

ตัวแบบจำลองการสับไฟโดยการแจกแจงแบบเบตา

นายทวีศักดิ์ จันทรมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ทั้งฉบับปีการศึกษา 2554 ที่ขึ้นรายการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

SIMULATION MODEL FOR CARD SHUFFLING BY BETA DISTRIBUTION

Mr. Thaweesak Jantharamanee

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ตัวแบบจำลองการสับไฟโดยการแจกแจงแบบเบตา

โดย

นายทวีศักดิ์ จันทร์มณี

สาขาวิชา

สถิติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อนันตฉัตร กันต์ฉัตรรัตน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ เทียนสุวรรณ)

ทวิศศักดิ์ จันทรมณี : ตัวแบบจำลองการสับไพ่โดยการแจกแจงแบบเบตา . (SIMULATION MODEL FOR CARD SHUFFLING BY BETA DISTRIBUTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์ , 88 หน้า.

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแบบจำลองการสับไพ่แบบ overhand shuffling และจำนวนการสับไพ่ โดยกำหนดให้รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่นั้นเป็นแบบเบตา และการแจกแจงความหนาของการสับไพ่เป็นแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแบบการสับไพ่ โดยการจำลองตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ โดยการทำซ้ำ 10,000 ครั้ง และใช้ค่าระดับความสุ่มของการสับไพ่ในการเปรียบเทียบ ผู้วิจัยได้นิยามค่าระดับความสุ่ม

$$\delta(P_n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{51} (|P_n(i+1) - P_n(i)| - \Delta \bar{P}_n)^2}{51}}, \text{ เมื่อ } P_n(i) \text{ แทนฟังก์ชันลำดับของไพ่หลังจากการสับไพ่}$$

ในการสับไพครั้งที่ n โดยที่ $i=1, 2, \dots, 52$ และ $\Delta \bar{P}_n = \frac{\sum_{j=1}^{51} |P_n(j+1) - P_n(j)|}{51}$, เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบตัวแบบการสับไพ่ทั้ง 9 ตัวแบบ จากการศึกษพบว่าตัวแบบผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่นวนบนและมีความหนาของการสับไพ่มาก เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไพ่มีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 7 ครั้ง ส่วนตัวแบบผู้สับไพ่นวนบนและมีความหนาของการสับไพ่น้อยกว่า เป็นตัวแบบปานกลางและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไพ่มีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 17 ครั้ง และตัวแบบผู้สับไพ่นวนล่างและมีความหนาของการสับไพ่น้อยกว่า เป็นตัวแบบที่ไม่ดี เนื่องจากระดับความสุ่มไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แม้จะทำการสับไพแล้วถึง 50 ครั้ง

ภาควิชาสถิติ..... สถิติ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา..... สถิติ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา..... 2554.....

5281812126 : MAJOR STATISTICS

KEYWORDS: BETA DISTRIBUTION / DISCRETE UNIFORM DISTRIBUTION / RANDOMNESS LEVEL

THAWEESAK JANTHARAMANEE : SIMULATION MODEL FOR CARD SHUFFLING BY BETA DISTRIBUTION. ADVISOR: ANUPAP SOMBOONSAVATDEE, Ph.D., 170 pp.

The purpose of this research is to study the simulation model for the overhand card shuffling. We assume that the distribution of cut-position is beta, and the distribution of thickness of the shuffling is discrete uniform. Researchers have studied nine models of card shuffling under the simulation with simulation size of 10,000. We

define the randomness level $\delta(P_n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{51} (|P_n(i+1) - P_n(i)| - \Delta\bar{P}_n)^2}{51}}$, with $P_n(i)$ is the order

function of can after shuffling at the n^{th} shuffling with $i = 1, 2, \dots, 52$ and

$\Delta\bar{P}_n = \frac{\sum_{j=1}^{51} |P_n(j+1) - P_n(j)|}{51}$, for all nine model comparisons. From the study the top-card-

high-thickness model is the best with minimum number of shuffling of 7 to achieve the acceptable randomness level. The top-card-moderate-thickness model is moderately good with minimum number of shuffling of 17. And, the under-card-high-thickness is the worst model because the acceptable randomness level cannot be achieved with number of shuffling of 50 times.

Department:..... Statistics..... Student's Signature.....

Field of Study:..... Statistics..... Advisor's Signature.....

Academic Year :..... 2011.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องจากความกรุณา อนุเคราะห์ของอาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ท่านได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ตลอดจนได้ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย

ณ โอกาสนี้ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา ประธานกรรมการ และอาจารย์ ดร.อนันตณัฐ กันต์ธัญญรัตน์ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้กรุณา เสียสละเวลาในการอ่าน ชักถาม และให้คำแนะนำอันมีค่าอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ เทียนสุวรรณ ที่ได้ให้ความกรุณามาเป็นกรรมการภายนอก มหาวิทยาลัย ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้วิจัย รวมไปถึงครอบครัว ทั้งบิดา มารดา ที่ได้คอยส่งเสริมสนับสนุนด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ที่สำคัญที่สุด สำหรับความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจที่ไม่เคยขาดหายท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคน สำหรับมิตรภาพ และความเป็นเพื่อนที่ดี ที่มีให้กันมาโดยตลอด ไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	5
1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 สัมประสิทธิ์ความเบ้	7
2.2 สัมประสิทธิ์ความโด่ง	8
2.3 การแจกแจงแบบเบตา	9
2.4 การแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	12
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	12
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	31

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 ผลการทดลอง ค่าระดับความสับสนกับที่จำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง ทั้ง 9 ตัวแบบ	33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนกับความ หนาของการสับไฟ.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	80
5.1 สรุปผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟเป็นอย่างสุม	80
5.2 สรุปผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุม.	82
5.3 ข้อเสนอแนะ	84
 รายการอ้างอิง.....	 88
ภาคผนวก.....	89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่า $E(X)$, $Var(X)$ และรูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟ.....	17
3.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟและความหนาของการสับไฟในตัวแบบที่ 1 – 9	27
4.1 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง.....	33
4.2 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	37
4.3 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	41
4.4 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	45
4.5 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	49
4.6 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	53
4.7 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	57

ตารางที่	หน้า
4.8 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	61
4.9 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5 th Percentile และ 97.5 th Percentile ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง.....	65
4.10 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 1.....	70
4.11 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 2	71
4.12 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 3	72
4.13 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 4	73
4.14 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 5	74
4.15 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 6	75
4.16 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 7	76
4.17 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 8	77
4.18 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 9	78
5.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความสุ่ม และ จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความสุ่มอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ของตัวแบบที่ 1 – 9	81
5.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟครั้งที่ n โดยแบ่งกลุ่มในการพิจารณาเป็น 3 กลุ่ม	82

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงการสับไพ่ แบบ the all overhand shuffling	3
1.2 แสดงการสับไพ่ แบบ the some overhand shuffling	3
3.1 แสดง pdf. ของ $Beta(4.4375, 13.3125)$	14
3.2 แสดง pdf. ของ $Beta(12, 12)$	15
3.3 แสดง pdf. ของ $Beta(13.3125, 4.4375)$	16
3.4 สับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ the some overhand shuffling ที่ค่า $R_1(i) = r$ และ $T[2]_1(i) = t$	22
3.5 สับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ the all overhand shuffle ที่ค่า $R_1(i) = r$ และ $t_{new} = (52 - r) + 1$	22
3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับ ความสับสนในตัวแบบที่ 1 (ตัวแบบผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วนบนและมีความหนาของ การสับไพ่แบบน้อย) กับ จำนวนครั้งที่สับไพ่ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไพ่ตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง	31
4.1 กราฟแสดงค่าระดับความสับสนของไพ่ของ พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วนบนและ มีความหนาของการสับไพ่แบบน้อย (ตัวแบบที่ 1).....	35
4.2 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 1 ตัวแบบผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วน บนและมีความหนาของการสับไพ่แบบน้อย เมื่อทำการสับไพ่ทั้งหมด n ครั้ง	36
4.3 กราฟแสดงค่าระดับความสับสนของไพ่ของ พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วนบนและ มีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง (ตัวแบบที่ 2)	39
4.4 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 2 ตัวแบบผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วน บนและมีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง เมื่อทำการสับไพ่ทั้งหมด n ครั้ง	40
4.5 กราฟแสดงค่าระดับความสับสนของไพ่ของ พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วนบน และ มีความหนาของการสับไพ่แบบมาก (ตัวแบบที่ 3)	43

ภาพที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 3 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง	44
4.7 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง และมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย (ตัวแบบที่ 4)	47
4.8 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 4 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง	48
4.9 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง และความหนาของการสับไฟแบบกลาง (ตัวแบบที่ 5)	51
4.10 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลางเมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง	52
4.11 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง และความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 6)	55
4.12 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมากเมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง	56
4.13 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง และความหนาของการสับไฟแบบน้อย (ตัวแบบที่ 7)	59
4.14 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 7 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อยเมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง	60
4.15 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง และความหนาของการสับไฟแบบกลาง (ตัวแบบที่ 8)	63
4.16 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 8 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง.....	64
4.17 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง และความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 9)	67

ภาพที่

หน้า

- 4.18 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 9 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วน
ล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมากเมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไพ่ คือ อุปกรณ์จำพวกหนึ่งที่ใช้สำหรับการเสี่ยงทาย ความบันเทิง หรือเพื่อจุดประสงค์อื่นๆ ไพ่ชุดหนึ่งมีหลายชิ้นด้วยกัน โดยมีชนิดแต่ละชนิดที่แตกต่างกันไป แต่ที่นิยมที่สุดคือไพ่ป๊อก หรือ ไพ่ฝรั่ง ซึ่งมี 52 ใบ ทุกครั้งที่มีการเล่นไพ่เกิดขึ้น จะต้องทำการสับสำหรับไพ่ (shuffle a deck of cards) ก่อนการเล่นทุกครั้งเพื่อให้ไพ่นั้นอยู่ในตำแหน่งโดยสุ่ม ปัญหาบ่อยครั้งที่ผู้เล่นประสบ คือ ผู้เล่นจะทราบได้อย่างไรว่า ไพ่ที่ทำการสับนั้นอยู่ในตำแหน่งโดยสุ่มอย่างแท้จริง และควรมีกฎเกณฑ์ใดบ้างที่ใช้สำหรับผู้สับไพ่ เพื่อให้ตำแหน่งของไพ่เป็นไปอย่างสุ่ม

การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองการสับไพ่นั้นเป็นปัญหาที่ได้ความนิยม และมีผู้ทำวิจัยหลายท่านได้สร้างตัวแบบมากมายเพื่อใช้อธิบายลักษณะของการสับไพ่ อาทิเช่น การศึกษาจำนวนครั้งที่ควรสับไพ่เพื่อให้ลำดับของไพ่เป็นไปอย่างสุ่ม (Brad Mann ,1998) ได้อธิบายลักษณะของแบบจำลอง โดยใช้วิธีการเรียงสับเปลี่ยน (Permutations) แต่เมื่อพิจารณาถึงตัวแบบของงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมานั้น ผู้ทำวิจัยพบว่า ความเป็นไปได้ของตัวแบบที่ได้ศึกษามานั้นมีน้อย เนื่องจากพฤติกรรมของผู้สับไพ่นั้น มีการสับไพ่ ณ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ (cut position) ในรูปแบบการสุ่มที่แตกต่างกับตัวแบบซึ่งได้มีการศึกษาจากผู้ทำการวิจัยก่อน ๆ

วิธีการสับไพ่นั้นเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง ที่ทำให้ไพ่นั้นอยู่ในตำแหน่งเป็นไปอย่างสุ่ม วิธีการสับไพ่นั้นมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับผู้เล่นว่าจะเลือกสับไพ่โดยวิธีใด อาทิเช่น the overhand shuffling, the riffle shuffling , hindu shuffling เป็นต้น

โดยทั่วไปนั้นการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ถูกกำหนดไว้ได้หลายแบบขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้สับไพ่ อาทิเช่น การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) แจกแจงแบบเบตา (Beta distribution) เป็นต้น หรืออธิบายในเชิงคณิตศาสตร์ เช่น การอธิบายตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ โดยเชื่อมโยงกับลำดับเพิ่ม (rising sequence) หรือ ฟังก์ชันประกอบ (composite function) เป็นต้น

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นผู้ทำวิจัยได้ทำศึกษา วิธีการสับไพ่แบบ the overhand shuffling เท่านั้น เพราะว่า เป็นวิธีพื้นฐานที่สุด ผู้ทำการสับไพ่ไม่ต้องฝึกฝนทักษะในการสับไพ่สามารถกระทำได้ง่าย และจากการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ทำให้ตำแหน่งของไพ่เป็นไปอย่างสุ่ม

สำหรับวิธีการสับไพ่แบบ the overhand shuffling มี 2 ปัจจัยคือ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ และความหนาของการสับไพ่ โดยได้ข้อสรุปสำหรับพฤติกรรมของผู้สับไพ่ พบว่ารูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ นั้นใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเบตา (Beta distribution) และความหนาของการสับไพ่เป็นแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง (Discrete uniform distribution) ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบอื่น ๆ ที่ได้มีการศึกษากันมา อีกทั้งความพิเศษของตัวแบบนี้คือ สามารถอธิบายลักษณะของการสับไพ่เฉพาะบุคคลได้ โดยยึดค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกัน ขึ้นกับลักษณะของพฤติกรรมของผู้สับไพ่ และ ความหนาของการสับไพ่ จึงเป็นตัวแบบใหม่ที่น่าสนใจ ซึ่งสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของการสับไพ่ได้ดีอีกทั้งมีประสิทธิภาพมากกว่าการอธิบายพฤติกรรมของการสับโดยใช้ตัวแบบอื่นๆ ที่กล่าวมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพิจารณาตัวแบบการสับไพ่ ณ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ในรูปแบบการแจกแจงแบบเบตาที่ค่าพารามิเตอร์ต่างกัน
2. เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบการสับไพ่ในแต่ละตัวแบบ
3. เพื่อหาข้อสรุป จำนวนครั้งของการสับไพ่ที่เหมาะสมในแต่ละตัวแบบ เพื่อให้ไฟนั้นสับอย่างสุ่ม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

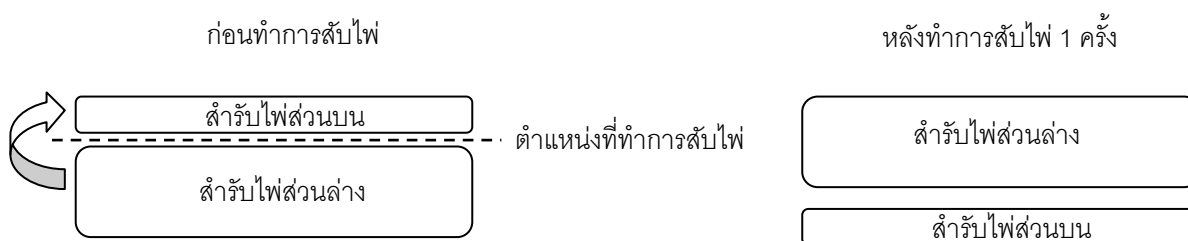
ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ในการวิจัยครั้งนี้กระทำภายใต้ขอบเขตดังนี้

1. ไพ่ที่ทำการศึกษาเป็น ไพ่โป๊กเกอร์ หรือ ไพ่ฝรั่ง ซึ่งมี 52 ใบ
2. ศึกษาพฤติกรรมของผู้สับไพ่อุปแบบ the all overhand shuffling และ the some overhand shuffling
3. พิจารณาตำแหน่งที่ทำการสับ (cut position) มีการแจกแจงแบบเบตา (Beta distribution)
4. พิจารณาความหนาของการสับ มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง (Discrete uniform distribution)
5. ใช้โปรแกรม R 2.11.1 ในการสร้างแบบจำลองการสับไพ่เท่านั้น

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีคำจำกัดความที่ใช้ดังนี้

1. สำรับไพ่ (a deck of cards) หมายถึง ชุดไพ่ซึ่งมีรูปแบบของไพ่ที่แตกต่างกันทั้งหมด 52 ใบ
2. The overhand shuffling หมายถึง the some overhand shuffling หรือ the all overhand shuffling
 - 2.1 the all overhand shuffling หมายถึง การสับไพ่ที่มีลักษณะ ตัดไพ่ ณ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่จึงทำให้ไพ่นั้นแบ่งเป็นสำรับส่วนบน และ สำรับส่วนล่าง จากนั้นเลือกไพ่นำสำรับส่วนล่างทั้งหมดไว้บนสำรับส่วนบน ถือเป็น การสับ 1 ครั้ง ดังแสดงในรูปภาพที่ 1.1



รูปภาพที่ 1.1 แสดงการสับไพ่ แบบ the all overhand shuffling

- 2.2 the some overhand shuffling หมายถึง การสับไพ่ที่มีลักษณะ ตัดไพ่ ณ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ และเลือกความหนาของการตัดไพ่ จึงทำให้ไพ่นั้น แบ่งเป็นสำรับบน สำรับกลางและสำรับล่าง จากนั้นเลื่อนไพ่นำสำรับกลางไว้บนสำรับส่วนบน ถือเป็น การสับ 1 ครั้ง ดังแสดงในรูปภาพที่ 1.2



รูปภาพที่ 1.2 แสดงการสับไพ่ แบบ the some overhand shuffling

3. ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ สำหรับ the all overhand shuffling (cut position for the all overhand shuffling) หมายถึง ตำแหน่งที่ผู้สับไพ่ใช้แบ่งไพ่ออกเป็นสองส่วนคือสำหรับไพ่วางบน และสำหรับไพ่วางกลาง เพื่อเป็นการเตรียมโดยนำสำหรับไพ่วางกลางเคลื่อนย้ายไปไว้บนสำหรับวางบน
4. ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ สำหรับ the some overhand shuffling (cut position for the some overhand shuffling) หมายถึง ตำแหน่งที่ผู้สับไพ่ใช้เลือกไพ่ให้หน้าจำนวนหนึ่ง โดยแบ่งไพ่ออกเป็นสามส่วน คือสำหรับไพ่วางบน สำหรับไพ่วางกลาง และสำหรับไพ่วางล่าง เพื่อเป็นการเตรียมโดยนำสำหรับไพ่วางกลาง เคลื่อนย้ายไปไว้บนสำหรับวางบน
5. พฤติกรรมผู้สับไพ่ (A player's behavior) หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบเบตา
6. ความหนาของการสับไพ่ หมายถึง จำนวนไพ่วางกลาง (สำหรับ the some overhand shuffling เท่านั้น) ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง
7. พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่วางบน หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ Beta(4.4375 , 13.3125)
8. พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่วางกลาง หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ Beta(12,12)
9. พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่วางล่าง หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ Beta(13.3125 , 4.4375)
10. ความหนาของการสับไพ่วางบน คือ จำนวนไพ่วางกลางตั้งแต่ 6 ถึง 15 ใบ
11. ความหนาของการสับไพ่วางกลาง คือ จำนวนไพ่วางกลางตั้งแต่ 16 ถึง 25 ใบ
12. ความหนาของการสับไพ่วางล่าง คือ จำนวนไพ่วางกลางตั้งแต่ 26 ถึง 35 ใบ
13. ระดับความสุ่มของการสับไพ่ (randomness level of card shuffling) ค่าของ $\delta(P_n)$

กำหนดโดย $\delta(P_n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{51} (|P_n(i+1) - P_n(i)| - \Delta\bar{P}_n)^2}{51}}$ เมื่อ $P_n(i)$ แทนฟังก์ชันลำดับของ

ไฟหลังจากการสับไฟ ในการสับไฟครั้งที่ n โดยที่ $i=1, 2, \dots, 52$ และ

$$\Delta\bar{P}_n = \frac{\sum_{j=1}^{51} |P_n(j+1) - P_n(j)|}{51}$$

หมายเหตุ จากการวิเคราะห์ค่าระดับความสุ่มของการสับไฟ สามารถสรุปได้ว่า ถ้า $\delta(P_n) > 10.1254$ จะทำให้ไฟมี ระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงตัวแบบที่เหมาะสมของพฤติกรรมเฉพาะบุคคลของผู้สับไฟ ที่มีการตัดไฟ ณ ตำแหน่งที่ทำการสับ ต่าง ๆ กัน
2. สามารถสร้างเกณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับจำนวนครั้งของการสับไฟเฉพาะบุคคลเพื่อให้ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟเป็นไปอย่างสุ่ม
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มในรูปแบบ การแจกแจงแบบเบตา และ การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม ไม่ต่อเนื่อง
2. ศึกษารูปแบบการสับไฟในรูปแบบ the all overhand shuffling และ the some overhand shuffling
3. ทดลองจากตัวอย่างพฤติกรรมของผู้สับไฟและประมาณค่าพารามิเตอร์การแจกแจงของการสับไฟ
4. สร้างแบบจำลองแสดงการสับไฟทั้งหมด 9 ตัวแบบ กับโปรแกรม R
5. วิเคราะห์และระบุถึงกฎเกณฑ์ การให้คะแนนสำหรับลำดับการเรียงสับเปลี่ยนของ ตำแหน่งไฟเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงระดับความสุ่ม (randomness level) ของไฟว่ามากหรือน้อยเพียงใด

6. พิจารณาถึงเกณฑ์ที่แสดงให้เห็นว่าลำดับของไฟนั้นเป็นไปอย่างสุ่ม
7. ตรวจสอบและแก้ไขความสมบูรณ์ของตัวแบบพร้อมจัดทำรูปเล่ม
8. สรุปผลของการวิจัย

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ นำเสนอผลการวิจัยโดย โดยเสนอผลสรุปของค่าระดับความสุ่มและจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ทั้งหมด 9 ตัวแบบ โดยเสนอในรูปแบบของตาราง และ กราฟ การนำเสนอผลการวิจัยแบบออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ (1) นำเสนอผลการเปรียบเทียบค่าจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้

ส่วนที่ (2) นำเสนอผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม กับ ความหนาของการสับไฟ

ส่วนที่ (3) นำเสนอการประยุกต์ตัวแบบจำลองการสับไฟเฉพาะบุคคล

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และ ตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง

การแจกแจงที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย การแจกแจงแบบเบตาและยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง

2.1 สัมประสิทธิ์ความเบ้ (coefficient of skewness)

สัมประสิทธิ์ความเบ้ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย γ_1 เป็นค่าที่ใช้วัดความสมมาตรหรือความเบ้ (skewness) ของการแจกแจง

- ถ้าการแจกแจงไม่มีความเบ้ หรือมีความสมมาตร (symmetry) จะได้ค่า $\gamma_1 = 0$
- ถ้าการแจกแจงเบ้ขวา (right skewness) หรือเบ้บวก (positive skewness) จะได้ค่า $\gamma_1 > 0$
- ถ้าการแจกแจงเบ้ซ้าย (left skewness) หรือเบ้ลบ (negative skewness) จะได้ค่า $\gamma_1 < 0$

การวัดความเบ้หรือหาค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ γ_1 ของการแจกแจงนั้น จะพิจารณาจากค่าโมเมนต์ศูนย์กลางอันดับที่ 3 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ γ_1 ของการแจกแจงของ X มีนิยามดังนี้

$$\gamma_1 = \frac{E[(X - E(X))^3]}{(Var(X))^{3/2}}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ γ_1 ของการแจกแจงของ X เราสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ γ_1 ได้จากข้อมูลตัวอย่างโดยใช้ตัวประมาณโมเมนต์ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\gamma_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / n \right]}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n \right)^{3/2}}$$

2.2 สัมประสิทธิ์ความโด่ง (coefficient of kurtosis)

สัมประสิทธิ์ความโด่งใช้สัญลักษณ์แทนด้วย γ_2 เป็นค่าที่ใช้วัดความโด่งชั้นของการแจกแจง ซึ่งในการพิจารณาความโด่งชั้นของการแจกแจงนั้นจะใช้ความโด่งชั้นของการแจกแจงแบบปกติเป็นฐานในการเปรียบเทียบว่าการแจกแจงนั้น มีความโด่งชั้นมากน้อยอย่างไร

- ถ้าการแจกแจงแบบปกติจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง $\gamma_2 = 3$
- ถ้าการแจกแจงของประชากรใดมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง $\gamma_2 > 3$ เราเรียกว่าโด่งชั้นมากกว่าการแจกแจงแบบปกติ (leptokurtic)
- ถ้าการแจกแจงของประชากรใดมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง $\gamma_2 < 3$ เราเรียกว่าโด่งชั้นน้อยกว่าการแจกแจงแบบปกติ (platykurtic)

การวัดความโด่งหรือหาค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง γ_2 ของการแจกแจงนั้น จะพิจารณาจากค่าโมเมนต์ศูนย์กลางอันดับที่ 4 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง γ_2 ของการแจกแจงของ X จะมีนิยามดังนี้

$$\gamma_1 = \frac{E[(X - E(X))^4]}{(Var(X))^2}$$

ในกรณีที่ไมทราบค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง γ_2 ของการแจกแจงของ X เราสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง γ_2 ได้จากข้อมูลตัวอย่างโดยใช้ตัวประมาณโมเมนต์ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\gamma_1 = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n} \right]}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \right)^2}$$

2.3 การแจกแจงแบบเบตา (Beta distribution)

กำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเบตา ด้วยพารามิเตอร์ α และ β จะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของ X เป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{\int_0^1 u^{\alpha-1}(1-u)^{\beta-1} du} = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}$$

โดยที่ $0 \leq x \leq 1$, $\alpha > 0$ และ $\beta > 0$

X เป็นค่าของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบตา

α เป็นพารามิเตอร์รูปร่าง (shape parameter) ของการแจกแจง

β เป็นพารามิเตอร์มาตราส่วน (scale parameter) ของการแจกแจง

ถ้าตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบเบตา จะได้ว่า

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม X

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม X

$$Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2}$$

- ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (γ_1)

$$\gamma_1 = \frac{2(\beta - \alpha)(\alpha + \beta + 1)^{1/2}}{(\alpha + \beta + 2)(\alpha\beta)^{1/2}}$$

- ค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง (γ_2)

$$\gamma_2 = \frac{3(\alpha + \beta + 1)2(\alpha + \beta)^2 + \alpha\beta(\alpha + \beta - 6)}{(\alpha\beta)(\alpha + \beta + 2)(\alpha + \beta + 3)}$$

2.4 การแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง (Discrete Uniform Distribution)

การแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง (Discrete Uniform Distribution) คือ การแจกแจงของตัวแปรสุ่มซึ่งค่าแต่ละค่าของตัวแปรสุ่มมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเท่า ๆ กัน เรียกว่า การแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง

ลักษณะทั่วไปของการแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องมีดังนี้

ให้ค่าของตัวแปรสุ่ม X ประกอบด้วย $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ ซึ่งต่างก็มีความน่าจะเป็นเท่า ๆ กัน สูตรสำหรับการแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ X คือ $f(x; k) = \frac{1}{k}$ เมื่อ

$$x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแบบจำลองการสับไฟแบบ overhand shuffling และจำนวนการสับไฟ โดยกำหนดให้รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟนั้นเป็นแบบเบตา และการแจกแจงความหนาของการสับไฟเป็นแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแบบการสับไฟ โดยการจำลองตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ โดยการซ้ำ 10,000 ครั้ง และใช้ค่าระดับความสุ่มของการสับไฟในการเปรียบเทียบ ผู้วิจัยได้นิยามค่าระดับความสุ่ม

$$\delta(P_n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{51} (|P_n(i+1) - P_n(i)| - \Delta\bar{P}_n)^2}{51}}, \text{ เมื่อ } P_n(i) \text{ แทนฟังก์ชันลำดับของไฟหลังจากการสับ}$$

ไฟในการสับไฟครั้งที่ n โดยที่ $i = 1, 2, \dots, 52$ และ $\Delta\bar{P}_n = \frac{\sum_{j=1}^{51} |P_n(j+1) - P_n(j)|}{51}$, เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบตัวแบบการสับไฟทั้ง 9 ตัวแบบ โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.11.1 ในการจำลองข้อมูล ในบทนี้ได้กล่าวถึงแผนการดำเนินการวิจัย ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ตำแหน่งที่ทำการสับไฟค่าใดค่าหนึ่ง จะเป็นไปได้ในลักษณะซ้ำ ๆ ตามพฤติกรรมของผู้สับไฟกล่าวคือ พฤติกรรมผู้ที่ชอบสับไฟส่วนบน ความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ตำแหน่งที่ทำการสับไฟส่วนบนจะสูงกว่าตำแหน่งอื่น ๆ หรือ พฤติกรรมผู้ที่ชอบสับไฟส่วนกลาง ความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ตำแหน่งที่ทำการสับไฟส่วนกลางจะสูงกว่าตำแหน่งอื่น ๆ เป็นต้น ดังนั้น ตัวแปรสุ่มที่ทำการศึกษา คือ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแปลงตำแหน่งที่ทำการสับไฟให้อยู่ในช่วง $[0, 1]$ ซึ่งรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟนั้น เป็นแบบการแจกแจงแบบเบตา

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มในรูปแบบ การแจกแจงแบบเบตา และ การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม ไม่ต่อเนื่อง
2. ศึกษารูปแบบการสับไฟในรูปแบบ the all overhand shuffling และ the some overhand shuffling
3. ทดลองจากตัวอย่างพฤติกรรมของผู้สับไฟและประมาณค่าพารามิเตอร์การแจกแจงของการสับไฟ
4. สร้างแบบจำลองแสดงการสับไฟทั้งหมด 9 ตัวแบบ กับโปรแกรม R
5. วิเคราะห์และระบุถึงกฎเกณฑ์ การให้คะแนนสำหรับลำดับการเรียงสับเปลี่ยนของตำแหน่งไฟเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงระดับความสุ่ม (randomness level) ของไฟว่ามากหรือน้อยเพียงใด
6. พิจารณาถึงเกณฑ์ที่แสดงให้เห็นว่าลำดับของไฟนั้นเป็นไปอย่างสุ่ม
7. ตรวจสอบและแก้ไขความสมบูรณ์ของตัวแบบพร้อมจัดทำรูปเล่ม
8. สรุปผลของการวิจัย

3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน ประกอบด้วย การนิยามตัวแบบจำลองการสับไฟโดยการแจกแจงแบบเบตา ขั้นตอนสร้างโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ทั้ง 9 ตัวแบบ และสร้างรูปแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบตัวแบบทั้ง 9 ตัวแบบ

ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

3.2.1 นิยามความหมายและข้อกำหนดพฤติกรรมของผู้สับไฟแบบแบ่งประเภท

พฤติกรรมผู้สับไฟ (A player's behavior) หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบเบตา สำหรับตัวแบบในการวิจัยนี้ได้กำหนดประเภท

พฤติกรรมของผู้สับไฟไว้ทั้งหมด 3 ประเภท ประกอบด้วย พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง และ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง

3.2.1.1 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน

นิยาม พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ $Beta(4.4375, 13.3125)$

ที่มาของการนิยามพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน

งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบเบตา จะได้ว่า

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม X

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.25$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม X

$$Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01$$

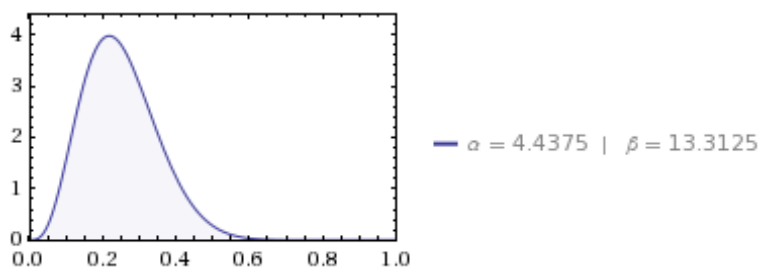
จากข้อกำหนดข้างต้น จึงได้ระบบสมการ 2 ตัวแปร คือ

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.25 \quad \text{_____ (3.1)}$$

$$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01 \quad \text{_____ (3.2)}$$

มีผลเฉลยของระบบสมการคือ $\alpha = 4.4375$ และ $\beta = 13.3125$ ตามลำดับ

ดังนั้น การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟของพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน คือ $Beta(4.4375, 13.3125)$ ซึ่งมี pdf. ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.1



รูปภาพที่ 3.1 แสดง pdf. ของ $Beta(4.4375, 13.3125)$

จากคำอธิบายข้างต้น สรุปได้ว่า พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ $Beta(4.4375, 13.3125)$

3.2.1.2 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง

นิยาม พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ $Beta(12, 12)$

ที่มาของการนิยามพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง

งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบเบตา จะได้ว่า

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม X

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.5$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม X

$$Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01$$

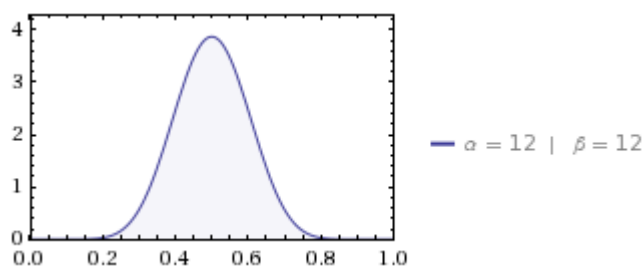
จากข้อกำหนดข้างต้น จึงได้ระบบสมการ 2 ตัวแปร คือ

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.5 \quad \text{_____ (3.3)}$$

$$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01 \quad \text{_____ (3.4)}$$

มีผลเฉลยของระบบสมการคือ $\alpha = 12$ และ $\beta = 12$ ตามลำดับ

ดังนั้น การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟของพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน คือ $Beta(12, 12)$ ซึ่งมี pdf. ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.2



รูปภาพที่ 3.2 แสดง pdf. ของ $Beta(12, 12)$

จากคำอธิบายข้างต้น สรุปได้ว่าพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ $Beta(12, 12)$

3.2.1.3 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง

นิยาม พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ $Beta(13.3125, 4.4375)$

ที่มาของการนิยามพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง

งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบเบตา จะได้ว่า

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม X

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.75$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม X

$$\text{Var}(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01$$

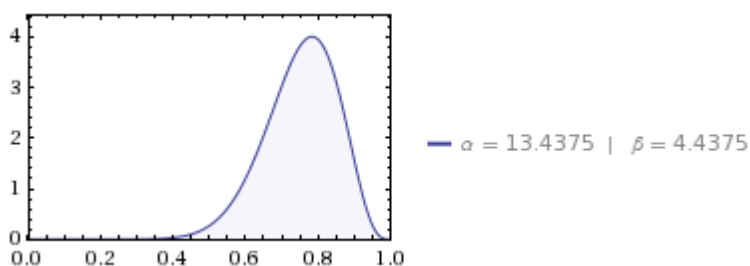
จากข้อกำหนดข้างต้น จึงได้ระบบสมการ 2 ตัวแปร คือ

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.75 \quad \text{_____ (3.5)}$$

$$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01 \quad \text{_____ (3.6)}$$

มีผลเฉลยของระบบสมการคือ $\alpha = 13.3125$ และ $\beta = 4.4375$ ตามลำดับ

ดังนั้น การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟของพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน คือ $Beta(13.3125, 4.4375)$ ซึ่งมี pdf. ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.3



รูปภาพที่ 3.3 แสดง pdf. ของ $Beta(13.3125, 4.4375)$

จากคำอธิบายข้างต้น สรุปได้ว่าพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง หมายถึงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ $Beta(13.3125, 4.4375)$

จากการแบ่งประเภทพฤติกรรมของผู้สับไฟที่กล่าวมาในข้างต้นนั้น สามารถสรุป ดังแสดงในตารางที่ 3.1

พฤติกรรมของผู้สับไฟ	$E(X)$	$Var(X)$	รูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม
เลือกสับไฟส่วนบน	0.25	0.01	$Beta(4.4375, 13.3125)$
เลือกสับไฟส่วนกลาง	0.50	0.01	$Beta(12, 12)$
เลือกสับไฟส่วนล่าง	0.75	0.01	$Beta(13.3125, 4.4375)$

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า $E(X)$, $Var(X)$ และรูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟ

จากความหมายและประเภทของพฤติกรรมของผู้สับไฟที่ได้กล่าวในข้างต้นนี้ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาและแบ่งประเภทของพฤติกรรมของผู้สับไฟโดยระบุรูปแบบของการแจกแจง เพื่อใช้เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้สับไฟส่วนบุคคลดังหัวข้อต่อไป

3.2.2 นิยามความหมายและข้อกำหนดเกี่ยวกับความหนาของการสับไพ่

ความหนาของการสับไพ่ (thickness of the shuffling) หมายถึง จำนวนไพ่สำหรับกลาง (สำหรับ the some overhand shuffle เท่านั้น) ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง สำหรับตัวแบบในการวิจัยนี้ได้กำหนดประเภทความหนาของการสับไพ่วิธีทั้งหมด 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

3.2.2.1 ความหนาของการสับไพ่แบบน้อย

นิยาม ความหนาของการสับไพ่แบบน้อย คือ จำนวนไพ่สำหรับกลางตั้งแต่ 6 ถึง 15 ไพ่

ให้ เป็นตัวแปรสุ่ม X แทน จำนวนไพ่สำหรับกลาง ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง สูตรสำหรับการแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ X คือ $U_1(x) = \frac{1}{10}$ เมื่อ $x = 6, 7, 8, \dots, 15$

ความหนาของการสับไพ่แบบน้อย สำหรับการสับไพ่วิธีที่ n คือ $T[1]_n(i)$ โดยนิยามสูตร $T[1]_n(i) = \lceil 9i + 6 \rceil$ เมื่อ $i \in U[0, 1]$

3.2.2.2 ความหนาของการสับไพ่แบบกลาง

นิยาม ความหนาของการสับไพ่แบบกลาง คือ จำนวนไพ่สำหรับกลางตั้งแต่ 16 ถึง 25 ไพ่

ให้ เป็นตัวแปรสุ่ม X แทน จำนวนไพ่สำหรับกลาง ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง สูตรสำหรับการแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ X คือ $U_2(x) = \frac{1}{10}$ เมื่อ $x = 16, 17, 18, \dots, 25$

ความหนาของการสับไพ่แบบกลาง สำหรับการสับไพ่วิธีที่ n คือ $T[2]_n(i)$ โดยนิยามสูตร $T[2]_n(i) = \lceil 9i + 16 \rceil$ เมื่อ $i \in U[0, 1]$

3.2.2.3 ความหนาของการสับไพ่แบบมาก

นิยาม ความหนาของการสับไพ่แบบมาก คือ จำนวนไพ่สำหรับกลางตั้งแต่ 26 ถึง 35 ไพ่

ให้ เป็นตัวแปรสุ่ม X แทน จำนวนไพ่สำหรับกลาง ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่

ต่อเนื่อง สูตรสำหรับการแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ X คือ $U_3(x) = \frac{1}{10}$ เมื่อ $x = 26, 27, 28, \dots, 35$ ความหนาของการสับไฟแบบน้อย สำหรับการสับไฟครั้งที่ n คือ $T[3]_n(i)$ โดยนิยามสูตร $T[3]_n(i) = \lceil 9i + 26 \rceil$ เมื่อ $i \in U[0, 1]$

หมายเหตุ

ให้ $R_n(i) = \lceil 52i \rceil$ แทน ตำแหน่งที่ทำการสับไฟในการสับไฟครั้งที่ n เมื่อ $i \in \text{Beta}(\alpha, \beta)$ ในกรณีที่ $x + R_n(i) > 52$ (ความหนาในบางตำแหน่ง มีค่าเกินตำแหน่งที่เป็นไปได้) ให้ทำการเปลี่ยนค่า โดยให้ $x = \lceil 52 - R_n(i) \rceil + 1$

3.2.3 ค่าระดับความสุ่ม (Randomness level)

จากการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของผู้สับไฟ และ ความหนาของการสับไฟ ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานั้น ประเด็นที่สำคัญคือ ผู้เล่นจะทราบได้อย่างไรว่า ไฟที่ทำการสับนั้นอยู่ในตำแหน่งโดยสุ่มอย่างแท้จริง สำหรับกฎเกณฑ์ที่ใช้วัดตำแหน่งของไฟว่าเป็นอย่างไรสุ่มหรือไม่ นั่นคือ ระดับความสุ่ม (Randomness level) ซึ่งได้มีผู้วิจัยหลายท่านได้นิยามถึง ระดับความสุ่มของการสับไฟไว้หลายรูปแบบซึ่งแตกต่างกันออกไป สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นิยาม ระดับความสุ่มของการสับไฟดังนี้

3.2.3.1 นิยามค่าระดับความสุ่ม

นิยาม ระดับความสุ่ม (randomness level) คือ ค่าของ $\delta(P_n)$ กำหนดโดย

$$\delta(P_n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{51} (|P_n(i+1) - P_n(i)| - \Delta \bar{P}_n)^2}{51}}$$

เมื่อ $P_n(i)$ แทนฟังก์ชันตำแหน่งของไฟไปที่ i หลังจากการสับไฟ ในการสับไฟครั้งที่ n โดยที่

$$i = 1, 2, 3, \dots, 52 \text{ และ } n \in \mathbb{N} \cup \{0\} \text{ และ } \Delta \bar{P}_n = \frac{\sum_{j=1}^{51} |P_n(j+1) - P_n(j)|}{51}$$

3.2.3.2 เกณฑ์ในการค่าระดับความสุ่มที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้จำเป็นต้องหาเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าค่าระดับความสุ่ม $\delta(P_n)$ ควร มีค่าเท่าใด จึงทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ จึงต้องสร้างแบบจำลองเพื่อหาเกณฑ์ในการ ตัดสิน

ขั้นตอนในการหาเกณฑ์ในการค่าระดับความสุ่มที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้

ขั้นตอนที่ 1 จำลองตัวอย่างลำดับไฟทั้งหมด 10,000 แบบ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าระดับความสุ่มทั้งหมดที่จำลองไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ค่าระดับความสุ่มทั้งหมด 10,000 ค่า โดยหารูปแบบการแจกแจงของ ตัวอย่างแล้วคำนวณหาค่า 5th Percentile คือ ค่าที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ ยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข้อสังเกต

1. จากการวิเคราะห์ค่าระดับความสุ่มของการสับไฟ สามารถสรุปได้ว่า ถ้า $\delta(P_n) > 10.1254$ จะทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
2. $P_0(i)$ หมายถึง ตำแหน่งของไฟใบที่ i ก่อนการสับไฟ โดยที่ $P_0(i) = i$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, 52$

3.2.4 ตัวแบบจำลองการสับไฟโดยการแจกแจงแบบเบตา

ในหัวข้อนี้ เป็นการกล่าวถึงตัวแบบการสับไฟโดยการแจกแจงแบบเบตา ซึ่งผู้วิจัยได้ กล่าวเนื้อหาส่วนที่ เกี่ยวข้องกับ นิยาม และ ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องไว้แล้วในเนื้อหาข้างต้น เพื่อใช้ เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการสร้างตัวแบบ โดยผู้วิจัยได้กล่าวเป็นขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาตัวแบบที่ทำการศึกษา

- 1.1 ถ้าผู้ทำการทดลองการสับไฟมีพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน ดังนั้น รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ เป็นแบบ $Beta(4.4375, 13.3125)$

ถ้าผู้ทำการทดลองการสับไฟมีพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง ดังนั้น รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ เป็นแบบ $Beta(12, 12)$

ผู้ทำการทดลองการสับไฟมีพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง ดังนั้น รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ เป็นแบบ $Beta(13.3125, 4.4375)$

1.2 ถ้าความหนาของการสับไฟแบบนี้ด้อย ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกไฟสำหรับกลาง จำนวนไฟสำหรับกลางตั้งแต่ 6 ถึง 15 ไบ มีค่าเป็น 0.1 เท่ากันทุก ๆ ค่า

ถ้าความหนาของการสับไฟแบบนี้ด้อย ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกไฟสำหรับกลาง จำนวนไฟสำหรับกลางตั้งแต่ 16 ถึง 25 ไบ มีค่าเป็น 0.1 เท่ากันทุก ๆ ค่า

ถ้าความหนาของการสับไฟแบบนี้ด้อย ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกไฟสำหรับกลาง จำนวนไฟสำหรับกลางตั้งแต่ 26 ถึง 35 ไบ มีค่าเป็น 0.1 เท่ากันทุก ๆ ค่า

ขั้นที่ 2 พิจารณาถึงลำดับของไฟ

ก่อนทำการสับไฟทั้ง 52 ไบเรียงดังต่อไปนี้ กำหนดให้ไฟไบที่ i อยู่ในตำแหน่งที่ $P_0(i)$ จะได้ว่า $P_0(i) = i$ เมื่อ $i \in \{1, 2, 3, \dots, 52\}$

ขั้นที่ 2.1 เลือกตำแหน่งที่ทำการสับไฟ

ทำการสุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบ $Beta(\alpha, \beta)$ เมื่อ $\alpha > 0, \beta > 0$ จำนวน 1 ค่า แล้วแปลงเป็นตำแหน่งที่ทำการสับไฟในการสับไฟครั้งที่ n $R_n(i)$ โดยนิยามสูตรได้ดังนี้

$$R_n(i) = \lceil 52i \rceil \quad \text{เมื่อ } i \in Beta(\alpha, \beta) \quad \text{เมื่อ } \alpha > 0, \beta > 0$$

$$n = \text{การสับไฟ ครั้งที่ } n$$

ขั้นที่ 2.2 เลือกความหนาของการสับไฟ

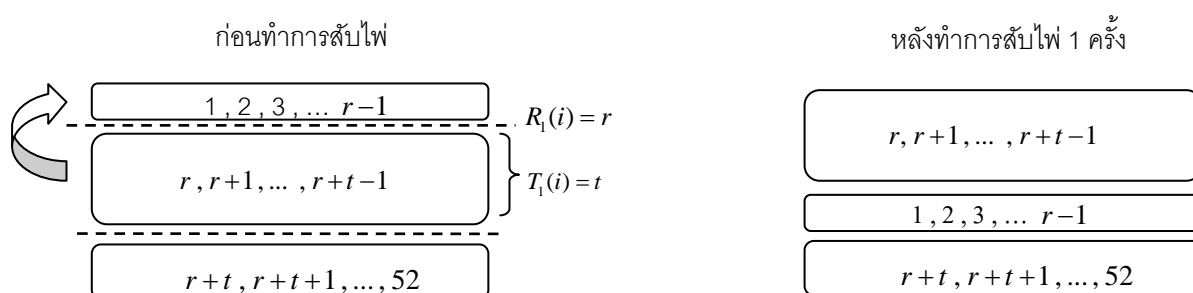
ทำการสุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง แล้วแปลงเป็นความหนาของการสับไฟ เพื่อให้เกิดความเข้าใจ สมมติผู้วิจัยได้เลือกความหนาของการสับไฟแบบกลางในการสับไฟครั้งที่ n คือ $T[2]_n(i)$ โดยนิยามสูตรได้ดังนี้

$$T[2]_n(i) = \lceil 9i + 16 \rceil \text{ เมื่อ } i \in U[0, 1]$$

ขั้นที่ 3 พิจารณาการสับไพ่ตามขั้นตอนต่อไปนี้

สับไพ่ครั้งที่ 1 สมมติได้ค่า $R_1(i) = r$ และ $T[2]_1(i) = t$

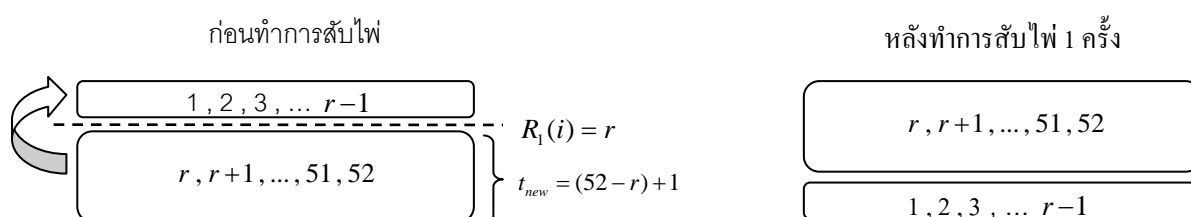
กรณีที่ 1 ถ้า $r + t < 52$ เป็นการสับแบบ the some overhand shuffling เขียนเป็นแผนภาพ ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.4



รูปภาพที่ 3.4 สับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ the some overhand shuffling ที่ค่า

$$R_1(i) = r \text{ และ } T[2]_1(i) = t$$

กรณีที่ 2 ถ้า $R_1(i) = r + t > 52$ เป็นการสับแบบ the all overhand shuffling ต้องทำการเปลี่ยนค่าโดยให้ $t_{new} = (52 - r) + 1$ เขียนเป็นแผนภาพ ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.5



รูปภาพที่ 3.5 สับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ the all overhand shuffle ที่ค่า

$$R_1(i) = r \text{ และ } t_{new} = (52 - r) + 1$$

หรืออาจกล่าว ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ในครั้งที่ n เป็นอันดับของฟังก์ชันได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้า $r+t < 52$ เป็นการสับแบบ the some overhand shuffling เขียนเป็นอันดับของฟังก์ชันได้ดังนี้

กำหนดให้ $P_n(i)$ แทนฟังก์ชันลำดับของไพ่ใบที่ i หลังจากการสับไพ่ ในการสับไพ่ครั้งที่ n โดยที่ $i=1,2,3,\dots,52$, $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ และ $P_0(i) = i$

จากการสับไพ่ครั้งที่ 1 สมมติได้ค่า $R_1(i) = r$ และ $T[2]_1(i) = t$ จากนิยามข้างต้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned} S_0 &= (P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(r-1), P_0(r), \dots, P_0(r+t-1), P_0(r+t), \dots, P_0(52)) \\ &= (1, 2, \dots, r-1, r, \dots, r+t-1, r+t, \dots, 52) \end{aligned}$$

เมื่อ S_0 แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด ก่อนการสับไพ่

$$\begin{aligned} S_1 &= (P_1(1), P_1(2), \dots, P_1(r-1), P_1(r), \dots, P_1(r+t-1), P_1(r+t), \dots, P_1(52)) \\ &= (P_0(r), \dots, P_0(r+t-1), P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(r-1), P_0(r+t), \dots, P_0(52)) \\ &= (r, \dots, r+t-1, 1, 2, \dots, r-1, r+t, \dots, 52) \end{aligned}$$

เมื่อ S_1 แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด ที่ได้จากการสับไพ่ 1 ครั้ง

กรณีที่ 2 ถ้า $R_1(i) = r+t > 52$ เป็นการสับแบบ the all overhand shuffling ต้องทำการเปลี่ยนค่าโดยให้ $t_{new} = (52-r)+1$ แล้วเขียนเป็นอันดับของฟังก์ชัน

จากการสับไพ่ครั้งที่ 1 สมมติได้ค่า $R_1(i) = r$ และ $T[2]_1(i) = t$ จากนิยามข้างต้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned} S_0 &= (P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(r-1), P_0(r), \dots, P_0(52)) \\ &= (1, 2, \dots, r-1, r, \dots, 52) \end{aligned}$$

เมื่อ S_0 แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด ก่อนการสับไพ่

$$S_1 = (P_1(1), P_1(2), \dots, P_1(r-1), P_1(r), \dots, P_1(52))$$

$$S_1 = (P_0(r), \dots, P_0(52), P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(r-1))$$

$$= (r, \dots, 52, 1, 2, \dots, r-1)$$

เมื่อ S_1 แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด ที่ได้จากการสับไพ่ 1 ครั้ง

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าระดับความสุ่มของการสับไพ่ (randomness level of card shuffle)

คือ ค่าของ $\delta(P_n)$ กำหนดโดย

$$\delta(P_n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{51} (|P_n(i+1) - P_n(i)| - \Delta\bar{P}_n)^2}{51}}$$

เมื่อ $P_n(i)$ แทนฟังก์ชันตำแหน่งของไพ่ใบที่ i หลังจากการสับไพ่ ในการสับไพครั้งที่ n โดยที่ $i=1, 2, 3, \dots, 52$ และ $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$

$$\text{และ } \Delta\bar{P}_n = \frac{\sum_{j=1}^{51} |P_n(j+1) - P_n(j)|}{51}$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า $\delta(P_n)$

กรณีที่ $\delta(P_n) < 10.1254$ ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 - 4

กรณีที่ $\delta(P_n) \geq 10.1254$ จบการทำงาน

ค่าของ n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ $\delta(P_n) \geq 10.1254$ เรียกว่า จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไพ่มีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้

หมายเหตุ ในการวิจัยได้กำหนดขอบเขตของการสับไว้มากที่สุดคือ 50 ครั้ง

3.2.5 ตัวแบบจำลองการสับไพ่โดยการแจกแจงแบบเบตาที่ใช้ในงานวิจัย

ในหัวข้อนี้จะสร้างตัวแบบจำลองการสับไพ่แบบ overhand shuffling และจำนวนการสับไพ่โดยกำหนดให้รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่นั้นเป็นแบบเบตา และการแจกแจงความหนาของการสับไพ่เป็นแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแบบการสับไพ่ โดยการจำลองตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ

ประเภทพฤติกรรมของผู้สับไพ่มี่ทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่ส่วนบน

ประเภทที่ 2 พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่อส่วนกลาง

ประเภทที่ 3 พฤติกรรมผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่อส่วนล่าง

ความหนาของการสับไพ่มี่ทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 ความหนาของการสับไพ่แบบน้อย

ประเภทที่ 2 ความหนาของการสับไพ่แบบกลาง

ประเภทที่ 3 ความหนาของการสับไพ่แบบมาก

จากข้อกำหนดพฤติกรรมของผู้สับไพ่แบบแบ่งประเภท และ ความหนาของการสับไพ่ สามารถสร้างตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 9 ตัวแบบ ดังนี้

ตัวแบบที่ 1 ตัวแบบผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่อส่วนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบน้อย

(Model 1 top-card-low-thickness)

ตัวแบบที่ 2 ตัวแบบผู้สับไพ่ที่เลือกสับไพ่อส่วนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง

(Model 2 top-card-moderate-thickness)

ตัวแบบที่ 3 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

(Model 3 top-card-high-thickness)

ตัวแบบที่ 4 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้

(Model 4 middle-card-low-thickness)

ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

(Model 5 middle-card-moderate-thickness)

ตัวแบบที่ 6 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

(Model 6 middle-card-high-thickness)

ตัวแบบที่ 7 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้

(Model 7 under-card-low-thickness)

ตัวแบบที่ 8 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

(Model 8 under-card-moderate-thickness)

ตัวแบบที่ 9 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

(Model 9 under-card-high-thickness)

จากตัวแบบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟและความหนาของการสับไฟ (ใบ) ในตัวแบบที่ 1 – 9

ชื่อตัวแบบ	การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ	ความหนาของการสับไฟ (ใบ)
Model 1 top-card-low-thickness	$Beta(4.4375, 13.3125)$	6 – 15
Model 2 top-card-moderate thickness	$Beta(4.4375, 13.3125)$	16 – 25
Model 3 top-card-high-thickness	$Beta(4.4375, 13.3125)$	26 – 35
Model 4 middle-card-low thickness	$Beta(12, 12)$	6 – 15
Model 5 middle-card-moderate thickness	$Beta(12, 12)$	16 – 25
Model 6 middle-card-high thickness	$Beta(12, 12)$	26 – 35
Model 7 under-card-low-thickness	$Beta(13.3125, 4.4375)$	6 – 15
Model 8 under-card-moderate thickness	$Beta(13.3125, 4.4375)$	16 – 25
Model 9 under-card-high thickness	$Beta(13.3125, 4.4375)$	26 – 35

3.2.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสับสนกับจำนวนครั้งที่สับไฟ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสับสนกับจำนวนครั้งที่สับไฟศึกษาทั้งหมด 9 ตัวแบบ โดยขอบเขตของจำนวนครั้งที่สับ นั้นเริ่มตั้งแต่ 1 – 50 ครั้งเท่านั้น โดยขั้นตอนการศึกษาแต่ละตัวแบบมีดังต่อไปนี้

3.2.6.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสับสนกับจำนวนครั้งที่สับไฟของตัวแบบที่ 1

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองตัวแบบที่ 1 ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มต้นการสร้าง โดยให้จำนวนครั้งที่สับไฟ $i = 1$

ขั้นที่ 2 เริ่มสร้างตัวแบบที่ 1 โดยสับไฟจำนวน i ครั้ง พร้อมทั้งสุ่มค่าตำแหน่งที่ทำการสับไฟ $t \in \text{Beta}(4.4375, 13.3125)$ และ ความหนาของการสับไฟ $r \in \{6, 7, \dots, 15\}$ ความน่าจะเป็นที่เท่ากัน คือ 0.1

ขั้นที่ 3 พิจารณาว่า $r + t < 52$ หรือไม่

ขั้นที่ 3.1 ถ้าคำตอบคือ “ใช่” ให้ทำการสับไฟแบบ the some overhand shuffling

ขั้นที่ 3.2 ถ้าคำตอบคือ “ไม่ใช่” ให้ทำการสับไฟแบบ the all overhand shuffling

ขั้นที่ 4 ทำซ้ำขั้นที่ 2 ถึง 3 จำนวน i รอบ

ขั้นที่ 5 คำนวณค่าระดับความสับสน $\delta(P_n)$

ขั้นที่ 6 ทำซ้ำตั้งแต่ ขั้นที่ 2 ถึง 5 จำนวน 10,000 รอบ

ขั้นที่ 7 คำนวณค่า $E(\delta(P_n))$ 2.5th Percentile , 97.5th Percentile จากตัวอย่างที่ได้จากการจำลอง $N = 10,000$

ขั้นที่ 8 จำลองตัวแบบที่ 1 ใหม่โดยสับไฟทั้งหมด i ครั้ง โดยเปลี่ยนค่า i โดยที่

$$i = 2, 3, \dots, 50 \text{ ตามลำดับ}$$

จากนั้นทำซ้ำตั้งแต่ ขั้นที่ 1 – 7

3.2.6.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งที่สับไฟของ ตัวแบบที่ 2 – 9

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองตัวแบบที่ 2 – 9 ตามขั้นตอน ซึ่งเหมือนกับตัวแบบที่ 1 (ในหัวข้อที่ 3.2.6.1) แต่เปลี่ยนรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ และ ความหนาของการสับไฟ ในขั้นที่ 2 โดยเลือกค่าให้สอดคล้องในแต่ละตัวแบบ โดยใช้ค่าตามตารางที่ 3.2

3.2.7 การศึกษาจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีค่าระดับความสุ่มที่ยอมรับได้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีค่าระดับความสุ่มที่ยอมรับได้โดยศึกษาทั้งหมด 9 ตัวแบบ โดยอาศัยข้อมูลจากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสุ่ม กับจำนวนครั้งที่สับไฟ ในหัวข้อที่ 3.2.6 มาช่วยในการวิเคราะห์ได้ โดยการสังเกตจากจำนวนครั้งที่สับครั้งที่ n ถ้า ค่าของ n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ $\delta(P_n) \geq 10.1254$ เรียกว่า จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้

แต่ถ้าค่าของ $\delta(P_n) < 10.1254$ ทุก $n = 1, 2, \dots, 50$ สรุปได้ว่า ระดับความสุ่มไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แม้จะทำการสับไฟแล้วถึง 50 ครั้ง

3.2.8 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม กับความหนาของการสับไฟ

นิยาม เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟครั้งที่ n (d_n) หาได้จากสูตร

$$d_n = \frac{E[\delta(P_n)] - E[\delta(P_{n-1})]}{E[\delta(P_{n-1})]} \times 100\%$$

ผู้วิจัยได้คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟครั้งที่ n (d_n)

โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการจำลองตัวแบบที่ 1 – 9 โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาข้อมูล $E[\delta(P_1)], E[\delta(P_2)], \dots, E[\delta(P_{50})]$ ที่ได้จากการจำลองแต่ละตัวแบบ

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} โดยใช้สูตร

$$d_n = \frac{E[\delta(P_n)] - E[\delta(P_{n-1})]}{E[\delta(P_{n-1})]} \times 100\% \quad \text{ทุก } n = 2, 3, \dots, 50$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d]$ ของแต่ละตัวแบบ

โดยใช้สูตร $E[d] = \frac{\sum_{i=2}^{50} (d_i)}{49}$ และค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของ ค่า

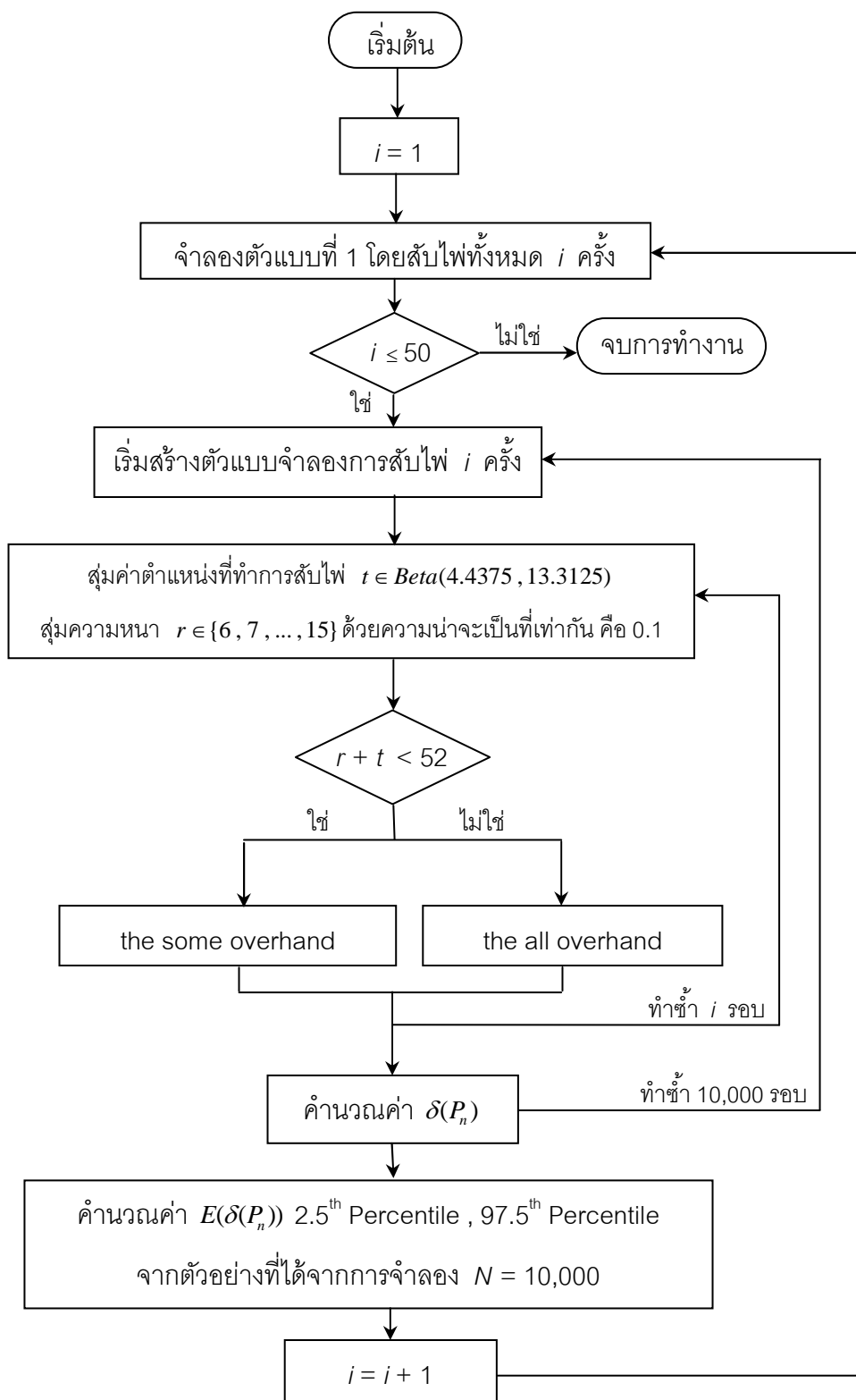
ระดับความสุ่ม $Var[\% \Delta]$ ของ แต่ละตัวแบบ โดยใช้สูตร

$$Var[d] = \frac{\sum_{i=2}^{50} (d_i - E[d])^2}{49}$$

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d]$ แล้ว ผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d]$ กับความหนาของการสับไฟ ซึ่งมีความหนาแบบน้อย ความหนาแบบกลาง และ ความหนาแบบมาก ตามลำดับ

3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

รูปภาพที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 1 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย) กับจำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง



สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูง
ในตัวแบบที่ 2 – 9 นั้น เหมือนกับตัวแบบที่ 1 แต่เปลี่ยนรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการ
สับไฟ และ ความหนาของการสับไฟ ให้สอดคล้องในแต่ละตัวแบบ โดยใช้ค่าตามตารางที่ 3.2

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน โดยในส่วนที่ (1) เป็นการแสดงค่าระดับความถี่ที่จำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง ของตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ ส่วนที่ (2) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความถี่กับความหนาของการสับไฟ ทั้งหมด 9 ตัวแบบ

4.1 ผลการทดลอง ค่าระดับความถี่ที่จำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง ทั้ง 9 ตัวแบบ

4.1.1 ตัวแบบที่ 1 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟ แบบน้อย

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 1 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	3.171702	0.6645458	1.722591	4.883967	0
2	3.935448	0.8948433	2.081574	5.736367	0
3	4.547668	1.080278	2.667798	6.745488	0
4	4.965796	1.185503	3.024814	7.277053	0
5	5.374451	1.263253	3.369296	7.754617	0
6	5.707842	1.300221	3.657191	8.107195	0
7	5.969159	1.368073	3.900517	8.48705	0
8	6.214512	1.345308	4.110339	8.668941	0
9	6.417584	1.372636	4.24652	8.836312	0

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
10	6.607495	1.420390	4.425289	9.155363	0
11	6.778155	1.427414	4.607635	9.305364	0
12	6.945112	1.423443	4.793933	9.437258	0
13	7.072798	1.405967	4.906784	9.553495	0
14	7.221469	1.438735	5.047058	9.732352	0
15	7.337363	1.421437	5.127258	9.835501	0
16	7.429698	1.423657	5.26013	9.913374	0
17	7.525979	1.431412	5.363668	10.05280	0
18	7.631972	1.415696	5.480122	10.12830	0.00062
19	7.679731	1.401947	5.523758	10.21177	0.01842
20	7.793299	1.373589	5.640509	10.22385	0.02147
21	7.863195	1.406890	5.696046	10.38453	0.05526
22	7.92209	1.386043	5.782462	10.39211	0.05785
23	7.994145	1.366433	5.8284	10.43753	0.06771
24	8.051308	1.370422	5.918304	10.49609	0.08097
25	8.110059	1.333396	5.970377	10.50281	0.08326
26	8.150566	1.377211	6.007732	10.61809	0.10686
27	8.195344	1.350930	6.041267	10.64720	0.11328
28	8.240354	1.311151	6.135754	10.6557	0.11732
29	8.283901	1.29068	6.189777	10.65202	0.11801
30	8.32241	1.311370	6.203621	10.69799	0.12740
31	8.366296	1.286408	6.254822	10.68674	0.12665
32	8.386311	1.302169	6.280832	10.75552	0.14081
33	8.438	1.256358	6.387196	10.82253	0.15717
34	8.46829	1.267956	6.411855	10.80455	0.15460
35	8.504761	1.219285	6.465533	10.84238	0.16381
36	8.533405	1.282736	6.473052	10.90828	0.17651
37	8.567085	1.235694	6.517859	10.89413	0.17565
38	8.57962	1.224071	6.526025	10.92393	0.18157

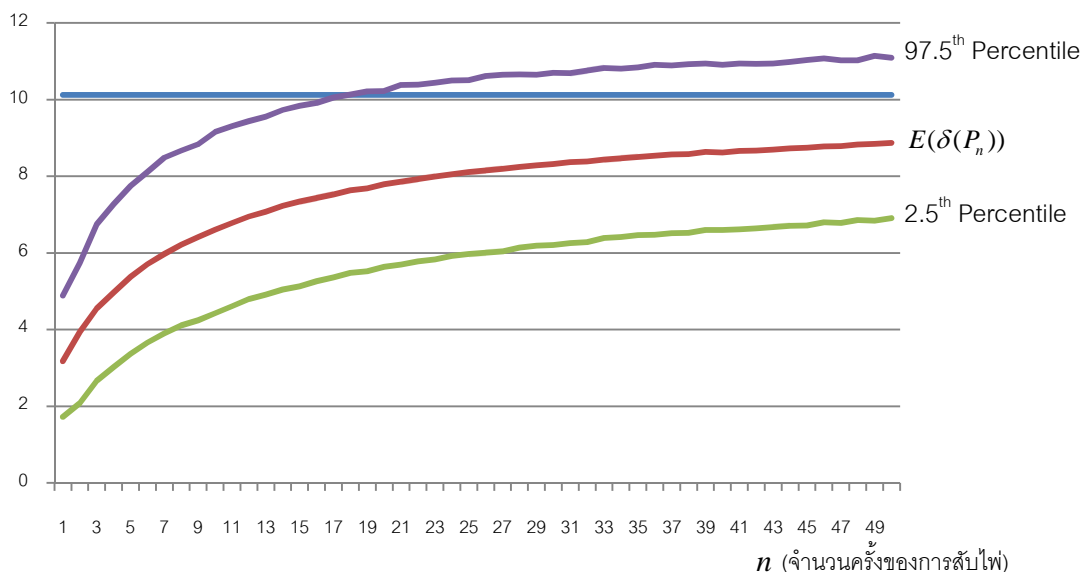
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th

Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
39	8.635828	1.232123	6.595778	10.94039	0.18758
40	8.619863	1.209830	6.601405	10.91031	0.18215
41	8.658941	1.212589	6.617974	10.94201	0.18885
42	8.673054	1.183507	6.643302	10.93449	0.18854
43	8.69532	1.178190	6.675708	10.94121	0.19125
44	8.723957	1.162235	6.706209	10.98255	0.20044
45	8.746056	1.199229	6.712896	11.03163	0.20983
46	8.779761	1.186573	6.798437	11.07056	0.22123
47	8.787287	1.153038	6.778524	11.02104	0.21111
48	8.82721	1.137502	6.85848	11.02479	0.21587
49	8.843769	1.154246	6.838617	11.14026	0.23592
50	8.866339	1.149614	6.90444	11.08865	0.23021

รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าระดับความสูงของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย (ตัวแบบที่ 1)

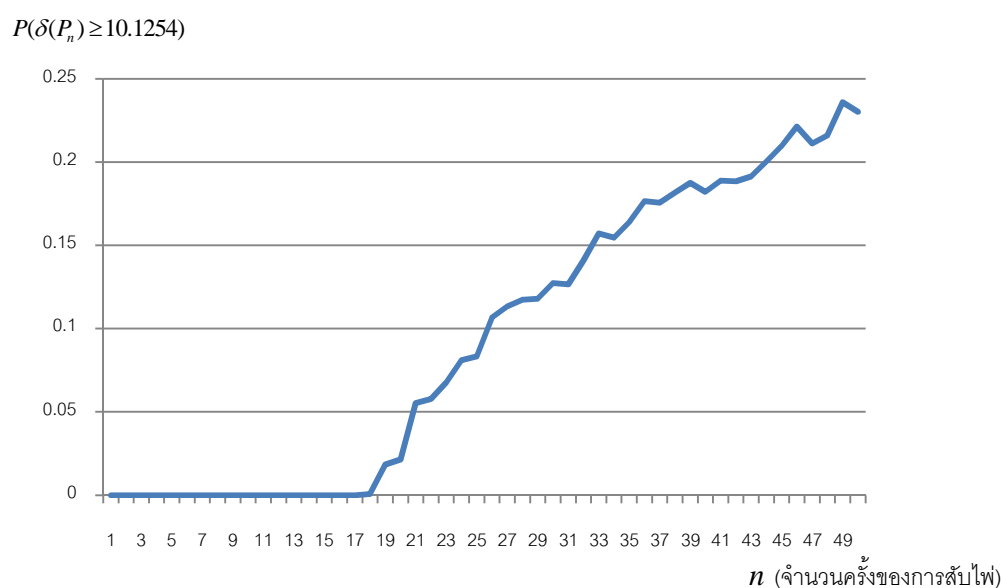
ค่าระดับความสูงของไฟ



พิจารณาตัวแบบที่ 1 จากรูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความ
 สุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] < 10.1254$
 ทุกค่า $n \leq 50$ โดยที่ $6.9044 \leq \delta(P_{50}) \leq 11.0887$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{50})]$
 มีค่าเท่ากับ 8.8663

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 1 มีค่าระดับความสุ่มไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แม้จะทำการสับไฟ
 แล้วถึง 50 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 1 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก
 สับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 1 ตัวแบบผู้สับไฟที่
 เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง
 พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 17$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้ม
 เพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 17$ เป็นต้นไป

4.1.2 ตัวแบบที่ 2 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 1 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.2 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

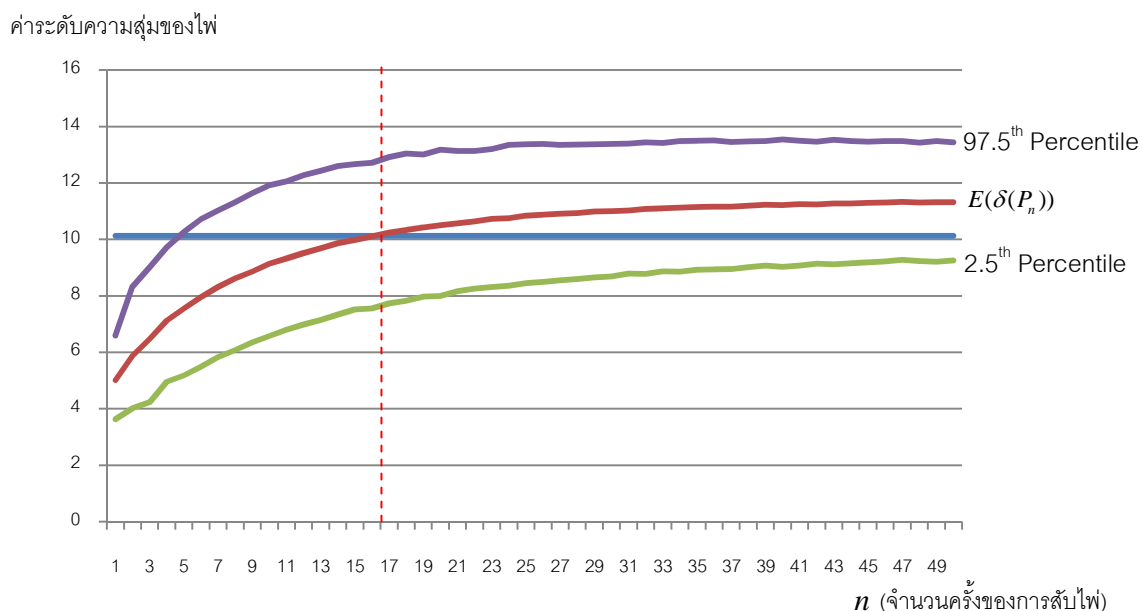
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	5.008891	0.5824292	3.624959	6.596458	0
2	5.872197	1.117735	4.016115	8.321295	0
3	6.480139	1.405494	4.230971	9.02208	0
4	7.123038	1.509125	4.95966	9.723703	0
5	7.557723	1.666376	5.184087	10.26339	0.02716
6	7.953666	1.742257	5.489685	10.72263	0.11412
7	8.314156	1.767943	5.830291	11.02822	0.17368
8	8.616617	1.773599	6.079492	11.31734	0.22756
9	8.864516	1.809447	6.35317	11.64001	0.28648
10	9.142744	1.838535	6.58426	11.92198	0.33658
11	9.326244	1.819397	6.797505	12.05442	0.36694
12	9.517991	1.808553	6.982512	12.26972	0.40556
13	9.691555	1.813898	7.145587	12.42758	0.43585
14	9.865213	1.81407	7.334101	12.60618	0.47055
15	9.982377	1.727951	7.522661	12.67214	0.49456
16	10.10221	1.722037	7.559717	12.71493	0.50231
17	10.23784	1.732042	7.73318	12.92275	0.53903
18	10.33570	1.737095	7.832282	13.04937	0.56046
19	10.42167	1.640766	7.971418	13.01057	0.5725
20	10.50242	1.703332	7.996007	13.18329	0.58949
21	10.57519	1.63881	8.162098	13.13489	0.6051
22	10.63596	1.561501	8.262689	13.13608	0.61777
23	10.73503	1.559359	8.313894	13.20763	0.62983
24	10.75618	1.579032	8.355638	13.35437	0.64595

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	10.83913	1.546205	8.454425	13.37349	0.66030
26	10.87738	1.534953	8.499832	13.37977	0.66688
27	10.90753	1.476369	8.55647	13.35192	0.67282
28	10.93976	1.472864	8.598872	13.366	0.67978
29	10.99709	1.451074	8.65834	13.37210	0.68877
30	11.00669	1.434221	8.692886	13.38777	0.69487
31	11.02640	1.374565	8.79579	13.398	0.71109
32	11.07961	1.407945	8.776893	13.44334	0.71102
33	11.10631	1.328235	8.871267	13.42056	0.72432
34	11.1263	1.38503	8.859164	13.48972	0.72654
35	11.15508	1.328923	8.923825	13.49553	0.73717
36	11.16068	1.336080	8.934373	13.50698	0.73952
37	11.16492	1.299020	8.94817	13.45230	0.73863
38	11.20103	1.283910	9.021479	13.47215	0.75196
39	11.22962	1.280633	9.077811	13.48989	0.76256
40	11.22353	1.293662	9.027746	13.54154	0.75682
41	11.24917	1.269821	9.076622	13.50358	0.76309
42	11.24491	1.204666	9.147683	13.46773	0.77367
43	11.27290	1.240597	9.11853	13.52798	0.77165
44	11.27965	1.209741	9.157983	13.48185	0.77626
45	11.29420	1.187136	9.18937	13.46218	0.78093
46	11.30707	1.161753	9.221356	13.48141	0.78778
47	11.33399	1.154273	9.283818	13.48852	0.79984
48	11.31212	1.176665	9.234977	13.43584	0.78803
49	11.31874	1.157398	9.214552	13.49100	0.78701
50	11.32586	1.137513	9.251009	13.43676	0.79110

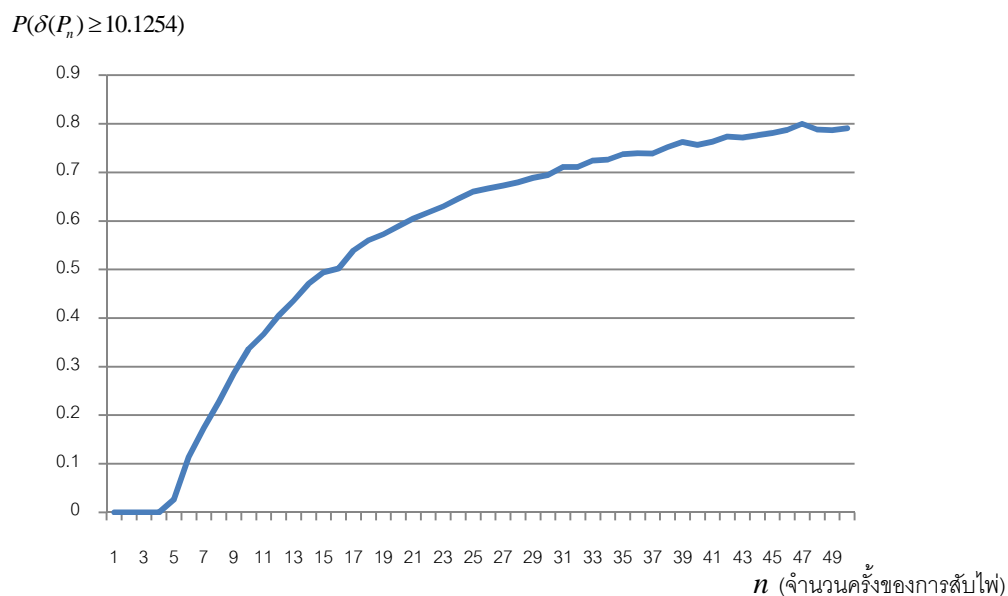
รูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง (ตัวแบบที่ 2)



พิจารณาตัวแบบที่ 2 จากรูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 17$ โดยที่ $7.7331 \leq \delta(P_{17}) \leq 12.9227$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{17})]$ มีค่าเท่ากับ 10.2378

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 2 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 17 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 2 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 2 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 4$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 4$ เป็นต้นไป

4.1.3 ตัวแบบที่ 3 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 3 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

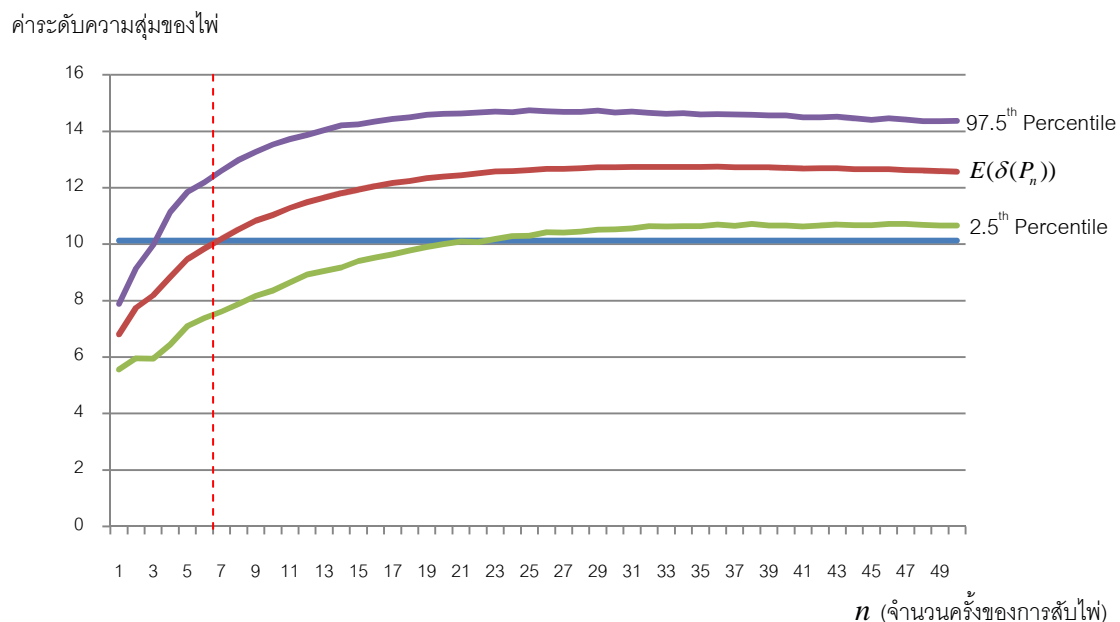
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	6.805339	0.3690272	5.554179	7.887083	0
2	7.751947	0.6520012	5.95878	9.147942	0
3	8.19363	1.012766	5.944836	9.970632	0
4	8.836743	1.339341	6.440614	11.13950	0.21581
5	9.472589	1.480280	7.106499	11.8537	0.36406
6	9.851375	1.538773	7.382628	12.18869	0.42930
7	10.18342	1.628543	7.60664	12.60419	0.49600
8	10.52352	1.673427	7.88629	12.98657	0.56098
9	10.83019	1.677570	8.162706	13.26953	0.61567
10	11.04181	1.739723	8.357248	13.52997	0.65817
11	11.28235	1.667979	8.647035	13.7215	0.70866
12	11.48586	1.617711	8.926307	13.87068	0.75748
13	11.64706	1.613324	9.053386	14.03771	0.78492
14	11.81028	1.645669	9.180445	14.21271	0.81222
15	11.93029	1.559209	9.401604	14.24571	0.85058
16	12.05570	1.539663	9.525692	14.35317	0.87577
17	12.16884	1.502758	9.640915	14.43807	0.89900
18	12.24460	1.467098	9.77921	14.49362	0.92656
19	12.34150	1.455439	9.901814	14.58534	0.95226
20	12.40125	1.383070	10.00320	14.62132	0.97353
21	12.44891	1.353282	10.09607	14.63540	0.99353
22	12.51625	1.35908	10.07285	14.66542	0.98855
23	12.57723	1.309267	10.19128	14.70193	1
24	12.58989	1.27564	10.28506	14.67623	1

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	12.62504	1.278075	10.30009	14.7422	1
26	12.66544	1.189848	10.42057	14.70662	1
27	12.67467	1.197356	10.41078	14.68504	1
28	12.69403	1.183463	10.44916	14.68771	1
29	12.73043	1.157984	10.51453	14.73328	1
30	12.72485	1.124477	10.52533	14.66640	1
31	12.73644	1.115562	10.55760	14.70496	1
32	12.73550	1.092298	10.63523	14.6507	1
33	12.74147	1.064794	10.62610	14.62652	1
34	12.74160	1.042945	10.64082	14.64327	1
35	12.73288	1.020904	10.63767	14.60383	1
36	12.74700	1.002136	10.69758	14.60808	1
37	12.7243	1.010316	10.64797	14.59285	1
38	12.72735	1.005793	10.71755	14.58510	1
39	12.72247	0.9902613	10.66283	14.55962	1
40	12.70137	0.9968435	10.66108	14.56328	1
41	12.67993	0.9699677	10.62470	14.49863	1
42	12.6879	0.9499648	10.66830	14.49849	1
43	12.69148	0.945621	10.69345	14.51977	1
44	12.65481	0.9307095	10.67936	14.46162	1
45	12.65678	0.9090242	10.67055	14.40822	1
46	12.65346	0.9128002	10.72051	14.45924	1
47	12.62164	0.8931925	10.72292	14.42245	1
48	12.61178	0.894147	10.68485	14.36086	1
49	12.59079	0.8798196	10.665	14.35592	1
50	12.56838	0.8898213	10.66181	14.37120	1

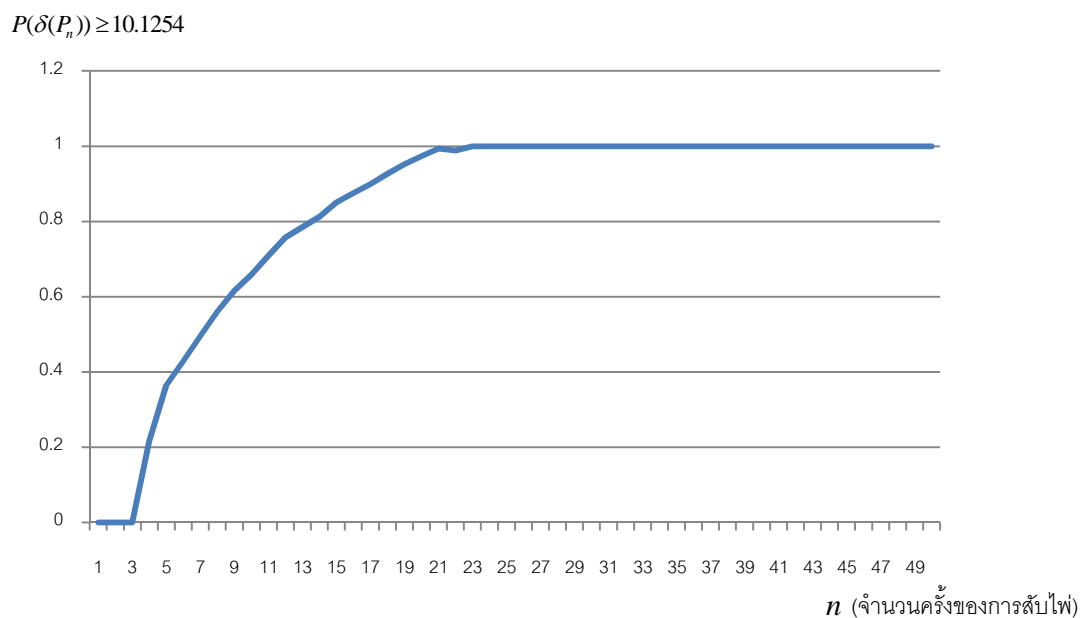
รูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 3)



พิจารณาตัวแบบที่ 3 จากรูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 7$ โดยที่ $7.6066 \leq \delta(P_7) \leq 12.6042$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{17})]$ มีค่าเท่ากับ 10.1834

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 3 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ คือ 7 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 3 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 3 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 3$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 3$ และค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ จะคงที่เท่ากับ 1 เมื่อ $n \geq 23$ เป็นต้นไป

4.1.4 ตัวแบบที่ 4 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 4 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.4 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

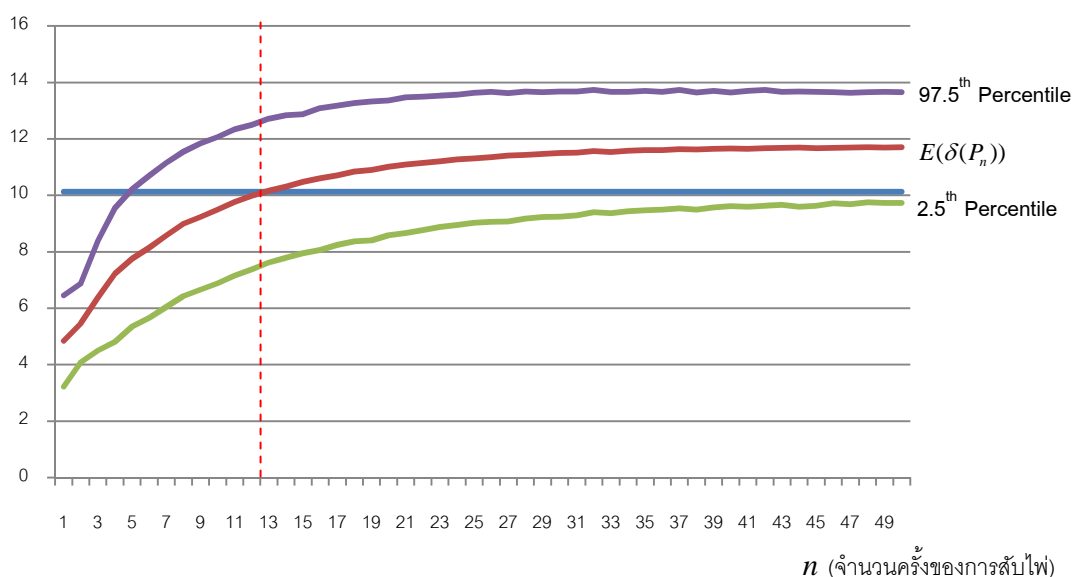
จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	4.841709	0.6866598	3.22476	6.459587	0
2	5.459338	0.5090011	4.089575	6.878943	0
3	6.370797	1.035996	4.498695	8.396268	0
4	7.227072	1.494509	4.808431	9.552222	0
5	7.760653	1.562769	5.354403	10.22169	0.01978
6	8.146173	1.664334	5.663835	10.70177	0.11440
7	8.580817	1.71436	6.050356	11.15398	0.20154
8	8.993269	1.725633	6.42862	11.54813	0.27790
9	9.236116	1.728034	6.658744	11.83933	0.33083
10	9.497356	1.750829	6.890842	12.07193	0.37569
11	9.76223	1.727054	7.160223	12.33786	0.42731
12	9.977827	1.724959	7.370604	12.50493	0.46345
13	10.16715	1.656235	7.62821	12.71149	0.50874
14	10.31555	1.652255	7.791653	12.84243	0.53794
15	10.48463	1.596218	7.9557	12.87681	0.55910
16	10.60693	1.617920	8.065388	13.09244	0.59021
17	10.70980	1.577646	8.246181	13.18195	0.61926
18	10.84008	1.532766	8.376826	13.2676	0.64247
19	10.89577	1.539588	8.411179	13.32742	0.65131
20	11.01984	1.474853	8.584206	13.36036	0.67731
21	11.09145	1.504906	8.66216	13.47186	0.69577
22	11.14889	1.439141	8.763327	13.50308	0.71262
23	11.21091	1.405900	8.876392	13.53354	0.73180
24	11.27717	1.403424	8.951405	13.56370	0.74546

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	11.31176	1.365414	9.027752	13.63007	0.76150
26	11.34937	1.363450	9.067087	13.66601	0.769878
27	11.40692	1.351610	9.0712	13.61754	0.76812
28	11.43383	1.310055	9.1807	13.68195	0.79012
29	11.46299	1.276426	9.238944	13.65980	0.79948
30	11.49905	1.294589	9.24294	13.67841	0.80104
31	11.51368	1.248604	9.291006	13.67708	0.80976
32	11.56919	1.236077	9.40644	13.73632	0.83395
33	11.54073	1.214601	9.372028	13.66402	0.82447
34	11.58672	1.180881	9.439308	13.67157	0.83789
35	11.60443	1.167512	9.468231	13.70718	0.84496
36	11.60476	1.145243	9.494699	13.67279	0.84904
37	11.63387	1.135686	9.54255	13.73162	0.86086
38	11.62403	1.120074	9.4991	13.64727	0.84901
39	11.64389	1.091051	9.574239	13.70318	0.86651
40	11.66097	1.080271	9.622309	13.64582	0.87496
41	11.65495	1.075282	9.594462	13.69700	0.87058
42	11.67456	1.078011	9.629133	13.73471	0.87912
43	11.68434	1.059290	9.667134	13.6734	0.88561
44	11.70011	1.049745	9.597846	13.68377	0.87088
45	11.67628	1.039433	9.629807	13.66829	0.87728
46	11.68816	1.007444	9.722236	13.6591	0.89759
47	11.69156	1.005934	9.690267	13.63820	0.88978
48	11.70816	0.9970875	9.757855	13.66069	0.90582
49	11.69939	0.9878606	9.73774	13.66981	0.90141
50	11.70597	0.9867757	9.732188	13.66012	0.89989

รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย (ตัวแบบที่ 4)

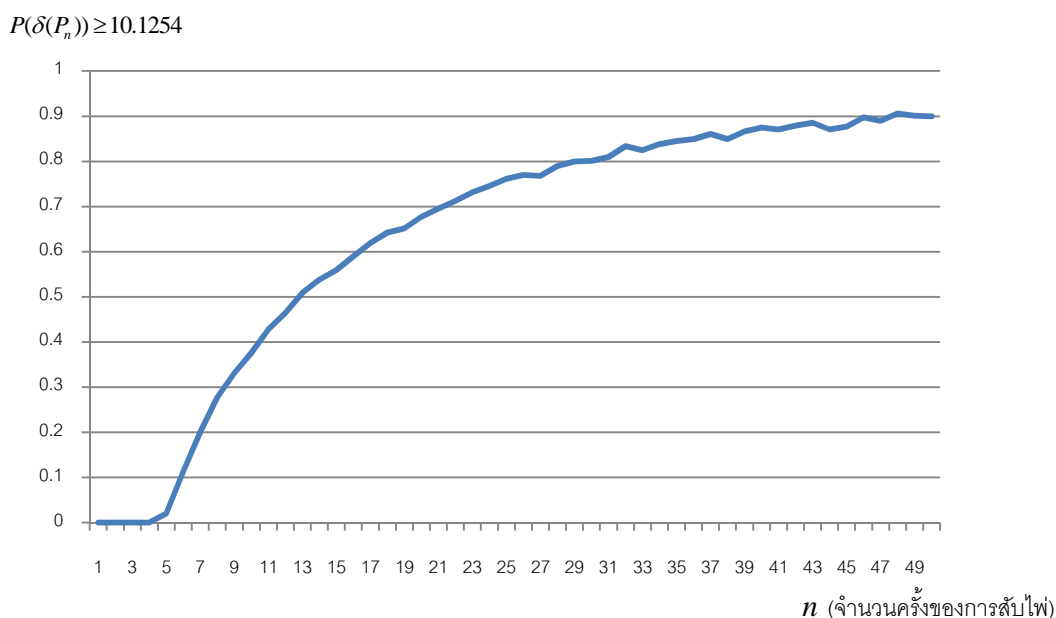
ค่าระดับความสุ่มของไฟ



พิจารณาตัวแบบที่ 4 จากรูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 13$ โดยที่ $7.6282 \leq \delta(P_{13}) \leq 12.71149$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{13})]$ มีค่าเท่ากับ 10.1672

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 4 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 13 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 4 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้ เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 4 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้ เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 4$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 4$ เป็นต้นไป

4.1.5 ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 5 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.5 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

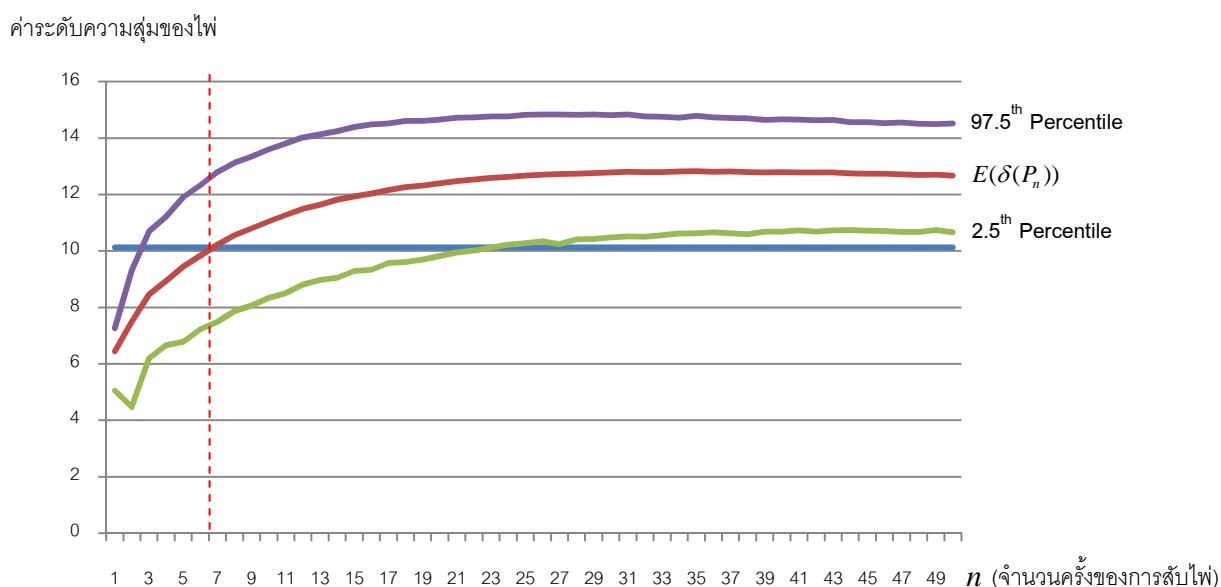
ตารางที่ 4.5 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	6.443892	0.3736852	5.044744	7.265176	0
2	7.5012	1.097328	4.474166	9.314365	0
3	8.459089	1.343772	6.198762	10.69495	0.12667
4	8.935879	1.430039	6.657544	11.21483	0.23905
5	9.449976	1.737231	6.788999	11.91323	0.34889
6	9.836555	1.723419	7.228374	12.32546	0.43163
7	10.21986	1.838324	7.483975	12.79949	0.50307
8	10.56292	1.815455	7.870489	13.12122	0.57055
9	10.79541	1.816756	8.067322	13.34232	0.60984
10	11.04949	1.781106	8.342282	13.59838	0.66075
11	11.27202	1.826145	8.502205	13.80494	0.69389
12	11.48887	1.786845	8.813864	14.02159	0.74815
13	11.63653	1.752167	8.968979	14.13851	0.77630
14	11.81541	1.768901	9.047463	14.25171	0.79287
15	11.93740	1.705758	9.286805	14.3999	0.83599
16	12.03803	1.726720	9.341062	14.48336	0.84747
17	12.16387	1.616496	9.573116	14.52432	0.88845
18	12.26225	1.600803	9.610024	14.61261	0.89697
19	12.31831	1.583121	9.70243	14.6095	0.91380
20	12.39484	1.535714	9.82218	14.65424	0.93724
21	12.4738	1.479809	9.949455	14.71805	0.96310
22	12.53936	1.472240	10.01890	14.72939	0.97739
23	12.59455	1.436691	10.11626	14.76719	0.99803
24	12.62395	1.349858	10.22148	14.77188	1

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	12.67414	1.364436	10.28269	14.82238	1
26	12.70631	1.311934	10.35048	14.83504	1
27	12.72927	1.348291	10.24838	14.83549	1
28	12.73707	1.286610	10.41811	14.82748	1
29	12.75995	1.275042	10.42182	14.83605	1
30	12.78247	1.226673	10.48688	14.81398	1
31	12.81065	1.208278	10.51968	14.83661	1
32	12.79582	1.195169	10.50394	14.77320	1
33	12.80063	1.160174	10.55870	14.75689	1
34	12.82064	1.109448	10.62057	14.7223	1
35	12.82979	1.123333	10.63296	14.78584	1
36	12.80992	1.078243	10.66723	14.73462	1
37	12.81236	1.068270	10.62976	14.70874	1
38	12.79204	1.080557	10.59564	14.70562	1
39	12.77989	1.042955	10.68319	14.64124	1
40	12.79719	1.014632	10.69062	14.67035	1
41	12.78513	1.030167	10.72545	14.65470	1
42	12.77953	1.009379	10.68202	14.63196	1
43	12.78622	0.9806433	10.72883	14.64146	1
44	12.75319	0.9647656	10.74485	14.56494	1
45	12.74128	0.9482866	10.72119	14.56969	1
46	12.73356	0.971435	10.70668	14.53051	1
47	12.71535	0.9549535	10.67168	14.55137	1
48	12.69561	0.9479046	10.67587	14.50802	1
49	12.70847	0.9189242	10.74437	14.49365	1
50	12.66931	0.9593085	10.66463	14.52224	1

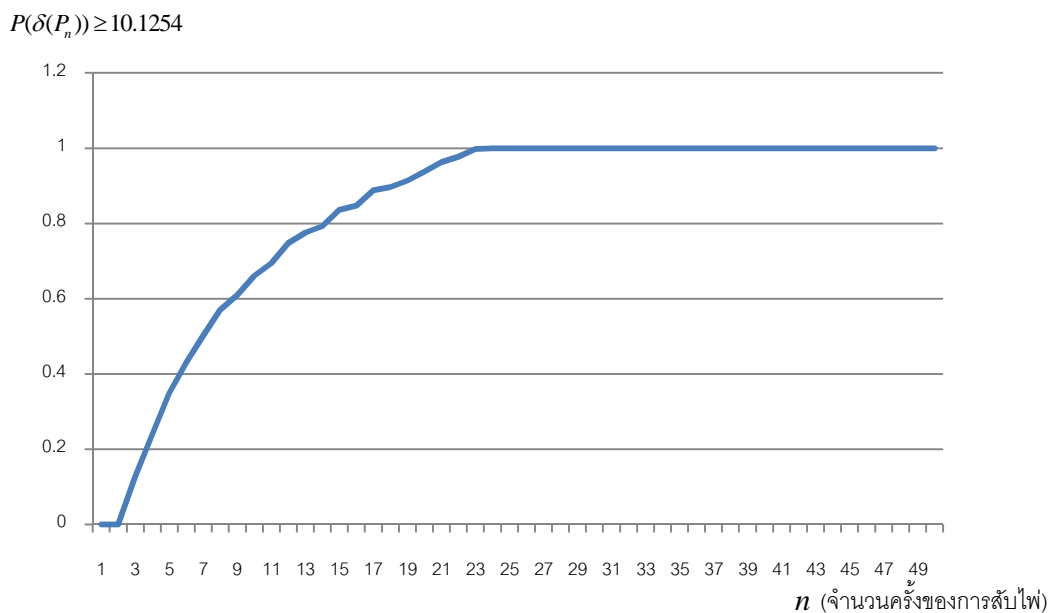
รูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ
ส่วนกลางและ ความหนาของการสับไฟแบบกลาง (ตัวแบบที่ 5)



พิจารณาตัวแบบที่ 5 จากรูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 7$ โดยที่ $7.4840 \leq \delta(P_7) \leq 12.7995$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_7)]$ มีค่าเท่ากับ 10.2199

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 4 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 7 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 2$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 2$ และค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ จะคงที่เท่ากับ 1 เมื่อ $n \geq 24$ เป็นต้นไป

4.1.6 ตัวแบบที่ 6 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 6 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.6 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

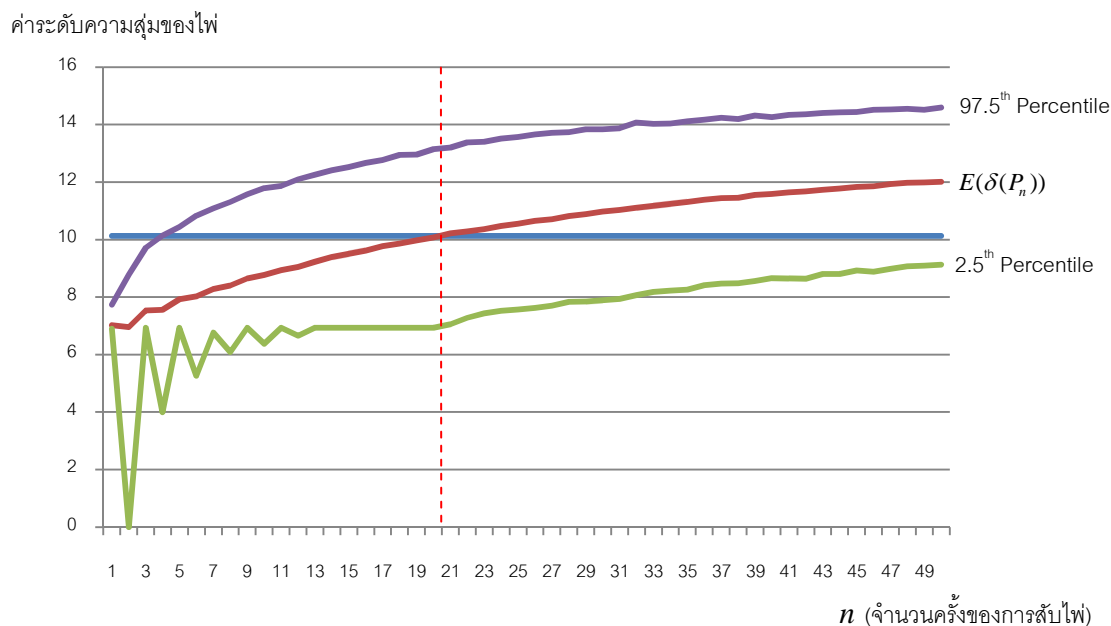
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	7.016665	0.05582791	6.905024	7.734194	0
2	6.953437	2.574396	0	8.776914	0
3	7.538524	0.7138425	6.93242	9.71957	0
4	7.551358	2.096942	3.989693	10.14393	0.00301
5	7.926158	1.295262	6.93242	10.44218	0.09025
6	8.025825	2.109908	5.260597	10.83445	0.12721
7	8.279675	1.758413	6.76928	11.08621	0.22256
8	8.399037	2.112415	6.086895	11.31116	0.22697
9	8.648894	1.968048	6.93242	11.57498	0.31223
10	8.773139	2.187989	6.37566	11.78629	0.30696
11	8.942075	2.047766	6.93242	11.86176	0.35225
12	9.04494	2.300432	6.659429	12.09831	0.36274
13	9.23169	2.257149	6.93242	12.25773	0.40041
14	9.389036	2.303023	6.93242	12.41223	0.41731
15	9.500153	2.306632	6.93242	12.51821	0.42837
16	9.618894	2.334612	6.93242	12.66889	0.44338
17	9.771075	2.317759	6.93242	12.76651	0.45270
18	9.857316	2.460094	6.93242	12.95097	0.46947
19	9.972307	2.343994	6.93242	12.95226	0.46959
20	10.07129	2.450322	6.93242	13.14393	0.48595
21	10.21514	2.444579	7.051157	13.19731	0.49981
22	10.28552	2.422504	7.279246	13.37881	0.53338
23	10.36674	2.408167	7.437409	13.39890	0.54910
24	10.47629	2.391504	7.523785	13.51835	0.56600

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	10.55402	2.480812	7.57144	13.5733	0.57447
26	10.65055	2.427110	7.628545	13.65747	0.58585
27	10.71342	2.410320	7.702852	13.70994	0.59671
28	10.81985	2.377647	7.830674	13.73394	0.61127
29	10.89097	2.383258	7.84491	13.83844	0.61950
30	10.97296	2.292623	7.992443	13.84487	0.62379
31	11.03295	2.339753	7.936823	13.86957	0.63110
32	11.11293	2.376839	8.067794	14.06806	0.65708
33	11.17249	2.318678	8.180595	14.02755	0.66738
34	11.24447	2.283735	8.220604	14.04264	0.67283
35	11.30439	2.253698	8.263238	14.11890	0.68199
36	11.38945	2.199104	8.41041	14.17162	0.702321
37	11.44035	2.17147	8.467498	14.23963	0.712775
38	11.45199	2.160782	8.483481	14.19609	0.71258
39	11.55791	2.17921	8.563119	14.31590	0.72843
40	11.58949	2.092658	8.654375	14.25867	0.737518
41	11.61365	2.168400	8.64846	14.34035	0.740519
42	11.67543	2.127817	8.636432	14.35885	0.739801
43	11.72948	2.083986	8.80272	14.40058	0.763717
44	11.77343	2.075319	8.804189	14.43118	0.765201
45	11.83106	2.030064	8.929173	14.44313	0.783055
46	11.85818	2.060045	8.876674	14.51458	0.778512
47	11.92780	2.037562	8.987201	14.53235	0.79474
48	11.97294	1.989430	9.066651	14.55206	0.806988
49	11.9847	1.934445	9.093513	14.51937	0.80982
50	12.01559	1.973423	9.126553	14.59804	0.817445

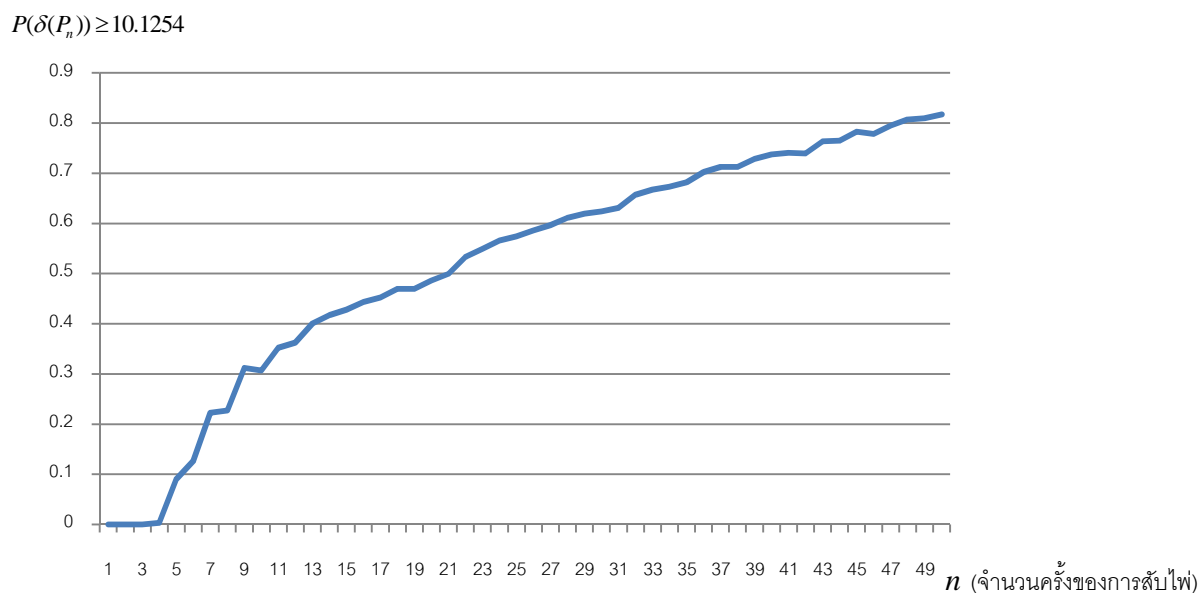
รูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนกลางและความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 6)



พิจารณาตัวแบบที่ 6 จากรูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 21$ โดยที่ $7.4840 \leq \delta(P_{21}) \leq 12.7995$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_7)]$ มีค่าเท่ากับ 10.2199

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 6 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 21 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 3$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 3$ เป็นต้นไป

4.1.7 ตัวแบบที่ 7 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 7 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.7 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

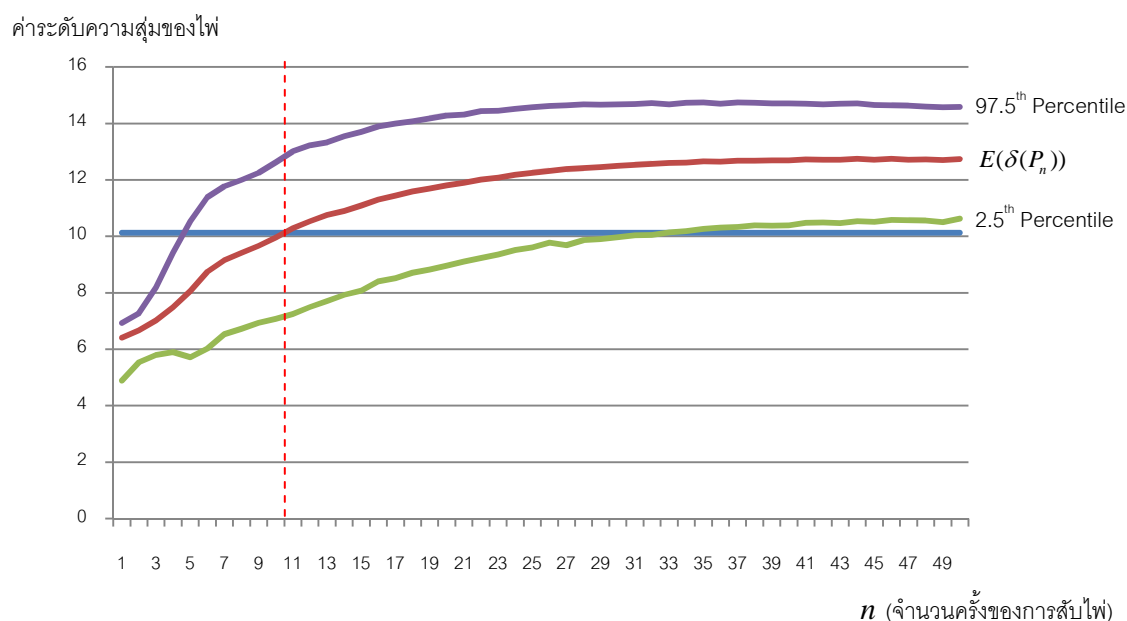
ตารางที่ 4.7 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	6.408799	0.3855357	4.887036	6.93242	0
2	6.67342	0.2229789	5.531734	7.276756	0
3	7.027264	0.3208465	5.792848	8.186494	0
4	7.488584	0.7412433	5.902169	9.428059	0
5	8.069039	1.567030	5.719057	10.5341	0.08488
6	8.741014	1.958543	6.023753	11.38956	0.235596
7	9.151025	1.938431	6.536855	11.77802	0.315315
8	9.418552	1.932907	6.724082	11.99739	0.354993
9	9.666957	1.955653	6.929337	12.25467	0.399838
10	9.95846	2.091141	7.083471	12.62493	0.45106
11	10.28403	2.128113	7.253482	13.00531	0.500695
12	10.53858	2.162459	7.500716	13.22547	0.54152
13	10.74909	2.097235	7.707474	13.32368	0.569473
14	10.90453	2.066063	7.926017	13.53906	0.608166
15	11.09799	2.045874	8.080343	13.70437	0.636371
16	11.29846	1.962134	8.406393	13.89938	0.687054
17	11.44136	1.986362	8.515954	14.00302	0.706684
18	11.59412	1.889642	8.714599	14.07169	0.736648
19	11.69539	1.884130	8.821233	14.18225	0.756731
20	11.81285	1.83825	8.955748	14.27620	0.780159
21	11.89957	1.774895	9.113612	14.31483	0.805471
22	12.0094	1.740281	9.231713	14.44061	0.828431
23	12.08224	1.692502	9.362113	14.45127	0.850017
24	12.18077	1.646744	9.521857	14.51958	0.879236

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	12.2467	1.637511	9.610986	14.57425	0.896356
26	12.31362	1.543194	9.77587	14.62382	0.927901
27	12.38379	1.598161	9.683365	14.64194	0.910854
28	12.41815	1.523820	9.864237	14.67236	0.945683
29	12.44936	1.448335	9.90094	14.66403	0.952875
30	12.50574	1.454250	9.971729	14.67836	0.96735
31	12.53586	1.419836	10.04156	14.68448	0.981942
32	12.56319	1.390385	10.05354	14.72793	0.984627
33	12.60073	1.342517	10.13983	14.68141	1
34	12.61199	1.389863	10.19003	14.73436	1
35	12.65663	1.309047	10.26375	14.74884	1
36	12.65318	1.264091	10.31146	14.69784	1
37	12.68089	1.258361	10.33225	14.74549	1
38	12.68236	1.225357	10.38900	14.7367	1
39	12.69526	1.213436	10.37910	14.71608	1
40	12.69767	1.202282	10.39242	14.71306	1
41	12.72824	1.168054	10.48622	14.69875	1
42	12.71207	1.157352	10.49042	14.68340	1
43	12.71841	1.156397	10.46908	14.70232	1
44	12.75177	1.107332	10.53317	14.71744	1
45	12.71891	1.116011	10.51864	14.65133	1
46	12.74628	1.084647	10.58419	14.64745	1
47	12.71737	1.093669	10.57068	14.63304	1
48	12.72540	1.058986	10.56525	14.59500	1
49	12.70631	1.057249	10.50826	14.57158	1
50	12.73482	1.038625	10.62565	14.58693	1

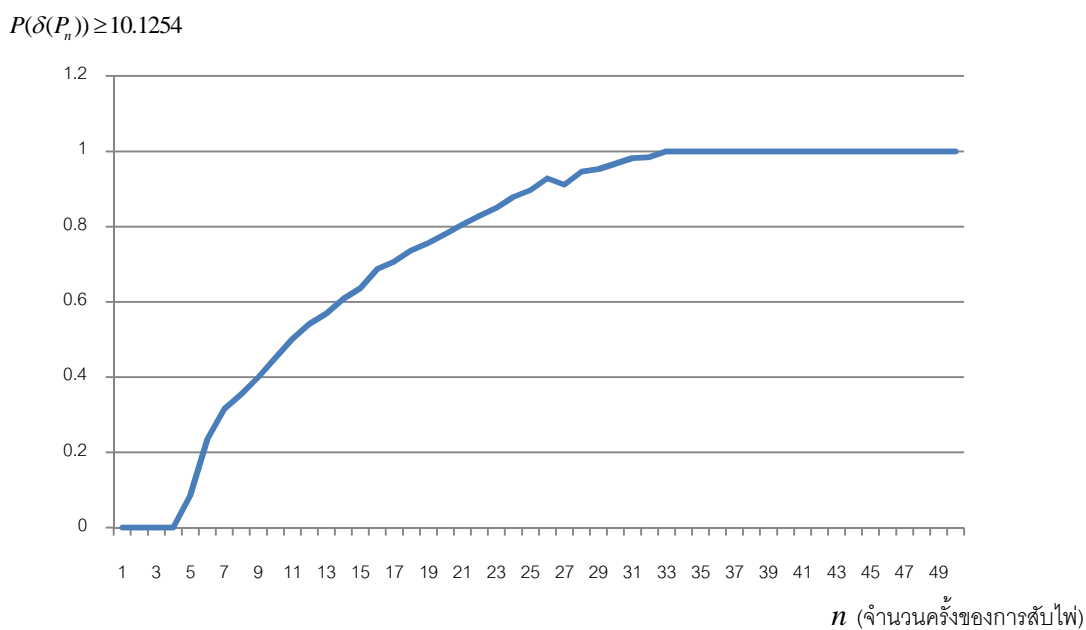
รูปภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พุทธิกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนล่างและความหนาของการสับไฟแบบน้อย (ตัวแบบที่ 7)



พิจารณาตัวแบบที่ 7 จากรูปภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 11$ โดยที่ $7.2535 \leq \delta(P_{11}) \leq 13.0053$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{11})]$ มีค่าเท่ากับ 10.2840

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 7 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 11 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 7 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 7 ตัวแบบผู้ สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 4$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มี แนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 4$ และค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ จะคงที่เท่ากับ 1 เมื่อ $n \geq 33$ เป็นต้นไป

4.1.8 ตัวแบบที่ 8 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 8 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.8 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

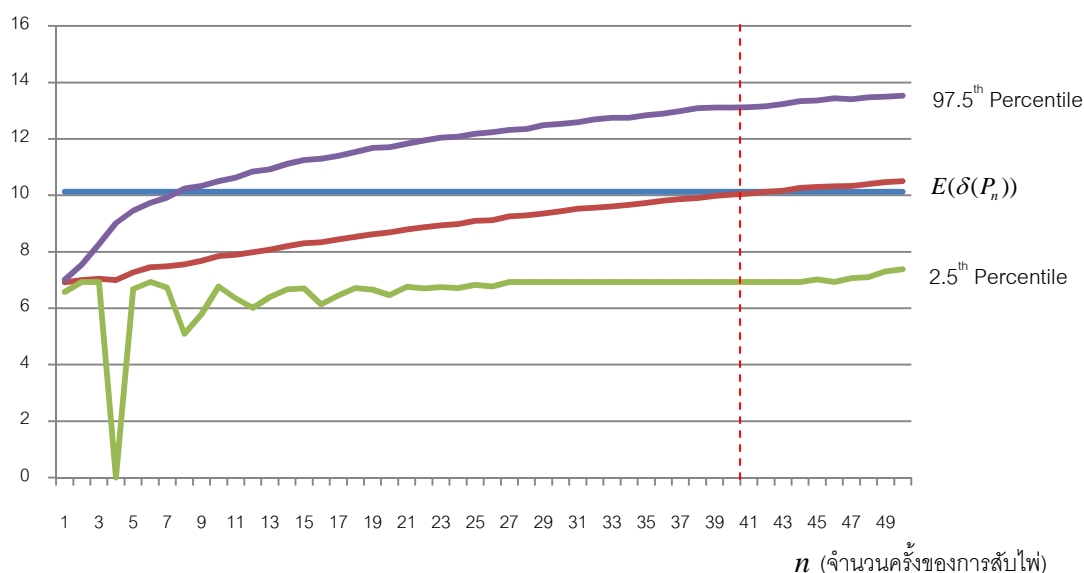
จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	6.915995	0.01560307	6.579885	7.015608	0
2	7.003958	0.03850252	6.93242	7.538342	0
3	7.040078	0.5832672	6.93242	8.27307	0
4	6.998775	2.022282	0	9.019565	0
5	7.274343	1.38285	6.681126	9.464131	0
6	7.45275	0.9090303	6.93242	9.735713	0
7	7.486111	1.304807	6.725004	9.925888	0
8	7.551556	1.928071	5.096153	10.23894	0.022078
9	7.678612	1.911842	5.78921	10.33593	0.046304
10	7.845267	1.586690	6.774389	10.49845	0.100173
11	7.898157	1.779164	6.355774	10.62932	0.117916
12	7.990043	2.025298	6.015806	10.84562	0.14912
13	8.079567	2.085951	6.403417	10.92698	0.177201
14	8.20164	2.013811	6.673258	11.11703	0.223151
15	8.29855	2.001942	6.706734	11.24705	0.247042
16	8.340012	2.209152	6.141042	11.29705	0.22724
17	8.436322	2.253505	6.449573	11.40089	0.257606
18	8.530806	2.294323	6.710492	11.54167	0.293152
19	8.619289	2.334485	6.66052	11.68675	0.31064
20	8.685533	2.378895	6.471658	11.70752	0.30217
21	8.789125	2.368632	6.763721	11.82839	0.336249
22	8.875505	2.461097	6.706972	11.94109	0.346895
23	8.935388	2.449255	6.749285	12.04229	0.362155
24	8.98625	2.532403	6.710826	12.08362	0.36447

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	9.096122	2.500354	6.834391	12.18066	0.384429
26	9.124718	2.547611	6.771843	12.24442	0.387207
27	9.259656	2.480014	6.93242	12.32268	0.407639
28	9.29384	9.29384	6.93242	12.35656	0.411339
29	9.358274	2.554558	6.93242	12.49253	0.425734
30	9.43855	2.537717	6.93242	12.53283	0.429867
31	9.52655	2.550613	6.93242	12.58651	0.43528
32	9.562253	2.570383	6.93242	12.69038	0.445467
33	9.612003	2.631460	6.93242	12.74798	0.450959
34	9.6675	2.674959	6.93242	12.74897	0.451053
35	9.72953	2.582073	6.93242	12.83747	0.45928
36	9.813078	2.550223	6.93242	12.8997	0.464919
37	9.869585	2.581032	6.93242	12.98360	0.472338
38	9.905723	2.602583	6.93242	13.08842	0.481322
39	9.97672	2.666283	6.93242	13.11542	0.483587
40	10.02620	2.614404	6.93242	13.11465	0.483523
41	10.06315	2.623915	6.93242	13.12587	0.484459
42	10.12475	2.535901	6.93242	13.15277	0.486688
43	10.16595	2.63516	6.93242	13.23288	0.493215
44	10.26462	2.690904	6.93242	13.34021	0.501703
45	10.29789	2.614647	7.020822	13.35676	0.510005
46	10.32152	2.683403	6.93242	13.43935	0.509295
47	10.33659	2.628298	7.070154	13.40191	0.517473
48	10.40401	2.623701	7.098253	13.47470	0.525261
49	10.46667	2.537186	7.306525	13.49421	0.544438
50	10.50479	2.533655	7.380897	13.52903	0.553604

รูปภาพที่ 4.15 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนล่างและความหนาของการสับไฟแบบกลาง (ตัวแบบที่ 8)

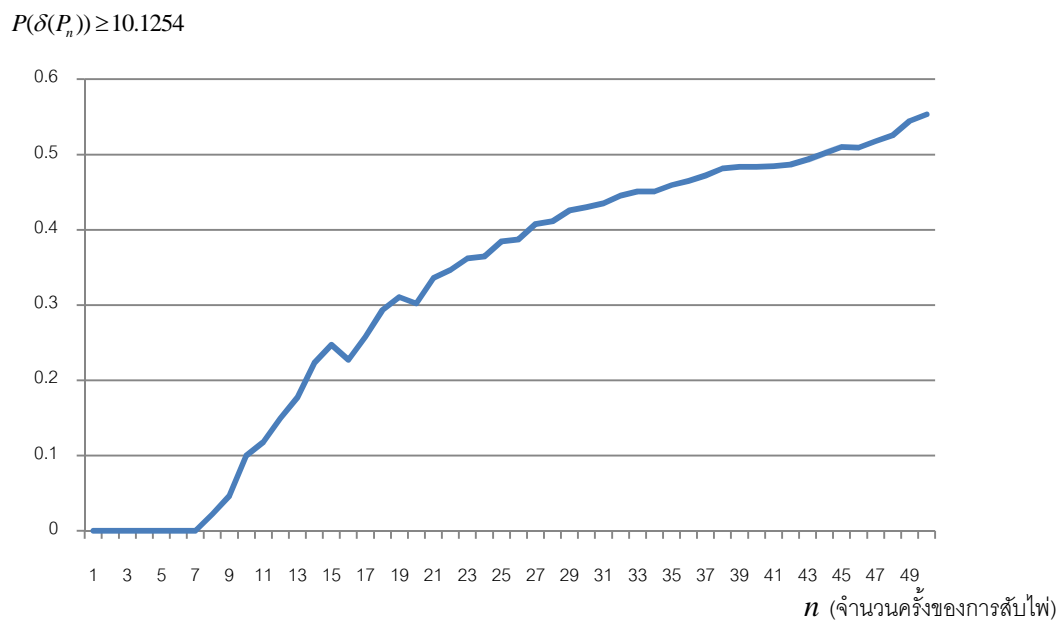
ค่าระดับความสุ่มของไฟ



พิจารณาตัวแบบที่ 8 จากรูปภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่า n ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] > 10.1254$ เมื่อ $n = 42$ โดยที่ $6.9324 \leq \delta(P_{42}) \leq 13.1527$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{42})]$ มีค่าเท่ากับ 10.1248

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 8 มีจำนวนครั้งที่ย่อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 42 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.16 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 8 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.16 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ ค ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ เมื่อ $n \leq 7$ จากนั้นค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ $n > 7$ เป็นต้นไป

4.1.9 ตัวแบบที่ 9 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผู้ทำวิจัยได้จำลองตัวแบบที่ 8 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.9 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

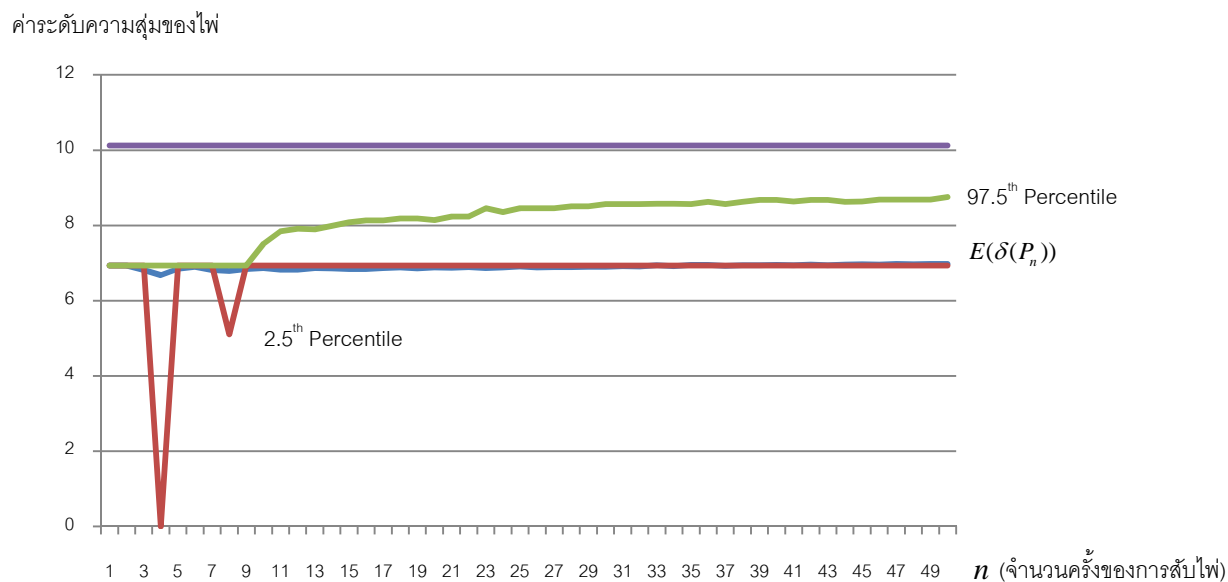
ตารางที่ 4.9 แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
1	6.933936	0.00092091	6.93242	6.93242	0
2	6.935883	0.01776677	6.93242	6.93242	0
3	6.813457	0.8829203	6.93242	6.93242	0
4	6.67549	1.821233	0	6.93242	0
5	6.847608	0.7329552	6.93242	6.93242	0
6	6.899505	0.4008413	6.93242	6.93242	0
7	6.812767	1.002664	6.93242	6.93242	0
8	6.791106	1.225831	5.102999	6.93242	0
9	6.838341	0.9243077	6.93242	6.93242	0
10	6.863854	0.7560313	6.93242	7.515578	0
11	6.822298	1.102563	6.93242	7.847499	0
12	6.82211	1.125123	6.93242	7.908644	0
13	6.86678	0.825195	6.93242	7.892375	0
14	6.854159	0.944669	6.93242	7.98687	0
15	6.840905	1.076973	6.93242	8.084949	0
16	6.840118	1.154195	6.93242	8.133309	0
17	6.864165	0.943645	6.93242	8.133309	0
18	6.879077	0.9161468	6.93242	8.186456	0
19	6.853434	1.091521	6.93242	8.186456	0
20	6.87987	0.9160225	6.93242	8.140821	0
21	6.875836	1.028971	6.93242	8.236601	0
22	6.887366	0.9687104	6.93242	8.236601	0
23	6.868423	1.124882	6.93242	8.452777	0
24	6.883483	1.04295	6.93242	8.354394	0

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงค่า $E(\delta(P_n))$, $Var[\delta(P_n)]$, 2.5th Percentile และ 97.5th Percentile ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

จำนวนครั้ง	$E(\delta(P_n))$	$Var[\delta(P_n)]$	2.5 th Percentile	97.5 th Percentile	$P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$
25	6.904358	0.9509582	6.93242	8.452777	0
26	6.883622	1.05471	6.93242	8.452777	0
27	6.889096	1.095278	6.93242	8.452777	0
28	6.887922	1.090199	6.93242	8.510301	0
29	6.90079	1.055888	6.93242	8.510301	0
30	6.902278	1.077185	6.93242	8.565419	0
31	6.916852	1.035391	6.93242	8.565419	0
32	6.908206	1.094958	6.93242	8.565419	0
33	6.942977	1.003429	6.93242	8.571835	0
34	6.919546	1.074998	6.93242	8.571835	0
35	6.948933	0.9022085	6.93242	8.565419	0
36	6.94706	0.9629903	6.93242	8.624286	0
37	6.926318	1.067998	6.93242	8.565419	0
38	6.94102	1.053837	6.93242	8.624286	0
39	6.94146	1.140249	6.93242	8.68094	0
40	6.950033	1.117834	6.93242	8.68094	0
41	6.944221	1.105775	6.93242	8.637294	0
42	6.959215	1.095791	6.93242	8.68094	0
43	6.940831	1.2268	6.93242	8.681093	0
44	6.958099	0.9912807	6.93242	8.624286	0
45	6.971748	1.067120	6.93242	8.638329	0
46	6.961132	1.148039	6.93242	8.687093	0
47	6.978138	1.093228	6.93242	8.687093	0
48	6.966453	1.145651	6.93242	8.687093	0
49	6.973779	1.125324	6.93242	8.687093	0
50	6.977751	1.202421	6.93242	8.756504	0

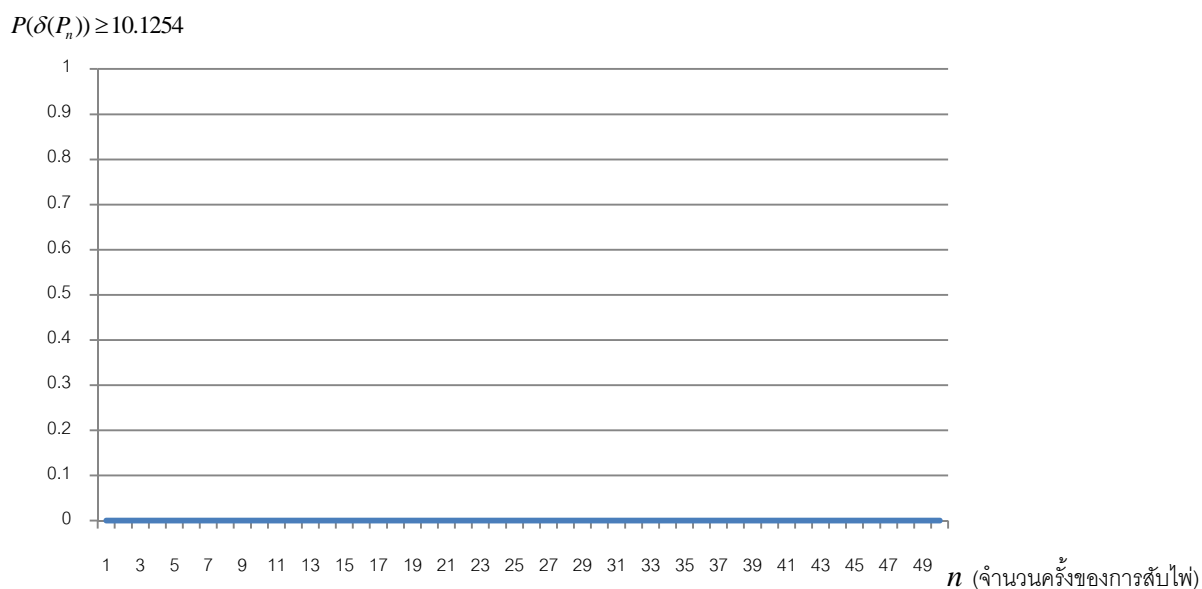
รูปภาพที่ 4.17 กราฟแสดงค่าระดับความสุ่มของไฟของ พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟ ส่วนล่างและความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 9)



พิจารณาตัวแบบที่ 9 จากรูปภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มของไฟกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่าเฉลี่ยระดับความสุ่มของไฟ $E[\delta(P_n)] < 10.1254$ ทุกค่า $n \leq 50$ โดยที่ $6.9324 \leq \delta(P_{50}) \leq 8.7565$ ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่า $E[\delta(P_{50})]$ มีค่าเท่ากับ 6.9777

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 9 มีค่าระดับความสุ่มไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แม้จะทำการสับไฟแล้วถึง 50 ครั้ง

รูปภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 9 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือก สับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่า $P(\delta(P_n) \geq 10.1254)$ ของ ตัวแบบที่ 9 ตัวแบบผู้สับไฟที่ เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด n ครั้ง พบว่า ค่าของ $P(\delta(P_n) \geq 10.1254) = 0$ คงที่ ทุกค่า n

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มกับความหนาของการสับไฟ

เนื้อหาส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มกับความหนาของการสับไฟโดย คำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} ในแต่ละตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตอนๆที่ 4.1 โดยใช้สูตร

$$d_n = \frac{E[\delta(P_n)] - E[\delta(P_{n-1})]}{E[\delta(P_{n-1})]} \times 100\% \quad \text{ทุก } n = 2, 3, \dots, 50$$

จากนั้น คำนวณค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d]$ ของแต่ละตัวแบบ

โดยใช้สูตร $E[d] = \frac{\sum_{i=2}^{50} (d_i)}{49}$ และค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม

$Var[d]$ ของแต่ละตัวแบบ โดยใช้สูตร $Var[d] = \frac{\sum_{i=2}^{50} (d_i - E[d])^2}{49}$ โดยผลการคำนวณมีดังนี้

4.2.1 ตัวแบบที่ 1 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 1

ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 1

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.499466
2	24.08	27	0.549385
3	15.55655	28	0.549214
4	9.194339	29	0.52846
5	8.229396	30	0.464866
6	6.203257	31	0.527323
7	4.57821	32	0.239234
8	4.110345	33	0.61635
9	3.267706	34	0.358971
10	2.959229	35	0.430677
11	2.582825	36	0.3368
12	2.463163	37	0.394684
13	1.838502	38	0.146316
14	2.102011	39	0.655134
15	1.604854	40	-0.18487
16	1.258422	41	0.453348
17	1.295894	42	0.162988
18	1.408362	43	0.256726
19	0.625775	44	0.329338
20	1.478802	45	0.253314
21	0.896873	46	0.385374
22	0.748996	47	0.08572
23	0.909545	48	0.454327
24	0.715061	49	0.18759
25	0.729708	50	0.255208

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d] = 2.1994$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $Var[d] = 18.1472$

4.2.2 ตัวแบบที่ 2 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 2 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 2

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.352888
2	17.23547	27	0.277181
3	10.35289	28	0.295484
4	9.921068	29	0.524052
5	6.102523	30	0.087296
6	5.238919	31	0.179073
7	4.532375	32	0.482569
8	3.637904	33	0.240983
9	2.876988	34	0.179988
10	3.138671	35	0.258666
11	2.007056	36	0.050201
12	2.055994	37	0.037991
13	1.823536	38	0.323424
14	1.791849	39	0.255244
15	1.187648	40	-0.05423
16	1.200446	41	0.228449
17	1.342578	42	-0.03787
18	0.955866	43	0.248913
19	0.831777	44	0.059878
20	0.774828	45	0.128993
21	0.692888	46	0.113952
22	0.574647	47	0.238081
23	0.931463	48	-0.19296
24	0.197019	49	0.058521
25	0.771185	50	0.062905

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d] = 1.726026$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $Var[d] = 10.3889$

4.2.3 ตัวแบบที่ 3 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 3 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 3

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.319999
2	13.90978	27	0.072875
3	5.697704	28	0.152746
4	7.848939	29	0.286749
5	7.195479	30	-0.04383
6	3.998759	31	0.091082
7	3.370545	32	-0.00738
8	3.339742	33	0.046877
9	2.914139	34	0.00102
10	1.953982	35	-0.06844
11	2.178447	36	0.110894
12	1.803791	37	-0.17808
13	1.403465	38	0.02397
14	1.401384	39	-0.03834
15	1.016149	40	-0.16585
16	1.05119	41	-0.1688
17	0.938477	42	0.062855
18	0.622574	43	0.028216
19	0.791369	44	-0.28893
20	0.484139	45	0.015567
21	0.384316	46	-0.02623
22	0.540931	47	-0.25147
23	0.487207	48	-0.07812
24	0.100658	49	-0.16643
25	0.279192	50	-0.17799

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d] = 1.291129$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $Var[d] = 6.791112$

4.2.4 ตัวแบบที่ 4 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 4 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 3

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.332486
2	12.75643	27	0.507077
3	16.69541	28	0.235909
4	13.44063	29	0.255033
5	7.383087	30	0.314578
6	4.967623	31	0.127228
7	5.335561	32	0.482122
8	4.806675	33	-0.246
9	2.70032	34	0.398502
10	2.828462	35	0.152847
11	2.788924	36	0.002844
12	2.208481	37	0.250845
13	1.897437	38	-0.08458
14	1.459603	39	0.170853
15	1.639079	40	0.146686
16	1.166469	41	-0.05163
17	0.969838	42	0.168255
18	1.216456	43	0.083772
19	0.513742	44	0.134967
20	1.138699	45	-0.20367
21	0.649828	46	0.101745
22	0.517876	47	0.029089
23	0.556289	48	0.141983
24	0.591031	49	-0.07491
25	0.306726	50	0.056242

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $E[d] = 1.876876$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่ม $Var[d] = 13.01561$

4.2.5 ตัวแบบที่ 5 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 5 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 5

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.253824
2	16.40791	27	0.180698
3	12.76981	28	0.061276
4	5.636423	29	0.179633
5	5.753178	30	0.17649
6	4.090793	31	0.220458
7	3.89674	32	-0.11576
8	3.356797	33	0.03759
9	2.201001	34	0.15632
10	2.353593	35	0.071369
11	2.013939	36	-0.15487
12	1.92379	37	0.019048
13	1.285244	38	-0.1586
14	1.537228	39	-0.09498
15	1.032465	40	0.135369
16	0.842981	41	-0.09424
17	1.045354	42	-0.0438
18	0.808789	43	0.052349
19	0.457175	44	-0.25832
20	0.62127	45	-0.09339
21	0.637039	46	-0.06059
22	0.525582	47	-0.14301
23	0.440134	48	-0.15525
24	0.233434	49	0.101295
25	0.397578	50	-0.30814

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน $E[d] = 1.43332$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน $Var[d] = 9.741984$

4.2.6 ตัวแบบที่ 6 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบล่าง

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 6 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 6

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.914628
2	-0.90111	27	0.590298
3	8.414357	28	0.993427
4	0.170246	29	0.65731
5	4.963346	30	0.752826
6	1.257444	31	0.546708
7	3.162915	32	0.724919
8	1.441627	33	0.535952
9	2.974829	34	0.644261
10	1.436542	35	0.532884
11	1.925605	36	0.752451
12	1.150348	37	0.446905
13	2.06469	38	0.101745
14	1.704412	39	0.924905
15	1.183476	40	0.273233
16	1.249885	41	0.208465
17	1.582105	42	0.53196
18	0.882615	43	0.462938
19	1.166555	44	0.374697
20	0.992579	45	0.489492
21	1.428318	46	0.229227
22	0.688977	47	0.587105
23	0.789654	48	0.378444
24	1.056745	49	0.098221
25	0.741961	50	0.257745

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $E[d] = 1.113038$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $Var[d] = 1.957726$

4.2.7 ตัวแบบที่ 7 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 7 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 7

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.546433
2	4.129026	27	0.569857
3	5.302289	28	0.277459
4	6.564717	29	0.251326
5	7.751198	30	0.452875
6	8.327819	31	0.240849
7	4.690657	32	0.218015
8	2.923465	33	0.298809
9	2.637401	34	0.08936
10	3.015458	35	0.353949
11	3.269281	36	-0.02726
12	2.475197	37	0.218996
13	1.997518	38	0.011592
14	1.446076	39	0.101716
15	1.774125	40	0.018983
16	1.806363	41	0.240753
17	1.264774	42	-0.12704
18	1.335156	43	0.049874
19	0.87346	44	0.262297
20	1.004327	45	-0.25769
21	0.734116	46	0.215191
22	0.922975	47	-0.22681
23	0.606525	48	0.063142
24	0.815494	49	-0.15001
25	0.541263	50	0.224377

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $E[d] = 1.431137$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $Var[d] = 4.22604$

4.2.8 ตัวแบบที่ 8 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 8 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 8

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	0.314376
2	1.271878	27	1.478818
3	0.515708	28	0.369171
4	-0.58668	29	0.693298
5	3.937375	30	0.857808
6	2.452551	31	0.932347
7	0.447633	32	0.374774
8	0.874219	33	0.520275
9	1.682514	34	0.577372
10	2.170379	35	0.641634
11	0.674164	36	0.858705
12	1.163385	37	0.575834
13	1.120445	38	0.366155
14	1.510885	39	0.716727
15	1.181593	40	0.495955
16	0.499629	41	0.368534
17	1.154795	42	0.612134
18	1.119967	43	0.406924
19	1.037217	44	0.970593
20	0.768555	45	0.324123
21	1.192696	46	0.229464
22	0.982805	47	0.146006
23	0.6747	48	0.652246
24	0.56922	49	0.602268
25	1.222668	50	0.364204

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $E[d] = 0.85894$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $Var[d] = 0.465713$

4.2.9 ตัวแบบที่ 9 ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผลการคำนวณค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 9 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงค่า d_2, d_3, \dots, d_{50} , $E[d]$ และ $Var[d]$ ของตัวแบบที่ 9

จำนวนครั้ง n	d_n	จำนวนครั้ง n	d_n
1	หาค่าไม่ได้	26	-0.30033
2	0.028079	27	0.079522
3	-1.76511	28	-0.01704
4	-2.02492	29	0.18682
5	2.578358	30	0.021563
6	0.757885	31	0.211148
7	-1.25716	32	-0.125
8	-0.31795	33	0.503329
9	0.695542	34	-0.33748
10	0.373088	35	0.424695
11	-0.60543	36	-0.02695
12	-0.00276	37	-0.29857
13	0.654783	38	0.212263
14	-0.1838	39	0.006339
15	-0.19337	40	0.123504
16	-0.0115	41	-0.08363
17	0.351558	42	0.215921
18	0.217244	43	-0.26417
19	-0.37277	44	0.248789
20	0.385734	45	0.19616
21	-0.05863	46	-0.15227
22	0.167689	47	0.244299
23	-0.27504	48	-0.16745
24	0.219264	49	0.105161
25	0.303262	50	0.056956

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $E[d] = 0.014849$ และ ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสูง $Var[d] = 0.407173$

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้ ผู้ทำวิจัยได้สรุปผลการทดลองทั้งหมด ในประเด็นต่าง ๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์ และอธิบายผลการทดลอง โดยใช้หลักเกณฑ์ต่าง ๆ ในการอธิบาย ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟเป็นอย่างสม่ำเสมอ

เมื่อพิจารณาจากตัวแบบที่ 1 ถึง 9 นั้น สามารถแบ่งกลุ่มตัวแบบที่ทำการศึกษา เป็น 3 กลุ่มใหญ่ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน ประกอบไปด้วย

ตัวแบบที่ 1 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ตัวแบบที่ 2 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ตัวแบบที่ 3 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

กลุ่มที่ 2 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลาง ประกอบไปด้วย

ตัวแบบที่ 4 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ตัวแบบที่ 5 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ตัวแบบที่ 6 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

กลุ่มที่ 3 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่าง ประกอบไปด้วย

ตัวแบบที่ 7 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ตัวแบบที่ 8 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ตัวแบบที่ 9 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความสุ่ม และ จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความสุ่มอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ของตัวแบบที่ 1 – 9

ตัวแบบที่	n	$E[\delta(P_n)]$	$2.5^{\text{th}}\text{Quantile} \leq \delta(P_n) \leq 97.5^{\text{th}}\text{Quantile}$	$\text{Var}[\delta(P_n)]$
1	มากกว่า 50	8.8663	$6.9044 \leq \delta(P_{50}) \leq 11.0887$	1.1496
2	17	10.2378	$7.7331 \leq \delta(P_{17}) \leq 12.9227$	1.7320
3	7	10.1834	$7.6066 \leq \delta(P_7) \leq 12.6042$	1.6286
4	13	10.1672	$7.6282 \leq \delta(P_{13}) \leq 12.71149$	1.6562
5	7	10.2199	$7.4840 \leq \delta(P_7) \leq 12.7995$	1.8383
6	21	10.2151	$7.0512 \leq \delta(P_{21}) \leq 13.1973$	2.4445
7	11	10.2840	$7.2535 \leq \delta(P_{11}) \leq 13.0053$	2.1281
8	42	10.1248	$6.9324 \leq \delta(P_{42}) \leq 13.1527$	2.5359
9	มากกว่า 50	6.9777	$6.9324 \leq \delta(P_{50}) \leq 8.7565$	1.2024

สรุปได้ว่าตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 7 ครั้ง ส่วนตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เป็นตัวแบบปานกลางและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้คือ 17 ครั้ง และตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมากนั้นเป็นตัวแบบที่ไม่ดี เนื่องจากระดับความสุ่มไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แม้จะทำการสับไฟแล้วถึง 50 ครั้ง

5.2 สรุปผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน

นิยาม เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนในการสับไฟครั้งที่ n (d_n) หาได้จากสูตร $d_n = \frac{E[d_n] - E[d_{n-1}]}{E[d_{n-1}]} \times 100\%$ เมื่อ $n=2,3,4,\dots$ เมื่อ $E[d_n]$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าระดับความสับสนในการสับครั้งที่ n

จากผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนในการสับไฟครั้งที่ n ทั้งหมด 9 ตัวแบบนี้ สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนกับความหนาของการสับไฟได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนในการสับไฟครั้งที่ n โดยแบ่งกลุ่มในการพิจารณาเป็น 3 กลุ่ม

ตัวแบบจำลองสับไฟ		ตำแหน่ง	ความหนา	กลุ่มที่	$E[d]$	$Var[d]$
ตำแหน่ง	ความหนา					
บน	น้อย	1		1	2.199465	18.14742
	กลาง				1.726026	10.3889
	มาก				1.291129	6.791112
กลาง	น้อย	2		2	1.876876	13.01561
	กลาง				1.433327	9.741984
	มาก				1.113038	1.957726
ล่าง	น้อย	3		3	1.431137	4.226046
	กลาง				0.85894	0.465713
	มาก				0.014849	0.407173

จากตารางที่ 5.2 สรุปได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน ประกอบไปด้วย ตัวแบบที่ 1 - 3 พบว่า

ตัวแบบที่ 1 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 1 ในกลุ่มที่ 1

ตัวแบบที่ 2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มที่ 1

ตัวแบบที่ 3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 2 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน ประกอบไปด้วย ตัวแบบที่ 4 - 6 พบว่า

ตัวแบบที่ 4 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 1 ในกลุ่มที่ 2

ตัวแบบที่ 5 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มที่ 2

ตัวแบบที่ 6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มที่ 2

กลุ่มที่ 3 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบน ประกอบไปด้วย ตัวแบบที่ 7 - 9 พบว่า

ตัวแบบที่ 7 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 1 ในกลุ่มที่ 3

ตัวแบบที่ 8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มที่ 3

ตัวแบบที่ 9 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟ มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มที่ 3

จากการสังเกตค่า $E[d_n]$ ทั้ง 3 กลุ่ม จะพบว่า ค่าของ $E[d_n]$ มากเป็นอันดับ 1 ในแต่ละกลุ่ม ได้แก่ ตัวแบบที่ 1 , 4 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งค่าของ $E[d_n]$ มีความสัมพันธ์กับการเลือกความหนาของการสับไฟ กล่าวได้ว่า ถ้าพฤติกรรมของผู้สับไฟนั้นเลือกความหนาของการสับไฟแบบน้อยจะทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟมีค่าสูงที่สุด และถ้าพฤติกรรมของผู้สับไฟนั้นเลือกความหนาของการสับไฟแบบมากจะทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสุ่มในการสับไฟมีค่าต่ำที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะรูปแบบการแจกแจงของการสับไฟ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการสับไฟโดยกำหนดรูปแบบการแจกแจงตำแหน่งที่ทำการสับไฟเป็นแบบเบตาและความหนาของการสับไฟเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่น่าสนใจคือ หากศึกษาต่อว่า ถ้าเปลี่ยนรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบอื่น ๆ หรือสร้างตัวแบบใหม่ที่น่าสนใจ ผลสรุปควรเป็นอย่างไร

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการประมาณค่า α, β ของผู้สับไฟ

จากข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับตัวแบบการสับไฟนั้นได้กำหนดไว้ว่า พฤติกรรมผู้สับไฟ มีรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟเป็นการแจกแจงแบบเบตา (ซึ่งไม่ใช้การแจกแจงปกติ) จึงเกิดคำถามที่ว่า จำนวนขนาดของตัวอย่างเพื่อใช้ในการประมาณค่า α, β ของผู้สับไฟควรมีขนาดเท่าไร

เนื่องจากข้อมูลที่ต้องการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ค่า α, β ของผู้สับไฟ คือ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ โดยจำนวนขนาดของตัวอย่างนั้น ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้ (ธนากร อนันต์สิทธิ นนท์ 2545)

กรณีที่ 1 ทราบความแปรปรวนของประชากร (กำหนดให้ $\sigma^2 = 0.01$) ขนาดตัวอย่างควรมีค่าตั้งแต่ 11 ขึ้นไป

กรณีที่ 2 ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร ขนาดตัวอย่างควรมีค่าตั้งแต่ 33 ขึ้นไป

กำหนดให้ $E(X)$ แทนค่าเฉลี่ย ของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ทำการแปลงค่าให้อยู่ในช่วง $(0, 1)$

$Var(X)$ แทนความแปรปรวน ของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ

จากข้อกำหนดข้างต้น จึงได้ระบบสมการ 2 ตัวแปร คือ

$$\text{จาก } E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad \text{----- (5.1)}$$

$$\text{และ } Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} \quad \text{----- (5.2)}$$

จาก (5.1) จะได้ว่า $\alpha + \beta = \frac{\alpha}{E(X)}$ ดังนั้น $\beta = \frac{\alpha}{E(X)} - \alpha$ แทนค่าลงในสมการที่ (5.2)

$$\begin{aligned} Var(X) &= \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} \\ &= \frac{\alpha\left(\frac{\alpha}{E(X)} - \alpha\right)}{\left(\frac{\alpha}{E(X)} + 1\right)\left(\frac{\alpha}{E(X)}\right)^2} \\ &= \frac{\alpha^2\left(\frac{1}{E(X)} - 1\right)}{[E(X)]^2\left(\frac{\alpha}{E(X)} + 1\right)} \end{aligned}$$

$$= \frac{[E(X)]^2 \left(\frac{1-E(X)}{E(X)} \right)}{\frac{\alpha + E(X)}{E(X)}}$$

$$= \frac{[E(X)]^2 [1-E(X)]}{\alpha + E(X)}$$

จะได้ว่า
$$\text{Var}(X) = \frac{[E(X)]^2 [1-E(X)]}{\alpha + E(X)}$$

$$\alpha \text{Var}(X) + E(X) \text{Var}(X) = [E(X)]^2 - [E(X)]^3 \quad \text{ดังนั้น}$$

$$\alpha = \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + (E(X))^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)} \quad \text{แทนค่า } \alpha \text{ ลงใน } \beta = \frac{\alpha}{E(X)} - \alpha \quad \text{จะได้ว่า}$$

$$\beta = \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + (E(X))^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)E(X)} - \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + (E(X))^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)}$$

$$\beta = \frac{(E(X)-1) [\text{Var}(X) + (E(X))^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)}$$

สรุปผลเฉลยของระบบสมการข้างต้น คือ
$$\alpha = \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + (E(X))^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)}$$

$$\text{และ } \beta = \frac{(E(X)-1) [\text{Var}(X) + (E(X))^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)}$$

เมื่อ $\alpha > 0$ และ $\beta > 0$

ดังนั้น ค่าประมาณ α, β ของผู้สับไฟ กำหนดได้จากสูตร

$$\hat{\alpha} = \frac{-\bar{x}[S^2 + (\bar{x})^2 - \bar{x}]}{S^2} \quad \text{และ} \quad \hat{\beta} = \frac{(\bar{x}-1)[S^2 + (\bar{x})^2 - \bar{x}]}{S^2}$$

โดยที่ \bar{x} แทน ค่าเฉลี่ยที่ได้จากตัวอย่าง และ S^2 แทน ความแปรปรวนของตัวอย่าง ตามลำดับ

สรุป เราสามารถหารูปแบบการแจกแจงการสับไฟเฉพาะบุคคลได้ โดยถ้าค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่ทำการสับไฟส่วนบุคคล ทำการแปลงค่าให้อยู่ในช่วง (0 , 1) มีค่าเป็น \bar{x} และ ความแปรปรวนของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ มีค่า S^2 แล้ว รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับ

ไฟจะเป็นการแจกแจงแบบ Beta $\left(\frac{-\bar{x}[S^2 + (\bar{x})^2 - \bar{x}]}{S^2}, \frac{(\bar{x}-1)[S^2 + (\bar{x})^2 - \bar{x}]}{S^2} \right)$

รายการอ้างอิง

Brad Mann , How many time should you shuffle a deck of cards?. Department of Mathematics. Harvard University , 1998.

Harris. C. , Peter ,The mathematics of Card Shuffling , Senior Thesis , Middlebury College,1992.

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ธรรมสาร , 2550.

ธนากร อนันต์สิทธิพนธ์ . ขนาดตัวอย่างสำหรับการประมาณค่าแบบช่วงโดยใช้ตัวสถิติ Z และ ตัวสถิติ T.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต , ภาควิชา สถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี . จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.

ภาคผนวก

การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.11.1 ในการจำลองข้อมูลและคำนวณค่าต่าง ๆ

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 1 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,4.4375,13.3125))*52)
t<-floor(runif(1,6,15))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else

```

```
{  
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])  
p<-q  
x1<-p[1:51]  
x2<-p[2:52]  
diff<-abs(x2-x1)  
dum<-diff-mean(diff)  
delta0<-sqrt(mean(dum^2))  
}  
}  
Delta<-c(Delta,delta0)  
}  
print(i)  
print(mean(Delta))  
print(var(Delta))  
print(quantile(Delta,.025))  
print(quantile(Delta,.975))  
}
```


โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 2 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,4.4375,13.3125))*52)
t<-floor(runif(1,16,25))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q

```

```
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 3 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,4.4375,13.3125))*52)
t<-floor(runif(1,26,35))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q

```

```
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 4 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,12,12))*52)
t<-floor(runif(1,6,15))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q

```

```
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 5 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,12,12))*52)
t<-floor(runif(1,16,25))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q

```

```
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```


โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 6 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,12,12))*52)
t<-floor(runif(1,26,35))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q

```

```
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```

โปรแกรม ในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงในตัวอย่างที่ 7 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,13.3125,4.4375))*52)
t<-floor(runif(1,6,15))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])

```

```
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงในตัวอย่างที่ 8 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,13.3125,4.4375))*52)
t<-floor(runif(1,16,25))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])

```

```
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงในตัวอย่างที่ 9 (ตัวแบบผู้สับไฟที่เลือกสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก) กับ จำนวนครั้งที่สับไฟ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไฟตั้งแต่ 1 – 50 ครั้ง

```

for(i in 1:50){
n<-i
Delta<-c()
for(i in 1:10000)
{
p<-c(1:52)
for(i in 1:n)
{
r<-floor((rbeta(1,13.3125,4.4375))*52)
t<-floor(runif(1,26,35))
if(r+t<52)
{
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])

```

```
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
dum<-diff-mean(diff)
delta0<-sqrt(mean(dum^2))
}
}
Delta<-c(Delta,delta0)
}
print(i)
print(mean(Delta))
print(var(Delta))
print(quantile(Delta,.025))
print(quantile(Delta,.975))
}
```


โปรแกรมสร้างแบบจำลองเพื่อหาเกณฑ์ในการค่าระดับความสับสนที่ทำให้ไฟมีระดับความ
สับสนที่ยอมรับได้

```
Delta<-c()  
for(i in 1:10000){  
x<-sample(1:52,52,T)  
x1<-x[1:51]  
x2<-x[2:52]  
diff<-abs(x2-x1)  
dum<-diff-mean(diff)  
delta<-sqrt(mean(dum^2))  
Delta<-c(Delta,delta)  
}  
quantile(Delta,.05)  
hist(Delta)
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทวีศักดิ์ จันทรมณี เกิดเมื่อวันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) เกียรตินิยมอันดับ 2 จากภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต (สต.ม.) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552