0.00275908	4.59655759	0.00313635	4.54806610
	4	0.00063365	4.61317767	0.00401937	4.55077180
	6	0.00248028	4.60118484	0.00583798	4.54818350
110	2	0.00387708	4.50069169	0.00406211	4.63069459
	4	0.00098605	4.60145272	0.00338449	4.52287642
	6	0.00153506	4.67198806	0.00450900	4.51237109
180	2	0.00092179	4.57002846	0.00377134	4.70330664
	4	0.00147342	4.61451602	0.00014274	4.52823751
	6	0.00485699	4.63383161	0.01417114	4.63531791

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 4 ตามลำดับ

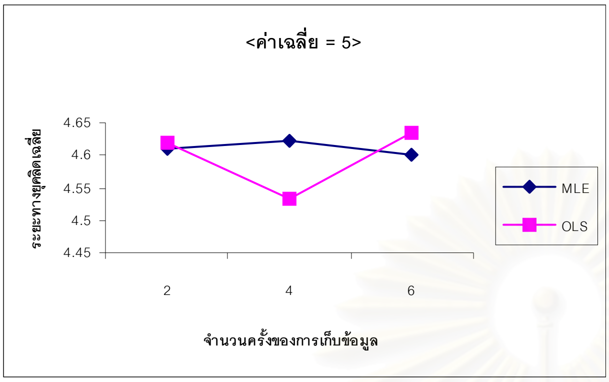


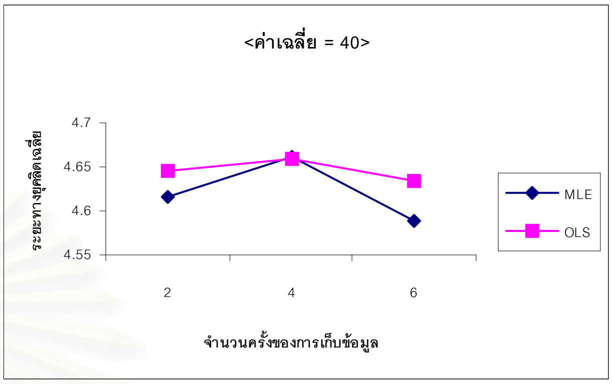
ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ

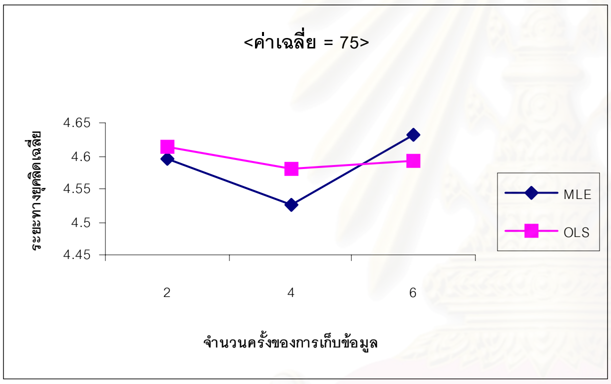
ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00085071	4.60950376	0.00417730	4.61987351
	4	0.00377737	4.62342036	0.00493201	4.53225130
	6	0.00098634	4.59962317	0.00287179	4.63332622
40	2	0.00041471	4.61489262	0.00320330	4.64557710
	4	0.00122628	4.66244884	0.01254637	4.65965974
	6	0.00193700	4.58783045	0.00245658	4.63385497
75	2	0.00011794	4.59672264	0.00264499	4.61478732
	4	0.00144301	4.52510045	0.00353184	4.57932079
	6	0.00426751	4.63304718	0.00835306	4.59092987
110	2	0.00171072	4.57421795	0.00345063	4.55489274
	4	0.00126504	4.60823043	0.00243562	4.65649716
	6	0.00144185	4.55126382	0.00094058	4.61528805
180	2	0.00007440	4.64488651	0.00249345	4.65712068
	4	0.00001007	4.54072285	0.00612827	4.58885032
	6	0.00303188	4.50843757	0.00150097	4.52541548

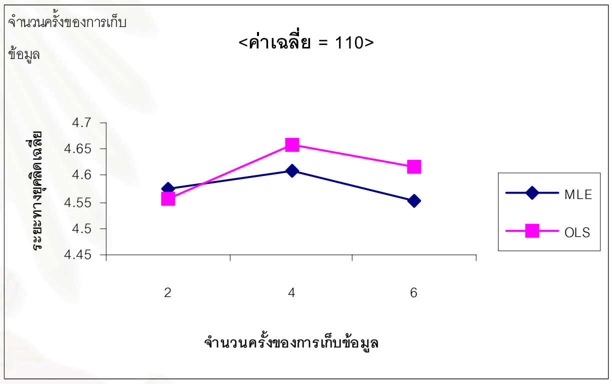
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

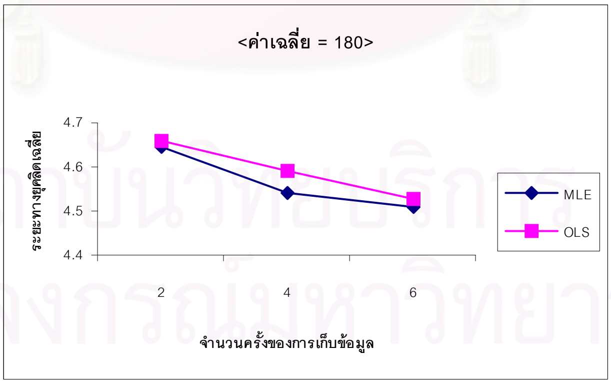
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ









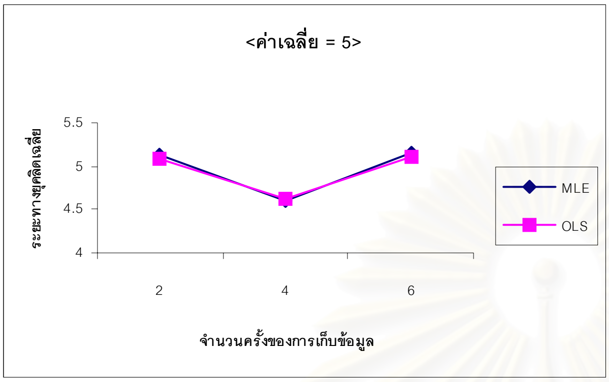


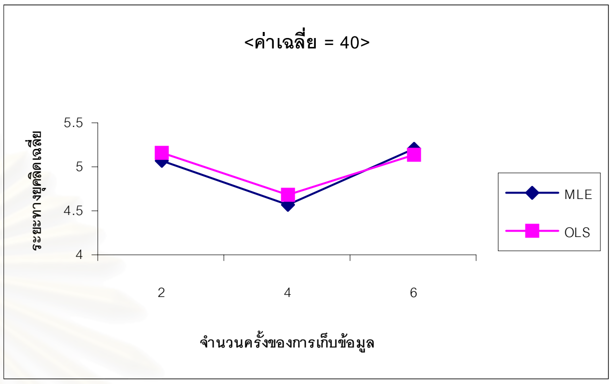
ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 3 ตามลำดับ

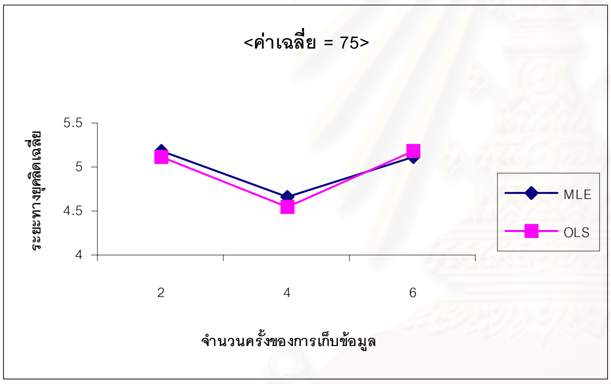
ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00313935	5.13350105	0.00791833	5.07772273
	4	0.00020950	4.60650444	0.00000143	4.63186934
	6	0.00164826	5.14644426	0.00230170	5.11554398
40	2	0.00100127	5.05940676	0.00095992	5.16833049
	4	0.00056356	4.56275277	0.00021319	4.68841874
	6	0.00112650	5.19569774	0.00032164	5.14022015
75	2	0.00118196	5.17156200	0.00050020	5.10940043
	4	0.00088912	4.64842047	0.00807587	4.55143687
	6	0.00317702	5.11487951	0.00120454	5.17662721
110	2	0.00299957	5.09424038	0.00463303	5.05116019
	4	0.00198059	4.65390137	0.00711784	4.58408672
	6	0.00070761	5.11038029	0.00779038	5.16952024
180	2	0.00126721	5.10078051	0.00031614	5.31834200
	4	0.00202596	4.55248523	0.00015527	4.57211593
	6	0.00019845	5.12784510	0.00492965	5.11499380

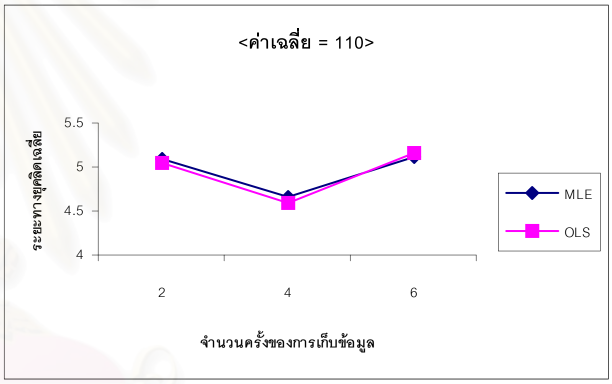
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

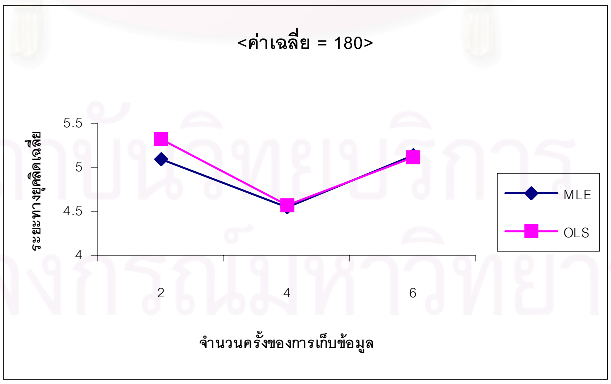
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 3 ตามลำดับ









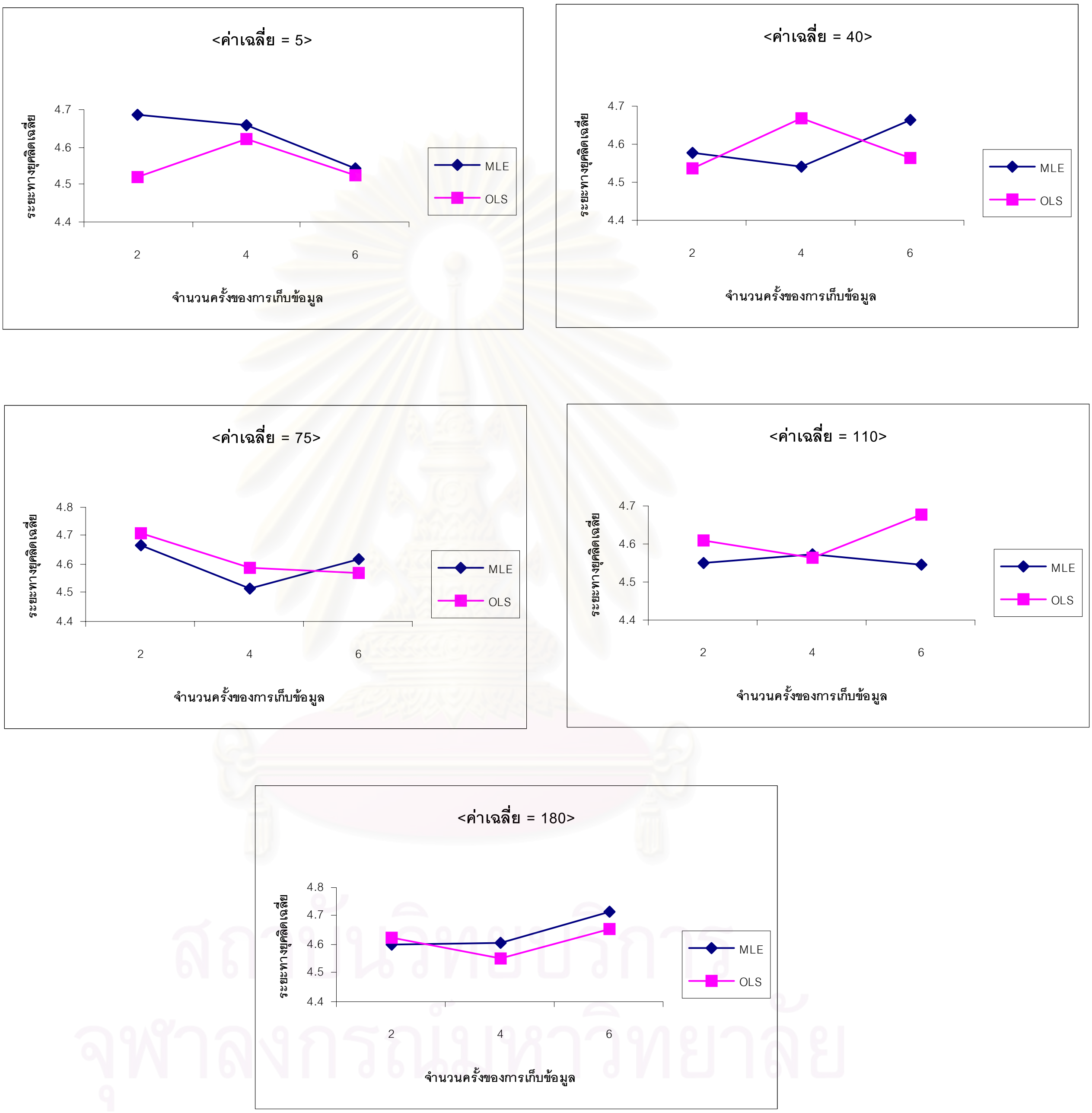


ตารางที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00039190	4.68567283	0.00058235	4.51995749
	4	0.00258705	4.66063237	0.01051687	4.62078144
	6	0.00119638	4.54526190	0.00000840	4.52353850
40	2	0.00105249	4.57743612	0.00145098	4.53490835
	4	0.00182238	4.54097708	0.00001497	4.66654451
	6	0.00106695	4.66465662	0.00210910	4.56234755
75	2	0.00005876	4.66603980	0.00383272	4.70671157
	4	0.00085737	4.51805382	0.00127188	4.59074112
	6	0.00418367	4.61646573	0.00127709	4.56844954
110	2	0.00570605	4.55167040	0.00190368	4.60775629
	4	0.00235304	4.57241874	0.00567263	4.56513815
	6	0.00092084	4.54498126	0.00021874	4.67802819
180	2	0.00137425	4.60182741	0.00819921	4.62630326
	4	0.00042622	4.60457628	0.00906291	4.55016504
	6	0.00269491	4.71269955	0.00456162	4.65291867

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

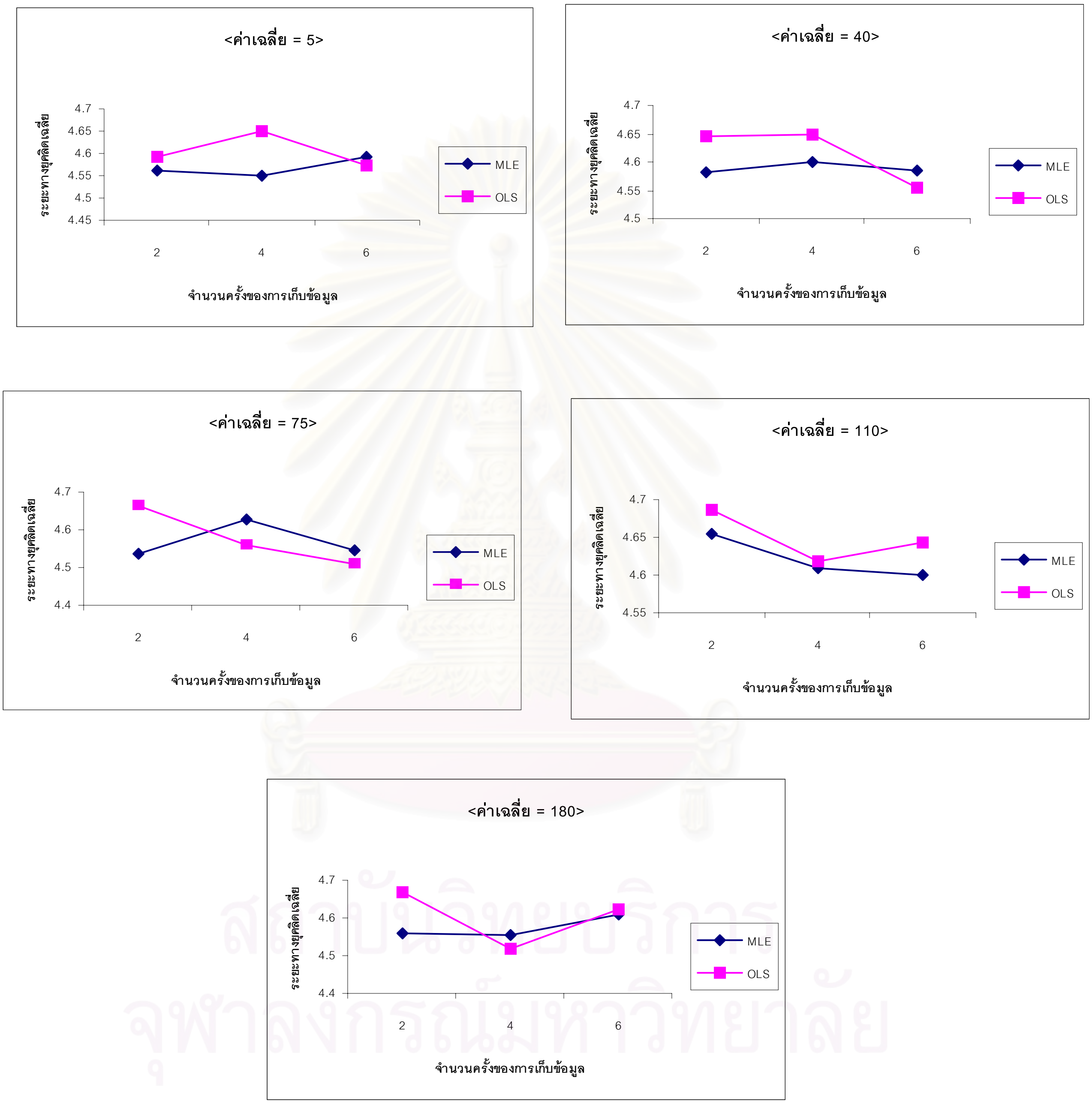
รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00122066	4.56262524	0.00677551	4.59371693
	4	0.00099674	4.55001099	0.00072848	4.65066958
	6	0.00168058	4.59313939	0.00342404	4.57174712
40	2	0.00338503	4.58329752	0.00029355	4.64567914
	4	0.00008082	4.59927914	0.00071295	4.64948648
	6	0.00136400	4.58423940	0.00610548	4.55446694
75	2	0.00491607	4.53591837	0.00443453	4.66317320
	4	0.00080810	4.62844268	0.00010338	4.55733353
	6	0.00033428	4.54524507	0.00000231	4.50980843
110	2	0.00050914	4.65514120	0.00189093	4.68680246
	4	0.00072116	4.60817242	0.00627352	4.61817288
	6	0.00238795	4.60060538	0.00102273	4.64245427
180	2	0.00077737	4.55774865	0.00226683	4.67018018
	4	0.00253249	4.55612527	0.00223857	4.51736984
	6	0.00249491	4.60920649	0.00246136	4.62325545

รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ

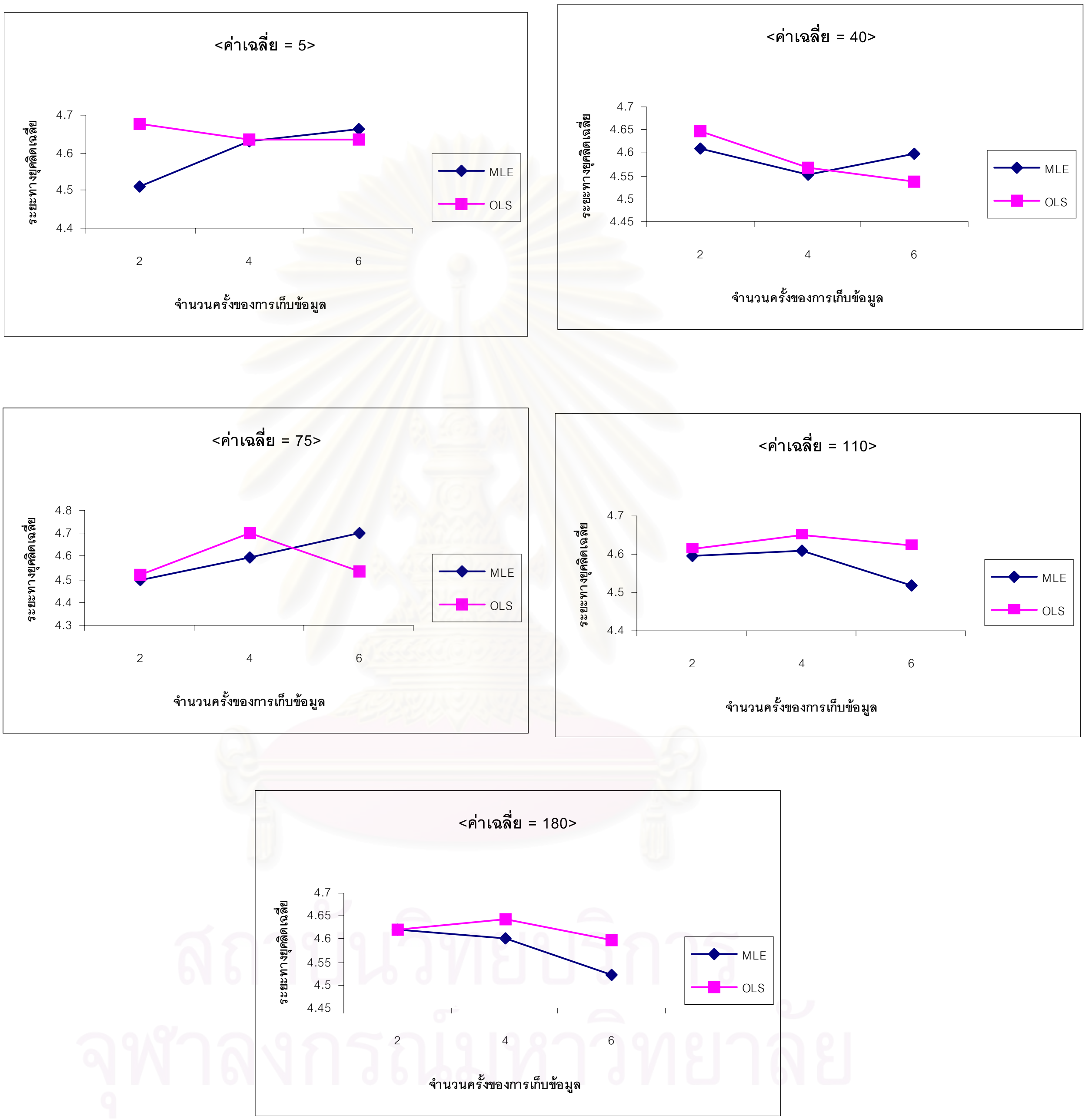


ตารางที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00316075	4.51072388	0.00374947	4.67713135
	4	0.00150595	4.62870987	0.00539554	4.63634749
	6	0.00198938	4.66156429	0.00350090	4.63620999
40	2	0.00324036	4.60861838	0.00306207	4.64690442
	4	0.00275693	4.55330297	0.02395923	4.56654545
	6	0.00481854	4.59940336	0.00409545	4.53637849
75	2	0.00268908	4.49874495	0.00105249	4.51625049
	4	0.00040140	4.59535937	0.00251100	4.70189013
	6	0.00146611	4.70324324	0.00110781	4.53524853
110	2	0.00020009	4.59378686	0.00150720	4.61282724
	4	0.00052729	4.60749925	0.00167603	4.65197058
	6	0.00180093	4.51710805	0.00191928	4.62462449
180	2	0.00187256	4.62111790	0.00497089	4.62185926
	4	0.00452908	4.60151210	0.00003184	4.64208313
	6	0.00182339	4.52381103	0.00526185	4.59686685

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 3 ตามลำดับ

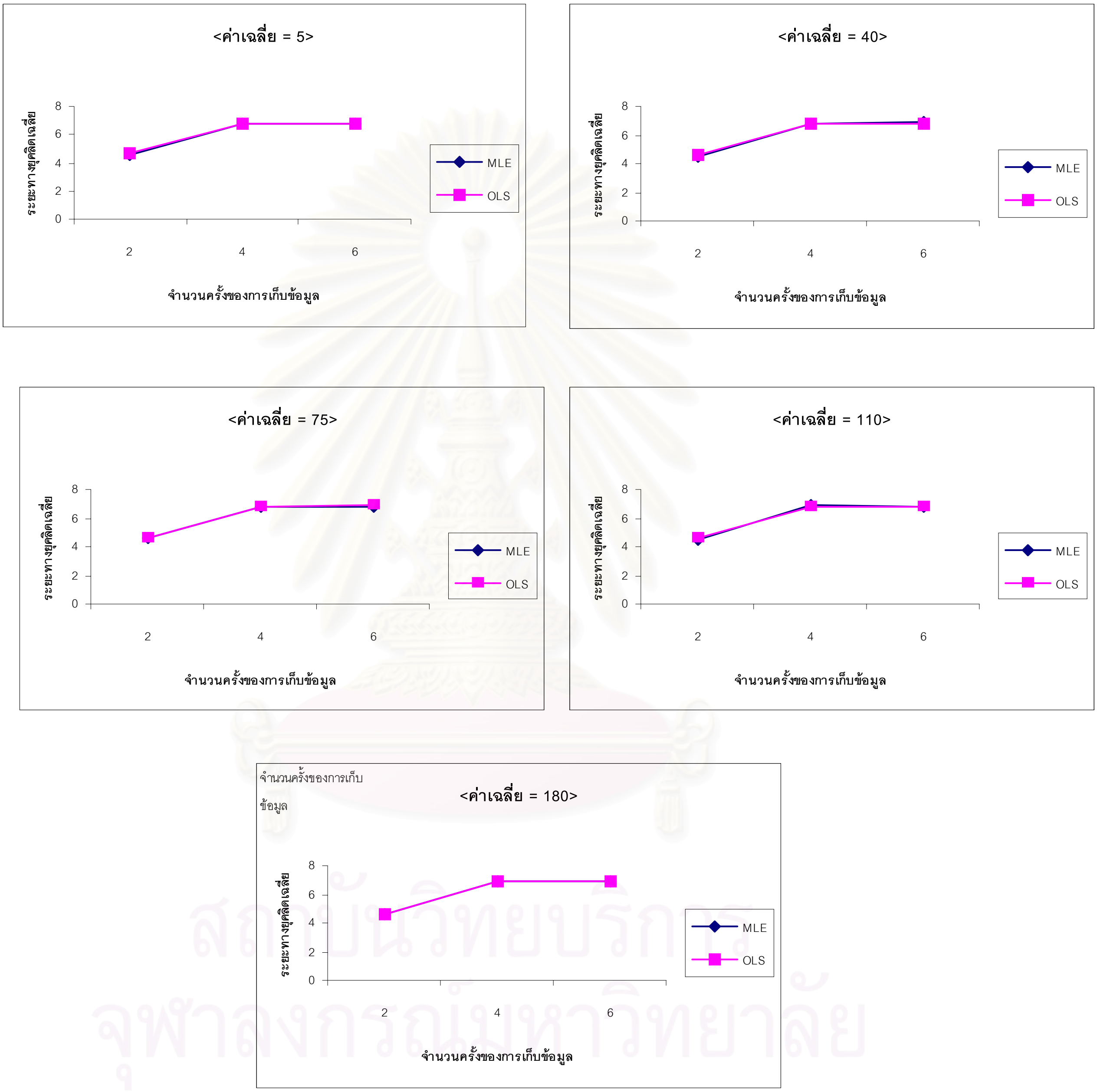


ตารางที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 4 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00104127	4.57145770	0.00235878	4.73541790
	4	0.00364248	6.82736456	0.00731382	6.80163067
	6	0.00123292	6.82142659	0.00034555	6.81915128
40	2	0.00036507	4.53156371	0.00029135	4.59030690
	4	0.00359284	6.82480863	0.00111975	6.84067293
	6	0.00141289	6.87710921	0.00514362	6.82062552
75	2	0.00083241	4.61727355	0.00227864	4.56880876
	4	0.00199874	6.76796720	0.00239748	6.80903222
	6	0.00008165	6.83590474	0.00258028	6.85360186
110	2	0.00173182	4.54012960	0.00108525	4.64210190
	4	0.00025428	6.85314458	0.00210031	6.81606974
	6	0.00161260	6.83746777	0.00001548	6.83889030
180	2	0.00016253	4.55067026	0.00138087	4.63759409
	4	0.00146320	6.87561679	0.00254658	6.84914263
	6	0.00222754	6.85883290	0.00008577	6.87169987

* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 4 ตามลำดับ

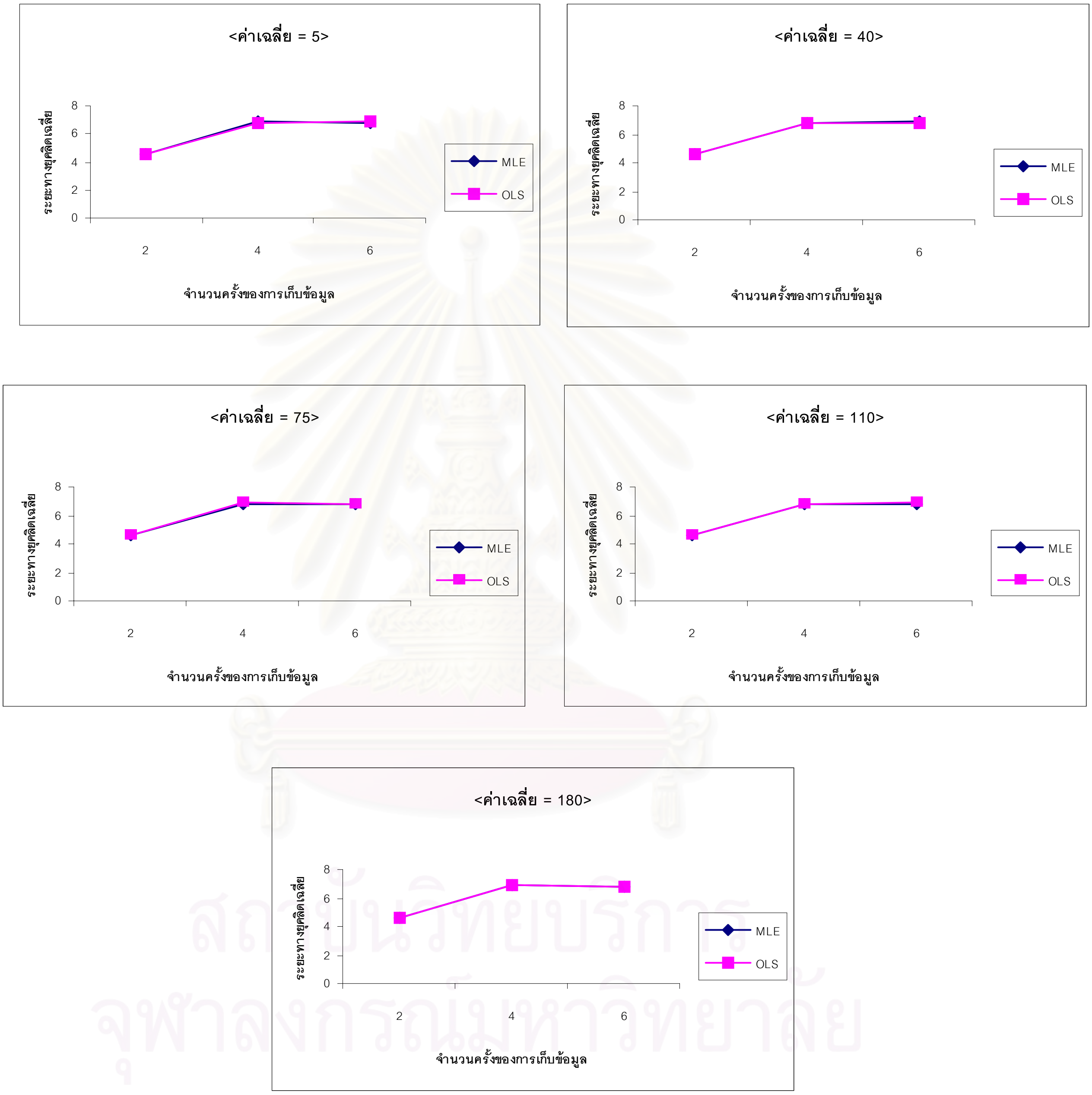


ตารางที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีการประมาณทั้งสองวิธี ณ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย (μ)	จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล	วิธี MLE		วิธี OLS	
		ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuMLE}$	ระยะทางยุคลิดน้อยสุด*	ระยะทางยุคลิดเฉลี่ย $\overline{EuOLS}$
5	2	0.00147280	4.55103684	0.00643463	4.51913201
	4	0.00064284	6.84594096	0.00004901	6.82696042
	6	0.00148803	6.82363246	0.00196643	6.88428545
40	2	0.00127327	4.54610932	0.00653905	4.63645185
	4	0.00167320	6.81945484	0.00580199	6.80177835
	6	0.00006747	6.87181335	0.00148803	6.84417982
75	2	0.00390960	4.58844853	0.00680280	4.54836515
	4	0.00118745	6.84451486	0.00489462	6.90777263
	6	0.00143311	6.78548968	0.00226062	6.82214568
110	2	0.00005844	4.63389942	0.00312392	4.63238151
	4	0.00093054	6.84763155	0.00233619	6.81416113
	6	0.00039606	6.83851446	0.00006747	6.85787914
180	2	0.00184870	4.59212118	0.00721804	4.65683695
	4	0.00152015	6.87553521	0.00409466	6.87243214
	6	0.00391312	6.83572081	0.00143311	6.82183091

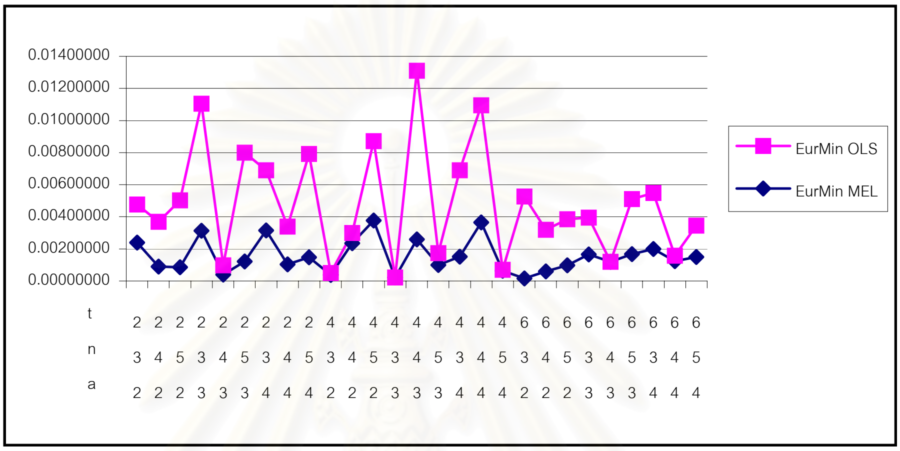
* ระยะทางยุคลิดที่น้อยที่สุด (EurMin) ในการทำการสุ่มการทดลอง 1000 รอบ

รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยกับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ

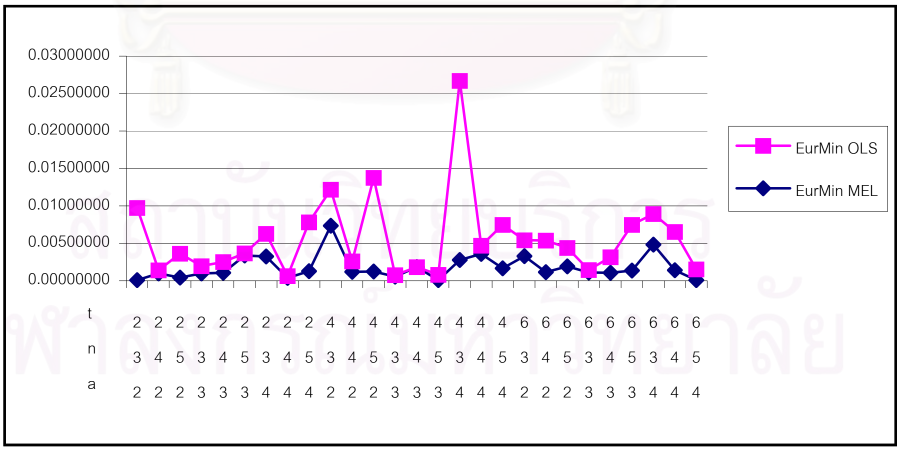


4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางยุคลิคที่น้อยที่สุดในแต่ละวิธี โดยใช้การสุ่ม 1000 รอบ ณ. ค่าเฉลี่ยที่ 5,40,75,110,180

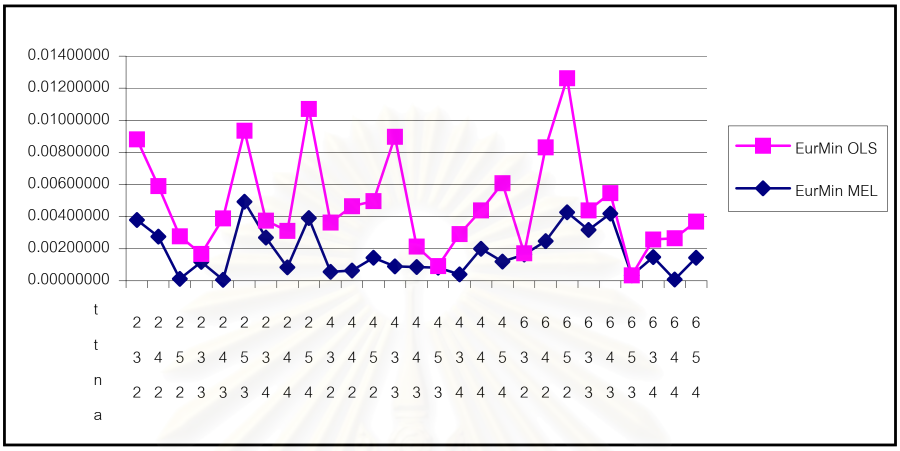
รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิกที่น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง 1000 กับ จำนวนหน่วยทั้งหมดของการทดลอง ณ.ที่ค่าเฉลี่ย 5



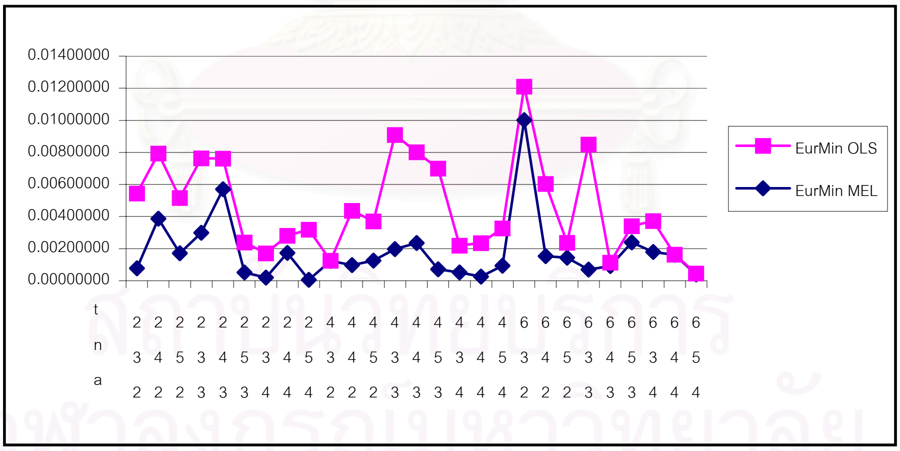
รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิกที่น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง 1000 กับ จำนวนหน่วยทั้งหมดของการทดลอง ณ.ที่ค่าเฉลี่ย 45



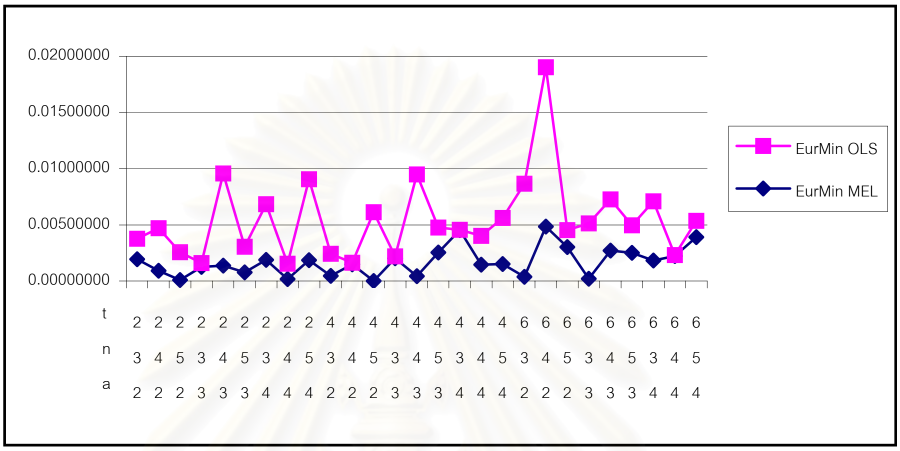
รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิกที่น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง 1000 กับจำนวนหน่วยทั้งหมดของการทดลอง ณ.ที่ค่าเฉลี่ย 75



รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิกที่น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง 1000 กับจำนวนหน่วยทั้งหมดของการทดลอง ณ.ที่ค่าเฉลี่ย 110



รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางยุคลิกที่น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง 1000 กับจำนวนหน่วยทั้งหมดของการทดลอง ณ.ที่ค่าเฉลี่ย 180



บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาและเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว และลักษณะของความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน โดยเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ใน 2 วิธี คือ วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation:MLE) กับวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Square Method:OLS) การเปรียบเทียบกระทำภายใต้สถานการณ์ของการกำหนดระดับของปัจจัยการทดลองเป็นเป็น 2,3 และ 4 ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้เป็น 3, 4 และ 5 ซึ่งทำการเก็บข้อมูลซ้ำในครั้งที่ 2, 4 และ 6 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล และทำการทดลองซ้ำ ๆ กันเป็นจำนวน 1,000 ครั้งโดยเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic 6.0 สำหรับเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าประมาณจากทั้งสองวิธีได้ใช้วิธีการหาค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยและค่ายุคลิดที่น้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทำการวิจัยเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด และวิธีกำลังสองน้อยที่สุด สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ในกรณีที่สถานการณ์ของการทดลองที่กำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองมีค่าน้อยเมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าคงที่ การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีทั้งสองให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

ส่วนกรณีที่จำนวนปัจจัยการทดลองมีค่ามาก โดยภาพรวมแล้วการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

5.1.2 ที่ระดับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าคงที่ การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีทั้งสองให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนักในทุกสถานการณ์ของการทดลอง

5.1.3 ในกรณีที่สถานการณ์ของการทดลองที่กำหนดให้จำนวนปัจจัยทดลองและจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลมีค่าคงที่ เมื่อขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าน้อยการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีทั้งสองให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

ส่วนกรณีที่ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่ามาก โดยภาพรวมแล้วการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยต่ำกว่าการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์มิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว และลักษณะของความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ด้วยวิธีการภาวะน่าจะเป็นสูงสุดนั้นให้ค่าประมาณโดยส่วนใหญ่ดีกว่าการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเมื่อแผนแบบการทดลองมีจำนวนระดับปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่ามาก เมื่อพิจารณากรณีที่จำนวนปัจจัยการทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าน้อยจะเห็นได้ว่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อพิจารณาที่ระดับจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เมื่อจำนวนปัจจัยทดลองและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้มีค่าคงที่ การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีทั้งสองให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนักในทุกสถานการณ์ของการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลระยะยาว ซึ่งมีการเก็บข้อมูลซ้ำกันหลายครั้ง การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด และวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะให้ค่าระยะทางยุคลิดเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน เนื่องจากข้อมูลที่ทำการวิจัยในแต่ละช่วงเวลามีความเป็นอิสระกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยคงที่เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์และเวลาที่ใช้ในการทำวิจัยเพื่อให้การวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5.3.2 ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในวิธีอื่น ๆ เพิ่มเติม

5.3.3 ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในแผนแบบการทดลองอื่น ๆ เช่น แผนแบบการทดลองแบบสุ่มตลอดกรณีปัจจัยเชิงสุ่ม แผนแบบการทดลองสองปัจจัยข้ามกลุ่ม เป็นต้น

5.3.4 ในการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งมีข้อจำกัดด้านฟังก์ชันที่สนับสนุนการคำนวณทางด้านสถิติ จึงทำให้การเขียนโปรแกรมมีหลายขั้นตอน ผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ใช้โปรแกรมที่มีฟังก์ชันในการคำนวณทางด้านสถิติโดยตรง

5.3.5 ในการวิจัยควรใช้การเปรียบเทียบจากค่า CV. = $[(\sigma/\mu)*100]$ ที่เปลี่ยนไปแทนที่จะใช้ค่า μ เป็นตัวเปลี่ยนค่า เพราะจะทำให้น่าจะเป็นการศึกษาที่มีประสิทธิภาพมากกว่า

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

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

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

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. สถิติวิเคราะห์. ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

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

สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวิเคราะห์ความแปรปรวน. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

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

ภาษาอังกฤษ

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

Clarke, G. M. and Kempson, R. E. Introduction to the Design and Analysis of Experiments. London : Amold, 1997.

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

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

Hicks, C. R. Fundamental Concepts in the Design of Experiments. 4th ed. New York : Saunders College Publishing,1993.

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

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

,

ภาคผนวก

แสดงการเขียนโปรแกรม

```
For i1 = 5 To 180 Step 35
For i2 = 2 To 6 Step 2
        For i3 = 2 To 4
            For i4 = 3 To 5
                    p_Co = i1
                    n_Nu = i4
                    a_Tr = i3
                    t_Pe = i2
                    Main
            Next i4
        Next i3
Next i2
Next i1
End Sub
Sub Main()
Dim txtSize As Long
If StopT = False Then
    ChEurMin = 1
    sum = 0
    ChEur = 1
    StopT = False
    cc = 0
'***********************
    'Build_E
    'Show_T = 1
    'Show_Data
    'Build_B0
    'Show_T = 2
    'Show_Data
 '***********************
```

```
Do
        If StopT = True Then
            Exit Do
        End If
        Dummy = DoEvents
       ' If Len(Text1.Text) >= 16000 Then
       '         Text1.Text = ""
       ' End If
'*******************************
        Build_E
   '     Show_T = 1
  '      Show_Data
        Build_B0
    '    Show_T = 2
   '     Show_Data

'*******************************
        Build_Y0        ' ขั้นตอนที่ 1
   '     Show_T = 3
    '    Show_Data
        Build_X         ' ขั้นตอนที่ 2
    '    Show_T = 4
    '    Show_Data
        Build_XT        ' ขั้นตอนที่ 3
    '    Show_T = 5
    '    Show_Data
        Mul_XTY0        ' ขั้นตอนที่ 4
     '   Show_T = 6
     '   Show_Data
        Select_Pp       ' ขั้นตอนที่ 5
    '    Show_T = 7
```

```
'       Show_Data
        Find_B1             ' ขั้นตอนที่ 6
'       Show_T = 8
'       Show_Data
        Find_Eur            ' ขั้นตอนที่ 7
        Find_EurBar
'       Show_T = 9
'       Show_Data
'       Ch_B
'       Show_T = 2
'       Show_Data
        ClearL
        sum = sum + 1
        txtR.Text = Str(sum)
Loop Until cc >= 3000
    ChEurMinT = ChEurMin
    Text1.Text = Text1.Text & "ผลการทดลองที่(Treatment,Number,Peroid,Mean)" &
vbTab & a_Tr & vbTab & n_Nu & vbTab & t_Pe & vbTab & p_Co & vbTab & "จำนวนรอบ
=" & cc & vbTab & "ค่าตรวจสอบการลู่เข้า =  " & ChEurMinT & vbTab & vbTab & "ค่าเฉลี่ย
EurBar =  " & EurBar & vbCrLf
    ClearV
End If
End Sub
Sub Show_Data()
If Len(Text1.Text) >= 16000 Then
                Text1.Text = ""
        End If
```

```
Select Case Show_T
    Case 1
        Text1.Text = Text1.Text & "************************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ( Normal Distribution )" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "************************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 1 To a_Tr * n_Nu * t_Pe
              Text1.Text = Text1.Text & "Ernd[" & i & "] = " & E(i) & vbCrLf
        Next i
    Case 2
        Text1.Text = Text1.Text & "************************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "กำหนด จำนวนครั้ง และ จำนวนปัจจัยทดลอง" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "************************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 1 To a_Tr + t_Pe - 1
              Text1.Text = Text1.Text & "B0[" & i & "] = " & B0(i) & vbCrLf
        Next i
    Case 3
        Text1.Text = Text1.Text & "************************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าเมตริกซ์ Y0" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "************************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 1 To a_Tr * n_Nu * t_Pe
          Text1.Text = Text1.Text & "Y0[" & i & "] = " & Y0(i) & vbCrLf
        Next i
    Case 4
```

```
        Text1.Text = Text1.Text &
"**********************************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าเมตริกซ์ X" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text &
"**********************************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 1 To n_Nu * t_Pe * a_Tr
            For j = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
              If j < t_Pe + a_Tr - 1 Then
                Text1.Text = Text1.Text & X(i, j) & vbTab
              Else
                Text1.Text = Text1.Text & X(i, j) & vbCrLf
              End If
            Next j
        Next i
    Case 5
        Text1.Text = Text1.Text &
"**********************************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าเมตริกซ์ XT" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text &
"**********************************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
            For j = 1 To n_Nu * t_Pe * a_Tr
              If j < n_Nu * t_Pe * a_Tr Then
                Text1.Text = Text1.Text & XT(i, j) & vbTab
              Else
                Text1.Text = Text1.Text & XT(i, j) & vbCrLf
              End If
            Next j
        Next i
    Case 6
```

```
        Text1.Text                    =                    Text1.Text                    &
"********************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าเมตริกซ์ XT*Y0" & vbCrLf
        Text1.Text                    =                    Text1.Text                    &
"********************************************************************************" & vbCrLf
          For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
               Text1.Text = Text1.Text & Format(XTY0(i), "##0.00") & vbCrLf
          Next i
    Case 7
        Text1.Text                    =                    Text1.Text                    &
"********************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าเมตริกซ์ inv(XT*X)" & vbCrLf
        Text1.Text                    =                    Text1.Text                    &
"********************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
            For j = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
              If j < t_Pe + a_Tr - 1 Then
                Text1.Text = Text1.Text & Pp(i, j) & vbTab
              Else
                Text1.Text = Text1.Text & Pp(i, j) & vbCrLf
              End If
            Next j
        Next i
    Case 8
        Text1.Text                    =                    Text1.Text                    &
"********************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าเมตริกซ์ B1" & vbCrLf
        Text1.Text                    =                    Text1.Text                    &
"********************************************************************************" & vbCrLf
          For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
               Text1.Text = Text1.Text & Format(B1(i), "##0.00") & vbCrLf
```

```
            Next i
    Case 9
        Text1.Text = Text1.Text &
"***********************************************************************************" & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "หาค่าEur " & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text &
"***********************************************************************************" & vbCrLf
        For i = 0 To cc - 1
        Text1.Text = Text1.Text & "ค่าระยะทางยูคิลรอบที่ " & i + 1 & "=" & Format(Eur(i),
"##0.000000000000") & vbCrLf
        Next i
        Text1.Text = Text1.Text & "จำนวนรอบ = " & cc & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "ตรวจสอบค่าประมาณที่ได้ = " & ChEur & vbCrLf
        Text1.Text = Text1.Text & "ค่าเฉลี่ยทางยูคิล = " & Format(EurBar,
"##0.000000000000") & vbCrLf

End Select
End Sub

Sub Rnd_E()
Dim SD As Double
Dim u1, u2 As Double
Ame = 0  ' ค่า meain
SD = 10 ' ค่าความแปรปรวน
If kk = 0 Then
    u1 = Rnd(1)
    u2 = Rnd(1)
    e1 = Sqr((-2) * Log(u1)) * Cos(6.28318530717959 * u2)
    e2 = Sqr((-2) * Log(u1)) * Sin(6.28318530717959 * u2)
  kk = 1
    Ere = Ame + (SD * e1)
```

```
Else
   kk = 0
      Ere = Ame + (SD * e2)
End If
End Sub

Sub Build_E()
       For i = 1 To a_Tr * n_Nu * t_Pe
              Rnd_E
              E(i) = Ere
       Next i
End Sub

Sub Build_B0()
Select Case a_Tr And n_Nu And t_Pe
          Case 2 And 3 And 2          ' 1
             B0(1) = p_Co
             B0(2) = 1
             B0(3) = 1
          Case 2 And 4 And 2          '2
             B0(1) = p_Co
             B0(2) = 1
             B0(3) = 1
          Case 2 And 5 And 2          '3
             B0(1) = p_Co
             B0(2) = 1
             B0(3) = 1
          Case 3 And 3 And 2          '4
             B0(1) = p_Co
             B0(2) = 1
             B0(3) = 1
```

```
    B0(4) = 1
Case 3 And 4 And 2              '5
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
Case 3 And 5 And 2              '6
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
Case 4 And 3 And 2              '7
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
Case 4 And 4 And 2              '8
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
Case 4 And 5 And 2              '9
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
Case 2 And 3 And 4              '10
    B0(1) = p_Co
```

```
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
Case 2 And 4 And 4              '11
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
Case 2 And 5 And 4              '12
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
Case 3 And 3 And 4              '13
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
Case 3 And 4 And 4              '14
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
Case 3 And 5 And 4              '15
```

```
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
Case 4 And 3 And 4          '16
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
Case 4 And 4 And 4          '17
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
Case 4 And 5 And 4          '18
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
Case 2 And 3 And 6          '19
```

```
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
Case 2 And 4 And 6              '20
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
Case 2 And 5 And 6              '21
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
Case 3 And 3 And 6              '22
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
```

```
    B0(8) = 1
Case 3 And 4 And 6              '23
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
    B0(8) = 1
Case 3 And 5 And 6              '24
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
    B0(8) = 1
Case 4 And 3 And 6              '25
    B0(1) = p_Co
    B0(2) = 1
    B0(3) = 1
    B0(4) = 1
    B0(5) = 1
    B0(6) = 1
    B0(7) = 1
    B0(8) = 1
    B0(9) = 1
Case 4 And 4 And 6              '26
    B0(1) = p_Co
```

```
            B0(2) = 1
            B0(3) = 1
            B0(4) = 1
            B0(5) = 1
            B0(6) = 1
            B0(7) = 1
            B0(8) = 1
            B0(9) = 1
        Case 4 And 5 And 6          '27
            B0(1) = p_Co
            B0(2) = 1
            B0(3) = 1
            B0(4) = 1
            B0(5) = 1
            B0(6) = 1
            B0(7) = 1
            B0(8) = 1
            B0(9) = 1
End Select
End Sub

Sub Build_Y0()
Dim SumB0 As Double
    For j = 1 To a_Tr + t_Pe - 1
            SumB0 = SumB0 + B0(j)
    Next j
    For i = 1 To a_Tr * n_Nu * t_Pe
            Y0(i) = SumB0 + E(i)
    Next i
            SumB0 = 0
End Sub
```

```
Private Sub Build_X()
Select Case a_Tr And n_Nu And t_Pe
        Case 2 And 3 And 2
            X232
        Case 2 And 4 And 2
            X242
        Case 2 And 5 And 2
            X252
        Case 3 And 3 And 2
            X332
        Case 3 And 4 And 2
            X342
        Case 3 And 5 And 2
            X352
        Case 4 And 3 And 2
            X432
        Case 4 And 4 And 2
            X442
        Case 4 And 5 And 2
            X452
        Case 2 And 3 And 4
            X234
        Case 2 And 4 And 4
            X244
        Case 2 And 5 And 4
            X254
        Case 3 And 3 And 4
            X334
        Case 3 And 4 And 4
            X344
```

```
        Case 3 And 5 And 4
            X354
        Case 4 And 3 And 4
            X434
        Case 4 And 4 And 4
            X444
        Case 4 And 5 And 4
            X454
        Case 2 And 3 And 6
            X236
        Case 2 And 4 And 6
            X246
        Case 2 And 5 And 6
            X256
        Case 3 And 3 And 6
            X336
        Case 3 And 4 And 6
            X346
        Case 3 And 5 And 6
            X356
        Case 4 And 3 And 6
            X436
        Case 4 And 4 And 6
            X446
        Case 4 And 5 And 6
            X456
End Select
End Sub
Sub Build_XT()
        For j = 1 To t_Pe * a_Tr * n_Nu
            For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
```

```
                XT(i, j) = X(j, i)
            Next i
        Next j
End Sub

Sub Mul_XTY0()
Dim mm As Integer
            mm = 1
            For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
                XTY0(i) = 0
            Next i
            For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
                For j = 1 To t_Pe * a_Tr * n_Nu
                    XTY0(mm) = XTY0(mm) + XT(i, j) * Y0(j)
                Next j
                mm = mm + 1
            Next i
End Sub

 Sub Select_Pp()
Select Case a_Tr And n_Nu And t_Pe
          Case 2 And 3 And 2
Pp(1, 1) = 0.0833
Pp(1, 2) = 0
Pp(1, 3) = 0
Pp(2, 1) = 0
Pp(2, 2) = 0.0833
Pp(2, 3) = 0
Pp(3, 1) = 0
Pp(3, 2) = 0
Pp(3, 3) = 0.0833
```

Pp(4, 1) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(4, 3) = 0

Pp(4, 4) = 0.0833

Case 2 And 4 And 2

Pp(1, 1) = 0.0625

Pp(1, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 1) = 0

Pp(2, 2) = 0.0625

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(3, 2) = 0

Pp(3, 3) = 0.0625

Pp(4, 1) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(4, 3) = 0

Pp(4, 4) = 0.0625

Case 2 And 5 And 2

Pp(1, 1) = 0.05

Pp(1, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 1) = 0

Pp(2, 2) = 0.05

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(3, 2) = 0

Pp(3, 3) = 0.05

Pp(4, 1) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(4, 3) = 0

Pp(4, 4) = 0.05

Case 3 And 3 And 2

Pp(1, 1) = 0.055556

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.055556

Pp(3, 2) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 3) = 0.11111

Pp(4, 3) = -0.055556

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = 0

Pp(3, 4) = -0.055556

Pp(4, 4) = 0.11111

Case 3 And 4 And 2

Pp(1, 1) = 0.041667

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.041667

Pp(3, 2) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 3) = 0.083333

Pp(4, 3) = -0.041667

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = 0

Pp(3, 4) = -0.041667

Pp(4, 4) = 0.083333

Case 3 And 5 And 2

Pp(1, 1) = 0.033333

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.033333

Pp(3, 2) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 3) = 0.066667

Pp(4, 3) = -0.033333

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = 0

Pp(3, 4) = -0.033333

Pp(4, 4) = 0.066667

Case 4 And 3 And 2

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.041667

Pp(3, 2) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(5, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 3) = 0.13889

Pp(4, 3) = -0.055556

Pp(5, 3) = -0.055556

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = 0

Pp(3, 4) = -0.055556

Pp(4, 4) = 0.11111

Pp(5, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = -0.055556

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.11111

Case 4 And 4 And 2

Pp(1, 1) = 0.03125

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.03125

Pp(3, 2) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(5, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 3) = 0.09375

Pp(4, 3) = -0.03125

Pp(5, 3) = -0.03125

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = 0

Pp(3, 4) = -0.03125

Pp(4, 4) = 0.09375

Pp(5, 4) = -0.03125

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = -0.03125

Pp(4, 5) = -0.03125

Pp(5, 5) = 0.09375

Case 4 And 5 And 2

Pp(1, 1) = 0.025

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.025

Pp(3, 2) = 0

Pp(4, 2) = 0

Pp(5, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = 0

Pp(3, 3) = 0.075

Pp(4, 3) = -0.025

Pp(5, 3) = -0.025

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = 0

Pp(3, 4) = -0.025

Pp(4, 4) = 0.075

Pp(5, 4) = -0.025

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = -0.025

Pp(4, 5) = -0.025

Pp(5, 5) = 0.075

Case 2 And 3 And 4

Pp(1, 1) = 0.041667

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.125

Pp(3, 2) = -0.041667

Pp(4, 2) = -0.041667

Pp(5, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.041667

Pp(3, 3) = 0.125

Pp(4, 3) = -0.041667

Pp(5, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.041667

Pp(3, 4) = -0.041667

Pp(4, 4) = 0.125

Pp(5, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.041667

Case 2 And 4 And 4

Pp(1, 1) = 0.03125

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.09375

Pp(3, 2) = -0.03125

Pp(4, 2) = -0.03125

Pp(5, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.03125

Pp(3, 3) = 0.09375

Pp(4, 3) = -0.03125

Pp(5, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.03125

Pp(3, 4) = -0.03125

Pp(4, 4) = 0.09375

Pp(5, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.03125

Case 2 And 5 And 4

Pp(1, 1) = 0.025

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.075

Pp(3, 2) = -0.025

Pp(4, 2) = -0.025

Pp(5, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.025

Pp(3, 3) = 0.075

Pp(4, 3) = -0.025

Pp(5, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.025

Pp(3, 4) = -0.025

Pp(4, 4) = 0.075

Pp(5, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.025

Case 3 And 3 And 4

Pp(1, 1) = 0.027778

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.083333

Pp(3, 2) = -0.027778

Pp(4, 2) = -0.027778

Pp(5, 2) = 0

Pp(6, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.027778

Pp(3, 3) = 0.083333

Pp(4, 3) = -0.027778

Pp(5, 3) = 0

Pp(6, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.027778

Pp(3, 4) = -0.027778

Pp(4, 4) = 0.083333

Pp(5, 4) = 0

Pp(6, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.055556

Pp(6, 5) = -0.027778

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = 0

Pp(3, 6) = 0

Pp(4, 6) = 0

Pp(5, 6) = -0.027778

Pp(6, 6) = 0.055556

Case 3 And 4 And 4

Pp(1, 1) = 0.020833

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.0625

Pp(3, 2) = -0.020833

Pp(4, 2) = -0.020833

Pp(5, 2) = 0

Pp(6, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.020833

Pp(3, 3) = 0.0625

Pp(4, 3) = -0.020833

Pp(5, 3) = 0

Pp(6, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.020833

Pp(3, 4) = -0.020833

Pp(4, 4) = 0.0625

Pp(5, 4) = 0

Pp(6, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.041667

Pp(6, 5) = -0.020833

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = 0

Pp(3, 6) = 0

Pp(4, 6) = 0

Pp(5, 6) = -0.020833

Pp(6, 6) = 0.041667

Case 3 And 5 And 4

Pp(1, 1) = 0.016667

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.05

Pp(3, 2) = -0.016667

Pp(4, 2) = -0.016667

Pp(5, 2) = 0

Pp(6, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.016667

Pp(3, 3) = 0.05

Pp(4, 3) = -0.016667

Pp(5, 3) = 0

Pp(6, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.016667

Pp(3, 4) = -0.016667

Pp(4, 4) = 0.05

Pp(5, 4) = 0

Pp(6, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.033333

Pp(6, 5) = -0.016667

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = 0

Pp(3, 6) = 0

Pp(4, 6) = 0

Pp(5, 6) = -0.016667

Pp(6, 6) = 0.033333

Case 4 And 3 And 4

Pp(1, 1) = 0.020833

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.0625

Pp(3, 2) = -0.020833

Pp(4, 2) = -0.020833

Pp(5, 2) = 0

Pp(6, 2) = 0

Pp(7, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.020833

Pp(3, 3) = 0.0625

Pp(4, 3) = -0.020833

Pp(5, 3) = 0

Pp(6, 3) = 0

Pp(7, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.020833

Pp(3, 4) = -0.020833

Pp(4, 4) = 0.0625

Pp(5, 4) = 0

Pp(6, 4) = 0

Pp(7, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.0625

Pp(6, 5) = -0.020833

Pp(7, 5) = -0.020833

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = 0

Pp(3, 6) = 0

Pp(4, 6) = 0

Pp(5, 6) = -0.020833

Pp(6, 6) = 0.0625

Pp(7, 6) = -0.020833

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = -0.020833

Pp(6, 7) = -0.020833

Pp(7, 7) = 0.0625

Case 4 And 4 And 4

Pp(1, 1) = 0.015625

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.046875

Pp(3, 2) = -0.015625

Pp(4, 2) = -0.015625

Pp(5, 2) = 0

Pp(6, 2) = 0

Pp(7, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.015625

Pp(3, 3) = 0.046875

Pp(4, 3) = -0.015625

Pp(5, 3) = 0

Pp(6, 3) = 0

Pp(7, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.015625

Pp(3, 4) = -0.015625

Pp(4, 4) = 0.046875

Pp(5, 4) = 0

Pp(6, 4) = 0

Pp(7, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.046875

Pp(6, 5) = -0.015625

Pp(7, 5) = -0.015625

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = 0

Pp(3, 6) = 0

Pp(4, 6) = 0

Pp(5, 6) = -0.015625

Pp(6, 6) = 0.046875

Pp(7, 6) = -0.015625

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = -0.015625

Pp(6, 7) = -0.015625

Pp(7, 7) = 0.046875

Case 4 And 5 And 4

Pp(1, 1) = 0.0125

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.0375

Pp(3, 2) = -0.0125

Pp(4, 2) = -0.0125

Pp(5, 2) = 0

Pp(6, 2) = 0

Pp(7, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.0125

Pp(3, 3) = 0.0375

Pp(4, 3) = -0.0125

Pp(5, 3) = 0

Pp(6, 3) = 0

Pp(7, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.0125

Pp(3, 4) = -0.0125

Pp(4, 4) = 0.0375

Pp(5, 4) = 0

Pp(6, 4) = 0

Pp(7, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = 0

Pp(3, 5) = 0

Pp(4, 5) = 0

Pp(5, 5) = 0.0375

Pp(6, 5) = -0.0125

Pp(7, 5) = -0.0125

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = 0

Pp(3, 6) = 0

Pp(4, 6) = 0

Pp(5, 6) = -0.0125

Pp(6, 6) = 0.0375

Pp(7, 6) = -0.0125

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = -0.0125

Pp(6, 7) = -0.0125

Pp(7, 7) = 0.0375

Case 2 And 3 And 6

Pp(1, 1) = 0.027778

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.13889

Pp(3, 2) = -0.027778

Pp(4, 2) = -0.027778

Pp(5, 2) = -0.027778

Pp(6, 2) = -0.027778

Pp(7, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.027778

Pp(3, 3) = 0.13889

Pp(4, 3) = -0.027778

Pp(5, 3) = -0.027778

Pp(6, 3) = -0.027778

Pp(7, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.027778

Pp(3, 4) = -0.027778

Pp(4, 4) = 0.13889

Pp(5, 4) = -0.027778

Pp(6, 4) = -0.027778

Pp(7, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.027778

Pp(3, 5) = -0.027778

Pp(4, 5) = -0.027778

Pp(5, 5) = 0.13889

Pp(6, 5) = -0.027778

Pp(7, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.027778

Pp(3, 6) = -0.027778

Pp(4, 6) = -0.027778

Pp(5, 6) = -0.027778

Pp(6, 6) = 0.13889

Pp(7, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.027778

Case 2 And 4 And 6

Pp(1, 1) = 0.020833

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.10417

Pp(3, 2) = -0.020833

Pp(4, 2) = -0.020833

Pp(5, 2) = -0.020833

Pp(6, 2) = -0.020833

Pp(7, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.020833

Pp(3, 3) = 0.10417

Pp(4, 3) = -0.020833

Pp(5, 3) = -0.020833

Pp(6, 3) = -0.020833

Pp(7, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.020833

Pp(3, 4) = -0.020833

Pp(4, 4) = 0.10417

Pp(5, 4) = -0.020833

Pp(6, 4) = -0.020833

Pp(7, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.020833

Pp(3, 5) = -0.020833

Pp(4, 5) = -0.020833

Pp(5, 5) = 0.10417

Pp(6, 5) = -0.020833

Pp(7, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.020833

Pp(3, 6) = -0.020833

Pp(4, 6) = -0.020833

Pp(5, 6) = -0.020833

Pp(6, 6) = 0.10417

Pp(7, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.020833

Case 2 And 5 And 6

Pp(1, 1) = 0.016667

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.083333

Pp(3, 2) = -0.016667

Pp(4, 2) = -0.016667

Pp(5, 2) = -0.016667

Pp(6, 2) = -0.016667

Pp(7, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.016667

Pp(3, 3) = 0.083333

Pp(4, 3) = -0.016667

Pp(5, 3) = -0.016667

Pp(6, 3) = -0.016667

Pp(7, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.016667

Pp(3, 4) = -0.016667

Pp(4, 4) = 0.083333

Pp(5, 4) = -0.016667

Pp(6, 4) = -0.016667

Pp(7, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.016667

Pp(3, 5) = -0.016667

Pp(4, 5) = -0.016667

Pp(5, 5) = 0.083333

Pp(6, 5) = -0.016667

Pp(7, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.016667

Pp(3, 6) = -0.016667

Pp(4, 6) = -0.016667

Pp(5, 6) = -0.016667

Pp(6, 6) = 0.083333

Pp(7, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.016667

Case 3 And 3 And 6

Pp(1, 1) = 0.018519

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(8, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.092593

Pp(3, 2) = -0.018519

Pp(4, 2) = -0.018519

Pp(5, 2) = -0.018519

Pp(6, 2) = -0.018519

Pp(7, 2) = 0

Pp(8, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.018519

Pp(3, 3) = 0.092593

Pp(4, 3) = -0.018519

Pp(5, 3) = -0.018519

Pp(6, 3) = -0.018519

Pp(7, 3) = 0

Pp(8, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.018519

Pp(3, 4) = -0.018519

Pp(4, 4) = 0.092593

Pp(5, 4) = -0.018519

Pp(6, 4) = -0.018519

Pp(7, 4) = 0

Pp(8, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.018519

Pp(3, 5) = -0.018519

Pp(4, 5) = -0.018519

Pp(5, 5) = 0.092593

Pp(6, 5) = -0.018519

Pp(7, 5) = 0

Pp(8, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.018519

Pp(3, 6) = -0.018519

Pp(4, 6) = -0.018519

Pp(5, 6) = -0.018519

Pp(6, 6) = 0.092593

Pp(7, 6) = 0

Pp(8, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.037037

Pp(8, 7) = -0.018519

Pp(1, 8) = 0

Pp(2, 8) = 0

Pp(3, 8) = 0

Pp(4, 8) = 0

Pp(5, 8) = 0

Pp(6, 8) = 0

Pp(7, 8) = -0.018519

Pp(8, 8) = 0.037037

Case 3 And 4 And 6

Pp(1, 1) = 0.013889

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(8, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.069444

Pp(3, 2) = -0.013889

Pp(4, 2) = -0.013889

Pp(5, 2) = -0.013889

Pp(6, 2) = -0.013889

Pp(7, 2) = 0

Pp(8, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.013889

Pp(3, 3) = 0.069444

Pp(4, 3) = -0.013889

Pp(5, 3) = -0.013889

Pp(6, 3) = -0.013889

Pp(7, 3) = 0

Pp(8, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.013889

Pp(3, 4) = -0.013889

Pp(4, 4) = 0.069444

Pp(5, 4) = -0.013889

Pp(6, 4) = -0.013889

Pp(7, 4) = 0

Pp(8, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.013889

Pp(3, 5) = -0.013889

Pp(4, 5) = -0.013889

Pp(5, 5) = 0.069444

Pp(6, 5) = -0.013889

Pp(7, 5) = 0

Pp(8, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.013889

Pp(3, 6) = -0.013889

Pp(4, 6) = -0.013889

Pp(5, 6) = -0.013889

Pp(6, 6) = 0.069444

Pp(7, 6) = 0

Pp(8, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.027778

Pp(8, 7) = -0.013889

Pp(1, 8) = 0

Pp(2, 8) = 0

Pp(3, 8) = 0

Pp(4, 8) = 0

Pp(5, 8) = 0

Pp(6, 8) = 0

Pp(7, 8) = -0.013889

Pp(8, 8) = 0.027778

Case 3 And 5 And 6

Pp(1, 1) = 0.011111

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(8, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.055556

Pp(3, 2) = -0.011111

Pp(4, 2) = -0.011111

Pp(5, 2) = -0.011111

Pp(6, 2) = -0.011111

Pp(7, 2) = 0

Pp(8, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.011111

Pp(3, 3) = 0.055556

Pp(4, 3) = -0.011111

Pp(5, 3) = -0.011111

Pp(6, 3) = -0.011111

Pp(7, 3) = 0

Pp(8, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.011111

Pp(3, 4) = -0.011111

Pp(4, 4) = 0.055556

Pp(5, 4) = -0.011111

Pp(6, 4) = -0.011111

Pp(7, 4) = 0

Pp(8, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.011111

Pp(3, 5) = -0.011111

Pp(4, 5) = -0.011111

Pp(5, 5) = 0.055556

Pp(6, 5) = -0.011111

Pp(7, 5) = 0

Pp(8, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.011111

Pp(3, 6) = -0.011111

Pp(4, 6) = -0.011111

Pp(5, 6) = -0.011111

Pp(6, 6) = 0.055556

Pp(7, 6) = 0

Pp(8, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.022222

Pp(8, 7) = -0.011111

Pp(1, 8) = 0

Pp(2, 8) = 0

Pp(3, 8) = 0

Pp(4, 8) = 0

Pp(5, 8) = 0

Pp(6, 8) = 0

Pp(7, 8) = -0.011111

Pp(8, 8) = 0.022222

Case 4 And 3 And 6

Pp(1, 1) = 0.013889

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(8, 1) = 0

Pp(9, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.069444

Pp(3, 2) = -0.013889

Pp(4, 2) = -0.013889

Pp(5, 2) = -0.013889

Pp(6, 2) = -0.013889

Pp(7, 2) = 0

Pp(8, 2) = 0

Pp(9, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.013889

Pp(3, 3) = 0.069444

Pp(4, 3) = -0.013889

Pp(5, 3) = -0.013889

Pp(6, 3) = -0.013889

Pp(7, 3) = 0

Pp(8, 3) = 0

Pp(9, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.013889

Pp(3, 4) = -0.013889

Pp(4, 4) = 0.069444

Pp(5, 4) = -0.013889

Pp(6, 4) = -0.013889

Pp(7, 4) = 0

Pp(8, 4) = 0

Pp(9, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.013889

Pp(3, 5) = -0.013889

Pp(4, 5) = -0.013889

Pp(5, 5) = 0.069444

Pp(6, 5) = -0.013889

Pp(7, 5) = 0

Pp(8, 5) = 0

Pp(9, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.013889

Pp(3, 6) = -0.013889

Pp(4, 6) = -0.013889

Pp(5, 6) = -0.013889

Pp(6, 6) = 0.069444

Pp(7, 6) = 0

Pp(8, 6) = 0

Pp(9, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.041667

Pp(8, 7) = -0.013889

Pp(9, 7) = -0.013889

Pp(1, 8) = 0

Pp(2, 8) = 0

Pp(3, 8) = 0

Pp(4, 8) = 0

Pp(5, 8) = 0

Pp(6, 8) = 0

Pp(7, 8) = -0.013889

Pp(8, 8) = 0.041667

Pp(9, 8) = -0.013889

Pp(1, 9) = 0

Pp(2, 9) = 0

Pp(3, 9) = 0

Pp(4, 9) = 0

Pp(5, 9) = 0

Pp(6, 9) = 0

Pp(7, 9) = -0.013889

Pp(8, 9) = -0.013889

Pp(9, 9) = 0.041667

Case 4 And 4 And 6

Pp(1, 1) = 0.010417

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(8, 1) = 0

Pp(9, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.052083

Pp(3, 2) = -0.010417

Pp(4, 2) = -0.010417

Pp(5, 2) = -0.010417

Pp(6, 2) = -0.010417

Pp(7, 2) = 0

Pp(8, 2) = 0

Pp(9, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.010417

Pp(3, 3) = 0.052083

Pp(4, 3) = -0.010417

Pp(5, 3) = -0.010417

Pp(6, 3) = -0.010417

Pp(7, 3) = 0

Pp(8, 3) = 0

Pp(9, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.010417

Pp(3, 4) = -0.010417

Pp(4, 4) = 0.052083

Pp(5, 4) = -0.010417

Pp(6, 4) = -0.010417

Pp(7, 4) = 0

Pp(8, 4) = 0

Pp(9, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.010417

Pp(3, 5) = -0.010417

Pp(4, 5) = -0.010417

Pp(5, 5) = 0.052083

Pp(6, 5) = -0.010417

Pp(7, 5) = 0

Pp(8, 5) = 0

Pp(9, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.010417

Pp(3, 6) = -0.010417

Pp(4, 6) = -0.010417

Pp(5, 6) = -0.010417

Pp(6, 6) = 0.052083

Pp(7, 6) = 0

Pp(8, 6) = 0

Pp(9, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.03125

Pp(8, 7) = -0.010417

Pp(9, 7) = -0.010417

Pp(1, 8) = 0

Pp(2, 8) = 0

Pp(3, 8) = 0

Pp(4, 8) = 0

Pp(5, 8) = 0

Pp(6, 8) = 0

Pp(7, 8) = -0.010417

Pp(8, 8) = 0.03125

Pp(9, 8) = -0.010417

Pp(1, 9) = 0

Pp(2, 9) = 0

Pp(3, 9) = 0

Pp(4, 9) = 0

Pp(5, 9) = 0

Pp(6, 9) = 0

Pp(7, 9) = -0.010417

Pp(8, 9) = -0.010417

Pp(9, 9) = 0.03125

Case 4 And 5 And 6

Pp(1, 1) = 0.0083333

Pp(2, 1) = 0

Pp(3, 1) = 0

Pp(4, 1) = 0

Pp(5, 1) = 0

Pp(6, 1) = 0

Pp(7, 1) = 0

Pp(8, 1) = 0

Pp(9, 1) = 0

Pp(1, 2) = 0

Pp(2, 2) = 0.041667

Pp(3, 2) = -0.0083333

Pp(4, 2) = -0.0083333

Pp(5, 2) = -0.0083333

Pp(6, 2) = -0.0083333

Pp(7, 2) = 0

Pp(8, 2) = 0

Pp(9, 2) = 0

Pp(1, 3) = 0

Pp(2, 3) = -0.0083333

Pp(3, 3) = 0.041667

Pp(4, 3) = -0.0083333

Pp(5, 3) = -0.0083333

Pp(6, 3) = -0.0083333

Pp(7, 3) = 0

Pp(8, 3) = 0

Pp(9, 3) = 0

Pp(1, 4) = 0

Pp(2, 4) = -0.0083333

Pp(3, 4) = -0.0083333

Pp(4, 4) = 0.041667

Pp(5, 4) = -0.0083333

Pp(6, 4) = -0.0083333

Pp(7, 4) = 0

Pp(8, 4) = 0

Pp(9, 4) = 0

Pp(1, 5) = 0

Pp(2, 5) = -0.0083333

Pp(3, 5) = -0.0083333

Pp(4, 5) = -0.0083333

Pp(5, 5) = 0.041667

Pp(6, 5) = -0.0083333

Pp(7, 5) = 0

Pp(8, 5) = 0

Pp(9, 5) = 0

Pp(1, 6) = 0

Pp(2, 6) = -0.0083333

Pp(3, 6) = -0.0083333

Pp(4, 6) = -0.0083333

Pp(5, 6) = -0.0083333

Pp(6, 6) = 0.041667

Pp(7, 6) = 0

Pp(8, 6) = 0

Pp(9, 6) = 0

Pp(1, 7) = 0

Pp(2, 7) = 0

Pp(3, 7) = 0

Pp(4, 7) = 0

Pp(5, 7) = 0

Pp(6, 7) = 0

Pp(7, 7) = 0.025

```
Pp(8, 7) = -0.0083333
Pp(9, 7) = -0.0083333
Pp(1, 8) = 0
Pp(2, 8) = 0
Pp(3, 8) = 0
Pp(4, 8) = 0
Pp(5, 8) = 0
Pp(6, 8) = 0
Pp(7, 8) = -0.0083333
Pp(8, 8) = 0.025
Pp(9, 8) = -0.0083333
Pp(1, 9) = 0
Pp(2, 9) = 0
Pp(3, 9) = 0
Pp(4, 9) = 0
Pp(5, 9) = 0
Pp(6, 9) = 0
Pp(7, 9) = -0.0083333
Pp(8, 9) = -0.0083333
Pp(9, 9) = 0.025
    End Select

 End Sub

Sub Find_B1()
Dim mm As Integer
          mm = 1
          For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
                B1(i) = 0
          Next i
          For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
```

```
                For j = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
                    B1(mm) = B1(mm) + (Pp(i, j) * XTY0(mm))
                Next j
            mm = mm + 1
        Next i
End Sub

Sub Find_Eur()
Dim AbsB As Double
    For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
        AbsB = AbsB + (B1(i) - B0(i)) ^ 2
    Next i
    Eur(cc) = Sqr(AbsB)
    AbsB = 0
    If cc > 0 Then
        ChEur = Sqr((Eur(cc) - Eur(cc - 1)) ^ 2)
        If ChEurMin > ChEur Then
                ChEurMin = ChEur
        End If
    End If
    cc = cc + 1
End Sub

Sub Ch_B()
    For i = 1 To t_Pe + a_Tr - 1
        B0(i) = B1(i)
    Next i
End Sub

Sub Find_EurBar()
Dim EurBarSum As Double
```

```
    For i = 0 To 10000
        EurBarSum = EurBarSum + Eur(i)
    Next i
      EurBar = EurBarSum / cc
End Sub
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวไพจิตร สิงหาโชติ เกิดเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2520 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาการศึกษาบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2541