การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าระหว่าง IEC62305 Ed.1 และ Ed.2

นายเดชสิทธิ์ ถาวร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A comparison of risk assessment of lightning damage between IEC62305 Ed.1 and Ed.2

Mr. Detchsit Taworn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าระหว่าง IEC62305 Ed.1 และ Ed.2
โดย	นายเดชสิทธิ์ ถาวร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.อภิบาล พฤกษานุบาล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เดชสิทธิ์ ถาวร : การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าระหว่าง IEC62305 Ed.1 และ Ed.2 (A comparison of risk assessment of lightning damage between IEC62305 Ed.1 and Ed.2) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์, 83 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ฉบับนี้เป็นการศึกษาผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระว่าง IEC 62305-2 : Ed.1 และ Ed.2 ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเอง โปรแกรมสามารถคำนวณความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตมนุษย์ R1, ความเสี่ยงต่อการสูญเสียระบบสาธารณูปโภค R2, ความเสี่ยงต่อการสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม R3 และ ความเสี่ยงต่อการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของสิ่งปลูกสร้าง บ้านชนบท, ออฟฟิต, โรงพยาบาล และพระปรางค์วัดอรุณฯ ผลลัพธ์การคำนวณแสดงผลทางตารางและกราฟได้เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบระหว่าง Ed.1 และ Ed.2

การเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 : 1. การใช้งาน Ed.2 มีมาตรการป้องกันชีวิตมนุษย์ดีกว่า Ed.1, 2. Ed.2 มีการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีกว่า Ed.1 เพราะมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของสมการ, 3. อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินถูกแยกพิจารณาในแต่ละโซน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5570200521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: LIGHTNING; IEC 62305-2; RISK ASSESSMENT

DETCHSIT TAWORN: A comparison of risk assessment of lightning damage between IEC62305 Ed.1 and Ed.2. ADVISOR: ASST. PROF. KOMSON PETCHARAKS, Ph.D., 83 pp.

This thesis investigates the differences between IEC 62305-2: Ed.1 and Ed.2 (from now on, we will mention as Ed.1 and Ed.2), by using our in-house software. Our software can calculate risk R1 (loss of a human life), R2 (loss of service to the public), R3 (loss of cultural heritage) and R4 (loss of economic value and economic value), of various structures such as country house, office, hospitals and Prang of Arun Wararam temple. Difference results can be displayed as a table or graph for an easiness to compare the pros and cons of Ed.1 and Ed.2.

The comparison results between Ed.1 and Ed.2 showed that: 1. The used of Ed.2 provides a safer measured to human life than Ed.1. 2. The used of ED.2 is more economically than the Ed.1, when we considered in the term of investment to reduce the damaged cost of a structure. This is because the Ed.1 and Ed.2 used different parameter in the calculation. 3. The surge protective device in Ed.2 are considered separately for each zone.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Electrical Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนกราบขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนกราบขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. อภิบาล พฤกษานุบาล กรรมการภายนอก ที่ช่วยแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณในความช่วยเหลือจากพี่ๆน้องๆในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ตลอดการเรียนปริญญาโท

ผู้เขียนกราบขอบคุณบิดามารดาที่คอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง 1

สารบัญรูป 2

บทที่ 1 บทนำทั่วไป 6

1.1. บทนำ ที่มาและความสำคัญของปัญหา 6

1.2. วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 6

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

1.4. ระเบียบวิธีวิจัย 7

1.5. ขอบเขตของการวิจัย 7

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8

2.1. ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้องในมาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.2 8

2.1.1. ความเสียหายและความสูญเสีย 8

2.1.2. ประเภทของความเสียหาย 9

2.1.3. ประเภทความของสูญเสีย 9

2.1.4. สมการพื้นฐานองค์ประกอบความเสี่ยง 9

2.1.5. ส่วนประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้าง 10

2.1.6. ขั้นตอนการเลือกมาตรการป้องกันฟ้าผ่า 12

2.1.7. ขั้นตอนการประเมินความคุ้มค่าของการป้องกัน 12

บทที่ 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 16

หน้า

3.1. จำนวนเหตุการณ์อันตรายจากฟ้าผ่า 16
3.1.1. จำนวนเหตุการณ์ฟ้าผ่าผ่าใกล้กับสิ่งปลูกสร้าง NM....17
3.1.2. จำนวนเหตุการณ์ฟ้าผ่าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค NL....17
3.1.3. จำนวนเหตุการณ์ฟ้าผ่าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค Nl 17
3.2. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า....18
3.2.1. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PA 18
3.2.2. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PC 18
3.2.3. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PM 18
3.2.4. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PU....19
3.2.5. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PV 19
3.2.6. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PW 20
3.2.7. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PZ 20
3.3. ความสูญเสีย....21
3.3.1. ความสูญเสียต่อชีวิตมนุษย์ 21
3.3.2. ความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์....21
บทที่ 4 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 22
4.1. บ้านชนบท....22
4.1.1. คุณลักษณะของบ้านชนบท 22
4.1.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx....23
4.1.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของบ้านชนบท 23
4.1.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของบ้านชนบท 24
4.1.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของบ้านในชนบท....25
4.1.6. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของบ้านในชนบท....25

หน้า

4.1.7. ผลการคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของบ้านในชนบท 26
4.1.8. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของบ้านชนบท 27
4.1.9. สรุปผลบ้านชนบท 32
4.2. ออฟฟิต 32
4.2.1. คุณลักษณะของออฟฟิต 32
4.2.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx 32
4.2.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของออฟฟิต 33
4.2.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของออฟฟิต 34
4.2.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของออฟฟิต 35
4.2.6. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของออฟฟิต 35
4.2.7. ผลการคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของออฟฟิต 36
4.2.8. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของออฟฟิต 37
4.2.9. สรุปผลออฟฟิต 42
4.3. โรงพยาบาล 42
4.3.1. คุณลักษณะของโรงพยาบาล 42
4.3.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx 42
4.3.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของโรงพยาบาล 43
4.3.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของโรงพยาบาล 44
4.3.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของโรงพยาบาล 45
4.3.6. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของโรงพยาบาล 46
4.3.7. ผลการคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของโรงพยาบาล 46
4.3.8. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของโรงพยาบาล 47
4.3.9. สรุปผลโรงพยาบาล 52

4.4. พระปรางค์วัดอรุณฯ 52
4.4.1. คุณลักษณะของพระปรางค์วัดอรุณ 54
4.4.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx 55
4.4.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของพระปรางค์วัดอรุณฯ 56
4.4.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของพระปรางค์วัดอรุณฯ 57
4.4.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของพระปรางค์วัดอรุณฯ 58
4.4.6. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของพระปรางค์วัดอรุณฯ 58
4.4.7. สรุปผลพระปรางค์วัดอรุณฯ 60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 61
5.1. สรุปผล 61
5.2. ข้อเสนอแนะ 62
รายการอ้างอิง 63
ภาคผนวก 64
ภาคผนวก ก โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่า 65
ก.1. หน้าหลัก (Main) 65
ก.1.1. สภาพแวดล้อมภายนอก 65
ก.1.2. สายไฟฟ้า 66
ก.1.3. สายสื่อสาร 67
ก.2. สิ่งปลูกสร้าง (Structure) 68
ก.2.1. ขนาดของสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ 68
ก.2.2. สายไฟและสายสื่อสารในระบบสาธารณูปโภค 68
ก.2.3. สิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียง 69
ก.3. พื้นที่ (Zones) 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ก.3.1. พื้นที่ภายนอก (Outside zones) 70
ก.3.2. พื้นที่ภายใน (Inside zones) 72
ก.3.3. จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าในกรณีต่างๆ (Nx) 75
ก.3.4. ความน่าจะเป็นของความเสียหาย (Px) 76
ก.3.5. ความเสี่ยง (Rx) 77
ก.3.6. มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic) 80
ก.4. ข้อมูลความเสี่ยง (Risk data) 81
ก.4.1 การแสดงผลข้อมูลความเสี่ยง 81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แหล่งกำเนิดความเสียหาย ชนิดของความเสียหายและชนิดของความสูญเสียตามจุดที่ฟ้าผ่าลง 8

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ R_T.....9

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบความเสี่ยง 10

ตารางที่ 2.4 การลดทอนความเสี่ยงฟ้าผ่าจากคุณลักษณะเฉพาะของสิ่งปลูกสร้าง.....11

ตารางที่ 4.1 ค่า R1 และ R3 ของพระปรางค์วัดอรุณฯ เมื่อติดตั้ง LPS ชั้นต่างๆ.....59

ตารางที่ 4.2 ค่า R1 ของพระปรางค์วัดอรุณฯเมื่อเพิ่มมาตรการป้องกันอันตรายต่อชีวิตมนุษย์..60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเลือกมาตรการป้องกันฟ้าผ่า....13
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการประเมินค่าความคุ้มค่าของการป้องกัน....14
รูปที่ 3.1 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง A_d , A_m , A_l , A_i , A_a ของ Ed.1....16
รูปที่ 3.2 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง A_D , A_M , A_L , A_l , A_{DJ} ของ Ed.2....16
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า Nx ของบ้านชนบท....23
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่า Px ของบ้านชนบท....23
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของบ้านชนบท....24
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของบ้านชนบท....25
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของบ้านชนบท....25
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ของบ้านชนบท....26
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบมูลค่าความสูญเสียของบ้านชนบท....26
รูปที่ 4.8 R1 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....27
รูปที่ 4.9 R2 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....27
รูปที่ 4.10 R3 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....28
รูปที่ 4.11 R4 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....28
รูปที่ 4.12 การประหยัดเงินรายปีของบ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....29
รูปที่ 4.13 R1 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV....29
รูปที่ 4.14 R2 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV....30
รูปที่ 4.15 R3 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV....30
รูปที่ 4.16 R4 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV....31
รูปที่ 4.17 การประหยัดเงินรายปีของบ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV....31
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่า Nx ของออฟฟิต....32

รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่า Px ของออฟฟิต....33
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของออฟฟิต....34
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของออฟฟิต....35
รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของออฟฟิต....35
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของออฟฟิต....36
รูปที่ 4.24 มูลค่าความสูญเสียของออฟฟิต....36
รูปที่ 4.25 R1 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....37
รูปที่ 4.26 R2 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....37
รูปที่ 4.27 R3 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....38
รูปที่ 4.28 R4 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....38
รูปที่ 4.29 การประหยัดเงินรายปีของออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV....39
รูปที่ 4.30 R1 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV....39
รูปที่ 4.31 R2 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV....40
รูปที่ 4.32 R3 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV....40
รูปที่ 4.33 R4 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV....41
รูปที่ 4.34 การประหยัดเงินรายปีของออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV....41
รูปที่ 4.35 Nx ของโรงพยาบาล....42
รูปที่ 4.36 Px ของโรงพยาบาล....43
รูปที่ 4.37 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของโรงพยาบาล....44
รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของโรงพยาบาล....45
รูปที่ 4.39 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของโรงพยาบาล....46
รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของออฟฟิต....46
รูปที่ 4.41 มูลค่าความสูญเสียของโรงพยาบาล....47
รูปที่ 4.42 R1 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I....47

รูปที่ 4.43 R2 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I 48
รูปที่ 4.44 R3 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I 48
รูปที่ 4.45 R4 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I 49
รูปที่ 4.46 การประหยัดเงินรายปีของโรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I 49
รูปที่ 4.47 R1 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x 50
รูปที่ 4.48 R2 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x 50
รูปที่ 4.49 R3 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x 51
รูปที่ 4.50 R4 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x 51
รูปที่ 4.51 การประหยัดเงินรายปีของโรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x 52
รูปที่ 4.52 ภาพองค์พระปรางค์ใหญ่ วัดอรุณฯ จาก google earth 53
รูปที่ 4.53 ภาพตัวนำล่อฟ้าที่ด้านข้าง ยอดนภศูลเหนือองค์พระปรางค์ใหญ่วัดอรุณฯ [4] 54
รูปที่ 4.54 แผนที่การเกิดฟ้าผ่าบนโลก [5] 55
รูปที่ 4.55 Nx ของพระปรางค์.....55
รูปที่ 4.56 Px ของพระปรางค์.....56
รูปที่ 4.57 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของพระปรางค์.....57
รูปที่ 4.58 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของพระปรางค์.....58
รูปที่ ก.1 หน้าหลักของโปรแกรมในส่วนของสภาพแวดล้อม 66
รูปที่ ก.2 หน้าหลักของโปรแกรมในส่วนของสายไฟฟ้า 67
รูปที่ ก.3 หน้าหลักของโปรแกรมในส่วนของสายสื่อสาร 68
รูปที่ ก.4 การระบุขนาดของสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล 70
รูปที่ ก.5 พื้นที่ภายนอก 72
รูปที่ ก.6 พื้นที่ภายใน.....75
รูปที่ ก.7 จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าในกรณีต่างๆ.....76

รูปที่ ก.8 ความน่าจะเป็นของความเสียหายที่เกิดฟ้าผ่าขึ้นในกรณีต่างๆ 77
รูปที่ ก.9 การคำนวณความเสี่ยงของมนุษย์ 78
รูปที่ ก.10 การคำนวณความเสี่ยงของระบบสาธารณูปโภค 79
รูปที่ ก.11 การคำนวณความเสี่ยงของมรดกทางวัฒนธรรม 79
รูปที่ ก.12 การคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ 80
รูปที่ ก.13 การคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ 81
รูปที่ ก.14 การแสดงผลข้อมูลความเสี่ยง R1, R2, R3 และ CL.....82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำทั่วไป

1.1. บทนำ ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สาเหตุมากจากมนุษย์ปลดปล่อยก๊าซที่ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจกเพิ่มอย่างต่อเนื่อง เกิดสภาวะอากาศของโลกแปรปรวน ทำให้เกิดภัยพิบัติจากธรรมชาติอย่างรุนแรงซึ่งยากแก่การคาดเดา วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่สร้างความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สิน นั่นก็คือปรากฏการณ์ฟ้าผ่า (Lightning)

เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสู่พื้นดิน จุดที่ฟ้าผ่าลงมา ทำให้เกิดอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตจากการสัมผัสลำฟ้าผ่าโดยตรง (Touch Voltage) และผลจากแรงดันเกิน (Touch Voltage) ฟ้าผ่าสามารถสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น (Electro Magnetic Wave) สร้างความเสียหายแก่ระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลต่อระบบเสถียรภาพ (Stability) และความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability)

เนื่องจากฟ้าผ่าเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เราไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดขึ้นที่ไหนเวลาใด ดังนั้นเราจึงต้องมีการป้องกันฟ้าผ่าขึ้น ในวิทยานิพนธ์ได้ทำสร้างโปรแกรมเพื่อประเมินความเสี่ยงของฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305 [1], [2], [3] เพื่อใช้ในการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า เพื่อความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และทรัพย์สิน

1.2. วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 ศึกษาการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 623305-2 Ed.1 และ IEC 623305-2 Ed.2

1.2.2 พัฒนาโปรแกรมประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305-2 ให้มีความสะดวกและรวดเร็ว

1.2.3 ทดสอบเปรียบเทียบโปรแกรมประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305-2

1.2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง มาตรฐาน IEC 623305-2 Ed.1 และ มาตรฐาน IEC 623305-2 Ed.2

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 มีความรู้เรื่องการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305-2

1.3.2 ใช้โปรแกรมประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าได้กับสิ่งปลูกสร้างทั่วไป สามารถระบุย่านการป้องกันฟ้าผ่าพร้อมทั้งเลือกมาตรการป้องกันฟ้าผ่าทั้งแบบอัตโนมัติหรือเลือกโดยผู้ใช้ และแสดงผลในรูปแบบของตารางข้อมูลและกราฟได้

1.3.3 จากการเปรียบเทียบสามารถปรับปรุงอาคารเก่าที่ออกแบบตาม Ed.1 ให้เป็นไปตาม Ed.2 ได้

1.4. ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1ศึกษามาตรฐานและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่า

1.4.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010

1.4.3 ทำการพัฒนาโปรแกรมประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน

1.4.4 ทำการทดสอบโปรแกรมประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน และแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรม

1.4.5 สามารถอธิบายข้อแตกต่างระหว่างมาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.1 และ มาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.2

1.4.6 สรุปและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5. ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีพื้นฐานในแง่ของ สาเหตุ ผลกระทบ และวิธีการป้องกัน จากมาตรฐานที่มีอยู่ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ และพัฒนาโปรแกรมประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305-2 ซึ่งสามารถประเมินความเสี่ยงของสิ่งปลูกสร้างทั่วไป เช่น บ้านในชนบท ออฟฟิศ และ โรงพยาบาล แสดงผลในรูปของตารางข้อมูลและกราฟได้ รวมทั้งสามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างมาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.1 และ มาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.2

Chulalongkorn University

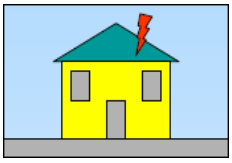
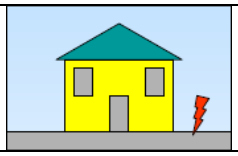
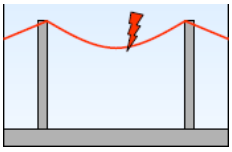
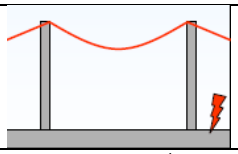
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้องในมาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.2

2.1.1. ความเสียหายและความสูญเสีย

กระแสฟ้าผ่าคือแหล่งกำเนิดพื้นฐานของความเสียหาย (Source of damage) ซึ่งสามารถแยกตามจุดที่ฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แหล่งกำเนิดความเสียหาย ชนิดของความเสียหายและชนิดของความสูญเสียตามจุดที่ฟ้าผ่าลง

ฟ้าผ่า		สิ่งปลูกสร้าง	
จุดที่ฟ้าผ่าลงมา	แหล่งกำเนิดของความเสียหาย	ชนิดของความเสียหาย	ชนิดของความสูญเสีย
	S1	D1 D2 D3	L1,L4[2)] L1,L2,L3,L4 L1[1)],L2,L4
	S2	D3	L1[1)],L2,L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4[2)] L1,L2,L3,L4 L1[1)],L2,L4
	S4	D3	L1[1)],L2,L4
1) สำหรับสิ่งปลูกสร้างที่เสียงต่อการระเบิดหรือโรงพยาบาลหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นที่ทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์เนื่องจากความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์			
2) สำหรับพื้นที่ซึ่งเกิดความเสียหายกับสัตว์			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

S1 คือ ฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างโดยตรง

S2 คือ ฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง

S3 คือ ฟ้าผ่าระบบบริการที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้างโดยตรง

S4 คือ ฟ้าผ่าใกล้ระบบบริการที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง

2.1.2. ประเภทของความเสียหาย

D1 คือ การบาดเจ็บของมนุษย์

D2 คือ ความเสียหายทางกายภาพ

D3 คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

2.1.3. ประเภทความของสูญเสีย

L1 คือ ความสูญเสียต่อชีวิตมนุษย์

L2 คือ ความสูญเสียต่อสาธารณูปโภค

L3 คือ ความสูญเสียต่อมรดกทางวัฒนธรรม

L4 คือ ความสูญเสียต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจ

2.1.4. สมการพื้นฐานองค์ประกอบความเสี่ยง

R_1 คือ ความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิต

R_2 คือ ความเสี่ยงต่อการสูญเสียระบบสาธารณูปโภค

R_3 คือ ความเสี่ยงต่อความสูญเสียทางมรดกวัฒนธรรม

R_4 คือ ความเสี่ยงต่อความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์

R_T คือ ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ R_T

ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (R_T)		
ประเภทความสูญเสีย	Ed. 1	Ed. 2
ชีวิตมนุษย์	10^{-5}	10^{-5}
สาธารณูปโภค	10^{-3}	10^{-3}
มรดกทางวัฒนธรรม	10^{-3}	10^{-4}

จากตารางที่ 2.2 พบว่า Ed.2 มีการปรับปรุงค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ของมรดกทางวัฒนธรรม มีความละเอียดเพิ่มขึ้นแสดงถึง IEC ได้ให้ความสำคัญกับมรดกทางวัฒนธรรมมากขึ้น เพราะมรดกทางวัฒนธรรมเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหามาทดแทนได้

2.1.5. ส่วนประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้าง

ฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างโดยตรง (S1)

ส่วนประกอบความเสี่ยง (Risk components) ที่เกิดขึ้นคือ

R_A คือ อาการกระตุกจากไฟฟ้าช็อตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ (D1)

R_B คือ ความเสียหายทางกายภาพ (D2)

R_C คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ (D3)

ฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง (S2)

R_M คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ (D3)

ฟ้าผ่าระบบสาธารณูปโภคโดยตรง (S3)

R_U คือ อาการกระตุกจากไฟฟ้าช็อตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ (D1)

R_V คือ ความเสียหายทางกายภาพ (D2)

R_W คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ (D3)

ฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค (S4)

R_Z คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ (D3)

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบความเสี่ยง

Ed.1 and Ed.2	R_1	R_2	R_3	R_4
R_A	•			•
R_B	•	•	•	•
R_C	•	•		•
R_M	•	•		•
R_U	•			•
R_V	•	•	•	•
R_W	•	•		•
R_Z	•	•		•

แต่ละองค์ประกอบความเสี่ยง R_A , R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W และ R_Z สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$R_x = N_x \bullet P_x \bullet L_x \qquad (2.1)$$

โดยที่ N_x คือ จำนวนเหตุการณ์การอันตรายต่อปี

P_x คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง

L_x คือ ความสูญเสียที่เกิดขึ้น

การลดทอนความเสี่ยงของฟ้าผ่านั้นจะขึ้นอยู่คุณลักษณะเฉพาะของสิ่งปลูกสร้าง นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ติดตั้งในสิ่งปลูกสร้าง และยังมีปัจจัยภายนอกอีก เช่น ความต้านทานผิวดิน สภาพแวดล้อมภายนอกรอบๆสิ่งปลูกสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การลดทอนความเสี่ยงฟ้าผ่าจากคุณลักษณะเฉพาะของสิ่งปลูกสร้าง

Characteristic of Structure	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Collection area	••	••	••	••	••	••	••	••
Surface soil resistivity	••							
Floor resistivity					••			
Physical restrictions, insulation, warning notice, soil equipotentialization	••				••			
LPS	•[1]•	••	•[2]•	•[2,a]•	•[3,b]•	•[3,b]•		
Bonding SPD	•	•			•	•		
Isolating interfaces			•[c]	•[c]	•	•	•	•
Coordinated SPD protection			••	••			••	••
Spatial shield			••	••				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Shielding external lines					••	••	••	••
Shielding internal lines			••	••				
Routing precautions			••	••				
Bonding network			••					
Fire precautions		••				••		
Fire sensitivity		••				••		
Special hazard		••				••		
Impulse withstand voltage			••	••	••	••	••	••

• IEC 62305-2 Ed.1

• IEC 62305-2 Ed.2

1 คือ ในกรณีทั่วไป หรือมาตรฐานระบบป้องกันฟ้าผ่า ที่มีการวางดาวน์คอนดัคเตอร์น้อยกว่า 10 เมตร หรือข้อจำกัดทางกายภาพ ที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อชีวิตจากการสัมผัสและแรงดันเกิน

2,a เฉพาะกริดภายนอกของระบบป้องกันฟ้าผ่า

3,b การเชื่อมต่อผสานศักย์

c เฉพาะอุปกรณ์เท่านั้น

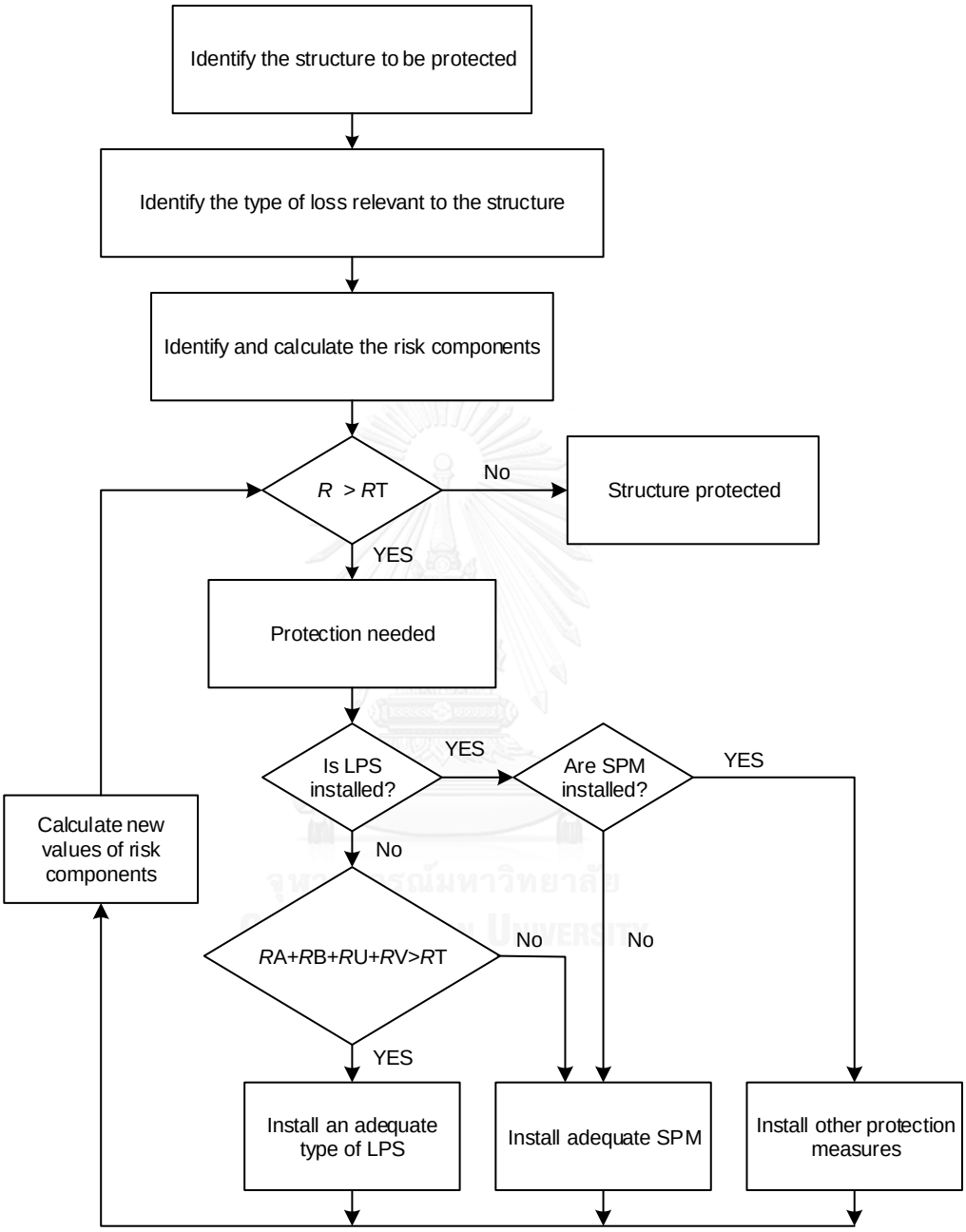
2.1.6. ขั้นตอนการเลือกมาตรการป้องกันฟ้าผ่า

เริ่มจากระบุความเสี่ยงที่เราสนใจ จากนั้นคำนวณความเสี่ยงต่างๆ นำความเสี่ยงที่ได้ไปเปรียบเทียบค่ากับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ถ้าค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ สิ่งปลูกสร้างก็ไม่ต้องการการป้องกัน แต่ถ้าค่าความเสี่ยงมีค่ามากกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ถ้าส่วนประกอบความเสี่ยงย่อย $R_A + R_B + R_U + R_V$ มีค่าน้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้แล้ว ให้ตรวจสอบต่อไปว่าสามารถลดความเสี่ยงจากการติดตั้งการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าได้หรือไม่ ขั้นตอนการเลือกมาตรการป้องกันฟ้าผ่าแสดงดังรูปที่ 2.1

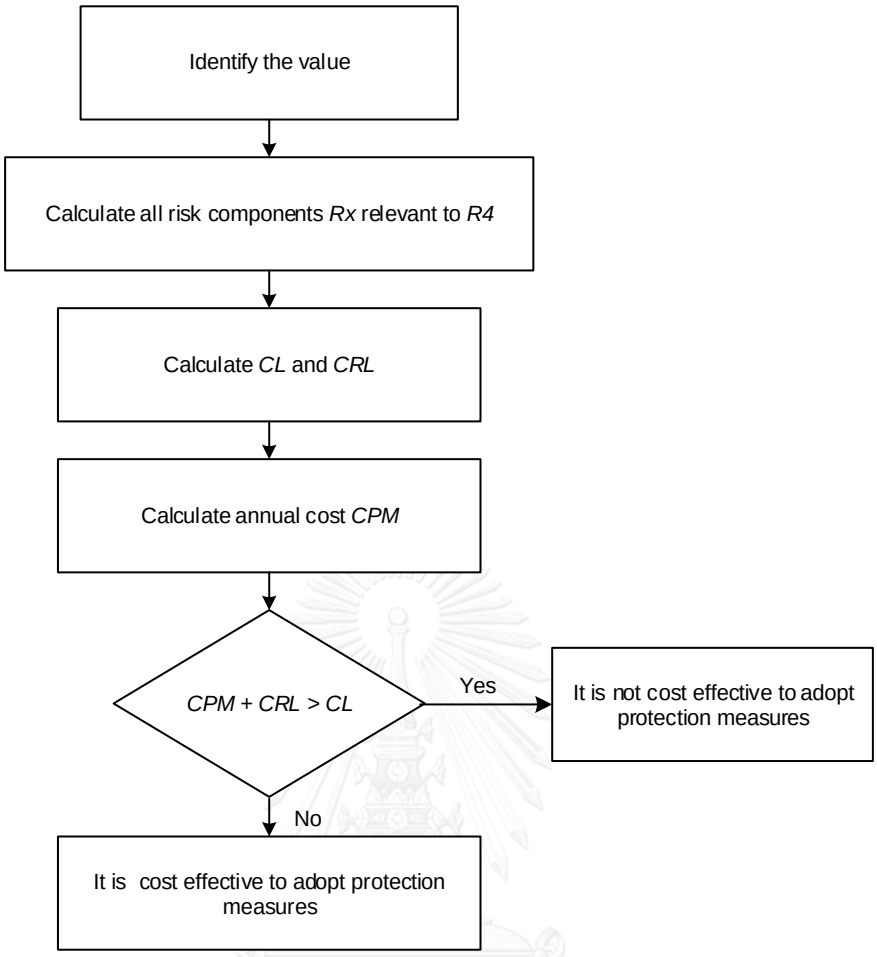
2.1.7. ขั้นตอนการประเมินความคุ้มค่าของการป้องกัน

เริ่มจากระบุองค์ประกอบความเสี่ยงย่อยที่ทำให้เกิดความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 จากนั้นคำนวณความเสี่ยงที่เกิดขึ้น นำความเสี่ยงที่ได้ไปคำนวณหามูลค่ารายปีของการสูญเสีย CL, มูลค่ารายปีของการสูญเสียคงเหลือ CRL และ มูลค่าการป้องกันรายปี CPM ถ้า CPM + CRL มีค่ามากกว่า

CL มาตรการป้องกันที่นำมาใช้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน แต่ถ้าน้อยกว่า มาตรการป้องกันที่นำมาใช้คุ้มค่ากับการลงทุน แสดงดังรูปที่ 2.2 การหาค่า CL และ CPM แสดงดังสมการที่ 2.2 และ สมการที่ 2.3



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเลือกมาตรการป้องกันฟ้าผ่า



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการประเมินค่าความคุ้มค่าของการป้องกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าใช้จ่ายประจำปีคำนวณได้จากสมการ

$$C_{PM} = C_P \times (i+a+m) \quad (2.2)$$

โดยที่ C_{PM} คือ ค่าใช้จ่ายประจำปี

C_p คือ มูลค่าการป้องกัน

i คือ อัตราดอกเบี้ย

a คือ อัตราค่าตัดจำหน่าย

m คือ อัตราการบำรุงรักษา

การประเมินมูลค่าของความสูญเสีย

มูลค่าความสูญเสียคำนวณได้จากสมการ

$$C_L = \Sigma C_{LZ} = R_4 \times c_t \quad (2.3)$$

โดยที่ C_L คือ มูลค่าความสูญเสีย

C_{LZ} คือ มูลค่าความสูญเสียของแต่ละโซน

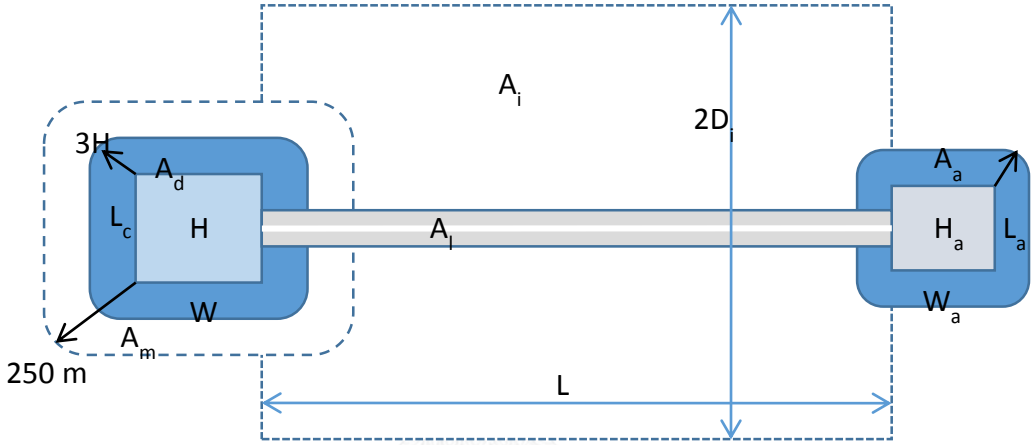
c_t คือ มูลค่าทั้งหมดของสิ่งปลูกสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

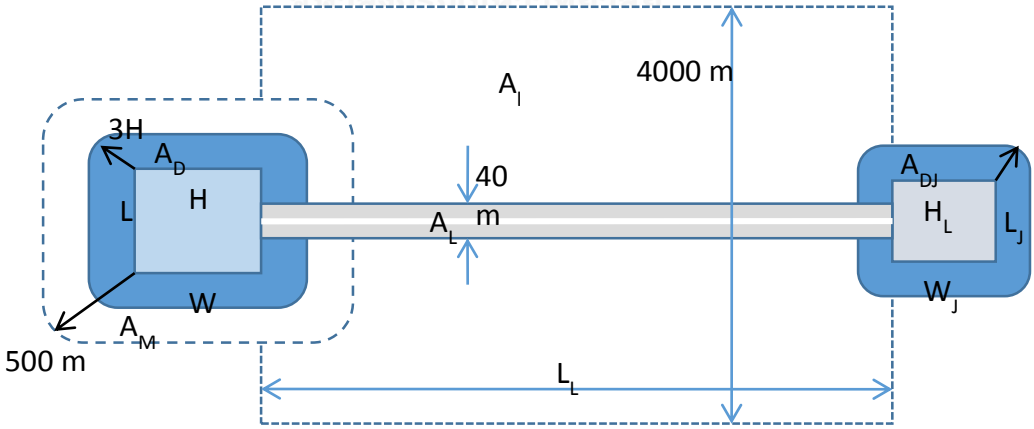
บทที่ 3
การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Ed.1 และ Ed.2

3.1. จำนวนเหตุการณ์อันตรายจากฟ้าผ่า

จำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่าจะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง ความหนานแน่นของวาบฟ้าผ่า สิ่งแวดล้อมรอบๆสิ่งปลูกสร้าง โดยที่พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างแสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง A_d , A_m , A_l , A_i , A_a ของ Ed.1



รูปที่ 3.2 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง A_D , A_M , A_L , A_l , A_{DJ} ของ Ed.2

การเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 กรณีของพื้นที่ฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง A_M ที่เราสนใจ Ed.2 ได้ขยายพื้นที่รับฟ้าผ่าออกไปเป็น 2 เท่าของ Ed.1 เหตุผลที่ต้องขยายพื้นที่ออกไป

เพราะว่า กรณีที่ฟ้าผ่าลงมานอกรัศมี 250 m แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจากฟ้าผ่ายังสามารถสร้างอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สินที่อยู่ในสิ่งปลูกสร้างได้

พื้นที่ฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค A_L มีการเปลี่ยนแปลงการคำนวณหาค่าอย่างชัดเจน โดยยกเลิกการนำความต้านทานดินและความสูงของสายไฟและสายสื่อสารมาคิด รวมทั้งเปลี่ยนแปลงขอบเขตพื้นที่รับฟ้าผ่า โดยในมาตรฐานใหม่ได้เปลี่ยนการคำนวณเป็นสมการเดียวสามารถใช้ได้ทั้งแบบสายฝังดินและสายลอยในอากาศ ส่วนพื้นที่รับฟ้าผ่าได้เปลี่ยนสูตรการคำนวณใหม่โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างจากสายไฟฟ้าและสายสื่อสารเป็น 40 m

พื้นที่ฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค A_l โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างจากสายไฟฟ้าและสายสื่อสารเป็น 4000 m ซึ่งต่างจากมาตรฐานเก่าที่ใช้ค่าระยะด้านข้าง 2Di = 1000 m เป็นตัวกำหนดขอบเขตพื้นที่รับฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค เหตุผลที่เพิ่มระยะมากขึ้นก็เพราะว่าฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคในระยะมากกว่า 1000 m สามารถเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันเกินขนาดไม่ต่ำกว่า 1.5 kV ทำให้ได้รับผลกระทบจากฟ้าผ่าอยู่จึงขยายขอบเขตออกไปเป็น 4000 m แทน

3.1.1. จำนวนเหตุการณ์ฟ้าผ่าผ่าใกล้กับสิ่งปลูกสร้าง NM

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 Ed.2 มีการขยายรัศมีในการคำนวณหาพื้นที่เป็น 2 เท่าของ Ed.1 จาก 250 m เป็น 500 m การคำนวณตามสมการในมาตรฐาน [2], [3] เมื่อคำนวณพื้นที่ออกมาแล้ว พื้นที่ NM ของ Ed.1 จะต้องนำมาลบออกกับ ND ในขณะที่ Ed.2 ไม่ต้องนำมาลบออก จึงทำให้จำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า ผ่าลงใกล้สิ่งปลูกสร้างของ Ed.2 มีค่ามากกว่า Ed.1

3.1.2. จำนวนเหตุการณ์ฟ้าผ่าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค NL

การคำนวณหาพื้นที่ฟ้าผ่าของ NL ใน Ed.2 ได้ยกเลิกการนำค่าความต้านทานเฉพาะของดินและความสูงของสายขึงในอากาศมาคิด [3] เปลี่ยนมาใช้ 40 x L แทน เมื่อ L คือความยาวสายส่ง ทำให้การคำนวณ NL ใน Ed.2 มีการคำนวณที่ง่ายกว่าลดปัญหาในการคำนวณหาความต้านทานเฉพาะของดินที่มีค่าไม่แน่นอน นอกจากนี้ค่าตัวประกอบสิ่งแวดล้อม Ce ของ Ed.2 ในกรณีตึกสูงมากกว่า 20 เมตร ค่า Ce = 0.01 ซึ่งใน Ed.1 ในกรณีนี้ค่า Ce = 0

3.1.3. จำนวนเหตุการณ์ฟ้าผ่าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค Nl

การคำนวณหาพื้นที่ฟ้าผ่าของ Nl ใน Ed.2 ได้ยกเลิกสมการระยะด้านข้าง $2D_i$ = 1000 m เปลี่ยนมาใช้เป็น 4000 x L เมื่อ L คือ ความยาวสายส่ง เหตุผลที่เปลี่ยนสมการ เพราะว่าผลกระทบจากฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคมีผลกระทบมากกว่าในระยะ 1000 m อาจทำให้เกิดแรงดันเกินในสายส่งหรือสายสื่อสารได้

3.2. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า

ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ติดตั้งในสิ่งปลูกสร้าง เช่น ระบบป้องกันฟ้าผ่า (LPS), อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (SPDs) และ การชิลด์สายเป็นต้น

3.2.1. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PA

PA คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า ผ่าลงสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อชีวิตมนุษย์ โดยที่ PA ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันเพิ่มเติม [2] ในขณะที่ PA ของ Ed.2 ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันเพิ่มเติมและระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยที่มาตรการป้องกันเพิ่มเติมของ Ed.2 ได้มีการเพิ่มในกรณีของข้อจำกัดทางกายภาพของตัวสิ่งปลูกสร้างใช้เป็นระบบตัวนำลงดินทำให้ค่า PA = 0

3.2.2. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PC

PC คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า ผ่าลงสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบภายใน โดยที่ PC ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับระดับการป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ในขณะที่ PC ของ Ed.2 จะเพิ่มตัวประกอบการชิลด์ การกราวด์ และการแยกออก เพิ่มเข้าไป ทำให้ค่า PC ของ Ed.2 มีการคำนวณที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น และอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จของ Ed.2 ได้มีการปรับค่าในกรณีของ SPDs ระดับ 3-4 จาก 0.03 เป็น 0.05

3.2.3. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PM

PM ความน่าจะเป็นของความเสียหายฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบภายใน โดยที่ PM ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับ $K_{MS} = K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4}$ โดยต้องนำค่า K_{MS} ที่คำนวณได้ไปเทียบบรรยัติไตรยางค์เพื่อหาค่า PM [2] ในขณะที่ PM ของ Ed.2 ขึ้นอยู่กับระดับป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จและ $(K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2$

ค่า K_{S3} ขึ้นอยู่กับการเดินสายภายใน โดยที่ K_{S3} ของ Ed.2 มีการเพิ่มเติมค่าในกรณี การเดินสายภายในแบบ เคเบิลไม่มีชิลด์มีการระวังเส้นทางการเดินสายเพื่อหลีกเลี่ยงวงรอบขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.01 และตัดในส่วนของ Ed.1 บางค่าทิ้งได้แก่ เคเบิลที่มีการชิลด์ โดยมีความต้านทานการชิลด์อยู่ในช่วง 5-20 โอห์มต่อกิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.001 และ เคเบิลที่มีการชิลด์ โดยมีความต้านทานการชิลด์อยู่ในช่วง 1-5 โอห์มต่อกิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.0002

ค่า K_{S4} ของ Ed.1 และ Ed.2 ขึ้นอยู่กับค่าพิกัดแรงดันอิมพัลส์ โดยที่สมการของ Ed.2 คือ $1/U_W$ ในขณะที่ สมการของ Ed.1 คือ $1.5/U_W$ โดยที่ค่า U_W ของ Ed.2 เริ่มที่ 1, 1.5, 2.5, 4 และ 6 kV ซึ่งแตกต่างกับ Ed.1 โดยที่ ค่า UW ของ Ed.1 เริ่มที่ 1.5, 2.5, 4 และ 6 kV

3.2.4. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PU

PU คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า ผ่าลงระบบสาธารณูปโภคทำให้เกิดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต โดยที่ PU ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไม่มีการประสานศักย์เท่ากันตามมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าแล้ว PU ของ Ed.1 จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของการชิลด์สายและแรงดันอิมพัลส์ แต่ถ้ามีการประสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PU ของ Ed.1 จะขึ้นกับระดับการป้องกันของ SPDs ในขณะที่ PU ของ Ed.2 ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันแรงดันสัมผัส ระดับการป้องกันของ SPDs โดยมีการประสานศักย์ให้เท่ากันทุกจุด ความต้านทานของการชิลด์สาย และตัวประกอบของการชิลด์ การกราวด์ การแยกออก

ความแตกต่างของ PU ของ Ed.1 และ Ed.2 คือ Ed.2 จะนำค่าที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาคูณกันเพื่อให้ได้ PU แต่ขณะที่ Ed.1 จะคิดเป็นกรณีไป เช่น ถ้ามีการประสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PU ของ Ed.1 จะเท่ากับระดับการป้องกันของ SPDs แต่ถ้าไม่มีการประสานศักย์แล้วค่า PU จะเท่ากับความต้านทานชิลด์ของสาย ดังนั้นแล้ว ค่า PU ของ Ed.2 จะมีผลการคำนวณที่ถูกต้องกว่าเพราะคิดผลที่จะเกิดขึ้นในทุกกรณี แต่ขณะที่ PU ของ Ed.1 คิดผลแยกกัน โดยที่ตรงเงื่อนไขไหนก็ให้ใช้เงื่อนไขนั้นมาคำนวณ

3.2.5. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PV

PV คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ โดยที่ PV ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไม่มีการประสานศักย์เท่ากันตามมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าแล้ว PU ของ Ed.1 จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของการชิลด์สายและแรงดันอิมพัลส์ แต่ถ้ามีการประสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PV ของ Ed.1 จะขึ้นกับระดับการป้องกันของ SPDs ในขณะที่ PV ของ Ed.2 ขึ้นอยู่กับระดับการป้องกันของ SPDs โดยมีการประสานศักย์ให้เท่ากันทุกจุด ความต้านทานของการชิลด์สาย และตัวประกอบของการชิลด์ การกราวด์ การแยกออก

ความแตกต่างของ PV ของ Ed.1 และ Ed.2 คือ Ed.2 จะนำค่าที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาคูณกันเพื่อให้ได้ PV แต่ขณะที่ Ed.1 จะคิดเป็นกรณีไป เช่น ถ้ามีการประสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PV ของ Ed.1 จะเท่ากับระดับการป้องกันของ SPDs แต่ถ้าไม่มีการผสานศักย์แล้วค่า PV จะเท่ากับความต้านทานชิลด์ของสาย ดังนั้นแล้ว ค่า PV ของ Ed.2 จะมีผลการคำนวณที่ถูกต้องกว่าเพราะคิดผลที่จะเกิดขึ้นในทุกกรณี แต่ขณะที่ PV ของ Ed.1 คิดผลแยกกัน โดยที่ตรงเงื่อนไขไหนก็ให้ใช้เงื่อนไขนั้นมาคำนวณ

3.2.6. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PW

PW คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน โดยที่ PW ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไม่มีการประสานศักย์เท่ากันตามมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าแล้ว PW ของ Ed.1 จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของการชิลด์สายและแรงดันอิมพัลส์ แต่ถ้ามีการผสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PW ของ Ed.1 จะขึ้นกับระดับการป้องกันของ SPDs ในขณะที่ PW ของ Ed.2 ขึ้นอยู่การประสานสัมพันธ์ของระบบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ความต้านทานของการชิลด์สาย และตัวประกอบของการชิลด์ การกราวด์ การแยกออก

ความแตกต่างของ PW ของ Ed.1 และ Ed.2 คือ Ed.2 จะนำค่าที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาคูณกันเพื่อให้ได้ PW แต่ขณะที่ Ed.1 จะคิดเป็นกรณีไป เช่น ถ้ามีการประสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PW ของ Ed.1 จะเท่ากับระดับการป้องกันของ SPDs แต่ถ้าไม่มีการผสานศักย์แล้วค่า PW จะเท่ากับความต้านทานชิลด์ของสาย ดังนั้นแล้ว ค่า PW ของ Ed.2 จะมีผลการคำนวณที่ถูกต้องกว่าเพราะคิดผลที่จะเกิดขึ้นในทุกกรณี แต่ขณะที่ PW ของ Ed.1 คิดผลแยกกัน โดยที่ตรงเงื่อนไขไหนก็ให้ใช้เงื่อนไขนั้นมาคำนวณ

3.2.7. ความน่าจะเป็นของความเสียหายจากฟ้าผ่า PZ

PZ คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน โดยที่ PZ ของ Ed.1 ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จไม่มีการประสานศักย์เท่ากันตามมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าแล้ว PZ ของ Ed.1 จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของการชิลด์สายและแรงดันอิมพัลส์ แต่ถ้ามีการผสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PZ ของ Ed.1 จะขึ้นกับระดับการป้องกันของ SPDs ในขณะที่ PZ ของ Ed.2 ขึ้นอยู่การประสานสัมพันธ์ของระบบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ความต้านทานของการชิลด์สาย และตัวประกอบของการชิลด์ การกราวด์ การแยกออก

ความแตกต่างของ PZ ของ Ed.1 และ Ed.2 คือ Ed.2 จะนำค่าที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาคูณกันเพื่อให้ได้ PZ แต่ขณะที่ Ed.1 จะคิดเป็นกรณีไป เช่น ถ้ามีการประสานศักย์ให้เท่ากันแล้วค่า PZ ของ Ed.1 จะเท่ากับระดับการป้องกันของ SPDs แต่ถ้าไม่มีการผสานศักย์แล้วค่า PZ จะเท่ากับความต้านทานชิลด์ของสาย ดังนั้นแล้ว ค่า PZ ของ Ed.2 จะมีผลการคำนวณที่ถูกต้องกว่าเพราะคิดผลที่จะเกิดขึ้นในทุกกรณี แต่ขณะที่ PZ ของ Ed.1 คิดผลแยกกัน โดยที่ตรงเงื่อนไขไหนก็ให้ใช้เงื่อนไขนั้นมาคำนวณ

3.3. ความสูญเสีย

ความสูญเสียจากฟ้าผ่า ขึ้นอยู่กับจำนวนคนที่อยู่ในเหตุการณ์ ความอันตรายในบริเวณสิ่งปลูกสร้าง และชนิดของสิ่งปลูกสร้างเป็นต้น

3.3.1. ความสูญเสียต่อชีวิตมนุษย์

LT คือ ความสูญเสียจากอาการบาดเจ็บจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว โดยที่ LT ของ Ed.1 จะแยกค่าระหว่างคนอยู่ในสิ่งปลูกสร้างมีค่าเท่ากับ 10^{-4} กับคนอยู่ภายนอกสิ่งปลูกสร้างมีค่าเท่ากับ 10^{-2} ในขณะที่ LT ของ Ed.2 มีเพียงค่าเดียวคิดในทุกกรณีไม่ว่าคนจะอยู่ภายนอกหรือภายในสิ่งปลูกสร้างมีค่าเท่ากับ 10^{-2}

LF คือ ความสูญเสียจากความเสียหายทางกายภาพ โดยที่ LF ของ Ed.2 มีการเพิ่มเติมค่าจาก Ed.1 ในส่วนของ ความเสี่ยงที่จะระเบิด มีค่าเท่ากับ 0.1

LO คือ ความสูญเสียจากความล้มเหลวของระบบภายใน โดยที่ LO ของ Ed.2 มีการเพิ่มเติมค่า จาก Ed.1 ในส่วนของ ห้องควบคุมของโรงพยาบาล มีค่าเท่ากับ 0.01

rf คือ ตัวประกอบความสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ โดยที่ rf ของ Ed.2 ได้มีการเพิ่มค่าในส่วนของการระเบิดในย่าน 1,21 มีค่าเท่ากับ 0.1 และย่าน 2,22 มีค่าเท่ากับ 0.001

hz คือ อันตรายพิเศษ โดยที่ hz ของ Ed.2 มีการตัดค่าทิ้ง 2 ค่าคือ อันตรายต่อพื้นที่โดยรอบมีค่าเท่ากับ 20 และการปนเปื้อนต่อพื้นที่โดยรอบมีค่าเท่ากับ 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2. ความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์

LT คือ ความสูญเสียจากอาการบาดเจ็บจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว โดยที่ LT ของ Ed.1 จะแยกค่าระหว่างคนอยู่ในสิ่งปลูกสร้างมีค่าเท่ากับ 10^{-4} กับคนอยู่ภายนอกสิ่งปลูกสร้างมีค่าเท่ากับ 10^{-2} ในขณะที่ LT ของ Ed.2 มีเพียงค่าเดียวคิดในทุกกรณีไม่ว่าคนจะอยู่ภายนอกหรือภายในสิ่งปลูกสร้างมีค่าเท่ากับ 10^{-2}

LF คือ ความสูญเสียจากความเสียหายทางกายภาพ โดยที่ LF ของ Ed.2 มีการเพิ่มเติมค่าจาก Ed.1 ในส่วนของ ความเสี่ยงที่จะระเบิด มีค่าเท่ากับ 1

บทที่ 4
ผลการเปรียบเทียบระหว่าง Ed.1 และ Ed.2

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงฟ้าผ่า พัฒนามาจากโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 โดยทำการเขียนขึ้นมา 2 โปรแกรม สำหรับ IEC 62305-2 Ed.1 และ IEC 62305-2 Ed.2 โดยตัวโปรแกรมสามารถคำนวณหาค่าความเสี่ยงและคำนวณหาค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้ในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ คำอธิบายโปรแกรมจะอธิบายเฉพาะโปรแกรมในส่วนของ IEC 62305-2 Ed.2 (2010) ในส่วนของ Ed.1 จะมีลักษณะหน้าตาโปรแกรมเหมือน Ed.2 แต่โค้ดโปรแกรมที่เขียนขึ้นแตกต่างกัน รายละเอียดการใช้งานโปรแกรมแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

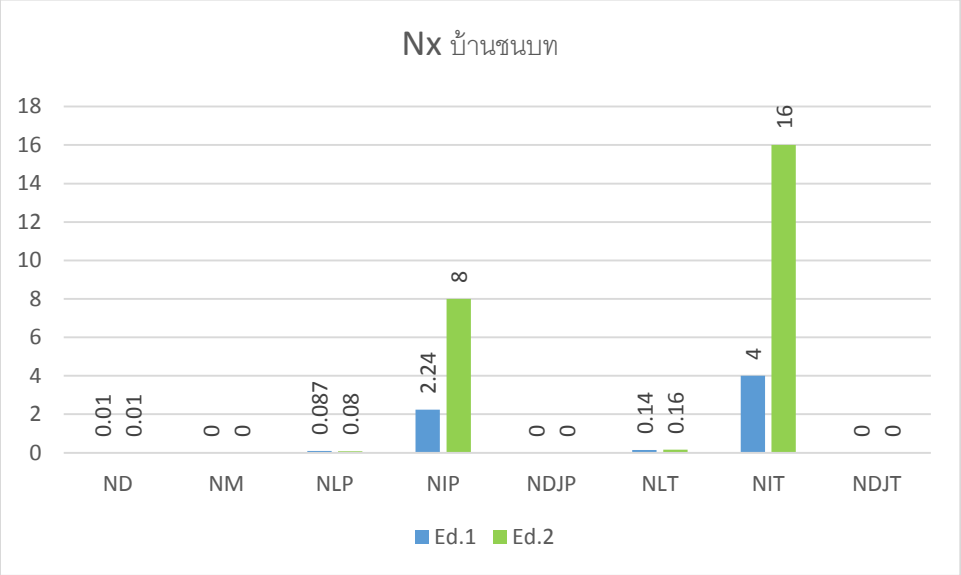
ในบทนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.1 และ Ed.2 โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นเองในการศึกษา การเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบโดยพิจารณาอาคารที่สนใจ คือ บ้านชนบท ออฟฟิต โรงพยาบาล พระปรางค์วัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร โดยที่ 3 อาคารแรกอ้างอิงคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างจากมาตรฐาน IEC 62305-2 ส่วนอาคารหลัง เป็นกรณีศึกษาจากเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าขึ้นจริง

4.1. บ้านชนบท

4.1.1. คุณลักษณะของบ้านชนบท

คุณลักษณะของบ้านชนบท กำหนดค่า Ng = 4 วาบฟ้าผ่าต่อตารางกิโลเมตรต่อปี, ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ของชีวิตมนุษย์ $R_T = 10^{-5}$ สมมติให้มีบุคคลอยู่ในบ้านเท่านั้นในตอนเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง, มูลค่าความสูญเสียทั้งหมดเท่ากับ 4×10^6 $ จำนวนคนที่อยู่ในบ้านเท่ากับ 5 คน คุณลักษณะสิ่งแวดล้อมและภายในสิ่งปลูกสร้าง [2], [3] กำหนดให้มูลค่า CPM ของการติดตั้ง LPS IV เท่ากับ 200 $ และมูลค่า CPM ของการติดตั้ง LPS IV และ SPDs IV เท่ากับ 260 $

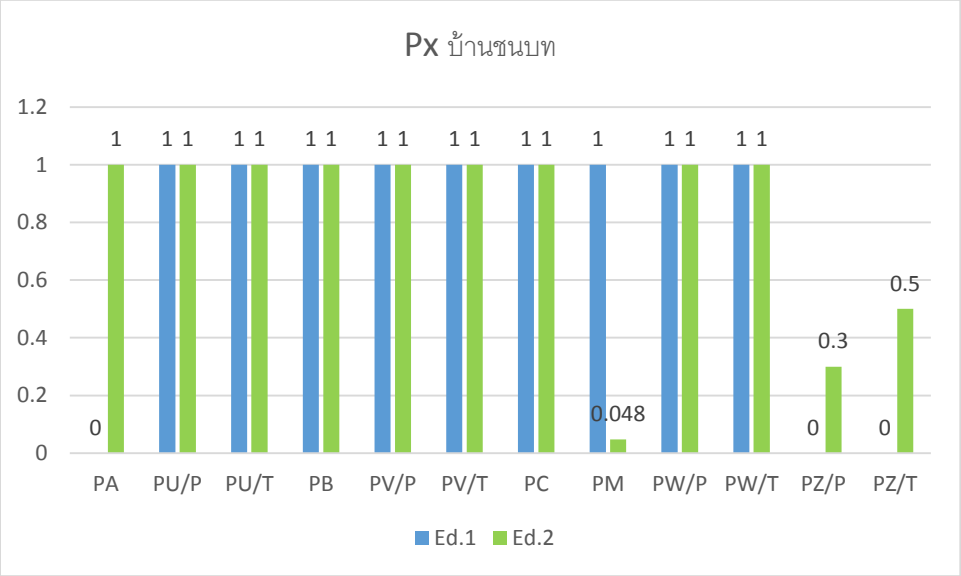
4.1.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า Nx ของบ้านชนบท

จากรูปที่ 4.1 ค่า NIP, NLT และ NIT มีความแตกต่างกันระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าสมการคำนวณพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.1 และ Ed.2 มีความแตกต่างกันโดยที่พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.2 มีค่ามากกว่าจึงทำให้ค่า NIP, NLT และ NIT มีค่าสูงกว่า Ed.1 เมื่อค่าเหล่านี้สูงกว่าย่อมทำให้ความเสี่ยง R1 ของ Ed.2 มีค่าสูงกว่า Ed.1

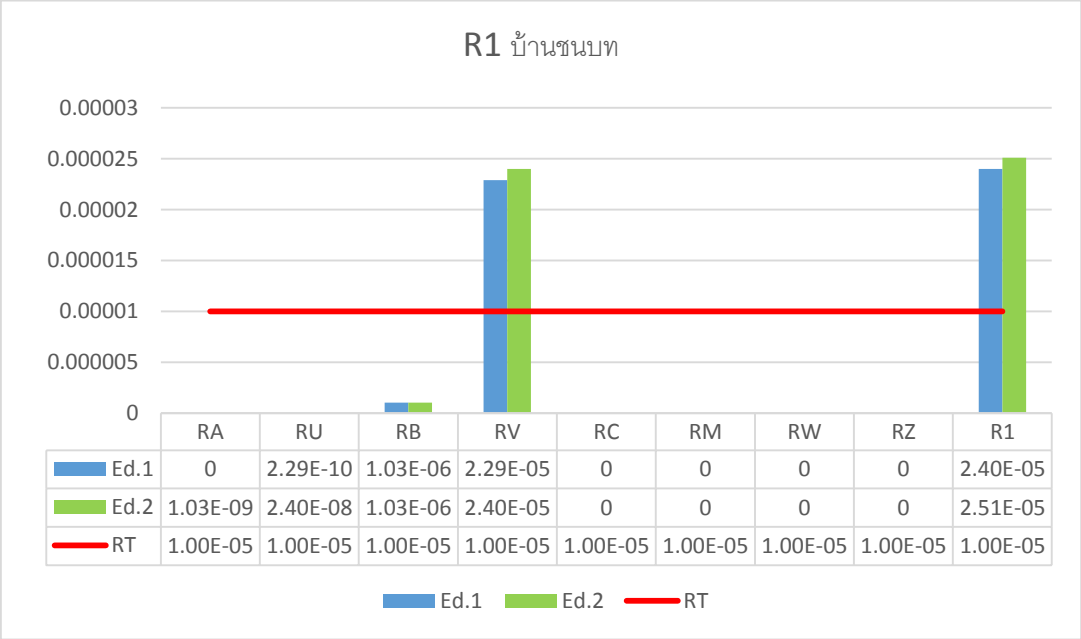
4.1.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของบ้านชนบท



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่า Px ของบ้านชนบท

จากรูปที่ 4.2 ค่า PA, PM, PZ/P และ PZ/T มีความแตกต่างกันระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะผลการเลือกอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้มีการปรับปรุงค่าใหม่ในส่วนของ Ed.2 จะเห็นได้ว่ากรณี Ed.2 จะคิดผลความน่าจะเป็นของความเสียหายทุกค่าทำให้มีความปลอดภัยมากขึ้นในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

4.1.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของบ้านชนบท

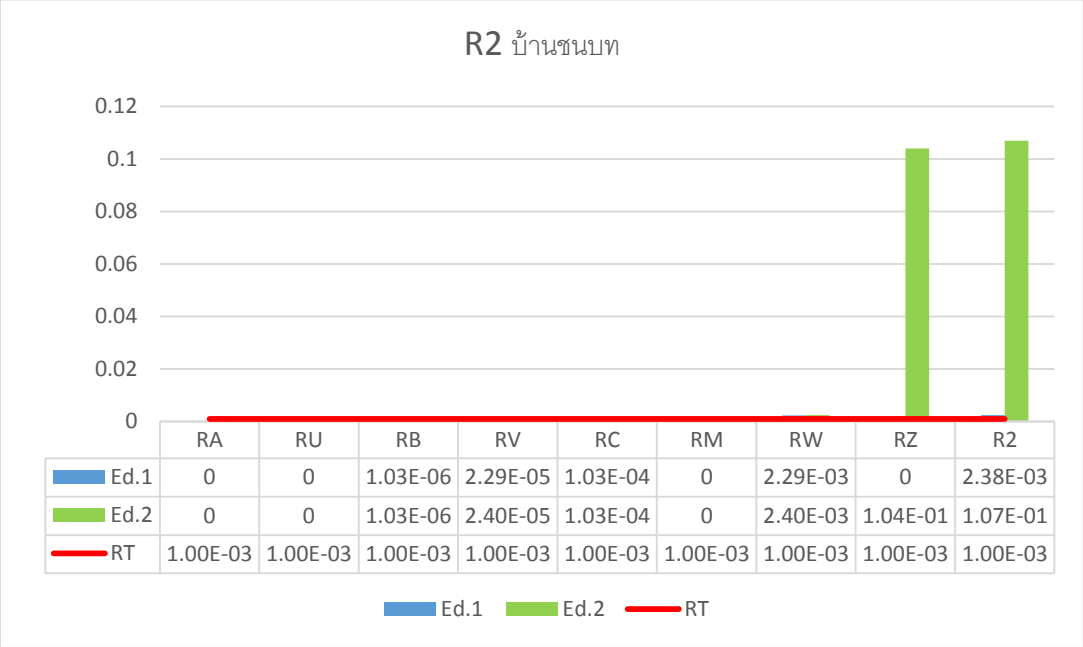


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R1
Ed.1	0	2.29E-10	1.03E-06	2.29E-05	0	0	0	0	2.40E-05
Ed.2	1.03E-09	2.40E-08	1.03E-06	2.40E-05	0	0	0	0	2.51E-05
RT	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของบ้านชนบท

จากรูปที่ 4.3 พบว่าความเสี่ยง R1 ของทั้ง Ed.1 และ Ed.2 มีค่าสูงกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ RT โดยที่ R1 ของ Ed.2 มีค่าสูงกว่า R1 ของ Ed.1 ที่เป็นเช่นนี้เพราะผลของ Nx และ Px จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 สาเหตุที่ทำให้ความเสี่ยง R1 ของทั้ง Ed.2 มีค่าเกินกว่า RT นั้นสาเหตุมาจาก RV ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้ง LPS เข้าไปเพื่อลดทอนความเสี่ยงลงมา แต่ถ้าติดตั้ง LPS แล้วไม่สามารถลดทอนความเสี่ยงลงมาได้ต้องติดตั้ง SPDs เพื่อลดผลของ RV

4.1.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของบ้านในชนบท

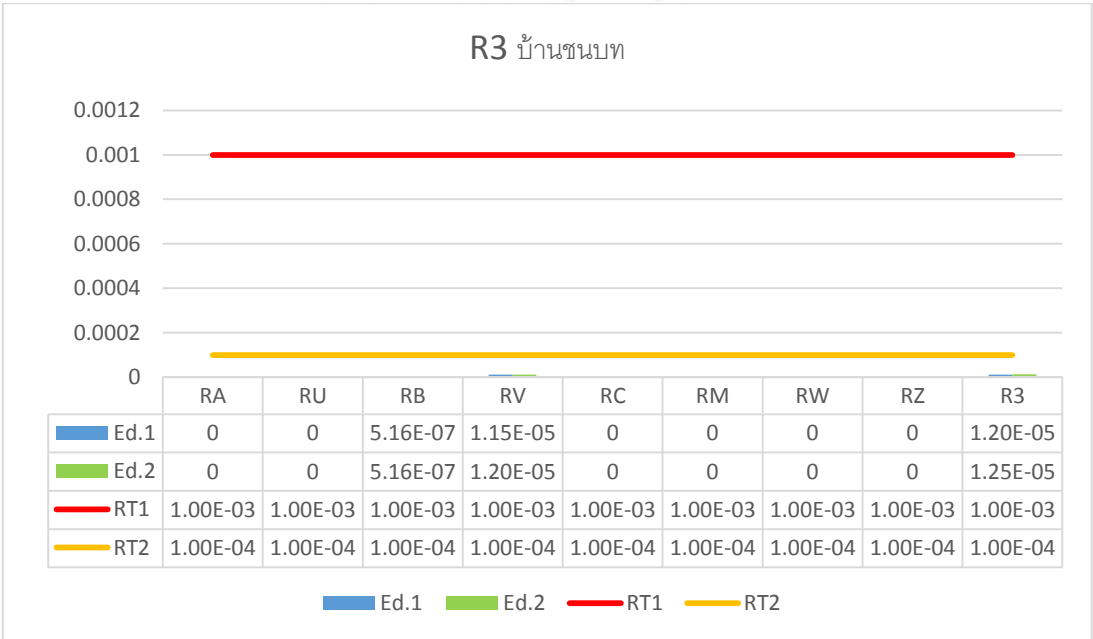


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R2
Ed.1	0	0	1.03E-06	2.29E-05	1.03E-04	0	2.29E-03	0	2.38E-03
Ed.2	0	0	1.03E-06	2.40E-05	1.03E-04	0	2.40E-03	1.04E-01	1.07E-01
RT	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของบ้านชนบท

จากรูปที่ 4.4 พบว่า R2 ของ Ed.1 มีค่าน้อยกว่า R2 ของ Ed.2 เพราะ R2 ของ Ed.1 ไม่คิดผลของ RZ จึงทำให้มีค่าน้อยกว่า แต่ค่า R2 ของทั้ง Ed.1 และ Ed.2 มีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ดังนั้นจึงต้องติดตั้งมาตรการป้องกันฟ้าผ่าเพื่อลดทอนความเสี่ยงให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

4.1.6. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของบ้านในชนบท

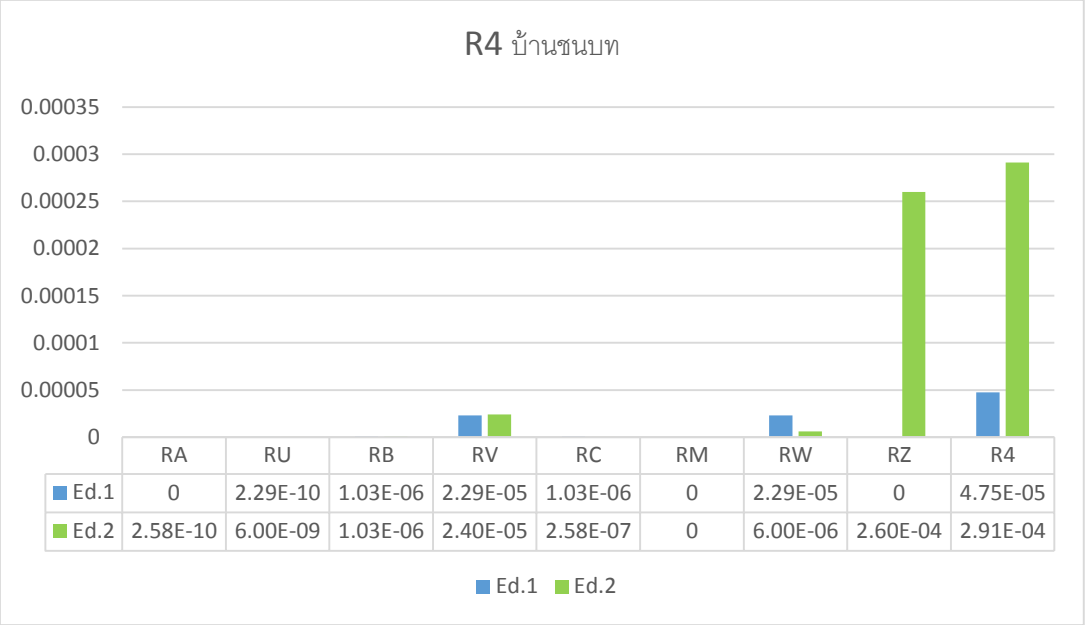


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R3
Ed.1	0	0	5.16E-07	1.15E-05	0	0	0	0	1.20E-05
Ed.2	0	0	5.16E-07	1.20E-05	0	0	0	0	1.25E-05
RT1	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
RT2	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของบ้านชนบท

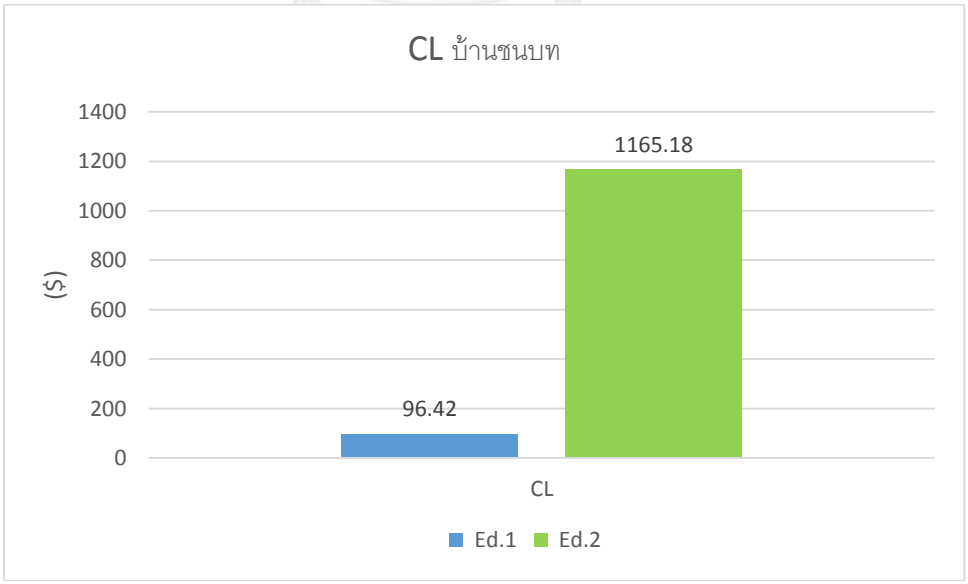
จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่า R3 ของทั้งสองมาตรฐานมีค่าต่างกันเล็กน้อย โดยที่ R3 ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า R3 ของ Ed.1 เพราะในส่วนของ Px และ Lx ของทั้งสองมาตรฐานไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด จะต่างกันตรงที่ค่าของ NL เพียงเล็กน้อย

4.1.7. ผลการคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของบ้านในชนบท



	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R4
Ed.1	0	2.29E-10	1.03E-06	2.29E-05	1.03E-06	0	2.29E-05	0	4.75E-05
Ed.2	2.58E-10	6.00E-09	1.03E-06	2.40E-05	2.58E-07	0	6.00E-06	2.60E-04	2.91E-04

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ของบ้านชนบท

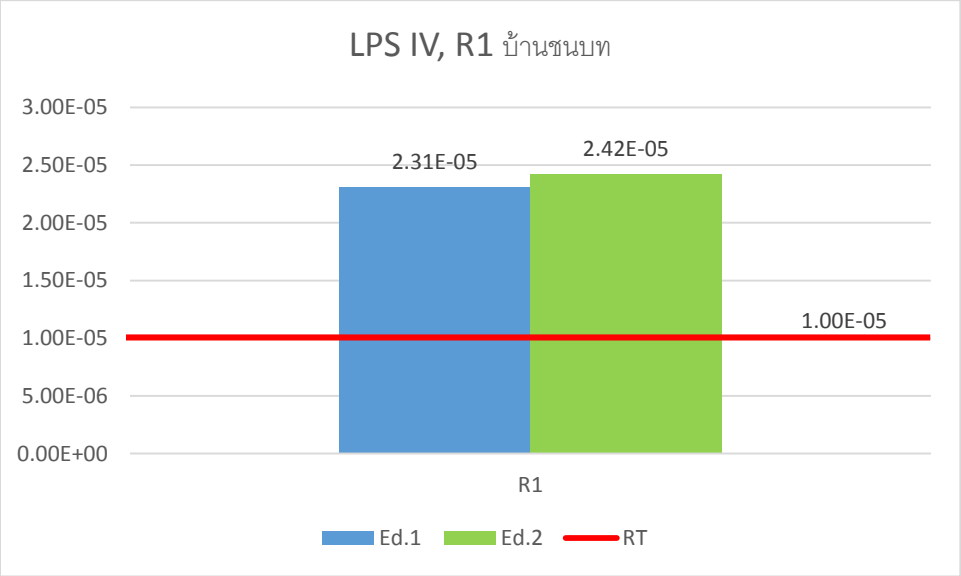


รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบมูลค่าความสูญเสียของบ้านชนบท

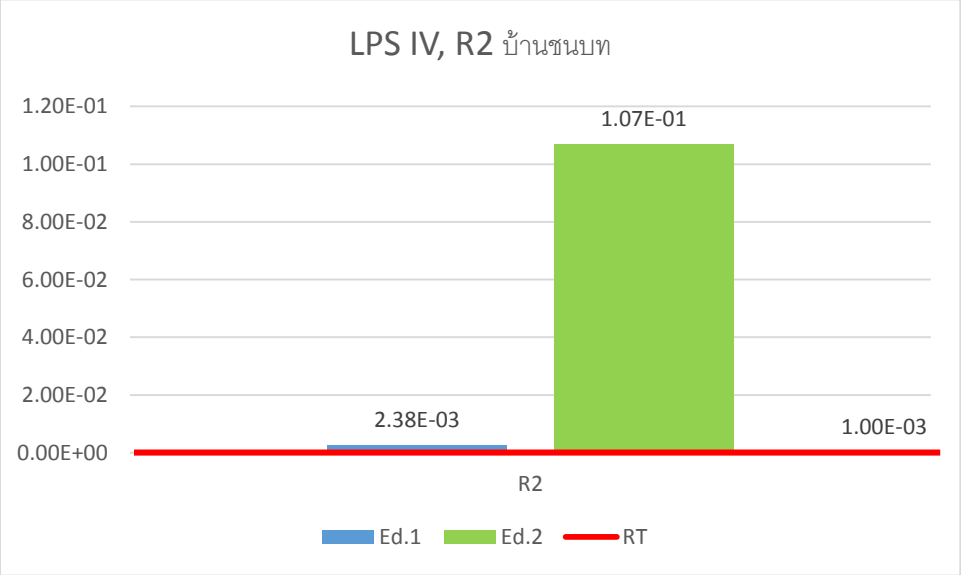
จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 พบว่า ค่า R4 ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า R4 ของ Ed.1 เพราะว่าผลของ RV และ RZ ที่มีค่ามากกว่า Ed.1 ดังนั้นแล้วในกรณีของบ้านชนบท มูลค่าความสูญเสีย CL ของ Ed.2 จึงมีค่ามากกว่าตามไปด้วย

4.1.8. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของบ้านชนบท

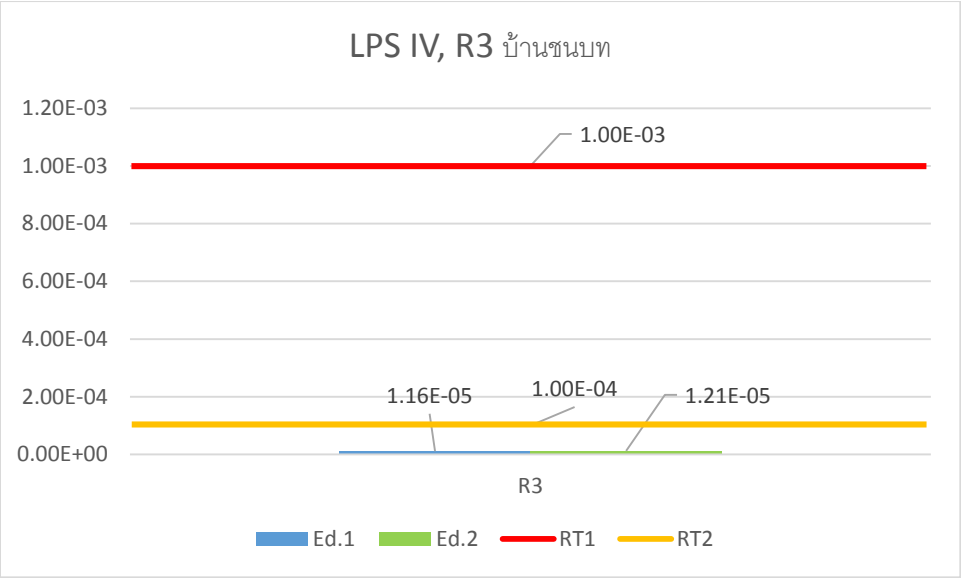
เนื่องจากผลการคำนวณความเสี่ยงของบ้านชนบททั้ง Ed.1 และ Ed.2 ค่าความเสี่ยงเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งมาตรการเสริมเพื่อลดความเสี่ยงให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แสดงดังรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.17



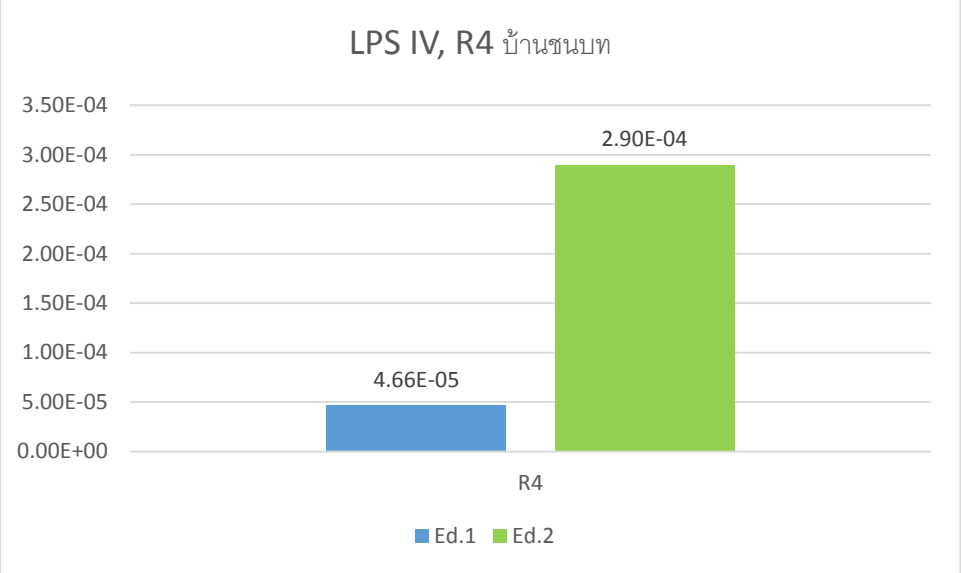
รูปที่ 4.8 R1 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV



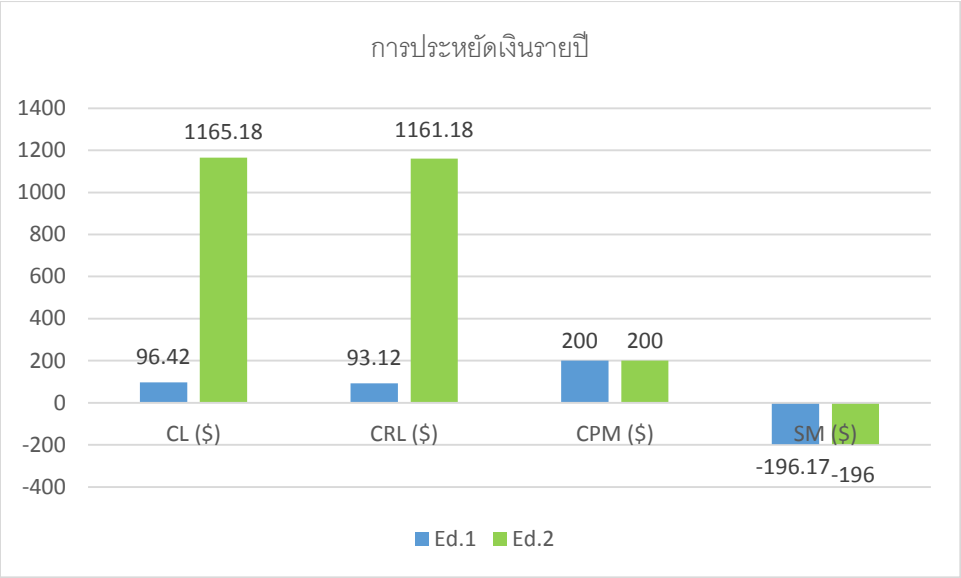
รูปที่ 4.9 R2 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV



รูปที่ 4.10 R3 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV

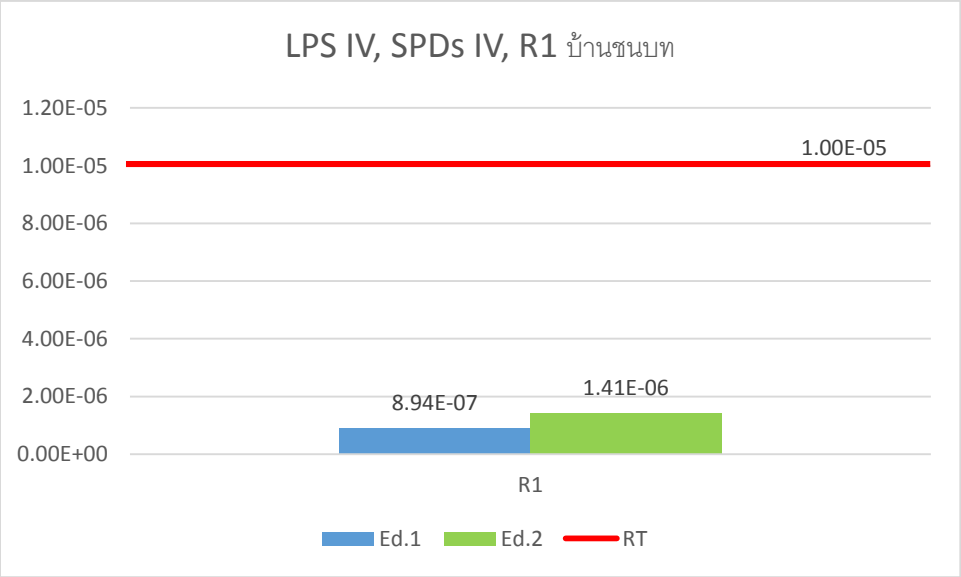


รูปที่ 4.11 R4 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV

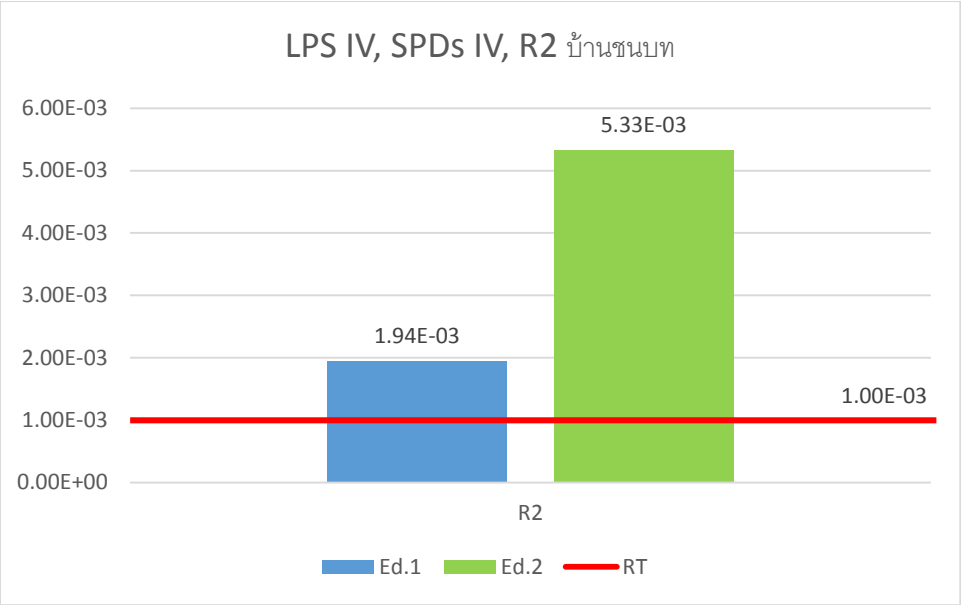


รูปที่ 4.12 การประหยัดเงินรายปีของบ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV

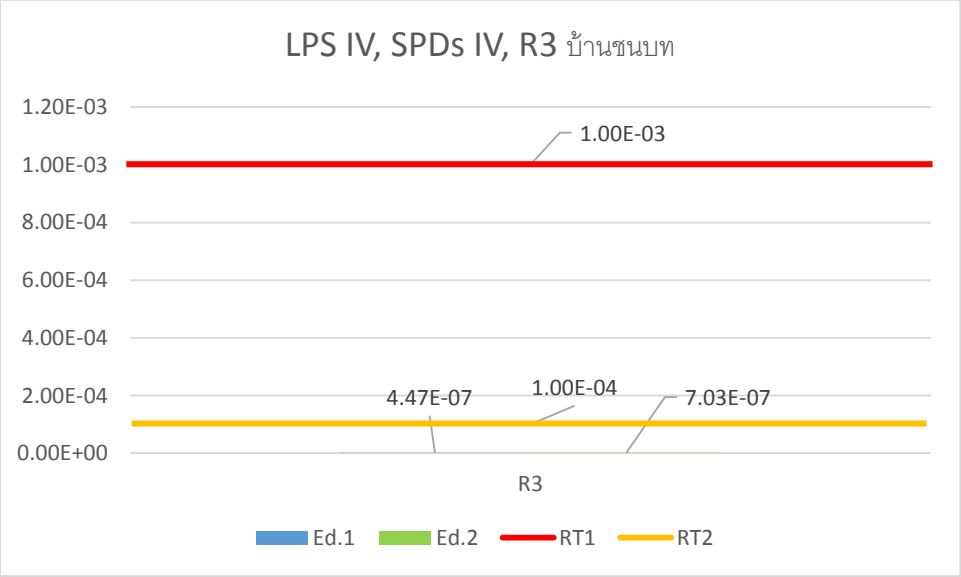
จากรูปที่ 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 และรูปที่ 4.12 เมื่อมีการติดตั้ง LPS IV ค่าความเสี่ยง R1 กับ R2 ของทั้งสองมาตรฐานยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ผลของ LPS จะลดทอนได้แค่ RB เท่านั้น ส่วน RV ไม่ได้ถูกลดทอนลงไปด้วยจึงทำให้ค่าความเสี่ยง R1 และ R2 ยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ในส่วนของการประหยัดเงินรายปี SM พบว่าการป้องกันของทั้งสองมาตรฐานไม่สามารถประหยัดเงินได้ และไม่คุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์



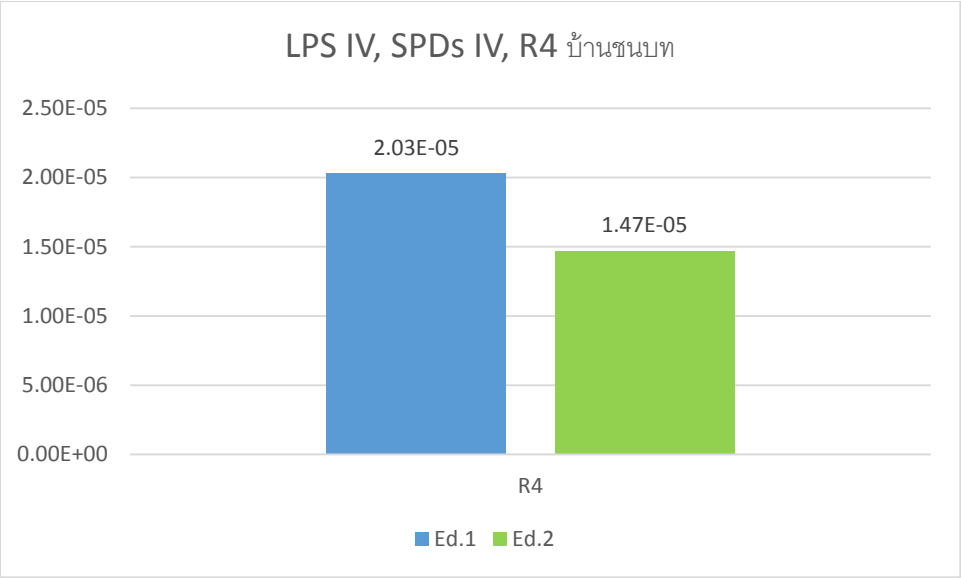
รูปที่ 4.13 R1 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV



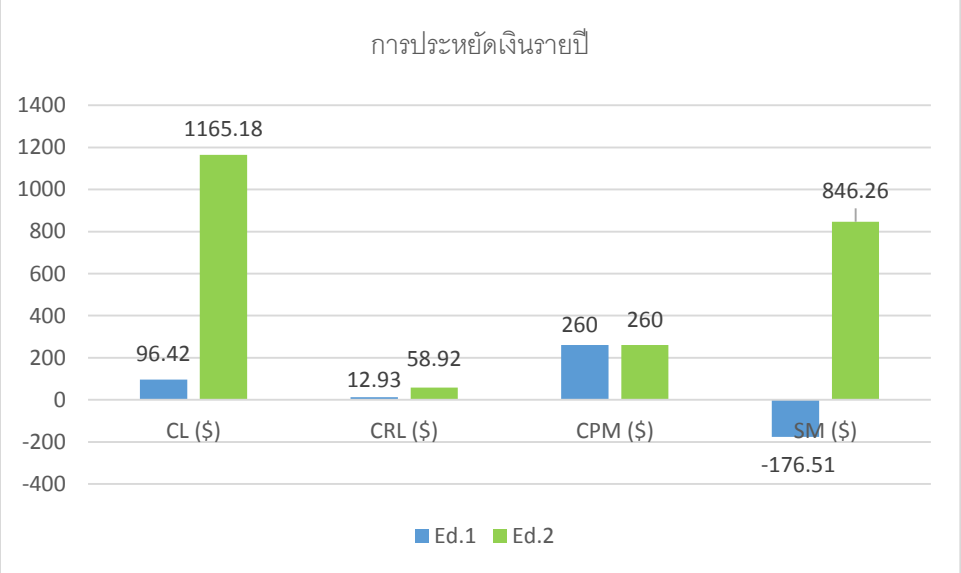
รูปที่ 4.14 R2 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV



รูปที่ 4.15 R3 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV



รูปที่ 4.16 R4 บ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV



รูปที่ 4.17 การประหยัดเงินรายปีของบ้านชนบทเมื่อติดตั้ง LPS และ SPDs ระดับ IV

จากรูปที่ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 และรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อมีการติดตั้ง LPS IV กับ SPDs IV สามารถลดทอนความเสี่ยง R1 ของทั้งสองมาตรฐานให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่ R2 ของทั้งสองมาตรฐานยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ ดังนั้นผู้อยู่อาศัยต้องเตรียมการรับมือกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสูญเสียระบบสาธารณูปโภค ในขณะที่การประหยัดเงินรายปีของทั้งสองมาตรฐานในแง่เศรษฐศาสตร์ถือว่าเหมาะสมกับการลงทุนแต่ของ Ed.2 มีการขาดทุนที่น้อยกว่า แต่ด้านความปลอดภัยถือว่ามีความปลอดภัยพอสมควรเพราะมีการป้องฟ้าผ่าจาก LPS และมีการป้องกันแรงดันเกินจากฟ้าผ่า SPDs

4.1.9. สรุปผลบ้านชนบท

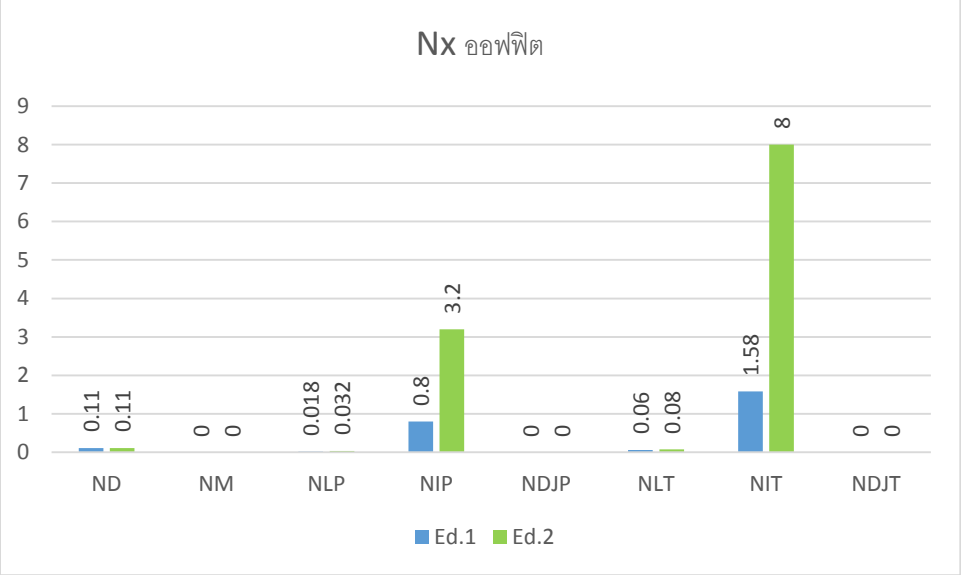
เมื่อติด LPS เทียบกับ LPS คู่กับ SPDs พบว่า การติด LPS อย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการลดความเสี่ยง R1 เพราะผลของ RV มีผลมากต่อ R1 ดังนั้นจึงต้องติดตั้ง SPDs คู่กับ LPS เพื่อลดค่า R1 ให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้นในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าควรติดตั้ง LPS เป็นลำดับแรก ถ้าไม่สารถลดความเสี่ยงลงมาได้ จึงติด SPDs เพื่อประสิทธิภาพในการลดทอนความเสี่ยงและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในส่วนของเศรษฐศาสตร์ Ed.2 จะประหยัดเงินได้มากกว่า Ed.1

4.2. ออฟฟิต

4.2.1. คุณลักษณะของออฟฟิต

คุณลักษณะของออฟฟิต กำหนดค่า Ng = 4 วาบฟ้าผ่าต่อตารางกิโลเมตรต่อปี, ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ของชีวิตมนุษย์ R_T = 10^{-5} มูลค่าความสูญเสียทั้งหมดเท่ากับ 20 x 10^6 $ จำนวนคนทั้งหมดที่อยู่ภายในและภายนอกออฟฟิตเท่ากับ 200 คน คุณลักษณะสิ่งแวดล้อมและภายในสิ่งปลูกสร้าง [2], [3] กำหนดให้มูลค่า CPM ของการติดตั้ง LPS IV เท่ากับ 2000 $ และมูลค่า CPM ของการติดตั้ง LPS IV และ SPDs IV เท่ากับ 2300 $

4.2.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx

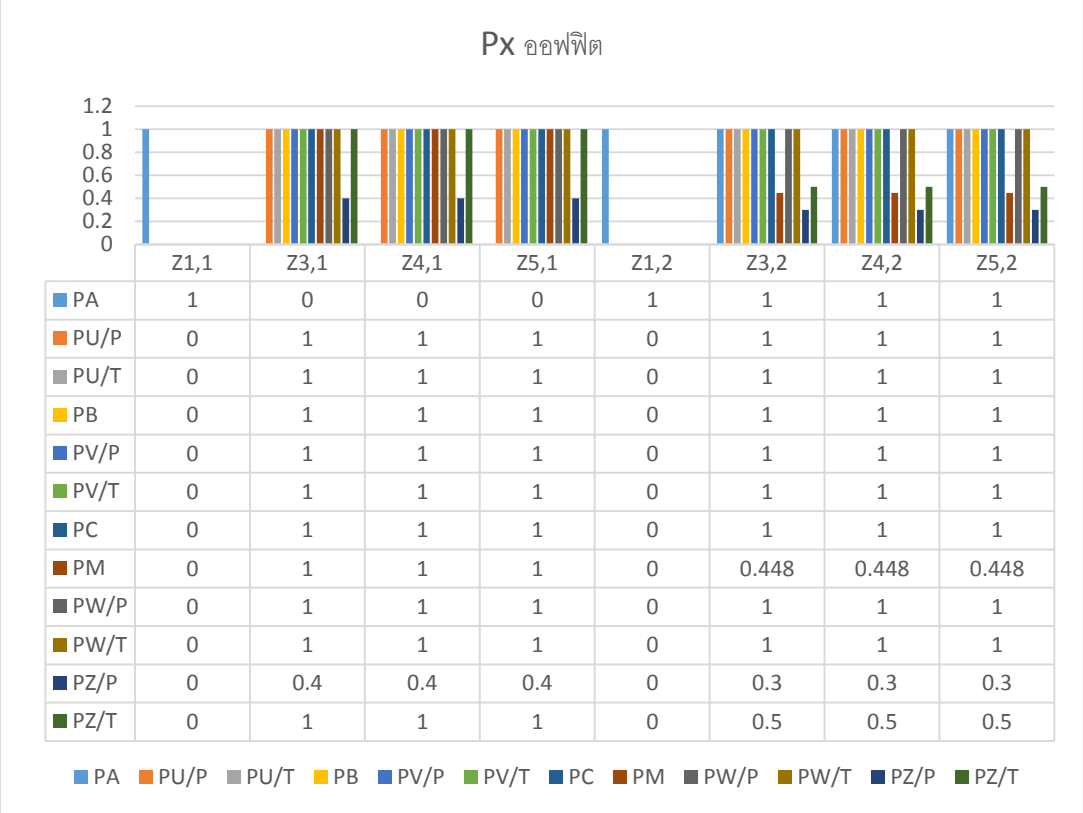


รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่า Nx ของออฟฟิต

จากรูปที่ 4.18 ค่า NLP, NIP, NLT และ NIT มีความแตกต่างกันระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าสมการคำนวณพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.1 และ Ed.2 มีความแตกต่างกันโดยที่

พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.2 มีค่ามากกว่าจึงทำให้ค่า NLP, NIP, NLT และ NIT มีค่าสูงกว่า Ed.1 เมื่อค่าเหล่านี้สูงกว่าย่อมทำให้ความเสี่ยง R1 ของ Ed.2 มีค่าสูงกว่า R1 ของ Ed.1

4.2.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของออฟฟิต



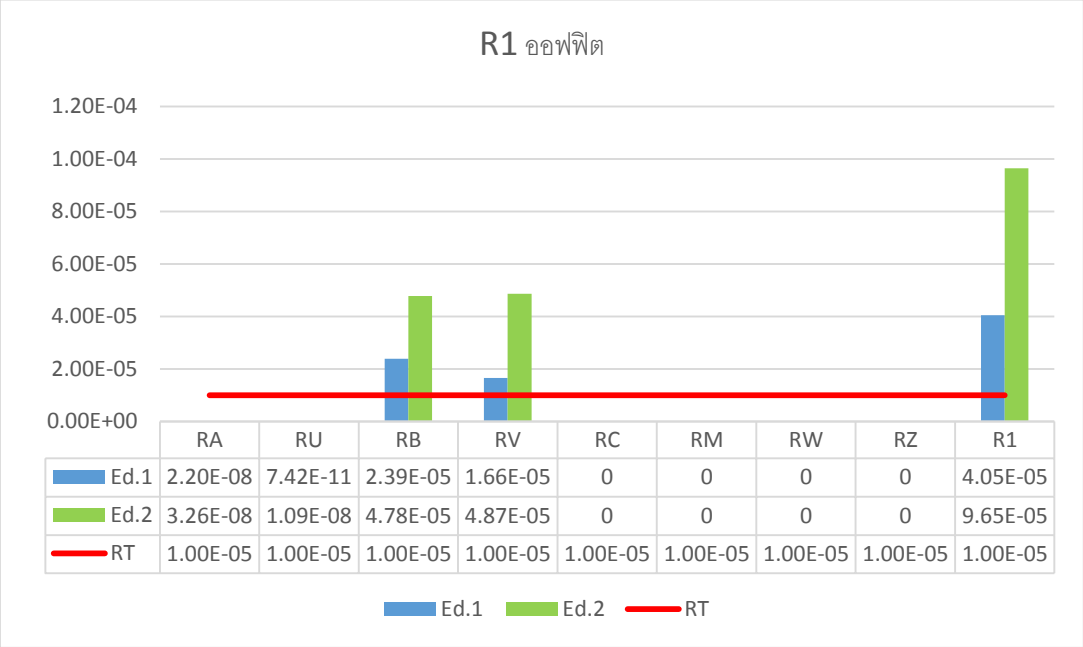
	Z1,1	Z3,1	Z4,1	Z5,1	Z1,2	Z3,2	Z4,2	Z5,2
PA	1	0	0	0	1	1	1	1
PU/P	0	1	1	1	0	1	1	1
PU/T	0	1	1	1	0	1	1	1
PB	0	1	1	1	0	1	1	1
PV/P	0	1	1	1	0	1	1	1
PV/T	0	1	1	1	0	1	1	1
PC	0	1	1	1	0	1	1	1
PM	0	1	1	1	0	0.448	0.448	0.448
PW/P	0	1	1	1	0	1	1	1
PW/T	0	1	1	1	0	1	1	1
PZ/P	0	0.4	0.4	0.4	0	0.3	0.3	0.3
PZ/T	0	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5

รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่า Px ของออฟฟิต

Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.19 ค่า PA, PM, PZ/P และ PZ/T มีความแตกต่างกันระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะผลการเลือกอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้มีการปรับปรุงค่าใหม่ในส่วนของ Ed.2 จะเห็นได้ว่ากรณี Ed.2 จะคิดผลความน่าจะเป็นของความเสียหายทุกค่าทำให้มีความปลอดภัยมากขึ้นในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

4.2.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของออฟฟิต



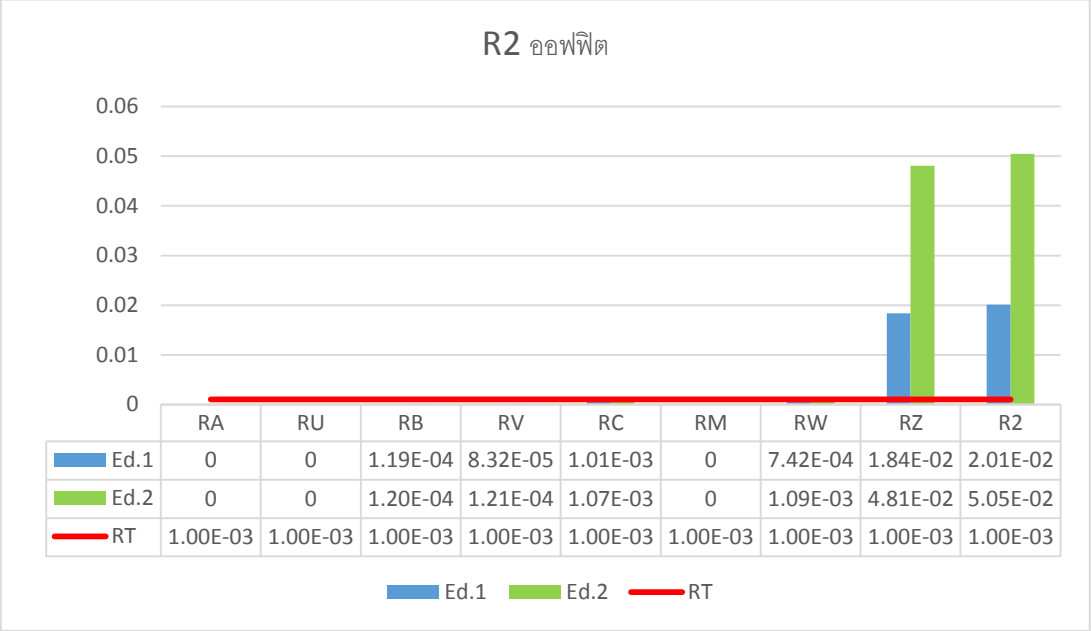
	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R1
Ed.1	2.20E-08	7.42E-11	2.39E-05	1.66E-05	0	0	0	0	4.05E-05
Ed.2	3.26E-08	1.09E-08	4.78E-05	4.87E-05	0	0	0	0	9.65E-05
RT	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05

รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของออฟฟิต

จากรูปที่ 4.20 พบว่าความเสี่ยง R1 ของทั้ง Ed.1 และ Ed.2 มีค่าสูงกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ RT โดยที่ R1 ของ Ed.2 มีค่าสูงกว่า R1 ของ Ed.1 ที่เป็นเช่นนี้เพราะผลของ Nx และ Px จากรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 สาเหตุที่ทำให้ความเสี่ยง R1 ของทั้ง Ed.2 มีค่าเกินกว่า RT นั้นสาเหตุมาจาก RB และ RV ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้ง LPS และ SPDs

Chulalongkorn University

4.2.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของออฟฟิต

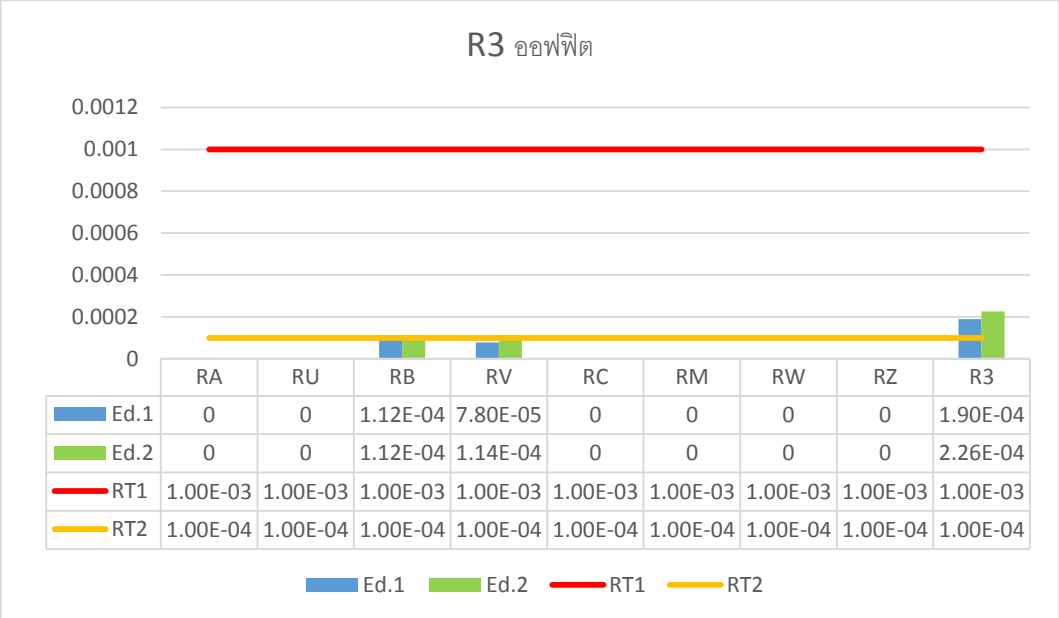


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R2
Ed.1	0	0	1.19E-04	8.32E-05	1.01E-03	0	7.42E-04	1.84E-02	2.01E-02
Ed.2	0	0	1.20E-04	1.21E-04	1.07E-03	0	1.09E-03	4.81E-02	5.05E-02
RT	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03

รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของออฟฟิต

จากรูปที่ 4.21 พบว่า R2 ของ Ed.1 มีค่าน้อยกว่า R2 ของ Ed.2 เพราะ ค่า RZ ของ Ed.1 มีค่าเกินกว่าเกณฑ์ของความเสี่ยงที่ยอมรับได้ และค่า RZ ของ Ed.2 มีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงต้องติดตั้งมาตรการป้องกันฟ้าผ่าเพื่อลดทอนความเสี่ยงให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

4.2.6. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของออฟฟิต

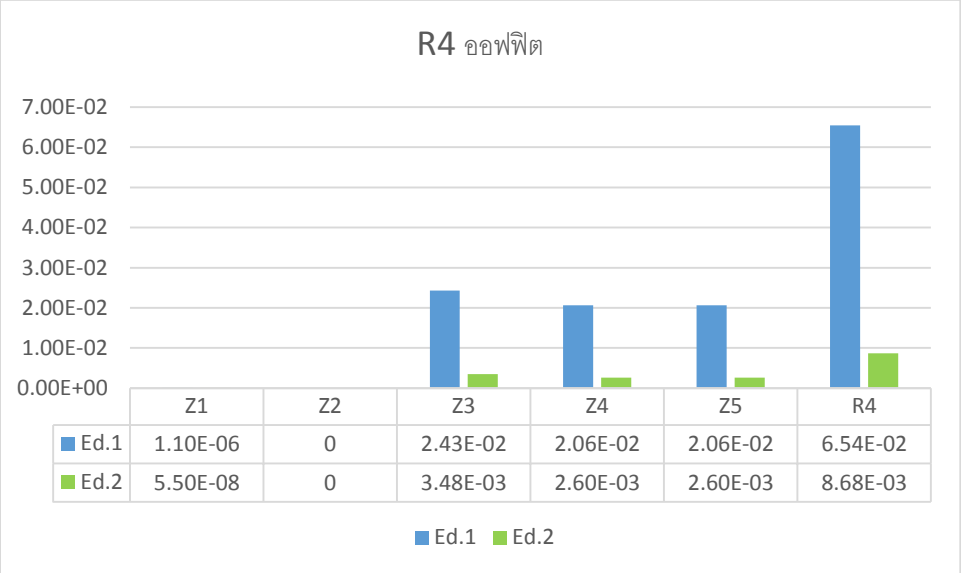


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R3
Ed.1	0	0	1.12E-04	7.80E-05	0	0	0	0	1.90E-04
Ed.2	0	0	1.12E-04	1.14E-04	0	0	0	0	2.26E-04
RT1	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
RT2	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04

รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของออฟฟิต

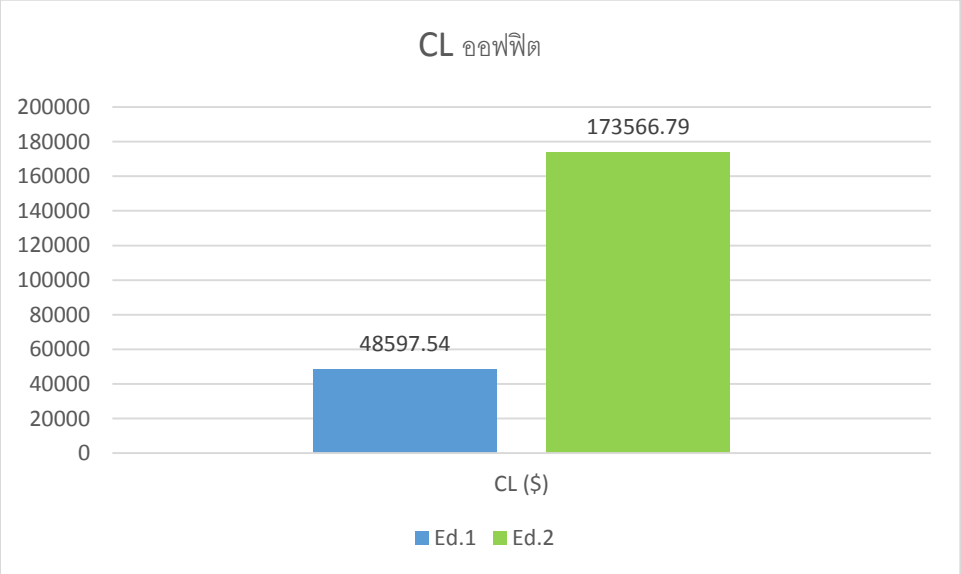
จากรูปที่ 4.22 ค่า RB และ RV ของ Ed.2 มีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้จึงทำให้ค่า R3 ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า R3 ของ Ed.1 และมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เป็นผลมาจากค่า NL ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า NL ของ Ed.1

4.2.7. ผลการคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของออฟฟิต



	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	R4
Ed.1	1.10E-06	0	2.43E-02	2.06E-02	2.06E-02	6.54E-02
Ed.2	5.50E-08	0	3.48E-03	2.60E-03	2.60E-03	8.68E-03

รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของออฟฟิต



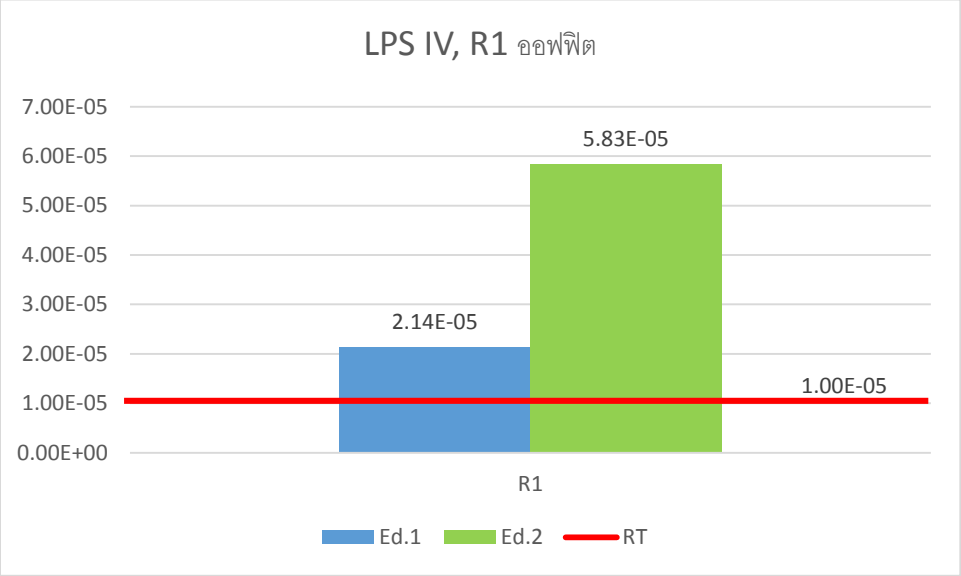
รูปที่ 4.24 มูลค่าความสูญเสียของออฟฟิต

จากรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 พบว่าค่า R4 ของ Ed.1 มีค่ามากกว่า R4 ของ Ed.2 แต่มูลค่าความสูญเสีย CL ของ Ed.2 มีค่ามากกว่าที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า สมการการคำนวณ CL ของ Ed.1 และ Ed.2 ต่างกัน โดยที่สมการ CL ของ Ed.1 จะพิจารณาเฉพาะจุดที่เสียหายไม่คิดผลต่อเนื่อง แต่

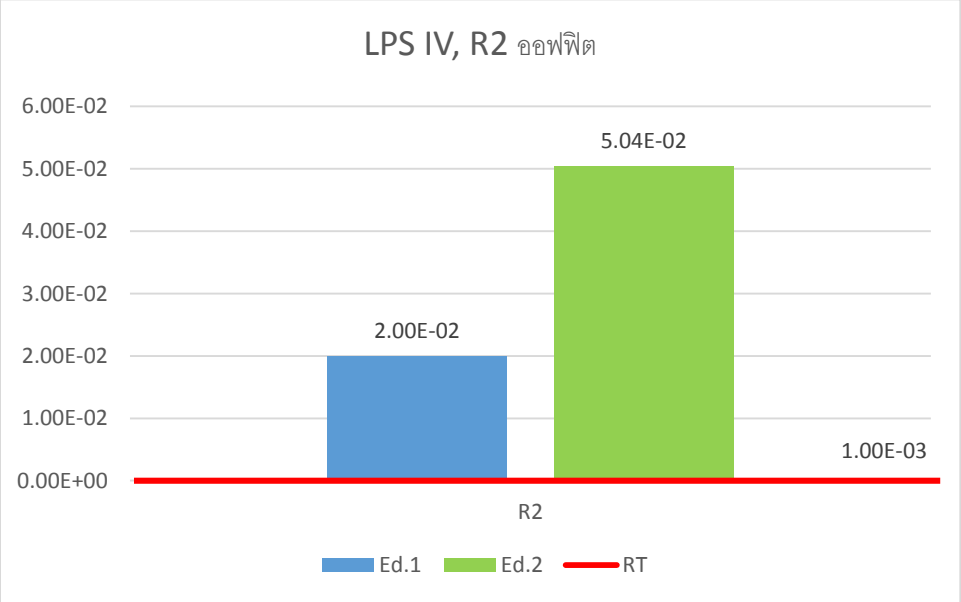
สมการ CL ของ Ed.2 จะคิดมูลค่าความเสียหายทั้งหมดจึงทำให้ ค่า CL ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า CL ของ Ed.1

4.2.8. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของออฟฟิต

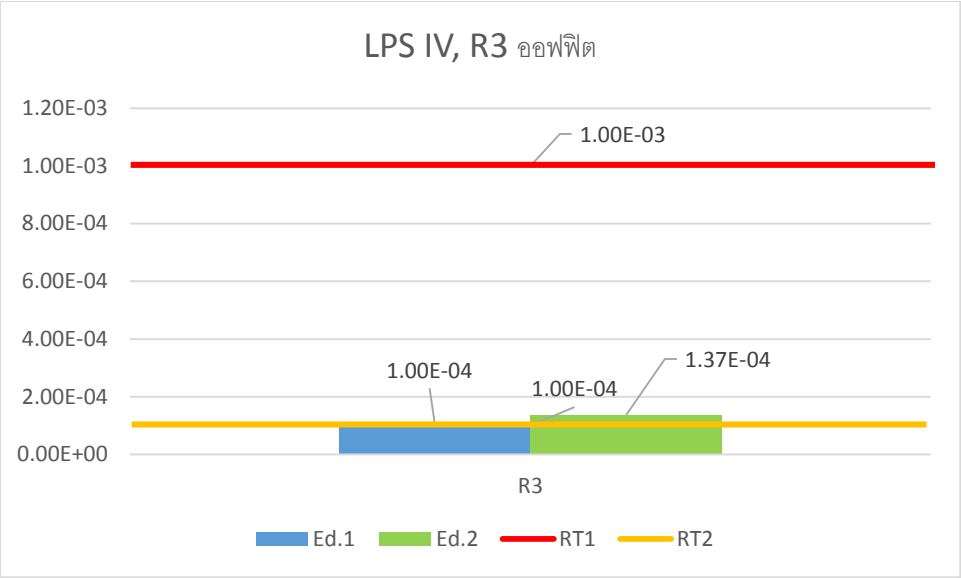
เนื่องจากผลการคำนวณความเสี่ยงของออฟฟิตทั้ง Ed.1 และ Ed.2 ค่าความเสี่ยงเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งมาตรการเสริมเพื่อลดความเสี่ยงให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แสดงดังรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.34



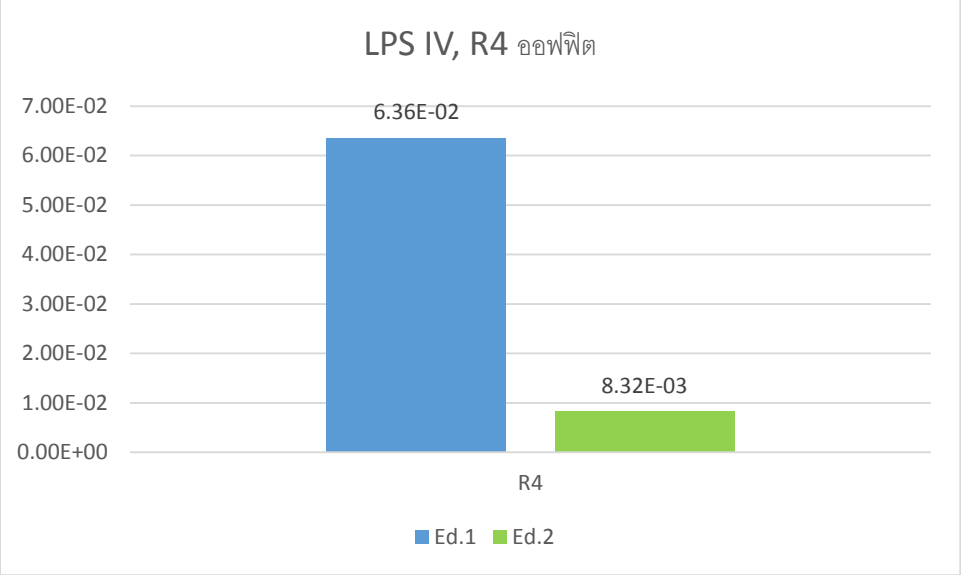
รูปที่ 4.25 R1 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV



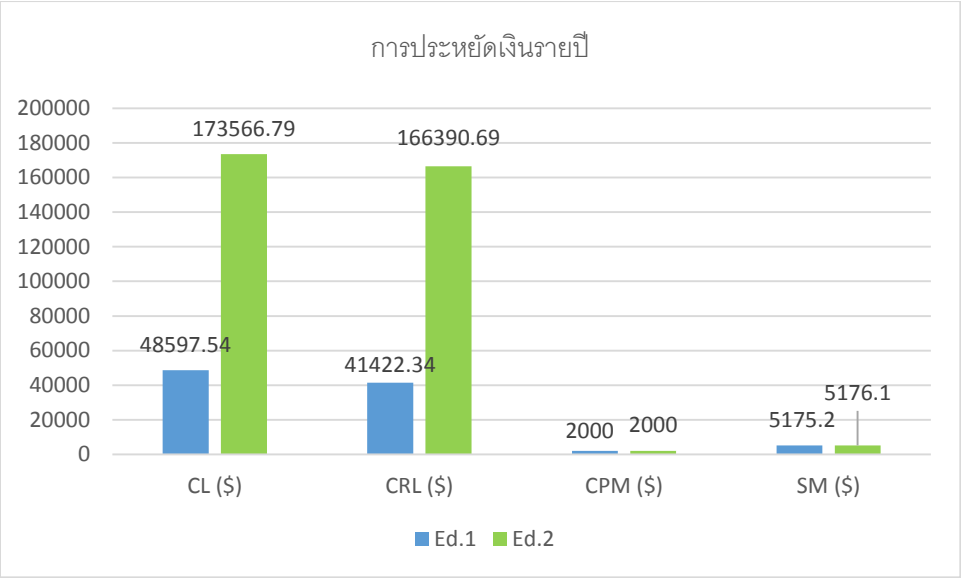
รูปที่ 4.26 R2 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV



รูปที่ 4.27 R3 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV

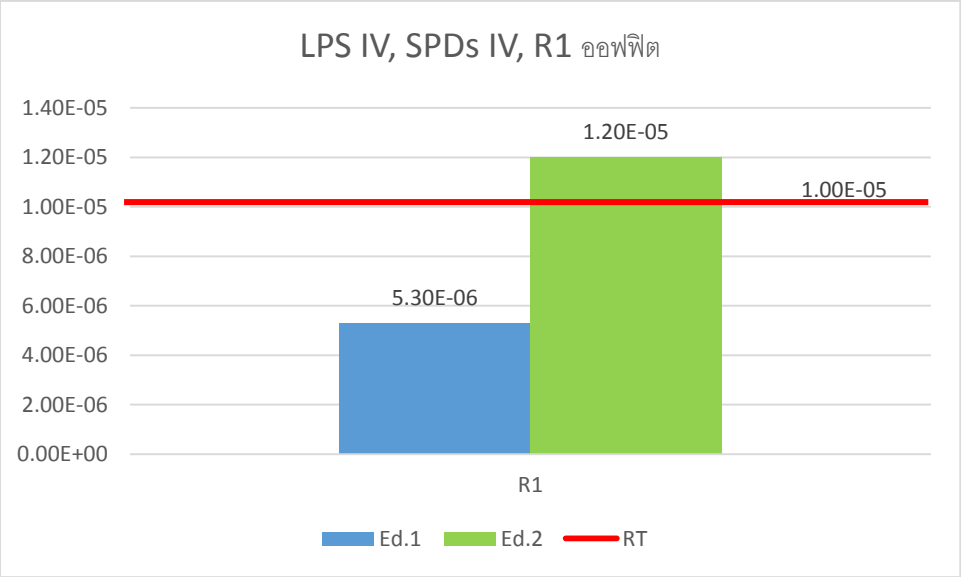


รูปที่ 4.28 R4 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV

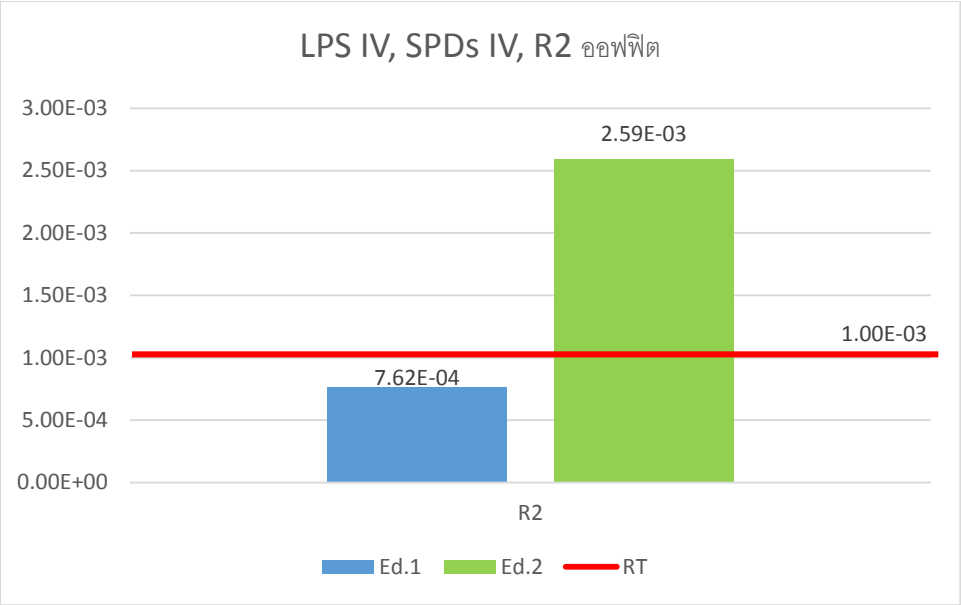


รูปที่ 4.29 การประหยัดเงินรายปีของออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ IV

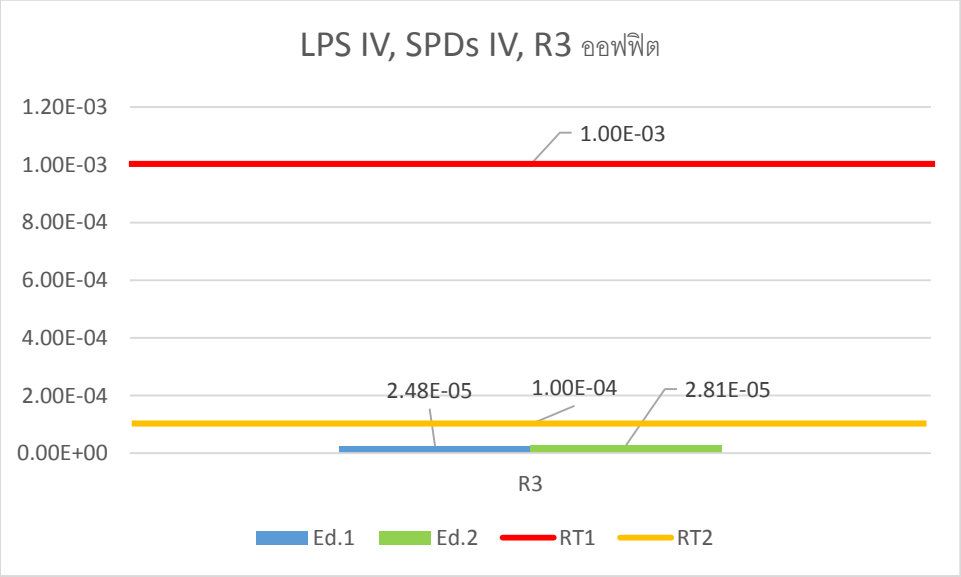
จากรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.29 เมื่อมีการติดตั้ง LPS IV ค่าความเสี่ยง R1 กับ R2 ของทั้งสองมาตรฐานยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ผลของ LPS จะลดทอนได้แค่ RB เท่านั้น ส่วน RV ไม่ได้ถูกลดทอนลงไปด้วยจึงทำให้ค่าความเสี่ยง R1 และ R2 ยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ในส่วนของการประหยัดเงินรายปี SM พบว่าการป้องกันของทั้งสองมาตรฐานประหยัดเงินได้เท่ากัน ในส่วนของ R3 ของ Ed.2 ถึงจะติดตั้ง LPS แล้วแต่ค่าความเสี่ยง R3 ของ Ed.2 ยังเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ เพราะ LPS ลดทอนได้แค่ RB แต่ค่า RV ไม่ได้ถูกลดทอนด้วยดังนั้นควรติดตั้ง SPDs เพิ่มลงไป



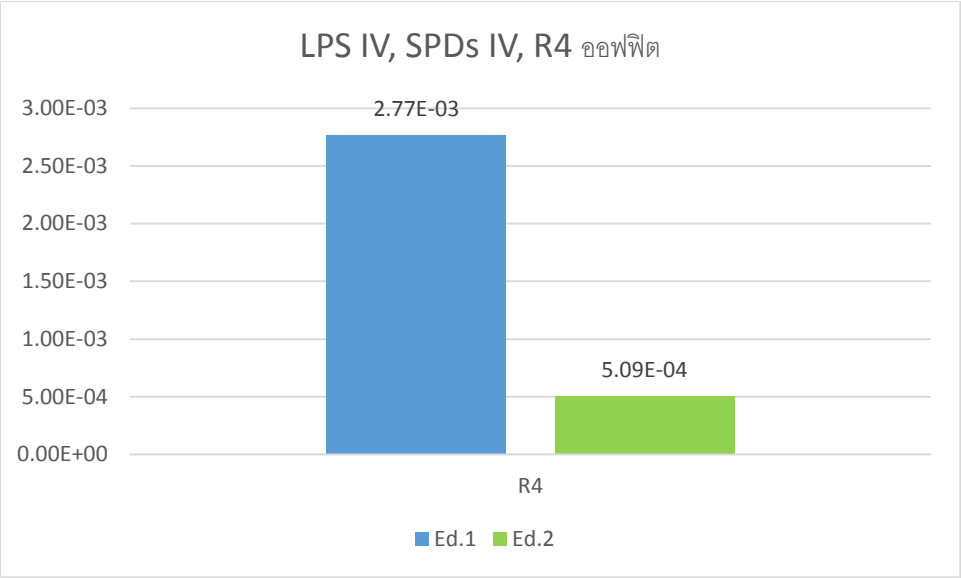
รูปที่ 4.30 R1 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV



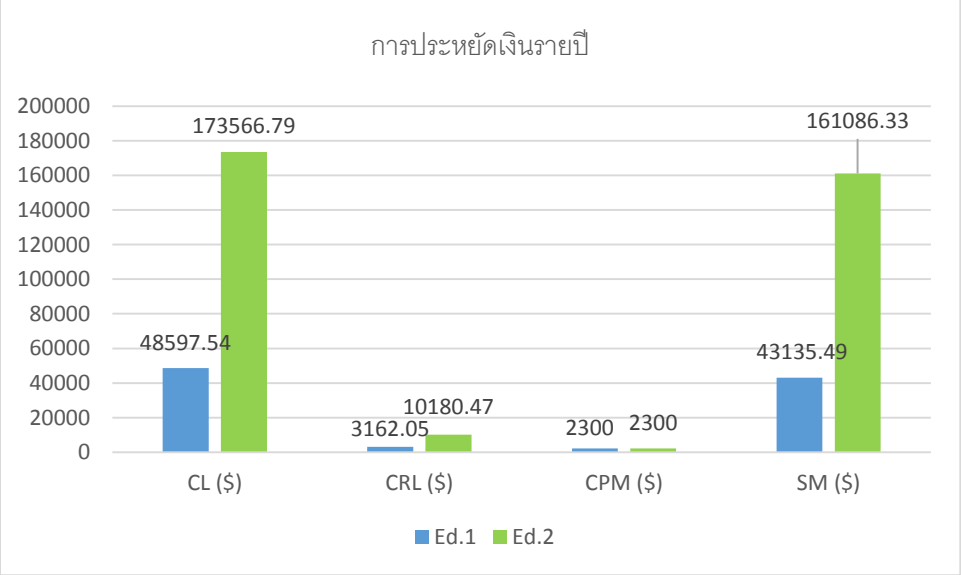
รูปที่ 4.31 R2 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV



รูปที่ 4.32 R3 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV



รูปที่ 4.33 R4 ออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV



รูปที่ 4.34 การประหยัดเงินรายปีของออฟฟิตเมื่อติดตั้ง LPS กับ SPDs ระดับ IV

จากรูปที่ 4.30 ถึง รูปที่ 4.34 พบว่าเมื่อมีการติดตั้ง LPS IV คู่กับ SPDs IV สามารถลดทอนความเสี่ยง R1 และ R2 ของ Ed.1 และ R3 ของ Ed. 2 ให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่ R1 และ R2 ของ Ed.2 ยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ สามารถแก้ไขโดยเพิ่มระดับการป้องกันของ LPS และ SPDs ให้ดีขึ้น หรืออาจติดตั้งมาตรการเสริมเข้าไปเพื่อลดทอนความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ ในขณะที่การประหยัดเงินรายปีของทั้งสองมาตรฐานในแง่เศรษฐศาสตร์ถือว่าเหมาะสมกับการลงทุนแต่ของ Ed.2 มีการประหยัดเงินได้มากกว่า

4.2.9. สรุปผลออฟฟิต

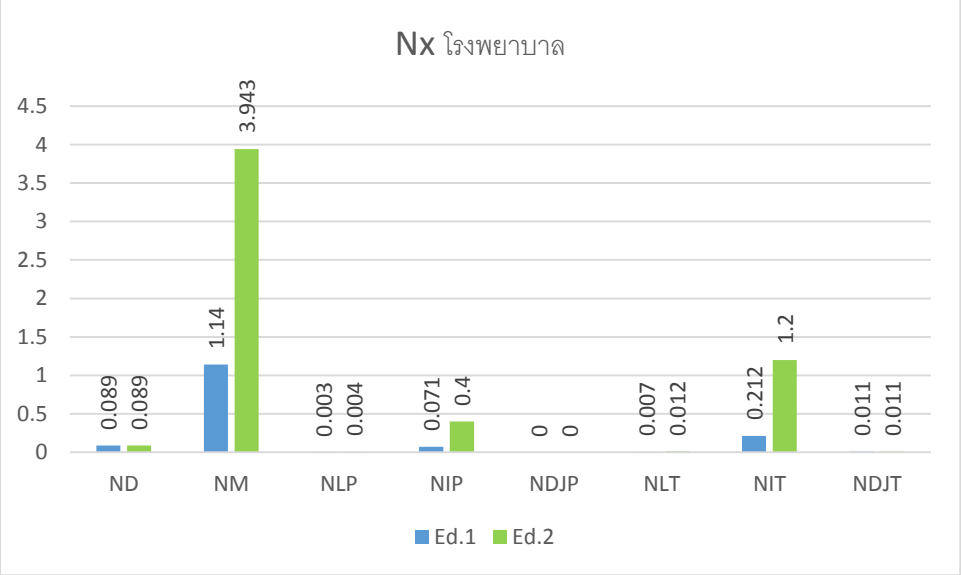
Ed.1 มีประสิทธิภาพดีกว่า Ed.2 ในด้านการลดความเสี่ยง R1 เพราะพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลมีค่าน้อยกว่า ในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเหมือนกัน แต่ Ed.2 ประหยัดเงินได้มากกว่า Ed.1 ดังนั้นเราจึงควรลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่ากับ Ed.2 ถึงแม้ว่าค่า R1 จะเกินมาแต่สามารถลดทอนความเสี่ยง R1 ลงได้อีกจากการติดอุปกรณ์ป้องกันไฟไหม้เข้าไปในแต่ละโซนที่มีความเสี่ยงเพื่อลดผลของ RB และ RV เพื่อความคุ้มค่ากับการลงทุน

4.3. โรงพยาบาล

4.3.1. คุณลักษณะของโรงพยาบาล

คุณลักษณะของโรงพยาบาล กำหนดค่า Ng = 4 วาบฟ้าผ่าต่อตารางกิโลเมตรต่อปี, ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ของชีวิตมนุษย์ $R_T = 10^{-5}$ มูลค่าความสูญเสียทั้งหมดเท่ากับ 90 x 10^6 $ จำนวนคนทั้งหมดที่อยู่ภายในและภายนอกโรงพยาบาลเท่ากับ 1000 คน คุณลักษณะสิ่งแวดล้อมและภายในสิ่งปลูกสร้าง [2], [3] กำหนดให้มูลค่า CPM ของการติดตั้ง LPS I เท่ากับ 10000 $ และมูลค่า CPM ของการติดตั้ง LPS I และ SPDs 1.5x เท่ากับ 13000 $

4.3.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx

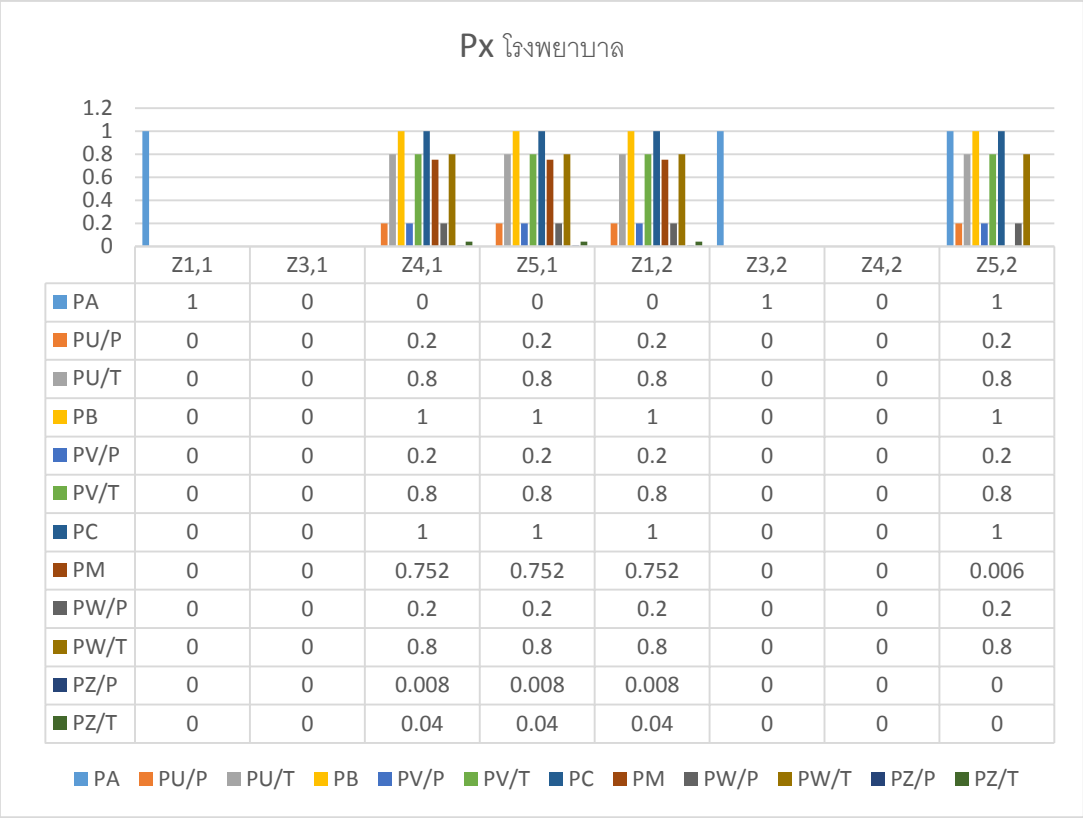


รูปที่ 4.35 Nx ของโรงพยาบาล

จากรูปที่ 4.35 ค่า NM, NLP, NIP, NLT, NIT และ NDJT มีความแตกต่างกันระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าสมการคำนวณพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.1 และ Ed.2 มีความ

แตกต่างกันโดยที่พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.2 มีค่ามากกว่าจึงทำให้ค่า NM, NLP, NIP, NLT, NIT และ NDJT มีค่าสูงกว่า Ed.1

4.3.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของโรงพยาบาล



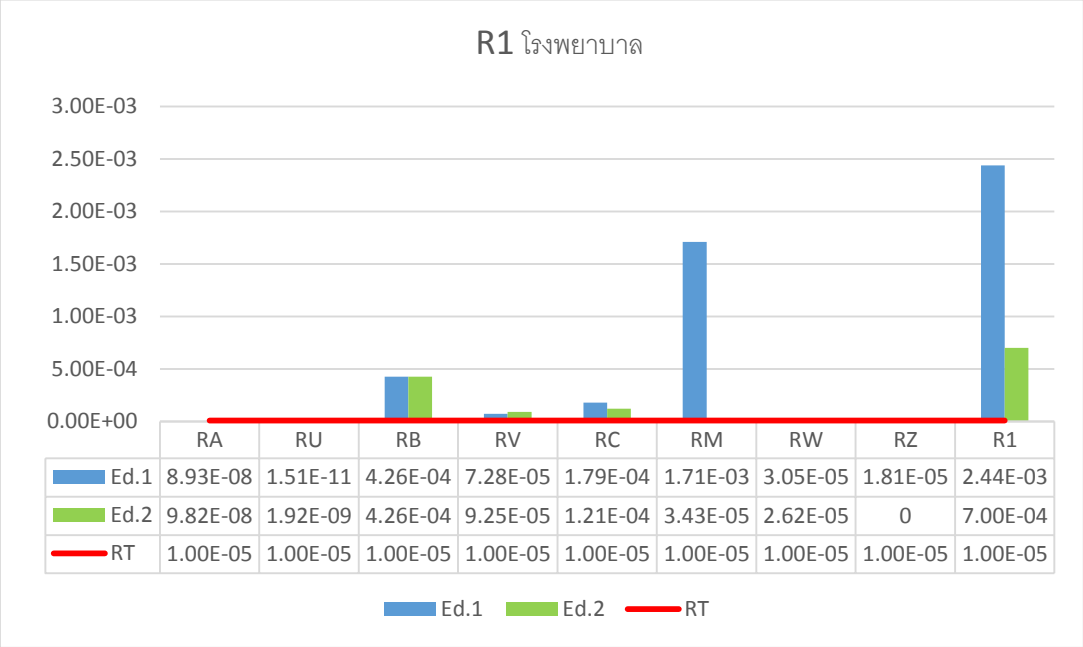
	Z1,1	Z3,1	Z4,1	Z5,1	Z1,2	Z3,2	Z4,2	Z5,2
PA	1	0	0	0	0	1	0	1
PU/P	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0.2
PU/T	0	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0.8
PB	0	0	1	1	1	0	0	1
PV/P	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0.2
PV/T	0	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0.8
PC	0	0	1	1	1	0	0	1
PM	0	0	0.752	0.752	0.752	0	0	0.006
PW/P	0	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0.2
PW/T	0	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0.8
PZ/P	0	0	0.008	0.008	0.008	0	0	0
PZ/T	0	0	0.04	0.04	0.04	0	0	0

รูปที่ 4.36 Px ของโรงพยาบาล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 4.36 ค่า PA, PM, PZ/P และ PZ/T มีความแตกต่างกันระหว่าง Ed.1 และ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะผลการเลือกอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้มีการปรับปรุงค่าใหม่ในส่วนของ Ed.2 จะเห็นได้ว่ากรณี Ed.2 ไม่คิดผลของ PZ/P และ PZ/T เพราะค่า CLI เท่ากับ 0 เป็นผลมาจากการชิลด์ การกราวด์ และการแยกเดี่ยว [3]

4.3.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของโรงพยาบาล



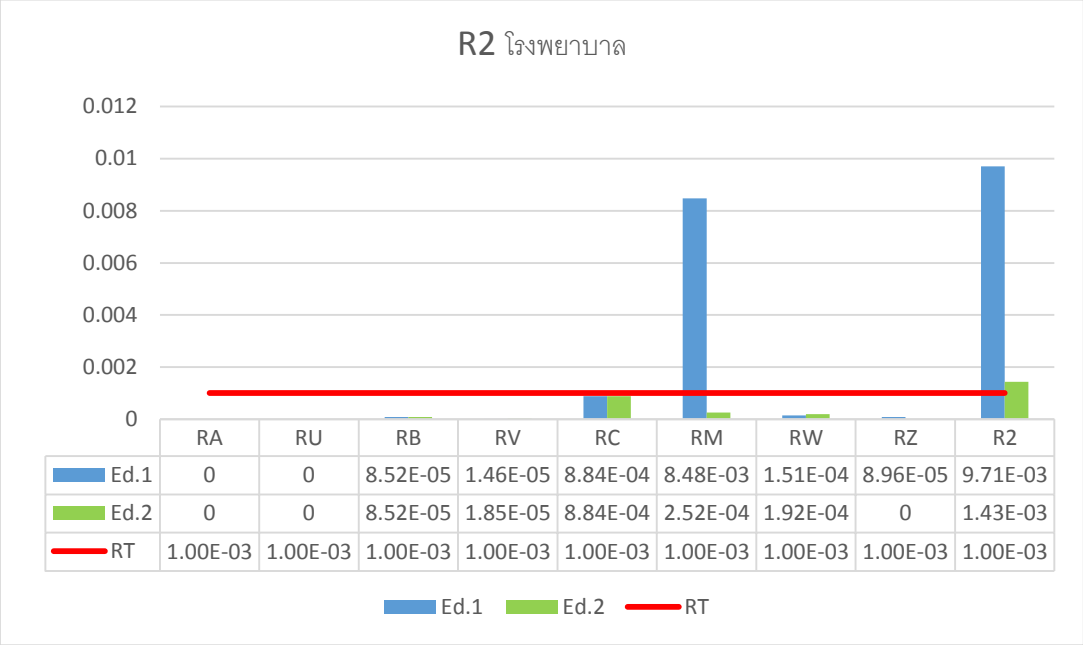
	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R1
Ed.1	8.93E-08	1.51E-11	4.26E-04	7.28E-05	1.79E-04	1.71E-03	3.05E-05	1.81E-05	2.44E-03
Ed.2	9.82E-08	1.92E-09	4.26E-04	9.25E-05	1.21E-04	3.43E-05	2.62E-05	0	7.00E-04
RT	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05

รูปที่ 4.37 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของโรงพยาบาล

จากรูปที่ 4.37 พบว่าความเสี่ยง R1 ของทั้ง Ed.1 และ Ed.2 มีค่าสูงกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ RT โดยที่ R1 ของ Ed.1 มีค่าสูงกว่า R1 ของ Ed.2 ที่เป็นเช่นนี้เพราะ RZ ของ Ed.2 มีค่าเป็น 0 ผลจาก PZ = 0 โดยค่า RB, RV, RC, RM, RW, RZ ของทั้งสองมาตรฐานมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้ง LPS, SPDs และมาตรการเสริม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของโรงพยาบาล

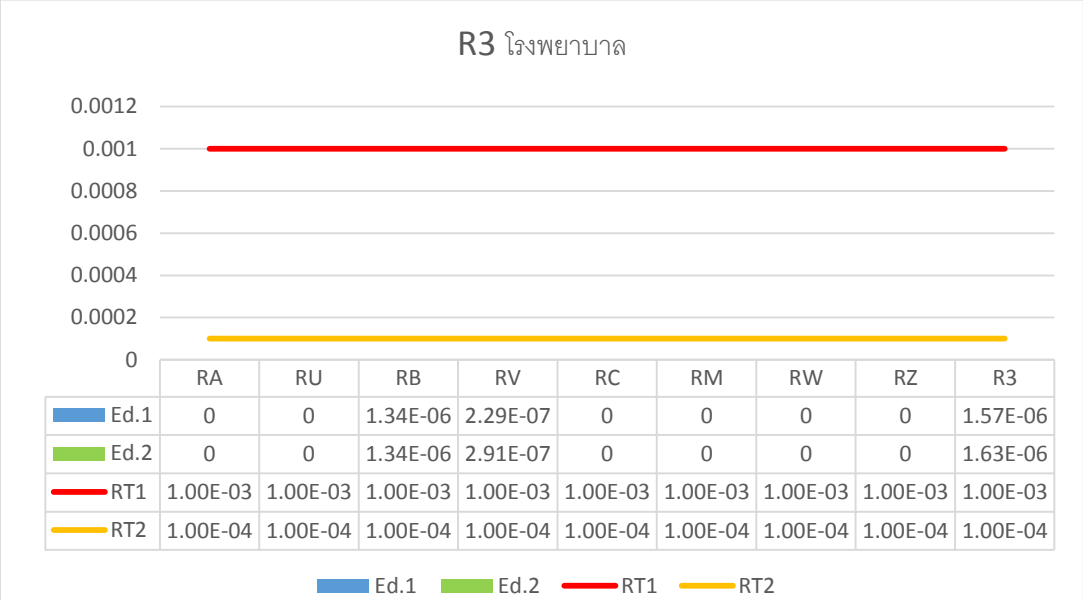


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R2
Ed.1	0	0	8.52E-05	1.46E-05	8.84E-04	8.48E-03	1.51E-04	8.96E-05	9.71E-03
Ed.2	0	0	8.52E-05	1.85E-05	8.84E-04	2.52E-04	1.92E-04	0	1.43E-03
RT	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03

รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อระบบสาธารณูปโภค R2 ของโรงพยาบาล

จากรูปที่ 4.38 พบว่า R2 ของ Ed.1 มีค่ามากกว่า R2 ของ Ed.2 เพราะ ค่า RM ของ Ed.1 อยู่ในเกณฑ์ของความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ จึงต้องติดตั้งมาตรการป้องกันฟ้าผ่า LPS และ SPDs เพื่อลดผลของ PM ของ Ed.1 ในขณะที่ R2 ของ Ed.2 มีค่าเกินกว่าค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ถึงแม้ว่าความเสี่ยงองค์ประกอบย่อยจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ของความเสี่ยงที่ยอมรับได้ก็ตาม ต้องมีการติดตั้ง LPS และ SPDs เข้าไปเพื่อลดผลของ R2 ของ Ed.2 ให้อยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

4.3.6. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของโรงพยาบาล

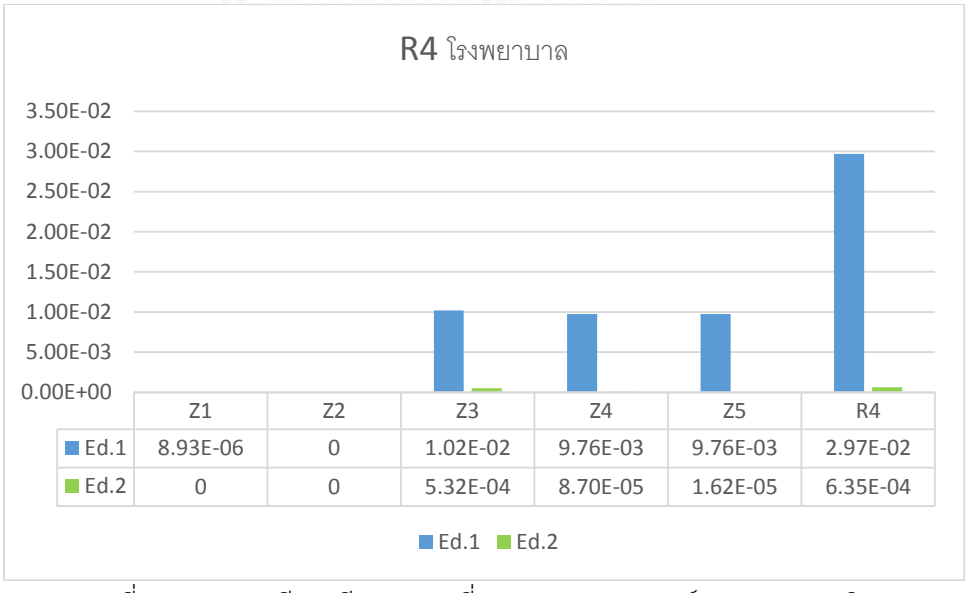


	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R3
Ed.1	0	0	1.34E-06	2.29E-07	0	0	0	0	1.57E-06
Ed.2	0	0	1.34E-06	2.91E-07	0	0	0	0	1.63E-06
RT1	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
RT2	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04

รูปที่ 4.39 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของโรงพยาบาล

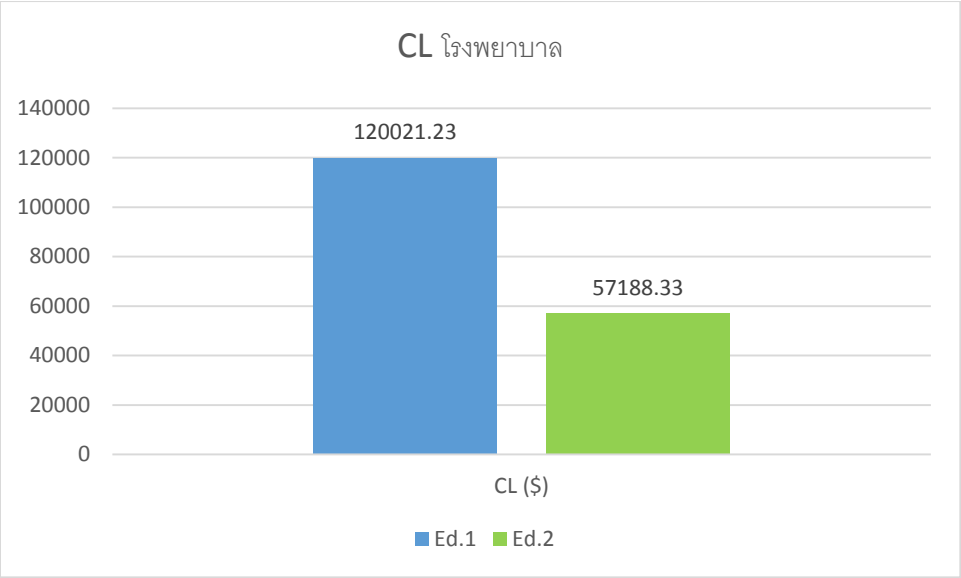
จากรูปที่ 4.39 พบว่าค่า R3 ของทั้งสองมาตรฐานมีค่าต่างกันเล็กน้อย โดยที่ R3 ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า R3 ของ Ed.1 เพราะในส่วนของ Px และ Lx ของทั้งสองมาตรฐานไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด จะต่างกันตรงที่ค่าของ NL เพียงเล็กน้อย

4.3.7. ผลการคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของโรงพยาบาล



	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	R4
Ed.1	8.93E-06	0	1.02E-02	9.76E-03	9.76E-03	2.97E-02
Ed.2	0	0	5.32E-04	8.70E-05	1.62E-05	6.35E-04

รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์ R4 ของออฟฟิต

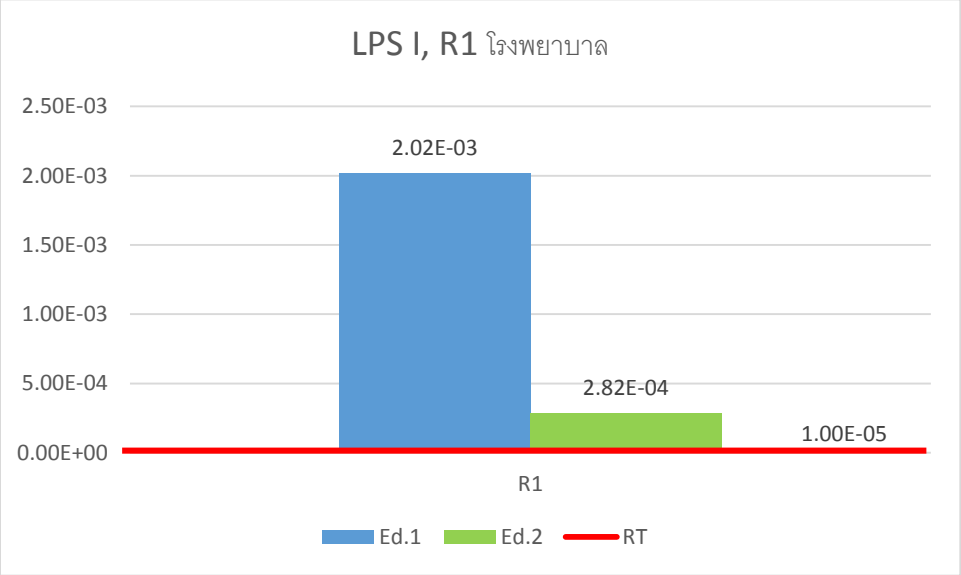


รูปที่ 4.41 มูลค่าความสูญเสียของโรงพยาบาล

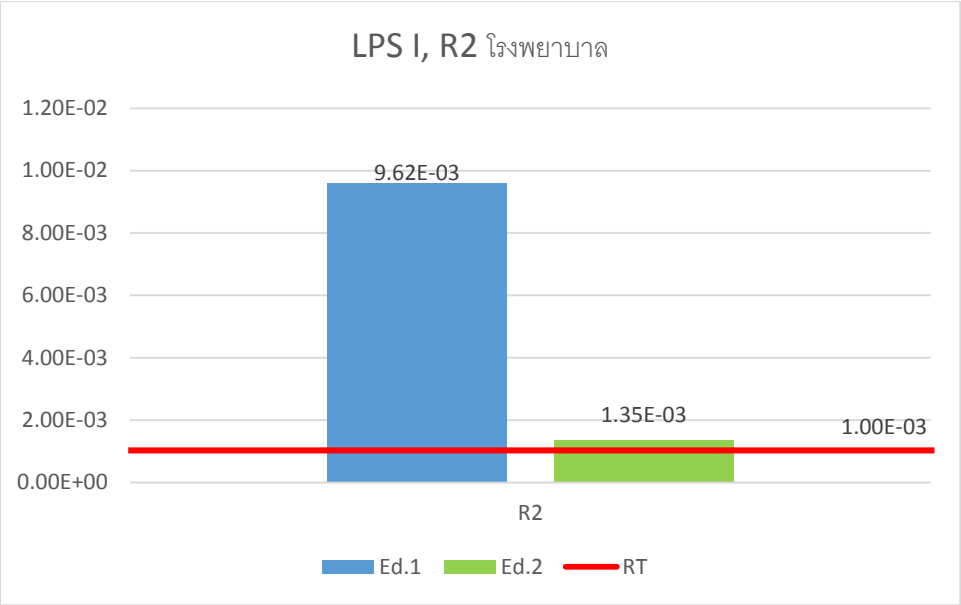
จากรูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41 พบว่าค่า R4 ของ Ed.2 มีค่าน้อยกว่า R4 ของ Ed.1 เพราะว่าผลจากการใช้สมการในการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนั้นแล้วในกรณีของโรงพยาบาล มูลค่าความสูญเสีย CL ของ Ed.2 จึงมีค่าน้อยกว่า CL ของ Ed.1

4.3.8. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของโรงพยาบาล

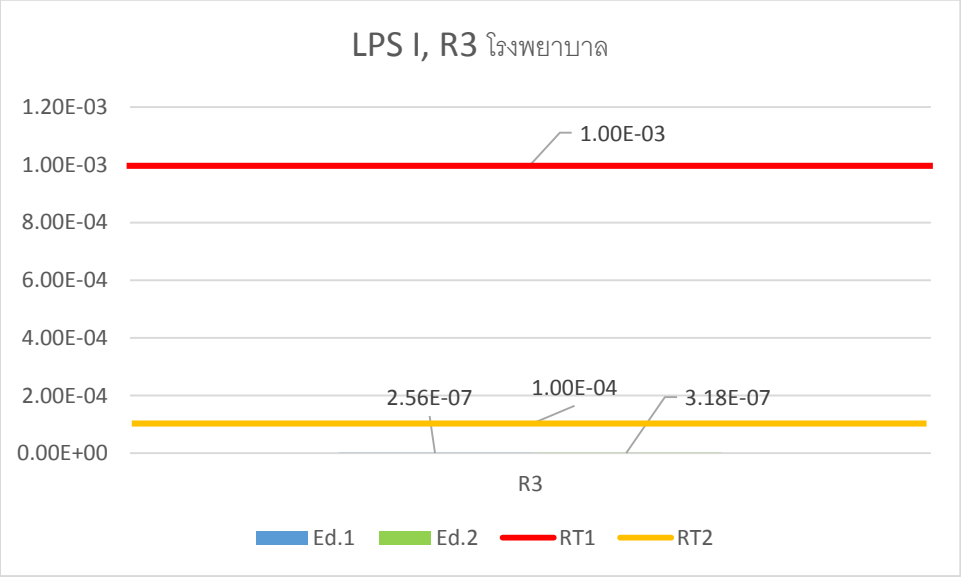
เนื่องจากผลการคำนวณความเสี่ยงของโรงพยาบาลทั้ง Ed.1 และ Ed.2 ค่าความเสี่ยงเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งมาตรการเสริมเพื่อลดความเสี่ยงให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แสดงดังรูปที่ 4.52 ถึงรูปที่ 4.66



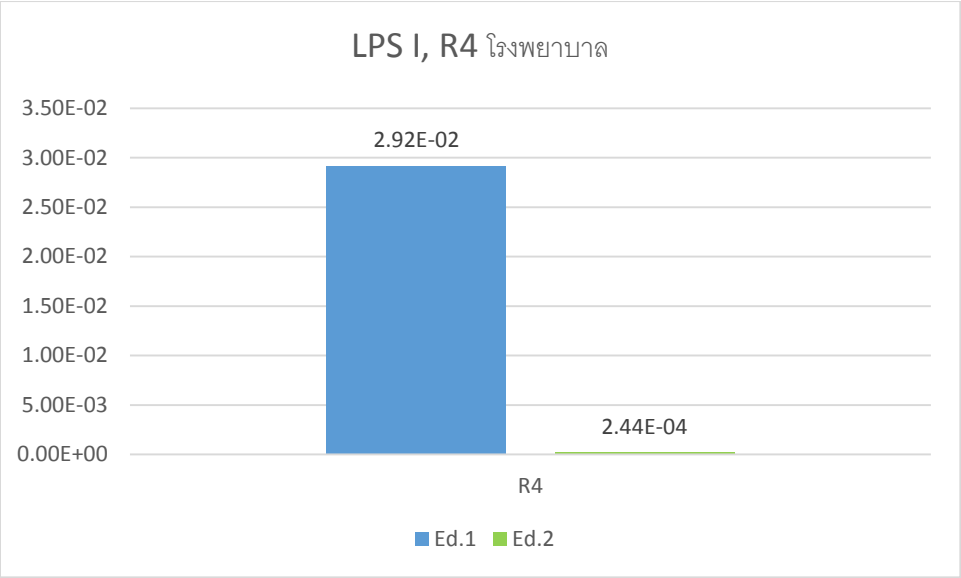
รูปที่ 4.42 R1 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I



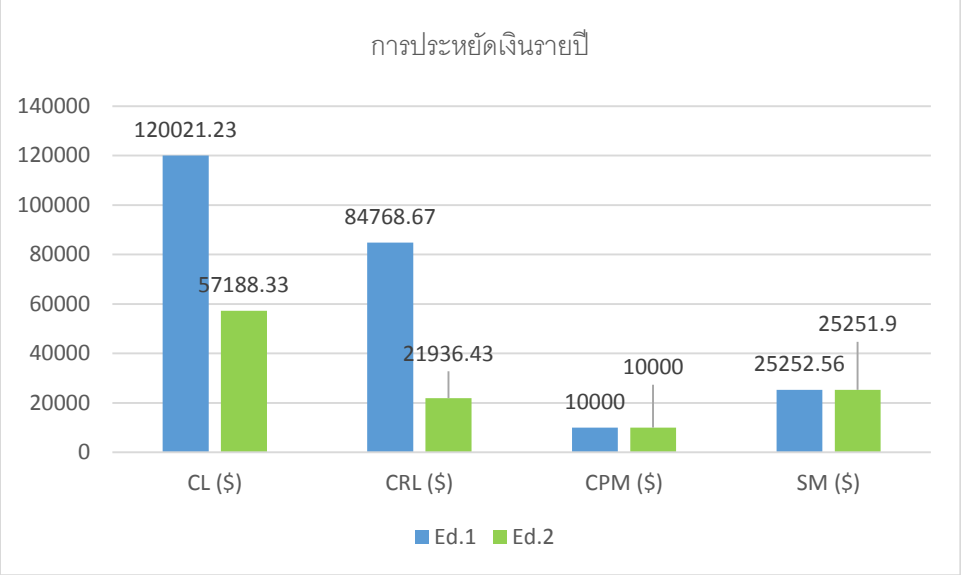
รูปที่ 4.43 R2 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I



รูปที่ 4.44 R3 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I

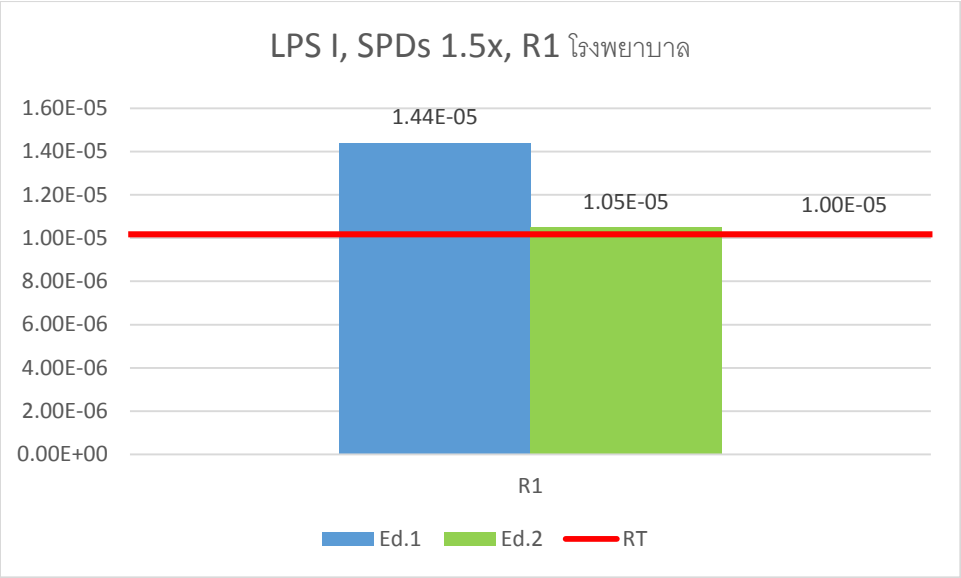


รูปที่ 4.45 R4 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I

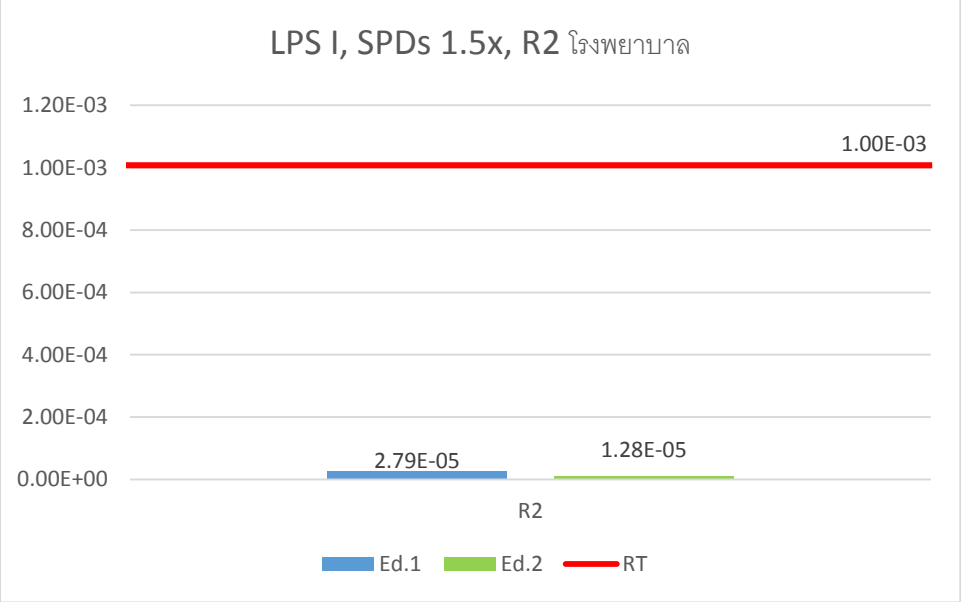


รูปที่ 4.46 การประหยัดเงินรายปีของโรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I

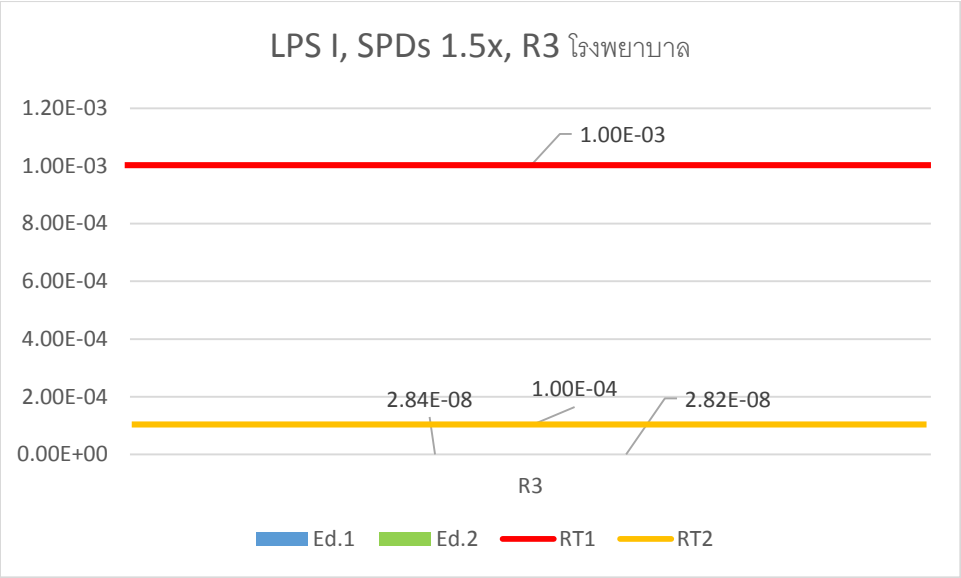
จากรูปที่ 4.42 ถึงรูปที่4.46 เมื่อมีการติดตั้ง LPS I ค่าความเสี่ยง R1 กับ R2 ของทั้งสองมาตรฐานยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ผลของ LPS จะลดทอนได้แค่ RA กับ RB เท่านั้น ส่วน RV, RC, RM, RW และ RZ ไม่ได้ถูกลดทอนลงไปด้วยจึงทำให้ค่าความเสี่ยง R1 และ R2 ยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ในส่วนของการประหยัดเงินรายปี SM พบว่าการป้องกันของทั้งสองมาตรฐานประหยัดเงินได้เท่ากัน และคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์



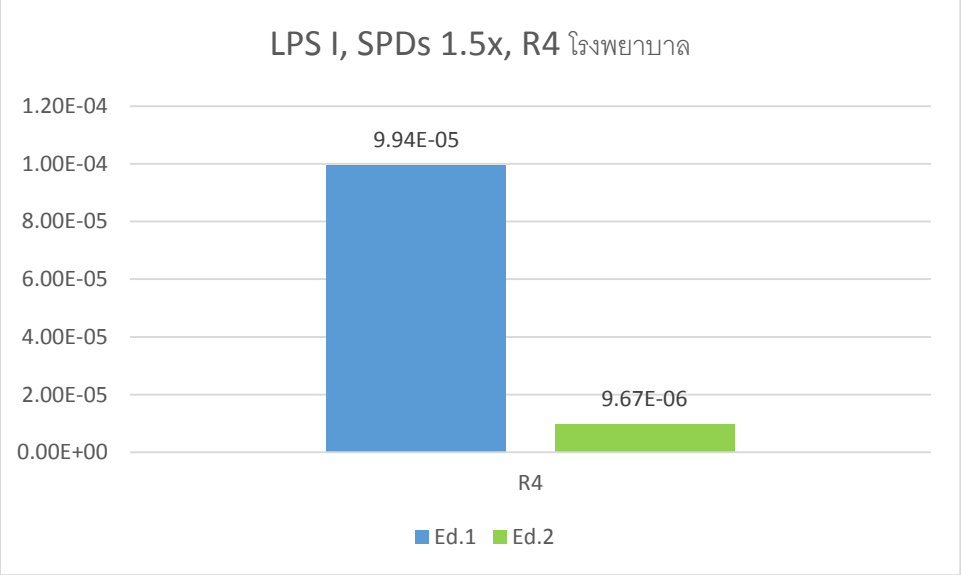
รูปที่ 4.47 R1 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x



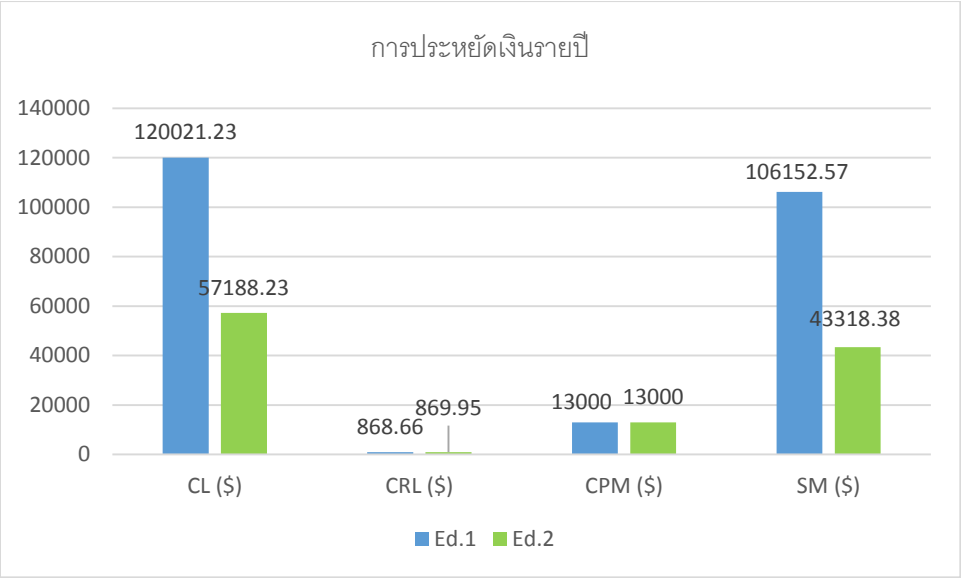
รูปที่ 4.48 R2 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x



รูปที่ 4.49 R3 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x



รูปที่ 4.50 R4 โรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x



รูปที่ 4.51 การประหยัดเงินรายปีของโรงพยาบาลเมื่อติดตั้ง LPS ระดับ I กับ SPDs ระดับ 1.5x

จากรูปที่ 4.47 ถึงรูปที่ 4.51 พบว่าเมื่อมีการติดตั้ง LPS I คู่กับ SPDs 1.5x สามารถลดทอนความเสี่ยง R2 ของ Ed.1 และ R2 ของ Ed. 2 ให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่ R1 ของ Ed.1 และ Ed.2 ยังมีค่าเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อยู่ สามารถแก้ไขโดยเพิ่มระดับการป้องกันของ LPS และ SPDs ให้ดีขึ้น หรืออาจติดตั้งมาตรการเสริมเข้าไปเพื่อลดทอนความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ ในขณะที่การประหยัดเงินรายปีของทั้งสองมาตรฐานในแง่เศรษฐศาสตร์ถือว่าเหมาะสมกับการลงทุน แต่ของ Ed.1 มีการประหยัดเงินได้มากกว่า

4.3.9. สรุปผลโรงพยาบาล

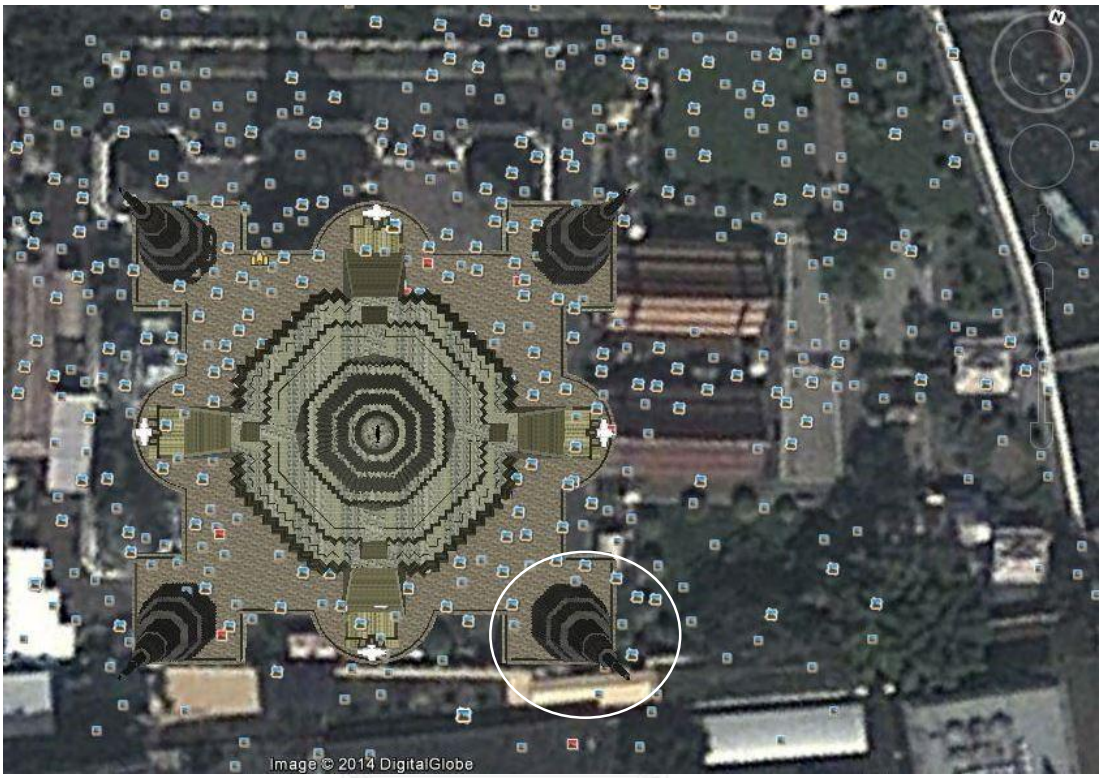
Ed.2 มีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงได้ดีกว่า Ed.1 ในด้านเศรษฐศาสตร์ Ed.1 มีการประหยัดเงินได้ดีกว่า Ed.2 แต่เนื่องจากสิ่งปลูกสร้างเป็นโรงพยาบาลความปลอดภัยย่อมมาก่อนความคุ้มทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้น Ed.2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า Ed.1

4.4. พระปรางค์วัดอรุณฯ

วัดอรุณฯ เป็นวัดโบราณเก่าแก่สร้างมาตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา โดยเป็นวัดประจำของพระบาทสมเด็จพระพุทธเลิศหล้านภาลัย แต่องค์พระปรางค์ได้สร้างขึ้นในสมัยพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว เมื่อประมาณปี พ .ศ.2439 [4]

ภาพจากดาวเทียม (จาก google earth) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.52 จะเห็นว่าองค์พระปรางค์ใหญ่มี พระปรางค์ทิศ ประจำอยู่ทั้งสี่มุม และเมื่อเดือนตุลาคม 2555 ได้เกิดฟ้าผ่าลงที่ยอดพระปรางค์

ทิศด้านตะวันออกเฉียงใต้ (วงกลมในรูป) ตามข่าวได้ทราบว่ากระแสฟ้าผ่าได้ไหลผ่านตัวนำลงดิน ได้ก่อความเสียหายต่อรูปปั้นยักษ์ตนหนึ่ง ที่ติดอยู่รอบๆ พระปรางค์ทิศองค์นี้ ผู้เขียนคาดว่ากระแสฟ้าผ่ามีค่าไม่สูงมากนัก จึงไม่เกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่องค์พระปรางค์ใหญ่



รูปที่ 4.52 ภาพองค์พระปรางค์ใหญ่ วัดอรุณฯ จาก google earth

องค์พระปรางค์ใหญ่มีความสูง 81.85 m และมีความยาวรอบฐานประมาณ 234 m ในปัจจุบันส่วนยอดสุดขององค์พระปรางค์ใหญ่มี ‘ยอดนภศูล’ ครอบด้วยมงกุฎปิดทองติดตั้งอยู่ พร้อมกับมีตัวนำล่อฟ้าติดตั้งอยู่ทางด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.53

รูปที่ 4.53 ภาพตัวนำล่อฟ้าที่ด้านข้าง ยอดนภศูลเหนือองค์พระปรางค์ใหญ่วัดอรุณฯ [4]

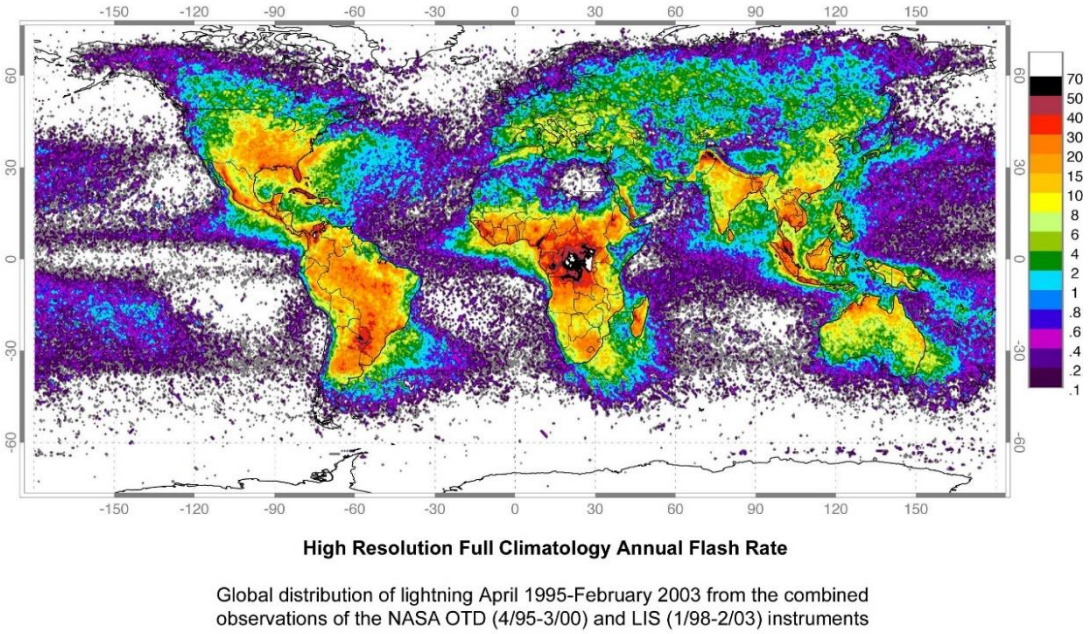
เราจะเห็นว่ายอดของตัวนำล่อฟ้าอยู่ในระดับเดียวกับยอดนภศูล ซึ่งแสดงว่าตัวนำล่อฟ้าไม่สามารถป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงที่ด้านข้างขององค์พระปรางค์ใหญ่อีก 3 ด้านได้

ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับองค์พระปรางค์ใหญ่ ประกอบด้วย R1 ความเสี่ยงต่อความสูญของชีวิตมนุษย์ เพราะในแต่ละวันมีนักท่องเที่ยวจำนวนมากมาเยี่ยมชม และ R3 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม เพราะหากองค์พระปรางค์ใหญ่เสียหาย เราจะไม่สามารถหาสิ่งใดมาทดแทนได้

4.4.1. คุณลักษณะของพระปรางค์วัดอรุณ

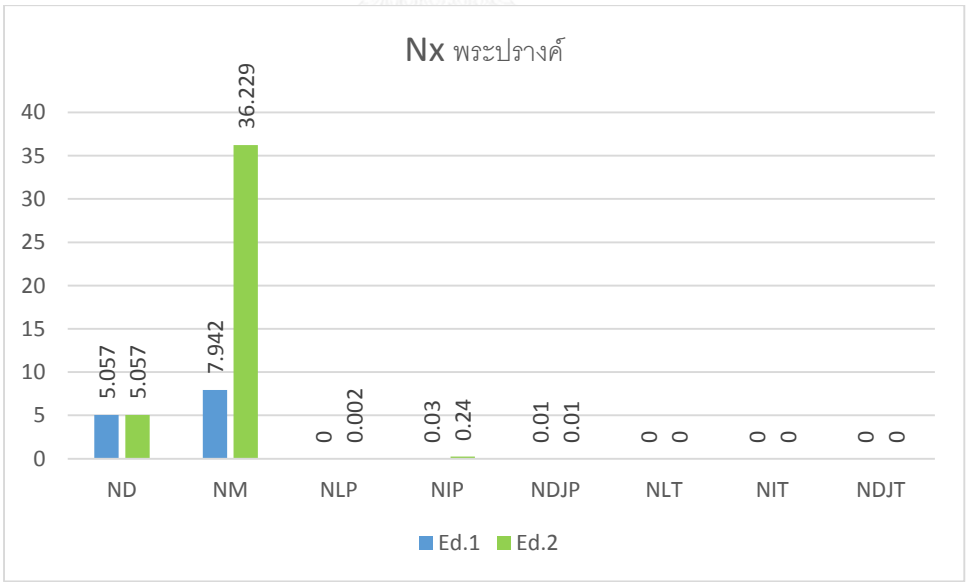
กำหนดให้องค์พระปรางค์ใหญ่ เป็นสิ่งปลูกสร้างที่มีฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 60 m × 60 m และมีความสูง 81.85 เมตร โดยมีนักท่องเที่ยวจำนวน 200 คน มาเยี่ยมชมองค์พระปรางค์ใหญ่ตลอดเวลา 8 ชั่วโมง ในหนึ่งวัน โดยที่คุณลักษณะสิ่งแวดล้อมภายนอกรอบๆ พระปรางค์วัดอรุณฯประกอบไปด้วยชุมชนและตึกสูง คุณลักษณะของสายไฟฟ้าประกอบไปด้วย สายไฟแรงต่ำแบบฝังดินมีความยาว 30 เมตร คุณลักษณะของสายสื่อสารไม่มี พื้นผิวรอบๆพระปรางค์ทำมาจากหินอ่อน

กำหนดค่า Ng = 40 วาบฟ้าผ่าต่อตารางกิโลเมตรต่อปี อ้างอิงจากรูปที่ 4.54



รูปที่ 4.54 แผนที่การเกิดฟ้าผ่าบนโลก [5]

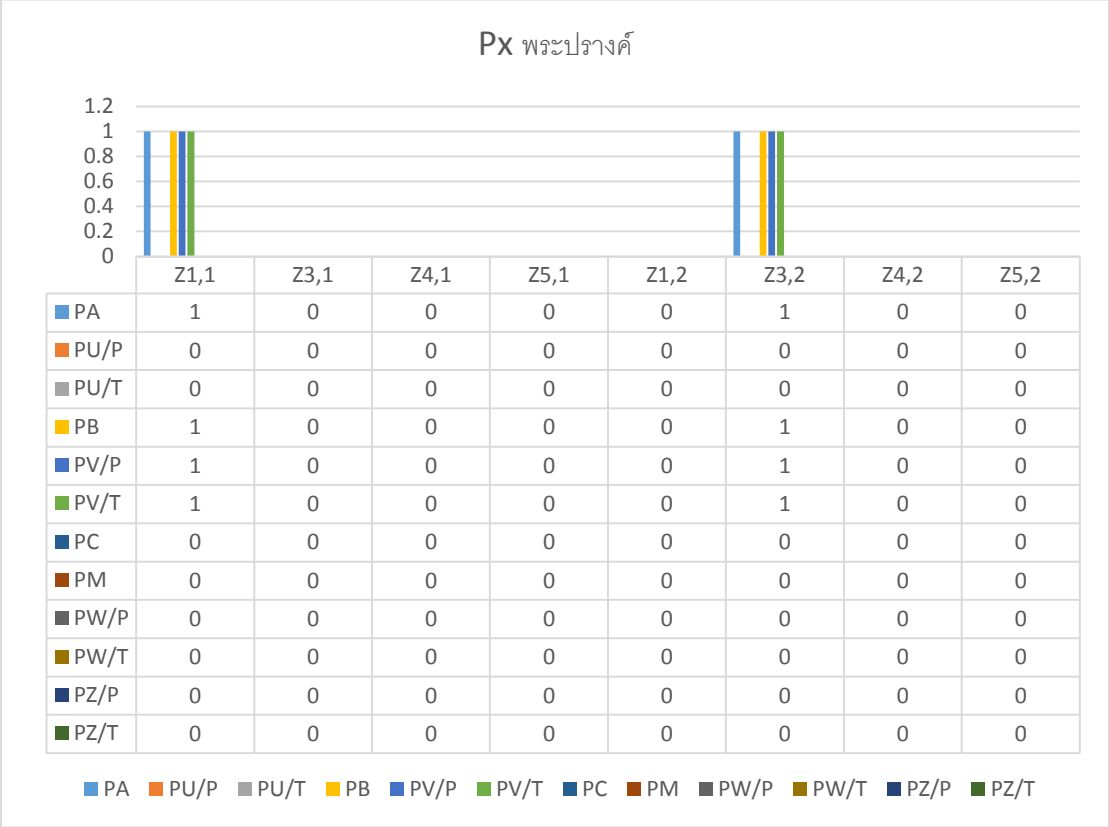
4.4.2. ผลการคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า Nx



รูปที่ 4.55 Nx ของพระปรางค์

จากรูปที่ 4.55 พบว่าค่า NM, NLP, NIP ของ Ed.2 มีค่ามากกว่า Ed.1 ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของ Ed.2 มีค่ามากกว่า Ed.1

4.4.3. ผลการคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของพระปรางค์วัดอรุณฯ



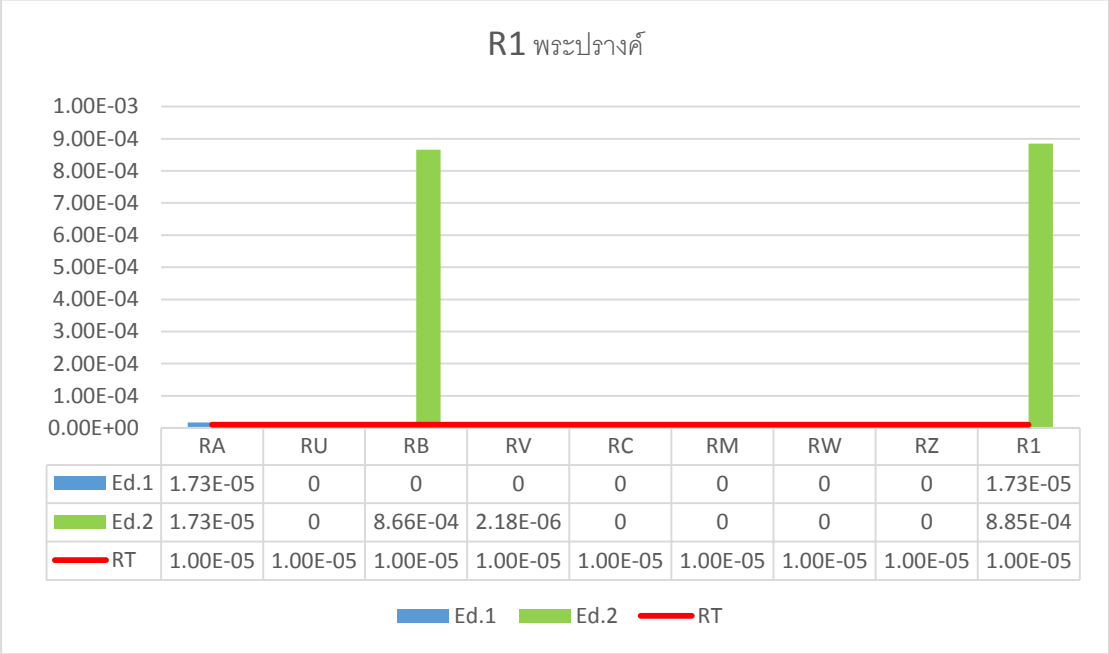
	Z1,1	Z3,1	Z4,1	Z5,1	Z1,2	Z3,2	Z4,2	Z5,2
PA	1	0	0	0	0	1	0	0
PU/P	0	0	0	0	0	0	0	0
PU/T	0	0	0	0	0	0	0	0
PB	1	0	0	0	0	1	0	0
PV/P	1	0	0	0	0	1	0	0
PV/T	1	0	0	0	0	1	0	0
PC	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0
PW/P	0	0	0	0	0	0	0	0
PW/T	0	0	0	0	0	0	0	0
PZ/P	0	0	0	0	0	0	0	0
PZ/T	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.56 Px ของพระปรางค์

จากรูปที่ 4.56 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของความเสียหาย Px ของ Z1 ของทั้งสองมาตรฐานมีค่าเท่ากัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.4. ผลการคำนวณความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของพระปรางค์วัดอรุณฯ



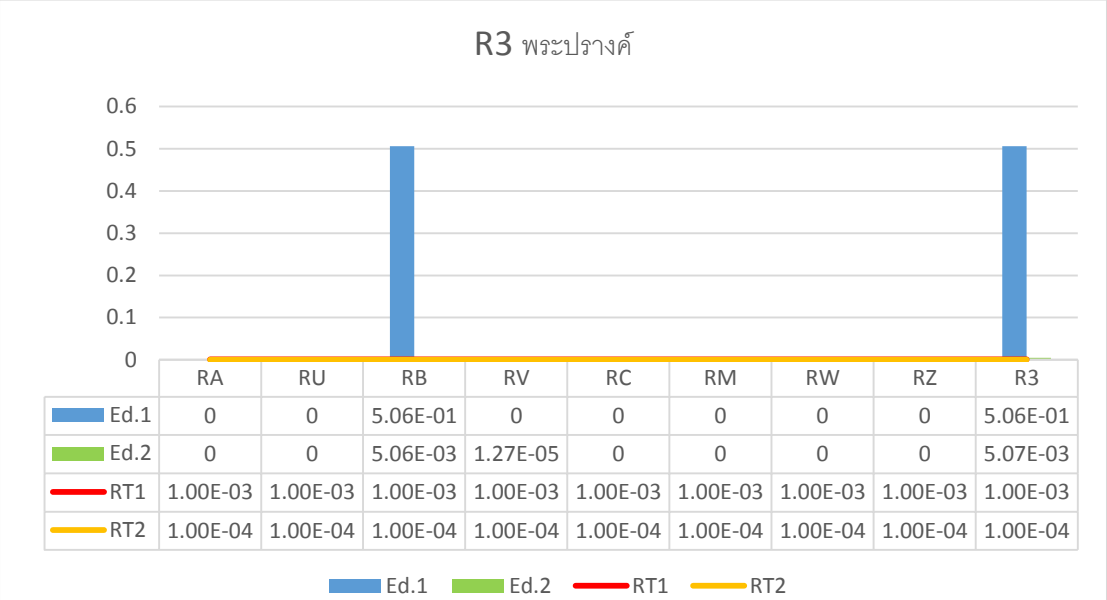
	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R1
Ed.1	1.73E-05	0	0	0	0	0	0	0	1.73E-05
Ed.2	1.73E-05	0	8.66E-04	2.18E-06	0	0	0	0	8.85E-04
RT	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05

รูปที่ 4.57 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อชีวิตมนุษย์ R1 ของพระปรางค์

จากรูปที่ 4.57 พบว่าค่า R1 ของ Ed.1 มีค่าน้อยกว่า R1 ของ Ed.2 เพราะว่า R1 ของ Ed.2 ไม่คิดผลของ RB และ RV เนื่องมาจาก ค่า Lx ของ RB และ RV มีค่าเป็น 0 ค่า R1 ของทั้งสองมาตรฐานมีค่าเกินค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้ง LPS เพื่อลดทอนความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.5. ผลการคำนวณความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของพระปรางค์วัดอรุณฯ



	RA	RU	RB	RV	RC	RM	RW	RZ	R3
Ed.1	0	0	5.06E-01	0	0	0	0	0	5.06E-01
Ed.2	0	0	5.06E-03	1.27E-05	0	0	0	0	5.07E-03
RT1	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03
RT2	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04

รูปที่ 4.58 การเปรียบเทียบความเสี่ยงมรดกทางวัฒนธรรม R3 ของพระปรางค์

จากรูปที่ 4.58 พบว่าค่า R3 ของ Ed.1 มีค่าน้อยกว่ากว่า R3 ของ Ed.2 เพราะว่า R3 ของ Ed.2 ไม่คิดผลของ RV เนื่องมาจาก ค่า Lx ของ RV มีค่าเป็น 0 ค่า R3 ของทั้งสองมาตรฐานมีค่าเกินค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้ง LPS เพื่อลดทอนความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

4.4.6. ผลการเปรียบเทียบความเสี่ยงของพระปรางค์วัดอรุณฯ

เนื่องจากผลการคำนวณความเสี่ยงของพระปรางค์วัดอรุณทั้ง Ed.1 และ Ed.2 ค่าความเสี่ยงเกินกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งมาตรการเสริมเพื่อลดความเสี่ยงให้น้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้

เนื่องจากสิ่งปลูกสร้างที่เรากำลังพิจารณาคือ องค์พระปรางค์ใหญ่ ดังนั้นการลดทอนความเสี่ยงจึงทำได้เพียงลดผลของ RB ด้วยการติดตั้ง LPS เท่านั้น ส่วนการลด RV ด้วยการติดตั้ง SPDs ไม่สามารถทำได้ เพราะองค์พระปรางค์ใหญ่มีแต่ส่วนของพื้นที่ภายนอก ไม่มีความเสี่ยงในส่วนของพื้นที่ภายใน ผลการคำนวณความเสี่ยง R1 และ R3 เมื่อติดตั้ง LPS ชั้นต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า R1 และ R3 ของพระปรางค์วัดอรุณฯ เมื่อติดตั้ง LPS ชั้นต่างๆ

องค์พระปรางค์ใหญ่	R1		R3	
	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2
ไม่มีการป้องกัน	1.73E-05	8.85E-04	5.06E-01	5.07E-03
LPS IV	1.73E-05	1.79E-04	9.75E-02	1.02E-03
LPS III	1.73E-05	9.05E-05	4.70E-02	5.18E-04
LPS II	1.73E-05	4.63E-05	2.17E-02	2.67E-04
LPS I	1.73E-05	1.98E-05	6.53E-03	1.14E-04
LPS I 1.5x	-	6.59E-06	-	3.80E-05
LPS I 2x	-	3.94E-06	-	2.28E-05
LPS I 3x	-	3.06E-06	-	1.78E-05
ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	$\leq 10^{-5}$		$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^{-4}$

เราจะเห็นว่าเพื่อให้ R3 ต่ำกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ผลการคำนวณจาก Ed.1 ไม่สามารถลดทอนความเสี่ยงลงมาให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับ ผลการคำนวณจาก Ed.2 ที่ต้องทำการติดตั้ง LPS I 1.5x เท่านั้น

อย่างไรก็ตาม หากองค์พระปรางค์ใหญ่ได้รับการป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงด้วยการลงทุนติดตั้ง LPS I 1.5x ไว้แล้ว แม้ว่าราคาในการติดตั้งอาจสูงไปบ้าง ไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ แต่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ก็เห็นด้วย เพราะองค์พระปรางค์ใหญ่เป็นสิ่งที่ล้ำค่าทางประวัติศาสตร์

เนื่องจากในแต่ละวัน มีนักท่องเที่ยวมาเยี่ยมชมองค์พระปรางค์ วัดอรุณฯ เป็นจำนวนมาก เราจึงต้องคำนึงถึงความเสี่ยงต่อความสูญของชีวิตมนุษย์ R1 ด้วย

ผลการคำนวณค่า R1 จากทั้ง Ed.1 และ Ed.2 ได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการคำนวณ R1 จาก Ed.1 นั้น เราไม่จำเป็นต้องติดตั้ง LPS เพราะไม่สามารถลดทอนความเสี่ยงลงมาได้ ในขณะที่ผลการคำนวณจาก Ed.2 เราต้องติดตั้ง LPS I 1.5x สามารถลดทอนความเสี่ยง R1 ลงมาอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ในกรณีของ R1 Ed.1 เมื่อติดตั้ง LPS ระดับต่างๆแล้ว ค่า R1 ไม่ลดก็เพราะว่า R1 มีผลการคำนวณมาจาก RA เราสามารถลดค่า RA ได้ด้วยการติดมาตรการเสริมเข้าไป เช่น การติดป้ายเตือนห้ามเข้า ก็จะสามารถลดทอนความเสี่ยง R1 ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุผลนี้เราจึงต้องหันไป

ใช้ ค่า R1 Ed.2 แทนก็เพราะว่าค่า R1 Ed.2 จะคิดผลของ RB รวมเข้าไปด้วยซึ่งผลของ RB สามารถลดทอนลงได้เมื่อมีการติดตั้ง LPS คลาสต่างๆ

หากเราใช้ Ed.2 ในการคำนวณค่าความเสี่ยงต่างๆ โดยเพิ่มมาตรการป้องกันอันตรายต่อชีวิตมนุษย์เข้าไป เช่น ป้ายเตือน หรือ การประสานศักย์ที่ระดับพื้นดิน เราควรจะพบว่าอันตรายต่อชีวิตมนุษย์มีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามอันตรายดังกล่าวจากการคำนวณด้วย Ed.2 ไม่ได้มีค่าลดลงมากนักดังแสดงในตารางที่ 4.10 ทั้งที่การติดป้ายเตือนห้ามเข้า ควรจะทำให้อันตรายต่อชีวิตมนุษย์ R1 มีค่าเป็นศูนย์เพราะจำนวนคนเป็นศูนย์ ดังนั้น IEC จึงควรปรับปรุงมาตรฐานให้มีความเหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 4.2 ค่า R1 ของพระปรางค์วัดอรุณฯเมื่อเพิ่มมาตรการป้องกันอันตรายต่อชีวิตมนุษย์

องค์พระปรางค์ใหญ่	ไม่มีมาตรการเสริม	ติดป้ายห้ามเข้า	ประสานศักย์ที่ระดับพื้นดิน (ระดับ 3-4)
ไม่มีการป้องกัน	8.85E-04	8.70E-04	8.83E-04
LPS IV	1.79E-04	1.76E-04	1.77E-04
LPS III	9.05E-05	8.89E-05	8.84E-05
LPS II	4.63E-05	4.56E-05	4.43E-05
LPS I	1.98E-05	1.95E-05	1.78E-05
LPS I 1.5x	6.59E-06	6.52E-06	4.52E-06
LPS I 2x	3.94E-06	3.91E-06	1.88E-06
LPS I 3x	3.06E-06	3.05E-06	9.92E-07
ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	$\leq 10^{-5}$		

4.4.7. สรุปผลพระปรางค์วัดอรุณฯ

การป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงที่องค์พระปรางค์ใหญ่ ค่า RB มีผลต่อ R3 ทั้ง Ed.1 และ Ed.2 ซึ่งการลดค่า RB ทำได้โดยติดตั้ง LPS แต่เราจะพบว่า Ed.1 ให้ผลการคำนวณที่ไม่คุ้มค่าทางเศษฐศาสตร์ เมื่อเทียบกับ Ed.2 นอกจากนั้น การติดป้ายห้ามเข้า น่าจะลดค่า R1 ลงเป็นศูนย์ แต่ผลการคำนวณยังปรากฏว่ายังมีความเสี่ยงอยู่ ดังนั้นผู้เขียนจึงคาดว่า IEC คงจะมีการปรับปรุงจาก Ed.2 เป็น Ed.3 ในเร็วๆ นี้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผล

งานวิจัยนี้เน้นไปที่การประเมินความเสี่ยงของฟ้าผ่า โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นคำนวณความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่ากับสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ เพื่อนำไปใช้ในการออกอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าและลดทอนความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยและมีความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้ในการอธิบายการเปรียบเทียบมาตรฐาน IEC 62305-2 Ed.1 และ Ed.2 จากการจำลองโปรแกรมเพื่อศึกษาสิ่งปลูกสร้างที่สนใจ คือ บ้านชนบท ออฟฟิต โรงพยาบาล และพระปรางค์วัดอรุณฯ ได้ข้อสรุปดังนี้

1. การใช้งานโปรแกรมประเมินความเสี่ยงจากความเสียหายของฟ้าผ่าของ Ed.2 มีการใช้งานที่งานที่ง่ายกว่า Ed.1 เพราะว่า Ed.2 มีการเพิ่มตัวเลือกด้านการป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นในส่วนของพื้นที่ภายใน รวมถึงการคิดค่า SPDs ในพื้นที่ภายในที่คำนึงถึงเฉพาะผลจากการเกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต่างจาก Ed.1 โดยที่ SPDs ของ Ed.1 ของพื้นที่ภายในจะมีค่าตามการกำหนดค่า SPDs ของภายนอกสิ่งปลูกสร้าง

2. ในด้านเศรษฐศาสตร์ การหามูลค่าความเสียหายได้มีการใช้สมการใหม่ทำให้ค่าที่คำนวณได้ถูกต้องมากขึ้น จากผลการจำลองโปรแกรม Ed.2 ให้ผลการคำนวณที่มีการประหยัดเงินมากกว่า Ed.1

3. ในด้านความเสี่ยงที่ยอมรับได้พบว่า Ed.2 ให้ความสำคัญกับมรดกทางวัฒนธรรมเพิ่มมากขึ้นโดยมีการปรับค่าจาก 10^{-3} เป็น 10^{-4}

4. ในด้านประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่าควรออกแบบติดตั้งเป็นแบบผสมคือ ติดตั้งทั้ง LPS และ SPDs จะช่วยให้ลดทอนความเสี่ยงลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าด้านการลงทุนมากกว่าการติดตั้งอุปกรณ์ฟ้าผ่าแบบ LPS อย่างเดียว เมื่อติดตั้งแบบผสมแล้วไม่สามารถลดทอนความเสี่ยงลงมาให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ ต้องเพิ่มมาตรการเสริมเข้าไป เช่น การติดตั้งอุปกรณ์เตือนภัยและป้องกันไฟไหม้ เพื่อให้ค่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

5. พระปรางค์วัดอรุณฯ การติดป้ายห้ามเข้า น่าจะลดค่า R1 ลงเป็นศูนย์เพราะไม่มีคนเข้าเยี่ยมชมพระปรางค์ ดังนั้นแล้วจำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่เป็น 0 ทำให้ผลการคำนวณความเสี่ยง R1 = 0

แต่ผลการคำนวณยังปรากฏว่ายังมีความเสี่ยงอยู่ ดังนั้นผู้เขียนจึงคาดว่า IEC คงจะมีการปรับปรุงจาก Ed.2 เป็น Ed.3 ในเร็วๆ นี้

5.2. ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงฟ้าผ่าสามารถคำนวณพื้นที่ภายนอกและภายในสิ่งปลูกสร้างได้มากที่สุด 5 พื้นที่ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นแล้วต้องปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถคำนวณพื้นที่ภายในและภายนอกของสิ่งปลูกสร้างได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] "IEC 62305-x, Protection against lightning," Second edition, 2010.

[2] "IEC 62305, Protection against lightning," First edition, 2006.

[3] "IEC 62305, Protection against lightning," Second edition, 2010.

[4] "วัดประจำรัชกาลที่ ๒,"
http://www.dhammajak.net/forums/viewtopic.php?f=24&t=19404.

[5] http://thunder.nsstc.nasa.gov/images/HRFC_AnnualFlashRate_cap.jpg.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่า

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงฟ้าผ่า พัฒนามาจากโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 โดยทำการเขียนขึ้นมา 2 โปรแกรม สำหรับ IEC 62305-2 Ed.1 และ IEC 62305-2 Ed.2 โดยตัวโปรแกรมสาสมารถคำนวณหาค่าความเสี่ยงและคำนวณหาค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้ในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ คำอธิบายโปรแกรมจะอธิบายเฉพาะโปรแกรมในส่วนของ IEC 62305-2 Ed.2 (2010) ในส่วนของ Ed.1 จะมีลักษณะหน้าตาโปรแกรมเหมือน Ed.2 แต่โค้ดโปรแกรมที่เขียนขึ้นแตกต่างกัน

ก.1. หน้าหลัก (Main)

ประกอบไปด้วย 3 ส่วนย่อยคือ สภาพแวดล้อมภายนอก, สายไฟฟ้า, สายสื่อสาร

ก.1.1. สภาพแวดล้อมภายนอก

ประกอบไปด้วย 6 ส่วนย่อย แสดงดังรูปที่ ก.1

Structure type คือ ประเภทของสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Ground flash density คือ ความหนาแน่นของการเกิดฟ้าผ่า (ตารางกิโลเมตรต่อปี) ผู้ใช้งานเป็นคนป้อนข้อมูลเอง โดยสามารถคำนวณจากจากสมการ หรือคำนวณหาจาก Isokeraunic map

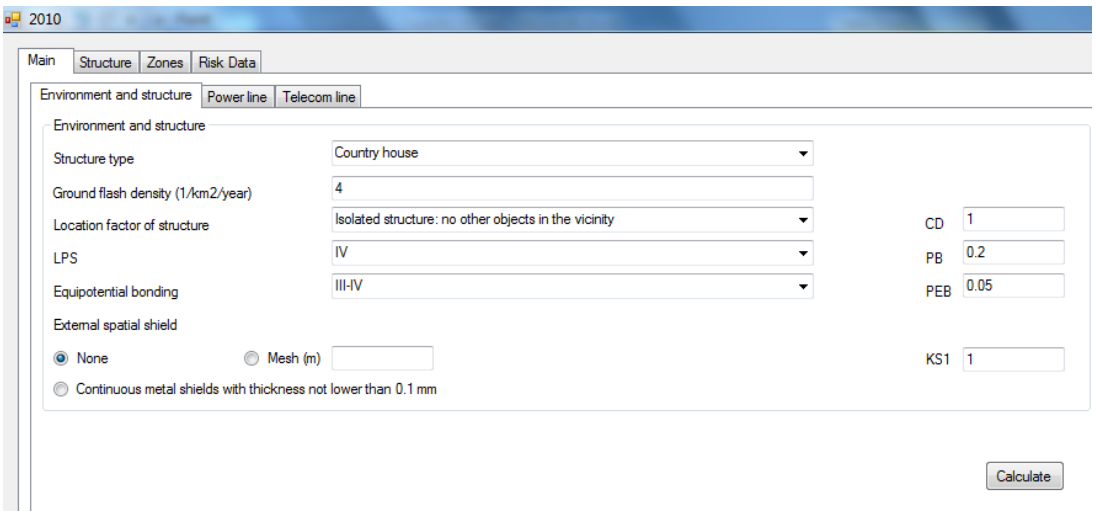
Location factor of structure คือ ค่าประกอบที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

LPS คือ ระบบป้องกันฟ้าผ่า ผู้ใช้งานสามารถเลือกระดับการป้องของ LPS ได้

Equipotential bonding คือ การผสานศักย์ให้เท่ากัน ผู้ใช้เลือกค่าที่โปรแกรมกำหนดมาให้

External spatial shield คือ การชิลด์ภายนอก ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ก.1 หน้าหลักของโปรแกรมในส่วนของสภาพแวดล้อม

ก.1.2. สายไฟฟ้า

ประกอบไปด้วย 7 ส่วนย่อย แสดงดังรูปที่ ก.2

Installation factor คือ ค่าตัวประกอบตำแหน่งที่ติดตั้งของสายไฟฟ้า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Line type factor คือ ค่าตัวประกอบประเภทของสายไฟฟ้า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

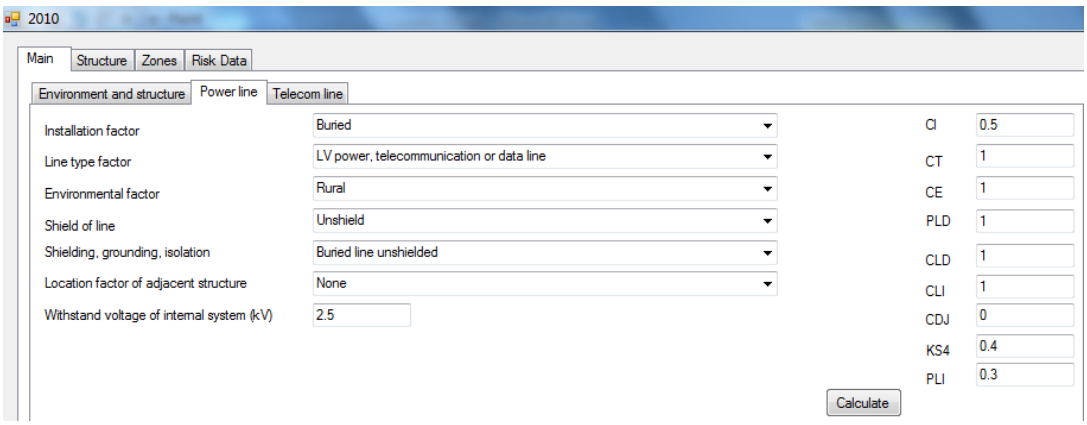
Environmental factor คือ ค่าตัวประกอบสภาพแวดล้อมภายนอกของสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Shield of line คือ การกำบังของสายไฟฟ้า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Shielding, grounding, isolation คือ การกำบัง การกราวด์ การแยกเดี่ยว ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Location factor of adjacent structure คือ ค่าตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้กับสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

With stand voltage of internal system (kV) คือ ค่าความคงทนแรงดันของระบบภายใน ผู้ใช้เลือกค่าได้เองจากค่าดังต่อไปนี้ 1, 1.5, 2.5, 4, 6



รูปที่ ก.2 หน้าหลักของโปรแกรมในส่วนของสายไฟฟ้า

ก.1.3. สายสื่อสาร

ประกอบไปด้วย 7 ส่วนย่อย แสดงดังรูปที่ ก.3

Installation factor คือ ค่าตัวประกอบตำแหน่งที่ติดตั้งของสายสื่อสาร ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Line type factor คือ ค่าตัวประกอบประเภทของสายสื่อสาร ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

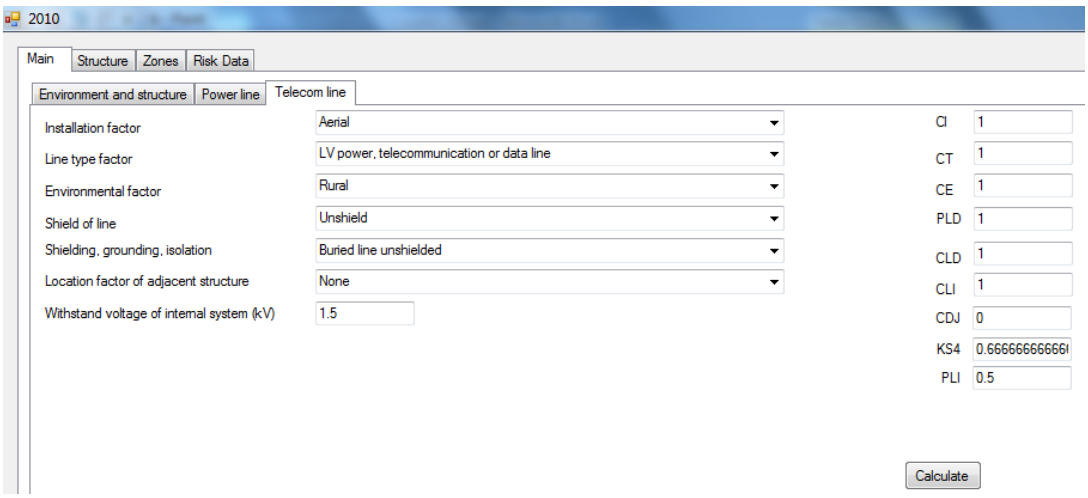
Environmental factor คือ ค่าตัวประกอบสภาพแวดล้อมภายนอกของสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Shield of line คือ การกำบังของสายไฟฟ้า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Shielding, grounding, isolation คือ การกำบัง การกราวด์ การแยกเดี่ยว ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Location factor of adjacent structure คือ ค่าตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้กับสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

With stand voltage of internal system (kV) คือ ค่าความคงทนแรงดันของระบบภายใน ผู้ใช้เลือกค่าได้เองจากค่าดังต่อไปนี้ 1, 1.5, 2.5, 4 และ 6 kV



รูปที่ ก.3 หน้าหลักของโปรแกรมในส่วนของสายสื่อสาร

ก.2. สิ่งปลูกสร้าง (Structure)

ในหน้า Structure ของโปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่า ผู้ใช้งานต้องระบุขนาดของสิ่งปลูกสร้างที่สนใจ สิ่งปลูกสร้างที่อยู่ติดกัน รวมทั้งความยาวของสายไฟและสายสื่อสาร เพื่อนำมาคำนวณหาพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง แสดงดังรูปที่ ก.4

ก.2.1. ขนาดของสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ

L คือ ความยาวของสิ่งปลูกสร้าง (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

W คือ ความกว้างของสิ่งปลูกสร้าง (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

H คือ ความสูงของสิ่งปลูกสร้าง (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

AD คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง ในรัศมีสามเท่าของความสูงของสิ่งปลูกสร้าง (ตารางเมตร)

AM คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงใกล้สิ่งปลูกสร้าง ในรัศมี 500 เมตร ของสิ่งปลูกสร้าง (ตารางเมตร)

ก.2.2. สายไฟและสายสื่อสารในระบบสาธารณูปโภค

LP คือ ความยาวของสายไฟ (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

LT คือ ความยาวของสายสื่อสาร (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

AL/P คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงระบบสายส่ง (ตารางเมตร) ในระยะห่างจากสายไฟ 40 เมตร

AI/P คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าใกล้กับระบบสายส่ง (ตารางเมตร) ในระยะห่างจากสายไฟ 4000 เมตร

AL/T คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงระบบสายสื่อสาร (ตารางเมตร) ในระยะห่างจากสายสื่อสาร 40 เมตร

AI/T คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าใกล้กับระบบสายสื่อสาร (ตารางเมตร) ในระยะห่างจากสายสื่อสาร 4000 เมตร

ก.2.3. สิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียง

LJ คือ ความยาวของสิ่งปลูกสร้าง (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

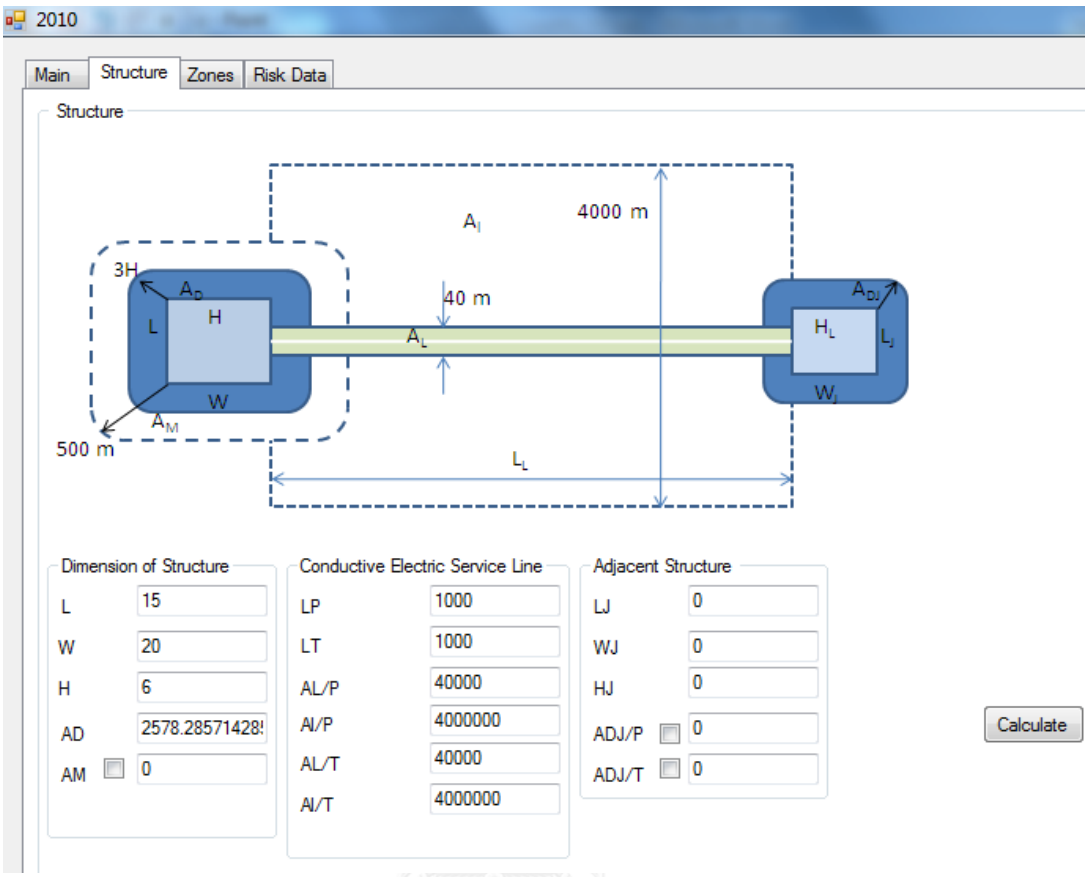
WJ คือ ความกว้างของสิ่งปลูกสร้าง (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

HJ คือ ความสูงของสิ่งปลูกสร้าง (เมตร) ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

ADJ/P คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียง ในรัศมีสามเท่าของความสูงของสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียง กรณีที่มีสายไฟเชื่อมอยู่กับสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ (ตารางเมตร)

ADJ/T คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียง ในรัศมีสามเท่าของความสูงของสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียง กรณีที่มีสายสื่อสารเชื่อมอยู่กับสิ่งปลูกสร้างที่เราสนใจ (ตารางเมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ก.4 การระบุขนาดของสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล

ก.3. พื้นที่ (Zones)

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่า แบ่งพื้นที่ภายนอกออกเป็น 2 พื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่จะมีตัวเลือกที่เหมือนกัน เพื่อใช้ในการคำนวณในกรณีที่ พื้นที่ภายนอกมีลักษณะที่แตกต่างกัน พื้นที่ภายในสิ่งปลูกสร้าง แบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่ มีตัวเลือกที่เหมือนกัน เพื่อใช้ในการคำนวรในกรณีที่พื้นที่ภายในสิ่งปลูกสร้างมีลักษณะแตกต่างกัน รวมทั้งการแสดงผลในการคำนวณของ Nx, Px, R1, R2, R3, R4 และ Economic พื้นที่ภายนอกแสดงดังรูปที่ ก.5 และพื้นที่ภายในแสดงดังรูปที่ ก.6

ก.3.1. พื้นที่ภายนอก (Outside zones)

Number of persons คือ จำนวนคนที่อยู่ภายในพื้นที่ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Time of presence (hr.) คือ เวลาที่คนอยู่ในพื้นที่ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of animals ($) คือ มูลค่าของสัตว์ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of Internal system ($) คือ มูลค่าของระบบภายในสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้งานเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of Building ($) คือ มูลค่าของสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of Contents ($) คือ มูลค่าของสิ่งของ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of cultural ($) คือ มูลค่าของมรดกทางวัฒนธรรม ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Total of persons คือ จำนวนคนทั้งหมด ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Ground surface คือ ประเภทของพื้น ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Protection against shock คือ มาตรการป้องกันอันตรายต่อชีวิต อันเนื่องมาจากถูกไฟฟ้าช็อต ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Risk of fire คือ ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Fire protection คือ การป้องกันการเกิดไฟไหม้ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Internal spatial shield คือ การกำบังภายใน ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Special hazard คือ อันตรายพิเศษต่อชีวิต ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of human life คือ ความสูญเสียต่อชีวิตมนุษย์แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1.การบาดเจ็บ (injuries) 2.ความเสียหายทางกายภาพ (physical damage) 3.อันตรายจากล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ (failure of internal system) ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Factor for persons in zone คือ ค่าตัวประกอบของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่ โปรแกรมจะคำนวณเองเมื่อกดปุ่ม Calculate

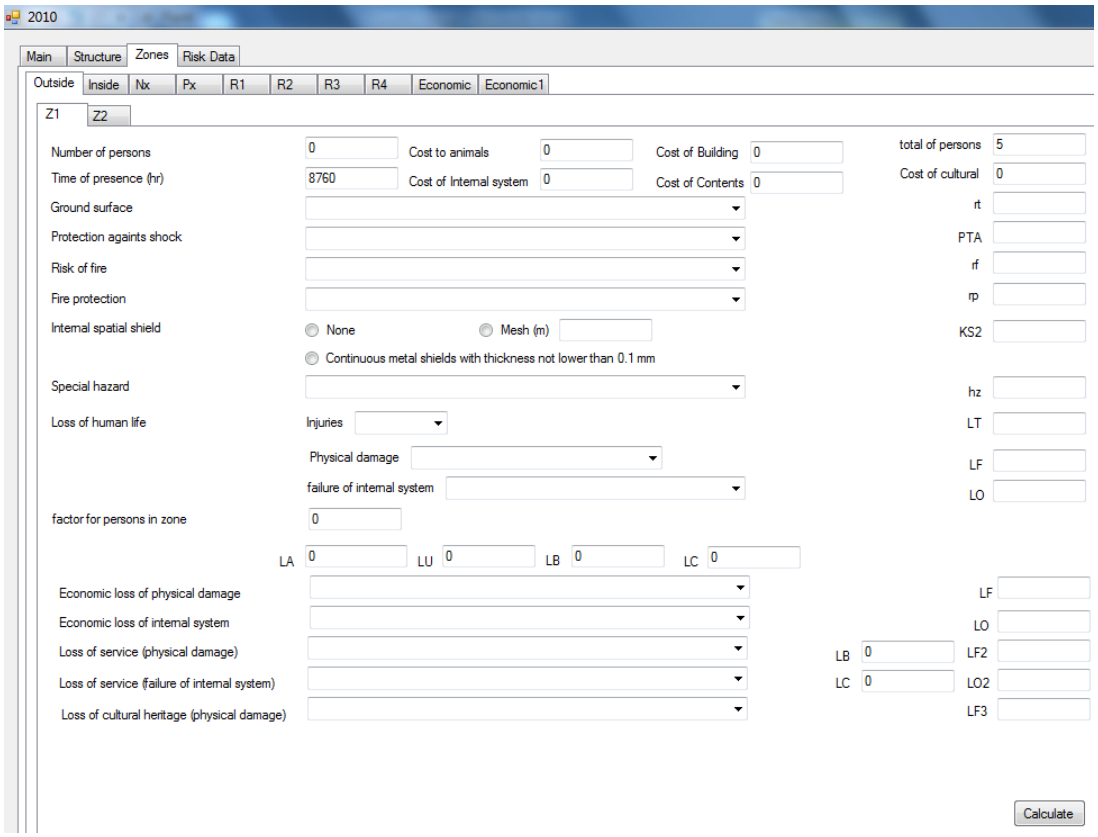
Economic loss of physical damage คือ การสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการเกิดความเสียหายทางกายภาพ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Economic loss of internal system คือ การสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการเกิดความเสียหายทางกายภาพ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of service (physical damage) คือ การสูญเสียระบบสาธารณูปโภคโดยได้รับความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากฟ้าผ่า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of service (failure of internal system) คือ การสูญเสียระบบสาธารณูปโภคโดยเกิดจากการล้มเหลวของระบบฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ สาเหตุมาจากฟ้าผ่า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of cultural heritage (physical damage) คือ การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรมโดยได้รับความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากฟ้าผ่า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้



รูปที่ ก.5 พื้นที่ภายนอก

ก.3.2. พื้นที่ภายใน (Inside zones)

Number of persons คือ จำนวนคนที่อยู่ภายในพื้นที่ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Time of presence (hr.) คือ เวลาที่คนอยู่ในพื้นที่ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of animals ($) คือ มูลค่าของสัตว์ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of Internal system ($) คือ มูลค่าของระบบภายใน ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of Building ($) คือ มูลค่าของสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of Contents ($) คือ มูลค่าของสิ่งของ ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Cost of cultural ($) คือ มูลค่าของมรดกทางวัฒนธรรม ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Ctotal คือ มูลค่าทั้งหมด โปรแกรมคำนวณเองเมื่อกดปุ่ม Calculate

Type of floor คือ ประเภทของพื้น ผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นคนป้อนข้อมูลเอง

Protection against shock (flash to structure) คือ มาตรการป้องกันอันตรายต่อชีวิตอันเนื่องมาจากการถูกไฟฟ้าช็อต ในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างโดยตรง ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Protection against shock (flash to line) คือ มาตรการป้องกันอันตรายต่อชีวิตอันเนื่องมาจากการถูกไฟฟ้าช็อต ในกรณีที่ฟ้าผ่าผ่าลงสาย ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Risk of fire คือ ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Fire protection คือ การป้องกันการเกิดไฟไหม้ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Power internal wiring คือ ลักษณะการเดินสายไฟฟ้าในสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Power coordinated SPDs คือ ระดับการป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในสายไฟ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Telecom internal wiring คือ ลักษณะการเดินสายสื่อสารในสิ่งปลูกสร้าง ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Telecom coordinated SPDs คือ ระดับการป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในสายสื่อสาร ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Internal spatial shield คือ การกำบังภายใน ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Special hazard คือ อันตรายพิเศษต่อชีวิต ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of human life คือ ความสูญเสียต่อชีวิตมนุษย์แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1.การบาดเจ็บ (injuries) 2.ความเสียหายทางกายภาพ (physical damage) 3.อันตรายจากล้มเหลวของ

ระบบไฟฟ้าและระบบอิเล้กทรอนิกส์ (failure of internal system) ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Factor for persons in zone คือ ค่าตัวประกอบของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่ โปรแกรมจะคำนวณเองเมื่อกดปุ่ม Calculate

Economic loss of physical damage คือ การสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการเกิดความเสียหายทางกายภาพ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

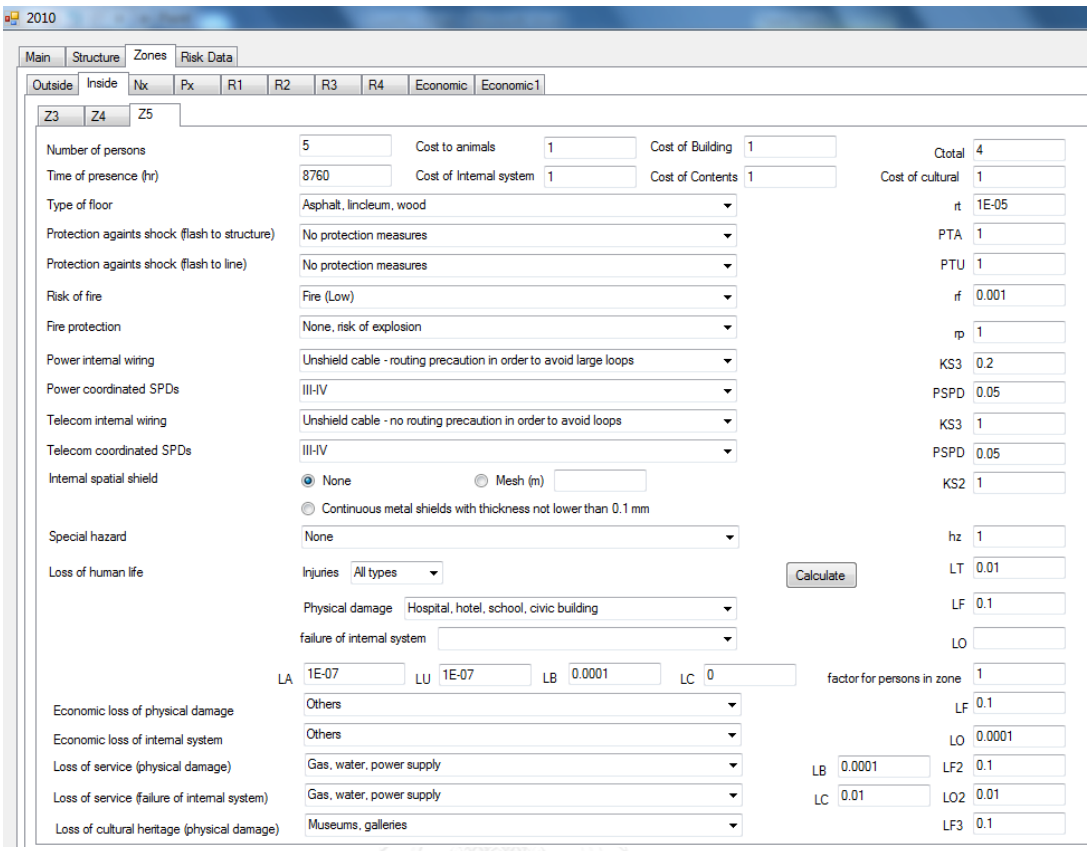
Economic loss of internal system คือ การสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการเกิดความเสียหายทางกายภาพ ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of service (physical damage) คือ การสูญเสียระบบสาธารณูปโภคโดยได้รับความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากฟ้าผ่า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of service (failure of internal system) คือ การสูญเสียระบบสาธารณูปโภคโดยเกิดจากการล้มเหลวของระบบฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ สาเหตุมาจากฟ้าผ่า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

Loss of cultural heritage (physical damage) คือ การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรมโดยได้รับความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากฟ้าผ่า ผู้ใช้เลือกค่าจากที่โปรแกรมกำหนดมาให้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ก.6 พื้นที่ภายใน

ก.3.3. จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าในกรณีต่างๆ (Nx)

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่าหน้าต่างนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์การคำนวณจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าขึ้นในกรณีต่างๆ แสดงดังรูปที่ ก.7 ประกอบไปด้วย

ND คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่เกิดฟ้าผ่าสำหรับปลูกสร้าง

NM คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยต่อปีที่เกิดฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง

NLP คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยต่อปีที่เกิดฟ้าผ่าลงสายไฟฟ้า

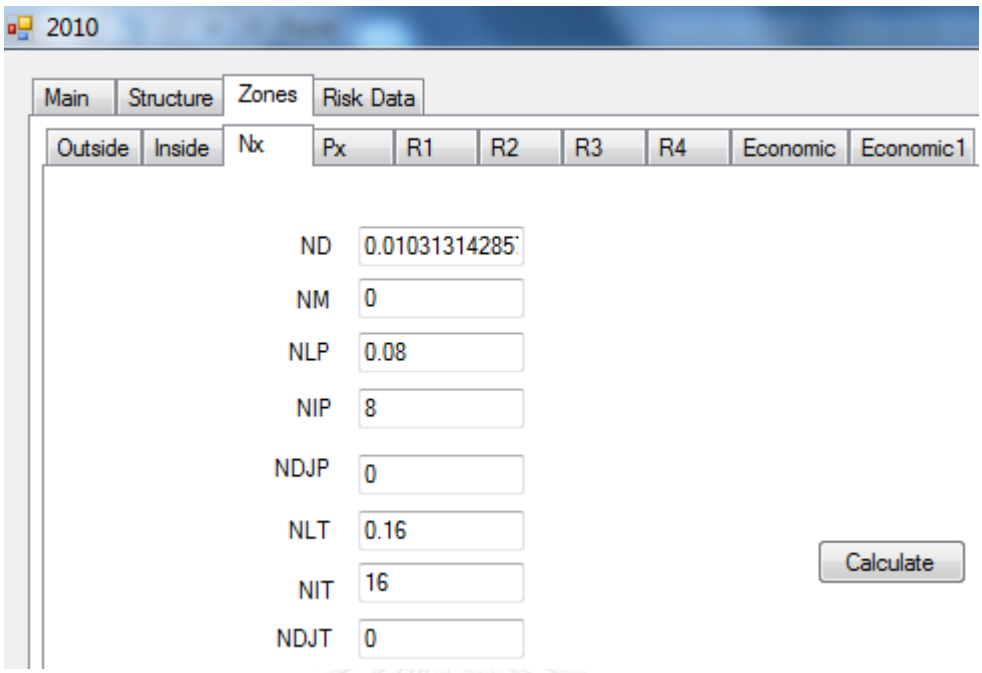
NIP คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยต่อปีที่เกิดฟ้าผ่าใกล้สายไฟฟ้า

NDJP คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่เกิดฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียงที่มีสายไฟฟ้า

NLT คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยต่อปีที่เกิดฟ้าผ่าลงสายสื่อสาร

NIT คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยต่อปีที่เกิดฟ้าผ่าใกล้สายสื่อสาร

NDJT คือ จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่เกิดฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียงที่มีสายสื่อสาร



รูปที่ ก.7 จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าในกรณีต่างๆ

ก.3.4. ความน่าจะเป็นของความเสียหาย (Px)

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่าหน้าต่างนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์การคำนวณความน่าจะเป็นของความเสียหายที่เกิดฟ้าผ่าขึ้นในกรณีต่างๆ แสดงดังรูปที่ ก.8 ประกอบไปด้วย

PA คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อสิ่งมีชีวิต

PU/P คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายไฟฟ้าทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อสิ่งมีชีวิต

PU/T คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายสื่อสารทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อสิ่งมีชีวิต

PB คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

PV/P คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายไฟฟ้าทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

PV/T คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายสื่อสารทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

PC คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

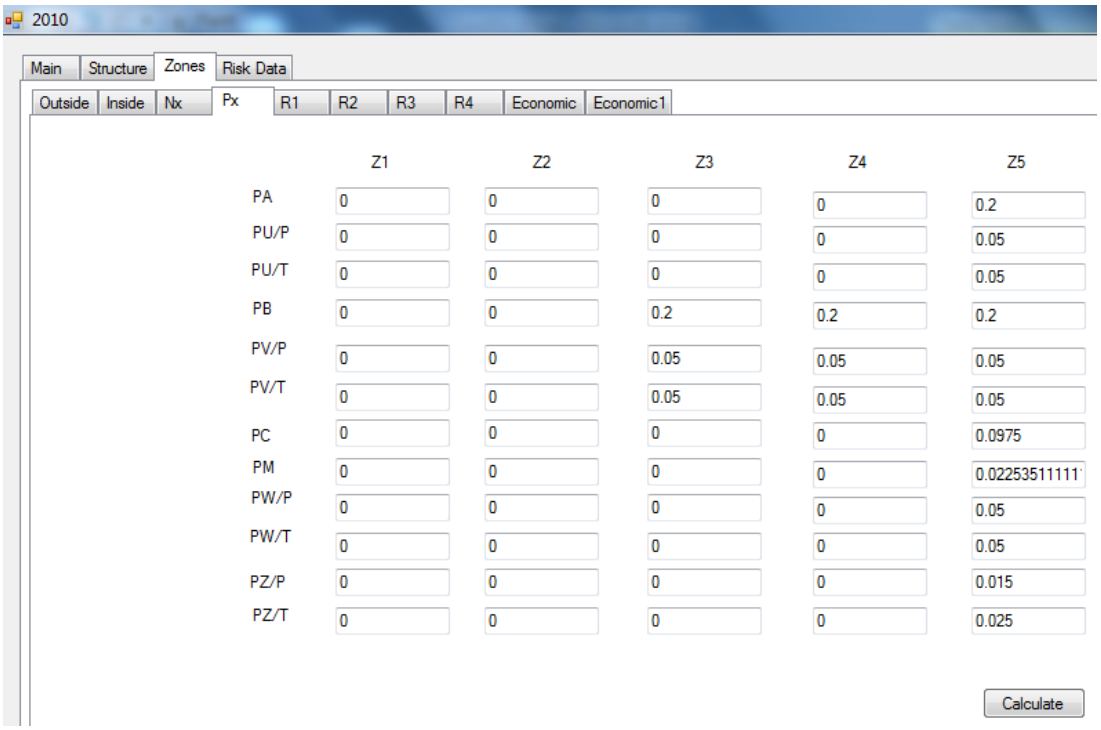
PM คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

PW/P คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายไฟฟ้าทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

PW/T คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายสื่อสารทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

PZ/P คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าใกล้สายไฟฟ้าทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ สาเหตุมาจากการเกิดแรงดันเกินวิ่งเข้าสายไฟฟ้า

PZ/T คือ ความน่าจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าผ่าใกล้สายสื่อสารทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ สาเหตุมาจากการเกิดแรงดันเกินวิ่งเข้าสายสื่อสาร



รูปที่ ก.8 ความน่าจะเป็นของความเสียหายที่เกิดฟ้าผ่าขึ้นในกรณีต่างๆ

ก.3.5. ความเสี่ยง (Rx)

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่าหน้าต่างนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์การคำนวณความเสี่ยงชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ ก.9, ก.10, ก.11 และ ก.12 ประกอบด้วย

RA คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สาเหตุมาจากถูกไฟฟ้าช็อต

RU คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสาย ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สาเหตุมาจากถูกไฟฟ้าช็อต

RB คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง ทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

RV คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสายทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

RC คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง ทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

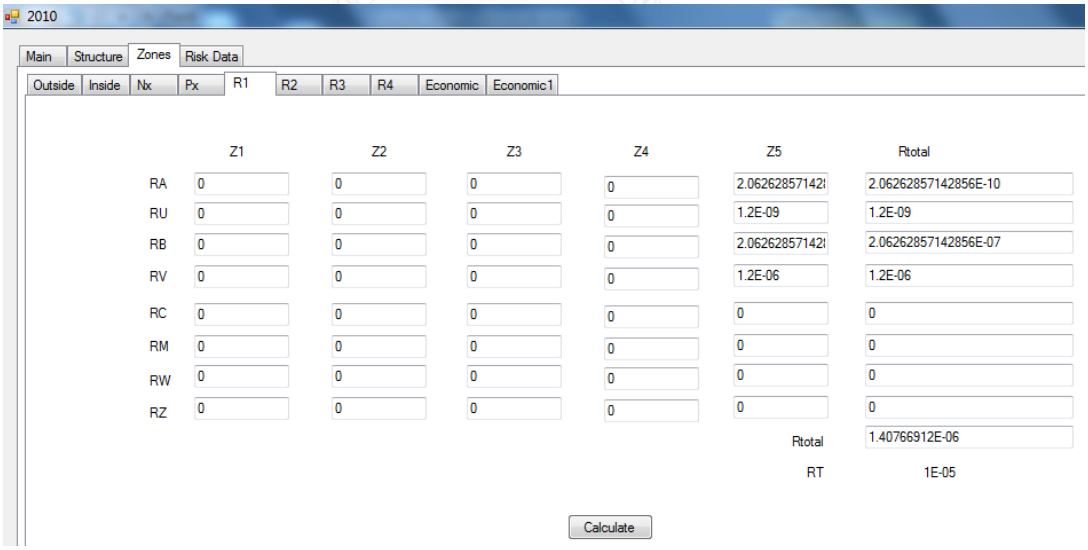
RM คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าใกล้กับสิ่งปลูกสร้าง ทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

RW คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าลงสาย ทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

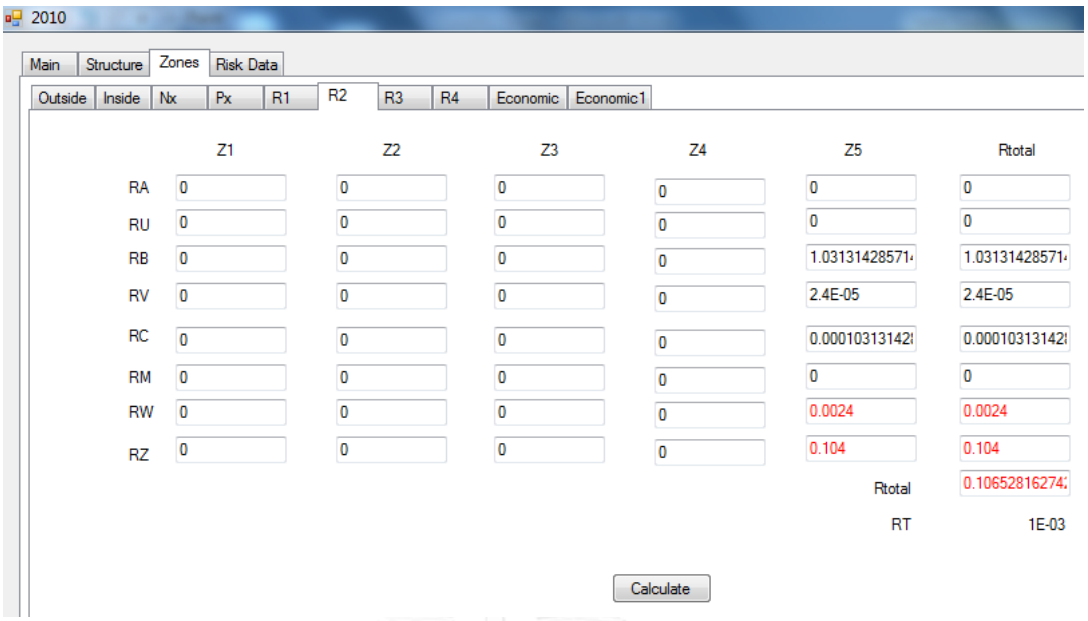
RZ คือ ความเสี่ยงของการเกิดฟ้าผ่าผ่าใกล้สาย ทำให้เกิดการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

Rtot คือ ผลรวมของความเสี่ยงย่อยทั้งหมด

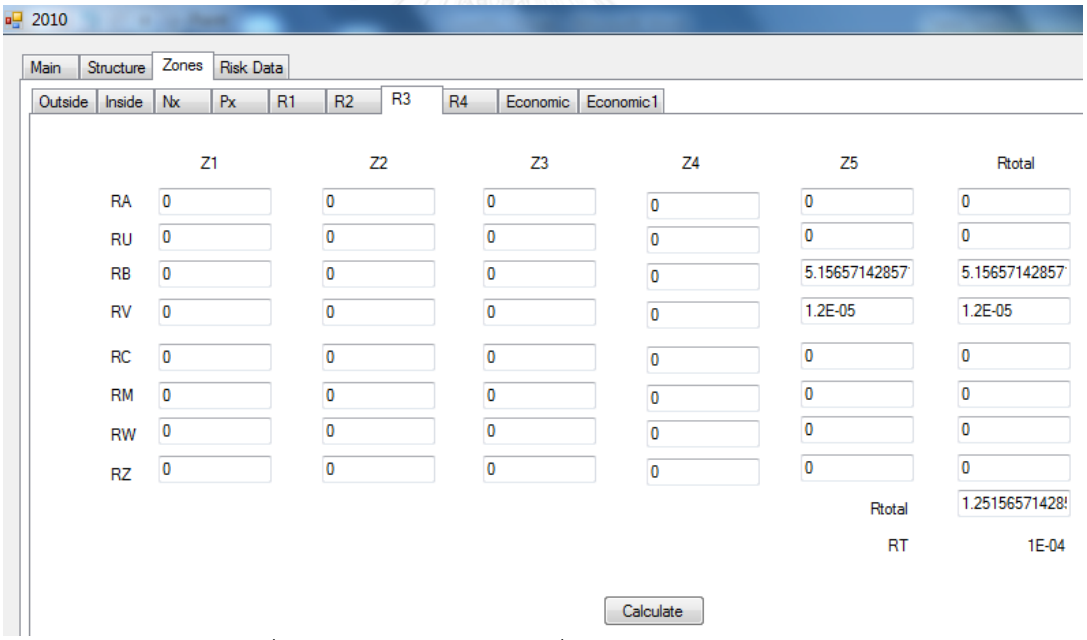
Cost of loss (CL or CRL) คือ มูลค่าความสูญเสีย



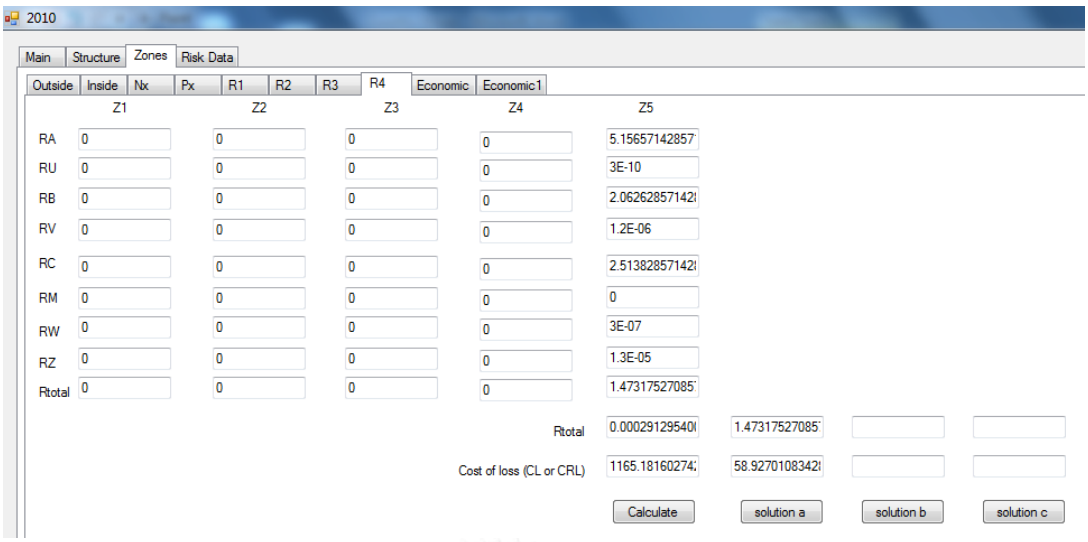
รูปที่ ก.9 การคำนวณความเสี่ยงของมนุษย์



รูปที่ ก.10 การคำนวณความเสี่ยงของระบบสาธารณูปโภค



รูปที่ ก.11 การคำนวณความเสี่ยงของมรดกทางวัฒนธรรม



รูปที่ ก.12 การคำนวณความเสี่ยงทางเศรษฐศาสตร์

ก.3.6. มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic)

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่าหน้าต่างนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แสดงดังรูปที่ ก.13 ประกอบด้วย

Protection system cost คือ มูลค่าการป้องกันระบบ

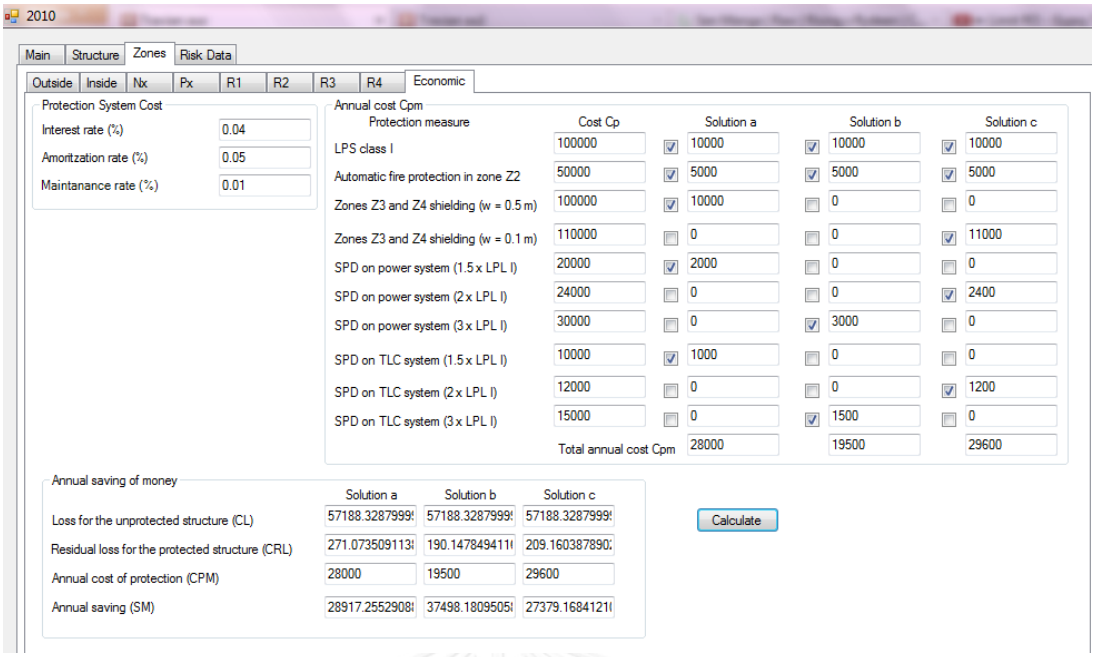
Interest rate คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

Amortization rate คือ อัตราค่าตัดจำหน่าย (%)

Maintenance rate คือ อัตราค่าการบำรุงรักษา (%)

Annual cost Cpm คือ ค่าใช้จ่ายต่อปีของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ติดตั้งกับสิ่งปลูกสร้าง

Annual saving of money คือ ประหยัดเงินต่อปี



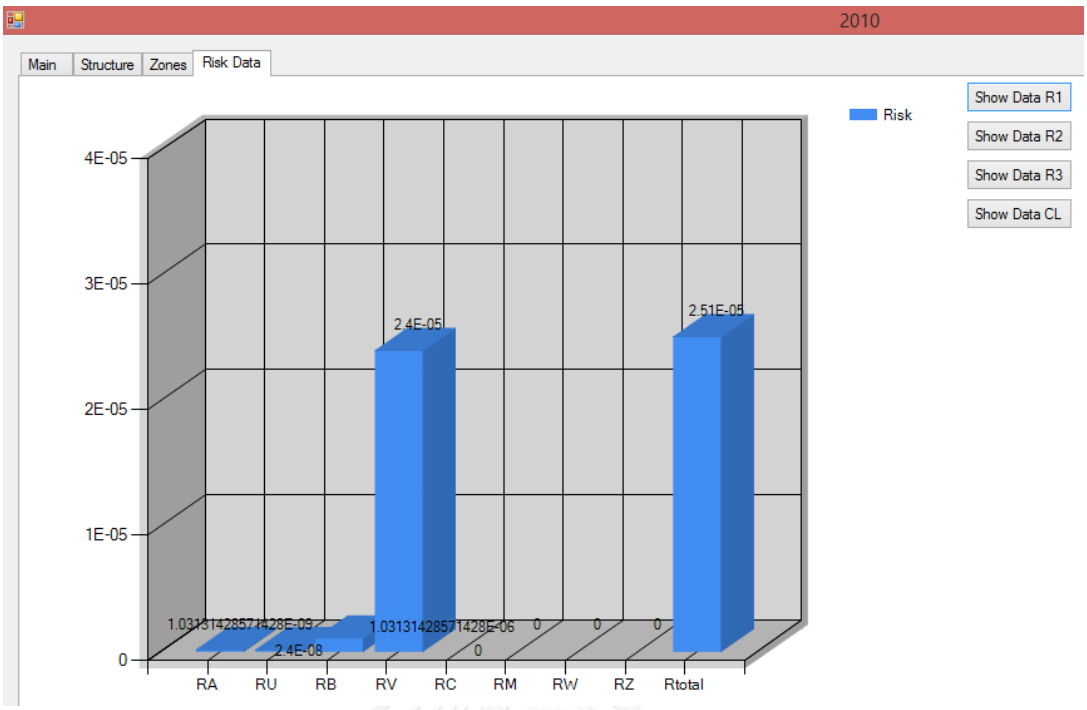
รูปที่ ก.13 การคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

ก.4. ข้อมูลความเสี่ยง (Risk data)

ก.4.1 การแสดงผลข้อมูลความเสี่ยง

โปรแกรมคำนวณความเสี่ยงในหน้านี้จะแสดงผลข้อมูลการคำนวณความเสี่ยงของฟ้าผ่า R1, R2, R3 และ CL ในรูปแบบของข้อมูลกราฟเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบข้อมูลความเสี่ยงแสดงดังรูปที่ ก.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ก.14 การแสดงผลข้อมูลความเสี่ยง R1, R2, R3 และ CL

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเดชสิทธิ์ ถาวร เกิดวันที่ 19 พฤษภาคม 2530 ที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University