

การประมาณค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัยสำหรับข้อมูลสมบูรณ์

นางสาว บุษยมาส นันตสุขนธ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำรงหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาประกันภัย ภาควิชาสถิติ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-732-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATION OF HAZARD RATE FUNCTION FOR COMPLETE DATA

Miss. Busayamat Nuntasukon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Statistics

Department of Statistic

Graduate School

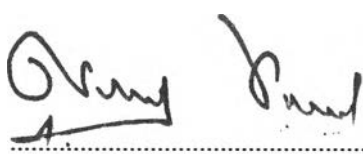
Chulalongkorn University

Academic Year 1997

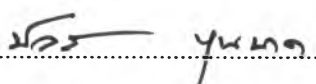
ISBN 974-638-732-4

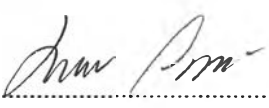
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัยสำหรับข้อมูลสมบรูณ์
โดย นางสาว นุชยมาส นันตสุคนธ์
ภาควิชา สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

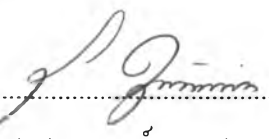
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

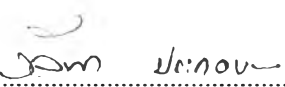

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ มัลลิกา บุญนาค)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วัลภา ประกอบผล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

บุษยามาส นันตสุคนธ์ : การประมาณค่าฟังก์ชันอันตรายภาวะภัยสำหรับข้อมูลสมบูรณ์ (ESTIMATION OF HAZARD RATE FUNCTION FOR COMPLETE DATA) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ร.อ. มานพ วราภักดิ์, 177 หน้า.
ISBN 974-638-732-4.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าฟังก์ชันอันตรายภาวะภัย ด้วยวิธีการประมาณที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ ซึ่งวิธีการประมาณที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือวิธีคณิตศาสตร์ประกันภัย วิธีของแคพแลนและไมเออร์ วิธีของเนลสันและแอเลน และวิธีของเซเซอร์ โดยศึกษาข้อมูลที่มีลักษณะสมบูรณ์ ซึ่งมีการแจกแจงของระยะเวลาการอยู่รอดเป็นแบบไวบูลล์ แบบเอกซ์โพเนนเชียลและแบบเรย์ลี ขนาดตัวอย่างที่ศึกษามี 6 ระดับคือ 50, 70, 100, 200, 300 และ 500 ตามลำดับ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลโดยทำการทดลองซ้ำ ๆ กันจำนวน 1,000 ครั้ง สำหรับแต่ละสถานการณ์ที่กำหนด เพื่อทำการประมาณค่าฟังก์ชันอันตรายภาวะภัยที่จุดเวลาหนึ่ง ๆ โดยเวลาของการอยู่รอดอยู่ในช่วง 0 ถึง 65 ปี และในช่วง 1 ปีแรกทำการประมาณที่อายุ 3 เดือน 6 เดือน 9 เดือน และ 1 ปี ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการประมาณเป็นปี ๆ ไป จนถึงอายุ 65 ปี จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ของแต่ละวิธี เพื่อเปรียบเทียบหาวิธีที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด

ผลการศึกษาการประมาณค่าฟังก์ชันอันตรายภาวะภัยสำหรับข้อมูลสมบูรณ์ สรุปผลได้ดังนี้

สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงของระยะเวลาการอยู่รอดเป็นแบบไวบูลล์และเรย์ลีให้ผลการศึกษาเหมือนกันทุก ๆ ขนาดตัวอย่าง นั่นคือวิธีคณิตศาสตร์ประกันภัยและวิธีของเซเซอร์ ให้ผลการประมาณที่ใกล้เคียงกัน และเป็นวิธีการประมาณที่ให้ค่า MAPE ต่ำสุดและเมื่อตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น ค่า MAPE จะมีค่าลดลง

ส่วนกรณีการแจกแจงของระยะเวลาการอยู่รอดเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ผลการศึกษาพบว่า

1. เมื่อขนาดตัวอย่างมีค่า 50 - 70
 - 1.1 ในช่วงอายุ 0 - 10 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีคณิตศาสตร์ประกันภัยและวิธีของเซเซอร์
 - 1.2 ในช่วงอายุ 11 - 50 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีของแคพแลนและไมเออร์
 - 1.3 ในช่วงอายุ 51 - 65 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีของเนลสันและแอเลน
2. เมื่อขนาดตัวอย่างมีค่า 100 - 200
 - 2.1 ในช่วงอายุ 0 - 28 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีคณิตศาสตร์ประกันภัยและวิธีของเซเซอร์
 - 2.2 ในช่วงอายุ 29 - 50 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีของแคพแลนและไมเออร์
 - 2.3 ในช่วงอายุ 51 - 65 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีของเนลสันและแอเลน
3. เมื่อขนาดตัวอย่างมีค่า 300 - 500
 - 3.1 ในช่วงอายุ 0 - 33 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีคณิตศาสตร์ประกันภัยและวิธีของเซเซอร์
 - 3.2 ในช่วงอายุ 34 - 65 ปี วิธีประมาณที่ดีคือวิธีของเนลสันและแอเลน

ภาควิชา สถิติ
สาขาวิชา การประกันภัย
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติ ม.ช.วราภักดิ์ นันตสุคนธ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C723980 : MAJOR INSURANCE

KEY WORD: HAZARD RATE FUNCTION / COMPLETE DATA

BUSAYAMAT NUNTASUKON : ESTIMATION OF HAZARD RATE FUNCTION FOR COMPLETE DATA. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. CAPT. MANOP VARAPHAKDI, 177 pp. ISBN 974-638-732-4.

The objective of this study was to compare the estimation methods of hazard rate function using nonparametric estimation. The estimation methods under consideration in this study were Actuarial Method, Kaplan-Meier's Method, Nelson-Aalen's Method and Sacher's Method. The complete data were used in this study, the distributions of survival time were Weibull, Exponential and Rayleigh. Sample sizes were 50, 70, 100, 200, 300 and 500 respectively. The experimentations were repeated 1,000 times using Monte Carlo simulation method in each given situation. Hazard rate function estimated at the time point from 0-65 years. And in the beginning year studied at 3 months, 6 months, 9 months and 1 year. After that they were studied each year for 65 years. The mean absolute percentage errors (MAPE) were used as a criterion to compare the estimated hazard rate function. The lowest MAPE indicated the most efficient estimation method.

The results of the study are as follows:

For Weibull and Rayleigh distributions, and any sample sizes. The MAPE of Actuarial and Sacher's Methods are the lowest and the MAPE of all four methods will be decrease while sample sizes are increase.

For Exponential distribution, it is found that

1. Sample sizes are 50 - 70
 - 1.1 During 0 - 10 years, The best estimation methods are Actuarial and Sacher's Methods.
 - 1.2 During 11 - 50 years, The best estimation method is Kaplan-Meier's Method.
 - 1.3 During 51 - 65 years, The best estimation method is Nelson-Aalen's Method.
2. Sample sizes are 100 - 200
 - 2.1 During 0 - 28 years, The best estimation methods are Actuarial and Sacher's Methods.
 - 2.2 During 29 - 50 years, The best estimation method is Kaplan-Meier's Method.
 - 2.3 During 51 - 65 years, The best estimation method is Nelson-Aalen's Method.
3. Sample sizes are 300 - 500
 - 3.1 During 0 - 33 years, The best estimation methods are Actuarial and Sacher's Methods.
 - 3.2 During 34 - 65 years, The best estimation method is Nelson-Aalen's Method.

ภาควิชา.....สถิติ.....
สาขาวิชา.....การประกันภัย.....
ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่อนิสิต.....อุษณภรณ์ นันทาสุกอน.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างเรียบร้อยด้วยความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ปรีกษา ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ มัลลิกา บุญนาค รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล คุรงค์วัฒนา รองศาสตราจารย์ วัลภา ประกอบผล ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ และที่ให้โอกาสทางการศึกษาและประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จินดา อารจารย์ะกุล อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำปรึกษา แนะนำด้านการสอบและช่วยเหลือในด้านการเรียนตลอดจนการทำงานตลอดมา ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอระลึกถึงพระคุณครูอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้เขียน และขอระลึกถึงพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอขอบคุณ น้องชาย ที่ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษาและเป็นกำลังใจจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณคุณคุณณรงค์ศักดิ์ พิมพ์พรรณชาติ ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจอย่างดีมาตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	น
สัญลักษณ์ต่าง ๆ.....	ด
บทที่ 1. บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานในการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
เกณฑ์การตัดสินใจ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2. สถิติที่ใช้ในการวิจัย.....	7
การแจกแจงที่ใช้ในการวิจัย.....	7
- การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	8
- การแจกแจงแบบเอกซโพเนนเชียล.....	10
- การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	11
วิธีคณิตศาสตร์ประกันภัย.....	12
วิธีประมาณของแกปแลนและไมเออร์.....	12
วิธีประมาณของเนลสัน-เอเลน.....	14
วิธีประมาณของเซเซอร์.....	14
บทที่ 3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	16
วิธีการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล.....	16

สารบัญ

	หน้า
แผนการทดลอง.....	17
ขั้นตอนการวิจัย.....	19
โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย.....	25
แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	26
บทที่ 4. ผลการวิจัย.....	27
ผลการประมาณค่าทั้ง 4 วิธี	
1. เมื่อ T มีการแจกแจงแบบไวบูลต์.....	33
2. เมื่อ T มีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล.....	76
3. เมื่อ T มีการแจกแจงแบบเรย์ลี.....	119
บทที่ 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	162
สรุปผลการวิจัย.....	162
ข้อเสนอแนะ.....	163
รายการอ้างอิง.....	165
ภาคผนวก ก.....	167
ภาคผนวก ข.....	171
ประวัติผู้เขียน.....	177

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงระยะเวลาในการอยู่รอดของแต่ละอายุ..... 19
4.1	แสดงค่าพารามิเตอร์ α , β สำหรับการแจกแจงแบบไวบูลล์ พารามิเตอร์ σ สำหรับการแจกแจงแบบเรย์ลีและพารามิเตอร์ θ สำหรับการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล 28
4.2.1	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุของเด็กแรกเกิดเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 6 ปี..... 29
4.2.2	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 6 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 5 ปี..... 29
4.2.3	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 11 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 30
4.2.4	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 17 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 5 ปี..... 30
4.2.5	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 22 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 30
4.2.6	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 28 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 31
4.2.7	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 33 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 31
4.2.8	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 39 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 31
4.2.9	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 45 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 32
4.2.10	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 51 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 6 ปี..... 32
4.2.11	แสดงค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\lambda(t)$) ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ แบบเรย์ลี และแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่อายุ 57 ปี เมื่อเวลาผ่านไป 1 - 8 ปี..... 32
4.3.1	แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ของเด็กแรกเกิดถึงอายุ 6 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.... 34

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.3.2 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 6 ปี ถึง 11 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	37
4.3.3 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 12 ถึง 17 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	40
4.3.4 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 18 ถึง 22 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	43
4.3.5 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 23 ถึง 28 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	46
4.3.6 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 29 ถึง 33 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	49
4.3.7 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 34 ถึง 39 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	52
4.3.8 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 40 ถึง 45 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	55
4.3.9 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 46 ถึง 51 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	58
4.3.10 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 52 ถึง 57 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	61
4.3.11 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 58 ถึง 65 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	64
4.3.12 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของประมาณค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	67
4.4.1 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ของเด็กแรกเกิดถึงอายุ 6 ปี ค่า MAPE ค่า APE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล	77
4.4.2 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 6 ปี ถึง 11 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล..	80
4.4.3 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 12 ถึง 17 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล..	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.5.6 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 29 ถึง 33 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	135
4.5.7 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 34 ถึง 39 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	138
4.5.8 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 40 ถึง 45 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	141
4.5.9 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 46 ถึง 51 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	144
4.5.10 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 52 ถึง 57 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	147
4.5.11 แสดงค่าประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) ที่อายุ 58 ถึง 65 ปี ค่า APE และค่า MAPE จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	150
4.5.12 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของประมาณค่าฟังก์ชันอัตราภาวะภัย ($\hat{\lambda}(t)$) จำแนกตามเวลาและขนาดตัวอย่าง ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	153
5.1 แสดงวิธีการประมาณฟังก์ชันอัตราภาวะภัยที่เหมาะสมในแต่ละกรณี.....	164

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงการสูญเสียของค่าสังเกต ณ เวลาต่าง ๆ.....	3
2.1	แสดงรูปแบบของฟังก์ชัน $F(t)$, $f(t)$ และ $\lambda(t)$ เมื่อการแจกแจงของระยะเวลาในการอยู่รอดเป็นแบบไวบูลล์.....	9
2.2	แสดงรูปแบบของฟังก์ชัน $F(t)$, $f(t)$ และ $\lambda(t)$ เมื่อการแจกแจงของระยะเวลาในการอยู่รอดเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล.....	10
2.3	แสดงรูปแบบของฟังก์ชัน $F(t)$, $f(t)$ และ $\lambda(t)$ เมื่อการแจกแจงของระยะเวลาในการอยู่รอดเป็นแบบเรย์ลี.....	11
3.1	แสดงการแบ่งช่วงของระยะเวลาที่ต้องการศึกษาให้เหมาะสมโดยใช้ค่าเฉลี่ย...	20
4.1.1	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุของเด็กแรกเกิดจนถึง 6 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์	70
4.1.2	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 7 - 11 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	70
4.1.3	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 12 - 17 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	71
4.1.4	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 18 - 22 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	71
4.1.5	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 23 - 28 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	72
4.1.6	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 29 - 33 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	72
4.1.7	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 34 - 39 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	73
4.1.8	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 40 - 45 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	73
4.1.9	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 46 - 51 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	74
4.1.10	แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่างในช่วงอายุ 52 - 57 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบไวบูลล์.....	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3.3 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 12 - 17 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	157
4.3.4 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 18 - 22 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	157
4.3.5 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 23 - 28 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	158
4.3.6 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 29 - 33 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	158
4.3.7 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 34 - 39 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	159
4.3.8 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 40 - 45 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	159
4.3.9 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 46 - 51 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	160
4.3.10 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 52 - 57 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	160
4.3.11 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ซึ่งจำแนกตามขนาดของตัวอย่าง ในช่วงอายุ 58 - 65 ปี ภายใต้การแจกแจงแบบเรย์ลี.....	161

สัญลักษณ์ต่าง ๆ

n	จำนวนตัวอย่าง (จำนวนกรรมกรรม)
t	ตัวแปรสุ่มเวลาที่เกิดความเสียหายที่มีการบันทึก
$(t_i, t_{i+1}]$	ช่วงเวลาที่เกิดความเสียหาย $i = 1, 2, \dots, k$
t_i^*	จุดกึ่งกลางช่วงของช่วงเวลาที่เกิดความเสียหาย $(t_i, t_{i+1}]$
$F(t)$	ฟังก์ชันการแจกแจง (สะสม) ของ t
$f(t)$	ฟังก์ชัน (ความน่าจะเป็น) ความหนาแน่นของ t
$S(t)$	ฟังก์ชันการอยู่รอดของ t
$\lambda(t)$	ฟังก์ชันอัตราภาวะภัยของ t
$\Lambda(t)$	ฟังก์ชันอัตราภาวะภัยสะสมของ t
$E(t)$	ค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหวังของ t
(t)	ค่าความแปรปรวนของ t
(a, b)	การแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วงเปิด (a, b)
$\Gamma(\alpha)$	ฟังก์ชันแกมมา $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$ เมื่อ α เป็นจำนวนเต็ม ≥ 1
$\alpha!$	มีค่าเท่ากับ $(\alpha)(\alpha - 1)\dots\dots\dots(3)(2)(1)$