การเปรียบเทียบวิธีการใส่ค่าสูญหาย ในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่ออัตราการสูญหาย
ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต่างกัน สำหรับการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล

นางสาววราพร ลิ่มชูเชื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

COMPARISON OF THE IMPUTATION METHODS IN THE MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL WHEN PERCENTAGES OF MISSING DEPENDENT AND INDEPENDENT VARIABLES ARE DIFFERENT UNDER NONIGNORABLE – MISSINGNESS

Miss Varaporn Limchuchua

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Statistics
Department of Statistics
Faculty of Commerce and Accountancy
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบวิธีการใส่ค่าสูญหาย ในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต่างกัน สำหรับการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล
โดย	นางสาววราพร ลิ่มชูเชื้อ
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดี

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(รองศาสตราจารย์ ดร.พสุ เดชะรินทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดี)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นัท กุลวานิช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ธิดาพร ศุภภากร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วราพร ลิ่มชูเชื้อ : การเปรียบเทียบวิธีการใส่ค่าสูญหาย ในตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต่างกัน สำหรับการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล. (COMPARISON OF THE IMPUTATION METHODS IN THE MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL WHEN PERCENTAGES OF MISSING DEPENDENT AND INDEPENDENT VARIABLES ARE DIFFERENT UNDER NONIGNORABLE – MISSINGNESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดี, 241 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการใส่ค่าสูญหายในตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่มีการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิลสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ เมื่ออัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ การสูญหายของตัวแปรอิสระต่างกัน โดยมีวิธีการใส่ค่าสูญหายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ วิธี EM Algorithm, วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) และวิธี Predictive Mean Matching Imputation(PMM) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้จากการจำลองข้อมูล โดยมีสัดส่วนการสูญหายของข้อมูล 3 ระดับ คือ 10%, 15% และ 20% มีระดับการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และสูง และมีอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 จากการเปรียบเทียบแต่ละวิธีการโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ (Average mean square error: AMSE) พบว่า i)วิธีการใส่ค่าสูญหายทุกวิธีมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตามมีค่ามากกว่าสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ii)วิธี EM Algorithm มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเกิดการการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีค่าความค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำในทุกกรณี iii)ส่วนใหญ่วิธี K-Nearest Neighbor Imputation(KNN) มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนสูง (90) และระดับการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิลปานกลางและสูง iv)วิธี Predictive Mean Matching Imputation(PMM) มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนไม่สูง(10,30) และไม่มีระดับการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล .

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา สถิติ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถิติ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5581600726 : MAJOR STATISTICS
KEYWORDS: NONIGNORABLE - MISSING DEPENDENT AND INDEPENDENT / MULTIPLE LINEAR REGRESSION

VARAPORN LIMCHUCHUA: COMPARISON OF THE IMPUTATION METHODS IN THE MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL WHEN PERCENTAGES OF MISSING DEPENDENT AND INDEPENDENT VARIABLES ARE DIFFERENT UNDER NONIGNORABLE – MISSINGNESS. ADVISOR: ANUPAP SOMBOONSAVATDEE, Ph.D., 241 pp.

The objective of this research is to compare the imputation methods for multiple linear regression model that the dependent and independent variables are under nonignorable-missingness. The imputation methods are EM Algorithm, K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) and Predictive Mean Matching Imputation (PMM). The data are simulated under three levels of missing proportion of data of 10 % , 15% and 20 %, three levels of nonignorable-missingness of none, medium and high, and levels of the ratio of missing proportion of the dependent and independent variables of 1:1, 1:1.5, 1.5:1, 1:2 and 2:1. The comparison of each imputation methods using the size of average mean squared error (AMSE), the findings are the followings: i) all of the imputation methods perform better when the missing proportion of the dependent variable are larger than proportional loss of independent variables, ii) EM Algorithm perform best when the missingness appears on independent variables with low standard deviation, iii) K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) perform best when the standard deviation of the errors are high (90) and the levels of nonignorable-missingness are medium and high, iv) Predictive Mean Matching Imputation (PMM) perform best when the standard deviation the errors are not high (10,30) and the levels of nonignorable-missingness is none

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Statistics Student's Signature .....
Field of Study: Statistics Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ และ ความเอาใจใส่อย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร. อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาและข้อชี้แนะแก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.นัท กุลวานิช และ อาจารย์ ดร. ธิดาพร ศุภภากร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ของ ภาคสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์ และ การบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางสถิติให้กับผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ทุกท่าน ของ ภาคสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์ และ การบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกต่างๆในเรื่องการทำวิจัย และขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่ช่วยส่งเสริม ให้กำลังใจ และ สนับสนุนผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 3

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 4

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ 9

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย 10

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 11

บทที่ 2 12

ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง 12

2.1 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional Probability) 12

2.2 วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบสามัญ (Ordinary Least Squares Method : OLS) 13

2.3 วิธีการประมาณค่าสูญหายแบบ K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) 14

2.4 วิธีการประมาณค่าสูญหายโดยวิธี EM Algorithm 17

2.5 วิธีการประมาณค่าสูญหายแบบ Predictive Mean Matching Imputation (PMM) 20

บทที่ 3 22

วิธีดำเนินการวิจัย 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.1 การจำลองข้อมูล 22
3.2 การประมาณข้อมูลที่สูญหายด้วยวิธีการต่างๆ 23
3.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย 24
3.4 การสร้างสมการพยากรณ์ 24
3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าข้อมูลที่สูญหายต่างๆ 24
บทที่ 4 27
ผลการวิจัย 27
4.1 ส่วนที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง 29
4.2 ส่วนที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก 74
4.3 ส่วนที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง.. 119
4.4 ส่วนที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ 164
บทที่ 5 209
สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ 209
5.1 ผลการเปรียบเทียบจาก ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Average Mean Square Error: AMSE) 210
5.2 สรุปความแตกต่างของแต่ละวิธีการประมาณค่า 210
5.3 การเปรียบเทียบผลการวิจัยในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 218
5.4 ข้อเสนอแนะ 219
รายการอ้างอิง 220
ภาคผนวก 222
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 241

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระทั้ง 5 กรณี..... 7

4.1.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 31

4.1.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 33

4.1.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 35

4.1.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 37

4.1.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 38

4.1.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 39

ตารางที่ หน้า

4.2.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 76

4.2.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 78

4.2.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 80

4.2.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 82

4.2.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 83

4.2.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 84

ตารางที่ หน้า

4.3.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ10..... 121

4.3.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 123

4.3.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 125

4.3.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 127

4.3.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 128

4.3.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 129

ตารางที่ หน้า

4.4.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ10..... 166

4.4.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 168

4.4.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 170

4.4.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 172

4.4.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 173

4.4.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 174

ตารางที่ หน้า

5.1 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10..... 212
5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 30..... 214
5.3 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 90..... 216

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	แผนผังการเขียนโปรแกรม.....	26
4.1.4.1	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10.....	40
4.1.4.2	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10.....	42
4.1.4.3	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10.....	44
4.1.5.1	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30.....	46
4.1.5.2	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30.....	48

ภาพที่ หน้า

4.1.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 50

4.1.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 52

4.1.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 54

4.1.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 56

4.1.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50..... 58

4.1.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100..... 63

4.1.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200..... 68

ภาพที่ หน้า

4.2.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 85

4.2.4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 87

4.2.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 89

4.2.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 91

4.2.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 93

ภาพที่ หน้า

4.2.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 95

4.2.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 97

4.2.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 99

4.2.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 101

4.2.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50..... 103

4.2.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100..... 108

ภาพที่ หน้า

4.2.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200..... 113

4.3.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 130

4.3.4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 132

4.3.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 134

4.3.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 136

ภาพที่ หน้า

4.3.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 138
4.3.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 140
4.3.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 142
4.3.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 144
4.3.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 146

ภาพที่ หน้า

4.3.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50..... 148
4.3.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100..... 153
4.3.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200..... 158
4.4.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 175
4.4.4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 177
4.4.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10..... 179

ภาพที่ หน้า

4.4.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 181
4.4.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 183
4.4.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30..... 185
4.4.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 187
4.4.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 189

ภาพที่ หน้า

4.4.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90..... 191

4.4.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50..... 193

4.4.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100..... 198

4.4.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200..... 203

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบัน การพยากรณ์เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการตัดสินในหรือวางแผนทางธุรกิจในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเงิน ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสังคมศาสตร์ ด้านจิตวิทยา ด้านการตลาด เป็นต้น โดยส่วนใหญ่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม เพื่อการทำวิจัยด้านต่างๆเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาหลักที่พบ คือ ข้อมูลสูญหาย (Missing Data) สืบเนื่องมาจาก การที่ผู้ตอบแบบสอบถามไม่สามารถเข้าใจในคำถามของแบบสอบถาม, หรือ บางคำถามผู้ตอบไม่สามารถ ให้คำตอบได้ หรือ มาจากความผิดพลาดของผู้บันทึกแบบสอบถาม

เทคนิคที่นิยมถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ (Multiple Linear Regression) ซึ่งจะสร้างเป็นตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นที่ประกอบด้วย ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป และ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้น แต่ถ้าหากมีข้อมูลสูญหายทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และเลือกวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่ข้อมูลสมบูรณ์ จะทำให้จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการพยากรณ์มีขนาดลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นและอาจสูญเสียรายละเอียดบางส่วนไปได้ทำให้ผลสรุปที่มีความผิดพลาด ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดนี้ จึงมีการคิดค้นวิธีการต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการประมาณค่าสูญหาย ดังนั้น เราจึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการประมาณค่าสูญหายกรณีที่มีการสูญหายแบบ Nonignorable ซึ่งเป็นการสูญหายที่เกิดขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการสูญหายของตัวแปรนั้น ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น

มีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ แต่ส่วนใหญ่จะศึกษาในกรณีที่ข้อมูลเกิดการสูญหายอย่างสุ่ม ซึ่งมีผลกระทบต่อผลการวิจัยที่ได้น้อยกว่าการสูญหายแบบ Nonignorable อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายแบบ Nonignorable ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเกิดขึ้นเฉพาะในตัวแปรตาม (อุษณีย์ วงศ์อามาตย์ 2555) และ ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเกิดขึ้นในตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม (วริษฐา กณิกนันต์ 2556) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและ

เปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหาย 3 วิธี คือ วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) วิธี EM Algorithm และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้จากการจำลองโดยมีสัดส่วนของการสูญหาย 3 ระดับ คือ 10% 20% และ 30% และมีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable 3 ระดับคือ ไม่มี ปานกลาง และสูง จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Average Mean Square Error : AMSE) ผลสรุปเป็นดังนี้

จากผลการศึกษา ของ อุษณีย์ วงศ์อามาตย์ (2555)

1. วิธีการประมาณทุกวิธีสามารถประมาณได้ดีขึ้นเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น
2. วิธี EM Algorithm ประมาณค่าได้ดีที่สุด เมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่สูง (10-30)
3. วิธี K-Nearest Neighbor Imputation ประมาณค่าได้ดีที่สุด เมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าสูง (90)

จากผลการศึกษา ของ วริษฐา กณิกนันต์ (2556)

1. ส่วนใหญ่วิธีการ K-Nearest Neighbor Imputation จะเป็นวิธีการประมาณที่ดีที่สุด เมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนมีขนาดปานกลางและสูง (30 และ 90)
2. EM Algorithm เป็นวิธีการประมาณค่าที่ดีที่สุด เมื่อสัดส่วนการสูญหายและระดับการสูญหายแบบNonignorableที่สูง โดยเฉพาะเมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนมีขนาดเล็ก(10)

จากผลการศึกษา ของ อุษณีย์ วงศ์อามาตย์ (2555) และ วริษฐา กณิกนันต์ (2556) ทั้ง 3 วิธีข้างต้น จะมีประสิทธิภาพน้อยลง เมื่อสัดส่วนการสูญหายและระดับการสูญหายแบบ Nonignorable และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเพิ่มสูงขึ้น

แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาในกรณี เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาต่อยอดเพื่อเปรียบเทียบวิธีการประมาณสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเมื่อตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบ Nonignorable เมื่ออัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ เป็น 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 เพื่อเป็นการต่อยอด และสร้างแนวทางเพิ่มเติมสำหรับการนำข้อสรุปของวิธีการที่มีประสิทธิภาพไปประยุกต์ใช้ให้ครอบคลุมกับลักษณะของข้อมูลในการทำงานจริงได้ดียิ่งขึ้นและทำให้การเลือกใช้วิธีการประมาณค่าสูญหาย แบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการใส่ค่าสูญหายแบบ Nonignorable ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีเงื่อนไข เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต่างกัน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการใส่ค่าสูญหายแบบ Nonignorable ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN), วิธี EM Algorithm และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต่างกัน

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) มีความสัมพันธ์กันภายใต้การถดถอยเชิงเส้นพหุ (Multiple Linear Regression) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \varepsilon_i$$

โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, n$ และ $m_x , m_y \le n$

เมื่อ Y_i เป็นค่าสังเกตของตัวแปรตามของข้อมูลตัวที่ i

X_{i1} เป็นค่าสังเกตของข้อมูลตัวที่ i ของตัวแปรอิสระตัวที่ 1

X_{i2} เป็นค่าสังเกตของข้อมูลตัวที่ i ของตัวแปรอิสระตัวที่ 2

X_{i3} เป็นค่าสังเกตของข้อมูลตัวที่ i ของตัวแปรอิสระตัวที่ 3

β_p เป็นสัมประสิทธิ์การถดถอยตัวที่ p เมื่อ p = 0,1,2,3

ε_i เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตัวที่ i

n เป็นจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด

m_x , m_y เป็นจำนวนค่าสังเกตที่ทราบค่าของค่าสังเกตของตัวแปรอิสระ และ ตัวแปรตาม ตามลำดับ

1.3.2 ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยที่ $\varepsilon_i \sim N\left(0,\ \sigma_\varepsilon^2\right)$

1.3.3 $\varepsilon_i, \varepsilon_l$ ไม่มีสหสัมพันธ์กัน นั่นคือ $E\left(\varepsilon_i,\ \varepsilon_l\right) = 0$ เมื่อ $i \ne l$

1.3.4 การสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นที่ตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง และตัวแปรตามอย่างมีความสัมพันธ์กัน ตามรูปแบบที่กำหนด โดยจะแบ่งช่วงของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามออกเป็น 3 ช่วง และ กำหนดให้ร้อยละของการสูญหายในแต่ละช่วงแตกต่างกันไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาของงานวิจัยนี้มีคำจำกัดความที่ใช้ดังนี้

<u>ช่วงต้น</u> คือ ช่วงของพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐานที่อยู่ใน $(-\infty, z)$ เมื่อ $z \sim N(0,1)$ ดังนั้น ในช่วงนี้จะมีพื้นที่เป็น $P(-\infty < Z < z)\times 100\%$ ของพื้นที่ทั้งหมด

<u>ช่วงกลาง</u> คือ ช่วงของพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐานที่อยู่ใน (z, z') เมื่อ $z, z' \sim N(0,1)$ และ $z < z'$ ดังนั้น ในช่วงนี้จะมีพื้นที่เป็น $P(z < Z < z')\times 100\%$ ของพื้นที่ทั้งหมด

<u>ช่วงปลาย</u> คือ ช่วงของพื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐานที่อยู่ใน (z', ∞) เมื่อ $z' \sim N(0,1)$ ดังนั้น ในช่วงนี้จะมีพื้นที่เป็น $P(z' < Z < \infty)\times 100\%$ ของพื้นที่ทั้งหมด

วิธีในการแบ่งช่วงของตัวแปรอิสระ เป็น 3 ช่วง คือ

ถ้า $x_{ip} \le \mu_{x_p} + z_{\frac{1}{3}}\sigma_{x_p}$ ตัวแปรอิสระ x_{ip} นี้จะถูกจัดให้อยู่ใน**ช่วงต้น**

$\mu_{x_p} + z_{\frac{1}{3}}\sigma_{x_p} < x_{ip} \le \mu_{x_p} + z_{\frac{2}{3}}\sigma_{x_p}$ ตัวแปรอิสระ x_{ip} นี้จะถูกจัดให้อยู่ใน**ช่วงกลาง**

และ $\mu_{x_p} + z_{\frac{2}{3}}\sigma_{x_p} < x_{ip}$ ตัวแปรอิสระ x_{ip} นี้จะถูกจัดให้อยู่ใน**ช่วงปลาย**

โดยที่ $p = 1,2,3$, $i = 1,2,\ldots,n$ และ $z_{\frac{1}{3}} = -0.43$, $z_{\frac{2}{3}} = 0.43$

ซึ่ง $\sigma_{x_{ip}}$ จะแบ่งตามกรณีที่เราจะศึกษาตามขอบเขตของการวิจัย เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \sigma_{x_3} = \sqrt{300}$
2. $\sigma_{x_1} = \sqrt{100}$, $\sigma_{x_2} = \sqrt{300}$, $\sigma_{x_3} = \sqrt{500}$

<u>ความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วง</u> คือ สัดส่วนของจำนวนตัวอย่างที่สูญหายใน แ ต่ ละช่วง ต่อ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่อยู่ในช่วงนั้น

<u>ร้อยละของการสูญหาย</u> คือ ความน่าจะเป็นของการสูญหาย x 100%

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งมีฟังก์ชันการแจกแจง คือ

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right),\ -\infty<x<\infty$$

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 โดยจะศึกษาการสูญหายของข้อมูลในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนเท่ากัน และ ความแปรปรวนมีขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งจะแบ่งลักษณะการแจกแจงของตัว แปรอิสระออกเป็น 2 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

แบบที่ 1 $X_1 \sim N(0,\ 300)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 300)$

โดยจะศึกษาการสูญหายในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนเท่ากัน

แบบที่ 2 $X_1 \sim N(0,\ 100)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 500)$

โดยจะศึกษาการสูญหายในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนขนาดเล็ก $(\sigma^2_{X_1}=100)$ ปานกลาง $(\sigma^2_{X_2}=300)$ และใหญ่ $(\sigma^2_{X_3}=500)$

โดยจะกำหนดให้ตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัว ไม่มีความสัมพันธ์กัน นั่นคือ มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0

1.5.2 ตัวแปรตาม(Y) และ ตัวแปรอิสระ(X) มีความสัมพันธ์กันภายใต้การถดถอยเชิงเส้นพหุ

$$Y_i=\beta_0+\beta_1X_{i1}+\beta_2X_{i2}+\beta_3X_{i3}+\varepsilon_i \quad ;i=1, 2, \ldots, n$$

เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบชุดข้อมูลของตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อควบคุมความแปรปรวนของตัวแปรตามให้มีขนาดเท่ากัน จึงกำหนดให้ $\beta_0=39,\ \beta_1=\beta_2=\beta_3=1$

1.5.3 ค่าความคลาดเคลื่อน $\varepsilon_i \sim N(0,\ \sigma^2_\varepsilon)$ สำหรับทุกค่า i โดยจะกำหนดให้ $\sigma_\varepsilon=10, 30, 90$

1.5.4 ขนาดตัวอย่าง (n) มี 3 ขนาด คือ 50,100 และ 200

1.5.5 การสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นที่ตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น โดยจะทำการแบ่งตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม ออกเป็น 3 ช่วงด้วยอัตราส่วนเท่าๆ กันและให้แต่ละช่วงมีสัดส่วนของการสูญหายแตกต่างกัน โดยสร้างตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี่ ด้วยความน่าจะเป็น 0.1, 0.15 และ 0.2 เพื่อให้เป็นการสูญหายของตัวแปรตามโดยเฉลี่ย ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายตามลำดับ แล้วจะจับคู่กับข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ตามอัตราส่วน การสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ

1.5.6 กำหนดให้พื้นที่ใต้เส้นโค้งของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ด้วยอัตราส่วน 1:1:1 โดยจะเรียกว่า ช่วงต้น: ช่วงกลาง: ช่วงปลาย ตามลำดับ

1.5.7 กำหนดให้การสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ และเป็นการสูญหายแบบ Nonignorable และกำหนดให้สัดส่วนของการสูญหายของข้อมูลแตกต่างกันตามระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable โดยจะกำหนดให้ช่วงของตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระที่มีค่ามาก จะมีสัดส่วนของการสูญหายมากกว่าช่วงของตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระที่มีค่าน้อย โดยที่ระดับการสูญหายแบบ Nonignorable จะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ไม่มี ปานกลาง และสูง ซึ่งจะมีอัตราส่วนของการสูญหายดังต่อไปนี้

ไม่มี	1: 1: 1
ปานกลาง	8: 10: 12
สูง	6: 10: 14

1.5.8 กำหนดให้ การสูญหายข้อมูลเกิดขึ้นทั้งในตัวแปรตามและตัวแปรอิสระอย่างมีความสัมพันธ์กัน ภายใต้ทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข

$$P\left(I_y=1|I_x=1\right)=\frac{P\left(I_y=1\right),\quad P\left(I_x=1\right)}{P\left(I_x=1\right)}$$

$$P\left(I_y=1|I_x=0\right)=\frac{P\left(I_y=1\right),\quad P\left(I_x=0\right)}{P\left(I_x=0\right)}$$

กำหนดให้

$I_x=1$ แทน เหตุการณ์ที่ตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย

$I_x=0$ แทน เหตุการณ์ที่ตัวแปรอิสระไม่เกิดการสูญหาย

$I_y=1$ แทน เหตุการณ์ที่ตัวแปรตามเกิดการสูญหาย

$P\left(I_x=1\right)$ คือ ความน่าจะเป็นของการสูญหายของตัวแปรอิสระแบบ Nonignorable ที่ระดับต่างๆ

$P\left(I_y=1\right)$ คือ ความน่าจะเป็นของการสูญหายของตัวแปรตามแบบ Nonignorable ที่ระดับต่างๆ

γ คือ P (เหตุการณ์ที่ตัวแปรตามเกิดการสูญหาย|เหตุการณ์ที่ตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย) ต่อ P (เหตุการณ์ที่ตัวแปรตามเกิดการสูญหาย|เหตุการณ์ที่ตัวแปรอิสระไม่เกิดการสูญหาย) โดยใช้วัดความสัมพันธ์เชิงบวกของการสูญหายระหว่าง y และ x สามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ ได้ดังนี้

$$\gamma=\frac{P\left(I_y=1|I_x=1\right)}{P\left(I_y=1|I_x=0\right)}=1,\ 2,\ 4$$

โดยที่ $\gamma=1$ หมายถึง $P(I_y=1|I_x=1)$ ไม่มีความสัมพันธ์กับ $P(I_y=1|I_x=0)$

$\gamma=2$ หมายถึง $P(I_y=1|I_x=1)$ มีความสัมพันธ์กับ $P(I_y=1|I_x=0)$ ในระดับปานกลาง

$\gamma=4$ หมายถึง $P(I_y=1|I_x=1)$ มีความสัมพันธ์กับ $P(I_y=1|I_x=0)$ ในระดับสูง

1.5.9 อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ เป็น 5 กรณี คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ และ กำหนดให้ความน่าจะเป็นของ การสูญหายของตัวแปรตามโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.1, 0.15 และ 0.2 โดยให้แต่ละ ช่วงมีการสูญหายดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระทั้ง 5 กรณี

อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ	ระดับการสูญหายแบบ Nonignorable	ความน่าจะเป็นของการสูญหายโดยเฉลี่ยของ Y	ความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วงของ Y			ความน่าจะเป็นของการสูญหายโดยเฉลี่ยของ X	ความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วงของ X		
			ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย		ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย
1:1	ไม่มี	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	ปานกลาง		0.080	0.100	0.120		0.080	0.100	0.120
	สูง		0.060	0.100	0.140		0.060	0.100	0.140
	ไม่มี	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
	ปานกลาง		0.120	0.150	0.180		0.120	0.150	0.180
	สูง		0.090	0.150	0.210		0.090	0.150	0.210
	ไม่มี	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
	ปานกลาง		0.160	0.200	0.240		0.160	0.200	0.240
	สูง		0.120	0.200	0.280		0.120	0.200	0.280
1:1.5	ไม่มี	0.100	0.100	0.100	0.100	0.150	0.150	0.150	0.150
	ปานกลาง		0.080	0.100	0.120		0.120	0.150	0.180
	สูง		0.060	0.100	0.140		0.090	0.150	0.210
	ไม่มี	0.150	0.150	0.150	0.150	0.225	0.225	0.225	0.225
	ปานกลาง		0.120	0.150	0.180		0.180	0.225	0.270
	สูง		0.090	0.150	0.210		0.135	0.225	0.315

ตารางที่ 1.1(ต่อ) แสดงอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระทั้ง 5 กรณี

อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ	ระดับการสูญหายแบบ Nonignorable	ความน่าจะเป็นของการสูญหายโดยเฉลี่ยของ Y	ความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วงของ Y			ความน่าจะเป็นของการสูญหายโดยเฉลี่ยของ X	ความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วงของ X		
			ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย		ช่วงต้น	ช่วงกลาง	ช่วงปลาย
1:1.5	ไม่มี	0.200	0.200	0.200	0.200	0.300	0.300	0.300	0.300
	ปานกลาง		0.160	0.200	0.240		0.240	0.300	0.360
	สูง		0.120	0.200	0.280		0.180	0.300	0.420
1:2	ไม่มี	0.100	0.100	0.100	0.100	0.200	0.200	0.200	0.200
	ปานกลาง		0.080	0.100	0.120		0.160	0.200	0.240
	สูง		0.060	0.100	0.140		0.120	0.200	0.280
	ไม่มี	0.150	0.150	0.150	0.150	0.300	0.300	0.300	0.300
	ปานกลาง		0.120	0.150	0.180		0.240	0.300	0.360
	สูง		0.090	0.150	0.210		0.180	0.300	0.420
	ไม่มี	0.200	0.200	0.200	0.200	0.400	0.400	0.400	0.400
	ปานกลาง		0.160	0.200	0.240		0.320	0.400	0.480
	สูง		0.120	0.200	0.280		0.240	0.400	0.560
1.5:1	ไม่มี	0.100	0.100	0.100	0.100	0.067	0.067	0.067	0.067
	ปานกลาง		0.080	0.100	0.120		0.053	0.067	0.080
	สูง		0.060	0.100	0.140		0.040	0.067	0.093
	ไม่มี	0.150	0.150	0.150	0.150	0.100	0.100	0.100	0.100
	ปานกลาง		0.120	0.150	0.180		0.080	0.100	0.120
	สูง		0.090	0.150	0.210		0.060	0.100	0.140
	ไม่มี	0.200	0.200	0.200	0.200	0.133	0.133	0.133	0.133
	ปานกลาง		0.160	0.200	0.240		0.107	0.133	0.160
	สูง		0.120	0.200	0.280		0.080	0.133	0.187
2:1	ไม่มี	0.100	0.100	0.100	0.100	0.050	0.050	0.050	0.050
	ปานกลาง		0.080	0.100	0.120		0.040	0.050	0.060
	สูง		0.060	0.100	0.140		0.030	0.050	0.070
	ไม่มี	0.150	0.150	0.150	0.150	0.075	0.075	0.075	0.075
	ปานกลาง		0.120	0.150	0.180		0.060	0.075	0.090
	สูง		0.090	0.150	0.210		0.045	0.075	0.105
	ไม่มี	0.200	0.200	0.200	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100
	ปานกลาง		0.160	0.200	0.240		0.080	0.100	0.120
	สูง		0.120	0.200	0.280		0.060	0.100	0.140

1.5.10 ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ที่แตกต่างกันตามที่กำหนดไว้ข้างต้นโดยใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) ทำการจำลองในแต่ละสถานการณ์เป็นจำนวน 5,000 รอบ

1.6 เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าวิธีการประมาณค่าสูญหายวิธีใดที่ดีที่สุด คือ การให้ค่าประมาณใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดนั้น จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ (Average mean square error: AMSE) วิธีการที่ให้ค่า AMSE ต่ำสุดจะเป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายที่ดีที่สุด สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$MSE_q = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{y}_{qi} - y_i^{'}\right)^2}{n}$$

$$AMSE = \frac{1}{5,000}\sum_{q=1}^{5,000} MSE_q$$

และจะใช้ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Relative Efficiency : RE) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง AMSE จากวิธีการ EM กับวิธีการประมาณค่าสูญหายแบบอื่นๆ มาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$RE = \frac{AMSE_{EM}}{AMSE_{*}} \quad ;* = KNN, PMM$$

เมื่อ $y_i^{'}$ แทน ค่าจริงของข้อมูลตัวแปรตามตัวที่ i

$\hat{y}_{qi}$ แทน ค่าพยากรณ์ของข้อมูลตัวแปรตามตัวที่ i จากการทำซ้ำรอบที่ q

MSE_q แทน ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการทำซ้ำรอบที่ q

$AMSE$ แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการทำซ้ำทั้งหมด 5,000 รอบ

RE แทน ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์

$AMSE_{EM}$ แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการประมาณค่าสูญหายด้วยวิธีการ EM

$AMSE_{*}$ แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการประมาณค่าสูญหายด้วยวิธีการ * เมื่อ $* = KNN, PMM$

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1.7.1 สร้างข้อมูลความคลาดเคลื่อน (ε) โดยที่ $\varepsilon_i \sim N(0,\ \sigma_\varepsilon^2)$ และ กำหนดให้ $\sigma_\varepsilon = 10,\ 30,\ 90$

1.7.2 สร้างข้อมูลตัวแปรอิสระ $(X_1,\ X_2,\ X_3)$ ที่มีการแจกแจงตามที่กำหนดไว้ และสร้างข้อมูลตัวแปรตามที่มาจากรูปแบบความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้นพหุ $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \varepsilon_i$ และกำหนดให้ $\beta_0 = 39,\ \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$

1.7.3 ทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลตัวแปรอิสระในแต่ละสถานการณ์ต่างๆ โดยจะทำการแบ่งตัวแปรอิสระออกเป็น 3 ช่วงด้วยสัดส่วนเท่าๆ กัน และให้แต่ละช่วงมีสัดส่วนของการสูญหายแตกต่างกัน โดยสร้างตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี่จำนวน 3 ช่วง ซึ่งมีขนาดเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระที่อยู่ในแต่ช่วงโดยจะมีความน่าจะเป็นแตกต่างตามที่กำหนดข้างต้น แล้วจะจับคู่กับข้อมูลตัวแปรอิสระในแต่ละช่วง

1.7.4 ถ้าตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย $(I_x = 1)$ แล้วจะทำให้เกิดการสูญหายของตัว แปรตามด้วยความน่าจะเป็น $P(I_y = 1 | I_x = 1)$ และ ถ้าตัวแปรอิสระไม่เกิดการสูญหาย $(I_x = 0)$ แล้วจะทำให้เกิดการสูญหายของตัวแปรตามด้วยความน่าจะเป็น $P(I_y = 1 | I_x = 0)$ โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วงจะแตกต่างกันไปตามที่กำหนด

1.7.5 ประมาณค่าของข้อมูลสูญหายในตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วย วิธี EM Algorithm, วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM)

1.7.6 ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงเส้นพหุด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบสามัญ (Ordinary Least Squares Method: OLS)

1.7.7 สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นพหุจากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อใช้ในการพยากรณ์ และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (AMSE) และค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (RE) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี

1.7.8 สรุปผลการวิจัยที่ได้ในแต่ละสถานการณ์ต่างๆ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกวิธีการใส่ค่าสูญหายแบบ Nonignorable ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์กันในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระต่างกัน

1.8.2 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม และเปรียบเทียบวิธีใส่ค่าสูญหายในสถานการณ์ต่างๆ หรือ รูปแบบความสัมพันธ์อื่นๆ ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาที่เกิดจากการมีข้อมูลสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และเลือกวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่ข้อมูลสมบูรณ์ จะทำให้จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการพยากรณ์มีขนาดลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นและอาจสูญเสียรายละเอียดบางส่วนไปได้ทำให้ผลสรุปที่มีความผิดพลาด ในกรณีที่การสูญหายเป็นแบบ Nonignorable ซึ่งเป็นการสูญหายที่เกิดขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการสูญหายของตัวแปรนั้น ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น จึงต้องมีวิธีการใส่ค่าสูญหายก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์การถดถอย ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional Probability)

เหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์หนึ่งจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับว่าเหตุการณ์อีกเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นหรือไม่ โดยกำหนดให้เหตุการณ์ A และ B จะใช้สัญลักษณ์ $P(A|B)$ หมายความว่า ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ A เมื่อ B เกิดขึ้น สามารถคำนวณหาได้จาก

$$P(A|B)=\frac{P(A\cap B)}{P(B)} \qquad \text{โดยที่} \quad P(B)\neq 0$$

แต่ถ้าเหตุการณ์ A และ B เกิดขึ้นพร้อมกันแล้วจะใช้ทฤษฎีการคูณ หาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ดังกล่าว จะได้ว่า $P(A\cap B)=P(B)\times P(A|B)$

ในทำนองเดียวกันถ้าหากมีเหตุการณ์ $A_1, A_2, ..., A_n$ เกิดขึ้นพร้อมกัน จะได้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ดังกล่าว คือ

$$P(A_1\cap A_2\cap ...\cap A_n)=P(A_1)\times P(A_2|A_1)\times P(A_3|A_1,A_2)\times ...\times P(A_n|A_1,A_2,...,A_{n-1})$$

ดังนั้น เราต้องการหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์หนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับอีก 2 เหตุการณ์ จะได้ว่า ความน่าจะเป็นแบบมาร์จินัล (Marginal Probability) คือ

$$P(A) = P(A \cap B_1)+P(A \cap B_2) = P(A|B_1)P(B_1)+P(A|B_2)P(B_2)$$

2.2 วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบสามัญ (Ordinary Least Squares Method : OLS)

วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการหาสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแบบความถดถอยเชิงเส้น คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบสามัญ (OLS) โดยจะหาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) มีค่าน้อยที่สุด

สมการถดถอยเชิงพหุที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (y) และตัวแปรอิสระ (x) คือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \ldots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i \quad ;i = 1, 2, \ldots, n$$

ซึ่งเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ ดังนี้

$$\tilde{y} = X\tilde{\beta} + \tilde{\varepsilon}$$

เมื่อ

$$\tilde{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}, \tilde{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}, \tilde{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum Square of Error : SSE) มีค่าน้อยที่สุด มีวิธีการดังต่อไปนี้

กำหนดให้ $\tilde{b}$ เป็นตัวประมาณของ $\tilde{\beta}$

จาก

$$\begin{aligned} SSE &= \varepsilon' \varepsilon \\ &= (y - X\tilde{b})'(y - X\tilde{b}) \\ &= y'y - y'X\tilde{b} - \tilde{b}'X'y + \tilde{b}'X'X\tilde{b} \\ &= y'y - 2\tilde{b}'X'y + \tilde{b}'X'X\tilde{b} \end{aligned}$$

หาอนุพันธ์ (Differentiate) เทียบกับ $\tilde{b}$ แล้ว กำหนดให้เท่ากับ $\tilde{0}$

$$\frac{\partial}{\partial \tilde{b}}(y'y - 2\tilde{b}'X'y + \tilde{b}'X'X\tilde{b}) = \tilde{0}$$

$$-2X'y + \tilde{b}'X'X\tilde{b} = \tilde{0}$$

$$(X'X)\tilde{b} = X'y \qquad \text{โดยที่} \quad (X'X) \neq 0$$

นั่นคือ $$\tilde{b} = (X'X)^{-1}X'y$$

2.3 วิธีการประมาณค่าสูญหายแบบ K-Nearest Neighbor Imputation (KNN)

วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) เป็นวิธีประมาณค่าที่สูญหายที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ จัดอยู่ใน Hot Deck Method ซึ่งวิธีการนี้ค่อนข้างที่จะมีประสิทธิภาพมากกว่า Hot Deck Method วิธีอื่นๆ โดยวิธี KNN จะประมาณค่าโดยใช้ค่าที่ใกล้ที่สุด โดยพิจารณาเลือกหน่วยตัวอย่าง K ชุด จากข้อมูล (x_i, y_i) ที่ทราบค่าที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับหน่วยตัวอย่างที่เกิดค่าสูญหายมากที่สุด โดยทั่วไปแล้วเพื่อความสะดวกในการใช้งานก็มักจะกำหนดให้ $K=1$ (วิธี Nearest Neighbor Imputation:NNI) แต่เราควรจะกำหนดให้ $K \approx \sqrt{m}$ โดย Duda และ Hart เสนอ อ้างถึง (Jonsson and Wohlin 2006) โดยที่ K จะเป็นจำนวนคี่ที่มีค่าใกล้เคียงกับ $\sqrt{m}$ มากที่สุด เมื่อ m เป็นจำนวนข้อมูลที่สมบูรณ์ จากนั้นแทนค่าข้อมูลสูญหายด้วยค่าเฉลี่ยของหน่วยตัวอย่างที่คล้ายกัน

อุษณีย์ วงศ์อามาตย์ (2555) และ วริษฐา กณิกนันต์ (2556) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิลแล้วทำให้ทราบว่า วิธี KNN มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการประมาณค่าสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล

เนื่องจากการสูญหายปรากฏขึ้นทั้งในตัวแปรอิสระ $(x_{ip}; p = 1, 2, 3)$ และ ตัวแปรตาม (y) ดังนั้น ในการประมาณค่าสูญหายในแต่ละวิธี จึงต้องแยกการประมาณออกเป็น 3 กรณี ซึ่งได้แก่

<u>กรณีที่ 1</u> ถ้าตัวแปรอิสระ $(x_{ip}; p = 1, 2, 3)$ ทุกตัวทราบค่า แต่ตัวแปรตาม (y) เกิดการสูญหาย

<u>กรณีที่ 2</u> ถ้าตัวแปรอิสระ $\left(\mathrm{x}_{\mathrm{ip}}; p=1, 2, 3\right)$ ตัวใดตัวหนึ่งเกิดการสูญหาย แต่ตัวแปรตาม (y) ทราบค่า

<u>กรณีที่ 3</u> ถ้าตัวแปรอิสระ $\left(\mathrm{x}_{\mathrm{ip}}; p=1, 2, 3\right)$ ตัวใดตัวหนึ่งเกิดการสูญหาย และตัวแปรตาม (y) เกิดการสูญหาย

ซึ่งแต่ละกรณี จะหาความคล้ายระหว่างหน่วยตัวอย่างในชุดข้อมูลที่สมบูรณ์เสมอ เช่น กรณีที่ 1 ถ้าตัวแปรอิสระ ทุกตัวทราบค่า แต่ตัวแปรตาม (y) เกิดการสูญหาย เราจะพิจารณาจากระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) ในการประมาณค่าสูญหายของตัวแปรตาม จากระยะห่างของตัวแปรอิสระในชุดข้อมูลที่สมบูรณ์เท่านั้น

ตัวอย่างชุดของข้อมูล เช่น

$y_1 = x_{11} + x_{12} + x_{13}$ ..... ชุดข้อมูลที่ 1

$\otimes = x_{21} + x_{22} + x_{23}$ ..... ชุดข้อมูลที่ 2 อยู่ใน<u>กรณีที่ 1</u>

$y_3 = x_{31} + x_{32} + x_{33}$ ..... ชุดข้อมูลที่ 3

$y_4 = \otimes + x_{42} + x_{43}$ ..... ชุดข้อมูลที่ 4 อยู่ใน<u>กรณีที่ 2</u>

$\otimes = \otimes + x_{52} + x_{53}$ ..... ชุดข้อมูลที่ 5 อยู่ใน<u>กรณีที่ 3</u>

$y_6 = x_{61} + x_{62} + x_{63}$ ..... ชุดข้อมูลที่ 6

หมายเหตุ $\otimes$ แทนข้อมูลที่สูญหาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากชุดข้อมูลที่ 2 (กรณีที่ 1) ตัวแปรตามเกิดการสูญหาย แต่ตัวแปรอิสระทุกตัวทราบค่า ในการพิจารณาหาความคล้ายระหว่างหน่วยตัวอย่าง จะพิจารณาจากระยะทางยุคลิด (Euclidean Distance) ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\mathrm{D}_{\mathrm{ij}} = \sqrt{\sum_{p=1}^{3}\left(\mathrm{x}_{\mathrm{ip}} - \mathrm{x}_{\mathrm{jp}}\right)^2} \quad ; i = 1, 2, \ldots, m \quad \text{และ } j = m+1, \ldots, n$$

กำหนดให้ y_j^* แทนค่าประมาณของข้อมูลตัวแปรตามที่สูญหายด้วยวิธี KNN โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่า D_{ij} สำหรับตัวแปรอิสระทุกคู่ที่เป็นไปได้ (จากตัวอย่างของข้อมูลชุดที่ 1,3 และ 6) แล้วนับค่า D_{ij} ที่มีค่าต่ำสุดจำนวน K ตัว สำหรับแต่ละชุดตัวอย่างตัวที่ j
2. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่สอดคล้องกับค่า D_{ij} ที่ต่ำสุด K ตัวของชุดตัวอย่างตัวที่ j โดยกำหนดให้เป็น $\bar{y}_j^*$
3. จะได้ว่า $y_j^* = \bar{y}_j^*$

จากชุดข้อมูลที่ 4 (กรณีที่ 2) ตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง $\left(x_{ip}; p = 1, 2, 3\right)$ เกิดการสูญหาย แต่ตัวแปรตาม (y) ทราบค่า จะทำการประมาณค่าสูญหายจากชุดข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^{3}\left(x_{ip} - x_{jp}\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2} \qquad ;i = 1,2,\ldots,m \text{ และ } j = m+1,\ldots,n$$

กำหนดให้ $x_{ip}^*; p = 1, 2, 3$ แทน ค่าประมาณของข้อมูลตัวแปรอิสระที่สูญหายด้วยวิธี KNN โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่า D_{ij} สำหรับตัวแปรอิสระและตัวแปรตามทุกคู่ที่เป็นไปได้ แล้วนับค่า D_{ij} ที่มีค่าต่ำสุดจำนวน K ตัว สำหรับแต่ละชุดตัวอย่างตัวที่ j
2. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ ที่ที่สอดคล้องค่า D_{ij} ที่ต่ำสุด K ตัวของชุดตัวอย่างตัวที่ j โดยกำหนดให้เป็น $\bar{x}_{ip}^*$
3. จะได้ว่า $x_{ip}^* = \bar{x}_{ip}^*$

จากชุดข้อมูลที่ 5 (กรณีที่ 3) ทั้งตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง $\left(x_{ip}; p = 1, 2, 3\right)$ และตัวแปรตาม (y) เกิดการสูญหาย จะทำการประมาณค่าสูญหายจากชุดข้อมูลที่มีความสมบูรณ์เช่นเดียวกัน ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^{3}\left(x_{ip} - x_{jp}\right)^2} \qquad ;i = 1,2,\ldots,m \text{ และ } j = m+1,\ldots,n$$

กำหนดให้ $x_{ip}^*; p = 1, 2, 3$ แทนค่าประมาณของข้อมูลตัวแปรอิสระและ y_j^* แทนค่าประมาณของข้อมูลตัวแปรตามที่สูญหายด้วยวิธี KNN โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่า D_{ij} สำหรับตัวแปรอิสระทุกคู่ที่เป็นไปได้ แล้วนับจำนวน D_{ij} ที่มี ค่าต่ำสุดจำนวน K ตัว สำหรับแต่ละชุดตัวอย่างตัวที่ j

2. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่สอดคล้องกับค่า D_{ij} ที่ต่ำสุด K ตัว ของชุดตัวอย่างตัวที่ j โดยกำหนดให้เป็น $\bar{x}^*_{ip}; p = 1, 2, 3$ และ $\bar{y}^*_j$
3. จะได้ว่า $x^*_{ip} = \bar{x}^*_{ip}$ และ $y^*_j = \bar{y}^*_j$

2.4 วิธีการประมาณค่าสูญหายโดยวิธี EM Algorithm

วิธี EM Algorithm (Expectation Maximization) (Dempster, Laird et al. 1977)จะหาค่าประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์ โดยกระบวนการวนซ้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 E-Step (Expectation Step) เป็นขั้นตอนที่หาค่าคาดหวังของค่าที่สูญหายไปภายใต้เงื่อนไขชุดข้อมูลที่ไม่สูญหายและพารามิเตอร์ตัวปัจจุบัน ค่าที่ได้นี้จะนำไปประมาณค่าที่สูญหาย

ขั้นตอนที่ 2 M-Step (Maximization Step) เป็นขั้นตอนที่ประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์ ด้วยการแทนค่าสูญหายที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ทำจนกระทั่งได้ตัวพารามิเตอร์ที่คงที่ นั่นคือ ตัวประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

(Little and Rubin 1987) ได้ประยุกต์วิธีการของ EM มาใช้ในการประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สมมติว่ามีข้อมูลดังนี้

$$\begin{bmatrix} \tilde{y}_{obs} \\ \tilde{y}_{mis} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{obs} \\ X_{mis} \end{bmatrix} \tilde{\beta} + \tilde{\varepsilon}$$

เมื่อ $\tilde{y}_{obs}$ แทน เวกเตอร์ของตัวแปรตามที่ทราบค่าขนาด m x 1

$\tilde{y}_{mis}$ แทน เวกเตอร์ของตัวแปรตามที่มีการสูญหายขนาด (n - m) x1

X_{obs} แทน เมทริกซ์ของตัวแปรอิสระที่ชุดข้อมูลของตัวแปรตามที่ทราบค่า ขนาด m x (p+1)

X_{mis} แทน เมทริกซ์ของตัวแปรอิสระที่ชุดข้อมูลของตัวแปรตามที่มีการสูญหาย ขนาด (n-m) x (p+1)

$\tilde{\beta}$ แทน เวกเตอร์ของพารามิเตอร์

2. ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยค่าเริ่มต้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) จากชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ โดยจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ 0

$$\tilde{\tilde{\beta}}^{(0)} = \left(X_{obs}{}' X_{obs} \right)^{-1} X_{obs}{}' \tilde{y}_{obs}$$

3. จาก $\tilde{\tilde{\beta}}^{(0)}$ ที่ได้ จะทำให้เราสามารถหาค่าประมาณสูญหายได้จากการหาค่าคาดหวัง ซึ่งขั้นตอนนี้คือ E-Step เราจะหาค่าคาดหวังรอบที่ 1 ตามกรณีต่อไปนี้

<u>กรณีที่ 1</u> ตัวแปรอิสระทุกตัวทราบค่า แต่ตัวแปรตาม (y) เกิดการสูญหาย

$$E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{\mathrm{y}}_{obs}, \mathrm{x}_{i1}, \mathrm{x}_{i2}, \mathrm{x}_{i3}, \tilde{\tilde{\beta}}^{(0)}) = \begin{cases} \mathrm{y}_i & ; i = 1, 2, ..., m \\ \tilde{\tilde{\beta}}_0^{(0)} + \tilde{\tilde{\beta}}_1^{(0)} \boldsymbol{X}_{i1} + \tilde{\tilde{\beta}}_2^{(0)} \boldsymbol{X}_{i2} + \tilde{\tilde{\beta}}_3^{(0)} \boldsymbol{X}_{i3} & ; i = m+1, ..., \mathrm{n} \end{cases}$$

ดังนั้นจะได้ $\mathrm{y}_i^{(1)} = E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{y}_{obs}, \mathrm{X}_{obs} \tilde{\tilde{\beta}}^{(0)})$

<u>กรณีที่ 2</u> ตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง $\left(x_{ip}; p = 1, 2, 3 \right)$ เกิดการสูญหาย แต่ตัวแปรตาม (y) ทราบค่า

$$E(x_{ip}) = \bar{x}_{ip}$$

ดังนั้นจะได้ $x_{ip}^{(1)} = E(x_{ip}) = \bar{x}_{ip}$

<u>กรณีที่ 3</u> ตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง $\left(x_{ip}; p = 1, 2, 3 \right)$ เกิดการสูญหาย และตัวแปรตาม (y) เกิดการสูญหาย สามารถจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีย่อย ตามลักษณะของการสูญหายที่ตัวแปรอิสระ

- ตัวแปรอิสระ X_{i1} เกิดการสูญหาย

$$E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{\mathrm{y}}_{obs}, \bar{\mathrm{x}}_{i1}, \mathrm{x}_{i2}, \mathrm{x}_{i3}, \tilde{\tilde{\beta}}^{(0)}) = \begin{cases} \mathrm{y}_i & ; i = 1, 2, ..., m \\ \tilde{\tilde{\beta}}_0^{(0)} + \tilde{\tilde{\beta}}_1^{(0)} \bar{\boldsymbol{X}}_{i1} + \tilde{\tilde{\beta}}_2^{(0)} \boldsymbol{X}_{i2} + \tilde{\tilde{\beta}}_3^{(0)} \boldsymbol{X}_{i3} & ; i = m+1, ..., \mathrm{n} \end{cases}$$

จะได้ $\mathrm{y}_i^{(1)} = E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{y}_{obs}, \bar{\mathrm{x}}_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \tilde{\tilde{\beta}}^{(0)})$ และ $x_{i1}^{(1)} = \bar{x}_{i1}$

- ตัวแปรอิสระ X_{i2} เกิดการสูญหาย

$$E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{\mathrm{y}}_{obs}, \mathrm{x}_{i1}, \bar{\mathrm{x}}_{i2}, \mathrm{x}_{i3}, \tilde{\tilde{\beta}}^{(0)}) = \begin{cases} \mathrm{y}_i & ; i = 1, 2, ..., m \\ \tilde{\tilde{\beta}}_0^{(0)} + \tilde{\tilde{\beta}}_1^{(0)} \boldsymbol{X}_{i1} + \tilde{\tilde{\beta}}_2^{(0)} \bar{\boldsymbol{X}}_{i2} + \tilde{\tilde{\beta}}_3^{(0)} \boldsymbol{X}_{i3} & ; i = m+1, ..., \mathrm{n} \end{cases}$$

จะได้ $\mathrm{y}_i^{(1)} = E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{y}_{obs}, \mathrm{x}_{i1}, \bar{x}_{i2}, x_{i3}, \tilde{\hat{\beta}}^{(0)})$ และ $x_{i2}^{(1)} = \bar{x}_{i2}$

- ตัวแปรอิสระ x_{i3} เกิดการสูญหาย

$$E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{\mathrm{y}}_{obs}, \mathrm{x}_{i1}, \mathrm{x}_{i2}, \bar{\mathrm{x}}_{i3}, \tilde{\hat{\beta}}^{(0)}) = \begin{cases} \mathrm{y}_i & ; i = 1, 2, ..., m \\ \tilde{\hat{\beta}}_0^{(0)} + \tilde{\hat{\beta}}_1^{(0)} x_{i1} + \tilde{\hat{\beta}}_2^{(0)} x_{i2} + \tilde{\hat{\beta}}_3^{(0)} \bar{x}_{i3} & ; i = m+1, ..., \mathrm{n} \end{cases}$$

จะได้ $\mathrm{y}_i^{(1)} = E(\mathrm{y}_i \mid \tilde{y}_{obs}, \mathrm{x}_{i1}, x_{i2}, \bar{x}_{i3}, \tilde{\hat{\beta}}^{(0)})$ และ $x_{i3}^{(1)} = \bar{x}_{i3}$

4. เมื่อหาค่าคาดหวังสำหรับทุกกรณีได้แล้ว จะประมาณค่าของพารามิเตอร์ ด้วยการแทนค่าสูญหายที่ได้จาก E-Step จะเข้าสู่ขั้นตอน M-Step ในการทำซ้ำรอบที่ 1
$$\tilde{\hat{\beta}}^{(1)} = \left(X^{'} X \right)^{-1} X^{'} \tilde{y}$$
5. หาค่าสัมบูรณ์ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ 0 กับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ 1 ของค่าสัมประสิทธิ์ทุกๆค่า $\left(\left| \tilde{\hat{\beta}}^{(0)} - \tilde{\hat{\beta}}^{(1)} \right| \right)$
6. ถ้าหาก $\left| \tilde{\hat{\beta}}^{(0)} - \tilde{\hat{\beta}}^{(1)} \right| < 0.001$ จะได้ค่าประมาณของข้อมูลที่สูญหายรอบที่ 1

   แต่ถ้า $\left| \tilde{\hat{\beta}}^{(0)} - \tilde{\hat{\beta}}^{(1)} \right| > 0.001$ แสดงว่าตัวประมาณที่ได้ยังไม่เหมาะสมเพียงพอ จึงต้องทำการประมาณรอบใหม่โดยการวนซ้ำใหม่ ในขั้นตอนต่อไป
7. เข้าสู่ขั้นตอน E-Step ในการหาค่าคาดหวังรอบที่ t ; t =2,3,... ทำการหาค่าคาดหวังในแต่ละกรณีในลักษณะเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 แต่จะใช้สัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ 1 ที่เราประมาณได้จากขั้นตอนที่ 4
8. เมื่อหาค่าคาดหวังได้จากขั้นตอนที่ 7 แล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอน M-Step รอบที่ t ; t =2,3,...
$$\tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t})} = \left(X^{'} X \right)^{-1} X^{'} \tilde{y}$$
9. หาค่าสัมบูรณ์ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ t-1 กับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรอบที่ t ของค่าสัมประสิทธิ์ทุกๆค่า $\left(\left| \tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t}-1)} - \tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t})} \right| \right)$
10. ถ้าหาก $\left| \tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t}-1)} - \tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t})} \right| < 0.001$ จะได้ค่าประมาณของข้อมูลที่สูญหายรอบที่ t ; t =2,3,...

    แต่ถ้า $\left| \tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t}-1)} - \tilde{\hat{\beta}}^{(\mathrm{t})} \right| > 0.001$ จะต้องทำการประมาณรอบใหม่ โดยทำตามขั้นตอนที่ 7-9 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าสัมบูรณ์ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยน้อยกว่า 0.001 จึงจะได้ค่าประมาณของข้อมูลสูญหายที่แท้จริง

11. นำค่าสูญหายที่ประมาณได้แทนค่าสูญหายที่หายไป และ ทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) จะได้สมการถดถอยใหม่มาใช้ในการพยากรณ์

2.5 วิธีการประมาณค่าสูญหายแบบ Predictive Mean Matching Imputation (PMM)

วิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) เป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายที่เกิดจากการรวมของ 2 แนวคิดเข้าด้วยกัน คือ การหาค่าคาดหวังของข้อมูลที่สูญหายได้จากข้อมูลที่ทราบค่าและพารามิเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน แล้วทำการแทนที่ข้อมูลสูญหายด้วยค่าคาดหวังที่ใกล้เคียงกับค่าคาดหวังของข้อมูลที่เกิดการสูญหายมากที่สุด ซึ่ง (Van Buuren and Groothuis-Oudshoorn 2011) ได้นำเสนอวิธี PMM โดยจะทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ด้วยตัวประมาณแบบเบส์ (Bayes Estimators) ใช้การแจกแจงโดยหลักเกณฑ์ที่ไม่ทราบข้อมูล (Noninformative Prior Distribution) ซึ่งจะพิจารณาจากค่าความแปรปรวนและค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยก่อนหน้าที่ได้จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) จากชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยใหม่ไปสร้างสมการพยากรณ์ เพื่อประมาณค่าตัวแปรตามทั้งที่เกิดการสูญหายและที่มีข้อมูลสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวโดยละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในงานวิจัยของอุษณีย์ วงศ์อามาตย์ (2555)

จากงานวิจัยของ วริษฐา กณิกนันต์ (2556) ที่ศึกษากรณีที่ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย ได้ทำการปรับเปลี่ยนขั้นตอนบางประการ เพื่อให้สามารถประมาณค่าสูญหายในกรณีที่เกิดการสูญหายของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในชุดข้อมูลเดียวกันได้ แต่ยังคงไว้ซึ่งหลักการของวิธีการ PMM

โดยกำหนดให้ $\hat{y}_j^*$ โดยที่ $j = m+1,...,n$ เป็นค่าประมาณของข้อมูลตัวแปรตามที่สูญหายด้วยวิธี PMM ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ประมาณค่าสูญหายจากค่าของตัวแปรอิสระที่เกิดการสูญหายก่อน โดยการประมาณค่าสูญหายของตัวแปรอิสระนั้นจะประมาณโดยใช้วิธีการคล้ายกับวิธี KNN โดยจะแทนที่ข้อมูลตัวแปรอิสระที่สูญหายด้วยค่าของตัวแปรอิสระในชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ที่ใกล้เคียงกับชุดของตัวแปรอิสระที่เกิดการสูญหายมากที่สุด
2. เมื่อได้ค่าประมาณของตัวแปรอิสระที่สูญหายแล้ว จะทำการประมาณตัวแปรตาม ตามรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเริ่มต้น เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นพหุจากชุดข้อมูลที่สมบูรณ์

นั่นคือ $$\hat{\tilde{\beta}}^{(0)} = (\mathrm{X}_0{}'\mathrm{X}_0)^{-1}\mathrm{X}_0{}'\,\tilde{y}_0$$

และ $$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0^{(0)} + \hat{\beta}_1^{(0)}x_{i1} + \hat{\beta}_2^{(0)}x_{i2} + \hat{\beta}_3^{(0)}x_{i3} \;; i = 1,2,...,m,m+1,...,n$$

โดยที่ $\tilde{y}_0$ แทน เวกเตอร์ของตัวแปรตามที่ทราบค่าขนาด m x 1

X_0 แทน เมทริกซ์ของตัวแปรอิสระที่ชุดข้อมูลของตัวแปรตามที่ทราบค่า ขนาด m x (p+1)

$\hat{y}_i$ แทน ค่าประมาณของตัวแปรตามของข้อมูลตัวที่ i

2.2 ทำการประมาณค่าสูญหายของตัวแปรตามจากรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นพหุในข้อ 2.1 จากนั้นแทนที่ข้อมูลสูญหายด้วยค่าประมาณของตัวแปรตามในชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ $(\hat{y}_i; i = 1,...,m)$ ที่ใกล้เคียงกับค่าประมาณตัวแปรตามของชุดข้อมูลที่สูญหาย $(\hat{y}_j; j = i = m+1,...,n)$ มากที่สุด โดยพิจารณาจากการหาค่าสัมบูรณ์ระหว่างค่าคาดหวังของข้อมูลตัวแปรตามที่ทราบค่ากับค่าคาดหวังของตัวแปรตามที่สูญหาย ดังนี้

$$D_{ij} = \left| E(\hat{\mathrm{y}}_i \mid \mathrm{X}_0) - \mathrm{E}(\hat{\mathrm{y}}_j \mid \mathrm{X}_0) \right|$$

สำหรับทุกๆ $i; 1 \le i \le m$ และ $j = m+1,...,n$

โดยที่ $\hat{y}_i$ ตัวใดที่ให้ค่า D_{ij} ต่ำสุด จะได้ว่า $\hat{y}_j^* = \hat{y}_i$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการใส่ค่าสูญหายในตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่มีการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ เมื่ออัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ การสูญหายของตัวแปรอิสระต่างกัน โดยมีวิธีการใส่ค่าสูญหายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ วิธี EM Algorithm, วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) เพื่อจะทราบว่าวิธีใดเป็นวิธีที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองโดยเฉลี่ย (Average Mean Square Error: AMSE) ระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ นอกจากนี้เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยนำค่าAMSE ที่ได้จากวิธีการEM เปรียบเทียบกับค่าAMSE ที่ได้จากวิธีการอื่นๆ เพื่อนำไปสู่การหาค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์(RE) ซึ่งมีการจำลองข้อมูลและขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

3.1 การจำลองข้อมูล

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาสถานการณ์จำลองที่มีความแตกต่างกันทั้งหมด 1620 สถานการณ์ ที่แตกต่างกันตามลักษณะการแจกแจงของตัวแปรต่างๆ และลักษณะของการสูญหายของข้อมูลในอัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ การสูญหายของตัวแปรอิสระต่างๆ ซึ่งในแต่ละสถานการณ์จะทำการจำลองเป็นจำนวน 5,000 รอบ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 สร้างชุดข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X_1, X_2, X_3) ที่นำมาศึกษา ออกเป็น 2 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

<u>แบบที่ 1</u> $X_1 \sim N(0, 300)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 300)$ โดยจะศึกษาการสูญหายในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนเท่ากัน

<u>แบบที่ 2</u> $X_1 \sim N(0, 100)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 500)$ โดยจะศึกษาการสูญหายในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนขนาดเล็ก $(\sigma^2_{X_1}=100)$ ปานกลาง $(\sigma^2_{X_2}=300)$ และใหญ่ $(\sigma^2_{X_3}=500)$

โดยจะกำหนดให้ตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัว ไม่มีความสัมพันธ์กัน

3.1.2 สร้างชุดข้อมูลความคลาดเคลื่อน $\varepsilon_i \sim N\left(0,\ \sigma_\varepsilon^2\right)$ สำหรับทุกค่า i โดยจะกำหนดให้ $\sigma_\varepsilon = 10,\ 30,\ 90$

3.1.3 สร้างข้อมูลตัวแปรตามที่มาจากรูปแบบความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้นพหุ $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \varepsilon_i$ และกำหนดให้ $\beta_0 = 39,\ \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$

3.1.4 ขนาดตัวอย่าง (n) มี 3 ขนาด คือ 50,100 และ 200

3.1.5 ในแต่ละสถานการณ์ จะแบ่งช่วงของชุดข้อมูลของตัวแปรอิสระ $(X_1,\ X_2,\ X_3)$ ที่จำลองเป็น 3 ช่วง ด้วยอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน ดังนี้

ถ้า $x_{ip} \le \mu_{x_p} + z_{\frac{1}{3}}\sigma_{x_p}$ ตัวแปรอิสระ x_{ip} นี้จะถูกจัดให้อยู่ในช่วงต้น

$\mu_{x_p} + z_{\frac{1}{3}}\sigma_{x_p} < x_{ip} \le \mu_{x_p} + z_{\frac{2}{3}}\sigma_{x_p}$ ตัวแปรอิสระ x_{ip} นี้จะถูกจัดให้อยู่ในช่วงกลาง

และ $\mu_{x_p} + z_{\frac{2}{3}}\sigma_{x_p} < x_{ip}$ ตัวแปรอิสระ x_{ip} นี้จะถูกจัดให้อยู่ในช่วงปลาย

โดยที่ $p=1, 2, 3$, $i=1, 2, \ldots, n$ และ $z_{\frac{1}{3}} = -0.43,\ z_{\frac{2}{3}} = 0.43$

3.1.6 จากนั้นจะทำให้แต่ละช่วงของตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย โดยสร้างตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี่ขนาดเท่ากับขนาดของตัวแปรอิสระ ตามความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละช่วงที่กำหนดไว้ในขอบเขตของงานวิจัยข้างต้น โดยจับคู่กับข้อมูลตัวแปรอิสระ ถ้าตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี่มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า ตัวแปรอิสระตัวที่จับคู่ด้วยนั้นเกิดการสูญหาย

3.1.7 ถ้าตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย $(I_x = 1)$ แล้วจะทำให้เกิดการสูญหายของตัวแปรตามด้วยความน่าจะเป็น $P\left(I_y = 1 | I_x = 1\right)$ และถ้าตัวแปรอิสระไม่เกิดการสูญหาย $\left(I_x = 0\right)$ แล้วจะทำให้เกิดการสูญหายของตัวแปรตามด้วยความน่าจะเป็น $P\left(I_y = 1 | I_x = 0\right)$ โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของการสูญหายในแต่ละช่วงจะแตกต่างกันไปตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตของงานวิจัยข้างต้น

3.2 การประมาณข้อมูลที่สูญหายด้วยวิธีการต่างๆ

หลังจากได้ข้อมูลตัวแปรอิสระ และข้อมูลตัวแปรตามที่เกิดการสูญหายแล้ว ขั้นต่อไปคือ การประมาณค่าข้อมูลที่สูญหายด้วยวิธี EM Algorithm (EM) วิธี K-Nearest Neighbor Imputation

(KNN) และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) โดยวิธี KNN จะเป็นวิธีที่มีรูปแบบการคำนวณที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ วิธี EM จะเป็นวิธีที่มีรูปแบบการคำนวณที่ใช้พารามิเตอร์ และวิธี PMM จะเป็นวิธีการที่มีความคล้ายคลึงระหว่างวิธี EM และ KNN ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดและขั้นตอนกล่าวอยู่ในบทที่ 2

3.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

เมื่อได้ชุดข้อมูลที่สมบูรณ์จากการใส่ค่าสูญหายด้วยทั้ง 3 วิธีแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบสามัญ (OLS) ตามทฤษฎีที่กล่าวอยู่ในบทที่ 2 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละวิธีการต่างๆในข้อ 3.2

3.4 การสร้างสมการพยากรณ์

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละวิธีการต่างๆมาแล้ว จะสร้างสมการพยากรณ์ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม ซึ่งแต่ละวิธีการในข้อ 3.2 จะได้สมการพยากรณ์ที่แตกต่างกัน โดยมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$y_{\mathrm{i}} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{\mathrm{i}1} + \hat{\beta}_2 x_{\mathrm{i}2} + \hat{\beta}_3 x_{\mathrm{i}3} \quad ; \mathrm{i} = 1, 2, \ldots, \mathrm{n}$$

3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าข้อมูลที่สูญหายต่างๆ

โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (AMSE) และค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (RE) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ว่าวิธีการใดเป็นวิธีที่ดีที่สุด สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$MSE_q = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\hat{y}_{qi} - y_i^{'} \right)^2}{n}$$

$$AMSE = \frac{1}{5,000} \sum_{q=1}^{5,000} MSE_q$$

$$RE = \frac{AMSE_{EM}}{AMSE_*} \quad ;* = KNN, PMM$$

เมื่อ $y_i^{'}$ แทน ค่าจริงของข้อมูลตัวแปรตามตัวที่ i

$\hat{y}_{qi}$ แทน ค่าพยากรณ์ของข้อมูลตัวแปรตามตัวที่ i จากการทำซ้ำรอบที่ q

MSE_q แทน ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการทำซ้ำรอบที่ q

$AMSE$ แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการทำซ้ำทั้งหมด 5,000 รอบ

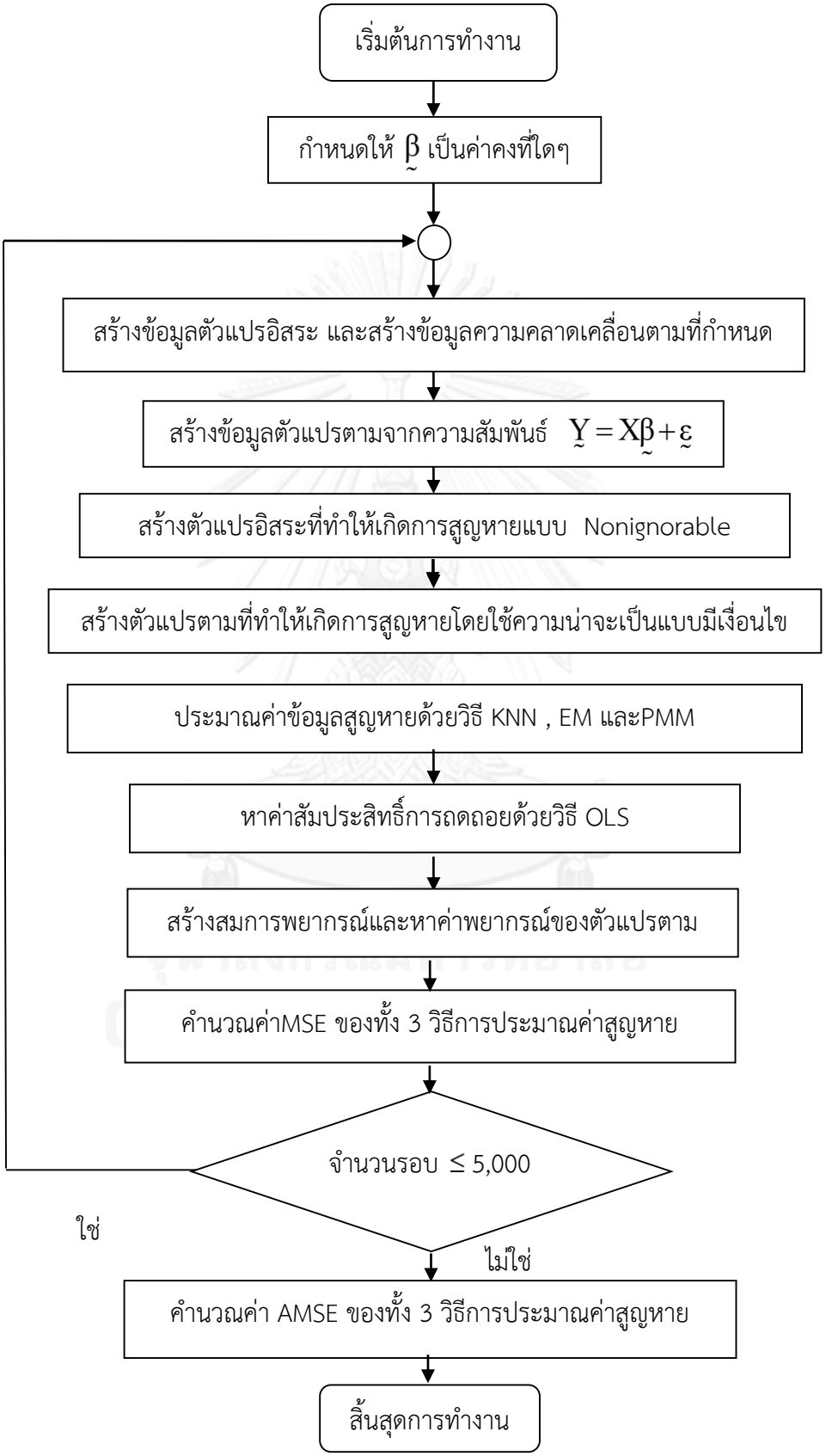
RE แทน ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์

$AMSE_{EM}$ แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการประมาณค่าสูญหายด้วยวิธีการ EM

$AMSE_*$ แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าพยากรณ์ตัวแปรตามจากการประมาณค่าสูญหายด้วยวิธีการ * เมื่อ $* = KNN, PMM$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.1 แผนผังการเขียนโปรแกรม



บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี เมื่ออัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ การสูญหายของตัวแปรอิสระต่างกัน ซึ่งได้แก่ วิธี EM Algorithm, วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) โดยพิจารณาว่าวิธีการใดเป็นวิธีดีกว่า จากค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ (Average Mean Square Error: AMSE) ระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ โดยที่วิธีที่มีค่า AMSE น้อยกว่าจะถือว่าเป็นวิธีที่ดีกว่า

ในการนำเสนอผลการวิจัย จะแสดงในรูปแบบของตารางและภาพของกราฟ โดยมีสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความหมายต่างๆดังต่อไปนี้

n แทน ขนาดของตัวอย่าง

% แทน ร้อยละการสูญหายของข้อมูลตัวแปรตามโดยเฉลี่ย

Level หรือ γ แทน ระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable

- None หรือ $\gamma = 1$ แทน ระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable ในระดับไม่มี
- Medium หรือ $\gamma = 2$ แทน ระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable ในระดับปานกลาง
- High หรือ $\gamma = 4$ แทน ระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable ในระดับสูง

EM แทน การประมาณค่าสูญหายด้วยวิธี EM Algorithm

KNN แทน การประมาณค่าสูญหายด้วยวิธี K-Nearest Neighbor Imputation

PMM แทน การประมาณค่าสูญหายด้วยวิธี Predictive Mean Matching Imputation

AMSE แทน ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์

RE แทน ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ของวิธี EM Algorithm กับวิธีการอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการนำเสนอผลการวิจัยจะแสดงในรูปแบบของตาราง และ กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 วิธีนั้น จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามกรณีที่ศึกษาของลักษณะการสูญหายของตัวแปรอิสระ ได้แก่

ส่วนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1: $X_1 \sim N(0,\ 300)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 300)$ โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง โดยมีการกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน ดังนี้

1.1 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 10

1.2 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 30

1.3 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 90

ส่วนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: $X_1 \sim N(0,\ 100)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 500)$ โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก $(\sigma^2_{X_1} = 100)$ โดยมีการกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน ดังนี้

2.1 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 10

2.2 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 30

2.3 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 90

ส่วนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: $X_1 \sim N(0,\ 100)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 500)$ โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง $(\sigma^2_{X_2} = 300)$ โดยมีการกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน ดังนี้

3.1 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 10

3.2 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 30

3.3 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 90

ส่วนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 : $X_1 \sim N(0,\ 100)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 500)$ โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ($\sigma^2_{X_3}=500$) โดยมีการกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน ดังนี้

4.1 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 10

4.2 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 30

4.3 กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 90

4.1 ส่วนที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง

ศึกษาข้อมูลสูญหายในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1: $X_1 \sim N(0,\ 300)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 300)$ มีร้อยละการสูญหายของข้อมูลตัวแปรตามโดยเฉลี่ย 3 ระดับ คือ 10%, 15% และ 20% ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50, 100, 200 มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และสูง และมีอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 ซึ่งผลการวิจัยในส่วนนี้จะแสดงในตารางและภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.1.1	10	AMSE
4.1.2	30	
4.1.3	90	
4.1.4	10	RE
4.1.5	30	
4.1.6	90	

ตารางที่ 4.1.1 - 4.1.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละตารางจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.1.4.1	10	50	RE
4.1.4.2		100	
4.1.4.3		200	
4.1.5.1	30	50	RE
4.1.5.2		100	
4.1.5.3		200	
4.1.6.1	90	50	RE
4.1.6.2		100	
4.1.6.3		200	

ภาพที่ 4.1.4.1 - 4.1.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.1.7	50	RE
4.1.8	100	
4.1.9	200	

ภาพที่ 4.1.7 - 4.1.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบจาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน 10 30 และ90 ตามขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	6130.8	8780.9	***5538.6***	8527.0	12973.6	***8400.7***	11339.8	17432.0	***11292.0***
		2	***6688.6***	8747.8	6849.3	***9277.3***	13058.3	9958.2	***11978.4***	17413.5	13105.4
		4	***7498.2***	8850.6	8786.1	***10335.4***	13234.8	12235.7	***13342.3***	17972.4	15973.1
	15	1	10374.0	13173.1	***9830.8***	***14565.3***	19826.9	14669.0	***18911.3***	26321.8	19786.6
		2	***11149.0***	13161.4	11866.1	***15666.0***	19948.7	17831.9	***20255.3***	26633.9	23278.1
		4	***12920.7***	13708.2	15753.9	***17731.5***	20699.9	21763.2	***22402.4***	27658.9	27735.3
	20	1	15121.9	17696.6	***14645.2***	***21760.8***	26598.8	22534.2	***27847.4***	35089.1	30072.6
		2	***16480.6***	17776.3	18164.9	***22995.8***	26854.4	26546.6	***29591.1***	35727.8	34379.1
		4	18695.5	***18319.5***	23353.6	***26116.7***	28174.9	32562.7	***33242.4***	37961.8	40398.0
100	10	1	4733.1	8857.5	***4532.8***	***6907.8***	13268.2	6926.1	***9023.7***	17575.2	9459.7
		2	***5366.2***	8927.5	5830.8	***7786.7***	13478.3	8742.7	***10051.0***	17862.5	11444.0
		4	***6361.3***	9011.3	8078.5	***9024.1***	13686.9	11359.4	***11500.4***	18356.6	14425.5
	15	1	***8018.6***	13313.7	8238.0	***11464.0***	19627.5	12406.5	***15348.9***	26489.0	16877.2
		2	***9138.3***	13434.3	10889.6	***13068.2***	20096.4	15646.6	***16963.1***	26814.6	20656.8
		4	***11177.9***	13867.4	14904.9	***15215.7***	20729.2	20171.2	***19584.5***	27901.2	25520.2
	20	1	***11988.2***	17814.6	12846.7	***17157.9***	26494.5	19415.6	***22776.5***	35405.3	26312.7
		2	***13681.9***	17906.4	16817.5	***19472.0***	27075.1	24206.5	***25114.7***	36017.7	31327.2
		4	***16371.1***	18533.5	22500.4	***22688.8***	28214.7	30322.3	***29154.4***	38197.6	38158.6
200	10	1	3843.3	8958.0	***3758.5***	***5606.0***	13418.6	5649.8	***7417.0***	17832.5	7648.2
		2	***4418.8***	8960.0	5078.3	***6460.8***	13470.4	7553.6	***8499.1***	17944.1	9989.0
		4	***5586.9***	9094.7	7575.0	***7864.5***	13726.1	10451.8	***9962.4***	18248.5	13046.7
	15	1	***6549.6***	13452.1	6980.4	***9523.4***	20022.1	10550.5	***12709.8***	26844.3	14526.7
		2	***7759.1***	13472.5	9702.4	***11152.2***	20191.5	14151.6	***14590.0***	27058.8	18451.1
		4	***9743.2***	13707.8	13878.3	***13567.8***	20827.4	18845.5	***17263.5***	28025.7	23415.3
	20	1	***9756.9***	17826.3	11034.7	***14337.4***	26780.0	16986.9	***19233.9***	35819.9	23375.4
		2	***11751.5***	18065.8	15548.9	***16895.9***	27274.0	22319.3	***21989.2***	36332.4	28744.2
		4	***14842.9***	18583.5	21676.1	***20358.9***	28239.1	28900.5	***26128.7***	38354.7	35759.3

<u>ตารางที่ 4.1.1</u> (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	4450.0	5750.5	***3659.9***	3674.8	4454.7	***2752.1***
		2	4899.4	6029.0	***4572.3***	3836.5	4331.6	***3419.4***
		4	***5549.5***	5952.5	6227.2	4439.5	***4341.5***	4785.3
	15	1	7527.8	8781.9	***6434.1***	6192.1	6571.0	***4880.6***
		2	7527.8	8781.9	***6434.1***	6759.4	6710.7	***6356.0***
		4	9533.3	***9068.7***	11144.6	7796.9	***6770.4***	8786.6
	20	1	11217.1	11738.9	***9730.3***	9231.0	8808.5	***7354.3***
		2	12307.2	***11903.7***	12673.1	10130.1	***8919.1***	9825.6
		4	14280.4	***12343.3***	17312.2	11739.0	***9215.9***	13888.7
100	10	1	3325.1	5858.8	***2925.5***	2594.0	4346.6	***2210.5***
		2	***3748.0***	5899.7	3896.7	***2924.4***	4404.4	2969.5
		4	***4460.6***	5960.7	5579.4	***3679.9***	4521.0	4483.1
	15	1	5752.9	8905.6	***5475.7***	4573.1	6654.1	***4009.9***
		2	***6541.4***	9009.0	7243.4	***5148.1***	6639.3	5477.0
		4	***8028.9***	9188.0	10745.4	***6440.5***	6745.5	8276.0
	20	1	8404.4	11797.9	***8216.2***	6772.2	8805.3	***6260.5***
		2	***9736.1***	11825.5	11341.2	***8002.0***	9166.3	8777.3
		4	***12212.8***	12305.4	16679.1	9978.2	***9295.4***	13160.7
200	10	1	2650.8	5939.5	***2469.5***	2086.5	4490.5	***1863.6***
		2	***3101.9***	6001.5	3509.1	***2413.6***	4512.5	2640.2
		4	***3978.3***	6080.9	5373.0	***3048.0***	4442.0	4049.1
	15	1	4579.8	8977.2	***4574.2***	3577.3	6671.0	***3399.7***
		2	***5437.4***	8962.4	6600.4	***4278.1***	6695.8	4980.7
		4	***7259.3***	9259.3	10240.3	***5638.0***	6780.2	7924.9
	20	1	***6895.0***	12005.4	7305.8	5426.6	8960.5	***5407.8***
		2	***8384.4***	11994.0	10613.1	***6593.9***	8992.3	8230.6
		4	***10971.3***	12358.3	16054.4	***8772.0***	9128.0	12754.2

ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	6234.1	8854.4	***5676.2***	8643.3	13046.6	***8629.5***	***11433.8***	17506.6	11521.2
		2	***6781.9***	8820.6	7017.3	***9378.7***	13129.5	10108.4	***12093.3***	17486.7	13288.4
		4	***7582.6***	8922.0	8927.4	***10436.2***	13308.6	12415.4	***13440.1***	18044.5	16172.1
	15	1	10461.2	13251.6	***10017.7***	***14686.3***	19904.5	14884.4	***19028.8***	26398.1	20059.0
		2	***11242.2***	13236.8	12053.8	***15760.7***	20025.5	18058.3	***20408.4***	26708.2	23514.7
		4	***13012.0***	13782.7	15910.9	***17848.2***	20774.7	21954.9	***22516.5***	27730.7	27943.0
	20	1	15241.6	17782.3	***14855.6***	***21867.5***	26684.9	22793.9	***27978.5***	35168.0	30372.4
		2	***16589.8***	17858.1	18349.0	***23145.8***	26937.5	26811.9	***29774.4***	35807.2	34634.3
		4	18808.7	***18402.2***	23527.5	***26238.6***	28253.8	32822.0	***33386.8***	38042.4	40630.1
100	10	1	4796.5	8893.5	***4665.6***	***6989.0***	13304.5	7097.0	***9122.6***	17610.7	9679.2
		2	***5426.2***	8963.0	5953.4	***7870.7***	13514.7	8898.8	***10149.8***	17898.1	11648.1
		4	***6416.6***	9048.1	8190.9	***9100.6***	13722.0	11516.8	***11584.0***	18393.0	14621.9
	15	1	***8092.0***	13351.5	8408.4	***11569.5***	19665.6	12638.1	***15462.6***	26526.7	17185.5
		2	***9216.9***	13470.8	11041.6	***13158.1***	20132.7	15880.4	***17084.9***	26854.0	20919.1
		4	***11248.6***	13905.0	15025.3	***15298.5***	20767.8	20364.2	***19695.3***	27937.2	25756.4
	20	1	***12079.8***	17854.8	13052.9	***17273.5***	26535.8	19672.3	***22917.0***	35447.2	26641.4
		2	***13762.4***	17947.5	16990.2	***19582.1***	27115.0	24447.1	***25253.1***	36056.8	31646.8
		4	***16445.0***	18576.3	22654.4	***22775.2***	28254.6	30544.9	***29279.8***	38240.5	38469.1
200	10	1	3898.6	8976.1	***3893.1***	***5685.6***	13436.6	5831.5	***7515.2***	17850.4	7881.9
		2	***4473.7***	8978.0	5193.3	***6532.2***	13488.0	7725.1	***8585.9***	17962.1	10213.5
		4	***5633.8***	9112.9	7677.5	***7925.7***	13743.4	10595.7	***10045.3***	18265.1	13251.1
	15	1	***6618.6***	13471.6	7151.8	***9609.1***	20040.7	10787.6	***12834.4***	26863.3	14840.5
		2	***7824.7***	13491.3	9841.6	***11232.7***	20210.0	14360.7	***14705.3***	27077.0	18739.0
		4	***9793.0***	13726.5	14008.6	***13649.0***	20847.0	19023.1	***17367.7***	28043.4	23654.9
	20	1	***9839.7***	17845.8	11248.3	***14453.0***	26800.6	17295.5	***19378.8***	35840.1	23728.8
		2	***11822.4***	18085.6	15727.0	***17006.6***	27293.7	22582.1	***22122.3***	36352.4	29083.6
		4	***14905.5***	18603.7	21811.9	***20453.4***	28258.4	29125.4	***26258.5***	38375.5	36043.8

<u>ตารางที่ 4.1.2</u> (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	4533.2	5821.2	***3777.4***	3749.2	4527.2	***2871.9***
		2	4985.8	6103.8	***4683.8***	3915.4	4404.1	***3507.4***
		4	***5631.0***	6024.4	6331.8	4515.1	***4412.3***	4886.8
	15	1	7630.9	8858.1	***6557.1***	6270.8	6646.2	***5020.4***
		2	8202.0	8927.8	***8185.4***	6831.1	6786.8	***6478.5***
		4	9613.4	***9145.2***	11259.5	7868.7	***6847.4***	8894.8
	20	1	11317.5	11822.3	***9919.3***	9335.8	8892.0	***7532.1***
		2	12409.2	***11985.5***	12823.4	10217.2	***9002.5***	9967.3
		4	14368.9	***12423.8***	17437.3	11825.3	***9296.0***	13995.1
100	10	1	3378.8	5893.9	***3022.5***	2643.2	4382.1	***2297.9***
		2	***3802.0***	5935.1	3984.1	***2976.9***	4440.7	3056.1
		4	***4510.3***	5995.9	5661.3	***3724.8***	4556.9	4556.4
	15	1	5815.3	8943.5	***5589.1***	4629.4	6691.7	***4119.7***
		2	***6600.3***	9046.8	7376.4	***5205.3***	6676.7	5581.7
		4	***8080.9***	9223.7	10828.2	***6488.5***	6782.5	8358.1
	20	1	8474.1	11838.1	***8367.2***	6829.0	8845.5	***6395.7***
		2	***9800.4***	11865.6	11460.0	***8060.2***	9206.4	8887.8
		4	***12265.7***	12345.4	16770.5	10023.4	***9335.3***	13245.4
200	10	1	2696.4	5957.4	***2567.2***	2124.9	4508.2	***1934.6***
		2	***3143.5***	6019.7	3595.0	***2449.4***	4530.5	2704.5
		4	***4014.4***	6098.1	5444.2	***3077.9***	4460.0	4103.4
	15	1	***4634.1***	8995.9	4699.8	3621.3	6689.7	***3493.7***
		2	***5487.6***	8981.2	6701.0	***4321.4***	6715.1	5062.1
		4	***7300.4***	9278.0	10317.6	***5668.4***	6798.2	7987.8
	20	1	***6955.3***	12025.8	7450.5	***5474.2***	8980.8	5527.6
		2	***8433.1***	12013.7	10746.5	***6639.2***	9013.0	8323.5
		4	***11010.2***	12377.8	16135.7	***8805.9***	9148.9	12815.4

ตารางที่ 4.1.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	7081.0	9512.8	***7007.1***	***9555.2***	13701.7	10195.4	***12463.9***	18165.8	13438.6
		2	***7619.1***	9480.1	8304.9	***10288.0***	13773.7	11642.8	***13120.1***	18147.4	15104.6
		4	***8355.3***	9562.2	10063.5	***11302.2***	13961.7	13813.7	***14422.5***	18687.1	17959.1
	15	1	***11378.7***	13959.3	11595.9	***15708.7***	20601.7	16885.0	***20228.4***	27087.8	22403.9
		2	***12128.7***	13918.8	13530.9	***16780.2***	20719.5	19867.7	***21579.1***	27385.0	25708.3
		4	***13842.8***	14457.0	17216.9	***18800.1***	21451.5	23604.0	***23610.4***	28403.4	29985.2
	20	1	***16291.1***	18532.9	16714.5	***23001.1***	27447.7	25067.9	***29235.4***	35900.3	32934.6
		2	***17496.9***	18594.1	19999.8	***24289.9***	27680.6	28925.7	***31039.6***	36527.2	37014.2
		4	19690.6	***19132.0***	24884.8	***27259.5***	28978.1	34613.3	***34578.6***	38773.7	42891.2
100	10	1	***5398.2***	9219.5	5792.7	***7691.1***	13631.5	8629.8	***9981.4***	17931.9	11533.4
		2	***5970.9***	9280.3	7008.3	***8550.3***	13835.8	10349.5	***10962.4***	18221.9	13441.9
		4	***6932.7***	9372.0	9137.8	***9734.7***	14037.9	12786.8	***12368.8***	18713.4	16231.9
	15	1	***8782.5***	13693.0	9884.2	***12417.0***	20008.1	14628.3	***16527.5***	26868.6	19658.9
		2	***9863.0***	13807.9	12325.7	***13969.9***	20467.1	17680.8	***18068.7***	27197.5	23114.1
		4	***11823.4***	14243.1	16088.8	***16048.5***	21110.2	21900.8	***20609.2***	28271.5	27789.4
	20	1	***12828.5***	18220.9	14720.5	***18253.8***	26900.4	22028.4	***24095.8***	35819.2	29512.1
		2	***14483.7***	18310.5	18468.8	***20515.1***	27474.0	26480.0	***26410.7***	36413.0	34202.5
		4	***17060.8***	18941.6	23840.9	***23616.4***	28612.6	32349.3	***30369.7***	38607.3	40837.2
200	10	1	***4383.5***	9137.4	5004.6	***6338.8***	13598.2	7378.8	***8326.0***	18012.1	9829.7
		2	***4926.1***	9139.6	6211.7	***7141.3***	13647.7	9158.2	***9365.7***	18123.5	12048.1
		4	***6037.1***	9273.4	8538.3	***8472.7***	13900.0	11840.4	***10754.4***	18419.3	14898.9
	15	1	***7235.3***	13642.8	8627.7	***10434.4***	20209.7	12854.0	***13892.0***	27033.2	17470.6
		2	***8373.5***	13660.5	11115.0	***11986.5***	20378.4	16207.0	***15698.4***	27243.4	21155.0
		4	***10248.7***	13894.2	15013.6	***14325.8***	21017.6	20613.1	***18280.9***	28206.3	25780.4
	20	1	***10547.2***	18025.2	13010.9	***15435.2***	26985.0	19811.0	***20635.9***	36020.1	26864.4
		2	***12449.8***	18263.6	17206.9	***17908.8***	27471.1	24760.6	***23281.6***	36529.7	31929.0
		4	***15424.2***	18782.7	22937.0	***21238.6***	28433.8	30956.7	***27347.1***	38556.4	38617.4

ตารางที่ 4.1.3 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	5278.4	6463.5	***4899.2***	4460.9	5176.3	***3856.8***
		2	***5722.4***	6760.1	5773.9	4620.6	5054.6	***4430.3***
		4	***6334.9***	6665.8	7308.7	5189.9	***5049.0***	5754.8
	15	1	8454.5	9555.7	***7860.0***	7045.9	7325.8	***6144.1***
		2	***9000.7***	9617.9	9400.5	7573.3	***7475.1***	7537.7
		4	10354.6	***9824.1***	12270.5	8574.6	***7544.0***	9818.0
	20	1	12215.1	12561.8	***11440.5***	10164.1	9643.5	***8835.3***
		2	13265.6	***12719.8***	14117.1	11038.0	***9746.7***	11152.5
		4	15150.0	***13157.2***	18536.4	12579.8	***10028.7***	14943.6
100	10	1	***3863.0***	6210.2	3880.8	3082.7	4701.7	***3004.1***
		2	***4274.4***	6256.8	4776.5	***3415.7***	4765.9	3735.6
		4	***4943.1***	6314.7	6356.0	***4131.3***	4882.1	5164.9
	15	1	***6382.0***	9283.2	6682.0	5111.0	7030.1	***5027.3***
		2	***7139.9***	9387.0	8352.1	***5680.8***	7016.7	6396.4
		4	***8540.1***	9554.4	11637.9	***6912.2***	7116.1	9024.2
	20	1	***9090.0***	12202.0	9682.4	***7357.8***	9206.3	7452.3
		2	***10387.3***	12228.4	12581.1	***8561.2***	9568.8	9816.9
		4	12749.2	***12700.0***	17599.8	10441.0	***9695.3***	13925.0
200	10	1	***3074.4***	6118.0	3350.4	***2446.9***	4667.6	2567.6
		2	***3502.1***	6182.0	4312.4	***2751.7***	4692.1	3276.5
		4	***4322.9***	6253.6	6046.4	***3353.6***	4621.3	4595.1
	15	1	***5091.9***	9165.5	5748.8	***4003.6***	6859.7	4335.4
		2	***5909.4***	9151.2	7597.9	***4669.6***	6886.9	5777.9
		4	***7640.6***	9446.1	11020.8	***5947.7***	6964.5	8511.1
	20	1	***7494.0***	12210.7	8723.7	***5908.8***	9163.1	6539.5
		2	***8888.8***	12192.1	11792.7	***7024.0***	9196.4	9141.2
		4	***11362.1***	12556.7	16851.6	***9097.6***	9331.7	13343.1

ตารางที่ 4.1.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1.432	1.000	***1.585***	1.521	1.000	***1.544***	1.537	1.000	***1.544***	1.292	1.000	***1.571***	1.212	1.000	***1.619***
		2	***1.308***	1.000	1.277	***1.408***	1.000	1.311	***1.454***	1.000	1.329	1.231	1.000	***1.319***	1.129	1.000	***1.267***
		4	***1.180***	1.000	1.007	***1.281***	1.000	1.082	***1.347***	1.000	1.125	***1.073***	1.000	0.956	0.978	***1.000***	0.907
	15	1	1.270	1.000	***1.340***	***1.361***	1.000	1.352	***1.392***	1.000	1.330	1.167	1.000	***1.365***	1.061	1.000	***1.346***
		2	***1.181***	1.000	1.109	***1.273***	1.000	1.119	***1.315***	1.000	1.144	1.167	1.000	***1.365***	0.993	1.000	***1.056***
		4	***1.061***	1.000	0.870	***1.167***	1.000	0.951	***1.235***	1.000	0.997	0.951	***1.000***	0.814	0.868	***1.000***	0.771
	20	1	1.170	1.000	***1.208***	***1.222***	1.000	1.180	***1.260***	1.000	1.167	1.047	1.000	***1.206***	0.954	1.000	***1.198***
		2	***1.079***	1.000	0.979	***1.168***	1.000	1.012	***1.207***	1.000	1.039	0.967	***1.000***	0.939	0.880	***1.000***	0.908
		4	0.980	***1.000***	0.784	***1.079***	1.000	0.865	***1.142***	1.000	0.940	0.864	***1.000***	0.713	0.785	***1.000***	0.664
100	10	1	1.871	1.000	***1.954***	***1.921***	1.000	1.916	***1.948***	1.000	1.858	1.762	1.000	***2.003***	1.676	1.000	***1.966***
		2	***1.664***	1.000	1.531	***1.731***	1.000	1.542	***1.777***	1.000	1.561	***1.574***	1.000	1.514	***1.506***	1.000	1.483
		4	***1.417***	1.000	1.115	***1.517***	1.000	1.205	***1.596***	1.000	1.273	***1.336***	1.000	1.068	***1.229***	1.000	1.008
	15	1	***1.660***	1.000	1.616	***1.712***	1.000	1.582	***1.726***	1.000	1.570	1.548	1.000	***1.626***	1.455	1.000	***1.659***
		2	***1.470***	1.000	1.234	***1.538***	1.000	1.284	***1.581***	1.000	1.298	***1.377***	1.000	1.244	***1.290***	1.000	1.212
		4	***1.241***	1.000	0.930	***1.362***	1.000	1.028	***1.425***	1.000	1.093	***1.144***	1.000	0.855	***1.047***	1.000	0.815
	20	1	***1.486***	1.000	1.387	***1.544***	1.000	1.365	***1.554***	1.000	1.346	1.404	1.000	***1.436***	1.300	1.000	***1.406***
		2	***1.309***	1.000	1.065	***1.390***	1.000	1.119	***1.434***	1.000	1.150	***1.215***	1.000	1.043	***1.145***	1.000	1.044
		4	***1.132***	1.000	0.824	***1.244***	1.000	0.930	***1.310***	1.000	1.001	***1.008***	1.000	0.738	0.932	***1.000***	0.706
200	10	1	2.331	1.000	***2.383***	***2.394***	1.000	2.375	***2.404***	1.000	2.332	2.241	1.000	***2.405***	2.152	1.000	***2.410***
		2	***2.028***	1.000	1.764	***2.085***	1.000	1.783	***2.111***	1.000	1.796	***1.935***	1.000	1.710	***1.870***	1.000	1.709
		4	***1.628***	1.000	1.201	***1.745***	1.000	1.313	***1.832***	1.000	1.399	***1.529***	1.000	1.132	***1.457***	1.000	1.097
	15	1	***2.054***	1.000	1.927	***2.102***	1.000	1.898	***2.112***	1.000	1.848	1.960	1.000	***1.963***	1.865	1.000	***1.962***
		2	***1.736***	1.000	1.389	***1.811***	1.000	1.427	***1.855***	1.000	1.467	***1.648***	1.000	1.358	***1.565***	1.000	1.344
		4	***1.407***	1.000	0.988	***1.535***	1.000	1.105	***1.623***	1.000	1.197	***1.276***	1.000	0.904	***1.203***	1.000	0.856
	20	1	***1.827***	1.000	1.615	***1.868***	1.000	1.577	***1.862***	1.000	1.532	***1.741***	1.000	1.643	1.651	1.000	***1.657***
		2	***1.537***	1.000	1.162	***1.614***	1.000	1.222	***1.652***	1.000	1.264	***1.431***	1.000	1.130	***1.364***	1.000	1.093
		4	***1.252***	1.000	0.857	***1.387***	1.000	0.977	***1.468***	1.000	1.073	***1.126***	1.000	0.770	***1.041***	1.000	0.716

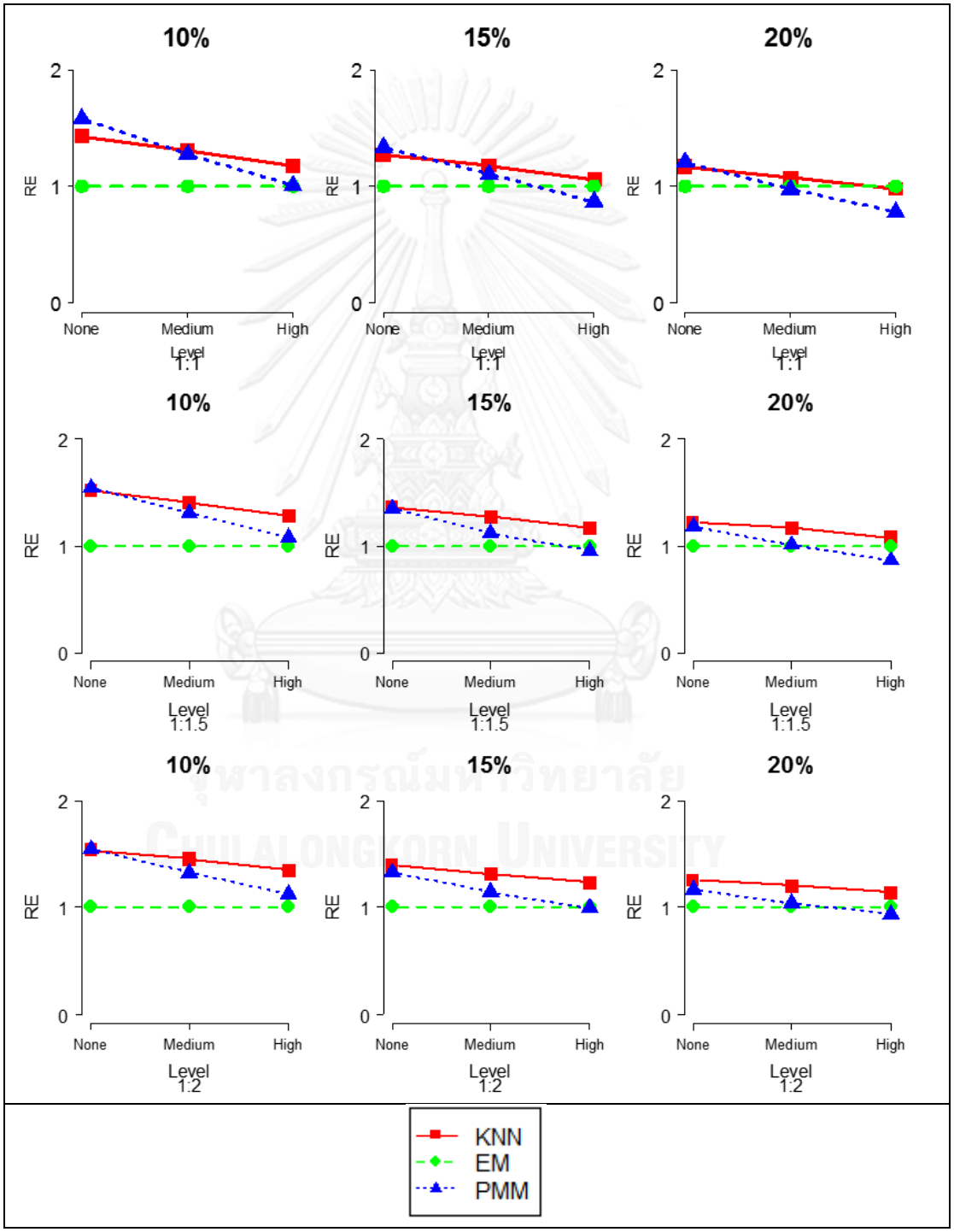
ตารางที่ 4.1.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1.420	1.000	***1.560***	1.509	1.000	***1.512***	***1.531***	1.000	1.520	1.284	1.000	***1.541***	1.208	1.000	***1.576***
		2	***1.301***	1.000	1.257	***1.400***	1.000	1.299	***1.446***	1.000	1.316	1.224	1.000	***1.303***	1.125	1.000	***1.256***
		4	***1.177***	1.000	0.999	***1.275***	1.000	1.072	***1.343***	1.000	1.116	***1.070***	1.000	0.951	0.977	***1.000***	0.903
	15	1	1.267	1.000	***1.323***	***1.355***	1.000	1.337	***1.387***	1.000	1.316	1.161	1.000	***1.351***	1.060	1.000	***1.324***
		2	***1.177***	1.000	1.098	***1.271***	1.000	1.109	***1.309***	1.000	1.136	1.089	1.000	***1.091***	0.994	1.000	***1.048***
		4	***1.059***	1.000	0.866	***1.164***	1.000	0.946	***1.232***	1.000	0.992	0.951	***1.000***	0.812	0.870	***1.000***	0.770
	20	1	1.167	1.000	***1.197***	***1.220***	1.000	1.171	***1.257***	1.000	1.158	1.045	1.000	***1.192***	0.952	1.000	***1.181***
		2	***1.076***	1.000	0.973	***1.164***	1.000	1.005	***1.203***	1.000	1.034	0.966	***1.000***	0.935	0.881	***1.000***	0.903
		4	0.978	***1.000***	0.782	***1.077***	1.000	0.861	***1.139***	1.000	0.936	0.865	***1.000***	0.712	0.786	***1.000***	0.664
100	10	1	1.854	1.000	***1.906***	***1.904***	1.000	1.875	***1.930***	1.000	1.819	1.744	1.000	***1.950***	1.658	1.000	***1.907***
		2	***1.652***	1.000	1.506	***1.717***	1.000	1.519	***1.763***	1.000	1.537	***1.561***	1.000	1.490	***1.492***	1.000	1.453
		4	***1.410***	1.000	1.105	***1.508***	1.000	1.191	***1.588***	1.000	1.258	***1.329***	1.000	1.059	***1.223***	1.000	1.000
	15	1	***1.650***	1.000	1.588	***1.700***	1.000	1.556	***1.716***	1.000	1.544	1.538	1.000	***1.600***	1.445	1.000	***1.624***
		2	***1.462***	1.000	1.220	***1.530***	1.000	1.268	***1.572***	1.000	1.284	***1.371***	1.000	1.226	***1.283***	1.000	1.196
		4	***1.236***	1.000	0.925	***1.358***	1.000	1.020	***1.418***	1.000	1.085	***1.141***	1.000	0.852	***1.045***	1.000	0.811
	20	1	***1.478***	1.000	1.368	***1.536***	1.000	1.349	***1.547***	1.000	1.331	1.397	1.000	***1.415***	1.295	1.000	***1.383***
		2	***1.304***	1.000	1.056	***1.385***	1.000	1.109	***1.428***	1.000	1.139	***1.211***	1.000	1.035	***1.142***	1.000	1.036
		4	***1.130***	1.000	0.820	***1.241***	1.000	0.925	***1.306***	1.000	0.994	***1.007***	1.000	0.736	0.931	***1.000***	0.705
200	10	1	2.302	1.000	***2.306***	***2.363***	1.000	2.304	***2.375***	1.000	2.265	2.209	1.000	***2.321***	2.122	1.000	***2.330***
		2	***2.007***	1.000	1.729	***2.065***	1.000	1.746	***2.092***	1.000	1.759	***1.915***	1.000	1.674	***1.850***	1.000	1.675
		4	***1.618***	1.000	1.187	***1.734***	1.000	1.297	***1.818***	1.000	1.378	***1.519***	1.000	1.120	***1.449***	1.000	1.087
	15	1	***2.035***	1.000	1.884	***2.086***	1.000	1.858	***2.093***	1.000	1.810	***1.941***	1.000	1.914	1.847	1.000	***1.915***
		2	***1.724***	1.000	1.371	***1.799***	1.000	1.407	***1.841***	1.000	1.445	***1.637***	1.000	1.340	***1.554***	1.000	1.327
		4	***1.402***	1.000	0.980	***1.527***	1.000	1.096	***1.615***	1.000	1.186	***1.271***	1.000	0.899	***1.199***	1.000	0.851
	20	1	***1.814***	1.000	1.587	***1.854***	1.000	1.550	***1.849***	1.000	1.510	***1.729***	1.000	1.614	***1.641***	1.000	1.625
		2	***1.530***	1.000	1.150	***1.605***	1.000	1.209	***1.643***	1.000	1.250	***1.425***	1.000	1.118	***1.358***	1.000	1.083
		4	***1.248***	1.000	0.853	***1.382***	1.000	0.970	***1.461***	1.000	1.065	***1.124***	1.000	0.767	***1.039***	1.000	0.714

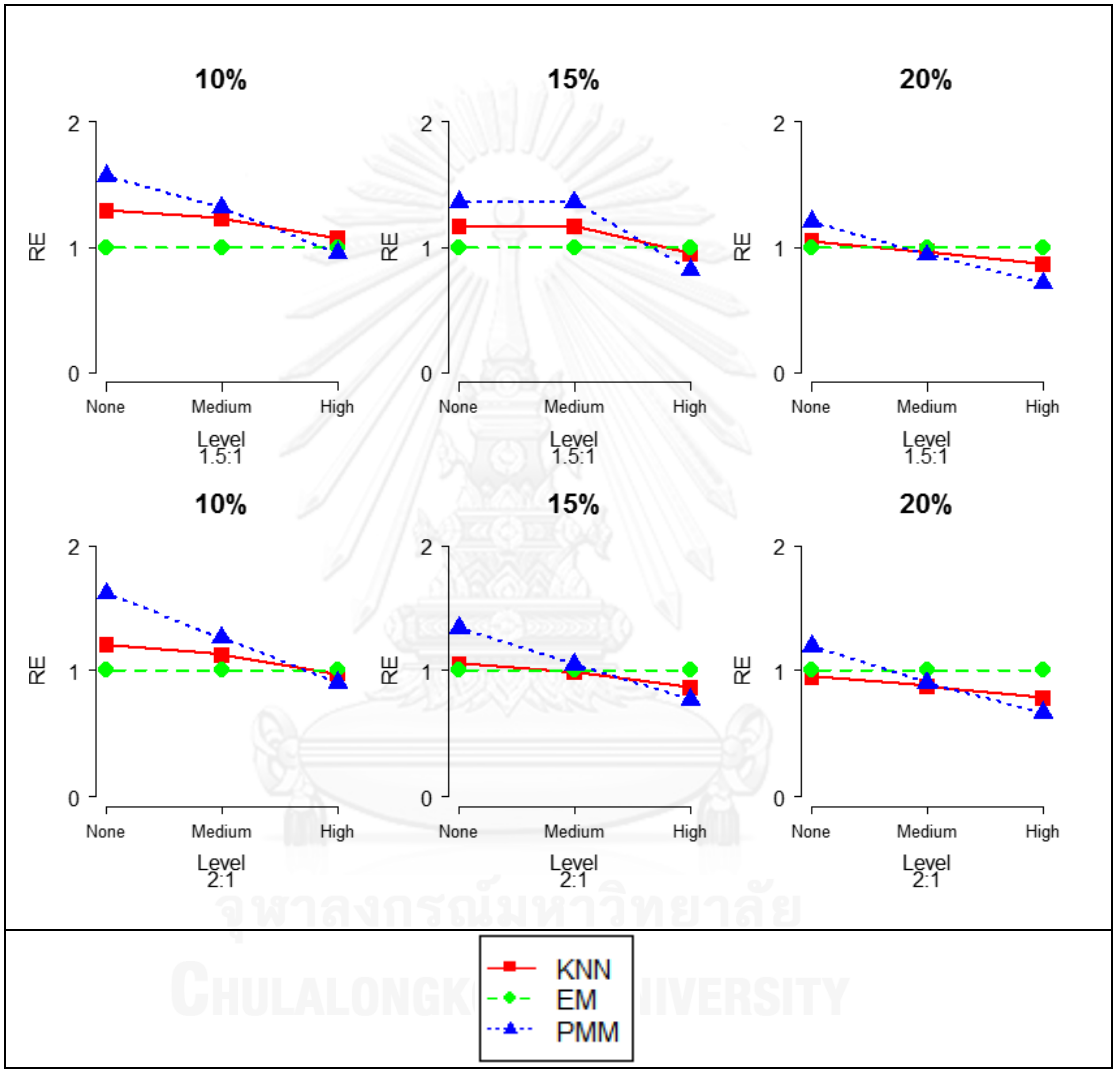
ตารางที่ 4.1.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1.343	1.000	***1.358***	***1.434***	1.000	1.344	***1.457***	1.000	1.352	1.225	1.000	***1.319***	1.160	1.000	***1.342***
		2	***1.244***	1.000	1.142	***1.339***	1.000	1.183	***1.383***	1.000	1.201	***1.181***	1.000	1.171	1.094	1.000	***1.141***
		4	***1.144***	1.000	0.950	***1.235***	1.000	1.011	***1.296***	1.000	1.041	***1.052***	1.000	0.912	0.973	***1.000***	0.877
	15	1	***1.227***	1.000	1.204	***1.311***	1.000	1.220	***1.339***	1.000	1.209	1.130	1.000	***1.216***	1.040	1.000	***1.192***
		2	***1.148***	1.000	1.029	***1.235***	1.000	1.043	***1.269***	1.000	1.065	***1.069***	1.000	1.023	0.987	***1.000***	0.992
		4	***1.044***	1.000	0.840	***1.141***	1.000	0.909	***1.203***	1.000	0.947	0.949	***1.000***	0.801	0.880	***1.000***	0.768
	20	1	***1.138***	1.000	1.109	***1.193***	1.000	1.095	***1.228***	1.000	1.090	1.028	1.000	***1.098***	0.949	1.000	***1.091***
		2	***1.063***	1.000	0.930	***1.140***	1.000	0.957	***1.177***	1.000	0.987	0.959	***1.000***	0.901	0.883	***1.000***	0.874
		4	0.972	***1.000***	0.769	***1.063***	1.000	0.837	***1.121***	1.000	0.904	0.868	***1.000***	0.710	0.797	***1.000***	0.671
100	10	1	***1.708***	1.000	1.592	***1.772***	1.000	1.580	***1.797***	1.000	1.555	***1.608***	1.000	1.600	1.525	1.000	***1.565***
		2	***1.554***	1.000	1.324	***1.618***	1.000	1.337	***1.662***	1.000	1.356	***1.464***	1.000	1.310	***1.395***	1.000	1.276
		4	***1.352***	1.000	1.026	***1.442***	1.000	1.098	***1.513***	1.000	1.153	***1.277***	1.000	0.993	***1.182***	1.000	0.945
	15	1	***1.559***	1.000	1.385	***1.611***	1.000	1.368	***1.626***	1.000	1.367	***1.455***	1.000	1.389	1.376	1.000	***1.398***
		2	***1.400***	1.000	1.120	***1.465***	1.000	1.158	***1.505***	1.000	1.177	***1.315***	1.000	1.124	***1.235***	1.000	1.097
		4	***1.205***	1.000	0.885	***1.315***	1.000	0.964	***1.372***	1.000	1.017	***1.119***	1.000	0.821	***1.030***	1.000	0.789
	20	1	***1.420***	1.000	1.238	***1.474***	1.000	1.221	***1.487***	1.000	1.214	***1.342***	1.000	1.260	***1.251***	1.000	1.235
		2	***1.264***	1.000	0.991	***1.339***	1.000	1.038	***1.379***	1.000	1.065	***1.177***	1.000	0.972	***1.118***	1.000	0.975
		4	***1.110***	1.000	0.795	***1.212***	1.000	0.884	***1.271***	1.000	0.945	0.996	***1.000***	0.722	0.929	***1.000***	0.696
200	10	1	***2.085***	1.000	1.826	***2.145***	1.000	1.843	***2.163***	1.000	1.832	***1.990***	1.000	1.826	***1.908***	1.000	1.818
		2	***1.855***	1.000	1.471	***1.911***	1.000	1.490	***1.935***	1.000	1.504	***1.765***	1.000	1.434	***1.705***	1.000	1.432
		4	***1.536***	1.000	1.086	***1.641***	1.000	1.174	***1.713***	1.000	1.236	***1.447***	1.000	1.034	***1.378***	1.000	1.006
	15	1	***1.886***	1.000	1.581	***1.937***	1.000	1.572	***1.946***	1.000	1.547	***1.800***	1.000	1.594	***1.713***	1.000	1.582
		2	***1.631***	1.000	1.229	***1.700***	1.000	1.257	***1.735***	1.000	1.288	***1.549***	1.000	1.204	***1.475***	1.000	1.192
		4	***1.356***	1.000	0.925	***1.467***	1.000	1.020	***1.543***	1.000	1.094	***1.236***	1.000	0.857	***1.171***	1.000	0.818
	20	1	***1.709***	1.000	1.385	***1.748***	1.000	1.362	***1.746***	1.000	1.341	***1.629***	1.000	1.400	***1.551***	1.000	1.401
		2	***1.467***	1.000	1.061	***1.534***	1.000	1.109	***1.569***	1.000	1.144	***1.372***	1.000	1.034	***1.309***	1.000	1.006
		4	***1.218***	1.000	0.819	***1.339***	1.000	0.919	***1.410***	1.000	0.998	***1.105***	1.000	0.745	***1.026***	1.000	0.699

ภาพที่ 4.1.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

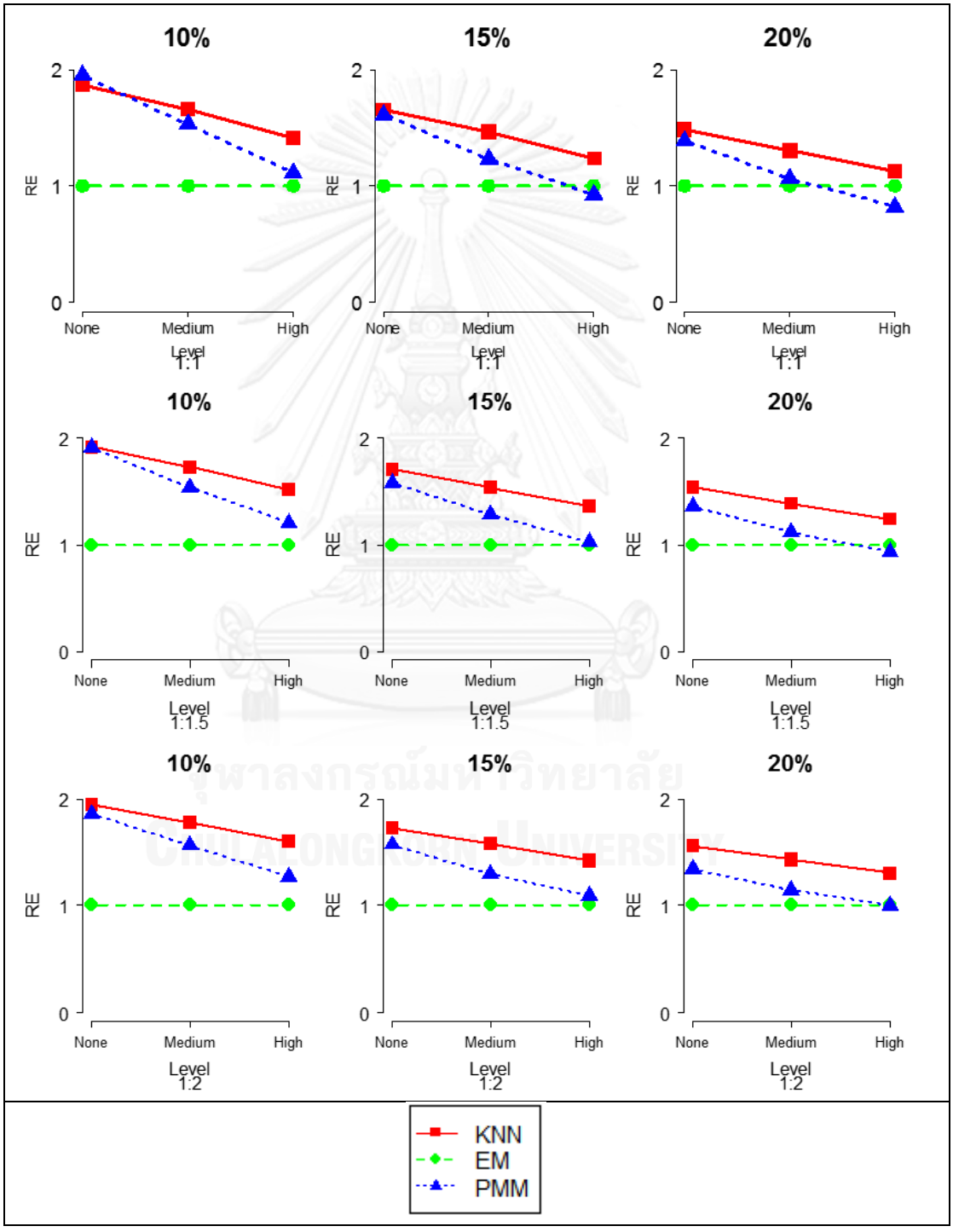


ภาพที่ 4.1.4.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

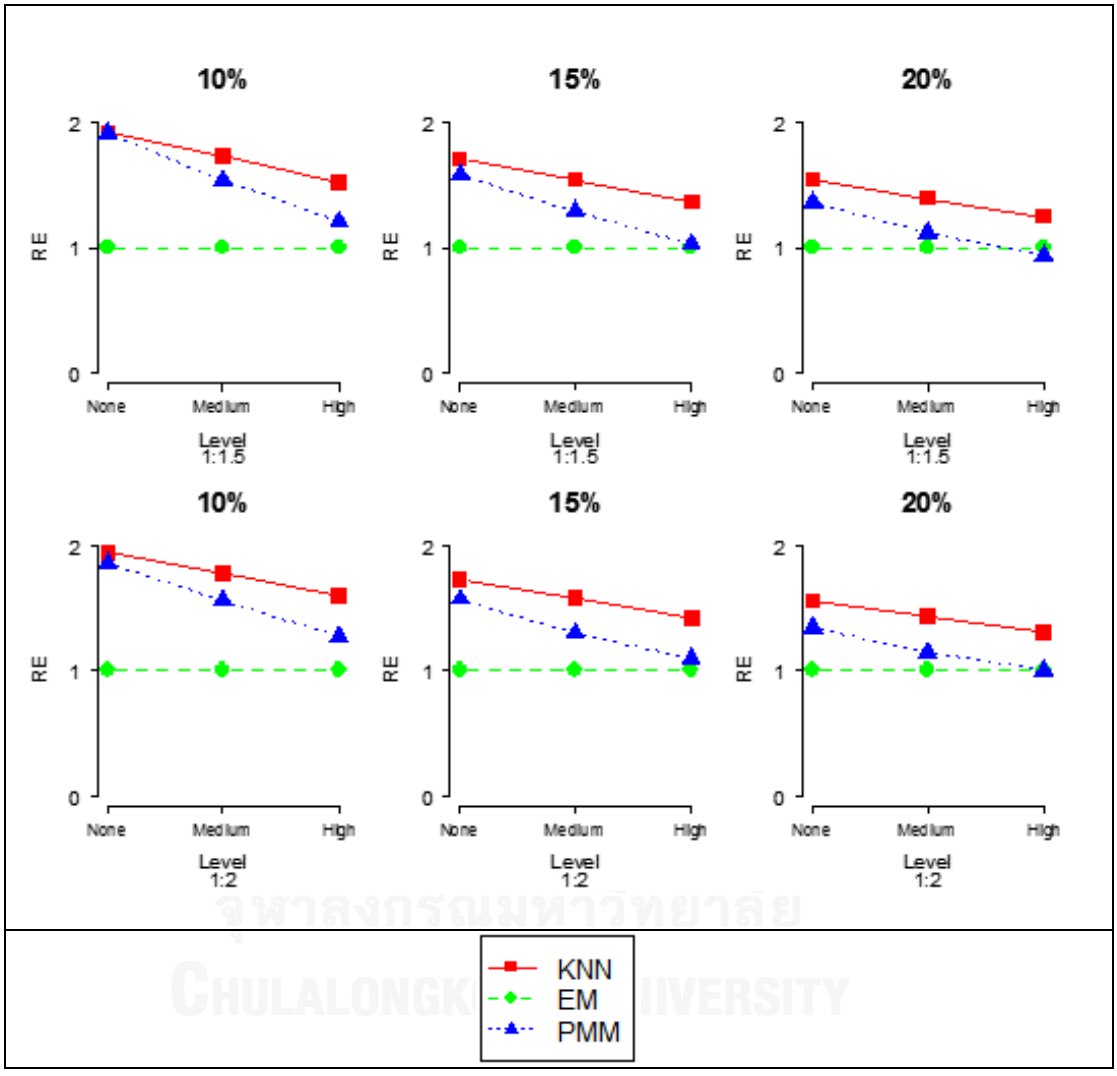


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>ภาพที่ 4.1.4.2</u> แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

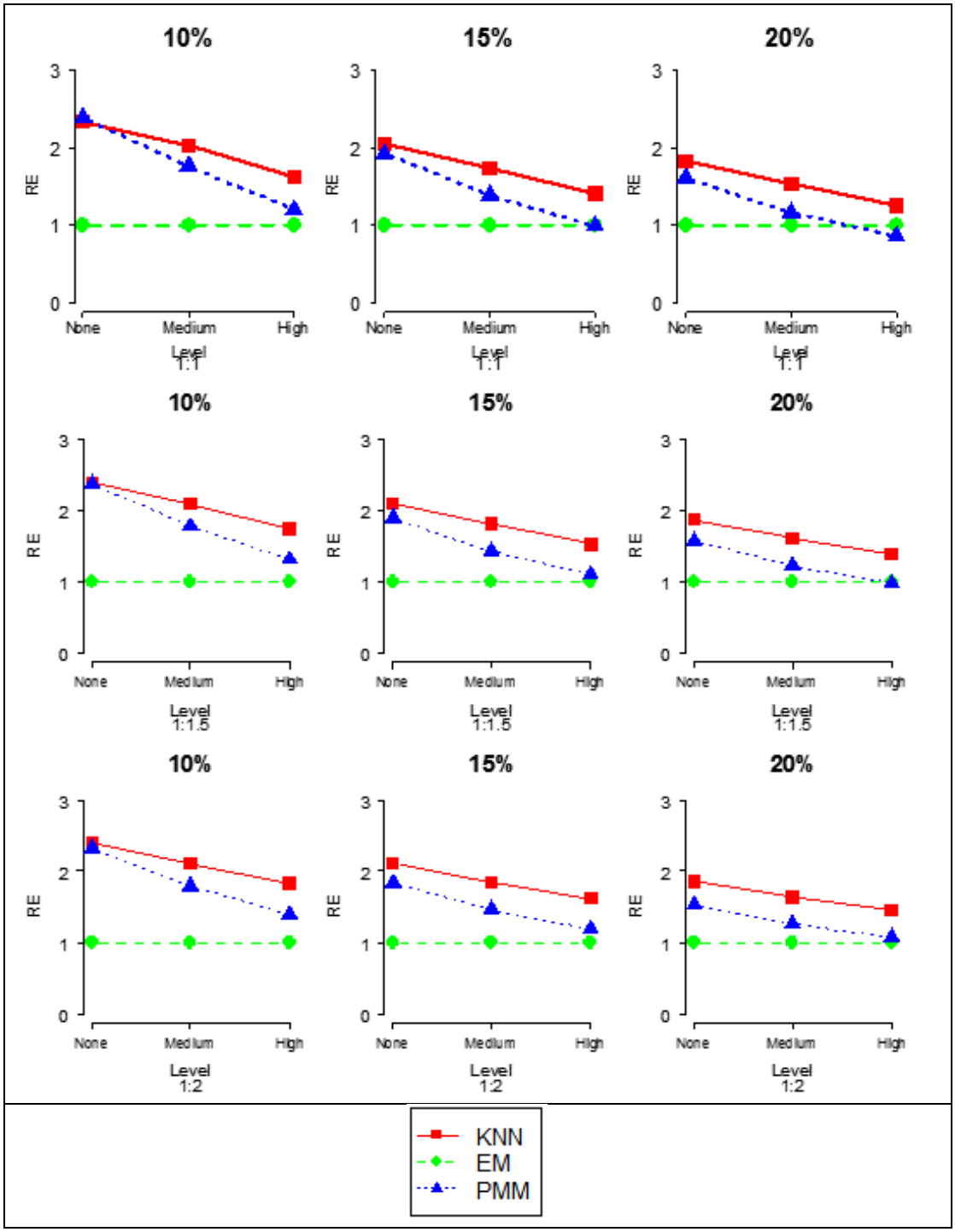


ภาพที่ 4.1.4.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

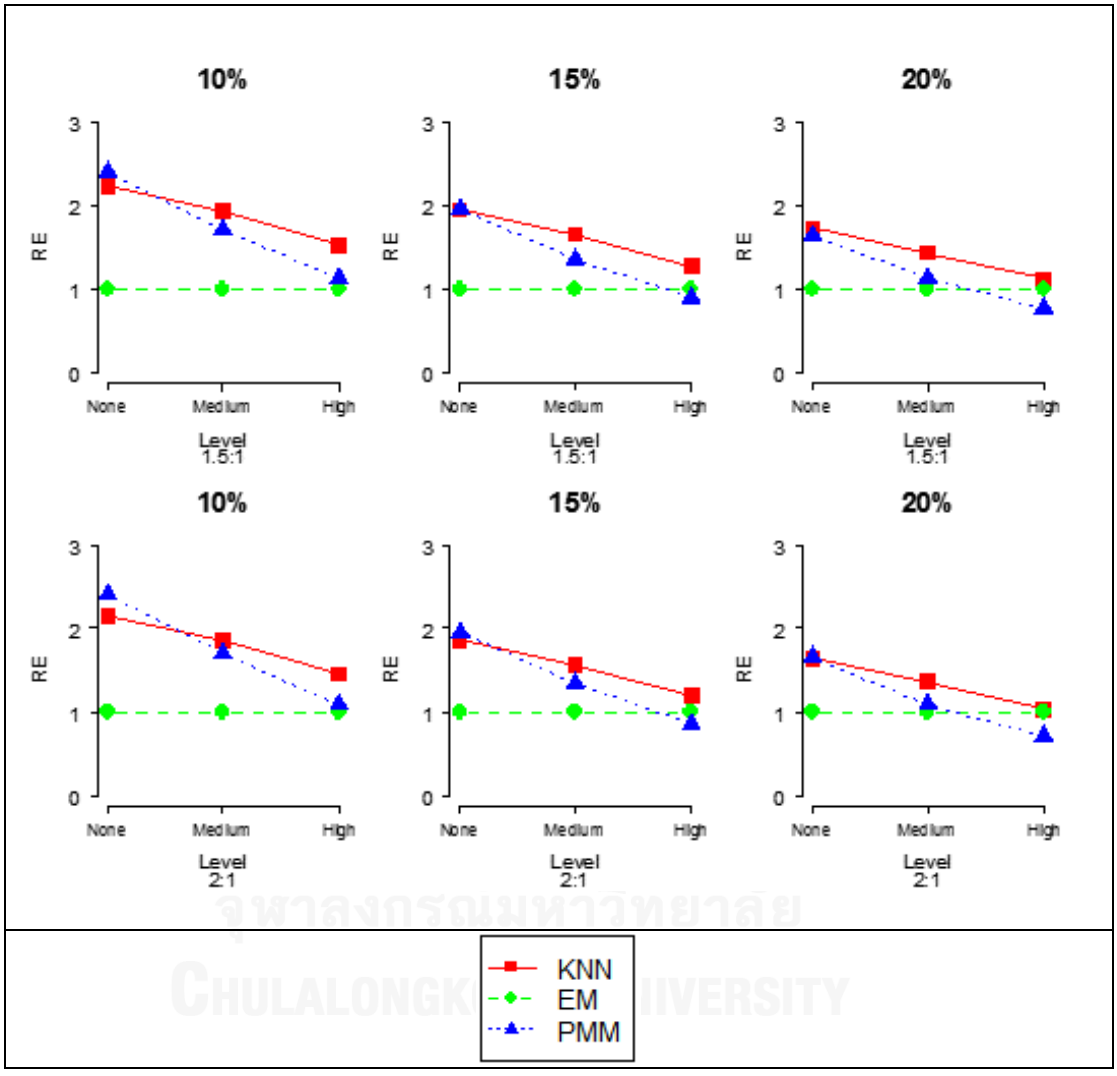


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

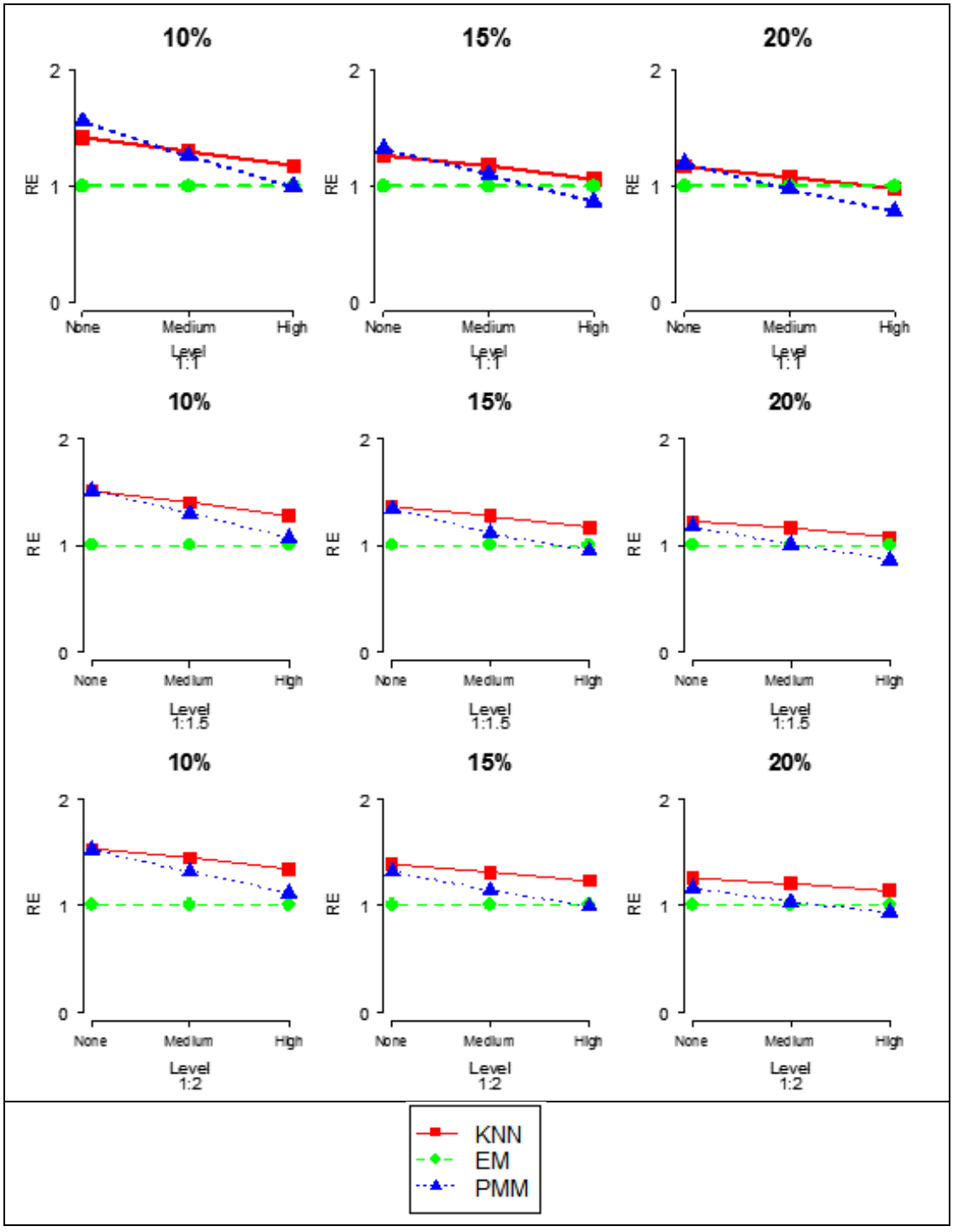


ภาพที่ 4.1.4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

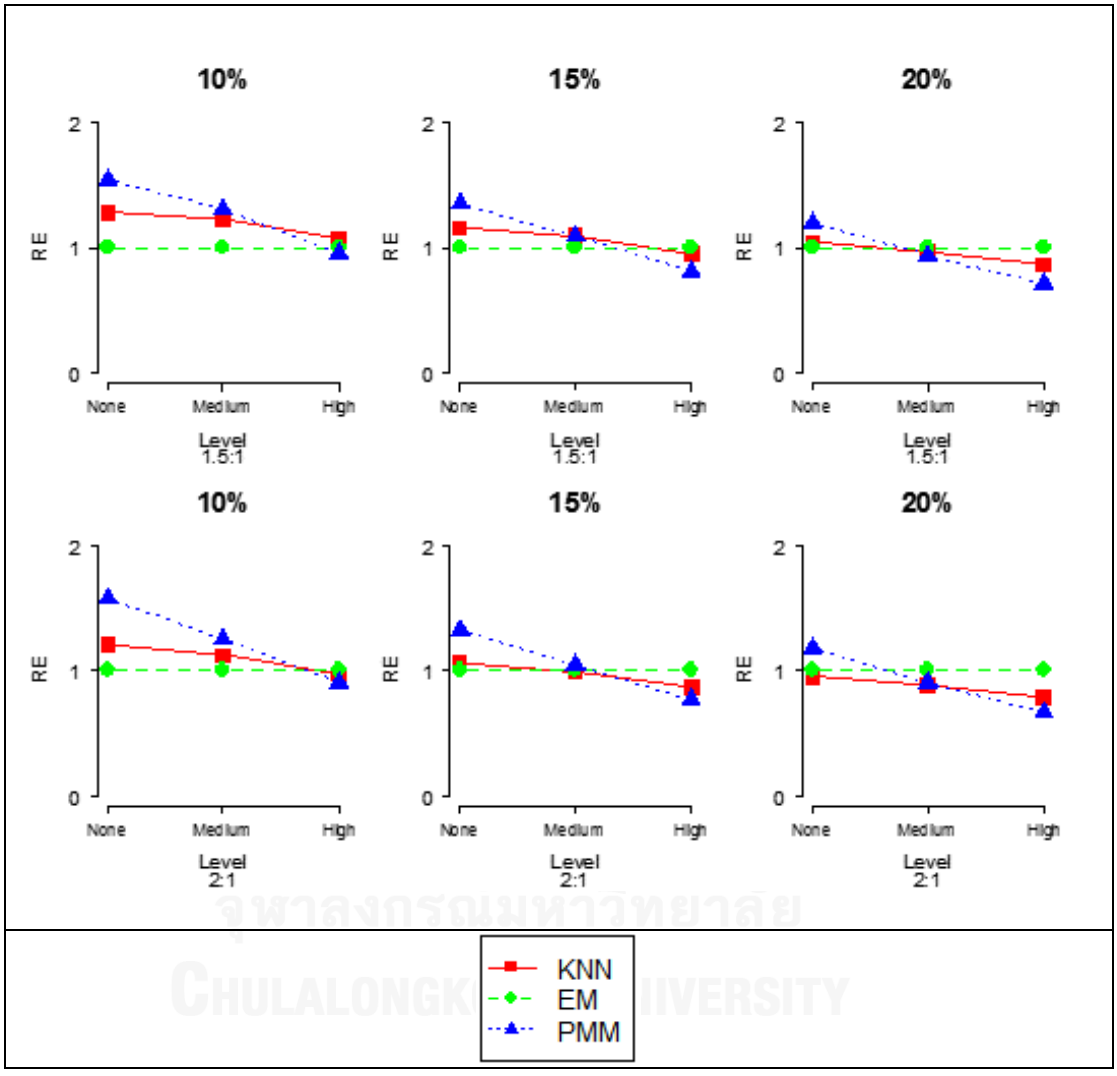


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

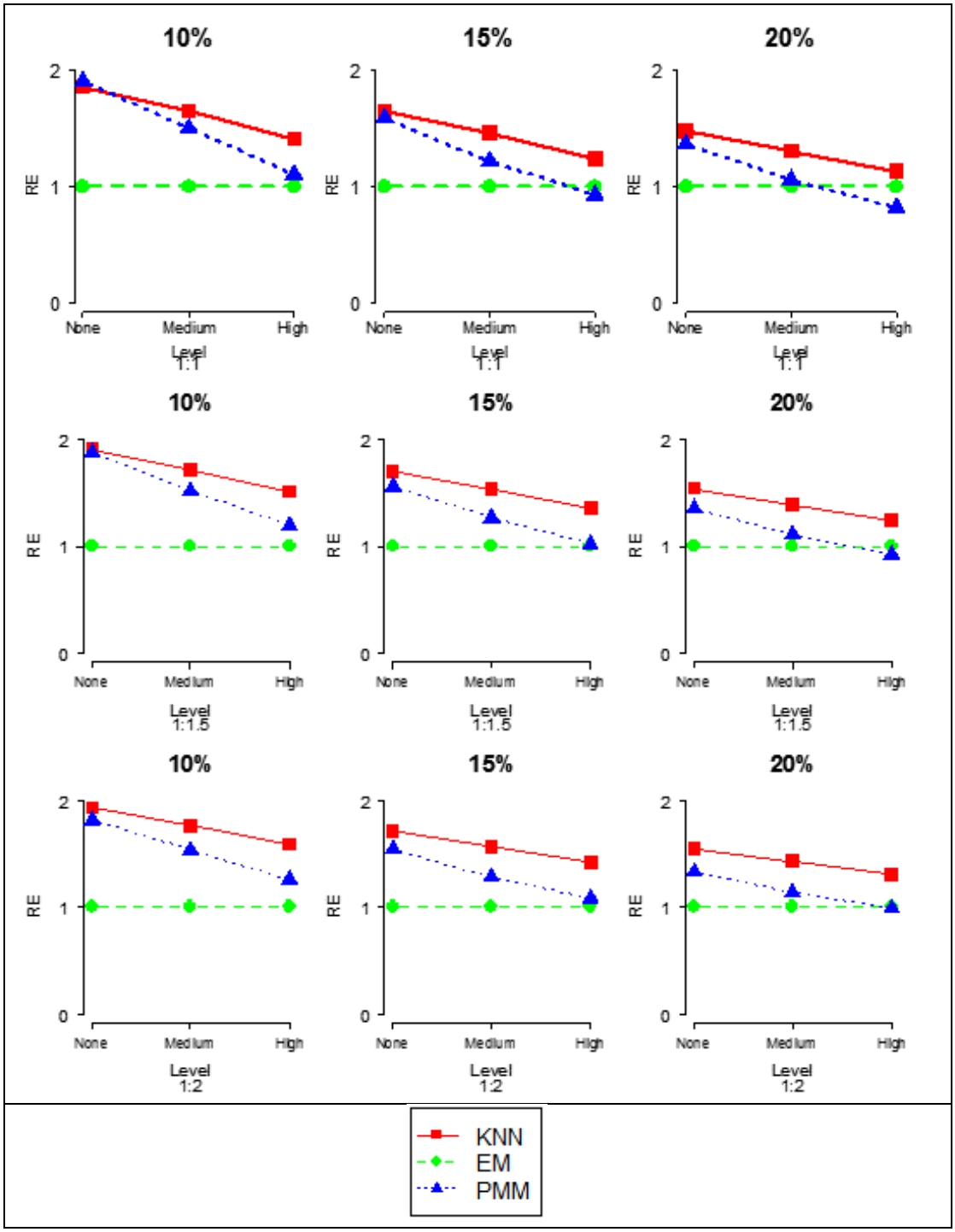


ภาพที่ 4.1.5.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

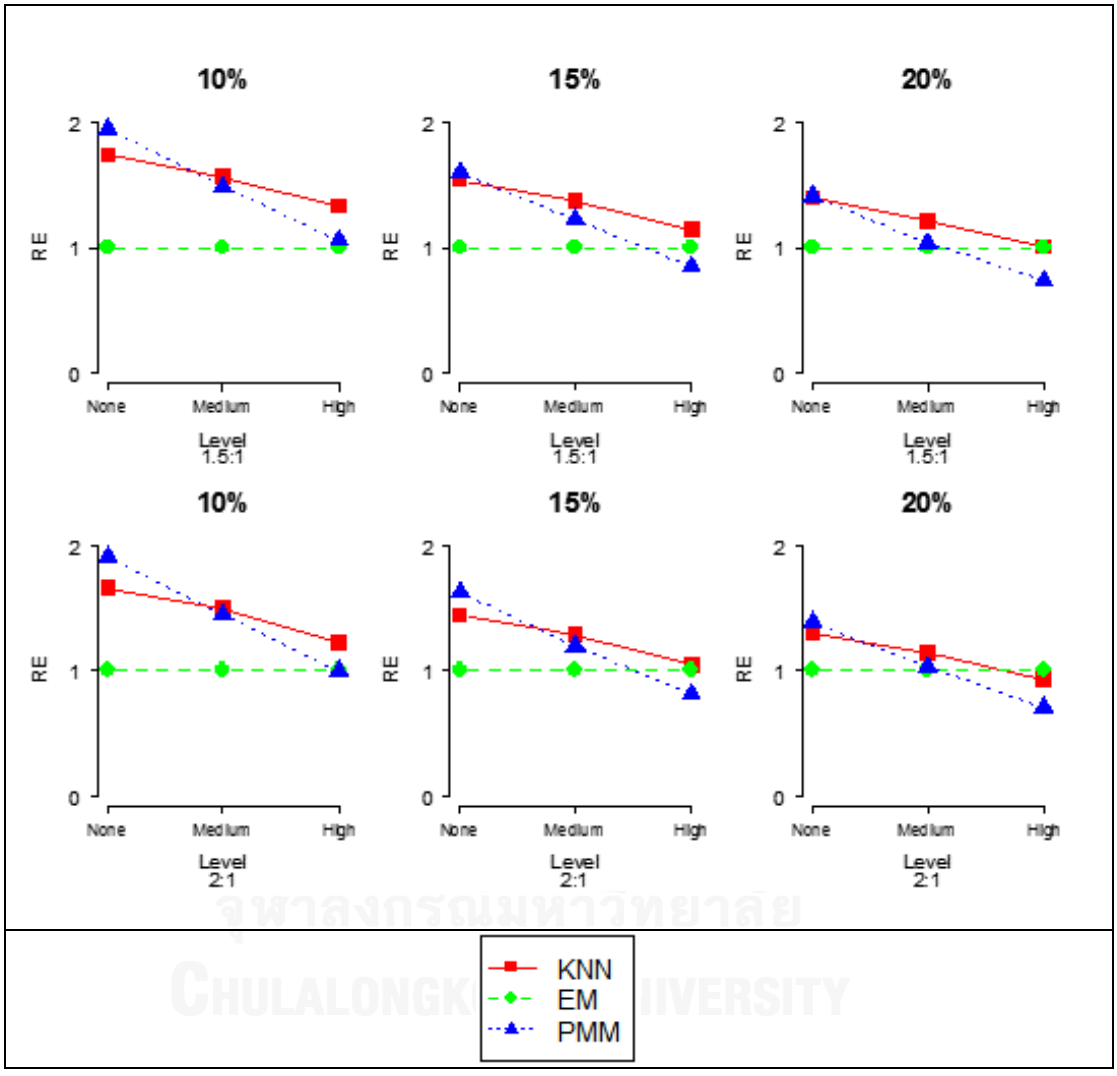


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

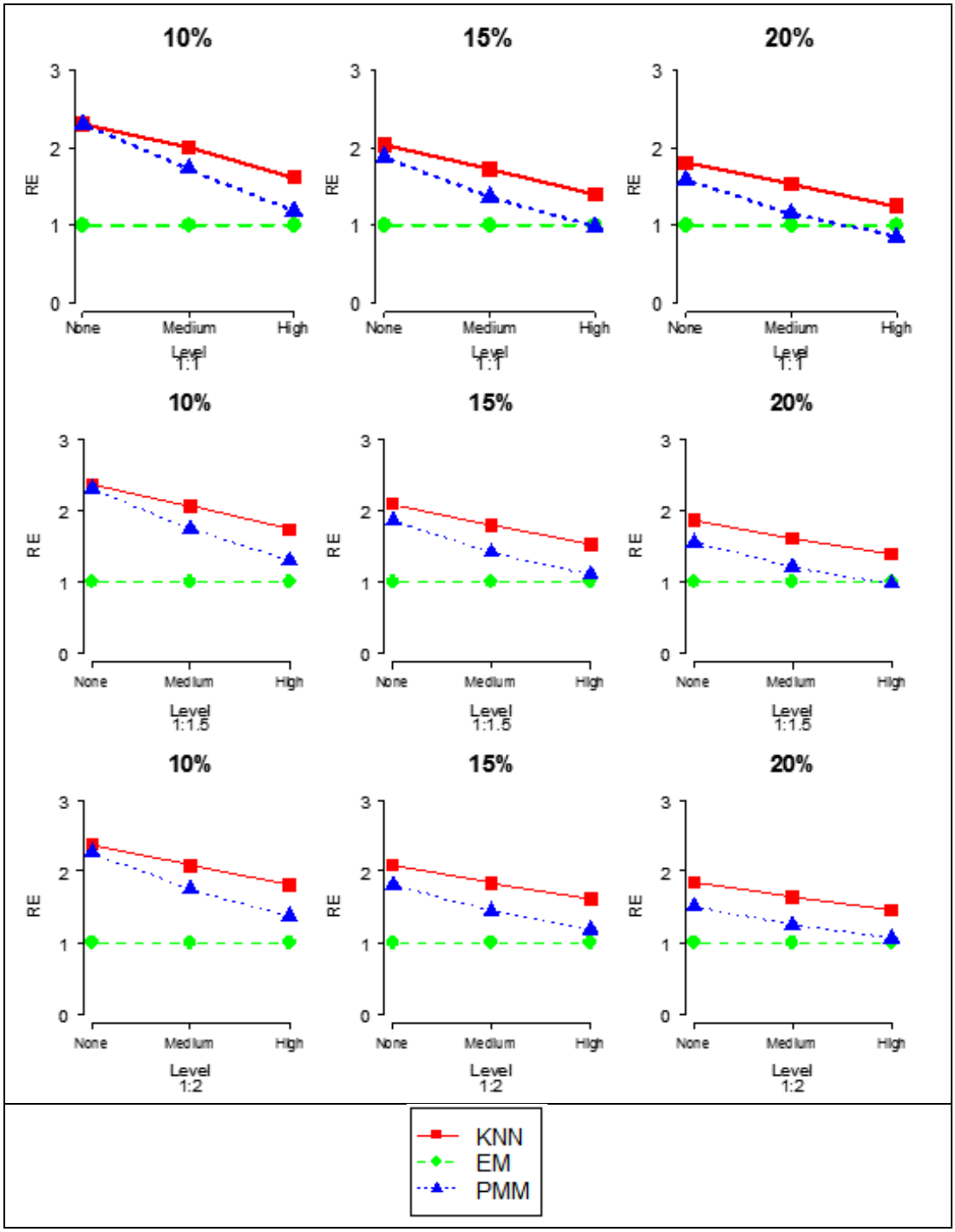


ภาพที่ 4.1.5.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

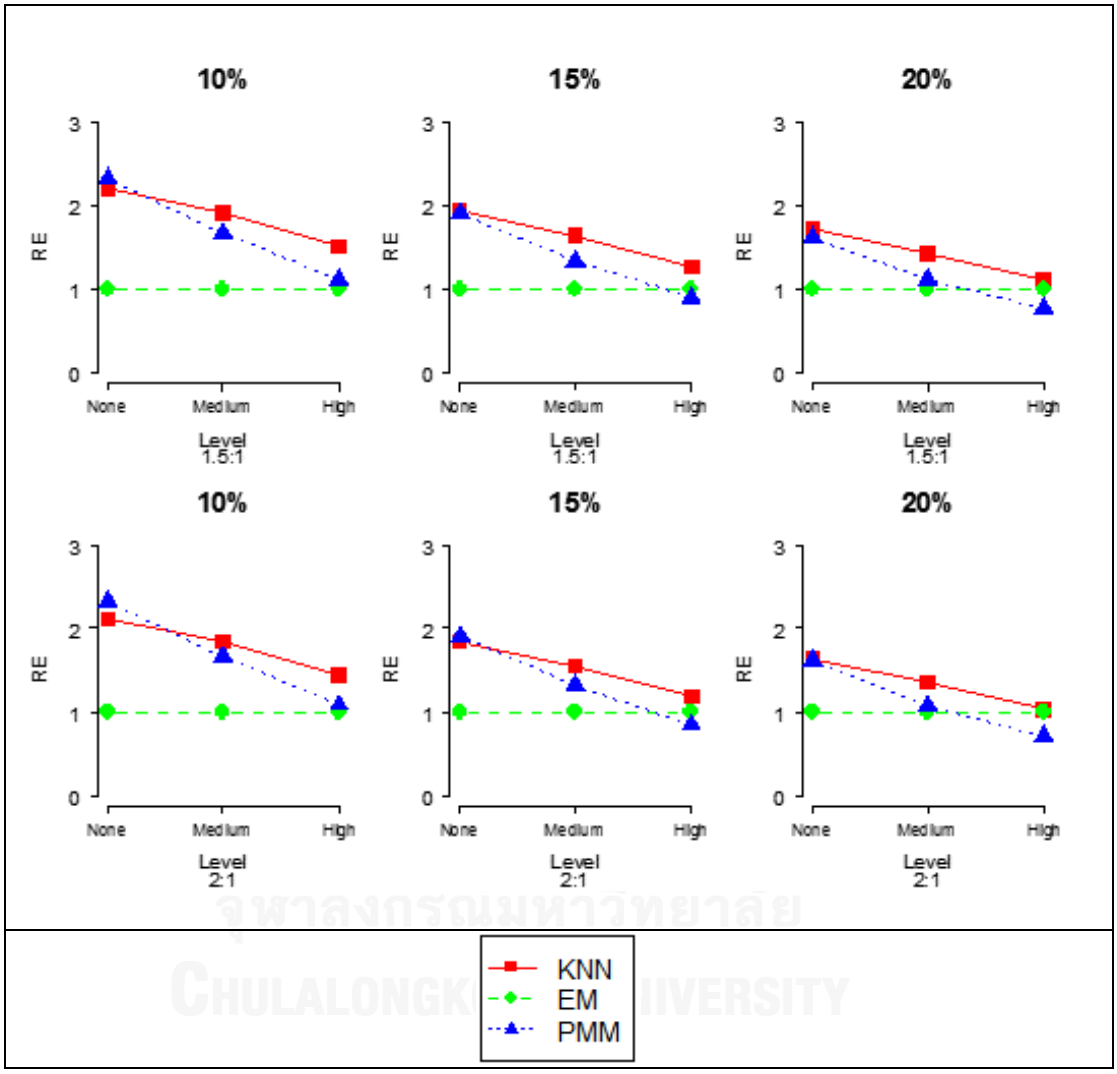


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

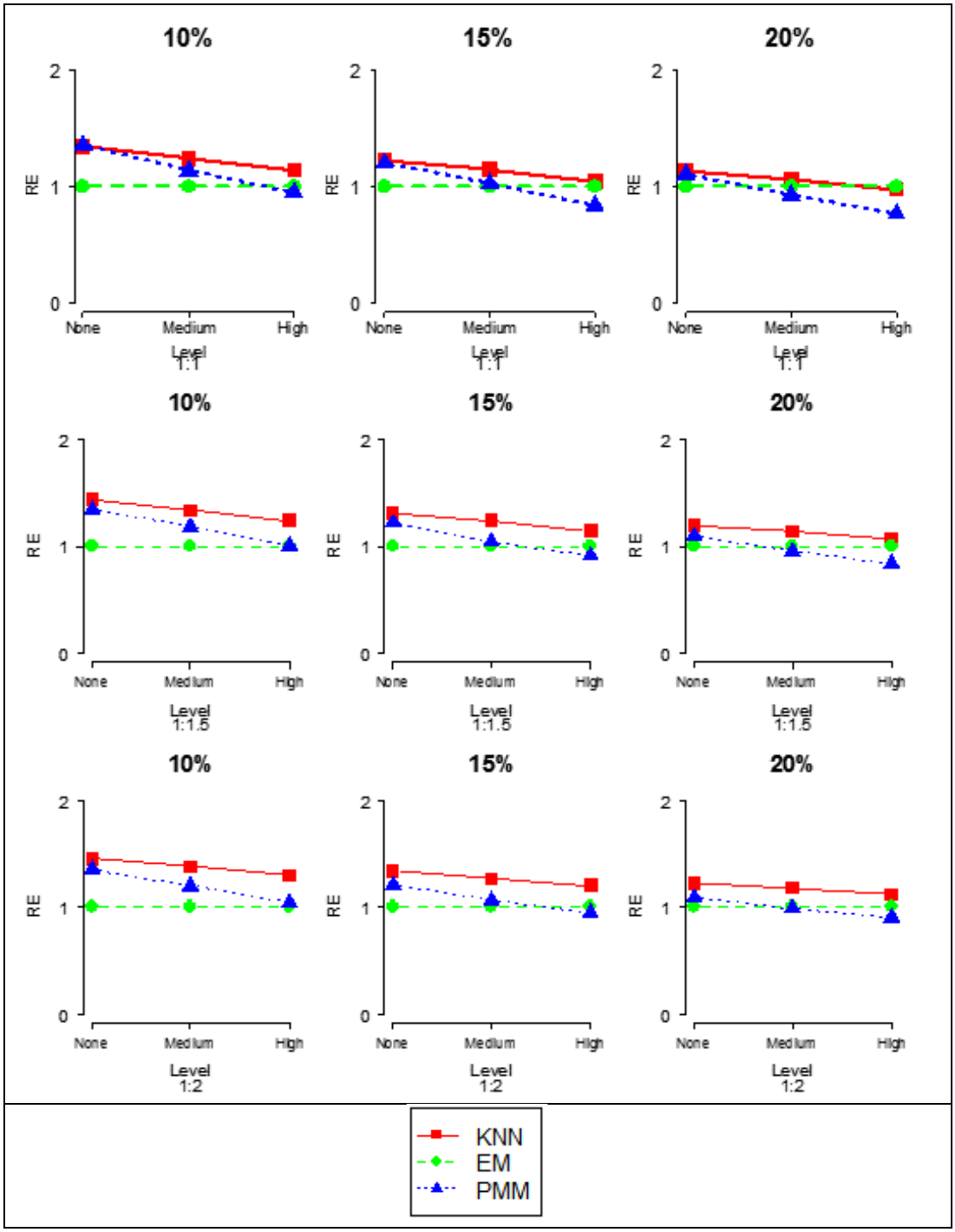


ภาพที่ 4.1.5.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

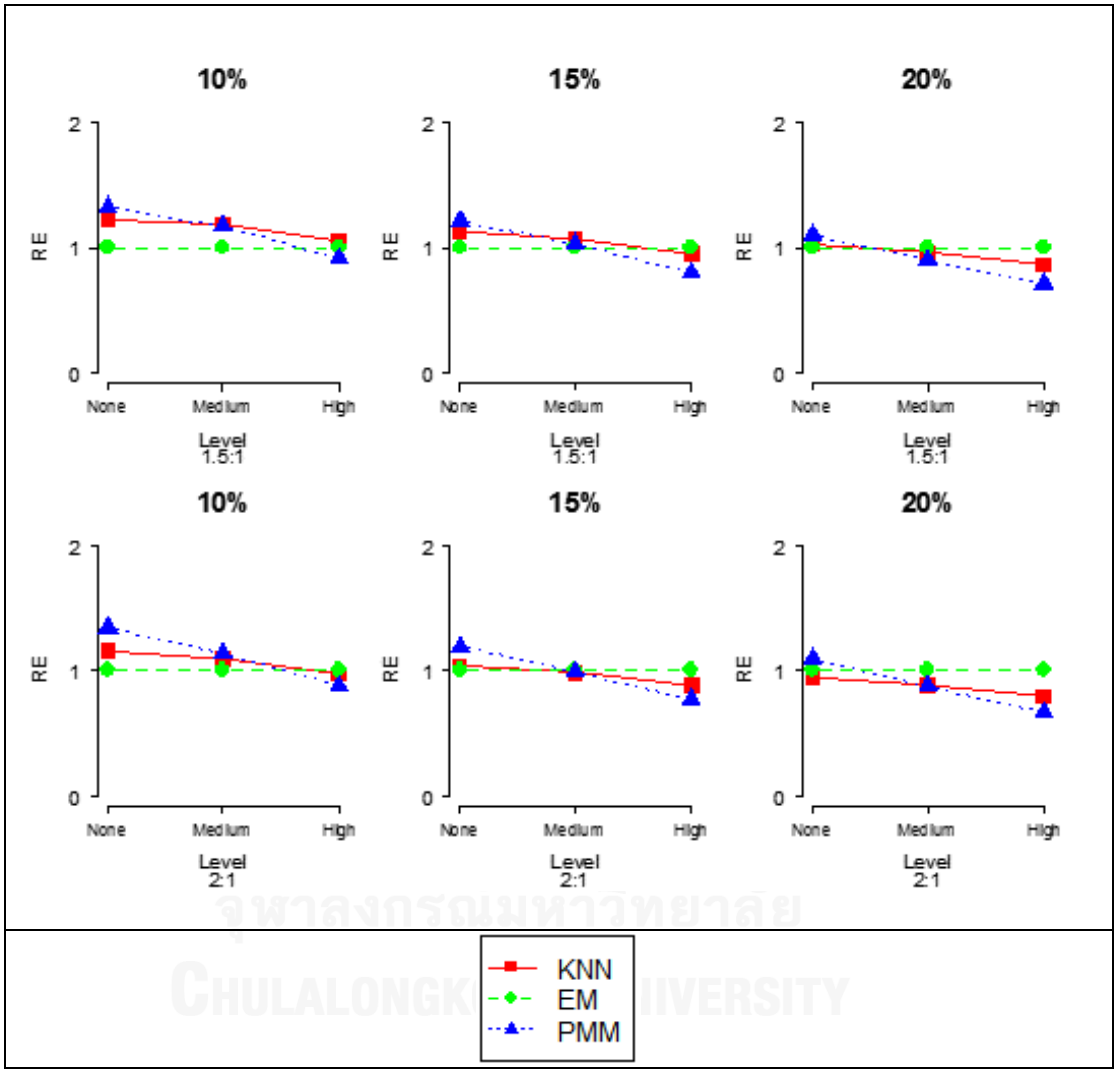


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

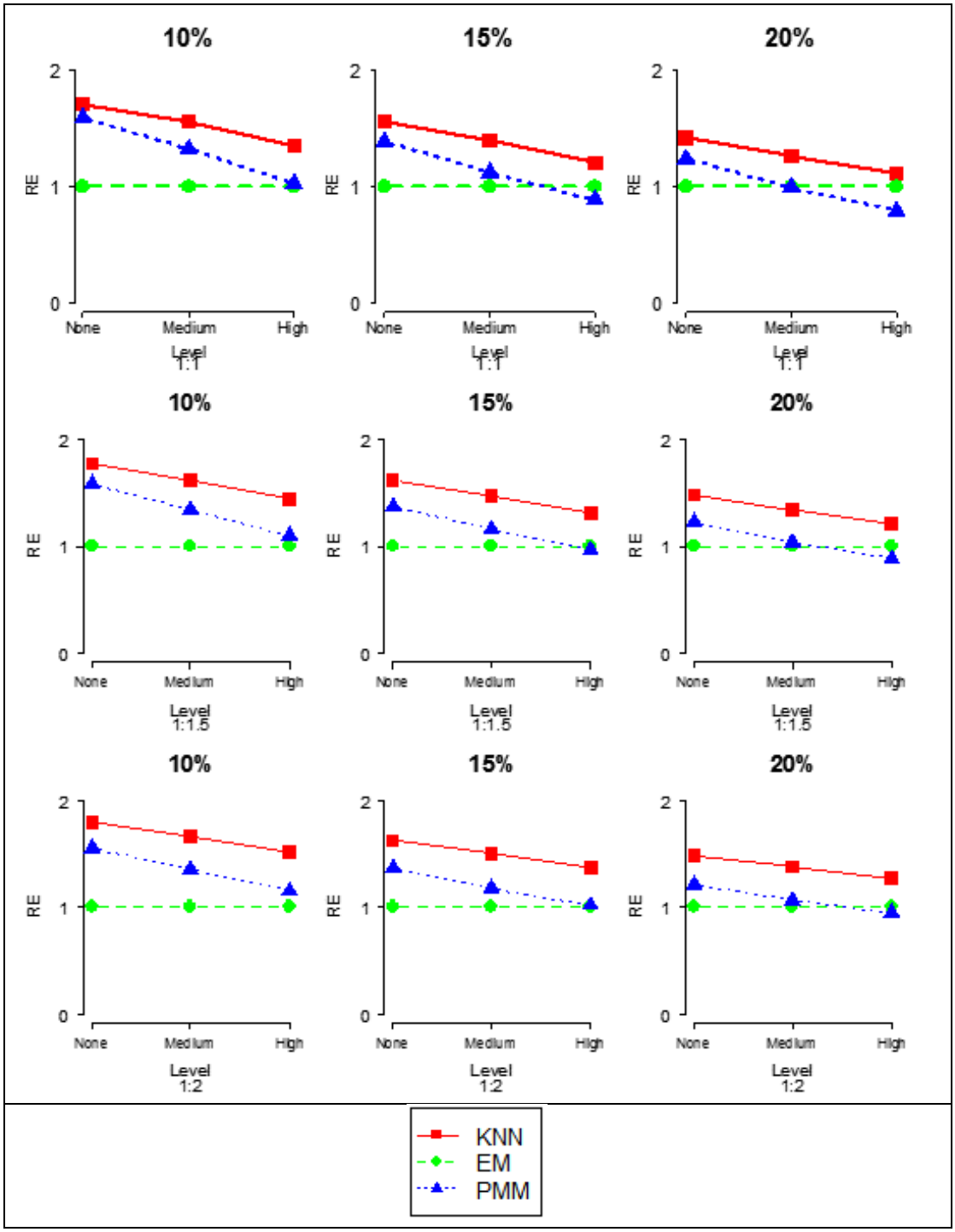


ภาพที่ 4.1.6.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

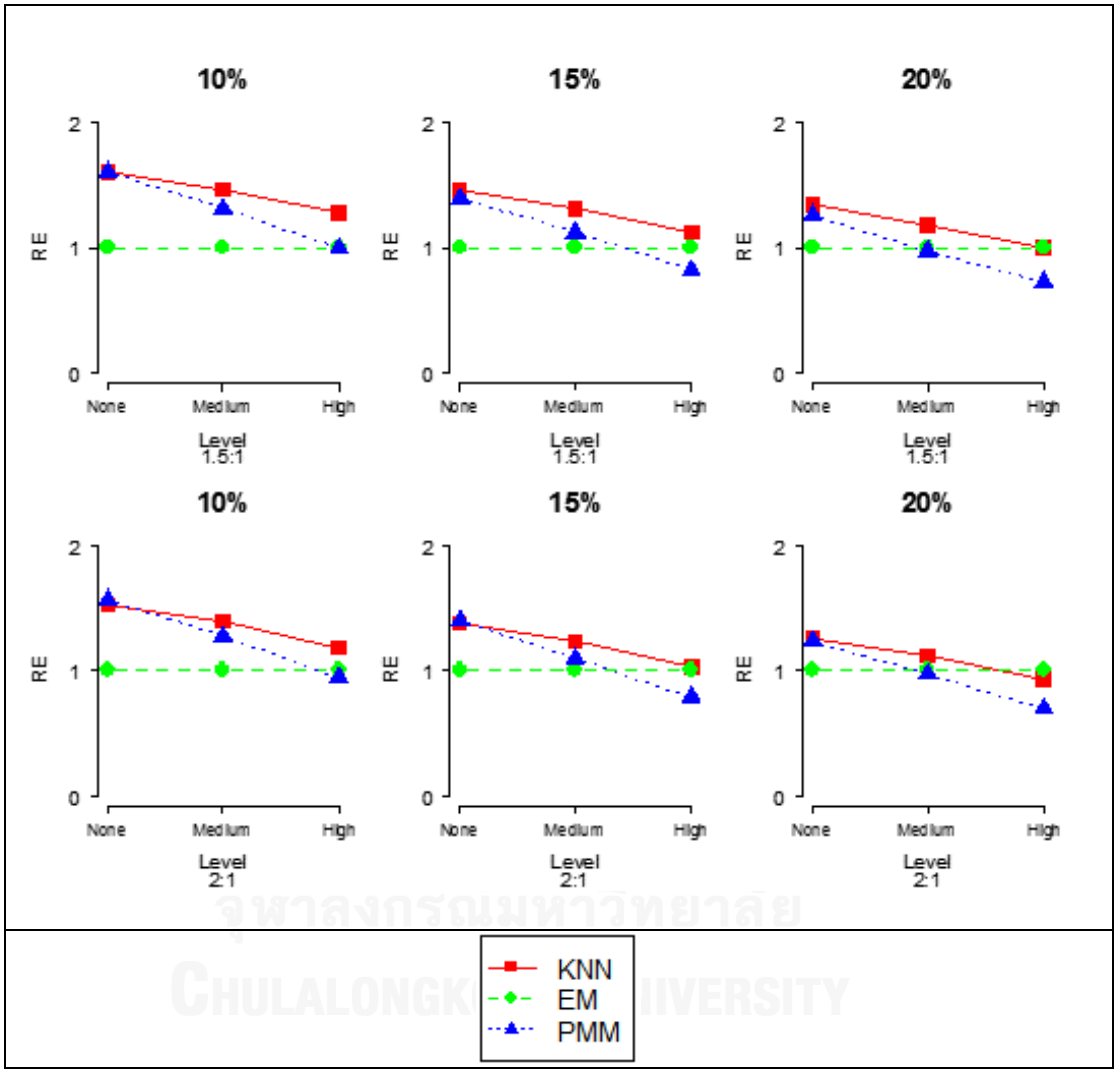


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

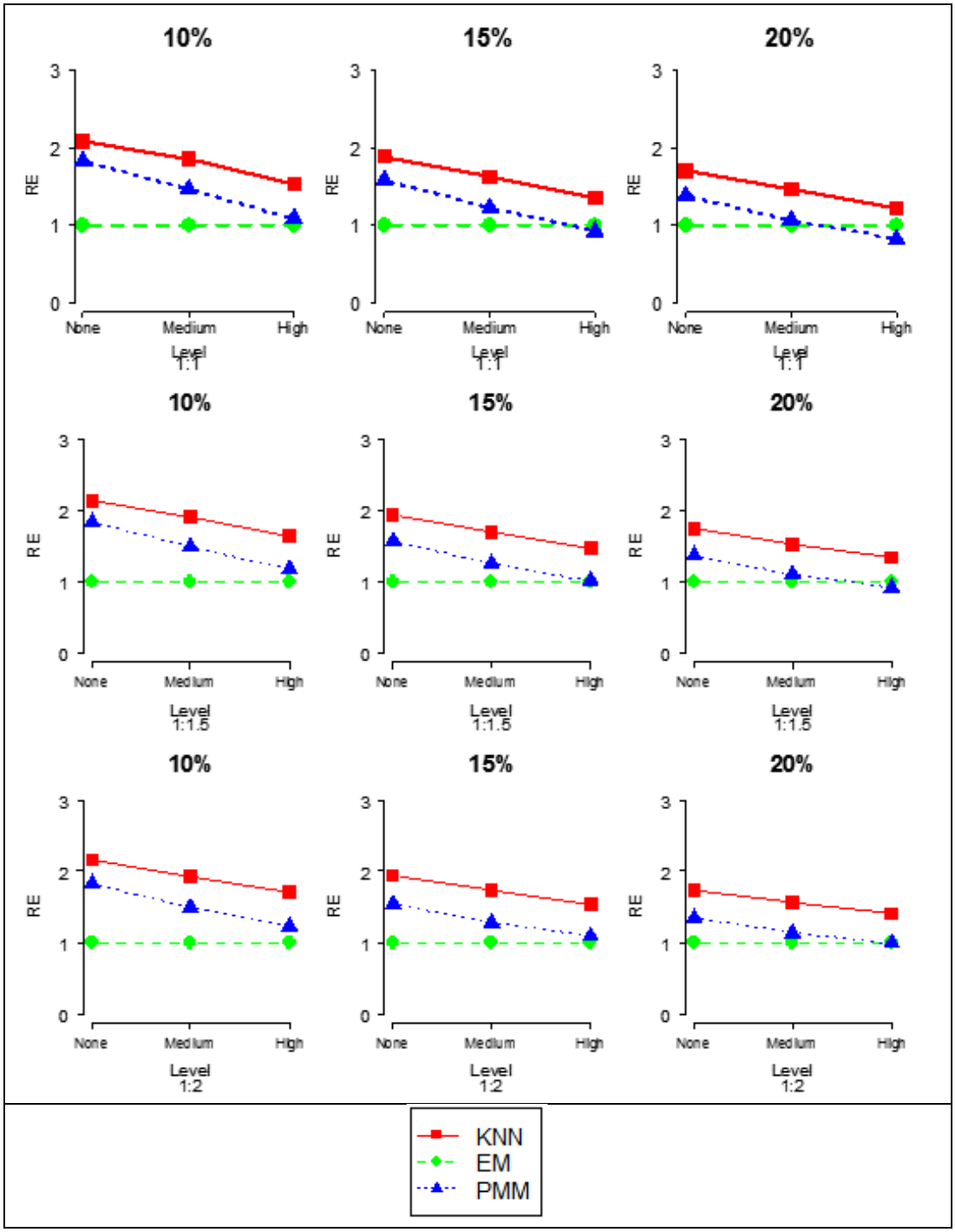


ภาพที่ 4.1.6.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

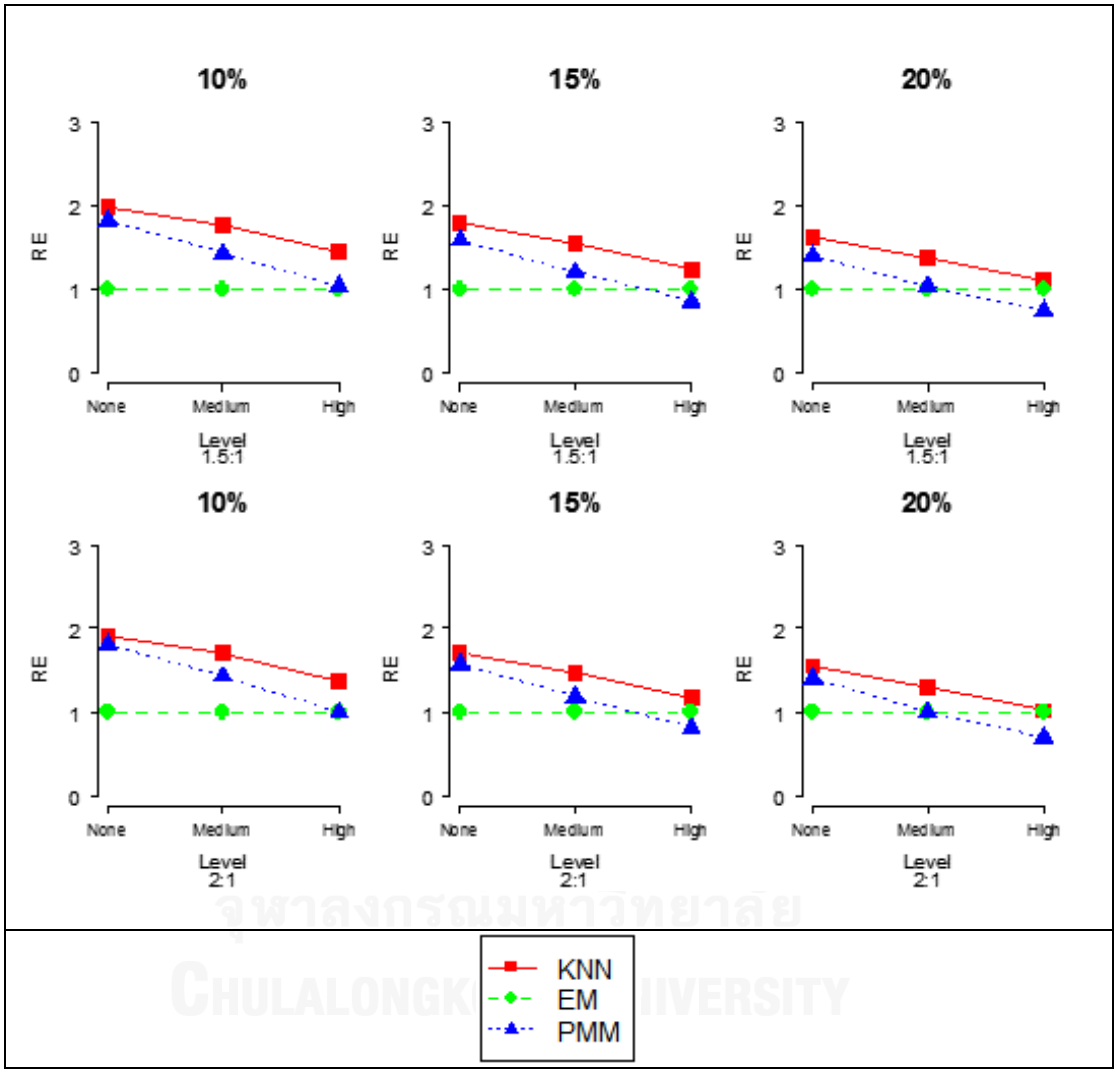


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

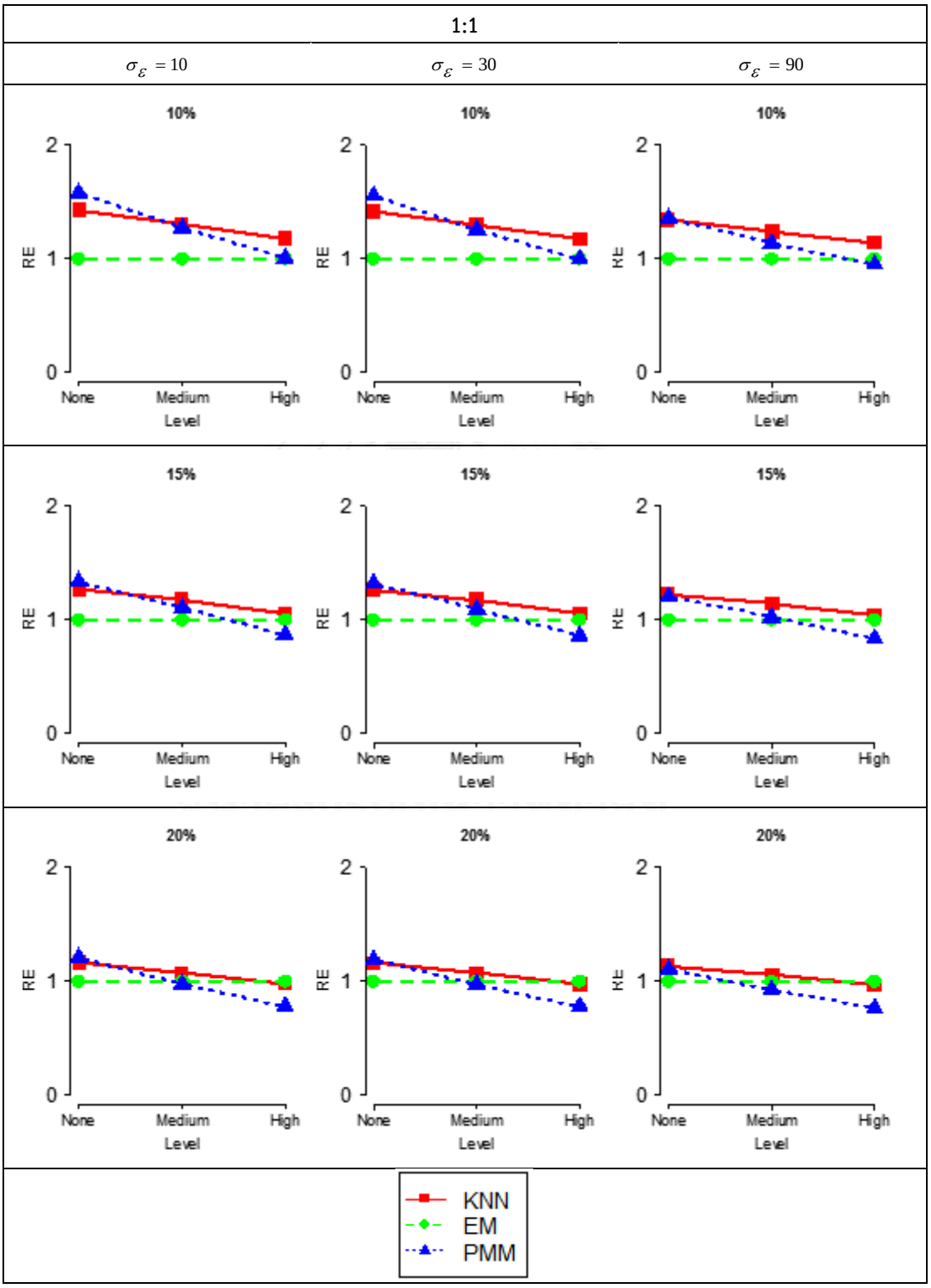


ภาพที่ 4.1.6.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

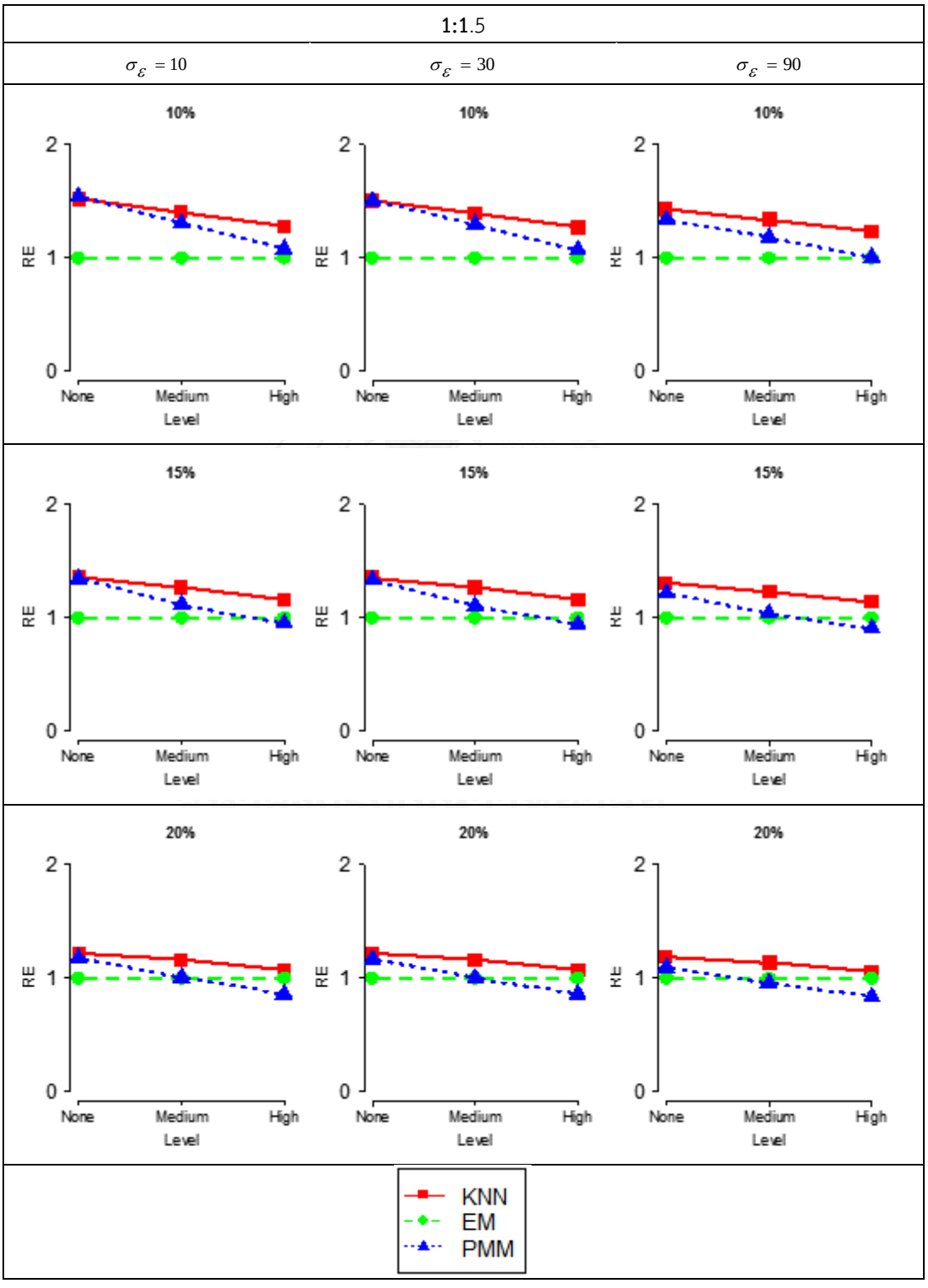


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

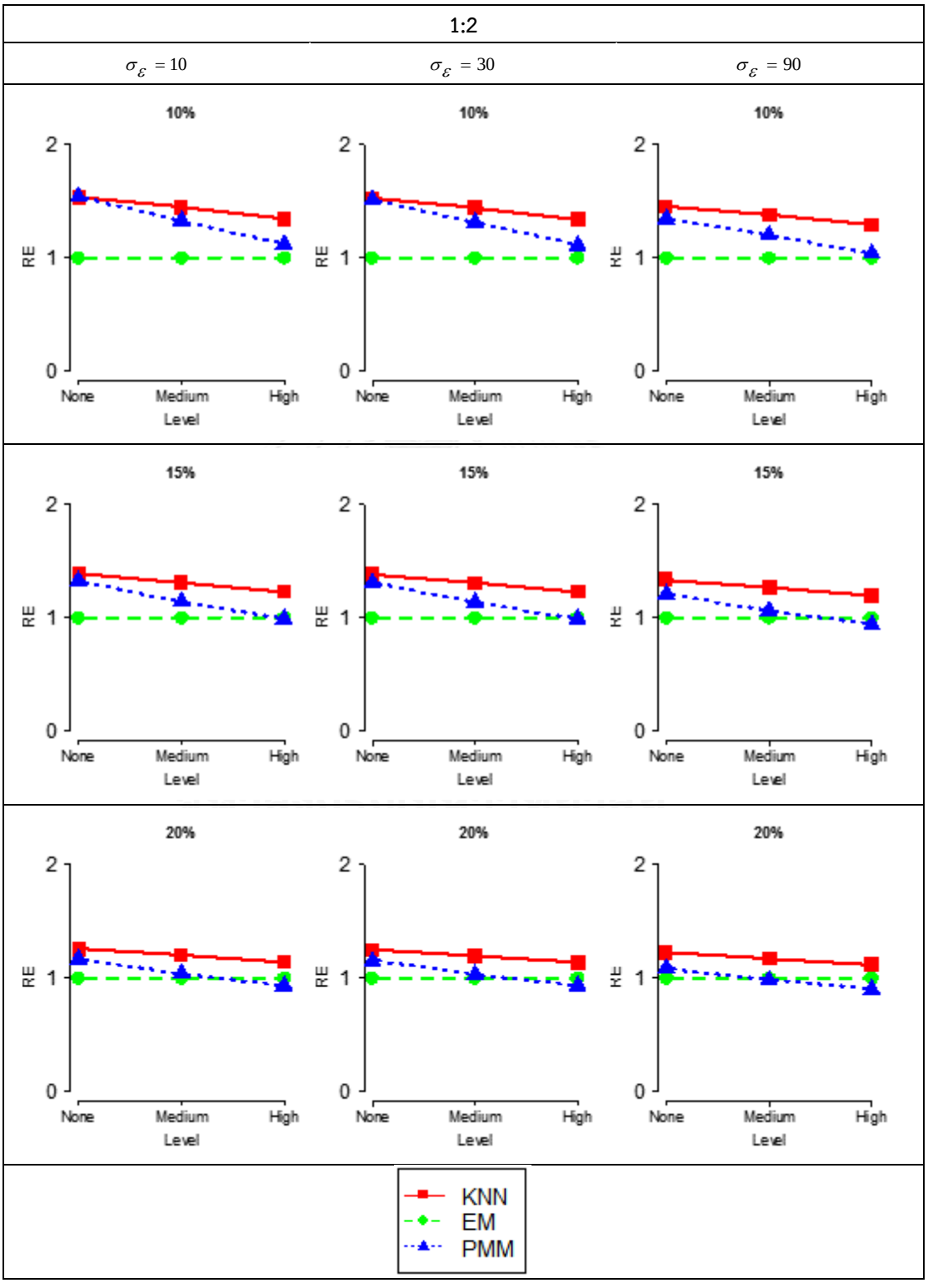
ภาพที่ 4.1.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



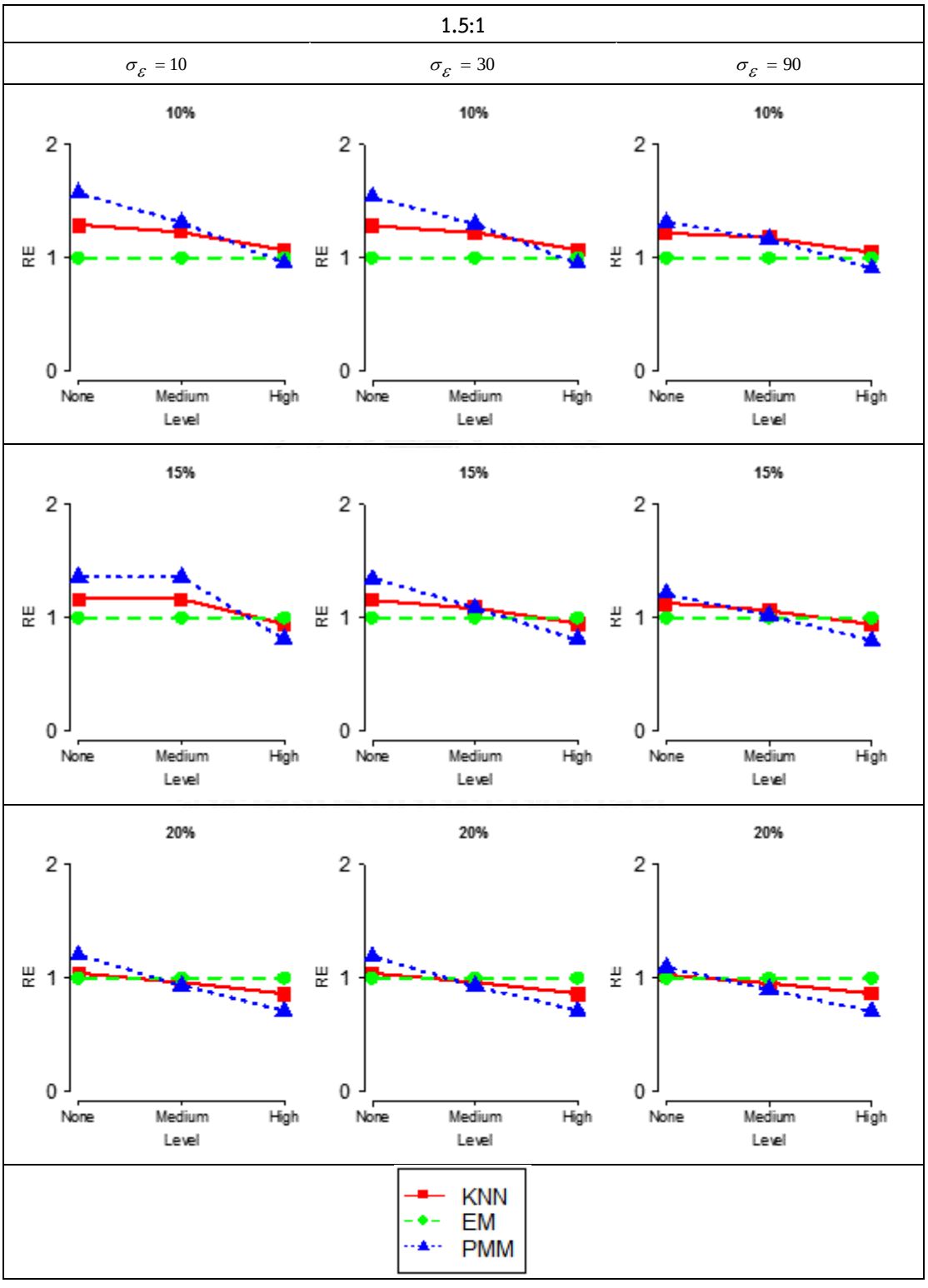
ภาพที่ 4.1.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



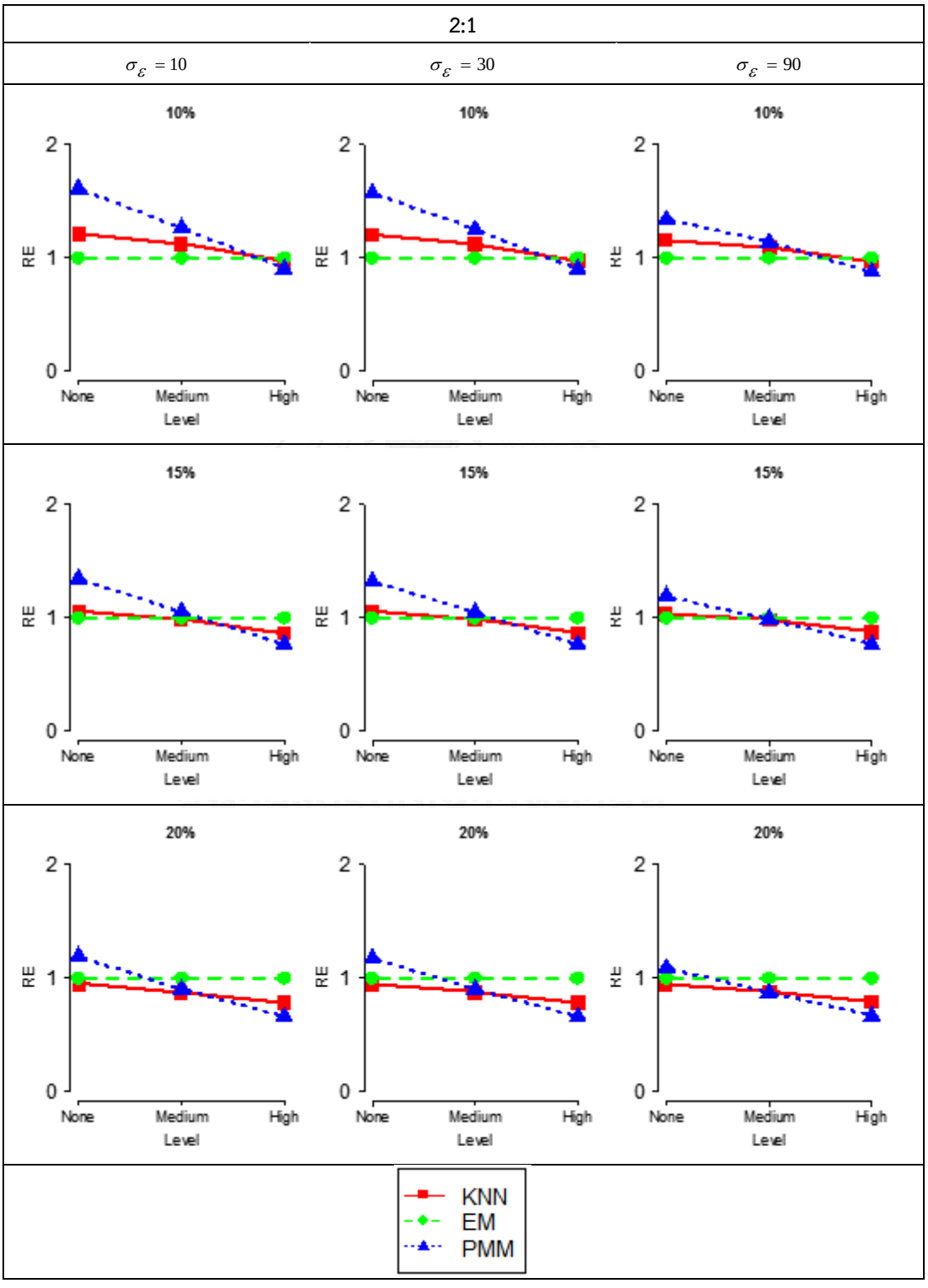
ภาพที่ 4.1.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



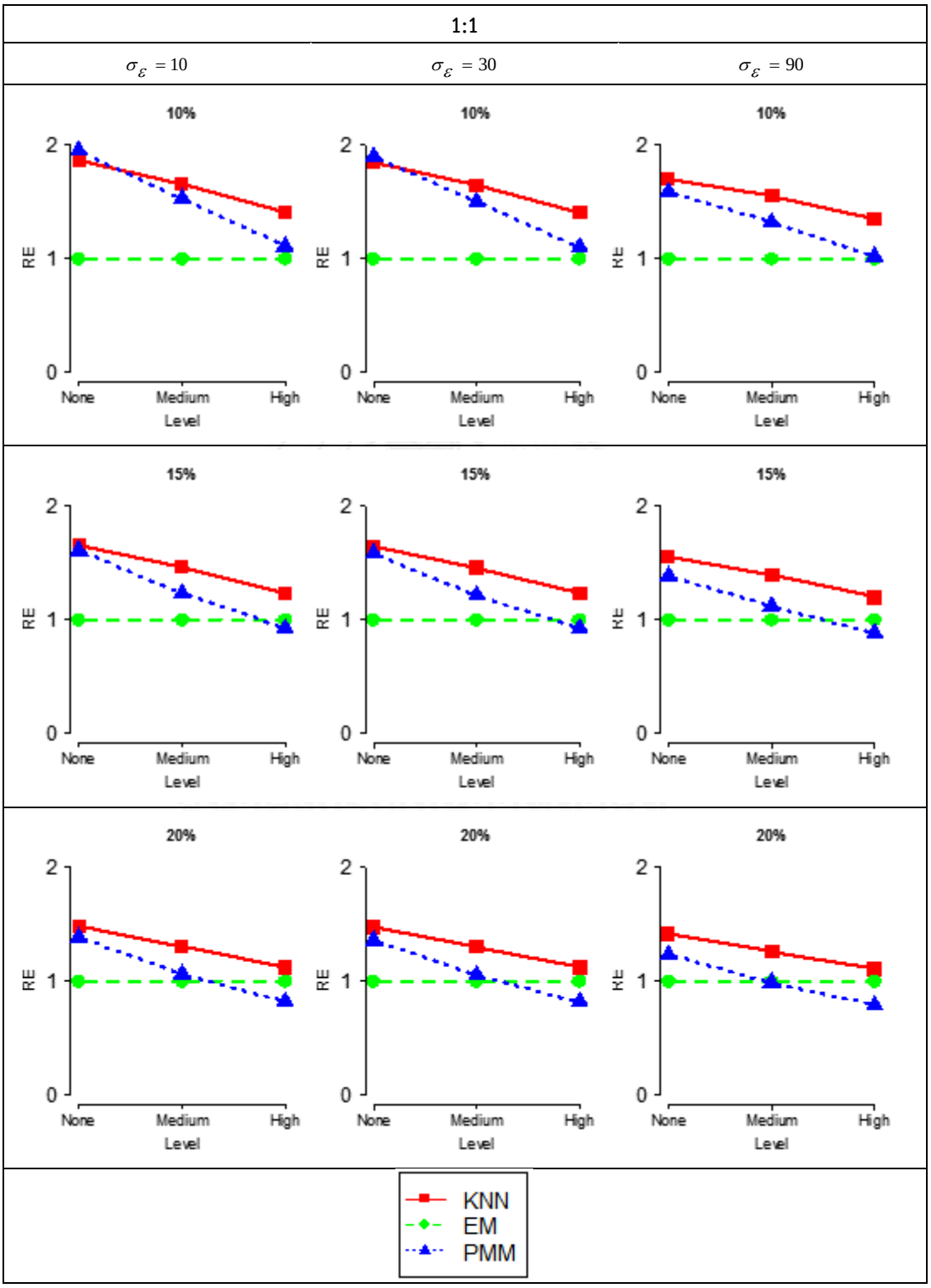
ภาพที่ 4.1.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



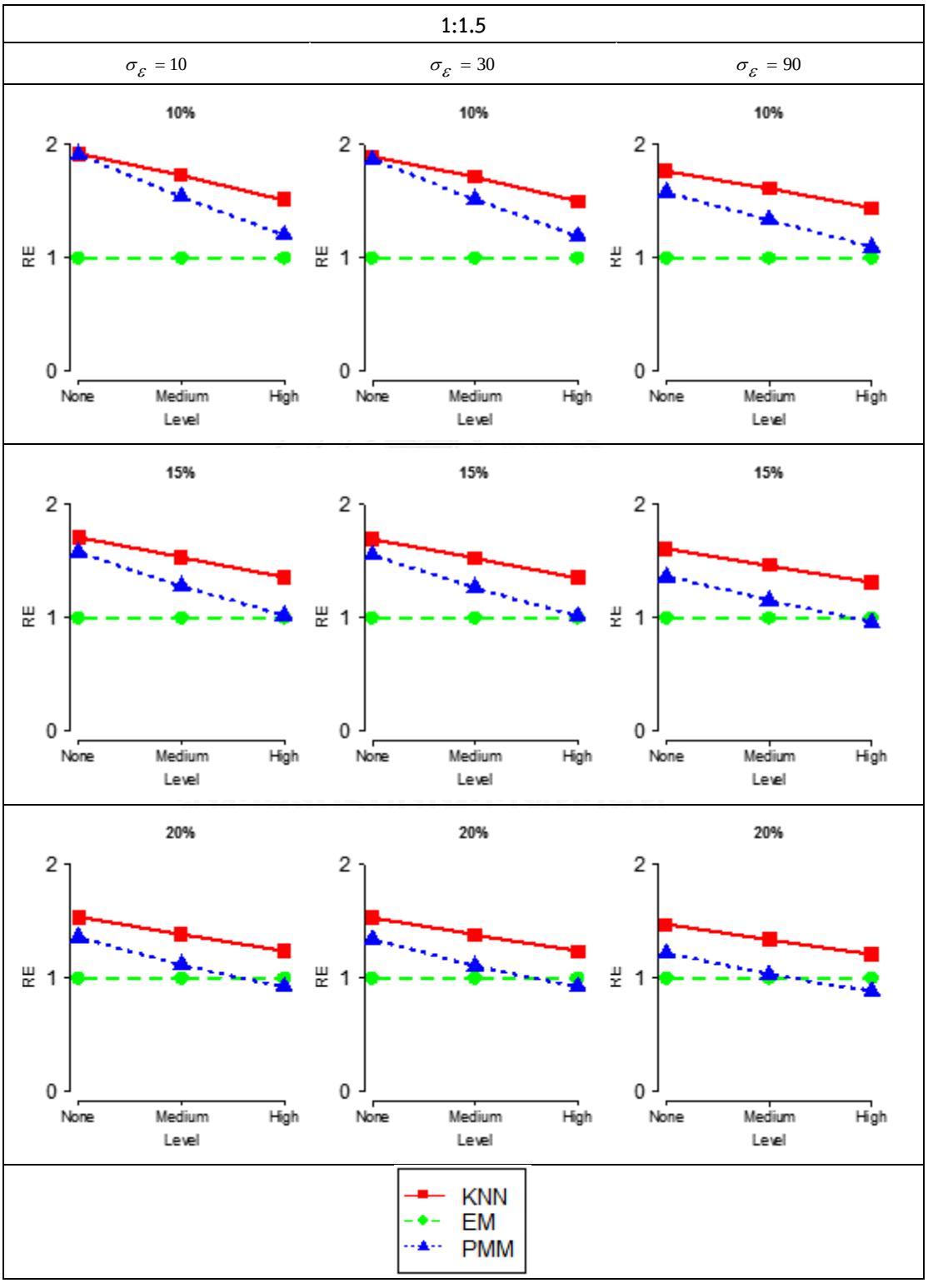
ภาพที่ 4.1.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



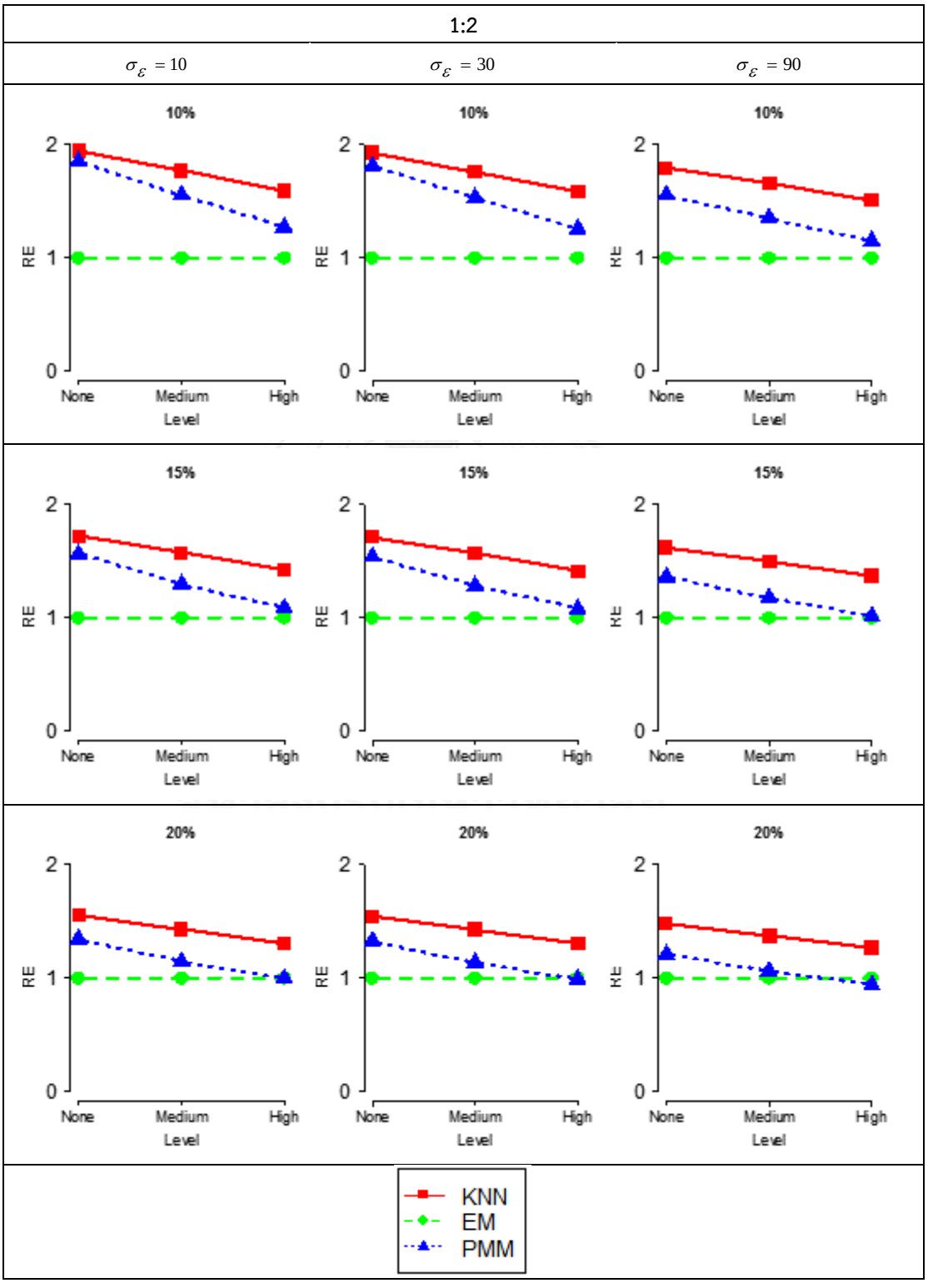
ภาพที่ 4.1.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



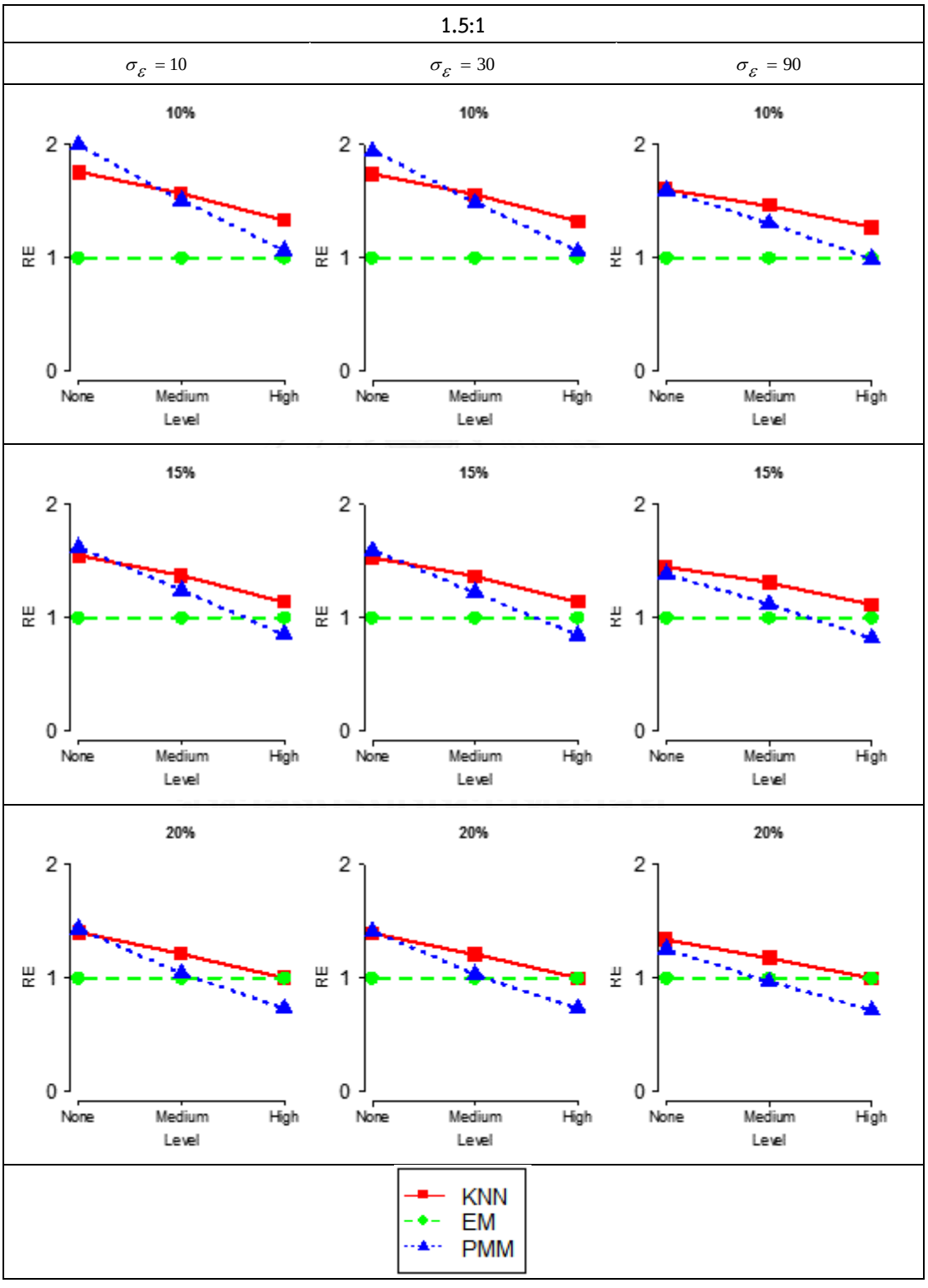
ภาพที่ 4.1.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



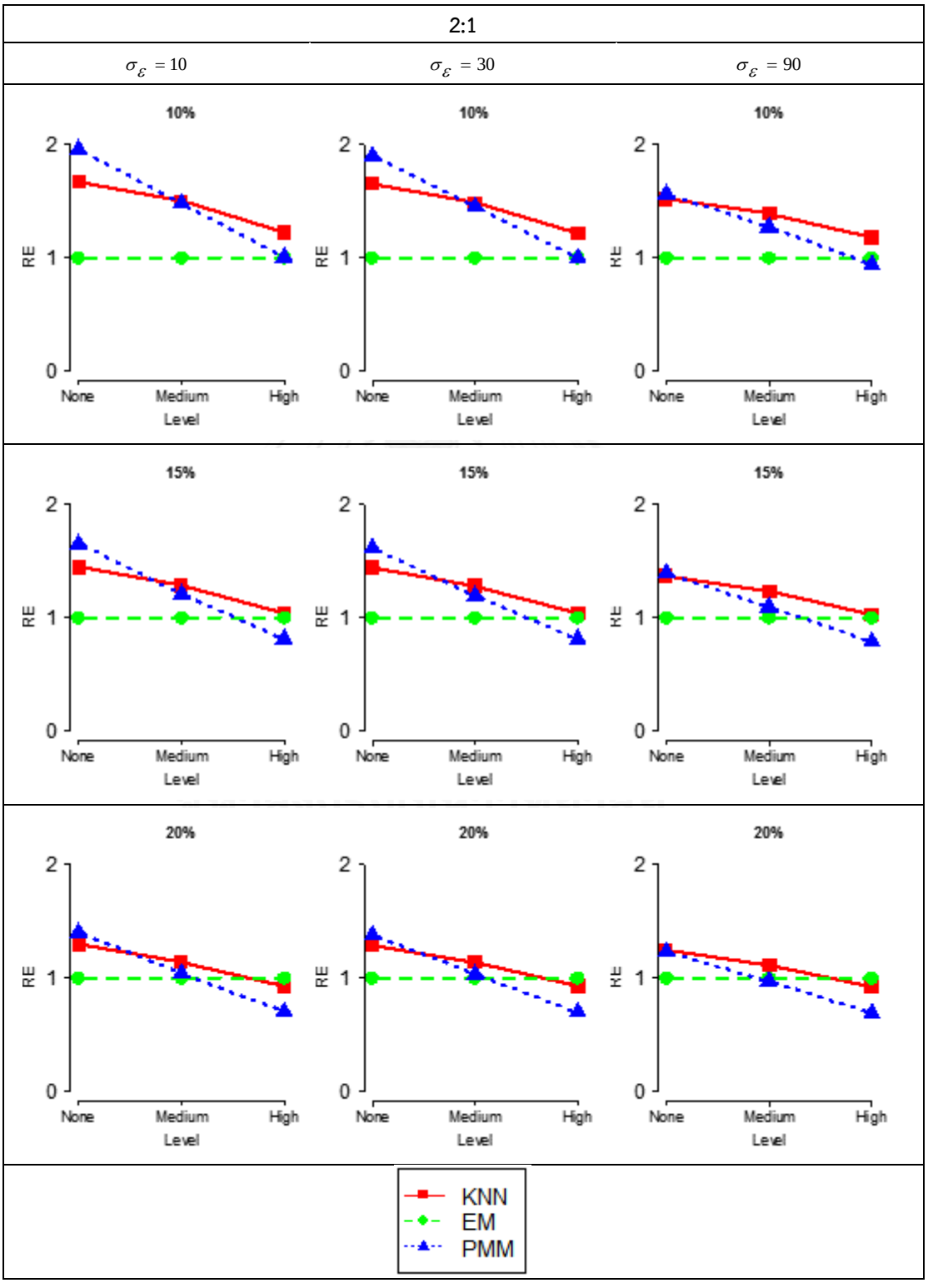
ภาพที่ 4.1.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



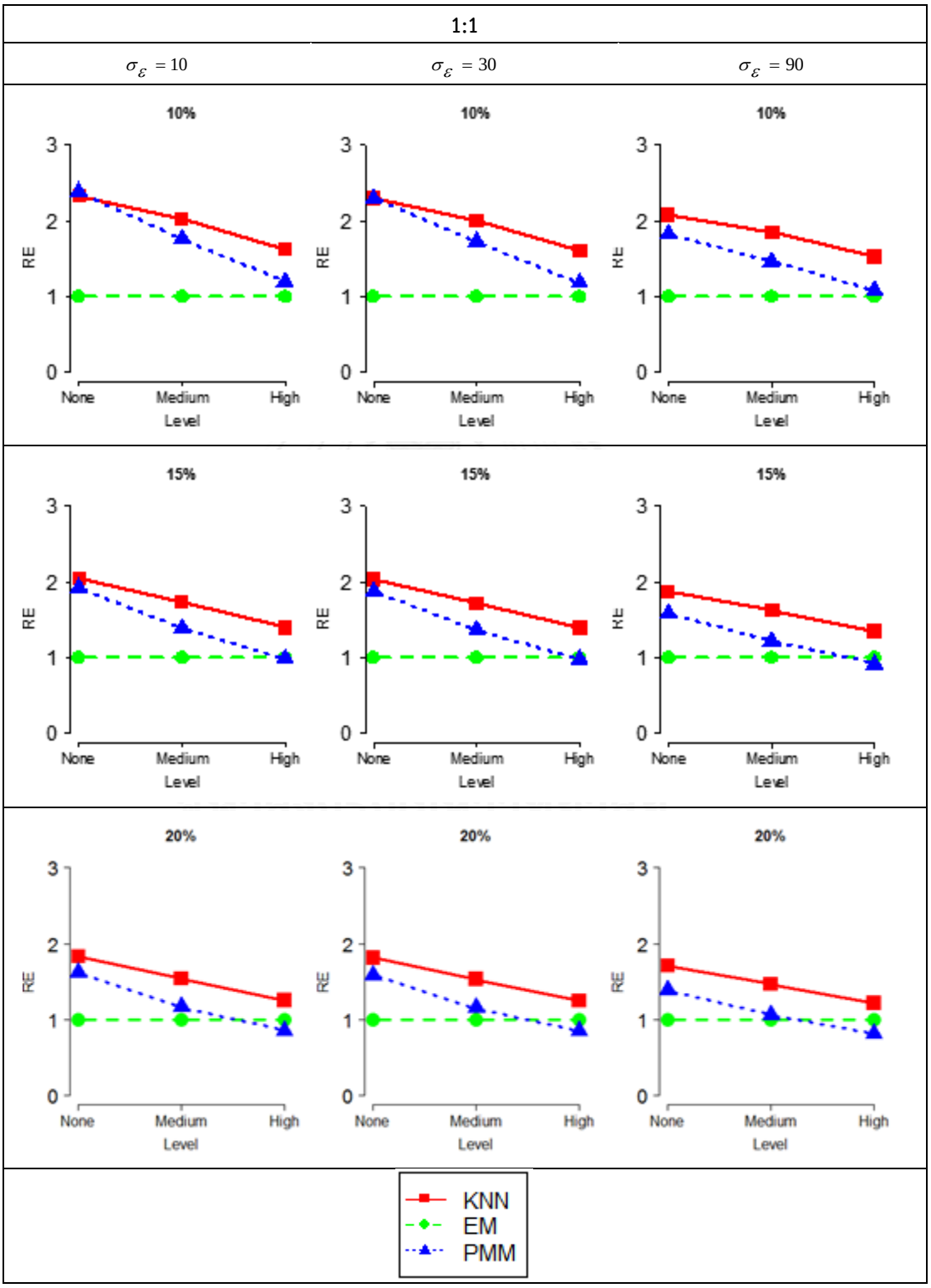
ภาพที่ 4.1.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



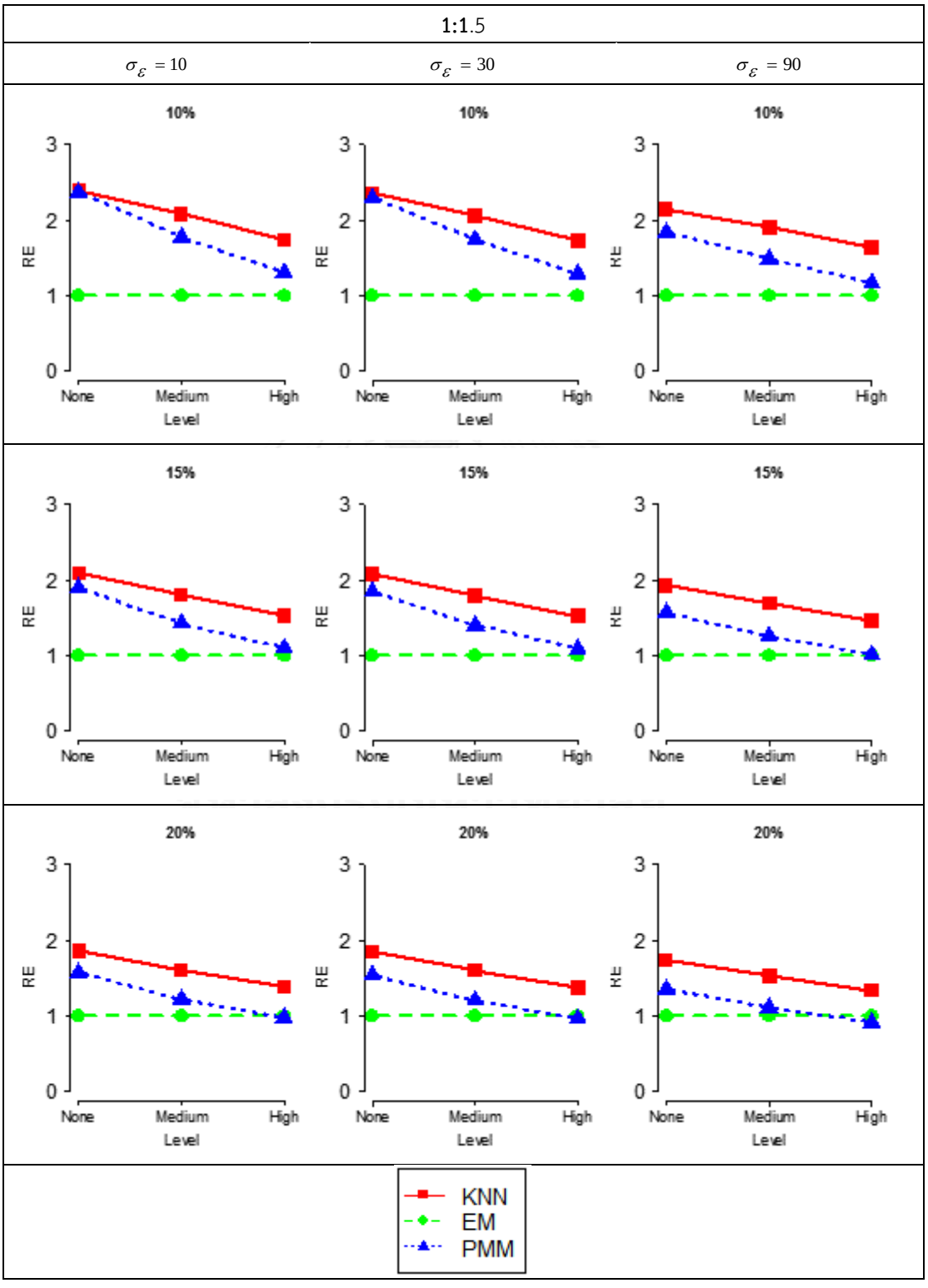
ภาพที่ 4.1.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



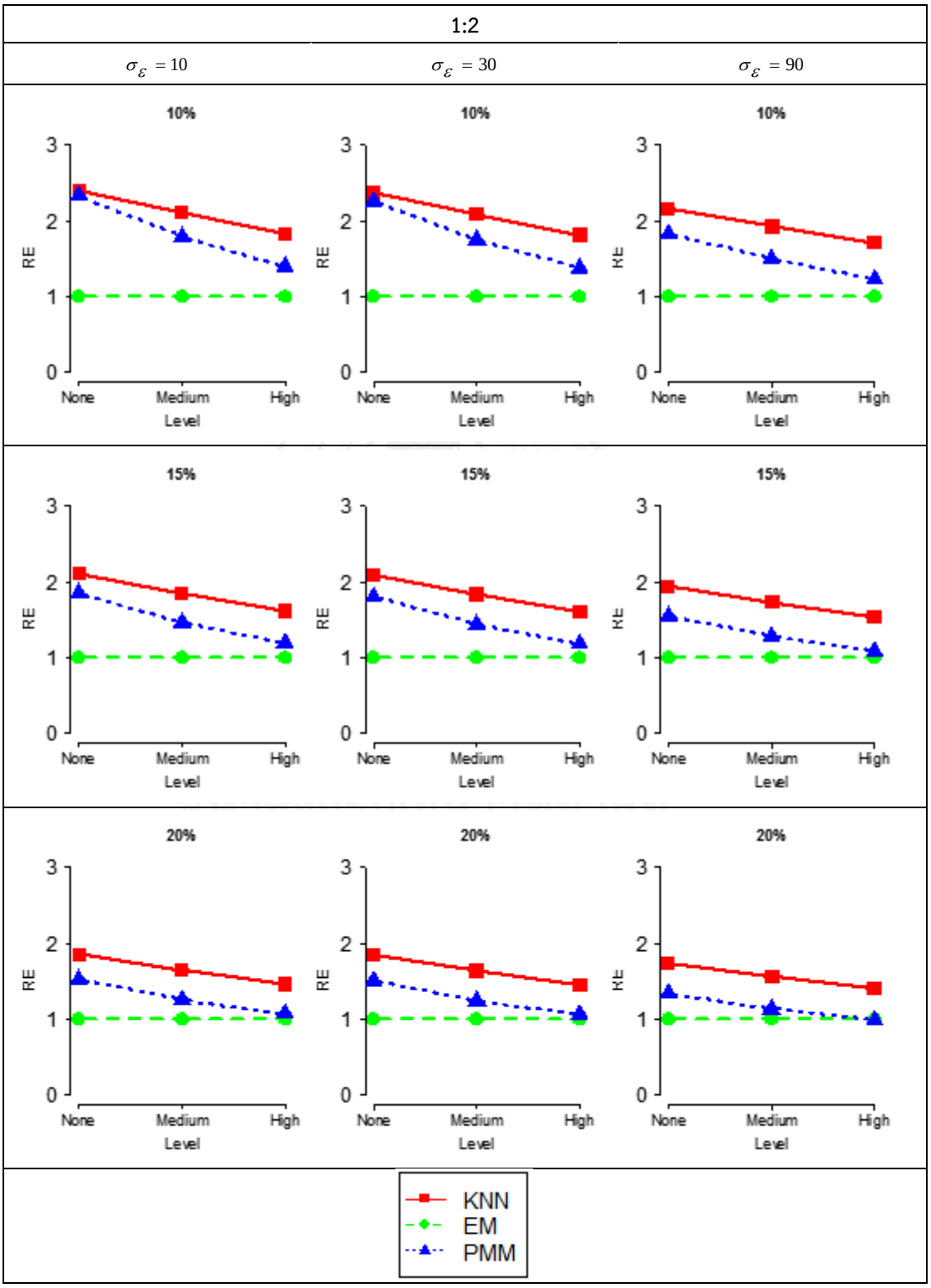
ภาพที่ 4.1.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



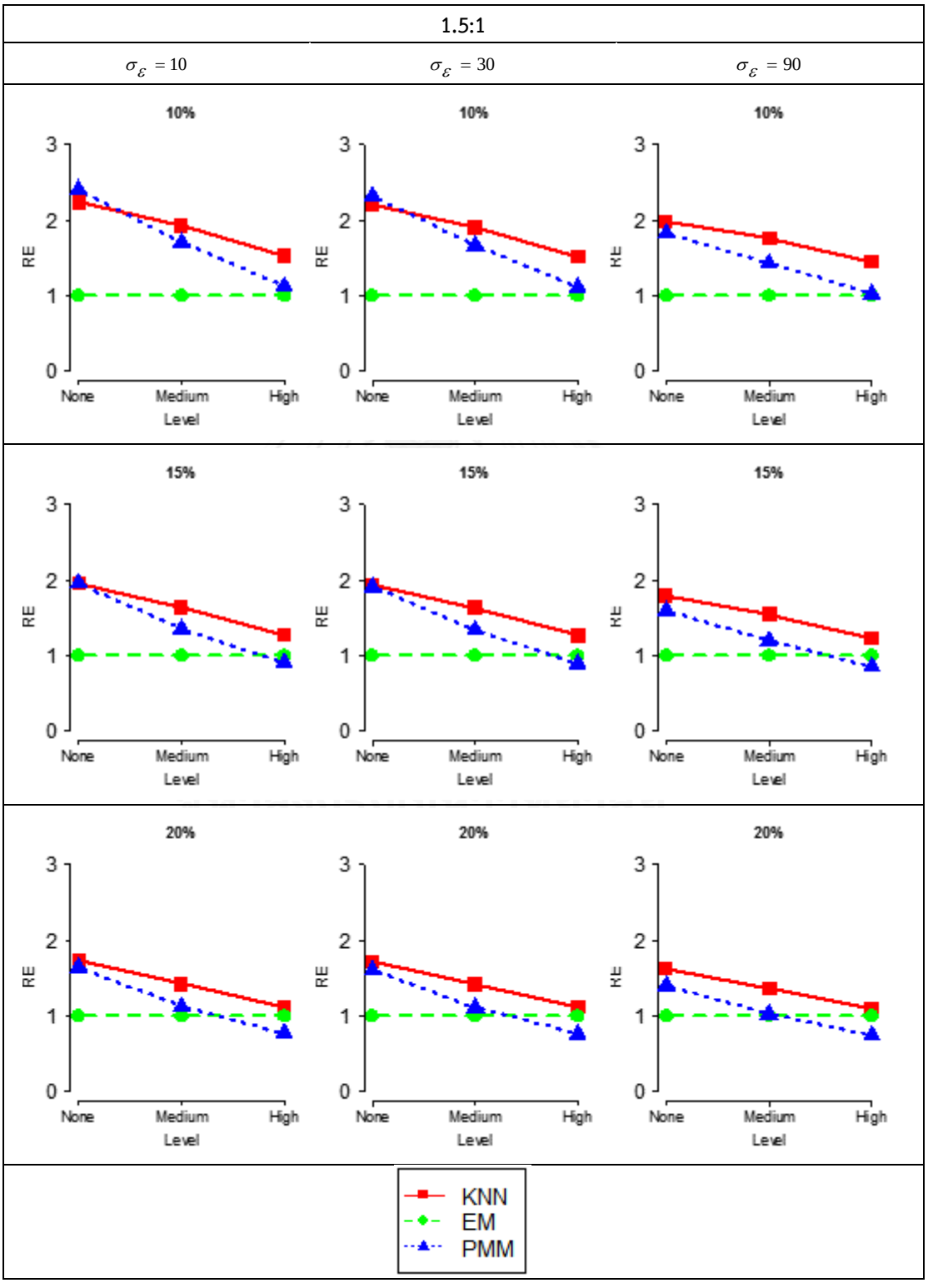
ภาพที่ 4.1.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



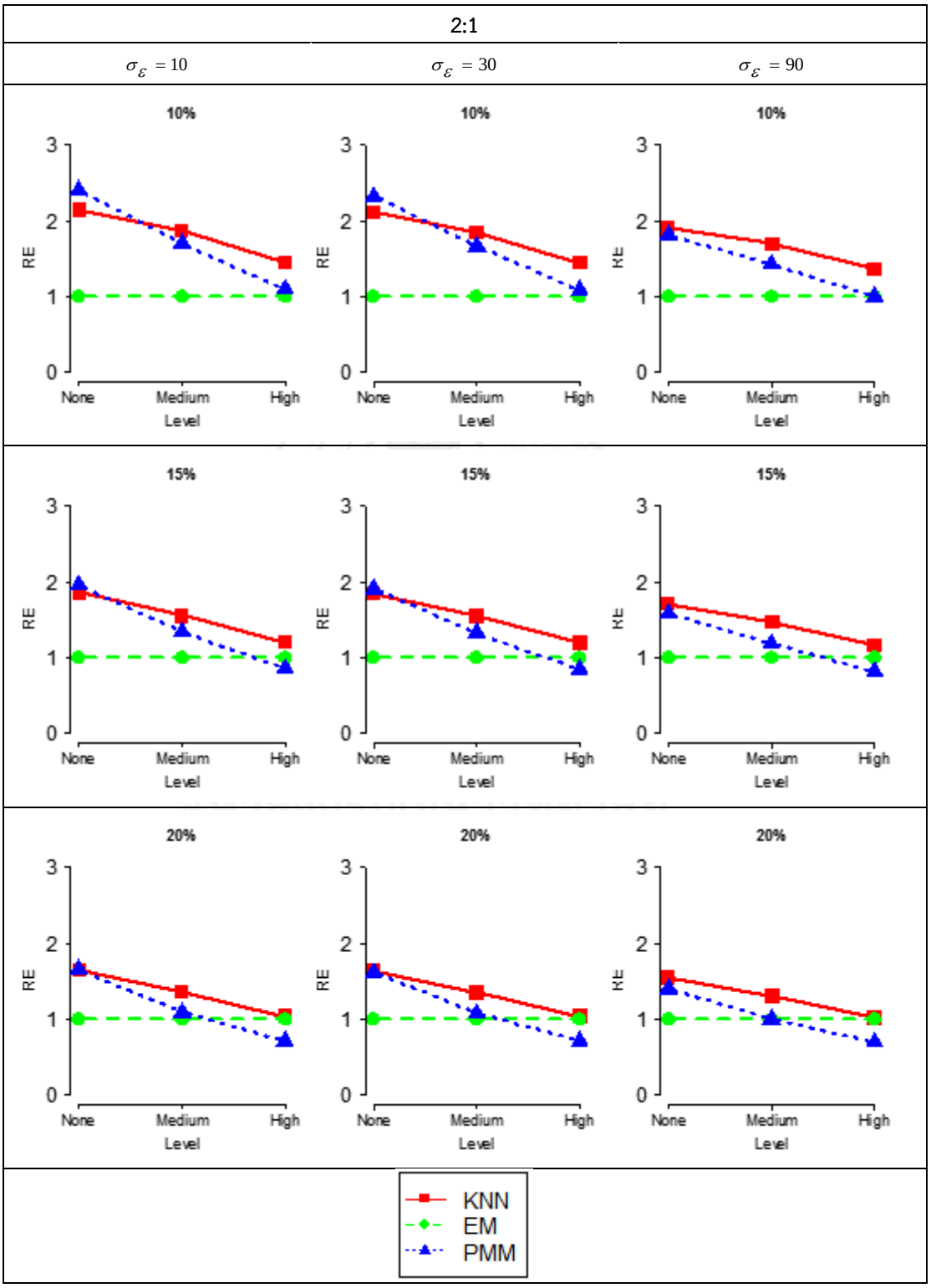
ภาพที่ 4.1.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.1.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.1.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



จากตารางที่ 4.1.1 – 4.1.6 และ ภาพที่ 4.1.4.1 - 4.1.6.3 พบว่า โดยส่วนใหญ่วิธี KNN เป็นวิธีที่ดีที่สุด ยกเว้นในบางกรณีที่สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10 และ 30 และไม่มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable วิธี PMM จะเป็นวิธีการที่ดีกว่า วิธี KNN

นอกจากนี้ จาก ภาพที่ 4.1.7 - 4.1.9 ในขนาดของตัวอย่าง เท่ากับ 50 และ 100ถ้าระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ระดับปานกลางและสูง และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม มีค่าเท่ากับ 15 % และ 20% วิธี EM จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ส่วนที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก

ศึกษาข้อมูลสูญหายในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ซึ่งเท่ากับ 100 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: $X_1 \sim N(0, 100)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 500)$ มีร้อยละการสูญหายของข้อมูลตัวแปรตามโดยเฉลี่ย 3 ระดับ คือ 10%, 15% และ 20% ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50, 100, 200 มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และสูง และมีอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 ซึ่งผลการวิจัยในส่วนนี้จะแสดงในตารางและภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.2.1	10	AMSE
4.2.2	30	
4.2.3	90	
4.2.4	10	RE
4.2.5	30	
4.2.6	90	

ตารางที่ 4.2.1 - 4.2.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.2.4.1	10	50	RE
4.2.4.2		100	
4.2.4.3		200	
4.2.5.1	30	50	RE

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.2.5.2		100	
4.2.5.3		200	
4.2.6.1	90	50	RE
4.2.6.2		100	
4.2.6.3		200	

ภาพที่ 4.2.4.1 - 4.2.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.2.7	50	RE
4.2.8	100	
4.2.9	200	

ภาพที่ 4.2.7 - 4.2.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบจาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน 10 30 และ90 ตามขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2212.0	***985.8***	1526.7	2696.4	***1453.2***	2189.4	3297.7	***1985.5***	2887.3
		2	2239.1	***1078.1***	1667.6	2662.1	***1484.4***	2250.6	3205.7	***1946.7***	2926.4
		4	2225.1	***1091.0***	1749.7	2683.0	***1523.4***	2418.5	3248.8	***1986.0***	3056.7
	15	1	3691.0	***1469.3***	2331.8	4584.3	***2203.8***	3353.8	5447.0	***2899.3***	4288.7
		2	3642.2	***1483.9***	2437.0	4501.0	***2199.7***	3474.0	5324.1	***2960.0***	4458.4
		4	3566.0	***1531.8***	2643.9	4470.8	***2302.3***	3720.7	5330.6	***3069.1***	4696.8
	20	1	5584.1	***1958.1***	3188.3	6921.4	***2938.8***	4520.4	8301.5	***3942.0***	5817.0
		2	5513.5	***1982.9***	3415.8	6630.9	***2975.8***	4740.0	7945.2	***4006.8***	5965.2
		4	5326.2	***2081.5***	3635.1	6671.2	***3133.0***	5053.9	7931.7	***4194.0***	6292.2
100	10	1	1510.2	***990.4***	1287.1	2025.8	***1492.4***	1916.5	2496.6	***1973.8***	2514.0
		2	1502.5	***983.7***	1329.5	2006.7	***1483.4***	1983.1	2533.4	***1994.0***	2636.7
		4	1523.1	***1001.4***	1465.2	2040.6	***1515.5***	2131.9	2556.2	***2030.4***	2803.7
	15	1	2524.9	***1484.3***	1990.1	3315.8	***2223.1***	2948.7	4102.1	***2964.7***	3922.5
		2	2519.4	***1500.8***	2131.3	3237.5	***2216.4***	3089.4	4096.9	***2997.4***	4062.2
		4	2518.9	***1517.8***	2355.4	3332.1	***2292.0***	3369.6	4163.4	***3114.9***	4371.2
	20	1	3737.2	***1972.1***	2739.7	4884.1	***2971.4***	4078.3	6083.5	***3947.6***	5300.3
		2	3742.3	***1999.9***	2963.9	4847.0	***3038.1***	4315.4	6013.2	***4037.9***	5529.2
		4	3680.9	***2065.1***	3281.7	4828.2	***3122.3***	4638.4	6109.5	***4246.8***	5920.5
200	10	1	1204.3	***996.2***	1055.6	1660.3	***1494.3***	1599.2	2153.4	***2000.1***	2158.4
		2	1201.3	***997.0***	1147.2	1681.6	***1507.1***	1715.2	2164.9	***2002.4***	2268.9
		4	1231.8	***1010.7***	1297.0	1711.7	***1518.5***	1901.0	2213.4	***2036.2***	2474.1
	15	1	1975.7	***1489.5***	1710.7	2720.3	***2246.3***	2565.5	3456.1	***2983.4***	3427.8
		2	1984.5	***1499.0***	1861.2	2720.7	***2268.5***	2768.7	3457.2	***3007.8***	3660.4
		4	2012.8	***1524.9***	2142.1	2789.4	***2319.6***	3083.4	3586.1	***3127.5***	3995.1
	20	1	2895.8	***1992.0***	2407.9	3946.2	***3010.7***	3638.6	4958.9	***3971.9***	4799.0
		2	2891.5	***2018.3***	2678.1	3935.2	***3047.5***	3927.1	4973.4	***4033.7***	5088.5
		4	2942.2	***2073.1***	3073.8	4007.7	***3151.1***	4341.0	5146.8	***4240.1***	5540.0

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1809.6	***660.5***	1066.3	1691.5	***496.9***	855.6
		2	1823.9	***669.8***	1101.0	1592.3	***481.0***	848.5
		4	1823.9	***676.0***	1182.4	1655.3	***501.3***	942.1
	15	1	3098.1	***986.7***	1628.9	2870.7	***719.9***	1272.6
		2	3012.8	***1001.1***	1699.0	2865.7	***747.0***	1360.8
		4	3038.0	***1006.7***	1859.4	2839.4	***767.3***	1472.7
	20	1	4727.0	***1314.2***	2257.0	4370.6	***990.5***	1800.1
		2	4631.7	***1322.9***	2375.6	4255.8	***996.9***	1860.8
		4	4617.9	***1382.3***	2663.6	4308.7	***1050.1***	2149.4
100	10	1	1165.9	***657.8***	854.4	1012.8	***497.8***	650.5
		2	1172.7	***677.9***	924.1	998.8	***502.1***	686.5
		4	1185.0	***669.1***	1003.1	1037.1	***502.5***	786.4
	15	1	2010.1	***995.6***	1365.4	1782.9	***738.6***	1038.3
		2	2011.2	***991.6***	1447.5	1742.4	***744.5***	1107.4
		4	2028.5	***1021.8***	1642.1	1778.5	***759.3***	1260.4
	20	1	3029.0	***1327.8***	1885.3	2667.5	***1000.3***	1430.0
		2	2997.5	***1342.1***	2041.5	2654.7	***1013.2***	1566.7
		4	2982.6	***1383.2***	2319.6	2656.9	***1022.1***	1803.1
200	10	1	881.9	***663.3***	711.8	731.0	***499.2***	533.9
		2	890.6	***662.7***	777.6	743.2	***500.4***	587.0
		4	925.7	***672.1***	897.3	755.1	***504.7***	684.6
	15	1	1502.3	***997.4***	1132.6	1258.4	***748.8***	855.9
		2	1495.8	***997.4***	1261.2	1264.0	***754.5***	949.4
		4	1530.7	***1014.9***	1492.4	1282.7	***758.5***	1143.4
	20	1	2235.8	***1328.7***	1603.8	1919.9	***992.6***	1205.4
		2	2244.8	***1351.2***	1831.9	1901.4	***1001.9***	1362.3
		4	2243.0	***1371.9***	2155.4	1926.4	***1022.2***	1689.1

<u>ตารางที่ 4.2.2</u> แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาด<u>เล็ก</u> และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2276.2	***1057.3***	1612.5	2762.6	***1525.7***	2274.2	3362.8	***2057.6***	2971.2
		2	2308.0	***1149.6***	1751.3	2729.3	***1555.3***	2331.0	3271.2	***2019.1***	3012.7
		4	2298.6	***1162.0***	1835.5	2755.2	***1596.2***	2506.0	3318.8	***2058.4***	3143.6
	15	1	3756.8	***1547.2***	2422.8	4650.6	***2282.0***	3452.0	5520.2	***2975.3***	4395.1
		2	3712.7	***1560.5***	2526.4	4576.0	***2275.7***	3570.6	5394.6	***3034.2***	4550.7
		4	3636.9	***1605.1***	2730.0	4542.8	***2378.6***	3807.1	5394.9	***3144.6***	4780.5
	20	1	5650.3	***2040.7***	3283.4	6996.5	***3020.7***	4623.6	8364.4	***4025.2***	5904.2
		2	5589.8	***2065.8***	3507.8	6707.6	***3060.3***	4842.3	8025.1	***4088.9***	6068.3
		4	5405.0	***2159.6***	3730.0	6749.8	***3212.8***	5150.8	8006.9	***4270.5***	6385.9
100	10	1	1542.7	***1026.6***	1342.8	2060.0	***1528.4***	1985.7	2529.0	***2009.6***	2589.3
		2	1535.3	***1018.6***	1385.3	2042.0	***1519.4***	2044.9	2529.0	***2009.6***	2589.3
		4	1558.5	***1036.5***	1516.9	2072.2	***1550.9***	2190.2	2590.4	***2066.0***	2871.1
	15	1	2562.5	***1522.3***	2052.2	3347.8	***2261.2***	3021.6	4135.7	***3002.8***	4003.0
		2	2556.4	***1539.0***	2196.8	3275.6	***2254.5***	3166.2	4130.2	***3034.8***	4143.4
		4	2553.2	***1556.1***	2412.0	3365.8	***2329.4***	3439.1	4199.4	***3152.3***	4448.7
	20	1	3768.7	***2013.3***	2812.0	4934.5	***3027.3***	4172.8	6119.4	***3989.2***	5384.5
		2	3774.0	***2039.7***	3034.7	4884.2	***3074.1***	4383.5	6052.0	***4077.6***	5613.2
		4	3719.5	***2105.2***	3342.6	4866.5	***3161.4***	4712.7	6146.3	***4285.7***	6010.2
200	10	1	1221.9	***1013.7***	1113.6	1677.3	***1512.3***	1675.2	2171.6	***2018.1***	2247.7
		2	1217.7	***1014.8***	1201.5	1699.3	***1524.8***	1784.7	2182.6	***2020.0***	2356.7
		4	1247.6	***1028.2***	1345.6	1729.6	***1536.3***	1965.2	2231.5	***2054.0***	2548.8
	15	1	1991.8	***1508.1***	1776.5	2738.2	***2264.7***	2651.1	3473.7	***3002.0***	3530.3
		2	2004.6	***1517.7***	1923.3	2740.2	***2287.0***	2853.9	3475.9	***3026.7***	3757.7
		4	2030.1	***1543.5***	2195.2	2809.4	***2337.7***	3155.1	3606.0	***3145.8***	4089.6
	20	1	2913.1	***2012.2***	2484.8	3948.6	***3018.9***	3713.1	4975.0	***3991.5***	4901.1
		2	2911.0	***2038.2***	2744.8	3937.9	***3053.5***	3996.9	4992.4	***4053.3***	5186.8
		4	2960.3	***2093.0***	3132.4	4026.9	***3170.4***	4419.5	5168.1	***4259.9***	5640.7

ตารางที่ 4.2.2 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1879.6	***732.3***	1152.2	1759.8	***568.4***	934.7
		2	1890.5	***740.9***	1172.1	1661.1	***553.8***	930.9
		4	1886.7	***746.9***	1253.9	1721.0	***572.9***	1018.3
	15	1	3163.1	***1064.2***	1707.9	2936.8	***798.1***	1357.7
		2	3083.5	***1077.0***	1781.9	2936.3	***825.7***	1442.6
		4	3098.9	***1083.6***	1934.8	2912.1	***843.3***	1553.1
	20	1	4806.0	***1396.6***	2359.7	4439.2	***1071.8***	1891.6
		2	4705.0	***1403.1***	2463.0	4319.2	***1079.7***	1945.6
		4	4680.7	***1463.6***	2748.2	4385.2	***1130.6***	2239.3
100	10	1	1200.3	***694.2***	906.9	1046.1	***534.0***	700.3
		2	1207.7	***713.7***	974.1	1032.0	***538.2***	737.4
		4	1218.6	***705.1***	1052.2	1070.9	***538.3***	833.8
	15	1	2045.2	***1033.5***	1423.6	1820.0	***776.3***	1093.8
		2	2045.3	***1029.8***	1500.0	1777.9	***782.8***	1160.5
		4	2063.3	***1059.1***	1691.8	1811.5	***796.7***	1307.4
	20	1	3068.7	***1368.9***	1949.8	2701.3	***1040.2***	1491.8
		2	3034.2	***1382.5***	2099.8	2689.9	***1054.7***	1621.1
		4	3019.9	***1423.2***	2370.7	2687.5	***1062.2***	1854.4
200	10	1	899.4	***680.9***	756.8	747.6	***517.1***	573.9
		2	907.3	***680.0***	818.4	760.3	***517.9***	624.0
		4	943.8	***689.6***	937.6	774.6	***522.6***	718.1
	15	1	1520.0	***1016.2***	1189.8	1276.8	***767.5***	904.5
		2	1515.2	***1016.4***	1309.7	1280.2	***773.2***	992.4
		4	1547.6	***1033.3***	1533.4	1298.9	***776.6***	1178.2
	20	1	2255.2	***1348.5***	1666.1	1942.5	***1012.8***	1261.6
		2	2262.5	***1370.9***	1885.4	1919.6	***1021.6***	1407.1
		4	2260.6	***1391.6***	2198.4	1944.1	***1041.9***	1725.5

ตารางที่ 4.2.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2871.5	***1702.3***	2337.7	3366.1	***2176.8***	3013.9	3961.5	***2706.9***	3750.7
		2	2915.5	***1791.4***	2461.4	3322.5	***2193.1***	3081.9	3879.7	***2668.5***	3769.9
		4	2918.4	***1802.2***	2537.4	3387.1	***2248.9***	3242.3	3940.5	***2710.8***	3902.7
	15	1	4374.2	***2245.8***	3200.9	5262.3	***2983.5***	4258.0	6137.3	***3656.1***	5222.6
		2	4345.7	***2246.3***	3309.3	5214.7	***2961.4***	4380.3	6025.3	***3704.0***	5367.5
		4	4255.3	***2269.8***	3471.8	5188.7	***3061.8***	4597.0	6022.9	***3826.7***	5619.3
	20	1	6270.9	***2784.8***	4133.2	7649.2	***3760.7***	5506.7	8995.0	***4771.8***	6814.2
		2	6252.6	***2809.8***	4350.8	7389.1	***3817.1***	5717.5	8700.6	***4825.1***	6976.2
		4	6072.3	***2880.7***	4551.6	7423.6	***3932.3***	5999.1	8675.9	***4973.6***	7267.8
100	10	1	1842.0	***1351.3***	1815.2	2369.4	***1852.6***	2522.0	2835.9	***2330.7***	3165.9
		2	1831.8	***1334.2***	1834.7	2355.2	***1842.0***	2555.3	2882.4	***2353.8***	3274.0
		4	1865.7	***1354.1***	1957.2	2375.9	***1868.1***	2685.8	2907.1	***2386.8***	3403.0
	15	1	2882.0	***1866.3***	2581.3	3658.4	***2604.3***	3607.2	4447.2	***3344.1***	4628.4
		2	2877.3	***1882.3***	2705.2	3599.7	***2595.9***	3743.5	4444.3	***3372.1***	4773.5
		4	2867.7	***1896.1***	2884.7	3686.4	***2666.3***	3983.4	4523.1	***3488.7***	5057.8
	20	1	4083.8	***2382.8***	3391.3	5257.7	***3383.5***	4804.7	6450.0	***4360.3***	6057.0
		2	4089.8	***2396.1***	3591.8	5222.8	***3435.1***	4995.2	6391.4	***4437.8***	6283.1
		4	4054.9	***2465.2***	3846.8	5207.7	***3513.6***	5311.7	6492.3	***4637.3***	6662.4
200	10	1	1379.7	***1171.9***	1505.0	1836.7	***1675.5***	2171.7	2335.9	***2179.5***	2833.6
		2	1372.6	***1175.1***	1586.8	1861.0	***1683.9***	2261.7	2345.4	***2178.5***	2917.2
		4	1401.2	***1185.5***	1682.1	1894.5	***1697.5***	2399.4	2402.1	***2214.6***	3078.0
	15	1	2148.9	***1676.1***	2256.1	2898.2	***2431.9***	3236.9	3634.4	***3169.8***	4208.5
		2	2173.1	***1686.5***	2376.5	2906.4	***2452.7***	3414.4	3650.2	***3197.1***	4419.7
		4	2193.9	***1712.4***	2576.8	2979.6	***2503.0***	3656.6	3787.0	***3312.6***	4699.2
	20	1	3077.0	***2193.8***	3019.0	4130.3	***3212.9***	4379.9	5136.3	***4169.1***	5617.3
		2	3079.2	***2217.1***	3235.0	4132.5	***3247.0***	4620.5	5168.3	***4230.1***	5881.4
		4	3129.6	***2271.2***	3544.0	4206.5	***3344.6***	4969.4	5357.2	***4435.9***	6315.7

ตารางที่ 4.2.3 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2485.8	***1378.2***	1842.8	2360.6	***1211.1***	1617.1
		2	2489.2	***1380.8***	1859.5	2268.8	***1206.4***	1615.8
		4	2479.5	***1384.6***	1921.3	2319.6	***1218.0***	1689.9
	15	1	3773.0	***1760.6***	2464.6	3559.1	***1501.0***	2102.3
		2	3703.9	***1760.4***	2526.4	3568.8	***1535.0***	2178.5
		4	3702.8	***1776.1***	2670.0	3545.0	***1527.0***	2269.1
	20	1	5464.5	***2137.4***	3178.6	5062.1	***1806.1***	2679.7
		2	5339.8	***2127.2***	3256.9	4944.2	***1820.5***	2719.6
		4	5298.4	***2192.0***	3507.1	5040.6	***1852.3***	2990.3
100	10	1	1506.1	***1021.7***	1332.7	1351.8	***860.8***	1108.4
		2	1513.6	***1036.2***	1385.6	1339.9	***863.0***	1131.5
		4	1527.2	***1029.7***	1448.2	1373.8	***858.0***	1210.1
	15	1	2358.3	***1374.6***	1898.4	2135.0	***1115.5***	1537.0
		2	2356.2	***1371.9***	1961.0	2098.0	***1129.0***	1591.9
		4	2376.8	***1394.5***	2111.8	2118.2	***1131.4***	1702.7
	20	1	3401.2	***1740.3***	2475.8	3012.8	***1401.3***	1967.8
		2	3362.2	***1745.6***	2598.1	3015.6	***1426.9***	2092.2
		4	3352.8	***1787.5***	2824.5	2997.8	***1423.4***	2270.8
200	10	1	1056.3	***839.3***	1076.8	902.0	***678.9***	856.8
		2	1062.7	***836.8***	1122.1	913.9	***675.7***	891.5
		4	1099.9	***846.9***	1213.4	936.0	***683.5***	966.7
	15	1	1678.5	***1185.1***	1569.1	1435.4	***935.1***	1234.5
		2	1681.5	***1187.4***	1665.9	1437.3	***941.9***	1303.7
		4	1707.8	***1199.4***	1837.5	1454.3	***941.5***	1436.9
	20	1	2420.1	***1527.5***	2101.9	2115.9	***1193.9***	1638.2
		2	2423.2	***1549.4***	2270.9	2081.9	***1199.3***	1745.5
		4	2423.9	***1569.6***	2514.1	2106.4	***1220.6***	1995.3

ตารางที่ 4.2.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	0.446	***1.000***	0.646	0.539	***1.000***	0.664	0.602	***1.000***	0.688	0.365	***1.000***	0.619	0.294	***1.000***	0.581
		2	0.481	***1.000***	0.647	0.558	***1.000***	0.660	0.607	***1.000***	0.665	0.367	***1.000***	0.608	0.302	***1.000***	0.567
		4	0.490	***1.000***	0.624	0.568	***1.000***	0.630	0.611	***1.000***	0.650	0.371	***1.000***	0.572	0.303	***1.000***	0.532
	15	1	0.398	***1.000***	0.630	0.481	***1.000***	0.657	0.532	***1.000***	0.676	0.319	***1.000***	0.606	0.251	***1.000***	0.566
		2	0.407	***1.000***	0.609	0.489	***1.000***	0.633	0.556	***1.000***	0.664	0.332	***1.000***	0.589	0.261	***1.000***	0.549
		4	0.430	***1.000***	0.579	0.515	***1.000***	0.619	0.576	***1.000***	0.653	0.331	***1.000***	0.541	0.270	***1.000***	0.521
	20	1	0.351	***1.000***	0.614	0.425	***1.000***	0.650	0.475	***1.000***	0.678	0.278	***1.000***	0.582	0.227	***1.000***	0.550
		2	0.360	***1.000***	0.581	0.449	***1.000***	0.628	0.504	***1.000***	0.672	0.286	***1.000***	0.557	0.234	***1.000***	0.536
		4	0.391	***1.000***	0.573	0.470	***1.000***	0.620	0.529	***1.000***	0.667	0.299	***1.000***	0.519	0.244	***1.000***	0.489
100	10	1	0.656	***1.000***	0.769	0.737	***1.000***	0.779	0.791	***1.000***	0.785	0.564	***1.000***	0.770	0.491	***1.000***	0.765
		2	0.655	***1.000***	0.740	0.739	***1.000***	0.748	0.787	***1.000***	0.756	0.578	***1.000***	0.734	0.503	***1.000***	0.731
		4	0.657	***1.000***	0.683	0.743	***1.000***	0.711	0.794	***1.000***	0.724	0.565	***1.000***	0.667	0.485	***1.000***	0.639
	15	1	0.588	***1.000***	0.746	0.670	***1.000***	0.754	0.723	***1.000***	0.756	0.495	***1.000***	0.729	0.414	***1.000***	0.711
		2	0.596	***1.000***	0.704	0.685	***1.000***	0.717	0.732	***1.000***	0.738	0.493	***1.000***	0.685	0.427	***1.000***	0.672
		4	0.603	***1.000***	0.644	0.688	***1.000***	0.680	0.748	***1.000***	0.713	0.504	***1.000***	0.622	0.427	***1.000***	0.602
	20	1	0.528	***1.000***	0.720	0.608	***1.000***	0.729	0.649	***1.000***	0.745	0.438	***1.000***	0.704	0.375	***1.000***	0.699
		2	0.534	***1.000***	0.675	0.627	***1.000***	0.704	0.672	***1.000***	0.730	0.448	***1.000***	0.657	0.382	***1.000***	0.647
		4	0.561	***1.000***	0.629	0.647	***1.000***	0.673	0.695	***1.000***	0.717	0.464	***1.000***	0.596	0.385	***1.000***	0.567
200	10	1	0.827	***1.000***	0.944	0.900	***1.000***	0.934	0.929	***1.000***	0.927	0.752	***1.000***	0.932	0.683	***1.000***	0.935
		2	0.830	***1.000***	0.869	0.896	***1.000***	0.879	0.925	***1.000***	0.883	0.744	***1.000***	0.852	0.673	***1.000***	0.852
		4	0.821	***1.000***	0.779	0.887	***1.000***	0.799	0.920	***1.000***	0.823	0.726	***1.000***	0.749	0.668	***1.000***	0.737
	15	1	0.754	***1.000***	0.871	0.826	***1.000***	0.876	0.863	***1.000***	0.870	0.664	***1.000***	0.881	0.595	***1.000***	0.875
		2	0.755	***1.000***	0.805	0.834	***1.000***	0.819	0.870	***1.000***	0.822	0.667	***1.000***	0.791	0.597	***1.000***	0.795
		4	0.758	***1.000***	0.712	0.832	***1.000***	0.752	0.872	***1.000***	0.783	0.663	***1.000***	0.680	0.591	***1.000***	0.663
	20	1	0.688	***1.000***	0.827	0.763	***1.000***	0.827	0.801	***1.000***	0.828	0.594	***1.000***	0.828	0.517	***1.000***	0.823
		2	0.698	***1.000***	0.754	0.774	***1.000***	0.776	0.811	***1.000***	0.793	0.602	***1.000***	0.738	0.527	***1.000***	0.735
		4	0.705	***1.000***	0.674	0.786	***1.000***	0.726	0.824	***1.000***	0.765	0.612	***1.000***	0.637	0.531	***1.000***	0.605

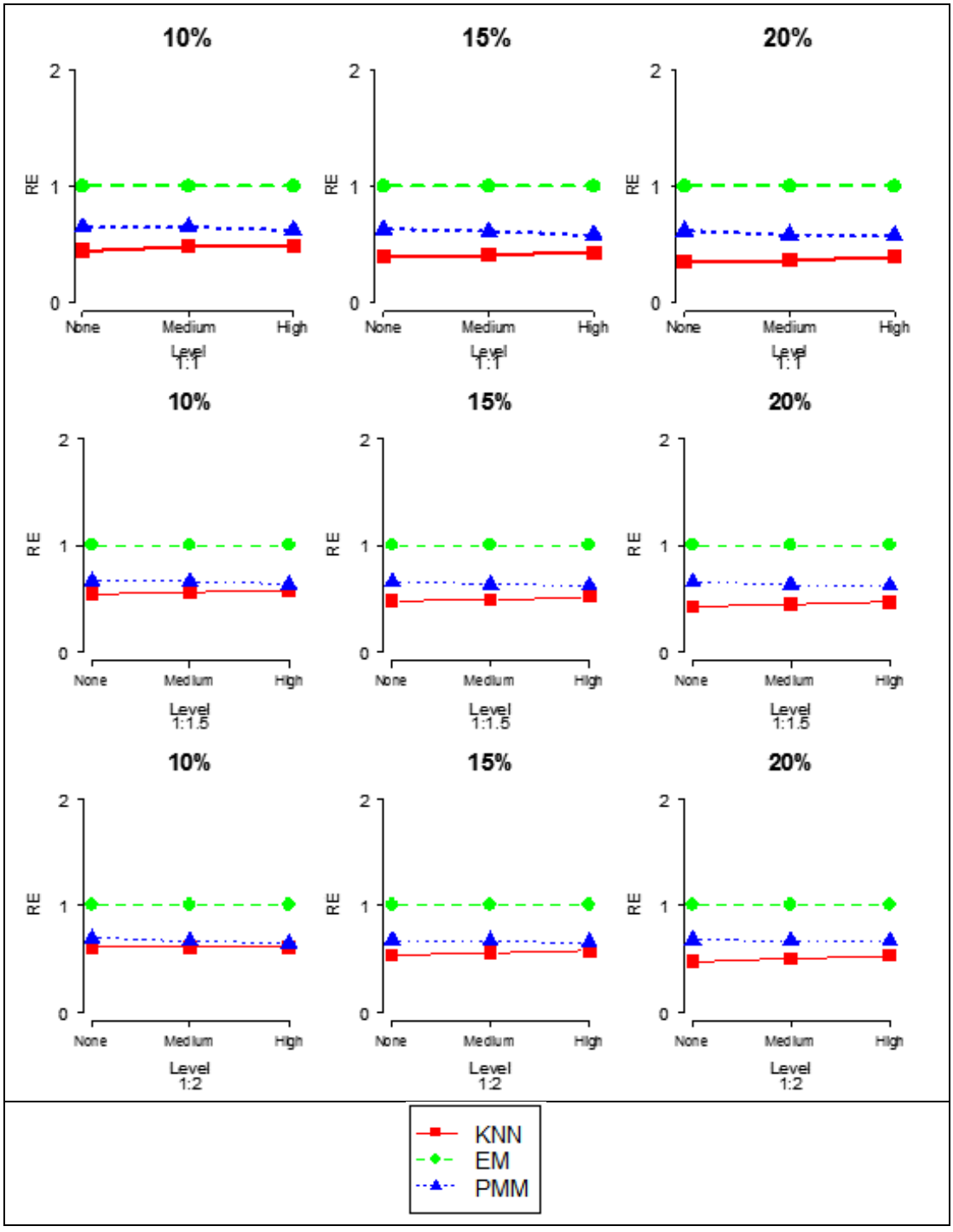
ตารางที่ 4.2.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	0.465	***1.000***	0.656	0.552	***1.000***	0.671	0.612	***1.000***	0.693	0.390	***1.000***	0.636	0.323	***1.000***	0.608
		2	0.498	***1.000***	0.656	0.570	***1.000***	0.667	0.617	***1.000***	0.670	0.392	***1.000***	0.632	0.333	***1.000***	0.595
		4	0.506	***1.000***	0.633	0.579	***1.000***	0.637	0.620	***1.000***	0.655	0.396	***1.000***	0.596	0.333	***1.000***	0.563
	15	1	0.412	***1.000***	0.639	0.491	***1.000***	0.661	0.539	***1.000***	0.677	0.336	***1.000***	0.623	0.272	***1.000***	0.588
		2	0.420	***1.000***	0.618	0.497	***1.000***	0.637	0.562	***1.000***	0.667	0.349	***1.000***	0.604	0.281	***1.000***	0.572
		4	0.441	***1.000***	0.588	0.524	***1.000***	0.625	0.583	***1.000***	0.658	0.350	***1.000***	0.560	0.290	***1.000***	0.543
	20	1	0.361	***1.000***	0.622	0.432	***1.000***	0.653	0.481	***1.000***	0.682	0.291	***1.000***	0.592	0.241	***1.000***	0.567
		2	0.370	***1.000***	0.589	0.456	***1.000***	0.632	0.510	***1.000***	0.674	0.298	***1.000***	0.570	0.250	***1.000***	0.555
		4	0.400	***1.000***	0.579	0.476	***1.000***	0.624	0.533	***1.000***	0.669	0.313	***1.000***	0.533	0.258	***1.000***	0.505
100	10	1	0.665	***1.000***	0.765	0.742	***1.000***	0.770	0.795	***1.000***	0.776	0.578	***1.000***	0.765	0.511	***1.000***	0.763
		2	0.663	***1.000***	0.735	0.744	***1.000***	0.743	0.795	***1.000***	0.776	0.591	***1.000***	0.733	0.522	***1.000***	0.730
		4	0.665	***1.000***	0.683	0.748	***1.000***	0.708	0.798	***1.000***	0.720	0.579	***1.000***	0.670	0.503	***1.000***	0.646
	15	1	0.594	***1.000***	0.742	0.675	***1.000***	0.748	0.726	***1.000***	0.750	0.505	***1.000***	0.726	0.427	***1.000***	0.710
		2	0.602	***1.000***	0.701	0.688	***1.000***	0.712	0.735	***1.000***	0.732	0.503	***1.000***	0.687	0.440	***1.000***	0.675
		4	0.609	***1.000***	0.645	0.692	***1.000***	0.677	0.751	***1.000***	0.709	0.513	***1.000***	0.626	0.440	***1.000***	0.609
	20	1	0.534	***1.000***	0.716	0.613	***1.000***	0.725	0.652	***1.000***	0.741	0.446	***1.000***	0.702	0.385	***1.000***	0.697
		2	0.540	***1.000***	0.672	0.629	***1.000***	0.701	0.674	***1.000***	0.726	0.456	***1.000***	0.658	0.392	***1.000***	0.651
		4	0.566	***1.000***	0.630	0.650	***1.000***	0.671	0.697	***1.000***	0.713	0.471	***1.000***	0.600	0.395	***1.000***	0.573
200	10	1	0.830	***1.000***	0.910	0.902	***1.000***	0.903	0.929	***1.000***	0.898	0.757	***1.000***	0.900	0.692	***1.000***	0.901
		2	0.833	***1.000***	0.845	0.897	***1.000***	0.854	0.926	***1.000***	0.857	0.750	***1.000***	0.831	0.681	***1.000***	0.830
		4	0.824	***1.000***	0.764	0.888	***1.000***	0.782	0.920	***1.000***	0.806	0.731	***1.000***	0.736	0.675	***1.000***	0.728
	15	1	0.757	***1.000***	0.849	0.827	***1.000***	0.854	0.864	***1.000***	0.850	0.669	***1.000***	0.854	0.601	***1.000***	0.849
		2	0.757	***1.000***	0.789	0.835	***1.000***	0.801	0.871	***1.000***	0.805	0.671	***1.000***	0.776	0.604	***1.000***	0.779
		4	0.760	***1.000***	0.703	0.832	***1.000***	0.741	0.872	***1.000***	0.769	0.668	***1.000***	0.674	0.598	***1.000***	0.659
	20	1	0.691	***1.000***	0.810	0.765	***1.000***	0.813	0.802	***1.000***	0.814	0.598	***1.000***	0.809	0.521	***1.000***	0.803
		2	0.700	***1.000***	0.743	0.775	***1.000***	0.764	0.812	***1.000***	0.781	0.606	***1.000***	0.727	0.532	***1.000***	0.726
		4	0.707	***1.000***	0.668	0.787	***1.000***	0.717	0.824	***1.000***	0.755	0.616	***1.000***	0.633	0.536	***1.000***	0.604

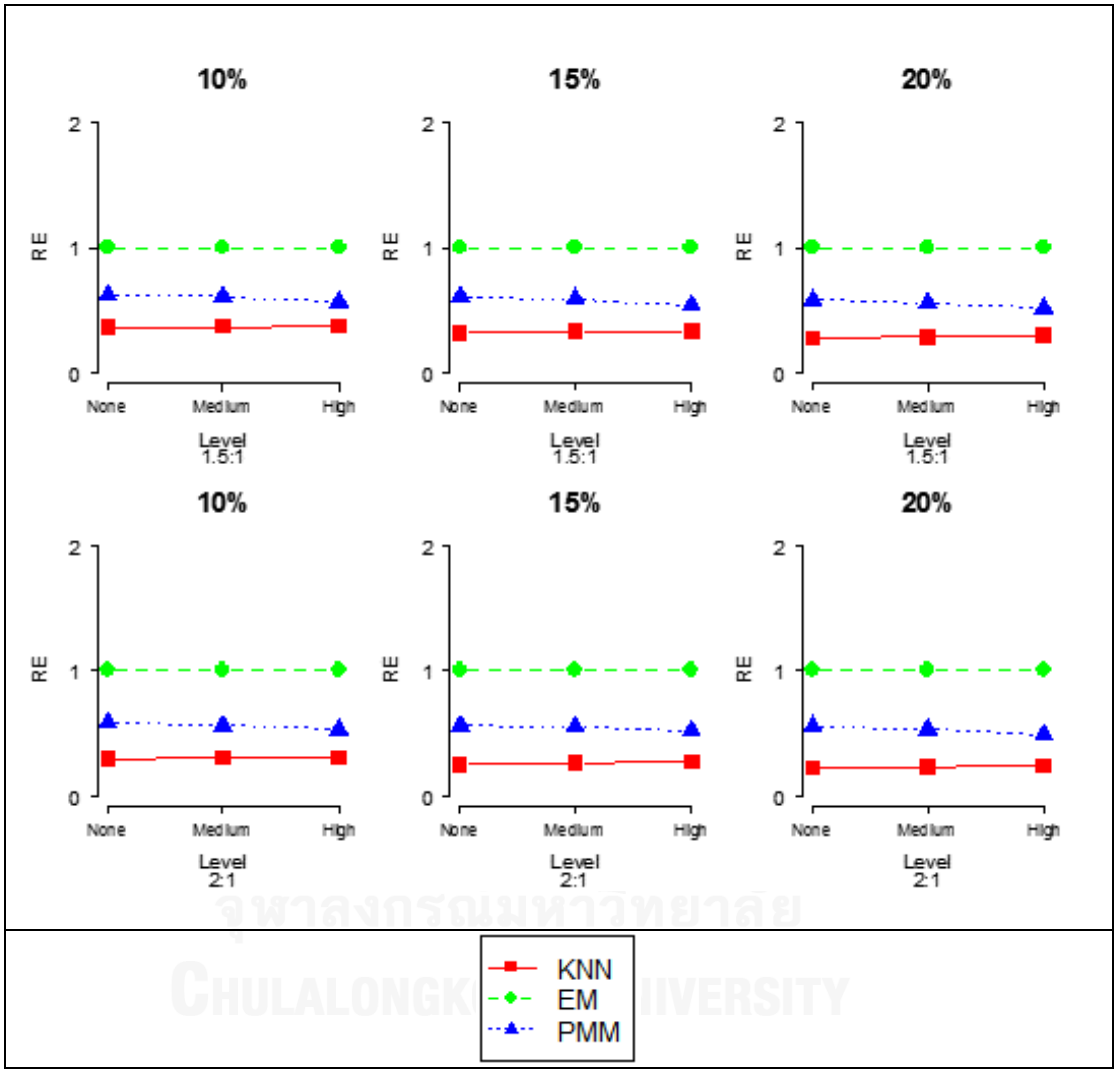
ตารางที่ 4.2.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	0.593	***1.000***	0.728	0.647	***1.000***	0.722	0.683	***1.000***	0.722	0.554	***1.000***	0.748	0.513	***1.000***	0.749
		2	0.614	***1.000***	0.728	0.660	***1.000***	0.712	0.688	***1.000***	0.708	0.555	***1.000***	0.743	0.532	***1.000***	0.747
		4	0.618	***1.000***	0.710	0.664	***1.000***	0.694	0.688	***1.000***	0.695	0.558	***1.000***	0.721	0.525	***1.000***	0.721
	15	1	0.513	***1.000***	0.702	0.567	***1.000***	0.701	0.596	***1.000***	0.700	0.467	***1.000***	0.714	0.422	***1.000***	0.714
		2	0.517	***1.000***	0.679	0.568	***1.000***	0.676	0.615	***1.000***	0.690	0.475	***1.000***	0.697	0.430	***1.000***	0.705
		4	0.533	***1.000***	0.654	0.590	***1.000***	0.666	0.635	***1.000***	0.681	0.480	***1.000***	0.665	0.431	***1.000***	0.673
	20	1	0.444	***1.000***	0.674	0.492	***1.000***	0.683	0.530	***1.000***	0.700	0.391	***1.000***	0.672	0.357	***1.000***	0.674
		2	0.449	***1.000***	0.646	0.517	***1.000***	0.668	0.555	***1.000***	0.692	0.398	***1.000***	0.653	0.368	***1.000***	0.669
		4	0.474	***1.000***	0.633	0.530	***1.000***	0.655	0.573	***1.000***	0.684	0.414	***1.000***	0.625	0.367	***1.000***	0.619
100	10	1	0.734	***1.000***	0.744	0.782	***1.000***	0.735	0.822	***1.000***	0.736	0.678	***1.000***	0.767	0.637	***1.000***	0.777
		2	0.728	***1.000***	0.727	0.782	***1.000***	0.721	0.817	***1.000***	0.719	0.685	***1.000***	0.748	0.644	***1.000***	0.763
		4	0.726	***1.000***	0.692	0.786	***1.000***	0.696	0.821	***1.000***	0.701	0.674	***1.000***	0.711	0.625	***1.000***	0.709
	15	1	0.648	***1.000***	0.723	0.712	***1.000***	0.722	0.752	***1.000***	0.723	0.583	***1.000***	0.724	0.522	***1.000***	0.726
		2	0.654	***1.000***	0.696	0.721	***1.000***	0.693	0.759	***1.000***	0.706	0.582	***1.000***	0.700	0.538	***1.000***	0.709
		4	0.661	***1.000***	0.657	0.723	***1.000***	0.669	0.771	***1.000***	0.690	0.587	***1.000***	0.660	0.534	***1.000***	0.664
	20	1	0.583	***1.000***	0.703	0.644	***1.000***	0.704	0.676	***1.000***	0.720	0.512	***1.000***	0.703	0.465	***1.000***	0.712
		2	0.586	***1.000***	0.667	0.658	***1.000***	0.688	0.694	***1.000***	0.706	0.519	***1.000***	0.672	0.473	***1.000***	0.682
		4	0.608	***1.000***	0.641	0.675	***1.000***	0.661	0.714	***1.000***	0.696	0.533	***1.000***	0.633	0.475	***1.000***	0.627
200	10	1	0.849	***1.000***	0.779	0.912	***1.000***	0.772	0.933	***1.000***	0.769	0.795	***1.000***	0.779	0.753	***1.000***	0.792
		2	0.856	***1.000***	0.741	0.905	***1.000***	0.745	0.929	***1.000***	0.747	0.787	***1.000***	0.746	0.739	***1.000***	0.758
		4	0.846	***1.000***	0.705	0.896	***1.000***	0.707	0.922	***1.000***	0.720	0.770	***1.000***	0.698	0.730	***1.000***	0.707
	15	1	0.780	***1.000***	0.743	0.839	***1.000***	0.751	0.872	***1.000***	0.753	0.706	***1.000***	0.755	0.651	***1.000***	0.757
		2	0.776	***1.000***	0.710	0.844	***1.000***	0.718	0.876	***1.000***	0.723	0.706	***1.000***	0.713	0.655	***1.000***	0.722
		4	0.780	***1.000***	0.665	0.840	***1.000***	0.685	0.875	***1.000***	0.705	0.702	***1.000***	0.653	0.647	***1.000***	0.655
	20	1	0.713	***1.000***	0.727	0.778	***1.000***	0.734	0.812	***1.000***	0.742	0.631	***1.000***	0.727	0.564	***1.000***	0.729
		2	0.720	***1.000***	0.685	0.786	***1.000***	0.703	0.818	***1.000***	0.719	0.639	***1.000***	0.682	0.576	***1.000***	0.687
		4	0.726	***1.000***	0.641	0.795	***1.000***	0.673	0.828	***1.000***	0.702	0.648	***1.000***	0.624	0.579	***1.000***	0.612

ภาพที่ 4.2.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

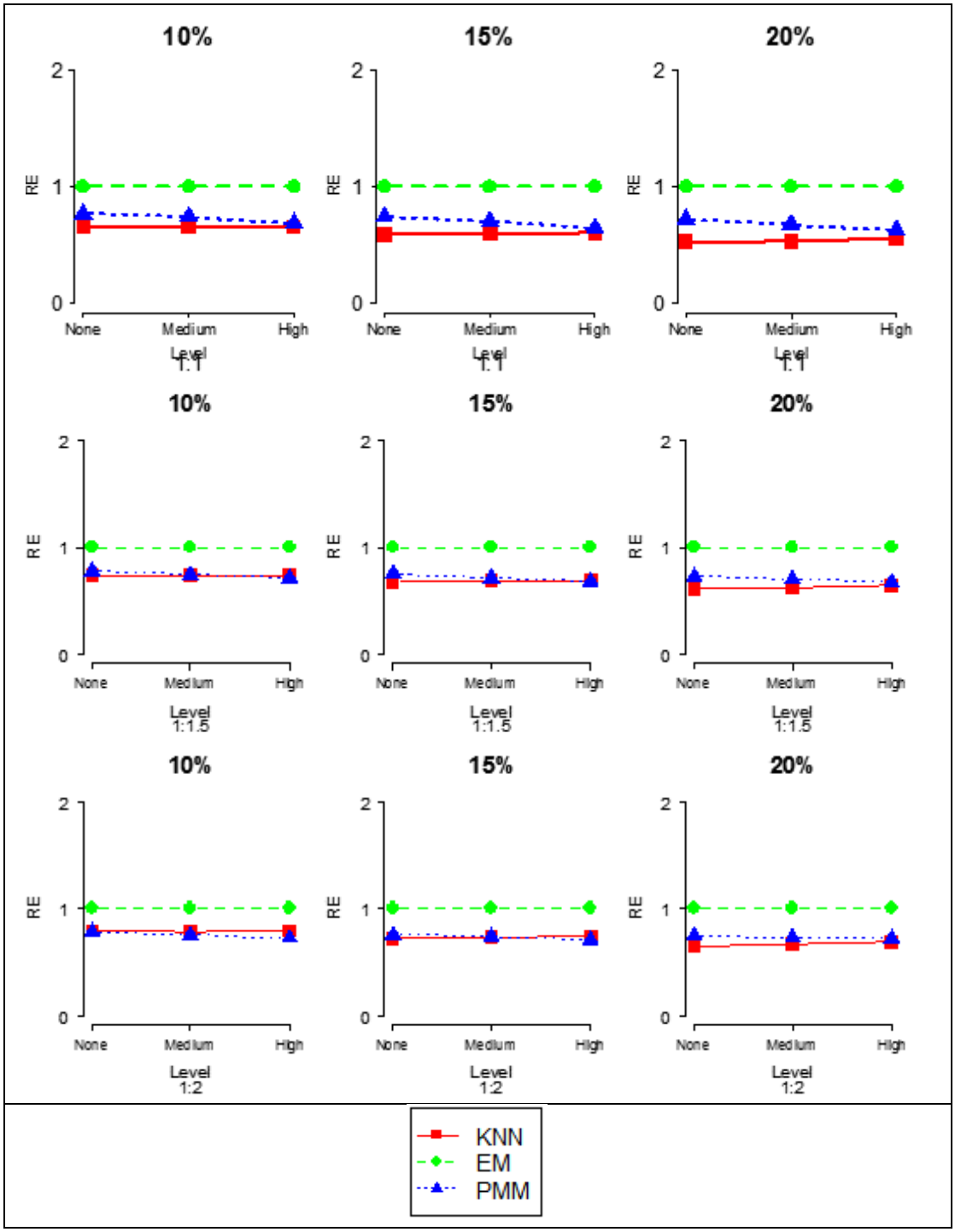


ภาพที่ 4.2.4.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

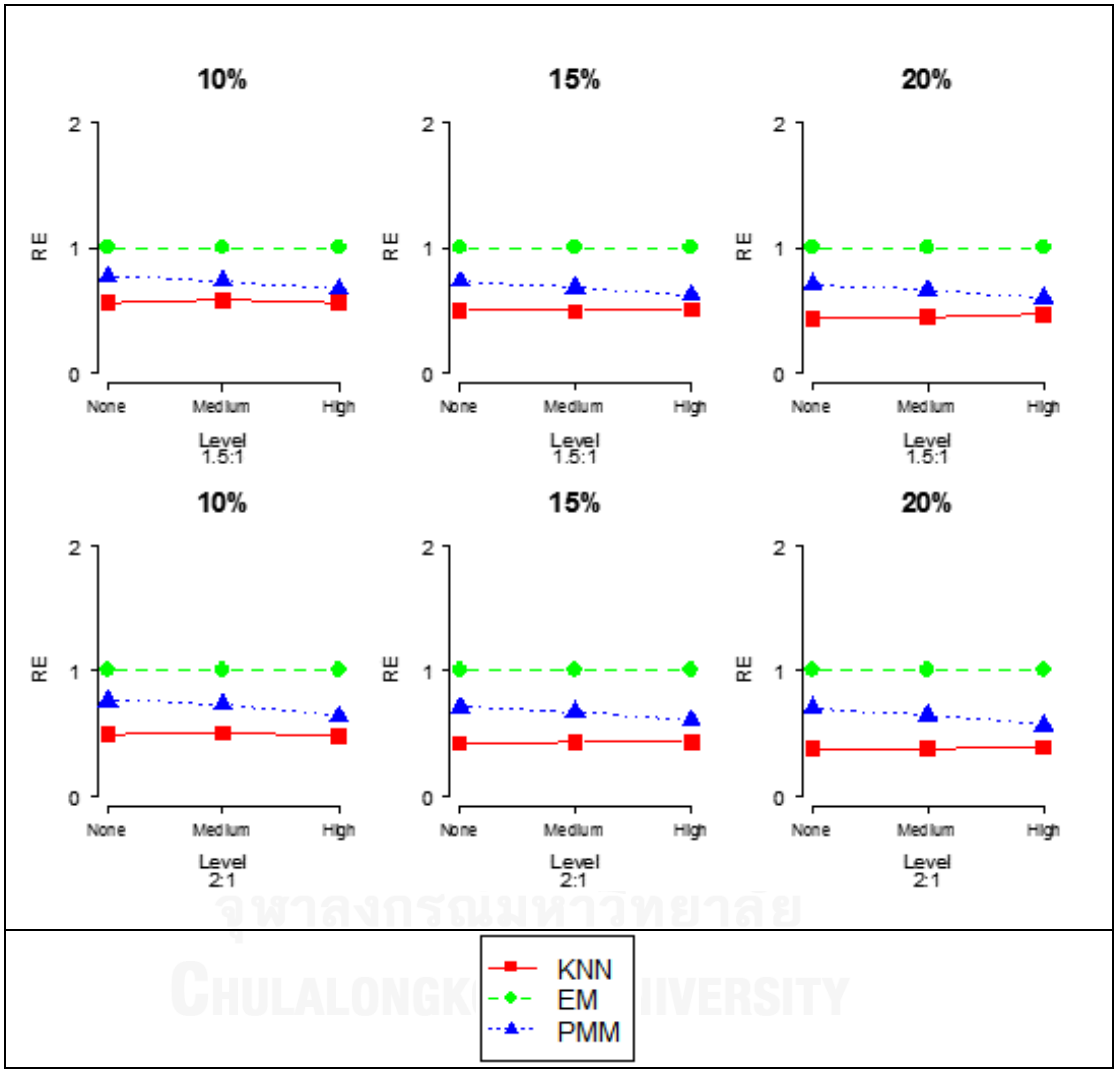


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

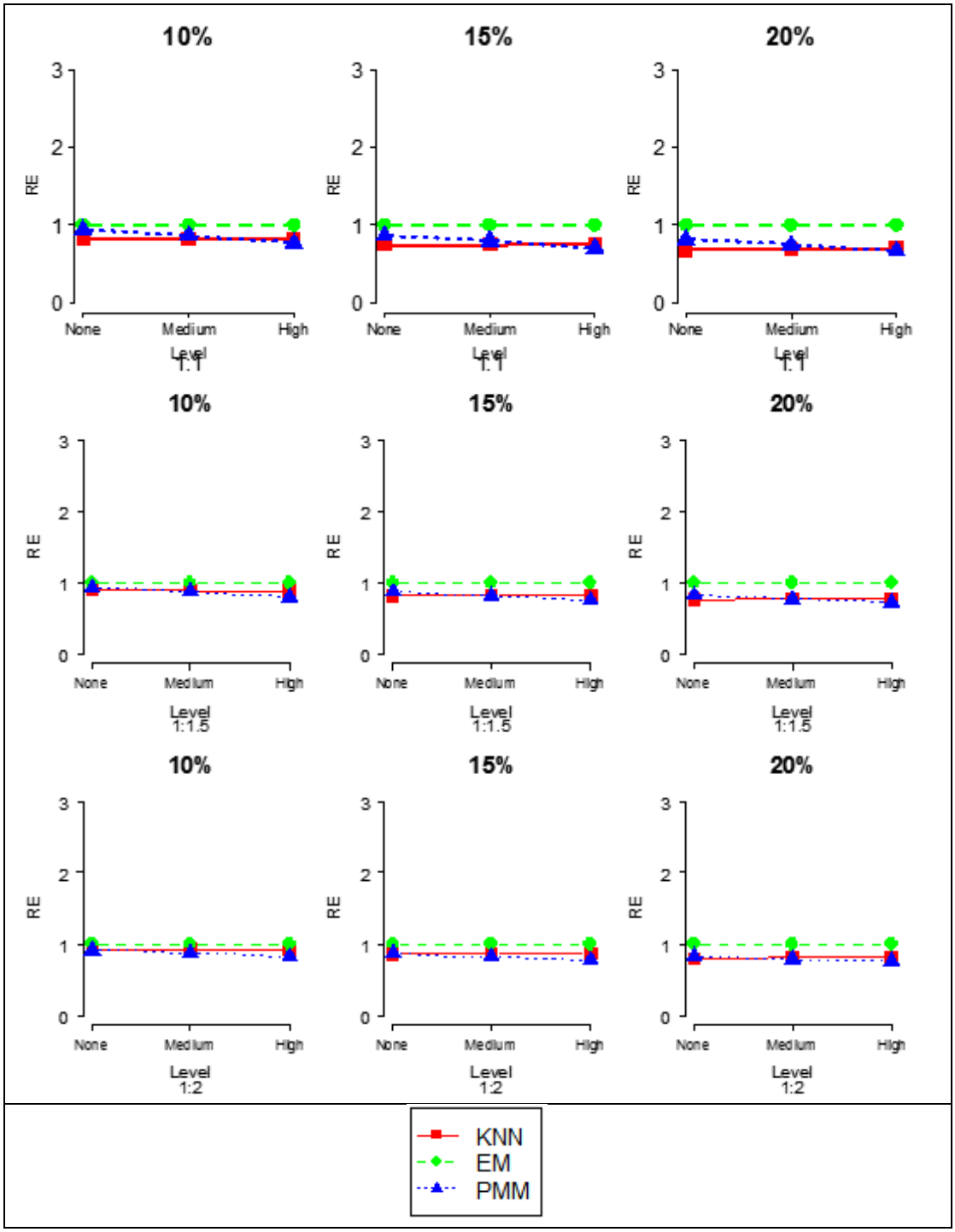


ภาพที่ 4.2.4.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

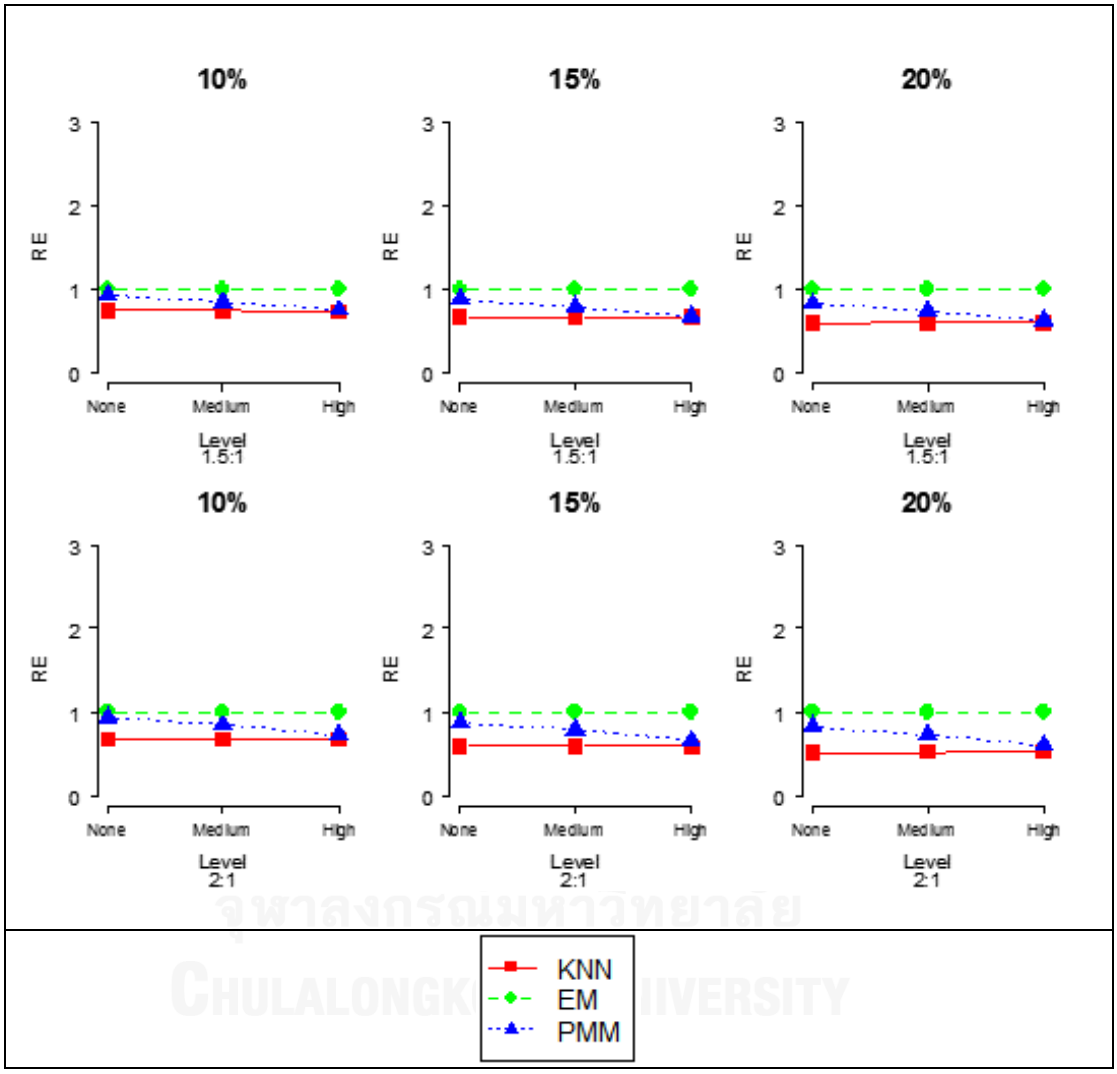


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

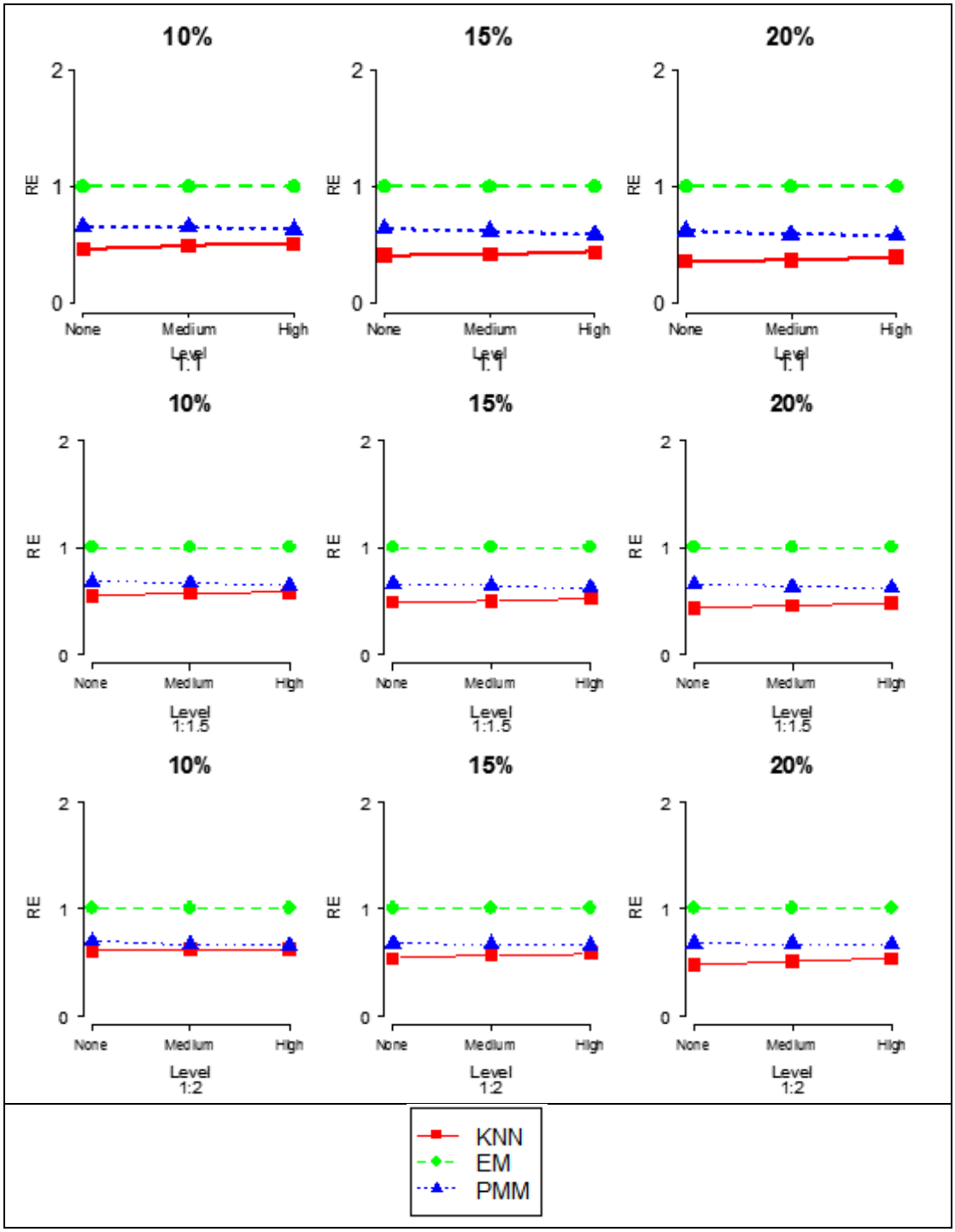


ภาพที่ 4.2.4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

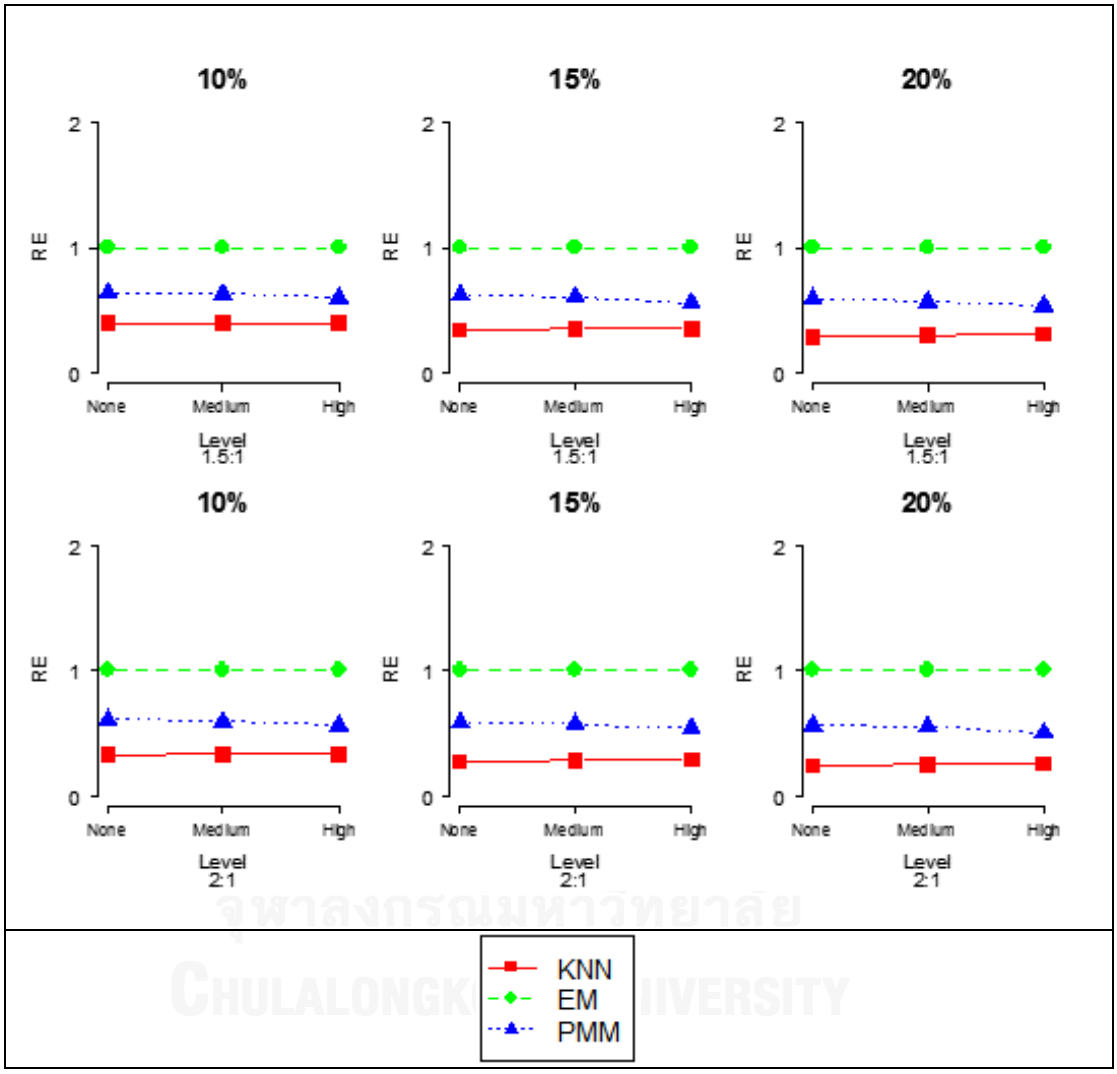


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

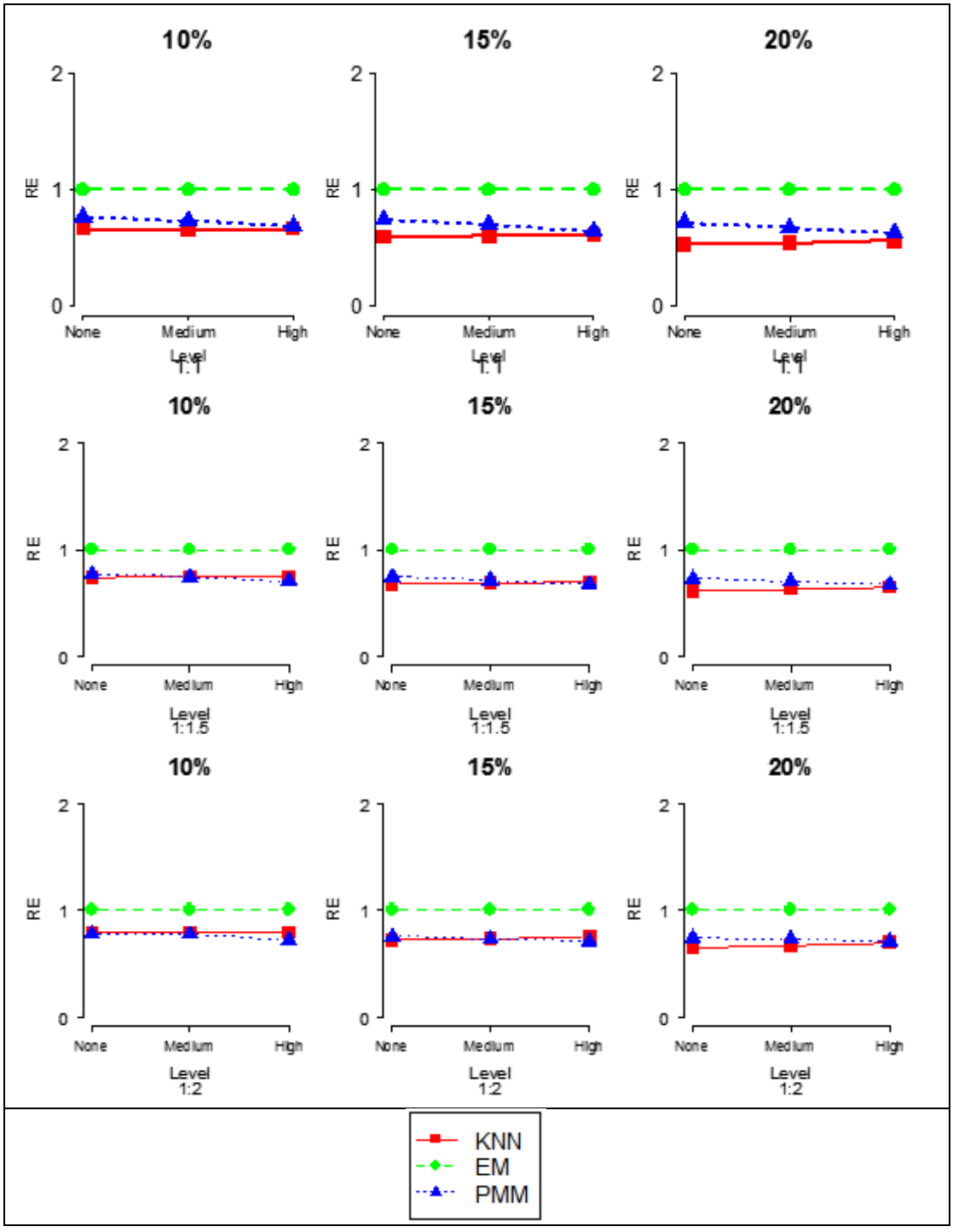


ภาพที่ 4.2.5.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

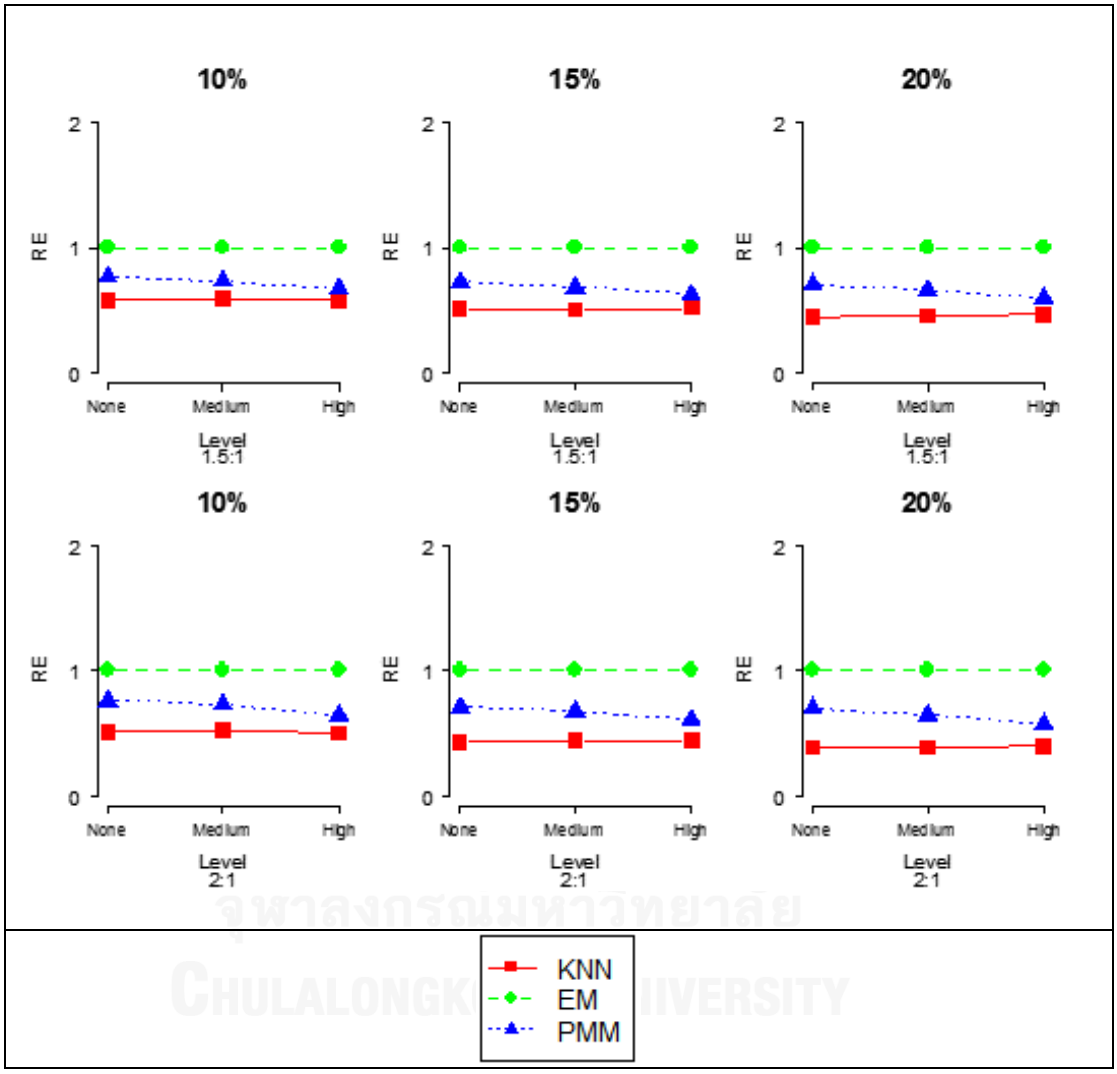


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

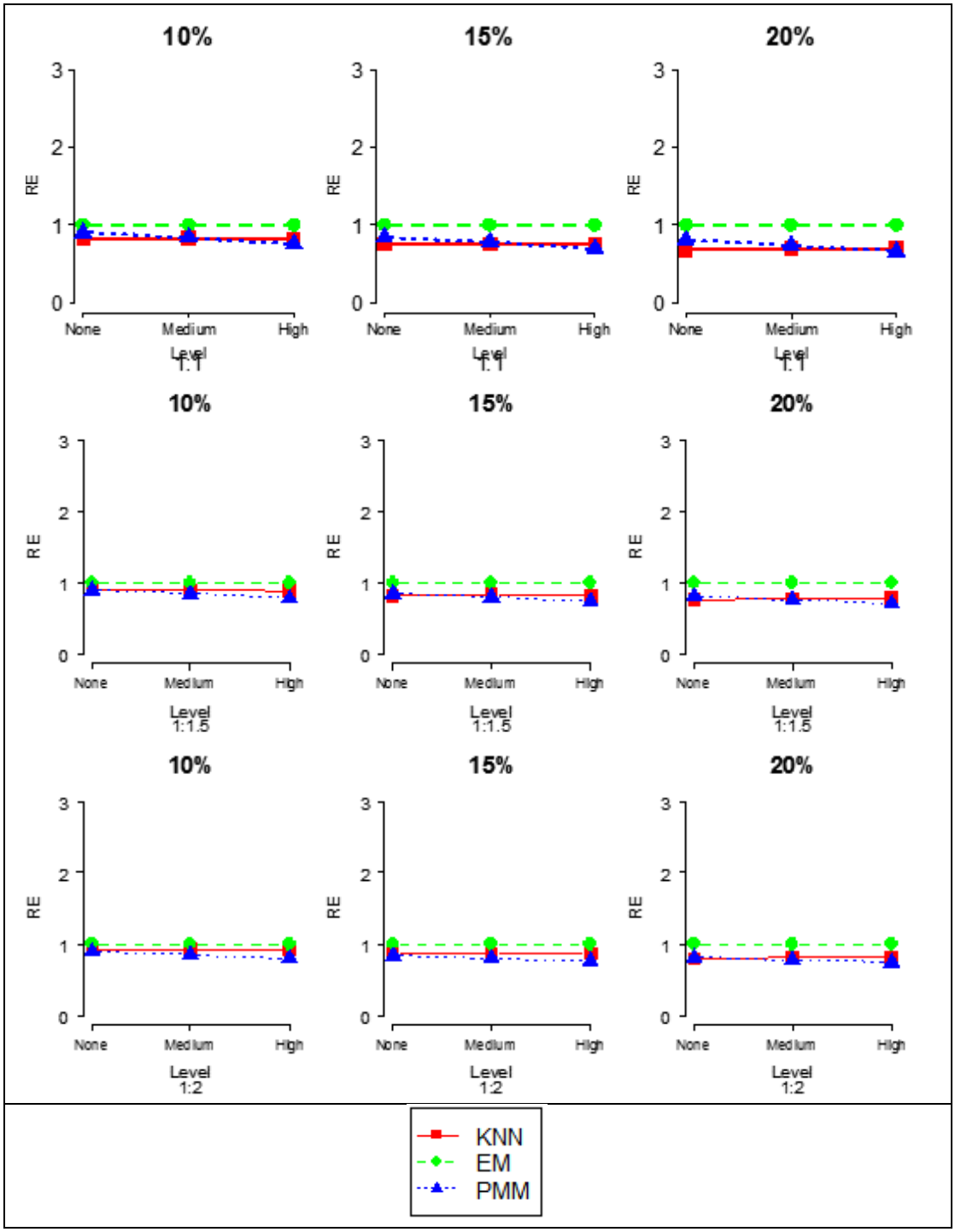


ภาพที่ 4.2.5.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

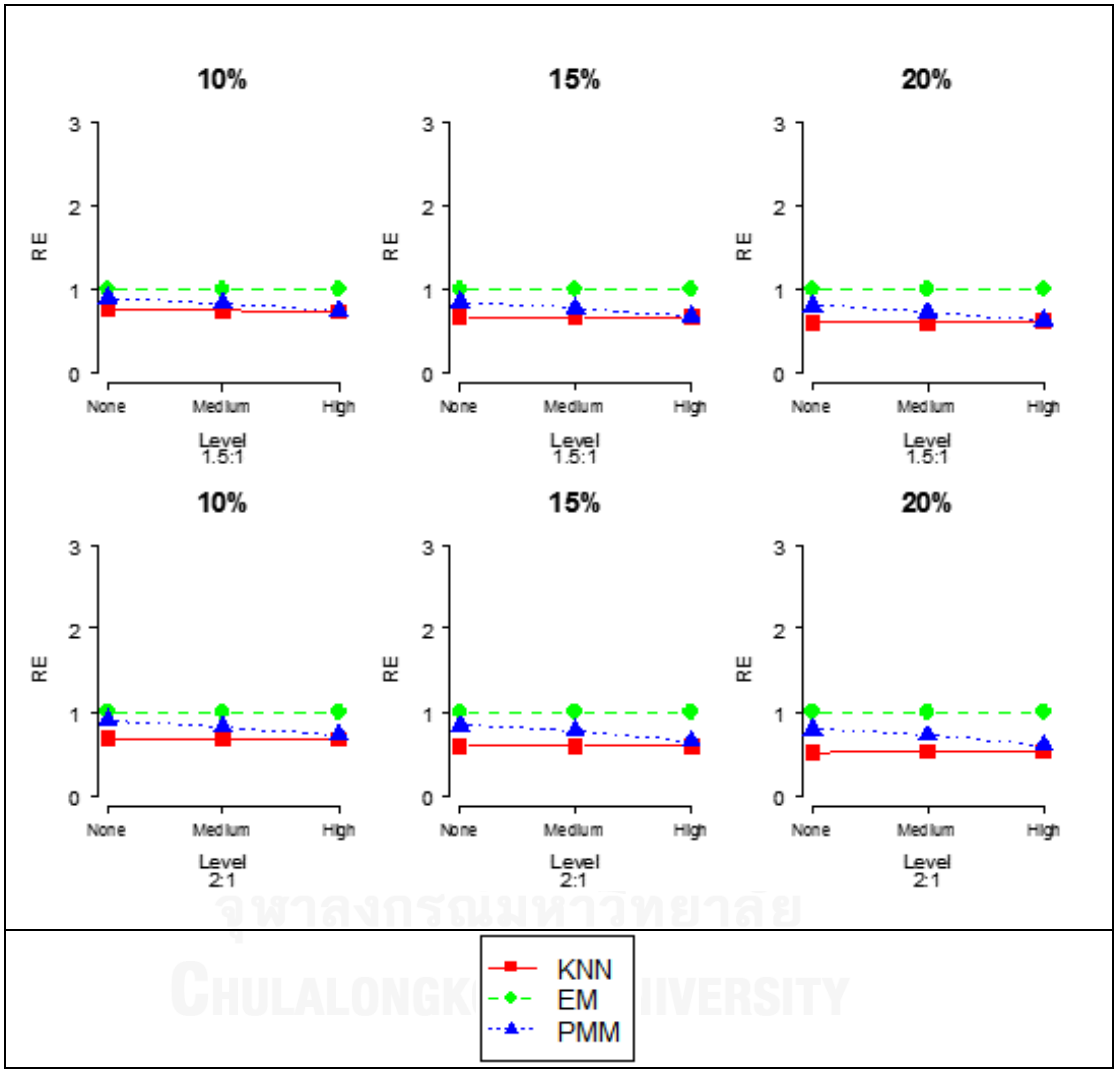


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

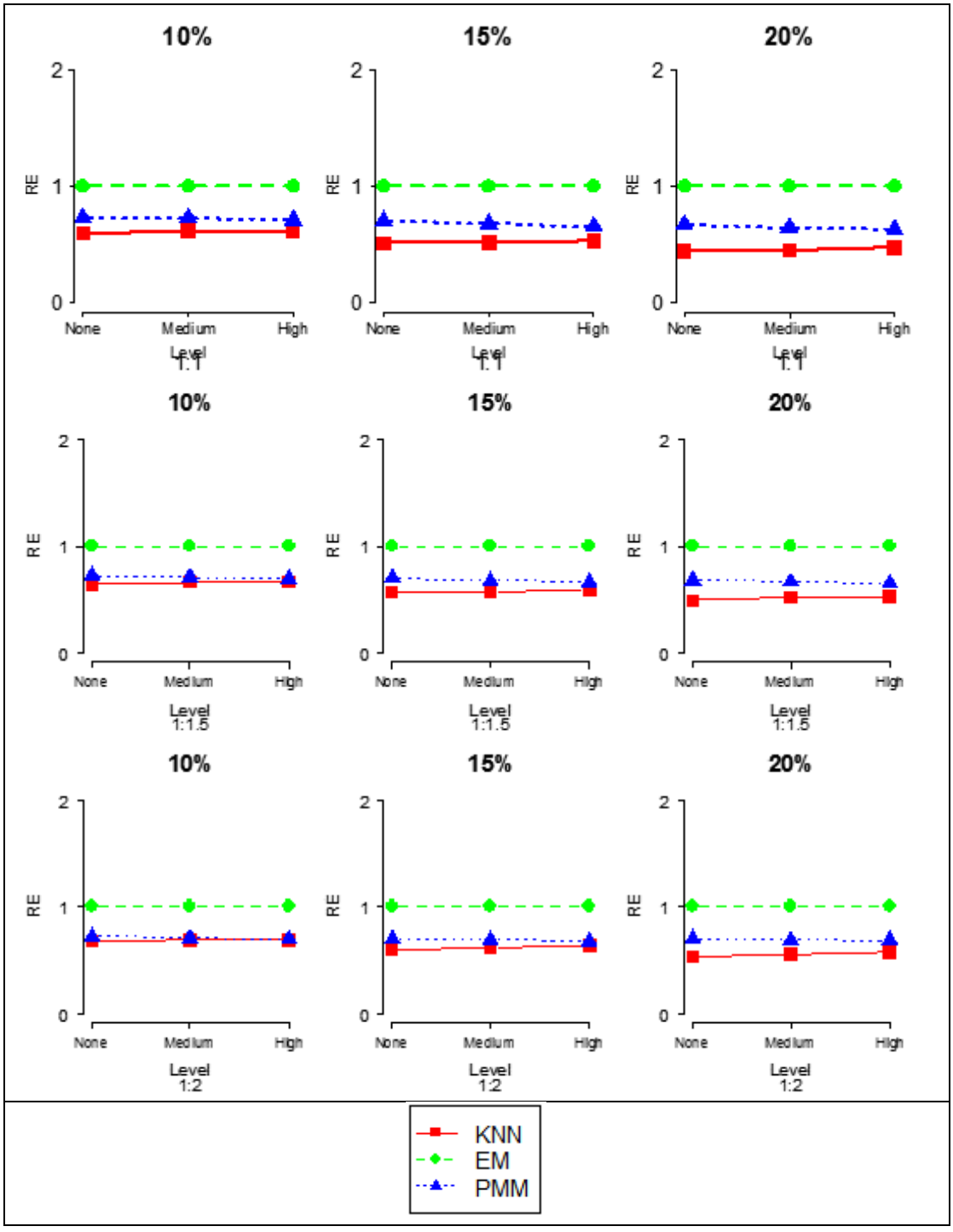


ภาพที่ 4.2.5.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

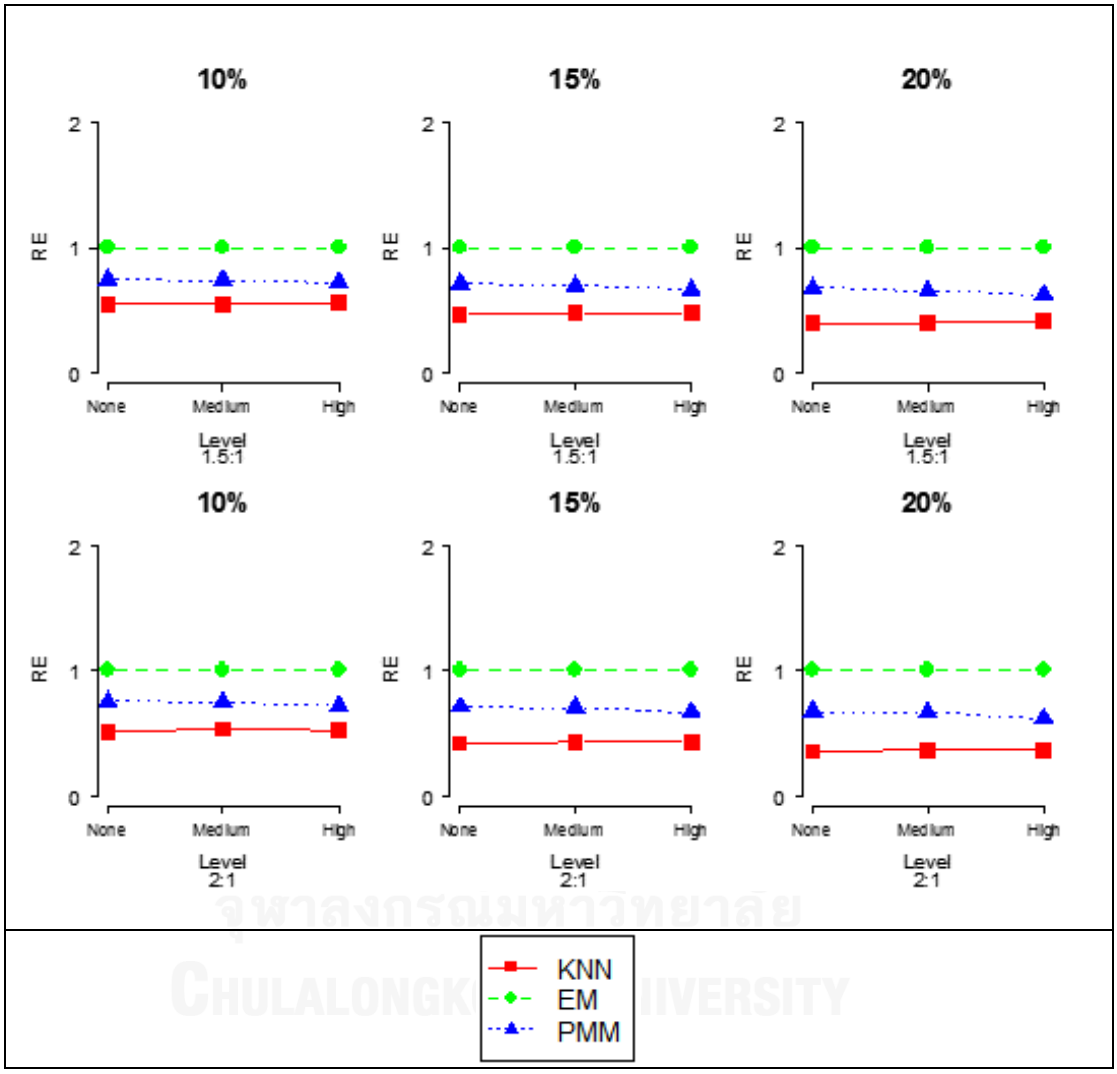


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

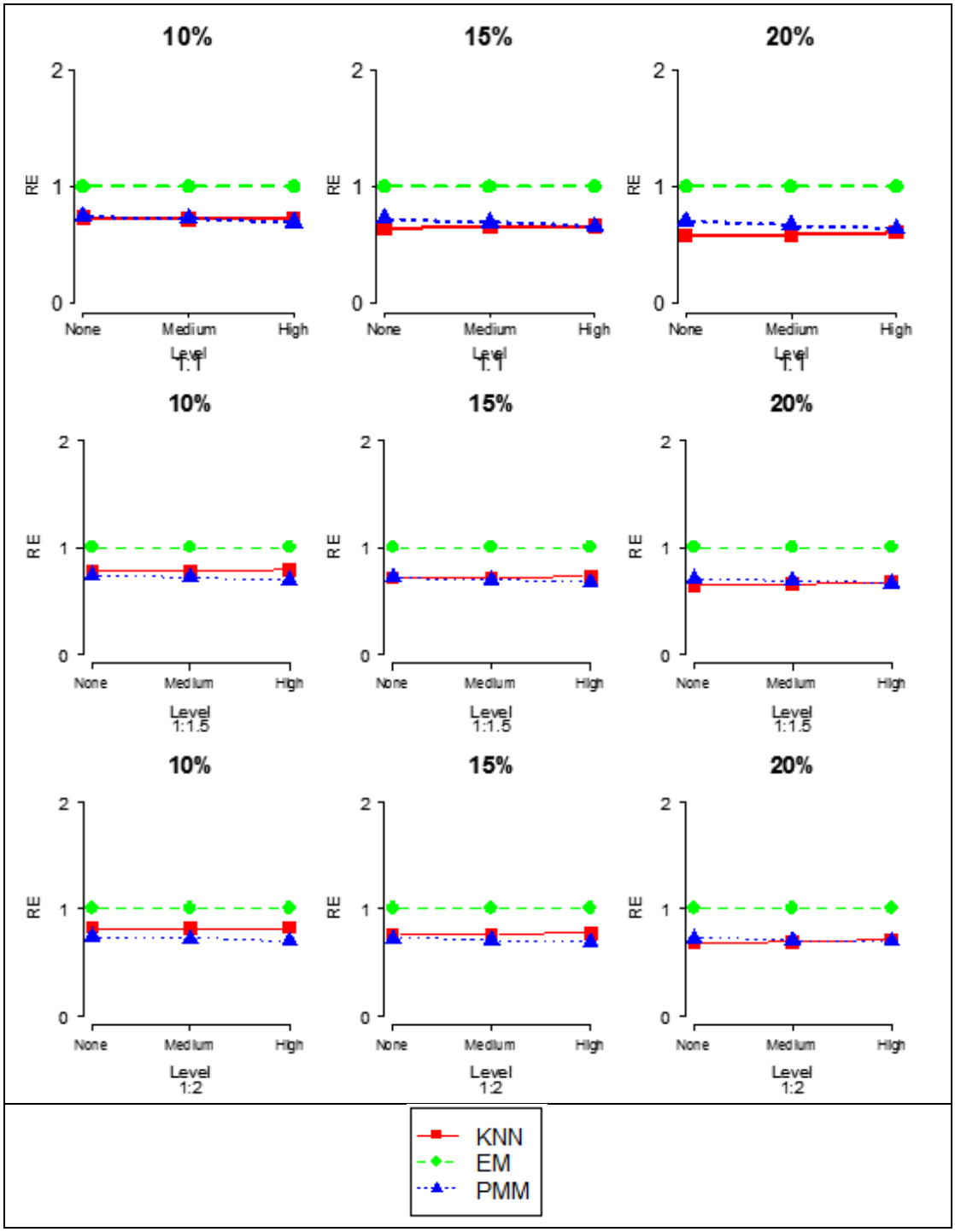


ภาพที่ 4.2.6.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

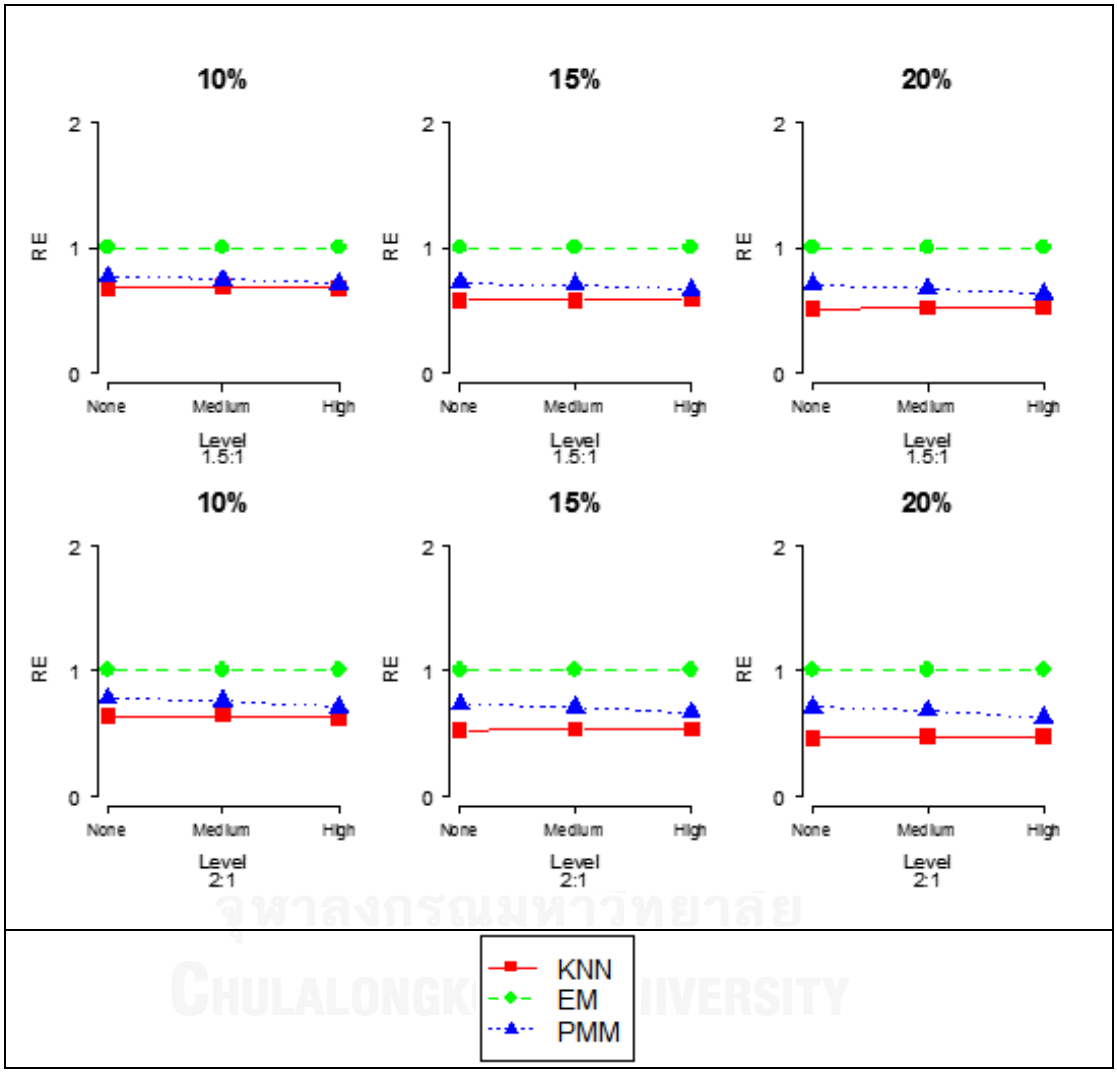


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

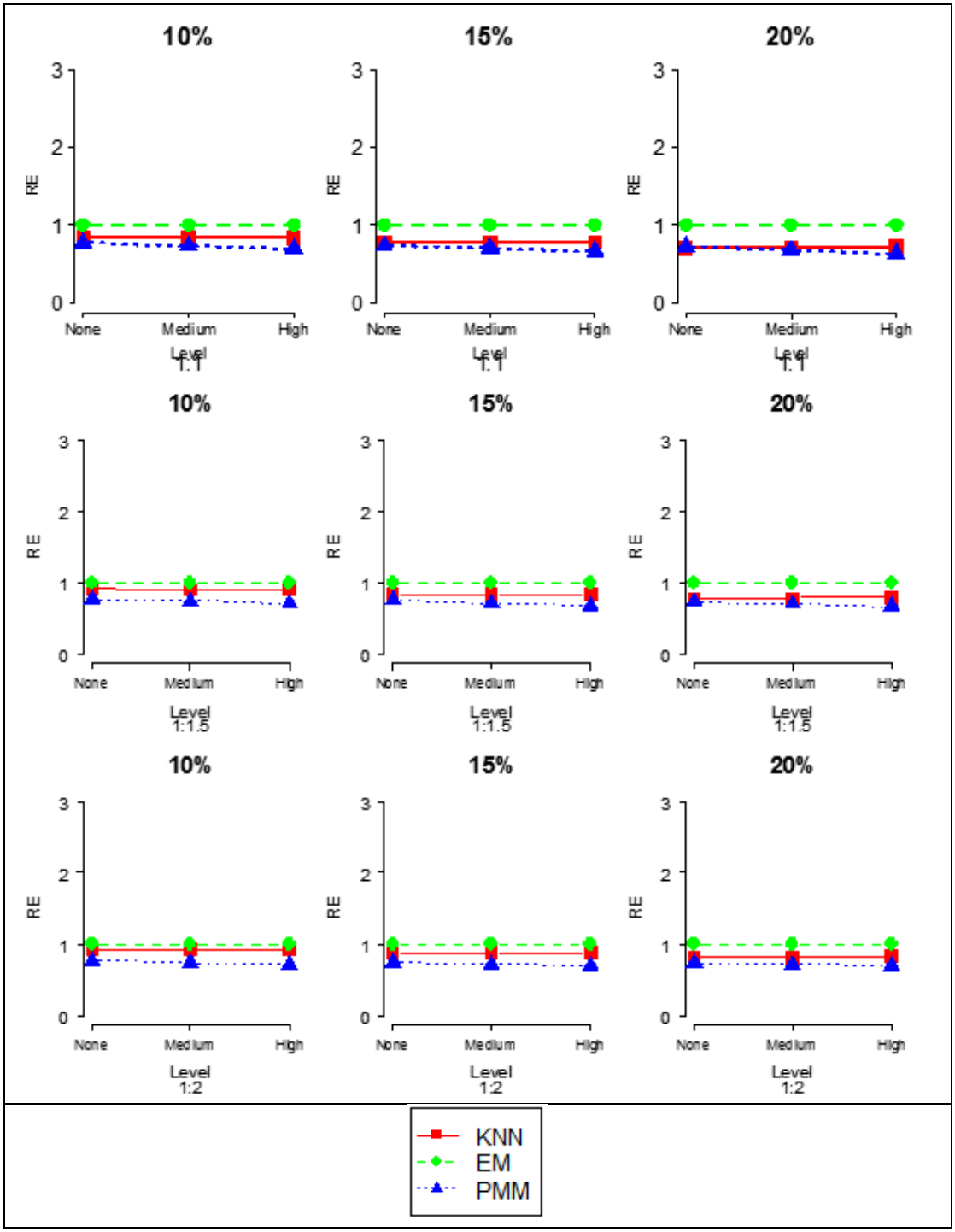


ภาพที่ 4.2.6.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

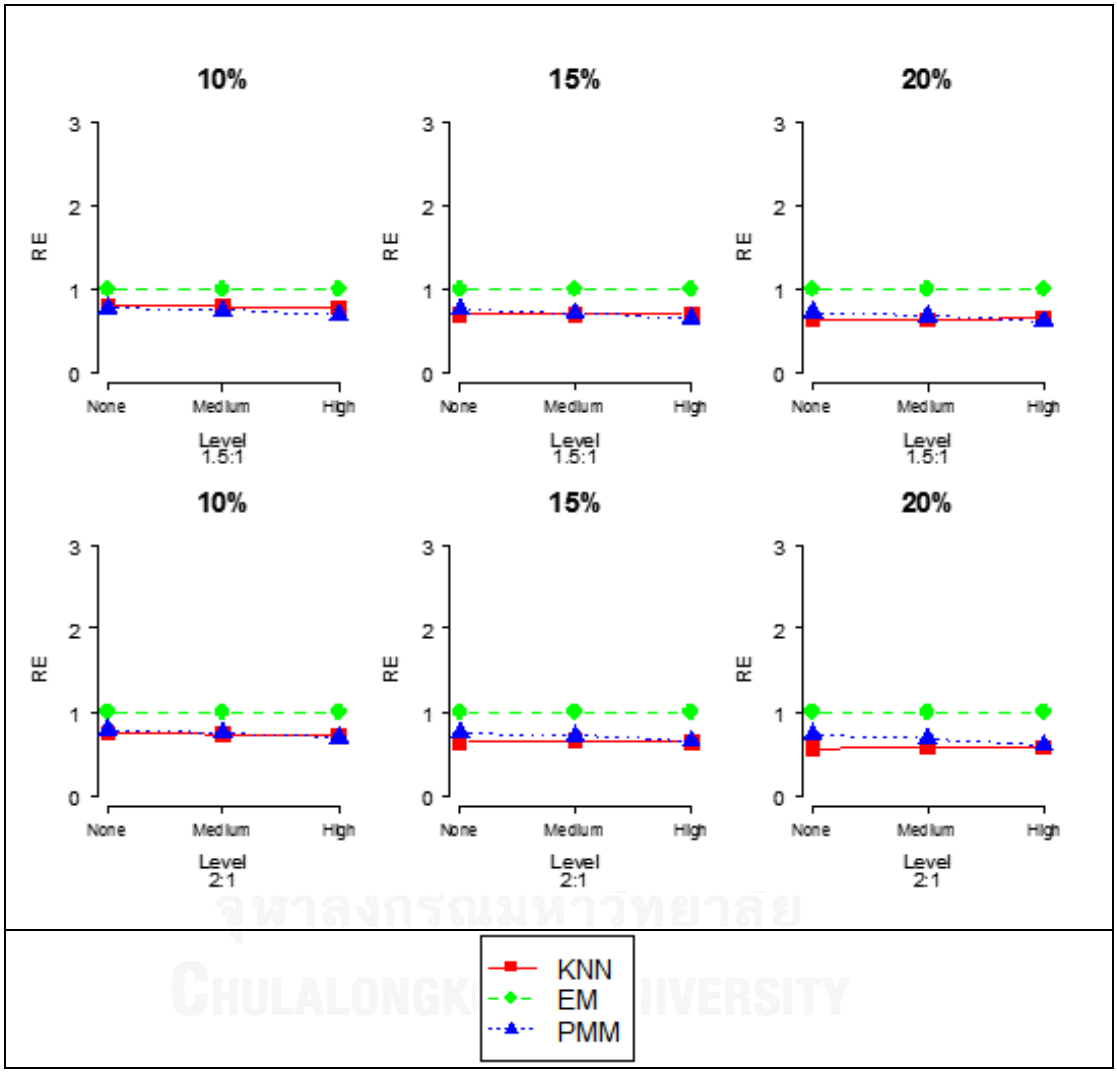


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.2.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

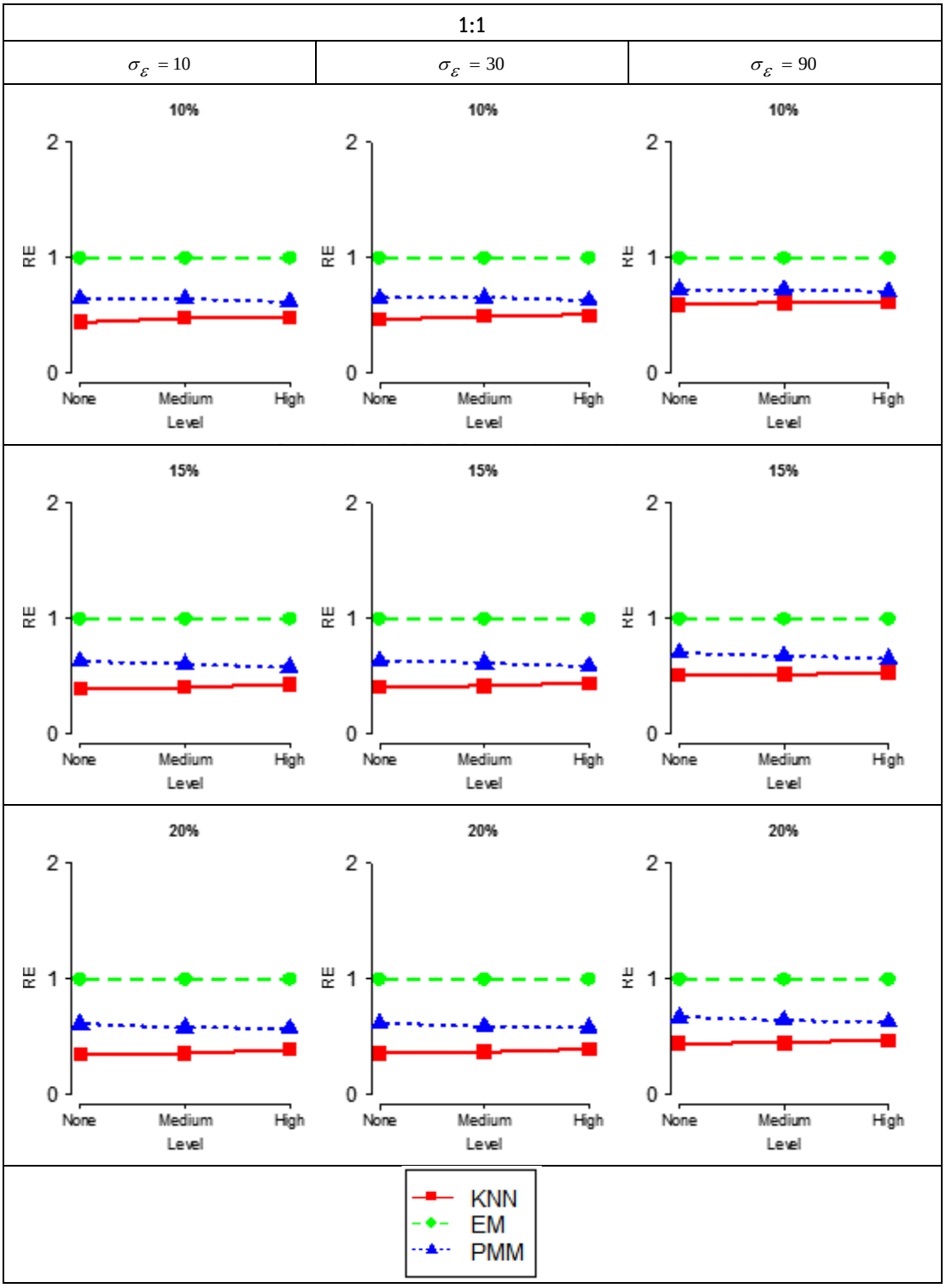


ภาพที่ 4.2.6.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

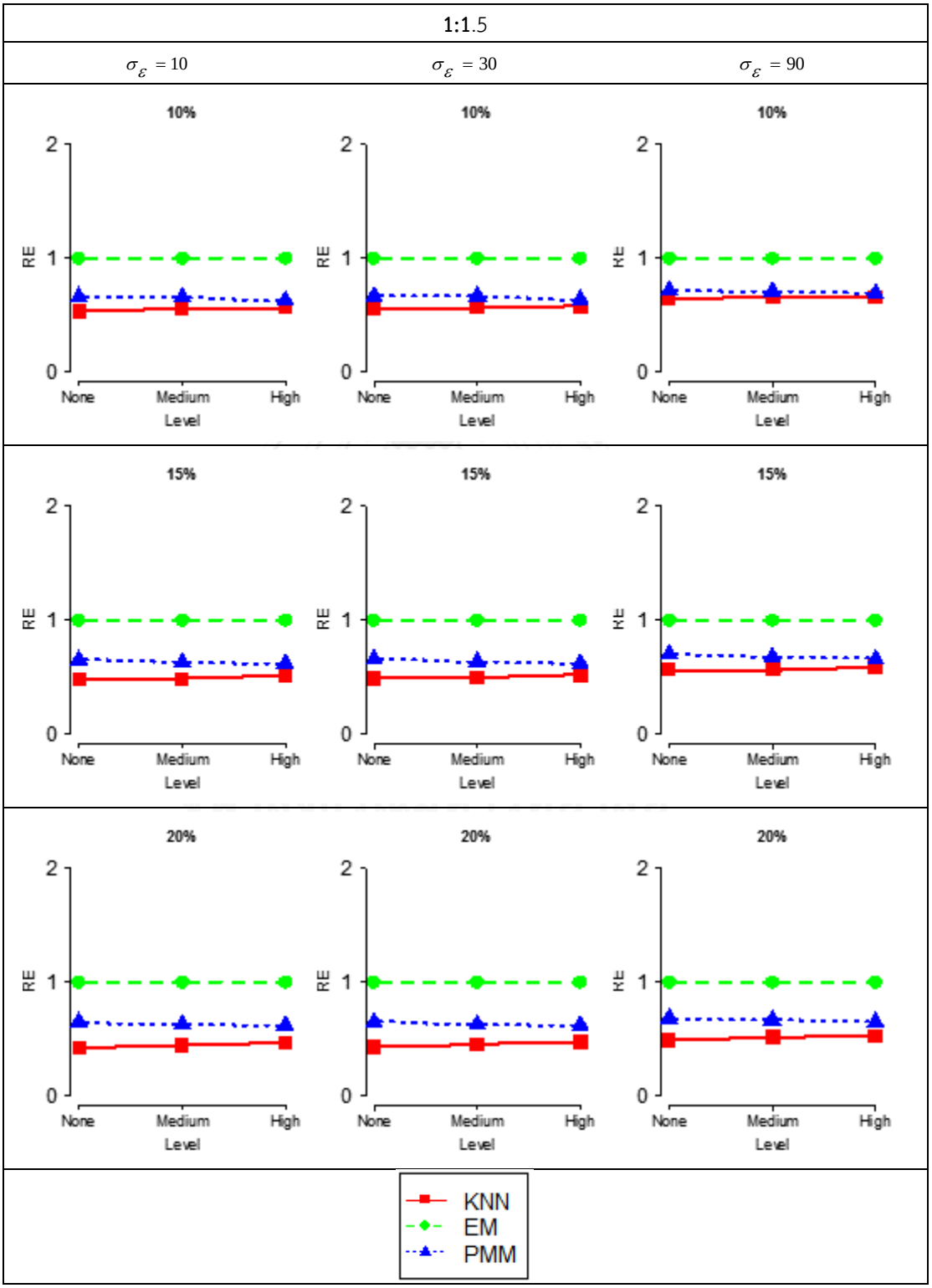


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

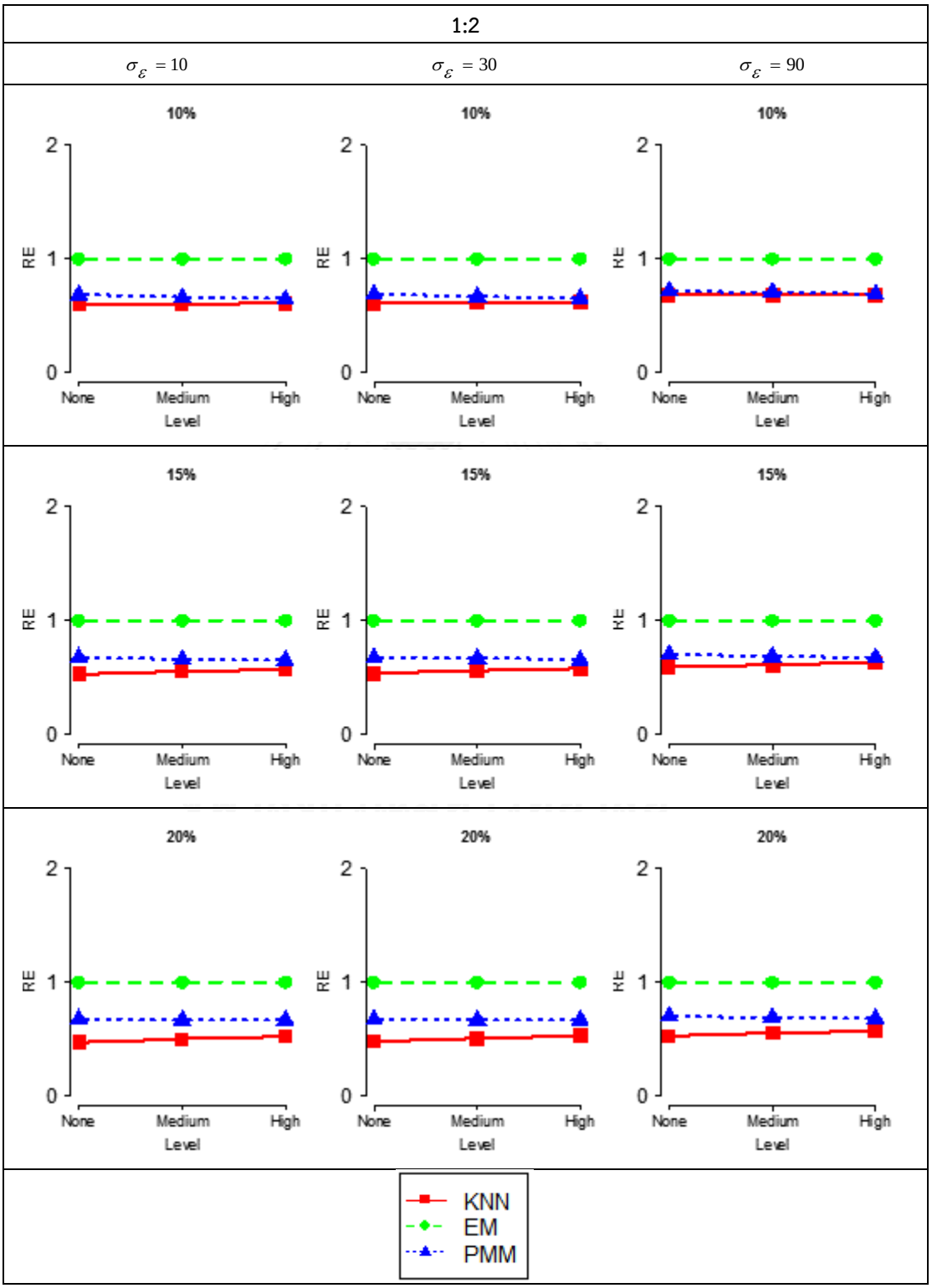
ภาพที่ 4.2.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



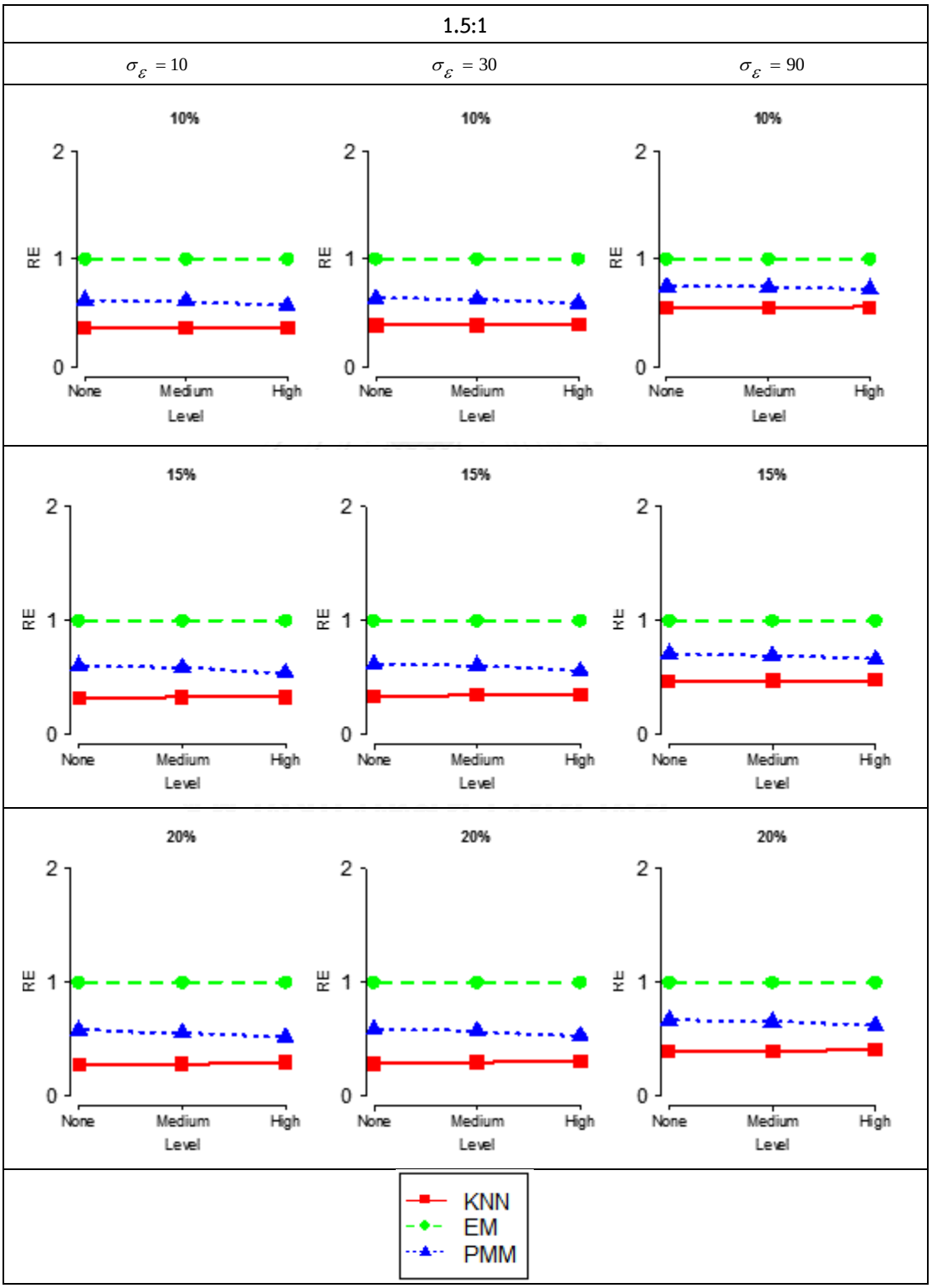
ภาพที่ 4.2.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



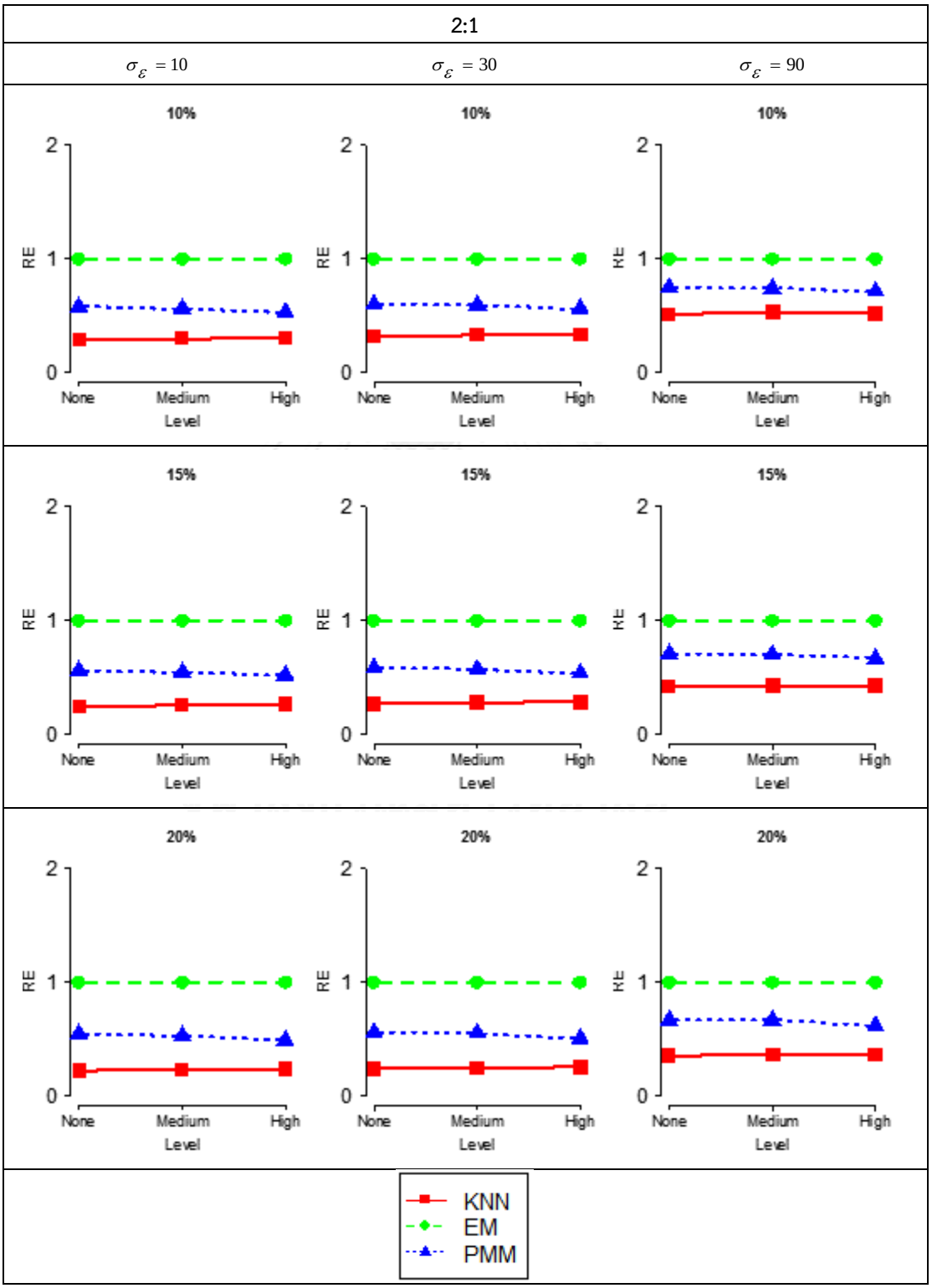
ภาพที่ 4.2.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



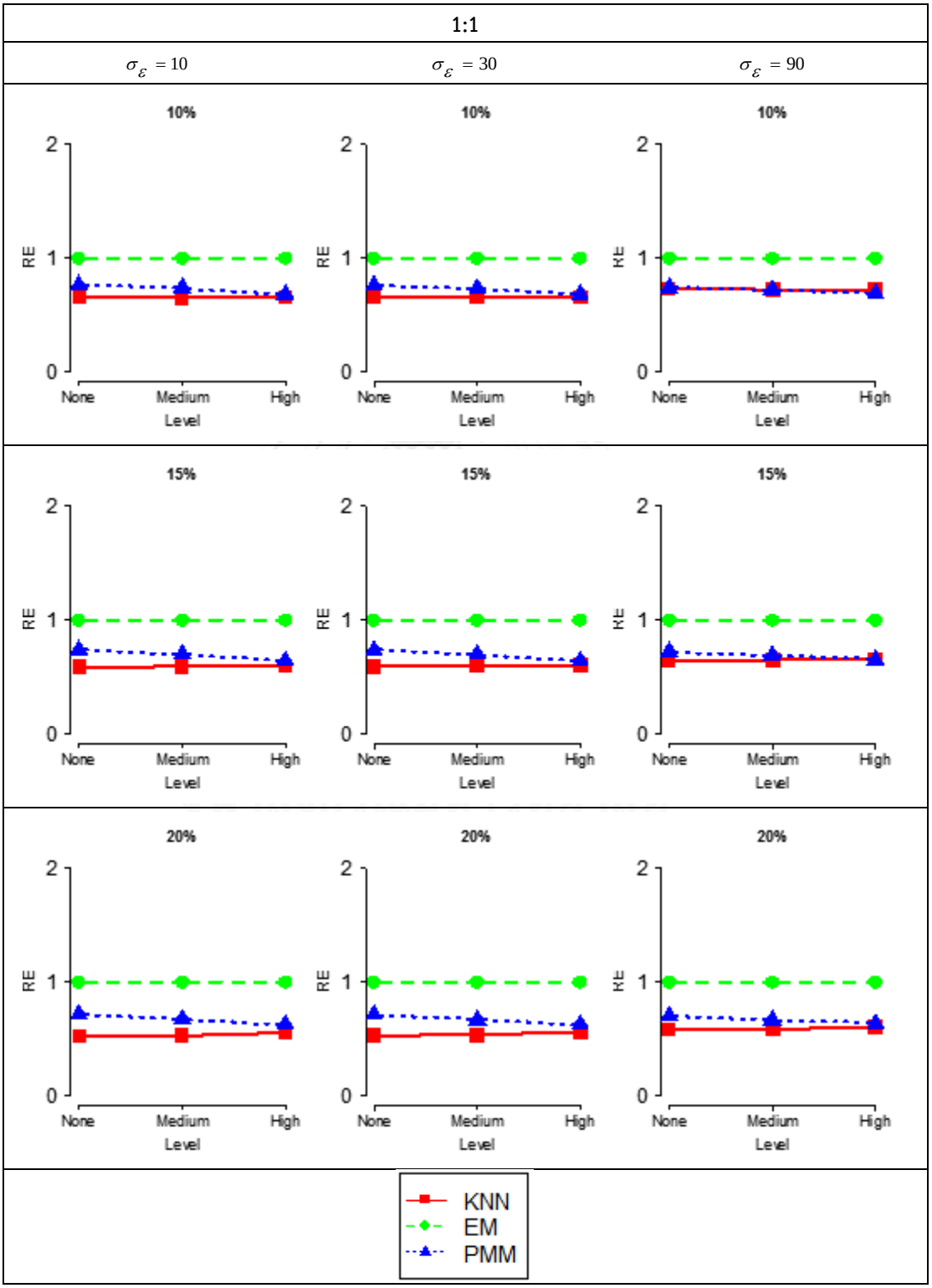
ภาพที่ 4.2.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



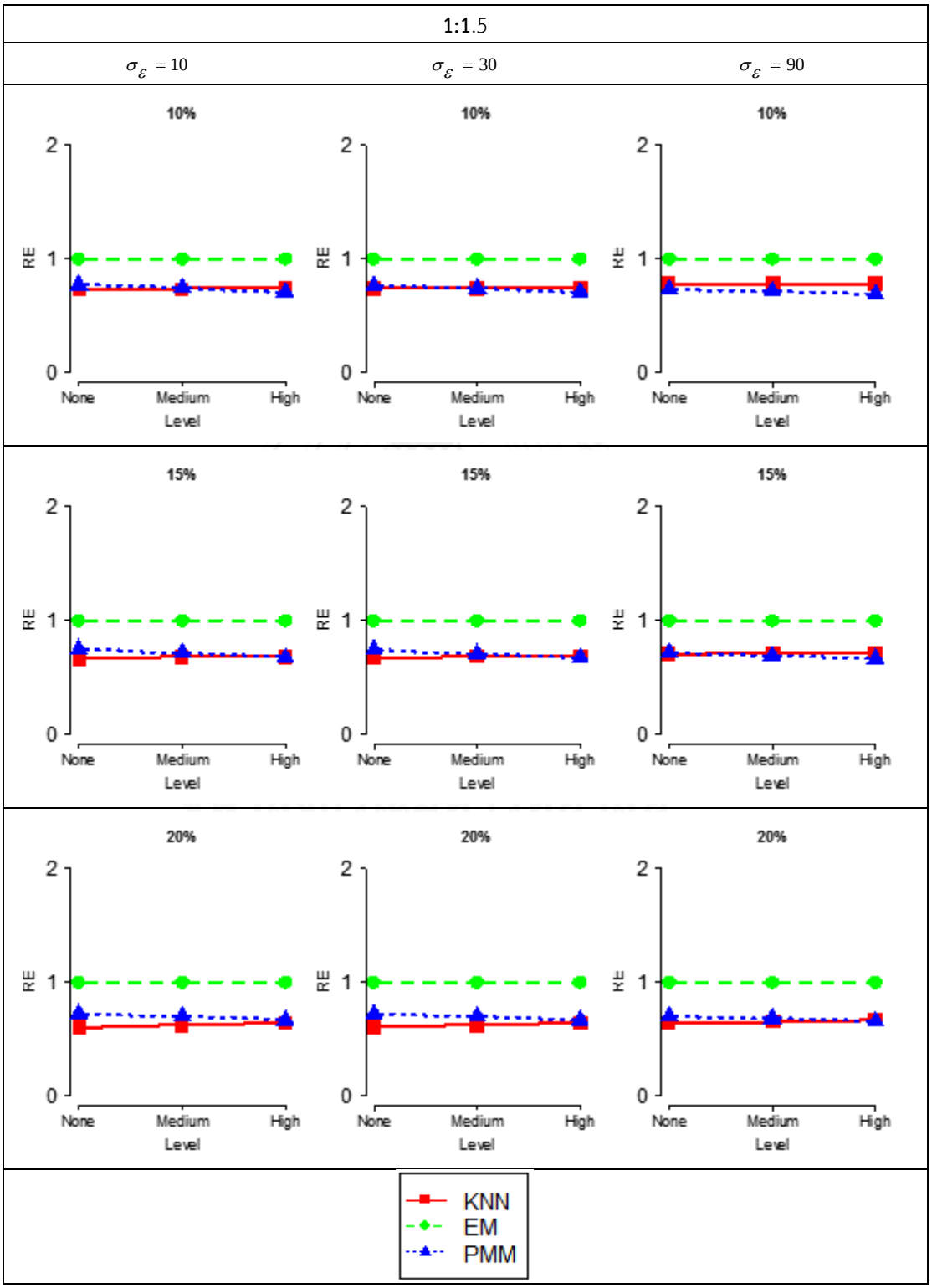
ภาพที่ 4.2.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



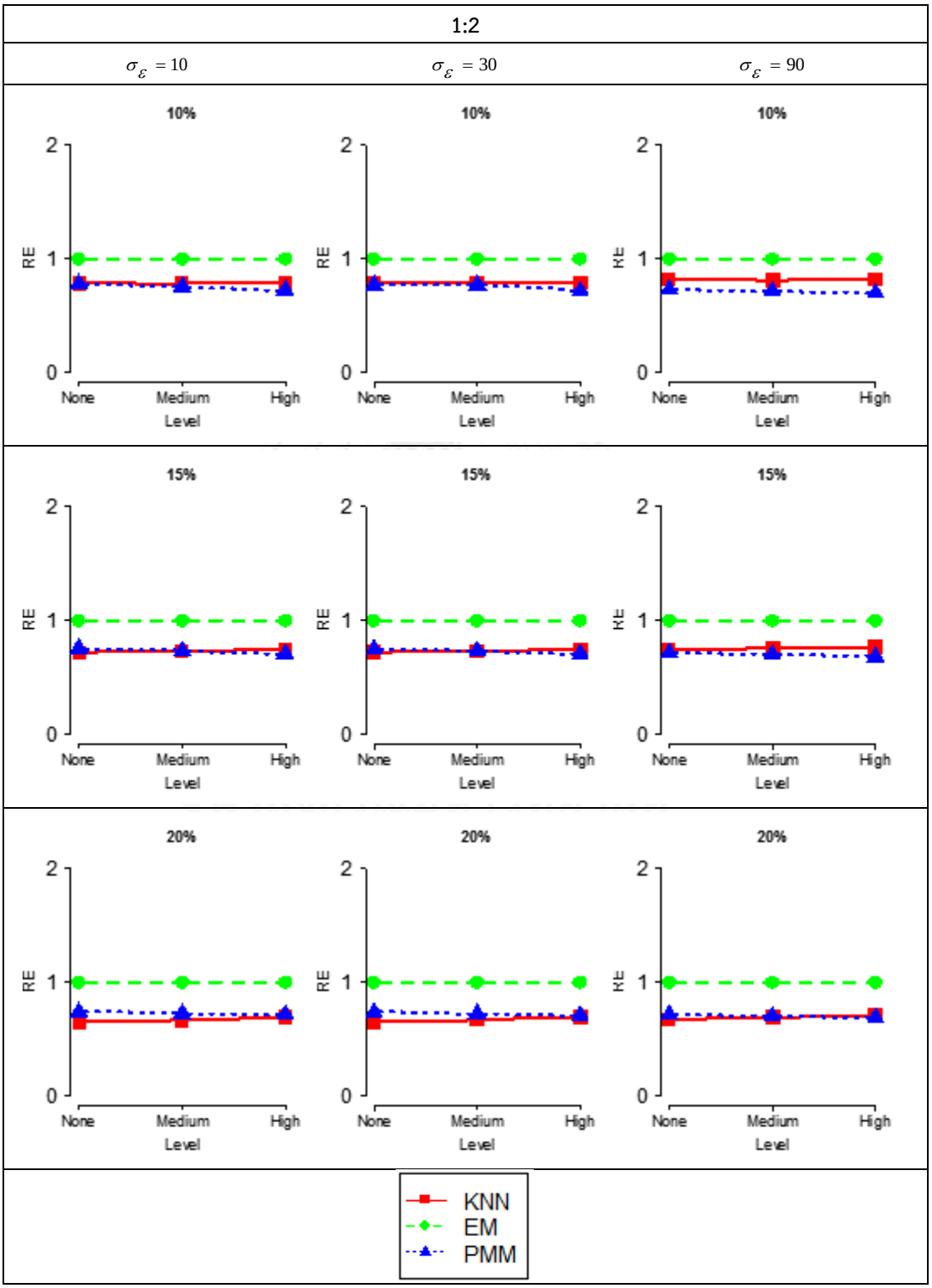
ภาพที่ 4.2.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



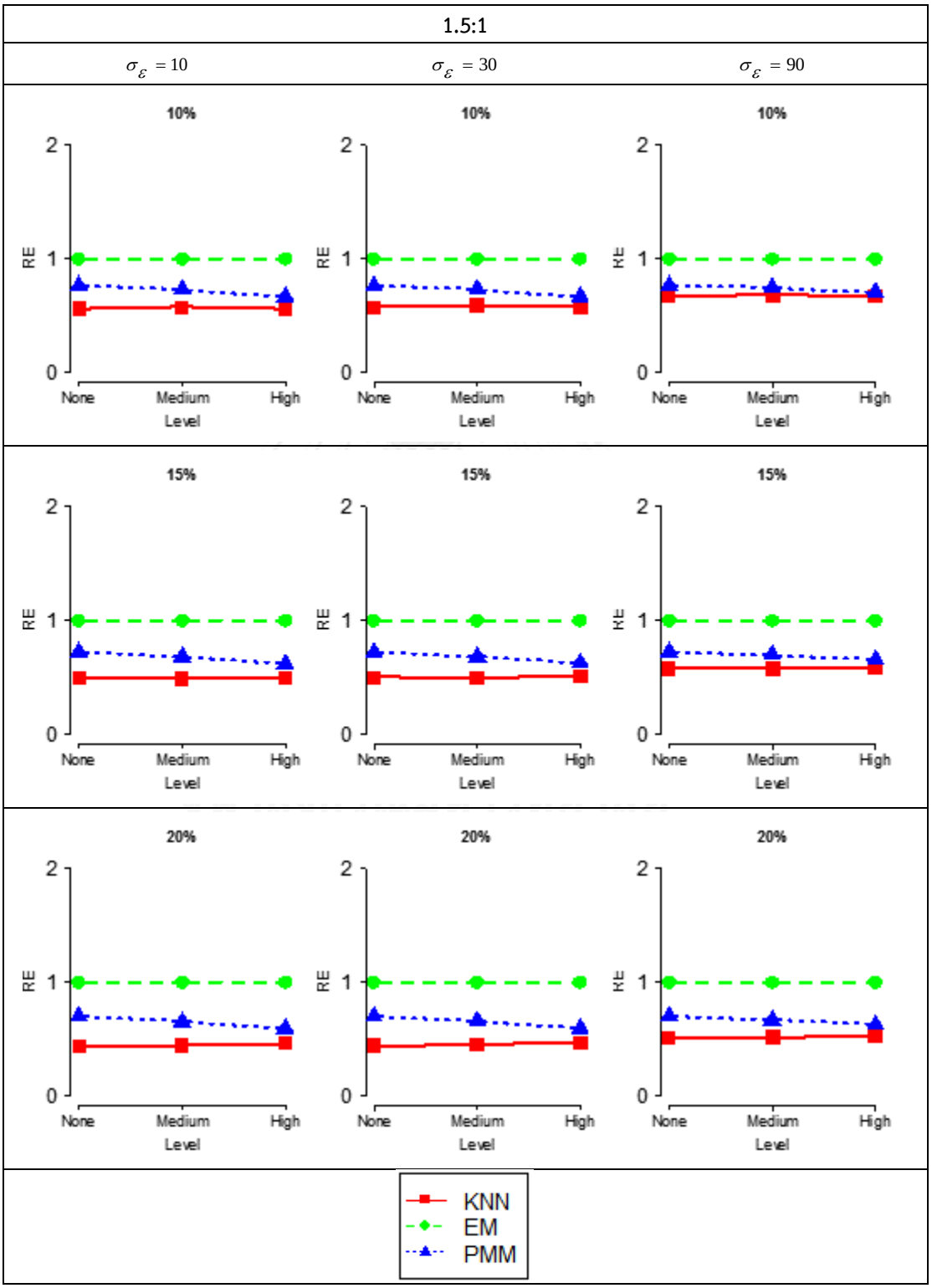
ภาพที่ 4.2.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



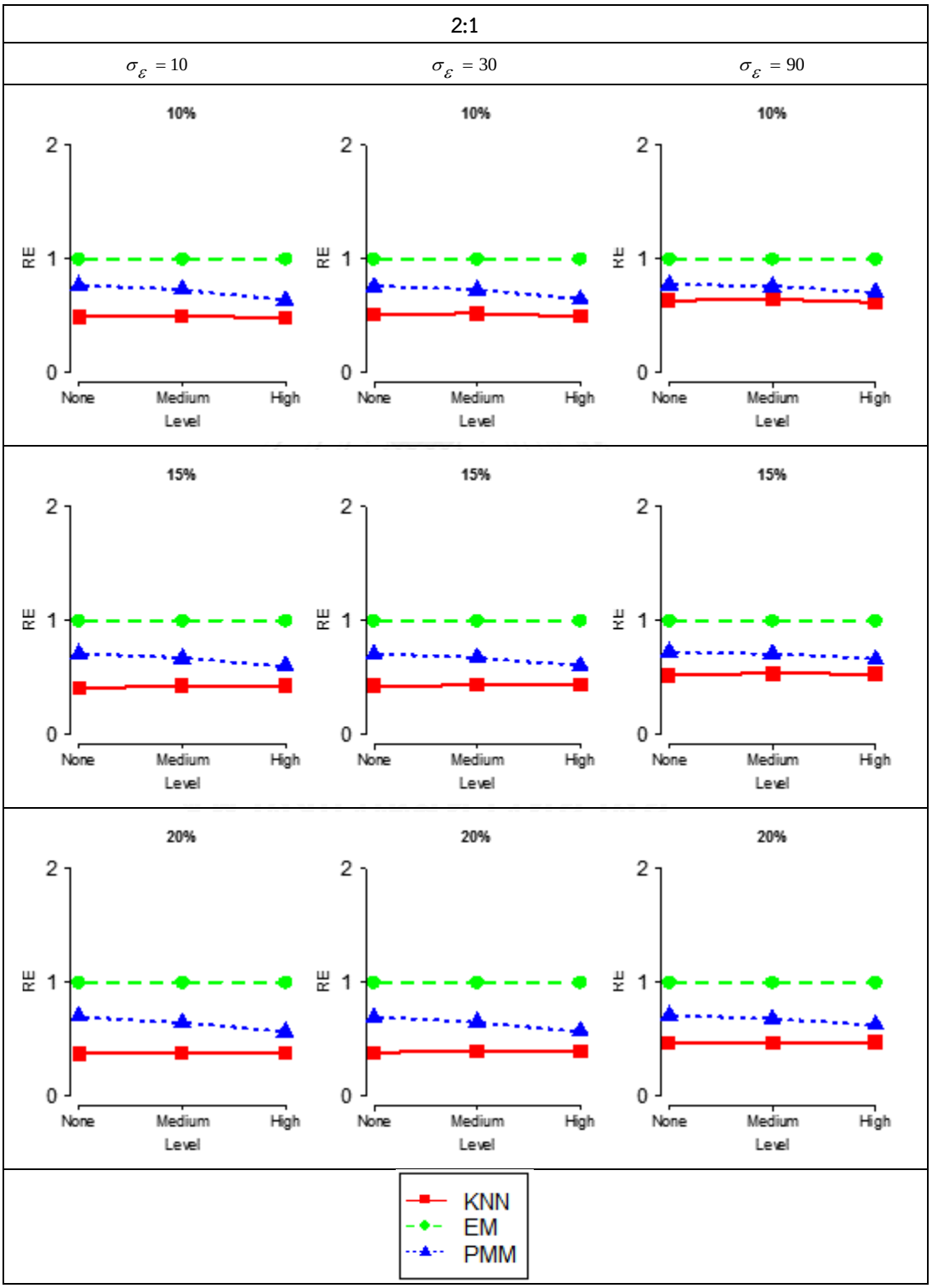
ภาพที่ 4.2.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



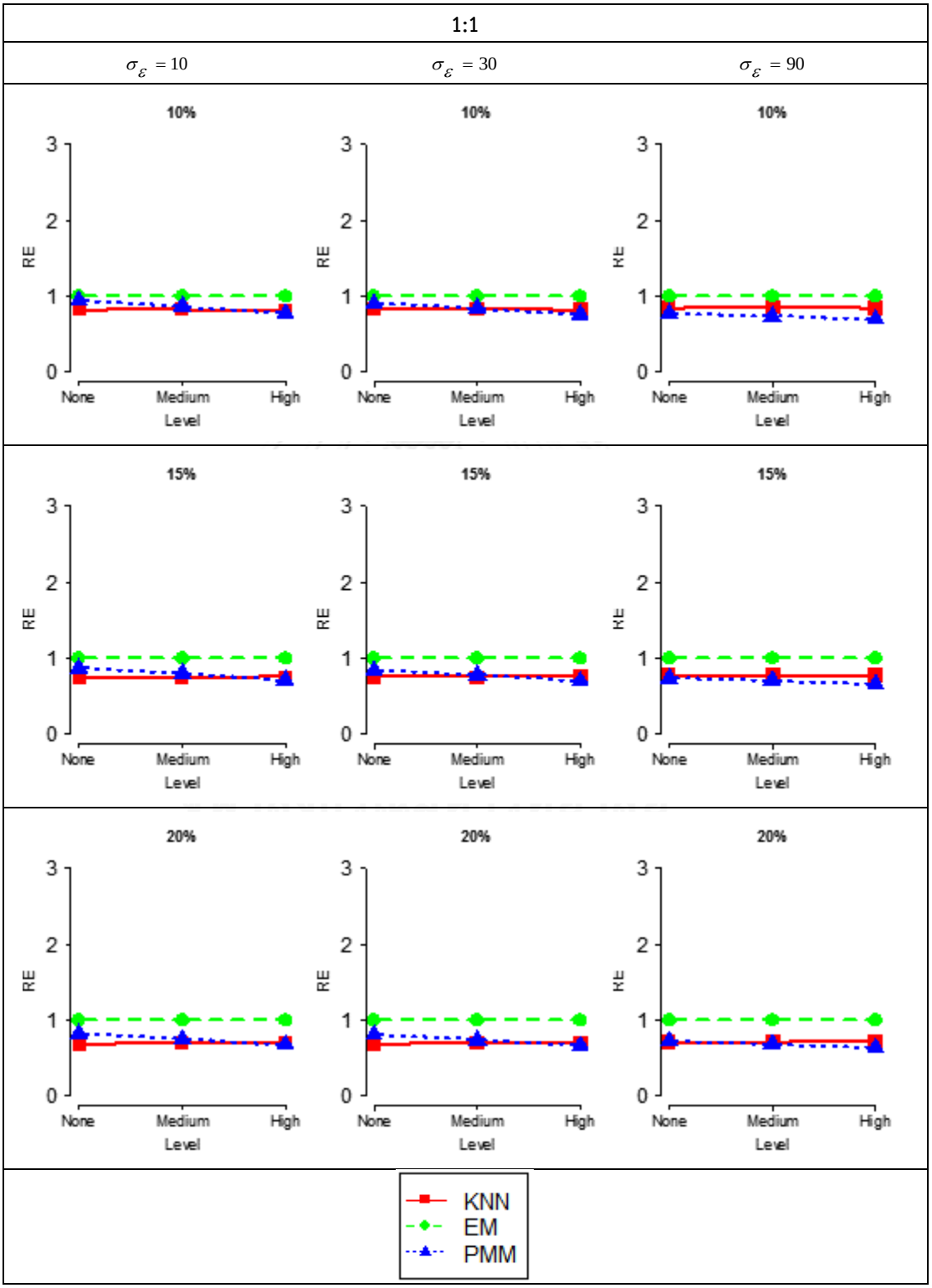
ภาพที่ 4.2.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



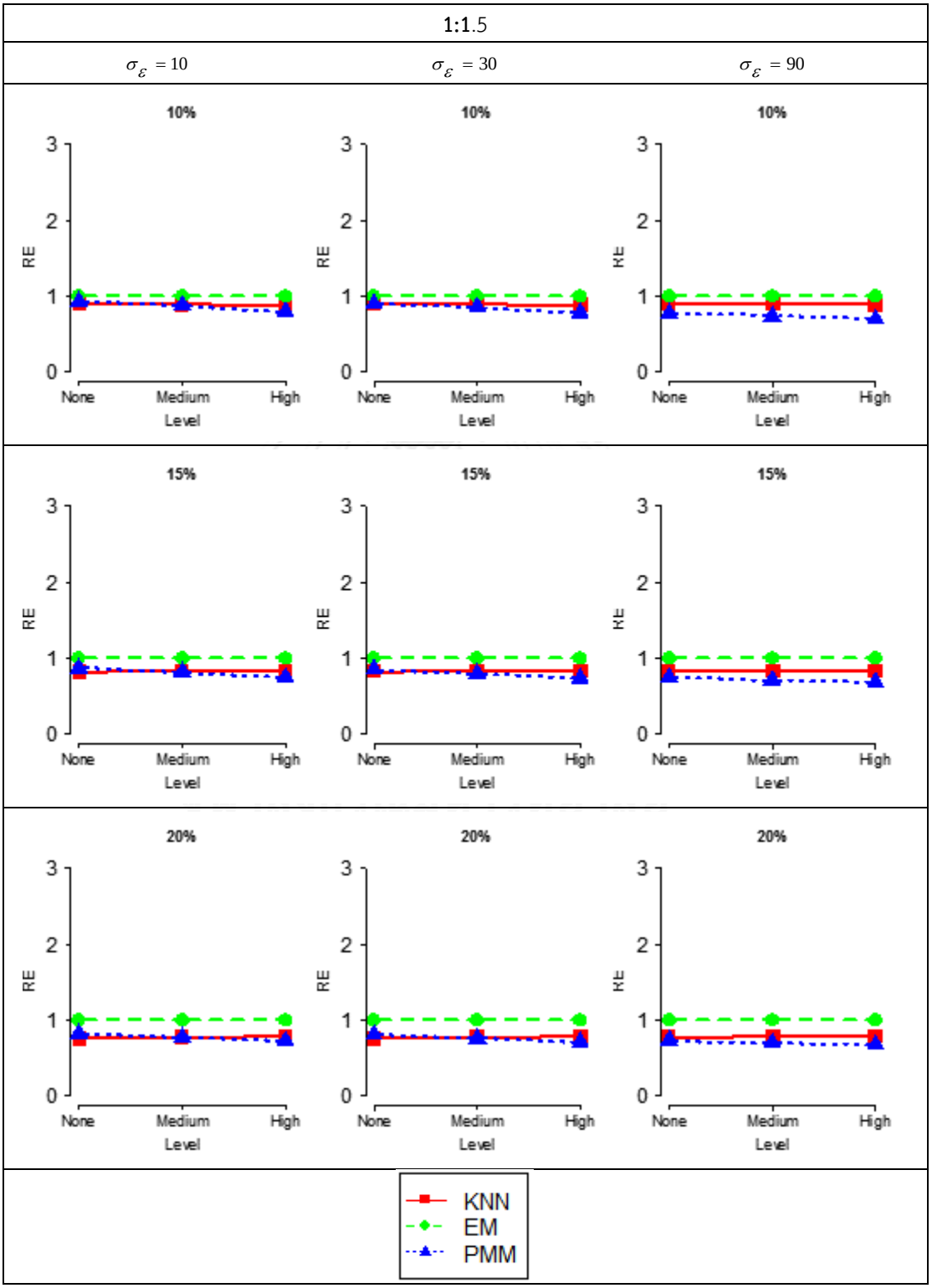
ภาพที่ 4.2.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



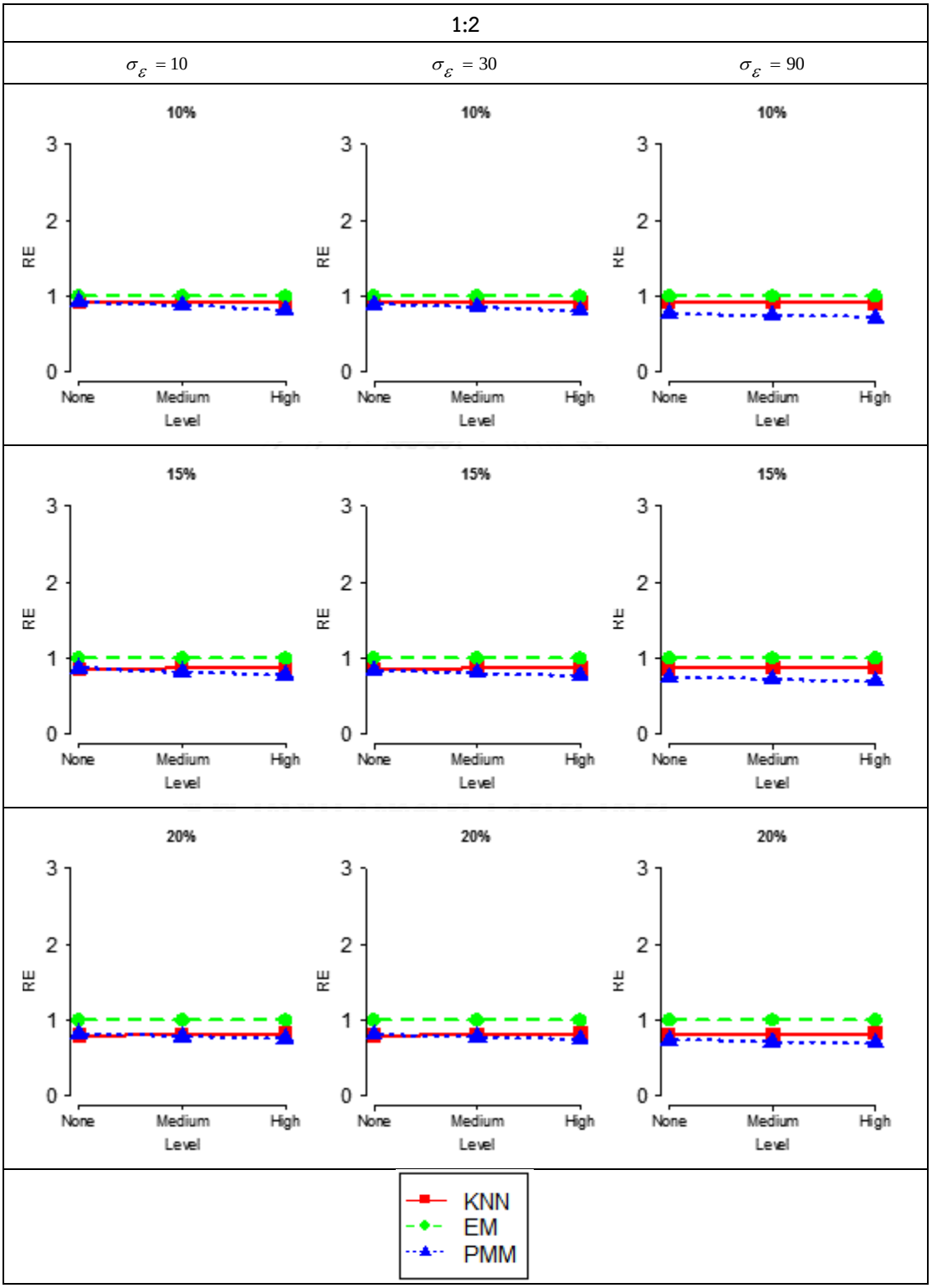
ภาพที่ 4.2.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



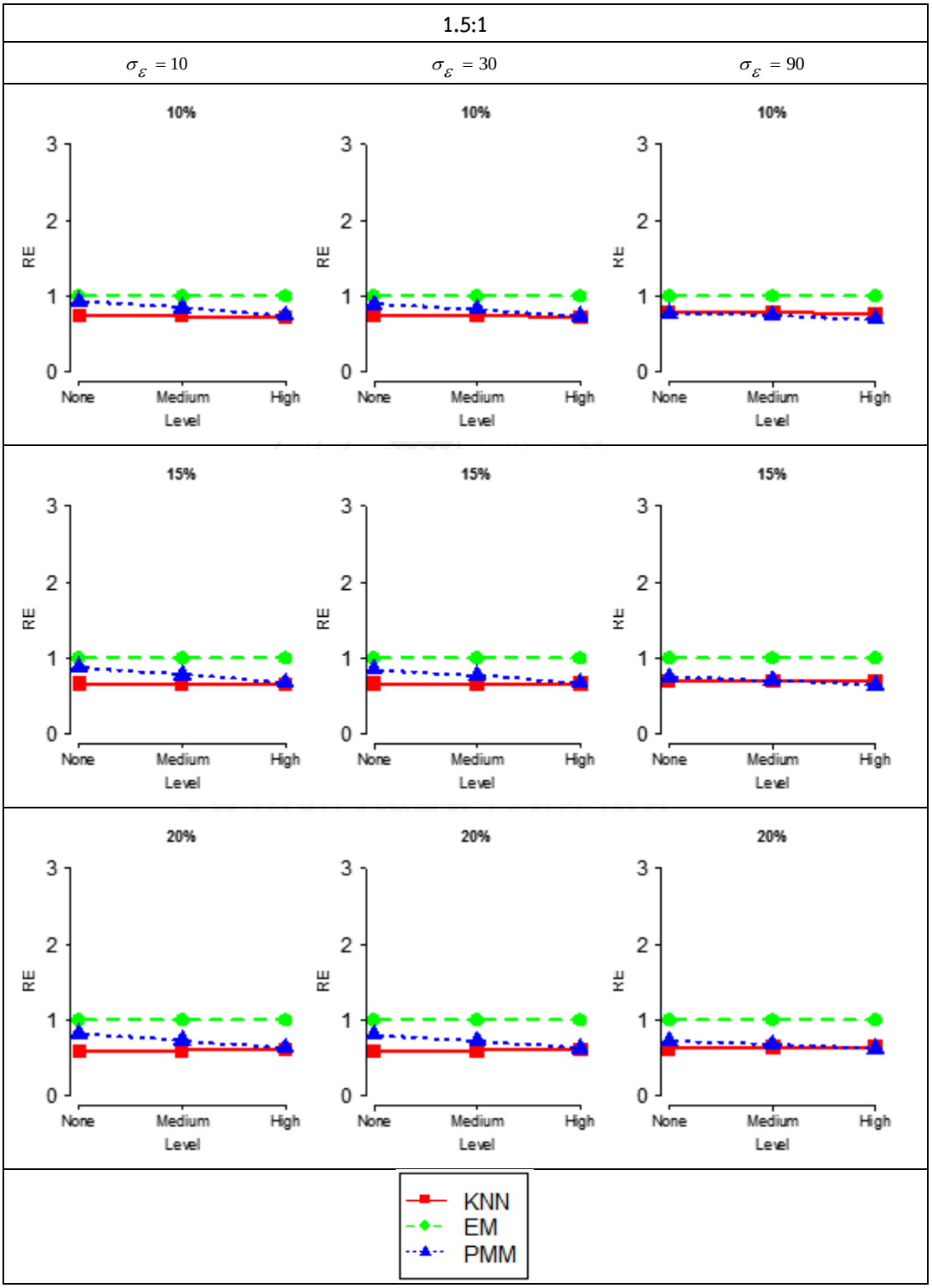
ภาพที่ 4.2.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



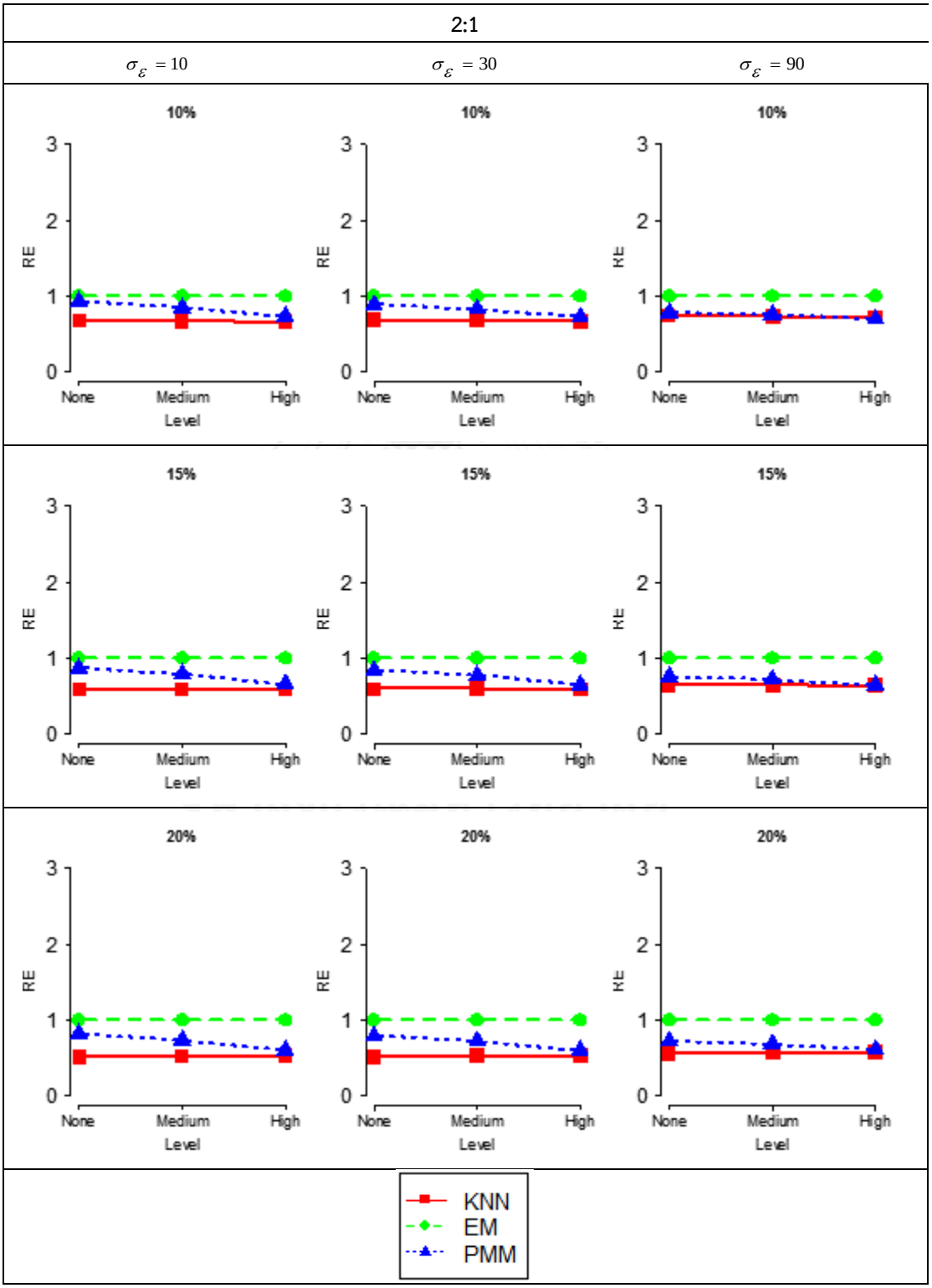
ภาพที่ 4.2.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.2.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.2.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



จากตารางที่ 4.2.1 – 4.2.6 และ ภาพที่ 4.2.4.1 - 4.2.6.3 พบว่าวิธี EM เป็นวิธีที่ดีที่สุด ทุกกรณี โดยที่ กรณีที่สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10 และ 30 และไม่มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable วิธี PMM จะเป็นวิธีการที่ดีกว่า วิธี KNN

นอกจากนี้ จาก ภาพที่ 4.2.7 - 4.2.9 พบว่า ในกรณีที่ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตามน้อยกว่าเท่ากับ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อขนาดของตัวอย่างเพิ่มขึ้น วิธี KNN จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับ วิธี PMM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ส่วนที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง

ศึกษาข้อมูลสูญหายในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ซึ่งเท่ากับ 300 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: $X_1 \sim N(0, 100)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 500)$ มีร้อยละการสูญหายของข้อมูลตัวแปรตามโดยเฉลี่ย 3 ระดับ คือ 10%, 15% และ 20% ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50, 100, 200 มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และสูง และมีอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 ซึ่งผลการวิจัยในส่วนนี้จะแสดงในตารางและภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.3.1	10	AMSE
4.3.2	30	
4.3.3	90	
4.3.4	10	RE
4.3.5	30	
4.3.6	90	

ตารางที่ 4.3.1 - 4.3.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.3.4.1	10	50	RE
4.3.4.2		100	
4.3.4.3		200	
4.3.5.1	30	50	RE
4.3.5.2		100	

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.3.5.3		200	
4.3.6.1	90	50	RE
4.3.6.2		100	
4.3.6.3		200	

ภาพที่ 4.3.4.1 - 4.3.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.3.7	50	RE
4.3.8	100	
4.3.9	200	

ภาพที่ 4.3.7 - 4.3.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบจาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน 10 30 และ90 ตามขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2212.0	***985.8***	1526.7	2696.4	***1453.2***	2189.4	3297.7	***1985.5***	2887.3
		2	2239.1	***1078.1***	1667.6	2662.1	***1484.4***	2250.6	3205.7	***1946.7***	2926.4
		4	2225.1	***1091.0***	1749.7	2683.0	***1523.4***	2418.5	3248.8	***1986.0***	3056.7
	15	1	3691.0	***1469.3***	2331.8	4584.3	***2203.8***	3353.8	5447.0	***2899.3***	4288.7
		2	3642.2	***1483.9***	2437.0	4501.0	***2199.7***	3474.0	5324.1	***2960.0***	4458.4
		4	3566.0	***1531.8***	2643.9	4470.8	***2302.3***	3720.7	5330.6	***3069.1***	4696.8
	20	1	5584.1	***1958.1***	3188.3	6921.4	***2938.8***	4520.4	8301.5	***3942.0***	5817.0
		2	5513.5	***1982.9***	3415.8	6630.9	***2975.8***	4740.0	7945.2	***4006.8***	5965.2
		4	5326.2	***2081.5***	3635.1	6671.2	***3133.0***	5053.9	7931.7	***4194.0***	6292.2
100	10	1	1510.2	***990.4***	1287.1	2025.8	***1492.4***	1916.5	2496.6	***1973.8***	2514.0
		2	1502.5	***983.7***	1329.5	2006.7	***1483.4***	1983.1	2533.4	***1994.0***	2636.7
		4	1523.1	***1001.4***	1465.2	2040.6	***1515.5***	2131.9	2556.2	***2030.4***	2803.7
	15	1	2524.9	***1484.3***	1990.1	3315.8	***2223.1***	2948.7	4102.1	***2964.7***	3922.5
		2	2519.4	***1500.8***	2131.3	3237.5	***2216.4***	3089.4	4096.9	***2997.4***	4062.2
		4	2518.9	***1517.8***	2355.4	3332.1	***2292.0***	3369.6	4163.4	***3114.9***	4371.2
	20	1	3737.2	***1972.1***	2739.7	4884.1	***2971.4***	4078.3	6083.5	***3947.6***	5300.3
		2	3742.3	***1999.9***	2963.9	4847.0	***3038.1***	4315.4	6013.2	***4037.9***	5529.2
		4	3680.9	***2065.1***	3281.7	4828.2	***3122.3***	4638.4	6109.5	***4246.8***	5920.5
200	10	1	1204.3	***996.2***	1055.6	1660.3	***1494.3***	1599.2	2153.4	***2000.1***	2158.4
		2	1201.3	***997.0***	1147.2	1681.6	***1507.1***	1715.2	2164.9	***2002.4***	2268.9
		4	1231.8	***1010.7***	1297.0	1711.7	***1518.5***	1901.0	2213.4	***2036.2***	2474.1
	15	1	1975.7	***1489.5***	1710.7	2720.3	***2246.3***	2565.5	3456.1	***2983.4***	3427.8
		2	1984.5	***1499.0***	1861.2	2720.7	***2268.5***	2768.7	3457.2	***3007.8***	3660.4
		4	2012.8	***1524.9***	2142.1	2789.4	***2319.6***	3083.4	3586.1	***3127.5***	3995.1
	20	1	2895.8	***1992.0***	2407.9	3946.2	***3010.7***	3638.6	4958.9	***3971.9***	4799.0
		2	2891.5	***2018.3***	2678.1	3935.2	***3047.5***	3927.1	4973.4	***4033.7***	5088.5
		4	2942.2	***2073.1***	3073.8	4007.7	***3151.1***	4341.0	5146.8	***4240.1***	5540.0

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1809.6	***660.5***	1066.3	1691.5	***496.9***	855.6
		2	1823.9	***669.8***	1101.0	1592.3	***481.0***	848.5
		4	1823.9	***676.0***	1182.4	1655.3	***501.3***	942.1
	15	1	3098.1	***986.7***	1628.9	2870.7	***719.9***	1272.6
		2	3012.8	***1001.1***	1699.0	2865.7	***747.0***	1360.8
		4	3038.0	***1006.7***	1859.4	2839.4	***767.3***	1472.7
	20	1	4727.0	***1314.2***	2257.0	4370.6	***990.5***	1800.1
		2	4631.7	***1322.9***	2375.6	4255.8	***996.9***	1860.8
		4	4617.9	***1382.3***	2663.6	4308.7	***1050.1***	2149.4
100	10	1	1165.9	***657.8***	854.4	1012.8	***497.8***	650.5
		2	1172.7	***677.9***	924.1	998.8	***502.1***	686.5
		4	1185.0	***669.1***	1003.1	1037.1	***502.5***	786.4
	15	1	2010.1	***995.6***	1365.4	1782.9	***738.6***	1038.3
		2	2011.2	***991.6***	1447.5	1742.4	***744.5***	1107.4
		4	2028.5	***1021.8***	1642.1	1778.5	***759.3***	1260.4
	20	1	3029.0	***1327.8***	1885.3	2667.5	***1000.3***	1430.0
		2	2997.5	***1342.1***	2041.5	2654.7	***1013.2***	1566.7
		4	2982.6	***1383.2***	2319.6	2656.9	***1022.1***	1803.1
200	10	1	881.9	***663.3***	711.8	731.0	***499.2***	533.9
		2	890.6	***662.7***	777.6	743.2	***500.4***	587.0
		4	925.7	***672.1***	897.3	755.1	***504.7***	684.6
	15	1	1502.3	***997.4***	1132.6	1258.4	***748.8***	855.9
		2	1495.8	***997.4***	1261.2	1264.0	***754.5***	949.4
		4	1530.7	***1014.9***	1492.4	1282.7	***758.5***	1143.4
	20	1	2235.8	***1328.7***	1603.8	1919.9	***992.6***	1205.4
		2	2244.8	***1351.2***	1831.9	1901.4	***1001.9***	1362.3
		4	2243.0	***1371.9***	2155.4	1926.4	***1022.2***	1689.1

ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2276.2	***1057.3***	1612.5	2762.6	***1525.7***	2274.2	3362.8	***2057.6***	2971.2
		2	2308.0	***1149.6***	1751.3	2729.3	***1555.3***	2331.0	3271.2	***2019.1***	3012.7
		4	2298.6	***1162.0***	1835.5	2755.2	***1596.2***	2506.0	3318.8	***2058.4***	3143.6
	15	1	3756.8	***1547.2***	2422.8	4650.6	***2282.0***	3452.0	5520.2	***2975.3***	4395.1
		2	3712.7	***1560.5***	2526.4	4576.0	***2275.7***	3570.6	5394.6	***3034.2***	4550.7
		4	3636.9	***1605.1***	2730.0	4542.8	***2378.6***	3807.1	5394.9	***3144.6***	4780.5
	20	1	5650.3	***2040.7***	3283.4	6996.5	***3020.7***	4623.6	8364.4	***4025.2***	5904.2
		2	5589.8	***2065.8***	3507.8	6707.6	***3060.3***	4842.3	8025.1	***4088.9***	6068.3
		4	5405.0	***2159.6***	3730.0	6749.8	***3212.8***	5150.8	8006.9	***4270.5***	6385.9
100	10	1	1542.7	***1026.6***	1342.8	2060.0	***1528.4***	1985.7	2529.0	***2009.6***	2589.3
		2	1535.3	***1018.6***	1385.3	2042.0	***1519.4***	2044.9	2529.0	***2009.6***	2589.3
		4	1558.5	***1036.5***	1516.9	2072.2	***1550.9***	2190.2	2590.4	***2066.0***	2871.1
	15	1	2562.5	***1522.3***	2052.2	3347.8	***2261.2***	3021.6	4135.7	***3002.8***	4003.0
		2	2556.4	***1539.0***	2196.8	3275.6	***2254.5***	3166.2	4130.2	***3034.8***	4143.4
		4	2553.2	***1556.1***	2412.0	3365.8	***2329.4***	3439.1	4199.4	***3152.3***	4448.7
	20	1	3768.7	***2013.3***	2812.0	4934.5	***3027.3***	4172.8	6119.4	***3989.2***	5384.5
		2	3774.0	***2039.7***	3034.7	4884.2	***3074.1***	4383.5	6052.0	***4077.6***	5613.2
		4	3719.5	***2105.2***	3342.6	4866.5	***3161.4***	4712.7	6146.3	***4285.7***	6010.2
200	10	1	1221.9	***1013.7***	1113.6	1677.3	***1512.3***	1675.2	2171.6	***2018.1***	2247.7
		2	1217.7	***1014.8***	1201.5	1699.3	***1524.8***	1784.7	2182.6	***2020.0***	2356.7
		4	1247.6	***1028.2***	1345.6	1729.6	***1536.3***	1965.2	2231.5	***2054.0***	2548.8
	15	1	1991.8	***1508.1***	1776.5	2738.2	***2264.7***	2651.1	3473.7	***3002.0***	3530.3
		2	2004.6	***1517.7***	1923.3	2740.2	***2287.0***	2853.9	3475.9	***3026.7***	3757.7
		4	2030.1	***1543.5***	2195.2	2809.4	***2337.7***	3155.1	3606.0	***3145.8***	4089.6
	20	1	2913.1	***2012.2***	2484.8	3948.6	***3018.9***	3713.1	4975.0	***3991.5***	4901.1
		2	2911.0	***2038.2***	2744.8	3937.9	***3053.5***	3996.9	4992.4	***4053.3***	5186.8
		4	2960.3	***2093.0***	3132.4	4026.9	***3170.4***	4419.5	5168.1	***4259.9***	5640.7

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1879.6	***732.3***	1152.2	1759.8	***568.4***	934.7
		2	1890.5	***740.9***	1172.1	1661.1	***553.8***	930.9
		4	1886.7	***746.9***	1253.9	1721.0	***572.9***	1018.3
	15	1	3163.1	***1064.2***	1707.9	2936.8	***798.1***	1357.7
		2	3083.5	***1077.0***	1781.9	2936.3	***825.7***	1442.6
		4	3098.9	***1083.6***	1934.8	2912.1	***843.3***	1553.1
	20	1	4806.0	***1396.6***	2359.7	4439.2	***1071.8***	1891.6
		2	4705.0	***1403.1***	2463.0	4319.2	***1079.7***	1945.6
		4	4680.7	***1463.6***	2748.2	4385.2	***1130.6***	2239.3
100	10	1	1200.3	***694.2***	906.9	1046.1	***534.0***	700.3
		2	1207.7	***713.7***	974.1	1032.0	***538.2***	737.4
		4	1218.6	***705.1***	1052.2	1070.9	***538.3***	833.8
	15	1	2045.2	***1033.5***	1423.6	1820.0	***776.3***	1093.8
		2	2045.3	***1029.8***	1500.0	1777.9	***782.8***	1160.5
		4	2063.3	***1059.1***	1691.8	1811.5	***796.7***	1307.4
	20	1	3068.7	***1368.9***	1949.8	2701.3	***1040.2***	1491.8
		2	3034.2	***1382.5***	2099.8	2689.9	***1054.7***	1621.1
		4	3019.9	***1423.2***	2370.7	2687.5	***1062.2***	1854.4
200	10	1	899.4	***680.9***	756.8	747.6	***517.1***	573.9
		2	907.3	***680.0***	818.4	760.3	***517.9***	624.0
		4	943.8	***689.6***	937.6	774.6	***522.6***	718.1
	15	1	1520.0	***1016.2***	1189.8	1276.8	***767.5***	904.5
		2	1515.2	***1016.4***	1309.7	1280.2	***773.2***	992.4
		4	1547.6	***1033.3***	1533.4	1298.9	***776.6***	1178.2
	20	1	2255.2	***1348.5***	1666.1	1942.5	***1012.8***	1261.6
		2	2262.5	***1370.9***	1885.4	1919.6	***1021.6***	1407.1
		4	2260.6	***1391.6***	2198.4	1944.1	***1041.9***	1725.5

ตารางที่ 4.3.3 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2871.5	***1702.3***	2337.7	3366.1	***2176.8***	3013.9	3961.5	***2706.9***	3750.7
		2	2915.5	***1791.4***	2461.4	3322.5	***2193.1***	3081.9	3879.7	***2668.5***	3769.9
		4	2918.4	***1802.2***	2537.4	3387.1	***2248.9***	3242.3	3940.5	***2710.8***	3902.7
	15	1	4374.2	***2245.8***	3200.9	5262.3	***2983.5***	4258.0	6137.3	***3656.1***	5222.6
		2	4345.7	***2246.3***	3309.3	5214.7	***2961.4***	4380.3	6025.3	***3704.0***	5367.5
		4	4255.3	***2269.8***	3471.8	5188.7	***3061.8***	4597.0	6022.9	***3826.7***	5619.3
	20	1	6270.9	***2784.8***	4133.2	7649.2	***3760.7***	5506.7	8995.0	***4771.8***	6814.2
		2	6252.6	***2809.8***	4350.8	7389.1	***3817.1***	5717.5	8700.6	***4825.1***	6976.2
		4	6072.3	***2880.7***	4551.6	7423.6	***3932.3***	5999.1	8675.9	***4973.6***	7267.8
100	10	1	1842.0	***1351.3***	1815.2	2369.4	***1852.6***	2522.0	2835.9	***2330.7***	3165.9
		2	1831.8	***1334.2***	1834.7	2355.2	***1842.0***	2555.3	2882.4	***2353.8***	3274.0
		4	1865.7	***1354.1***	1957.2	2375.9	***1868.1***	2685.8	2907.1	***2386.8***	3403.0
	15	1	2882.0	***1866.3***	2581.3	3658.4	***2604.3***	3607.2	4447.2	***3344.1***	4628.4
		2	2877.3	***1882.3***	2705.2	3599.7	***2595.9***	3743.5	4444.3	***3372.1***	4773.5
		4	2867.7	***1896.1***	2884.7	3686.4	***2666.3***	3983.4	4523.1	***3488.7***	5057.8
	20	1	4083.8	***2382.8***	3391.3	5257.7	***3383.5***	4804.7	6450.0	***4360.3***	6057.0
		2	4089.8	***2396.1***	3591.8	5222.8	***3435.1***	4995.2	6391.4	***4437.8***	6283.1
		4	4054.9	***2465.2***	3846.8	5207.7	***3513.6***	5311.7	6492.3	***4637.3***	6662.4
200	10	1	1379.7	***1171.9***	1505.0	1836.7	***1675.5***	2171.7	2335.9	***2179.5***	2833.6
		2	1372.6	***1175.1***	1586.8	1861.0	***1683.9***	2261.7	2345.4	***2178.5***	2917.2
		4	1401.2	***1185.5***	1682.1	1894.5	***1697.5***	2399.4	2402.1	***2214.6***	3078.0
	15	1	2148.9	***1676.1***	2256.1	2898.2	***2431.9***	3236.9	3634.4	***3169.8***	4208.5
		2	2173.1	***1686.5***	2376.5	2906.4	***2452.7***	3414.4	3650.2	***3197.1***	4419.7
		4	2193.9	***1712.4***	2576.8	2979.6	***2503.0***	3656.6	3787.0	***3312.6***	4699.2
	20	1	3077.0	***2193.8***	3019.0	4130.3	***3212.9***	4379.9	5136.3	***4169.1***	5617.3
		2	3079.2	***2217.1***	3235.0	4132.5	***3247.0***	4620.5	5168.3	***4230.1***	5881.4
		4	3129.6	***2271.2***	3544.0	4206.5	***3344.6***	4969.4	5357.2	***4435.9***	6315.7

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2485.8	***1378.2***	1842.8	2360.6	***1211.1***	1617.1
		2	2489.2	***1380.8***	1859.5	2268.8	***1206.4***	1615.8
		4	2479.5	***1384.6***	1921.3	2319.6	***1218.0***	1689.9
	15	1	3773.0	***1760.6***	2464.6	3559.1	***1501.0***	2102.3
		2	3703.9	***1760.4***	2526.4	3568.8	***1535.0***	2178.5
		4	3702.8	***1776.1***	2670.0	3545.0	***1527.0***	2269.1
	20	1	5464.5	***2137.4***	3178.6	5062.1	***1806.1***	2679.7
		2	5339.8	***2127.2***	3256.9	4944.2	***1820.5***	2719.6
		4	5298.4	***2192.0***	3507.1	5040.6	***1852.3***	2990.3
100	10	1	1506.1	***1021.7***	1332.7	1351.8	***860.8***	1108.4
		2	1513.6	***1036.2***	1385.6	1339.9	***863.0***	1131.5
		4	1527.2	***1029.7***	1448.2	1373.8	***858.0***	1210.1
	15	1	2358.3	***1374.6***	1898.4	2135.0	***1115.5***	1537.0
		2	2356.2	***1371.9***	1961.0	2098.0	***1129.0***	1591.9
		4	2376.8	***1394.5***	2111.8	2118.2	***1131.4***	1702.7
	20	1	3401.2	***1740.3***	2475.8	3012.8	***1401.3***	1967.8
		2	3362.2	***1745.6***	2598.1	3015.6	***1426.9***	2092.2
		4	3352.8	***1787.5***	2824.5	2997.8	***1423.4***	2270.8
200	10	1	1056.3	***839.3***	1076.8	902.0	***678.9***	856.8
		2	1062.7	***836.8***	1122.1	913.9	***675.7***	891.5
		4	1099.9	***846.9***	1213.4	936.0	***683.5***	966.7
	15	1	1678.5	***1185.1***	1569.1	1435.4	***935.1***	1234.5
		2	1681.5	***1187.4***	1665.9	1437.3	***941.9***	1303.7
		4	1707.8	***1199.4***	1837.5	1454.3	***941.5***	1436.9
	20	1	2420.1	***1527.5***	2101.9	2115.9	***1193.9***	1638.2
		2	2423.2	***1549.4***	2270.9	2081.9	***1199.3***	1745.5
		4	2423.9	***1569.6***	2514.1	2106.4	***1220.6***	1995.3

ตารางที่ 4.3.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1.548	1.000	***1.809***	1.615	1.000	***1.753***	1.651	1.000	***1.762***	1.402	1.000	***1.781***	1.270	1.000	***1.757***
		2	1.403	1.000	***1.406***	***1.517***	1.000	1.456	***1.540***	1.000	1.485	1.291	1.000	***1.380***	1.208	1.000	***1.362***
		4	***1.239***	1.000	1.080	***1.341***	1.000	1.131	***1.408***	1.000	1.198	1.291	1.000	***1.380***	***1.031***	1.000	0.998
	15	1	1.362	1.000	***1.507***	1.428	1.000	***1.489***	1.457	1.000	***1.461***	1.251	1.000	***1.497***	1.147	1.000	***1.506***
		2	***1.269***	1.000	1.199	***1.328***	1.000	1.213	***1.380***	1.000	1.246	1.158	1.000	***1.177***	1.045	1.000	***1.151***
		4	***1.103***	1.000	0.912	***1.218***	1.000	1.006	***1.264***	1.000	1.058	0.983	***1.000***	0.826	0.897	***1.000***	0.793
	20	1	1.236	1.000	***1.335***	***1.309***	1.000	1.303	***1.304***	1.000	1.257	1.114	1.000	***1.323***	1.030	1.000	***1.321***
		2	***1.132***	1.000	1.049	***1.222***	1.000	1.072	***1.238***	1.000	1.095	***1.032***	1.000	1.004	0.932	***1.000***	0.972
		4	***1.016***	1.000	0.800	***1.116***	1.000	0.909	***1.177***	1.000	0.982	0.898	***1.000***	0.734	0.809	***1.000***	0.684
100	10	1	2.077	1.000	***2.301***	2.146	1.000	***2.263***	2.177	1.000	***2.223***	1.965	1.000	***2.330***	1.861	1.000	***2.233***
		2	***1.818***	1.000	1.681	***1.896***	1.000	1.716	***1.940***	1.000	1.753	***1.736***	1.000	1.662	1.669	1.000	***1.669***
		4	***1.534***	1.000	1.195	***1.624***	1.000	1.288	***1.695***	1.000	1.366	***1.417***	1.000	1.132	***1.318***	1.000	1.072
	15	1	1.833	1.000	***1.844***	***1.896***	1.000	1.818	***1.887***	1.000	1.783	1.725	1.000	***1.907***	1.617	1.000	***1.876***
		2	***1.576***	1.000	1.334	***1.660***	1.000	1.394	***1.700***	1.000	1.434	***1.471***	1.000	1.291	***1.401***	1.000	1.311
		4	***1.295***	1.000	0.960	***1.428***	1.000	1.072	***1.512***	1.000	1.184	***1.189***	1.000	0.894	***1.096***	1.000	0.830
	20	1	***1.621***	1.000	1.559	***1.669***	1.000	1.523	***1.658***	1.000	1.495	1.527	1.000	***1.592***	1.450	1.000	***1.599***
		2	***1.404***	1.000	1.151	***1.467***	1.000	1.196	***1.506***	1.000	1.222	***1.309***	1.000	1.116	***1.226***	1.000	1.073
		4	***1.179***	1.000	0.851	***1.304***	1.000	0.962	***1.365***	1.000	1.058	***1.048***	1.000	0.752	0.965	***1.000***	0.720
200	10	1	2.673	1.000	***2.821***	2.730	1.000	***2.748***	***2.747***	1.000	2.710	2.583	1.000	***2.817***	2.514	1.000	***2.848***
		2	***2.248***	1.000	1.916	***2.325***	1.000	1.965	***2.371***	1.000	2.007	***2.162***	1.000	1.931	***2.092***	1.000	1.886
		4	***1.753***	1.000	1.282	***1.881***	1.000	1.393	***1.984***	1.000	1.512	***1.628***	1.000	1.190	***1.538***	1.000	1.124
	15	1	***2.321***	1.000	2.172	***1.976***	1.000	1.538	***2.362***	1.000	2.108	***2.237***	1.000	2.225	2.127	1.000	***2.202***
		2	***1.888***	1.000	1.496	***1.976***	1.000	1.538	***2.028***	1.000	1.597	***1.798***	1.000	1.442	***1.720***	1.000	1.421
		4	***1.477***	1.000	1.017	***1.622***	1.000	1.145	***1.726***	1.000	1.256	***1.340***	1.000	0.915	***1.255***	1.000	0.867
	20	1	***2.038***	1.000	1.790	***2.064***	1.000	1.747	***2.045***	1.000	1.712	***1.952***	1.000	1.804	***1.875***	1.000	1.828
		2	***1.645***	1.000	1.222	***1.732***	1.000	1.297	***1.779***	1.000	1.348	***1.551***	1.000	1.189	***1.479***	1.000	1.149
		4	***1.319***	1.000	0.891	***1.453***	1.000	1.014	***1.550***	1.000	1.134	***1.181***	1.000	0.784	***1.081***	1.000	0.724

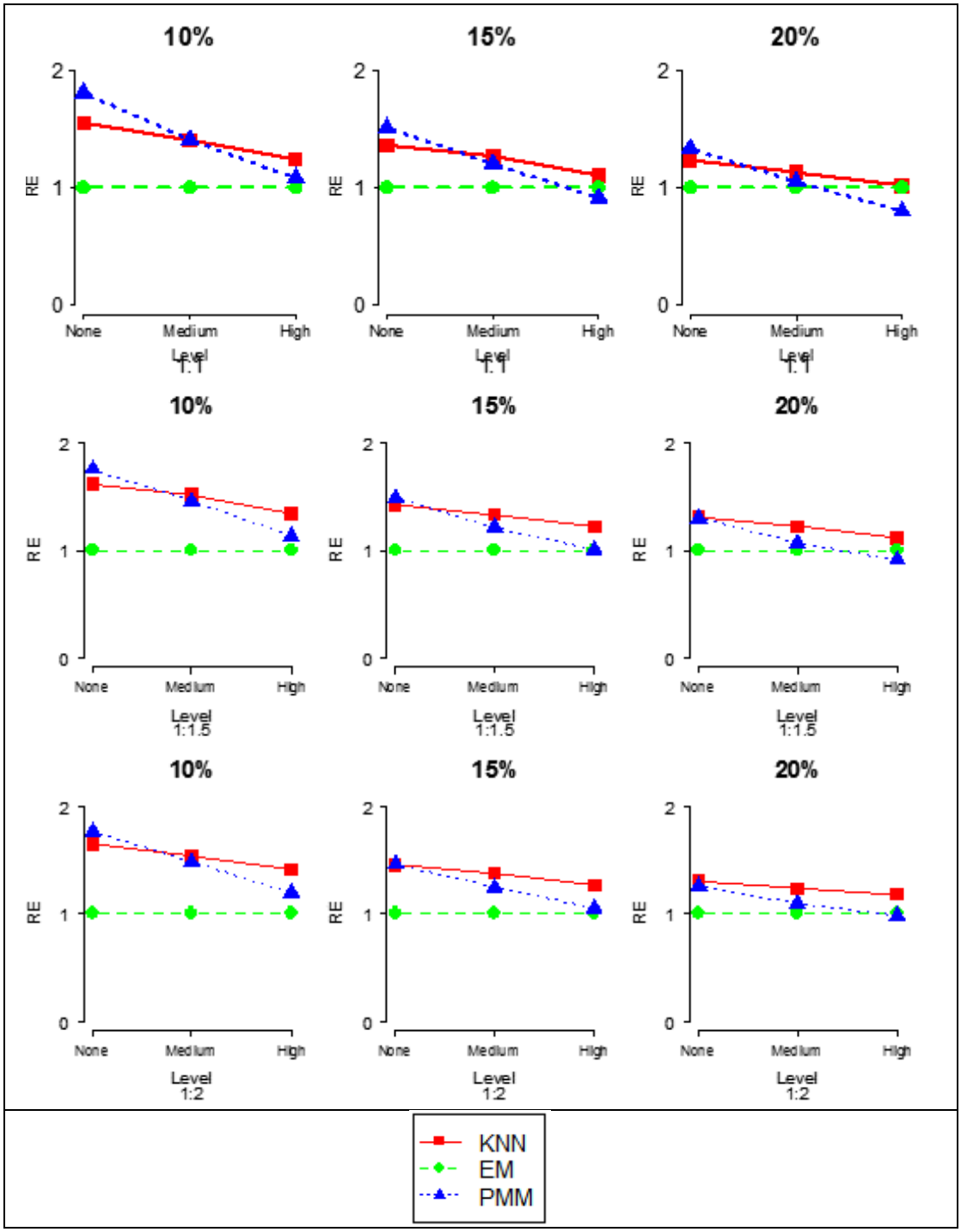
ตารางที่ 4.3.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1.532	1.000	***1.763***	1.600	1.000	***1.715***	1.639	1.000	***1.724***	1.391	1.000	***1.730***	1.262	1.000	***1.701***
		2	***1.394***	1.000	1.377	***1.505***	1.000	1.434	***1.529***	1.000	1.461	1.281	1.000	***1.360***	1.198	1.000	***1.340***
		4	***1.234***	1.000	1.069	***1.334***	1.000	1.120	***1.400***	1.000	1.185	***1.128***	1.000	1.009	***1.029***	1.000	0.990
	15	1	1.353	1.000	***1.478***	1.421	1.000	***1.461***	***1.447***	1.000	1.442	1.245	1.000	***1.471***	1.140	1.000	***1.476***
		2	***1.264***	1.000	1.186	***1.323***	1.000	1.199	***1.374***	1.000	1.233	1.155	1.000	***1.163***	1.044	1.000	***1.139***
		4	***1.103***	1.000	0.912	***1.214***	1.000	0.999	***1.260***	1.000	1.048	0.983	***1.000***	0.823	0.896	***1.000***	0.790
	20	1	1.231	1.000	***1.319***	***1.304***	1.000	1.287	***1.300***	1.000	1.245	1.112	1.000	***1.306***	1.027	1.000	***1.302***
		2	***1.130***	1.000	1.043	***1.218***	1.000	1.064	***1.234***	1.000	1.087	***1.031***	1.000	0.999	0.931	***1.000***	0.966
		4	***1.014***	1.000	0.798	***1.113***	1.000	0.904	***1.174***	1.000	0.977	0.898	***1.000***	0.733	0.810	***1.000***	0.685
100	10	1	2.051	1.000	***2.229***	2.119	1.000	***2.195***	2.154	1.000	***2.156***	1.936	1.000	***2.253***	1.835	1.000	***2.148***
		2	***1.799***	1.000	1.647	***1.878***	1.000	1.678	***1.921***	1.000	1.720	***1.718***	1.000	1.629	***1.650***	1.000	1.630
		4	***1.523***	1.000	1.182	***1.613***	1.000	1.272	***1.683***	1.000	1.347	***1.407***	1.000	1.119	***1.310***	1.000	1.062
	15	1	***1.816***	1.000	1.805	***1.879***	1.000	1.782	***1.872***	1.000	1.749	1.710	1.000	***1.862***	1.602	1.000	***1.829***
		2	***1.565***	1.000	1.318	***1.648***	1.000	1.375	***1.688***	1.000	1.414	***1.460***	1.000	1.275	***1.393***	1.000	1.291
		4	***1.290***	1.000	0.954	***1.421***	1.000	1.062	***1.503***	1.000	1.173	***1.184***	1.000	0.889	***1.094***	1.000	0.827
	20	1	***1.612***	1.000	1.533	***1.658***	1.000	1.499	***1.647***	1.000	1.472	1.516	1.000	***1.562***	1.439	1.000	***1.567***
		2	***1.398***	1.000	1.140	***1.460***	1.000	1.184	***1.498***	1.000	1.210	***1.304***	1.000	1.106	***1.222***	1.000	1.063
		4	***1.176***	1.000	0.847	***1.299***	1.000	0.956	***1.359***	1.000	1.050	***1.045***	1.000	0.750	0.964	***1.000***	0.718
200	10	1	2.628	1.000	***2.711***	***2.686***	1.000	2.647	***2.706***	1.000	2.611	2.536	1.000	***2.699***	2.469	1.000	***2.726***
		2	***2.221***	1.000	1.867	***2.296***	1.000	1.918	***2.342***	1.000	1.958	***2.133***	1.000	1.884	***2.066***	1.000	1.836
		4	***1.739***	1.000	1.266	***1.864***	1.000	1.374	***1.966***	1.000	1.490	***1.616***	1.000	1.177	***1.527***	1.000	1.111
	15	1	***2.293***	1.000	2.107	***1.959***	1.000	1.513	***2.334***	1.000	2.053	***2.211***	1.000	2.158	2.099	1.000	***2.135***
		2	***1.873***	1.000	1.471	***1.959***	1.000	1.513	***2.009***	1.000	1.569	***1.783***	1.000	1.418	***1.706***	1.000	1.398
		4	***1.469***	1.000	1.008	***1.613***	1.000	1.133	***1.714***	1.000	1.241	***1.335***	1.000	0.909	***1.250***	1.000	0.862
	20	1	***2.019***	1.000	1.752	***2.045***	1.000	1.713	***2.027***	1.000	1.679	***1.934***	1.000	1.766	***1.857***	1.000	1.787
		2	***1.634***	1.000	1.208	***1.720***	1.000	1.280	***1.766***	1.000	1.330	***1.542***	1.000	1.177	***1.470***	1.000	1.136
		4	***1.314***	1.000	0.885	***1.447***	1.000	1.007	***1.542***	1.000	1.124	***1.178***	1.000	0.781	***1.078***	1.000	0.722

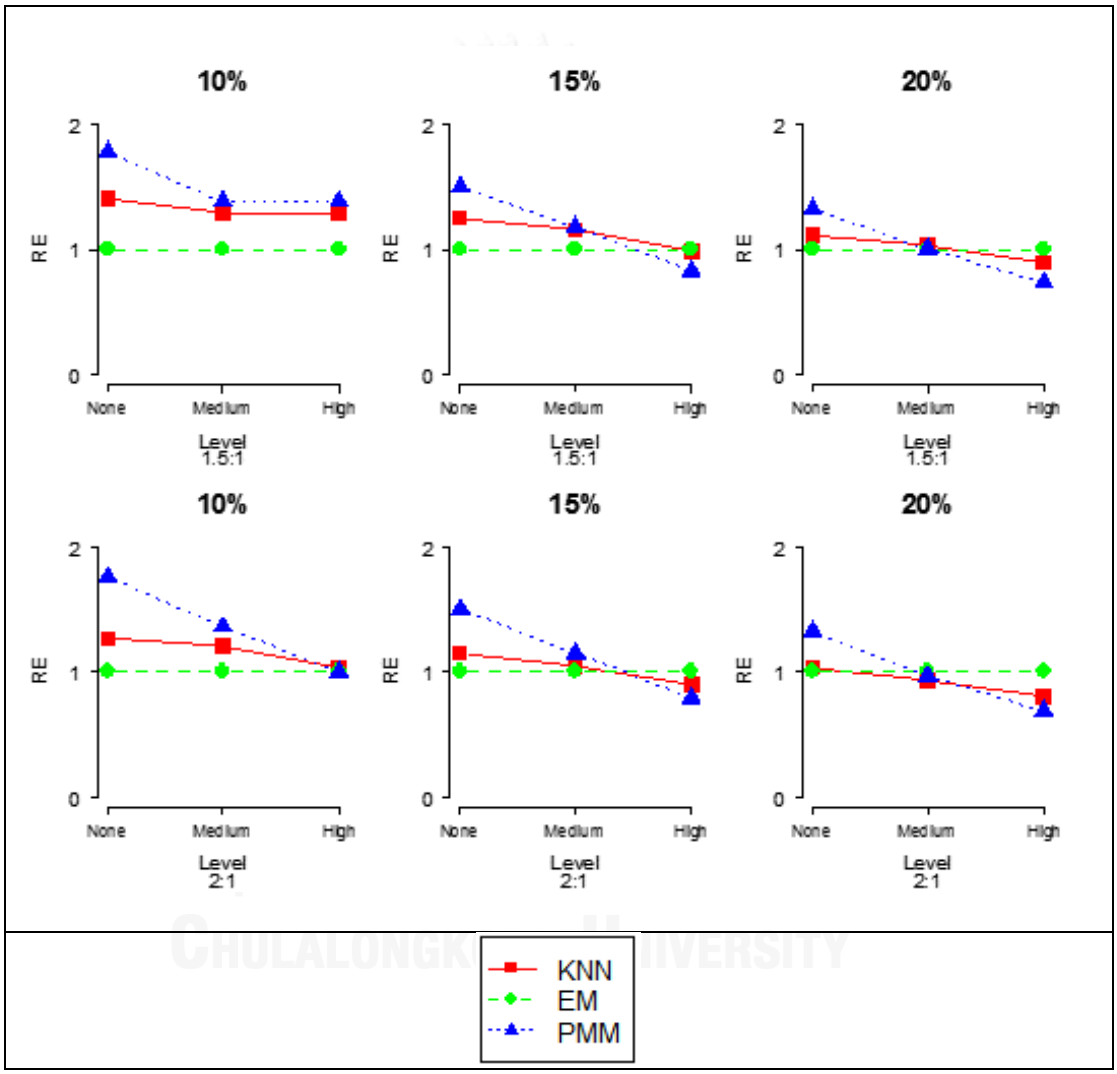
ตารางที่ 4.3.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	1.429	1.000	***1.479***	***1.500***	1.000	1.460	***1.539***	1.000	1.481	1.305	1.000	***1.442***	1.200	1.000	***1.406***
		2	***1.320***	1.000	1.222	***1.417***	1.000	1.275	***1.450***	1.000	1.298	***1.218***	1.000	1.197	1.148	1.000	***1.189***
		4	***1.194***	1.000	1.000	***1.279***	1.000	1.039	***1.340***	1.000	1.094	***1.100***	1.000	0.952	***1.013***	1.000	0.936
	15	1	1.293	1.000	***1.305***	***1.362***	1.000	1.299	***1.388***	1.000	1.294	1.202	1.000	***1.288***	1.104	1.000	***1.277***
		2	***1.222***	1.000	1.093	***1.279***	1.000	1.105	***1.325***	1.000	1.136	***1.127***	1.000	1.076	1.029	1.000	***1.054***
		4	***1.080***	1.000	0.873	***1.182***	1.000	0.947	***1.225***	1.000	0.989	0.975	***1.000***	0.807	0.901	***1.000***	0.782
	20	1	1.197	1.000	***1.197***	***1.265***	1.000	1.179	***1.262***	1.000	1.151	1.091	1.000	***1.183***	1.012	1.000	***1.171***
		2	***1.109***	1.000	0.982	***1.189***	1.000	1.003	***1.202***	1.000	1.023	***1.021***	1.000	0.951	0.929	***1.000***	0.926
		4	***1.003***	1.000	0.778	***1.095***	1.000	0.872	***1.150***	1.000	0.934	0.901	***1.000***	0.727	0.820	***1.000***	0.688
100	10	1	***1.858***	1.000	1.774	***1.929***	1.000	1.770	***1.962***	1.000	1.748	1.746	1.000	***1.763***	1.644	1.000	***1.665***
		2	***1.658***	1.000	1.406	***1.742***	1.000	1.443	***1.781***	1.000	1.476	***1.582***	1.000	1.388	***1.516***	1.000	1.377
		4	***1.441***	1.000	1.082	***1.527***	1.000	1.155	***1.588***	1.000	1.212	***1.337***	1.000	1.035	***1.250***	1.000	0.992
	15	1	***1.689***	1.000	1.522	***1.753***	1.000	1.519	***1.749***	1.000	1.502	***1.592***	1.000	1.547	1.492	1.000	***1.518***
		2	***1.482***	1.000	1.187	***1.560***	1.000	1.236	***1.598***	1.000	1.268	***1.385***	1.000	1.152	***1.327***	1.000	1.163
		4	***1.250***	1.000	0.905	***1.366***	1.000	0.993	***1.439***	1.000	1.085	***1.154***	1.000	0.851	***1.073***	1.000	0.799
	20	1	***1.527***	1.000	1.348	***1.570***	1.000	1.328	***1.564***	1.000	1.313	***1.435***	1.000	1.360	***1.368***	1.000	1.362
		2	***1.346***	1.000	1.056	***1.403***	1.000	1.093	***1.437***	1.000	1.114	***1.260***	1.000	1.027	***1.187***	1.000	0.989
		4	***1.150***	1.000	0.815	***1.261***	1.000	0.907	***1.315***	1.000	0.989	***1.032***	1.000	0.732	0.956	***1.000***	0.707
200	10	1	***2.313***	1.000	2.042	***2.368***	1.000	2.015	***2.392***	1.000	2.013	***2.218***	1.000	2.012	***2.152***	1.000	2.014
		2	***2.011***	1.000	1.558	***2.080***	1.000	1.599	***2.123***	1.000	1.624	***1.927***	1.000	1.553	***1.866***	1.000	1.532
		4	***1.632***	1.000	1.145	***1.739***	1.000	1.224	***1.826***	1.000	1.316	***1.519***	1.000	1.075	***1.442***	1.000	1.023
	15	1	***2.078***	1.000	1.715	***1.824***	1.000	1.328	***2.125***	1.000	1.690	***2.003***	1.000	1.733	***1.901***	1.000	1.714
		2	***1.745***	1.000	1.298	***1.824***	1.000	1.328	***1.864***	1.000	1.370	***1.666***	1.000	1.255	***1.595***	1.000	1.241
		4	***1.410***	1.000	0.945	***1.535***	1.000	1.046	***1.620***	1.000	1.132	***1.290***	1.000	0.863	***1.212***	1.000	0.825
	20	1	***1.871***	1.000	1.494	***1.894***	1.000	1.470	***1.882***	1.000	1.454	***1.791***	1.000	1.499	***1.723***	1.000	1.509
		2	***1.551***	1.000	1.103	***1.627***	1.000	1.160	***1.665***	1.000	1.201	***1.469***	1.000	1.079	***1.404***	1.000	1.046
		4	***1.276***	1.000	0.845	***1.393***	1.000	0.947	***1.476***	1.000	1.045	***1.153***	1.000	0.757	***1.062***	1.000	0.705

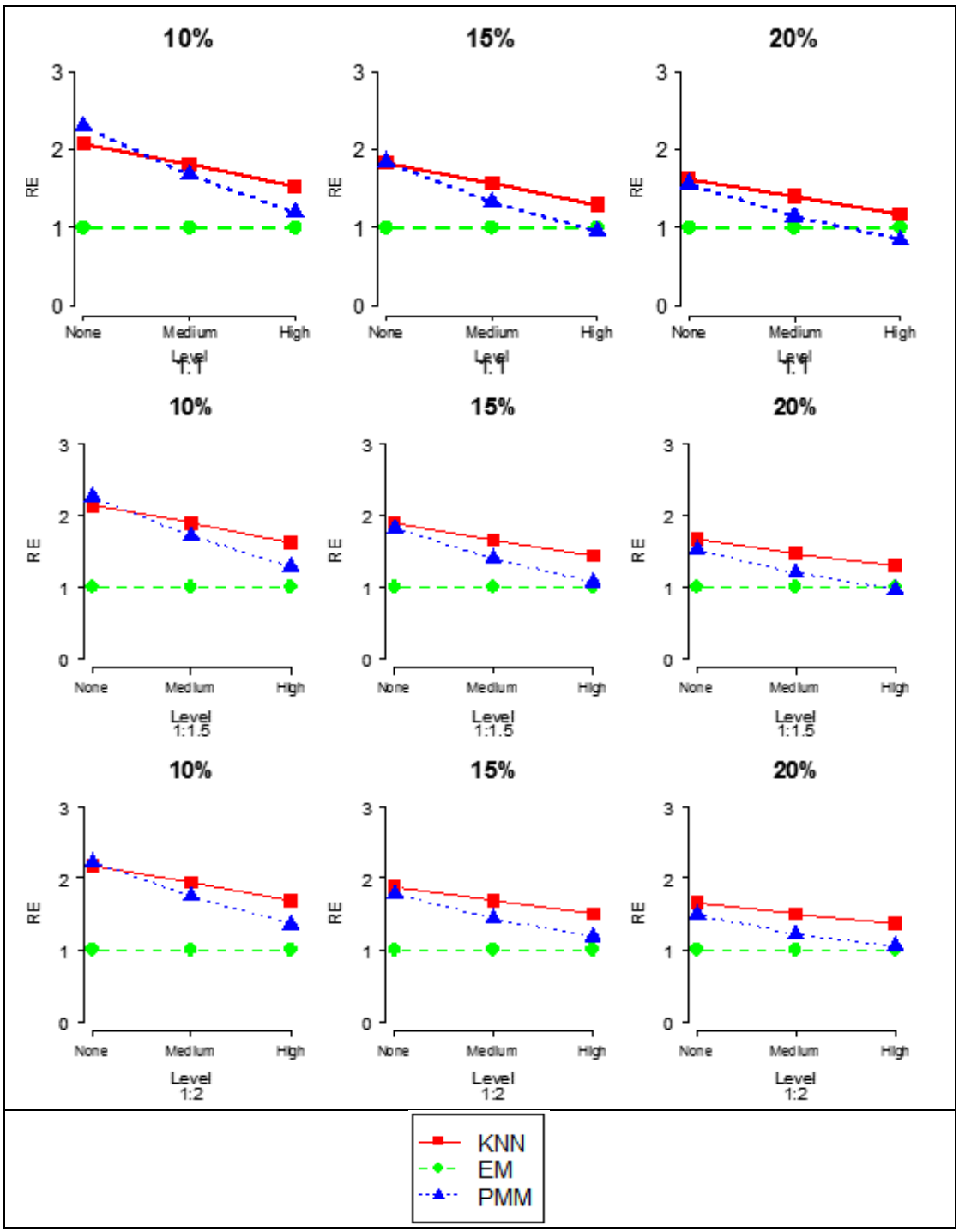
ภาพที่ 4.3.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



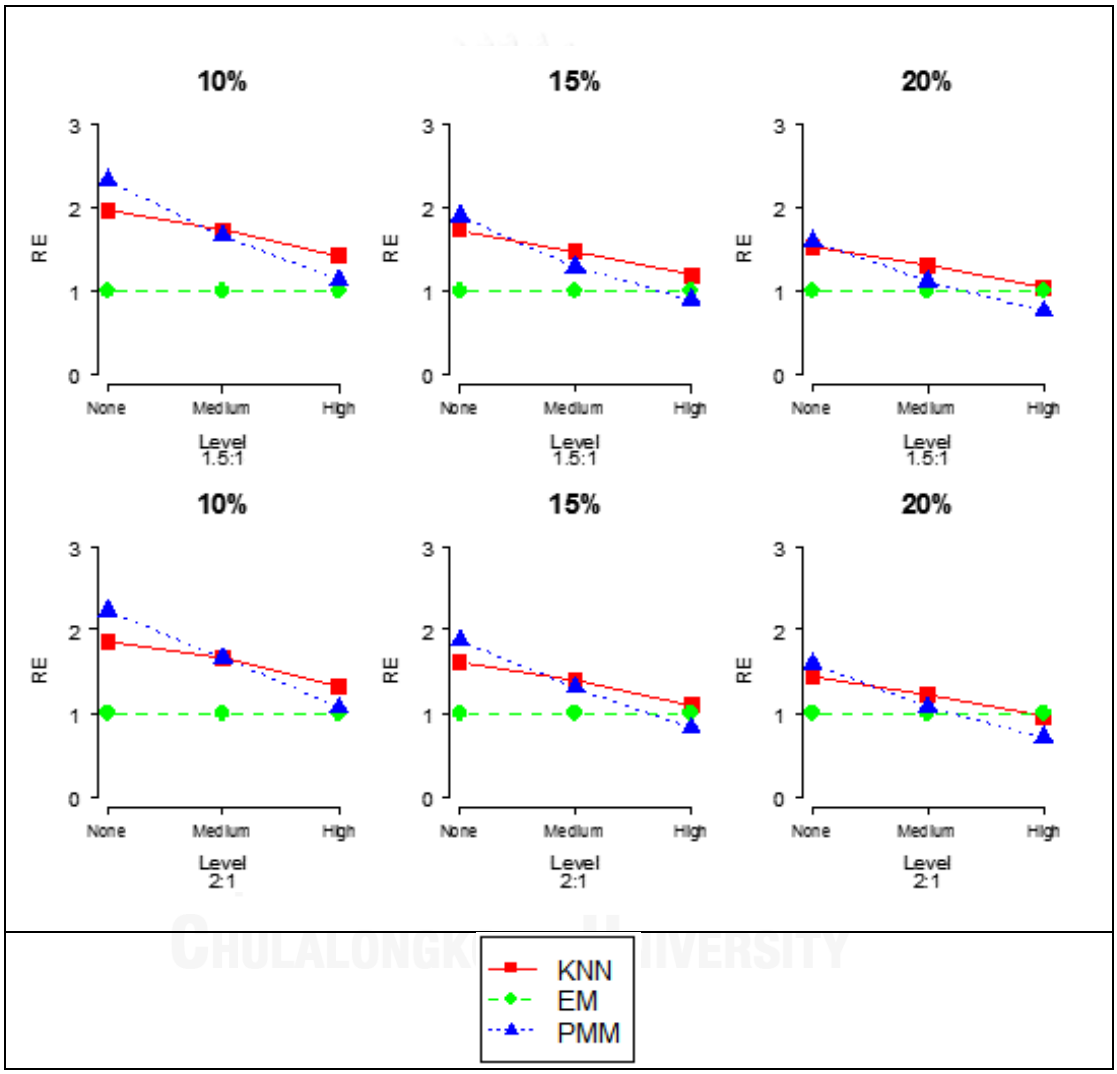
ภาพที่ 4.3.4.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



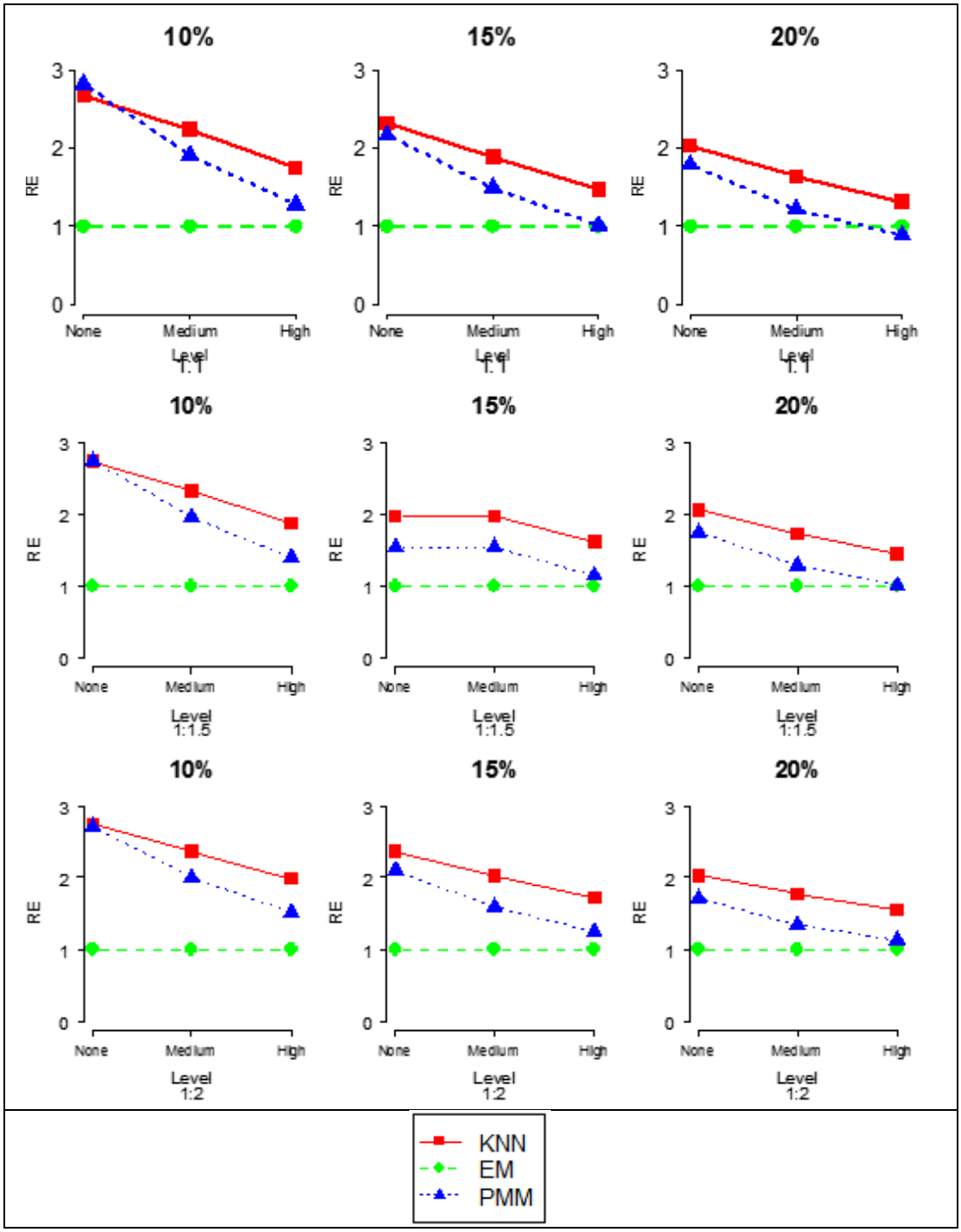
ภาพที่ 4.3.4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



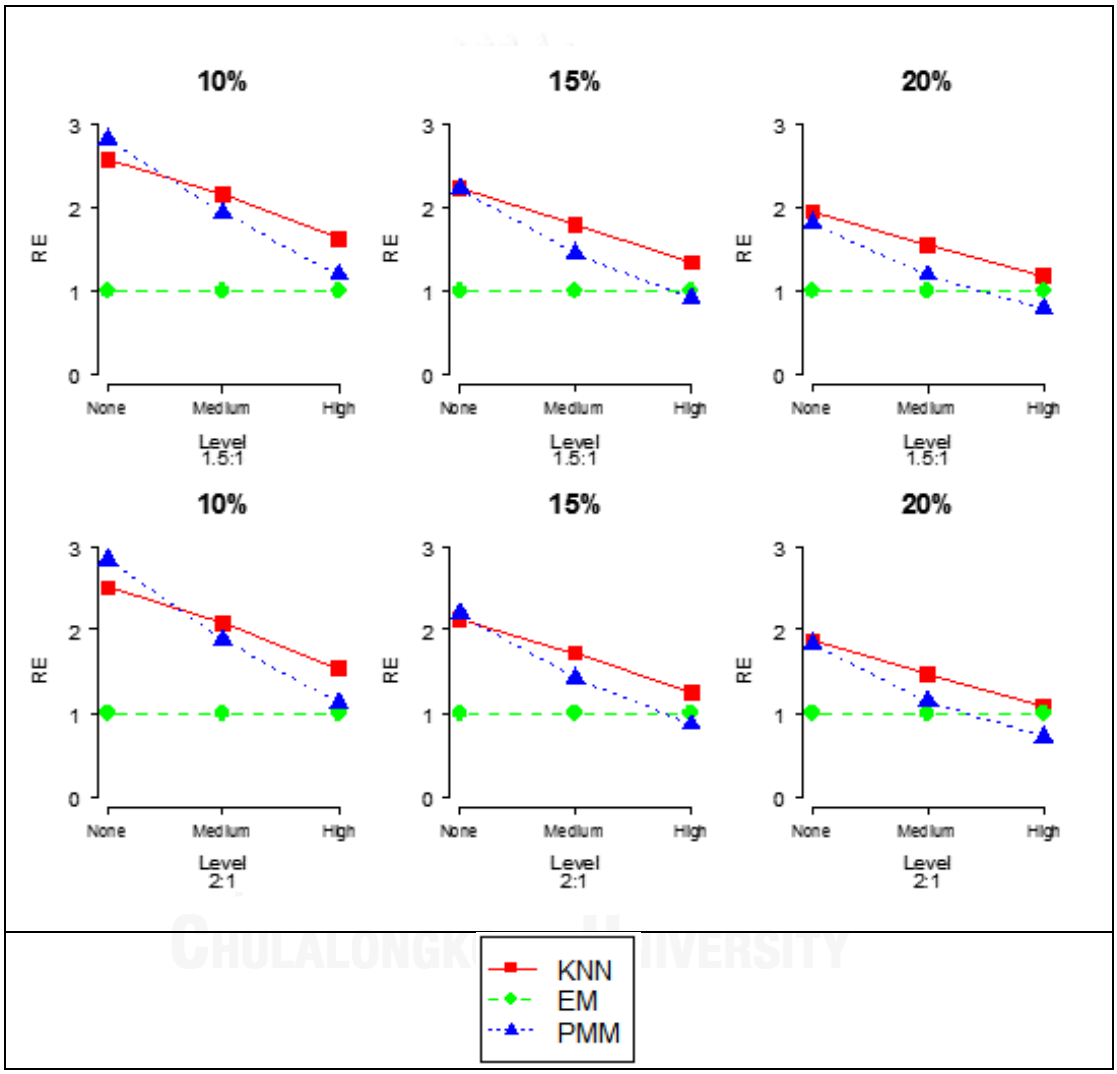
ภาพที่ 4.3.4.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



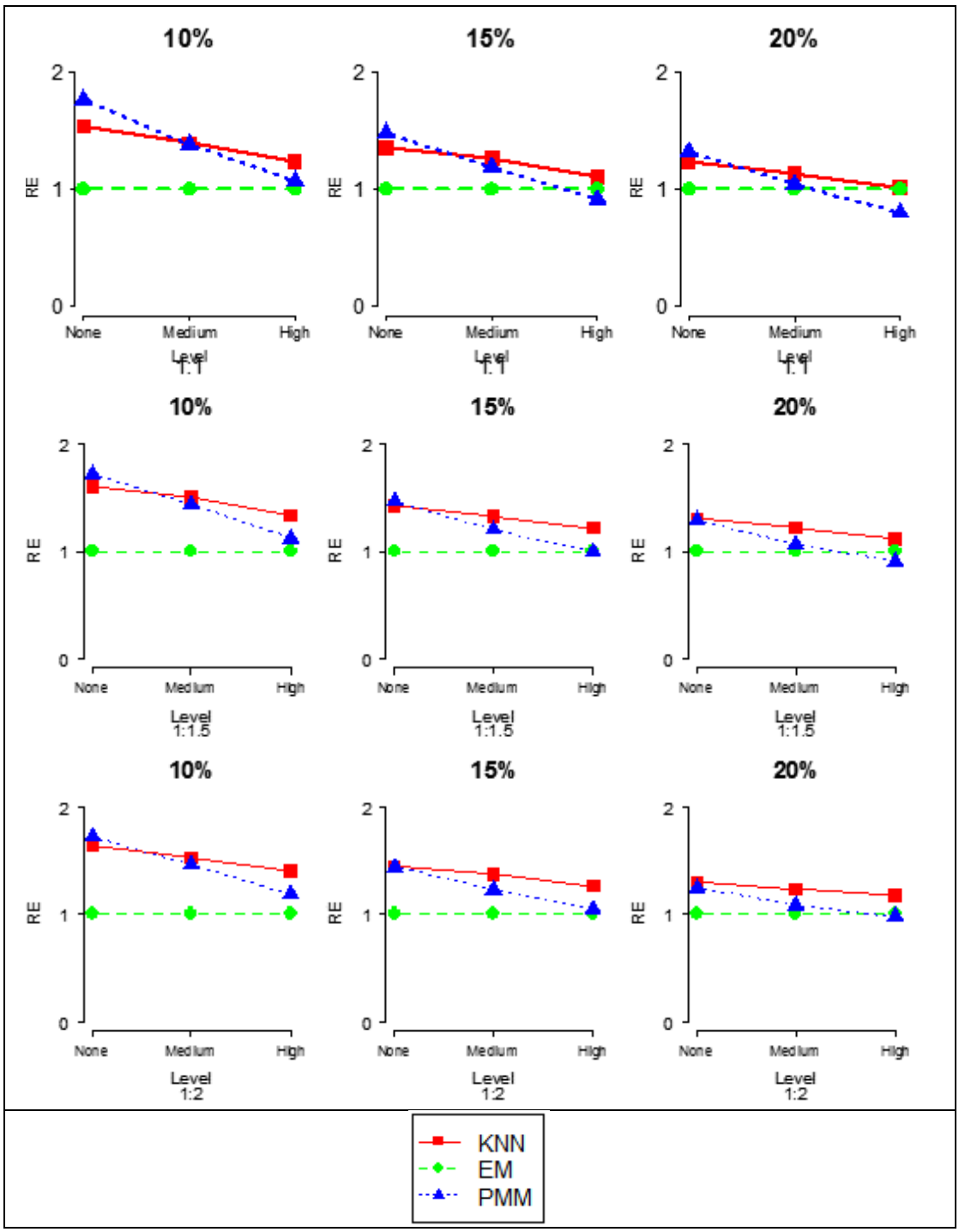
ภาพที่ 4.3.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



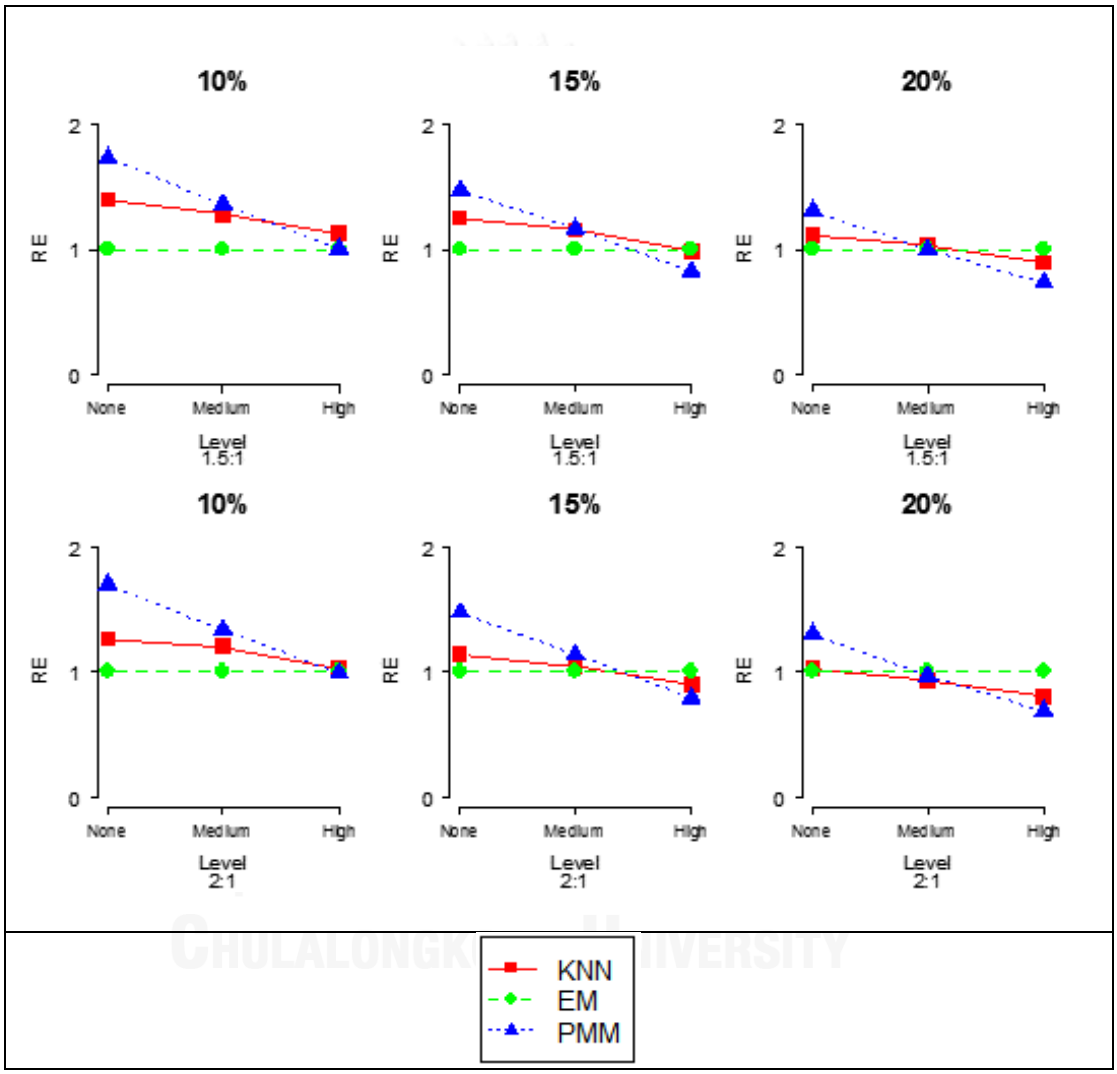
ภาพที่ 4.3.4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



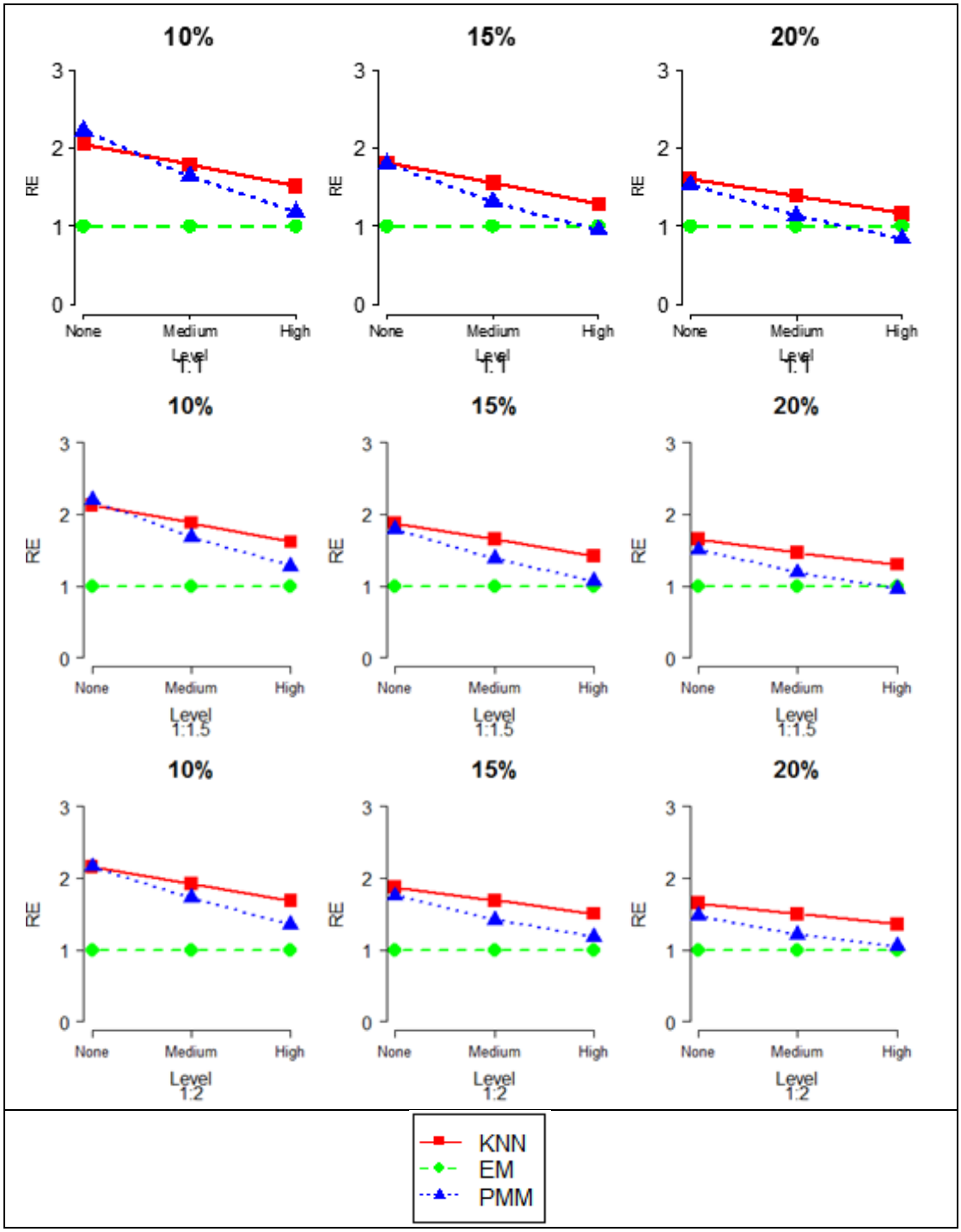
ภาพที่ 4.3.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30



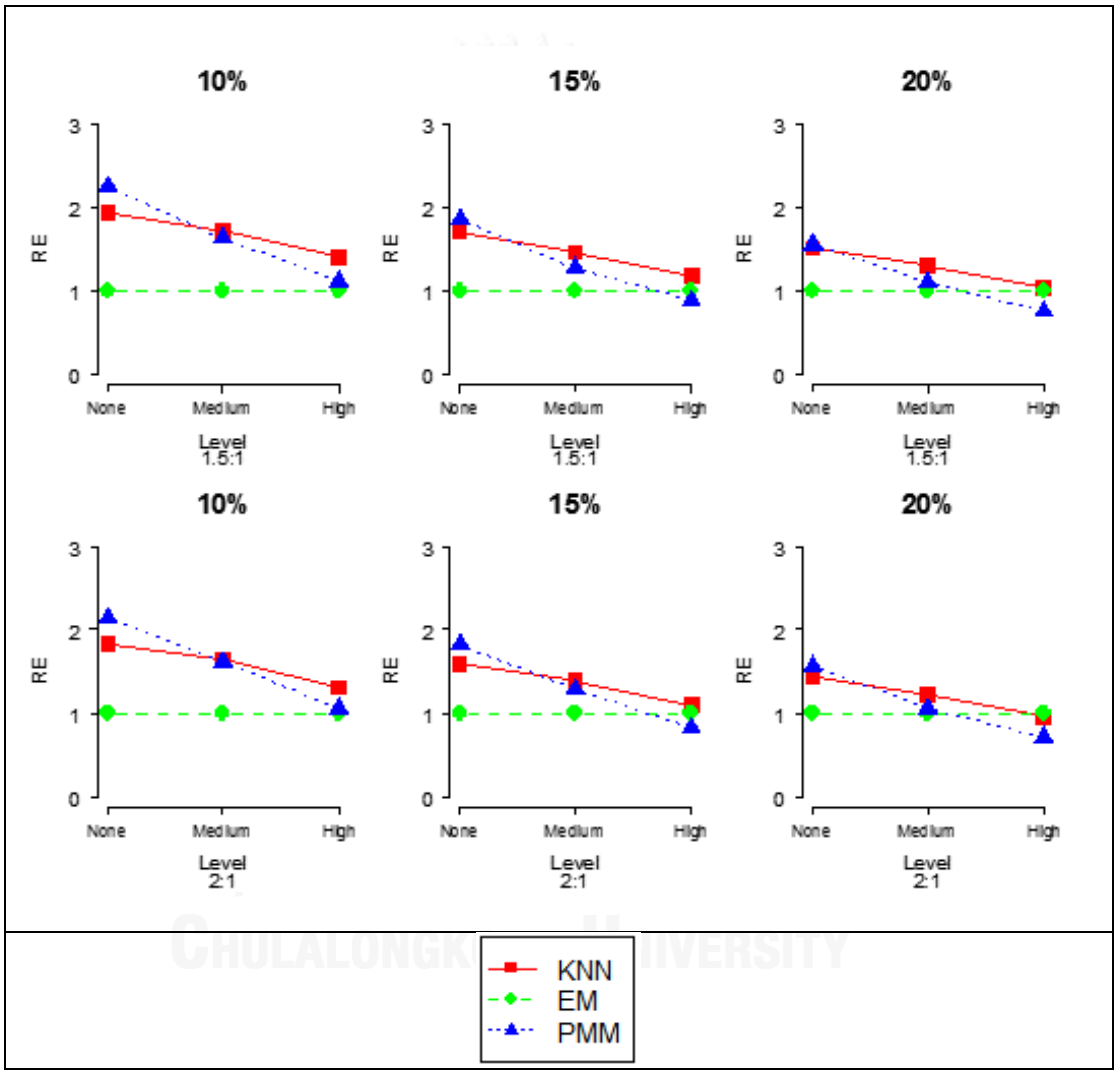
ภาพที่ 4.3.5.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30



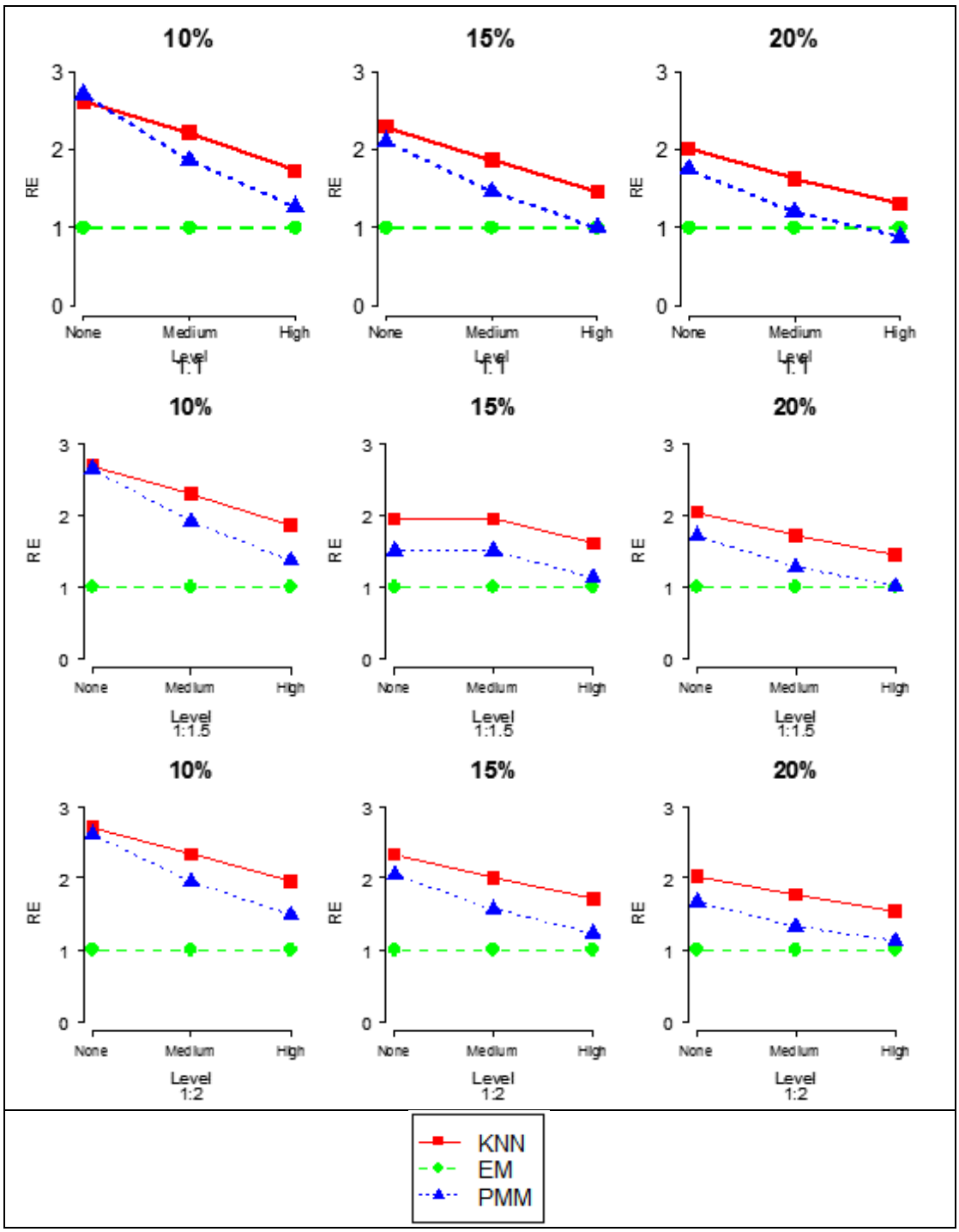
ภาพที่ 4.3.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30



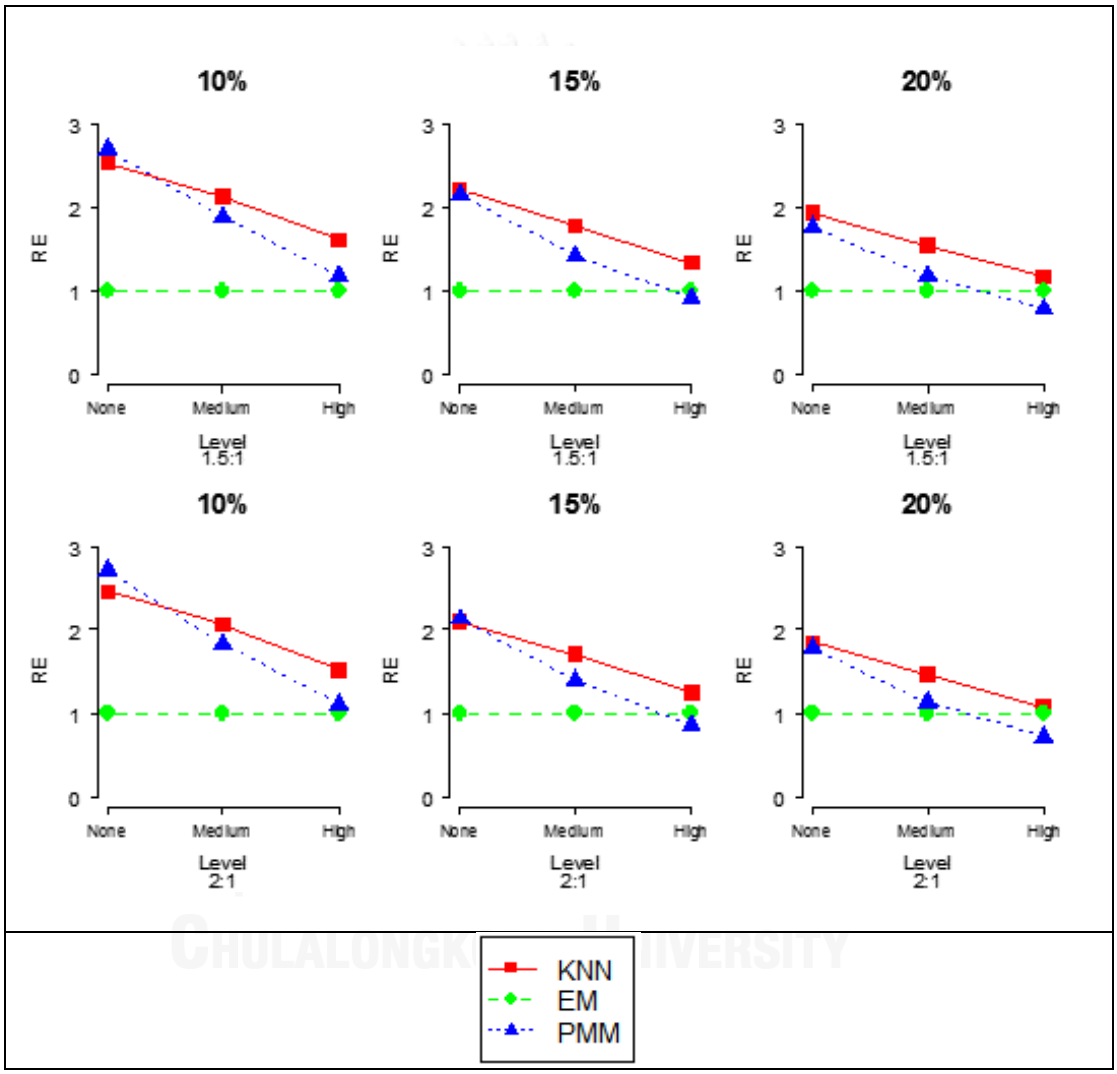
ภาพที่ 4.3.5.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30



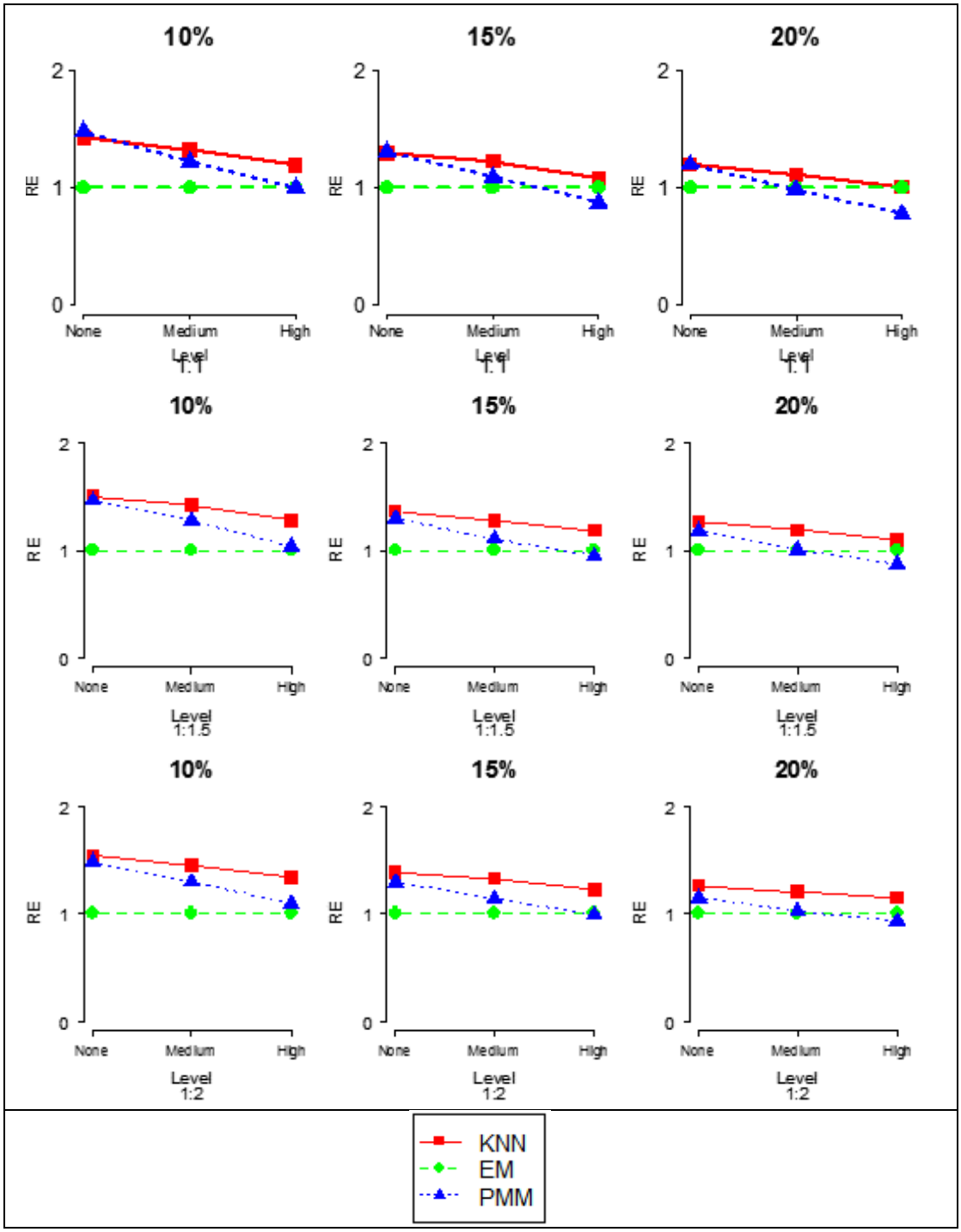
ภาพที่ 4.3.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30



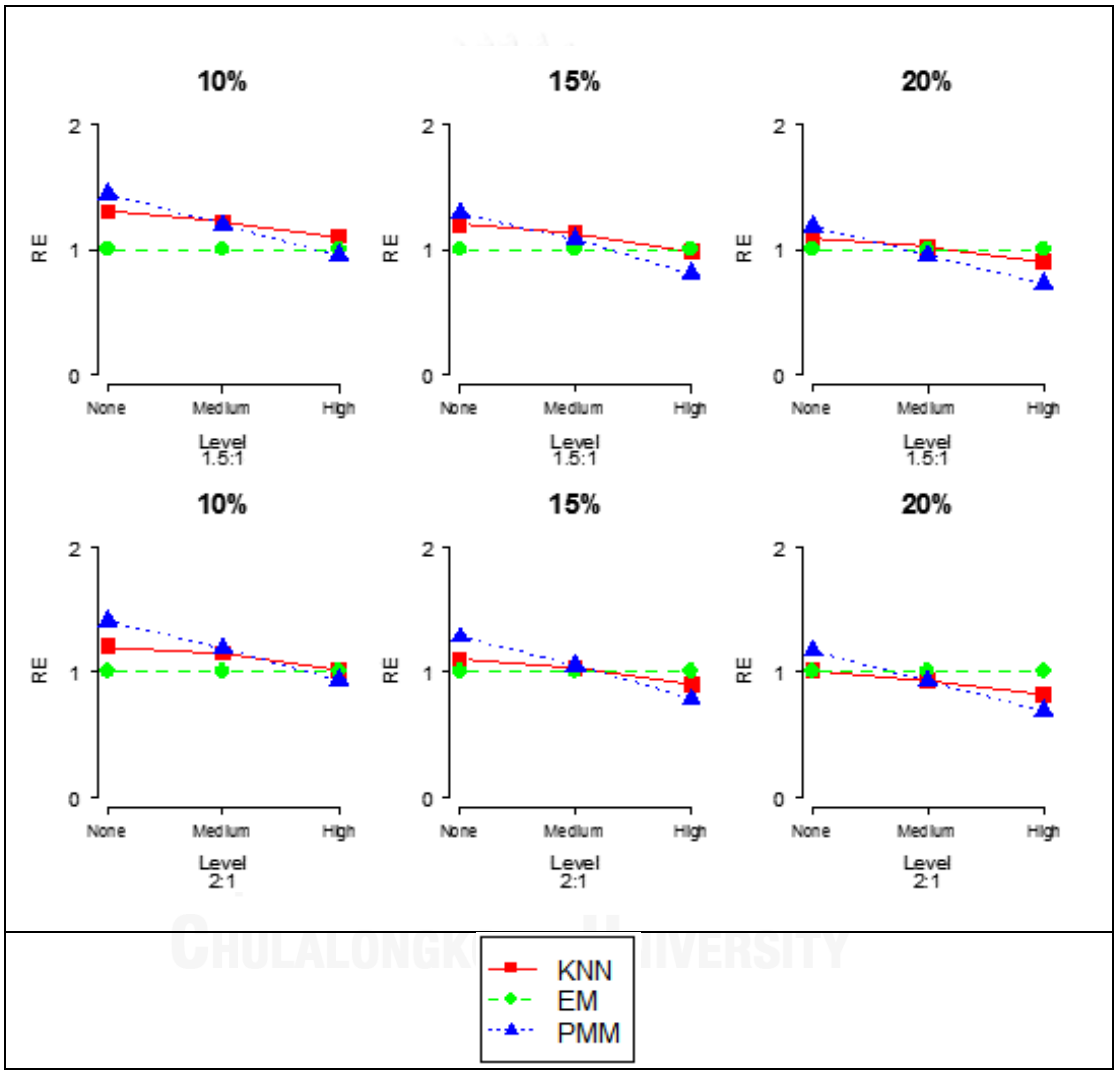
ภาพที่ 4.3.5.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30



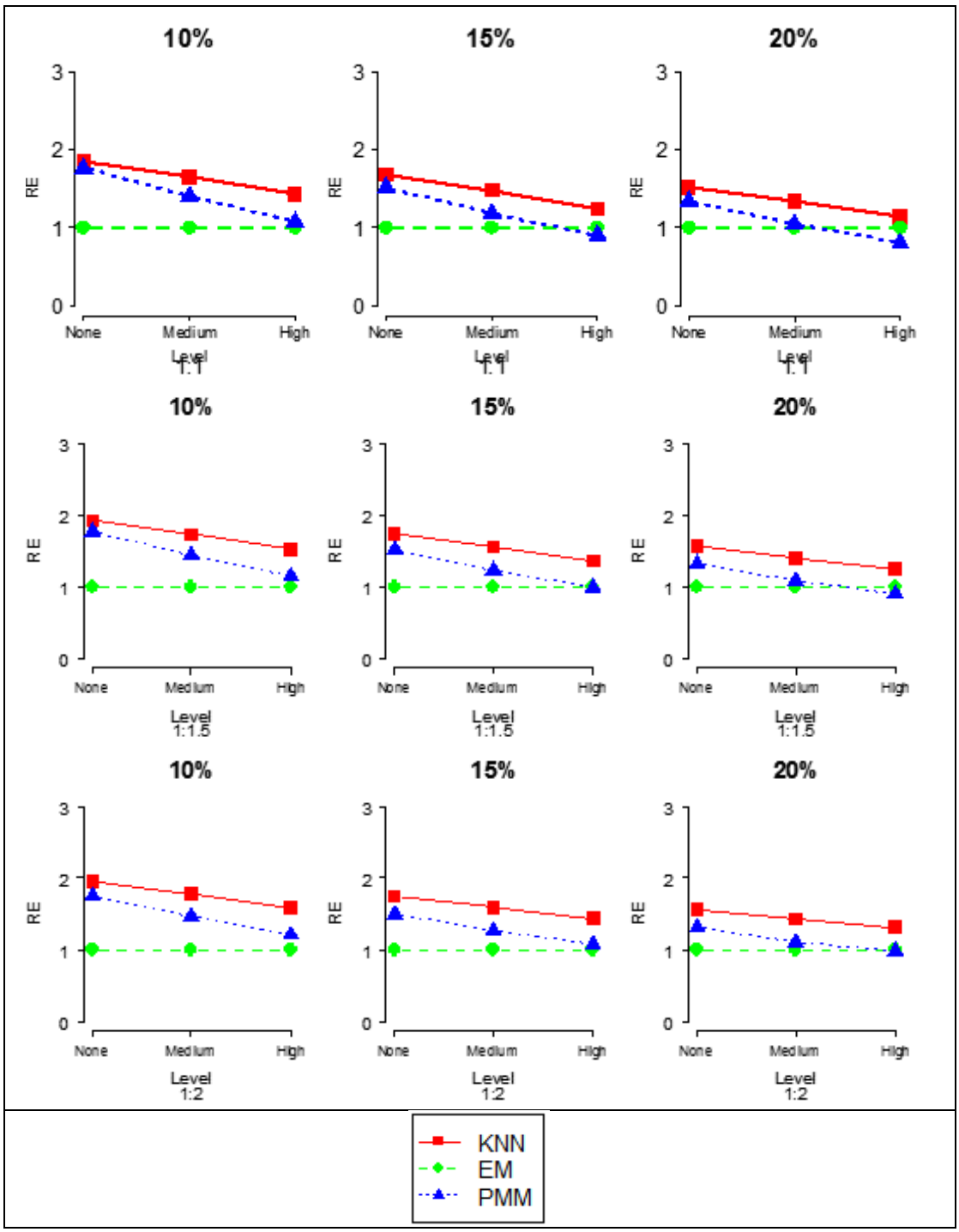
ภาพที่ 4.3.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90



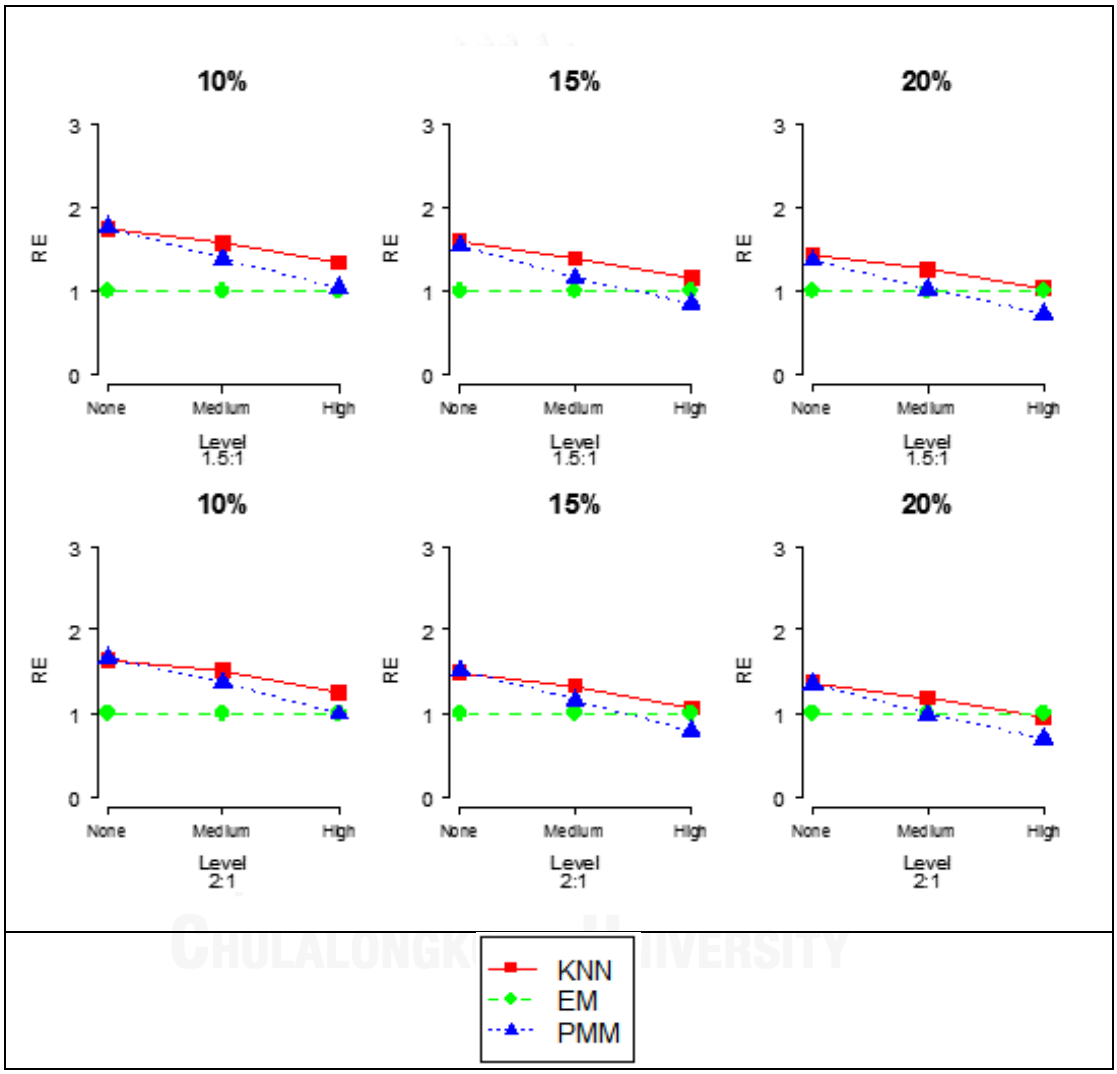
ภาพที่ 4.3.6.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90



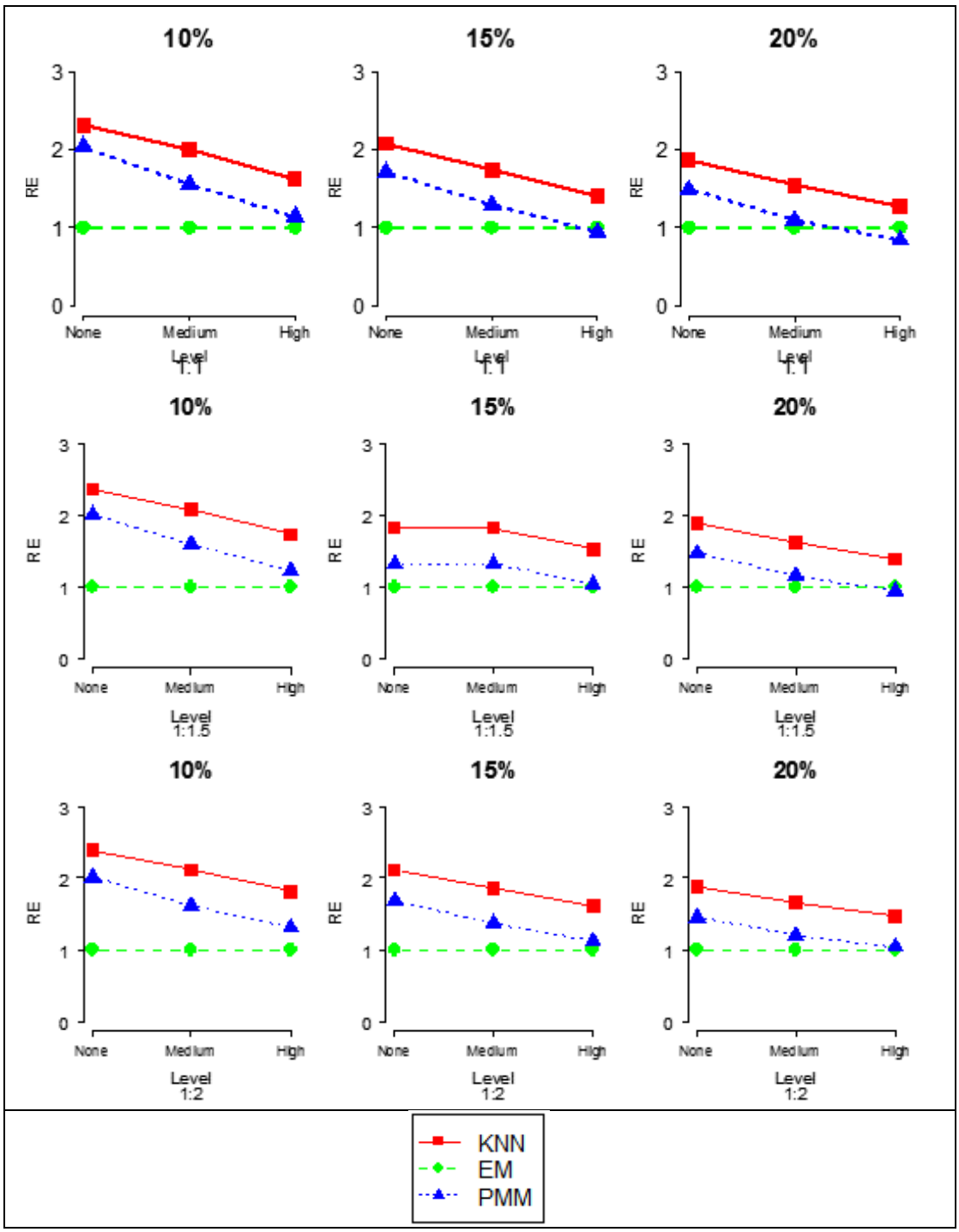
ภาพที่ 4.3.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90



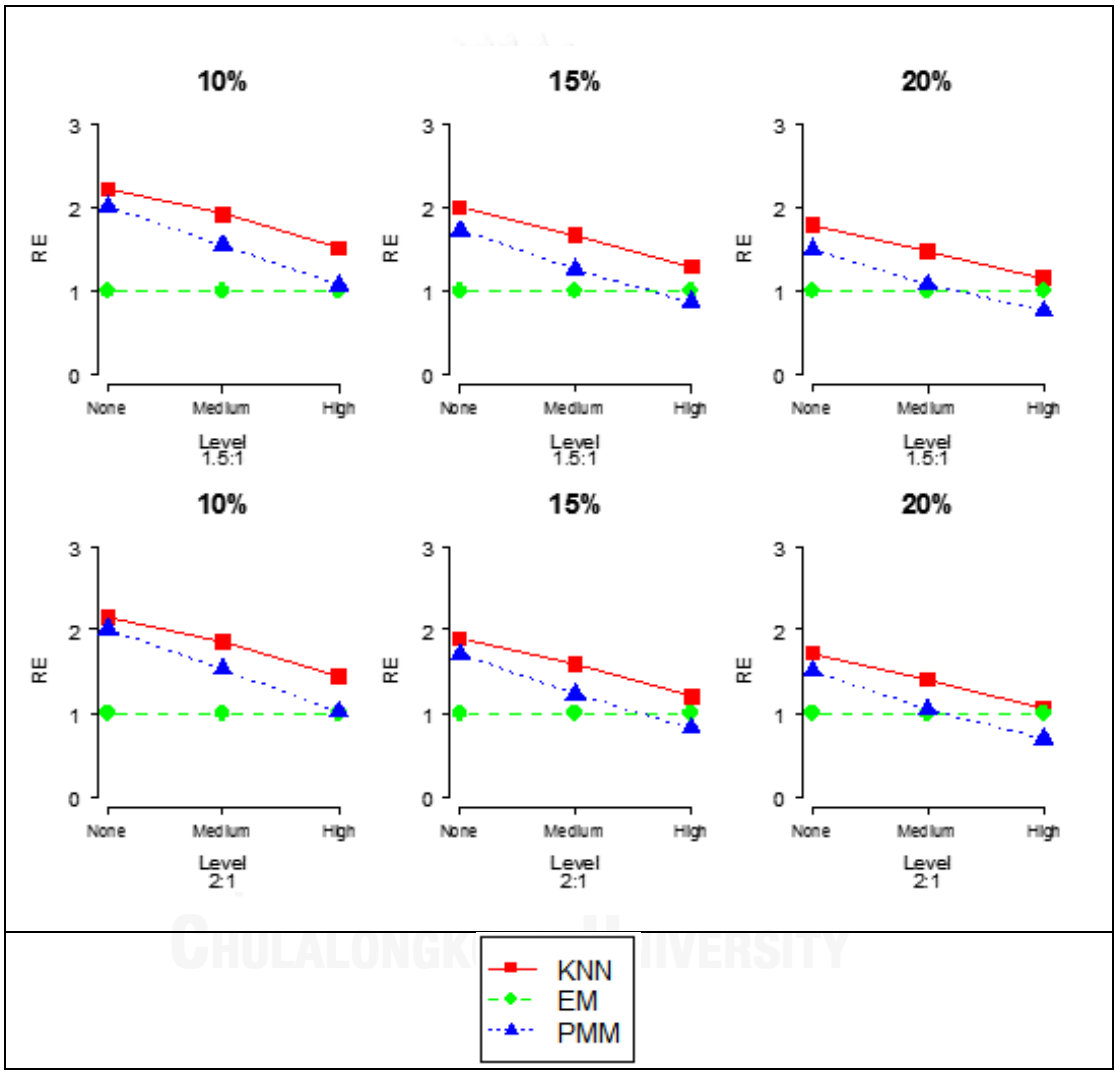
ภาพที่ 4.3.6.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90



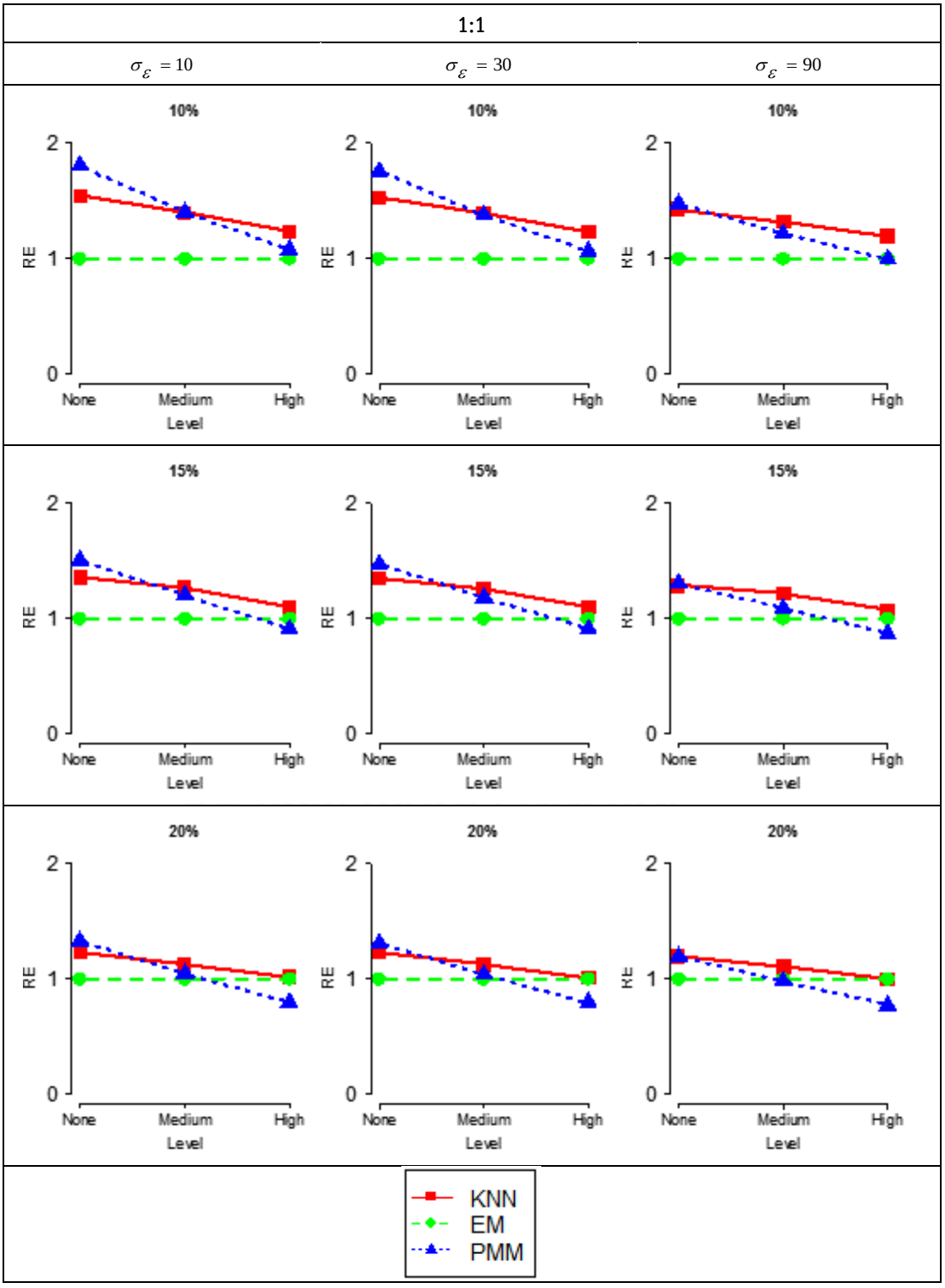
ภาพที่ 4.3.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90



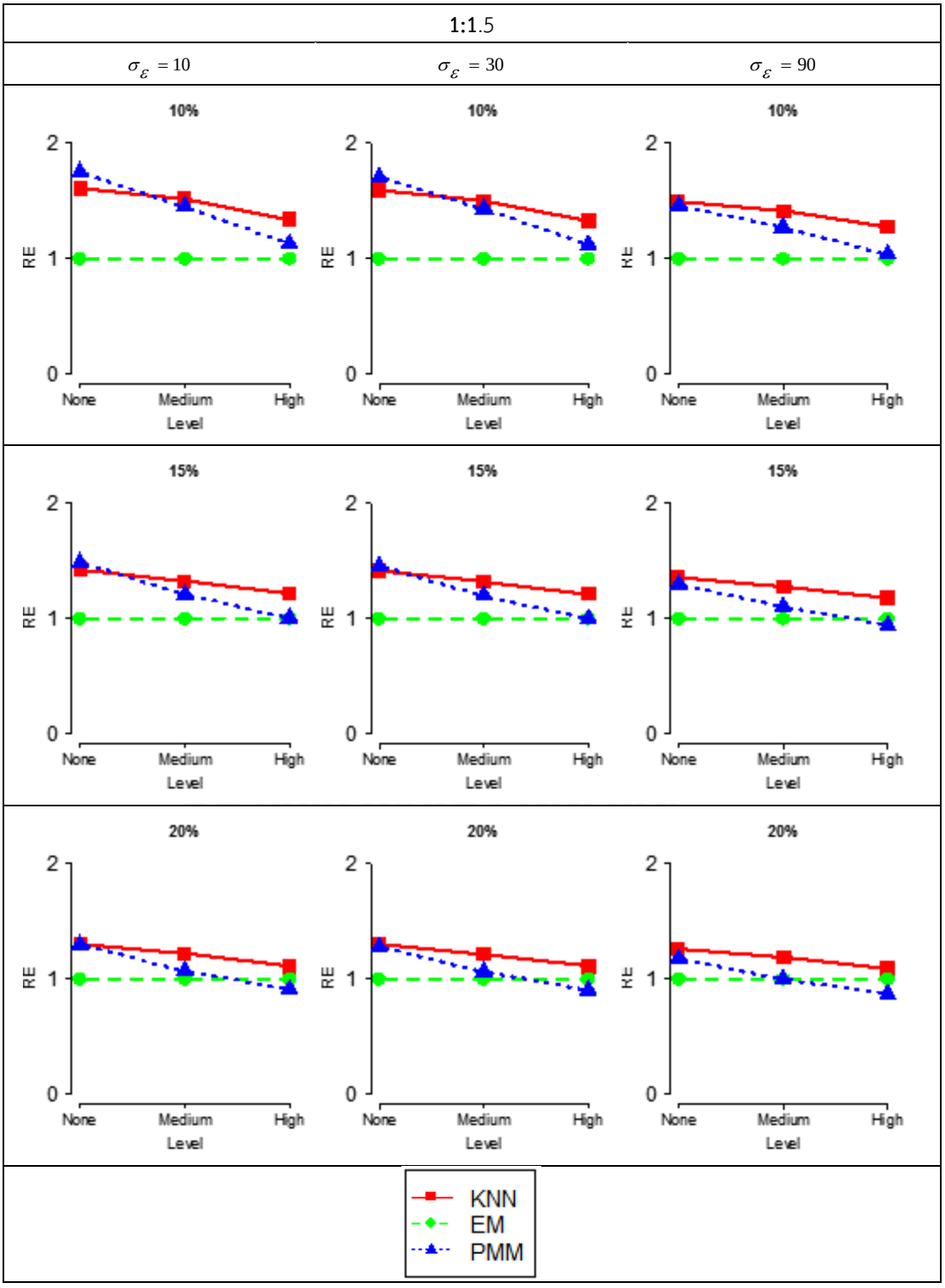
ภาพที่ 4.3.6.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90



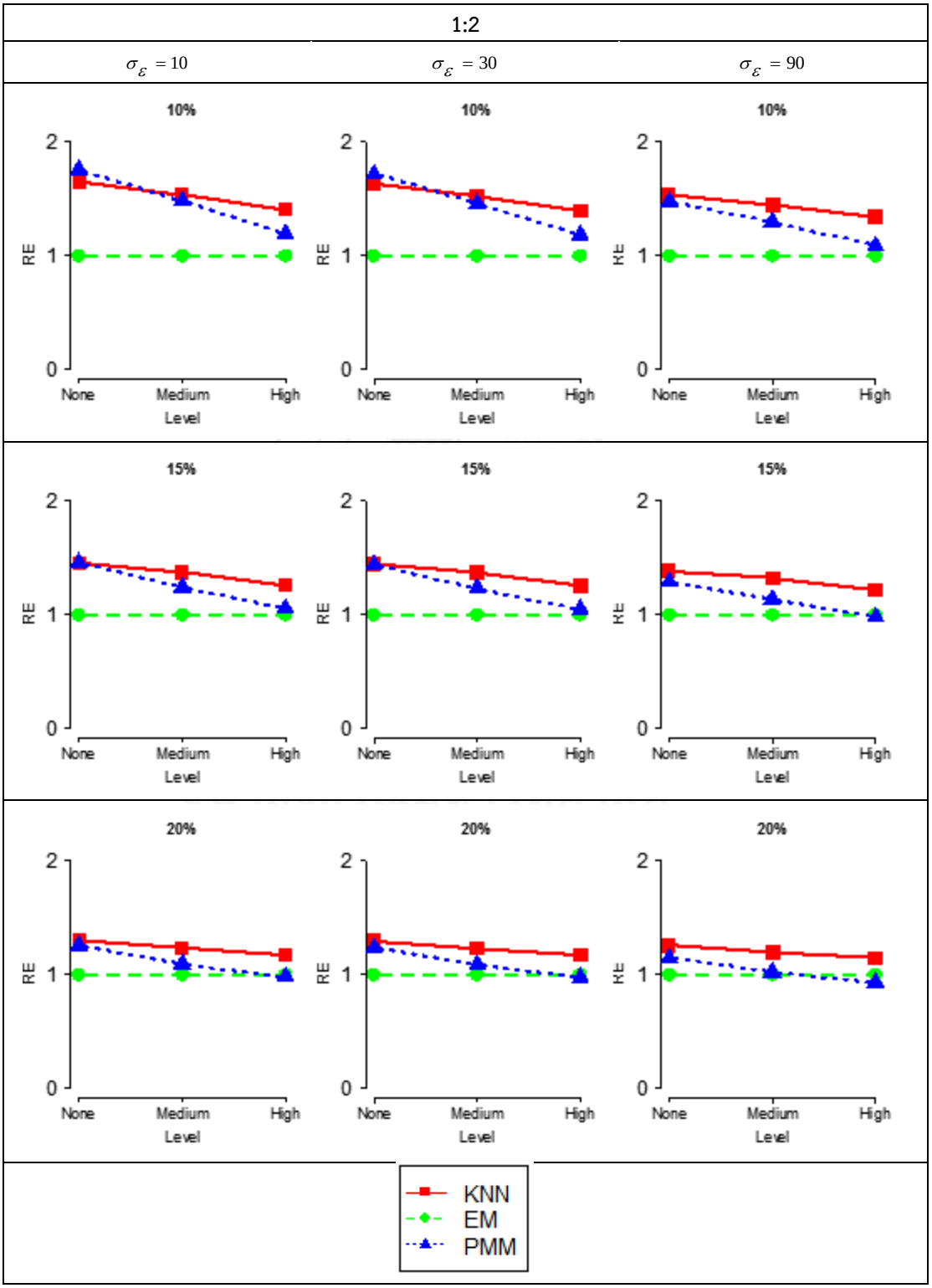
ภาพที่ 4.3.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



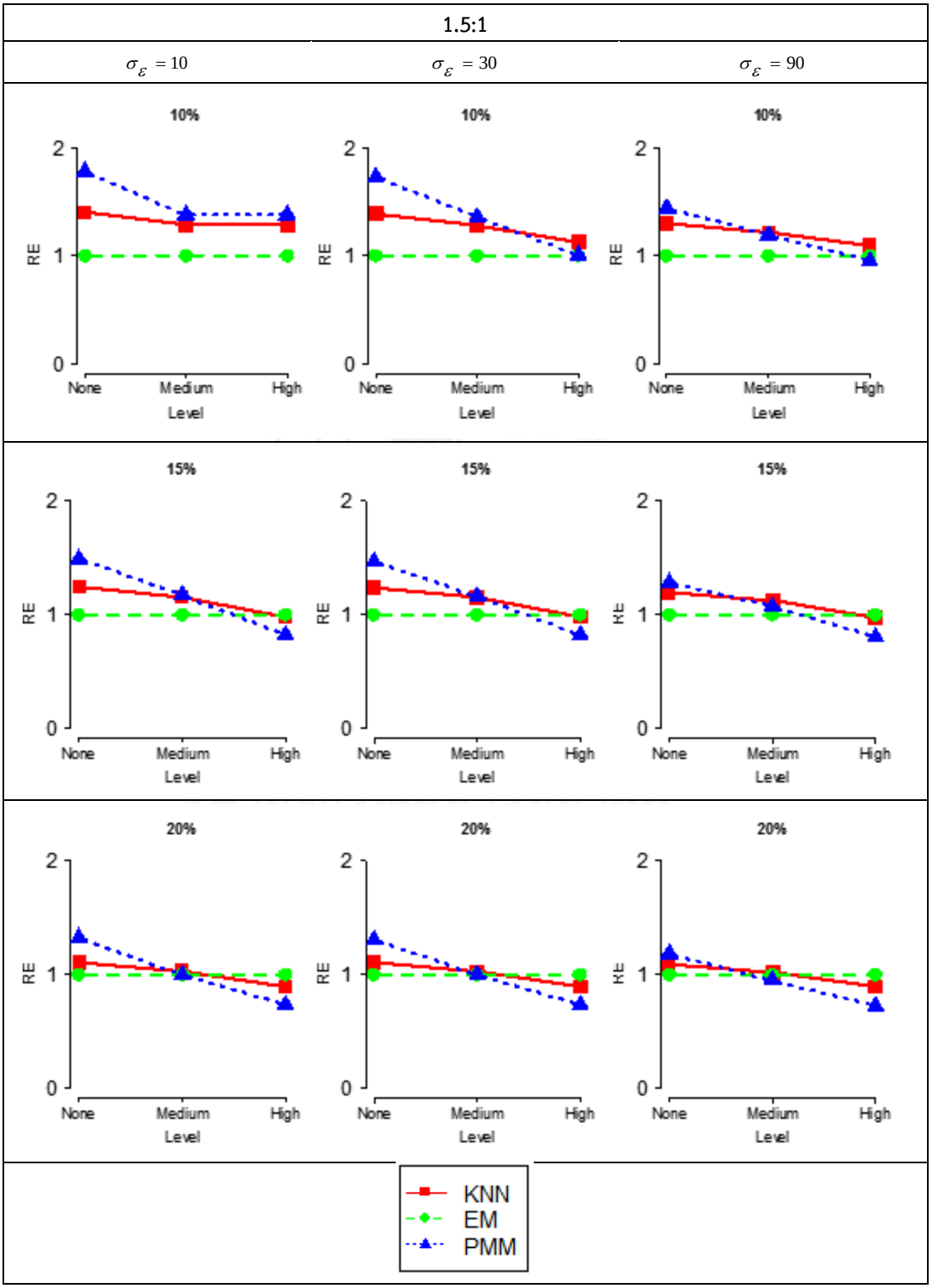
ภาพที่ 4.3.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



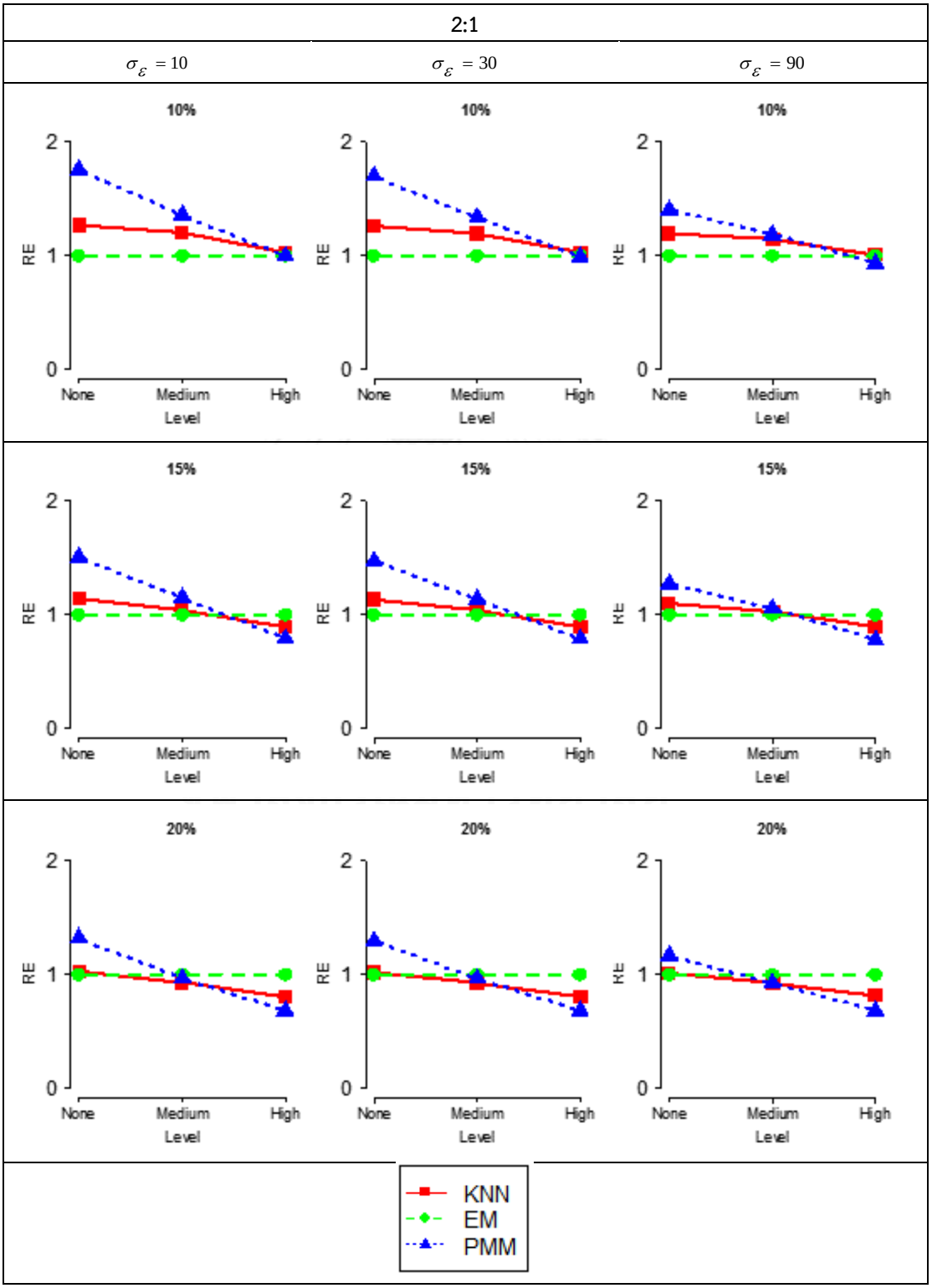
ภาพที่ 4.3.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



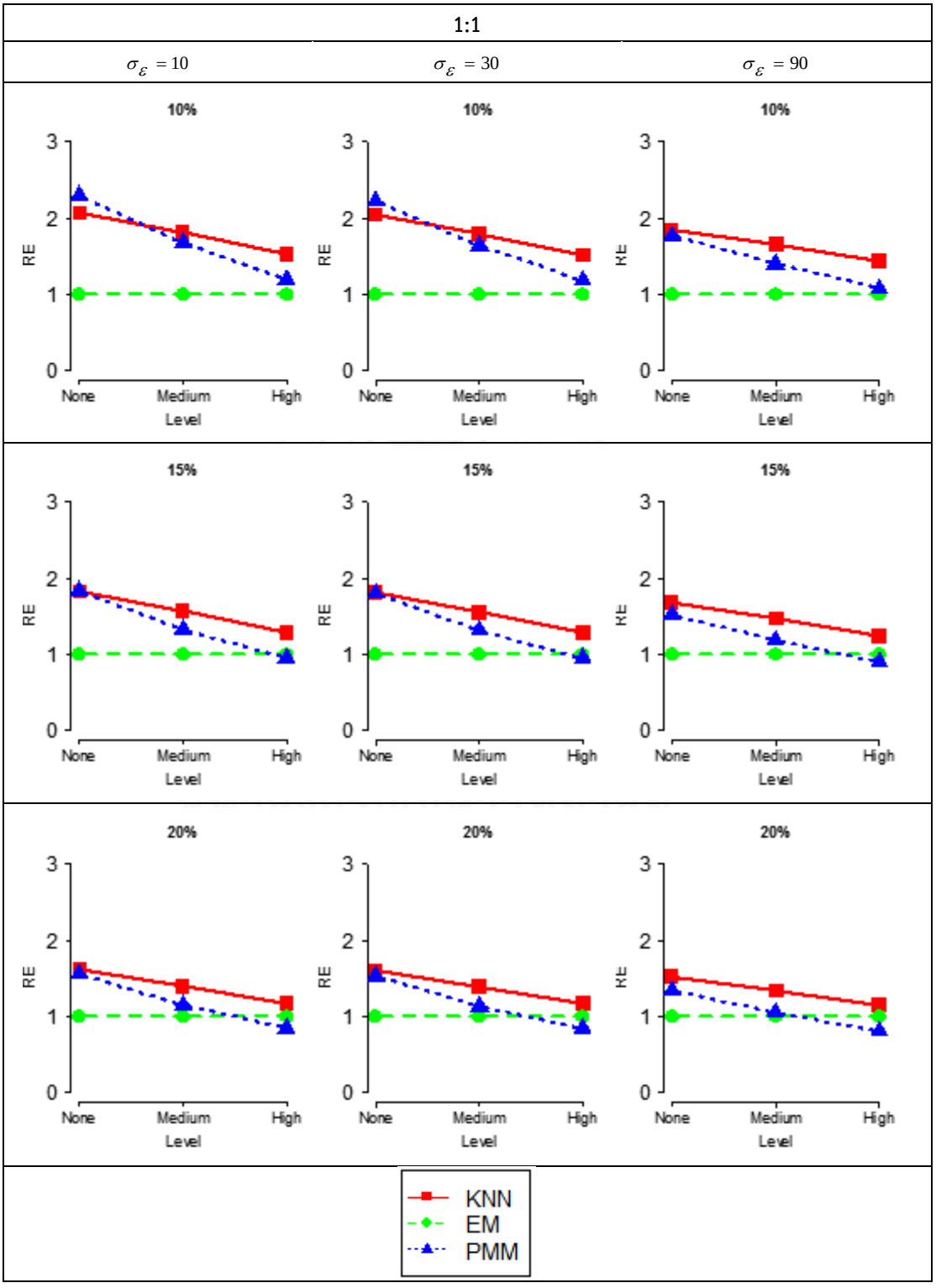
ภาพที่ 4.3.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



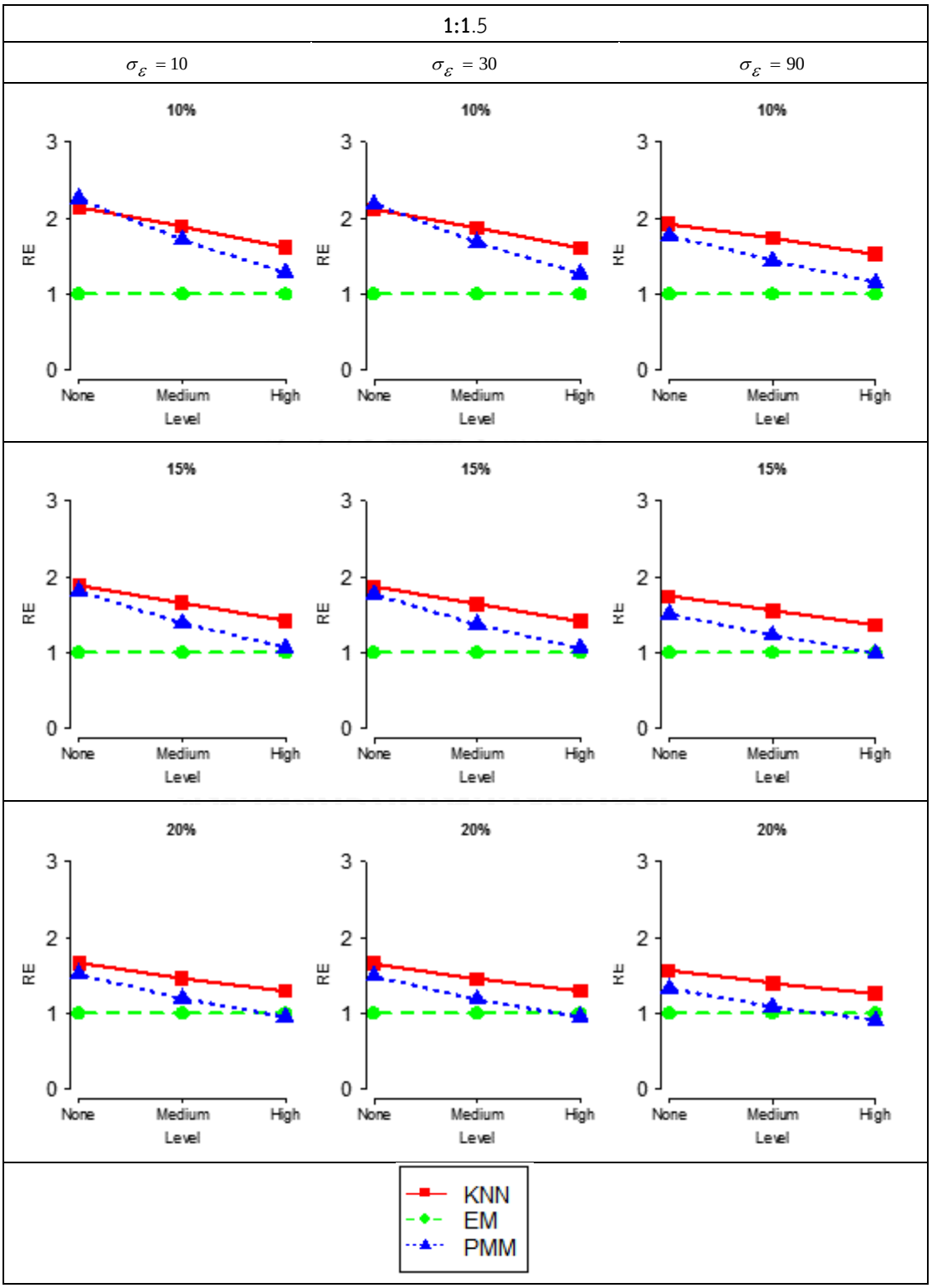
ภาพที่ 4.3.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



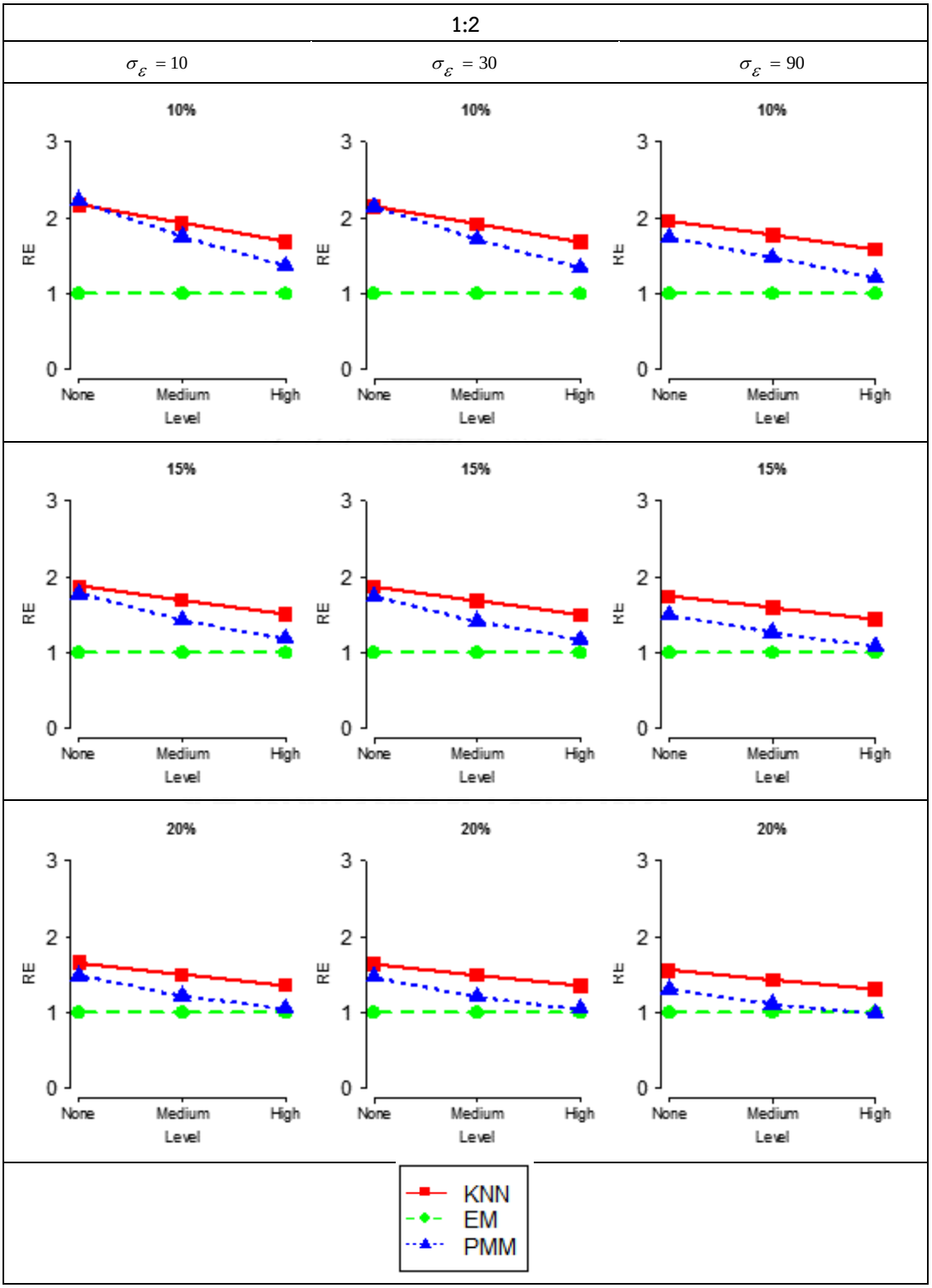
ภาพที่ 4.3.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



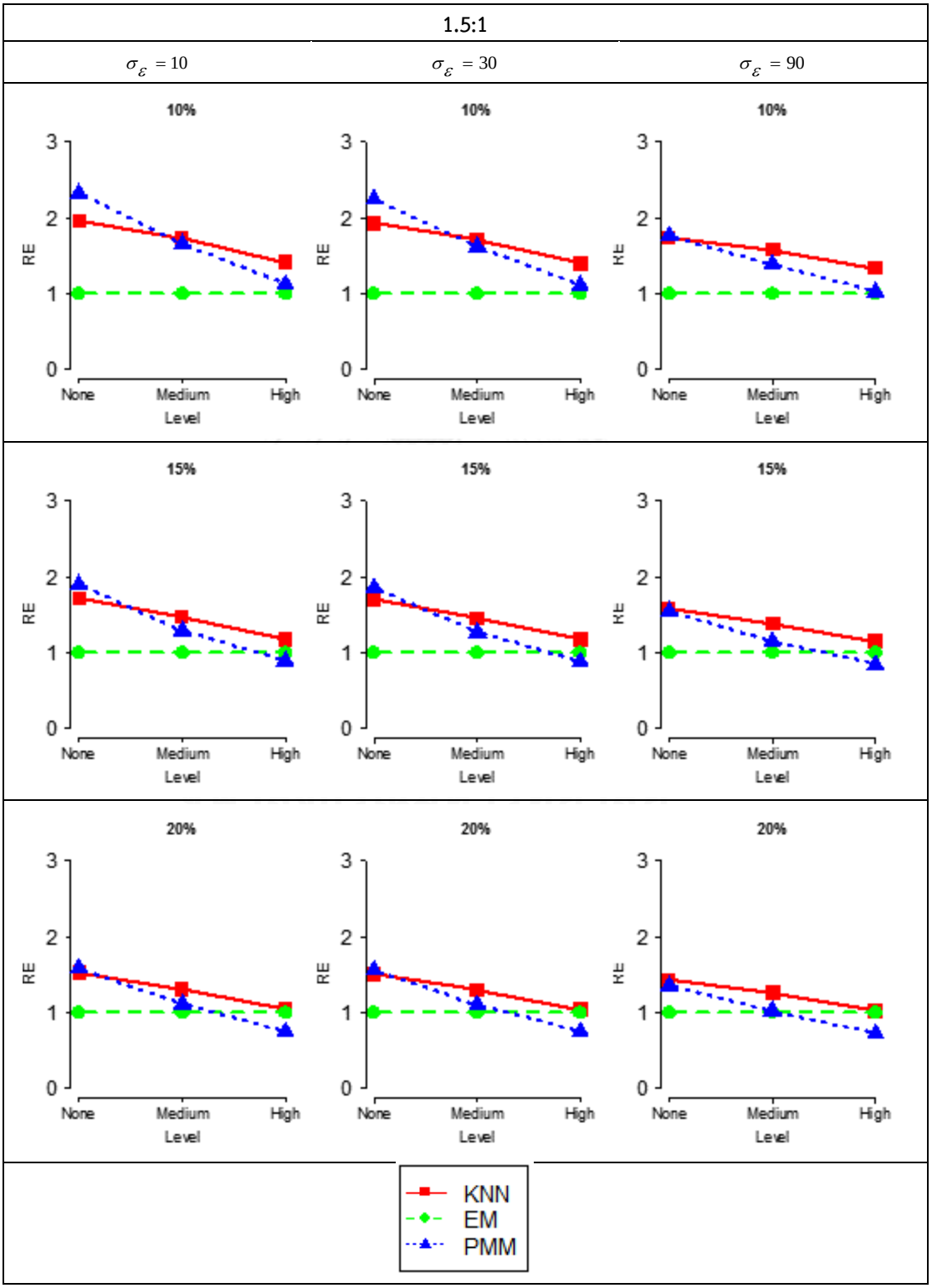
ภาพที่ 4.3.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



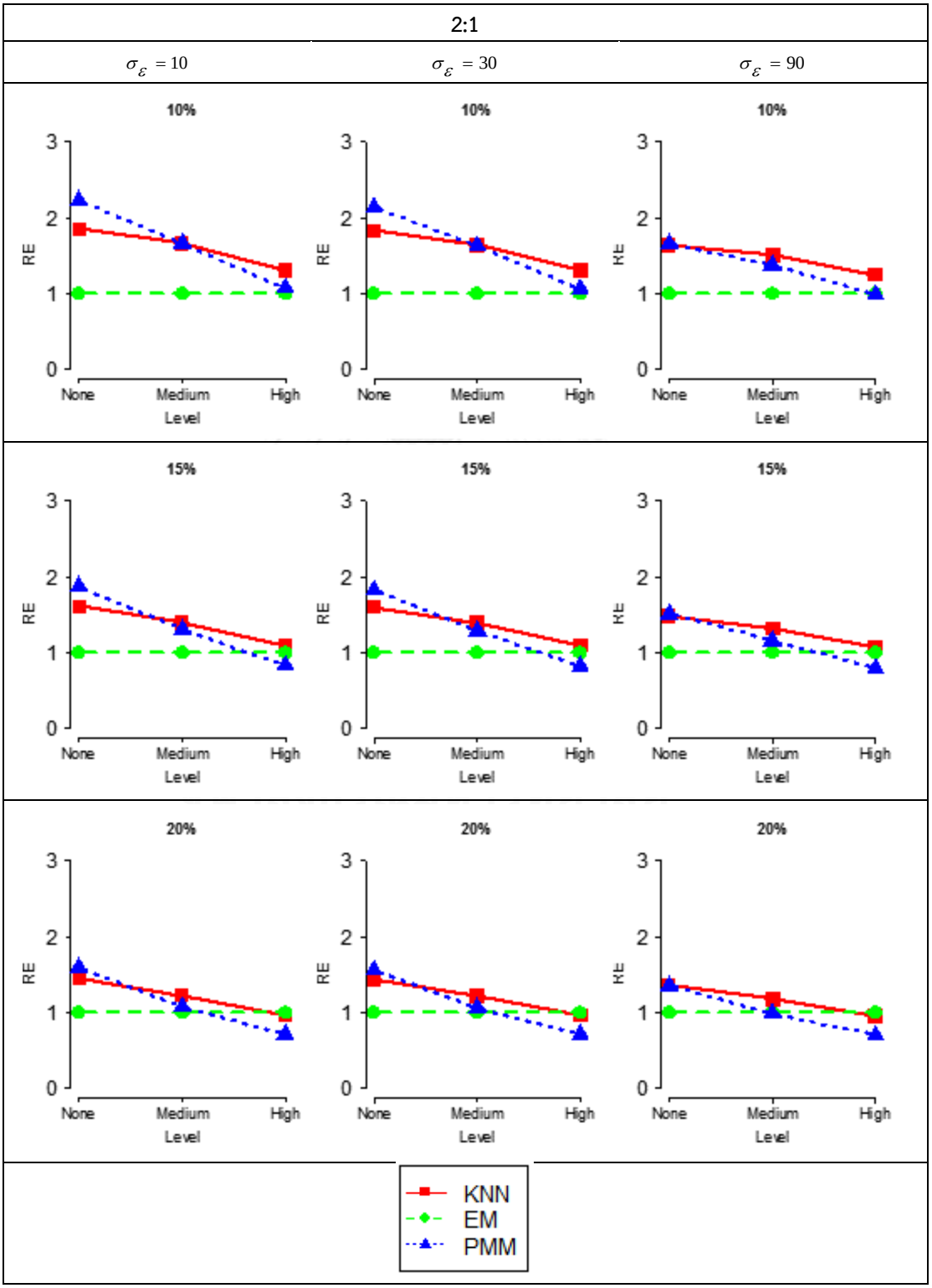
ภาพที่ 4.3.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



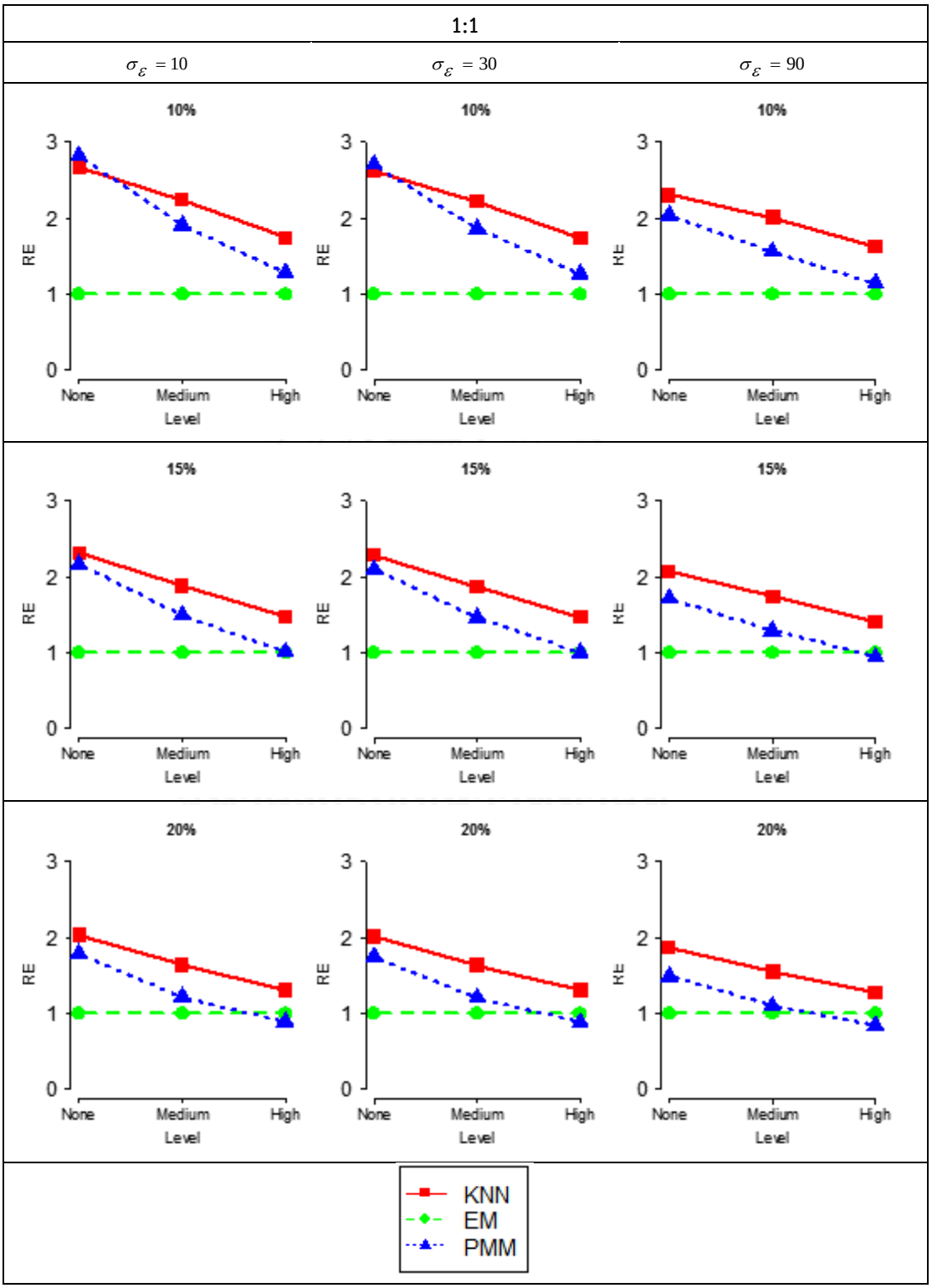
ภาพที่ 4.3.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



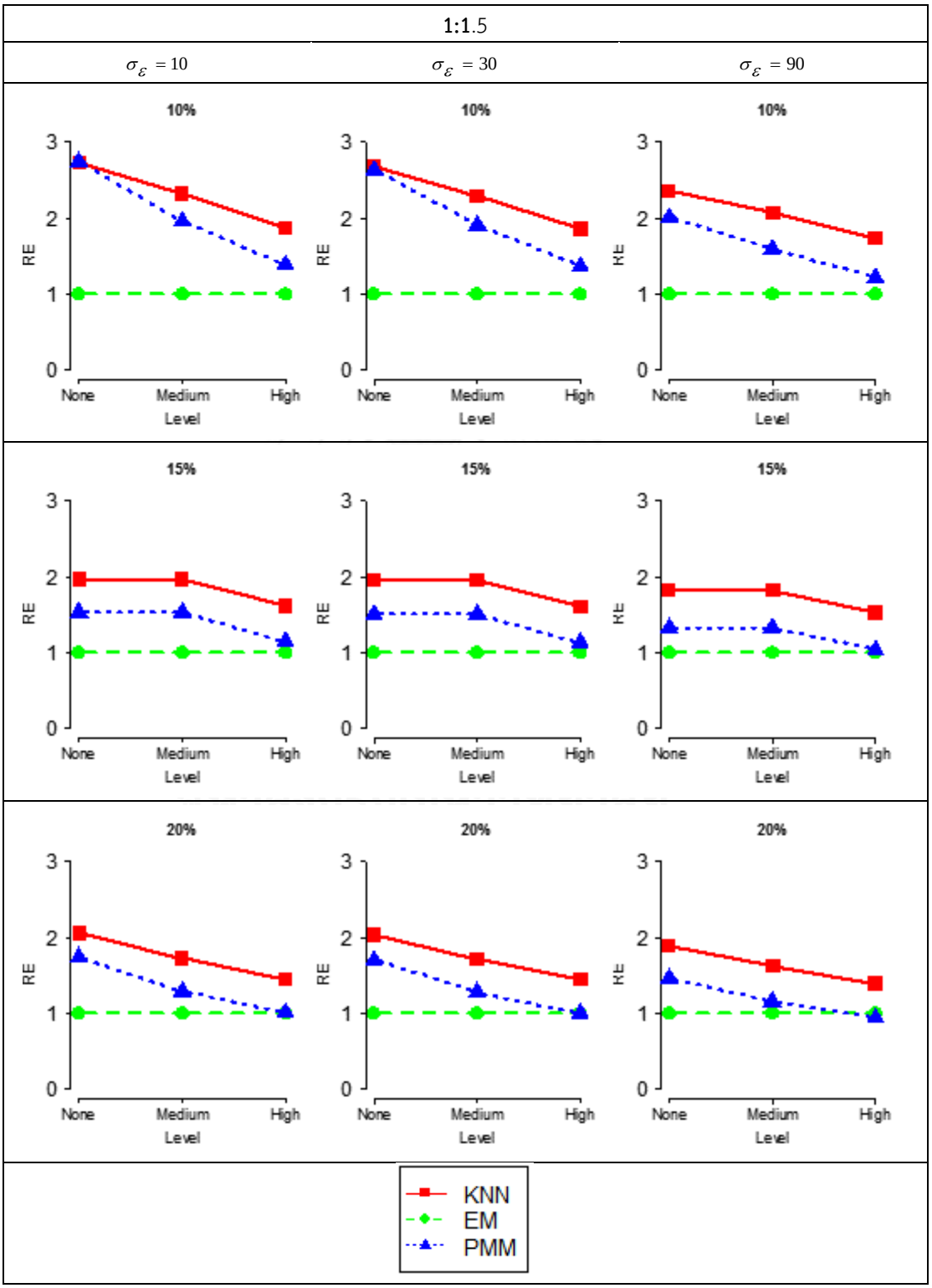
ภาพที่ 4.3.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



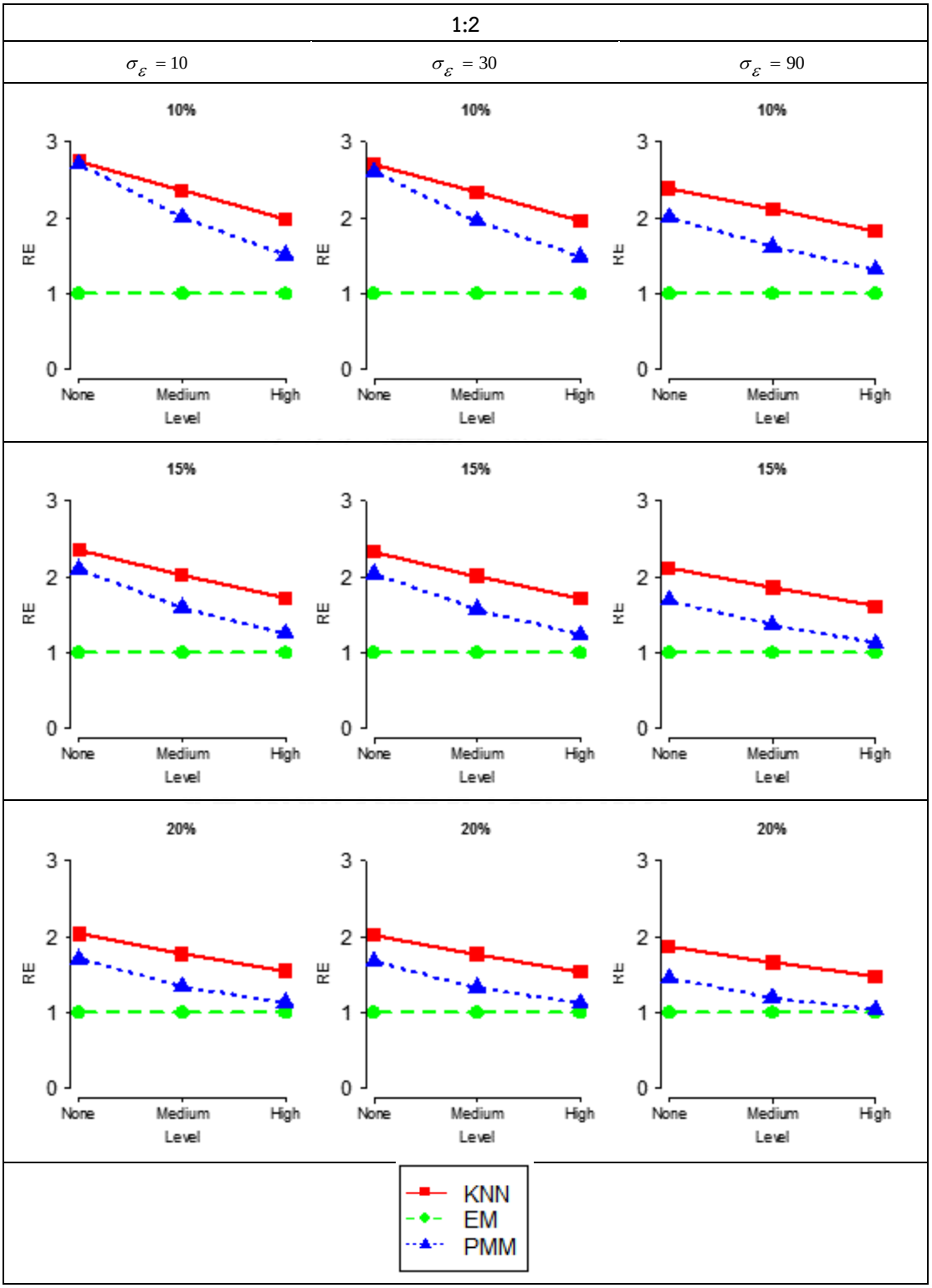
ภาพที่ 4.3.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



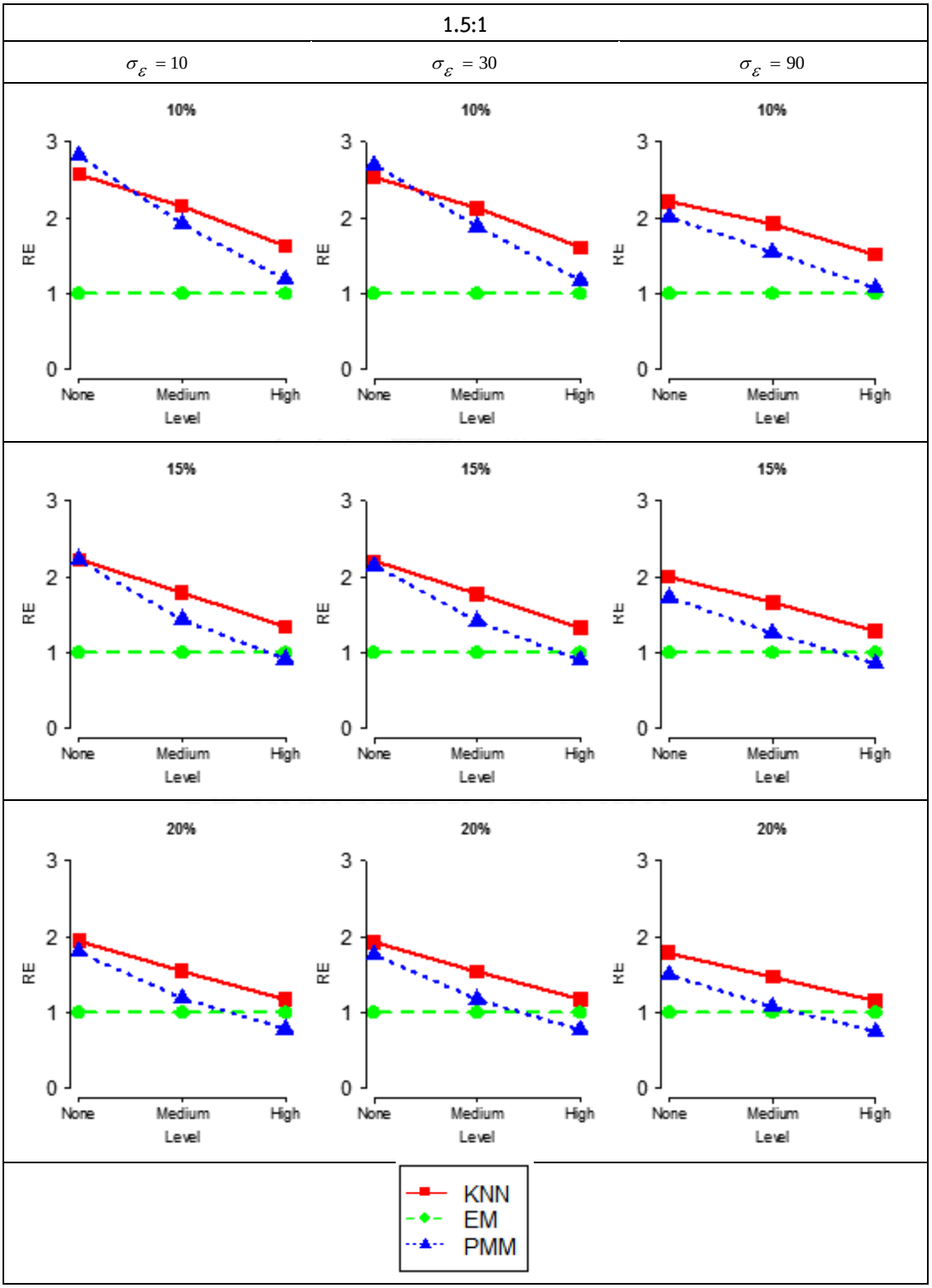
ภาพที่ 4.3.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



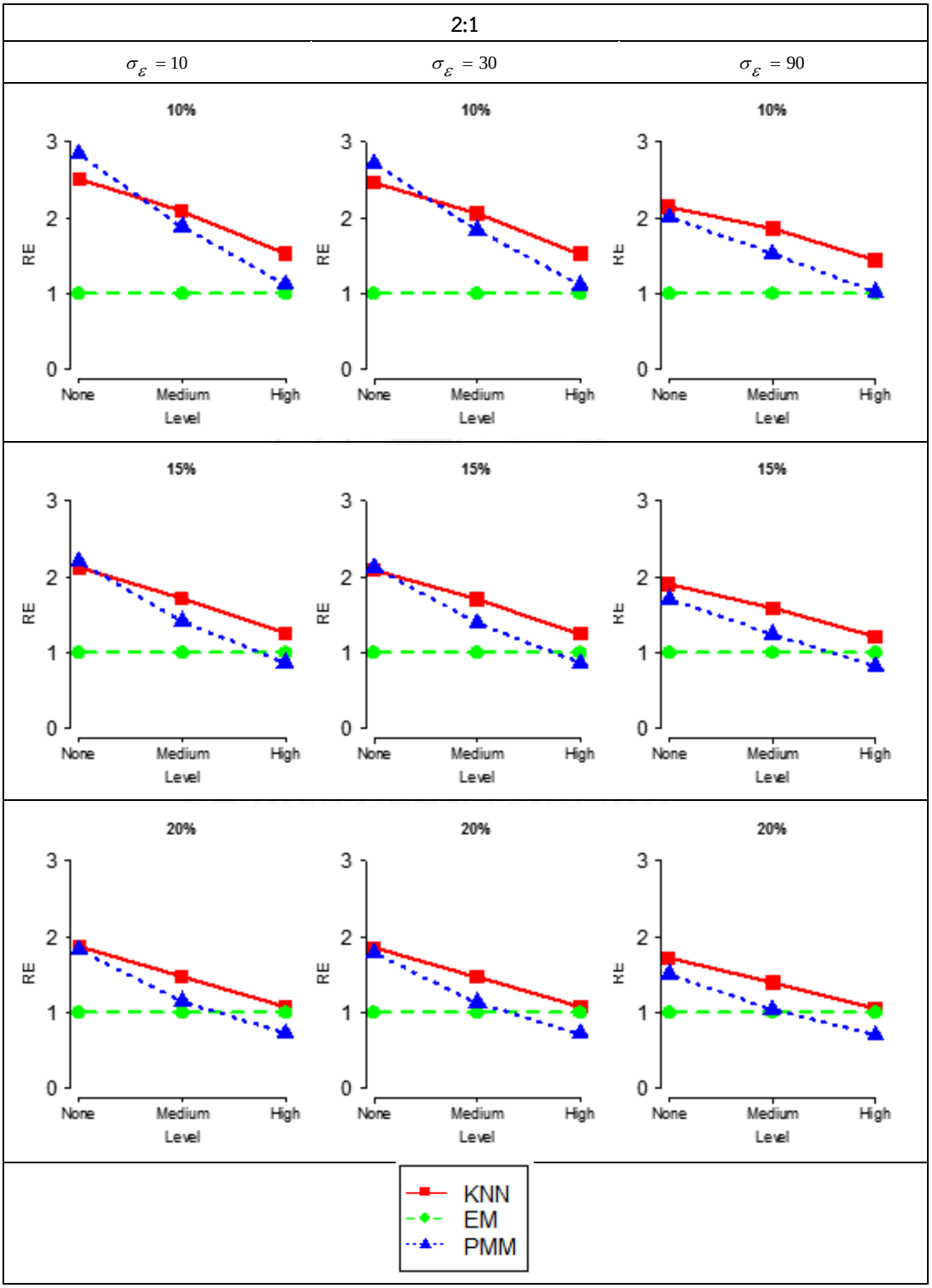
ภาพที่ 4.3.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.3.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.3.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



จากตารางที่ 4.3.1 – 4.3.6 และ ภาพที่ 4.3.4.1 - 4.3.6.3 พบว่า โดยส่วนใหญ่วิธี KNN เป็นวิธีที่ดีที่สุด ยกเว้นในบางกรณีที่สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10 และ 30 และไม่มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ในขนาดของตัวอย่าง เท่ากับ 50 และ 100 วิธี PMM จะเป็นวิธีการที่ดีกว่า วิธี KNN เมื่อ ในขนาดของตัวอย่าง เท่ากับ 200 วิธี PMM มีประสิทธิภาพใกล้เคียง วิธี KNN

นอกจากนี้ จาก ภาพที่ 4.3.7 - 4.3.9 พบว่า ในขนาดของตัวอย่าง เท่ากับ 50 ถ้าระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ระดับปานกลางและสูง และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม มีค่าเท่ากับ 15 % และ 20% วิธี EM จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 ส่วนที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: กรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่

ศึกษาข้อมูลสูญหายในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ซึ่งเท่ากับ 500 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2: $X_1 \sim N(0, 100)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 500)$ มีร้อยละการสูญหายของข้อมูลตัวแปรตามโดยเฉลี่ย 3 ระดับ คือ 10%, 15% และ 20% ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50, 100, 200 มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และสูง และมีอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 ซึ่งผลการวิจัยในส่วนนี้จะแสดงในตารางและภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.4.1	10	AMSE
4.4.2	30	
4.4.3	90	
4.4.4	10	RE
4.4.5	30	
4.4.6	90	

ตารางที่ 4.4.1 - 4.4.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.4.4.1	10	50	RE
4.4.4.2		100	
4.4.4.3		200	
4.4.5.1	30	50	RE

ภาพที่	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.4.5.2		100	
4.4.5.3		200	
4.4.6.1	90	50	RE
4.4.6.2		100	
4.4.6.3		200	

ภาพที่ 4.4.4.1 - 4.4.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบ อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ต่างๆ ตาม ขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

ภาพที่	ขนาดของตัวอย่าง	แสดงค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหาย
4.4.7	50	RE
4.4.8	100	
4.4.9	200	

ภาพที่ 4.4.7 - 4.4.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี ด้วยค่าRE โดยในแต่ละภาพจะเปรียบเทียบจาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน 10 30 และ90 ตามขนาดของตัวอย่าง ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม และระดับการสูญหายแบบ Nonignorable

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	8182.0	24334.7	***8107.6***	***11671.8***	36884.1	12615.2	***15459.8***	48409.6	16895.4
		2	***10133.0***	24467.2	12273.2	***14518.2***	36288.0	17590.7	***19016.8***	49025.8	23549.5
		4	***14078.4***	24987.4	19454.0	***19327.8***	37340.9	26281.1	***28449.6***	73295.3	33240.9
	15	1	***15062.7***	36893.1	16839.5	***21216.3***	54620.8	24598.8	***28449.6***	73295.3	33240.9
		2	***19068.0***	37248.7	24436.3	***27174.2***	55783.6	35089.6	***34872.5***	73779.8	45261.5
		4	***26013.5***	38142.9	36918.7	***35103.4***	56956.3	49289.1	***43788.3***	77498.8	60783.4
	20	1	***22153.6***	47843.9	25956.5	***33335.0***	73242.0	40534.7	***45592.1***	98058.4	56398.2
		2	***29545.8***	49117.7	40108.1	***41557.9***	73586.4	55370.7	***54929.7***	100028.8	72114.4
		4	***40122.8***	51648.8	58077.3	***53819.3***	77589.0	75750.4	***66865.8***	104601.3	92160.5
100	10	1	***6255.2***	24415.4	7080.5	***9424.9***	37069.2	11170.9	***12266.8***	49380.9	14718.3
		2	***8319.7***	24430.0	11332.8	***12255.0***	37133.8	16802.9	***15834.5***	49432.7	21670.7
		4	***12172.0***	24930.4	18506.6	***17264.4***	38376.4	25667.6	***21380.9***	50778.7	31565.4
	15	1	***11762.6***	37151.1	14787.7	***17383.3***	55711.6	21960.0	***22937.8***	74339.0	29988.5
		2	***16057.7***	37321.6	23090.1	***23006.5***	55647.1	32918.1	***29468.4***	74146.5	41844.1
		4	***23103.8***	37889.3	35720.9	***31443.7***	57570.2	47739.2	***38706.7***	77435.6	56992.5
	20	1	***18326.6***	48871.0	24611.4	***27645.8***	74374.2	37466.5	***37070.9***	98935.7	50995.1
		2	***25846.9***	50184.7	37937.0	***36419.9***	74884.5	54071.9	***47134.8***	100167.3	67777.0
		4	***36223.4***	51299.3	56615.6	***48916.2***	78095.5	74211.5	***60659.9***	105600.8	88441.3
200	10	1	***5208.7***	24727.0	6531.6	***7743.8***	37392.8	9905.6	***10075.4***	49522.3	12968.8
		2	***7240.2***	24556.1	10605.4	***10660.8***	37141.4	15492.4	***13881.1***	50124.8	20159.4
		4	***11428.2***	25239.4	18133.6	***15491.5***	37853.5	24370.1	***19175.9***	50733.9	29992.3
	15	1	***9733.8***	36953.2	13364.9	***14650.2***	55825.9	20503.2	***19383.4***	74600.1	27474.9
		2	***14466.9***	37783.4	22208.3	***20413.3***	56095.5	31226.9	***26632.3***	75648.2	40540.7
		4	***21741.5***	38274.6	35359.8	***28760.5***	57217.0	45901.5	***35520.7***	77865.9	55514.6
	20	1	***15890.3***	49714.5	22827.0	***23702.4***	74622.8	34672.0	***31875.3***	99222.6	46966.6
		2	***23265.3***	49888.6	37183.1	***32748.8***	74922.3	51615.6	***42460.8***	100861.2	65736.0
		4	***34292.4***	51833.1	55718.0	***45299.4***	78625.7	72025.9	***55648.8***	105799.9	85388.1

ตารางที่ 4.4.1 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	5649.0	15824.3	***5512.1***	4451.7	12102.6	***4037.5***
		2	***7109.3***	16411.5	8407.7	***5796.8***	11977.2	6564.5
		4	***10260.6***	16790.3	13736.6	***7759.9***	11903.8	10155.7
	15	1	***10118.8***	24161.3	10496.8	8250.8	18312.9	***8205.2***
		2	***12973.4***	24086.2	16072.9	***10768.1***	18591.8	12759.0
		4	***19399.4***	25137.9	27755.7	***15413.5***	18711.9	21287.8
	20	1	***16347.2***	32864.6	18396.1	***12720.7***	24427.3	13128.0
		2	***21159.0***	32987.7	27290.1	***17065.1***	24995.1	21681.3
		4	***30334.8***	34004.7	43063.0	***24700.3***	25479.9	34615.5
100	10	1	***4335.3***	16421.7	4735.2	***3413.2***	12422.9	3595.2
		2	***5851.0***	16419.2	7710.6	***4629.5***	12352.6	6078.3
		4	***8764.2***	16674.2	12840.1	***6871.0***	12336.6	10085.6
	15	1	***8160.5***	24937.7	9650.2	***6385.1***	18747.5	7244.1
		2	***11255.0***	24624.6	15754.3	***8852.9***	18589.5	12175.5
		4	***17165.5***	25438.1	26585.1	***13845.0***	18966.5	21101.6
	20	1	***12606.0***	32776.5	16047.0	***9934.2***	24502.9	12103.9
		2	***18176.6***	33327.3	26560.9	***14223.7***	24751.0	20222.5
		4	***27762.2***	34319.9	43255.2	***22211.0***	25286.6	34538.0
200	10	1	***3515.8***	16468.2	4264.9	***2676.0***	12369.3	3212.9
		2	***5031.0***	16423.4	7302.6	***3935.5***	12512.9	5611.4
		4	***8117.2***	16630.4	13016.5	***6508.8***	12625.3	10218.9
	15	1	***6727.9***	24968.1	9180.6	***5249.8***	18630.9	6851.5
		2	***10000.2***	24801.2	15177.0	***7699.5***	18662.8	11526.3
		4	***15966.4***	25347.8	26192.7	***12910.7***	19131.5	20857.4
	20	1	***10803.6***	33050.0	15201.1	***8193.6***	24562.9	11132.2
		2	***16355.7***	33158.7	25650.1	***12778.6***	25116.5	19939.3
		4	***25866.5***	34331.4	42566.5	***20889.2***	25557.8	34356.3

ตารางที่ 4.4.2 แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	8312.8	24405.7	***8274.5***	***11831.3***	36958.7	12839.6	***15629.0***	48483.0	17192.8
		2	***10262.4***	24537.9	12446.6	***14660.4***	36356.3	17848.4	***19193.3***	49099.5	23824.1
		4	***14176.8***	25056.0	19589.4	***19459.6***	37411.5	26503.5	***28648.9***	73374.5	33638.9
	15	1	***15194.7***	36969.5	17079.9	***21408.4***	54696.7	24950.3	***28648.9***	73374.5	33638.9
		2	***19195.3***	37321.1	24656.3	***27363.5***	55857.5	35419.4	***35061.2***	73850.6	45636.7
		4	***26153.0***	38219.2	37123.4	***35280.5***	57034.5	49568.2	***43979.7***	77569.1	61099.6
	20	1	***22324.6***	47926.8	26278.1	***33576.9***	73324.1	40899.7	***45913.1***	98140.4	56880.5
		2	***29695.5***	49204.8	40356.8	***41762.1***	73664.0	55704.8	***55170.2***	100109.2	72557.4
		4	***40254.5***	51733.4	58317.8	***53988.1***	77661.9	76041.0	***67075.7***	104671.1	92510.2
100	10	1	***6350.4***	24450.0	7237.4	***9552.0***	37105.9	11397.9	***12415.8***	49415.4	15002.0
		2	***8403.5***	24466.5	11484.3	***12370.8***	37170.5	17004.5	***15986.4***	49469.6	21941.8
		4	***12252.3***	24967.3	18650.0	***17370.5***	38414.2	25842.5	***21506.9***	50812.8	31805.1
	15	1	***11887.9***	37188.7	15000.0	***17541.7***	55748.7	22240.3	***23163.5***	74377.1	30353.9
		2	***16165.6***	37358.7	23280.6	***23166.6***	55686.9	33186.5	***29655.0***	74183.6	42207.7
		4	***23195.7***	37926.8	35888.9	***31572.8***	57604.9	47972.6	***38877.2***	77474.8	57322.5
	20	1	***18464.0***	48913.6	24850.7	***27831.1***	74413.1	37829.5	***37323.8***	98976.8	51476.5
		2	***25954.9***	50224.4	38161.7	***36604.1***	74923.7	54380.3	***47355.1***	100209.9	68183.3
		4	***36322.6***	51338.4	56783.7	***49058.8***	78129.5	74487.4	***60859.5***	105642.5	88803.8
200	10	1	***5293.1***	24744.9	6686.7	***7859.5***	37410.2	10116.5	***10222.6***	49539.8	13251.0
		2	***7312.9***	24574.1	10753.8	***10762.7***	37159.0	15692.6	***14009.6***	50143.6	20420.5
		4	***11489.7***	25257.4	18252.3	***15584.2***	37870.8	24545.8	***19303.4***	50751.5	30238.6
	15	1	***9841.4***	36972.9	13573.2	***14798.1***	55845.9	20799.0	***19586.1***	74620.5	27857.7
		2	***14561.3***	37802.8	22388.9	***20553.2***	56114.1	31483.9	***26812.9***	75666.4	40903.9
		4	***21820.4***	38294.6	35502.9	***28880.7***	57236.5	46125.9	***35686.8***	77884.8	55813.8
	20	1	***16017.3***	49734.2	23091.8	***23876.5***	74644.1	35037.7	***32120.4***	99243.7	47475.6
		2	***23382.6***	49908.7	37399.8	***32908.1***	74940.8	51947.0	***42679.5***	100881.9	66175.0
		4	***34383.5***	51850.2	55865.6	***45432.3***	78640.7	72278.8	***55841.5***	105819.8	85745.3

ตารางที่ 4.4.2 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	5753.2	15898.0	***5659.0***	4547.4	12174.5	***4167.7***
		2	***7216.5***	16484.1	8547.6	***5894.0***	12048.4	6678.0
		4	***10352.3***	16863.7	13862.7	***7846.9***	11977.0	10263.7
	15	1	***10239.0***	24237.3	10672.1	***8358.8***	18387.7	8370.8
		2	***13088.6***	24160.6	16220.1	***10858.2***	18670.0	12905.7
		4	***19499.2***	25215.3	27891.0	***15490.4***	18791.6	21414.7
	20	1	***16479.3***	32945.0	18598.1	***12848.7***	24510.7	13320.0
		2	***21292.0***	33069.1	27485.9	***17175.8***	25076.7	21836.5
		4	***30430.9***	34083.7	43205.9	***24789.9***	25560.7	34739.9
100	10	1	***4411.0***	16457.8	4852.5	***3477.1***	12458.8	3690.0
		2	***5917.7***	16454.2	7828.9	***4688.6***	12388.2	6170.6
		4	***8824.6***	16710.9	12936.5	***6930.2***	12373.7	10164.5
	15	1	***8250.6***	24975.5	9808.8	***6462.4***	18785.6	7366.2
		2	***11342.8***	24661.9	15891.6	***8918.5***	18627.5	12278.5
		4	***17237.4***	25478.1	26715.2	***13902.0***	19003.0	21184.1
	20	1	***12712.1***	32817.7	16231.2	***10020.1***	24542.1	12246.6
		2	***18272.5***	33365.1	26719.1	***14305.5***	24791.4	20343.8
		4	***27830.0***	34359.9	43380.8	***22267.6***	25328.9	34627.2
200	10	1	***3575.4***	16485.9	4371.7	***2724.7***	12387.1	3297.8
		2	***5086.6***	16440.9	7400.9	***3979.5***	12529.8	5686.7
		4	***8163.2***	16648.1	13097.2	***6548.2***	12642.9	10287.0
	15	1	***6809.3***	24986.6	9314.2	***5309.0***	18649.1	6957.1
		2	***10066.3***	24820.1	15305.2	***7756.0***	18682.2	11625.9
		4	***16016.3***	25367.0	26284.4	***12953.0***	19151.3	20934.5
	20	1	***10894.1***	33069.7	15387.4	***8267.4***	24583.1	11277.4
		2	***16429.7***	33178.1	25797.3	***12842.6***	25136.3	20055.3
		4	***25922.4***	34351.0	42663.3	***20929.7***	25577.5	34430.9

<u>ตารางที่ 4.4.3</u> แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาด<u>ใหญ่</u> และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ								
			1:1			1:1.5			1:2		
			AMSE								
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	***9420.1***	25044.7	9891.8	***13209.1***	37614.2	15074.7	***17199.7***	49132.8	19750.9
		2	***11327.2***	25175.8	14016.2	***15923.3***	36996.9	19847.4	***20703.2***	49758.1	26284.5
		4	***15131.0***	25698.1	20953.2	***20681.5***	38054.2	28413.3	***30647.1***	74081.9	37061.8
	15	1	***16482.4***	37655.5	19114.3	***23090.7***	55391.3	27724.4	***30647.1***	74081.9	37061.8
		2	***20382.6***	37992.4	26537.3	***28896.5***	56537.2	37991.8	***36894.0***	74521.8	48816.9
		4	***27242.2***	38897.8	38805.3	***36690.8***	57718.0	51844.5	***45722.8***	78232.5	64001.1
	20	1	***23778.9***	48661.7	28734.7	***35470.9***	74073.9	44236.8	***48225.0***	98886.3	61013.9
		2	***31053.4***	49960.6	42585.4	***43499.7***	74382.6	58616.3	***57352.6***	100832.8	76131.9
		4	***41439.3***	52470.9	60141.8	***55532.5***	78355.6	78573.6	***69011.8***	105355.6	95792.4
100	10	1	***7178.6***	24766.8	8635.0	***10668.1***	37431.1	13386.2	***13796.9***	49734.1	17500.9
		2	***9201.5***	24790.0	12827.0	***13413.3***	37493.2	18845.3	***17289.4***	49794.3	24262.1
		4	***12962.2***	25292.0	19777.7	***18308.5***	38739.3	27444.9	***22690.4***	51127.8	33871.7
	15	1	***12978.7***	37528.3	16897.7	***18961.6***	56090.2	24925.0	***24980.3***	74712.2	33762.8
		2	***17113.2***	37694.7	24920.9	***24491.7***	56036.4	35629.2	***31337.7***	74523.3	45287.5
		4	***23993.0***	38264.3	37257.5	***32721.3***	57932.9	50006.9	***40407.7***	77814.0	60054.4
	20	1	***19731.4***	49284.1	27105.6	***29560.1***	74770.6	41012.7	***39559.7***	99346.2	55606.6
		2	***27053.0***	50584.9	40080.7	***38172.3***	75285.2	57213.1	***49357.8***	100582.1	71866.5
		4	***37197.5***	51695.3	58295.7	***50347.6***	78467.3	76803.5	***62695.3***	106005.4	92125.0
200	10	1	***5991.4***	24905.9	7992.7	***8859.6***	37569.6	12038.9	***11510.8***	49700.1	15730.1
		2	***7968.6***	24735.5	11977.0	***11673.8***	37317.9	17433.4	***15219.9***	50307.4	22692.6
		4	***12049.0***	25420.1	19250.0	***16397.0***	38029.0	26061.5	***20398.3***	50910.0	32282.3
	15	1	***10788.6***	37147.5	15373.3	***16143.7***	56020.2	23418.6	***21345.3***	74795.5	31265.2
		2	***15409.0***	37975.7	23984.6	***21757.8***	56281.0	33787.9	***28406.2***	75833.0	43995.1
		4	***22503.3***	38466.4	36766.5	***29930.1***	57406.6	48088.2	***37111.9***	78052.2	58524.3
	20	1	***17156.2***	49912.6	25315.0	***25518.9***	74829.5	38276.3	***34282.2***	99427.0	51674.3
		2	***24361.6***	50090.0	39285.8	***34341.3***	75116.4	54751.9	***44634.6***	101062.5	69937.9
		4	***35137.6***	52018.2	57259.1	***46618.7***	78803.4	74568.0	***57569.4***	105999.1	89002.3

ตารางที่ 4.4.3 (ต่อ) แสดงค่า AMSE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ					
			1.5:1			2:1		
			AMSE					
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	***6668.7***	16555.6	6963.4	5405.4	12823.3	***5301.7***
		2	***8116.4***	17134.3	9807.4	***6712.9***	12692.2	7780.9
		4	***11180.5***	17514.6	15013.9	***8632.9***	12634.5	11275.6
	15	1	***11327.3***	24931.8	12306.4	***9333.0***	19075.4	9771.3
		2	***14110.5***	24845.8	17676.4	***11761.1***	19371.4	14219.9
		4	***20403.9***	25905.6	29123.2	***16293.5***	19493.0	22506.9
	20	1	***17633.0***	33675.5	20471.2	***13905.4***	25257.3	14927.2
		2	***22383.9***	33794.9	29093.3	***18160.0***	25813.1	23250.4
		4	***31346.0***	34802.8	44531.0	***25609.0***	26294.3	35891.6
100	10	1	***5065.5***	16779.3	5890.9	***4050.1***	12782.2	4552.1
		2	***6532.7***	16771.3	8788.7	***5236.5***	12711.1	6976.0
		4	***9405.9***	17034.6	13786.6	***7427.4***	12699.7	10868.2
	15	1	***9054.9***	25316.9	11177.9	***7136.5***	19128.5	8473.7
		2	***12080.3***	24996.6	17097.7	***9531.3***	18967.9	13281.5
		4	***17890.1***	25826.5	27691.4	***14423.9***	19335.0	21946.5
	20	1	***13634.2***	33183.4	17878.9	***10786.2***	24902.1	13567.6
		2	***19069.2***	33720.1	28110.5	***14991.6***	25157.5	21461.5
		4	***28447.7***	34717.8	44395.1	***22800.6***	25697.6	35413.3
200	10	1	***4094.5***	16645.1	5288.9	***3160.1***	12547.2	4053.1
		2	***5575.5***	16600.6	8257.0	***4382.9***	12685.0	6375.3
		4	***8579.6***	16808.1	13809.0	***6890.0***	12800.9	10843.6
	15	1	***7492.6***	25154.9	10575.9	***5855.4***	18816.5	7937.9
		2	***10663.1***	24990.8	16396.8	***8246.2***	18854.9	12487.9
		4	***16485.4***	25535.9	27105.9	***13323.4***	19322.1	21560.9
	20	1	***11708.0***	33251.4	16915.3	***8912.4***	24763.5	12470.3
		2	***17111.9***	33356.0	27056.3	***13386.4***	25317.3	21035.8
		4	***26414.8***	34527.9	43514.5	***21306.7***	25754.6	35063.0

ตารางที่ 4.4.4 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2.974	1.000	***3.001***	***3.160***	1.000	2.924	***3.131***	1.000	2.865	2.801	1.000	***2.871***	2.719	1.000	***2.998***
		2	***2.415***	1.000	1.994	***2.499***	1.000	2.063	***2.578***	1.000	2.082	***2.308***	1.000	1.952	***2.066***	1.000	1.825
		4	***1.775***	1.000	1.284	***1.932***	1.000	1.421	***2.576***	1.000	2.205	***1.636***	1.000	1.222	***1.534***	1.000	1.172
	15	1	***2.449***	1.000	2.191	***2.574***	1.000	2.220	***2.576***	1.000	2.205	***2.388***	1.000	2.302	2.220	1.000	***2.232***
		2	***1.953***	1.000	1.524	***2.053***	1.000	1.590	***2.116***	1.000	1.630	***1.857***	1.000	1.499	***1.727***	1.000	1.457
		4	***1.466***	1.000	1.033	***1.623***	1.000	1.156	***1.770***	1.000	1.275	***1.296***	1.000	0.906	***1.214***	1.000	0.879
	20	1	***2.160***	1.000	1.843	***2.197***	1.000	1.807	***2.151***	1.000	1.739	***2.010***	1.000	1.786	***1.920***	1.000	1.861
		2	***1.662***	1.000	1.225	***1.771***	1.000	1.329	***1.821***	1.000	1.387	***1.559***	1.000	1.209	***1.465***	1.000	1.153
		4	***1.287***	1.000	0.889	***1.442***	1.000	1.024	***1.564***	1.000	1.135	***1.121***	1.000	0.790	***1.032***	1.000	0.736
100	10	1	***3.903***	1.000	3.448	***3.933***	1.000	3.318	***4.026***	1.000	3.355	***3.788***	1.000	3.468	***3.640***	1.000	3.455
		2	***2.936***	1.000	2.156	***3.030***	1.000	2.210	***3.122***	1.000	2.281	***2.806***	1.000	2.129	***2.668***	1.000	2.032
		4	***2.048***	1.000	1.347	***2.223***	1.000	1.495	***2.375***	1.000	1.609	***1.903***	1.000	1.299	***1.795***	1.000	1.223
	15	1	***3.158***	1.000	2.512	***3.205***	1.000	2.537	***3.241***	1.000	2.479	***3.056***	1.000	2.584	***2.936***	1.000	2.588
		2	***2.324***	1.000	1.616	***2.419***	1.000	1.690	***2.516***	1.000	1.772	***2.188***	1.000	1.563	***2.100***	1.000	1.527
		4	***1.640***	1.000	1.061	***1.831***	1.000	1.206	***2.001***	1.000	1.359	***1.482***	1.000	0.957	***1.370***	1.000	0.899
	20	1	***2.667***	1.000	1.986	***2.690***	1.000	1.985	***2.669***	1.000	1.940	***2.600***	1.000	2.043	***2.467***	1.000	2.024
		2	***1.942***	1.000	1.323	***2.056***	1.000	1.385	***2.125***	1.000	1.478	***1.834***	1.000	1.255	***1.740***	1.000	1.224
		4	***1.416***	1.000	0.906	***1.597***	1.000	1.052	***1.741***	1.000	1.194	***1.236***	1.000	0.793	***1.138***	1.000	0.732
200	10	1	***4.747***	1.000	3.786	***4.829***	1.000	3.775	***4.915***	1.000	3.819	***4.684***	1.000	3.861	***4.622***	1.000	3.850
		2	***3.392***	1.000	2.315	***3.484***	1.000	2.397	***3.611***	1.000	2.486	***3.264***	1.000	2.249	***3.180***	1.000	2.230
		4	***2.209***	1.000	1.392	***2.444***	1.000	1.553	***2.646***	1.000	1.692	***2.049***	1.000	1.278	***1.940***	1.000	1.235
	15	1	***3.796***	1.000	2.765	***3.811***	1.000	2.723	***3.849***	1.000	2.715	***3.711***	1.000	2.720	***3.549***	1.000	2.719
		2	***2.612***	1.000	1.701	***2.748***	1.000	1.796	***2.840***	1.000	1.866	***2.480***	1.000	1.634	***2.424***	1.000	1.619
		4	***1.760***	1.000	1.082	***1.989***	1.000	1.247	***2.192***	1.000	1.403	***1.588***	1.000	0.968	***1.482***	1.000	0.917
	20	1	***3.129***	1.000	2.178	***3.148***	1.000	2.152	***3.113***	1.000	2.113	***3.059***	1.000	2.174	***2.998***	1.000	2.206
		2	***2.144***	1.000	1.342	***2.288***	1.000	1.452	***2.375***	1.000	1.534	***2.027***	1.000	1.293	***1.966***	1.000	1.260
		4	***1.512***	1.000	0.930	***1.736***	1.000	1.092	***1.901***	1.000	1.239	***1.327***	1.000	0.807	***1.223***	1.000	0.744

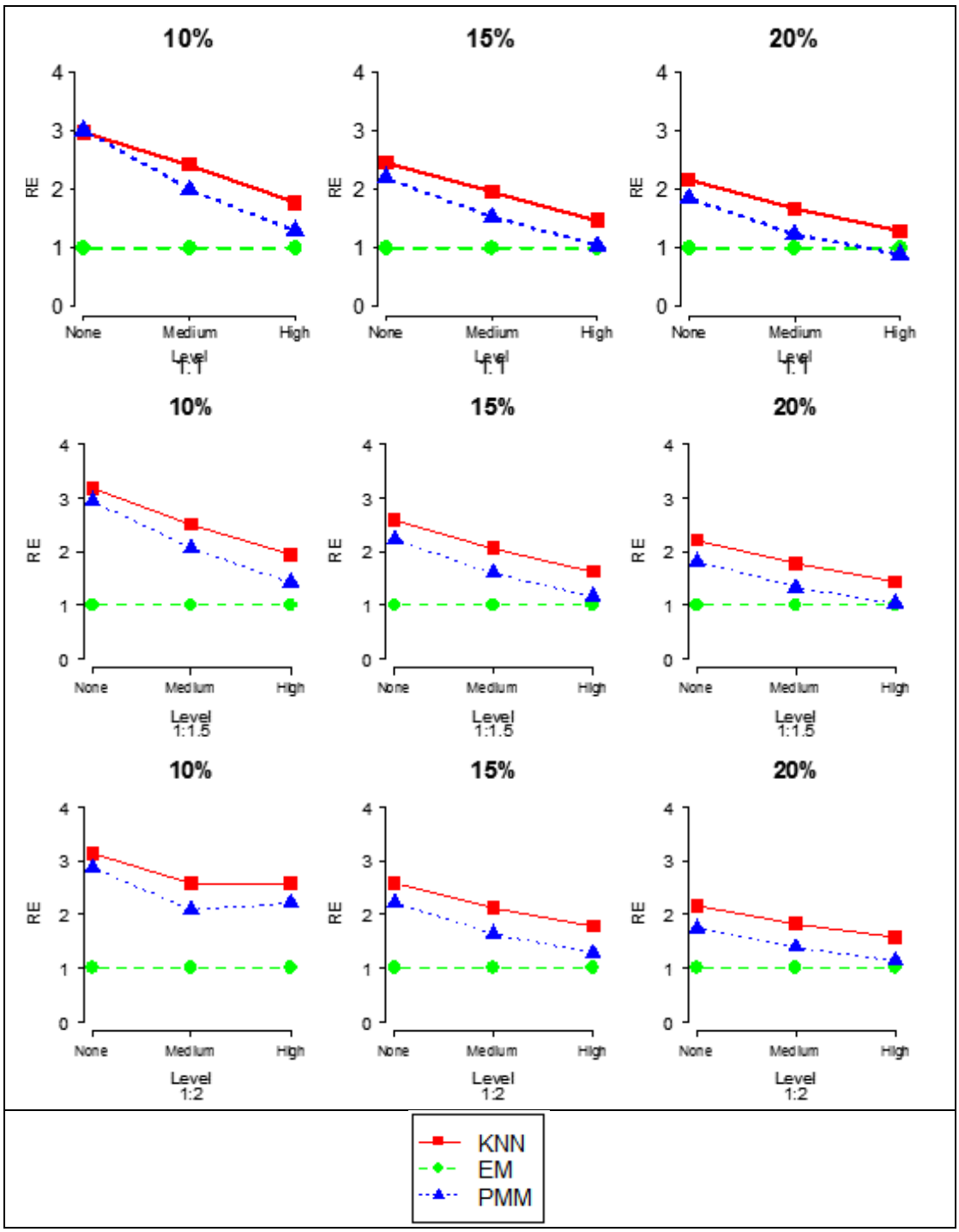
ตารางที่ 4.4.5 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	2.936	1.000	***2.950***	***3.124***	1.000	2.879	***3.102***	1.000	2.820	2.763	1.000	***2.809***	2.677	1.000	***2.921***
		2	***2.391***	1.000	1.971	***2.480***	1.000	2.037	***2.558***	1.000	2.061	***2.284***	1.000	1.929	***2.044***	1.000	1.804
		4	***1.767***	1.000	1.279	***1.923***	1.000	1.412	***2.561***	1.000	2.181	***1.629***	1.000	1.216	***1.526***	1.000	1.167
	15	1	***2.433***	1.000	2.165	***2.555***	1.000	2.192	***2.561***	1.000	2.181	***2.367***	1.000	2.271	***2.200***	1.000	2.197
		2	***1.944***	1.000	1.514	***2.041***	1.000	1.577	***2.106***	1.000	1.618	***1.846***	1.000	1.490	***1.719***	1.000	1.447
		4	***1.461***	1.000	1.030	***1.617***	1.000	1.151	***1.764***	1.000	1.270	***1.293***	1.000	0.904	***1.213***	1.000	0.878
	20	1	***2.147***	1.000	1.824	***2.184***	1.000	1.793	***2.138***	1.000	1.725	***1.999***	1.000	1.771	***1.908***	1.000	1.840
		2	***1.657***	1.000	1.219	***1.764***	1.000	1.322	***1.815***	1.000	1.380	***1.553***	1.000	1.203	***1.460***	1.000	1.148
		4	***1.285***	1.000	0.887	***1.439***	1.000	1.021	***1.560***	1.000	1.131	***1.120***	1.000	0.789	***1.031***	1.000	0.736
100	10	1	***3.850***	1.000	3.378	***3.885***	1.000	3.255	***3.980***	1.000	3.294	***3.731***	1.000	3.392	***3.583***	1.000	3.376
		2	***2.911***	1.000	2.130	***3.005***	1.000	2.186	***3.094***	1.000	2.255	***2.780***	1.000	2.102	***2.642***	1.000	2.008
		4	***2.038***	1.000	1.339	***2.211***	1.000	1.486	***2.363***	1.000	1.598	***1.894***	1.000	1.292	***1.785***	1.000	1.217
	15	1	***3.128***	1.000	2.479	***3.178***	1.000	2.507	***3.211***	1.000	2.450	***3.027***	1.000	2.546	***2.907***	1.000	2.550
		2	***2.311***	1.000	1.605	***2.404***	1.000	1.678	***2.502***	1.000	1.758	***2.174***	1.000	1.552	***2.089***	1.000	1.517
		4	***1.635***	1.000	1.057	***1.825***	1.000	1.201	***1.993***	1.000	1.352	***1.478***	1.000	0.954	***1.367***	1.000	0.897
	20	1	***2.649***	1.000	1.968	***2.674***	1.000	1.967	***2.652***	1.000	1.923	***2.582***	1.000	2.022	***2.449***	1.000	2.004
		2	***1.935***	1.000	1.316	***2.047***	1.000	1.378	***2.116***	1.000	1.470	***1.826***	1.000	1.249	***1.733***	1.000	1.219
		4	***1.413***	1.000	0.904	***1.593***	1.000	1.049	***1.736***	1.000	1.190	***1.235***	1.000	0.792	***1.137***	1.000	0.731
200	10	1	***4.675***	1.000	3.701	***4.760***	1.000	3.698	***4.846***	1.000	3.739	***4.611***	1.000	3.771	***4.546***	1.000	3.756
		2	***3.360***	1.000	2.285	***3.453***	1.000	2.368	***3.579***	1.000	2.456	***3.232***	1.000	2.221	***3.149***	1.000	2.203
		4	***2.198***	1.000	1.384	***2.430***	1.000	1.543	***2.629***	1.000	1.678	***2.039***	1.000	1.271	***1.931***	1.000	1.229
	15	1	***3.757***	1.000	2.724	***3.774***	1.000	2.685	***3.810***	1.000	2.679	***3.669***	1.000	2.683	***3.513***	1.000	2.681
		2	***2.596***	1.000	1.688	***2.730***	1.000	1.782	***2.822***	1.000	1.850	***2.466***	1.000	1.622	***2.409***	1.000	1.607
		4	***1.755***	1.000	1.079	***1.982***	1.000	1.241	***2.182***	1.000	1.395	***1.584***	1.000	0.965	***1.479***	1.000	0.915
	20	1	***3.105***	1.000	2.154	***3.126***	1.000	2.130	***3.090***	1.000	2.090	***3.036***	1.000	2.149	***2.973***	1.000	2.180
		2	***2.134***	1.000	1.334	***2.277***	1.000	1.443	***2.364***	1.000	1.524	***2.019***	1.000	1.286	***1.957***	1.000	1.253
		4	***1.508***	1.000	0.928	***1.731***	1.000	1.088	***1.895***	1.000	1.234	***1.325***	1.000	0.805	***1.222***	1.000	0.743

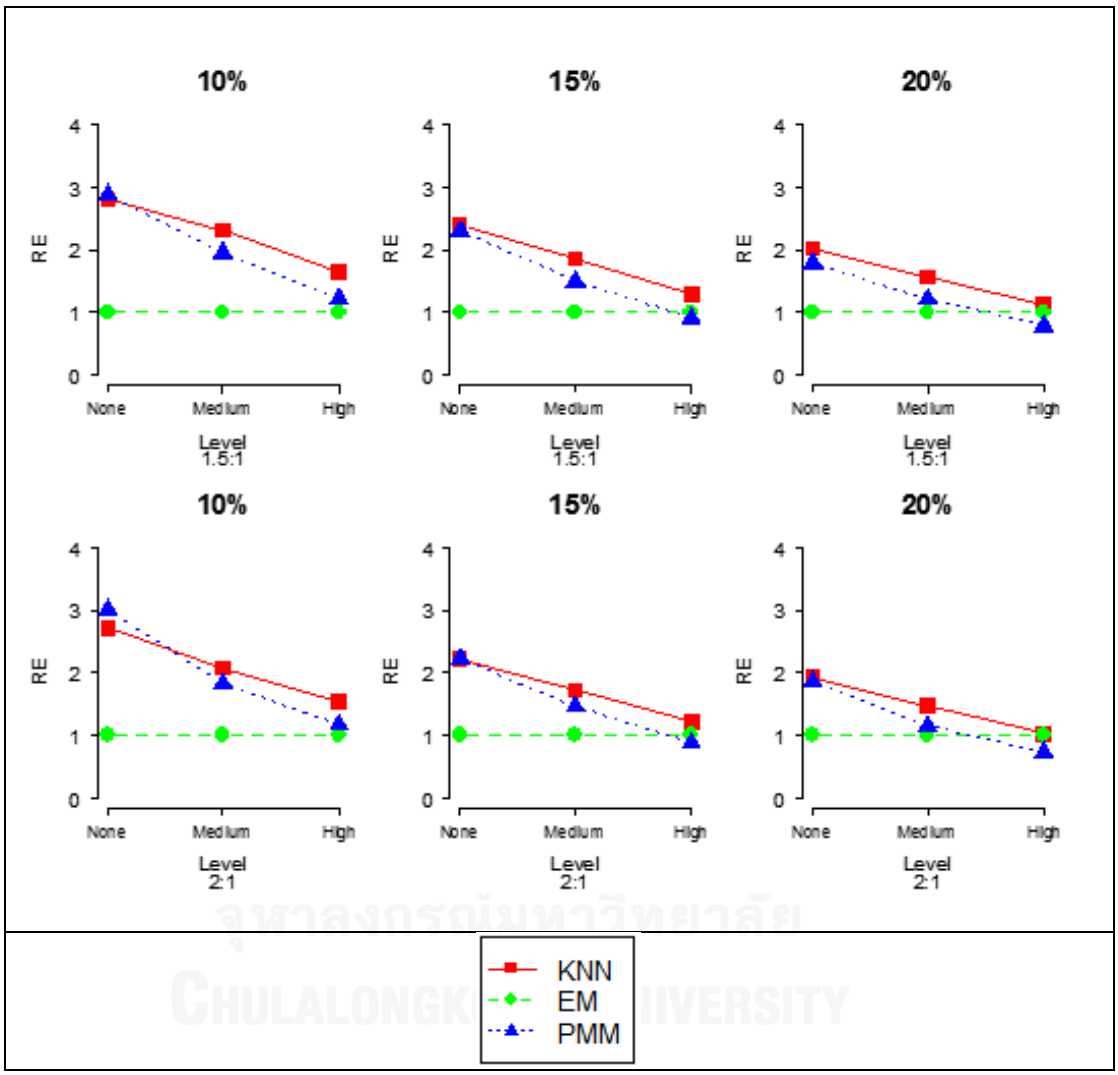
ตารางที่ 4.4.6 แสดงค่า RE จากการประมาณค่าสูญหายของวิธีการทั้ง 3 วิธี ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

n	%	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ														
			1:1			1:1.5			1:2			1.5:1			2:1		
			RE														
			KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM	KNN	EM	PMM
50	10	1	***2.659***	1.000	2.532	***2.848***	1.000	2.495	***2.857***	1.000	2.488	***2.483***	1.000	2.378	2.372	1.000	***2.419***
		2	***2.223***	1.000	1.796	***2.323***	1.000	1.864	***2.403***	1.000	1.893	***2.111***	1.000	1.747	***1.891***	1.000	1.631
		4	***1.698***	1.000	1.226	***1.840***	1.000	1.339	***2.417***	1.000	1.999	***1.567***	1.000	1.167	***1.464***	1.000	1.121
	15	1	***2.285***	1.000	1.970	***2.399***	1.000	1.998	***2.417***	1.000	1.999	***2.201***	1.000	2.026	***2.044***	1.000	1.952
		2	***1.864***	1.000	1.432	***1.957***	1.000	1.488	***2.020***	1.000	1.527	***1.761***	1.000	1.406	***1.647***	1.000	1.362
		4	***1.428***	1.000	1.002	***1.573***	1.000	1.113	***1.711***	1.000	1.222	***1.270***	1.000	0.890	***1.196***	1.000	0.866
	20	1	***2.046***	1.000	1.693	***2.088***	1.000	1.674	***2.051***	1.000	1.621	***1.910***	1.000	1.645	***1.816***	1.000	1.692
		2	***1.609***	1.000	1.173	***1.710***	1.000	1.269	***1.758***	1.000	1.324	***1.510***	1.000	1.162	***1.421***	1.000	1.110
		4	***1.266***	1.000	0.872	***1.411***	1.000	0.997	***1.527***	1.000	1.100	***1.110***	1.000	0.782	***1.027***	1.000	0.733
100	10	1	***3.450***	1.000	2.868	***3.509***	1.000	2.796	***3.605***	1.000	2.842	***3.312***	1.000	2.848	***3.156***	1.000	2.808
		2	***2.694***	1.000	1.933	***2.795***	1.000	1.990	***2.880***	1.000	2.052	***2.567***	1.000	1.908	***2.427***	1.000	1.822
		4	***1.951***	1.000	1.279	***2.116***	1.000	1.412	***2.253***	1.000	1.509	***1.811***	1.000	1.236	***1.710***	1.000	1.169
	15	1	***2.892***	1.000	2.221	***2.958***	1.000	2.250	***2.991***	1.000	2.213	***2.796***	1.000	2.265	***2.680***	1.000	2.257
		2	***2.203***	1.000	1.513	***2.288***	1.000	1.573	***2.378***	1.000	1.646	***2.069***	1.000	1.462	***1.990***	1.000	1.428
		4	***1.595***	1.000	1.027	***1.770***	1.000	1.158	***1.926***	1.000	1.296	***1.444***	1.000	0.933	***1.340***	1.000	0.881
	20	1	***2.498***	1.000	1.818	***2.529***	1.000	1.823	***2.511***	1.000	1.787	***2.434***	1.000	1.856	***2.309***	1.000	1.835
		2	***1.870***	1.000	1.262	***1.972***	1.000	1.316	***2.038***	1.000	1.400	***1.768***	1.000	1.200	***1.678***	1.000	1.172
		4	***1.390***	1.000	0.887	***1.559***	1.000	1.022	***1.691***	1.000	1.151	***1.220***	1.000	0.782	***1.127***	1.000	0.726
200	10	1	***4.157***	1.000	3.116	***4.241***	1.000	3.121	***4.318***	1.000	3.160	***4.065***	1.000	3.147	***3.970***	1.000	3.096
		2	***3.104***	1.000	2.065	***3.197***	1.000	2.141	***3.305***	1.000	2.217	***2.977***	1.000	2.010	***2.894***	1.000	1.990
		4	***2.110***	1.000	1.321	***2.319***	1.000	1.459	***2.496***	1.000	1.577	***1.959***	1.000	1.217	***1.858***	1.000	1.181
	15	1	***3.443***	1.000	2.416	***3.470***	1.000	2.392	***3.504***	1.000	2.392	***3.357***	1.000	2.379	***3.214***	1.000	2.370
		2	***2.465***	1.000	1.583	***2.587***	1.000	1.666	***2.670***	1.000	1.724	***2.344***	1.000	1.524	***2.286***	1.000	1.510
		4	***1.709***	1.000	1.046	***1.918***	1.000	1.194	***2.103***	1.000	1.334	***1.549***	1.000	0.942	***1.450***	1.000	0.896
	20	1	***2.909***	1.000	1.972	***2.932***	1.000	1.955	***2.900***	1.000	1.924	***2.840***	1.000	1.966	***2.779***	1.000	1.986
		2	***2.056***	1.000	1.275	***2.187***	1.000	1.372	***2.264***	1.000	1.445	***1.949***	1.000	1.233	***1.891***	1.000	1.204
		4	***1.480***	1.000	0.908	***1.690***	1.000	1.057	***1.841***	1.000	1.191	***1.307***	1.000	0.793	***1.209***	1.000	0.735

ภาพที่ 4.4.4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

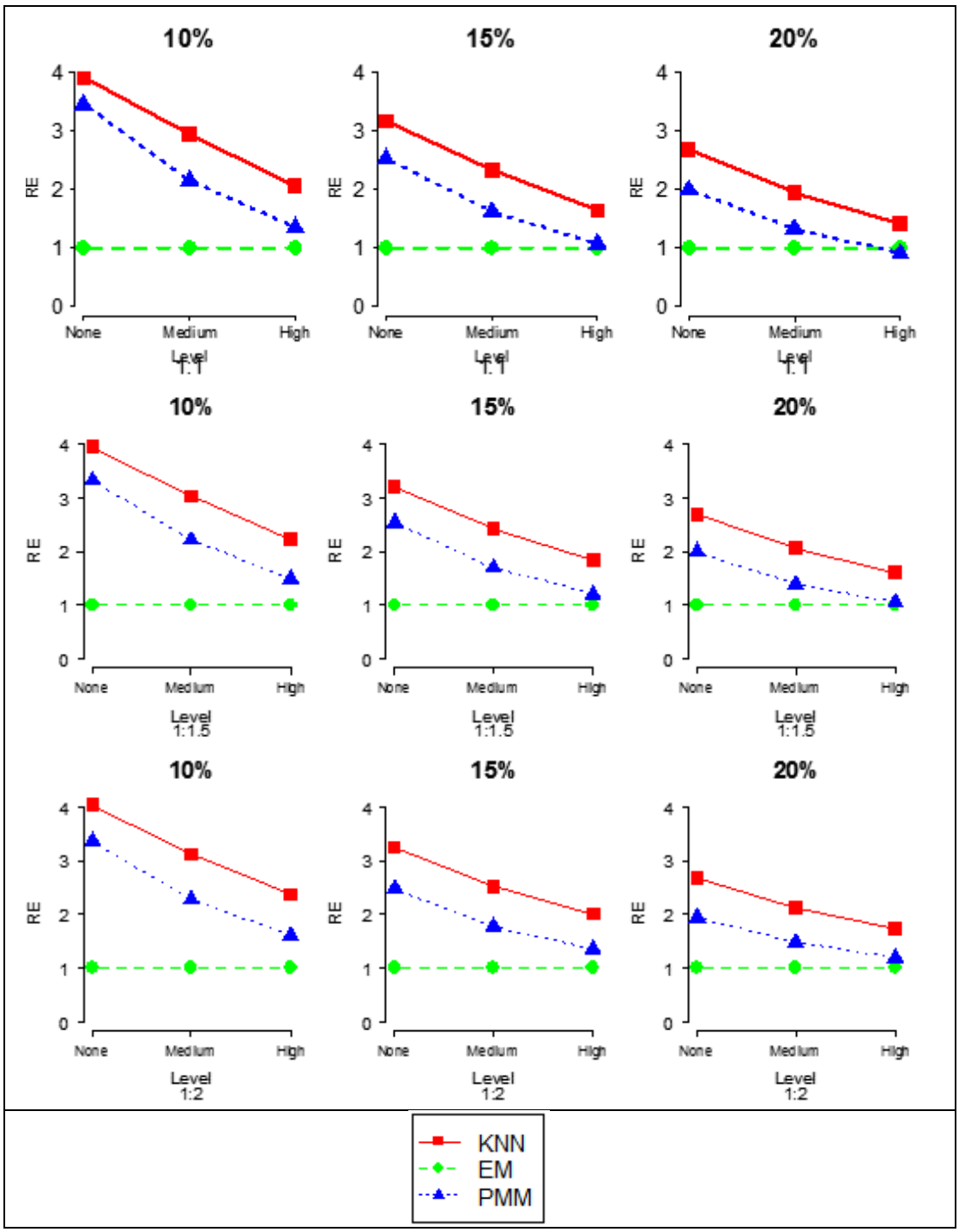


ภาพที่ 4.4.4.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

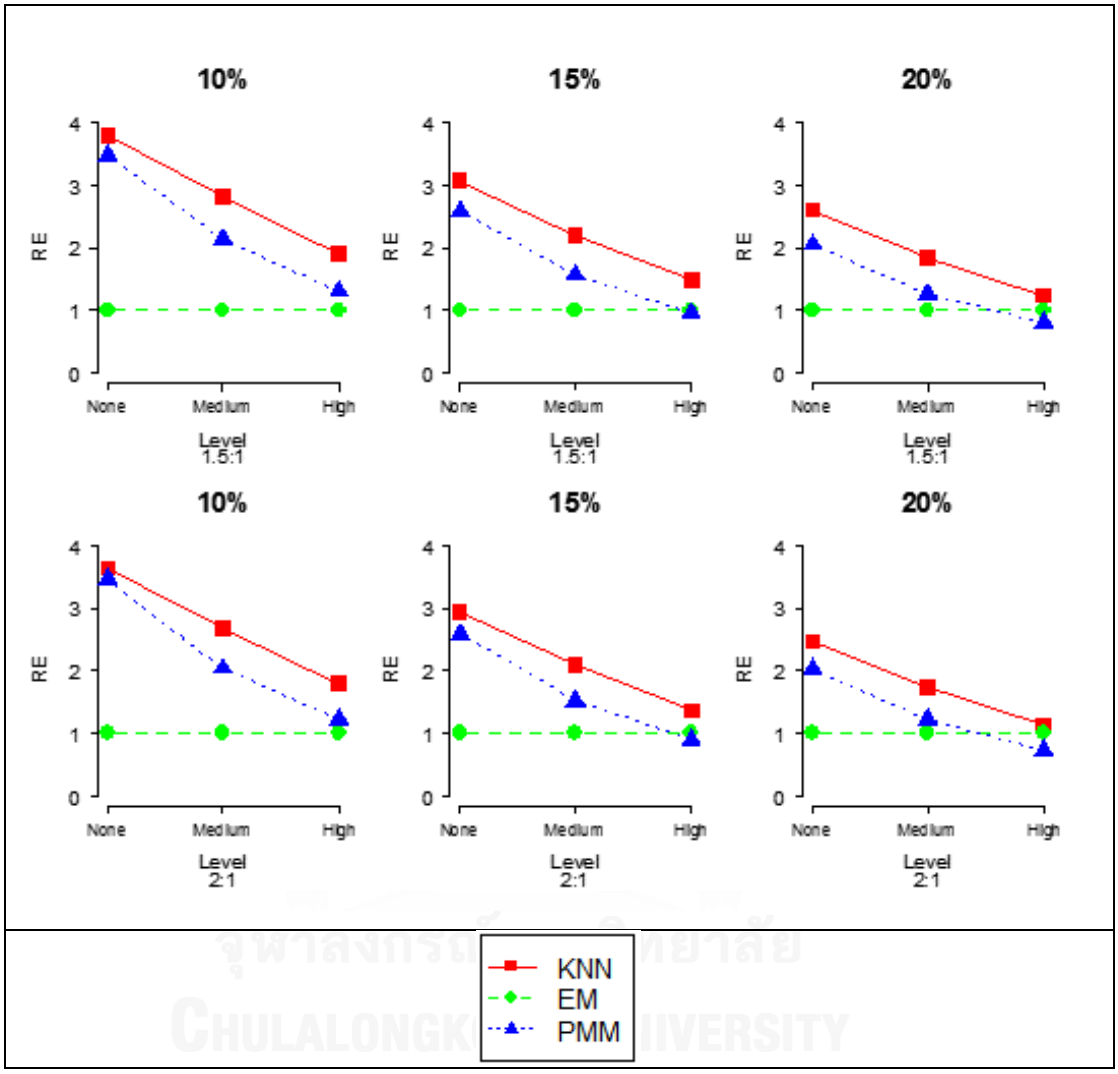


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

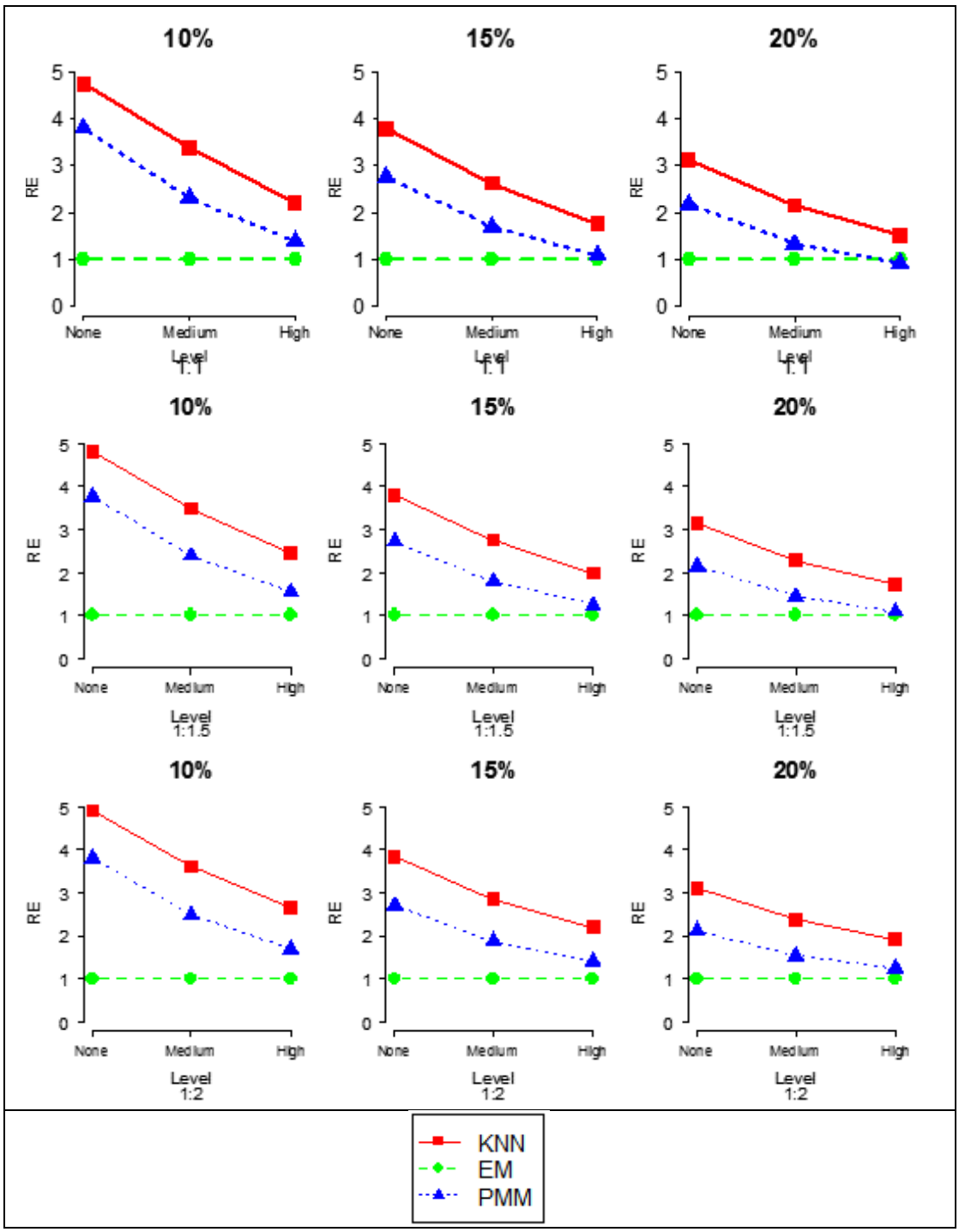
ภาพที่ 4.4.4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



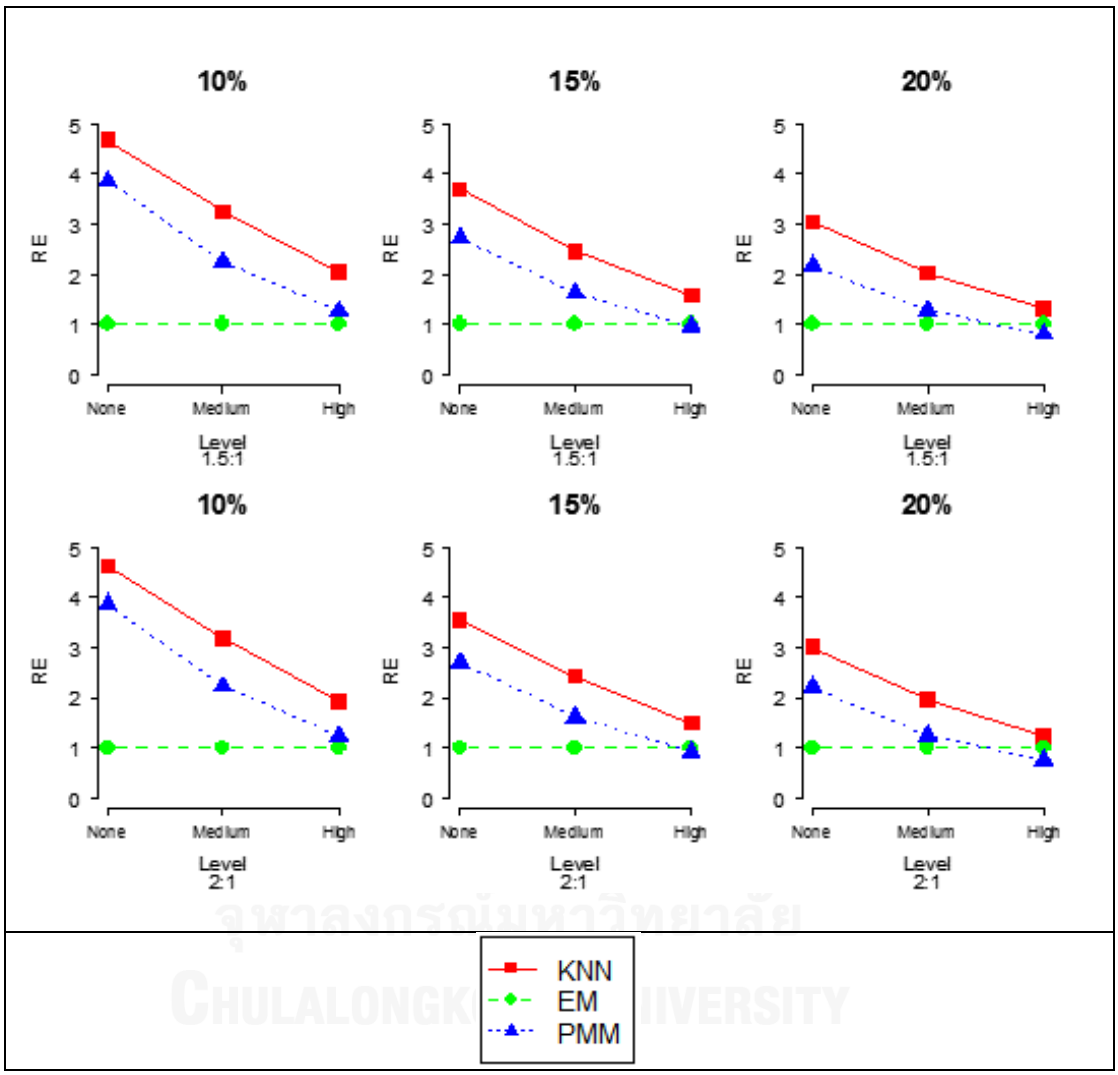
ภาพที่ 4.4.4.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10



ภาพที่ 4.4.4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

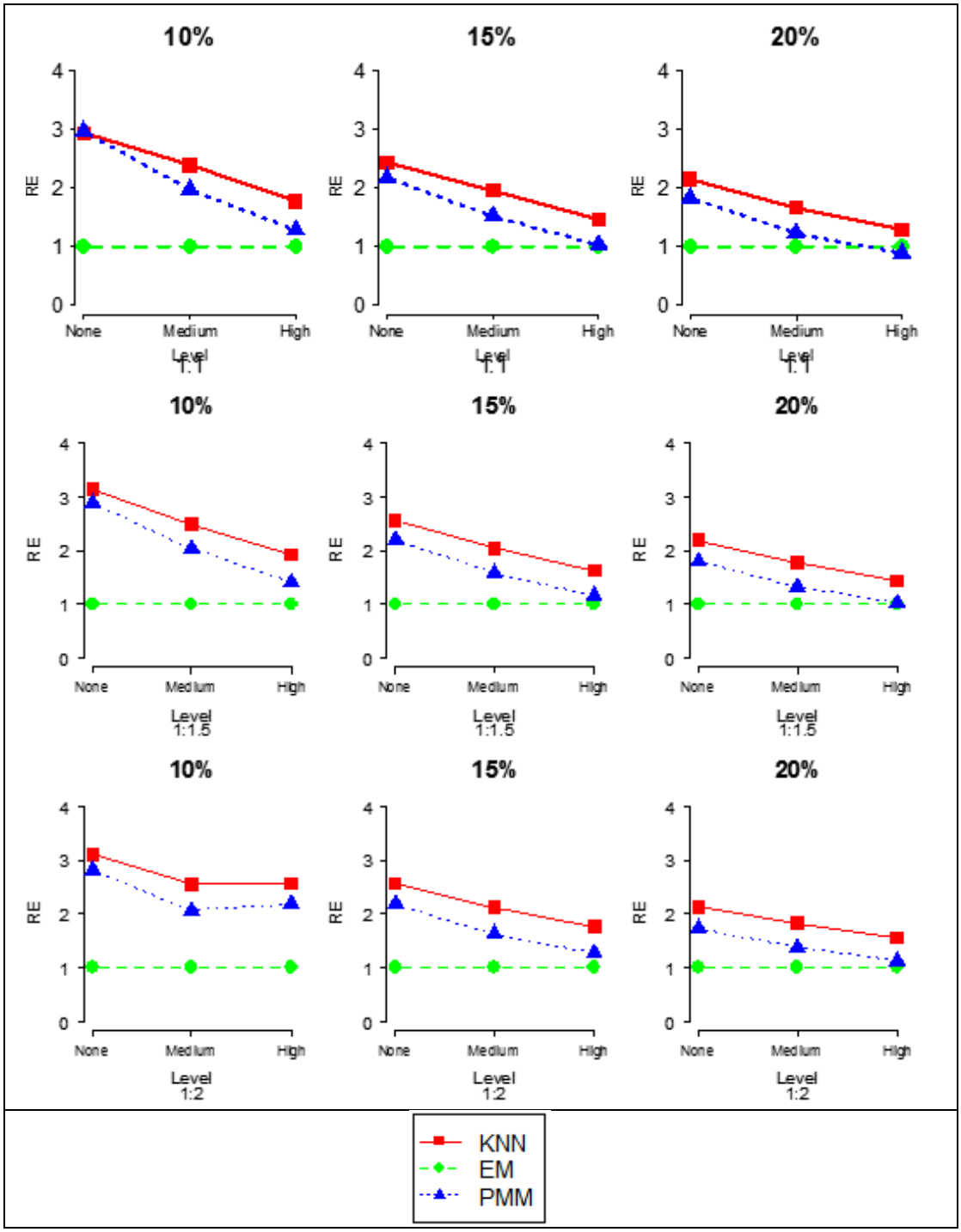


ภาพที่ 4.4.4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10

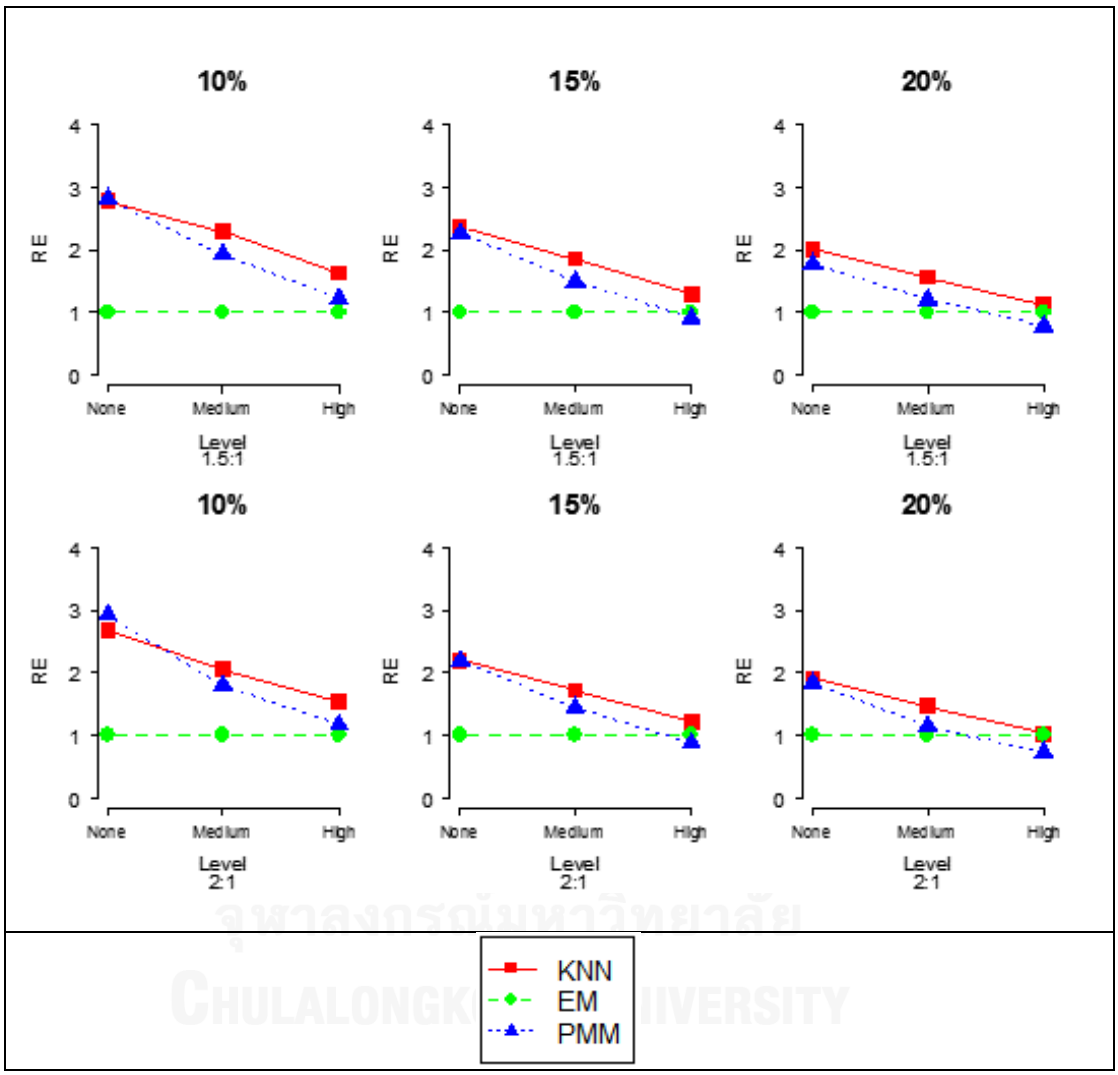


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.4.5.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

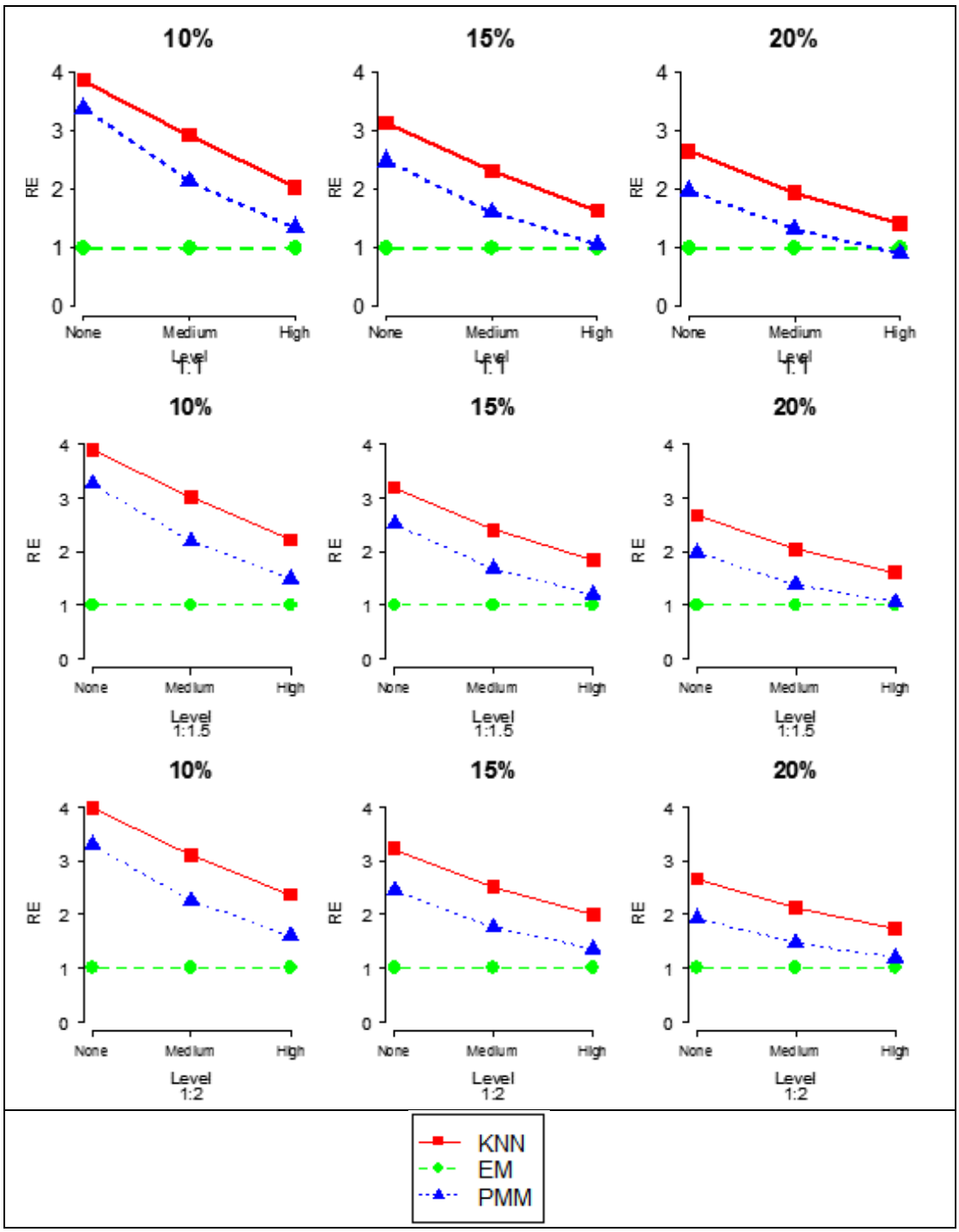


ภาพที่ 4.4.5.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

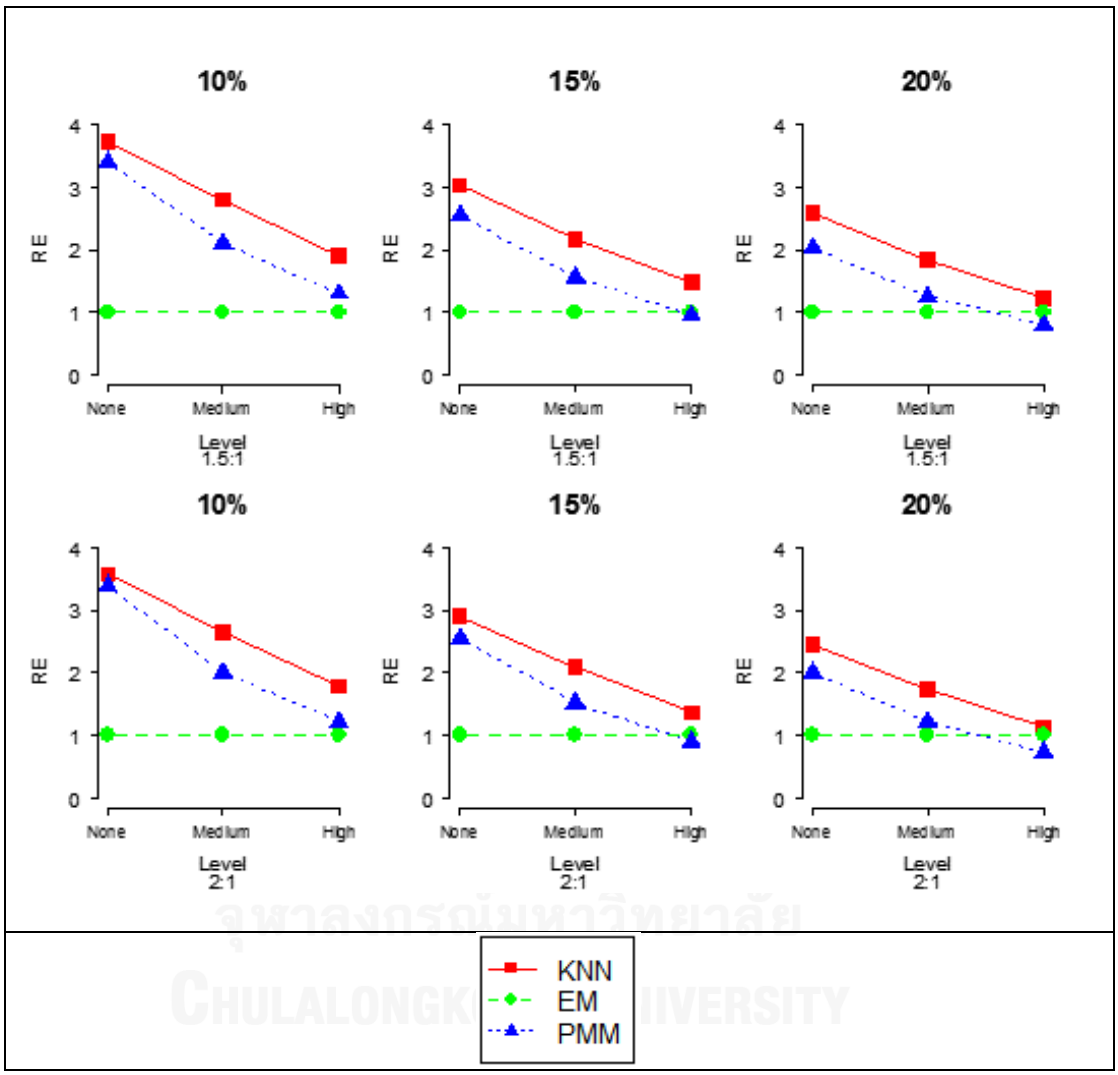


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.4.5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

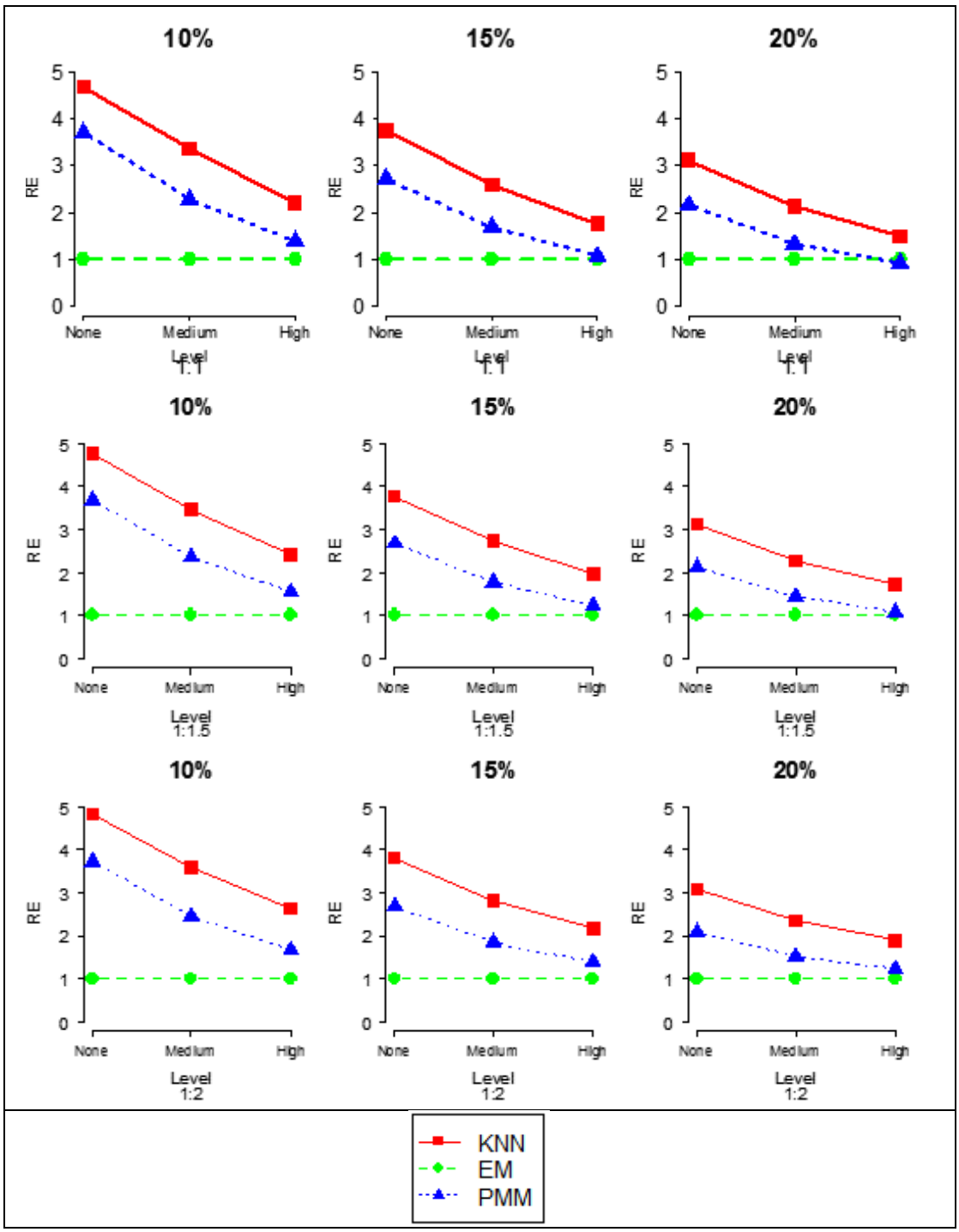


ภาพที่ 4.4.5.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

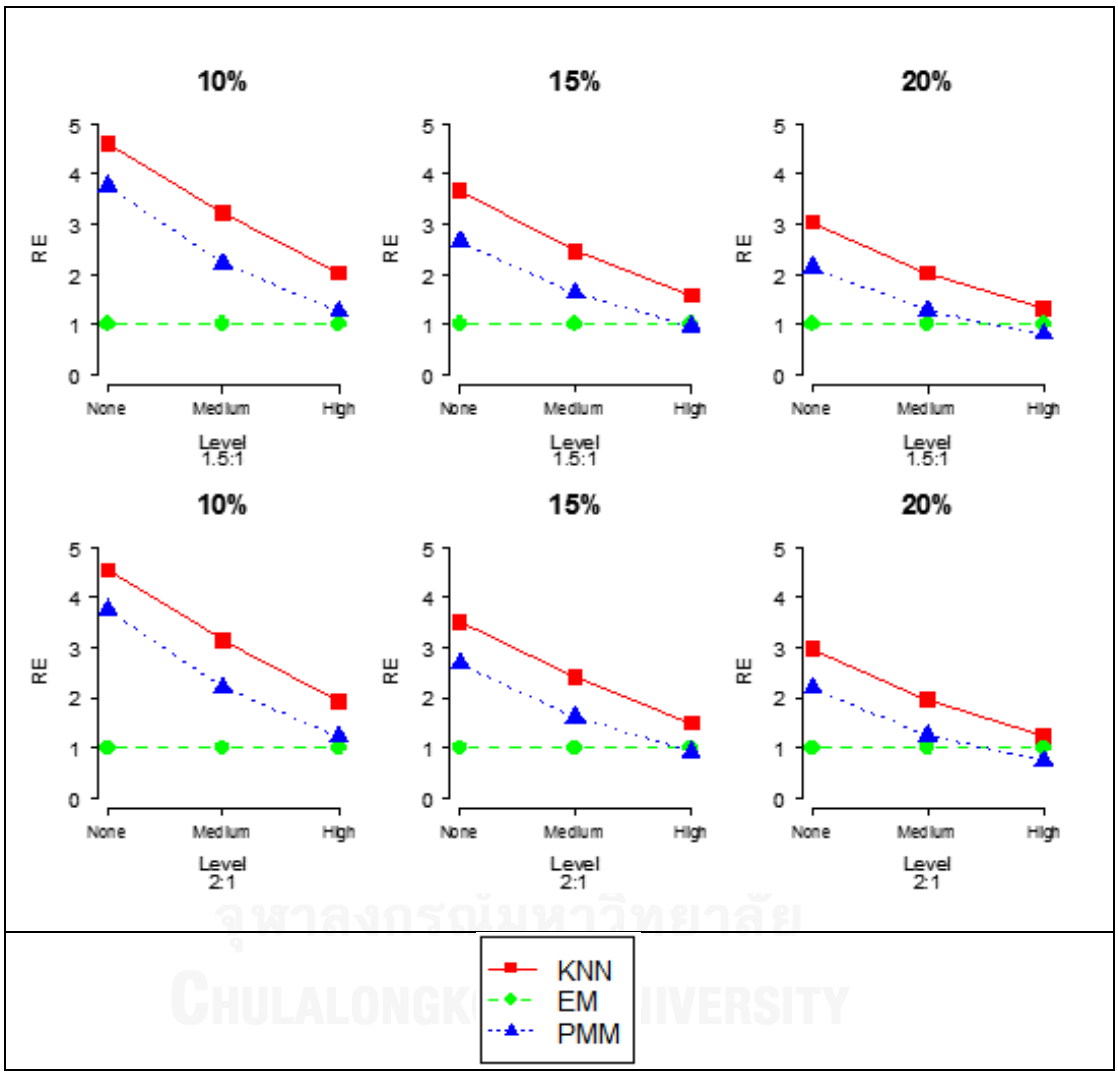


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.4.5.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

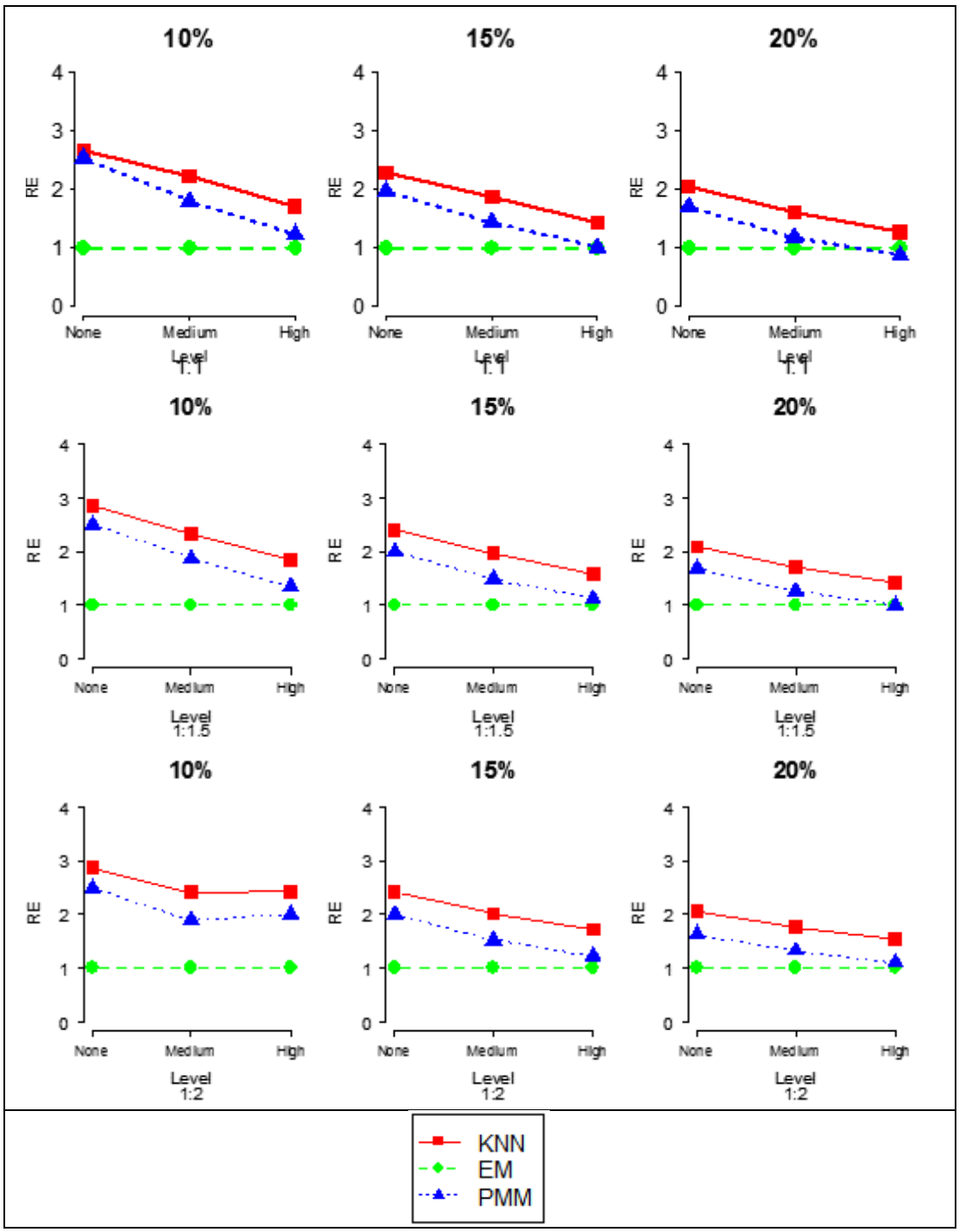


ภาพที่ 4.4.5.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 30

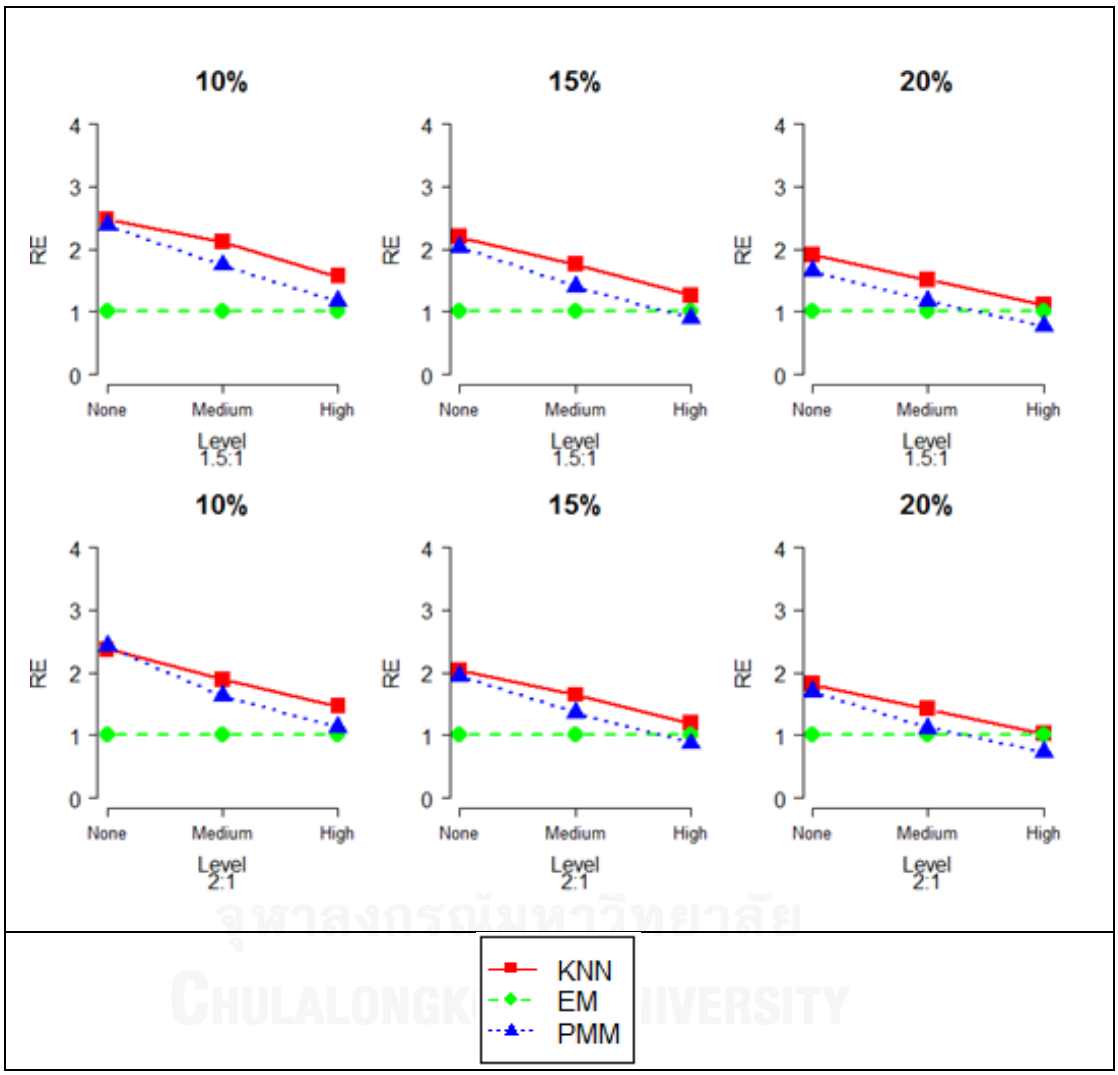


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.4.6.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

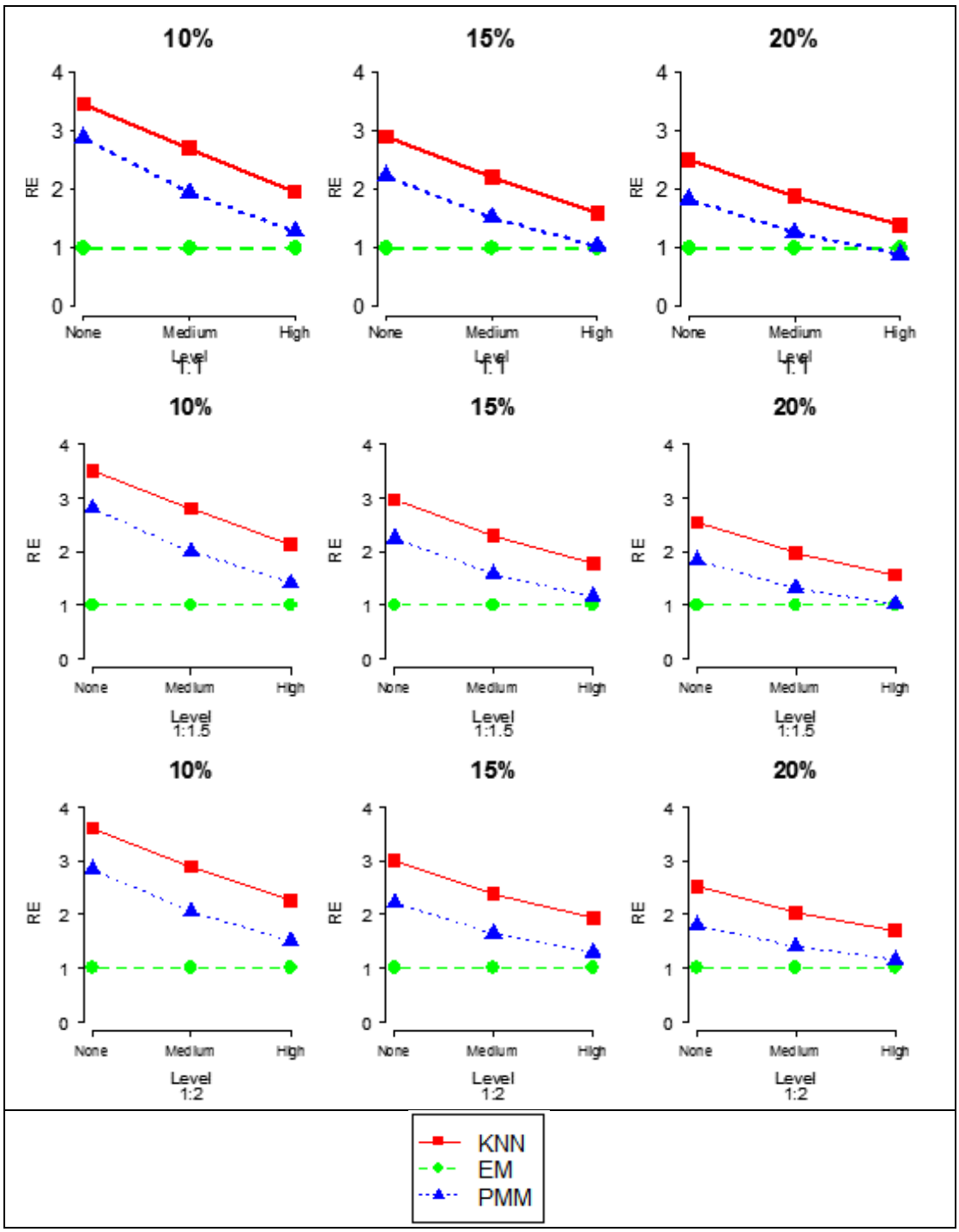


ภาพที่ 4.4.6.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

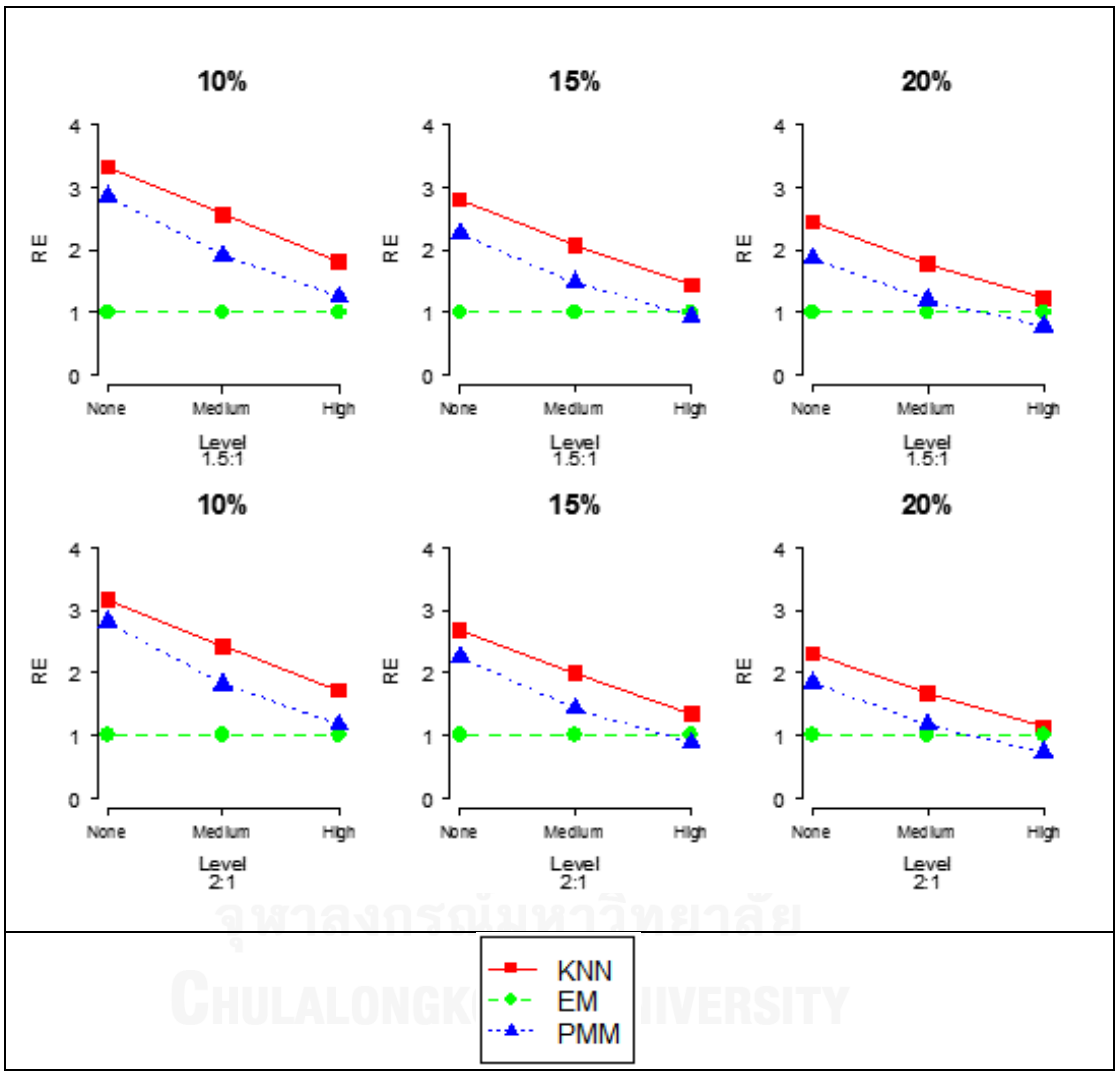


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.4.6.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

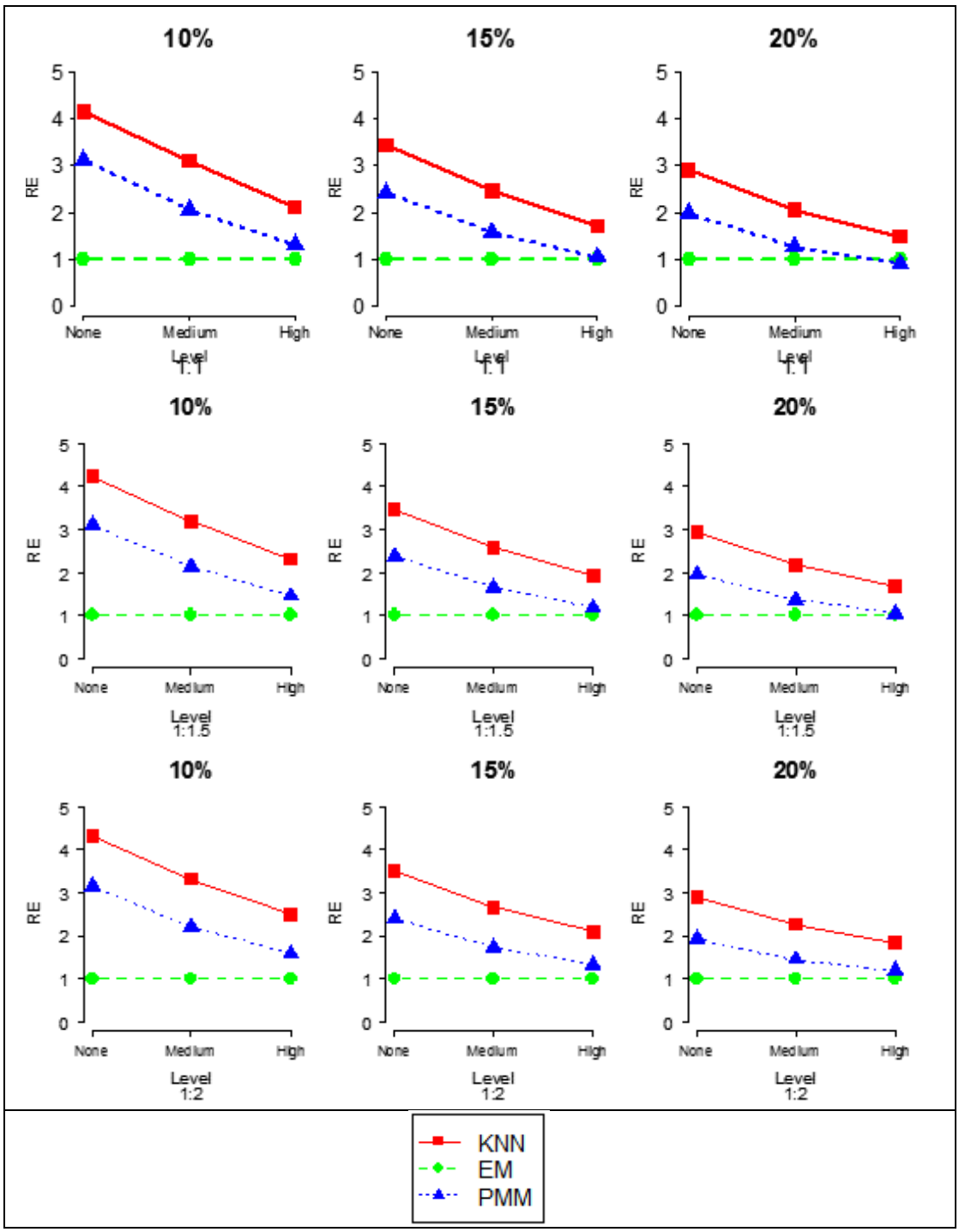


ภาพที่ 4.4.6.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

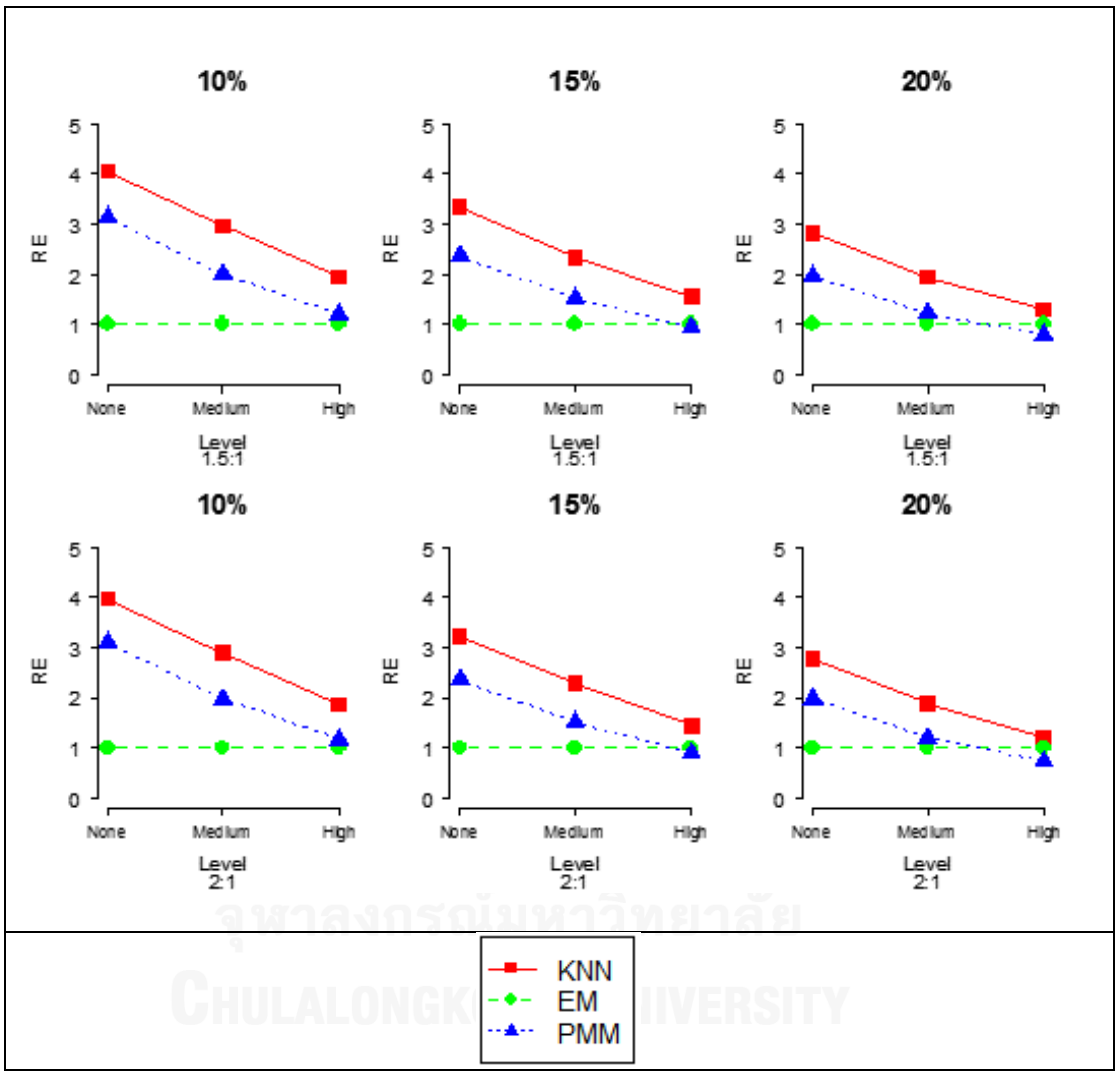


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 4.4.6.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

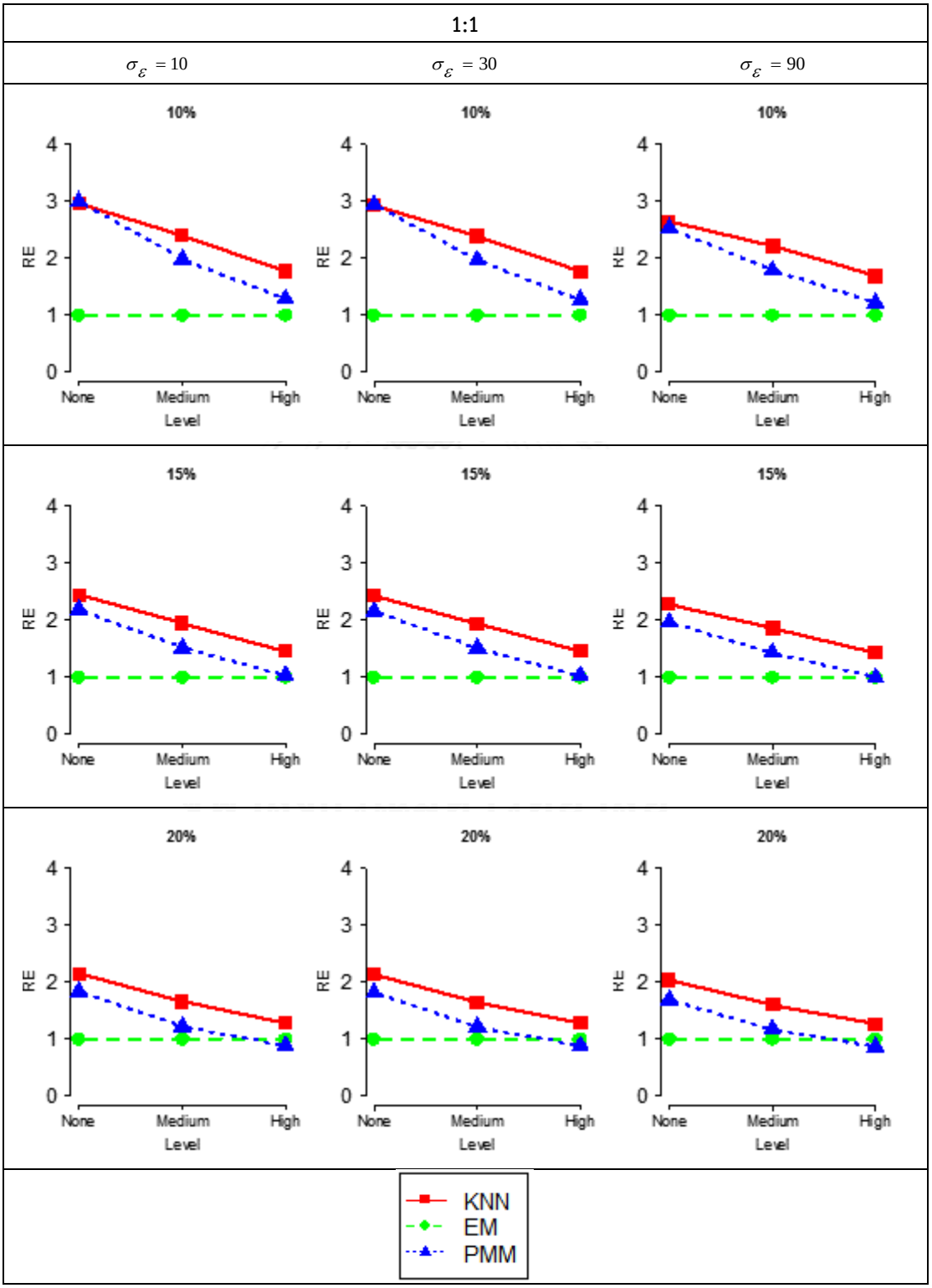


ภาพที่ 4.4.6.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90

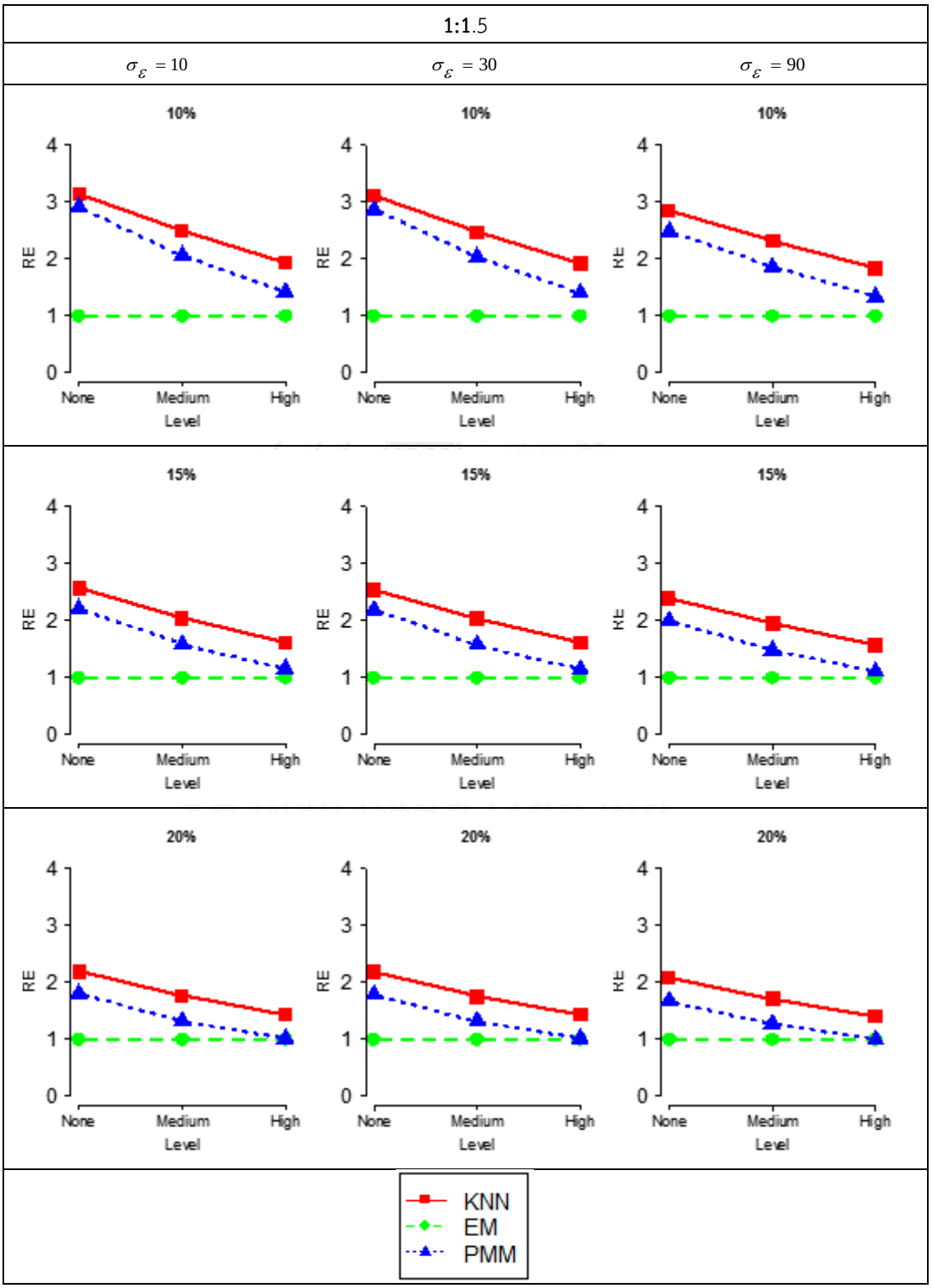


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

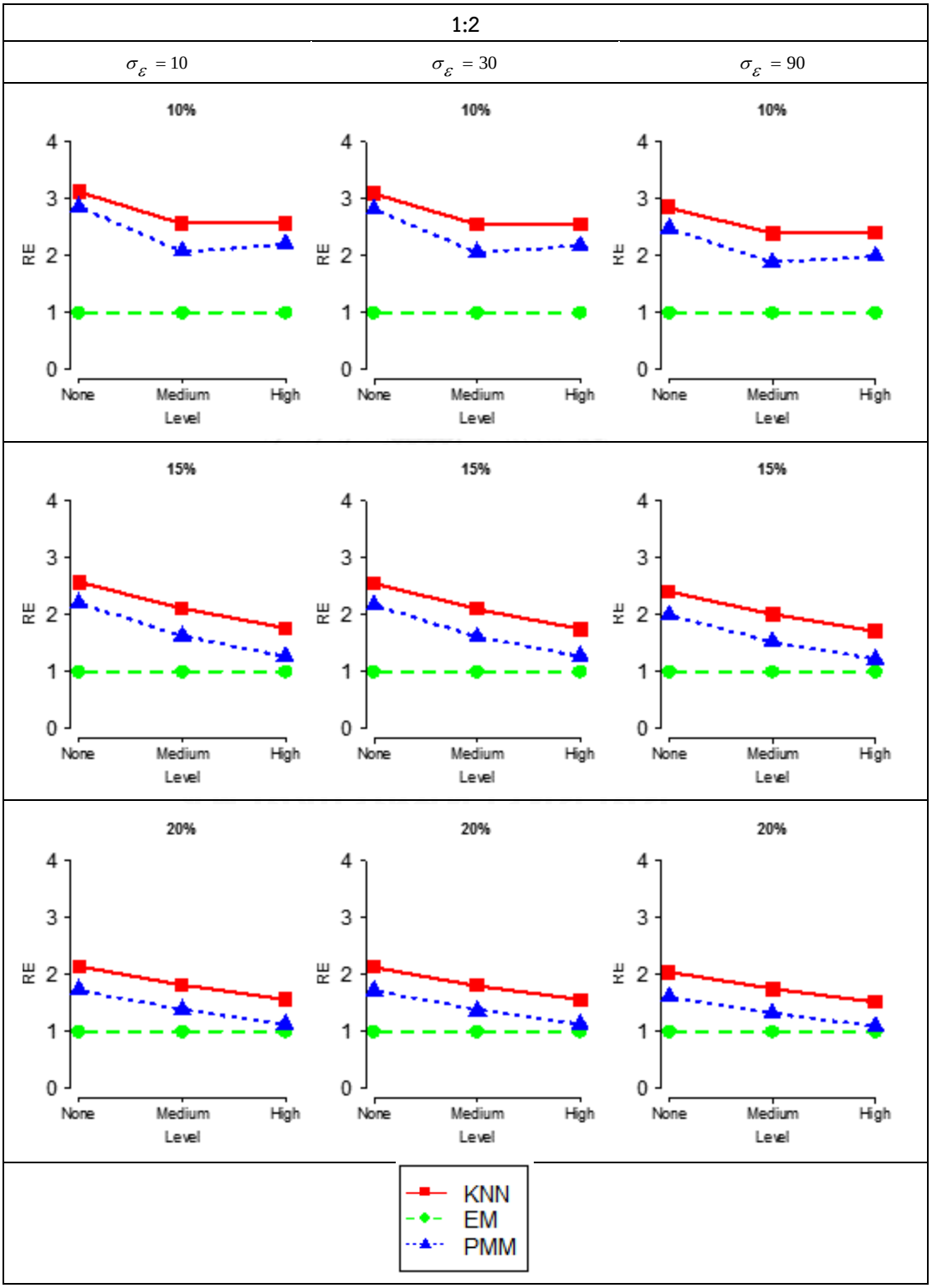
ภาพที่ 4.4.7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 50



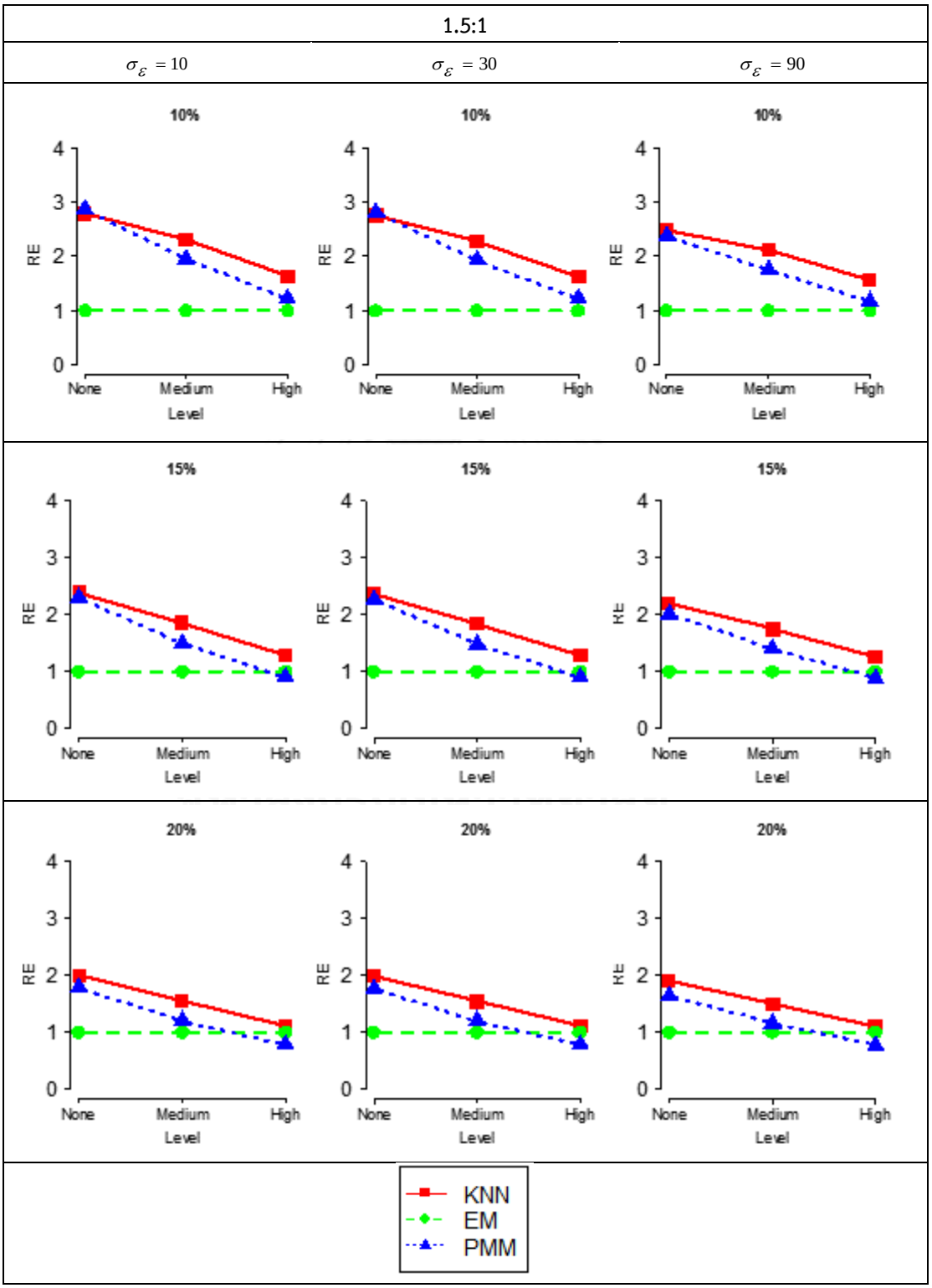
ภาพที่ 4.4.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



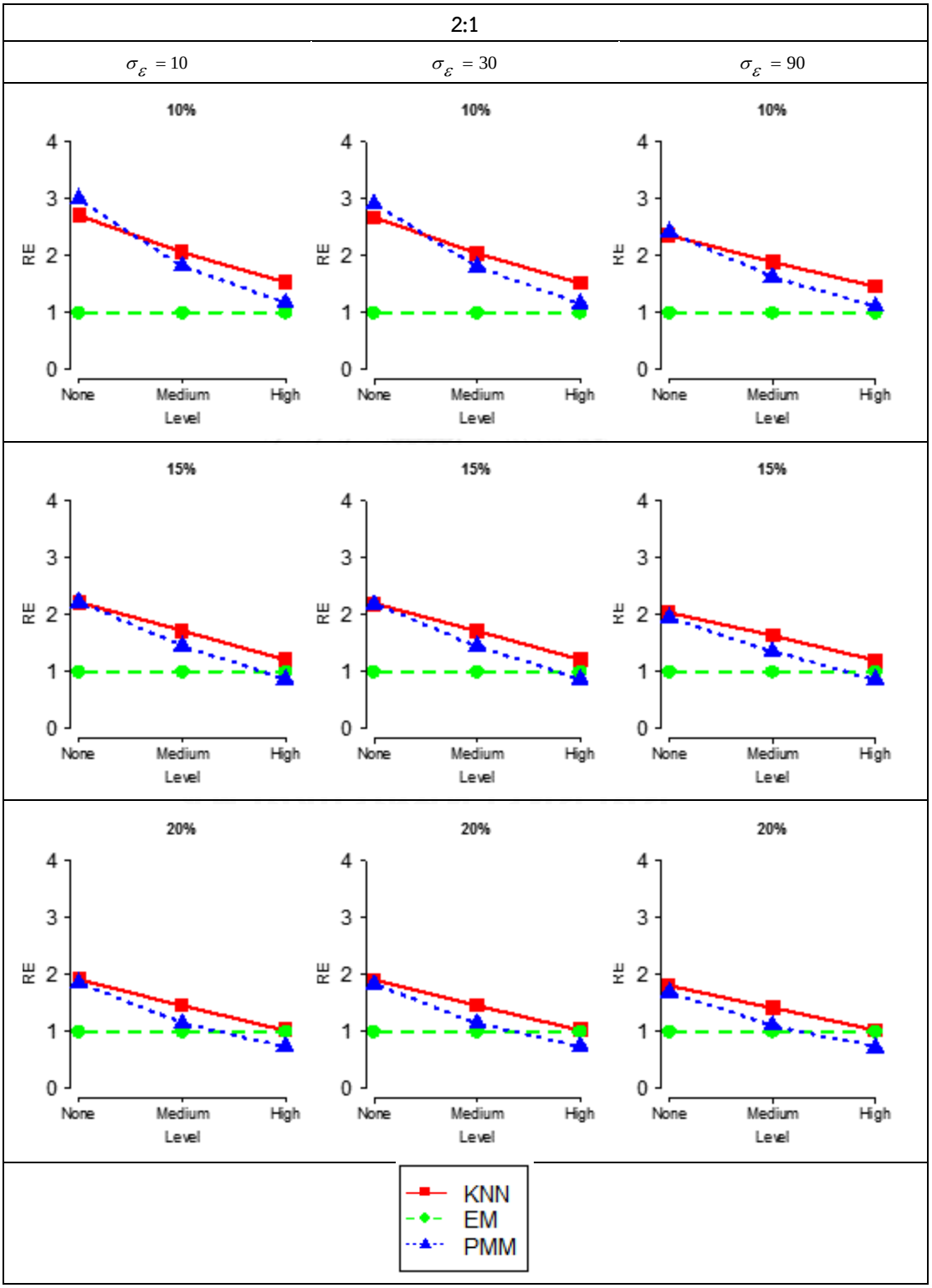
ภาพที่ 4.4.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



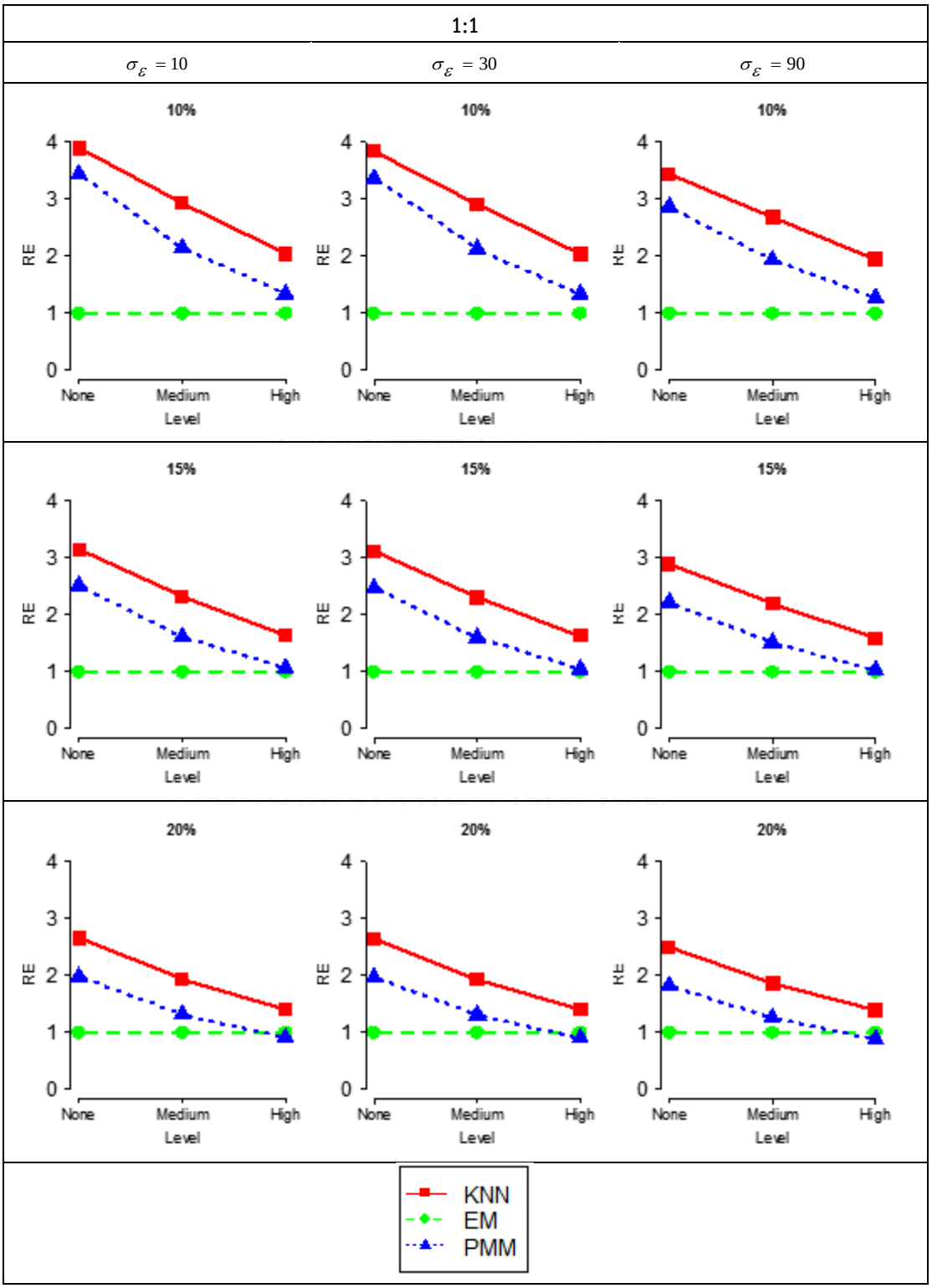
ภาพที่ 4.4.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



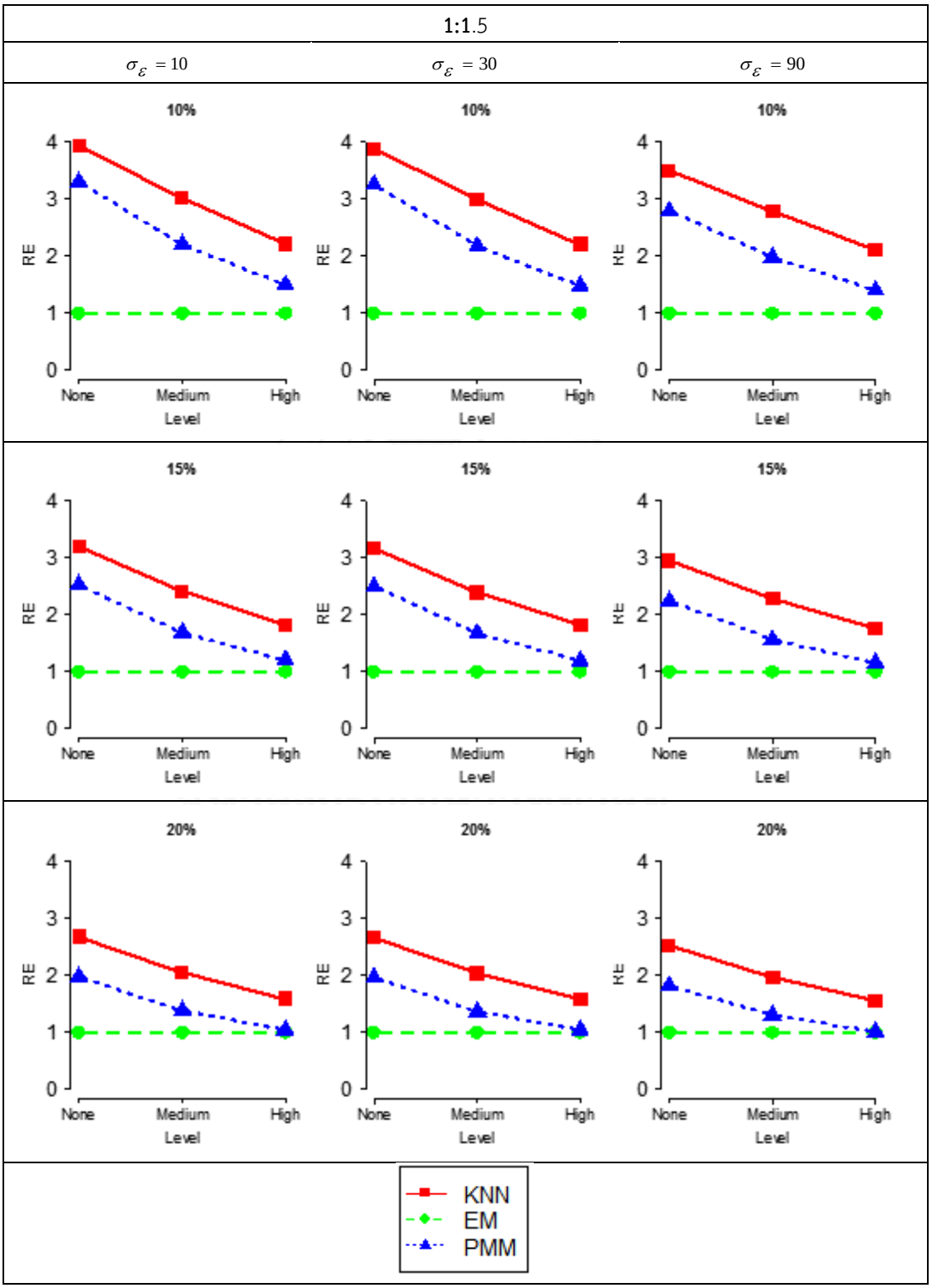
ภาพที่ 4.4.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 50



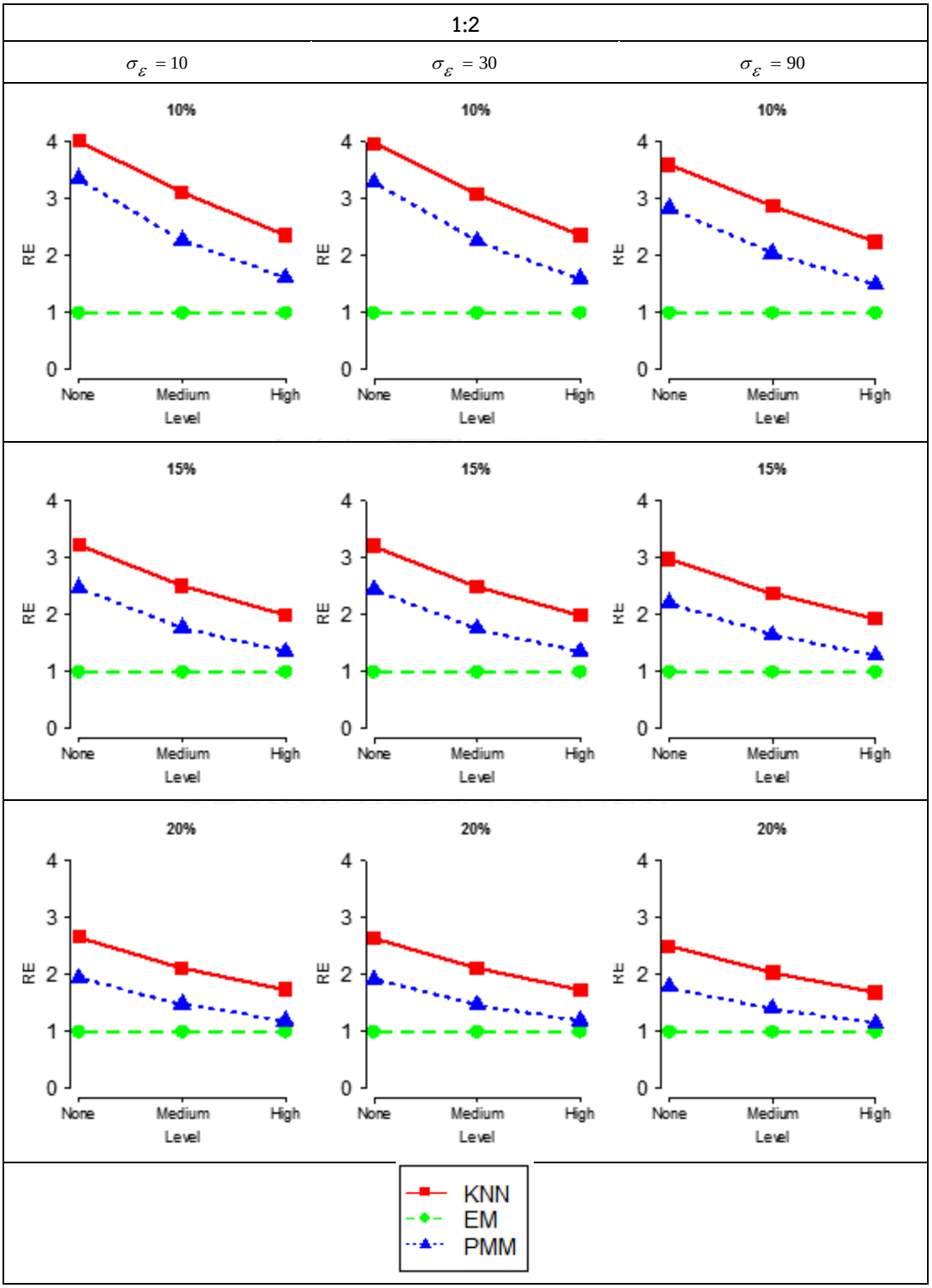
ภาพที่ 4.4.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 100



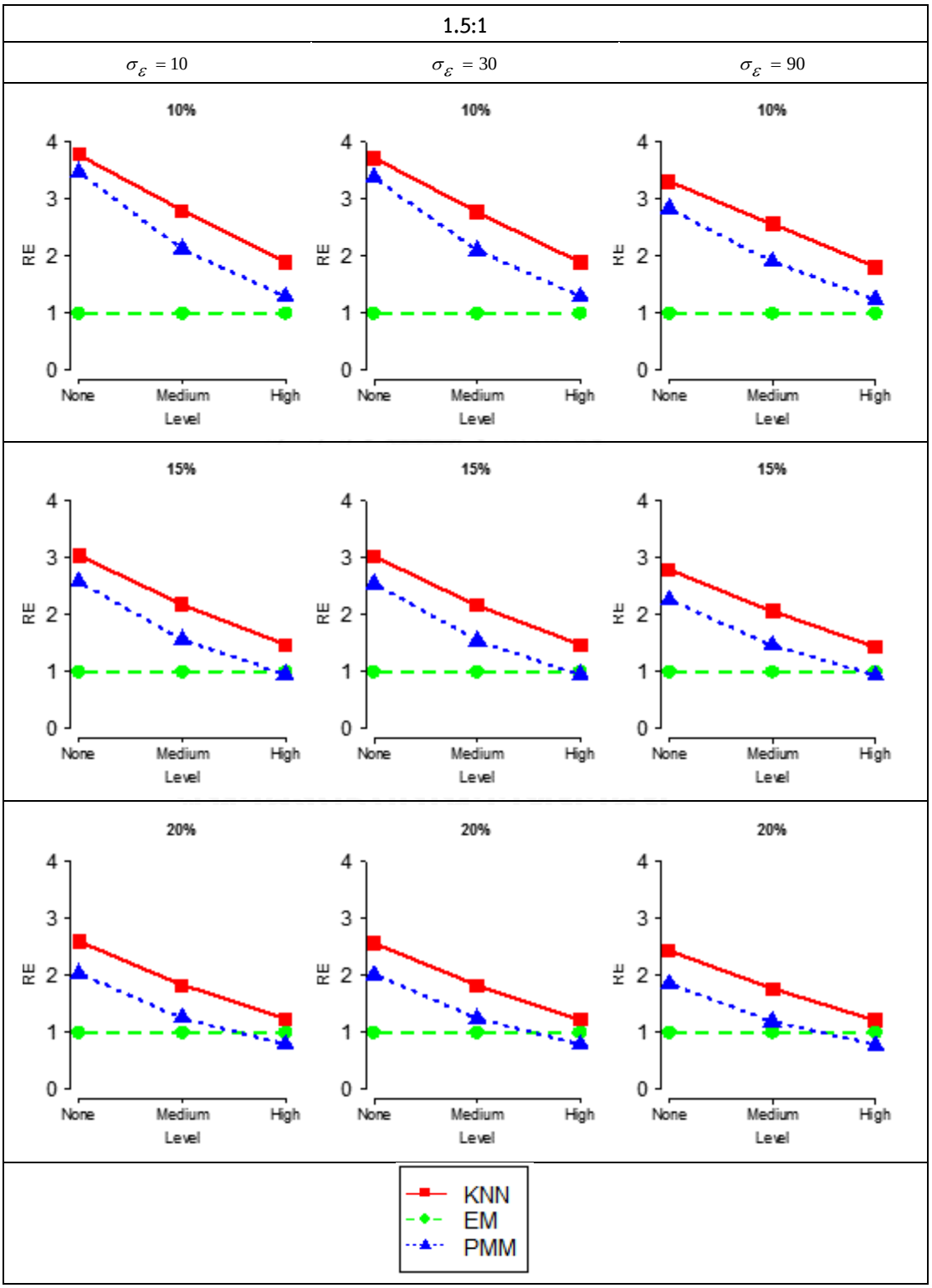
ภาพที่ 4.4.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



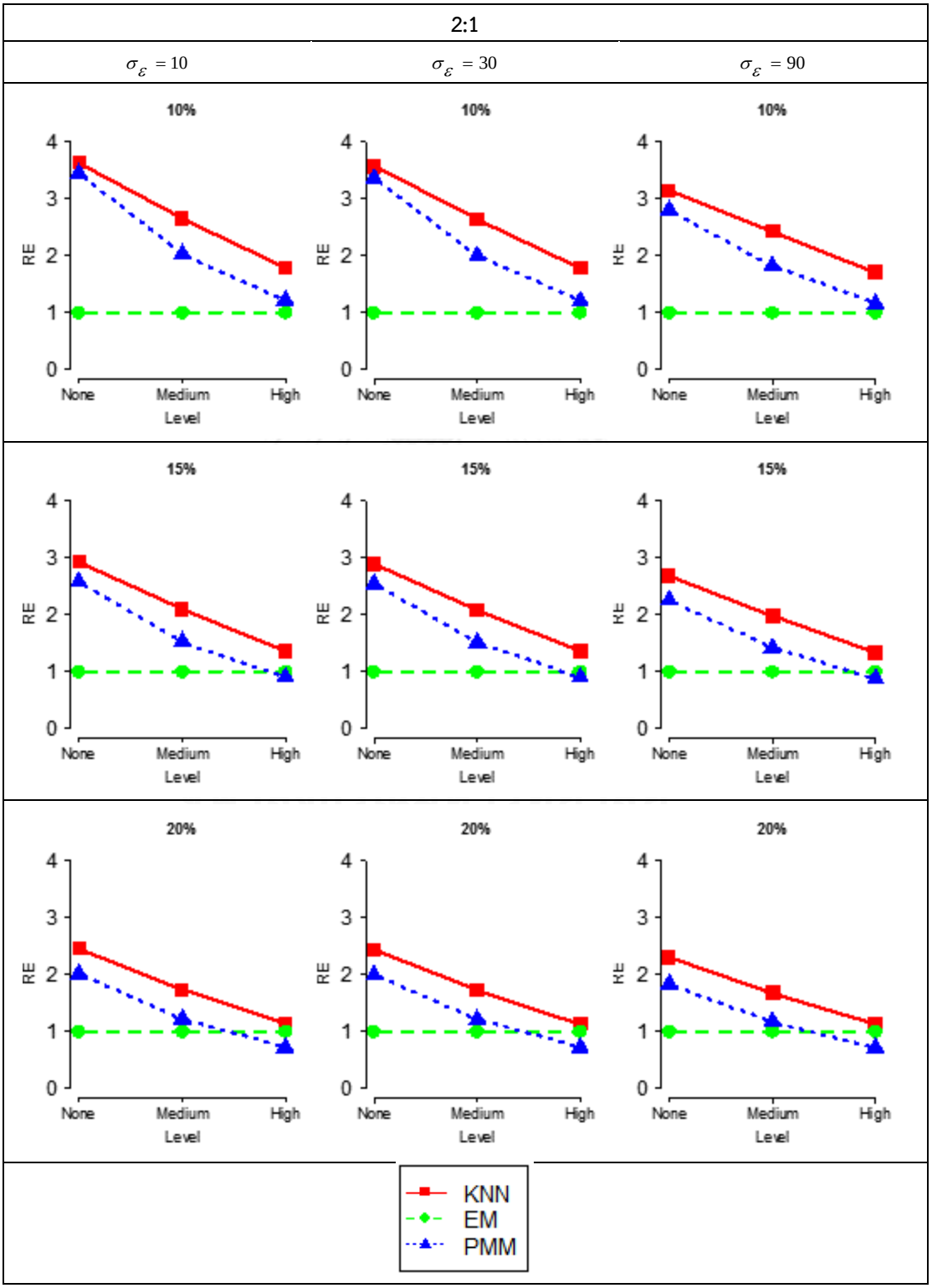
ภาพที่ 4.4.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



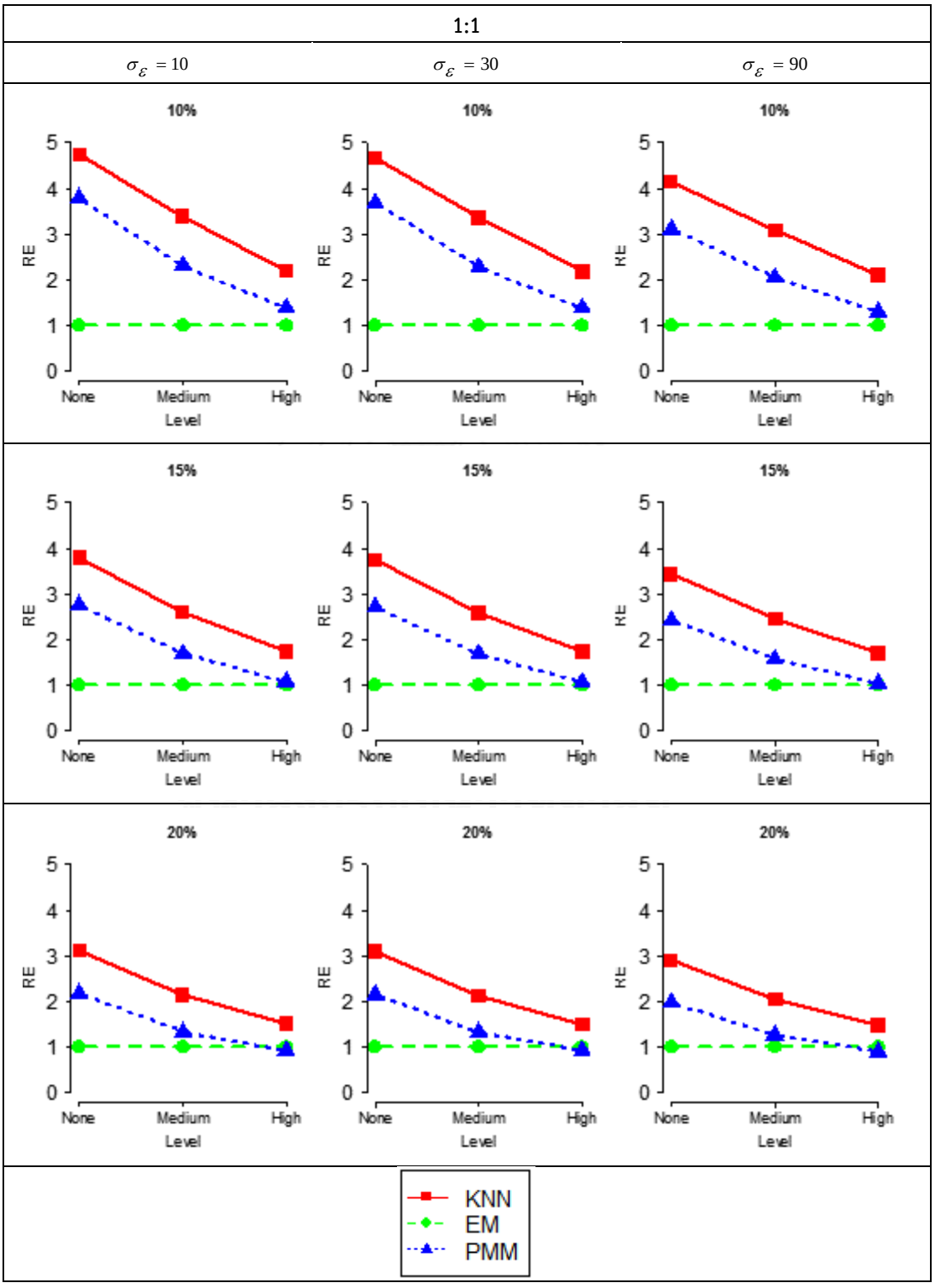
ภาพที่ 4.4.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



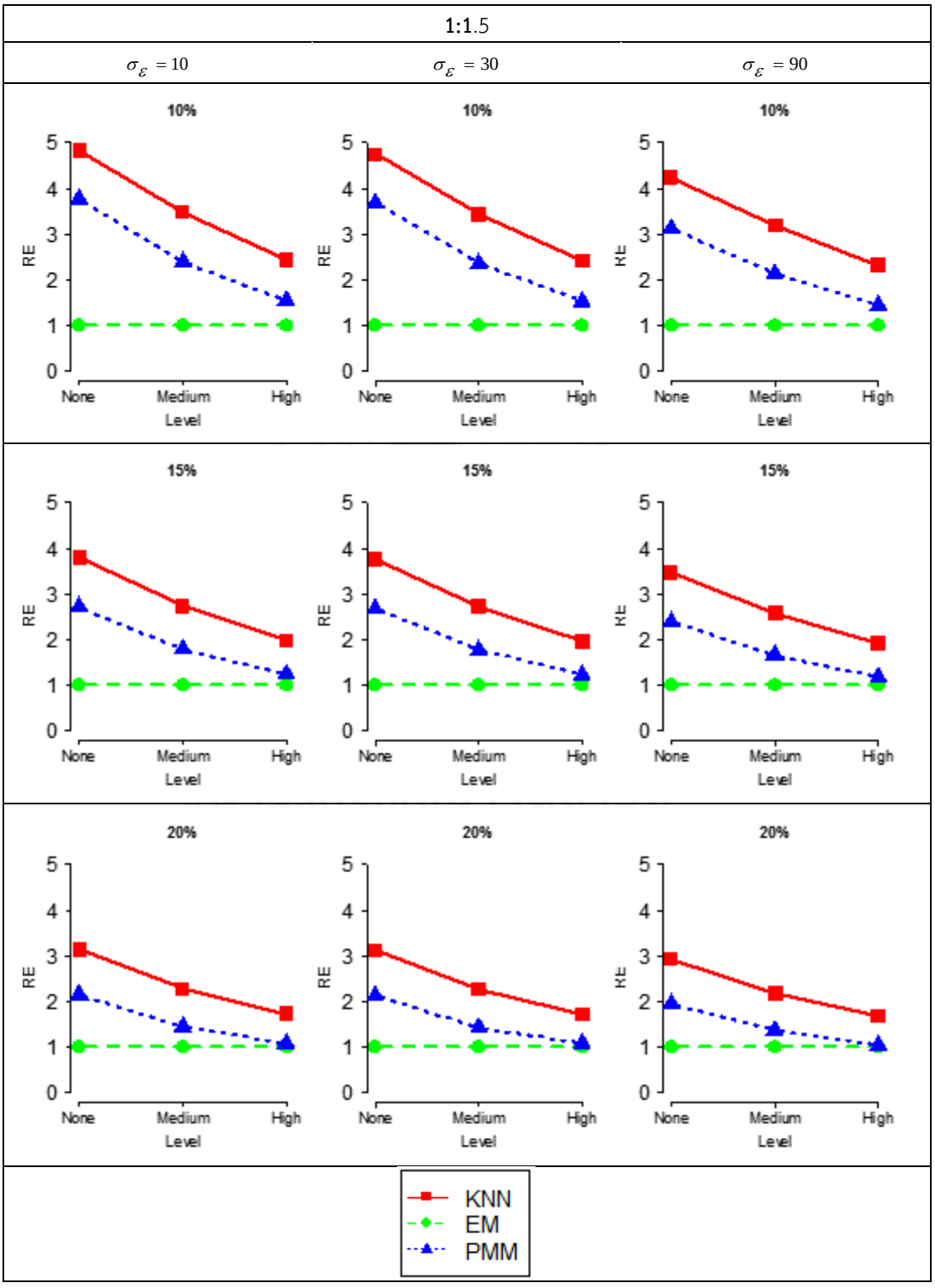
ภาพที่ 4.4.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 100



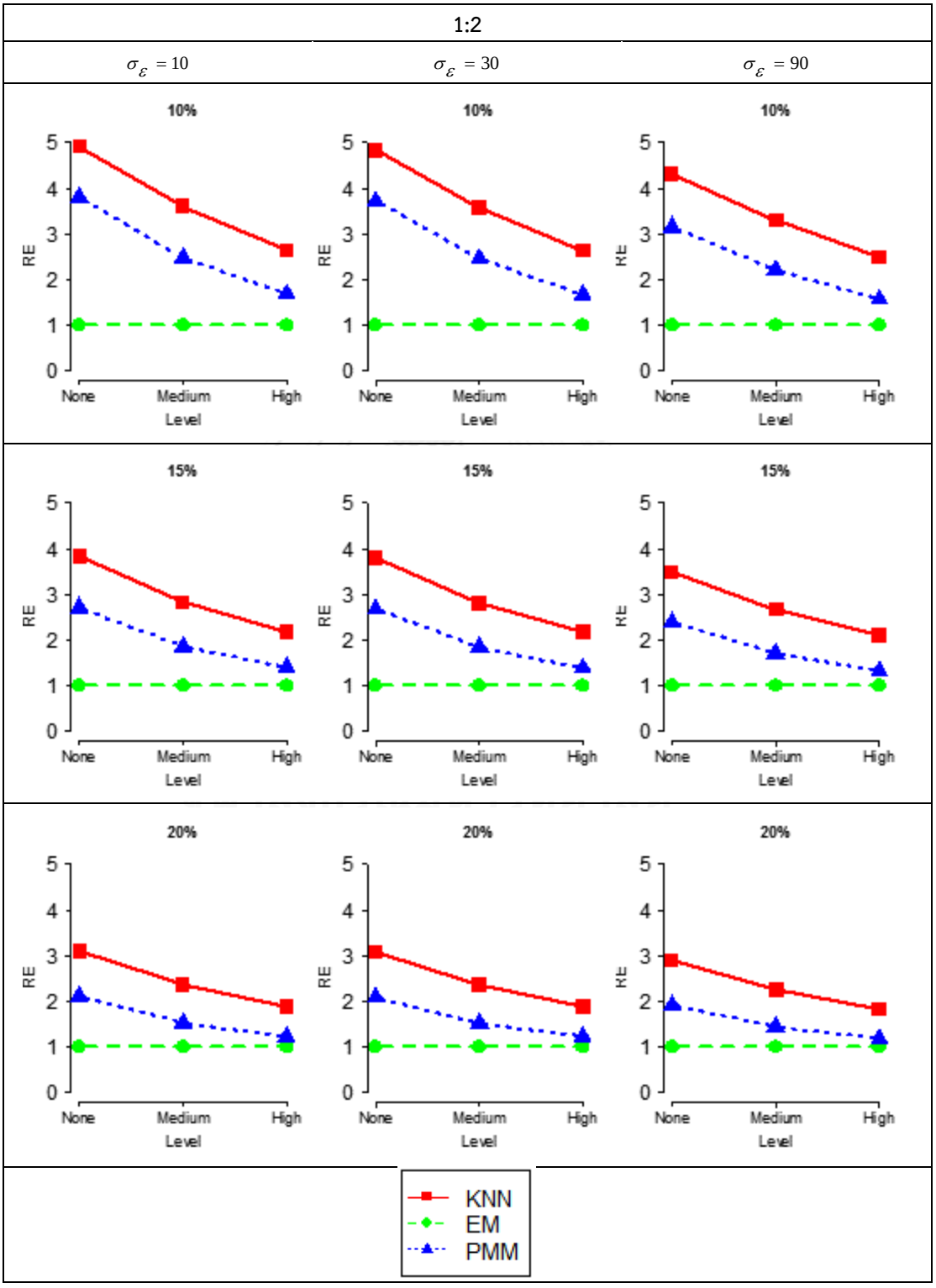
ภาพที่ 4.4.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตาม อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 200



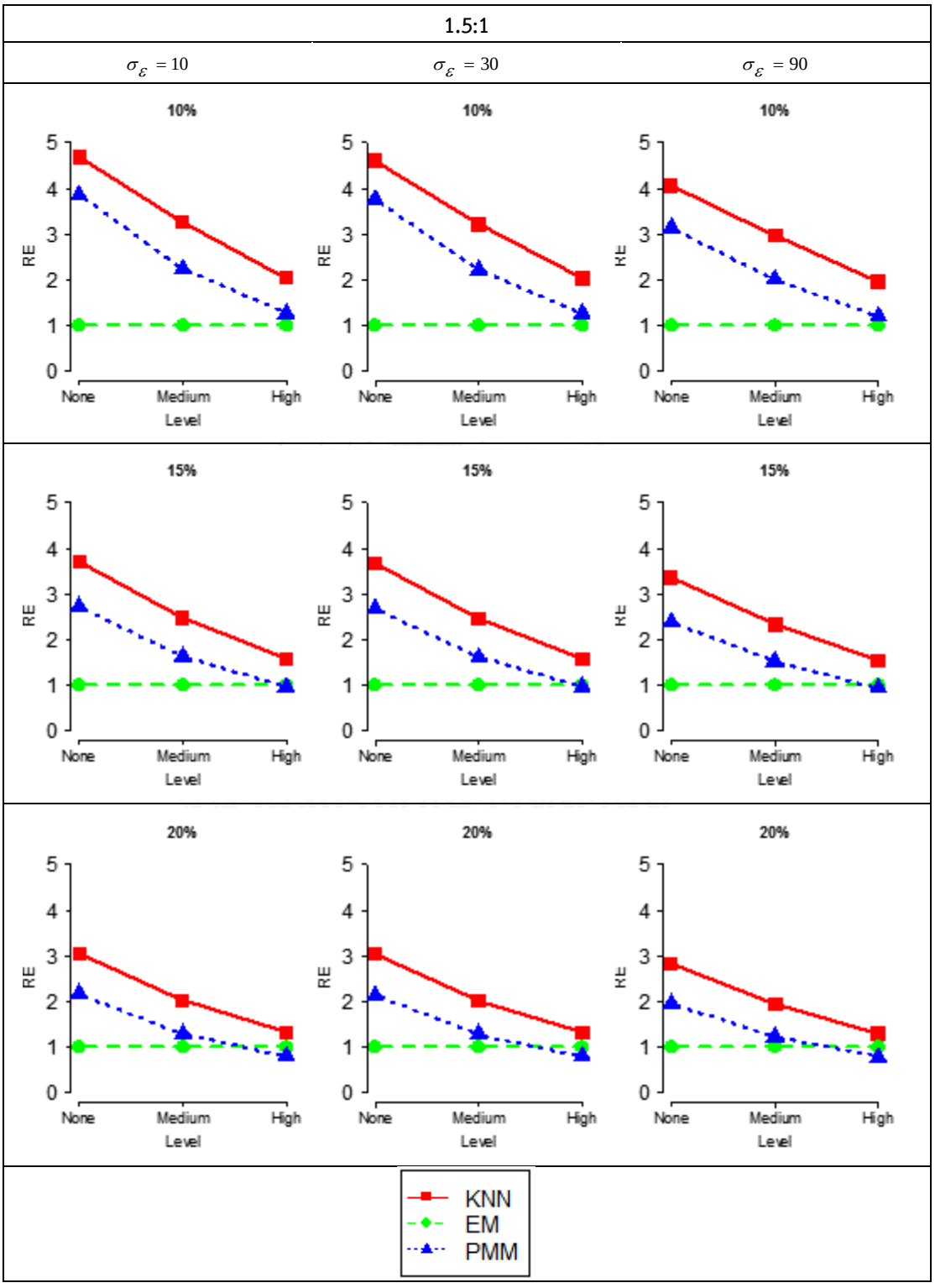
ภาพที่ 4.4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



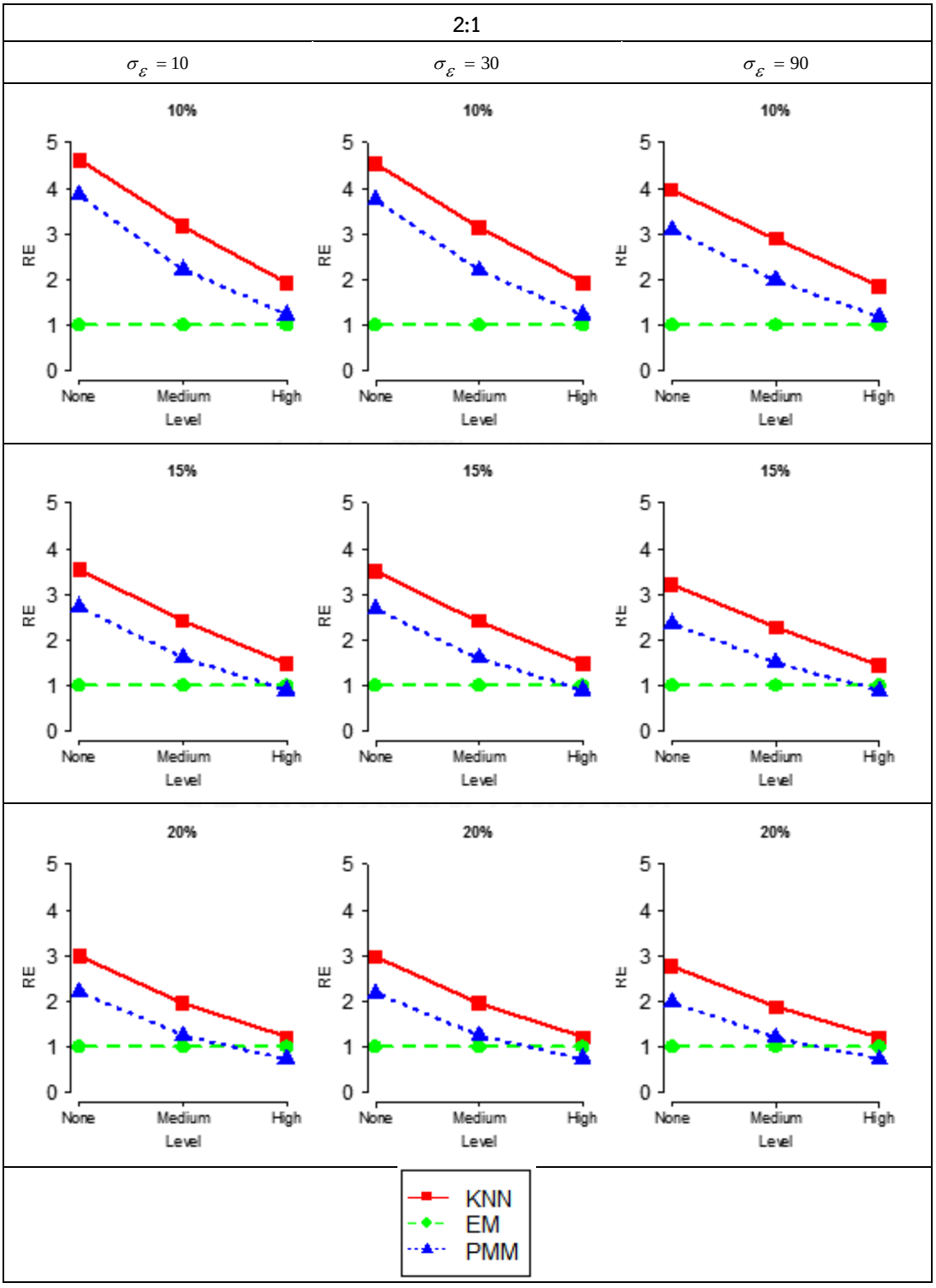
ภาพที่ 4.4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



ภาพที่ 4.4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า RE ตามอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ และสัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ย ต่างๆ เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ ขนาดตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 200



จากตารางที่ 4.4.1 – 4.4.6 และ ภาพที่ 4.4.4.1 - 4.4.6.3 พบว่า โดยส่วนใหญ่วิธี KNN เป็นวิธีที่ดีที่สุด ยกเว้นในบางกรณีที่สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ เมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 10 และ 30 และไม่มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ในขนาดของตัวอย่าง เท่ากับ 50 วิธี PMM จะเป็นวิธีการที่ดีกว่า วิธี KNN

นอกจากนี้ จาก ภาพที่ 4.4.7 - 4.4.9 เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น และ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนมีเท่ากับ 90 วิธี KNN มีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณี อย่างชัดเจน และถ้าระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ระดับปานกลางและสูง สัดส่วนการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม มีค่าเท่ากับ 15 % และ 20% วิธี PMM และ วิธี EM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี เมื่ออัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ การสูญหายของตัวแปรอิสระต่างกัน ซึ่งได้แก่ วิธี EM Algorithm, วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN) และวิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM) เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ตัวแปรตามจะพิจารณาจาก ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Average Mean Square Error: AMSE) ระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ ซึ่งวิธีใดที่มีค่า AMSE ต่ำกว่าจะเป็นวิธีที่ดีกว่า โดยได้มีการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 1620 สถานการณ์ ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ชุดข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X_1, X_2, X_3) ที่นำมาศึกษา แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังต่อไปนี้
   <u>แบบที่ 1</u> $X_1 \sim N(0, 300)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 300)$ โดยจะศึกษาการสูญหายในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนเท่ากัน
   <u>แบบที่ 2</u> $X_1 \sim N(0, 100)$, $X_2 \sim N(0, 300)$ และ $X_3 \sim N(0, 500)$ โดยจะศึกษาการสูญหายในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีความแปรปรวนขนาดเล็ก ปานกลาง และใหญ่ โดยจะกำหนดให้ตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัว ไม่มีความสัมพันธ์กัน
2. ชุดข้อมูลความคลาดเคลื่อน $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ สำหรับทุกค่า i โดยจะกำหนดให้ $\sigma_\varepsilon = 10, 30, 90$
3. ขนาดตัวอย่าง (n) มี 3 ขนาด คือ 50,100 และ 200
4. ลักษณะการสูญหายของข้อมูลมี 45 แบบ ประกอบด้วย
   4.1 สัดส่วนการสูญหายของข้อมูล 3 ระดับ คือ 10%, 15% และ 20%
   4.2 ระดับการสูญหายแบบ Nonignorable แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ไม่มี, ปานกลาง และสูง
   4.3 อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ คือ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการจำลองสถานการณ์จะใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) โดยใช้โปรแกรม R และในแต่ละสถานการณ์จะทำการจำลองซ้ำอีกจำนวนทั้งหมด 5,000 รอบ

5.1 ผลการเปรียบเทียบจาก ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Average Mean Square Error: AMSE)

จากการเปรียบเทียบค่า AMSE ที่ ได้จากวิธีการใส่ค่าสูญหายทั้ง 3 วิธี พบว่า โดยส่วนใหญ่สำหรับทุกขนาดตัวอย่าง ทุกสัดส่วนของการสูญหาย ระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable และทุกอัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ วิธีการที่ดีที่สุดคือวิธี KNN ยกเว้นที่ กรณีที่เกิดการสูญหายของตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก(100) ที่วิธี EM จะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด และถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10 และ 30 และไม่มีระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable ในขนาดตัวอย่าง ที่เท่ากับ 50 และ 100 วิธีการที่ดีที่สุดคือวิธี PMM ยกเว้นที่ สัดส่วนของการสูญหายเท่ากับ 20% และระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable อยู่ในระดับสูง ในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง เมื่อค่าความแปรปรวนของตัวแปรอิสระแต่ละตัวเท่ากัน ที่วิธี EM จะเป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายที่ดีที่สุด

5.2 สรุปความแตกต่างของแต่ละวิธีการประมาณค่า

วิธี EM Algorithm

วิธีEM เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดในทุกกรณีที่เกิดการสูญหายของตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก(100) และยังมีประสิทธิภาพดีในบางกรณีที่ข้อมูลมีระดับของการสูญหายแบบ Nonignorable สูง ที่อัตราส่วนของสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม มากกว่าสัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ ในขนาดตัวอย่างขนาดเล็ก 50 และ ซึ่งให้ผลหลากหลายมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัย วริษฐา กณิกนันต์ (2556) ที่ ผลการวิจัยพบว่า ในกรณีส่วนใหญ่วิธีการEM คือวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับ 10 และ30, สัดส่วนการสูญหาย และ ระดับการสูญหายแบบNonignorable ที่สูง

วิธี K-Nearest Neighbor Imputation (KNN)

วิธี KNN เป็นวิธีการใส่ค่าสูญหายที่มีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่าวิธี EM เนื่องจากในกระบวนการคำนวณไม่จำเป็นต้องมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่า จะมีประสิทธิภาพและเหมาะสมในทุกกรณี สำหรับชุดข้อมูลที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 90 และโดยส่วนใหญ่วิธีการ KNN ยังมีประสิทธิภาพดีที่สุดในกรณีที่ข้อมูลมีเกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนปานกลางหรือใหญ่ ทุกสัดส่วนของการสูญหาย และระดับการสูญหายแบบNonignorable ในระดับปานกลางและสูง

วิธี Predictive Mean Matching Imputation (PMM)

วิธีการประมาณค่าสูญหาย PMM เป็นวิธีการที่ผสมระหว่างวิธี KNN และวิธี EM ซึ่งในการแทนที่ข้อมูลของตัวแปรอิสระที่สูญหายนั้น จะแทนที่โดยใช้วิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธี KNN ส่วนในการแทนที่ข้อมูลของตัวแปรตามที่เกิดการสูญหายก็จะแทนที่โดยใช้วิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธี EM ซึ่งวิธี PMM จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ในขนาดตัวอย่าง ที่เท่ากับ 50 ไม่มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10 และ 30 ซึ่งแตกต่างจาก ผลการวิจัย ของ วริษฐา กณิกนันต์ (2556) ที่พบว่า ไม่มีกรณีใดที่วิธีการ PMM จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีสามารถสรุปเป็นตาราง ได้ดังต่อไปนี้ โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระเป็น

แบบที่ 1: $X_1 \sim N(0,\ 300)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 300)$

แบบที่ 2: $X_1 \sim N(0,\ 100)$, $X_2 \sim N(0,\ 300)$ และ $X_3 \sim N(0,\ 500)$

ส่วนที่ 1 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 1 โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง

ส่วนที่ 2 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก $(\sigma^2_{X_1}=100)$

ส่วนที่ 3 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง $(\sigma^2_{X_2}=300)$

ส่วนที่ 4 เมื่อตัวแปรอิสระเป็นแบบที่ 2 โดยที่จะศึกษาในกรณีที่เกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ $(\sigma^2_{X_3}=500)$

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10

ลักษณะของตัวแปรอิสระ	ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ				
			1:1	1:1.5	1:2	1.5:1	2:1
ส่วนที่ 1	10	1	PMM	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)	PMM	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
	15	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
	20	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
		4	EM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50,100) KNN (200)
ส่วนที่ 2	10	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM
	15	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM
	20	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10

ลักษณะของตัวแปรอิสระ	ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ				
			1:1	1:1.5	1:2	1.5:1	2:1
ส่วนที่ 3	10	1	PMM	PMM	PMM (50,100) KNN (200)	PMM	PMM
		2	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50,100) KNN (200)
		4	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	KNN
	15	1	PMM (50,100) KNN (200)	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50,100) KNN (200)	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
	20	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50,100) KNN (200)
ส่วนที่ 4	10	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	15	1	KNN	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	20	1	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 30

ลักษณะของตัวแปรอิสระ	ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ				
			1:1	1:1.5	1:2	1.5:1	2:1
ส่วนที่ 1	10	1	PMM	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	PMM	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
	15	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
	20	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
		4	EM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50,100) KNN (200)
ส่วนที่ 2	10	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM
	15	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM
	20	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 30

ลักษณะของตัวแปรอิสระ	ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ				
			1:1	1:1.5	1:2	1.5:1	2:1
ส่วนที่ 3	10	1	PMM	PMM (50,100) KNN (200)	PMM (50,100) KNN (200)	PMM	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	15	1	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM
		2	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
	20	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50,100) KNN (200)
ส่วนที่ 4	10	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	15	1	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	20	1	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 90

ลักษณะของตัวแปรอิสระ	ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ				
			1:1	1:1.5	1:2	1.5:1	2:1
ส่วนที่ 1	10	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
	15	1	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
	20	1	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		2	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
		4	EM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	EM (50,100) KNN (200)	EM (50,100) KNN (200)
ส่วนที่ 2	10	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM
	15	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM
	20	1	EM	EM	EM	EM	EM
		2	EM	EM	EM	EM	EM
		4	EM	EM	EM	EM	EM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีใส่ค่าสูญหาย .ในกรณีที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 90

ลักษณะของตัวแปรอิสระ	ร้อยละการสูญหายโดยเฉลี่ยของตัวแปรตาม	γ	อัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ				
			1:1	1:1.5	1:2	1.5:1	2:1
ส่วนที่ 3	10	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50,100) KNN (200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	15	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50,100) KNN (200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50) KNN (100,200)
	20	1	PMM (50) KNN (100,200)	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)	PMM (50) KNN (100,200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)
		4	KNN	KNN	KNN	EM (50) KNN (100,200)	EM (50,100) KNN (200)
ส่วนที่ 4	10	1	KNN	KNN	KNN	KNN	PMM (50) KNN (100,200)
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	15	1	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
	20	1	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		2	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN
		4	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 การเปรียบเทียบผลการวิจัยในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ อุษณีย์ วงศ์อามาตย์(2555) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายแบบ Nonignorable ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ ในกรณีที่ข้อมูลของตัวแปรตามเกิดการสูญหาย และ วริษฐา กณิกนันต์ (2556) ในกรณีที่ข้อมูลตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเกิดการสูญหาย เนื่องจากในงานวิจัยดังที่กล่าวมา ยังไม่ครอบคลุมกับสถานการณ์ที่เมื่อร้อยละการสูญหายของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาต่อยอดเพื่อเปรียบเทียบวิธีการประมาณสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเมื่อตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบ Nonignorable เมื่ออัตราส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม ต่อ ตัวแปรอิสระ เป็น 1:1, 1:1.5, 1:2, 1.5:1 และ 2:1 เพื่อให้เกิดความครอบคลุมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานต่อไป

ความแตกต่างของผลการวิจัยชิ้นนี้ กับงานวิจัยกล่าวมาข้างต้น จากในงานวิจัยของอุษณีย์ วงศ์อามาตย์(2555) วิธีการประมาณค่าสูญหายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในกรณีส่วนใหญ่คือ วิธี EM ซึ่งจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในกรณีที่ข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนมีขนาดเล็กและปานกลาง(10, 30) ส่วนข้อมูลที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนสูง (90) วิธี KNN จะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด และ ในงานวิจัยของ วริษฐา กณิกนันต์ (2556) วิธีการประมาณค่าสูญหายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในกรณีส่วนใหญ่คือ วิธี KNN ซึ่งจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนมีขนาดปานกลางและสูง (30, 90) และ วิธี EM มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี KNN ในกรณีที่ข้อมูลมีสัดส่วนการสูญหายและระดับการสูญหายแบบ Nonignorable สูง

ซึ่งงานวิจัยกล่าวมาข้างต้น มีความแตกต่างจากงานวิจัยชิ้นนี้ พบว่าในกรณีส่วนใหญ่คือ วิธี KNN จะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด ในกรณีที่สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรตาม น้อยกว่า สัดส่วนการสูญหายของตัวแปรอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดใหญ่ (500) ส่วนวิธี EM จะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด ในทุกกรณีที่เกิดการสูญหายของตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก(100) และยังมีบางกรณีที่วิธี EM มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี KNN ทุกส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ข้อมูลมีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ปานกลางและสูง เมื่อเกิดการสูญหายในตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดปานกลาง (300) ในขนาดตัวอย่างเล็กและปานกลาง (50,100) และมีกรณีที่วิธีการ PMM ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ในขนาดตัวอย่างเล็ก (50) ไม่มีระดับการสูญหายแบบNonignorable และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนมีขนาดเล็กและปานกลาง(10, 30) ซึ่งให้ผลที่หลากหลายครอบคลุมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานจริงมากขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้แบ่งข้อเสนอแนะของงานวิจัยครั้งนี้ออกเป็น 2 ด้านดังนี้

5.4.1 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

สำหรับข้อมูลที่มีการสูญหายในตัวแปรตามและตัวแปรอิสระแบบ Nonignorable สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ วิธีการใส่ค่าสูญหายที่ควรใช้มากที่สุดคือ วิธี KNN เมื่อขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ ระดับการสูญหายแบบ Nonignorable ระดับสูง และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน สูง และวิธี PMM เหมาะสมที่สุดในขนาดตัวอย่างที่เล็ก ไม่มีระดับการสูญหายแบบ Nonignorable และ ส่วนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10 และ 30 ส่วนวิธี EM เหมาะสมที่สุดในทุกกรณีที่เกิดการสูญหายของตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนขนาดเล็ก (100)

5.4.2 ด้านการศึกษาวิจัย

เพื่อเป็นแนวทางของผู้ที่สนใจศึกษาต่อนอกเหนือจากขอบเขตและข้อสรุปของงานวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่ตัวแปรอิสระในชุดข้อมูลเดียวกันอาจเกิดการสูญหายพร้อมๆ กันมากกว่าหนึ่งตัวก็เป็นได้ หรือตัวแปรอิสระแต่ละตัวอาจมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งสามารถพบได้ในข้อมูลโดยทั่วไป
2. ศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่เกิดการสูญหายของชุดข้อมูลที่มีทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและข้อมูลเชิงปริมาณ
3. ศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่ข้อมูลเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาจะส่งผลกระทบต่อค่าสูญหายและวิธีการใส่ค่าสูญหายหรือไม่

ปรับเปลี่ยนวิธีที่ใช้ในการใส่ค่าสูญหาย ตามความเหมาะสมของชุดข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างกันไป เพื่อเพิ่มตัวเลือกในการพิจารณาหาวิธีการประมาณค่าสูญหายที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลลักษณะต่างๆ ให้มากขึ้น

รายการอ้างอิง

Dempster, A. P., et al. (1977). "Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm." The Royal Statistical Society. Series B (Methodological) 39(1): 1-38.

Jonsson, P. and C. Wohlin (2006). "Benchmarking k-Nearest Neighbour Imputation with Homogeneous Likert Data." Empirical Software Engineering: An International 11(3): 463-489.

Little, R. J. A. and D. B. Rubin (1987). Statistical analysis with missing data. New York, John Wiley & Sons.

Van Buuren, S. and K. Groothuis-Oudshoorn (2011). "Multivariate imputation by chained equations in r." Journal of Statistical Software 45(December 2011): 1-67.

วริษฐา กณิกนันต์ (2556). การเปรียบเทียบวิธีการประมาณสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเมื่อตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

อุษณีย์ วงศ์อามาตย์ (2555). การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. .กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ธีระพร วีระถาวร. ตัวแบบเชิงเส้น : ทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, 2541.

ธีระพร วีระถาวร. ความน่าจะเป็นกับการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2537.

Ding, Y., and Ross, A. A comparison of imputation methods for handling missing scores in biometric fusion. Pattern Recognition 45 (2012): 919-933.

Schafer, J. L. Analysis of Incomplete Multivariate Data. New York: Chapman and Hall, 1997

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.15.2 ในการจำลองข้อมูลและการประมาณค่าตัวแปรตามของแต่ละวิธี ในตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนมีค่าไม่คงที่ ซึ่งมีคำสั่งดังต่อไปนี้

```
#===========================#
#     PRE-RUN               #
#===========================#

N<-5000 #   #5000 rounds#
n<-c(50,100,200)
va.x<-c(100,300,500)
sd.e<-c(10,30,90)
r<-sd.e/sd.e[1]# make error 3 level#

#Condition of Prob.#
P<-read.csv('C:/Users/Rabbittai/Documents/MS stat/Thesis/Tai/tai/เ อ ก ส า ร สอบ_57/R/all.csv', header = TRUE, sep = ",")
attach(P)

#make matrix mse#
mse.knn <- mse.em <- mse.pmm <- matrix(NA,N,num)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
#================================#
# FUNCTION estimatemiss START HERE
#================================#
estimatemiss <- function(Dataset) {
        Dataset<-Dataset[order(as.numeric(rownames(Dataset))),]
        splitmiss<-split(Dataset,complete.cases(Dataset))
        result.knn<-result.pmm<-result.em<-Dataset
        if(length(splitmiss)==2){
                index.x3miss<-which(is.na(Dataset$x3))
                index.ymiss<-which(is.na(Dataset$y))
                rowmiss<-union(index.x3miss,index.ymiss)
                index.ymiss.only<-setdiff(index.ymiss,index.x3miss)
                com.data.only <-splitmiss[[2]]
                ymiss.only.data<-Dataset[index.ymiss.only,]
                x3notmiss.data<-rbind(com.data.only,ymiss.only.data)

#missing position#
                rname<-rownames(Dataset)
                rownames(Dataset)[index.x3miss]<-
paste(rownames(Dataset)[index.x3miss],"*")
```

```
                rownames(Dataset)[index.ymiss]<-
paste(rownames(Dataset)[index.ymiss],"#")

#KNN#

                k<-round(sqrt(nrow(com.data.only)),0)

                for(i in rowmiss){

                        target<-as.numeric(Dataset[i,])

                        indexmiss<-which(is.na(target))

                        d<-t(t(com.data.only [,-indexmiss])-target[-indexmiss])

                        d2<-rowSums(d^2)

                        rankd<-rank(d2,ties.method="max")

                        slt<-rankd<=k #เปลี่ยนจากslt<-rankd<=min(rankd[rankd>=k])


                        if(length(indexmiss)>1){

                                result.knn[i,indexmiss]<-colMeans(com.data.only
[slt,indexmiss])

                        } else {

                                result.knn[i,indexmiss]<-mean(com.data.only
[slt,indexmiss])

                        }


#PMM#

                        lm_begin<-lm(y~.,com.data.only)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
                if(i %in% index.x3miss){
                        if(i %in% index.ymiss & length(index.ymiss.only)>0){
                                d.<-t(t(ymiss.only.data[,-indexmiss])-target[-
indexmiss])
                                d2<-c(d2,rowSums(d.^2))
                                result.pmm$x3[i]<-
mean(x3notmiss.data$x3[d2==min(d2)] )
                        } else{
                                result.pmm$x3[i]<-
mean(com.data.only$x3[d2==min(d2)])
                        }
                }       #end-if
                yhat.pmm<-predict(lm_begin,result.pmm)
                y.com<-yhat.pmm[-index.ymiss]

                for(i in index.ymiss){
                        dj<-abs(y.com-yhat.pmm[i])
                        result.pmm$y[i]<-mean(y.com[dj==min(dj)])
                } #end-if
#EM#
                tol=0.001
#E-Step#
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
                result.em$x3[index.x3miss]<-mean(x3notmiss.data$x3)

#M-step#

                lm_begin<-lm(y~.,com.data.only)

                beta0<-lm_begin$coef

                bet<-c(beta0,max_diff=NA)

                yhat<-predict(lm_begin,result.em[index.ymiss,])

                result.em$y[index.ymiss]<-yhat

                lm_1<-lm(y~.,result.em)

                beta1<-lm_1$coef

                dif<-max(abs(beta1-beta0))

                bet<-rbind(bet,c(beta1,max_diff=dif))

                yhat<-lm_1$fitted[index.ymiss]


#E-step and M-step since round 1#

                while(dif>tol & nrow(bet)<=10000){

                        beta0<-beta1

                        result.em$y[index.ymiss]<-yhat

                        lm_1<-lm(y~.,result.em)

                        beta1<-lm_1$coef

                        dif<-max(abs(beta1-beta0))

                        bet<-rbind(bet,c(beta1,max_diff=dif))
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
                    yhat<-lm_1$fitted[index.ymiss]

                }

                result.em$y[index.ymiss]<-yhat

                result<-
list(missing=splitmiss[[1]],KNN=result.knn,PMM=result.pmm,EM=result.em,EM.beta=bet
)

            } #end-for

        }else{   result<-list(KNN=result.knn,PMM=result.pmm,EM=result.em)

        } #end-if

        return(result)

} #end-function
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
#==================================#
# MAIN PROCESS START HERE
#==================================#
#Simulate data non-equal-var#

num<-length(n)
temp<-list()
length(temp)<-N
KNN <- list()
BETA.KNN <- list()
length(BETA.KNN)<-num
miss_x3_all<-list()
miss_y_all<-list()
for(g in 1:num) KNN[[g]]<- temp
names(KNN)<- paste("Var", sd.e^2,sep="")
EM <- PMM <- KNN
names(BETA.KNN)<- names(KNN)
BETA.EM <- BETA.PMM <- BETA.KNN
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
for (t in 1:N){

#Generate x1,x2,x3 (non-equal-var)  and Generate error n = 50#

E<-c()

        x1<-rnorm(n[1],0,va.x[1])

        x2<-rnorm(n[1],0,va.x[2])

        x3<-rnorm(n[1],0,va.x[3])

        e0<-rnorm(n[1],0,sd.e[1])

        for(g in 1:num)

        E<-cbind(E,e0*r[g])# make 3 levels #


#error 3 ค่า แล้วมาสร้าง y #

        Y<-39+x1+x2+x3+E

        colnames(E)<-paste("e",1:num,sep="")

        colnames(Y)<-paste("y",1:num,sep="")

        data_com<-data.frame(x1,x2,x3,E,Y)

        Y_act<-39+x1+x2+x3


## cut x3 ##

        mean_x3<-mean(x3)

        sd_x3<-sd(x3)

        c1_x3<-mean_x3+(-0.43)*(sd_x3)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
        c2_x3<-mean_x3+(0.43)*(sd_x3)


## divide x3 3part ##

        x3[x3<=c1_x3]->x3_part1

        x3[x3>c1_x3&x3<=c2_x3]->x3_part2

        x3[x3>c2_x3]->x3_part3


## Generate x_miss binomial(0,1) 1:1 ##

#ต้องทำprobทั้งหมด 9 ค่า#

        rbinom(length(x3_part1),1,P_XB_11[9])->a1

        rbinom(length(x3_part2),1,P_XM_11[9])->a2

        rbinom(length(x3_part3),1,P_XE_11[9])->a3

        miss_x3<-c(a1,a2,a3)

        miss_x3_all<-rbind(miss_x3_all, miss_x3)


## Generate y_miss condition of Prob. 1:1##

        b1<-
ifelse(a1==1,rbinom(length(x3_part1),1,P_YB_X1_11[9]),rbinom(length(x3_part1),1,P_YB
_X0_11[9]))

        b2<-
ifelse(a2==1,rbinom(length(x3_part2),1,P_YM_X1_11[9]),rbinom(length(x3_part2),1,P_Y
M_X0_11[9]))
```

```
        b3<-
ifelse(a3==1,rbinom(length(x3_part3),1,P_YE_X1_11[9]),rbinom(length(x3_part3),1,P_YE
_X0_11[9]))

        miss_y<-c(b1,b2,b3)

        miss_y_all<- rbind(miss_y_all, miss_y)



        data_sort<-data_com[order(data_com$x3),]

        data_sort$x3[miss_x3==1]<-NA

        #data_sort[miss_y==1,ncol(data_sort)]<-NA

        #Y.data_sort<-data_sort[,ncol(data_sort)]

        data_sort[miss_y==1,ncol(data_sort)-num+1:num]<-NA# from error 3 levels#

        Y.data_sort<-data_sort[,ncol(data_sort)-num+1:num]# from error 3 levels#

        for(g in 1:num){

                data_sort_new<-
data.frame(data_sort[,c("x1","x2","x3")],y=Y.data_sort[,g])#


#call function estimatemiss()

                est<-estimatemiss(data_sort_new)

                es.knn<-est["KNN"]

                es.em<-est["EM"]

                es.pmm<-est["PMM"]

                KNN[[g]][[t]] <- es.knn#
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
                EM[[g]][[t]] <- es.em#

                PMM[[g]][[t]] <- es.pmm#


## Find Regression model of KNN ##

                fit.knn<-lm(y ~ x1 + x2 + x3, es.knn$KNN)

                BETA.KNN[[g]] <- rbind(BETA.KNN[[g]],fit.knn$coef)#

                yhat.knn <- fit.knn$fitted

                mse.knn[t,g] <- mean((Y_act-yhat.knn)^2)#


## Find Regression model of EM ##

                fit.em<-lm(y ~ x1 + x2 + x3, es.em$EM)

                BETA.EM[[g]] <- rbind(BETA.EM[[g]],fit.em$coef)#

                yhat.em <- fit.em$fitted

                mse.em[t,g] <- mean((Y_act-yhat.em)^2)#

## Find Regression model of PMM ##

                fit.pmm<-lm(y ~ x1 + x2 + x3, es.pmm$PMM)

                BETA.PMM[[g]] <- rbind(BETA.PMM[[g]],fit.pmm$coef)#

                yhat.pmm <- fit.pmm$fitted

                mse.pmm[t,g] <- mean((Y_act-yhat.pmm)^2)#
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
        }
         #end-for
         pie(c(t,N-t),c(t,N-t), radius=1,clockwise=T)#look for round#
} #end-for


#==================================#
# MAIN PROCESS START HERE
#==================================#
#Simulate data equal-var#
num<-length(n)
temp<-list()
length(temp)<-N
KNN <- list()
BETA.KNN <- list()
length(BETA.KNN)<-num
miss_x3_all<-list()
miss_y_all<-list()
for(g in 1:num) KNN[[g]]<- temp
names(KNN)<- paste("Var", sd.e^2,sep="")
EM <- PMM <- KNN
names(BETA.KNN)<- names(KNN)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
BETA.EM <- BETA.PMM <- BETA.KNN


for (t in 1:N){
#Generate x1,x2,x3 (equal-var)  and Generate error n = 50#
E<-c()
        x1<-rnorm(n[1],0,va.x[2])
        x2<-rnorm(n[1],0,va.x[2])
        x3<-rnorm(n[1],0,va.x[2])
        e0<-rnorm(n[1],0,sd.e[1])
        for(g in 1:num)
        E<-cbind(E,e0*r[g])# make 3 levels #


#error 3 ค่า แล้วมาสร้าง y #
        Y<-39+x1+x2+x3+E
        colnames(E)<-paste("e",1:num,sep="")
        colnames(Y)<-paste("y",1:num,sep="")
        data_com<-data.frame(x1,x2,x3,E,Y)
        Y_act<-39+x1+x2+x3


## cut x3 ##
        mean_x3<-mean(x3)
```

```
        sd_x3<-sd(x3)

        c1_x3<-mean_x3+(-0.43)*(sd_x3)

        c2_x3<-mean_x3+(0.43)*(sd_x3)


## divide x3 3part ##

        x3[x3<=c1_x3]->x3_part1

        x3[x3>c1_x3&x3<=c2_x3]->x3_part2

        x3[x3>c2_x3]->x3_part3


## Generate x_miss binomial(0,1) 1:1 ##

#ต้องทำprobทั้งหมด 9 ค่า#

        rbinom(length(x3_part1),1,P_XB_11[9])->a1

        rbinom(length(x3_part2),1,P_XM_11[9])->a2

        rbinom(length(x3_part3),1,P_XE_11[9])->a3

        miss_x3<-c(a1,a2,a3)

        miss_x3_all<-rbind(miss_x3_all, miss_x3)


## Generate y_miss condition of Prob. 1:1##

        b1<-
ifelse(a1==1,rbinom(length(x3_part1),1,P_YB_X1_11[9]),rbinom(length(x3_part1),1,P_YB
_X0_11[9]))
```

```
        b2<-
ifelse(a2==1,rbinom(length(x3_part2),1,P_YM_X1_11[9]),rbinom(length(x3_part2),1,P_Y
M_X0_11[9]))

        b3<-
ifelse(a3==1,rbinom(length(x3_part3),1,P_YE_X1_11[9]),rbinom(length(x3_part3),1,P_YE
_X0_11[9]))

        miss_y<-c(b1,b2,b3)

        miss_y_all<- rbind(miss_y_all, miss_y)

                data_sort<-data_com[order(data_com$x3),]

        data_sort$x3[miss_x3==1]<-NA

        #data_sort[miss_y==1,ncol(data_sort)]<-NA

        #Y.data_sort<-data_sort[,ncol(data_sort)]

        data_sort[miss_y==1,ncol(data_sort)-num+1:num]<-NA# from error 3 levels#

        Y.data_sort<-data_sort[,ncol(data_sort)-num+1:num]# from error 3 levels#

        for(g in 1:num){

                data_sort_new<-
data.frame(data_sort[,c("x1","x2","x3")],y=Y.data_sort[,g])#


#call function estimatemiss()

                est<-estimatemiss(data_sort_new)

                es.knn<-est["KNN"]

                es.em<-est["EM"]

                es.pmm<-est["PMM"]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
KNN[[g]][[t]] <- es.knn#

EM[[g]][[t]] <- es.em#

PMM[[g]][[t]] <- es.pmm#


## Find Regression model of KNN ##

fit.knn<-lm(y ~ x1 + x2 + x3, es.knn$KNN)

BETA.KNN[[g]] <- rbind(BETA.KNN[[g]],fit.knn$coef)#

yhat.knn <- fit.knn$fitted

mse.knn[t,g] <- mean((Y_act-yhat.knn)^2)#


## Find Regression model of EM ##

fit.em<-lm(y ~ x1 + x2 + x3, es.em$EM)

BETA.EM[[g]] <- rbind(BETA.EM[[g]],fit.em$coef)#

yhat.em <- fit.em$fitted

mse.em[t,g] <- mean((Y_act-yhat.em)^2)#

## Find Regression model of PMM ##

fit.pmm<-lm(y ~ x1 + x2 + x3, es.pmm$PMM)

BETA.PMM[[g]] <- rbind(BETA.PMM[[g]],fit.pmm$coef)#

yhat.pmm <- fit.pmm$fitted

mse.pmm[t,g] <- mean((Y_act-yhat.pmm)^2)#
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
        }
         #end-for
         pie(c(t,N-t),c(t,N-t), radius=1,clockwise=T)#look for round#
} #end-for


#======================#
# WRITE RESULT
#======================#
write.csv(mse.knn,file = 'D:/output/mse_knn11_9_x3.csv')
write.csv(mse.em,file = 'D:/output/mse_em11_9_x3.csv')
write.csv(mse.pmm,file = 'D:/output/mse_pmm11_9_x3.csv')
write.csv(BETA.KNN,file = 'D:/output/b_knn11_9_x3.csv')
write.csv(BETA.EM,file = 'D:/output/b_em11_9_x3.csv')
write.csv(BETA.PMM,file = 'D:/output/b_pmm11_9_x3.csv')
write.csv(miss_x3_all,file = 'D:/output/miss_x3_all11_9_x3.csv')
write.csv(miss_y_all,file = 'D:/output/miss_y_all11_9_x3.csv')
```

```
#=======================#
# DISPLAY VALUE         #
#=======================#
amse.knn <- colMeans(mse.knn)
amse.em <- colMeans(mse.em)
amse.pmm <- colMeans(mse.pmm)
RE.knn<-amse.em/amse.knn
RE.pmm<-amse.em/amse.pmm
amse.knn
amse.em
amse.pmm
RE.knn
RE.pmm
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววราพร ลิ่มชูเชื้อ เกิดวันพุธที่ 2 ธันวาคม พ.ศ.2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาสถิติศาสตรบัณฑิต (สตบ.) สาขาสถิติคณิตศาสตร์ ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University