

การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคาร
ของรถไฟฟ้าสายสีม่วง



นายเจษฎา เวียงจันทิก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

**LIGHTNING PROTECTION ASSESSMENT FOR
OUTDOOR STRUCTURE OF MRT
PURPLE LINE**

Chetsada Wiangchanthuek



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคาร
ของรถไฟฟ้าสายสีม่วง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.บุญเรือง มะรังศรี)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.ชนัดชัย กุลวรวาณิชพงษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.อุเทน ลีตน)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เจษฎา เวียงจันทิก : การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคาร
ของรถไฟฟ้าสายสีม่วง (LIGHTNING PROTECTION ASSESSMENT FOR
OUTDOOR STRUCTURE OF MRT PURPLE LINE) อาจารย์ที่ปรึกษา :
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัชชัย กุลวรรณิพงษ์, 136 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง เพื่อวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างภายนอก เนื่องจากโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าได้ดำเนินการก่อสร้างมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2552 โดยมาตรฐานการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าในช่วงนั้นเป็นมาตรฐานเก่าโดยปัจจุบันนั้นมาตรฐาน IEC ได้ออกมาตรฐานฉบับใหม่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาค 1 ข้อกำหนดทั่วไป ภาค 2 การบริหารความเสี่ยง ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพและอันตรายต่อชีวิตจากฟ้าผ่า และภาค 4 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง โดยทางสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้อ้างอิงมาตรฐาน IEC นี้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการเกิดขึ้นกับสถานีรถไฟฟ้า ดังนั้นจึงควรมีการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วง จึงได้นำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประเมินระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยยึดหลักตามมาตรฐาน IEC 62305 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 1 และ 2 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น เพื่อวิเคราะห์วิธีการตัดสินใจว่ามีความเป็นไปได้ที่จะเกิดฟ้าผ่าหรือไม่ เพื่อหาแนวทางการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงหลักการวิธีการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการป้องกันการถูกฟ้าผ่า โดยจากผลการทดสอบพบว่า เมื่อคำนวณค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากข้อมูลแบบ และรายละเอียดการก่อสร้างโครงสร้างยกระดับ สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง มีค่าน้อยกว่าค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์และระบบป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม จึงพบว่าแบบจำลองโปรแกรมการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง สามารถนำมาวิเคราะห์ และประเมินค่าความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างอาคารได้เป็นอย่างดี

CHETSADA WIANGCHANHUEK : LIGHTNING PROTECTION

ASSESSMENT FOR OUTDOOR STRUCTURE OF MRT PURPLE LINE.

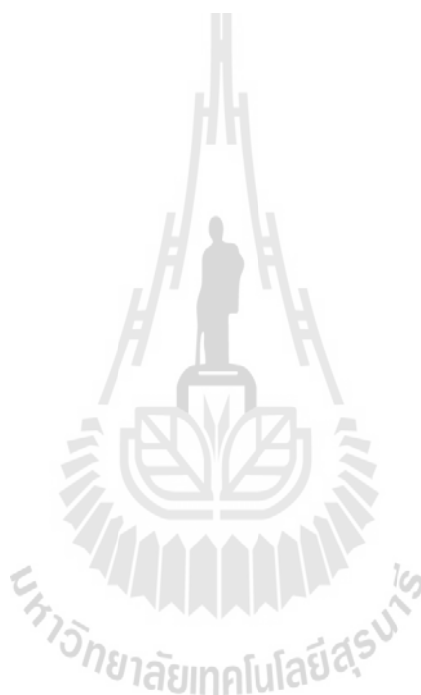
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THANATCHAI

KULWORAWANICHPONG, Ph.D., 136 PP.

LIGHTNING PROTECTION/DC MASS RAPID TRANSIT/RISK ASSESSMENT/
OUTDOOR STRUCTURE

This thesis proposed the external lightning protection of the structures for the DC mass rapid transit, purple line in Bangkok, to analyze and assess the risks and possibility of a lightning strike on its external structures. The purple line project has been commenced the construction since 2004. Its lightning protection design was complied with the old and obsoleted lightning protection standard. At present, the IEC standard has been re-issued and released. The revised standard is divided into 4 sections: (1) common requirements, (2) risk management, (3) physical damage and dangers due to a lightning strike, and (4) indoor electrical and electronic system. The Engineering Institute of Thailand (EIT) has adopted this IEC standard for the lightning protection of the buildings. Accordingly, it is recommended to evaluate the external lightning protection for the MRT purple line, with the design by the old standard, to validate with the revised standard. A computer software has been developed to help assessing the lightning protection system complied with the IEC 62305 standard. The possible risks have been calculated to analyze how a lightning strike may occur, to determine effective solutions and to better understand the principles of the risk assessment due to a lightning strike. After the calculation of the risk from the existing designed drawings of passenger stations and the depot, the assessment was carried out.

The results showed that some parts of the structures were not passed the risk evaluation. It was recommended to install additional lightning protective devices. Therefore, the proposed software for the assessment of external lightning protection of the MRT purple line is able to analyze and assess the risk of lightning strikes on the structures of the purple line in Bangkok effectively.



School of Electrical Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature_____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัช กุลรวรานิชพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้าน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.อุเทน ลีตติ์น ที่กรุณาให้การแนะนำ และช่วยตรวจทานรูปแบบวิทยานิพนธ์ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณชัยยุทธ สัมภาวะคุปต์ และคุณวีย์อาจ สายคง ที่ให้ความรู้และสนับสนุน ทางด้านเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุน สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษา รวมทั้งการเผยแพร่ผลงานวิจัย รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้าน

ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่ให้กำลังใจในการทำวิจัยมา โดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการทั้งในอดีต และปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด ความรัก กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดู และดูแลส่งเสริมทางการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิต เรื่อยมา

เจษฎา เวียงจันทิก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฑ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขีดกลางเบื้องต้น	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์	3
2 ทัศนวิจารณ์กรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 ทัศนวิจารณ์กรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.3 สรุป	9
3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
3.1 บทนำ	10
3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟ้าผ่า	10
3.2.1 ปรากฏการณ์และพฤติกรรมของฟ้าผ่า	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2 กระบวนการเกิดฟ้าผ่า.....	12
3.2.3 ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ.....	16
3.2.4 ฟ้าผ่าลง-ฟ้าผ่าขึ้น.....	17
3.2.5 ความเสียหายและผลที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่า.....	18
3.3 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก.....	20
3.3.1 ระบบป้องกันฟ้าผ่า.....	20
3.3.2 พิจารณาเลือกกระดับการป้องกัน.....	27
3.3.3 ระบบตัวนำล่อฟ้า.....	27
3.3.4 ระบบตัวนำลงดิน.....	34
3.3.5 ระบบบรากสายดิน.....	35
3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่า.....	36
3.4.1 ความเสียหายและการสูญเสีย.....	36
3.4.2 ความเสี่ยงและองค์ประกอบความเสี่ยง.....	37
3.4.3 การประเมินจำนวนเหตุการณ์อันตรายรายปี.....	40
3.4.4 การประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง.....	44
3.4.5 การประเมินปริมาณความสูญเสีย L_x ในสิ่งปลูกสร้าง.....	48
3.5 สรุป.....	53
4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอก.....	54
4.1 บทนำ.....	54
4.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	54
4.3 แบบจำลองรูปแบบโครงสร้างอาคารภายนอกสำหรับรถไฟฟ้าสายสีม่วง.....	57
4.3.1 โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว.....	61
4.3.2 โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่.....	62
4.3.3 โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง.....	64
4.3.4 สถานีผู้โดยสาร.....	65
4.3.5 อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง.....	71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 สรุป	74
5 ระบบทดสอบและผลการทดสอบ	75
5.1 บทนำ	75
5.2 ผลการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของโครงสร้างยกระดับ	75
5.3 ผลการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีผู้โดยสาร	84
5.4 ผลการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง	93
5.5 สรุป	100
6 สรุปและข้อเสนอแนะ	101
6.1 สรุป	101
6.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต	102
รายการอ้างอิง	103
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ	106
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบ	112
ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	124
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
3.1 ค่าสูงสุดของรัศมีของวิธีทรงกลมกลิ้ง วิธีตาข่าย และวิธีมุมป้องกันตามระดับการป้องกัน.....	23
3.2 ตารางประสิทธิภาพของการป้องกันฟ้าผ่าในแต่ละระดับ.....	27
3.3 ระยะเฉลี่ยระหว่างตัวนำลงกินตามระดับการป้องกัน.....	35
3.4 แหล่งกำเนิดความเสียหาย ชนิดของความเสียหาย และชนิดของความสูญเสียตามจุดฟ้าผ่า.....	37
3.5 ค่าตัวอย่างของความเสียหายสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T).....	39
3.6 ค่าของความเสียหายที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่า และความเสียหายที่เกิดขึ้น.....	40
3.7 ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง.....	41
3.8 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล A_1 และ A_2	43
3.9 ตัวประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า.....	43
3.10 ตัวประกอบสภาพแวดล้อม.....	43
3.11 ค่าความน่าจะเป็น P_A ที่ว่าบฟ้าผ่าลงถึงปลุกสร้างจะทำให้เกิดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต.....	44
3.12 ค่าความน่าจะเป็น P_B ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันฟ้าผ่าเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ.....	44
3.13 ค่าความน่าจะเป็น P_C ขึ้นอยู่กับระดับป้องกันฟ้าผ่าที่อุปกรณ์ป้องกันเสร็จได้ออกแบบไว้.....	45
3.14 ค่าตัวประกอบ K_{S3} ขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินสายภายใน.....	46
3.15 ค่าของความน่าจะเป็น P_M ที่ว่าบฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลุกสร้างจะทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน.....	47
3.16 ค่าความน่าจะเป็น P_{LD} ขึ้นอยู่กับความต้านทานซิลด์ R_S และความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์.....	47
3.17 ค่าความน่าจะเป็น P_{LI} ขึ้นอยู่กับความต้านทานซิลด์ R_S และความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์.....	48
3.18 ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวอย่างของ L_T	49
3.19 ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวอย่างของ L_F	49
3.20 ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวอย่างของ L_O	50
3.21 ค่าของตัวประกอบลด r_a และ r_u ตามชนิดของผิวดินและพื้น.....	50
3.22 ค่าของตัวประกอบลด r_p ตามการเตรียมการเพื่อลดผลที่ตามมาจากการเกิดเพลิงไหม้.....	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.23 ค่าของตัวประกอบลด r_f ตามความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ของสิ่งปลูกสร้าง.....	51
3.24 ค่าของตัวประกอบ h_z ที่เพิ่มปริมาณการสูญเสียสัมพัทธ์เมื่อมีอันตรายพิเศษ.....	51
3.25 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ L_f และ L_o	52
5.1 สรุปผลการประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างยกระดับแต่ละชนิด.....	76
5.2 ผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของ โครงสร้างยกระดับ.....	76
5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของโครงสร้างยกระดับ.....	77
5.4 ผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของ โครงสร้างสถานีผู้โดยสาร.....	84
5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีแยกถนนบุรี.....	85
5.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีเตาปูน.....	89
5.7 ผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง.....	94
5.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง.....	95

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 เหตุการณ์เนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงระบบบอานัติสัญญาณ.....	11
3.2 อุบัติเหตุเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างยกระดับ.....	11
3.3 การกระจายของประจุในก้อนเมฆ.....	13
3.4 การขยายตัวของหัวนำร่อง.....	13
3.5 การเกิดกระแสฟ้าผ่า.....	14
3.6 แผนที่แสดงการเกิดฟ้าผ่าทั่วโลก.....	15
3.7 การเกิดฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน.....	16
3.8 การเกิดฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลง.....	17
3.9 การเกิดแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว.....	20
3.10 บริเวณป้องกันโดยปลายล่อฟ้าสูง h เหนือระนาบอ้างอิง.....	21
3.11 บริเวณป้องกันที่เกิดจากตัวนำล่อฟ้าแนวราบ AA สูง h_u เหนือระดับระนาบอ้างอิง.....	22
3.12 การออกแบบการจัดวางตัวนำล่อฟ้าแบบมุมป้องกันที่มีความสูงต่างกัน.....	22
3.13 ค่ามุมป้องกันที่ใช้ในการออกแบบ.....	23
3.14 การป้องกันฟ้าผ่าภายนอกโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง.....	24
3.15 การออกแบบระบบป้องกันด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง.....	24
3.16 ระยะลั่วล้าของทรงกลมกลิ้ง.....	25
3.17 ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้า.....	25
3.18 การออกแบบตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีตาข่าย.....	26
3.19 แท่งแฟรงกลินปลายแหลม.....	28
3.20 แท่งแฟรงกลินปลายทู่.....	28
3.21 แท่งแฟรงกลินที่มีวงแหวนล้อมรอบ.....	29
3.22 พื้นที่การป้องกันรูปกรวย.....	29
3.23 พื้นที่การป้องกันแบบทรงกลมกลิ้ง.....	30
3.24 การเกิดฟ้าผ่าลงสิ่งก่อสร้างตามหลักการแบบทรงกลมกลิ้ง.....	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 แท่งล่อฟ้าอีเอสอี.....	32
3.26 แท่งป้องกันฟ้าผ่าแบบกระจายประจุ.....	33
3.27 แท่งป้องกันฟ้าผ่าแบบเซมิคอนดักเตอร์.....	34
3.28 องค์ประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่าสัมพันธ์กับสิ่งปลูกสร้าง.....	38
3.29 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล A_d ของการเกิดฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรง.....	41
3.30 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล.....	42
4.1 ส่วนของหน้าต่างสำหรับพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและระบบบริการ.....	55
4.2 ส่วนของหน้าต่างคุณลักษณะของอาคารและสิ่งปลูกสร้าง.....	55
4.3 หน้าจอแสดงผลการประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้น.....	56
4.4 วิธีการตัดสินใจของมาตรการป้องกัน.....	57
4.5 เส้นทางเดินรถไฟฟ้าของรถไฟฟ้ายานยนต์.....	58
4.6 ลักษณะ โครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้ายานยนต์.....	58
4.7 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีรถไฟฟ้ายานยนต์.....	59
4.8 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในบริเวณทางรถไฟ.....	60
4.9 ตำแหน่งของสถานีผู้โดยสาร S09 - S16 ที่ระบุนิคมของ โครงสร้างยกระดับ.....	61
4.10 ตำแหน่งและที่ตั้งของ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว.....	62
4.11 โครงสร้างการต่อลงดินและการเชื่อมสำหรับ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว.....	62
4.12 ตำแหน่งและที่ตั้งของ โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่.....	63
4.13 โครงสร้างการต่อลงดินและการเชื่อมสำหรับ โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่.....	63
4.14 โครงสร้างการต่อลงดินของ โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่.....	64
4.15 ตำแหน่งและที่ตั้งของ โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง.....	64
4.16 โครงสร้างการต่อลงดินและการเชื่อมสำหรับ โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง.....	65
4.17 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้ายานยนต์ (มุมมองตามยาว).....	66
4.18 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้ายานยนต์ (มุมมองตามขวาง).....	67
4.19 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้ายานยนต์ (มุมมองตามยาวสายสีน้ำเงิน).....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสถานีเตาปูน (มุมมองมองตามยาวสายสีม่วง)..... 68
4.21	โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีม่วงช่วงสถานีเตาปูน (มุมมองตามขวาง)..... 68
4.22	โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีม่วงช่วงสถานีเตาปูน (มุมมองด้านบน)..... 69
4.23	การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน..... 69
4.24	โครงสร้างระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกส่วนบริเวณหลังคาสถานีผู้โดยสาร..... 70
4.25	สถานีศูนย์ซ่อมบำรุง..... 71
4.26	แบบแผนที่ตั้งอาคารซ่อมบำรุง และพื้นที่ปฏิบัติงาน..... 72
4.27	อาคารปฏิบัติงานหลัก..... 72
4.28	อาคารศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า..... 73
4.29	อาคารล้างรถไฟฟ้า..... 73
4.30	อาคารโรงจอดรถไฟฟ้า..... 74
4.31	อาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน..... 74
5.1	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของโครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว..... 79
5.2	ผลการประเมินความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว..... 79
5.3	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของโครงสร้างยกระดับแบบทางคู่..... 80
5.4	ผลการประเมินความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างยกระดับแบบทางคู่..... 81
5.5	ออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตัวนำล่อฟ้าบริเวณทางวิ่งยกระดับ..... 82
5.6	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของโครงสร้างยกระดับแบบสามทาง..... 83
5.7	ผลการประเมินความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างยกระดับแบบสามทาง..... 83
5.8	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของสถานีผู้โดยสารแยกถนนพหลโยธิน..... 87
5.9	ผลการประเมินความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่าลงสถานีผู้โดยสารแยกถนนพหลโยธิน..... 87
5.10	โครงสร้างสถานีผู้โดยสารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงและสายสีน้ำเงิน..... 88
5.11	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของสถานีผู้โดยสารสถานีเตาปูน Zone A..... 91
5.12	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของสถานีผู้โดยสารสถานีเตาปูน Zone B..... 91
5.13	ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของสถานีผู้โดยสารสถานีเตาปูน..... 92
5.14	ผลการประเมินความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่าลงสถานีผู้โดยสารสถานีเตาปูน..... 92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.15 โปรแกรมผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารปฏิบัติงานหลัก.....	97
5.16 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารปฏิบัติงานหลัก.....	97
5.17 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของอาคารล้างรถไฟฟ้า.....	98
5.18 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน.....	99
5.19 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า.....	99
5.20 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของโรงจอดรถไฟฟ้า.....	100



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

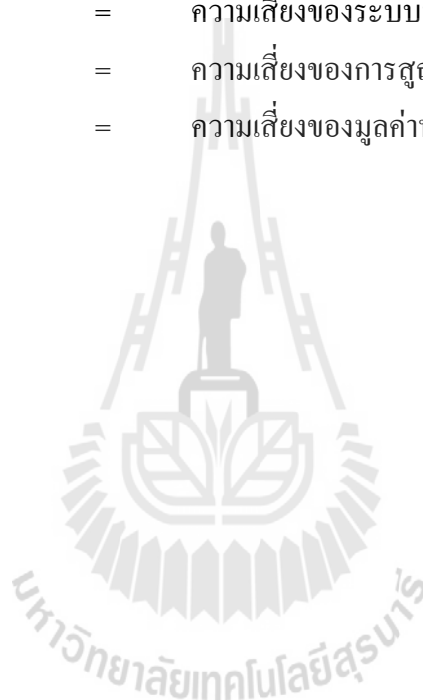
Air-termination system	=	ระบบตัวนำล่อฟ้า
Aerial	=	ในอากาศ
Angle method	=	วิธีมุมป้องกัน
Bonding	=	การต่อประสาน
Bulk substation	=	อาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน
Characteristic	=	คุณลักษณะ
Collection area	=	พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล
Coulomb (C)	=	คูลอมบ์
Damage	=	ความเสียหาย
Depot	=	อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง
Down conductor	=	ตัวนำลงดิน
Down conductor system	=	ระบบตัวนำลงดิน
Double viaduct	=	โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่
Earthing	=	การต่อลงดิน
Environmental factor	=	ตัวประกอบสภาพแวดล้อม
Equipotential bonding	=	การประจักษ์ศักย์ให้เท่ากัน
Failure	=	ความล้มเหลว
Flash to structure	=	วาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง
Hazard	=	สิ่งอันตราย
Impulse withstand voltage	=	ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์
Location factor	=	ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง
Lightning current	=	กระแสฟ้าผ่า
Lightning flash	=	วาบฟ้าผ่า
Lightning protection level	=	ระดับการป้องกันฟ้าผ่า
Lightning protection zone	=	ย่านป้องกันฟ้าผ่า
Loss of human life	=	การสูญเสียชีวิตคน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Loss of economic value	=	การสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์
Loss of service to the public	=	การสูญเสียการบริการสาธารณะต่อสาธารณะ
Loss of cultural heritage	=	การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม
Main workshop	=	อาคารปฏิบัติงานหลัก
Mesh method	=	วิธีตาข่ายป้องกัน
Negative leader	=	ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ
Overvoltage	=	แรงดันเกิน
Operation control center (OCC)	=	ศูนย์ควบคุมการเดินรถ
Passenger station	=	สถานีผู้โดยสาร
Physical damage	=	ความเสียหายทางกายภาพ
Power line	=	สายไฟฟ้ากำลัง
Risk	=	ความเสี่ยง
Risk management	=	การบริหารความเสี่ยง
Risk assessment	=	การประเมินความเสี่ยง
Routing	=	การวางแผนเส้นทางเดินสาย
Rolling sphere	=	วิธีทรงกลมกลิ้ง
Rolling sphere radius	=	รัศมีทรงกลมกลิ้ง
Shielding	=	ตัวกำบัง
Single viaduct	=	โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว
Special structure	=	สิ่งปลูกสร้างเฉพาะ
Step voltage	=	แรงดันช่วงก้าว
Stabling yard	=	อาคารโรงจอดรถ
Surge protective device (SPD)	=	อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจร
Touch voltage	=	แรงดันสัมผัส
Transformer factor	=	ตัวประกอบหม้อแปลง
Train wash	=	อาคารล้างรถไฟฟ้า
Triple viaduct	=	โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง
Telecom line	=	สายโทรคมนาคม

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Tolerable risk (R_T)	=	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้
Thunderstorm days per year	=	วันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี
Viaduct	=	โครงสร้างยกระดับ
R	=	ความเสี่ยง
R_1	=	ความเสี่ยงของการสูญเสียของชีวิตมนุษย์
R_2	=	ความเสี่ยงของระบบบริการสาธารณะ
R_3	=	ความเสี่ยงของการสูญเสียทางมรดกวัฒนธรรม
R_4	=	ความเสี่ยงของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบขนส่งมวลชนมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศอย่างยิ่งทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม นอกจากนี้การที่มีระบบขนส่งมวลชนที่ดี มีรูปแบบการเดินทางที่หลากหลาย สะดวก และมีราคาที่เหมาะสม ยังมีส่วนช่วยในการตัดสินใจในการเดินทางมาท่องเที่ยวยังประเทศไทยของนักท่องเที่ยวต่างชาติอีกด้วย ซึ่งส่งผลให้อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทยเติบโตมากขึ้น โดยการขนส่งมวลชนของประเทศไทยนั้นมีหลากหลายรูปแบบทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ แต่ในปัจจุบันการขนส่งมวลชนทางบกนับเป็นรูปแบบการขนส่งมวลชนที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยเฉพาะระบบรถไฟฟ้ากระแสดรชขนส่งมวลชนโดยให้ความสำคัญกับการลงทุนที่จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนการขนส่ง ระบบรถไฟฟ้ากระแสดรชขนส่งมวลชนจึงถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการคมนาคมและการขนส่ง ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยกำลังพัฒนาระบบขนส่งมวลชนและดำเนินงานโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วงและสายสีน้ำเงินของการรถไฟฟ้ามหานคร ซึ่งเป็นการกระจายการเดินทางให้ครอบคลุมพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อสะดวกในการเดินทางของประชาชนและลดความแออัดการจราจรและมลภาวะทางถนน สำหรับอาคารสำหรับระบบรถไฟฟ้ากระแสดรชขนส่งมวลชนนั้นจำเป็นต้องก่อสร้างในที่โล่งแจ้งและเป็นอาคารสูง ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายสูงจากการถูกฟ้าผ่า ดังนั้นควรมีการออกแบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับรถไฟฟ้ากระแสดรชขนส่งมวลชน งานวิจัยนี้นำเสนอการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง เพื่อวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่อาจจะเกิดขึ้นกับโครงสร้างภายนอก เนื่องจากโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าได้ดำเนินการก่อสร้างมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 – 2552 โดยมาตรฐานการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าในช่วงนั้นเป็นมาตรฐานเก่าโดยปัจจุบันนั้นมาตรฐาน IEC ได้ออกมาตรฐานฉบับใหม่ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ภาค ได้แก่ ภาค 1 ข้อกำหนดทั่วไป ภาค 2 การบริหารความเสี่ยง ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพและอันตรายต่อชีวิตจากฟ้าผ่า และภาค 4 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง โดยทางสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้อ้างอิงมาตรฐาน IEC นี้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการเกิดขึ้นกับสถานีรถไฟฟ้า ดังนั้นจึงควรมีการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วง จึงได้นำเอาโปรแกรม

คอมพิวเตอร์มาช่วยในการประเมินระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยยึดหลักตามมาตรฐาน IEC 62305 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 1 และ 2 ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น เพื่อวิเคราะห์วิธีการตัดสินใจว่ามีความจำเป็นว่ามีโอกาสเกิดฟ้าผ่าหรือไม่ เพื่อหาแนวทางการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงหลักการวิธีการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการป้องกัน การถูกฟ้าผ่า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงจากการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ)

1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการตัดสินใจจำเป็นของการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าลงบนโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงตามมาตรฐาน IEC 62305

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

การจัดวางตำแหน่งระยะห่างของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าและความสูงของอุปกรณ์นั้นมีผลต่อระดับการป้องกันฟ้าผ่า

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงเท่านั้น

1.4.2 ศึกษาพัฒนาโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงสำหรับการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง

1.5.2 ออกแบบโปรแกรมประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐาน IEC 62305 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าจากสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิตวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์โดยใช้โปรแกรม Visual Basic

1.5.3 ทดสอบโปรแกรมประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงได้แก่ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดียว ทางคู่ สามทาง สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับรถไฟฟ้าสายสีม่วง

1.6.2 สามารถประเมินความเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากการถูกฟ้าผ่าและการประเมินระบบการป้องกันฟ้าผ่าได้และช่วยลดระยะเวลาในการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง

1.6.3 สามารถเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินความเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบระบบป้องกันได้

1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 6 บท 3 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผลจากการสำรวจสืบค้น จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3 การนำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟ้าผ่า ทฤษฎีการประเมินความเสี่ยงของความเสี่ยงภัยที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่า และหลักการมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอก

บทที่ 4 นำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง แบบจำลองระบบทดสอบอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง และขั้นตอนต่าง ๆ ในการพัฒนาโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงบนโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงเพื่อประเมินการทำงาน

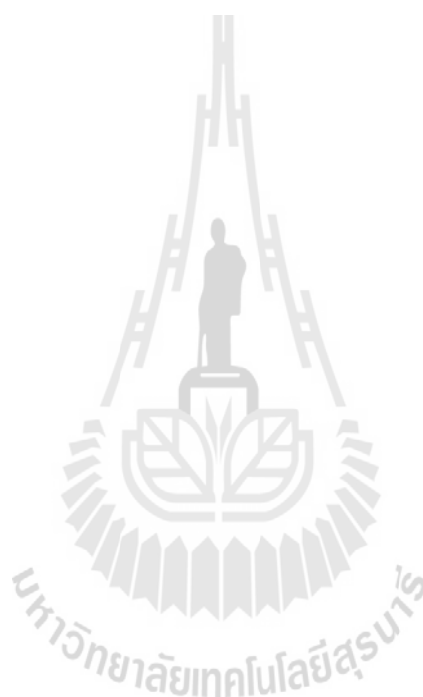
บทที่ 5 กล่าวถึงระบบการทดสอบและผลการทดสอบ จากการพัฒนาโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงความเสียหายภัยที่เกิดขึ้น และวิธีการป้องกัน โดยการติดตั้งระบบอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพื่อทำการตรวจสอบการประเมินการป้องกันด้วยมาตรการการป้องกันฟ้าผ่าดังกล่าว

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะพร้อมงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อ

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ

ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบ

ภาคผนวก ค. เป็นการรวบรวมผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์
ในขณะดำเนินการศึกษา



บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือศึกษาและทำการตรวจสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงที่ได้ออกแบบมาแล้ว เพื่อตรวจสอบว่าจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติมหรือไม่ โดยมีการพัฒนาออกแบบโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบและทำการจำลองผลการป้องกันฟ้าผ่า เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เคยมีการใช้งานมาก่อน จากผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณะนักวิจัยตั้งแต่อดีตเป็นต้นมา โดยใช้ฐานข้อมูลที่เป็นแหล่งสะสมรายงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอื่นได้แก่ ฐานข้อมูลจาก IEEE IEE และ Science Direct เป็นต้น ผลการสำรวจสืบค้นงานวิจัยดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

2.2 ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำเสนอปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกของระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันสามารถสรุปโดยย่อเป็นตารางโดยจัดลำดับการเรียบเรียงจากงานที่มีผู้ได้ดำเนินการก่อนไปสู่งานที่ใหม่กว่าได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1951	F.S. Young, J.M. Clayton and A.R. Hileman	ศึกษารูปแบบจำลองเรขาคณิต โดยถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หมุมล่อฟ้าแสดงให้เห็นว่าหมุมกำบัง หรือหมุมป้องกันจะมีขนาดลดลง เมื่อเสามีขนาดสูงขึ้น

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1968	H.R. Armstrong and Edwin R.	ศึกษาการนำเสนอและวิเคราะห์การป้องกันสายส่งโดยการรวบรวมข้อมูลอัตราการเกิดฟ้าผ่าในสายส่ง และผลจากการออกแบบการป้องกันสายส่งที่นำเสนอ โดยการวิเคราะห์จากสภาพแวดล้อม ระดับความสูงเฉลี่ยของสายตัวนำ และสายป้องกัน
1987	Eriksson	ศึกษาการปรับปรุงแบบจำลองเรขาคณิต สำหรับการป้องกันฟ้าผ่าของสายล่อฟ้าที่มีระยะการผ่าที่แตกต่างกัน ทั้งจากความสูงหรือสายตัวนำล่อฟ้า
1996	IEEE	นำเสนอการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงของสถานีไฟฟ้าด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง
2003	N. Theethayi, Y. Liu and R. Montano	อธิบายการเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่งและระบบแรงดันไฟฟ้าที่ประเทศสวีเดน โดยส่งผลทำให้เกิดแรงดันเกินและกระแสเกินชั่วคราว ซึ่งใช้วิธีการแก้ปัญหาของสมการโดยใช้คอมพิวเตอร์จำลองผลของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่า
2004	L. Gallego, O. Duarte and H. Torres	ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า เนื่องจากการเกิดฟ้าผ่านั้นเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นด้วยความไม่แน่นอน เพื่อที่จะหาจำนวนการเกิดฟ้าผ่าและความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความเสียหายนั้น
2005	P.E. Paul	ศึกษางานวิจัยผลของแรงดันกระชากของระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือศีรษะ ที่เกิดจากการเกิดฟ้าผ่าลงระบบแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการวิเคราะห์ผลของแรงดันและพลังงานที่เกิดจากฟ้าผ่าลงระบบแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำการออกแบบติดตั้งและวิเคราะห์อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2006	P.Y. Okyere and G. Eduful	ได้ศึกษางานวิจัยการออกแบบเกี่ยวกับการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบความล้มเหลวของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยออกแบบการจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อคำนวณหาระยะฟ้าผ่า ให้เหมาะสมที่สุด
2010	Natdanai T.	ได้ศึกษาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าโดยใช้จำลองการเกิดฟ้าผ่าจากการใช้โปรแกรม Matlab/Simulink โดยการนำเอาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาทดสอบร่วมกันกับสมการรูปคลื่นฟ้าผ่า ซึ่งเป็นสมการอิมพัลส์
2011	H. Arai, I. Watanabe and H. Motoyama	ศึกษาพัฒนาประสิทธิภาพของการป้องกันฟ้าผ่าของอุปกรณ์ป้องกันที่มีความสำคัญต่อระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟ ได้อธิบายเกี่ยวกับการพัฒนาการกำหนดค่าของระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟ โดยสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลการป้องกันที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า
2013	M. Pusayatanont	ศึกษาพัฒนาประสิทธิภาพมาตรการการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสำหรับสิ่งปลูกสร้าง โดยจะอธิบายไปที่แท่งตัวนำล่อฟ้า ซึ่งติดตั้งบนส่วนยอดของสิ่งปลูกสร้างและมีหลายชนิดที่แตกต่างกัน
2014	A. Guido and L. Maria	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชั่วคราวในระบบป้องกันฟ้าผ่า เพื่อปรับเปลี่ยนความถี่ของสายไฟฟ้าโดยใช้วิธีการคำนวณโดยใช้ Fast fourier transform อัลกอริทึม

จากวรรณกรรมและงานวิจัยที่ได้สรุปผ่านมามีสามารถช่วยให้ผู้ที่ดำเนินการศึกษาหรือพัฒนาเกี่ยวกับงานวิจัยนี้พอมองภาพออกอย่างกว้าง ๆ ว่ามีคณณักวิจัยใดได้ศึกษาสิ่งใดไปแล้วบ้าง แต่ยังไม่สามารถแยกเป็นหมวดหมู่ตามวิธีการดำเนินงานศึกษาได้อย่างชัดเจนดังนั้นในส่วนถัดไปนี้ จึงได้ทำการเรียบเรียงและคัดสรรงานวิจัยหลัก ๆ ที่สำคัญและมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดจากหลาย ๆ ผลงานที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.1 โดยจะได้กล่าวถึงการนำทฤษฎีหลักการและวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงและยังมีการเสริมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนั้น ๆ โดยย่อดังนี้

เริ่มต้นจาก Young et al. (1951) ได้ศึกษารูปแบบจำลองเรขาคณิต โดยถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หมุมล่อฟ้าแสดงให้เห็นว่าหมุมกำบัง หรือหมุมป้องกันควรจะมึขนาดลดลง เมื่อเสามีขนาดสูงขึ้น งานวิจัยของ Edwin et al. (1968) ได้ศึกษาการนำเสนอและวิเคราะห์การป้องกันสายส่งโดยการรวบรวมข้อมูลอัตราการเกิดฟ้าผ่าในสายส่ง และผลจากการออกแบบการป้องกันสายส่งที่นำเสนอ โดยการวิเคราะห์จากสภาพแวดล้อม ระดับความสูงเฉลี่ยของสายตัวนำ และสายป้องกัน งานวิจัยของ Eriksson (1987) ได้ศึกษาการปรับปรุงแบบจำลองเรขาคณิต สำหรับการป้องกันฟ้าผ่าของสายล่อฟ้าที่มีระยะการผ่าที่แตกต่างกัน ทั้งจากความสูงหรือสายตัวนำล่อฟ้า และระยะของการผ่าลงดิน งานวิจัยของ Theethayi et al. (2003) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่งและระบบแรงดันไฟฟ้าที่ประเทศสวีเดนโดยส่งผลทำให้เกิดแรงดันเกินและกระแสเกินชั่วครู่ ซึ่งใช้วิธีการแก้ปัญหาของสมการโดยใช้คอมพิวเตอร์จำลองผลของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่า ได้กล่าวไว้ว่าการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่าได้เป็นอย่างดี งานวิจัยของ Gallego et al. (2004) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า เนื่องจากการเกิดฟ้าผ่านั้นเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นด้วยความไม่แน่นอน เพื่อที่จะหาจำนวนการเกิดฟ้าผ่าและความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความเสียหายนั้น ดังนั้นจึงได้นำวิธีการประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากฟ้าผ่าด้วยวิธีทางตรรกศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นและวิเคราะห์ความเสี่ยง ทั้งความเสียหายที่เกิดขึ้นต่ออุปกรณ์และความเสียหายที่เกิดจากคนและสิ่งปลูกสร้างเพื่อตรวจสอบว่าระดับความเสี่ยงนั้นเป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ตามมาตรฐานที่กำหนด งานวิจัยของ Paul (2005) ได้ทำการศึกษางานวิจัยผลของแรงดันกระชากของระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือหัว ที่เกิดจากการเกิดฟ้าผ่าลงระบบรถไฟฟ้าเพื่อทำการวิเคราะห์ผลของแรงดันและพลังงานที่เกิดจากฟ้าผ่าลงระบบรถไฟฟ้า เพื่อทำการออกแบบติดตั้ง

และวิเคราะห์อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ใช้ในการติดตั้งให้เหมาะสมกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ในการทดสอบ งานวิจัยของ Okyere et al. (2006) ได้ศึกษางานวิจัยการออกแบบเกี่ยวกับการป้องกัน ฟาผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างเพื่อวิเคราะห์ และประเมินผลกระทบความล้มเหลวของอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์โดยออกแบบการจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อคำนวณหา ระยะฟ้าผ่าให้เหมาะสมที่สุด งานวิจัยของ Arai et al. (2011) ได้ศึกษาพัฒนาประสิทธิภาพของการ ป้องกันฟ้าผ่าของอุปกรณ์ป้องกันที่มีความสำคัญต่อระบบอณัติสัญญาณของรถไฟ ได้อธิบาย เกี่ยวกับการพัฒนาการกำหนดค่าของระบบอณัติสัญญาณของรถไฟ โดยสร้างแบบจำลองและ วิเคราะห์ผลการป้องกันที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า ส่วนงานวิจัยของ Pusayatanont et al. (2013) ได้ ศึกษาพัฒนาประสิทธิภาพมาตรการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสำหรับสิ่งปลูกสร้าง โดยจะอธิบายไปที่ แท่งตัวนำอากาศ ซึ่งติดตั้งบนส่วนยอดของอาคารสิ่งปลูกสร้าง และมีหลายชนิดที่แตกต่างกันได้แก่ แท่งแฟรงกลิน กรงฟาราเดย์ แท่งอีเอสอี แท่งดีเอสเอส และแท่งเซมิคอนดักเตอร์ จึงได้อธิบายถึง หลักการทำงานพื้นฐานและข้อมูลประสิทธิภาพของระบบป้องกันแต่ละประเภทรวมถึงการรับรอง จากมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเนื่องจากบางประเภท นั้นไม่ได้รับการยอมรับมาตรฐานจากสากลและประเทศไทย ทำให้มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดความ เสียหาย

งานวิจัยชิ้นนี้เกิดขึ้นเพื่อแสวงหาองค์ความรู้ทางด้านการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสำหรับ โครงสร้างของรถไฟฟ้าสายสีม่วงและการพัฒนาโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากการเกิด ฟ้าผ่า เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นและตรวจสอบการออกแบบที่ได้ ออกแบบไว้ก่อนหน้านี้เพื่อประเมินเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างภายนอกอาคารของ รถไฟฟ้าสายสีม่วง

2.3 สรุป

บทที่ 2 นี้ ได้นำเสนอรายงานผลการสืบค้นวรรณกรรมวิจัยย้อนหลังที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัยที่จะดำเนินการ จากฐานข้อมูล IEEE Science Direct IEE และอื่น ๆ ซึ่งทำให้ทราบถึงแนว ทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระเบียบวิธีที่ผู้วิจัยอื่น ๆ ได้นำมาใช้ผลการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณณักวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่เคยปรากฏงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปในระบบการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของระบบรถไฟฟ้า ขนส่งมวลชน ส่วนใหญ่จะเป็นการคำนวณการออกแบบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแรงดันเกินชั่วคราว จากการเกิดฟ้าผ่าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากฟ้าผ่า โดยวิธีทางตรรกศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

การศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีความสำคัญมากในการดำเนินงาน เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้และความเข้าใจ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดฟ้าผ่าและการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 62305 ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของความเสี่ยงทั้งหมดคือส่วนประกอบความเสี่ยงต่าง ๆ นอกจากนี้จะอธิบายหลักการมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า โดยจะกล่าวถึงส่วนที่เป็นประโยชน์หรือถูกกล่าวอ้างต่อการดำเนินงานวิจัยนี้ เพื่อความกระชับและชัดเจนของเนื้อหา

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน มีความซับซ้อนและไม่สามารถทำนายได้ จึงเป็นการยากที่จะป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น อีกทั้งในปัจจุบันมีจำนวนตึกสูงเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในตึกหรือที่อยู่อาศัยมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นระบบป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ความเสี่ยงต่อการเกิดฟ้าผ่าหมายถึง ความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งนี้อันตรายจากฟ้าผ่าที่เกิดจาก 3 สาเหตุ ได้แก่ ความร้อน แรงกลและกระแสไฟฟ้า โดยความร้อนเป็นเหตุทำให้เกิดเพลิงไหม้ แรงกลเป็นเหตุทำให้เกิดการระเบิดได้และกระแสไฟฟ้าเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและชีวิต ซึ่งโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้านั้นก็มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าได้หากไม่มีการป้องกันที่ดี ดังเช่นตัวอย่างที่ประเทศจีนนั้นได้เกิดอุบัติเหตุเนื่องจากฟ้าผ่าลงระบบบอานัติสัญญาณ จึงทำให้เกิดการลัดวงจรจนทำให้ขบวนรถไฟฟ้าที่ตามมาเกิดการชนกันที่โครงสร้างยกระดับที่เมืองหางโจว – เหวินโจว จนทำให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 จึงทำให้เห็นถึงความสำคัญของวิธีการมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าลงโครงสร้างภายนอก เพื่อตรวจสอบและลดความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน (Nelson, 2000)



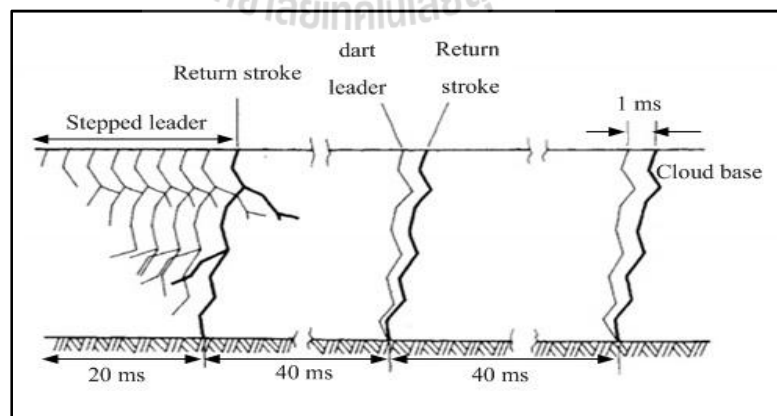
ระบบป้องกันฟ้าผ่า ได้ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 และพัฒนาต่อมาจนถึงปัจจุบัน มีการออกแบบติดตั้งที่เป็นมาตรฐาน โดยการป้องกันฟ้าผ่าแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ซึ่งมีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างจากการถูกฟ้าลงโดยตรง และระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน ซึ่งมีไว้เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ที่อยู่ในสิ่งปลูกสร้างอันเป็นผลเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าภายนอก การป้องกันฟ้าผ่าภายในสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ และต่อระบบสายดินให้ครบถ้วนตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง (IEEE, 2005)

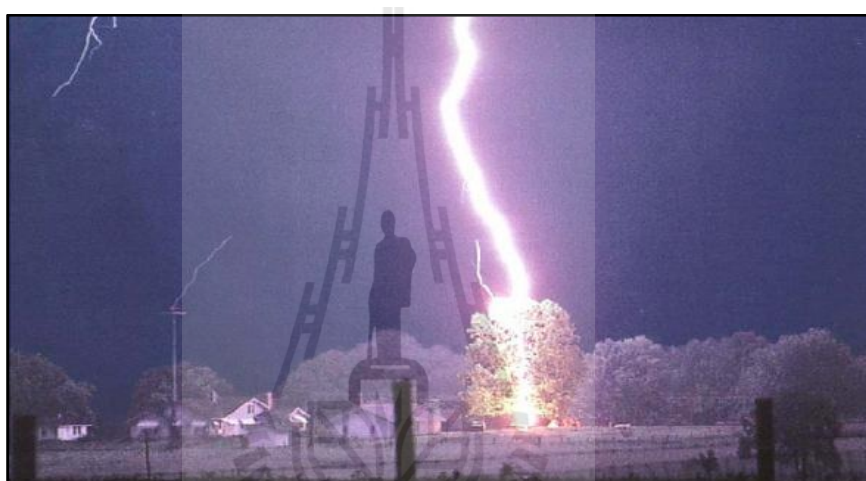
3.2.1 ปรางกูการณ์และพฤติกรรมของฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลของการเกิดดีสชาร์จของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ (Cloud charges) การสะสมประจุในก้อนเมฆมีปริมาณมากทำให้ก้อนเมฆมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 10 MV ถึง 100 MV และเกิดการดีสชาร์จระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกเป็นวาบฟ้าผ่า หรือระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆ หรือภายในก้อนเมฆเดียวกันเป็นฟ้าแลบ เช่น ฝนฟ้าคะนอง พายุฝุ่น และภูเขาไฟระเบิด ฟ้าผ่าที่เกี่ยวข้องกับคนส่วนใหญ่เกิดจากการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าออกจากเมฆฝนฟ้าคะนอง (Thunder cloud) หรือที่นักอุตุนิยมวิทยาเรียกว่าเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) แม้จะทราบว่าฟ้าผ่านั้นทำให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อชีวิต แต่มนุษย์ก็ไม่สามารถห้ามการเกิดฟ้าผ่าได้ ในทางปฏิบัติจะทำได้ก็เพียงป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายอันเนื่องมาจากผลของฟ้าผ่า โดยสร้างระบบป้องกันตามมาตรฐาน แต่การจะออกแบบระบบป้องกันอันตรายจากการเกิดฟ้าผ่าให้มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการเกิดฟ้าผ่า ลักษณะสมบัติและพฤติกรรมของฟ้าผ่า ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะช่วยให้สามารถป้องกันได้เหมาะสมและมีความปลอดภัย (Golde, 1977)

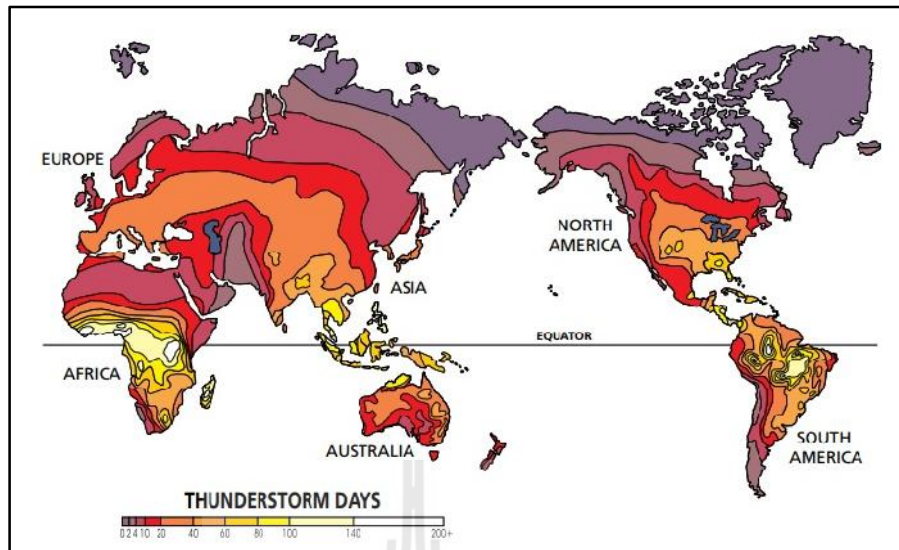
3.2.2 กระบวนการเกิดฟ้าผ่า

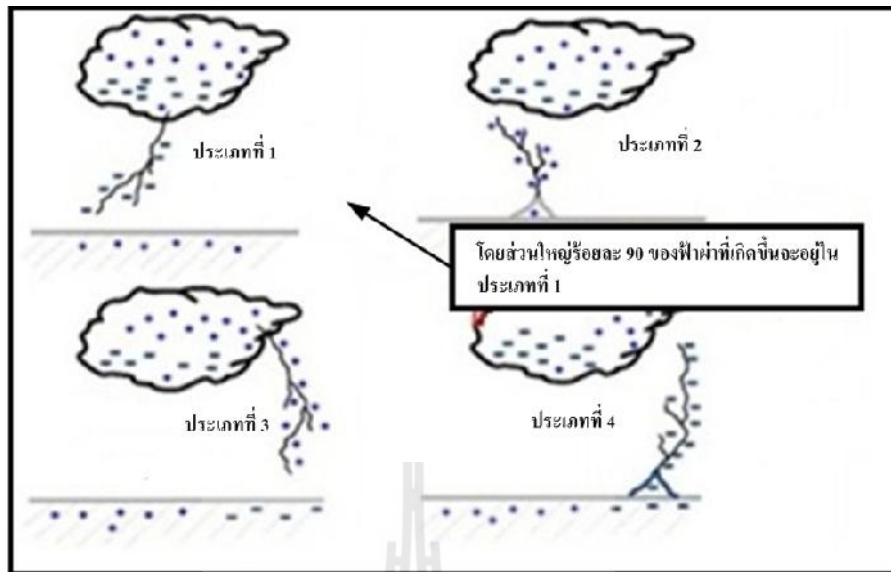
เมฆฝนฟ้าคะนองจะมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่มีประจุสะสมที่ระดับความสูง 1.5-10 km ซึ่งมีการกระจายของประจุ ภายในก้อนเมฆมีการไหลเวียนของกระแสอากาศอย่างรวดเร็วและรุนแรงทำให้หยดน้ำและก้อนเมฆเสียดสีกันจนเกิดประจุไฟฟ้า โดยกลุ่มประจุบวกจะอยู่บริเวณยอดเมฆส่วนประจุลบจะอยู่บริเวณฐานเมฆ ซึ่งประจุลบที่บริเวณฐานเมฆอาจจะมีการเหนี่ยวนำให้พื้นผิวของโลกที่อยู่ใต้เงาของก้อนเมฆมีประจุเป็นบวกและน้ำฝนมักมีประจุบวก จุดเริ่มต้นของฟ้าผ่าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่กลุ่มประจุลบคือ ที่ฐานของก้อนเมฆเพราะอยู่ใกล้พื้นโลก เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าถึงจุดวิกฤติ (E_c) ในก้อนเมฆประมาณ 10 kV/cm (ในบรรยากาศที่





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







3.2.5 ความเสียหายและผลที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่า

ผลจากฟ้าผ่าทำให้เกิดความเสียหายหรืออันตรายอาจแยกออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1) ผลทางความร้อน เป็นผลทำให้เกิดเพลิงไหม้แก่สิ่งที่ถูกฟ้าผ่า ผลทำให้เกิดความเสียหายจากการเกิดเพลิงไหม้เนื่องจากกระแสฟ้าผ่าเมื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงถึง 30000 °K ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขนาดนี้ย่อมทำให้เกิดเพลิงไหม้แก่สิ่งที่ถูกฟ้าผ่า

2) ผลทางแรงกลหรือแรงระเบิด เป็นผลทำให้สิ่งปลูกสร้างที่ถูกฟ้าผ่าเกิดการระเบิดพังทลายเสียหายได้ เช่น กรณีเกิดฟ้าผ่าลงบนวัสดุฉนวนกระแสฟ้าผ่าจะวิ่งไปตามแนวที่มีความต้านทานน้อยที่สุดซึ่งถ้ามีความชื้นอยู่ในวัสดุนั้นหรือความชื้นจะเปลี่ยนเป็นไอเกิดความดันซึ่งทำให้เกิดการระเบิดได้

3) ผลทางไฟฟ้า เกิดแรงดันเกินในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลเสียแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ เกิดคลื่นรบกวนต่อระบบสื่อสาร เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเกิดแรงดันช่วงก๊าวเป็นอันตรายแก่สิ่งมีชีวิต ผลจากกระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดแรงดันเกินเล็กรูปของคลื่น ซึ่งระบบไฟฟ้าวิ่งไปตามสายไฟเข้าสู่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดความเสียหายและทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในระบบไฟฟ้าซึ่งผลทางไฟฟ้าจากฟ้าผ่ามีหลายลักษณะคือ

3.1) การรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ผลทางไฟฟ้าทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดแรงดันเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นในตัวนำ ถ้าแรงดันเหนี่ยวนำสูงพอก็อาจเกิดสปาร์กได้

3.2) แรงดันสปาร์กด้านข้าง

ถ้ากระแสฟ้าผ่า $i(t)$ ไหลผ่านตัวนำที่มีความเหนี่ยวนำ L และมีความต้านทานของดิน R_e จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำและความต้านทานของดิน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) ถ้าหากความต้านทานรากสายดินหรือความเหนี่ยวนำของสายตัวนำลงดินมีค่าสูงจะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ΔU มีค่าสูงถ้ามีค่ามากพอจะทำให้เกิดการสปาร์กด้านข้าง หรือกระโดดเข้าหาส่วนที่ต่อลงดินอย่างดี ซึ่งการเกิดสปาร์กด้านข้างนี้ อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ ถ้ามีสิ่งที่เป็นเชื้อเพลิงอยู่ในบริเวณนั้น

$$\Delta U = R_e i(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (3.1)$$

โดยที่ $\frac{di(t)}{dt}$ คือ ความชันของคลื่นกระแสฟ้าผ่า

3.3) แรงดันเกินในระบบแรงต่ำ

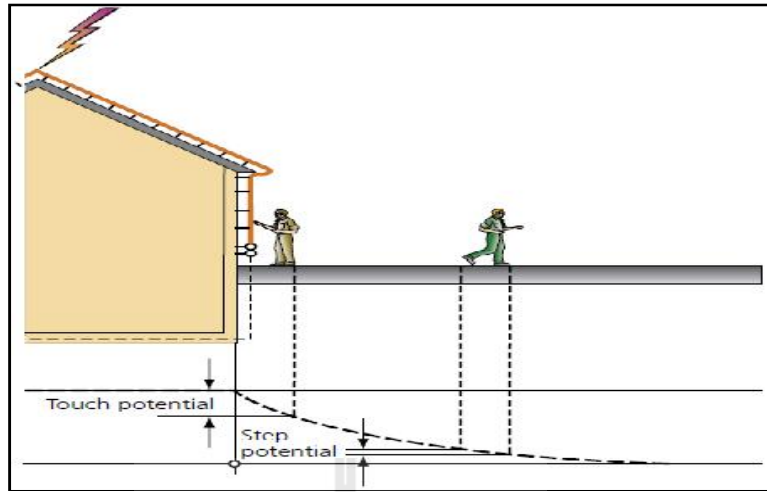
แรงดันเกินที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำได้เช่นกัน แรงดันดังกล่าวนี้อาจจะมีค่าไม่สูงมากเหมือนที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งแรงสูง แต่ก็มีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้าน ภายในสำนักงานหรือโรงงาน เพราะอุปกรณ์แรงต่ำเหล่านี้ การฉนวนมีค่าต่ำ ไม่อาจจะทนแรงดันเกินที่มีค่าเป็น 10 kV ได้ และถ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยังมีความไวต่อแรงดันเกินเป็นอย่างยิ่ง

3.4) อันตรายจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นต่อคนโดยตรง

โดยธรรมชาติแล้ว ฟ้าจะผ่าลงสิ่งที่อยู่สูงเด่นกว่าสิ่งอื่น เช่น สิ่งก่อสร้างหรืออาคารสูง ต้นไม้สูงเด่น หรือแม้แต่กระท่อมปลายนาที่ไม่มีต้นไม้ หรือสิ่งอื่นในบริเวณใกล้เคียงที่สูงกว่า หรือสิ่งอื่นในบริเวณใกล้เคียงที่สูงกว่า หรือคนที่ยืนในที่โล่งแจ้ง อันตรายจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นแก่คนที่อยู่นอกอาคารบ้านเรือนนั้น มีโอกาสเป็นไปได้ถ้าหากไปยืนเด่นในที่กลางแจ้ง เช่น ท้องทุ่งนา สนามบริเวณกว้างปราศจากต้นไม้ ในแม่น้ำกว้างใหญ่ ในทะเล หรือเส้นทางที่กระแสฟ้าผ่าได้สะดวก เช่น ยืนพิงต้นไม้สูงเด่นที่ถูกฟ้าผ่า หรือหลบฝนอยู่โคนต้นไม้สูงเด่น เนื่องจากกระแสฟ้าผ่าไหลลงตามต้นไม้ลงสู่ดินนั้น ทำให้ต้นไม้มีศักย์ไฟฟ้าสูงมากพอ จึงเกิดสปาร์กผ่านอากาศเข้าหาคนได้

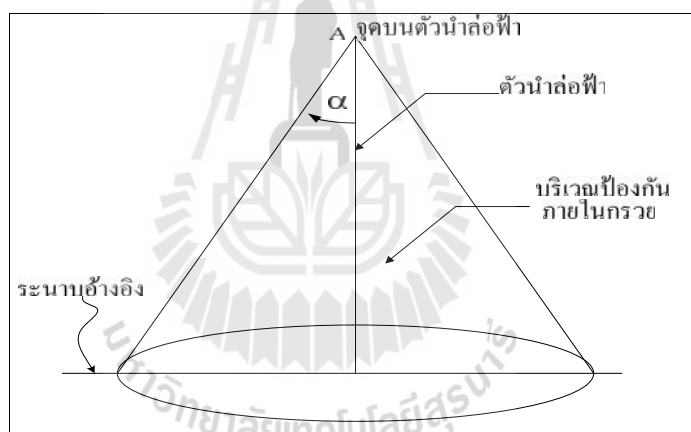
3.5) อันตรายจากแรงดันไฟฟ้าช่วงก้าวและแรงดันไฟฟ้าสัมผัส

ผลของฟ้าผ่าที่มีอันตรายต่อคนและสัตว์ นอกเหนือจากถูกฟ้าผ่าโดยตรงแล้ว ในทางอ้อมยังอาจได้รับอันตรายจาก แรงดันช่วงก้าว และแรงดันสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 3.9 อันเป็นผลมาจากกระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่พื้นดิน ซึ่งมีความต้านทาน การออกแบบระบบรากสายดินที่ดีและถูกต้อง จะต้องคำนึงถึงการป้องกันอันตรายแรงดันช่วงก้าว และแรงดันสัมผัสแก่คนและสัตว์เมื่อมีกระแสไหลลงสู่ดิน แม้กระจายออกไปในดิน ซึ่งมีความต้านทาน จะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนพื้นดิน โดยที่สองจุดนั้นมีระยะห่างเท่ากับช่วงก้าวของคน ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างเท้าซ้ายและขวาในขณะที่ก้าวเดิน กรณีคนจะคิดเท่ากับ 1 m หรือระหว่างเท้าหน้ากับเท้าหลังของสัตว์ เรียกว่า แรงดันช่วงก้าว ส่วนช่วงแรงดันสัมผัส หมายถึง ความต่างศักย์ระหว่างตัวนำหรือโครงสร้างที่กระแสไหลผ่านลงไปสู่รากสายดิน ที่คนมีโอกาสสัมผัสถึงกับดินที่ยืนอยู่ และแรงดันระหว่างเท้าหน้ากับเท้าหลังของสัตว์แรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัสจะเป็นอันตรายแก่คนและสัตว์หรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับแรงดันช่วงก้าวหรือแรงดันสัมผัสนั้น ทำให้กระแสไหลผ่านร่างกายเกินขีดกระแสอันตรายหรือไม่ (Golde, 1973)



โดยทั่วไปแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานกำหนดวิธีป้องกันฟ้าผ่าของแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทย ที่ผ่านมามีอ้างอิงมาตรฐานต่างประเทศ เช่น IEC NFPA-780 และ BS 665 เป็นต้น ได้มีการร่างมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย คือ วสท.2003-43 ร่างตามมาตรฐาน IEC 61024-1-2 และปัจจุบันนั้นได้มีการร่างมาตรฐานใหม่ IEC 62305 โดยที่ได้แนะนำวิธีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ 1) วิธีมุมป้องกัน 2) วิธีทรงกลมกลิ้ง และ 3) วิธีตาข่าย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

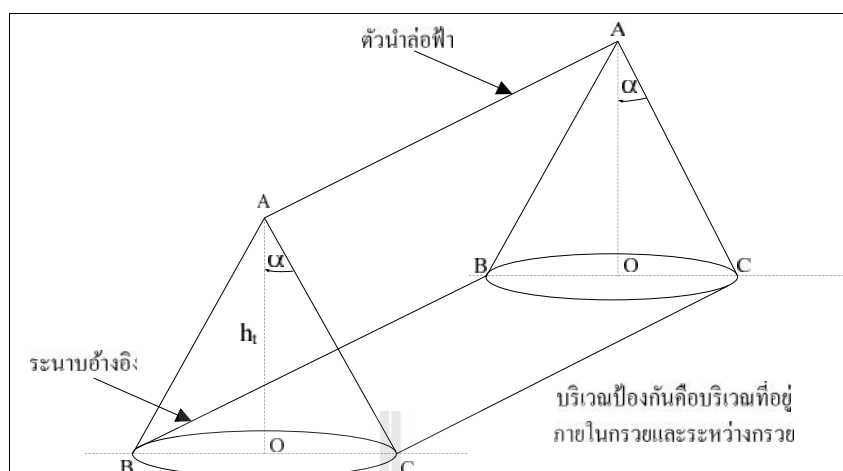
1) วิธีมุมป้องกัน เหมาะสมกับอาคารที่มีรูปร่างง่าย ๆ แต่ขึ้นกับข้อจำกัดในเรื่องความสูงของตัวนำล่อฟ้า การติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้าเสาและสายล่อฟ้าต้องติดตั้งโดยจัดตำแหน่งให้ตัวนำล่อฟ้าครอบคลุมทุกส่วนของสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ภายในบริเวณป้องกันซึ่งสร้างโดยมุมป้องกัน α (องศา) ที่ขยายไปทุกทิศทางในแนวดิ่ง แสดงดังรูปที่ 3.10 รูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ โดยค่ามุมป้องกันกำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.13



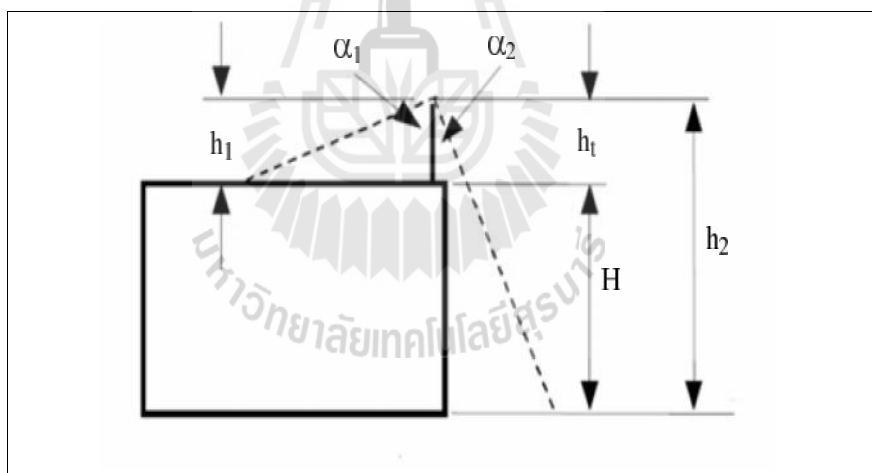
รูปที่ 3.10 บริเวณป้องกันโดยปลายล่อฟ้าสูง h เหนือระนาบอ้างอิง

ตัวแปรสำหรับรูปที่ 3.10 รูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ

A	คือ	ปลายตัวนำแนวดิ่ง แท่งตัวนำล่อฟ้าในระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือส่วนของตัวนำล่อฟ้าแนวนอน
B	คือ	ระนาบอ้างอิง
OC	คือ	รัศมีการป้องกัน
H	คือ	ความสูงของสิ่งปลูกสร้าง
h_t	คือ	ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือระนาบอ้างอิง
α	คือ	มุมป้องกันตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.11 บริเวณป้องกันที่เกิดจากตัวนำล่อฟ้าแนวราบ AA สูง h_t เหนือระดับระนาบอ้างอิง

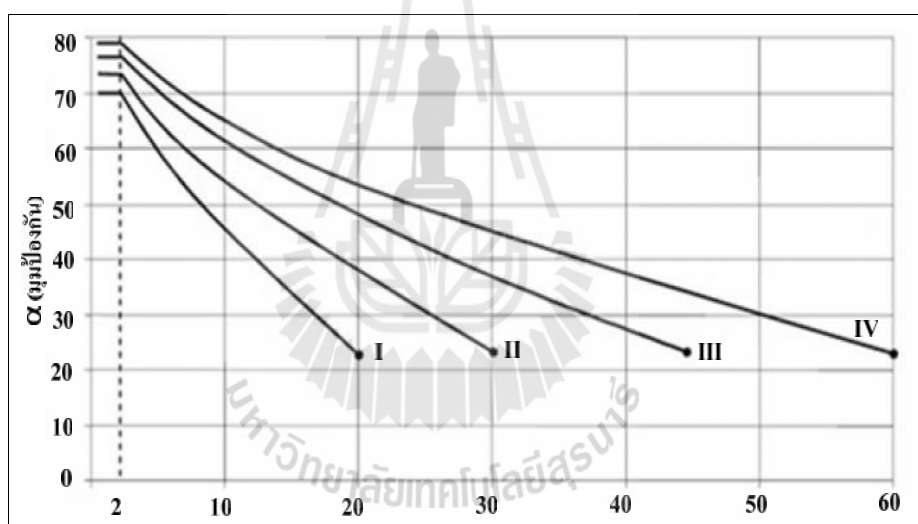


รูปที่ 3.12 การออกแบบการจัดวางตัวนำล่อฟ้าแบบมุมป้องกันที่มีความสูงต่างกัน

วิธีมุมป้องกันเหมาะสำหรับสิ่งปลูกสร้างอย่างง่ายหรือส่วนเล็ก ๆ ของสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่วิธีนี้จะมีข้อจำกัดทางเรขาคณิตและไม่สามารถใช้ได้หากสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงมากกว่ารัศมีของทรงกลมกึ่งซึ่งจะสัมพันธ์กับระดับการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่าตามตารางที่ 3.1

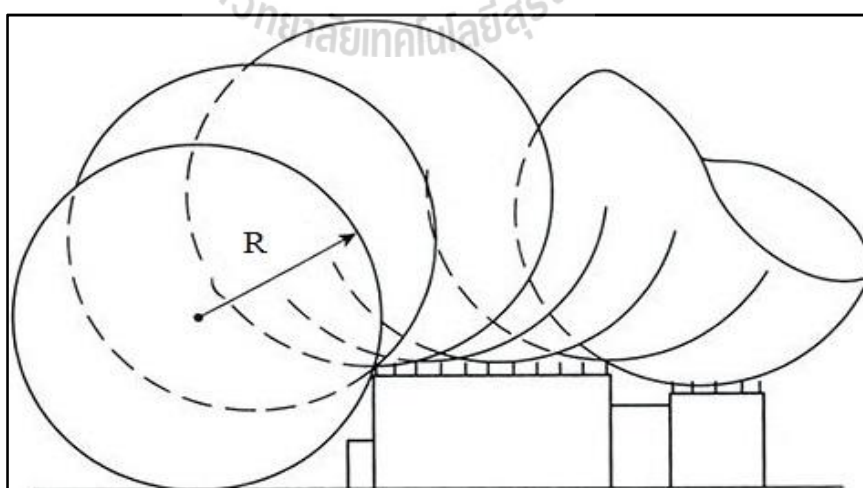
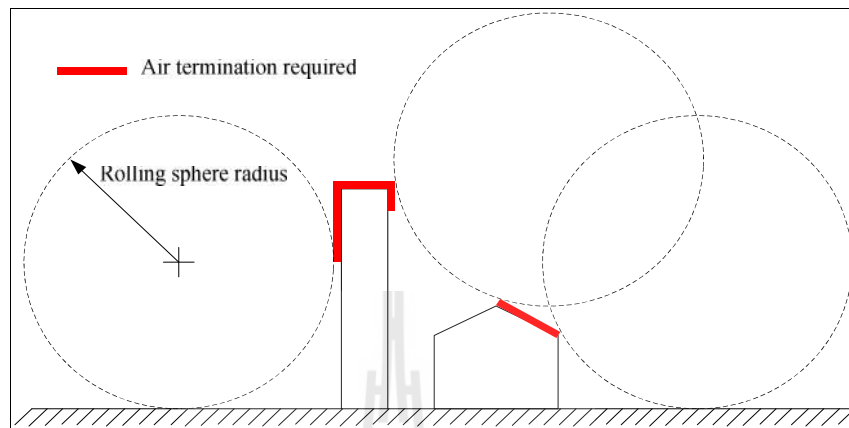
ตารางที่ 3.1 ค่าสูงสุดของรัศมีของวิธีทรงกลมกลิ้งวิธีดาข่ายและวิธีมุมป้องกันตามระดับการป้องกัน

ระดับการป้องกัน	กระแสสูงสุด (kA)	วิธีป้องกัน		
		วิธีมุมป้องกัน	วิธีทรงกลมกลิ้ง รัศมี R (m)	วิธีดาข่ายขนาด (m)
I	2.9	คูกราฟข้างล่าง	20	5
II	5.4		30	10
III	10.1		45	15
IV	15.7		60	20

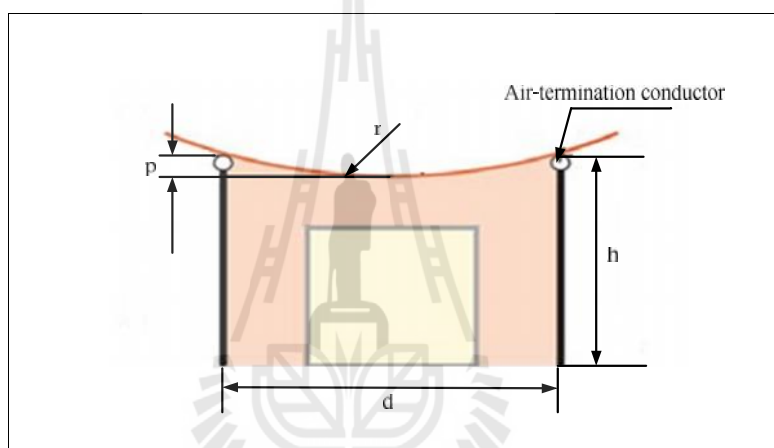


รูปที่ 3.13 ค่ามุมป้องกันที่ใช้ในการออกแบบ
ที่มาของภาพ : มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าจากสิ่งปลูกสร้าง ภาค 1

2) วิธีทรงกลมกลิ้ง ใช้เพื่อระบุบริเวณป้องกันหรือพื้นที่ที่สิ่งปลูกสร้างที่มีความซับซ้อนหรือไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีมุมป้องกันซึ่งรัศมีที่ใช้ในทรงกลมกลิ้งสามารถเลือกตามระดับการป้องกันแสดงตามตารางที่ 3.1 การประยุกต์ใช้วิธีทรงกลมกลิ้งบนและรอบสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ทรงกลมรัศมี R แสดงดังรูปที่ 3.14 จะกลิ้งบนและรอบบริเวณสิ่งปลูกสร้างจนสัมผัสถึงพื้นดินหรือสัมผัสสิ่งปลูกสร้างหรือโครงสร้างถาวรที่อยู่เหนือพื้นดิน เมื่อทรงกลมสัมผัสกับสิ่งปลูกสร้างที่จุดใดหมายความว่าจุดนั้นต้องการตัวนำล่อฟ้าเพิ่มเติม บริเวณป้องกันฟ้าผ่าของระบบคือบริเวณที่

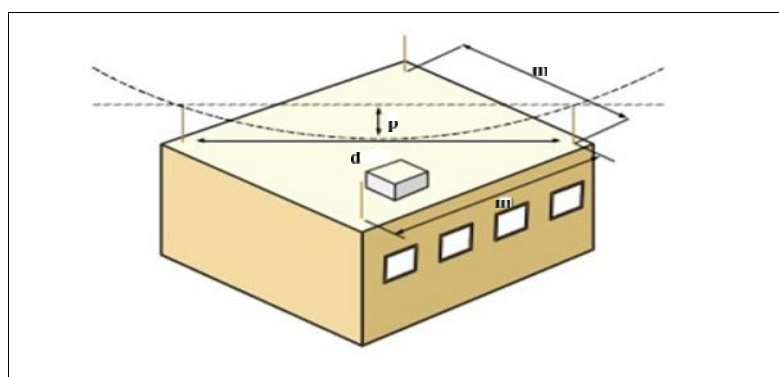


เมื่อใช้วิธีทรงกลมกลิ้งพิจารณาแบบของสิ่งปลูกสร้าง ควรพิจารณาสิ่งปลูกสร้างในทุกทิศทางเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีส่วนของสิ่งปลูกสร้างยื่นออกไปสู่ย่านที่ไม่มีการป้องกัน จุดหนึ่งอาจจะมองข้ามไปถ้าพิจารณาเพียงด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบนของแบบ ปริมาณการป้องกันที่เกิดโดยตัวนำระบบป้องกันฟ้าผ่าคือ ปริมาตรที่ไม่ถูกล่วงล้ำโดยทรงกลมกลิ้ง เมื่อทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับตัวนำและใช้กับสิ่งปลูกสร้าง ในกรณีตัวนำล่อฟ้าแนวระดับ 2 เส้นขนานกันวางเหนือระนาบอ้างอิงตามแนวระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 ระยะล่อล้ำ p ระยะทรงกลมกลิ้งที่ต่ำกว่าระดับของตัวนำในปริมาตรระหว่างตัวนำทั้งสอง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2) และระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้าดังสมการที่ (3.3)



รูปที่ 3.16 ระยะล่อล้ำของทรงกลมกลิ้ง

ที่มาของภาพ : มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าจากสิ่งปลูกสร้าง ภาค 1



รูปที่ 3.17 ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้า

ที่มาของภาพ : มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าจากสิ่งปลูกสร้าง ภาค 1

$$d = \sqrt{2rh - h^2}$$

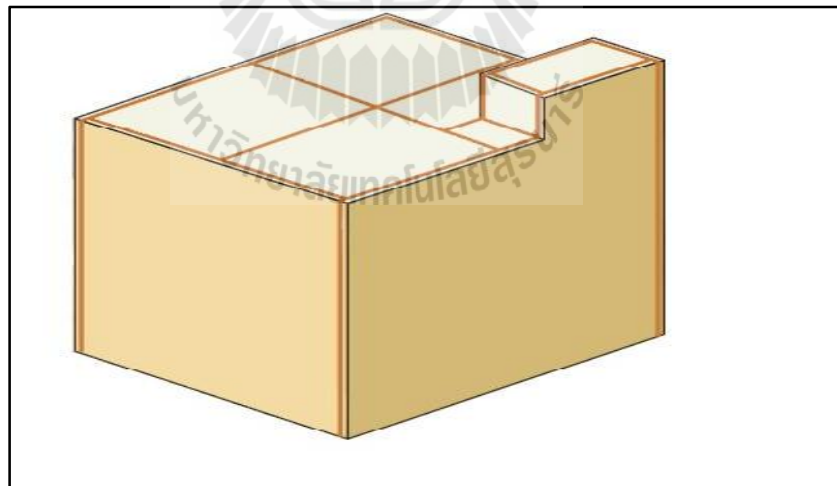
$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

d

r

h

p



3.3.2 พิจารณาเลือกระดับการป้องกัน

จุดประสงค์ของการเลือกระดับการป้องกัน คือ เพื่อลดความเสี่ยงจากความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า ความเสี่ยงของอาคารสิ่งปลูกสร้างแต่ละชนิดจะถูกพิจารณาจากความถี่ของการเกิดวาวฟ้าผ่าลงอาคารนั้นต่อปี ซึ่งแสดงถึงความน่าจะเป็นของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น โดยความเสี่ยงนี้ขึ้นกับตัวแปรหลายอย่าง เช่น การใช้งานของพื้นที่ที่ป้องกัน วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เมื่อพิจารณาเลือกระดับความเสียหายสูงสุดที่ยอมรับได้แล้ว ก็จะสามารถประมาณค่าความถี่สูงสุดของการเกิดวาวฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ต่อปี จากนั้นก็จะพิจารณาเลือกระดับการป้องกันที่เหมาะสมจากค่า โดยระดับการป้องกันจะแบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ I II III และ IV ซึ่งระดับการป้องกันที่ I จะมีความปลอดภัยสูงสุด โดยประสิทธิภาพของการป้องกันในแต่ละระดับแสดงไว้ดังตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพนี้คิดจากโอกาสที่ฟ้าผ่าจะผ่าลงระบบป้องกันฟ้าผ่านั้น ๆ โดยไม่ผ่าลงโครงสร้างหรืออาคารและแสดงขนาดกระแสสูงสุดที่สามารถป้องกันได้แต่ละระดับ

ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพของการป้องกันฟ้าผ่าในแต่ละระดับ

ระดับการป้องกัน	ค่ากระแสสูงสุด (kA)	ประสิทธิภาพการป้องกัน (%)
I	200	98
II	150	95
III	100	90
IV	100	80

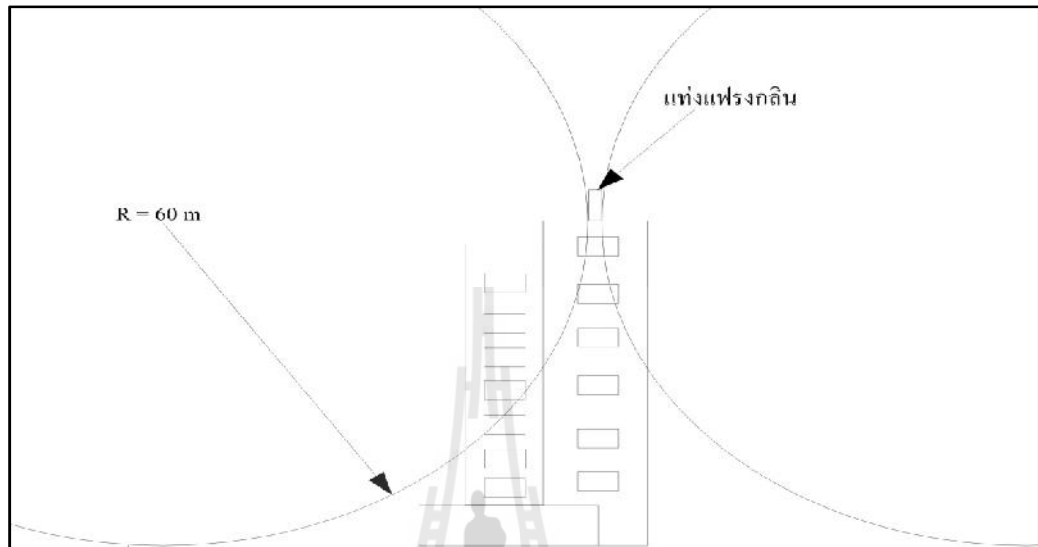
3.3.3 ระบบตัวนำล่อฟ้า

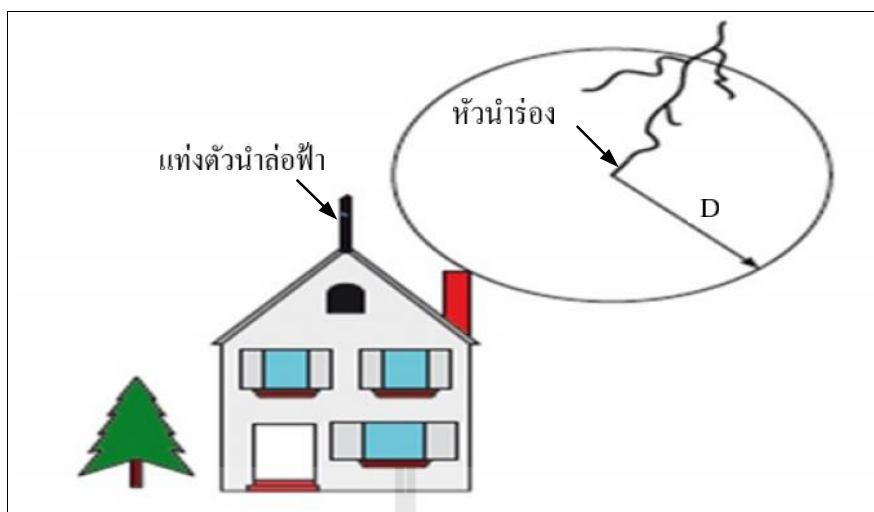
การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าที่ดีจะช่วยลดความน่าจะเป็นที่จะถูกฟ้าผ่าลงได้ โดยระบบตัวนำล่อฟ้าจะสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ 1) แบบดั้งเดิม เป็นระบบที่ใช้แท่งแฟรงกลิน และกรงฟาราเดย์ และ 2) ไม่ใช่แบบดั้งเดิม เป็นระบบที่ใช้แท่งอีเอสอี แท่งเซมิคอนดักเตอร์ และแท่งดีเอส แต่แต่ละชนิดจะมีลักษณะและการทำงานดังต่อไปนี้

แท่งแฟรงกลิน เป็นแท่งตัวนำที่ทำหน้าที่สกัดจับฟ้าที่ผ่าลงมา จากนั้นประจุไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านลงไปที่ดินโดยผ่านสายตัวนำและแท่งอิเล็กโทรดซึ่งฝังอยู่ในดิน แท่งแฟรงกลินเป็นส่วนหนึ่งของระบบป้องกันไฟฟ้า ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ส่วนบนสุดของสิ่งก่อสร้างที่ต้องการป้องกัน โดยแท่งตัวนำนี้มีปลายแหลมดังรูปที่ 3.19





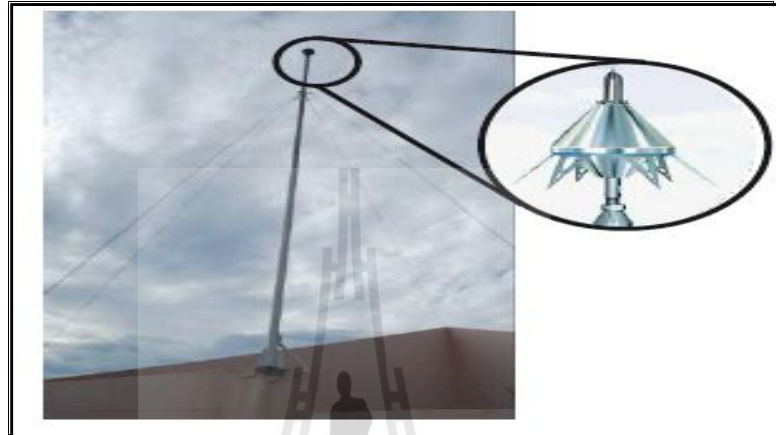




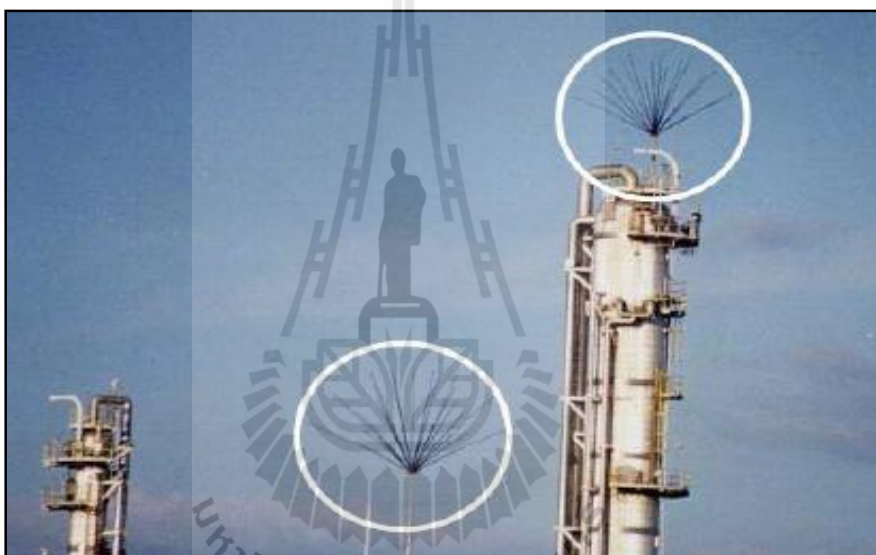
รูปที่ 3.24 การเกิดฟ้าผ่าลงสิ่งก่อสร้างตามหลักการแบบทรงกลมกลิ้ง

กรงฟาราเดย์ เป็นแท่งตัวนำหรือโลหะต่อเชื่อมกันเป็นตาข่าย ล้อมรอบวัตถุหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นผลทำให้เกิดฉนวนไฟฟ้าสถิต การป้องกันโดยใช้กรงฟาราเดย์เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเป็นวิธีตาข่าย โดยทั่วไปอาคารที่มีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กก็เข้าข่ายกรงฟาราเดย์ แต่ความถี่ห่างของโครงเหล็กก็มีผลต่อการป้องกัน มีข้อมูลวิจัยเรื่องการลดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าว่าขนาดช่องตาข่ายของกรงควรมีขนาดเล็กกว่า 1 ใน 8 ของความยาวคลื่น ของสัญญาณกระแสที่เกิดจากฟ้าผ่า จะทำให้การเปลี่ยนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกกรงไม่มีผลต่อสิ่งที่อยู่ในกรงตาข่าย ดังนั้นการใช้กรงฟาราเดย์ขนาดเท่านี้จะปลอดภัยต่ออุปกรณ์ภายในสิ่งปลูกสร้างด้วย ขนาดช่องตาข่ายของกรงฟาราเดย์ เพื่อการป้องกันฟ้าผ่าด้านนอกสิ่งปลูกสร้าง กำหนดจากการใช้ประสบการณ์มากกว่าการคำนวณที่แน่นอน อย่างไรก็ตาม มาตรฐานสากล IEC61024 และมาตรฐานไทย EIT2009-53 ระบุว่า ตาข่ายป้องกันขนาด $5 \times 5 \text{ m}^2$ มีประสิทธิภาพการป้องกันร้อยละ 98 สามารถป้องกันฟ้าผ่าที่มีรัศมีทรงกลมกลิ้ง 20 m ได้ และตาข่ายป้องกันขนาด $15 \times 15 \text{ m}^2$ มีประสิทธิภาพป้องกันร้อยละ 90 สามารถป้องกันฟ้าผ่าที่มีรัศมีทรงกลมกลิ้ง 45 m โครงสร้างกรงฟาราเดย์ตามคำแนะนำในข้างต้น มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงนิยมใช้แท่งแฟรงกลินร่วมด้วย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการป้องกันแต่หากสิ่งก่อสร้างนั้น สร้างจากวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น พลาสติก แต่ไม่หนาหรือมีความเป็นฉนวนดีมากพอฟ้าจะผ่าลงจุดที่ลงดินได้ง่ายที่สุดภายในสิ่งก่อสร้าง (Pusayatanont, 2013)

แท่งล่อฟ้า ESE เป็นแท่งล่อฟ้าแบบเริ่มปล่อยประจุก่อน มีราคาตามท้องตลาดสูงกว่าแท่งแฟรงกลินได้มากถึงกว่าร้อยละ ๓๐ โดยผู้ผลิตอ้างว่าแท่งแฟรงกลิน แต่อย่างไรก็ตามไม่มีข้อมูลหรือทฤษฎีใด ๆ สนับสนุนว่าเป็นเช่นนั้นจริง หลักการทำงานของแท่งเอสอีคือ เมื่อมีล้าประจุจาก







ร่วมของระบบรากสายดินแนวดิ่ง ระยะห่างระหว่างตัวนำลงดินจะแปรผันตามระดับการป้องกันซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระยะเฉลี่ยระหว่างตัวนำลงดินตามระดับการป้องกัน

ระดับการป้องกัน	ระยะเฉลี่ย (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

การเพิ่มจำนวนตัวนำลงดิน หรือเพิ่มขนาดของตัวนำลงดิน จะมีผลทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในอาคารลดลง ซึ่งทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ในอาคารนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนั้นการเพิ่มจำนวนตัวนำลงดินจะช่วยลดระยะปลอดภัยลงได้ การใช้ตัวนำลงดินแบบธรรมชาติ สามารถช่วยเพิ่มเส้นทางที่กระแสฟ้าผ่าไหล มีผลทำให้แรงดันตกคร่อมในตัวนำลงดินและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะไปรบกวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลง อย่างไรก็ตามระบบจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้าที่สมบูรณ์ (สำรวจ สังข์สะอาด, 2547)

3.3.5 ระบบรากสายดิน

ระบบรากสายดินมีหน้าที่ในการกระจายกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดินโดยไม่เกิดอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าเกินหรือแรงดันไฟฟ้าช่วงก้ำว ในการออกแบบระบบรากสายดินรูปร่างและมิติของระบบรากสายดินจะมีความสำคัญมากกว่าค่าความต้านทาน อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานของดินควรมีค่าต่ำ ๆ ในการเลือกชนิดของระบบรากสายดินควรพิจารณาจากคุณสมบัติของพื้นดินบริเวณนั้น ๆ เป็นสำคัญ เช่น ความเสมอกันของดิน ความต้านทานของดินในแต่ละชั้น ระบบน้ำใต้ดิน และค่าความนำของน้ำใต้ดิน ระบบรากสายดินควรจะรวมกันเป็นระบบเดียวกัน แต่ถ้าจำเป็นต้องแยกกันจะต้องทำการเชื่อมให้เป็นระบบเดียวกันด้วยการประสานสัณยภัณฑ์เท่านั้น นอกจากนั้นวัสดุที่นำมาทำเป็นตัวเชื่อมต่อควรจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการผุกร่อน (Corrosion)

3.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่า

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงความเสียหายและความสูญเสีย ส่วนประกอบของความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้าง ความถี่ของการเกิดฟ้าผ่า ความน่าจะเป็นของความเสียหายและความสูญเสียของชีวิตมนุษย์และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าตามลำดับ

3.4.1 ความเสียหายและการสูญเสีย

กระแสฟ้าผ่าเป็นแหล่งกำเนิดพื้นฐานที่ทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งสามารถแยกตามจุดที่ฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างได้ดังต่อไปนี้

- S1 : ฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง (Flash to a structure)
- S2 : ฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง (Flash near a structure)
- S3 : ฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค (Flash to a line connected to the structure)
- S4 : ฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค (Flash near a line connected to structure)

ความเสียหายเนื่องจากฟ้าผ่าอาจจำกัดในส่วนของสิ่งปลูกสร้างหรือแผ่ขยายไปยังสิ่งที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเช่นผลของการเกิดฟ้าผ่าอาจทำให้เกิดระเบิด และการแพร่กระจายของสารอันตราย เช่น วัสดุแก๊สพิษ สารเคมี สารพิษ เชื้อโรคทางชีวเคมี แบคทีเรีย โดยมาตรฐาน IEC ได้แบ่งชนิดของความเสียหายที่เป็นของฟ้าผ่าได้ดังต่อไปนี้

- D1 : การบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต (Injury to living beings by electric shock)
- D2 : ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้าง (Physical damage)
- D3 : ความล้มเหลวระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Failure of electrical and electronic system)

ความเสียหายอาจก่อให้เกิดความสูญเสียแบบต่าง ๆ ซึ่งชนิดของความสูญเสียขึ้นกับคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างดังต่อไปนี้

- L1 : ความสูญเสียชีวิตมนุษย์ (Loss of human life)
- L2 : ความสูญเสียบริการต่อสาธารณะ (Loss of service to the public)
- L3 : ความสูญเสียทางมรดกและวัฒนธรรม (Loss of irreplaceable cultural heritage)
- L4 : ความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ (Loss of economic)

ชนิดของความเสียหายและชนิดของความสูญเสียที่เป็นผลของแหล่งกำเนิดของความเสียหายต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างทางสื่อสารโทรคมนาคมโดยตรง (S3) ซึ่งนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (D3) และนำมาสู่ความสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ (L2) ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แหล่งกำเนิดความเสียหาย ชนิดของความเสียหายและชนิดของความสูญเสียตามจุดไฟฟ้า

จุดไฟฟ้า	แหล่งกำเนิดความเสียหาย	สิ่งปลูกสร้าง	
		ชนิดของความเสียหาย	ชนิดของความสูญเสีย
สัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรง	S1	D1	L1,L4 ²⁾
		D2	L1,L2,L3,L4
		D3	L1 ¹⁾ ,L2,L4
สัมผัสใกล้สิ่งปลูกสร้าง	S2	D3	L1 ¹⁾ ,L2,L4
สัมผัสระบบบริการโดยตรง	S3	D1	L1,L4 ²⁾
		D2	L1,L2,L3,L4
		D3	L1 ¹⁾ ,L2,L4
สัมผัสใกล้ระบบบริการ	S4	D3	L1 ¹⁾ ,L2,L4
¹⁾ สำหรับสิ่งปลูกสร้างที่เสี่ยงต่อการระเบิดหรือโรงพยาบาลหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นที่ทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิต มนุษย์เนื่องจากความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์			
²⁾ สำหรับสถานที่ที่อาจเกิดความเสียหายกับสัตว์			

3.4.2 ความเสี่ยง และองค์ประกอบความเสี่ยง

องค์ประกอบของความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ไฟฟ้าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างแสดงดังรูปที่ 3.28 แบ่งออกได้ 4 ประเภทคือ ไฟฟ้าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรง ไฟฟ้าสัมผัสใกล้สิ่งปลูกสร้าง ไฟฟ้าสัมผัสระบบบริการโดยตรง และไฟฟ้าสัมผัสใกล้ระบบบริการ โดยแต่ละความเสี่ยงคือผลรวมขององค์ประกอบความเสี่ยง ในการคำนวณความเสี่ยงอาจแบ่งกลุ่มองค์ประกอบความเสี่ยงตามแหล่งกำเนิดและชนิดแบบของความเสียหายได้ดังต่อไปนี้

- 1) ไฟฟ้าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรง มีส่วนประกอบความเสี่ยงแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ R_A คือ อาการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้ำวโนย่านภายนอกสิ่งปลูกสร้างไม่เกิน 3 m

R_B คือ ความเสียหายทางกายภาพ เนื่องจากอันตรายภายในสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือระเบิด

R_C คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

2) ฟ้าผ่าสัมผัสใกล้สิ่งปลูกสร้าง มีส่วนประกอบความเสี่ยง คือ

R_M คือ ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์

3) ฟ้าผ่าสัมผัสระบบบริการโดยตรง มีส่วนประกอบความเสี่ยง 3 ส่วน คือ

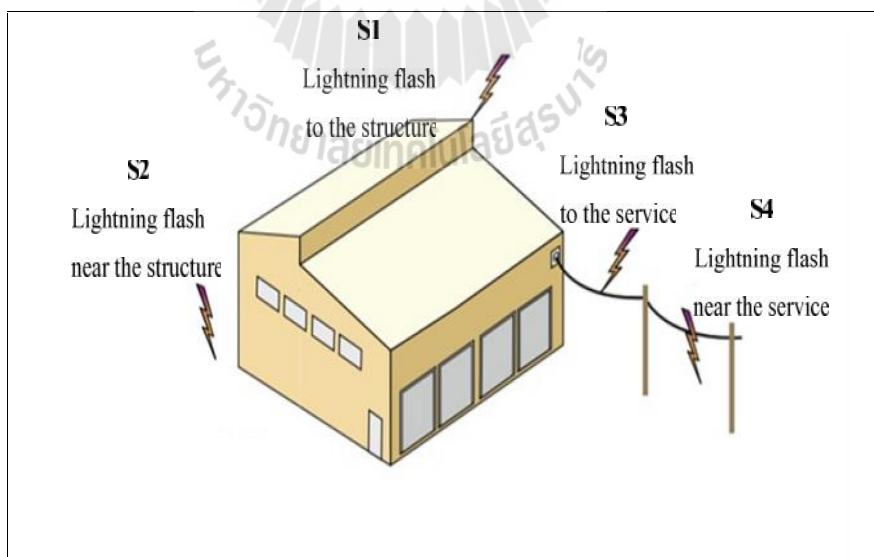
R_U คือ อาการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากแรงดันสัมผัสภายในสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากกระแส ฟ้าผ่าไหลตามสายที่เข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง

R_V คือ ความเสียหายทางกายภาพ เนื่องจากอันตรายภายในสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือระเบิดโดยทั่วไปอยู่ที่จุดทางเข้าของสายเข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง

R_W คือ ความล้มเหลวของระบบภายในที่เกิดจากแรงดันเกินเหนี่ยวนำบนสายที่เข้าสู่สิ่งปลูกสร้างและส่งผ่านเข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง

4) ฟ้าผ่าสัมผัสใกล้ระบบบริการมีส่วนประกอบความเสี่ยงที่เกิดขึ้นคือ

R_Z คือ ความล้มเหลวของระบบภายในที่เกิดจากแรงดันเกินเหนี่ยวนำบนสายที่เข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง และส่งผ่านเข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง



รูปที่ 3.28 องค์ประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่าสัมผัสกับสิ่งปลูกสร้าง
ที่มาของภาพ : มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าจากสิ่งปลูกสร้าง ภาค 2 บริหารความเสี่ยง

โดยแต่ละองค์ประกอบความเสี่ยง R_A R_B R_C R_M R_U R_V R_W และ R_Z ตามลำดับ สามารถแสดงในสมการที่ (3.6) ดังต่อไปนี้

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \quad (3.6)$$

โดยที่ N_x คือ จำนวนเหตุการณ์ความเสียหายต่อปี

P_x คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง

L_x คือ ความสูญเสียที่เกิดขึ้น

โดยค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ ในกรณีวบไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการสูญเสียชีวิตคนหรือการสูญเสียค่าทางสังคมหรือค่าทางวัฒนธรรมแสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T)

ชนิดแบบของการสูญเสีย	การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บถาวร	การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ	การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม
ความเสี่ยงสูงสุด	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}

โดยมาตรฐาน IEC 62305-2 ได้แบ่งส่วนประกอบความเสี่ยงเป็น 4 พื้นที่ความเสี่ยงดังต่อไปนี้ และสามารถคำนวณหาความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากผลรวมความเสี่ยงได้ดังสมการที่ (3.7) สมการที่ (3.8) สมการที่ (3.9) สมการที่ (3.10) และตารางที่ 3.6 ดังนี้

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (3.7)$$

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (3.8)$$

$$R_3 = R_B + R_V \quad (3.9)$$

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (3.10)$$

- โดยที่ R_1 คือ ความเสี่ยงต่อความสูญเสียของชีวิตมนุษย์
 R_2 คือ ความเสี่ยงต่อความสูญเสียของบริการสาธารณะ
 R_3 คือ ความเสี่ยงต่อความสูญเสียทางมรดกและวัฒนธรรม
 R_4 คือ ความเสี่ยงต่อความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 3.6 ค่าของความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับจุดที่ฟ้าผ่าและความเสียหายที่เกิดขึ้น

risk component	Source of damage	Type of damage	Formula
R_A	S1	D1	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$
R_B	S1	D2	$R_B = N_B \cdot P_B \cdot L_B$
R_C	S1	D3	$R_C = N_C \cdot P_C \cdot L_C$
R_M	S2	D3	$R_M = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_M \cdot L_M$
R_U	S3	D1	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$
R_V	S3	D2	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$
R_W	S3	D3	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$
R_Z	S4	D3	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z$

3.4.3 การประเมินจำนวนเหตุการณ์อันตรายรายปี

จำนวนเหตุการณ์อันตรายรายปี เนื่องจากวาบฟ้าผ่าซึ่งมีอิทธิพลต่อโครงสร้างที่ป้องกัน โดยขึ้นอยู่กับเหตุการณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองของพื้นที่นั้น การคำนวณหาจำนวน N ที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป หาได้จากผลคูณของความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน (N_g) กับพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของวัตถุนั้น

$$N_g = 0.1 \times T_d \quad (3.11)$$

หมายเหตุ : ถ้าไม่สามารถหาแผนที่ค่าของ N_g ได้อาจจะประมาณจากสมการที่ (3.11)

โดยที่ T_d คือ วันที่มีพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี

การประเมินจำนวนเหตุการณ์ของการเกิดฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรง (N_D) ในรูปแบบสมการที่ (3.12)

$$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6} \quad (3.12)$$

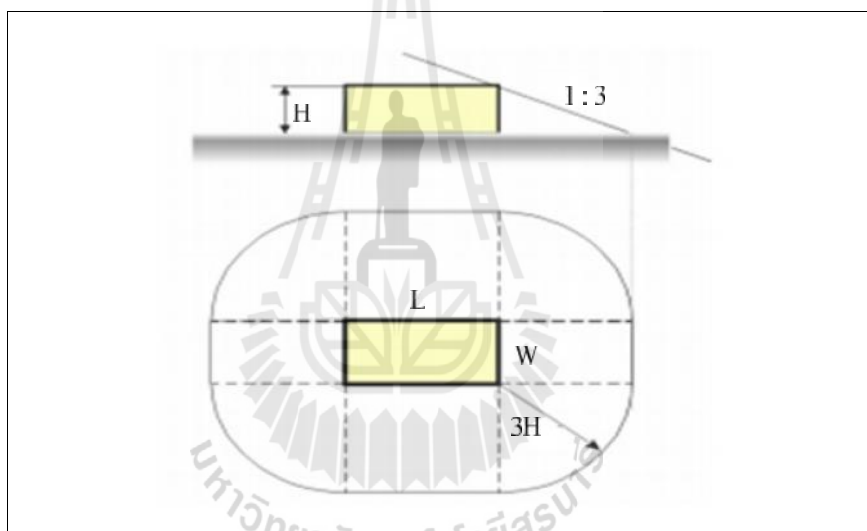
โดยที่ N_g คือ ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน ($1/\text{km}^2/\text{year}$)

A_d คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของการเกิดฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างโดยตรงดังรูปที่ 3.29 (m^2)

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L+W) + 9 \times \pi \times (H)^2 \quad (3.13)$$

โดยที่ L , W และ H คือ ความยาว ความกว้าง และความสูง (m)

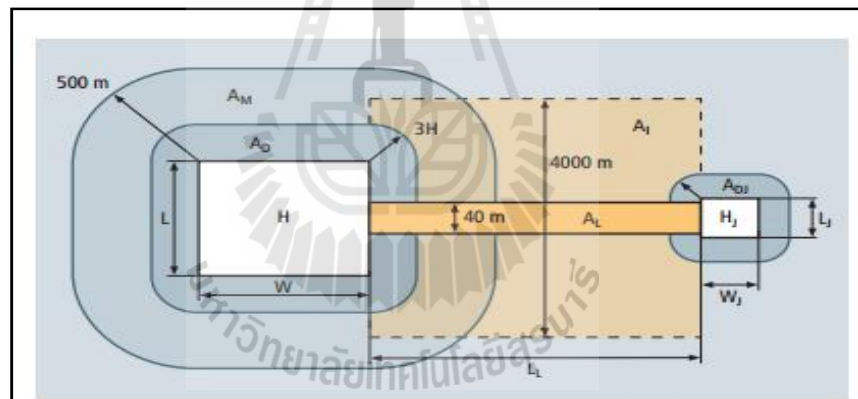
C_d คือ ตัวประกอบสถานที่ตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.29 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล A_d ของการเกิดฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรง
ที่มาของภาพ : มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าจากสิ่งปลูกสร้าง ภาค 2 บริหารความเสี่ยง

ตารางที่ 3.7 ตัวประกอบสถานที่ตั้ง C_d

สถานที่ตั้งที่สัมพันธ์กับสิ่งปลูกสร้าง	C_d
กระจายด้วยสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ที่สูงกว่า	0.25
กระจายตัวด้วยสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ที่สูงเท่ากันหรือต่ำกว่า	0.5
ไม่มีสิ่งปลูกสร้างอื่นอยู่ใกล้เคียงกัน	1
ตั้งอยู่บนยอดเขาหรือล้อมรอบด้วยเนินเขา	2



โดยที่ N_g	คือ	ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน ($1/\text{km}^2/\text{year}$)
C_d	คือ	ตัวประกอบสถานที่ตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.7
A_i	คือ	พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของการเกิดฟ้าผ่าสัมผัสระบบบริการโดยตรง (m^2)
C_t	คือ	ตัวประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.8 พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล A_i และ A_i

พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล	สายไฟขึงอากาศ	สายไฟฝังใต้ดิน
A_i	$6 \times H_C \times (L_C - 3 \times (H_a + H_b))$	$\sqrt{r} \times (L_C - 3 \times (H_a + H_b))$
A_i	$1000 \times L_C$	$25 \times L_C \times \sqrt{r}$

ตารางที่ 3.9 ตัวประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า C_t

หม้อแปลงไฟฟ้า	C_t
มีหม้อแปลง	0.2
ไม่มี	1

การประเมินจำนวนเฉลี่ยรายปีของเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวาบฟ้าผ่าใกล้ระบบบริการโดยตรง (N_i) อาจประเมินได้จากสมการที่ (3.17)

$$N_i = N_g \times A_i \times C_d \times C_t \times 10^{-6} \quad (3.17)$$

โดยที่ N_g	คือ	ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน ($1/\text{km}^2/\text{year}$)
A_i	คือ	พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของการเกิดฟ้าผ่าสัมผัสใกล้ระบบบริการ (m^2) ดังตารางที่ 3.8
C_d	คือ	ตัวประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.9
C_e	คือ	ตัวประกอบสภาพแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตัวประกอบสภาพแวดล้อม C_e

สิ่งแวดลอมที่สัมผัสกับสิ่งปลูกสร้าง	C_e
ลักษณะของเมืองที่สิ่งปลูกสร้างมีความสูงกว่า 20 m	0
ลักษณะของเมืองที่สิ่งปลูกสร้างมีความสูงระหว่าง 10 ถึง 20 m	0.1

ตารางที่ 3.10 ตัวประกอบสภาพแวดล้อม C_e (ต่อ)

สิ่งแวดล้อมที่สัมผัสกับสิ่งปลูกสร้าง	C_e
ลักษณะของชุมชนเมืองที่สิ่งปลูกสร้างมีความสูงน้อยกว่า 10 m	0.5
ชนบท	1

3.4.4 การประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง

ค่าความน่าจะเป็นที่วามฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง ทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดอันตรายต่อแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว ซึ่งเป็นฟังก์ชันของมาตรการป้องกันฟ้าผ่าแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ค่าของความน่าจะเป็น P_A ที่ฟ้าผ่าสัมผัสสิ่งปลูกสร้างโดยตรงจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว

มาตรการป้องกันฟ้าผ่า	P_A
ไม่มีมาตรการป้องกันฟ้าผ่า	1
การฉนวนทางไฟฟ้าของระบบตัวนำลงดิน (คลอสต์ลิงก์พอลิเอทิลีนหนา 3 mm)	10^{-2}
การประสานศักย์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ	10^{-2}
การทำป้ายเตือน	10^{-1}

ตารางที่ 3.12 ค่า P_B ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันฟ้าผ่าเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ

คุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง	ระดับการป้องกันฟ้าผ่า (LPL)	P_B
ไม่มีมาตรการป้องกันฟ้าผ่า	-	1
มีระบบป้องกันฟ้าผ่าที่สมบูรณ์	IV	0.2
	III	0.1
	II	0.05
ไม่มีมาตรการป้องกันฟ้าผ่า	I	0.02

ตารางที่ 3.12 ค่า P_B ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันฟ้าผ่าเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ (ต่อ)

คุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง	ระดับการป้องกันฟ้าผ่า (LPL)	P_B
สิ่งปลูกสร้างที่มีระบบตัวนำล่อฟ้าด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับ 1 และมีโครงสร้างโลหะที่ต่อเนื่องหรือโครงสร้างของคอนกรีตเสริมแรงทำหน้าที่เป็นระบบตัวนำลงดินโดยธรรมชาติ		0.01
สิ่งปลูกสร้างที่มีหลังคาโลหะหรือมีระบบตัวนำล่อฟ้า ซึ่งอาจรวมถึงองค์ประกอบโดยธรรมชาติ โดยมาตรการป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงลงสิ่งที่ยึดตั้งใด ๆ บนหลังคาอย่างสมบูรณ์ และมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้ามีลักษณะเป็นคอนกรีตเสริมแรง		0.001

โดยที่ P_C คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายของการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของการประสานสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ป้องกันเสร็จ

ตารางที่ 3.13 ค่าความน่าจะเป็น P_C ขึ้นกับระดับป้องกันฟ้าผ่าที่อุปกรณ์ป้องกันเสร็จได้ออกแบบไว้

ระดับการป้องกันฟ้าผ่า	P_C
ไม่มีการป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเสร็จที่มีการประสานสัมพันธ์	1
III - IV	0.03
II	0.02
I	0.01

โดย P_M คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายของการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยผลของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นฟังก์ชันของมาตรการป้องกันฟ้าผ่าที่ขึ้นกับตัวแปร K_{MS} ดังแสดงในสมการที่ (3.18) และตารางที่ 3.15

$$K_{MS} = K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4} \quad (3.18)$$

โดยที่ K_{S1} คือ ลักษณะของระบบป้องกันฟ้าผ่าสมบูรณ์หรือการชีลด์บริเวณรอยต่อของย่านการป้องกันฟ้าผ่า LPZO/1 ดังแสดงในสมการที่ (3.19)

K_{S2} คือ ลักษณะของการชีลด์บริเวณภายในสิ่งปลูกสร้างบริเวณรอยต่อของย่านการป้องกันฟ้าผ่า LPZ X/Y ($X>0$, $Y>1$) ดังแสดงในสมการที่ (3.19)

K_{S3} คือ ลักษณะของการเดินสายภายในดังแสดงในตารางที่ 3.14

K_{S4} คือ ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของระบบที่จะป้องกันดังแสดงในสมการที่ (3.20)

$$K_{S1} = K_{S2} = 0.12 \times W \quad (3.19)$$

$$K_{S4} = 1.5/U_w \quad (3.20)$$

โดยที่ W คือ ความกว้างของตาดำย (m)

U_w คือ ค่าพิคแรงดันอิมพัลส์ของระบบที่จะป้องกัน (kV)

ตารางที่ 3.14 ค่าของตัวแปร K_{S3} จะขึ้นอยู่กับลักษณะการเดินสายภายใน

ชนิดของการเดินสายภายใน	K_{S3}
เคเบิลไม่มีชีลด์ที่ไม่มีการใช้แนวเดินสายที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นที่วงปิด (ขนาดพื้นที่วงปิด 50 m ²)	1
เคเบิลไม่มีชีลด์ที่มีการใช้แนวเดินสายที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นที่วงปิด (ขนาดพื้นที่วงปิด 10 m ²)	0.2
เคเบิลไม่มีชีลด์ที่มีการใช้แนวเดินสายที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นที่วงปิด (ขนาดพื้นที่วงปิด 0.5 m ²)	0.02
เคเบิลที่มีชีลด์ โดยมีความต้านทานชีลด์ $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$	0.001
เคเบิลที่มีชีลด์ โดยมีความต้านทานชีลด์ $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$	0.0002
เคเบิลที่มีชีลด์ โดยมีความต้านทานชีลด์ $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$	0.0001

ตารางที่ 3.15 ค่าของความน่าจะเป็น P_M เป็นฟังก์ชันของตัวแปร K_{MS}

K_{MS}	P_M
≥ 0.4	1
0.15	0.9
0.07	0.5
0.035	0.1
0.021	0.01
0.016	0.005
0.015	0.003
0.014	0.001
≤ 0.13	0.0001

ความน่าจะเป็นของความเสียหายด้วยผลของฟ้าผ่าสัมผัสระบบบริการโดยตรง

โดยที่ P_U คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายลงระบบบริการจะทำให้เกิดการบาดเจ็บสิ่งมีชีวิต
 P_V คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายลงระบบบริการจะทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ
 P_W คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายลงระบบบริการจะทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน

เมื่ออุปกรณ์ไม่มีการประสานให้ศักย์เท่ากันตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าถือว่า ค่า P_U, P_V และ P_W มีค่าเท่ากับ P_{LD} โดยที่ P_{LD} คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวของระบบภายในเนื่องจากวابلฟ้าลงระบบบริการที่ต่ออยู่ ค่า P_{LD} แสดงไว้ในตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 ค่าของความน่าจะเป็น P_{LD} ขึ้นอยู่กับความต้านทานชิลด์ R_s และความคงทนแรงดันอิมพัลส์ U_w

U_w (kV)	$5 < R_s \leq 20$ (Ω/km)	$1 < R_s \leq 20$ (Ω/km)	$R_s \leq 1$ (Ω/km)
1.5	1	0.8	0.4
2.5	0.95	0.6	0.2

ตารางที่ 3.16 ค่าของความน่าจะเป็น P_{LD} ขึ้นอยู่กับความต้านทานซีลด์ R_s และความคงทนแรงดันอิมพัลส์ U_w (ต่อ)

U_w (kV)	$5 < R_s \leq 20$ (Ω/km)	$1 < R_s \leq 20$ (Ω/km)	$R_s \leq 1$ (Ω/km)
4	0.9	0.3	0.04
6	0.8	0.1	0.02
ค่าความต้านทานซีลด์ R_s (Ω/km)			

ความน่าจะเป็นของความเสียหายด้วยผลของฟ้าผ่าสัมผัสใกล้ระบบบริการ โดยที่ P_z คือ ความน่าจะเป็นของความเสียหายของการล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของระบบภายใน P_{LI} ดังนั้นควรมีการเปรียบเทียบกับการประสานสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ป้องกันเสร็จคือ $P_{LI} \leq P_{SPD}$

ตารางที่ 3.17 ค่าของความน่าจะเป็น P_{LI} ขึ้นอยู่กับความต้านทานซีลด์ R_s และความคงทนแรงดันอิมพัลส์ U_w

U_w	ไม่มีการซีลด์สาย	มีการซีลด์สายซึ่ง บริภัณฑ์ไม่ได้ถูกต่อ ที่แท่งตัวนำประธาน เดียวกัน	มีการซีลด์สายซึ่งบริภัณฑ์ถูกต่อกับแท่งตัวนำประธาน เดียวกัน		
			$5 < R_s \leq 20$ (Ω/km)	$1 < R_s \leq 20$ (Ω/km)	$R_s \leq 1$ (Ω/km)
1.5	1	0.5	0.15	0.04	0.02
2.5	0.4	0.2	0.06	0.02	0.008
4	0.2	0.1	0.03	0.008	0.004
6	0.1	0.05	0.02	0.004	0.002
ค่าความต้านทานซีลด์ R_s (Ω/km)					

3.4.5 การประเมินปริมาณความสูญเสีย L_x ในสิ่งปลูกสร้าง

ความสูญเสีย L_x คือ ปริมาณสัมพัทธ์เฉลี่ยของชนิดแบบเฉพาะของความเสียหายซึ่งอาจเกิดจากวาบฟ้าผ่า โดยคำนึงถึงขอบเขตและผลที่เกิดขึ้น การสูญเสีย L_x เปลี่ยนแปลงตามชนิดแบบของการสูญเสีย ($L1$, $L2$, $L3$ และ $L4$) ที่พิจารณาและสำหรับการสูญเสียแต่ละชนิดแบบ

ขึ้นอยู่กับชนิดแบบของความเสียหาย (D1 D2 และ D3) ที่ทำให้เกิดการสูญเสีย โดยใช้สัญลักษณ์ต่อไปนี้

L_t คือ การสูญเสียเนื่องจากการบาดเจ็บจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว

L_f คือ การสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ

L_o คือ การสูญเสียเนื่องจากความล้มเหลวของระบบภายในการสูญเสียของชีวิตมนุษย์

ค่าของการสูญเสีย L_t L_f และ L_o อาจกำหนดในรูปของจำนวนสัมพัทธ์ของผู้เคราะห์ร้ายโดยมีความสัมพันธ์จากสมการที่ (3.21) ดังนี้

$$L_x = (n_p / n_t) \times (t_p / 8760) \quad (3.21)$$

โดยที่ n_p คือ จำนวนคนที่มีโอกาสได้รับอันตราย

n_t คือ จำนวนคนทั้งหมดที่คาดว่าจะอยู่ในสิ่งปลูกสร้าง

t_p คือ ช่วงเวลาของการสูญเสียชีวิตรายปี

โดยตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ L_t L_f และ L_o เมื่อการหาค่า n_p n_t และ t_p มีความไม่แน่นอนหรือหาได้ยาก แสดงไว้ในตารางที่ 3.18 ตารางที่ 3.19 และ ตารางที่ 3.20 ดังนี้

ตารางที่ 3.18 ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวอย่างของ L_t

ชนิดของสิ่งปลูกสร้าง	L_t
สิ่งปลูกสร้างที่มีคนอยู่ภายใน	10^{-4}
สิ่งปลูกสร้างที่มีคนอยู่ภายนอก	10^{-2}

ตารางที่ 3.19 ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวอย่างของ L_f

ชนิดของสิ่งปลูกสร้าง	L_f
โรงพยาบาล โรงแรม อาคารพลเรือน	10^{-1}
โรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ โรงเรียน	5×10^{-2}
สถานบันเทิงสาธารณะ โบสถ์ พิพิธภัณฑ์	2×10^{-2}
อื่น ๆ	10^{-2}

ตารางที่ 3.20 ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวอย่างของ L_o

ชนิดของสิ่งปลูกสร้าง	L_t
สิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด	10^{-1}
โรงพยาบาล	10^{-3}

การสูญเสียชีวิตมนุษย์ได้รับผลจากคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างซึ่งนำมาพิจารณาโดยใช้ตัวประกอบเพิ่มการสูญเสียเนื่องจากอันตรายพิเศษ และค่าตัวประกอบลดการสูญเสียชนิดต่าง ๆ ดังนี้

$$L_A = r_a \times L_t \quad (3.22)$$

$$L_U = r_u \times L_t \quad (3.23)$$

$$L_B = L_V = r_p \times h_z \times r_f \times L_t \quad (3.24)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \quad (3.25)$$

โดย r_a คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียของชีวิตมนุษย์ขึ้นกับชนิดของดินดังแสดงในตารางที่ 3.21

r_u คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียของชีวิตมนุษย์ ขึ้นกับชนิดของพื้นดังแสดงในตารางที่ 3.21

r_p คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับการเตรียมการลดผลจากเพลิงไหม้ดังแสดงในตารางที่ 3.22

r_f คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ของสิ่งปลูกสร้างดังแสดงในตารางที่ 3.23

h_z คือ ตัวประกอบเพิ่มการสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพเมื่อมีอันตรายพิเศษดังตารางที่ 3.24

ตารางที่ 3.21 ค่าของตัวประกอบลด r_a และ r_u ตามชนิดของผิวดินและพื้น

ชนิดของพื้นผิว	r_a และ r_u
เกษตรกรรม คอนกรีต	10^{-2}
หินอ่อน เซรามิก	10^{-3}

ตารางที่ 3.21 ค่าของตัวประกอบลด r_a และ r_u ตามชนิดของผิวดินและพื้น (ต่อ)

ชนิดของพื้นผิว	r_a และ r_u
กรวด พรม ฟ้าหนา	10^{-4}
ยางมะตอย ไม้ เลื่อนน้ำมัน	10^{-5}

ตารางที่ 3.22 ค่าของตัวประกอบลด r_p ตามการเตรียมการเพื่อลดที่ตามมาจากการเกิดเพลิงไหม้

การเตรียมการ	r_p
ไม่มีการเตรียมการ	1
มีการเตรียมการเช่นเครื่องดับเพลิง การติดตั้งสัญญาณเตือน ทางหนีไฟ มีการแบ่งพื้นที่อาคารออกเป็นส่วนใหญ่ด้วยวัสดุทนไฟเพื่อป้องกันไฟลุกลาม	0.5
มีการเตรียมการเช่นการติดตั้งระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติ สัญญาณเตือนแบบอัตโนมัติ	0.2

ตารางที่ 3.23 ค่าของตัวประกอบลด r_f ตามความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ของสิ่งปลูกสร้าง

ความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้	r_f
ระเบิด	1
สูง	10^{-1}
ปานกลาง	10^{-2}
ต่ำ	10^{-3}
ไม่มี	0

ตารางที่ 3.24 ค่าของตัวประกอบ h_z ที่เพิ่มปริมาณการสูญเสียสัมพัทธ์เมื่อมีอันตรายพิเศษ

ชนิดอันตรายพิเศษ	h_z
ไม่มีอันตรายพิเศษ	1
ความถี่ตื้นทรหกระดับต่ำ	2
ความถี่ตื้นทรหกระดับปานกลาง	5
บริเวณที่การอพยพลำบาก	5
ความถี่ตื้นทรหกระดับสูง	10

ตารางที่ 3.24 ค่าของตัวประกอบ h_z ที่เพิ่มปริมาณการสูญเสียสัมพัทธ์เมื่อมีอันตรายพิเศษ (ต่อ)

ชนิดอันตรายพิเศษ	h_z
อันตรายต่อพื้นที่โดยรอบหรือสิ่งแวดล้อม	20
การปนเปื้อนต่อพื้นที่โดยรอบหรือสิ่งแวดล้อม	50

การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะที่ยอมรับไม่ได้ ค่าของการสูญเสีย L_f และ L_o สามารถกำหนดในรูปของปริมาณการสูญเสียที่เป็นไปได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$L_x = (n_p / n_t) \times (t_p / 8760) \quad (3.26)$$

โดยที่ n_p คือ จำนวนคนที่มีโอกาสได้รับอันตราย

n_t คือ จำนวนคนทั้งหมด

t_p คือ ช่วงเวลาของการสูญเสียการบริการรายปี

การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะได้รับผลกระทบจากคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างและใช้ตัวประกอบลด (r_p) ดังต่อไปนี้ โดยตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ L_f และ L_o เมื่อการกำหนดค่า n_p , n_t และ t_p แสดงไว้ในตารางที่ 3.25

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_f \quad (3.27)$$

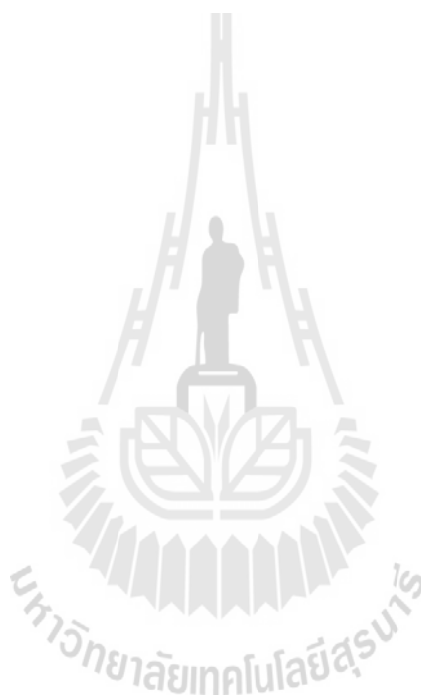
$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \quad (3.28)$$

ตารางที่ 3.25 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ L_f และ L_o

ชนิดของระบบสาธารณูปโภค	L_f	L_o
ก๊าซ น้ำประปา	10^{-1}	10^{-2}
โทรศัพท์ โทรคมนาคม ไฟฟ้า	10^{-2}	10^{-3}

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเกิดฟ้าผ่าและการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่า หลักการมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วิธีการตัดสินใจจำเป็นของมาตรการป้องกัน โดยได้กล่าวเฉพาะส่วนที่จะนำมาใช้หรือส่วนที่จะถูกกล่าวอ้างถึงในบทต่อ ๆ ไป ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้แก่ผู้ดำเนินงานวิจัย



บทที่ 4

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของระบบรถไฟฟ้าสายลึ่ม่วง

4.1 บทนำ

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยออกแบบการประเมินความเสี่ยงในการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของระบบรถไฟฟ้าสายลึ่ม่วงนั้น จะยึดตามมาตรฐานของ IEC 62305-2 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ยอมรับและแพร่หลายทั่วโลก การออกแบบโปรแกรมจะเน้นความสะดวกในการป้อนข้อมูลต่าง ๆ และการแสดงผลในรูปแบบของตารางข้อมูลซึ่งจะใช้โปรแกรม Visual Basic ในการพัฒนาโปรแกรม สำหรับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษานี้ ถือเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตัวหนึ่ง โดยจะนำโปรแกรมที่ได้ออกแบบมานั้น ตรวจสอบความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นตามที่โครงการรถไฟฟ้าได้ก่อสร้างมาก่อนหน้านั้น โดยจะทำการประเมินความเสี่ยงในการป้องกันฟ้าผ่า เพื่อสะดวกต่อการทดสอบแบบจำลอง

4.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เป็นภาษาโปรแกรม Graphical User Interface (GUI) จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของโปรแกรมคือ สามารถนำโปรแกรมมาประยุกต์หลาย ๆ โปรแกรมรวมกันในโปรแกรมเดียว และยังสามารถประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กของโปรแกรมได้อีกด้วย

การออกแบบโปรแกรมสำหรับการป้องกันระบบป้องกันฟ้าผ่า ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของหน้าจอการทำงาน ส่วนของคุณลักษณะของอาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยผู้ใช้งานจะต้องทำการป้อนข้อมูลเพื่อระบุขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง ของอาคารจากผู้ใช้งาน โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่รับฟ้าผ่าของระบบบริการโดยแสดงในรูปที่ 4.1 หลังจากโปรแกรมได้ทำการคำนวณค่าที่ระบุไว้จากผู้ใช้งานแล้ว ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเกิดฟ้าผ่าของแต่ละจังหวัด แต่ละพื้นที่ในประเทศไทยโดยค่าของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นจะแสดงข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล

Collection area of structure and line

Length (m)

Width (m)

Height (m)

Calculate

Reset

Ad (m2)

Am (m2)

Power line

NL_p (m2)

NL_t (m2)

Telecom line

NL_p (m2)

NL_t (m2)

Number of person in the zone (Np)

Total number of person (Nt)

Time in hour per year (Tz)

Note :

Ad is the collection area of the structure (m2)

Am is the collection area of flashes striking near the structure (m2)

Ai is the collection area of flashes striking the line (m2)

Ag is the collection area of flashes to ground near the line (m2)

open Next

รูปที่ 4.1 ส่วนของหน้าต่างสำหรับพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและระบบบริการ

โดยในส่วนของคุณลักษณะรูปแบบอาคารและสิ่งปลูกสร้าง และคุณลักษณะเฉพาะของสิ่งปลูกสร้าง ที่ได้รับการฟ้าผ่าจะทำการเลือกจากลักษณะรูปแบบอาคารนั้นว่ามีลักษณะอาคารเป็นอย่างไร แสดงในรูปที่ 4.2

Parameter setting for assessment

Structure and Environment

Location factor (Cd)

Line type factor (Ct)

Line environmental factor (Ce)

Line installation factor (Ci)

Assessment of average annual number of dangerous events

Lightning flash per year (Td)

Lightning ground flash density (Ng)

Expect annual number of dangerous events

Structure

Nd

Nm

Power line

NL_p

NL_t

Telecom line

NL_p

NL_t

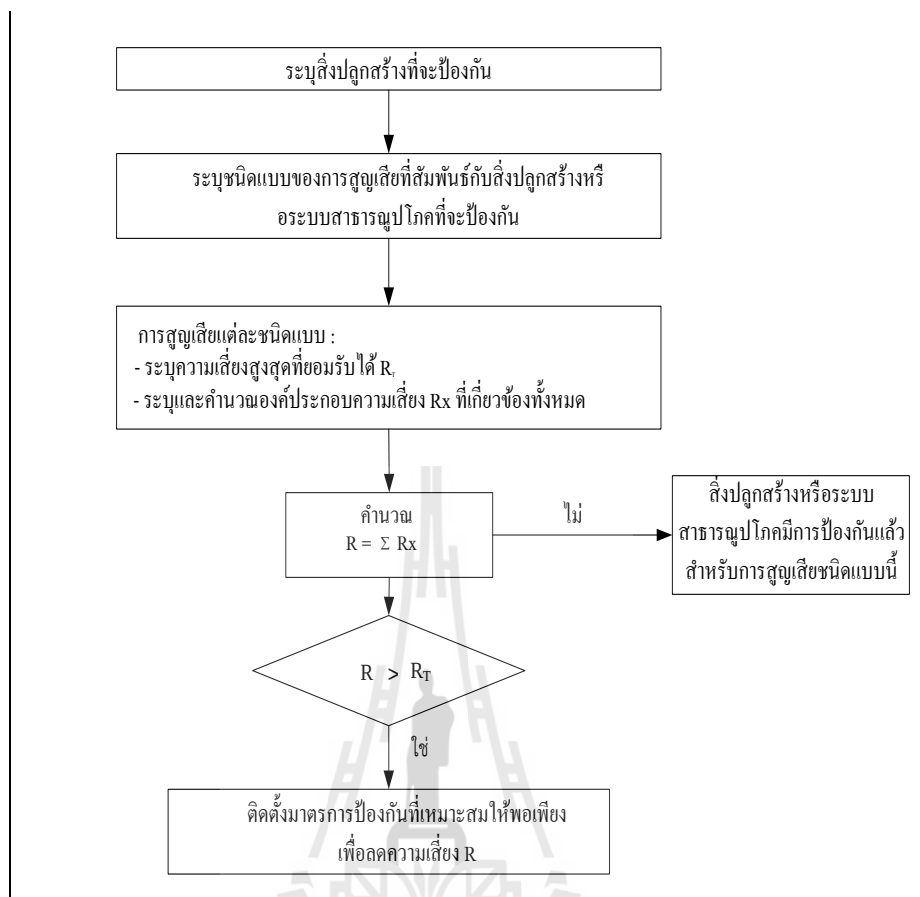
Calculate Next

รูปที่ 4.2 ส่วนของหน้าต่างคุณลักษณะของอาคารและสิ่งปลูกสร้าง

หลังจากระบุค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากผู้ใช้งานแล้ว โปรแกรมจะคำนวณหาค่าขององค์ประกอบความเสี่ยงที่เกิดขึ้นตามชนิดของการสูญเสียในแต่ละชนิด (ความเสี่ยงของการสูญเสียของชีวิตมนุษย์ ความเสี่ยงของระบบบริการสาธารณะ ความเสี่ยงของการสูญเสียทางมรดก วัฒนธรรม และความเสี่ยงด้านเศรษฐกิจ) โดยโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบจะประเมินเปรียบเทียบกับค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ แสดงในรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 หน้าจอแสดงผลการประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

โดยพิจารณาในการประเมินค่าความจำเป็นของการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับวัตถุใด ๆ นั้น เริ่มจากการตรวจสอบส่วนประกอบความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากผลของฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง เพื่อประเมินค่าของความเสี่ยง R สำหรับการสูญเสียแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบความเสี่ยง R_1 ความเสี่ยง R_2 ความเสี่ยง R_3 และ ความเสี่ยง R_4 ตามลำดับ กับความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ ถ้าเกินจะต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่สมบูรณ์โดยประกอบด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกและระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน สำหรับวิธีการประเมินค่าความจำเป็นสำหรับมาตรการการป้องกันนั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วิธีการตัดสินใจจำเป็นของมาตรการป้องกัน

4.3 แบบจำลองรูปแบบโครงสร้างอาคารภายนอกสำหรับรถไฟฟ้าสายสีม่วง

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่สำคัญของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ) มีสถานีทั้งหมด 16 สถานีโดยใช้รถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Heavy Rail) เป็นทางวิ่งยกระดับตลอดสาย ระยะทางประมาณ 23 km จะแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยมีระยะห่างระหว่างสถานีประมาณ 1.5 km ชั้นชานชาลา ยาว 200-250 m และกว้าง 20 m ความสูงจากพื้นถนนถึงหลังคาชานชาลาประมาณ 26 m ความกว้างของทางวิ่ง 10-20 m ความสูงจากพื้นถนนถึงเพดานของทางวิ่ง 17-19 m แสดงดังรูปที่ 4.6

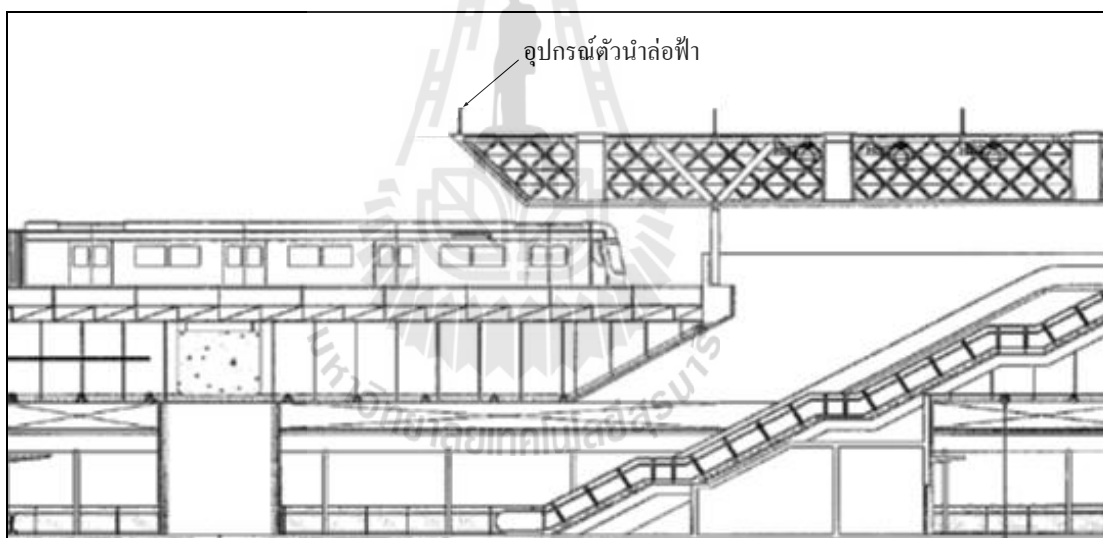


รูปที่ 4.5 เส้นทางการเดินทางรถไฟฟ้าของรถไฟฟ้าสายสีม่วง
ที่มาของภาพ : <http://pr-cr-mrta.blogspot.com/2013/08/blog-post.html>



รูปที่ 4.6 ลักษณะโครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง
ที่มาของภาพ : <http://www.mrta-purpleline.com>

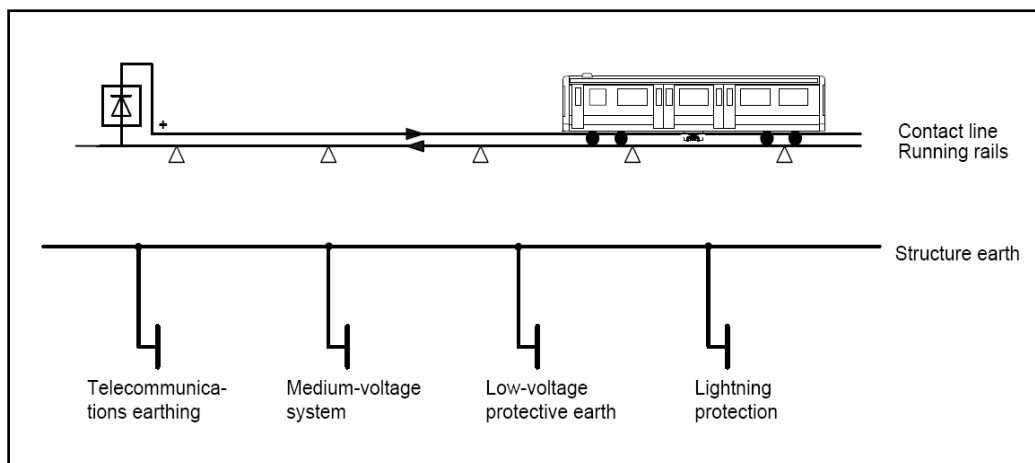
โดยระบบการจ่ายไฟจะรับไฟจากการไฟฟ้านครหลวงจาก 2 แหล่ง คือ จากสถานีไฟฟ้า
โทรนอยที่ระดับแรงดัน 115 kV และสถานีไฟฟ้าพระนครเหนือที่ระดับแรงดัน 69 kV โดยสถานี
ไฟฟ้าจะอยู่ที่ศูนย์ซ่อมบำรุง และลดระดับแรงดันลงมาเป็น 24 kV สองแหล่งจ่ายนี้จะวางสายเดิน
ตลอดแนวสายทางของรถไฟฟ้าเพื่อควมมีเสถียรภาพของระบบและยังมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง
กำลังขับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อสนับสนุนระบบอีกส่วนหนึ่ง เมื่อกระแสไฟฟ้า 24 kV ถึงแต่ละสถานี
จะถูกแยกใช้สำหรับงานบริการอาคาร และสำหรับงานขับเคลื่อนรถไฟฟ้าโดยใช้แรงดัน 750 VDC
ในส่วนงานบริการอาคารแรงดันจะถูกแปลงที่ 380 V เพื่อเข้าสู่ MDB และต่อใช้งานต่อไป
โดยระบบป้องกันฟ้าภายนอกนั้น สถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับนั้นจะประกอบ
ไปด้วยอุปกรณ์ตัวนำล่อฟ้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 16 mm ยาว 0.6 m ติดตั้งบนหลังคาเชื่อม
ด้วยสายทองแดงขนาด 50 mm² แสดงดังรูปที่ 4.7 เดินสายลงไปโครงสร้างของชั้นชานชาลา
ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร และชั้นกราวด์ ก่อนเชื่อมต่อแท่งกราวด์เดี่ยวฝังลึกลงไปในดิน



รูปที่ 4.7 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

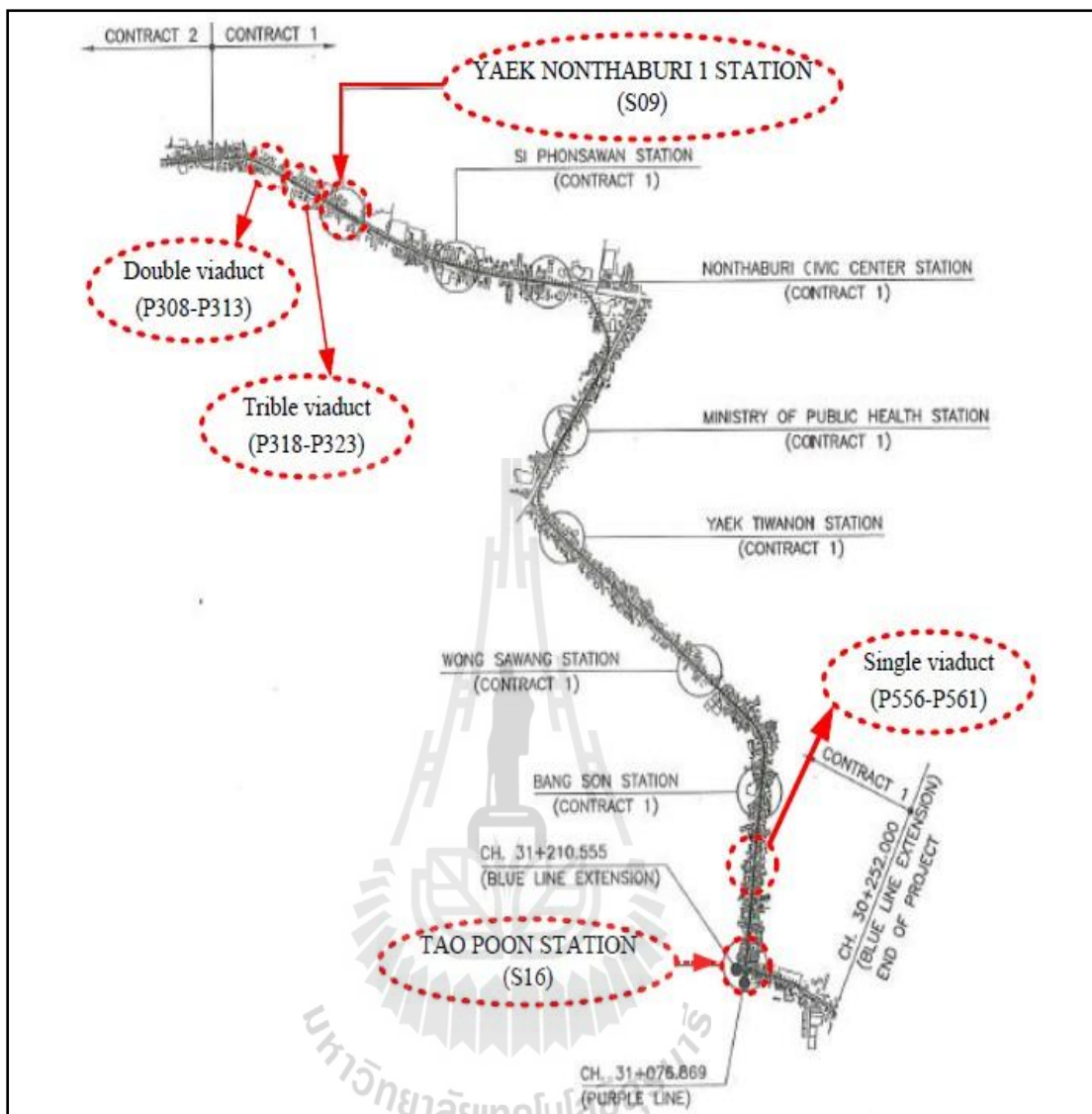
ที่มาของภาพ : <http://www.mrta-purpleline.com>

สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในบริเวณรางรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับนั้น
จะประกอบไปด้วยระบบต่อลงดิน อยู่บริเวณขอบบนของแผงกั้นด้านข้างรางรถไฟฟ้า โดยแต่ละ
ตำแหน่งห่างกันไม่เกิน 100 m เชื่อมต่อด้วยสายตัวนำลงดิน ซึ่งต่อถึงกันระหว่างสองสถานี และ
เชื่อมสายตัวนำลงดินเข้ากับเหล็กเส้นในโครงสร้างทางวิ่งรถไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในบริเวณรางรถไฟ

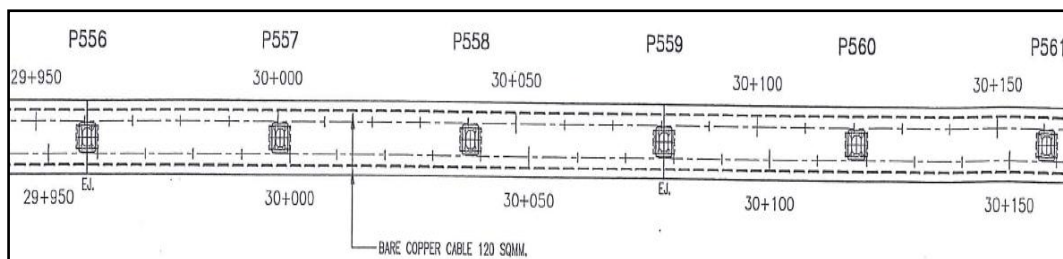
โดยการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกของระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วง ส่วนนี้พัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic โดยจะทดสอบกับระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วงโดยข้อมูลในการทดสอบนี้ จะนำเสนอการทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วงได้แก่ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่ โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง ของระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วง โดยโครงสร้างแบบจำลองของรถไฟฟ้าสายสีม่วงและตำแหน่งที่ตั้งจะแสดงในรูปที่ 4.9



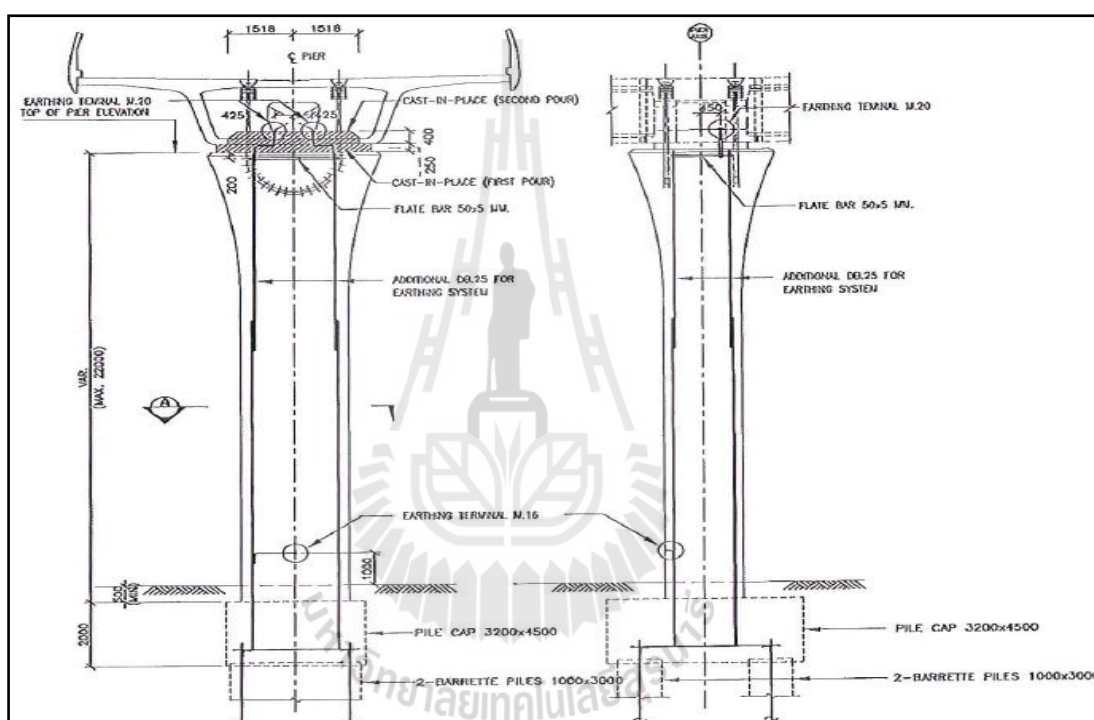
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของสถานีผู้โดยสาร S09 - S16 ที่ระบุชนิดของโครงสร้างยกระดับ
ที่มาของภาพ : <http://www.mrta-purpleline.com>

4.3.1 โครงสร้างยกระดับแบบทางเดียว

โครงสร้างยกระดับแบบทางเดียว รูปแบบโครงสร้างของทางวิ่งของรถไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นทางยกระดับ เป็นชนิดแบบเสาเดี่ยว ตำแหน่งที่ตั้งในการทดสอบของโครงสร้างยกระดับแบบทางเดียว ตั้งแต่ P556 – P561 แสดงในรูปที่ 4.10 โดยตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำลงดินของเสา และระบบป้องกันฟ้าผ่าที่อยู่ตำแหน่งด้านบนของโครงสร้างยกระดับนั้นจะแสดงในรูปที่ 4.11 เพื่อนำมาพิจารณาวิเคราะห์ในการประเมินระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสำหรับระบบอาคารภายนอกของรถไฟฟ้า



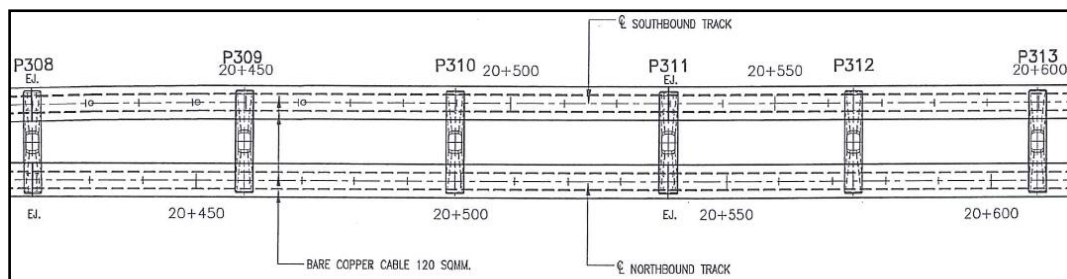
รูปที่ 4.10 ตำแหน่งและที่ตั้งของโครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว



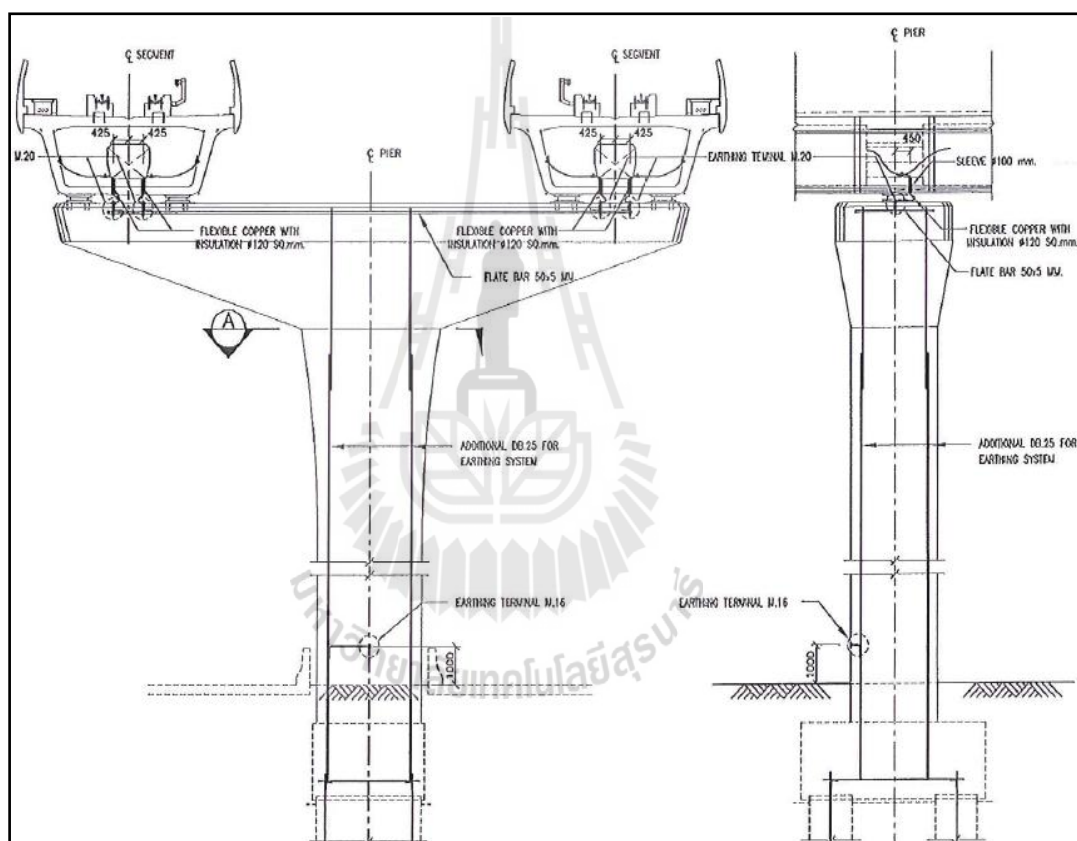
รูปที่ 4.11 โครงสร้างการต่อลงดินและการเชื่อมสำหรับโครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว

4.3.2 โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่

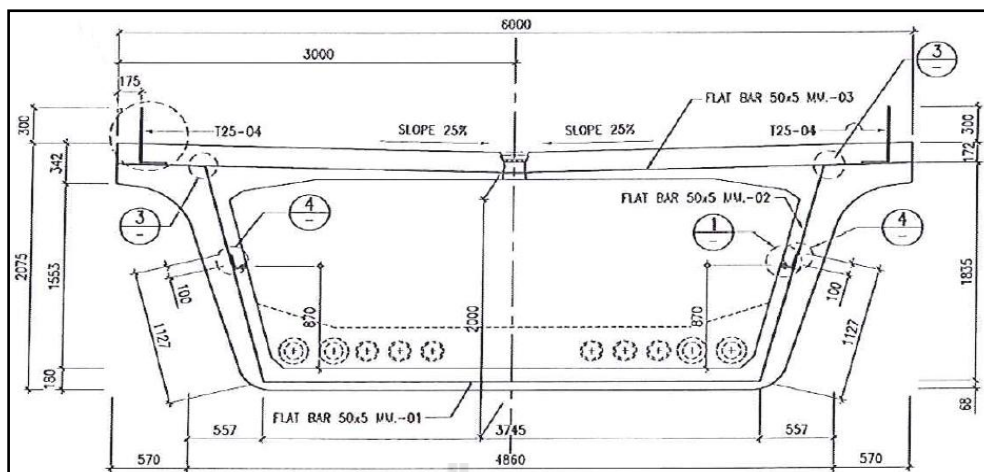
โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่ รูปแบบโครงสร้างทางทางวิ่งของรถไฟฟ้ามหานครมีลักษณะเป็นทางยกระดับชนิดคู่แบบเสาเดี่ยว ตำแหน่งที่ตั้งในการทดสอบของโครงสร้างยกระดับแบบทางคู่ ตั้งแต่ P308 – P313 แสดงในรูปที่ 4.12 โดยรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการประเมินทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าแสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งและที่ตั้งของโครงสร้างยกระดับแบบทางคู่



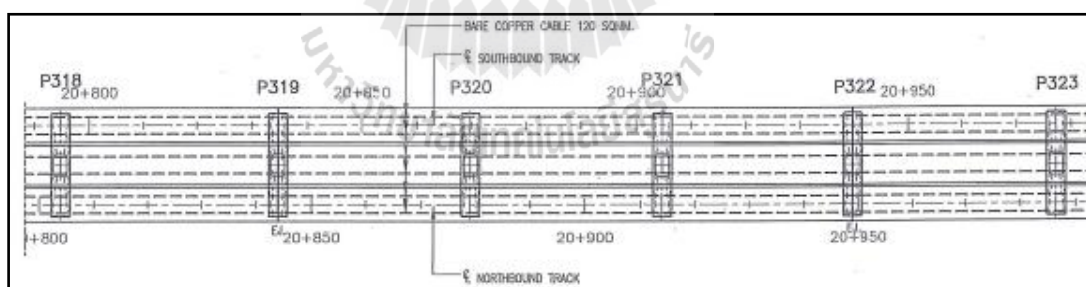
รูปที่ 4.13 โครงสร้างการต่อลงดินและการเชื่อมสำหรับโครงสร้างยกระดับแบบทางคู่



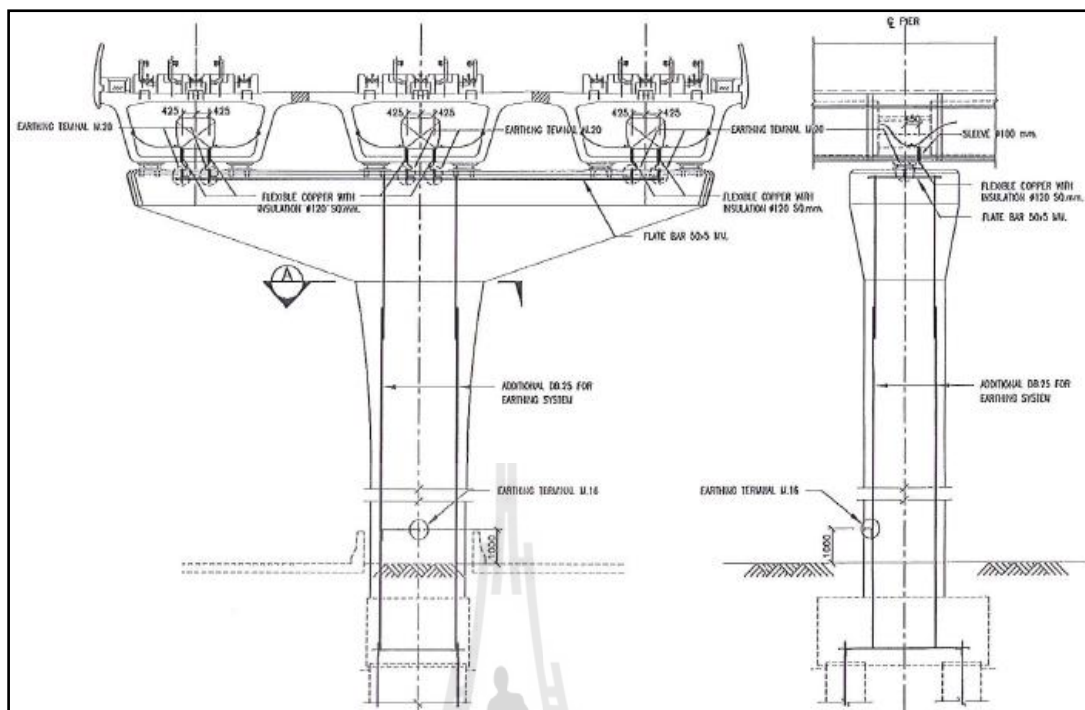
รูปที่ 4.14 โครงสร้างการต่อลงดินของโครงสร้างยกระดับแบบทางคู่

4.3.3 โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง

โครงสร้างที่ใช้ในการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของระบบรถไฟฟ้ากระแสตรงขนส่งมวลชน รูปแบบของโครงสร้างยกระดับแบบสามทาง จะมีทางยกระดับ เป็นแบบ 3 รางตั้งอยู่บนเสาเดี่ยว ตำแหน่งที่ติดตั้งในการทดสอบตั้งแต่ P318 - P323 โดยรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการประเมินทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าแสดงในรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งและที่ตั้งของโครงสร้างยกระดับแบบสามทาง



รูปที่ 4.16 โครงสร้างการต่อลงดินและการเชื่อมสำหรับโครงสร้างกระดับแบบสามทาง

4.3.4 สถานีผู้โดยสาร

การกำหนดตำแหน่งสถานีรถไฟฟ้านั้น จะคำนึงถึงการขยายตัวของเมืองในอนาคต ซึ่งได้พิจารณาในรายละเอียดถึงการใช้ที่ดิน ซึ่งสะท้อนถึงจำนวนผู้โดยสารของแต่ละสถานี ในขอบเขตครอบคลุมของสถานี (Catchment Area) สถานีรถไฟฟ้านั้นในโครงการของการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทยนั้น ได้รับการออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 101 และ NFPA 130 ที่เน้นในเรื่องความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ความสะดวกสบายของผู้โดยสาร ผู้สัญจรไปมา ผู้อยู่อาศัยบริเวณสถานี รวมถึงการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของพื้นที่นั้น ๆ พร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ไว้คอยบริการ

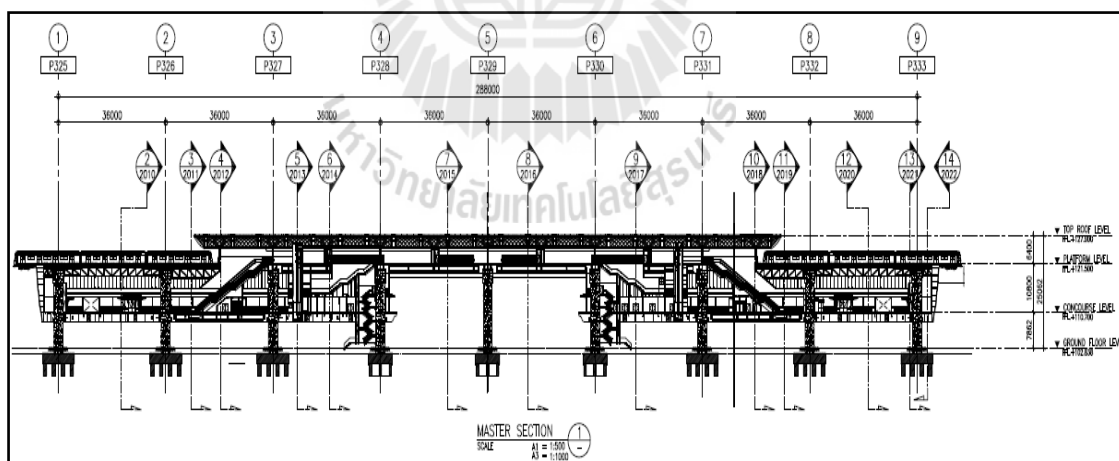
โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่ - บางซื่อ มีสถานีทั้งหมด 16 สถานี แต่ละสถานีประกอบด้วยพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 3 ชั้น คือ

1. ชั้นล่าง เป็นทางขึ้น-ลง อยู่ด้านในทางเท้าทั้ง 2 ฝั่งถนน มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการพักคอย สามารถกันแดดกันฝน และมีระบบป้องกันน้ำท่วม ผู้โดยสารสามารถต่อเชื่อมกับระบบขนส่งมวลชนอื่น ๆ ระดับผิวถนนได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นจุดรวมพลเมื่อมีการอพยพผู้โดยสารหากเกิดเหตุฉุกเฉิน ผู้โดยสารสามารถใช้บันไดเดิน หรือบันไดเลื่อนสู่ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร

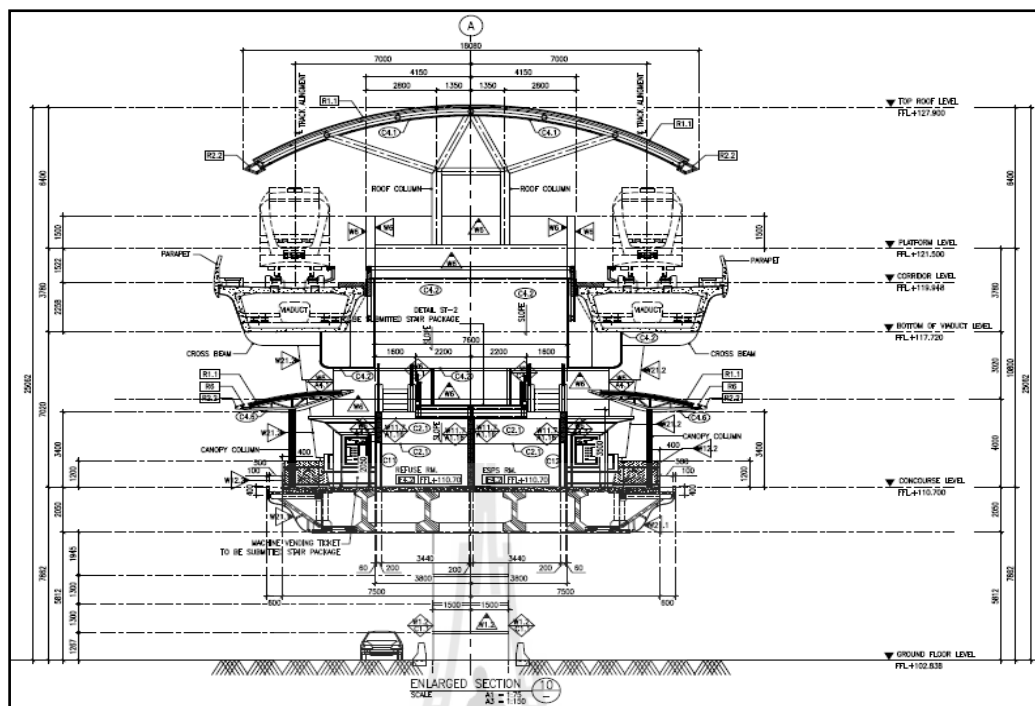
หรือชั้นบริการผู้โดยสาร นอกจากนั้นแล้วยังมีทางลาด และลิฟต์โดยสารสำหรับผู้ที่นั่งรถเข็น และผู้พิการไว้บริการโดยเฉพาะ ตั้งแต่ชั้นล่างไปจนถึงชั้นชานชาลา เพื่ออำนวยความสะดวกในทุกสถานี

2. ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร มีลักษณะแบบเปิดโล่งและสามารถใช้เป็นสะพานลอยข้ามถนนได้ ชั้นนี้จะประกอบด้วย ตู้ขายบัตรโดยสารอัตโนมัติ เครื่องตรวจบัตรโดยสารอัตโนมัติ โดยในบางสถานีผู้โดยสารสามารถใช้บริการนี้เป็นจุดเชื่อมต่อไปยังอาคารข้างเคียง หรืออาคารจอดรถ ของโครงการได้ที่ชั้น 2 ของสถานียังมีห้องควบคุมต่าง ๆ และระบบป้องกันอัคคีภัย นอกจากนั้นยังมีร้านค้าสะดวกซื้อไว้บริการที่ชั้นนี้ด้วย

3. ชั้นชานชาลา เป็นชั้นสำหรับรถไฟฟ้าจอดรับ-ส่งผู้โดยสาร ที่ชั้นนี้มีระบบประตูกันชานชาลาแบบครึ่งตัว เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้โดยสารตกลงไปในราง ประตูกันจะเปิดต่อเมื่อรถไฟฟ้าเข้ามาจอดเทียบชานชาลาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดแก่ผู้โดยสารที่กำลังรอขึ้นและลงรถไฟฟ้า ชานชาลาของรถไฟฟ้าสายสีม่วงถูกออกแบบให้รองรับขบวนรถไฟฟ้าได้สูงสุด 6 ตู้โดยสาร และตรงบริเวณพื้นชานชาลา จะมีเครื่องหมายแสดงตำแหน่งประตูรถไฟฟ้าเมื่อเข้าจอด เพื่อความสะดวกและปลอดภัยแก่ผู้โดยสารที่ขึ้นและลงรถไฟฟ้า นอกจากนี้ที่ด้านปลายชานชาลาทั้งสองด้านยังมีบันไดขึ้นลง และบันไดสำหรับหนีภัยในกรณีฉุกเฉินด้วย โดยรูปแบบโครงสร้างของสถานีผู้โดยสารแสดงในรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18

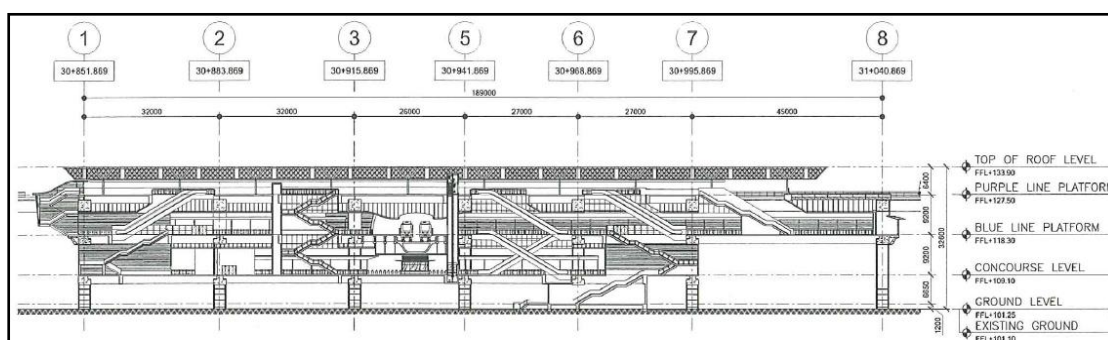


รูปที่ 4.17 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีม่วง (มุมมองตามยาว)

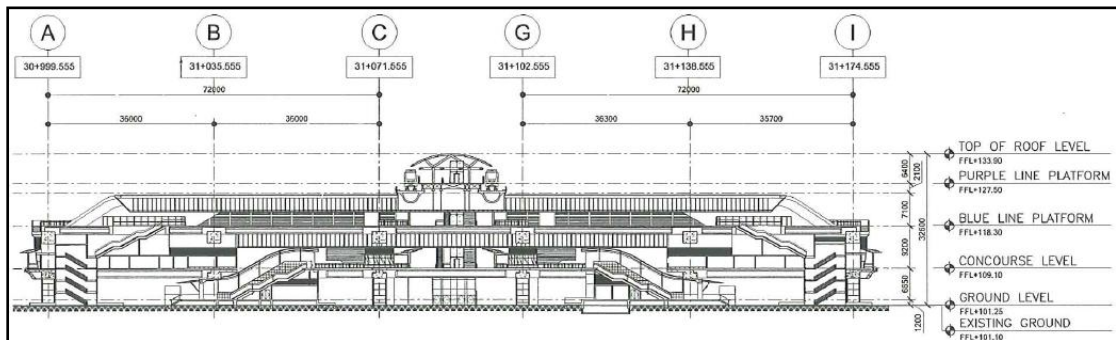


รูปที่ 4.18 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีม่วง (มุมมองตามขวาง)

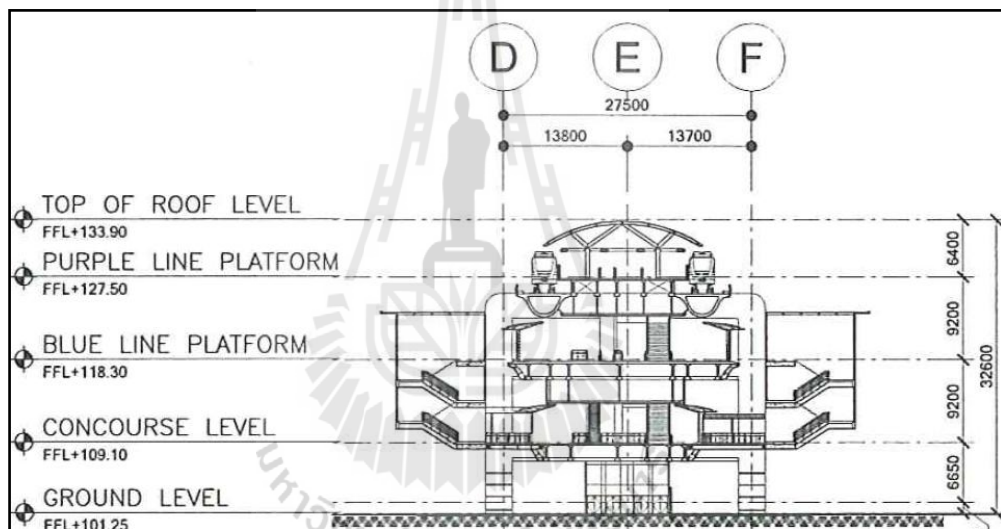
แนวเส้นทางโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วงช่วงบางใหญ่ - บางซื่อ นั้นเริ่มจากคลองบางไฟของศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า ไปจนถึงแยกเตาปูน โดยมีสถานีรถไฟฟ้าเตาปูนที่เชื่อมต่อกับสถานีบางซื่อของรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล และในอนาคตจะเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินช่วงบางซื่อ - ท่าพระ แสดงดังรูปที่ 4.19 รูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 และรูปแบบโครงสร้างของหลังคาของสถานีเตาปูนและรูปแบบการติดตั้งคานำล้อฟ้า ของสถานีเตาปูน แสดงดังรูปที่ 4.22 รูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ตามลำดับ



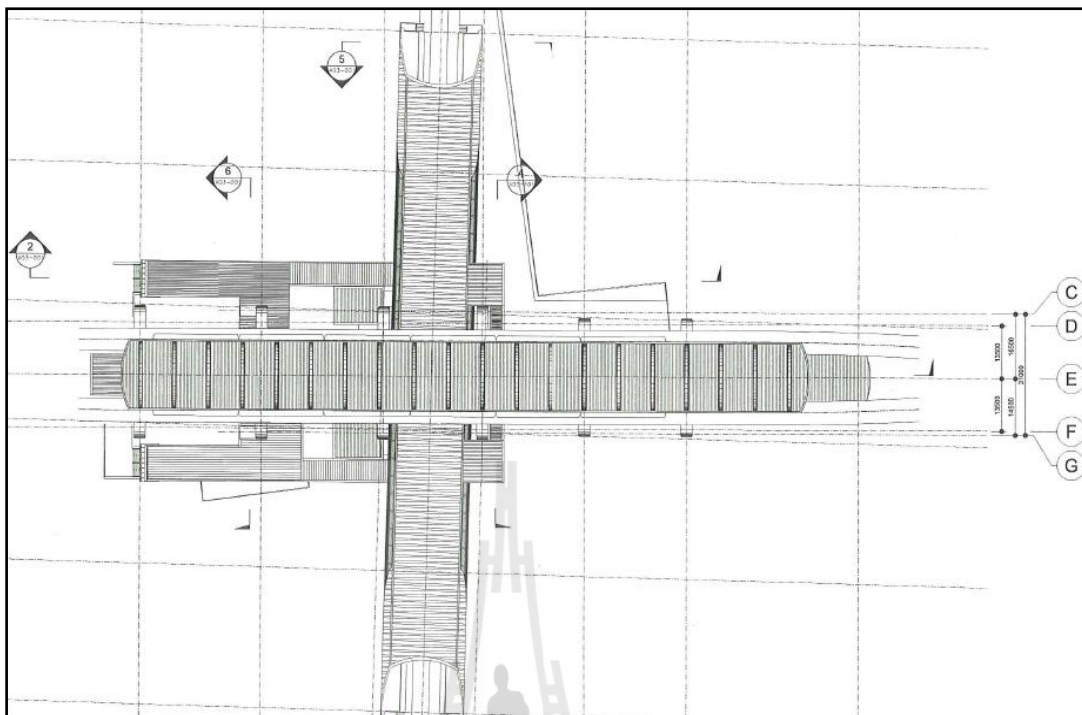
รูปที่ 4.19 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสถานีเตาปูน (มุมมองตามยาวสายสีน้ำเงิน)



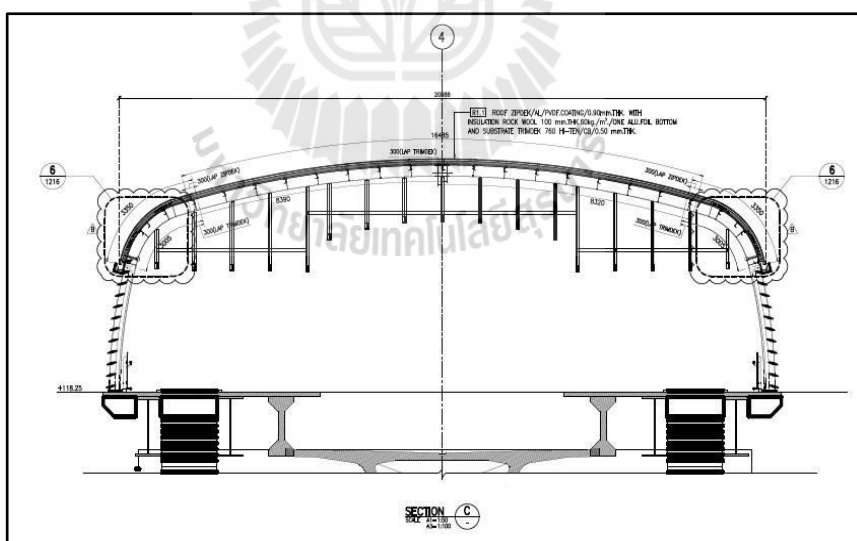
รูปที่ 4.20 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสถานีเตาปูน (มุมมองมองตามยาวสายสีม่วง)

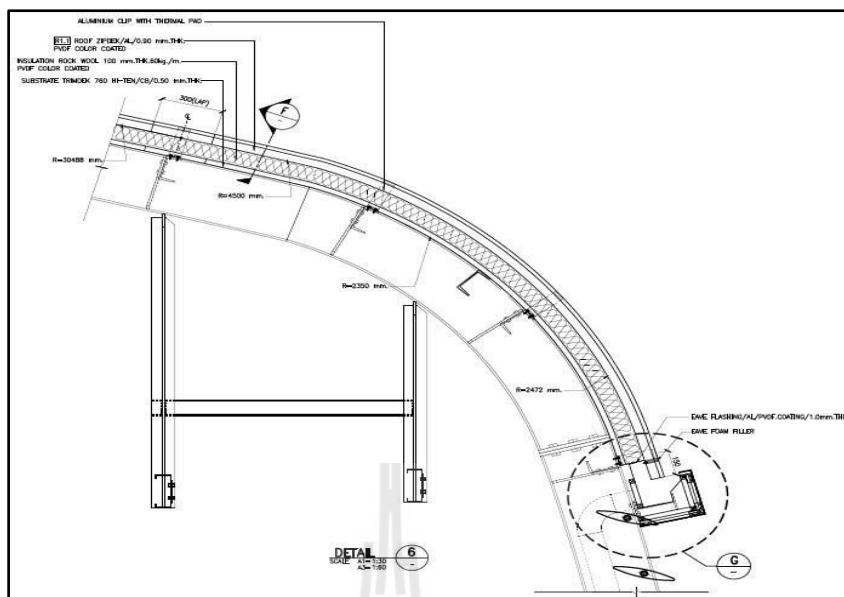


รูปที่ 4.21 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีม่วงช่วงสถานีเตาปูน (มุมมองตามขวาง)



รูปที่ 4.22 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารรถไฟฟ้าสายสีม่วงช่วงสถานีเตาปูน (มุมมองด้านบน)





รูปที่ 4.24 โครงสร้างระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกส่วนบริเวณหลังคาสถานีผู้โดยสาร



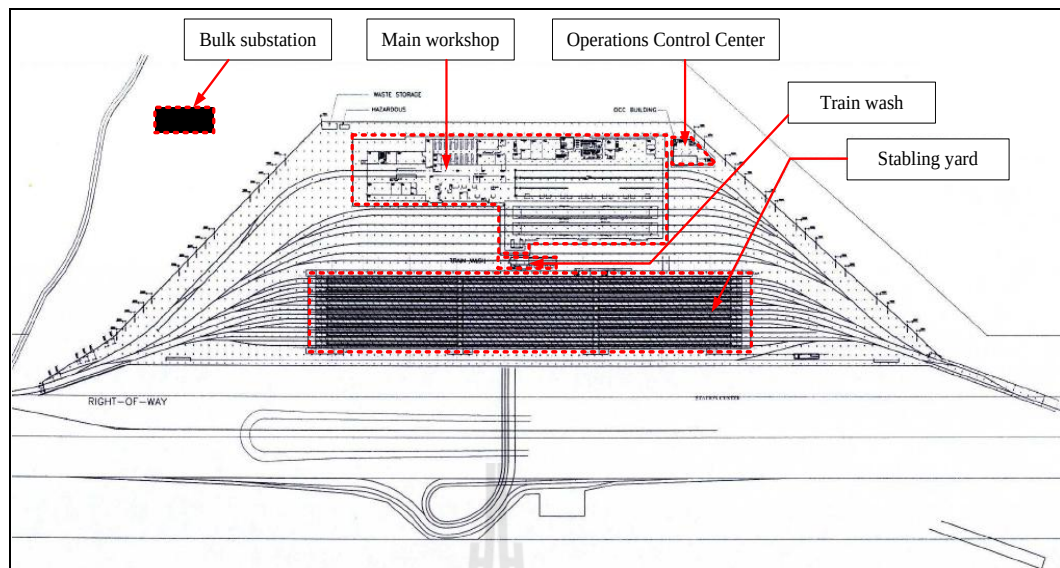
4.3.5 อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง

อาคารศูนย์ซ่อมบำรุงจะรวมเอาสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมดเกี่ยวกับการจัดการ การบริหารศูนย์การควบคุม และการบำรุงรักษาระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วง ที่ตั้งอยู่ที่สถานีปลายทาง คลองบางไผ่ สามารถแสดงดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 โดยจะประกอบไปด้วย 5 อาคารหลักดังนี้ อาคารปฏิบัติงานหลัก อาคารศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า อาคารล้างรถไฟฟ้า อาคารโรงจอด รถไฟฟ้า และอาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน โดยจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.27 รูปที่ 4.28 รูปที่ 4.29 รูปที่ 4.30 และรูปที่ 4.31 ตามลำดับ

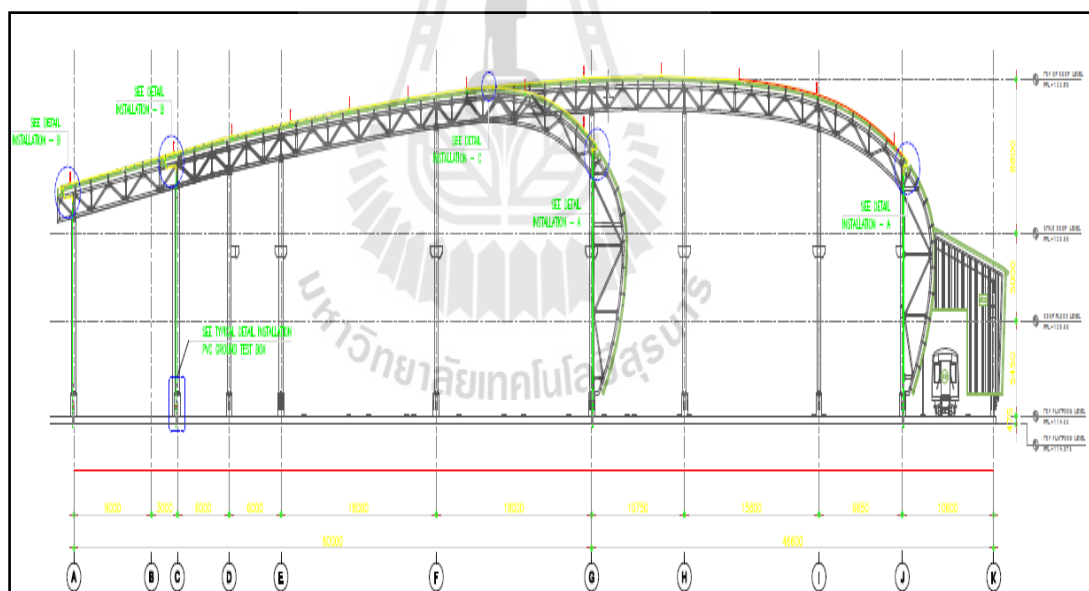


รูปที่ 4.25 สถานีศูนย์ซ่อมบำรุง

ที่มาของภาพ : <http://www.mrta-purpleline.com/pageview/31>



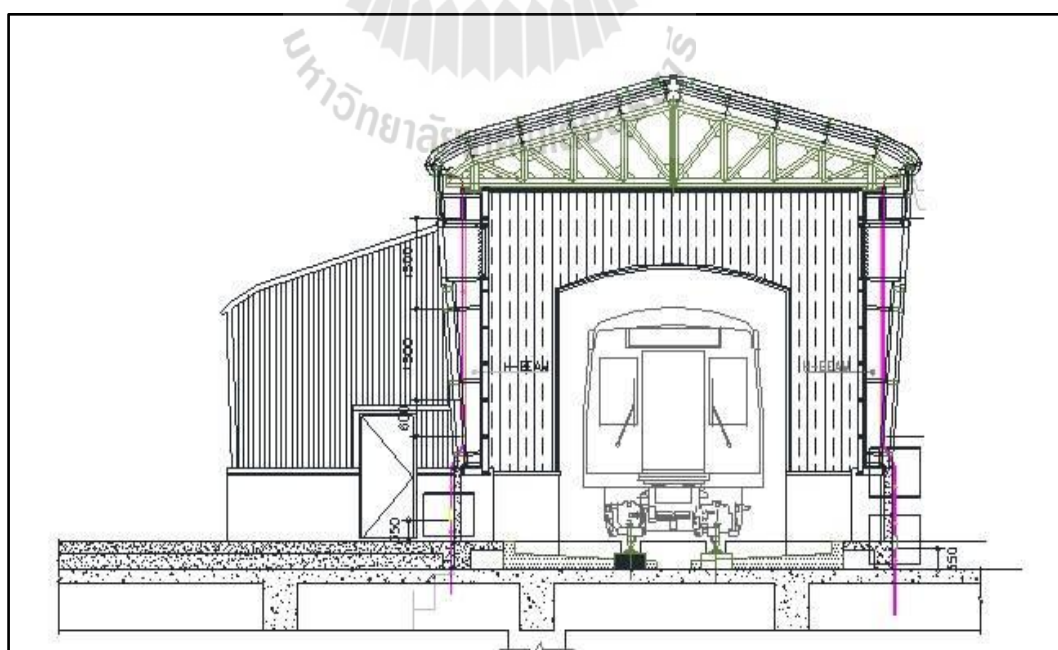
รูปที่ 4.26 แบบที่ตั้งอาคารซ่อมบำรุงและพื้นที่ปฏิบัติงาน



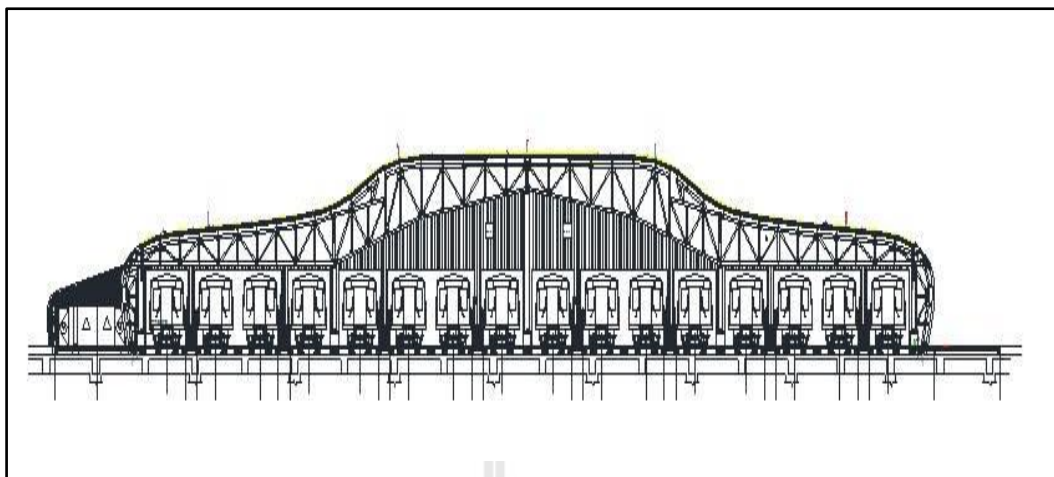
รูปที่ 4.27 อาคารปฏิบัติงานหลัก



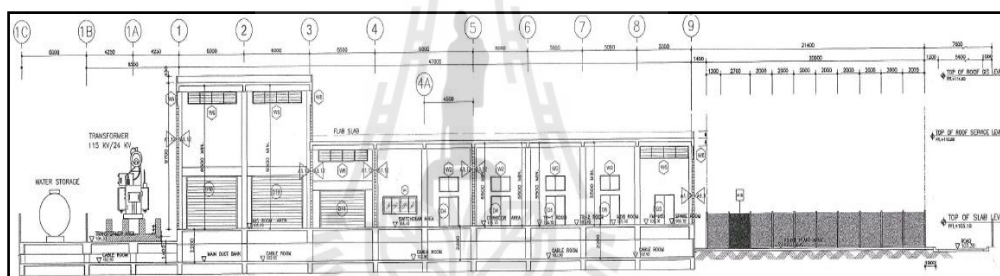
รูปที่ 4.28 อาคารศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.29 อาคารล้างรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.30 อาคารโรงจอดรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.31 อาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน

4.4 สรุป

การนำเสนอแบบจำลองระบบทดสอบอาคารภายนอกของรถไฟฟ้าสายสีม่วง และขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งในการพัฒนาโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นจากการเกิดฟ้าผ่าลงบนโครงสร้างภายนอกสำหรับรถไฟฟ้าสายสีม่วงเพื่อประเมินการทำงานโดยรถไฟฟ้าสายสีม่วงนั้นประกอบไปด้วย โครงสร้างทางยกระดับและทางวิ่ง สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง เพื่อวิเคราะห์และประเมินการตัดสินใจความเสี่ยงในการป้องกันระบบป้องกันฟ้าผ่า นั้นมีความจำเป็นหรือไม่ในการป้องกันตามระดับการป้องกัน โดยจะทำการตรวจสอบเพื่ออ้างอิงจากการออกแบบของมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า IEC 62305 อันใหม่ เนื่องจากมาตรฐานเก่านั้น ไม่มีหัวข้อในส่วนของการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น

บทที่ 5

ระบบทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทที่ผ่านมา มาของงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์การเกิดฟ้าผ่าและการประเมินความเสี่ยงของความเสี่ยงภัยที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า ตลอดจนถึงการออกแบบโปรแกรมการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าสำหรับในบทที่ 5 นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองผลของการทดสอบและวิเคราะห์การประเมินการป้องกันฟ้าผ่า โครงสร้างภายนอกของอาคารไฟฟ้าสายล่อฟ้าโดยใช้โปรแกรมช่วยออกแบบการประเมินความเสี่ยง เพื่อตรวจสอบความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากในตอนที่ได้สร้างโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายล่อฟ้าได้ดำเนินการก่อสร้างมาก่อนมาตรฐาน IEC 62305-2 โดยมาตรฐานใหม่นั้นได้มีส่วนของการบริหารความเสี่ยง เพื่อตรวจสอบความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น ว่าจำเป็นต้องมีการตัดสินใจในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยจะทำการทดสอบเฉพาะโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายล่อฟ้าเท่านั้น ได้แก่ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว ทางคู่ สามทาง สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง ตามลำดับ

5.2 ผลการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของโครงสร้างยกระดับ

การทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับสำหรับระบบรถไฟฟ้าสายล่อฟ้า มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ ตรวจสอบ ศึกษาวิธีการตัดสินใจจำเป็นของการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งทำการทดสอบทางวิ่งยกระดับ ได้แก่ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดี่ยว โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่ และโครงสร้างยกระดับแบบสามทาง

ทำการทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของโครงสร้างยกระดับ โดยจะทำการหาค่าการประเมินค่าความเสี่ยงที่ได้คือ การนำเอาค่าองค์ประกอบความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมารวมกันแล้วพิจารณาว่ามีค่ามากกว่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ ตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และมาตรฐาน IEC62305-2 หรือไม่ หากพิจารณาแล้วจำเป็นต้องติดตั้งมาตรการป้องกันที่เหมาะสมให้เพียงพอเพื่อลดความเสี่ยง โดยได้

สรุปผลการประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างระดับดังตารางที่ 5.1 และผลการคำนวณของโปรแกรมประเมินความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าผ่านนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างระดับแต่ละชนิด

โครงสร้างชนิดของอาคาร	กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน	ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน
โครงสร้างกระแบบทางเดียว	ผ่าน	ไม่จำเป็น
โครงสร้างกระแบบทางคู่	ผ่าน	ไม่จำเป็น
โครงสร้างกระแบบสามทาง	ไม่ผ่าน	จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของโครงสร้างระดับ

กรณีศึกษา	การประเมินค่าความเสี่ยง (R_1)	การประเมินค่าความเสี่ยง (R_2)	ค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T)
กรณีไม่มีการป้องกัน 1. โครงสร้างกระแบบทางเดียว 2. โครงสร้างกระแบบทางคู่ 3. โครงสร้างกระแบบสามทาง	0.2400×10^{-5} 0.2531×10^{-5} 0.2564×10^{-5}	0.0000 0.0000 1.6396×10^{-3}	การสูญเสียชีวิตคน หรือบาดเจ็บถาวร $(R_T = 1 \times 10^{-5})$ และ การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ $(R_T = 1 \times 10^{-3})$
กรณีมีการป้องกัน 1. โครงสร้างกระแบบทางเดียว 2. โครงสร้างกระแบบทางคู่ 3. โครงสร้างกระแบบสามทาง	ไม่จำเป็น ไม่จำเป็น 0.2564×10^{-5}	ไม่จำเป็น ไม่จำเป็น 0.0000	

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของโครงสร้างระดับ

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความหนาแน่นวบบฟ้าผ่าลงดิน	N_G	11.10	พื้นที่ในกทม. (จากข้อมูลของ TMD)
ขนาดโครงสร้าง			
กว้าง (m)	W	10.00	
ยาว (m)	L	200.00	
สูง (m)	H	25.28	
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง	C_D	0.50	โครงสร้างล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่มีความสูงเท่ากันหรือน้อยกว่า
ระดับการป้องกัน	P_B	1.00	ไม่ได้รับการป้องกัน
เชื่อมต่ออุปกรณ์แรงดันเกินเสิร์จ	P_{EB}	1.00	ไม่เชื่อมต่ออุปกรณ์แรงดันเกินเสิร์จ
การป้องกันเชิงพื้นที่ภายนอก			
โครงสร้าง	K_{S1}	1.00	ไม่มี
การชิลด์สายเคเบิล	K_{S2}	1.00	ไม่มี
ลักษณะการเดินสายภายใน	K_{S3}	1.00	ไม่มีการเดินสายใน
มาตรการป้องกันแรงดันช่วงก๊าวและแรงดันสัมผัส	P_{TA}	1.00	ไม่มีมาตรการป้องกัน
ระดับการป้องกันเสิร์จ	P_{SPD}	1.00	ไม่มีการป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกัน
ค่าความน่าจะเป็นที่วบบฟ้าผ่าลงสายบริการ	P_{TU}	1.00	ไม่มีมาตรการป้องกัน
	L_{F1}	0.01	อื่น ๆ
จำนวนคน	N_T	5	
จำนวนคนที่อยู่ในโซน	N_Z	5	
เวลาเป็นชั่วโมงต่อปี	t_z	730	2 hour/day
ชนิดของผิวดินหรือพื้น	r_t	0.01	เกษตรกรรมและคอนกรีต
	r_p	1	ไม่มีการเตรียมการ
	r_f	0	ไม่มี
	h_z	1	ไม่มีอันตรายพิเศษ

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของโครงสร้างระดับ (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความยาว (m)	L_L	1000.00	
ตัวประกอบติดตั้งสาย	C_1	1.00	มีการเดินสายอากาศ
ตัวประกอบหม้อแปลง	C_T	1.00	สายส่งกำลังแรงดันต่ำ
ตัวประกอบสภาพแวดล้อม	C_E	0.10	ในเมือง
ตัวกำบังเคเบิล	R_s	N/A	$< 5 \text{ Ohm/km}$
การหุ้มฉนวนสาย ระบบ กราวด์ ระบบแยกอิสระ			
	C_{LD}	1.00	ไม่มีการฉีลด์หุ้มฉนวนสาย
	C_{LI}	1.00	ไม่มีการฉีลด์หุ้มฉนวนสาย
ความทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (kV)	U_w	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	P_{LD}	1.00	
	P_{LI}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	K_{S4}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	L_F	0.1	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม
	L_o	0.01	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม

หมายเหตุ : มาตรฐานข้อมูล TMD (Thai Meteorological Department) จาก www.tmd.go.th/en

จากตารางที่ 5.3 แสดงถึงข้อมูลทางคุณลักษณะของอาคารโครงสร้างระดับแบบทางเดียว โดยจะทำการทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของอาคารโดยใช้โปรแกรมช่วยในการประเมินในการทดสอบ ดังรูปที่ 5.1

Lightning Risk Assessment

1. Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total RA1	2.40038344576E-01	Total RV1_P	0
Total HB1	0	Total HV1_I	0
Total RC1	0	Total RW1_P	0
Total HM1	0	Total HW1_I	0
Total RU1_F	0	Total RZ1_P	0
Total RH1_T	0	Total RZ1_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RE2	0	Total RW2_P	0
Total RC2	0	Total HW2_I	0
Total RM2	0	Total RZ2_F	0
Total RV2_P	0	Total RZ2_T	0
Total HV2_I	0		

Type III - Risk of Loss Cultural heritage

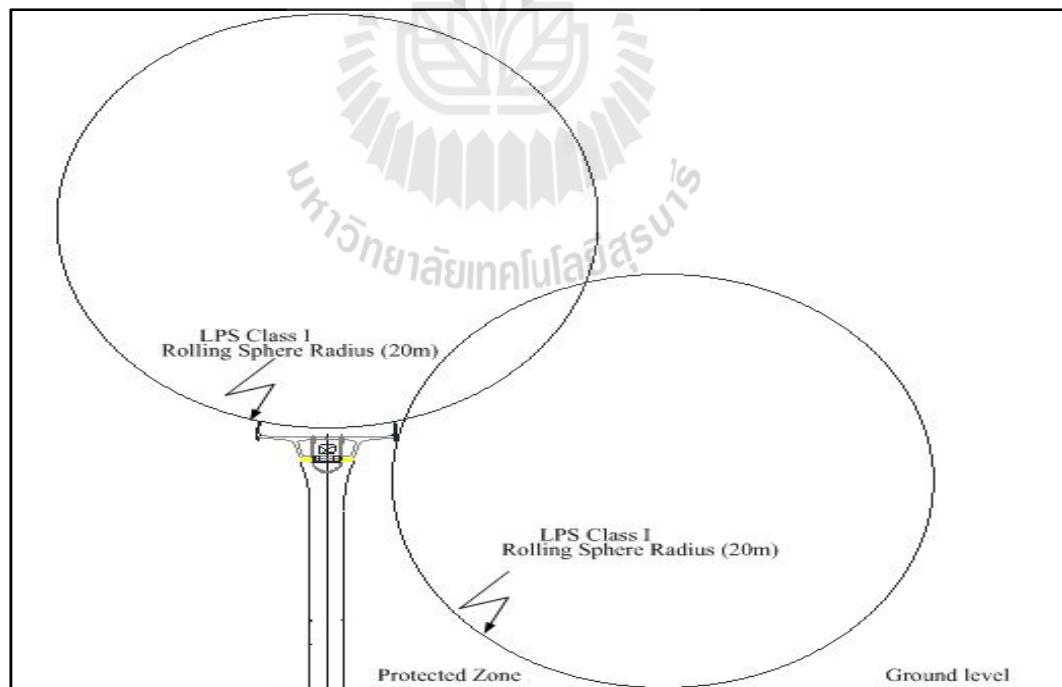
Total RF3	0
-----------	---

Type IV - Risk of Loss Economic Value

Total RA4	0	Total RV4	0
Total RC4	0	Total HW4_I	0
Total RM4	0	Total RZ4_F	0
		Total RZ4_T	0

Calculated Risk :

	Tolerable Risk (RT)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life, R1 :	1.00E-03	2.40038344576E-01
Loss of Public Service, R2 :	1.00E-03	0
Loss Cultural heritage, R3 :		0
Loss Economic Value, R4 :		0



Lightning Risk Assessment

Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total RA1	2.53110504578E-06	Total FV1_P	0
Total RR1	0	Total FV1_T	0
Total H11	0	Total FW1_P	0
Total RM1	0	Total FW1_T	0
Total RUI_P	0	Total FZ1_P	0
Total RU*_T	0	Total FZ1_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RB2	0	Total FW2_P	0
Total RC2	0	Total FW2_T	0
Total RV2	0	Total FZ2_P	0
Total RV2_F	0	Total FZ2_T	0
Total RV2_T	0		

Type III - Risk of Loss Cultural heritage

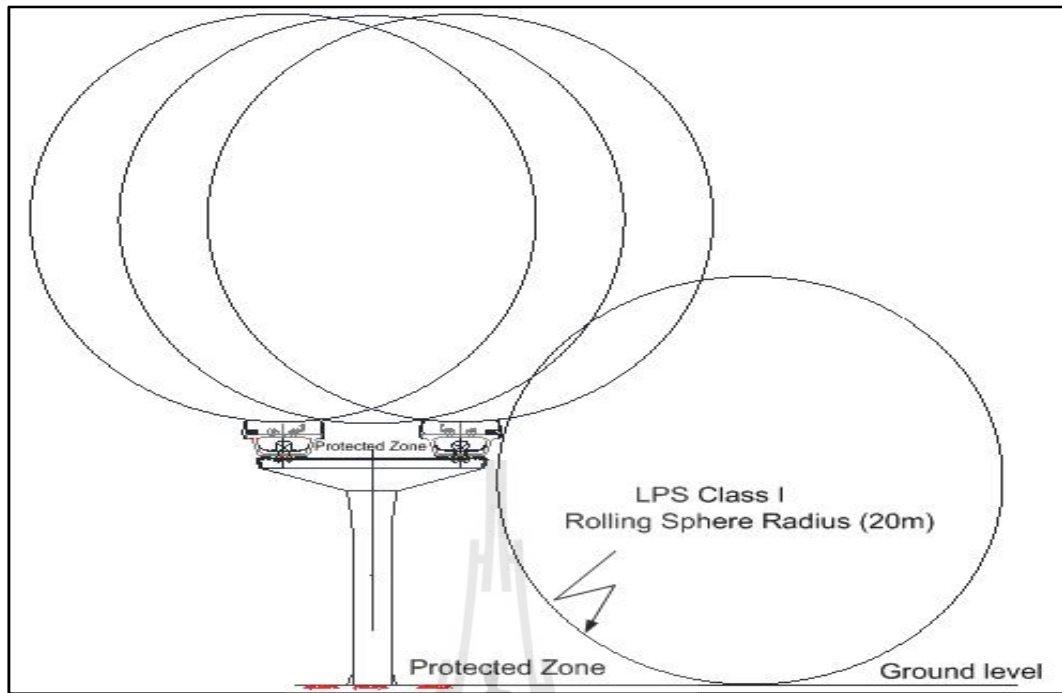
Total RB3	0
-----------	---

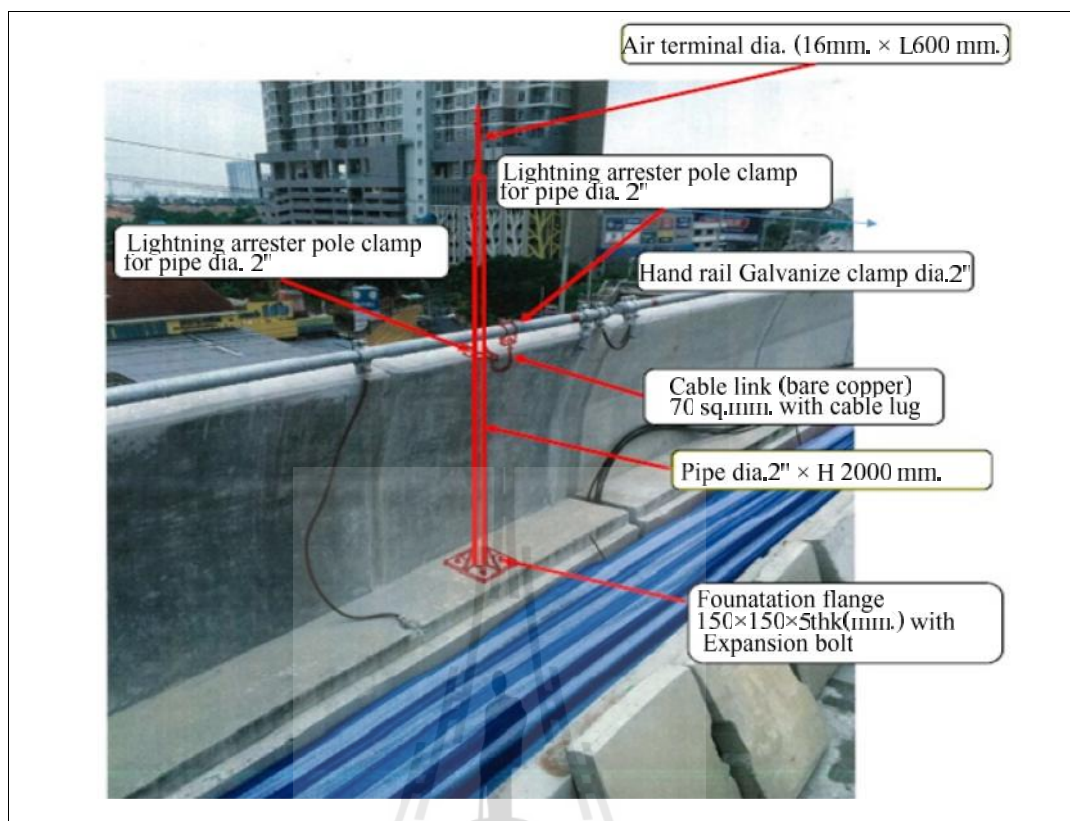
Type IV - Risk of Loss Economic Value

Total RA4	0	Total RU4	0
Total RB4	0	Total RV4	0
Total RC4	0	Total RW4	0
Total RD4	0	Total RX4	0

Calculated Risk :

	Tolerance Risk (RT)	Calculated Risk (RI)	
Loss of Human Life, R1 :	1.00e-5	2.53110504578E-06	Risk Calculate View summary
Loss of Public Service, R2 :	1.00e-3	0	
Loss Cultural Heritage, R3 :		0	
Loss Economic Value, R4 :		0	





รูปที่ 5.5 ออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตัวนำล่อฟ้าบริเวณทางวิ่งยกระดับ

กรณีมีการป้องกันฟ้าผ่าบริเวณทางวิ่งยกระดับ โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ตัวนำล่อฟ้า ระบบโครงสร้างที่มีการต่อลงดิน ระบบอุปกรณ์ป้องกันเสร็จ และระบบป้องกันเพลิงไหม้ที่บริเวณโครงสร้างทางยกระดับของรถไฟฟ้าสายสีม่วงนั้น แสดงผลของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 5.6 และ รูปที่ 5.7 ตามลำดับ หลังจากมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบบป้องกันฟ้าผ่า พบว่าโครงสร้างยกระดับและบริเวณทางวิ่งยกระดับแบบสามทางนั้น เมื่อทดสอบแบบจำลองแล้วไม่มีอุปกรณ์ภายในที่อยู่ในบริเวณโครงสร้างยกระดับได้รับความเสียหาย ดังนั้นจึงต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเพิ่มเติมที่บริเวณของโครงสร้างยกระดับแบบสามทาง

Lightning Risk Assessment

Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total RA1	2.56363544576e-05	Total RV1_F	0
Total RB1	0	Total RV1_T	0
Total HC1	0	Total RW1_F	0
Total RM1	0	Total RW1_T	0
Total RU1_F	0	Total RZ1_F	0
Total RI1_T	0	Total RZ1_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RS2	0	Total RW2_F	0
Total HL2	0	Total RW2_T	0
Total RM2	0	Total HZ2_F	0
Total RV2_F	0	Total RZ2_T	0
Total HV2_I	0		

Type III - Risk of Loss Cultural heritage

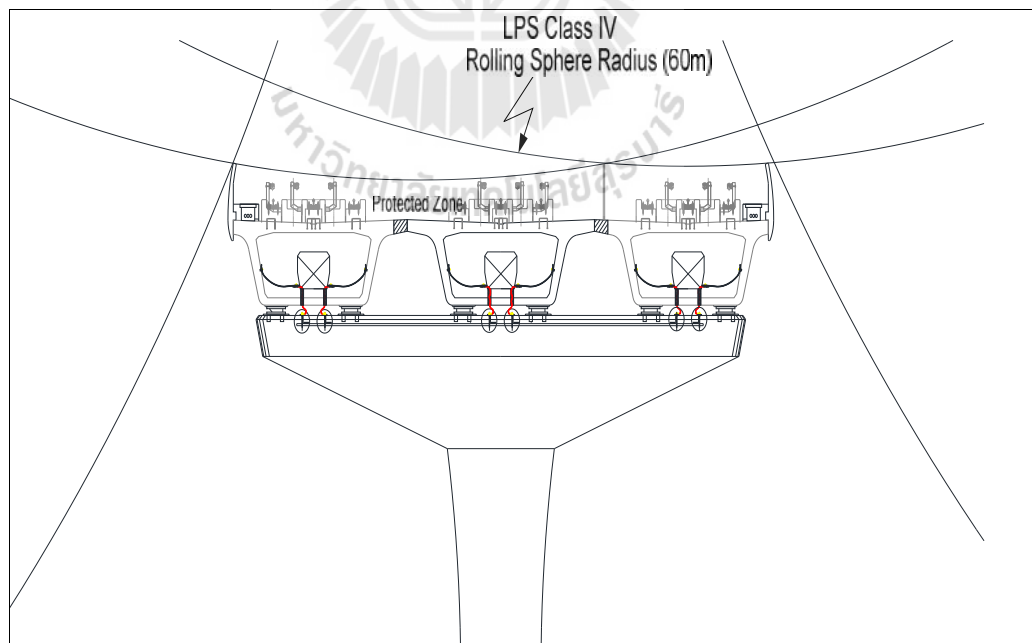
Total RD3	0
-----------	---

Type IV - Risk of Loss economic Value

Total RA4	0	Total R14	0
Total RB4	0	Total RV4	0
Total RC4	0	Total RW4	0
Total HM4	0	Total HZ4	0

Calculated Risk :

	Tolerable Risk (RT)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life, R1 :	1.00e-5	2.56363544576e-05
Loss of Public Service, R2 :	1.00e-5	0
Loss Cultural heritage, R3 :		0
Loss Economic Value, R4 :		0



5.3 ผลการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีผู้โดยสาร

การทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคาร สำหรับสำหรับระบบรถไฟฟ้ายานสาธารณะ มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ ตรวจสอบ ศึกษาวิธีการตัดสินความจำเป็นของการป้องกัน ของสถานีรถไฟฟ้ายานสาธารณะ ได้แก่ สถานีแยกถนนทูลกระหม่อม และสถานีเตาปูน โดยจากผลการคำนวณค่าประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นพบว่าจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของโครงสร้างสถานีผู้โดยสาร

กรณีศึกษา	การประเมินค่าความเสี่ยง (R_1)	การประเมินค่าความเสี่ยง (R_2)	ค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T)
กรณีไม่มีการป้องกัน 1. สถานีรถไฟฟ้ายานสาธารณะแยกถนนทูลกระหม่อม 2. สถานีรถไฟฟ้ายานสาธารณะเตาปูน	3.6280×10^{-5} 3.4499×10^{-5}	175.5596×10^{-5} 205.3038×10^{-5}	การสูญเสียชีวิตคนหรือ บาดเจ็บถาวร $(R_T = 1 \times 10^{-5})$ และ การสูญเสียการบริการ ต่อสาธารณะ $(R_T = 1 \times 10^{-3})$
กรณีมีการป้องกัน 1. สถานีรถไฟฟ้ายานสาธารณะแยกถนนทูลกระหม่อม 2. สถานีรถไฟฟ้ายานสาธารณะเตาปูน	0.00000 0.00000	0.24248×10^{-3} 0.23056×10^{-3}	การสูญเสียการบริการ ต่อสาธารณะ $(R_T = 1 \times 10^{-3})$

โดยการทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของสถานีผู้โดยสาร จะทำการหาค่าการประเมินค่าความเสี่ยง โดยข้อมูลและคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง ข้อมูลของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและภายในที่ต่ออยู่ ข้อมูลของสายโทรคมนาคม และมาตรการป้องกันฟ้าผ่า แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีแยกถนนบุรี

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความหนาแน่นวบบฟ้าผ่าลงดิน	N_G	11.10	พื้นที่ในกทม. (จากข้อมูลของ TMD)
ขนาดโครงสร้าง			
กว้าง (m)	W	19.50	
ยาว (m)	L	297.10	
สูง (m)	H	25.06	
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง	C_D	0.50	โครงสร้างล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่มีความสูงเท่ากันหรือน้อยกว่า
ระดับการป้องกัน	P_B	0.2	ระดับการป้องกันระดับ 4
เชื่อมต่ออุปกรณ์แรงดันเกินเสิร์จ	P_{EB}	0.05	ระดับการป้องกัน 3-4
การป้องกันเชิงพื้นที่ภายนอก			
โครงสร้าง	K_{S1}	1.00	ไม่มี
การชีลด์สายเคเบิล	K_{S2}	1.00	ไม่มี
ลักษณะการเดินสายภายใน	K_{S3}	0.01	มีการเดินสายใน
มาตรการป้องกันแรงดันช่วงกาวและแรงดันสัมผัส	P_{TA}	0.00	มีการเดินสายตัวนำลงดิน
ระดับการป้องกันเสิร์จ	P_{SPD}	0.05	ระดับการป้องกัน 3-4
ค่าความน่าจะเป็นที่วบบฟ้าผ่าลงสายบริการ	P_{TU}	1.00	ไม่มีมาตรการป้องกัน
	L_{F1}	0.01	อื่น ๆ
จำนวนคน	N_T	5	
จำนวนคนที่อยู่ในโซน	N_Z	5	
เวลาเป็นชั่วโมงต่อปี	t_Z	6570	18 hour/day
ชนิดของผิวดินหรือพื้น	r_t	0.01	เกษตรกรรมและคอนกรีต
	r_p	1	ไม่มีการเตรียมการ
	r_f	0	ไม่มี
	h_z	1	ไม่มีอันตรายพิเศษ

ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีแยกถนนบุรี(ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความยาว (m)	L_L	1000.00	
ตัวประกอบติดตั้งสาย	C_1	1.00	มีการเดินสายอากาศ
ตัวประกอบหม้อแปลง	C_T	1.00	สายส่งกำลังแรงดันต่ำ
ตัวประกอบสภาพแวดล้อม	C_E	0.10	ในเมือง
ตัวกำบังเคเบิล	R_S	N/A	$< 5 \text{ Ohm/km}$
การหุ้มฉนวนสาย ระบบกราวด์ ระบบแยกอิสระ			
	C_{LD}	1.00	มีการฉีดยึดหุ้มฉนวนสาย
	C_{LI}	0.00	มีการฉีดยึดหุ้มฉนวนสาย
ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (kV)	U_W	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	P_{LD}	1.00	
	P_{LI}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	K_{S4}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	L_F	0.1	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม
	L_O	0.01	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม

หมายเหตุ : มาตรฐานข้อมูล TMD (Thai Meteorological Department) จาก www.tmd.go.th/en

จากตารางที่ 5.5 แสดงถึงข้อมูลทางคุณลักษณะของสถานีรถไฟฟ้ายานนาวา โดยจะทำการทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของอาคารโดยใช้โปรแกรมช่วยในการประเมินในการทดสอบ ดังรูปที่ 5.8 และผลการทดสอบการประเมินค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่าแสดงดังรูปที่ 5.9

Lightning Risk Assessment

Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total DA1	0	Total RV_P	0
Total HUI	0	Total RV_T	0
Total HUI	0	Total RW1_P	0
Total RM1	0	Total RW1_T	0
Total RU1_P	0	Total RZ_P	0
Total RU1_T	0	Total RZ_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RD2	0	Total RW2_P	2.22E-06
Total RC2	1.974268414674E-4	Total RW2_T	2.22E-06
Total RM2	5.11388E-08	Total RZ2_P	0
Total RV2_P	0	Total RZ2_T	0
Total RV2_T	0		

Type III - Risk of Loss Cultural heritage

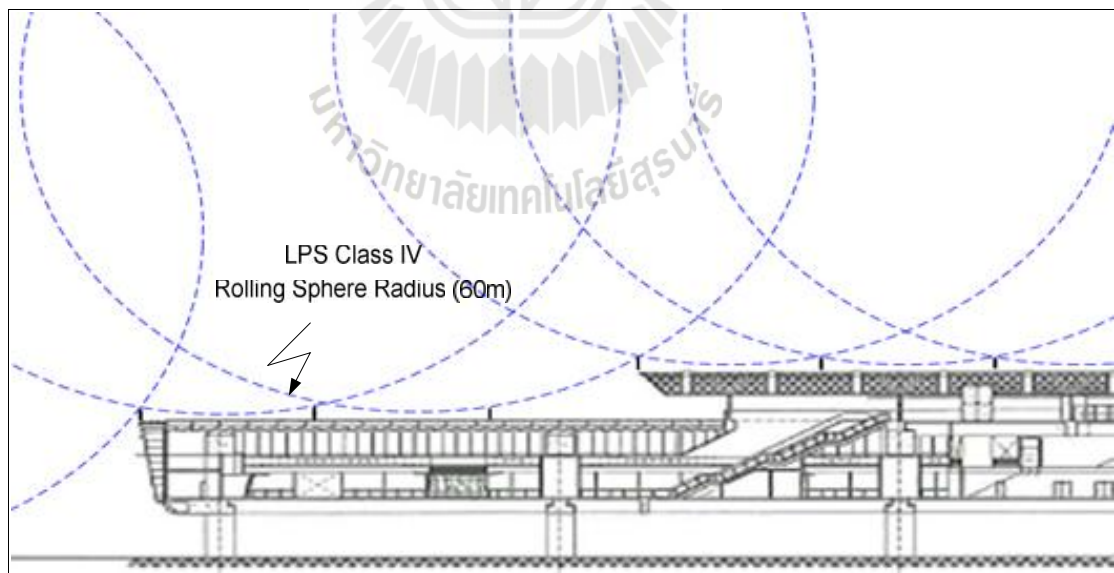
Total RB3	0
-----------	---

Type IV - Risk of Loss Economic Value

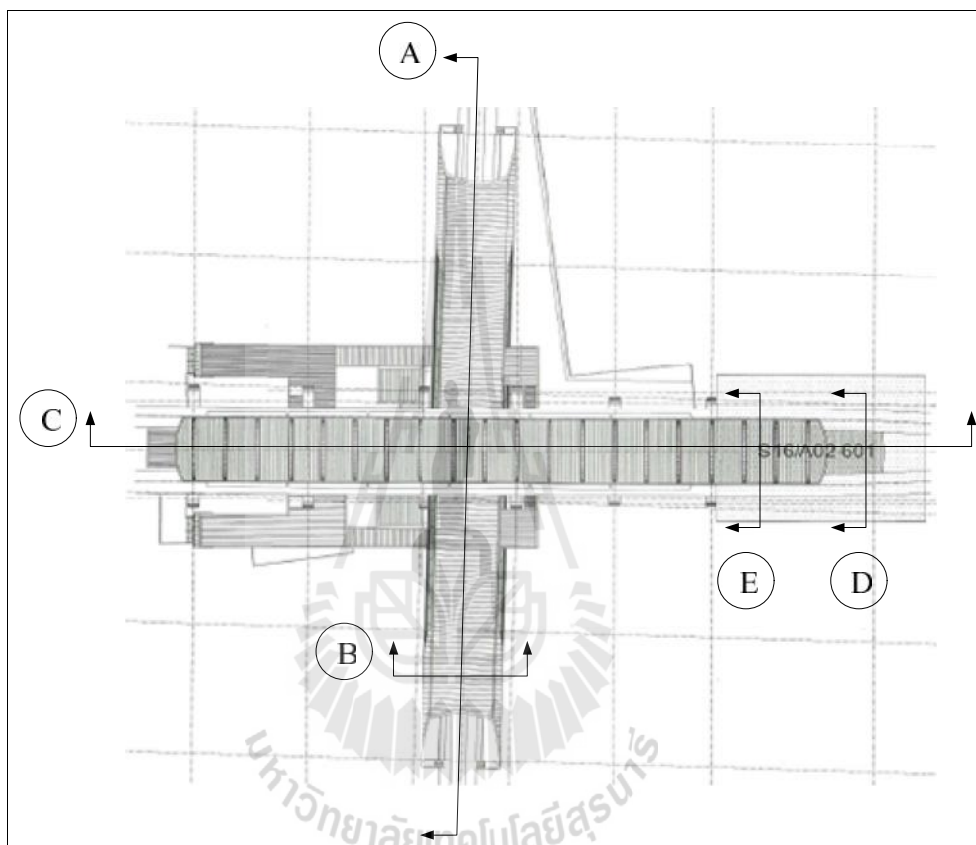
Total RV4	0	Total R14	0
Total RV4	0	Total RV4	0
Total R14	0	Total RW4	0
Total RV4	0	Total RZ4	0

Overlaid Risk

Overlaid Risk	Tolerable Risk (R _T)	Calculated Risk (R _C)
Loss of Human Life, R1	1.00E-5	0
Loss of Public Service, R2	1.00E-3	2.474382224674E-4
Loss Cultural heritage, R3	1.00E-3	0
Loss Economic Value, R4	1.00E-3	0



สำหรับการทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้ายานสีม่วงและสถานีเตาปูน โดยสถานีเตาปูนจะเป็นสถานีที่เชื่อมต่อกันระหว่างรถไฟฟ้ายานสีม่วงและรถไฟฟ้ายานสีน้ำเงิน จากข้อมูลคุณลักษณะของสถานีโครงสร้างสถานีนี้จะแสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 โครงสร้างสถานีผู้โดยสารของรถไฟฟ้ายานสีม่วงและสายสีน้ำเงิน

จากตารางที่ 5.6 แสดงถึงข้อมูลทางคุณลักษณะของสถานีรถไฟฟ้ายานสีม่วงและสายสีน้ำเงิน โดยโปรแกรมจะทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของอาคารโดยใช้หลังการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าดังรูปที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12 และจากผลการทดสอบการประเมินค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่าแสดงดังรูปที่ 5.13 และ รูปที่ 5.14

ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีเตาปูน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน	N_G	11.10	พื้นที่ในทม. (จากข้อมูลของ TMD)
ขนาดโครงสร้าง			
กว้าง (m)	W	31.00	
ยาว (m)	L	202.12	
สูง (m)	H	32.60	
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง	C_D	0.50	โครงสร้างล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่มีความสูงเท่ากันหรือน้อยกว่า
ระดับการป้องกัน	P_B	0.2	ระดับการป้องกันระดับ 4
เชื่อมต่ออุปกรณ์แรงดันเกินเสิร์จ	P_{EB}	0.05	ระดับการป้องกัน 3-4
การป้องกันเชิงพื้นที่ภายนอก			
โครงสร้าง	K_{S1}	1.00	ไม่มี
การชีลด์สายเคเบิล	K_{S2}	1.00	ไม่มี
ลักษณะการเดินสายภายใน	K_{S3}	0.01	มีการเดินสายใน
มาตรการป้องกันแรงดันช่วงกาวและแรงดันสัมผัส	P_{TA}	0.00	มีการเดินสายตัวนำลงดิน
ระดับการป้องกันเสิร์จ	P_{SPD}	0.05	ระดับการป้องกัน 3-4
ค่าความน่าจะเป็นที่วาบฟ้าผ่าลงสายบริการ	P_{TU}	1.00	ไม่มีมาตรการป้องกัน
	L_{F1}	0.01	อื่น ๆ
จำนวนคน	N_T	5	
จำนวนคนที่อยู่ในโซน	N_Z	5	
เวลาเป็นชั่วโมงต่อปี	t_Z	6570	18 hour/day
ชนิดของผิวดินหรือพื้น	r_t	0.01	เกษตรกรรมและคอนกรีต
	r_p	1	ไม่มีการเตรียมการ
	r_f	0	ไม่มี
	h_z	1	ไม่มีอันตรายพิเศษ

ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีเตาปูน(ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความยาว (m)	L_L	1000.00	
ตัวประกอบติดตั้งสาย	C_1	1.00	มีการเดินสายอากาศ
ตัวประกอบหม้อแปลง	C_T	1.00	สายส่งกำลังแรงดันต่ำ
ตัวประกอบสภาพแวดล้อม	C_E	0.10	ในเมือง
ตัวกำบังเคเบิล	R_S	N/A	$< 5 \text{ Ohm/km}$
การหุ้มฉนวนสาย ระบบกราวด์ ระบบแยกอิสระ			
	C_{LD}	1.00	มีการฉีลด์หุ้มฉนวนสาย
	C_{LI}	0.00	มีการฉีลด์หุ้มฉนวนสาย
ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (kV)	U_w	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	P_{LD}	1.00	
	P_{LI}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	K_{S4}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	L_{F2}	0.1	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม
	L_{O2}	0.01	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม

หมายเหตุ : มาตรฐานข้อมูล TMD (Thai Meteorological Department) จาก www.tmd.go.th/en

Lightning Risk Assessment

Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total FA1	0	Total RV1_P	0
Total FB1	0	Total RV1_T	0
Total FC1	0	Total RW1_P	0
Total FM1	0	Total RW1_T	0
Total RU1_P	0	Total RZ1_P	0
Total RU1_T	0	Total RZ1_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RB2	0	Total RW2_P	0.01110E-03
Total RC2	0.11365E-03	Total RW2_T	0.01110E-03
Total RM2	0.00028E-03	Total RZ2_F	0
Total RV2_P	0	Total RZ2_T	0
Total RV2_T	0		

Type III - Risk of Loss Cultural heritage

Total RB3	0
-----------	---

Type IV - Risk of Loss Economic Value

Total RA4	0	Total RU4	0
Total RB4	0	Total RV4	0
Total RC4	0	Total RW4	0
Total RM4	0	Total RZ4	0

Calculated Risk :

	Tolerable Risk (R1)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life, R1	1.00E-5	0
Loss of Public Service, R2	1.00E-3	0.13613E-03
Loss Cultural heritage, R3	1.00E-3	0
Loss Economic Value, R4	1.00E-3	0

Lightning Risk Assessment

Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total RA1	0	Total RV1_P	0
Total RB1	0	Total RV1_T	0
Total RC1	0	Total RW1_P	0
Total RM1	0	Total RW1_T	0
Total RU1_P	0	Total RZ1_P	0
Total RU1_T	0	Total RZ1_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RA2	0	Total RW2_F	0.01110E-03
Total RC2	0.11365E-03	Total RW2_T	0.01110E-03
Total RM2	0.00028E-03	Total RZ2_P	0
Total RV2_P	0	Total RZ2_T	0
Total RV2_T	0		

Type III - Risk of Loss Cultural Heritage

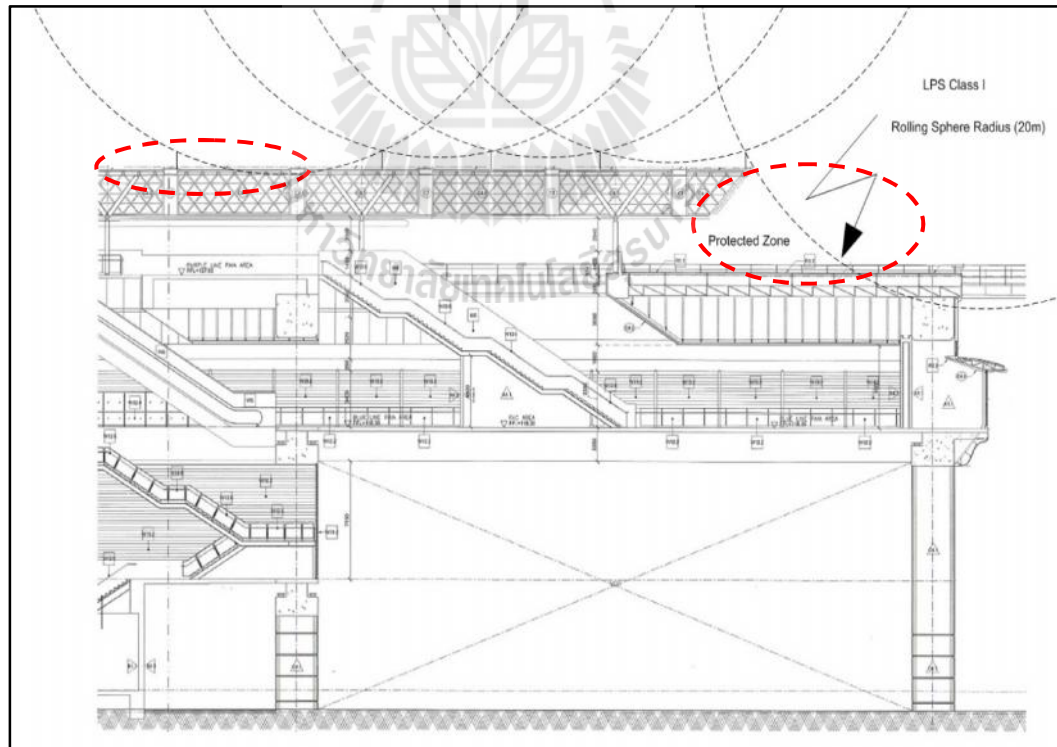
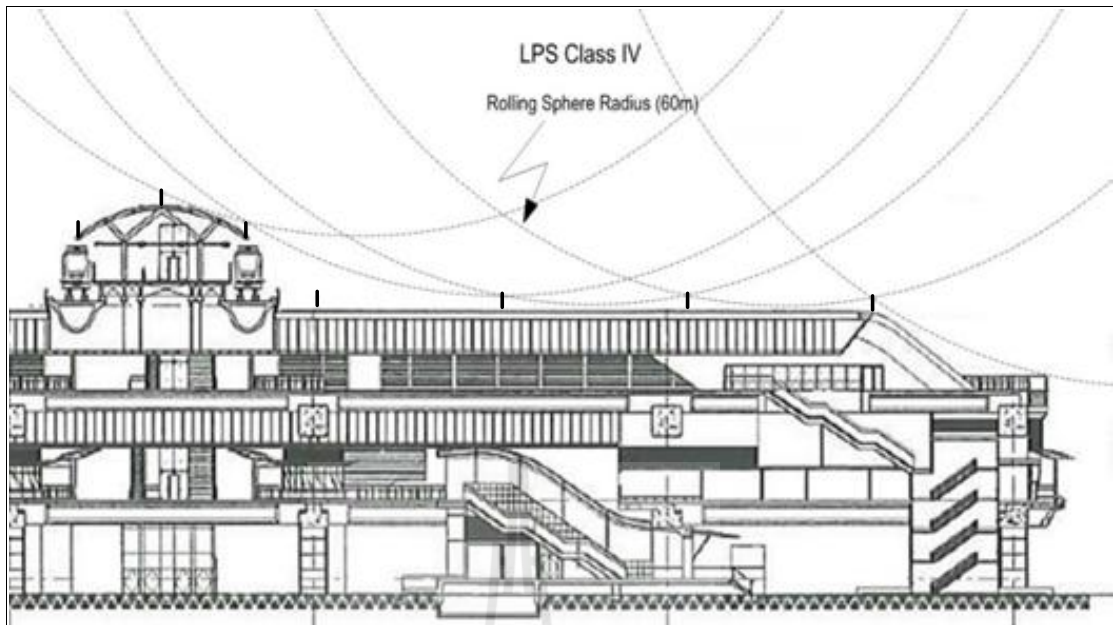
Total RB3	0
-----------	---

Type IV - Risk of Loss Economic Value

Total RA4	0	Total RU4	0
Total RB4	0	Total RV4	0
Total RC4	0	Total RW4	0
Total RM4	0	Total RZ4	0

Calculated Risk :

	Tolerable Risk (R1)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life, R1	1.00E-5	0
Loss of Public Service, R2	1.00E-3	0.09443E-03
Loss Cultural heritage, R3	1.00E-3	0
Loss Economic Value, R4	1.00E-3	0



การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของสถานีรถไฟฟ้ายานลอยและสายลื่นน้ำ โดยจากการพิจารณาการทดสอบพบว่า กรณีที่ฟ้าผ่าบริเวณสถานีรถไฟฟ้ายานลอยแบบโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้ายานลอยและสายลื่นน้ำเงินนั้น ค่าความเสี่ยงต่อความสูญเสียของชีวิตมนุษย์ และค่าความเสี่ยงต่อความสูญเสียของบริการสาธารณะ มีค่าน้อยกว่าค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ ผลจากการทดสอบทำให้เกิดความมั่นใจได้ถึงความปลอดภัยของระบบป้องกันฟ้าผ่าในบริเวณโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้ายานลอยและสายลื่นน้ำเงิน ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนำมาทดสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบตามหลักการวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจาก ตัวนำล่อฟ้าพบว่า สถานีรถไฟฟ้ายานลอยและสายลื่นน้ำเงินนั้นอยู่ในเขตป้องกันฟ้าผ่า

5.4 ผลการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง

การทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับสำหรับระบบรถไฟฟ้ายานลอยนั้น มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ ตรวจสอบ ศึกษาวิธีการตัดสินใจของการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งทำการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง ภายในบริเวณศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นมีอาคารที่มีความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าดังนั้นจะทำการทดสอบโปรแกรมการประเมินเพื่อเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงทั้งหมดที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้สูงสุด

การทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสำหรับสำหรับระบบรถไฟฟ้ายานลอยนั้น มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ ตรวจสอบ ศึกษาวิธีการตัดสินใจของการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งทำการทดสอบการป้องกันฟ้าผ่าของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง โดยภายในบริเวณศูนย์ซ่อมบำรุงนั้นมีอาคารที่มีความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่า ดังนั้นจึงใช้โปรแกรมการประเมินเพื่อเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงทั้งหมดที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้สูงสุด โดยในส่วนของการสรุปผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง แสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง

กรณีศึกษา	การประเมินค่าความเสี่ยง (R_1)	การประเมินค่าความเสี่ยง (R_2)	ค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T)
กรณีไม่มีการป้องกัน 1. อาคารปฏิบัติงานหลัก 2. อาคารล้างรถไฟฟ้า 3. อาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน 4. ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า 5. อาคารโรงจอดรถไฟฟ้า 6. อาคารจอดรถ	$1085276.182 \times 10^{-5}$ 1361.776×10^{-5} $114695.758 \times 10^{-5}$ 83380.041×10^{-5} 42072.683×10^{-5} $433422.794 \times 10^{-5}$	$3285508.683 \times 10^{-5}$ 4192.592×10^{-5} $349578.645 \times 10^{-5}$ $251211.267 \times 10^{-5}$ $128313.478 \times 10^{-5}$ $1310298.153 \times 10^{-5}$	การสูญเสียชีวิต คนหรือบาดเจ็บ ถาวร $(R_T = 1 \times 10^{-5})$ และ การสูญเสียการ บริการต่อ สาธารณะ $(R_T = 1 \times 10^{-3})$
กรณีมีการป้องกัน 1. อาคารปฏิบัติงานหลัก 2. อาคารล้างรถไฟฟ้า 3. อาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน 4. ศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า 5. อาคารโรงจอดรถไฟฟ้า 6. อาคารจอดรถ	0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000	0.1480×10^{-3} 0.2420×10^{-3} 0.0270×10^{-3} 0.0050×10^{-3} 0.0000 0.0000	การสูญเสียการ บริการต่อ สาธารณะ $(R_T = 1 \times 10^{-3})$

จากตารางที่ 5.8 ยกตัวอย่างแสดงถึงข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบทางคุณลักษณะของอาคารปฏิบัติงานหลัก หลังมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าโดยจะทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าโครงสร้างภายนอกของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุงโดยใช้โปรแกรมช่วยในการประเมิน โดยจะตรวจสอบผลการประเมินที่เกิดขึ้นว่ามีความเสี่ยงน้อยกว่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้หรือไม่หลังการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า การหุ้มฉล็ดสาย การเดินสายตัวนำลงดินภายนอกอาคารและอื่น ๆ โดยจากผลการประเมินจะแสดงดังรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16

ตารางที่ 5.8 พารามิเตอร์ทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน	N_G	11.10	พื้นที่ในกทม. (จากข้อมูลของ TMD)
ขนาดโครงสร้าง			
กว้าง (m)	W	106.60	
ยาว (m)	L	320.00	
สูง (m)	H	19.25	
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง	C_D	0.50	โครงสร้างล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่มีความสูงเท่ากันหรือน้อยกว่า
ระดับการป้องกัน	P_B	0.2	ระดับการป้องกันระดับ 4
เชื่อมต่ออุปกรณ์แรงดันเกินเสิร์จ	P_{EB}	0.05	ระดับการป้องกัน 3-4
การป้องกันเชิงพื้นที่ภายนอก			
โครงสร้าง	K_{S1}	1.00	ไม่มี
การชิลด์สายเคเบิล	K_{S2}	1.00	ไม่มี
ลักษณะการเดินสายภายใน	K_{S3}	0.01	มีการเดินสายใน
มาตรการป้องกันแรงดันช่วงกาวและแรงดันสัมผัส	P_{TA}	0.00	มีการเดินสายตัวนำลงดิน
ระดับการป้องกันเสิร์จ	P_{SPD}	0.05	ระดับการป้องกัน 3-4
ค่าความน่าจะเป็นที่วาบฟ้าผ่าลงสายบริการ	P_{TU}	1.00	ไม่มีมาตรการป้องกัน
	L_{F1}	0.01	อื่น ๆ
จำนวนคน	N_T	5	
จำนวนคนที่อยู่ในโซน	N_Z	5	
เวลาเป็นชั่วโมงต่อปี	t_Z	6570	18 hour/day
ชนิดของผิวดินหรือพื้น	r_t	0.01	เกษตรกรรมและคอนกรีต
	r_p	1	ไม่มีการเตรียมการ
	r_f	0	ไม่มี
	h_z	1	ไม่มีอันตรายพิเศษ

ตารางที่ 5.8 พารามิเตอร์ทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หมายเหตุ
ความยาว (m)	L_L	1000.00	
ตัวประกอบติดตั้งสาย	C_I	1.00	มีการเดินสายอากาศ
ตัวประกอบหม้อแปลง	C_T	1.00	สายส่งกำลังแรงดันต่ำ
ตัวประกอบสภาพแวดล้อม	C_E	0.10	ในเมือง
ตัวกำบังเคเบิล	R_S	N/A	< 5 Ohm/km
การหุ้มฉนวนสาย ระบบกราวด์ ระบบแยกอิสระ			
	C_{LD}	1.00	มีการฉีลด์หุ้มฉนวนสาย
	C_{LI}	0.00	มีการฉีลด์หุ้มฉนวนสาย
ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (kV)	U_W	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	P_{LD}	1.00	
	P_{LI}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	K_{S4}	1.00	ไม่มีการป้องกันอุปกรณ์แรงดันเกิน
	L_F	0.1	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม
	L_O	0.01	ไฟฟ้า/โทรคมนาคม

หมายเหตุ : มาตรฐานข้อมูล TMD (Thai Meteorological Department) จาก www.tmd.go.th/en

Lightning Risk Assessment

Risk components

Type I - Risk of Loss of Human Life

Total FA1	0	Total RV_P	0
Total HB1	0	Total RV_I	0
Total HC1	0	Total RW1_P	0
Total HM1	0	Total RW1_I	0
Total HU1_P	0	Total RZ1_P	0
Total FL1_T	0	Total RZ1_T	0

Type II - Risk of Loss of Public Service

Total RB2	0	Total RW2_P	0
Total RC2	0	Total RW2_I	0
Total RM2	0.14625E-03	Total RZ2_P	0
Total RV2_F	0	Total RZ2_T	0
Total RV2_T	0		

Type III - Risk of Loss Cultural heritage

Total FB3	0
-----------	---

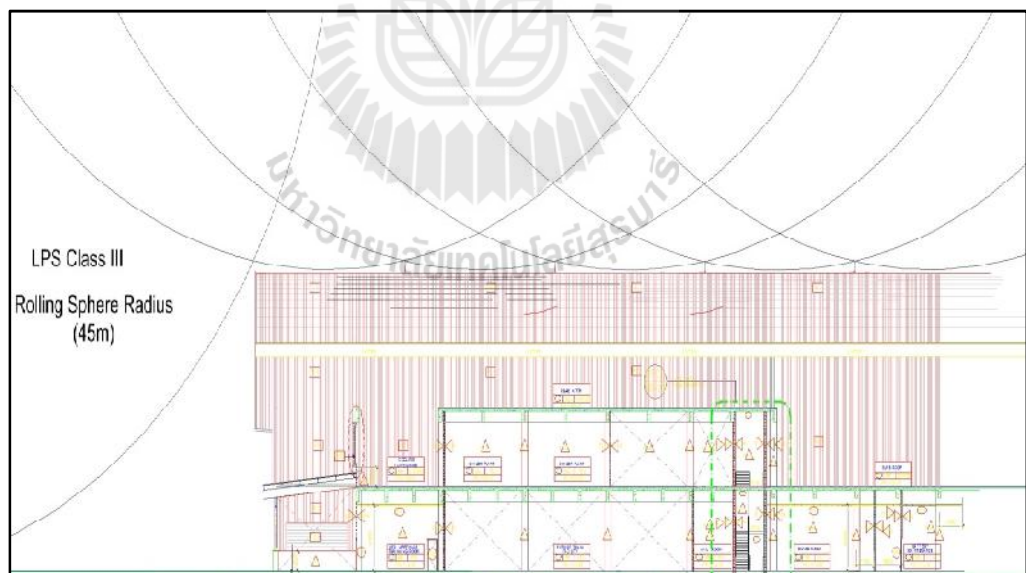
Type IV - Risk of Loss Economic Value

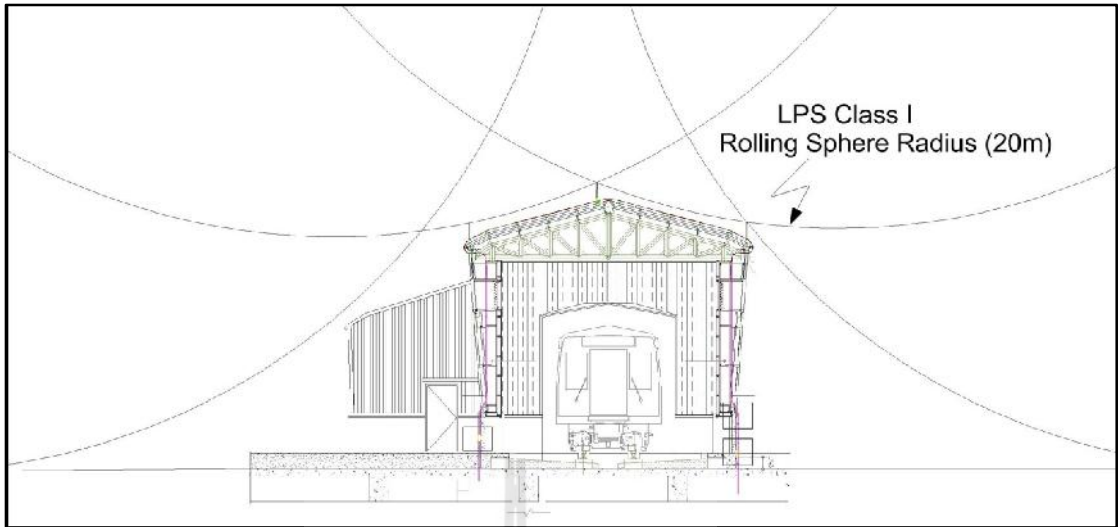
Total HA4	0	Total RI4	0
Total RB4	0	Total RV4	0
Total RC4	0	Total RW4	0
Total RM4	0	Total RZ4	0

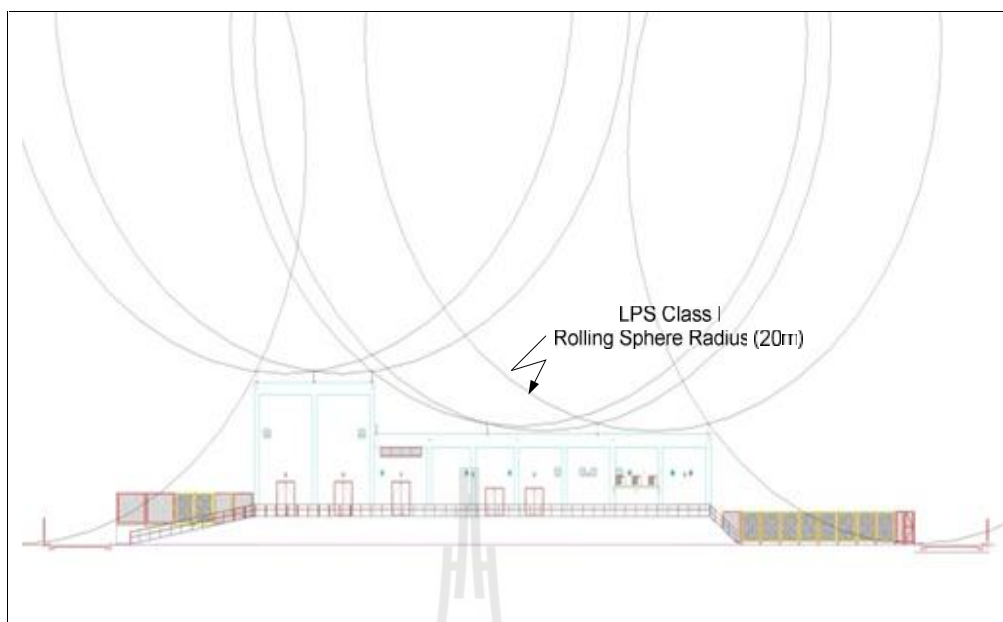
Calculate Risk

	Tolerable Risk (RT)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life, R1 :	1.00e-5	0
Loss of Public Service, R2 :	1.00e-3	0.14625E-03
Loss Cultural heritage, R3 :	1.00e-3	0
Loss Economic Value, R4 :	1.00e-3	0

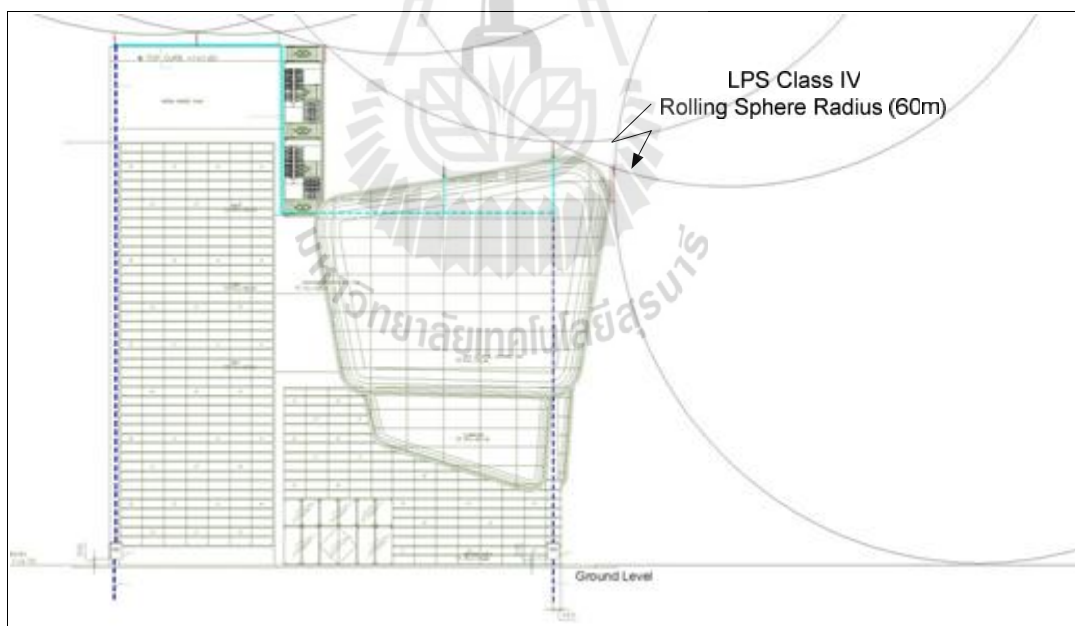
[Risk Calculation](#)
[View summary](#)



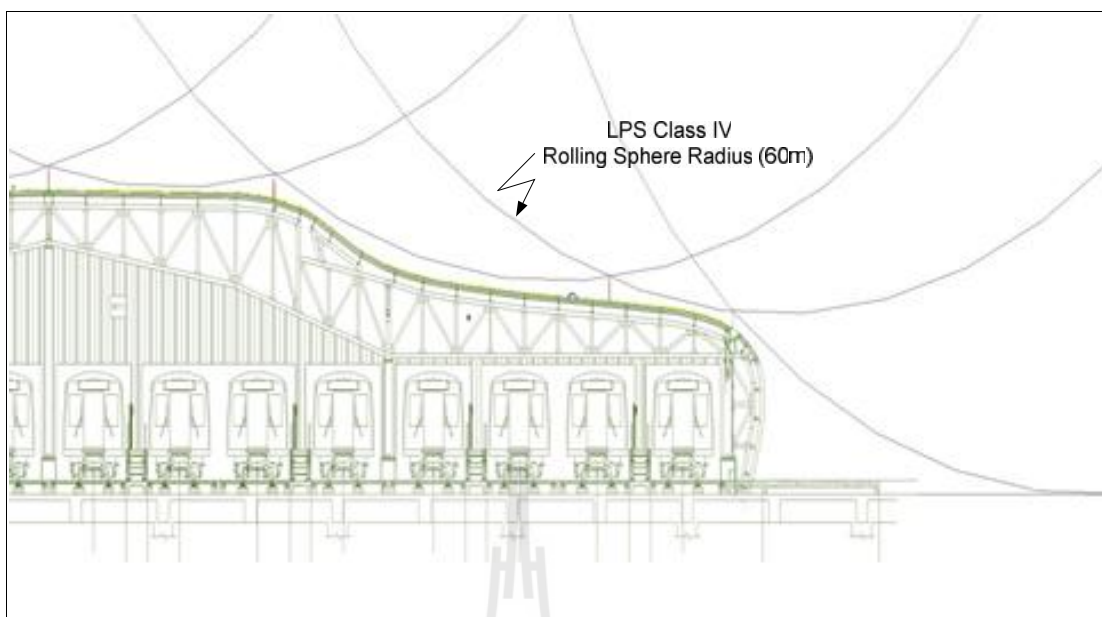




รูปที่ 5.18 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประชาชน



รูปที่ 5.19 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้า



รูปที่ 5.20 ผลการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของโรงจอดรถไฟฟ้า

5.5 สรุป

จากการจำลองระบบการทดสอบได้แก่ โครงสร้างยกระดับแบบทางเดียว โครงสร้างยกระดับแบบทางคู่ โครงสร้างยกระดับแบบสามทาง สถานีผู้โดยสาร และศูนย์ซ่อมบำรุง มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองทดสอบและวิเคราะห์การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกของระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วง โดยใช้โปรแกรมช่วยออกแบบการประเมินความเสี่ยงตามหลักการมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า วิธีการตัดสินใจความเสี่ยงของมาตรการป้องกัน เพื่อวิเคราะห์และประเมินการตัดสินใจความเสี่ยงในการป้องกันระบบป้องกันฟ้าผ่านั้นมีความจำเป็นหรือไม่ในการป้องกันตามระดับการป้องกัน ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าของอาคาร โครงสร้างภายนอกซึ่งประมาณได้จาก ความถี่ของการเกิดฟ้าผ่า ความน่าจะเป็นของความเสียหายและความสูญเสียชีวิตของมนุษย์ โดยการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่า

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

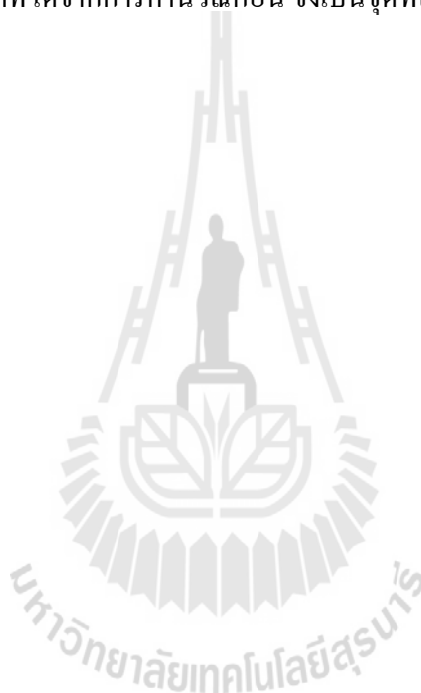
6.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอแบบจำลองการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงเท่านั้น เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเสียหายและความสูญเสียและตัดสินใจว่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยทดสอบกับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้าสายสีม่วงแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ โครงสร้างยกระดับ สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง สำหรับระบบที่ทดสอบการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Visual basic เพื่อการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ อาศัยรากฐานจากการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ ซึ่งบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอบทปรัทัศน์วรรณกรรมเหล่านั้น พร้อมทั้งศึกษาทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้และความเข้าใจในการดำเนินงานวิจัย ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งต้องพึงพาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเกิดฟ้าผ่าและการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่า และพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการทดสอบผล การดำเนินงานในบทที่ 4 เป็นขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วงในโปรแกรม และขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงจากการเกิดฟ้าผ่า ศึกษาเกี่ยวกับความเสี่ยงของความเสียหายจากฟ้าผ่าของอาคารโครงสร้างภายนอกซึ่งประมาณได้จาก ความถี่ของการเกิดฟ้าผ่า ความน่าจะเป็นของความเสียหายและความสูญเสียชีวิตของมนุษย์ โดยการประเมินความเสี่ยงของความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่านั้นได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 5 ซึ่งผลที่ปรากฏจึงสรุปได้ว่า โครงสร้างทางยกระดับและทางวิ่งสถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง นั้นมีความจำเป็นหรือไม่ในการป้องกันตามระดับการป้องกัน โดยจากผลการทดสอบพบว่า เมื่อคำนวณหาค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากข้อมูลแบบและรายละเอียดการก่อสร้างโครงสร้างยกระดับ สถานีผู้โดยสาร และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง มีค่าน้อยกว่าค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์และระบบป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม พบว่าแบบจำลองโปรแกรมการประเมินการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง สามารถนำมาวิเคราะห์ และประเมินค่าความเสี่ยงเนื่องจากการเกิดฟ้าผ่าลงโครงสร้างอาคารได้เป็นอย่างดี

6.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

1. พัฒนางานวิจัย เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกของรถไฟฟ้าสายสีม่วง
2. พัฒนางานวิจัย เพื่อออกแบบโปรแกรมทดสอบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสร็จให้เหมาะสมรวมถึงระบบการวัดการต่อลงดิน
3. พัฒนางานวิจัย เพื่อออกแบบโปรแกรมการคำนวณของโปรแกรม มาเขียนในรูปแบบสามมิติ เนื่องจากต้องนำค่าที่ได้จากการคำนวณก่อน จึงเป็นจุดที่สามารถพัฒนาต่อ



รายการอ้างอิง

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554), โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วงช่วงบางใหญ่-บางซื่อ,

[www.mrta.co.th/MRTA project/purple line.php](http://www.mrta.co.th/MRTA%20project/purple%20line.php)

คณะกรรมการการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง

มาตรฐาน วสท. (2543) .มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง

สำรวจ สังข์สะอาด (2528), วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (2553). มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาคที่ 3
ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้าง และอันตรายต่อชีวิต.

Armstrong, H.R. and Whitehead E.R. (1968). Field and Analytical Studies of Transmission Line
Shielding. **Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on.** : p. 270-281.

Arai H., Ono Y. and Fujita H. (2012). The Lightning Risk Evaluation for Railway Signalling
Systems based on Observation of Lightning Overvoltages. “**2012 International
Conference on lightning Protection (ICLP)**” : p.73-76.

Cooray, V. (2010). Non conventional lightning protection systems. **30th International
conference on Lightning protection, ICLP2010** ; Cagliari, Italy. :p. 295-299.

Eriksson, A.J. (1987). An Improves Electrogeometric Model for Transmission Line Shielding
Analysis. **Power Delivery, IEEE Transactions on.** 2(3) : p.871-886.

Golde, R.H (1973). Lightning Protection. Great Britain : Edward Arnold Publishers.

Gallego, L. E and Torres H. (2004). Lightning risk assessment using fuzzy logic. “**26th
International Conference on Lightning Protection**”, p. 233-239.

IEC Standard 61024-1-2. “Protection of Structure”, part 1-2 general principles

IEC Standard 1662 (1995). “Assessment of The Risk of Damage due to Lightning”

IEEE (1996) , “Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substation ”, New York

IEC 62305-2 (2006). “Protection Against Lightning-Part 2 (Risk management)”

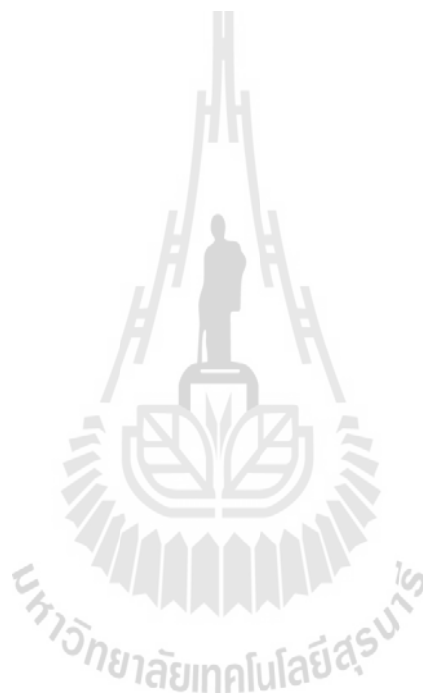
IEC 62305-2 (2010). “Protection against lightning- part2: risk management”, 2nd edition

International Electrotechnical Commission. Protection of structures against lightning, Part 1 :

General principles : IEC1024.1, 1990

- He, L. L. and Cho, H. G. (1999), Lightning Overvoltage Protection of AC Railroad Vehicles by Polymeric Arresters.
- Mackerras D., Darveniza M. and Liew, A.C. (1997). Review of claimed enhanced lightning protection of buildings by early streamer emission air terminals. **IEE Proceedings Science and Measurement Technology**. 144(1) : p.1-10.
- Motoyama H., Yokoyama S. and Ishii M. (2011). Calculation Model to Evaluate Effects of Lightning Protection Measures on Railway Signalling. “**2011 International Symposium on Lightning Protection**”. Fortaleza, Brazil. October 3-7 :p.50-54.
- Mazloom Z., Theethayi N. and Thottappillil R. (2011), Modeling Indirect Lightning Strikes for Railway Systems With Lumped Components and Nonlinear Effects, “**IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY**”, Vol. 53., :p.423-426.
- NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning protection Systems 1997 Edition
- Okyere , P.Y. and Eduful G. (2006), Evaluation of Rolling Sphere Method Using Leader Potential Concept A Case Study, “**Proceedings of The 2006 IJME-INTERTECH Conference**”, :p.124-126
- Pusayatanont M. and Sookananta B. (2013), External Lightning Protection System, :p.112-124.
- Prinz H. (1977), Lightning in History, “Lightning vol. 1, Physics of Lightning”, **Academic Press Inc., Ltd.**, London, p. 28.
- Pyrgloti, V. P. and Grzybowski, S. (2004). A computational approach on the study of Franklin rod height impact on striking distance using a stochastic model. **Journal of Electrostatics**, 60 :175 - 181.
- Szczerbinski, M. (2000). A discussion of 'Faraday cage' lightning protection and application to real building structures. **Journal of Electrostatics**, 48:p.145 - 154.
- The Bangkok Mass Transit System PCL., BTS Sky train system (2012) (www.bts.co.th)
- Theethayi N. and Thottappillil R. (2003), Modeling Direct Lightning Attachment to Electrified Railway System in Sweden, “**IEEE Bologna Powertech Conference**” :p.102-105.
- Uman, M. A. and Rakov, V.A. (2002). A critical review of nonconventional approaches to lightning protection. **American meteorological society**, 83(12):p.1809-1820.

Zhoy, Q. B. and Du Y. (2006) , Analysis of Lightning Transients in a DC Traction Power System of Electrified Railway Using EMTP, p. 205 - 209.





ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

S09 station: Assumption of unprotected structure

1) Parameters setting

a. Environment and structure characteristics

Input parameter	Symbol	Value	Comment
Ground flash density (1/km ² /yr)	N_G	11.10	Bangkok area (data from TMD)
Structure dimension			
Width (m)	W	19.50	
Length (m)	L	297.10	
Height (m)	H	25.06	
Location factor	C_D	0.50	Structure surrounded by the same height or smaller
LPS	P_s	1.00E+00	Structure not protected by LPS
Equipotential bonding	P_{ss}	1.00E+00	No coordinated SPD
External spatial shielding			
Structure	K_{s1}	1.00	None
Cable shielding	K_{s2}	1.00	None
Cable routing	K_{sr}	1.00	No routing to avoid loop
Protection measures against touch and step voltage	P_{TA}	1.00E+00	No protection measures
The coordinated SPD system	P_{SPD}	1.00E+00	No coordinated SPD
Values of the probability that a flash to an entering line	P_{TL}	1.00E+00	No protection measures
	L_{r1}	1.00E-02	Other
Total number of persons	N_T	300	
Number of persons in the zone	N_Z	300	
Time in hour per year	t_p	6570	18 hour/day
Type of surface of soil or floor	t_c	1.00E-02	Agricultural or concrete
	t_o	1	No provision
	t_e	0	None
	h_e	1	No special hazard

b. Power Line			
Input parameter	Symbol	Value	Comment
Length (m)	$L_{L,P}$	1000.00	unknown
Line installation	$C_{L,P}$	1.00	Aerial cable
Line type	$C_{T,P}$	1.00	LV power line
Environmental factor	$C_{E,P}$	0.10	Urban
Shield of line	R_s	N/A	
Shielding, grounding, isolation			
	$C_{L,D,P}$	1.00	Unshielded
	$C_{L,I,P}$	1.00	Unshielded
Withstand voltage of internal system (kV)	$U_{W,P}$	1.00	No SPD or 1 kV
	$P_{L,D,P}$	1.00	Unknown
	$P_{L,I,P}$	1.00	No SPD or 1 kV
	$K_{SPD,P}$	1.00	No SPD or 1 kV
	L_{PD}	0.1	Power supply
	L_{ID}	0.01	Power supply

c. Telecom Line			
Input parameter	Symbol	Value	Comment
Length (m)	$L_{L,T}$	1000.00	Unknown
Line installation	$C_{L,T}$	1.00	Aerial cable
Line type	$C_{T,T}$	1.00	Telecom
Environmental factor	$C_{E,T}$	0.10	Urban
Shield of line	$R_{s,T}$	N/A	
Shielding, grounding, isolation			
	$C_{L,D,T}$	1.00	Unshielded
	$C_{L,I,T}$	1.00	Unshielded
Withstand voltage of internal system (kV)	$U_{W,T}$	1.00	No SPD or 1 kV
	$P_{L,D,T}$	1.00	Unknown
	$P_{L,I,T}$	1.00	No SPD or 1 kV
	$K_{SPD,T}$	1.00	No SPD or 1 kV
	$L_{PD,T}$	0.01	Telecom
	$L_{ID,T}$	0.001	Telecom

d. Collection area of structure and line			
	Symbol	Value	Comment
Structure	A_D	71160.44	Collection area
	A_{id}	1101998.16	
Power line	$A_{L,P}$	40000.00	
	$A_{L,D,P}$	4000000.00	
Telecom line	$A_{L,T}$	40000.00	
	$A_{L,D,T}$	4000000.00	

e. Expected annual numbers of dangerous events			
	Symbol	Value	Comment
Structure	N_D	0.39	
	N_{id}	12.23	
Power line	$N_{L,P}$	0.04	
	$N_{L,D,P}$	4.44	
Telecom line	$N_{L,T}$	0.04	
	$N_{L,D,T}$	4.44	

1) Collection area of structure and line

a. Structure

$$\begin{aligned}
 A_D &= LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2 \\
 &= 297.1 \times 19.5 + 6(25.06)(297.1 + 19.5) + 9\pi(25.06)^2 \\
 &= 71160.44 \text{ m}^2 \\
 A_M &= 2 \times 500(L + W) + \pi(500)^2 \\
 &= 2 \times 500(297.1 + 19.5) + \pi(500)^2 \\
 &= 1101998.16 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

b. Power line

$$\begin{aligned}
 A_{L_P} &= 40 \times L_{L_P} = 40 \times 1000 = 40000 \text{ m}^2 \\
 A_{I_P} &= 4000 \times L_{I_P} = 4000 \times 1000 = 4000000 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

c. Telecom line

$$\begin{aligned}
 A_{L_T} &= 40 \times L_{L_T} = 40 \times 1000 = 40000 \text{ m}^2 \\
 A_{I_T} &= 4000 \times L_{I_T} = 4000 \times 1000 = 4000000 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2) Expected annual numbers of dangerous events

a. Structure

$$\begin{aligned}
 N_D &= N_G A_D C_D \times 10^{-6} = 11.1 \times 71160.44 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.3949 \\
 N_M &= N_G A_M \times 10^{-6} = 11.1 \times 1101998.16 \times 10^{-6} = 12.23
 \end{aligned}$$

b. Power line

$$\begin{aligned}
 N_{L_P} &= N_G A_{L_P} C_{I_P} C_{E_P} C_{T_P} \times 10^{-6} = 11.1 \times 40000 \times 1 \times 0.1 \times 1 = 0.04 \\
 N_{I_P} &= N_G A_{I_P} C_{I_P} C_{E_P} C_{T_P} \times 10^{-6} = 11.1 \times 4000000 \times 1 \times 0.1 \times 1 = 4.44
 \end{aligned}$$

c. Telecom line

$$\begin{aligned}
 N_{L_T} &= N_G A_{L_T} C_{I_T} C_{E_T} C_{T_T} \times 10^{-6} = 11.1 \times 40000 \times 1 \times 0.1 \times 1 = 0.04 \\
 N_{I_T} &= N_G A_{I_T} C_{I_T} C_{E_T} C_{T_T} \times 10^{-6} = 11.1 \times 4000000 \times 1 \times 0.1 \times 1 = 4.44
 \end{aligned}$$

3) Assessment of Loss

$$\begin{aligned}
 L_A &= L_U = r_t \times L_T \times (n_z / n_t) \times t_z / 8760 = 0.01 \times 0.01 \times (300 / 300) \times 6570 / 8760 = 0.000075 \\
 L_{BI} &= L_{VI} = r_p \times r_f \times h_z \times L_{FI} \times (n_z / n_t) \times t_z / 8760 = 1 \times 0 \times 1 \times 0.01 \times (300 / 300) \times 6570 / 8760 = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_{C1} &= L_{M1} = L_{W1} = L_{Z1} = L_{O1} \times \left(n_Z / n_t \right) \times t_Z / 8760 = 0 \times (300 / 300) \times 6570 / 8760 = 0 \\
L_{B2_P} &= L_{V2_P} = r_p \times r_f \times L_{F2_P} \times \left(n_Z / n_t \right) = 1 \times 0 \times 1 \times 0.01 \times (300 / 300) = 0 \\
L_{B2_T} &= L_{V2_T} = r_p \times r_f \times L_{F2_T} \times \left(n_Z / n_t \right) = 1 \times 0 \times 1 \times 0.1 \times (300 / 300) = 0 \\
L_{C2_P} &= L_{M2_P} = L_{W2_P} = L_{Z2_P} = L_{O2_P} \times \left(n_Z / n_t \right) = 0.01 \times (300 / 300) = 0.01 \\
L_{C2_T} &= L_{M2_T} = L_{W2_T} = L_{Z2_T} = L_{O2_T} \times \left(n_Z / n_t \right) = 0.001 \times (300 / 300) = 0.001
\end{aligned}$$

4) Result of risk assessment

a. Risk components relevant to risk R_1 for protected structure (Loss of human life)

D1 injury due to shock

$$\begin{aligned}
R_A &= N_D P_A L_A = N_D P_{TA} P_B L_A = 0.3949 \times 1 \times 1 \times 0.000075 = 2.96205 \times 10^{-5} \\
R_{U/P} &= (N_{L_P} + N_{DJ}) P_{U_P} L_U = (N_{L_P}) (P_{TU} P_{EB} P_{LD_P} C_{LD_P}) L_U \\
&= 0.04 \times (1 \times 1 \times 1 \times 1) \times 0.000075 = 0.333 \times 10^{-5}
\end{aligned}$$

* N_{DJ} can be neglected in many cases

$$\begin{aligned}
R_{U/T} &= (N_{L_T} + N_{DJ}) P_{U_P} L_U = (N_{L_T}) (P_{TU} P_{EB} P_{LD_T} C_{LD_T}) L_U \\
&= 0.04 \times (1 \times 1 \times 1 \times 1) \times 0.000075 = 0.333 \times 10^{-5}
\end{aligned}$$

D2 Physical damage

$$\begin{aligned}
R_B &= N_D P_B L_{B1} = 0.3949 \times 1 \times 0 = 0 \\
R_{V/P} &= (N_{L_P} + N_{DJ}) P_{V_P} L_{V1} = (N_{L_P}) (P_{EB} P_{LD_P} C_{LD_P}) L_{V1} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0 = 0 \\
R_{V/T} &= (N_{L_T} + N_{DJ}) P_{V_T} L_{V1} = (N_{L_T}) (P_{EB} P_{LD_T} C_{LD_T}) L_{V1} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0 = 0
\end{aligned}$$

D3 Failure of intend electrical/electronic system

$$\begin{aligned}
R_C &= N_D P_C L_{C1} = N_D P_{SPD} C_{LD} L_{C1} = 0.3949 \times 1 \times 1 \times 0 = 0 \\
R_M &= N_M P_M L_M = N_M P_{SPD} P_{MS} L_{M1} = N_M P_{SPD} (k_{s1} k_{s2} k_{s3} k_{s4})^2 L_{M1} = 12.23 \times 1 \times (1 \times 1 \times 1 \times 1)^2 \times 0 = 0 \\
R_{W/P} &= (N_{L_P} + N_{DJ}) P_{W_P} L_{W1} = (N_{L_P}) (P_{SPD} P_{LD_P} C_{LD_P}) L_{W1} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0 = 0 \\
R_{W/T} &= (N_{L_T} + N_{DJ}) P_{W_T} L_{W1} = (N_{L_T}) (P_{SPD} P_{LD_T} C_{LD_T}) L_{W1} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0 = 0 \\
R_{Z/P} &= N_{I_P} P_{Z_P} L_{Z1} = N_{I_P} P_{SPD} P_{LI_P} C_{LI_P} L_{Z1} = 4.44 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0 = 0 \\
R_{Z/T} &= N_{I_T} P_{Z_T} L_{Z1} = N_{I_T} P_{SPD} P_{LI_T} C_{LI_T} L_{Z1} = 4.44 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0 = 0
\end{aligned}$$

$$R_1 = R_A + R_{U/P} + R_{U/T} + R_B + R_{V/P} + R_{V/T} + R_C + R_M + R_{W/P} + R_{W/T} + R_{Z/P} + R_{Z/T} = 3.62805 \times 10^{-5}$$

b. Risk components relevant to risk R2 for protected structure (Loss of essential service)

D2 Physical damage

$$R_B = N_D P_B L_{B2} = 0.3949 \times 1 \times 0 = 0$$

$$R_{V/P} = (N_{L_P} + N_{DJ}) P_{V_P} L_{V2_P} = (N_{L_P}) (P_{EB} P_{LD_P} C_{LD_P}) L_{V2_P} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0 = 0$$

$$R_{V/T} = (N_{L_T} + N_{DJ}) P_{V_T} L_{V2_T} = (N_{L_T}) (P_{EB} P_{LD_T} C_{LD_T}) L_{V2_T} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0 = 0$$

D3 Failure of intend electrical/electronic system

$$R_C = N_D P_C L_{C2_P} = N_D P_{SPD} C_{LD} L_{C2_P} = 0.3949 \times 1 \times 1 \times 0.01 = 0.003949$$

$$R_M = N_M P_M L_M = N_M P_{SPD} P_{MS} L_{M2} = N_M P_{SPD} (k_{s1} k_{s2} k_{s3} k_{s4})^2 L_{M2} = 12.23 \times 1 \times (1 \times 1 \times 1 \times 1)^2 \times 0.01 = 0.1223$$

$$R_{W/P} = (N_{L_P} + N_{DJ}) P_{W_P} L_{W2} = (N_{L_P}) (P_{SPD} P_{LD_P} C_{LD_P}) L_{W2} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0.01 = 0.0004$$

$$R_{W/T} = (N_{L_T} + N_{DJ}) P_{W_T} L_{W2} = (N_{L_T}) (P_{SPD} P_{LD_T} C_{LD_T}) L_{W2} = 0.04 \times (1 \times 1 \times 1) \times 0.001 = 0.00004$$

$$R_{Z/P} = N_{I_P} P_{Z_P} L_{Z2} = N_{I_P} P_{SPD} P_{LI_P} C_{LI_P} L_{Z2} = 4.44 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.01 = 0.0444$$

$$R_{Z/T} = N_{I_T} P_{Z_T} L_{Z2} = N_{I_T} P_{SPD} P_{LI_T} C_{LI_T} L_{Z2} = 4.44 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.0001 = 0.00444$$

$$R_2 = R_B + R_{V/P} + R_{V/T} + R_C + R_M + R_{W/P} + R_{W/T} + R_{Z/P} + R_{Z/T} = 175.5596 \times 10^{-3}$$



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของโครงสร้างยกระดับทางเดียว

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.240 × 10 ⁻⁵	0.240 × 10 ⁻⁵	0.000	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.000			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 × 10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 × 10 ⁻³)				

*ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของโครงสร้างยกระดับทางคู่

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.253 × 10 ⁻⁵	0.253 × 10 ⁻⁵	0.000	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.000			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 × 10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 × 10 ⁻³)				

*ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของโครงสร้างยกระดับสามทาง

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.256 × 10 ⁻⁵	0.256 × 10 ⁻⁵	0.000	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.000			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 × 10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 × 10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีรถไฟฟ้ายกถนนพหลโยธิน

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000	0.000	0.242×10 ⁻³	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.197×10 ⁻³			
	Total RM1	0.006×10 ⁻³			
	Total RM2	0.000			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.222×10 ⁻³			
	Total RW2_T	0.222×10 ⁻³			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของสถานีรถไฟฟ้าเตาปูน

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000, 0.000	0.000	0.231×10 ⁻³	
	Total RU1_P	0.000, 0.000			
	Total RU1_T	0.000, 0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000, 0.000			
	Total RB2	0.000, 0.000			
	Total RV1_P	0.000, 0.000			
	Total RV1_T	0.000, 0.000			
	Total RV2_P	0.000, 0.000			
	Total RV2_T	0.000, 0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.113×10 ⁻³ , 0.071×10 ⁻³			
	Total RM1	0.000, 0.000			
	Total RM2	0.000, 0.000			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.011×10 ⁻³ , 0.011×10 ⁻³			
	Total RW2_T	0.011×10 ⁻³ , 0.011×10 ⁻³			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของอาคารปฏิบัติงานหลัก

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000	0.000	0.148×10 ⁻³	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.148×10 ⁻³			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของอาคารสิ่งรุดไฟฟ้า

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000	0.000	0.197×10 ⁻³	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.197×10 ⁻³			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าของอาคารสถานีจ่ายไฟฟ้าประชาชน

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000	0.000	0.027×10 ⁻³	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.027×10 ⁻³			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าอาคารศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟ

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความ เสี่ยง (R ₁)	ค่าความ เสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000	0.000	0.005×10 ⁻³	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/eletronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.005×10 ⁻³			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบการประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่าอาคารของโรงจอดรถไฟฟ้า

ชนิดความเสียหาย	ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	ผลการคำนวณ	ค่าความเสี่ยง (R ₁)	ค่าความเสี่ยง (R ₂)	
D1 injury due to shock	Total RA1	0.000	0.000	0.000	
	Total RU1_P	0.000			
	Total RU1_T	0.000			
D2 Physical damage	Total RB1	0.000			
	Total RB2	0.000			
	Total RV1_P	0.000			
	Total RV1_T	0.000			
	Total RV2_P	0.000			
	Total RV2_T	0.000			
D3 Failure of intend electrical/electronic system	Total RC1	0.000			
	Total RC2	0.000			
	Total RM1	0.000			
	Total RM2	0.000			
	Total RW1_P	0.000			
	Total RW1_T	0.000			
	Total RW2_P	0.000			
	Total RW2_T	0.000			
	Total RZ1_P	0.000			
	Total RZ1_T	0.000			
	Total RZ2_P	0.000			
	Total RZ2_T	0.000			
ความเสี่ยง (R _T)	R ₁ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻⁵)				
	R ₂ < R _T Protection necessary ,(R _T = 1 x10 ⁻³)				

*จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม

ตารางที่ ก.10 สรุปผลการประเมินบริเวณที่มีการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร Wayside switch cabinet

Station section	Pier position	LPS zone assessment	
		Protected	Unprotected
Depot – S01	P002 – P003	MQ05	-
	P006 – P007	-	MQ06
	P007 – P008	MQ07	-
	P008 – P009	-	MQ17
	P018 – P019	-	MQ08
	P019 – P020	MQ04	-
	P022 – P023	-	MQ03
	P026 – P027	-	MQ09
	P028 – P029	-	MQ02
	P029 – P030	-	MQ10
	P031 – P032	MQ11, MQ01	-
S01 – S02	P053 – P054	-	MQ03
	P056 – P057	-	MQ04
	P059 – P060	MQ18	-
	P060 – P061	-	MQ05, MQ06
	P063 – P063A	MQ02	-
	P065 – P066	MQ01, MQ07	-
S03 – S04	P113 – P114	MQ01, MQ02	-
S04 – S05	P173 – P174	-	MQ04
	P174 – P174A	-	MQ03
	P174A – P175	-	MQ02
	P175 – P175A	MQ05	-
S05 – S06	P185 – P186	MQ01, MQ06	-
S07 – S08	P253 – P254	MQ01, MQ02	-

ตารางที่ ก.10 สรุปผลการประเมินบริเวณที่มีการเกิดฟ้าผ่าลง Wayside switch cabinet (ต่อ)

Station section	Pier position	LPS zone assessment	
		Protected	Unprotected
S08 – S09	P314 – P315	-	MQ05, MQ04
	P320 – P321	-	MQ03, MQ06
	P323 – P324	-	MQ02
	P324 – P325	-	MQ07
S09 – S10	P332 – P333	MQ01, MQ08	-
S10 – S11	P381 – P382	MQ01, MQ02	-
S11 – S12	P423 – P424		MQ03, MQ02, MQ01, MQ04
S13 – S14	P466 – P467	MQ01, MQ02	-
	P498 – P499	-	MQ03, MQ06
	P500 – P501	-	MQ02
	P501 – P502	-	MQ07
S14 – S15	P507 – P508	MQ01	MQ08
S15 – S16	P544 – P545	MQ01, MQ02	-
	P568 – P569	-	MQ02
	P570 – P571	-	MQ03
	P571 – P572	MQ04	-
	P573 – P574	-	MQ01
	P584 – P585	MQ05	-
Total		27	32

*MQ คือ อุปกรณ์ Wayside switch cabinet

ภาคผนวก ค

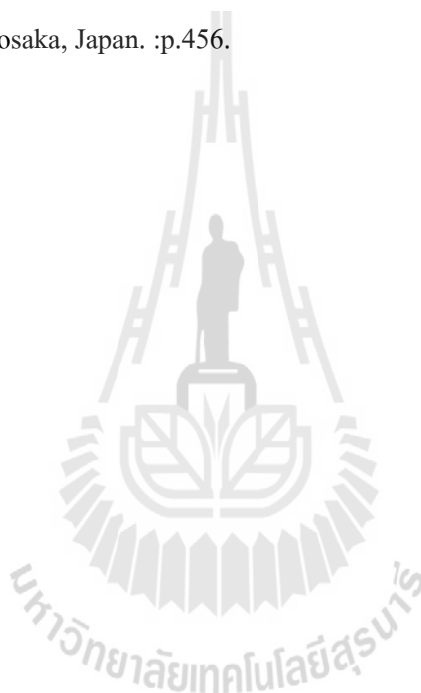
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Chetsada W. and Thanatchai K. (2016). **Assessment of External Lightning Protection Installation for DC Mass Rapid Transit System**. Asia conference on engineering and natural science., fukuoka, Japan. :p.738.

Uten L., Chetsada W., Chaikut S. and Thanatchai K. (2015). **Power Supply Modeling for DC Railway Using MATLAB/SIMULINK**. Asia pacific conference on engineering and applied science., osaka, Japan. :p.456.



Assessment of External Lightning Protection Installation for DC Mass Rapid Transit System

Chetsada Wiangchanthuek and Thanatchai Kulworawanichpong

111 University Avenue, School of Electrical Engineering, , Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima, THAILAND 30000
E-mail address: w.chetsada@gmail.com and thanatchai@gmail.com

Abstract

This paper presents a developed of software for risk assessment of external lightning protection for DC Mass rapid transit system by using visual basic. This program proposed to help to design and examine the air-terminal installation for lightning protection .The risk assessment in order to basically evaluate that whether there is need to install the lightning protective device or not. Then, the lightning protection system is designed according to standard IEC 62305-2 using visual basic program. In this article, the passenger station of the mass rapid transit (MRT purple line) is set to be the case study. The results showed the effectiveness of the proposed programming.

Keywords: External Lightning Protection, DC Mass rapid transit, Risk assessment

1. Introduction

Lightning is a natural hazard, being the discharge of static electricity generated in parts of storm clouds. Those flashes may strike the ground. It may damage earthed objects, such as building, farms , commercial etc. and a few kill or s injure people and animals, either directly or indirectly by causing fire and explosions. To have a rough idea of number of lightning strokes in a day it has been estimated that throughout the world there occur about 40,000 lightning storms a day and 100 lightning strokes per second [1]

The DC power supply at 1.5 kV to 3 kV in 1900 and 1930 were used as a control. However, there is some difficulty in turning the motors to drive [2-3] high-speed trains operating at some higher speed than the speed of typical trains in services. Typically, high-speed rail in various forms are usually powered by electric power source through catenary wire. To analyze power loading of a moving train needs power network solving algorithms that are complicated and tedious for computer programming. It would be simpler to use graphic-based programming, like MATLAB/SIMULINK. In the past, MATLAB/SIMULINK has been applied to various research fields as a potential tool for analysis, simulation and design. However,

MATLAB/SIMULINK in railways is very few. Traction power supply system [4], especially for long-distance and high-speed trains are focused. Autotransformer feeding configuration [5] of the traction power supply system is chosen in order to perform the analysis of voltage and current in the system.

This paper presents a model of DC railway systems equipped with rectifier power substation by using MATLAB/SIMULINK to analyze the voltage profile, power traction substation and power losses in feeder catenary of a tested mass transit section. The train models was applied a constant power model (S-model) to simulate the train performance calculation with nodal analysis method to solve for DC railway power flow solutions is conducted. The power supply interface and power consumption in the train combine with power feeder losses are discusses in this paper.

This paper consists of five sections. Section two illustrates a general review of the railway power supply. Section three describe MATLAB/SIMULINK model of DC railway power supply. Section four gives simulation results and discussions. Last, conclusion is in section five.

2. DC Railway Power Supply

The electric railway needs a power supply that the trains can access at all times. It must be safe, economical and user friendly. In [4] the tested and calculated impacts of high efficiency power supply and energy saving technologies in railway power supply system for traction and station are compared. Transmission of power is always along the track by means of an overhead wire or at ground level. The third rail is an extra rail at the center of the running rails. The alternating current (AC) systems always use overhead wires. The direct current (DC) can use either an overhead wire or a third rail. They are all common. Overhead systems require at least one collector attached to the train so that it can always be in contact with the power. Overhead current collectors use a "pantograph", so called because that was the shape of most of them until about 30 years ago. The return circuit is via the running rails back to the substation.

The commonly used voltages for DC railways are 600, 750 V and 1.5 kV for urban, interurban metros and regional system [6]. Overhead catenary is typically used for light rail system at 600-800 V and conventional interurban or regional systems at 1.5 kV or 3 kV. Because of the large currents involved compared to high-voltage AC system, the DC copper contact wire is made of heavier gauge material.

DC railway power supply system has several configuration features different to a normal DC power system. However, there are some simplifications of the power network modeling. DC feeding system feature includes a three-phase bridged silicon rectifier for conversion from alternating to direct current [7]. Fig. 1 is an example showing the structure of a DC feeding circuit connected to the nearest sub-station. Section and tie posts are sometimes used to

prevent voltage drop on double track where substation is located far apart. In this case, the up and down tracks are connected by a high-speed circuit breaker. The distance between substations is about 5 km on metropolitan trunk lined and 10 km on other lines.

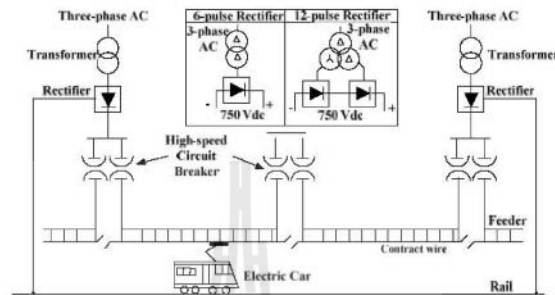


Fig. 1: Structure of DC feeding system [7]

3. MATLAB/SIMULINK Model of DC Railway

The structure of DC mass transit system model is employed by MATLAB/SIMULINK [8] include power supply, the feeder line or catenary system and the train model. The configuration of DC railway power supply model is considered 12 pulse rectifier to operate input voltage at 24 kV / 50 Hz to simulate the 12-pulse rectifier to feed into the catenary system is shown in Fig. 2. The 12 pulse bridge no load voltage output profile is illustrated in Fig. 3

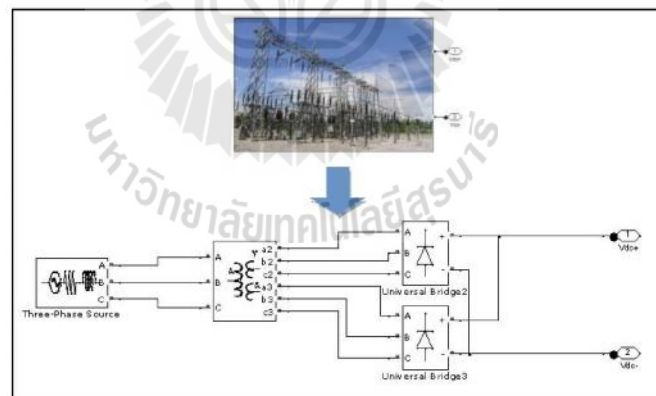


Fig. 2: 12 Pulse Bridge Rectifier Modelling Power Supply

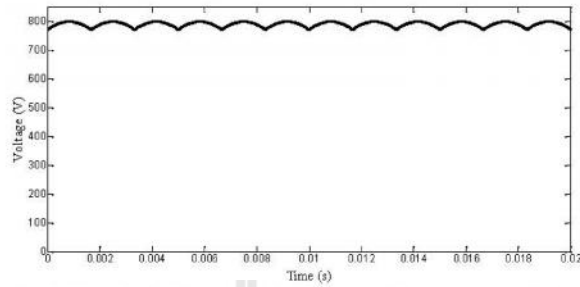


Fig. 3: 12 pulse bridge no-load voltage profile output simulation

The characteristic pulse of the power supply system is depended on the transformer winding and converter arrangement to provide a number of pulses to affect DC output voltage and ripple current such as 6, 12, 18 and 24 pulses. The twelve-pulse bridge rectifier connection is usually employed to the railway power supply. A twelve-pulse bridge consists of two six-pulse bridge circuits connected in series, with their AC connections fed from a supply transformer that produces a 30° phase shift between the two bridges. This cancels many of the characteristic harmonics the six-pulse bridges produce. The 30 degree phase shift is usually achieved by using a transformer with two sets of secondary windings, one in star (wye) connection and one in delta connection [9].

Electric power supply for DC mass transit system to get power through electricity supply system from the third rail. A third rail is a method of providing electric power to a railway train, through a semi-continuous rigid conductor placed alongside or between the rails of a railway track. It is used typically in a mass transit or rapid transit system, which has alignments in its own corridors, fully or almost fully segregated from the outside environment. Third rail systems are always supplied from direct current electricity. This paper, DC mass transit system is considered of the third rail normal voltage at 750 V. The power supply are designed third rail and running rail in Fig. 4 and the model of the trains is presented in the form of electric power (S-model) as shown in Fig. 5.

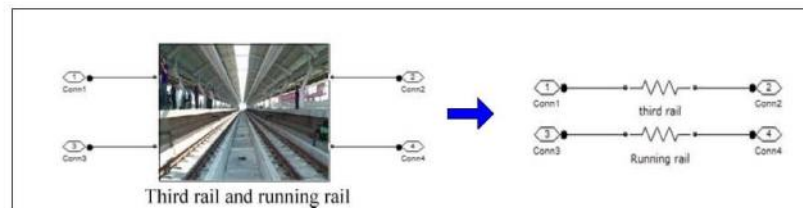


Fig. 4: 3rd rail and running rail model

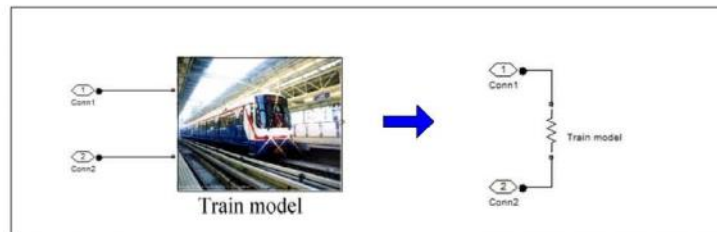


Fig. 5: Train model

4. Simulation and Results

In this section, The Silom Line of BTS SkyTrain system was modeled for the simulation tests [10]. The BTS SkyTrain was the first electric mass transit railway system to commence operations in Thailand. The BTS Silom Line is composed of 13 passenger-stations and 7 traction substations as shown in Fig.6. In this paper, defined as numbers of train are 28 trains, dwell time and headway is 20 and 120 seconds, respectively [11].

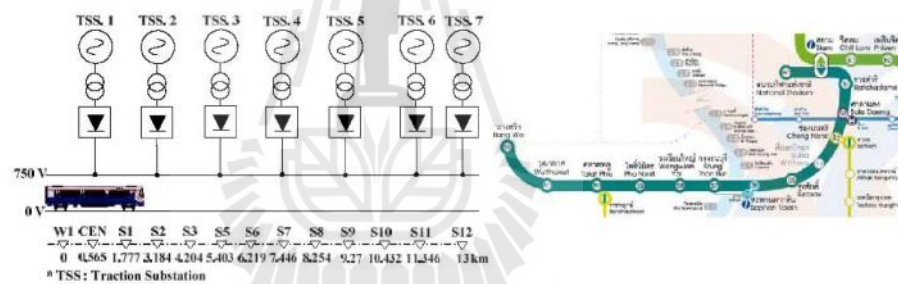
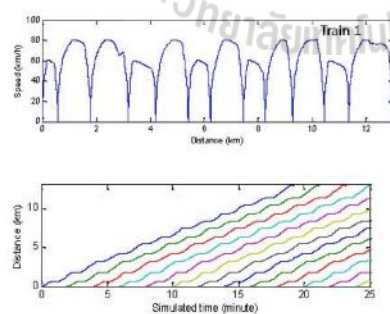


Fig. 6: BTS Silom Line



a) Speed-distance trajectory

b) Train positions against time curve

Fig. 7: Speed-distance trajectory and train positions against time curve on up-track

Fig.7 a) shows the speed-distance trajectory of train number 1 on up-track. To see that the train speed profile is changed forever of operating mode depending on the gradient profile. Fig.7 b) shows the train positions against time curve on up-track. In this paper, the DC Mass transit system for the BTS Silom line is installed 7 traction substation. The traction substation was considered rectifier 12 pulses, total distance by 13 kilometers. The detail parameters shows in Table 1. The rectifier traction substation on CT, S2, S5 and S7 are implemented the transformer rate at 2550 kVA. On the other hand, the traction substation S9, S11, S12 are implemented the transformer rate at 3300 kVA.

The simulation result of Silom Line DC mass transit snapshot on 10 minutes was shown Fig.7 b). On the time, the train is service on the track by 5 trains. The position of all train was shown in Fig. 8. The result is consider the power system performance, power losses and power balance which is feed into the traction track. The model of DC railway in MATLAB/SIMULINK is illustrated in Fig. 9

Table 1: Conditions of test systems for the simulation results.

Specific data	Information	
Unit configuration	4car-train	
Voltage Conditions	No-load voltage	790 Vdc
	Norminal voltage	750 Vdc
No-load transformer voltage	No-load voltage	585 Vac
Rated power transformer 1	2550 kVA	
Rated power transformer 2	3300 kVA	
Third rail impedance	8.23 mΩ/km	
Running rail impedance	40.46 mΩ/km	
Conductivity to earth	0.1 S/km	

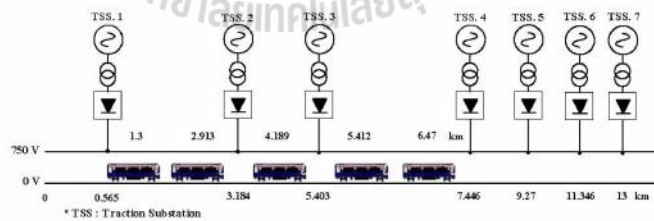


Fig. 8: Test system snapshot on 10 minutes

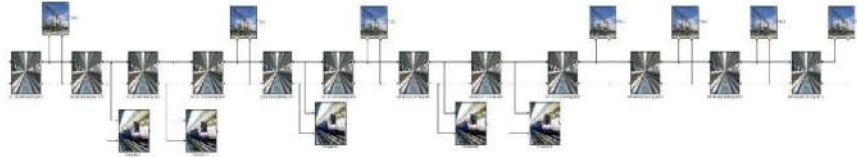


Fig. 9: The modeling of DC railway in MATLAB/SIMULINK

Table 2: Simulation results of performance DC railway

Number of train		Positions of train (km)	Voltage (V)	Pload-train (MW)	Ptotal-7TSS (MW)	Ptotal-loss (MW)
Up-track	1	6.470	752.1	1.0090	2.3980	0.0598
	2	5.412	783.9	0.2949		
	3	4.189	775.2	0.2975		
	4	2.913	780.0	0.2920		
	5	1.300	771.1	0.4436		

Table 3: Simulation results of traction substation

Positions of TSS	Power (MW)	Voltage (V)	Current(A)
TSS1	0.3642	787.7	462.40
TSS2	0.5635	786.4	716.70
TSS3	0.9000	784.3	1147.00
TSS4	0.5408	786.5	687.60
TSS5	0.0257	789.8	32.47
TSS6	0.0024	790.3	2.99
TSS7	0.0012	790.4	1.52

The Table 2, illustrates the result of modeling of DC railway in MATLAB/SIMULINK on the snapshot at 10 minutes. The position of all train were 1.3, 2.913, 4.189, 5.412 and 6.47 km. The power performance shows the total power of 7 traction substation can provide power load of train and power losses in catenary system by significant balance power. The Table 3, describes the electric power, voltage and current traction substations. The result of voltage is commonly specified from the standard voltage in IEC 60850 [12].

5. Conclusion

This paper presents electrical power supply model for DC mass transit system by using MATLAB/SIMULINK. The purpose of the study is to characterize voltage, traction substation power and power losses. The developed SIMULINK model was tested against Bangkok Transit System (BTS) – Sky Train Silom Line. The system has a service distance of 13-km and is fed by seven 750-V single-track DC power sources through its third rail. The results showed the effectiveness of the proposed simulator.

Acknowledgments and Legal Responsibility

I would like to express my sincere gratitude to Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand for supporting this research to Uthen Leeton, Thanatchai Kulworawanichpong.

6. References

- [1] F. Ciccarelli, A. Del Pizzo and D. Iannuzzi, "Improvement of Energy Efficiency in Light Railway Vehicles Based on Power Management Control of Wayside Lithium-Ion Capacitor Storage", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 29, Issue 1 pp. 275 – 286 (2014)
- [2] R.J. HILL, "Electric railway traction – Part 2 traction drives with three-phase induction motors", *Power Engineering Journal*, Vol. 8, Issue 3, pp. 143-152 (1994)
- [3] R.J. HILL, "Electric railway traction – Part 1 electric traction and DC traction motor drives", *Power Engineering Journal*, Vol. 8, Issue 1, pp. 47-56 (1994)
- [4] R.J. HILL, "Electric railway traction – Part 3 traction power supplies", *Power Engineering Journal*, Vol. 8, Issue 6, pp. 275-286 (1994)
- [5] H. Bozkaya, "A comparative assessment of 50 kV auto-transformer and 25 kV booster transformer railway electrification systems", *MPhil Thesis, University of Birmingham, UK*, October (1987)
- [6] H. Hayashiya, Y. Watanabe, Y. Fukasawa, Y. Miyagawa, A. Egami, T. Iwagami, S. Kikuchi and H. Yoshizumi, "Cost impacts of high efficiency power supply technologies in railway power supply - Traction and Station", *Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC)*, Novi Sad, Serbia, 4-6 September 2012 pp. LS3e.4-1 - LS3e.4-6 (2012)
- [7] Y. Oura, Y. Mochinaga and H. Nagasawa, "Railway Electric Feeding System", *Japan Railway and Transport Review*, 16 June, 1988.
- [8] IEC 60146: Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters
- [9] R.D. WHITE, "DC Electrification supply system design", *Railway Electrification Infrastructure and System(REIS 2013)*, 6th IET Professional Development, pp. 57-85(2013)

- [10] The Bangkok Mass Transit System PCL., BTS Sky train system (2012) (www.bts.co.th)
- [11] C.Sumpavakup, "Multi-Train Movement Simulation Using MATLAB Object-Oriented Programming", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 763, pp. 153-158, May. 2015
- [12] IEC 60850: Railway application – Supply voltages of traction systems



ประวัติผู้เขียน

นายเจษฎา เวียงจันทิก เกิดเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2533 เกิดที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ.2556 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ.2557 โดยขณะกำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้เป็นผู้ช่วยสอนในวิชาปฏิบัติการต่าง ๆ ของสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

