การประมาณพารามิเตอร์ของแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์เชิงสุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวน

นางสาวกนกกรรณ์ ลี้โรจนาประภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1621-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PARAMETER ESTIMATION FOR RANDOM-EFFECT COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN MODEL WITH VARIANCE COMPONENTS AVERAGING METHOD

Miss Kanogkan Leerojanaprapa

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 2001

ISBN 974-03-1621-2

I20304766

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณพารามิเตอร์ของแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์เชิงสุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวน
โดย	นางสาวกนกกรรณ์ ลี้โรจนาประภา
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัช อภิเมธีธำรง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นพรัตน์ รุ่งอุทัยศิริ)

กนกกรรณ์ ลี้โรจนาประภา : การประมาณพารามิเตอร์ของแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์เชิงสุ่มด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวน. (PARAMETER ESTIMATION FOR RANDOM-EFFECT COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN MODEL WITH VARIANCE COMPONENTS AVERAGING METHOD)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา, 170 หน้า. ISBN 974-03-1621-2.

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อหาวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสมจากวิธีพื้นฐานทั้ง 3 วิธี (ตัวประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุด, ตัวประมาณแบบกำลังสองไม่แปรเปลี่ยน และตัวประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุดแบบมีข้อจำกัด) โดยศึกษาวิธีการถ่วงน้ำหนัก 4 วิธีดังนี้ 1)วิธีการถ่วงน้ำหนักที่เท่ากัน 2)วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของ $\bar{y}_{..}$ 3)วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของตัวประมาณ σ_τ^2 หรือองค์ประกอบความแปรปรวน และ4)วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าสัมบูรณ์ต่ำสุดซึ่งเป็นการวนซ้ำโดยอาศัยเทคนิคสมการเชิงเส้น เพื่อแก้ปัญหาสมการเป้าหมายที่ทำให้ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำสุด ในการศึกษานี้ใช้ตัวแบบ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ เมื่อ $i = 1, 2, \ldots, a$ และ $j = 1, 2, \ldots, n$ โดยที่ y_{ij} เป็นสัญลักษณ์แทนค่าสังเกตที่ j ซึ่งได้รับปัจจัยในระดับที่ i μ แทนค่าเฉลี่ยรวม τ_i แทนผลกระทบเชิงสุ่มของปัจจัยทดลองที่ i และมีการแจกแจงปกติที่อิสระกันซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0 ความแปรปรวน σ_τ^2 ε_{ij} แทนความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่มของค่าสังเกตที่ j ปัจจัยทดลองที่ i และมีการแจกแจงปกติที่อิสระกันซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0 ความแปรปรวน σ_e^2 เมื่อ a และ n แทนจำนวนระดับของปัจจัย และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัยตามลำดับ ในการศึกษานี้ได้ทำการจำลองข้อมูลจากเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยโปรแกรม S-PLUS 2000 โดยกำหนดและสร้างพารามิเตอร์ σ_e^2, μ และ σ_τ^2 ขึ้น และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบตัวประมาณ

จากการศึกษาพบว่าการประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน σ_τ^2 และ $\sigma_\tau^2 + \sigma_e^2$ เหมาะสมที่สุดเมื่อนำเฉพาะตัวประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุด และตัวประมาณแบบกำลังสองไม่แปรเปลี่ยนเท่านั้นมาใช้ในการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักในการประมาณ σ_τ^2 ดังกล่าว เมื่อ k มีค่าน้อย และจำนวนระดับของปัจจัยก็มีค่าน้อยเช่นกัน พบว่า วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของตัวประมาณ σ_τ^2 เป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด เมื่อ k มีค่าน้อย จำนวนระดับของปัจจัยมาก และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัยน้อย วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของ $\bar{y}_{..}$ เป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด ส่วนกรณี k มีค่าน้อย จำนวนระดับของปัจจัย และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัยมาก วิธีค่าสัมบูรณ์ต่ำสุดเป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด เมื่อ k มาก กรณีส่วนใหญ่ตัวประมาณที่ดีที่สุดจะคือวิธีค่าสัมบูรณ์ต่ำสุด ยกเว้นเฉพาะกรณีเมื่อจำนวนระดับของปัจจัยน้อย ที่วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของตัวประมาณ σ_τ^2 เป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด ในการประมาณ $\sigma_\tau^2 + \sigma_e^2$ เมื่อ k มีค่าน้อย กรณีจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัยน้อย พบว่าวิธีค่าสัมบูรณ์ต่ำสุดเป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด เมื่อ k มีค่าน้อย จำนวนระดับของปัจจัยมาก และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัยน้อย วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของ $\bar{y}_{..}$ เป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด และกรณี k มีค่าน้อย และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัยมาก วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนเป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด เมื่อ k มีค่ามาก การประมาณ $\sigma_\tau^2 + \sigma_e^2$ ให้ผลสรุปเช่นเดียวกับการประมาณ σ_τ^2

ภาควิชา สถิติ
สาขาวิชา สถิติ
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต ...กนกกรรณ์ ลี้โรจนาประภา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

4282151926 : MAJOR STATISTICS

KEY WORD : VARIANCE COMPONENTS / COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN / AVERAGING METHOD

KANOGKAN LEEROJANAPRAPA : PARAMETER ESTIMATION FOR RANDOM-EFFECT COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN MODEL WITH VARIANCE COMPONENTS AVERAGING METHOD. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR. SUPOL DURONGWATANA, Ph.D. 170 pp. ISBN 974-03-1621-2.

The objective of this study is to compare the methods of averaging variance components based on Maximum Likelihood (ML), Invariance Quadratic (IQ) and Restricted Maximum Likelihood (REML) estimators. There are 4 weighted averaging approaches. The first approach takes account of equal weights. Where as the weights that based on the estimation of variance for $\bar{y}_{..}$ and the weights that based on the estimated variance of estimator σ_τ^2 or variance components are considered in the second and the third approach respectively. For the forth approach, the weights of least absolute value are based on iterative procedure using linear programming technique to solve for the minimised sum of the absolute deviations. The model used in this study is $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ when i = 1, 2, ... , a and j = 1, 2, ..., n where y_{ij} is the j^{th} observation for the i^{th} level of factor, μ is the grand mean, τ_i is the i^{th} random effect of factor and is independently distributed with mean 0 and variance σ_τ^2, ε_{ij} is the random error of the j^{th} observation for the i^{th} level of factor and is also independently distributed with mean 0 and variance σ_e^2, where as a and n represent the number of levels for factor and the number of replication for treatment respectively. To generate the data for this study, The Monte Carlo simulation is applied by using S-PLUS 2000 package where σ_e^2, μ and σ_τ^2 are parameters in the model, all of which are specified and generated then, the mean square error is determine for comparing the estimators.

The result for the estimation of variance components σ_τ^2 and $\sigma_\tau^2 + \sigma_e^2$ is optimal when only ML and IQ estimation are used for weighted averaging. For the estimation of σ_τ^2, when k is small and the number of levels for factor is also small, and it is found in this case that the weighting method using estimated variance of estimator σ_τ^2 is the best estimator. In the case of small k and the number of levels for factor is large together with the number of replication for treatment is small, the weighting method using estimated variance of $\bar{y}_{..}$ is found as the best estimator. In addition to this small k case, when the number of levels for factor and the number of replication for treatment are large, the least absolute value method is found as the best estimator. For large k, the least absolute value method is the best estimator for almost all of the cases but when the number of levels for factor is small, the weighting method using estimated variance of estimator σ_τ^2 is the best estimator. For the estimation of $\sigma_\tau^2 + \sigma_e^2$, when k is small and the number of levels for factor and the number of replication for treatment are small, it is found that the least absolute value method is the best estimator. In the case of small k, when the number of levels for factor is large and the number of replication for treatment is small, the weighting method using estimated variance of $\bar{y}_{..}$ is found as the best estimator. And also, in case of small k, when the number of replication for treatment is large, the weighting method using estimated variance of variance components is the best estimator. As final findings, when k is large what are found in the estimation of $\sigma_\tau^2 + \sigma_e^2$ are similar to the results obtained in the estimation of σ_τ^2.

Department Statistics

Field of study Statistics

Academic year 2001

Student's signature ..... kanogkan leerojanaprapa

Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยดีตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สำหรับการศึกษาของผู้วิจัยที่สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดีนั้นเพราะเนื่องมาจากได้รับการประสิทธิ์ประสาทความรู้จากคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติทุกท่าน ประกอบกับได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษาจากโครงการพัฒนาอาจารย์ สาขาขาดแคลนเพื่อศึกษาในประเทศ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกจากนี้ทุนการวิจัยบางส่วนยังได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ณ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมติฐานการวิจัย 3

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย 6

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

2 การประมาณค่า

2.1 ตัวประมาณด้วยวิธีพื้นฐาน 8

2.1.1 ตัวประมาณความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood : ML) ... 9

2.1.2 ตัวประมาณแบบกำลังสองไม่แปรเปลี่ยน (Invariance quadratic estimator : IQE) 15

2.1.3 ตัวประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุดแบบมีข้อจำกัด (Restricted maximum likelihood : REML) 21

2.2 ตัวประมาณด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวน 23

2.2.1 วิธีหาค่า a_i และ b_i ที่เหมาะสม 23

2.2.1.1 วิธีการถ่วงน้ำหนักที่เท่ากัน 24

2.2.1.2 วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของ $\bar{y}_{..}$ 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1.3 วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยอาศัยค่าประมาณความแปรปรวนของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน (ประกอบด้วย σ_τ^2 และ σ_e^2) 25

2.2.2 วิธีค่าสัมบูรณ์ต่ำสุด (Least absolute value method) 31

2.3 เกณฑ์การเปรียบเทียบวิธีการประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน 35

2.3.1 กรณีการประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 35

2.3.2 กรณีการประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน 35

3 วิธีดำเนินการวิจัย 36

3.1 การผลิตเลขสุ่มจากรูปแบบการแจกแจงประชากรแบบปกติ 36

3.2 การคำนวณค่าองค์ประกอบความแปรปรวน 38

3.2.1 วิธีพื้นฐาน 38

3.2.1.1 ตัวประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood : ML) 38

3.2.1.2 ตัวประมาณแบบกำลังสองไม่แปรเปลี่ยน (Invariance quadratic estimator : IQE) 38

3.2.1.3 ตัวประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุดแบบมีข้อจำกัด (Restricted maximum likelihood : REML) 38

3.2.2 วิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวน 39

3.2.2.1 กลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) 39

3.2.2.2 กลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) 41

3.3 การเปรียบเทียบตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน 44

3.3.1 กรณีการประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 44

3.3.2 กรณีการประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน 44

3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 45

4 ผลการวิจัย 47

4.1 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 49

4.1.1 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 49

4.1.3 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 50

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณพารามิเตอร์ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ 52

4.2 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน 93

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน 93

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 93

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 95

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ 98

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 139

5.1 สรุปผลการวิจัย 140

5.1.1 ตัวประมาณด้วยวิธีพื้นฐาน 140

5.1.2 ตัวประมาณด้วยวิธีเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 141

5.1.3 ตัวประมาณด้วยวิธีเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 141

5.1.4 การเปรียบเทียบระหว่างตัวประมาณด้วยวิธีพื้นฐานและตัวประมาณด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนทั้งกลุ่ม1 และกลุ่ม2 142

5.2 ข้อเสนอแนะ 146

5.2.1 ด้านการนำไปใช้ 146

5.2.2 ด้านการศึกษาวิจัย 146

รายการอ้างอิง 148

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 150

ภาคผนวก ก 150

ภาคผนวก ข 157

ภาคผนวก ค 159

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 170

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์เชิงสุ่มเมื่อจำนวนค่าสังเกตที่ใช้ในแต่ละระดับของปัจจัยมีจำนวนเท่ากัน	4
ตารางที่ 3.1	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีค่าสัมบูรณ์ต่ำสุดของตัวประมาณกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) สำหรับประมาณ σ_τ^2 และ σ_e^2 จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n)	41
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีค่าสัมบูรณ์ต่ำสุดของตัวประมาณกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) สำหรับประมาณ σ_τ^2 และ σ_e^2 จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n)	43
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1	53
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5	55
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1	57
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4	59
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9	61
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1	63
ตารางที่ 4.7	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5	65
ตารางที่ 4.8	แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธี	

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

การเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 67

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 69

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 71

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 73

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 75

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 77

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 79

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 81

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมอง

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ
จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 83

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธี
พื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมอง
ของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ
จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 85

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธี
พื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมอง
ของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ
จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 87

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธี
พื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมอง
ของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ
จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 89

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธี
พื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมอง
ของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ
จำนวนค่าสังเกต ในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 71

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบ
ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการ
ทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 99

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบ
ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการ
ทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 101

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบ
ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการ
ทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 103

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบ
ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการ
ทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 105

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบ
ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการ
ทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 107

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 109

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 111

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 113

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 115

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 117

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 119

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 121

ตารางที่ 4.33 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 123

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบ

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 125

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 127

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 129

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 131

ตารางที่ 4.38 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 133

ตารางที่ 4.39 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 135

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ จำแนกตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 137

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2 แสดงจตุภาคที่เป็นบวกสำหรับระนาบ (λ, σ_e^2) 13

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 54

รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 56

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 58

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 60

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 62

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตใน σ_τ^2 แต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 64

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตใน σ_τ^2 แต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 66

รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตใน σ_τ^2 แต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 68

รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตใน σ_τ^2 แต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตใน σ_τ^2 แต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 72

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 74

รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 76

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 78

รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 80

รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 82

รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 84

รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 86

รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 88

รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 90

รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ σ_τ^2 ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 92

รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 100

รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 102

รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 104

รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 106

รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นฐาน ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 108

รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 110

รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a)

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 112

รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 114

รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 116

รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม1 (เฉลี่ยวิธี ML, IQE และ REML) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 118

รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 120

รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 122

รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 124

รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 126

รูปที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณ องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนกลุ่ม2 (เฉลี่ยวิธี ML และ IQE) ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 128

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.1 130

รูปที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 0.5 132

รูปที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 1 134

รูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 4 136

รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย(MSE) ของตัวประมาณองค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธีพื้นฐานกับวิธีการเฉลี่ยค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่เหมาะสม ในมุมองของการนำไปใช้ ตามจำนวนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง(a) และจำนวนค่าสังเกตในแต่ละระดับของปัจจัย(n) เมื่อ k = 9 138