



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินความเสี่ยงต่อฟ้าผ่าในสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ
เพื่อการป้องกันฟ้าผ่าอย่างมีประสิทธิภาพ

Risk Assessment of the Elevated Train Station Against Lightning

นามผู้วิจัย นายคณิต เตโชกลาง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วินัย พุกกะวัน, Dr.Ing.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วัชชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความเสี่ยงต่อฟ้าผ่าในสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับเพื่อป้องกันฟ้าผ่า
อย่างมีประสิทธิภาพ

Risk Assessment of the Elevated Train Station Against Lightning

โดย

นายคณิต เตโชชลาสัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2555

คณิต เตโชชลาสัย 2555: การประเมินความเสี่ยงต่อฟ้าผ่าในสถานียกรไฟฟ้าแบบ
โครงสร้างยกระดับเพื่อการป้องกันฟ้าผ่าอย่างมีประสิทธิภาพ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วินัย พงศ์ชะวัน, Dr.Eng. 115 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่อาจเกิด
ขึ้นกับสถานียกรไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ เพื่อให้เข้าใจถึงโครงสร้างสถานียกรไฟฟ้า ทางวิ่ง
รไฟฟ้าและระบบป้องกันฟ้าผ่าของโครงการรไฟฟ้า ประเด็นไปที่การประเมินความเสี่ยง เพื่อ
ลดการเกิดการสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร สิ่งปลูกสร้างและระบบสาธารณูปโภคเกิด
ความเสียหาย โดยหาแนวทางการป้องกันฟ้าผ่าอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในอนาคตอาจจะเป็น
อันตรายได้ดังตัวอย่างในต่างประเทศ

ทำการศึกษาข้อมูลจากโครงการรไฟฟ้าสายลีม่วง (ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ) ข้อมูลจาก
มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.
2553 ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง วิธีการตัดสินใจจำเป็นของการป้องกันและจากวิธีการ
อื่นๆในต่างประเทศ โดยการนำข้อมูลจากเอกสารสัญญาของสิ่งปลูกสร้างบริเวณสถานียกรไฟฟ้า
แบบโครงสร้างยกระดับและบริเวณทางวิ่งยกระดับ ทำการประเมินความเสี่ยงในกรณีที่ไม่มีการ
ป้องกันฟ้าผ่าและกรณีที่มีการป้องกันฟ้าผ่า

ผลจากการศึกษาข้อมูลต่างๆทำให้ทราบถึงวิธีการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์
ฟ้าผ่ากับสถานียกรไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับรวมถึงวิธีการประเมินที่มีใช้งานในต่างประเทศ
ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ผลการคำนวณค่าความเสี่ยง กรณีที่ไม่มีการป้องกันฟ้าผ่า 1. บริเวณ
สถานียกรไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับคือ 2.987×10^{-4} 2. บริเวณทางวิ่งยกระดับคือ 8.388×10^{-4}
และกรณีที่มีการป้องกันฟ้าผ่า 1. บริเวณสถานียกรไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับคือ 5.671×10^{-8}
2. บริเวณทางวิ่งยกระดับคือ 4.196×10^{-7} จากกรณีที่มีการป้องกันฟ้าผ่า ผลการประเมินค่าความ
เสี่ยงมีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้(10^{-5}) แสดงว่าสถานียกรไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับมีการ
ป้องกันเพียงพอแล้วสำหรับความสูญเสียคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Khanit Techochalalai 2012: Risk Assessment of the Elevated Train Station Against Lightning. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Mr.Winai Plueksawan, Dr.Ing. 115 pages.

This thesis is a study of a risk assessment from the lightning to the elevated train station to understand the structure of the elevated station, the runway and lightning protection system, and to focus on the causes of a risk assessment in a reduction of damage causing the life loss or permanent injury. As the structures and public services have been consequently damaged, the elevated train station matters must be ensured that it is safe from harm in examples happening in foreign countries.

The study is collected from a data of the Purple Line (Bang Yai-Bang Sue) in a Consideration of the Engineering Institute of Thailand under His Majesty The King's Patronage Criteria (B.D.2553), Part 2 Risk Management. The necessary of protection and the Theory of the international will be applied in all necessary documents from the structural contracts and the summary of the elevated structure station and the elevated structure runway, and take a risk assessment from case of not having and having lightning.

The study shows results so that the method of a risk assessment of the lightning to the elevated train station and international case studies can be applied. The results of a calculation in areas which do not have a lightning protection are 1. The risk from 2.987×10^{-4} at the elevated structure station 2. The risk from 8.388×10^{-4} at the elevated structure runway. The results of a calculation in areas which have a lightning protection are 1. The risk from 5.976×10^{-8} at the elevated structure station 2. The risk from 4.196×10^{-7} at the elevated structure runway. For lightning protection case results which are less than the respective tolerable risk (10^{-5}) in a risk assessment, It shows that the elevated train station is sufficiently protected against lightning, guarantee no loss of life or permanent injury.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.วินัย พงศ์ษะวัน ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย และการให้คำแนะนำแนวทางการวิจัย

ขอบคุณการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) ที่ให้ทุนวิจัย และให้ข้อมูลต่างๆ
จนส่งผลสู่ความสำเร็จของงานวิจัยชิ้นนี้

คณิต เตโชชลาลัย

กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	59
ผล	59
วิจารณ์	71
สรุปและข้อเสนอแนะ	72
สรุป	72
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก ระบบการป้องกันฟ้าผ่าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ)	76
ภาคผนวก ข มาตรฐาน IEC 62305-2	81
ภาคผนวก ค มาตรฐาน BS EN 62305-2	87
ภาคผนวก ง มาตรฐาน วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.2553	91
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบองค์ประกอบการบริหารความเสี่ยงระหว่าง ISO 31000 กับ COSO-ERM	26
2	ข้อมูลของ 1 คือข้อมูลบริเวณสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ 2 คือข้อมูลบริเวณทางวิ่งยกระดับ กรณีไม่มีการป้องกันและกรณีมีการป้องกันโดยเฉลี่ย	51
3	สรุปการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงทุกกรณี	70

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของการควบคุมภาพในตามแนวคิดของ COSO	9
2	กรอบการบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กรตามแนวทาง COSO-ERM	24
3	กระบวนการบริหารความเสี่ยงตามแนวทาง ISO 31000	25
4	เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ	27
5	รถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (HEAVY RAIL)	28
6	ลักษณะโครงสร้างของตัวสถานีรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ	28
7	ระบบราง	29
8	ระบบรถ	30
9	รถไฟฟ้าแบบกระแสดรง ป้อนไฟจากรางที่สาม	31
10	ระบบการจ่ายไฟฟ้า	32
11	แสดงระบบย่อยต่างๆ ในระบบ Signalling	33
12	แสดง Simplified Railway-Specific Process	34
13	แสดงการทำงานของ computer 2 out of 3	35
14	ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ	36
15	Bare copper และกราวด์เดี่ยว ของสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ	37
16	ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในบริเวณรางรถไฟฟ้า	38
17	แสดง Bare copper และ Earthing terminal ของบริเวณรางรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ	39
18	การแบ่งโซนการป้องกันแรงดันเกินจากฟ้าผ่า	41
19	การแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตามลักษณะการทดสอบ	41
20	แสดงการแบ่งประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินตามความสัมพันธ์ทางฉนวน(Insulation Coordination) โดยควบคุมแรงดันแต่ละประเภทการติดตั้ง(Installation Category)	42
21	แสดงโครงสร้างลักษณะกายภาพของ Surge Arrester	43
22	แสดงโครงสร้างลักษณะกายภาพของ Lightning current arrester	43
23	แสดงภาพหลังอุบัติเหตุรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับชนกันเพราะไฟฟ้าลัดวงจรหลังถูกฟ้าผ่า	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	มิติของบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ	49
25	มิติของทางวิ่งยกระดับ	50
26	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง	59
27	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย	60
28	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี	61
29	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง	61
30	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง	62
31	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย	63
32	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี	63
33	กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง	64
34	กรณีมีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง	65
35	กรณีมีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย	66
36	กรณีมีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	กรณีมีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง	67
38	กรณีมีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง	68
39	กรณีมีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย	69
40	กรณีมีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี	69
41	กรณีมีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง	70

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

R_x	=	ความเสี่ยงบางส่วนซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด และชนิดแบบความเสียหาย
R_T	=	ค่าความเสี่ยงสูงสุดซึ่งจะสามารถยอมรับได้สำหรับวัตถุที่จะป้องกัน
N_D	=	ค่าเฉลี่ยที่คาดไว้ต่อปีของจำนวนเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวบไฟฟ้าลง สิ่งปลูกสร้าง
N_M	=	ค่าเฉลี่ยที่คาดไว้ต่อปีของจำนวนเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวบไฟฟ้าลง ใกล้สิ่งปลูกสร้าง
N_L	=	ค่าเฉลี่ยที่คาดไว้ต่อปีของจำนวนเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวบไฟฟ้าลง ระบบสาธารณูปโภค
N_I	=	ค่าเฉลี่ยที่คาดไว้ต่อปีของจำนวนเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวบไฟฟ้าลง ใกล้ระบบสาธารณูปโภค
P_A	=	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต
P_B	=	ค่าความน่าจะเป็นที่ลงสิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ
P_U	=	ค่าความน่าจะเป็นที่ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ช็อก
P_V	=	ค่าความน่าจะเป็นที่ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ
P_U	=	ค่าความน่าจะเป็นที่ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ช็อก
P_V	=	ค่าความน่าจะเป็นที่ลงใกล้สายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทาง กายภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อฟ้าผ่าในสถานีรถไฟไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับเพื่อการ ป้องกันฟ้าผ่าอย่างมีประสิทธิภาพ

Risk Assessment of the Elevated Train Station Against Lightning

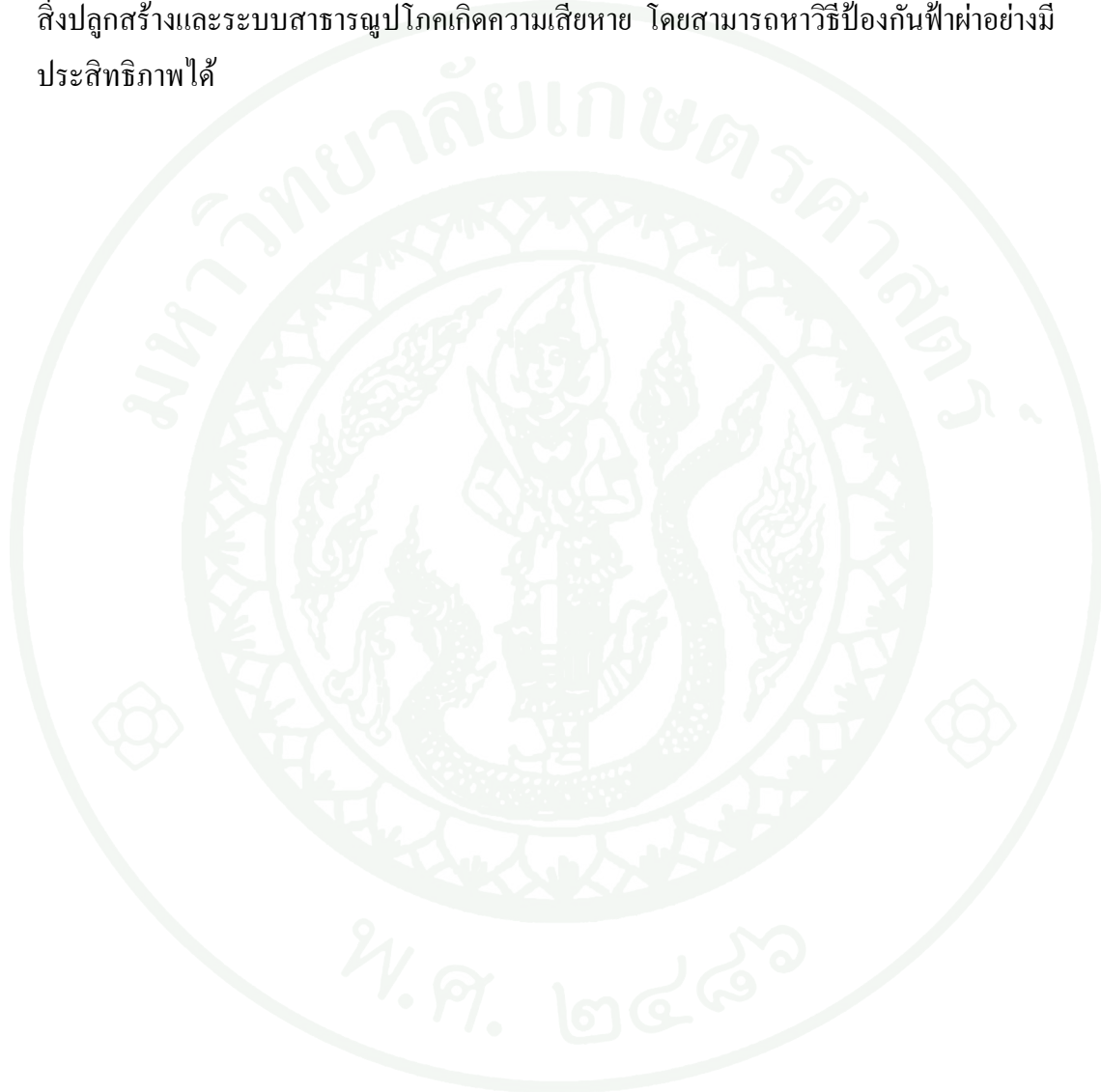
คำนำ

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ที่เป็นสาเหตุหนึ่งในการทำให้เกิดแรงดันเกินเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งการเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าคือ การคายประจุจำนวนมากที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ การคายของประจุที่อยู่บนก้อนเมฆไปยังก้อนเมฆ (Cloud to cloud) หรือ จากก้อนเมฆสู่พื้นดิน (Cloud to ground) ระยะทางคายประจุมีตั้งแต่ 10 กิโลเมตรขึ้นไป จึงมีโอกาที่เหตุการณ์ฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นกับสถานีรถไฟไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับได้ ซึ่งในเรื่องนี้จะพิจารณาถึงโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง(ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ) โดยใช้วิธีการประเมินความเสี่ยง ซึ่งวิธีการประเมินความเสี่ยงนั้นมีอยู่หลายมาตรฐานแต่ในที่นี้จะนำเสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงโดยใช้วิธีการตัดสินความจำเป็นของการป้องกัน ตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.2553

การศึกษาในหัวข้อวิทยานิพนธ์มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยง โดยใช้โปรแกรม Excel 2007 ที่สร้างขึ้นมา โดยนำข้อมูลคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างของโครงการรถไฟฟ้า ข้อมูลของสายไฟฟ้าแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่ ข้อมูลของสายโทรคมนาคมและระบบภายในที่ต่ออยู่ คุณลักษณะภายในอาคารและจำนวนวันที่เกิดฝนฟ้าคะนองต่อปี โดยพิจารณาที่สถานีรถไฟไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับและทางวิ่งยกระดับ ที่มีผลกระทบให้สิ่งปลูกสร้างและระบบสาธารณูปโภคเกิดความเสียหาย โดยสามารถหาวิธีป้องกันฟ้าผ่าอย่างมีประสิทธิภาพได้

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์ไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นกับสถานีรถไฟแบบ
โครงสร้างยกระดับ เพื่อลดผลกระทบที่อาจทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร
สิ่งปลูกสร้างและระบบสาธารณูปโภคเกิดความเสียหาย โดยสามารถหาวิธีป้องกันไฟฟ้าอย่างมี
ประสิทธิภาพได้



การตรวจเอกสาร

1. การควบคุมภายใน

เมื่อกล่าวถึงคำว่า การควบคุมภายใน (Internal Control) หลายคนคงมีความรู้สึกกับคำดังกล่าวแตกต่างกัน ซึ่งบางท่านอาจคิดว่าการควบคุมภายในเป็นเพียงกฎระเบียบข้อบังคับ หรืออาจคิดว่าเป็นข้อห้ามที่ไม่ให้กระทำ หรือจะต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด หรืออาจจะมองในลักษณะของนามธรรมไม่เกี่ยวกับเรื่องการสร้างจิตสำนึกของบุคคลในองค์กร หรืออาจจะมองว่าเป็นเพียงการควบคุมภายในเฉพาะงานด้านบัญชีและการเงินเท่านั้น ซึ่งจริงแล้วการควบคุมภายในมีความลึกซึ้งมากกว่าสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น ยิ่งปัจจุบันการบริหารจัดการอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่มีความซับซ้อน การแข่งขันทวีความรุนแรง มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเหนือการควบคุมอย่างที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นผู้บริหารจึงจำเป็นต้องอาศัยแนวคิดเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงมาช่วยให้เกิดความมั่นใจมากยิ่งขึ้นในการจัดการกับความเปลี่ยนแปลงและความไม่แน่นอนที่ต้องบอกว่าท้าทายต่อความสามารถของผู้บริหารที่จะนำพาองค์กรให้ประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้

ก่อนอื่นเรามาทำความรู้จักกับคำว่า “การควบคุมภายใน : Internal Control” กันก่อนเพื่อเป็นพื้นฐานที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในกิจการต่อไป แรกเริ่มในปี พ.ศ. 2490 (ค.ศ. 1947) สถาบันผู้สอบบัญชีรับอนุญาตแห่งสหรัฐอเมริกา (American Institute of Certified Public Accountants หรือ AICPA) เป็นผู้กำหนดเรื่องการควบคุมภายในและทำการปรับปรุงแก้ไขมาตามลำดับ จนทำให้ผู้บริหารบางท่านเข้าใจว่าการควบคุมภายในเน้นเฉพาะด้านการบัญชีและการเงิน โดยมีนักบัญชีและผู้สอบบัญชีเป็นผู้รับผิดชอบต่อการควบคุมภายในเท่านั้น จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2520 (ค.ศ. 1977) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการประกาศใช้กฎหมาย Foreign Corrupt Practices Act หรือ (FCPA) กำหนดให้ผู้บริหารต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการควบคุมภายใน

2. วิวัฒนาการของการบริหารความเสี่ยง

แนวคิดการบริหารความเสี่ยงนั้น เริ่มต้นจากธุรกิจประกันภัย ที่จะต้องคำนึงถึงความเสี่ยง หรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นของผู้ซื้อประกันหรือทรัพย์สินที่นำมาประกัน (โดยนำมาประกอบในการคำนวณค่าเบี้ยประกัน) ต่อมาแนวความคิดนี้ได้แพร่หลายไปยังธุรกิจอื่นๆ และให้ความสำคัญกับความเสี่ยงในทุกด้าน สรุปวิวัฒนาการของการบริหารความเสี่ยงมาพอสังเขป ดังนี้

ค.ศ. 1921 Frank Knight เขียนหนังสือ “Risk, Uncertainty and Profit ”

ค.ศ. 1956 วารสาร Harvard Business Review ตีพิมพ์บทความ “Risk Management: A New Phase of Cost Control” ของ Russell Gallagher ซึ่งได้เสนอแนวความคิดการบริหารความเสี่ยงใหม่ จากมุมมองของนักวิชาการหลายท่าน อาทิ Dr. Wayne Snider แนะนำว่า “ผู้จัดการธุรกิจประกันมีอาชีพควรเป็นผู้จัดการความเสี่ยงด้วย” และ Dr. Herbert Denenberg ริเริ่มแนวความคิดการบริหารความเสี่ยงโดยพัฒนาจากทฤษฎีของ Henry Fayol

ค.ศ. 1962 Douglas Barlow ผู้จัดการความเสี่ยงด้านการประกัน ของบริษัท Massey Ferguson ในแคนาดาได้พัฒนาแนวความคิด “Cost-of-Risk” โดยเปรียบเทียบต้นทุนรวมของการประกัน กับรายได้ สินทรัพย์และส่วนทุน

ค.ศ. 1974 Gustav Hamilton ผู้จัดการความเสี่ยงของบริษัท Statsforegta ในสวีเดน ได้คิดค้น “Risk Management Cycle” ขึ้น ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กัน เริ่มตั้งแต่ การประเมินและการควบคุม จนไปถึง การจัดหาเงินทุนและการสื่อสาร

ค.ศ. 1976 นิตยสาร Fortune ได้ตีพิมพ์บทความ “The Risk Management Revolution” โดยเสนอแนะว่าควรมีการประสานหน้าที่การบริหารความเสี่ยงของหน่วยงานต่างๆ ภายในองค์กร กว่าที่แนวความคิดในบทความนี้จะเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง ต้องใช้เวลามากกว่า 20 ปี

ค.ศ. 1987 เหตุการณ์ที่ตลาดหุ้นของสหรัฐฯ ตกอย่างรุนแรงที่สุด หรือ “Black Monday” เมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 1987 ทำให้นักลงทุนทั่วโลกตระหนักถึง ความเสี่ยงที่มีอยู่ (Inherent risk) และความผันผวนของตลาดหุ้น ในปีเดียวกันนี้ Dr. Vernon Grose ได้นำเสนอหนังสือ “Manage Risk:

Systematic Loss Prevention for Executives” ซึ่งถือว่าเป็นหนังสือเกี่ยวกับการประเมินและการบริหารความเสี่ยงที่ดีสุดเล่มหนึ่ง

ค.ศ. 1993 บริษัท GE Capital ได้แต่งตั้ง James Lam เป็น “Chief Risk Officer” ซึ่งถือว่าเป็น Chief Risk Officer คนแรก โดยมีหน้าที่ในการจัดการความเสี่ยงทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นการบริหารความเสี่ยง การปฏิบัติงานในสำนักงาน การวางแผนธุรกิจและการเงิน

ค.ศ. 1995 กลุ่มบริษัทชั้นนำในออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ได้ร่วมกันพัฒนามาตรฐานการบริหารความเสี่ยง Risk Management Standard, AS/NZS 4360:1995 (มีการทบทวนกันในปี 1999) ซึ่งได้รับความสนใจจากนานาชาติ และใช้เป็นแนวทางในการบริหารความเสี่ยงกันอย่างแพร่หลาย ในปีเดียวกัน ที่ประเทศสิงคโปร์ Nick Leeson ทำให้ธนาคาร Barings ซึ่งเป็นธนาคารที่เก่าแก่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลกต้องล้มละลาย เหตุการณ์นี้แสดงให้เห็นถึงความโลภ และความล้มเหลวของระบบการควบคุม ทำให้หลายประเทศหันมาให้ความสนใจกับการบริหารความเสี่ยงด้านการปฏิบัติงาน (Operational Risk) กันมากขึ้น

ค.ศ. 2001 เหตุการณ์ก่อการร้ายที่ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 11 กันยายน 2001 ส่งผลให้ธุรกิจหลายประเภทเห็นความสำคัญและความจำเป็นของการบริหารความเสี่ยงมากขึ้น โดยเฉพาะความเสี่ยงภายใต้ความไม่แน่นอนและเหตุการณ์ที่คาดไม่ถึง

ค.ศ. 2002 The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO) ได้จัดทำ “Enterprise Risk Management Framework” ฉบับร่าง เพื่อเป็นแม่แบบในการบริหารความเสี่ยงองค์กร (โดยฉบับสมบูรณ์จะแล้วเสร็จในปี 2004)

ค.ศ. 2003 ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย ได้จัดทำหนังสือ “แนวทางการบริหารความเสี่ยง” เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารความเสี่ยงขององค์กรต่างๆ ซึ่งรวมถึงบริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์

3. ประวัติความเป็นมาของ COSO

ในปี พ.ศ. 2535 (ค.ศ. 1992) คณะกรรมการที่มีชื่อเรียกว่า Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission หรือเรียกย่อ ๆ ว่า COSO ซึ่งเป็นคณะกรรมการร่วมของสถาบันวิชาชีพ 5 สถาบันในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่

1. สถาบันผู้สอบบัญชีรับอนุญาตแห่งสหรัฐอเมริกา (American Institute of certified Public Accountant หรือ AICPA)
2. สถาบันผู้ตรวจสอบภายในสากล (Institute of Internal Auditors หรือ IIA)
3. สถาบันผู้บริหารการเงิน (Financial Executives Institute หรือ FEI)
4. สมาคมนักบัญชีแห่งสหรัฐอเมริกา (American Accounting Association หรือ AAA)
5. สถาบันนักบัญชีเพื่อการบริหาร (Institute of Management Accountants หรือ IMA)

ได้ร่วมกันศึกษาวิจัยพัฒนาแนวคิดของการควบคุมภายใน และได้ให้ความหมายของการควบคุมภายใน ตามรายงานที่เรียกว่า COSO Internal Control – Integrated Framework กำหนดความหมายและกรอบโครงสร้างของการควบคุมภายในว่า “การควบคุมภายใน คือ กระบวนการปฏิบัติงานที่ถูกกำหนดร่วมกันโดย คณะกรรมการ ผู้บริหารตลอดจนพนักงานขององค์กรทุกระดับชั้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจอย่างสมเหตุสมผลว่า วิธีการหรือการปฏิบัติงานตามที่กำหนดไว้จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการควบคุม” รวมทั้งเสนอให้ผู้บริหารรายงานเกี่ยวกับการควบคุมภายใน (Management Reporting on Internal Control) มีบทบาทดังนี้

ปี พ.ศ. 2544 COSO ได้จัดทำกรอบการบริหารความเสี่ยงเพื่อใช้โดยทั่วไปในองค์กรและหลังจากที่ได้ผ่านกระบวนการหารือกับ กลุ่มธุรกิจ ในหลายประเทศ COSO ได้แต่งตั้งให้ Price Water House Coopers เป็นผู้เขียนกรอบการบริหารความเสี่ยงสำหรับองค์กร (Enterprise Risk Management Framework : ERM)

ปี พ.ศ. 2547 COSO ได้ร่วมกับ Price Water House Coopers ได้พัฒนารอบโครงสร้างการบริหารความเสี่ยงขององค์กรเชิงบูรณาการ (Enterprise Risk Management Framework) ขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบและแนวทางในการนำระบบบริหารความเสี่ยงไปใช้ในองค์กรต่าง ๆ ครอบคลุมการบริหารความเสี่ยงขององค์กรฉบับสากล ได้ตีพิมพ์และเผยแพร่ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2547 ได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทาง ที่สำคัญในการส่งเสริมการบริหารความเสี่ยงและเป็นหลักปฏิบัติที่เป็นสากล มีการแปลเป็นภาษาต่าง ๆ รวมทั้งสิ้น 16 ภาษา รวมทั้งภาษาไทย โดยCOSO เข้ามามีบทบาทกับภาครัฐของประเทศไทยดังนี้

ปี พ.ศ. 2544 สตง. กำหนดให้ทุกส่วนราชการต้องจัดทำระบบควบคุมภายในให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดให้ ครอบคลุม 5 องค์ประกอบของ COSO

ปี พ.ศ. 2549 - 2550 สำนักงาน กพร. กำหนดให้ระดับความสำเร็จของการจัดทำระบบบริหารความเสี่ยงเป็นตัวชี้วัดเลือกในการจัดทำคำรับรองฯ ของกรม

ปี พ.ศ. 2552 – 2554 สำนักงาน กพร. ได้บูรณาการตัวชี้วัด การบริหาร ความเสี่ยง ไปอยู่ใน PMQA หมวด 2

ประเด็นที่สำคัญเกี่ยวกับมาตรฐาน COSO ได้แก่

การควบคุมภายในตามแนวคิดของ COSO เป็นอีกหนึ่งแนวคิดที่ได้รับการยอมรับและมีการนำไปประยุกต์ในระดับสากล และรวมถึงประเทศไทยด้วย COSO ได้ให้ความหมายและวัตถุประสงค์ของการควบคุมภายใน ดังนี้ การควบคุมภายในที่สำคัญ คือ กระบวนการซึ่งร่วมกันทำให้บังเกิดผลโดยคณะกรรมการ ผู้บริหารและบุคคลอื่น ๆ ขององค์กรถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อให้ความเชื่อมั่นอย่างสมเหตุสมผลเกี่ยวกับการบรรลุวัตถุประสงค์ ซึ่งมี 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1. ความมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของการดำเนินงาน (Effectiveness and Efficiency of operations) การควบคุมภายในมุ่งหมายให้การปฏิบัติงานเกิดประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และคุ้มค่า ด้วยการกำกับการใช้ทรัพยากรทุกประเภทขององค์กร ทั้งคน เงิน เวลาทรัพย์สิน วัสดุ เครื่องมือ เครื่องใช้ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยประหยัดได้ผลคุ้มค่า และบรรลุเป้าหมายที่ผู้บริหารขององค์กรกำหนดไว้ ซึ่งจะส่งผลให้การดำเนินงานขององค์กรมีกำไร หรือสำหรับองค์กรที่ไม่ได้

คำหาอะไรก็ให้มีรายรับเพียงพอกับรายจ่ายที่เกิดขึ้นเท่าที่จำเป็นจริงๆ เท่านั้น อันจะทำให้ทุกฝ่ายได้รับประโยชน์ร่วมกัน และการดูแลป้องกันระวังรักษาทรัพยากร ทุกประเภทให้อยู่ในสภาพที่พร้อมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์และให้ปลอดจากการรั่วไหล สิ้นเปลือง สูญเปล่า หรือการกระทำทุจริตของพนักงาน หรือผู้บริหารและหากมีความเสียหายเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นความสูญเปล่าอย่างหนึ่งอย่างใด หรือโดยการกระทำอันมีเจตนาทุจริตก็ช่วยให้ทราบถึงความเสียหายนั้นได้โดยเร็วที่สุด

2. ความเชื่อถือได้ของรายงานทางการเงิน (Reliability of financial reporting)

รายงานหรืองบการเงิน ไม่ว่าจะเป็นรายงานที่ใช้ภายในหรือภายนอกองค์กร ต้องมีความเชื่อถือได้ และทันเวลาเพื่อให้เป็นรายงานที่น่าเสนอข้อสนเทศที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา และการตัดสินใจทางธุรกิจของนักบริหาร เจ้าหนี้ ผู้ถือหุ้น และผู้ลงทุนโดยทั่วไป

3. การปฏิบัติตามกฎหมายและกฎระเบียบ (Compliance with applicable laws and regulations)

การปฏิบัติงาน หรือการดำเนินธุรกิจสอดคล้อง หรือเป็นไปตามบทบัญญัติ หรือข้อกำหนดของกฎหมาย ข้อบังคับ ระเบียบโครงการ หรือแผนงาน มติคณะกรรมการบริษัท ผู้บริหาร หรือองค์กรบริหารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน หรือเกี่ยวข้องกับการดำเนินธุรกิจนั้น เพื่อป้องกันมิให้เกิดผลเสียหายใดๆ จากการละเว้นการปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎ ระเบียบ เหล่านั้น

ตามแนวคิดของ COSO การควบคุมภายใน ประกอบด้วย องค์ประกอบที่สำคัญ 5 ประการ ที่มีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กัน องค์ประกอบเหล่านี้ได้มาจากแนวทางที่ผู้บริหารดำเนินธุรกิจและมีการเชื่อมโยงเข้ากับกระบวนการทางการบริหาร ดังนี้



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของการควบคุมภายในตามแนวคิดของ COSO

ที่มา: The Institute of Internal Auditors of Thailand (2551)

1. สภาพแวดล้อมการควบคุม (Control Environment)

สภาพแวดล้อมของการควบคุมเป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวกับการสร้างจิตสำนึกและบรรยากาศของการควบคุมภายใน ซึ่งปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่นำมาพิจารณารวมกันส่งผลให้เกิดความมีประสิทธิภาพของมาตรการหรือวิธีการควบคุมในองค์กร หรือทำให้มาตรการและวิธีการควบคุมที่ดีขึ้น โดยส่งเสริมให้ทุกคนในองค์กรตระหนักถึงความจำเป็นของระบบการควบคุมภายในและเน้นการสร้างบรรยากาศโดยผู้บริหารระดับสูง เพื่อให้คนขององค์กรเกิดจิตสำนึกที่ดีในการปฏิบัติตามความรับผิดชอบ ดังนั้น สภาพแวดล้อมของการควบคุมที่ดีจะช่วยให้บุคลากรเข้าใจถึงความจำเป็นและความสำคัญของการควบคุมภายใน ทั้งนี้ ปัจจัยที่แสดงให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมของการควบคุมประกอบด้วย

ความซื่อสัตย์และจริยธรรม กล่าวคือ ผู้บริหารควรจัดทำข้อกำหนดด้านจริยธรรมเป็นแนวทางการปฏิบัติ หรือมีมาตรฐานการปฏิบัติงาน โดยปัจจัยนี้ผู้ศึกษาเห็นว่า ปัจจุบันองค์กรมักจะ

จัดทำ Code of Conduct หรือหลักในการปฏิบัติงานที่เปรียบเสมือนกฎระเบียบขององค์กร ดังนั้น หากมีการแทรกข้อกำหนดด้านจริยธรรมอันเป็นแนวทางที่ควรปฏิบัติตามไป ก็จะทำให้เกิดความ สมบูรณ์ในการนำมาใช้ในทางปฏิบัติมากขึ้น ส่วนในด้านของผู้บริหารก็ต้องปฏิบัติตนให้เป็น แบบอย่างที่ดีอย่างสม่ำเสมอ และลดวิธีการหรือแรงจูงใจที่รุนแรง เช่น การไม่กดดันให้พนักงาน ต้องปฏิบัติงานตามเป้าหมายที่สูงเกินจริงความรู้ ทักษะ

ความสามารถเชิงแข่งขัน กล่าวคือ องค์กรควรมีการกำหนดระดับความรู้และ ความสามารถที่จำเป็นสำหรับการปฏิบัติงานแต่ละอย่าง ต้องกำหนดออกมาเป็นข้อกำหนดด้านพื้น ความรู้ทางการศึกษา และประสบการณ์ในการปฏิบัติงานโดยผลสำเร็จในการประเมินองค์ประกอบ ด้านนี้สามารถพิจารณาได้จากการจัดทำเอกสารกำหนดลักษณะงาน (Job Description) เพื่อให้เป็น เกณฑ์ในการพิจารณาบรรจุพนักงานให้เหมาะสมกับหน้าที่และความรับผิดชอบ

คณะกรรมการบริษัทหรือคณะกรรมการตรวจสอบ กล่าวคือ ฝ่ายบริหารระดับสูงเป็นผู้ มีบทบาทสำคัญในการสร้างบรรยากาศการควบคุมของกิจการ คณะกรรมการบริษัทเป็นเสมือน ตัวแทนผู้ถือหุ้นที่จะแต่งตั้งฝ่ายบริหารระดับสูงและกำกับดูแลการปฏิบัติงานให้บรรลุผลประโยชน์ สูงสุดขององค์กร คณะกรรมการตรวจสอบเป็นส่วนหนึ่งของคณะกรรมการบริษัทที่ทำหน้าที่ ส่งเสริมบรรยากาศของการควบคุม และการตรวจสอบทั้งภายในและการสอบบัญชีให้เป็นไปอย่าง อิสระจากฝ่ายบริหาร รวมทั้งความรู้ ประสบการณ์ในการปฏิบัติงาน การตั้งคำถามที่ตรงประเด็น และลึกซึ้งเกี่ยวกับงานของฝ่ายบริหาร และติดตามวิเคราะห์คำตอบที่ได้ความถี่และการมีเวลาใน การปฏิบัติหน้าที่และประชุมกับผู้บริหารฝ่ายการเงิน บัญชี ตรวจสอบภายใน และผู้สอบบัญชี ความ เพียงพอและทันสมัยของสารสนเทศที่จัดให้คณะกรรมการบริษัทและคณะกรรมการตรวจสอบที่จะ ติดตามการบรรลุผลของแผนกลยุทธ์ เป้าหมายของฝ่ายบริหารฐานะการเงิน ผลการดำเนินงาน และ ปฏิบัติตามสัญญาที่สำคัญ ความเพียงพอและทันสมัยของสารสนเทศที่คณะกรรมการบริษัทและ คณะกรรมการตรวจสอบมีเกี่ยวกับข้อมูลพิเศษ เช่น ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้บริหารระดับสูง รายงานการสืบสวนจากสถาบันกำกับดูแล การจ่ายเงินที่ผิดกฎหมาย เป็นต้น

ปรัชญาและรูปแบบการทำงานของผู้บริหาร กล่าวคือ องค์กรประกอบนี้เป็นสิ่งใหม่ของการ บริหาร ซึ่งบางครั้งปรัชญาและสไตล์การทำงานผู้บริหารถูกสะท้อนถึงความสนใจไม่เข้าใจอย่าง ลึกซึ้ง การทำความเข้าใจแนวโน้มทางความคิดขององค์กรประกอบนี้ เช่น เป็นผู้บริหารที่กล้าเสี่ยง หรือชอบความระมัดระวัง ความถี่ในการติดตามงานระหว่างผู้บริหารระดับสูงกับระดับปฏิบัติการ

ทัศนคติของผู้บริหารที่มีต่อการเลือกนโยบายบัญชี ความระมัดระวังในการกำหนดประมาณการทางบัญชี การเปิดเผยข้อมูล และการไม่แสดงข้อมูลที่เป็นเท็จ รวมทั้งการส่งเสริมในงานบัญชี การพัฒนาความรู้ของฝ่ายบัญชี เหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ทำให้สามารถทราบทิศทางองค์กรได้ว่า จะถูกวางอยู่ในจุดใดหรือมีความเสี่ยงอย่างไรบ้าง

โครงสร้างการจัดองค์กร กล่าวคือ โครงสร้างขององค์กรที่ได้รับการจัดไว้ดีย่อมเป็นพื้นฐานสำคัญที่ทำให้ผู้บริหารสามารถวางแผนงาน สั่งการ และควบคุมการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยการจัดโครงสร้างองค์กรให้เหมาะสมกับลักษณะของธุรกิจนั้น การมอบอำนาจและความรับผิดชอบ (Assignment of Authority and responsibility) หมายถึง การมอบอำนาจให้กับผู้ปฏิบัติงานในระดับปฏิบัติการ ควรจะต้องมีการกำหนดอย่างชัดเจน โดยในการประเมินองค์ประกอบด้านนี้จะต้องพิจารณาจาก

- ความชัดเจนในการระบุความรับผิดชอบและอำนาจในการอนุมัติให้ผู้ปฏิบัติการฝ่ายต่างๆ ในการปฏิบัติงานให้ได้ตามวัตถุประสงค์

- ความเหมาะสมของมาตรฐานการควบคุมและวิธีการควบคุมที่เกี่ยวข้องรวมทั้งเอกสารที่ระบุลักษณะความรับผิดชอบในตำแหน่งงาน

- ความเหมาะสมของจำนวนพนักงาน ซึ่งจะต้องมีความรู้และทักษะที่เหมาะสมกับปริมาณงานและความซับซ้อนของกิจกรรม รวมทั้งระบบงานที่เกี่ยวข้องนโยบายและวิธีบริหารงานด้านทรัพยากรมนุษย์ กล่าวคือ ในการบริหารองค์กรมีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นสิ่งสำคัญแก่องค์กรไม่ว่าจะเป็นระบบบริหารเทคโนโลยี สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่องค์กรจะต้องพัฒนาตามยุคสมัยให้ทันแต่อย่างใดก็ตาม สิ่งที่สำคัญที่สุดขององค์กรที่จะขาดไม่ได้ก็คือ ทรัพยากรมนุษย์ เพราะทรัพยากรมนุษย์ที่ดีเป็นปัจจัยที่ทำให้องค์กรบรรลุเป้าหมายอย่างแท้จริง ดังนั้น ฝ่ายบริหารควรกำหนดนโยบายและวิธีบริหารงานด้านทรัพยากรมนุษย์ เช่น การว่าจ้าง การคัดเลือกบุคลากร และเมื่อได้บุคลากรที่เหมาะสมแล้ว ก็ต้องมีนโยบายในการจูงใจและพัฒนาให้มีความรู้ความสามารถที่ทันสมัยตามทันเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การประเมินองค์ประกอบนี้ เช่น นโยบายและวิธีปฏิบัติในส่วนที่เกี่ยวกับการคัดเลือก การฝึกอบรม การเลื่อนตำแหน่ง และการจ่ายผลตอบแทน ความเหมาะสมของวิธีการที่ใช้เมื่อพบความประพฤตินี้แตกต่างจากนโยบายและวิธีปฏิบัติที่กำหนด เช่น มีบทลงโทษ ความเหมาะสมในการใช้นโยบายการเลื่อนตำแหน่งและความดีความชอบ

การตรวจสอบภายใน กล่าวคือ การตรวจสอบภายในถือเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมภายในและเป็นเครื่องมือทางการบริหารที่ทำให้สภาพแวดล้อมของการควบคุมมีคุณภาพ ผู้ตรวจสอบภายในต้องมีความอิสระเพียงพอที่จะรายงานผลการตรวจสอบและประเมินผลให้แก่ผู้บริหาร และผู้รับผิดชอบการปฏิบัติงานที่ได้รับการตรวจสอบและประเมินผลทั้งนี้ผู้ตรวจสอบภายในควรได้รับการสนับสนุนอย่างเหมาะสมจากผู้บริหาร

2. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงซึ่งจัดได้ว่าเป็นเครื่องมือในการบริหารอย่างหนึ่งที่ผู้บริหารนิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากในปัจจุบันเป็นยุคการค้าที่มีการแข่งขันอย่างเสรี ซึ่งมีคู่แข่งมากมายที่กำลังต่อสู้กับองค์กร ดังนั้น ความเสี่ยงจึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งการประเมินความเสี่ยงนั้น เป็นกระบวนการที่ทำให้กิจการขององค์กรทราบถึงความเสี่ยงที่กำลังจะเผชิญล่วงหน้าได้ เมื่อทราบถึงความเสี่ยงแล้วก็สามารถที่จะบริหารความเสี่ยงเพื่อเปลี่ยนวิกฤติให้เป็นโอกาส และเพื่อลดผลกระทบความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากการเป็นการค้าการแข่งขันเสรีที่มีความเสี่ยงสูง และต้องเตรียมความพร้อมในทุกสถานการณ์ การประเมินความเสี่ยงจะทำให้ฝ่ายบริหารได้ทราบถึงปัจจัยเสี่ยงทั้งจากปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อการบรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กรอย่างเพียงพอและเหมาะสม โดยแบ่งได้เป็น

- ปัจจัยเสี่ยงระดับกิจการอาจเกิดจากปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ทั้งภายนอกและภายในกิจการ โดยปัจจัยเสี่ยงภายนอก เป็นปัจจัยที่เกิดจากภายนอกที่กิจการควบคุมไม่ได้ ซึ่งผู้บริหารต้องติดตามศึกษาเพื่อหาวิธีปฏิบัติในการเปลี่ยนวิกฤติให้เป็นโอกาส หรือลดผลเสียหายที่จะเกิดขึ้น ส่วนปัจจัยเสี่ยงภายใน เป็นปัจจัยที่เกิดจากภายในองค์กรที่ผู้บริหารสามารถจัดการได้ ซึ่งสามารถยกตัวอย่างของปัจจัยภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี ความต้องการและความมุ่งหวังของลูกค้าที่มีต่อสินค้าหรือบริการ กฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ ของภาครัฐ และตัวอย่างของปัจจัยภายใน เช่น ความซื่อสัตย์และจริยธรรมของผู้บริหาร ความสลับซับซ้อนของการทำงาน ขวัญและกำลังใจของพนักงานในการปฏิบัติงาน ขนาดของหน่วยงาน โดยหน่วยงานใหญ่ย่อมมีโอกาสผิดพลาดสูงกว่าหน่วยงานเล็ก

- ปัจจัยเสี่ยงระดับกิจกรรมเป็นปัจจัยเสี่ยงที่อาจเกิดในหน่วยงานสาขา แผนงาน โครงการ และกระบวนการปฏิบัติงานที่สำคัญ เช่น การจัดหา การตลาด เป็นต้น

หลังจากระบุปัจจัยเสี่ยงแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญก็คือ การวิเคราะห์และจัดระดับความเสี่ยง หากปัจจัยเสี่ยงใดสามารถคำนวณจำนวนที่อาจเกิดขึ้นได้โดยตรงในเชิงปริมาณ เช่น การใช้สูตรคำนวณจำนวนค่าความเสียหาย ก็ให้ประเมินและจัดระดับความเสี่ยงไปตามความสำคัญของจำนวนที่คำนวณได้ หากการวิเคราะห์และจัดระดับความเสี่ยงโดยใช้สูตรคำนวณเป็นไปได้ยาก อาจต้องใช้วิธีการให้คะแนนเชิงเปรียบเทียบแทน เช่น การให้ระดับ 1-3 โดย 1 = ไม่พอใจ 2 = ปานกลาง และ 3 = พอใจ เป็นต้น หลังจากนั้นผู้บริหารควรกำหนดวิธีการบริหารความเสี่ยง และตัดสินใจเกี่ยวกับกิจกรรมควบคุมภายในที่จำเป็นเพื่อลดหรือบรรเทาความเสี่ยงเหล่านั้นและเพื่อให้บรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ด้านประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพของการดำเนินงาน รายงานทางการเงินและการดำเนินงานเป็นที่น่าเชื่อถือ และการปฏิบัติที่เป็นไปตามกฎหมาย และระเบียบข้อบังคับ ผู้บริหารระดับส่วนงาน หรือผู้ประเมินควรจะต้องเน้นการให้ความสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการบริหาร ในการกำหนดวัตถุประสงค์การระบุความเสี่ยง การวิเคราะห์ความเสี่ยง และการบริหารความเสี่ยง ในช่วงของการเปลี่ยนแปลง และบางเรื่องมีลักษณะเป็นนามธรรมซึ่งต้องใช้ดุลยพินิจ แต่เรื่องเหล่านี้มีความสำคัญในการใช้ประเมินความเสี่ยงว่าเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ ซึ่งการบริหารความเสี่ยงนั้น COSO ได้กำหนดวิธีการตอบสนองความเสี่ยงไว้พอสรุปได้ดังนี้

1. การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance) หมายถึงการเลิกหรือหลีกเลี่ยงการกระทำเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยง เช่น การกระทำงานที่องค์กรไม่ถนัด อาจหลีกเลี่ยงโดยการไม่กระทำ หรือจ้างบุคคลภายนอก เป็นต้น
2. การลดความเสี่ยง (Risk Reduction) หมายถึงการลดโอกาสความน่าจะเป็นหรือการลดความเสียหาย หรือการลดทั้งสองด้านพร้อมกัน การลดความเสี่ยงที่สำคัญคือ การจัดระบบการควบคุมเพื่อป้องกัน หรือค้นพบความเสี่ยงเฉพาะวัตถุประสงค์นั้นอย่างเหมาะสมทันกาลมากขึ้น รวมถึงการกำหนดแผนสำรองในกรณีมีเหตุการณ์ฉุกเฉิน
3. การแบ่งความเสี่ยง (Risk Sharing) หมายถึงการลดโอกาสความน่าจะเป็นหรือการลดความเสียหาย โดยการแบ่ง การโอน การหาผู้รับผิดชอบร่วมในความเสี่ยง เช่น การจัดประกันภัย
4. การยอมรับความเสี่ยง (Risk Acceptance) หมายถึงการไม่กระทำการใดๆ เพิ่มเติม กรณีนี้ใช้กับความเสี่ยงที่มีสาระสำคัญน้อย ความเสี่ยงน่าจะเกิดน้อย หรือเห็นว่ามีความเสี่ยงสูงกว่าผลที่ได้รับ

3. กิจกรรมการควบคุม (Control Activities)

หมายถึง การกระทำที่สนับสนุนและส่งเสริมการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามนโยบาย วัตถุประสงค์ และคำสั่งต่างๆ ที่ฝ่ายบริหารกำหนด ซึ่งจะต้องเป็นการกระทำที่ถูกต้องและในเวลาที่เหมาะสม จะเพิ่มความมั่นใจในความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด กิจกรรมการควบคุมภายในสามารถแบ่งออกตามประเภทของการควบคุมได้ดังต่อไปนี้

- การควบคุมแบบป้องกันเป็นวิธีการควบคุมที่กำหนดขึ้น เพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายและข้อผิดพลาดตั้งแต่แรก
- การควบคุมแบบค้นพบ เป็นวิธีการควบคุมที่กำหนดขึ้น เพื่อทำการค้นพบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาแล้ว
- การควบคุมแบบแก้ไข เป็นวิธีการควบคุมที่กำหนดขึ้นเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้ถูกต้อง หรือเพื่อหาวิธีแก้ไขไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดซ้ำอีกในอนาคต
- การควบคุมแบบส่งเสริม เป็นวิธีการควบคุมที่ส่งเสริมหรือกระตุ้นให้เกิดความสำเร็จโดยตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

4. สารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication)

การสื่อสารและสารสนเทศนี้ ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการควบคุมภายในยุคปัจจุบัน ซึ่งนับได้ว่าเป็นยุคของข้อมูลข่าวสาร และถ้าข้อมูลข่าวสารมีความทันสมัยก็จะทำให้องค์กรรับรู้ข้อมูลได้ทันทั่วถึง มีความได้เปรียบทางด้านธุรกิจ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้การบริหารองค์กรได้ดีอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของข้อมูลข่าวสารก็ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญยิ่งไม่แพ้กัน ดังนั้น ควรให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องได้เข้าถึงหรือรับทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องผ่านเครื่องมือต่างๆ โดยสามารถแบ่งได้ ดังนี้

- ข้อมูลสารสนเทศ (Information) เป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับการปฏิบัติงานของบุคลากรทั้งผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานทุกระดับ โดยผู้บริหารต้องใช้ข้อมูลประกอบการพิจารณาสั่ง

การ ส่วนผู้ปฏิบัติงานมักใช้ข้อมูลสารสนเทศเป็นเครื่องชี้นำทิศทางการปฏิบัติหน้าที่ ข้อมูลสารสนเทศที่ดีที่ควรจัดให้มีในทุกๆ องค์การควรมีลักษณะดังนี้คือ

1. ความเหมาะสมกับการใช้ หมายถึง สารสนเทศมีเนื้อหาสาระที่จำเป็นต่อการตัดสินใจของผู้ใช้
2. ความถูกต้องสมบูรณ์ หมายถึง สารสนเทศที่สามารถสะท้อนผลตามความจำเป็นและให้ข้อมูลที่แท้จริงและมีรายละเอียดที่จำเป็นครบถ้วน
3. ความเป็นปัจจุบัน หมายถึง การให้ตัวเลขและข้อเท็จจริงล่าสุดที่เป็นปัจจุบันสามารถใช้เป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้สำหรับการประกอบการตัดสินใจได้ทันเวลา
4. สะดวกในการเข้าถึง หมายถึง ความง่ายสำหรับผู้ที่มีอำนาจหน้าที่ที่เกี่ยวข้องและมีระบบรักษาความปลอดภัย ป้องกันผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องให้ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศที่มีความสำคัญหรือข้อมูลที่เป็นความลับได้

ในการจัดให้มีสารสนเทศที่ดีเป็นหน้าที่ของผู้บริหารที่จะจัดหาบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ และประสบการณ์ทางวิชาชีพ รวมทั้งการจัดหาเครื่องมือ เครื่องใช้ เทคโนโลยี และระบบงานที่ดี เพื่อให้มีการปฏิบัติตามระบบงานที่กำหนดไว้อย่างสม่ำเสมอและควบคุมการปฏิบัติให้เป็นไปตามระเบียบที่กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด

การสื่อสาร (Communication) การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพนั้น หมายถึง การจัดระบบการสื่อสารให้ข้อมูลส่งไปถึงผู้ที่ควรได้รับ และระบบการสื่อสารที่ดีนั้น จะต้องประกอบด้วยทั้งระบบการสื่อสารกันภายในองค์กรหรือการสื่อสารที่เกิดขึ้นภายในองค์กรเดียวกันซึ่งควรจัดให้เป็นรูปแบบการสื่อสารสองทาง และอีกระบบคือการสื่อสารภายนอกซึ่งเป็นการสื่อสารกับลูกค้าหรือบุคคลอื่นๆ นอกองค์กร

5. การติดตามประเมินผล (Monitoring)

การควบคุมภายในขององค์กรจะสมบูรณ์ไม่ได้หากขาดการติดตามและประเมินผล เพราะเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ผู้บริหารมั่นใจได้ว่า มาตรการและระบบการควบคุมภายในมีประสิทธิภาพและได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

- การติดตามผลระหว่างการทำงาน (On Going Monitoring) หมายถึง การสังเกต การติดตาม ระบบรายงานความคืบหน้าของงาน รวมทั้งการสอบทานหรือการยืนยันผลงานระหว่างการปฏิบัติงาน

- การประเมินผลอิสระ (Independent Evaluation) เป็นการประเมินผลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แล้วแต่จะกำหนด หรือการประเมินอิสระอาจหมายถึง การประเมินโดยผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำหนดระบบควบคุมภายใน เพื่อให้สามารถแสดงความเห็นได้อย่างเป็นอิสระ เช่น การประเมินจากผู้ตรวจสอบภายใน เป็นต้น

- การประเมินการควบคุมด้วยตนเอง (Control Self Assessment: CSA) เป็นการจัดประชุมเชิงปฏิบัติร่วมกัน ระหว่างผู้บริหาร ผู้ปฏิบัติงาน ผู้มีความรู้ด้านการควบคุม และผู้อื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดกิจกรรมควบคุมและประเมินผลร่วมกัน ในด้านที่ได้รับมอบหมายให้ดำเนินงานนั้น

4. ประวัติความเป็นมาของ Sarbanes-Oxley Act

ในช่วงปี พ.ศ. 2544 – 2545 (ค.ศ. 2001- 2002) เรื่องอื้อฉาวทางด้านบัญชีและธรรมาภิบาลที่เกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ส่งผลให้บริษัทชั้นนำหลายบริษัทต้องถึงกับล้มละลาย การล้มละลายของบริษัทเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบอย่างใหญ่หลวงต่อตลาดเงิน ตลาดทุนและเศรษฐกิจของประเทศทั่วโลก จนเป็นเหตุให้สภาทั้งสองของสหรัฐอเมริกาและองค์การกำกับดูแลได้ออก พรบ.ที่ชื่อว่า “ Sarbanes – Oxley Act of 2002” เมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2545 เพื่อปกป้องนักลงทุนโดยการปฏิรูปความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ของการเปิดเผยข้อมูลของบริษัทจดทะเบียนในสหรัฐอเมริกา ชื่อของกฎหมายดังกล่าวมีที่มาจากชื่อของวุฒิสมาชิก Paul Sarbanes (Senator Paul Sarbanes) กับ ชื่อของสมาชิกสภาผู้แทน Michael Oxley (Representative Michael

Oxley) ซึ่งทั้งสองท่านได้ร่วมกันเป็นหัวหอกสำคัญในการก่อร่างแนวคิด (Architect) กฎหมายฉบับนี้ขึ้นมา ในการนี้ท่านประธานาธิบดีบุชได้กล่าวไว้เกี่ยวกับกฎหมายฉบับนี้ว่า “เป็นกฎหมายที่ตั้งใจมีไว้เพื่อสกัดขวางการฉ้อฉลทางบัญชี (Accounting fraud) และลงโทษองค์กรที่กระทำผิดและเพื่อให้เกิดความมั่นใจในการตัดสินใจพิจารณาโทษสำหรับผู้กระทำผิดอีกทั้งยังปกป้องผลประโยชน์ของพนักและผู้ถือหุ้น” กฎหมายฉบับนี้ถูกจัดแบ่งออกเป็นทั้งหมด 11 หมวดด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

หมวด 1. คณะกรรมการกำกับดูแลด้านบัญชีของบริษัทมหาชน (Public Company Accounting Oversight Board: PCAOB)

หมวด 2. ความเป็นอิสระของผู้สอบบัญชี (Auditor Independence)

หมวด 3. ความรับผิดชอบของบริษัท (Corporate Responsibility)

หมวด 4. การเปิดเผยข้อมูลทางการเงินที่มากขึ้น (Enhanced Financial Disclosures)

หมวด 5. ผู้วิเคราะห์ความขัดแย้งทางผลประโยชน์ (Analyst Conflicts of Interest)

หมวด 6. คณะกรรมการ ทรัพยากรและผู้มีอำนาจ (Commission Resources and Authority)

หมวด 7. การศึกษาและการรายงาน (Studies and Reports)

หมวด 8. องค์กรและความรับผิดชอบการฉ้อฉลทางอาญา (Corporate and Criminal Fraud Accountability)

หมวด 9. การเพิ่มบทลงโทษสำหรับการฉ้อฉลทางอาญา (White-Collar Crime Penalty Enhancements)

หมวด 10. แบบแสดงรายการภาษีประจำปี (Corporate Tax Returns)

หมวด 11. การฉ้อฉลขององค์กรและความรับผิดชอบ (Corporate Fraud and Accountability)

5. ประวัติความเป็นมาของ ISO 31000

วิกฤติการณ์ทางการเงินที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2551 (ค.ศ. 2008) แสดงและตอกย้ำถึงความสำคัญของการจัดทำระบบการบริหารความเสี่ยงอย่างเพียงพอ และนับจากนั้น มาตรฐานใหม่ด้านการบริหารความเสี่ยงที่กำหนดขึ้นโดยสถาบัน ISO ได้มีการประกาศใช้ซึ่งรวมถึงมาตรฐาน ISO 31000 : Risk Management-Principles and Guidelines มาตรฐาน ISO 31000 ประกาศออกมาเมื่อปี พ.ศ. 2552 (ค.ศ. 2009) เพื่อให้มีเกณฑ์ที่ใช้ได้รับกิจการทุกประเภทว่า การบริหารความเสี่ยงควรจะเกี่ยวข้องกับเรื่องใดบ้าง จะจัดทำระบบการบริหารความเสี่ยงอย่างไร และผลสำเร็จที่ควรจะเป็นของระบบบริหารความเสี่ยงมีอะไรบ้าง ข้อมูลตามเนื้อหาของ ISO 31000 น่าจะเพิ่มโอกาสในการประยุกต์ใช้ระบบการบริหารความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งเพิ่มความตระหนักว่า ประเด็นความเสี่ยงมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง (Upside & downside)

จุดเด่นของมาตรฐาน ISO 31000 คือ เป็นมาตรฐานที่พยายาม นิยามคำที่เกี่ยวข้องกับการบริหารความเสี่ยง และหาแบบจำลองร่วมที่จะสามารถนำไปใช้ได้กับองค์กรประเภทต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม และสอดคล้องกันความเปลี่ยนแปลงเชิงแนวคิดที่สำคัญตามมาตรฐาน ISO 31000 คือ การปรับนิยามของความเสี่ยง (Guide 73) เป็นกระทบของความไม่แน่นอน (uncertainty) ต่อวัตถุประสงค์ขององค์กร ซึ่งแตกต่างจากนิยามของความเสี่ยงที่เคยใช้มาก่อนหน้านี้ ที่เน้นความเสี่ยงของเหตุแห่งความเสี่ยง (event) ที่เกิดขึ้นภายในองค์กร โดยไม่ได้เน้นถึงการบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายนิยามใหม่ของความเสี่ยงตาม ISO 31000 ทำให้องค์กรต้องมีการกำหนดวัตถุประสงค์ขององค์กร และค่าเป้าหมายให้ชัดเจนก่อน จึงจะนำกระบวนการบริหารความเสี่ยงมาใช้สนับสนุนการดำเนินงานขององค์กร ในกรณีของมาตรฐานด้านการบริหารความเสี่ยงนั้น ISO ได้พัฒนาต่อออกจากแนวทางการบริหารความเสี่ยงที่มีการจัดวางไว้ก่อนหน้านี้ อย่างเช่น มาตรฐาน COSO โดยมาตรฐาน ISO31000 มีประเด็นโดดเด่นที่ควรกล่าวถึงคือ

ประการแรก มาตรฐานฉบับนี้ได้พยายามรวบรวมเอาคำที่สำคัญที่ต้องใช้ในการจัดการบริหารความเสี่ยงมาไว้เพื่อสร้างคำศัพท์มาตรฐาน ที่สอดคล้องกับแนวคิดมาตรฐานด้านการบริหารความเสี่ยงในระดับนานาชาติ

ประการที่สอง มาตรฐานฉบับนี้ให้แนวทางพึงปฏิบัติที่ดี และแนวทางหลัก ๆ ที่สามารถนำไปปรับใช้กับกิจการประเภทต่าง ๆ ในภาคธุรกิจที่หลากหลายกันได้

ประการที่สาม มาตรฐาน ISO 31000 ประกอบด้วยหลักการสำคัญ 11 หลักการ จึงถือว่าเป็นคุณสมบัติเชิงคุณภาพขั้นพื้นฐานของระบบการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐานนี้ ได้แก่

1. การบริหารความเสี่ยงสร้างและปกป้องคุณค่าของกิจการ (Risk management creates and protects value)
2. การบริหารความเสี่ยงเป็นส่วนที่ต้องบูรณาการเป็นส่วนหนึ่งของวิธีปฏิบัติงานทางธุรกิจ (Risk management is an integral part of organizational processes)
3. การบริหารความเสี่ยงเป็นส่วนหนึ่งของการตัดสินใจด้านการบริหารและจัดการองค์กร (Risk management is part of decision making)
4. การบริหารความเสี่ยงเป็นสิ่งที่ใช้ในการระบุความไม่แน่นอนที่กระทบต่อการบรรลุของวัตถุประสงค์ (Risk management explicitly addresses uncertainty)
5. การบริหารความเสี่ยงต้องทำอย่างเป็นระบบ ทำให้มีโครงสร้างรองรับชัดเจนและมีกรอบเวลาการดำเนินการที่แน่นอน (Risk management is systematic, structured and timely)
6. การบริหารความเสี่ยงอิงอยู่กับการมีสารสนเทศที่ดี (Risk management is based on the best available information)
7. การบริหารความเสี่ยงต้องปรุงแต่ง คัดแปลงให้เข้ากับแต่ละกิจการเอง (Risk management is tailored)
8. การบริหารความเสี่ยงต้องนำเอาปัจจัยด้านบุคลากรและประเด็นด้านวัฒนธรรมมาพิจารณาด้วย (Risk management takes human and cultural factors into account)

9. การบริหารความเสี่ยงเป็นกระบวนการที่โปร่งใสและสมเหตุสมผล (Risk management is transparent and inclusive)

10. การบริหารความเสี่ยงเป็นเรื่องที่มีการเคลื่อนไหว เปลี่ยนแปลงได้ (Risk management is dynamic, iterative and responsive to change)

11. การบริหารความเสี่ยงจะต้องอำนวยความสะดวกและเอื้ออำนวยต่อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Risk management facilitates continual improvement and enhancement of the organization)

นอกจากนั้น มาตรฐาน ISO 31000 ยังระบุว่ามีหลักการหลายประการที่ควรพิจารณา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบริหารความเสี่ยง ได้แก่

1. กระบวนการในการสนับสนุนและสร้างมูลค่าเพิ่ม
2. การบูรณาการกระบวนการบริหารความเสี่ยงในกระบวนการดำเนินงานปกติ
3. การนำข้อมูลความเสี่ยงเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการตัดสินใจ
4. การดำเนินงานที่ต้องมีระบบ มีการวางโครงสร้างอย่างชัดเจน
5. การปรับปรุงกระบวนการและน้ำหนักความสำคัญให้เหมาะสมกับบริบท
6. การปรับเปลี่ยนกระบวนการบริหารความเสี่ยงให้สามารถตอบสนองและรับมือกับความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดเวลาและต่อเนื่อง

ที่จริง การบริหารความเสี่ยงตามแนวทางของมาตรฐาน ISO 31000 เป็นเรื่องของการดำเนินงานตามสามัญสำนึกในการบริหารความเสี่ยง ไม่ว่ากิจการที่นำไปใช้จะดำเนินธุรกิจประเภทใด และมีขนาดการประกอบการใหญ่หรือเล็กแค่ไหนเมื่อมีการใช้มาตรฐาน ISO 31000 ผลกระทบที่เกิดขึ้นประการหนึ่งคือ การเข้าไปทดแทนมาตรฐานระหว่างประเทศอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน

โดยเฉพาะอย่างยิ่งมาตรฐาน AS/NZS 4360 ที่เป็นมาตรฐานสำคัญที่ใช้กันอยู่ในออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ตลอดจนในประเทศอื่น ๆ

ประเด็นที่สำคัญเกี่ยวกับมาตรฐาน ISO 31000 ได้แก่

1. ความเสี่ยง หมายความว่าถึงผลของความไม่แน่นอน ที่กระทบต่อวัตถุประสงค์ของกิจการ (“The effect of uncertainty on objectives”)
2. การบริหารความเสี่ยง คือ กิจกรรมที่ประสานกันเพื่อชี้แนะและควบคุม องค์กรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยง (“coordinated activities to direct and control and organization with regard to risk”)
3. กรอบบริหารความเสี่ยง คือ องค์ประกอบการดำเนินงานที่ใช้ในการจัดการองค์กรและพื้นฐานการดำเนินงาน ตั้งแต่การออกแบบ การนำไปใช้ การกำกับติดตาม การทบทวนและปรับปรุง และความต่อเนื่องของการพัฒนากระบวนการบริหารความเสี่ยงที่ใช้ทั่วทั้งองค์กร
4. กระบวนการบริหารความเสี่ยง คือ การประยุกต์ใช้งานที่เป็นระบบที่เกี่ยวกับ นโยบายการบริหารความเสี่ยง วิธีปฏิบัติ และกิจกรรมการปฏิบัติงานที่เป็นภาระงานในการสื่อสาร การให้คำปรึกษาแนะนำ การสร้างบริบท การระบุ การวิเคราะห์ การประเมิน การจัดการกับความเสี่ยง ตลอดจนการกำกับติดตาม และทบทวนความเสี่ยง
5. ISO 31000 ให้ความสำคัญกับการปรับปรุงและยกระดับกลยุทธ์การบริหารความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง คุณลักษณะสำคัญของการบริหารความเสี่ยงที่อยู่ในมาตรฐานนี้จึงมี 5 องค์ประกอบสำคัญได้แก่
 - การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการในการบริหารความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง ไม่ใช่เพียงงานโครงการชั่วคราว
 - การกำหนดเจ้าภาพความเสี่ยงและการมอบหมายความรับผิดชอบในการดูแลความเสี่ยง
 - การสอดแทรกกรอบแนวคิดการบริหารความเสี่ยงในการตัดสินใจที่สำคัญทุกระดับ

- การสื่อสาร การชี้แจง ทำความเข้าใจที่ต่อเนื่อง

- การบูรณาการการบริหารความเสี่ยงอย่างทั่วถึงในโครงสร้างของการกำกับดูแลกิจการที่ดี

ในอนาคตต่อไปจากนี้ ISO 31000 นับวันจะเพิ่มความสำคัญมากขึ้นในฐานะขององค์ประกอบหลักของการบริหารความเสี่ยงในแต่ละกิจการ โดยเฉพาะในกิจการที่ยังไม่ได้วางกรอบแนวปฏิบัติในด้านรูปแบบการบริหารความเสี่ยงอย่างเป็นทางการและยังไม่ได้จัดโครงสร้างของการบริหารความเสี่ยงนับจากการประกาศใช้มาตรฐาน ISO 31000 : 2009 เป็นต้นมา กิจการได้เริ่มมีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางในการพัฒนาระบบการบริหารความเสี่ยง การนำระบบการบริหารความเสี่ยงไปใช้ในกิจการ และการธำรงรักษาระบบการบริหารความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพให้คงไว้ในกิจการมากขึ้นกว่าก่อนหน้านี้การมีมาตรฐาน ISO 31000 : 2009 ขึ้นมาในการบริหารกิจการจึงถือว่าเป็นเรื่องที่ดี โดยเฉพาะสำหรับนักบริหารความเสี่ยงมืออาชีพ และกิจการที่ได้ใช้มาตรฐานนี้ไปวางระบบการบริหารความเสี่ยงในกิจการ ได้เกิดการรับรู้ และการเห็นถึงความสำคัญของการบริหารความเสี่ยงที่เป็นเชิงประจักษ์มากขึ้น ตลอดจนมีความใส่ใจจากผู้บริหารกิจการในการติดตามข้อมูลและสถานะการเคลื่อนที่ของความเสี่ยงในกิจการมากขึ้นด้วยนอกจากนั้น มาตรฐาน ISO 31000 เป็นเพียงกรอบแนวทาง ที่ให้ความคล่องตัวและความยืดหยุ่นแก่ผู้บริหารของแต่ละกิจการในการพิจารณาปรับใช้กระบวนการและระบบการบริหารความเสี่ยงให้เหมาะสมกับโครงสร้าง รูปแบบ องค์ประกอบ ความพร้อม ศักยภาพในการกำกับและจัดการธุรกิจของกิจการ

6. มาตรฐานการบริหารความเสี่ยงในระดับสากล

มาตรฐานการบริหารความเสี่ยงในระดับสากล (International Risk Management Standard) มีอยู่หลายมาตรฐาน แต่แนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (best practices) และถือว่าเป็นแนวทางในการจัดการความเสี่ยงที่ควรนำมาใช้ในการบริหารความเสี่ยง มีอยู่ 2 มาตรฐาน คือ

1. มาตรฐาน การบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กร COSO-ERM (The Committee Of Sponsoring Organizations Of The Treadway Commission -Enterprise Risk Management) ซึ่งพัฒนามาจากหลักการควบคุมภายในตามกรอบแนวคิดของการบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กร โดยคณะทำงานผู้เชี่ยวชาญทางด้านการบริหารความเสี่ยงหรือที่รู้จักในนาม COSO (The Committee of Sponsoring Organisations of the Treadway Commission: COSO)

2. มาตรฐานบริหารความเสี่ยงสากล ISO 31000 ที่พัฒนาขึ้นมาจากแนวทางการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐาน AS/NZS 4360

ข้อแตกต่างระหว่างการบริหารความเสี่ยงของ COSO-ERM กับ ISO 31000

การบริหารความเสี่ยงตามกรอบแนวทางของ COSO-ERM มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 มิติได้แก่

1) มิติด้าน Risk Objective บ่งบอกถึงวัตถุประสงค์ของการดำเนินการ ที่กำหนดไว้และระบุถึงความจำเป็นต้องบริหารความเสี่ยง

2) มิติด้าน Organization Level บ่งบอกถึงหน่วยงานที่มีหน้าที่และความรับผิดชอบในการบริหารจัดการความเสี่ยง ซึ่งได้แก่ ความเสี่ยงระดับองค์กร ระดับหน่วยงานย่อยและระดับกิจการ

3) มิติด้าน Interrelated Components บ่งบอกถึงองค์ประกอบของการบริหารความเสี่ยง ซึ่งมี 8 องค์ประกอบ ได้แก่

1) สภาพแวดล้อมภายใน (internal environment)

2) การกำหนดวัตถุประสงค์ (objective setting) ของการบริหารความเสี่ยง

3) การระบุเหตุการณ์ (event identification)

4) การประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

5) การจัดการกับความเสี่ยง (risk response)

6) กิจกรรมการควบคุม (control activities)

7) สารสนเทศและการสื่อสาร (information and communication)

8) การติดตามผล (monitoring) (URMIA white paper, 2007:4)

ดังแสดงภาพที่ 2 กรอบการบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กร



ภาพที่ 2 กรอบการบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กรตามแนวทาง COSO-ERM

ที่มา: URMIA white paper (2007); ประไพพิศ ลลิตาภรณ์ (2549)

ขั้นตอนการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐานการบริหารความเสี่ยงสากล ISO 31000 ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ

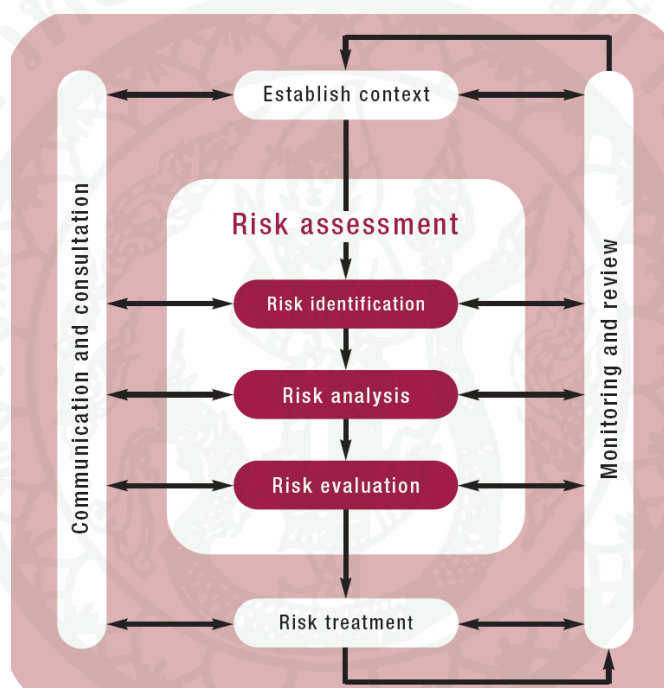
- 1) การสื่อสารและการให้คำแนะนำ (communicate and consult)
- 2) การกำหนดสภาพแวดล้อม (establish the context)

3) การประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

4) การจัดการความเสี่ยง (treat the risks)

5) การเฝ้าติดตาม และการทบทวน (monitor and review)

International Standard ISO 31000: 2009 แสดงโดยภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบวนการบริหารความเสี่ยงตามแนวทาง ISO 31000

ที่มา : ดัดแปลงจาก Carl Gibson (2009: 9)

Knight (2009) คณะทำงานเกี่ยวกับ ISO และ Rasmussen (2009) กล่าวว่า ISO 31000 เป็นมาตรฐานการบริหารความเสี่ยงที่สามารถนำมาใช้กับได้ทุกองค์กรไม่ว่าจะเป็นองค์กรขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ก็ตาม หรือไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ ภาครัฐและภาคเอกชน จุดเด่นของมาตรฐาน ISO 31000 นี้คือเป็นมาตรฐานในลักษณะของแนวปฏิบัติ (guideline) จึงง่ายต่อการปฏิบัติและสามารถนำไปดัดแปลงหรือประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับองค์กรแต่ละองค์กรมากกว่าการบริหารความเสี่ยงตามแนวทางของ COSO-ERM และยังเป็นมาตรฐานที่พยายามนิยามคำที่เกี่ยวข้อง

กับการบริหารความเสี่ยง และหาแบบจำลองร่วมที่จะสามารถนำไปใช้ได้กับองค์กรประเภทต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม (Samad-Khan (2005) and Haelterman (2010)) ได้กล่าวถึงCOSO-ERM ว่ามีขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงที่ยุงยาก และซับซ้อนเกินไปทำให้ผู้ที่ใช้งานมีความเข้าใจสับสน และไม่ชัดเจน แนวทางการบริหารความเสี่ยงของ COSO-ERM มีความเหมาะสมกับหน่วยงานที่เป็นภาคการเงิน การบัญชี ที่ต้องการจะควบคุมกิจการภายใน เพื่อที่จะป้องกันการคุกคามที่จะเกิดขึ้นโดยมีการควบคุมเป็นหลัก (hyper-focus on threats and controls) ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 1 จึงทำให้เกิดปัญหาและข้อผิดพลาดในเรื่องของการปฏิบัติและการชี้นำแนวทาง (guidance)

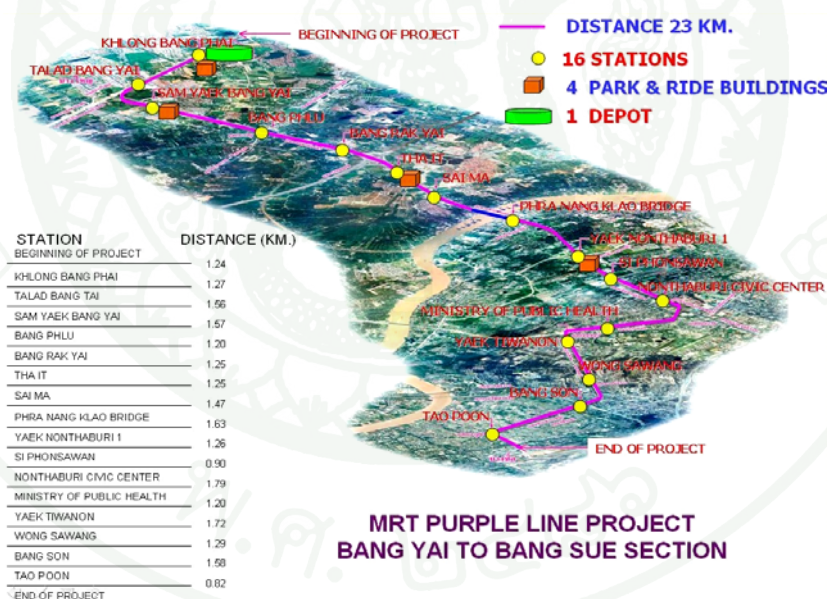
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบการบริหารความเสี่ยงระหว่าง ISO 31000 กับ COSO-ERM

องค์ประกอบของ ISO 31000	องค์ประกอบของ COSO-ERM
- establish the context	- internal environment
	- objective setting
- risk assessment	- event identification
	- risk assessment
- treat the risks	- risk response
	- control activities
- communicate and consult	- information and communication
- monitoring and review	- monitoring

Gibson (2009), Thongsiri and Plueksawan (2009) ได้กล่าวว่า ถ้าจะพิจารณาถึงกระบวนการบริหารความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับสถาบันอุดมศึกษาแล้วควรจะคำนึงถึงมาตรฐานการบริหารความเสี่ยง ISO 31000 เนื่องจากเป็นมาตรฐานในลักษณะของแนวปฏิบัติ ไม่ใช่ลักษณะการควบคุมภายใน (internal control) และการนำไปประยุกต์ใช้นั้นง่าย ไม่มีความซับซ้อน

7. ภาพรวมของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง

ในโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ) เป็นรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแบบทางวิ่งยกระดับตลอดสายระยะทางประมาณ 23 กิโลเมตร ประกอบไปด้วย สถานีทั้งหมด 16 สถานีคือ 1. สถานีเตาปูน 2. สถานีบางซื่อ 3. สถานีวงศ์สว่าง 4. สถานีแยกติวานนท์ 5. สถานีกระทรวงสาธารณสุข 6. สถานีศูนย์ราชการนนทบุรี 7. สถานีศรีพรสวรรค์ 8. สถานีแยกนนทบุรี 9. สถานีสะพานพระนั่งเกล้า 10. สถานีไทรม้า 11. สถานีท่าอิฐ 12. สถานีบางรักใหญ่ 13. สถานีบางพลู 14. สถานีสามแยกบางใหญ่ 15. สถานีตลาดบางใหญ่ 16. สถานีคลองบางไผ่ ศูนย์ซ่อมบำรุง 1 แห่ง และอาคารจอดแล้วจรพร้อมสิ่งอำนวยความสะดวกอีก 4 แห่งแสดงในภาพที่ 4 ใช้รถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (HEAVY RAIL) แสดงในภาพที่ 5 ลักษณะโครงสร้างของตัวสถานีรถไฟฟ้าชั้นชานชาลายาว 200-250 เมตรและกว้าง 20 เมตร ความสูงของหลังคาชั้นชานชาลาจากพื้นถนนประมาณ 26 เมตร ความสูงของทางวิ่งจากพื้นถนนประมาณ 17-19 เมตรแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554)



ภาพที่ 5 รถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (HEAVY RAIL)

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554)



ภาพที่ 6 ลักษณะโครงสร้างของตัวสถานีรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554)

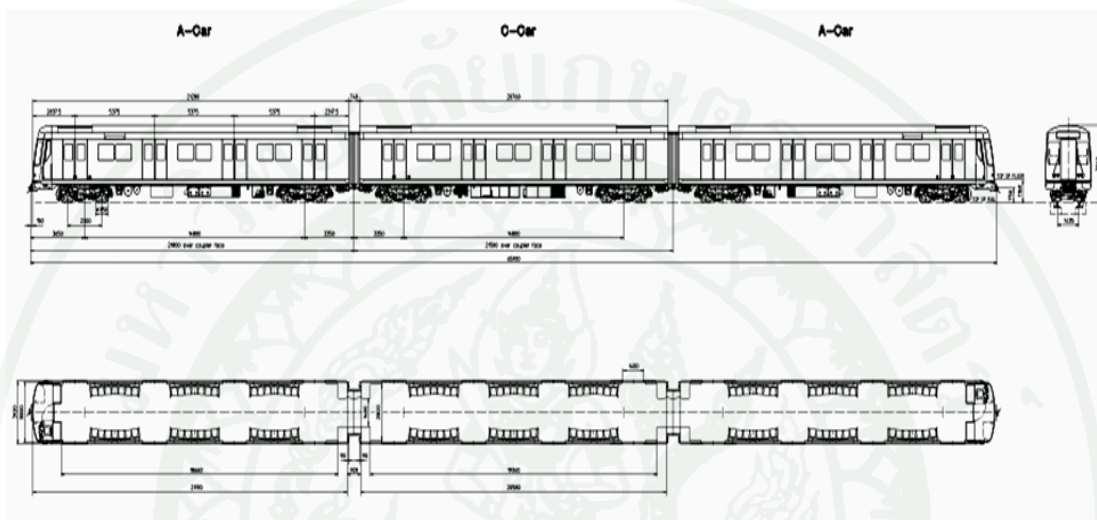
ระบบราง รางวิ่งขนาดมาตรฐาน (STANDARD GAUGE) กว้าง 1.435 เมตร โดยมีรางที่ 3 วางขนานกันไปกับรางวิ่ง สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้ตัวรถแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ระบบราง

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554)

ระบบรถ ใช้ล้อเหล็กวิ่งบนรางเหล็ก เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 3.2 เมตร ยาว 20-24 เมตร สูงประมาณ 3.7 เมตร ความจุ 320 คน/คัน วิ่ง 3 - 6 คันต่อขบวน ใช้ไฟฟ้า 750 โวลต์ กระแสตรง ป้อนระบบขับเคลื่อนรถ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขับเคลื่อนตัวรถ ควบคุมการเดินรถด้วยระบบอัตโนมัติจากศูนย์ควบคุม ความเร็วสูงสุด 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง

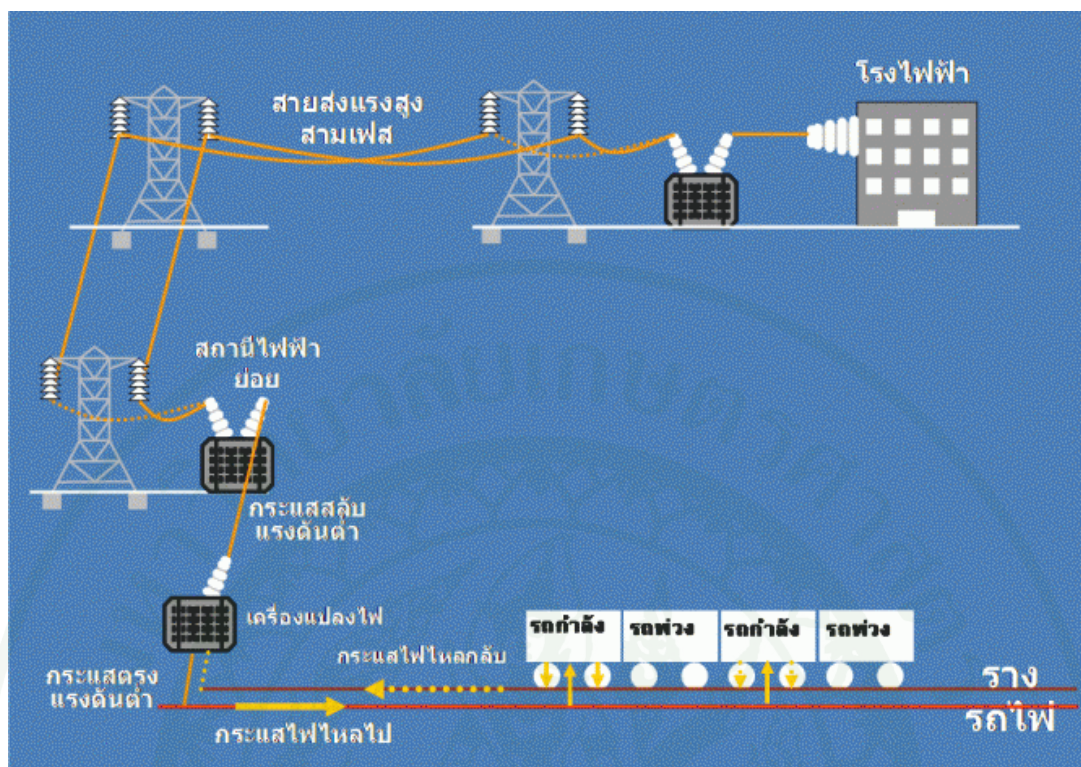


ภาพที่ 8 ระบบรถ

ที่มา: การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554)

ระบบป้อนกระแสไฟฟ้าแบบรางที่สาม

ระบบป้อนกระแสไฟฟ้าด้วยรางที่สาม ใช้กับรถไฟฟ้าที่ใช้กระแสไฟตรง แรงดันต่ำ รางที่สามจะวางคู่ขนานไปกับรางรถไฟ อุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้าที่ตัวรถยื่นออกรับกระแสไฟฟ้าจากรางที่สาม เพื่อใช้ขับเคลื่อนขบวนรถและระบบอำนวยความสะดวกอื่นๆ บนขบวนรถไฟเนื่องจากรางสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าวางทอดขนานไปกับรางรถไฟบนพื้นดิน อาจจะเป็นอันตรายได้ง่าย จึงใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไม่เกิน 750 V ส่วนมากใช้กับรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมืองซึ่งขบวนรถวิ่งช้าและสถานีรถไฟอยู่ใกล้กันระบบจ่ายไปแบบรางที่สาม ไม่มีเสาและสายระเกะระกะไปตลอดทางรถไฟเหมือนระบบป้อนกระแสไฟฟ้าเหนือราง จึงก่อปัญหามลภาวะทางสายตาน้อยกว่า บางประเทศจึงออกกฎหมายบังคับให้รถไฟฟ้าที่เข้ามาในเขตเมืองติดตั้งระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยรางที่สามเท่านั้น

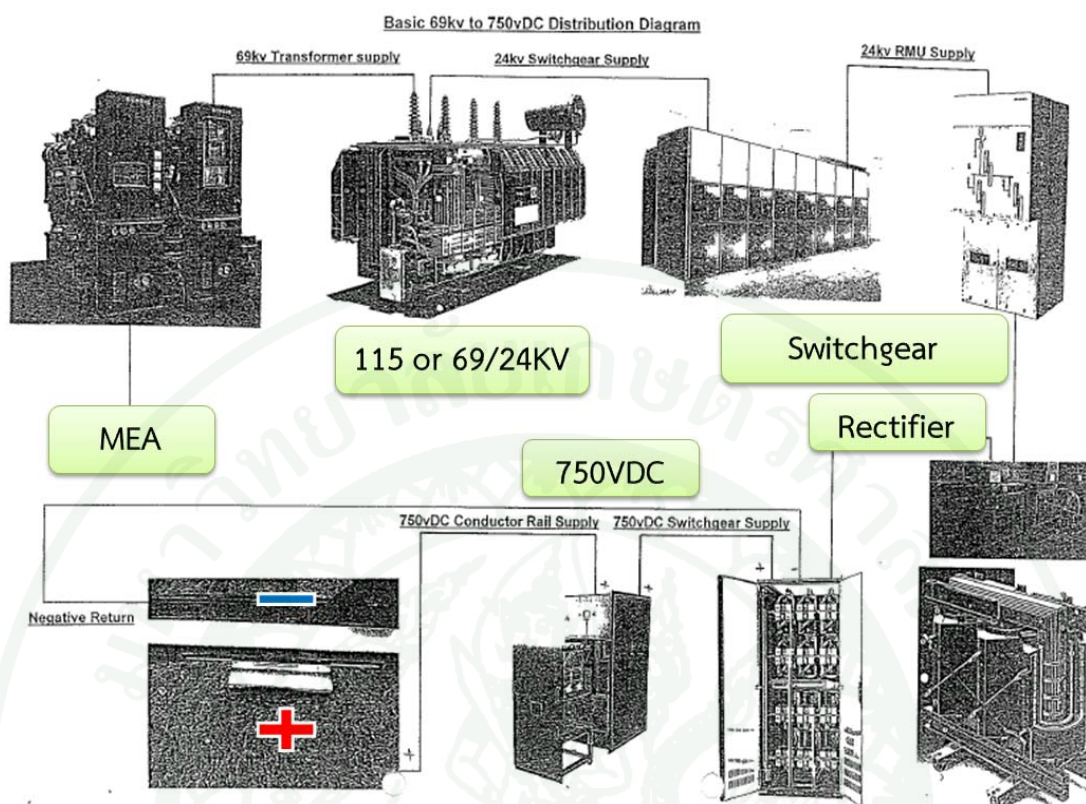


ภาพที่ 9 รถไฟฟ้าแบบกระแสดตรง ป้อนไฟจากรางที่สาม

ที่มา: โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย (2554)

ระบบการจ่ายไฟในโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ

โครงการจะรับไฟจากการไฟฟ้านครหลวงจากสองแหล่งคือจากสถานีไฟฟ้าโทรนอยที่ระดับแรงดัน 115kV และสถานีไฟฟ้าพระนครเหนือที่ระดับแรงดัน 69kV โดยสถานีไฟฟ้าอยู่ที่ศูนย์ซ่อมบำรุง(Depot) คลองบางไผ่ลดระดับแรงดันลงมาเป็น 24kV สองแหล่งจ่ายนี้จะวางสายเดินตลอดแนวสายทางของรถไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยภาพของระบบและยังมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองกำลังขับเคลื่อนดีเซลเพื่อสนับสนุนระบบอีกส่วนหนึ่ง เมื่อกระแสไฟฟ้า 24kV ถึงแต่ละสถานีจะถูกแยกใช้สำหรับงาน 2 ส่วนคือ ส่วนบริการอาคารแรงดันจะถูกแปลงที่แรงดัน 380V เพื่อเข้าตู้ MDB เพื่อใช้งานต่อไป และส่วนสำหรับงานขับเคลื่อนรถไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดัน 750 V เพื่อระบบป้อนกระแสไฟฟ้าด้วยรางที่สามให้กับระบบขับเคลื่อนตัวรถไฟฟ้าต่อไป

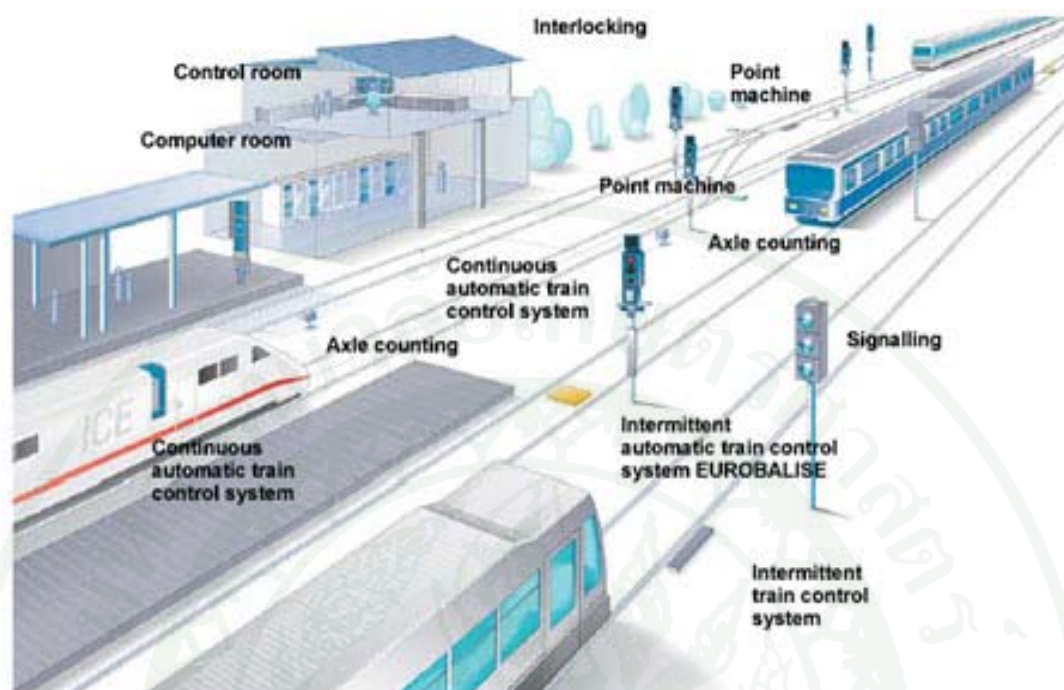


ภาพที่ 10 ระบบการจ่ายไฟฟ้า

ที่มา: การรถไฟฟ้ามหานครแห่งประเทศไทย (2554)

ระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟ (Signalling)

ระบบอาณัติสัญญาณเป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของรถไฟ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการเดินรถ และเพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการเดินทางไปด้วยกัน รถไฟนั้นไม่สามารถวิ่งหลบหรือวิ่งแซงรถไฟคันหน้าได้เหมือนรถยนต์ และจากหลักการสร้างรถไฟที่จะต้องสร้างให้มีความเสียดทางระหว่างรางและล้อให้น้อยที่สุดเพื่อการประหยัดพลังงาน ในการวิ่งแต่ก็ส่งผลให้ระยะเบรกมีค่ามากตามไปด้วยนั้น ระบบอาณัติสัญญาณจึงยังมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมให้รถไฟที่วิ่งตามกัน หรือ วิ่งสวนกัน ไม่ไปอยู่ในรางที่ๆเดียวกันในเวลาเดียวกันเพื่อป้องกันการชนกันนั่นเอง ในการทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้ ระบบอาณัติสัญญาณ จะต้องประกอบด้วยระบบย่อยๆ ที่สำคัญดังภาพที่ 11

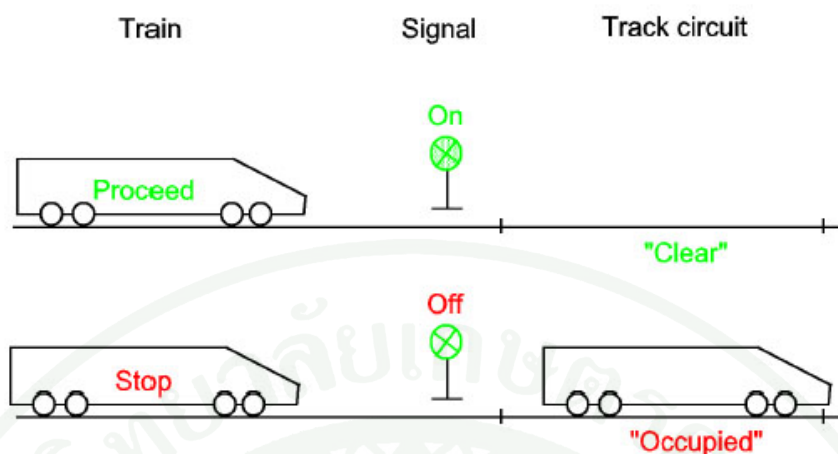


ภาพที่ 11 แสดงระบบย่อยต่างๆ ในระบบ Signalling

ที่มา: การรถไฟแห่งประเทศไทย (2554)

ระบบ Interlocking System (IS)

ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้รถไฟเข้าไปในพื้นที่ ที่อาจเป็นอันตรายในการเดินรถ และควบคุมการทำงานของ Trackside Equipment เช่น Point Machine หรือ Signal หลักการทำงานของระบบ Interlocking สามารถพิจารณาได้ดังภาพที่ 12

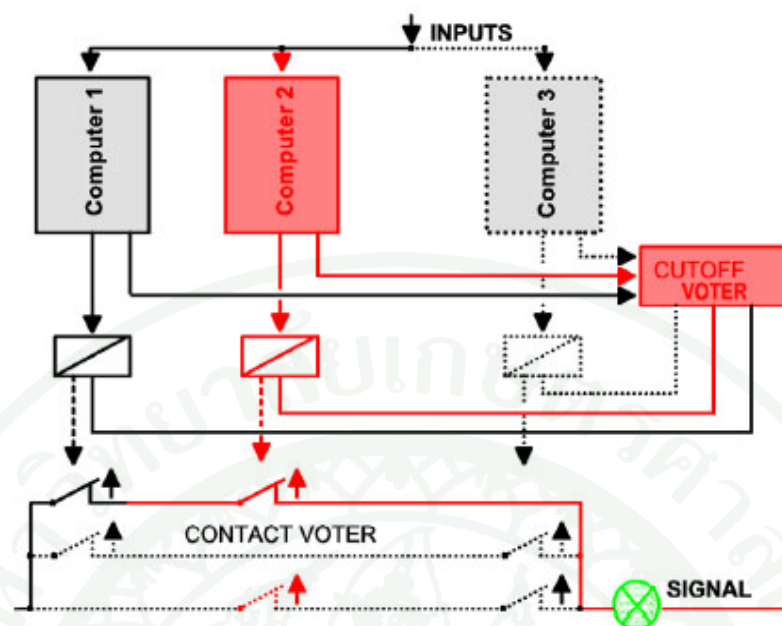


ภาพที่ 12 แสดง Simplified Railway-Specific Process

ที่มา: การรถไฟแห่งประเทศไทย (2554)

จากรูปจะเห็นได้ว่ารถไฟ สามารถจะวิ่งเข้าไปในส่วนที่เป็น Track Circuit ข้างหน้า ได้ก็ต่อเมื่อ Track Circuit ข้างหน้าว่างหรือ Free โดยพนักงานขับรถจะทราบได้จากสัญญาณไฟจาก Signal นั้นเอง ถ้าเป็นสีแดง หมายความว่า มีรถไฟอยู่ข้างหน้าและรถไฟต้องหยุดอยู่หน้า Signal นี้ รอจนสัญญาณไฟเป็นสีเขียว (ขาวหรือเหลือง) รถไฟจึงสามารถวิ่งผ่าน Signal นี้ไปได้ สัญญาณ ไฟ สีแดงนั้น นอกจากจะหมายถึงมีรถไฟอยู่ใน Track Circuit ข้างหน้าแล้ว ยังอาจหมายถึง Point machine ที่ยังไม่อยู่ในตำแหน่ง หรือเส้นทางสำหรับรถไฟ (Route) ยังไม่พร้อมด้วย

ดังนั้นจะเห็นว่า Interlocking computer นั้นมีความสำคัญอย่างมาก ในการพิจารณาความปลอดภัยของรถไฟ ดังนั้น จึงมีการออกแบบให้ computer มีความเชื่อถือได้สูง (High Reliability) โดยการนำเอาการทำงานแบบ 2 out of 2 และ 2 out of 3 มาใช้ การทำงานของ 2 out of 2 นั้น จะเป็นการนำคอมพิวเตอร์ 2 ตัวมาประมวลผลพร้อมกัน เมื่อได้ผลลัพธ์จะนำมาเปรียบเทียบกับกัน ถ้าได้ค่าเท่ากันจึงส่งผลออกไปให้ใช้ได้ใช้งาน แต่ถ้าค่าต่างกัน คอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ตัวจะหยุดการทำงาน โดยระบบจะหยุดอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย (Fail Safe) ส่วน 2 out of 3 จะเป็นการ เพิ่มคอมพิวเตอร์เข้าไปใน 2 out of 2 อีกตัวหนึ่ง นำผลของทั้ง 3 ตัวมาเปรียบเทียบกับกัน ถ้าผลของ ตัวหนึ่งตัวใดผิดไปจากอีก 2 ตัว คอมพิวเตอร์ที่ให้ผลไม่เหมือนอีก 2 ตัวจะหยุดทำงาน ปล่อยให้ คอมพิวเตอร์ที่ให้ผลเหมือนกันทำงานแบบ 2 out of 2 ต่อไป

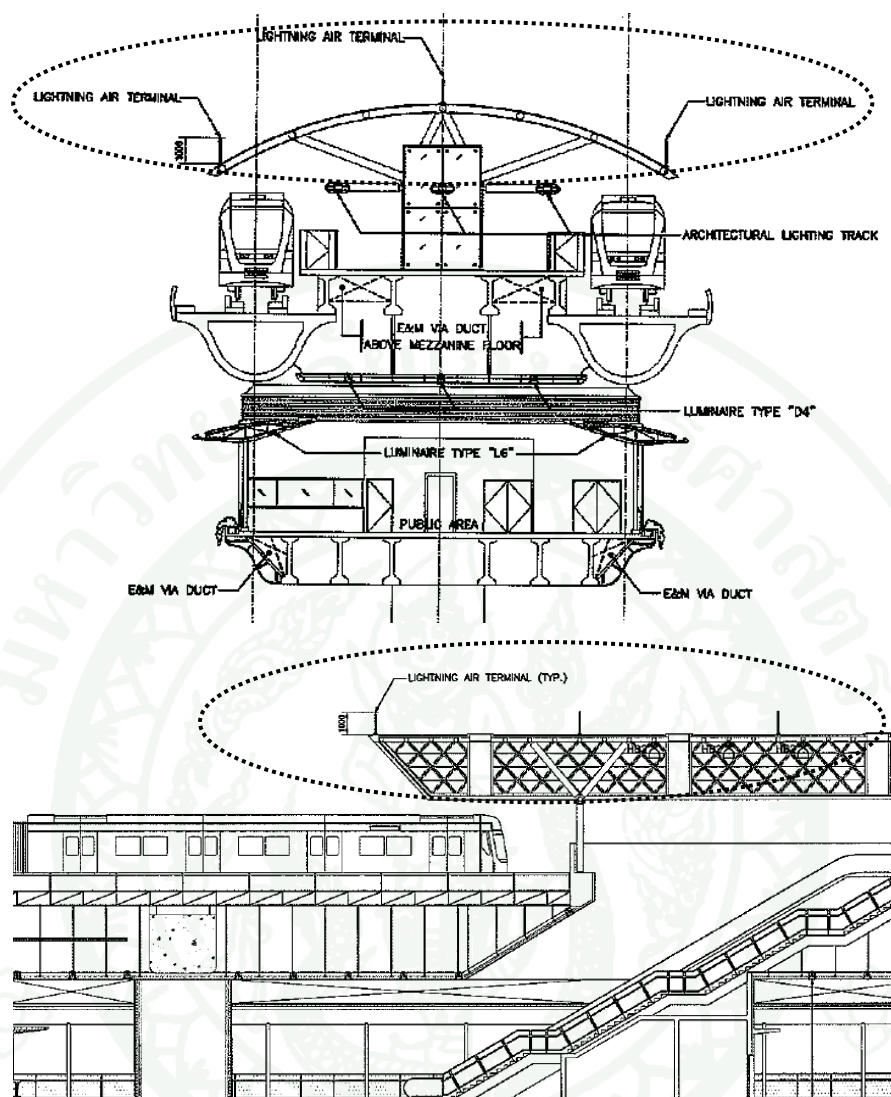


ภาพที่ 13 แสดงการทำงานของ computer 2 out of 3

ที่มา: การรณไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2554)

7.1 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ป้องกันคือ แท่งโลหะทองแดง Air Terminal ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 16 mm. ยาว 0.6 m. ติดตั้งบนหลังคาแต่ละแท่งเชื่อมต่อถึงกันหมดด้วยสายทองแดงขนาด 50 ตร.มม. หลังจากนั้นเชื่อมกับ Bare copper ขนาด 120 sq.mm ที่ฝังไว้ในช่องโครงสร้างเหล็กของชั้นชานชาลา ผ่านโครงสร้างคอนกรีตชั้นจำหน่ายตัวลงชั้นกราวด์ ก่อนเชื่อมต่อกับแท่งกราวด์เดี่ยวฝังลึกลงไปในดินโดยต้องวัดความต้านทานได้ไม่มากกว่า 5Ω



ภาพที่ 14 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

ที่มา: Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok (2552)

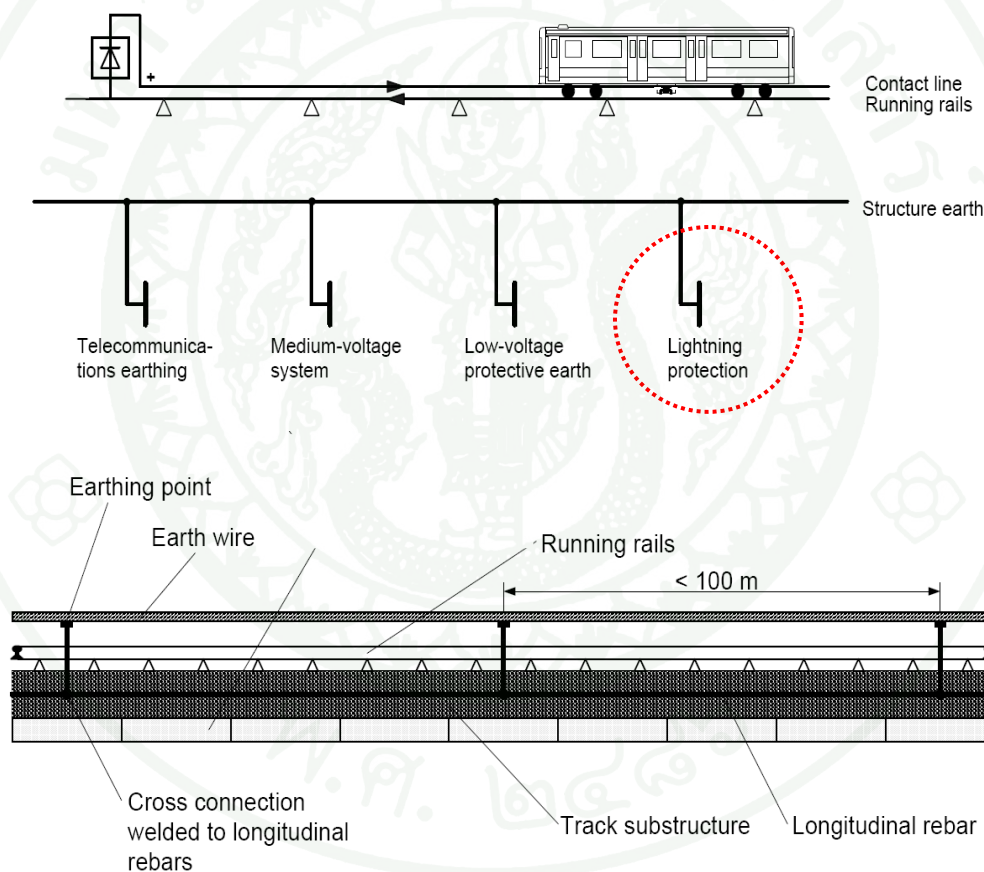


ภาพที่ 15 Bare copper และกราวด์เดี่ยว ของสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

ที่มา: Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok (2552)

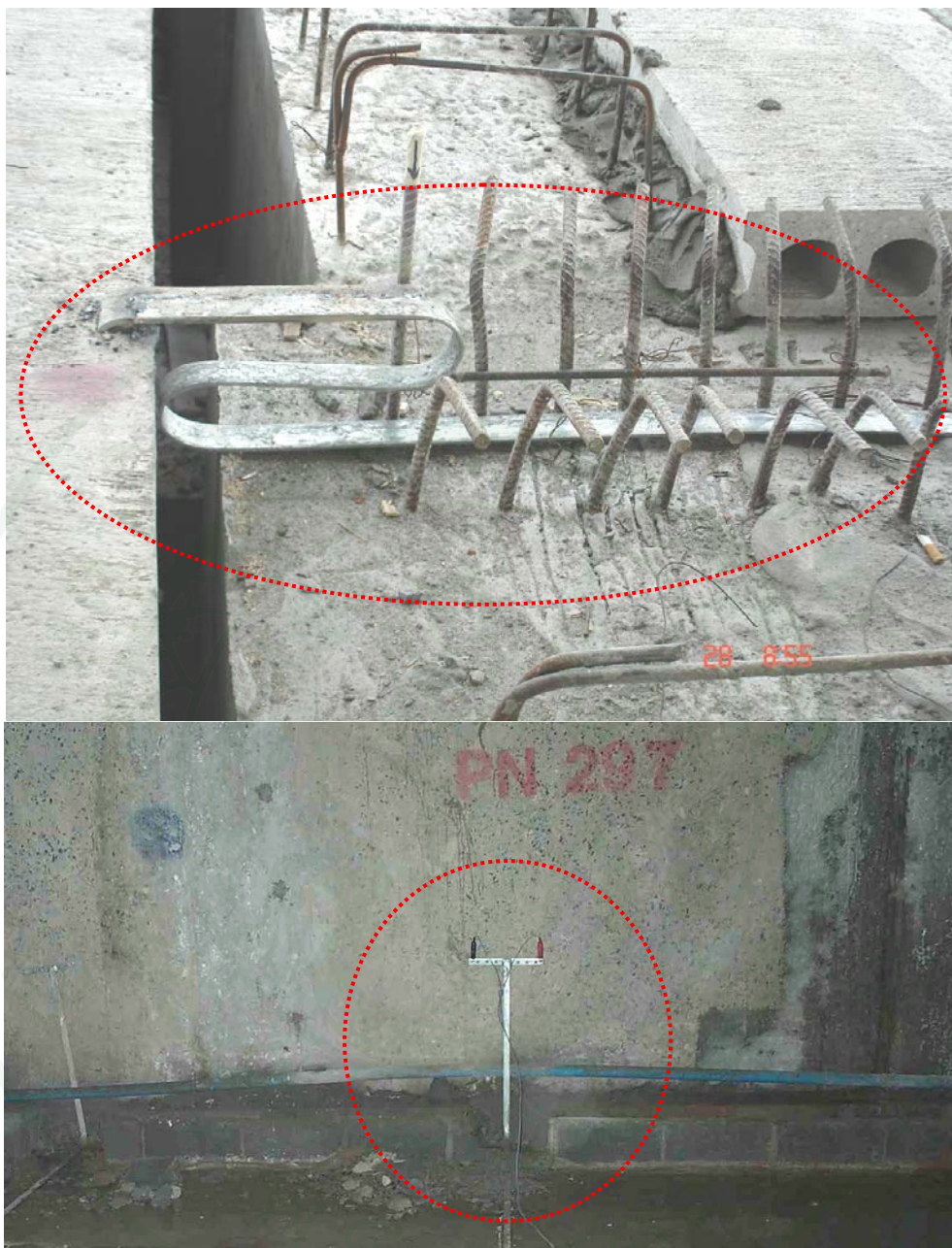
7.2 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในบริเวณรางรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ป้องกันคือ แนว Parapet และแนว Trackwork ที่ติดตั้งอยู่บริเวณขอบรางรถไฟฟ้าด้านนอก ต่อเข้ากับ Earthing point โดยแต่ละตำแหน่งของ Earthing point ห่างกันไม่เกิน 100 m มีการต่อ Earthing point กับ Bare copper ขนาด 120 sq.mm ที่ฝังในโครงสร้างทางวิ่งโดยจะเชื่อมถึงกันระหว่างสองสถานี และมีจุดแยกเชื่อมกับ Bare copper ขนาด 120 sq.mm ที่ฝังในเสาคอนกรีตอีกด้วย



ภาพที่ 16 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในบริเวณรางรถไฟฟ้า

ที่มา: Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok (2552)



ภาพที่ 17 แสดง Bare copper และ Earthing terminal ของบริเวณรางรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

ที่มา: Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok (2552)

7.3 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสถานียึดไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

7.3.1 อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge Protection Device : SPD)

อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในอาคารมีไว้เพื่อลดหรือขจัดกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว ตามมาตรฐาน IEC และ IEEE มีการแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตามลักษณะการทดสอบโดยจำลองคลื่นอิมพัลส์ในรูปกระแส และ แรงดันแตกต่างกันออกไป ดังเช่น

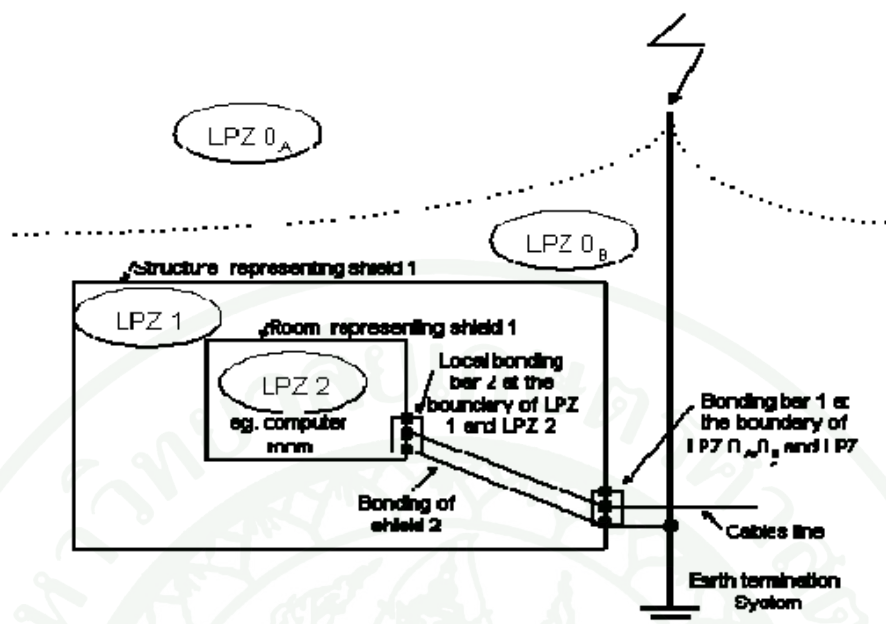
มาตรฐาน IEC 1312 - 1 - 1995 [1] ได้กำหนดย่านการป้องกันแรงดันเกินไฟฟ้าจากฟ้าผ่า (Lightning Protection Zone : LPZ) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ภายในอาคาร และในแต่ละย่านการป้องกันจะมีการต่อประสานแต่ละย่านการป้องกัน (ตามภาพที่ 18) เพื่อการลดทอนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic field) และทำให้ศักย์ไฟฟ้าในแต่ละย่านการป้องกันเท่ากัน ซึ่งการกำหนดย่านการป้องกันต่างๆ จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบ และการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จให้เหมาะสมกับ ขนาดของเสิร์จที่ผ่านเข้ามา การแบ่งโซนดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้ คือ

LPZ 0A คือ โซนที่มีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าโดยตรงดังนั้นจึงรับกระแสฟ้าผ่าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเต็มที่

LPZ 0B คือ โซนที่ไม่มีโอกาสรับฟ้าผ่าโดยตรง แต่ยังได้รับผลของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยยังไม่มีลดทอนจากผลของแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าว

LPZ 1 คือ โซนที่มีการสวิตชิงของอุปกรณ์ภายใน หรือจากการรับกระแสเสิร์จของการเหนี่ยวนำจากฟ้าผ่าเข้ามาตามสายตัวนำไฟฟ้า และสายสัญญาณต่าง ๆ และจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าที่เข้ามาเหนี่ยวนำวงรอบที่อยู่ในอาคาร เช่น วงรอบระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสารซึ่งสามารถลดทอนสนามแม่เหล็กดังกล่าว ได้ด้วยวิธีการต่อประสาน (Bonding) และการกำบัง(Shielding)ภายในอาคาร

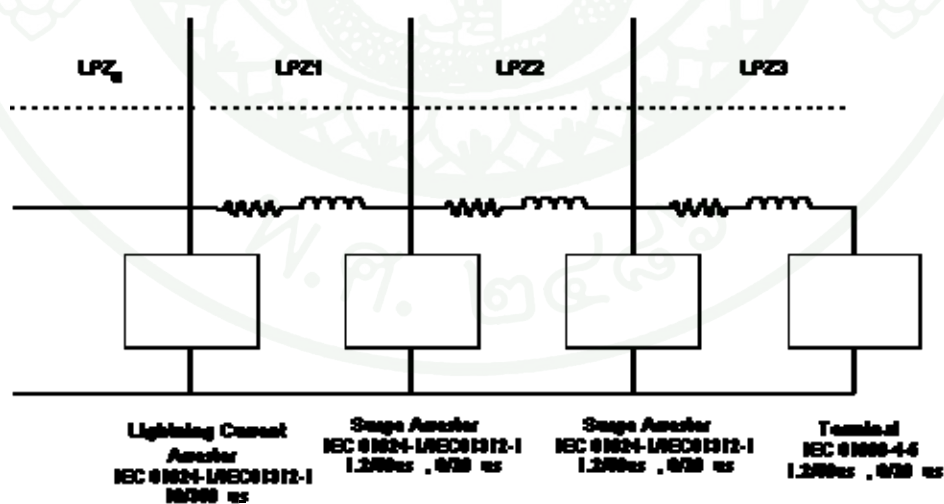
LPZ 2 คือ โซนที่มีการลดกระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากกว่าโซนดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 18 การแบ่งโซนการป้องกันแรงดันเกินจากฟ้าผ่า

ที่มา: Lightning protection zones according to IEC 1312-1 (1995)

มีการแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันเสร็จตามลักษณะการทดสอบ (ตามภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 การแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันเสร็จตามลักษณะการทดสอบ

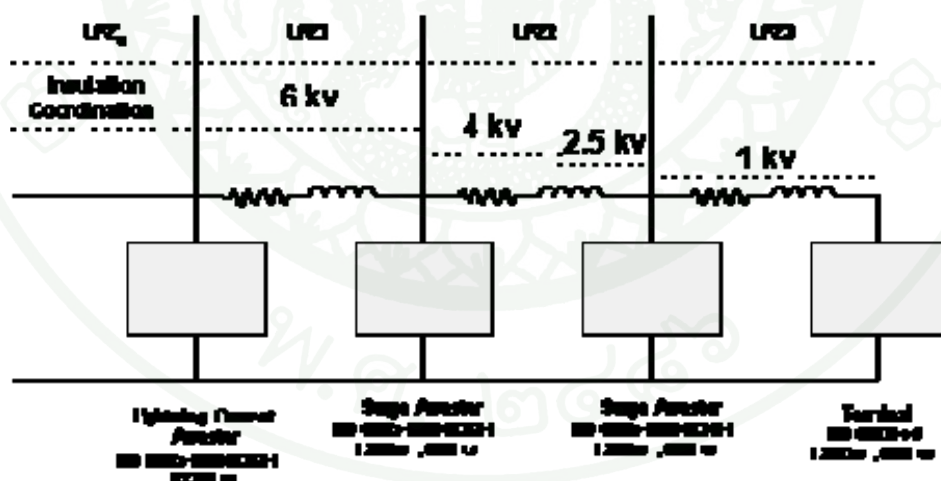
ที่มา: IEC 62305-1:2006-1, Protection against lightning – Part 1: General principles (1995)

7.3.2 อุปกรณ์ป้องกันลัด (Surge Protection Device : SPD) จะแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน คือ อุปกรณ์ป้องกันลัดทางด้าน Power และด้าน Communication และแบ่งตามย่านการติดตั้งใช้งานได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. Lightning Current Arrester คุณสมบัติมีความสามารถ Discharge กระแสไฟฟ้าผ่านส่วนที่มีขนาดพลังงานมากโดยที่ตัวมันเองหรืออุปกรณ์ป้องกันลัดตัวอื่น ๆ ไม่ได้รับความเสียหาย ตำแหน่งติดตั้งอยู่ระหว่างย่าน LPZOB กับ LPZO1 จะถูกทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 10 / 350 ms

2. Surge Arrester คุณสมบัติเพื่อจำกัดแรงดันไฟฟ้าเกิน เพื่อไม่ให้เกินค่าที่จะทำให้ความเสียหายกับอุปกรณ์ในอาคาร ตำแหน่งติดตั้งจะอยู่หลังย่าน LPZO1 ลงมาจะถูกทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 8 / 20 ms และแรงดันอิมพัลส์ 1.2 / 50 ms

การเลือกอุปกรณ์ป้องกันลัดสำหรับแต่ละย่านจึงควรเลือกให้จำกัดค่าแรงดันไม่ให้เกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน



ภาพที่ 20 แสดงการแบ่งประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินตามความสัมพันธ์ทางฉนวน (Insulation Coordination) โดยควบคุมแรงดันแต่ละประเภทการติดตั้ง (Installation Category)

ที่มา: IEC 60664-1, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests (2007)



ภาพที่ 21 แสดงโครงสร้างลักษณะกายภาพของ Surge Arrester

ที่มา: Wenzhou Tuoer Electric Co., Ltd (2010)



ภาพที่ 22 แสดงโครงสร้างลักษณะกายภาพของ Lightning current arrester

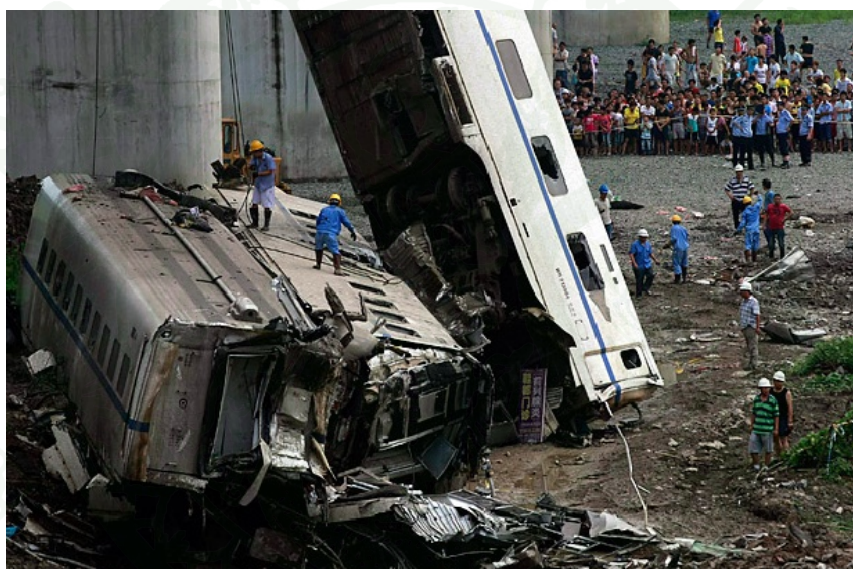
ที่มา: Naka Engineering Co., Ltd (2009)

8. ผลกระทบเนื่องจากฟ้าผ่าในระบบรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

เกิดขึ้นบริเวณทางตะวันออกมณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน เกิดขึ้นจากรถขบวนแรก(ขบวน D301) วิ่งจากทางตอนใต้ของมณฑลเจ้อเจียง เมืองหังโจว จอดนิ่งอยู่เนื่องจากเสียการควบคุมเพราะไฟฟ้าลัดวงจรหลังถูกฟ้าผ่า ทำให้ขบวนถัดมา(ขบวน D3115) พุ่งชนด้านหลังของขบวนแรกเป็นเหตุให้ตู้ที่บรรทุกผู้โดยสารจำนวน 6 ตู้ตกลง โดย 4 ตู้ตกจากทางวิ่งยกระดับที่มีความสูง 15 เมตร ในบริเวณเหวินโจว ห่างจากทางตอนใต้ของปักกิ่ง 860 ไมล์ รถไฟฟ้าทั้งสองขบวนหันหัวไปทางชายฝั่งเมืองฝูโจว ขบวนหนึ่งมาจากปักกิ่ง อีกขบวนหนึ่งมาจากมณฑลเจ้อเจียง หังโจว มีผู้เสียชีวิต 39 รายและบาดเจ็บอีกกว่า 192 ราย



ภาพที่ 23 แสดงภาพหลังอุบัติเหตุรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับชนกันเพราะไฟฟ้าลัดวงจร หลังถูกฟ้าผ่า



ภาพที่ 23 (ต่อ)

ที่มา: Siam Intelligence (2011)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์

1.1 Intel Core™ 2 Duo processor T5900 (2.2 GHZ, 800 MHz FSB, 2 MB L2 cache)

1.2 Mobile intel Graphics Media Accelerator 4500MHD

1.3 4GB DDR2

1.4 14.0 Inch HD Acer CineCrystal™ LED LCD

1.5 320GB HDD

1.6 DVD-Super Multi DL

1.7 802.11a/b/g Draft-N WLAN

2. ระบบปฏิบัติการ

2.1 Microsoft Window XP (Service Pack 3)

3. โปรแกรมที่ใช้งาน

3.1 Microsoft Office 2003 or 2007

4. เอกสารแบบก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง(ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ)

5. ข้อมูลจาก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.2553 , ICE
และ BS EN

6. เว็บไซต์ค้นหา



วิธีการ

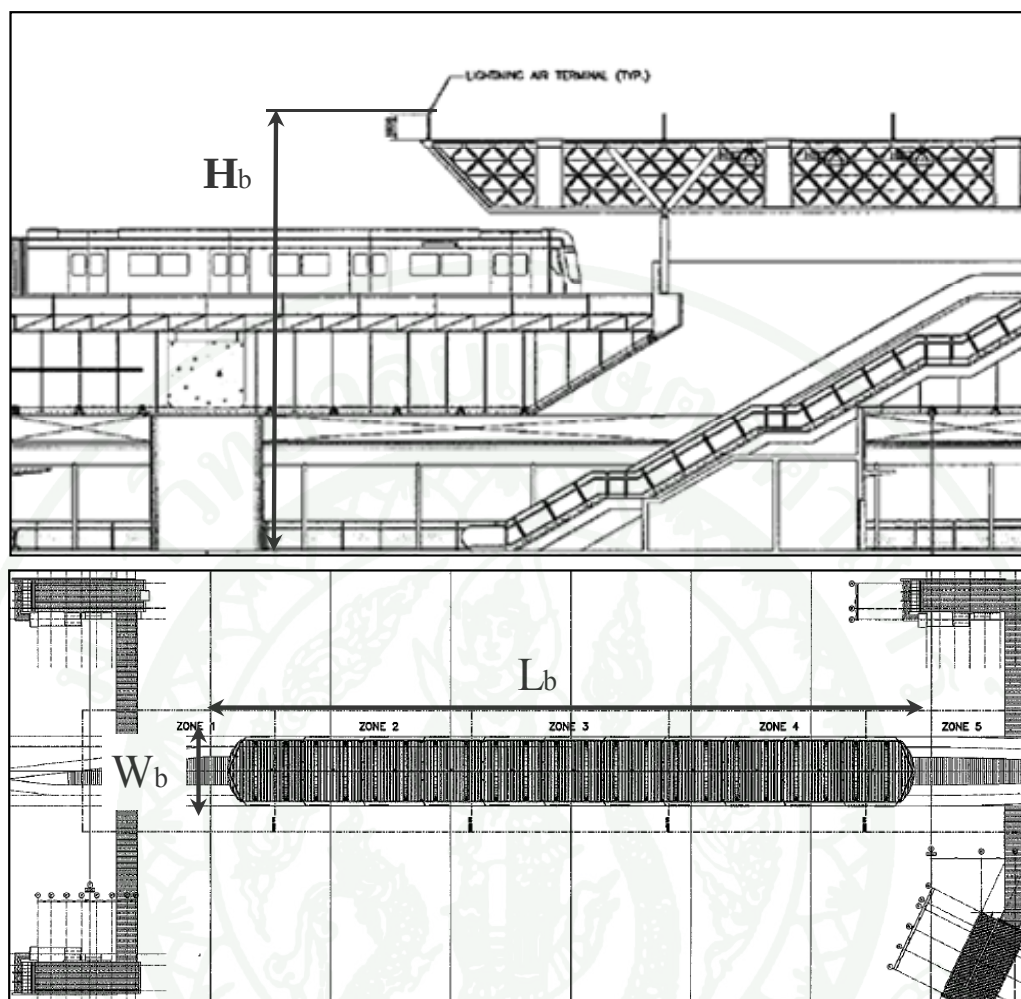
ทำการประเมินค่าความเสี่ยงตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ. 2553 ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง วิธีการตัดสินใจจำเป็นของการป้องกันโดยการนำข้อมูลจากเอกสารสัญญาของสิ่งปลูกสร้างบริเวณสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับและบริเวณทางวิ่งยกระดับ แบ่งได้เป็นกรณีที่ไม่มีการป้องกันฟ้าผ่า(สมมุติว่าไม่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า) และกรณีที่มีการป้องกันฟ้าผ่า(ได้ทำการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าไว้แล้วเพื่อติดตั้งจริง) พิจารณาหาข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- ข้อมูลและคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง(ภายนอกอาคาร)
- ข้อมูลของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่ (ภายนอกอาคาร)
- ข้อมูลของสายโทรคมนาคมและระบบภายในที่ต่ออยู่ (ภายนอกอาคาร)
- ข้อมูลและคุณลักษณะ (ภายในอาคาร)
- จำนวนวันที่มีพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (โดยเฉลี่ยใน เขต กทม. คือ 80 วันต่อปี)

ทำการคำนวณตามขั้นตอนดังนี้

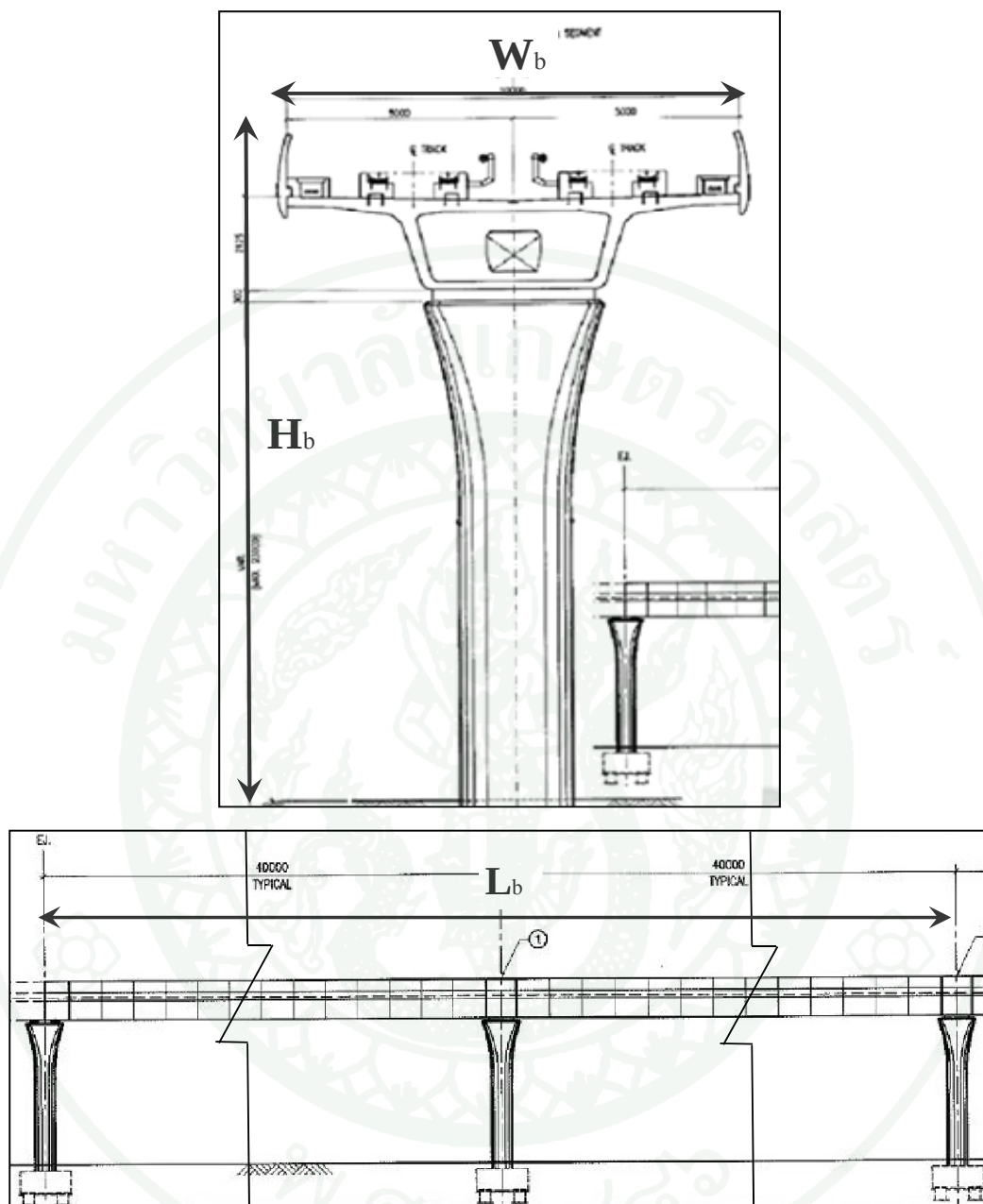
หาพื้นที่รับฟ้าผ่าที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยเฉลี่ยและข้อมูลต่างๆเพื่อนำมาพิจารณา ดังนี้

- มิติของบริเวณสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับหาได้ในภาพที่ 24
- มิติของทางวิ่งยกระดับทางวิ่งยกระดับหาได้ในภาพที่ 25



ภาพที่ 24 มิติของบริเวณสถานีรถไฟฟ้าแบบโครงสร้างยกระดับ

ที่มา: Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok (2552)



ภาพที่ 25 มิติของทางวิ่งยกระดับ

ที่มา: Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok (2552)

ตารางที่ 2 ข้อมูลของ 1 คือข้อมูลบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ 2 คือข้อมูลบริเวณทางวิ่งยกระดับ กรณีไม่มีการป้องกันและกรณีมีการป้องกันโดยเฉลี่ย

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	กรณีไม่มีการป้องกัน		กรณีมีการป้องกัน	
		1	2	1	2
ข้อมูลและคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง (ภายนอกอาคาร)					
ยาว (m)	L _b	250	1500	250	1500
กว้าง (m)	W _b	20	20	20	20
สูง (m)	H _b	30	27	30	27
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง	C _d	0.50	0.50	0.50	0.50
ระบบป้องกันฟ้าผ่า	P _B	1.00	1.00	10 ⁻³	10 ⁻³
ตัวกำบังที่ขอบเขตของสิ่งปลูกสร้าง	K _{S1}	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
ตัวกำบังที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้าง	K _{S2}	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
ผู้คนที่อยู่ภายนอกสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-
ความหนาแน่นของวาบฟ้าผ่า (1/km ² /year)	N _g	8	8	8	8
ความต้านทานจำเพาะของดิน (Ωm)	ρ	500	500	500	500
ข้อมูลของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่ (ภายนอกอาคาร)					
ความยาว (m)	L _c	1000	1500	1000	1500
ความสูง (m)	H _c	25	25	25	25
หม้อแปลง HV/LV	C _t	0.20	1.00	0.20	1.00
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสาย	C _d	0.25	0.25	0.25	0.25

ตารางที่ 2 (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	กรณีไม่มีการป้องกัน		กรณีมีการป้องกัน	
		1	2	1	2
ตัวประกอบสภาพแวดล้อมของสาย	C_e	0.10	0.10	0.10	0.10
การกำบังสาย	P_{LD}	1.00	1.00	1.00	1.00
การระงับในการเดินสายภายใน	K_{S3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
ความคงทนต่อแรงดันของระบบภายใน	K_{S4}	0.60	0.60	0.60	0.60
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกัน เสร็จที่มีการประสานสัมพันธ์	P_{SPD}	1.00	1.00	0.02	0.02
ข้อมูลของสายโทรคมนาคมและระบบภายในที่ต่ออยู่ (ภายนอกอาคาร)					
ความยาว (m)	L_C	1000	1500	1000	1500
ความสูง (m)	H_C	25	25	25	25
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสาย	C_d	0.25	0.25	0.25	0.25
ตัวประกอบสภาพแวดล้อมของสาย	C_e	0.10	0.10	0.10	0.10
การกำบังสาย	P_{LD}	1.00	1.00	1.00	1.00
การระงับในการเดินสายภายใน	K_{S3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
ความคงทนต่อแรงดันของระบบภายใน	K_{S4}	1.00	1.00	1.00	1.00
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกัน เสร็จที่มีการประสานสัมพันธ์	P_{SPD}	1.00	1.00	0.02	0.02
ข้อมูลและคุณลักษณะ (ภายในอาคาร)					
ชนิดแบบพื้นผิวของพื้น	r_u	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-2}

ตารางที่ 2 (ต่อ)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	กรณีไม่มีการป้องกัน		กรณีมีการป้องกัน	
		1	2	1	2
ความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้	r_f	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
อันตรายพิเศษ	h_z	5.00	5.00	5.00	5.00
การป้องกันเพลิงไหม้	r_p	1.00	1.00	0.20	0.50
ตัวกำบังปริภูมิ	K_{s2}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
การสูญเสียจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว	L_t	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
การสูญเสียจากความเสียหายทางกายภาพ	L_f	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}

หาค่าการประเมินค่าความเสี่ยงตามมาตรฐานกำหนดตามขั้นตอนดังนี้

1. สมการสำหรับการหาพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย

ลงสิ่งปลูกสร้าง

$$A_d = [L_b \times W_d + 6H_b \times (L_b + W_b) + \pi(3H_b)^2] \quad (1)$$

ลงสายไฟฟ้ากำลัง

$$A_{l(p)} = \sqrt{\rho} \times [L_c - 3H_b] \quad (2)$$

ลงโถ่สายไฟฟ้ากำลัง

$$A_{l(p)} = 25\sqrt{\rho} \times L_c \quad (3)$$

ลงสายโทรคมนาคม

$$A_{l(T)} = 6H_c \times (L_c - 3H_b) \quad (4)$$

ลงโถ่สายโทรคมนาคม

$$A_{l(T)} = 1000 \times L_c \quad (5)$$

เมื่อ L_b, W_d และ H_b มิติ (m)

ρ ความต้านทานจำเพาะของดิน (Ωm)

L_c ความยาวของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่ (m)

H_c ความสูงของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่ (m)

2. สมการสำหรับการหาจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี

ลงสิ่งปลูกสร้าง

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

ลงสายไฟฟ้ากำลัง

$$N_{L(P)} = N_g \times A_{l(P)} \times C_{d(P)} \times C_{t(P)} \times 10^{-6} \quad (7)$$

ลงโถ่สายไฟฟ้ากำลัง

$$N_{i(P)} = N_g \times A_{l(P)} \times C_{t(P)} \times C_{e(P)} \times 10^{-6} \quad (8)$$

ลงสายโทรคมนาคม

$$N_{L(T)} = N_g \times A_{l(T)} \times C_{d(T)} \times 10^{-6} \quad (9)$$

ลงโถ่สายโทรคมนาคม

$$N_{i(T)} = N_g \times A_{l(T)} \times C_{e(T)} \times 10^{-6} \quad (10)$$

ลงสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง

$$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6} \quad (11)$$

เมื่อ N_g ความหนาแน่นของวาบฟ้าผ่า ($1 / km^2 / year$)

C_d ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งข้อมูลและคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง

$C_{d(P)}$ ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่

$C_{t(P)}$ ตัวประกอบ กรณีหม้อแปลง HV/LV บนระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง

$C_{e(P)}$ ตัวประกอบสภาพแวดล้อมของสายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำและระบบภายในที่ต่ออยู่

$C_{d(T)}$ ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสายโทรคมนาคมและระบบภายในที่ต่ออยู่

$C_{e(T)}$ ตัวประกอบสภาพแวดล้อมของสายโทรคมนาคมและระบบภายในที่ต่ออยู่

3. สมการสำหรับการหาค่าองค์ประกอบความเสี่ยง

ลงสิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

$$R_B = N_D \times P_B \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f \quad (12)$$

ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ชื้อก

$$R_{U(P)} = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times r_u \times L_t \quad (13)$$

ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

$$R_{V(P)} = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_V \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f \quad (14)$$

ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ชื้อก

$$R_{U(T)} = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_U \times r_u \times L_t \quad (15)$$

ลงใกล้สายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

$$R_{V(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_V \times h_z \times r_p \times r_f \quad (16)$$

การประเมินค่าความเสี่ยง

$$R_I = R_B + R_{U(P)} + R_{V(P)} + R_{U(T)} + R_{V(T)} \quad (17)$$

เมื่อ P_B ค่าความน่าจะเป็นที่สิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

P_U ค่าความน่าจะเป็นที่ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ช้อก

P_V ค่าความน่าจะเป็นที่ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

P_U ค่าความน่าจะเป็นที่ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ช้อก

P_V ค่าความน่าจะเป็นที่ลงใกล้สายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ

h_z อันตรายพิเศษ (ภายในอาคาร)

r_p การป้องกันเพลิงไหม้ (ภายในอาคาร)

r_u ชนิดแบบพื้นผิวของพื้น (ภายในอาคาร)

r_f ความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ (ภายในอาคาร)

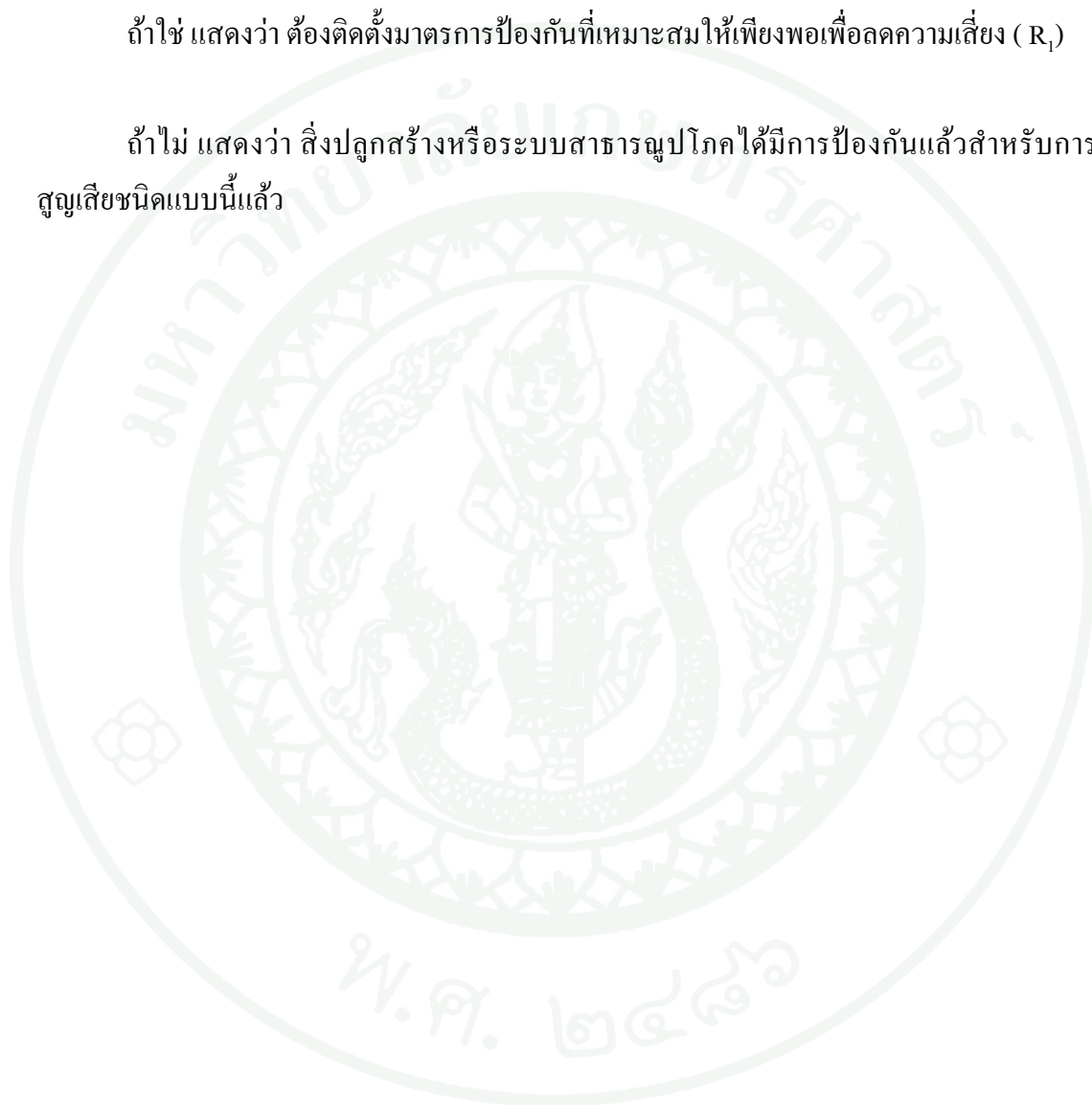
L_f การสูญเสียจากความเสียหายทางกายภาพ (ภายในอาคาร)

L_t การสูญเสียจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว (ภายในอาคาร)

ทำการหาค่าการประเมินค่าความเสี่ยง (R_I) ที่ได้คือ การนำเอาค่าองค์ประกอบความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมารวมกัน แล้วพิจารณามากกว่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T) ตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2553 หรือไม่

ถ้าใช่ แสดงว่า ต้องติดตั้งมาตรการป้องกันที่เหมาะสมให้เพียงพอเพื่อลดความเสี่ยง (R_I)

ถ้าไม่ แสดงว่า สิ่งปลูกสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคได้มีการป้องกันแล้วสำหรับการสูญเสียชนิดแบบนี้แล้ว

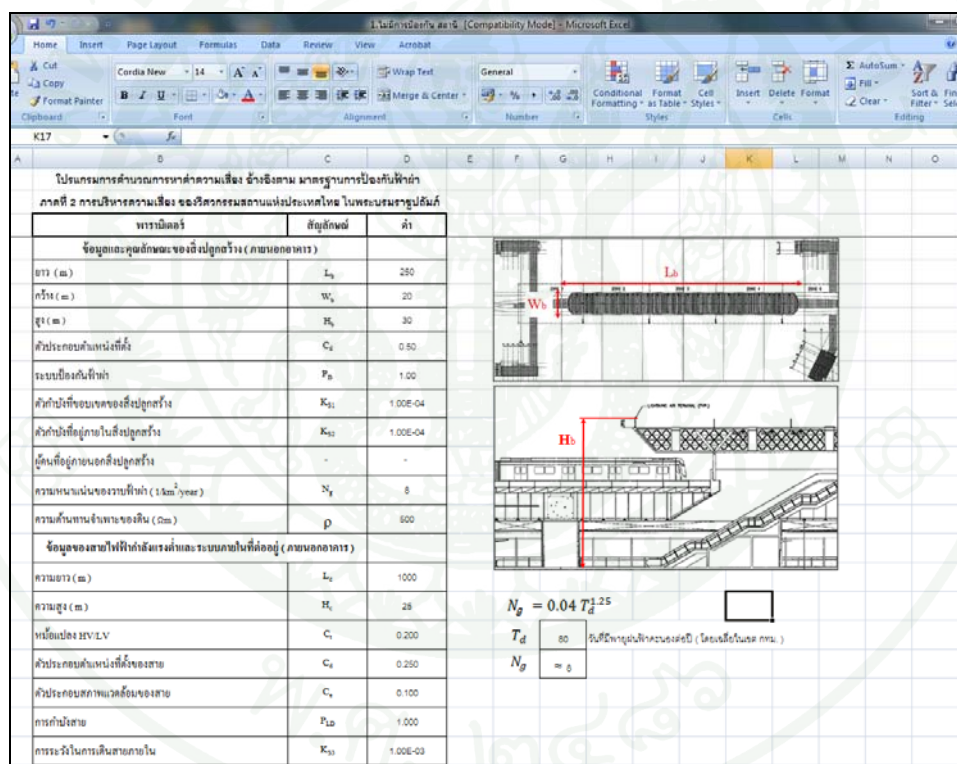


ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการประเมินค่าความถี่เชิงบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 ที่จัดทำขึ้นมาแสดงได้ดังต่อไปนี้

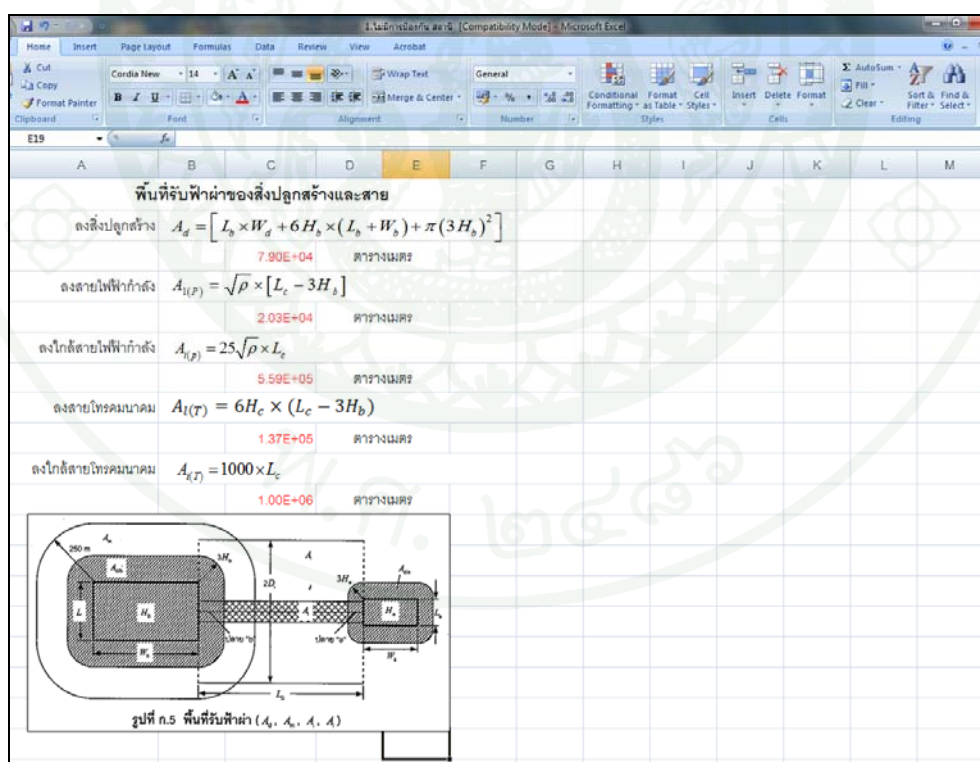
1. กรณีไม่มีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ



ภาพที่ 26 แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง

โปรแกรมการคำนวณการหาค่าความเค้นเชิง อ้างอิงตาม มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า		
ภาคที่ 2 การบริหารจัดการความเสี่ยง ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์		
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า
ความเค้นต่อแรงดันของระบบภายใน $U_{wi} = 2.5 \text{ kV}$	K_{wi}	0.80
การป้องกันตัวอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรที่มีประสิทธิภาพ	P_{wpo}	1.00
ข้อมูลของสายโทรคมนาคมและระบบภายในที่อยู่ (ภายนอกอาคาร)		
ความยาว (ม.)	L_c	1000
ความสูง (ม.)	H_c	25
ค่าประกอบตำแหน่งที่ติดตั้งสาย	C_d	0.25
ค่าประกอบสภาพแวดล้อมของสาย	C_e	0.10
การกักกันสาย	P_{lob}	1.00
การระงับในการเดินสายภายใน	K_{si}	1.00E-03
ความเค้นต่อแรงดันของระบบภายใน $U_{wi} = 1.5 \text{ kV}$	K_{wi}	1.00
การป้องกันตัวอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรที่มีประสิทธิภาพ	P_{wpo}	1.00
ข้อมูลและคุณสมบัติของ (ภายในอาคาร)		
ชนิดของพื้นที่ผิวของพื้น	C_s	1.00E-03
ความเค้นต่อแรงดันของพื้นใหม่	C_f	1.00E-02
อัตราขยายพื้น	I_h	5.00
การป้องกันพื้นใหม่	C_p	1.00
ค่าการป้องกัน	K_{si}	1.00E-04
การสูญเสียจากแรงดันกับดินและแรงดันช่วงตัว	L_d	1.00E-04
การสูญเสียจากความต้านทานทางอากาศ	L_f	1.00E-02

ภาพที่ 26 (ต่อ)



ภาพที่ 27 แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย

จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี		
ลงสิ่งปลูกสร้าง	$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$	3.16E-01 ครั้งต่อปี
ลงสายไฟฟ้ากำลัง	$N_{L(P)} = N_g \times A_{L(P)} \times C_{d(P)} \times C_{t(P)} \times 10^{-6}$	8.14E-03 ครั้งต่อปี
ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง	$N_{i(P)} = N_g \times A_{i(P)} \times C_{t(P)} \times C_{e(P)} \times 10^{-6}$	8.94E-02 ครั้งต่อปี
ลงสายโทรคมนาคม	$N_{L(T)} = N_g \times A_{L(T)} \times C_{d(T)} \times 10^{-6}$	2.73E-01 ครั้งต่อปี
ลงใกล้สายโทรคมนาคม	$N_{i(T)} = N_g \times A_{i(T)} \times C_{e(T)} \times 10^{-6}$	8.00E-01 ครั้งต่อปี
ลงสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง	$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6}$	0 ครั้งต่อปี

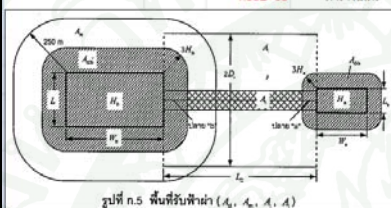
ภาพที่ 28 แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี

ค่าองค์ประกอบความเสี่ยง		
ลงสิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ	$R_B = N_D \times P_B \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$	1.581E-04
ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ช็อก	$R_{U(P)} = (N_L + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$	8.139E-10
ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ	$R_{V(P)} = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$	4.070E-06
ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ช็อก	$R_{U(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$	2.730E-08
ลงใกล้สายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ	$R_{V(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$	1.365E-04
การประเมินค่าความเสี่ยง	$R_1 = R_B + R_{U(P)} + R_{V(P)} + R_{U(T)} + R_{V(T)}$	2.987E-04

ค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_1)	
ชนิดแบบของการสูญเสีย	R_1 (ต่อปี)
การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร	10^{-5}
การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ	10^{-3}
การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม	10^{-3}

ภาพที่ 29 แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง

พื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย												
สิ่งปลูกสร้าง	$A_g = [L_b \times W_d + 6H_b \times (L_b + W_d) + \pi(3H_b)^2]$											
	2.97E+05 ตารางเมตร											
สายไฟฟ้ากำลัง	$A_{i(p)} = \sqrt{p} \times [L_e - 3H_s]$											
	3.17E+04 ตารางเมตร											
สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	$A_{i(p)} = 25\sqrt{p} \times L_e$											
	8.39E+05 ตารางเมตร											
สายโทรคมนาคม	$A_{i(T)} = 6H_c \times (L_c - 3H_b)$											
	2.13E+05 ตารางเมตร											
สายโทรคมนาคม	$A_{i(T)} = 1000 \times L_c$											
	1.50E+06 ตารางเมตร											



ภาพที่ 31 แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย

จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี												
สิ่งปลูกสร้าง	$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$											
	1.19E+00 ครั้งต่อปี											
สายไฟฟ้ากำลัง	$N_{L(p)} = N_g \times A_{i(p)} \times C_{d(p)} \times C_{i(p)} \times 10^{-6}$											
	6.35E-02 ครั้งต่อปี											
สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	$N_{i(p)} = N_g \times A_{i(p)} \times C_{d(p)} \times C_{e(p)} \times 10^{-6}$											
	6.71E-01 ครั้งต่อปี											
สายโทรคมนาคม	$N_{L(T)} = N_g \times A_{i(T)} \times C_{d(T)} \times 10^{-6}$											
	4.26E-01 ครั้งต่อปี											
สายโทรคมนาคม	$N_{i(T)} = N_g \times A_{i(T)} \times C_{e(T)} \times 10^{-6}$											
	1.20E+00 ครั้งต่อปี											
สิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง	$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6}$											
	0 ครั้งต่อปี											

ภาพที่ 32 แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี

ค่าองค์ประกอบความเสี่ยง									
ลงสิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_B = N_D \times P_B \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$									
ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ช็อก $R_{U(P)} = (N_L + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$									
ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_{V(P)} = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$									
ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ช็อก $R_{V(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_v \times r_u \times L_t$									
ลงโครงสร้างโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_{T(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$									
การประเมินค่าความเสี่ยง $R_1 = R_B + R_{U(P)} + R_{V(P)} + R_{U(T)} + R_{V(T)}$									
8.388E-04									
ค่าตัวอย่างของความถี่สูงสุดที่ยอมรับได้ (R_r)									
ชนิดแบบของการสูญเสีย								R_r (ต่อปี)	
การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร								10^{-5}	
การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ								10^{-3}	
การสูญเสียสมรรถภาพทางวัฒนธรรม								10^{-3}	

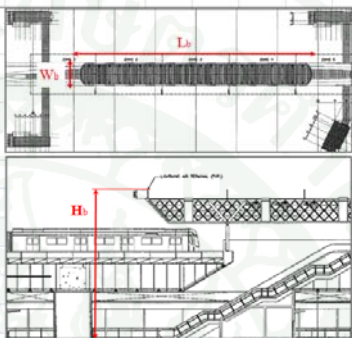
ภาพที่ 33 แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง

3. กรณีมีการป้องกันบริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ

โปรแกรมการคำนวณการหาความเค้นเชิงโครงสร้าง มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า

ภาคที่ 2 การบริหารความเค้นเชิงโครงสร้างตามแนบประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า
ข้อมูลและคุณสมบัติของวัสดุ (ภายนอกอาคาร)		
ยาว (ม)	L_y	250
กว้าง (ม)	W_y	20
สูง (ม)	H_y	30
ค่าประกอบกันแห่งที่ 1	C_d	0.80
ระบบป้องกันฟ้าผ่า	P_g	1.00E-03
ค่าปัจจัยของขนาดของปลอกสร้าง	K_{s1}	1.00E-04
ค่าปัจจัยของภายในปลอกสร้าง	K_{s2}	1.00E-04
พื้นที่ฐานของปลอกสร้าง	-	-
ความหนาแน่นของมวลไฟฟ้า ($1 \text{ km}^2/\text{sec}$)	N_g	8
ความต้านทานเฉพาะของดิน (Ωm)	ρ	500
ข้อมูลของสถานีไฟฟ้ากำลังและระบบภายในที่ต่ออยู่ (ภายนอกอาคาร)		
ความยาว (ม)	L_c	1000
ความสูง (ม)	H_c	25
หม้อแปลง HV/LV	C_1	0.200
ค่าประกอบกันแห่งที่ 1 ของสาย	C_d	0.250
ค่าประกอบกันแห่งที่ 2 ของสาย	C_e	0.100
การกักสาย	P_{s0}	1.000
การระวังในการเดินสายภายใน	K_{s3}	1.00E-03



$N_g = 0.04 T_d^{1.25}$
 $T_d = 80$ ปี (ปีการคำนวณของปี) (โดยเฉลี่ยในระบ. กษ.)
 $N_g = 8$

โปรแกรมการคำนวณการหาความเค้นเชิงโครงสร้าง มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า		
ภาคที่ 2 การบริหารความเค้นเชิงโครงสร้างตามแนบประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์		
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า
ความเค้นต่อแรงดันของระบบภายใน $U_{in} = 2.5 \text{ kV}$	K_{s4}	0.600
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าที่มีการประสานกัน	P_{s0}	0.020
ข้อมูลของสถานีโทรคมนาคมและระบบภายในที่ต่ออยู่ (ภายนอกอาคาร)		
ความยาว (ม)	L_c	1000
ความสูง (ม)	H_c	25
ค่าประกอบกันแห่งที่ 1 ของสาย	C_d	0.25
ค่าประกอบกันแห่งที่ 2 ของสาย	C_e	0.10
การกักสาย	P_{s0}	1.00
การระวังในการเดินสายภายใน	K_{s3}	1.00E-03
ความเค้นต่อแรงดันของระบบภายใน $U_{in} = 1.5 \text{ kV}$	K_{s4}	1.00
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าที่มีการประสานกัน	P_{s0}	0.02
ข้อมูลและคุณสมบัติของวัสดุ (ภายในอาคาร)		
ชนิดแบบที่ 1 ของพื้น	r_1	1.00E-03
ความเค้นต่อแรงดันของพื้น	r_2	1.00E-02
อัตราค่าพิเศษ	r_3	8.00000
การป้องกันพื้นเหล็ก	r_4	0.20000
ค่าปัจจัยรวม	K_{s5}	1.00E-04
การสูญเสียจากแรงดันไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	L_1	1.00E-04
การสูญเสียจากความเค้นของสายภายใน	L_2	1.00E-02

ภาพที่ 34 แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง

2.

ภาพที่ 35 แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย

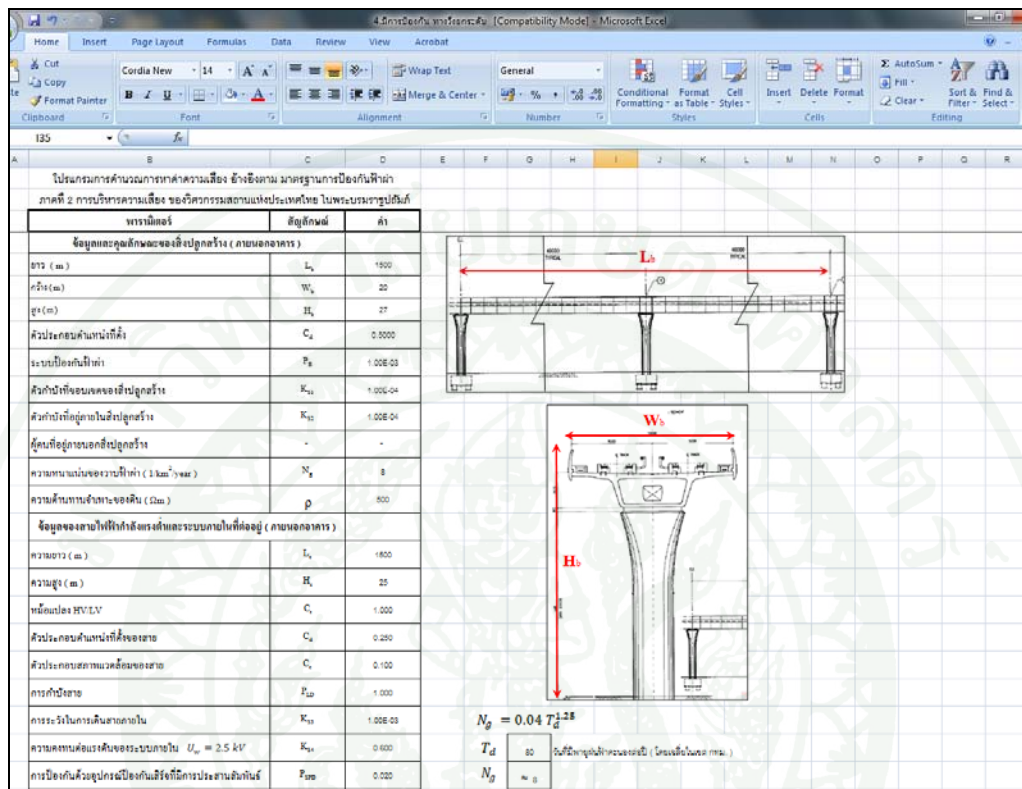
จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี											
ลงสิ่งปลูกสร้าง	$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$	3.16E-01	ครั้งต่อปี								
ลงสายไฟฟ้ากำลัง	$N_{L(p)} = N_g \times A_{i(p)} \times C_{d(p)} \times C_{i(p)} \times 10^{-6}$	6.14E-03	ครั้งต่อปี								
ลงโถ่สายไฟฟ้ากำลัง	$N_{i(p)} = N_g \times A_{i(p)} \times C_{i(p)} \times C_{e(p)} \times 10^{-6}$	8.94E-02	ครั้งต่อปี								
ลงสายโทรคมนาคม	$N_{L(T)} = N_g \times A_{i(T)} \times C_{d(T)} \times 10^{-6}$	2.73E-01	ครั้งต่อปี								
ลงโถ่สายโทรคมนาคม	$N_{i(T)} = N_g \times A_{i(T)} \times C_{e(T)} \times 10^{-6}$	8.00E-01	ครั้งต่อปี								
ลงสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง	$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_e \times 10^{-6}$	0	ครั้งต่อปี								

ภาพที่ 36 แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี

ค่าองค์ประกอบความเสี่ยง								
ลงสิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_B = N_D \times P_B \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$								
ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ช็อก $R_{U(P)} = (N_L + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$								
ลงโถงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_{V(P)} = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$								
ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ช็อก $R_{U(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$								
ลงโถงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_{V(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$								
การประเมินค่าความเสี่ยง $R_1 = R_B + R_{U(P)} + R_{V(P)} + R_{U(T)} + R_{V(T)}$								
5.976E-08								
ค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T)								
ชนิดแบบของการสูญเสีย						R_T (ต่อปี)		
การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร						10^{-5}		
การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ						10^{-3}		
การสูญเสียสมรรถนะทางวัฒนธรรม						10^{-3}		

ภาพที่ 37 แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง

4. กรณีมีการป้องกันบริเวณทางวิ่งยกระดับ



โปรแกรมการคำนวณการหาความเค้น ข้างอิงตาม มาตรฐานการป้องกันไฟฟ้า		
ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์		
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า
ข้อมูลของสายไฟฟ้าที่เชื่อมระบบภายในที่ต่ออยู่ (ตามเอกสาร)		
ความยาว (ม.)	L_s	1500
ความสูง (ม.)	H_s	25
ตัวประกอบด้านน้ำหนักของสาย	C_d	0.25
ตัวประกอบของสายเคเบิลของสาย	C_s	0.10
การกักน้ำ	F_{sp}	1.00
การระงับในการเดินสายภายใน	K_{sp}	1.00E-03
ความเค้นต่อแรงดันของระบบภายใน $U_{sp} = 1.5 kV$	K_{sp}	1.00
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันที่มีประสิทธิภาพ	F_{sp}	0.02
ข้อมูลของจุดศูนย์กลาง (ตามเอกสาร)		
ชนิดของสายไฟฟ้า	C_s	1.00E-02
ความเค้นต่อแรงดันของสายไฟฟ้า	C_s	1.00E-02
อัตราส่วน	b_s	5.00000
การป้องกันไฟ	C_s	0.50000
ตัวประกอบน้ำหนัก	K_{sp}	1.00E-04
การสูญเสียจากแรงดันไฟฟ้าและแรงดันชั่วคราว	L_s	1.00E-04
การสูญเสียจากแรงดันไฟฟ้าและแรงดันชั่วคราว	L_s	1.00E-02

ภาพที่ 38 แสดงข้อมูลของสิ่งปลูกสร้าง

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
พื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย												
ลงสิ่งปลูกสร้าง	$A_d = [L_b \times W_d + 6H_b \times (L_b + W_b) + \pi(3H_b)^2]$											
	2.97E+05 ตารางเมตร											
ลงสายไฟฟ้ากำลัง	$A_{l(P)} = \sqrt{\rho} \times [L_c - 3H_b]$											
	3.17E+04 ตารางเมตร											
ลงโถ่สายไฟฟ้ากำลัง	$A_{l(P)} = 25\sqrt{\rho} \times L_c$											
	8.39E+05 ตารางเมตร											
ลงสายโทรคมนาคม	$A_{l(T)} = 6H_c \times (L_c - 3H_b)$											
	2.13E+05 ตารางเมตร											
ลงโถ่สายโทรคมนาคม	$A_{l(T)} = 1000 \times L_c$											
	1.50E+06 ตารางเมตร											

รูปที่ ก.5 พื้นที่รับฟ้าผ่า (A_d , $A_{l(P)}$, $A_{l(T)}$, $A_{l(T)}$)

ภาพที่ 39 แสดงค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างและสาย

จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี							
ลงสิ่งปลูกสร้าง	$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^{-6}$						
	1.19E+00 ครั้งต่อปี						
ลงสายไฟฟ้ากำลัง	$N_{L(P)} = N_g \times A_{l(P)} \times C_{d(P)} \times C_{t(P)} \times 10^{-6}$						
	6.35E-02 ครั้งต่อปี						
ลงโถ่สายไฟฟ้ากำลัง	$N_{i(P)} = N_g \times A_{i(P)} \times C_{t(P)} \times C_{e(P)} \times 10^{-6}$						
	6.71E-01 ครั้งต่อปี						
ลงสายโทรคมนาคม	$N_{L(T)} = N_g \times A_{l(T)} \times C_{d(T)} \times 10^{-6}$						
	4.26E-01 ครั้งต่อปี						
ลงโถ่สายโทรคมนาคม	$N_{i(T)} = N_g \times A_{i(T)} \times C_{e(T)} \times 10^{-6}$						
	1.20E+00 ครั้งต่อปี						
ลงสิ่งปลูกสร้างโถ่เดี่ยว	$N_{Da} = N_g \times A_{d/a} \times C_{d/a} \times C_t \times 10^{-6}$						
	0 ครั้งต่อปี						

ภาพที่ 40 แสดงค่าจำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรายปี

ค่าองค์ประกอบความเสี่ยง								
ลงสิ่งปลูกสร้าง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_B = N_D \times P_B \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$								
ลงสายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้ช็อก $R_{U(P)} = (N_L + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$								
ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_{V(P)} = (N_{L(P)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$								
ลงสายโทรคมนาคม เป็นผลให้ช็อก $R_{U(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_u \times r_u \times L_t$								
ลงใกล้สายโทรคมนาคม เป็นผลให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ $R_{V(T)} = (N_{L(T)} + N_{Da}) \times P_v \times h_z \times r_p \times r_f \times L_f$								
การประเมินค่าความเสี่ยง $R_1 = R_B + R_{U(P)} + R_{V(P)} + R_{U(T)} + R_{V(T)}$								
ค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (R_T)								
ชนิดแบบของการสูญเสีย		R_T (ต่อปี)						
การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร		10^{-5}						
การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ		10^{-3}						
การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม		10^{-3}						

ภาพที่ 41 แสดงค่าองค์ประกอบความเสี่ยง

ตารางที่ 3 สรุปการคำนวณค่าการประเมินค่าความเสี่ยงทุกกรณี

กรณีศึกษา	การประเมินค่า ความเสี่ยง (R_1)	ความเสี่ยงสูงสุดที่ ยอมรับได้ (R_T)
กรณีไม่มีการป้องกัน 1. บริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ 2. บริเวณทางวิ่งยกระดับ	2.987×10^{-4} 8.388×10^{-4}	การสูญเสียชีวิตคนหรือ บาดเจ็บแบบถาวร(10^{-5}) การสูญเสียการบริการ ต่อสาธารณะ(10^{-3})
กรณีมีการป้องกัน 1. บริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ 2. บริเวณทางวิ่งยกระดับ	5.976×10^{-8} 4.196×10^{-7}	การสูญเสียมรดกทาง วัฒนธรรม (10^{-3})
ในส่วนข้อจำกัดความยาวของทั้งโครงการรถไฟฟ้า(Limitation) ยาว ไม่เกิน 124,500 เมตรที่จะทำให้ $R_1 = R_T = 10^{-5}$		

วิจารณ์

จากผลการศึกษาพบว่า กรณีไม่มีการป้องกันฟ้าผ่า (ไม่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า) บริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับ ค่าการประเมินค่าความเสี่ยง (2.987×10^{-4}) และบริเวณทางวิ่งยกระดับ (8.388×10^{-4}) มีค่ามากกว่าค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร(10^{-5})) แสดงว่า ต้องติดตั้งมาตรการป้องกันที่เหมาะสมให้เพียงพอเพื่อลดความเสี่ยง แต่กรณีมีการป้องกันฟ้าผ่า (มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า) บริเวณสถานีรถไฟแบบโครงสร้างยกระดับค่าการประเมินค่าความเสี่ยง (5.976×10^{-8}) และบริเวณทางวิ่งยกระดับค่าการประเมินค่าความเสี่ยง (4.196×10^{-7}) มีค่าน้อยกว่าค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ (การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร(10^{-5})) แสดงว่า สิ่งปลูกสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคได้มีการป้องกันแล้วสำหรับการสูญเสีย ส่วนข้อจำกัดความยาวของทั้งโครงการรถไฟฟ้า (Limitation) ยาวไม่เกิน 124,500 เมตรที่จะทำให้ $R_i = R_r = 10^{-5}$ โดยมีวิธีการลดค่าความเสี่ยงได้โดยวิธีการดังนี้

1. ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสถานีรถไฟและทางวิ่งแบบโครงสร้างยกระดับได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์ Air terminal, ระบบ Structure earth, ระบบ Grounding และการทดสอบค่าความต้านทานต้องน้อยกว่า 5 โอห์ม

2. ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสถานีรถไฟได้แก่การติดตั้ง อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า (Lightning Current Arrester และ Surge Arrester) และระบบป้องกันเพลิงไหม้

เพราะฉะนั้นหากใช้ 2 วิธีการดังกล่าวข้างต้นแล้วจะส่งผลให้ภาพรวมของค่าความเสี่ยงมีค่าลดลงเป็นอย่างมากเป็นผลให้ระบบป้องกันฟ้าผ่ามีประสิทธิภาพมากขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการประเมินค่าความเสี่ยงต่างประเทศ การศึกษาจากข้อกำหนดตามที่มาตราฐาน ICE 62305-2 และ BS EN 62305-2 กำหนด ทำให้รู้ถึงสาเหตุการเกิดฟ้าผ่า ผลกระทบที่ก่อให้เกิด ความเสียหายและแนวทางการป้องกัน นำมาใช้ศึกษาระบบการออกแบบและก่อสร้างระบบป้องกัน ฟ้าผ่าของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ) ที่กำลังดำเนินการก่อสร้าง เพื่อทำ การวิเคราะห์การประเมินค่าความเสี่ยงตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของวิศวกรรมสถานแห่ง ประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ. 2553 ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง วิธีการตัดสินใจ ความ จำเป็นของการป้องกัน โดยการนำข้อมูลของแบบและรายละเอียดการก่อสร้างจริงที่ได้ออกแบบไว้ ของสถานีรถไฟฟ้าและทางวิ่งรถไฟฟ้าโครงการรถไฟฟ้า นำมาเข้าสู่ขั้นตอนการประเมินค่า ความเสี่ยง เพื่อพิจารณาเทียบกับค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ ผลการศึกษาที่ได้คืออยู่ในค่าที่ ยอมรับของการลดสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร สิ่งปลูกสร้างและระบบสาธารณูปโภคเกิด ความเสียหาย ทำให้ผู้โดยสารเกิดความมั่นใจในความปลอดภัยในการใช้บริการรถไฟฟ้าในระดับ หนึ่งได้

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้จะไม่ครอบคลุมถึงระบบป้องกันฟ้าผ่าของตัวรถไฟฟ้าขณะอยู่บนก้าน ขานขาลา ควรมีตรวจสอบในช่วงหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จและช่วงการทดสอบระบบ เพื่อจะ ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าของโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้า ทางวิ่งยกระดับและ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพเพียงพอหรือไม่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย. 2554. โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงบางใหญ่
บางซื่อ. แหล่งที่มา: http://www.mrta.co.th/project/project_new.htm,
6 มิถุนายน 2554.

โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย. 2554.
ข้อมูลสำคัญ, ระบบป้อนกระแสไฟฟ้า แหล่งที่มา:
<http://www.thairailtech.or.th/featured-content-th/fact-sheets-th/Electric-Feed/>,
มิถุนายน 2554.

จันทนา สาขากร, นิพันธ์ เห็นโชคชัยชนะ และ ศิลปพร ศรีจันเพชร. 2548. การควบคุมภายในและ
การตรวจสอบภายใน. กรุงเทพมหานคร: ที พี เอ็น เพรส, 2548.

ปกรณ์ เพ็ญภาคกุล. 2546 กฎหมายหลักทรัพย์ Sarbanes-Oxley Act ของสหรัฐอเมริกา ทัศนวิสัย
นอกอาณาเขตในรูปแบบใหม่...ทางเศรษฐกิจ, 20 มกราคม 2546

สมาคมผู้ตรวจสอบภายในแห่งประเทศไทย (The Institute of Internal Auditors of Thailand),
แนวทางการตรวจสอบภายใน, 2551.

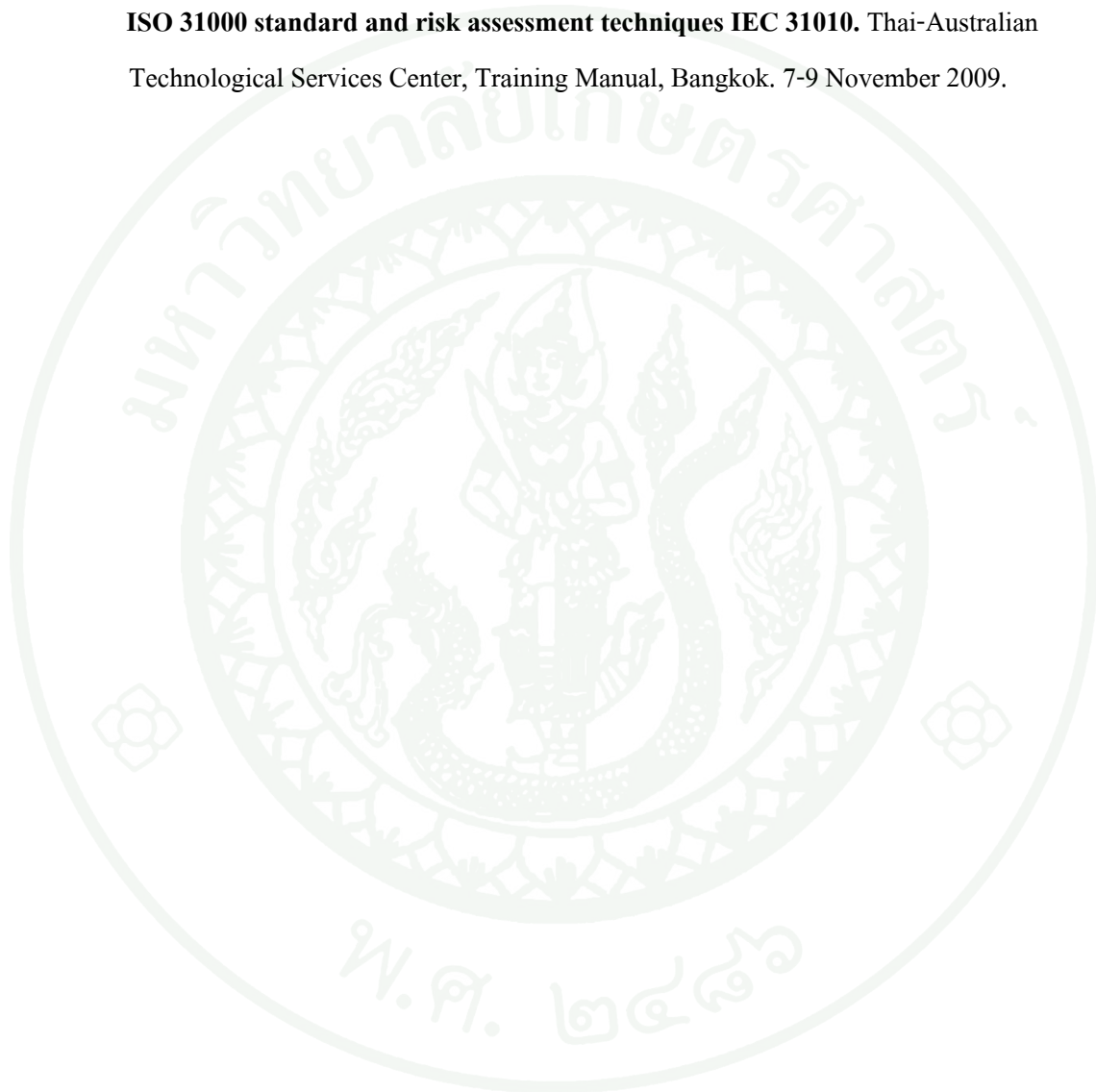
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (The Engineering Institute of Thailand
under H.M. The King's Patronage), มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาคที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไป
และ ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง, 2553.

Contract Document for Mass Transit System Project in Bangkok **Bang Yai to Rat Burana,**
Bang Yai to Bang Sue Section, 2552.

Golde, R.H. 1973. **Lightning Protection**. ED-ward Arnold, New York.

Hileman, R.A. 1999. **Insulation Coordination for Power System**. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.

S. Thongsiri and W. Plueksawan. 2009. **Practical risk management an application of ISO 31000 standard and risk assessment techniques IEC 31010**. Thai-Australian Technological Services Center, Training Manual, Bangkok. 7-9 November 2009.







ภาคผนวก ก

ระบบการป้องกันฟ้าผ่าของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ช่วงบางใหญ่-บางซื่อ)

SECTION 19.11 : GROUNDING AND LIGHTNING PROTECTION SYSTEM

1 General

1.1 General Requirement

- 1.1.1 The Contractor shall supply, install, connect, test and commission a complete system of safety grounding and lightning protection in accordance with the Drawings and specified herein.
- 1.1.2 All metal conduits, trunking and tray systems, supports, cabinets, metal parts of switchgear, equipment cases, motor frames electrical fittings and fixed appliances liable to become live in the event of insulation failure, shall be effectively earthed by means of earth continuity conductors of adequate size.

1.2 Standard and Reference

- 1.2.1 The grounding and lightning protection system shall comply with the following codes and standards:
- | | | | |
|-----|--------------|---|---|
| (1) | NFPA 78/1989 | : | Standard for the Installation of Lightning Protection Systems |
| (2) | NFPA 70/2002 | : | National Electrical Code (NEC) |
| (3) | TIS | : | Thai Industrial Standards |

1.3 Submittals

- 1.3.1 The Contractor shall submit material lists or catalogue for approval before purchasing.
- 1.3.2 The Contractor shall submit the installation method and details for approval before installation.

1.4 Warranty

- 1.4.1 All materials and installation shall be guaranteed by the Contractor at least two (2) years after Taking-over.



2 Materials

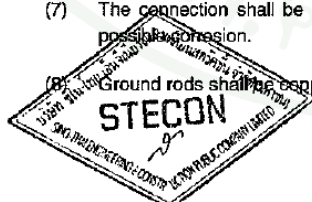
2.1 Description

- 2.1.1 The material for grounding and lightning protection system shall consist of ground rods w/ pits, ground conductors, test boxes, lightning down conductors, lightning conductors, air terminals and accessories interconnected for the complete system.
- 2.1.2 The M&E Contractor shall provide the Earth mat calculation at each Station and then the Contractor shall provide and install the Earth mat system.
- 2.1.3 The M&E will provide and install the Earth bar inside all M&E SSS and TPS room, the Contractor shall terminate the grounding cable at the SSS room ground bar and then wiring to the Main LV Switchboard as indicate in the E&M Earthing Schematic diagram.
- 2.1.4 The stray current Earth mat calculation will be done and provided by the M&E Contractor, including installation procedures. The civil Contractor shall provide and install the stray current correction mat for viaduct structure refer to the M&E Specification and requirements.

2.2 Component

2.2.1 Grounding System

- (1) All non-current carrying metallic parts of the system shall be grounded.
- (2) The transformer star points shall terminate at a copper grounding conductor bar located in the electrical room. The transformer grounding cables shall be connected from this bar to the transformer ground pit (M&E scope). Cables shall also be connected from this bar to the main switchboard (the Contractor's scope).
- (3) All grounding conductors within power cables shall be terminated at the switchboard ground bar by means of lugged cable connections. The gland plates at which all armoured cables(if used) have been terminated shall be securely bonded to the ground bar.
- (4) The main grounding system shall consist of 95 sq. mm. or as indicated on the Drawings single bared core copper cable installed in conduit embedded in concrete slab.
- (5) Before passing through the Zero-phase-sequence current transformer, the neutral wire shall be grounded only to the grounding busbar of the main switchboard.
- (6) The grounding conductor shall be stranded copper wires of the size specified.
- (7) The connection shall be done by exothermic welds and shall be protection against possible corrosion.
- (8) Ground rods shall be copper clad steel, ϕ 16 mm. x 3 m.



- (9) Grounding clamps shall be used for securing the ground wires, to the grounding electrodes. In addition, copper ground wire shall be bonded to the grounding electrode by thermo-welding.
- (10) Sizes of grounding conductor for other equipment not stated in these Specifications and not shown on the Drawings are tabulated in table below:

Table for Minimum Size of Equipment Grounding Conductors for Electrical Equipment

Rating or Setting of Automatic Over-current Device in Circuit Ahead of Equipment, Not Exceeding (Amperes)	Size (Sq.mm.)
8 - 16	1.5
20 - 25	4
30 - 63	6
80 - 100	10
125 - 200	16
225 - 400	25
500	35
600 - 800	50
1,000	70
1,200 - 1,250	95
1,600 - 2,000	120
2,500	185
3,000 - 4,000	240
5,000 - 6,000	400

2.2.2 Lightning Protection System

- (1) Lightning protection shall be provided as indicated on the Drawings. The lightning down conductor shall be terminated at its own ground rods. The down conductor, from the conductor termination on roof to the ground rods shall be as straight as possible. The down conductor shall not be made to match the contours of the structure if this entails sets and bends but shall be made to take a direct path to the electrode.
- (2) The protection system shall consist of air terminals, copper tapes, down conductors, grounding and all necessary accessories.
- (3) Air terminal shall be copper clad steel, ϕ 16 mm. or as specified on the relevant drawings.



- (4) Down conductor and conductor shall be bare stranded copper or copper tape with the minimum cross sectional area not less than 50 Sq.mm. or as specified on the Drawings.
- (5) The ground rod shall be copper clad steel as described above.
- (6) The ground resistance shall not be greater than 5 ohm.

3 **Execution**

3.1 **Installation**

- 3.1.1 All equipment shall be installed on the location as indicated on the Drawings and conforming to the standard as specified.

3.2 **Testing and Commissioning**

- 3.2.1 The ground resistance, measured by the earth tester equipment, shall be not more than 5 ohms.

END OF SECTION





ภาคผนวก ข

มาตรฐาน IEC 62305-2

4. Risk Management

4. Risk management

IEC 62305-2 provides a lightning risk management procedure that provides a tolerable limit of risk, methods to calculate the actual risk, and then evaluates the protection methods required to reduce the actual risk to be equal or lower than the tolerable risk. The main outcome from this risk assessment is to determine if lightning protection is required and if so, to select the appropriate lightning class. The lightning class determines the minimum lightning protection level (LPL) that is used within the lightning protection design.

Lightning protection can be installed even when the risk management process may indicate that it is not required. A greater level of protection than that required may also be selected.

It should be noted that the IEC 62305-2 document is over 100 pages in length and is extremely comprehensive and complex. A full manual analysis of all risks can take tens of hours to complete. Therefore for most situations a reduced analysis is conducted, preferably with an electronic tool. For this purpose, the IEC standard comes with software, and additional third-party software is also available.

For complex or high risk structures/situations, a more detailed analysis should be considered using the full standard. This would include, but is not limited to:

- Locations with hazardous or explosive materials
- Hospitals or other structures where failure of internal systems may cause a life hazard

Note that with the national implementation of the BS EN 62305-2 Risk Management standard some minor adjustments to the procedures and values has occurred to better reflect the localized conditions and acceptable local tolerable risk. Use the national standard appropriate to the country of installation, or select a national standard where that country experiences similar lightning risk (ground flash density/thunderdays) and similar social/economic values.

4.1. Overview of risk analysis

It is beyond the scope of this document to describe the full risk management requirements. Conceptually the risk analysis follows the general process of:

1. Identifying the structure to be protected and its environment
2. Evaluating each loss type and associated risk (R_1 to R_3)
3. Comparing R_1 to R_3 to the appropriate tolerable risk R_T to determine if protection is needed
4. Evaluating protection options so R_1 to $R_3 \leq R_T$

Note that separate R_T figures exist for risk of losses R_1 to R_3 . Lightning protection is required such that R_1 , R_2 & R_3 are all equal or lower than the respective tolerable risk (R_T).

Lightning protection may also be justified upon the economic risk R_4 and the respective economic benefit. A separate procedure in IEC 62305-2 is followed for this analysis.

Each of the following risks are broken down into individual risk components (sub categories), which are then evaluated with regard to direct and indirect lightning effects upon the structure and on the services. This requires the computation of the number of dangerous events, which is related to the structure size and lightning flash density.

The simplified analysis software considers:

- Structure's dimensions
- Structure's attributes
- Environmental influences
- Effect of services entering facility
- Existing protection measures

The simplified software is IEC 62305-2 compliant, but is conservative in nature. That is, worst case or conservative values are assumed. In situations where multiple identical structures are to be constructed, it may be appropriate to conduct a full risk analysis in case a small economic saving can be obtained and applied across the many structures.

Loss	Risk to Structure	Risk to Services
L1 – loss of human life	R_1 – Risk of loss of human life	
L2 – loss of essential services	R_2 – Risk of loss of essential services	R'_2 – Risk of loss of essential services
L3 – loss of cultural heritage	R_3 – Risk of loss of cultural heritage	
L4 – economic loss	R_4 – Risk of economic loss	R'_4 – Risk of economic loss

Table 6. Risk assessment losses.

4. Risk Management (continued)

4.1.1. Sources of damage, type of damage, type of loss and risk of loss

For those interested in a better understanding of the risk management process, or a desire to manually calculate a structure's risk, the remaining sections of this chapter provide an introduction to the topic. It should be helpful in understanding the effect of selection of parameters in risk assessment tools based on IEC 62305-1/2, and if a manual assessment is to be undertaken, help introduce the concepts of the standards which should be followed.

It is important to understand the sources of damage, types of damage and types of losses as the procedure to assess the risk evaluates various combinations considering structure, contents, services and environment with the source and type of damage.

IEC 62305-1 introduces the concepts of sources of damage (Figure 11) where:

- S1 – Lightning flash to the structure
- S2 – Lightning flash near the structure
- S3 – Lightning flash to the services
- S4 – Lightning flash near to the services

With the possible sources of damage due to lightning flash defined, three possible types of damage are identified:

- D1 – Injury of living beings (humans and animals) due to touch and step potential
- D2 – Physical damage (fire, explosion, mechanical destruction, chemical release)
- D3 – Failure of internal electrical/electronic systems due to lightning electromagnetic impulse

With each type of damage, four types of losses are identified:

- L1 – Loss of human life
- L2 – Loss of essential service to the public
- L3 – Loss of cultural heritage
- L4 – Economic loss (structure and its contents, service and loss of activity)

Care is required with the term “services”, as it is dependant upon its context within the standard. This may refer to the physical services connected to the building (water, power, gas, fuel or data/telecommunications), or services provided to the public (e.g. information services). The scope of services to the public includes any type of supplier who, due to lightning damage, can not provide their goods or “service” to the public. For example a supermarket closed due to damage to cash register/check-out systems, or a insurance company unable to transact business due to phone or website failure.

Table 7 summarizes the types of damage and types of loss for each of the four sources of damage [from IEC 62305-1 Table 3]. For each of the first three types of losses (L1, L2 & L3), the procedure of IEC 62305-2 evaluates the risk of these respective losses (R_1 , R_2 & R_3) and compares them to tolerable levels. For Loss L4, the economic cost of the loss, with and without lightning protection, is compared to the cost of the protection measures.

Table 8 details the types of damages and losses associated with a service. As the loss and calculation of the risk of loss is different to that of the structure, the convention L'2 & L'4 are used to differentiate these losses.

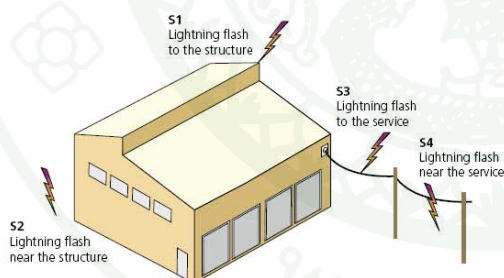


Figure 11. Sources of damage



4. Risk Management (continued)

Source of damage (Point of strike)	Type of damage	Type of loss
S1 Lightning flash to the structure	D1 - Injury	L1 – Loss of human life L4 – Economic loss ⁽¹⁾
	D2 – Physical damage	L1 – Loss of human life ⁽²⁾ L2 – Loss of service L3 – Loss of heritage L4 – Economic loss
	D3 – Failure of systems	L1 – Loss of human life ⁽²⁾ L2 – Loss of service L4 – Economic loss
S2 Lightning flash near the structure	D3 – Failure of systems	L1 – Loss of human life L2 – Loss of service L4 – Economic loss
S3 Lightning flash to the services	D1 - Injury	L1 – Loss of human life L4 – Economic loss ⁽¹⁾
	D2 – Physical damage	L1 – Loss of human life L2 – Loss of service L3 – Loss of heritage L4 – Economic loss
	D3 – Failure of systems	L1 – Loss of human life ⁽²⁾ L2 – Loss of service L4 – Economic loss
S4 Lightning flash near to the services	D3 – Failure of systems	L1 – Loss of human life ⁽²⁾ L2 – Loss of service L4 – Economic loss

Notes:

⁽¹⁾ Only for properties where animals may be lost

⁽²⁾ Only for structures with risk of explosion and for hospitals or other structures where failure of services or internal systems endangers human life

Table 7. Damages and losses in a structure for different sources.

Source of damage (Point of strike)	Type of damage	Type of loss
S1 Lightning flash to the structure	D2 – Physical damage	L'2 – Loss of service L'4 – Economic loss
	D3 – Failure of systems	
S3 Lightning flash to the services	D2 – Physical damage	
	D3 – Failure of systems	
S4 Lightning flash near to the services	D3 – Failure of systems	

Table 8. Damages and losses in a structure for different sources.

4. Risk Management (continued)

4.1.2. Risk management procedure & tolerable risk

For each of the losses L1 to L3, the risk of each loss is determined ($R_{1,2,3}$). The risk of each loss is then compared to a tolerable risk:

- If the calculated risk is equal or less than the respective tolerable risk (R_T), then lightning protection is not required
- If the calculated risk is higher than the tolerable risk then protection is required. Protective measures should be

evaluated to reduce the calculated risk to be equal or less than the tolerable risk

The flow chart in **Figure 12** shows the general procedure, while **Table 9** provides the tolerable risks as provided by IEC and BS standards. The tolerable risk is expressed in the form of number of events per year and is given in engineering units (e.g. 10^{-4}). **Table 9** also expresses these in the format of x in y events (per year).

Types of loss	$R_T(y^{-1})$	
	IEC 62305-2	BS EN 62305-2
Loss of human life	10^{-5} (risk of 1 in 100,000)	10^{-5} (risk of 1 in 100,000)
Loss of service to the public	10^{-3} (risk of 1 in 1,000)	10^{-4} (risk of 1 in 10,000)
Loss of cultural heritage	10^{-3} (risk of 1 in 1,000)	10^{-4} (risk of 1 in 10,000)

Table 9. Tolerable risk R_T .

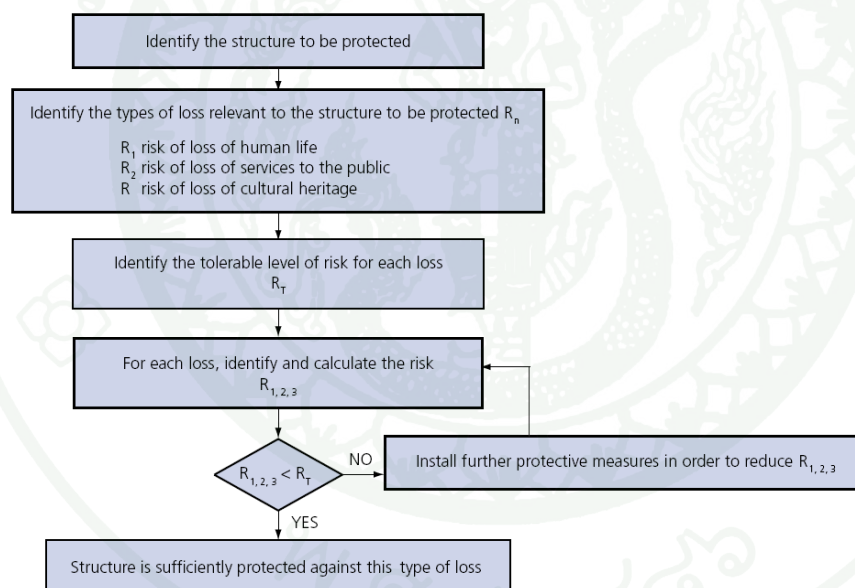


Figure 12. Damages and losses in a structure for different sources.



4. Risk Management (continued)

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

Table 10. Risk assessment losses.

4.1.3. Risk components

The risks $R_{1 \text{ to } 4}$ are calculated from the sum of the appropriate risk components:

Risk of loss of human life:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^{(1)} + R_M^{(1)} + R_U + R_V + R_W^{(1)} + R_Z^{(1)}$$

⁽¹⁾ Only applicable to structures with risk of explosion and hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.

Risk of loss of services to the public:

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

Risk of loss of cultural heritage:

$$R_3 = R_B + R_V$$

Risk of loss of economic value:

$$R_4 = R_A^{(2)} + R_B + R_C + R_M + R_U^{(2)} + R_V + R_W + R_Z$$

⁽²⁾ Only for structures where animals may be lost.

Each of the components is obtained using further calculations, sub-calculations and reference tables based on the general equation:

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x$$

Where

N_x = number of dangerous events per year

P_x = probability of damage to structure

L_x = amount of loss

The number of dangerous events per year is primarily based upon the structure dimensions, length and type of service and the ground flash density. The physical dimensions of the structure and service is used to calculate the effective lightning capture area, and the ground flash density is used to determine the probable number of events per year. Several graphical and calculation methods are provided by the standard.

The probability of damage is obtained from the given tables in the standard, with some simple calculations being required.

The amount of loss is also obtained from the given tables in the standard with calculations being required.



... in with the new

BS 6651:1999 Protection of structures against lightning has been the cornerstone for guidance on design and installation of lightning protection since 1985. In September 2006, however, a new standard BS EN 62305 was introduced. For a finite period, both BS 6651 and the new BS EN 62305 standard are to run in parallel, but ultimately BS 6651 will be withdrawn and BS EN 62305 will become the only recognised standard. This will come into force by the end of August 2008.

This new standard reflects increased scientific understanding of lightning and its effects over the last twenty years, and takes stock of the growing impact of technology and electronic systems on our daily activities. More complex and exacting than its 118 page predecessor, the 475-page BS EN 62305 is structured as a series with four parts, starting at general principles, then risk management, through to damage to the structure and damage to electronic systems therein.

Key to the new standard is that all considerations for lightning protection are driven by a comprehensive and complex risk assessment and that this assessment not only takes into account the structure to be protected, but also the services to which the structure is connected.

In essence, structural lightning protection can no longer be considered in isolation, protection against transient overvoltages or electrical surges are integral to the new standard.

Structure of BS EN 62305

The British Standard European Norm (BS EN) 62305 series consists of four parts, all of which need to be taken into consideration. These four parts are outlined below:

Part 1: General principles

BS EN 62305-1 (part 1) is an introduction to the other parts of the standard and essentially describes how to design a Lightning Protection System (LPS) in accordance with the accompanying parts of the standard.

Part 2: Risk management

BS EN 62305-2 (part 2) risk management approach, does not concentrate so much on the purely physical damage to a structure caused by a lightning discharge, but more on the risk of loss of human life, loss of service to the public, loss of cultural heritage and economic loss.



Part 3: Physical damage to structures and life hazard

BS EN 62305-3 (part 3) relates directly to the major part of BS 6651. It differs from BS 6651 in as much that this new part has four Classes or protection levels of Lightning Protection System (LPS), as opposed to the basic two (ordinary and high-risk) levels in BS 6651.

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

BS EN 62305-4 (part 4) covers the protection of electrical and electronic systems housed within structures. This part essentially embodies what Annex C in BS 6651 conveyed, but with a new zonal approach referred to as Lightning Protection Zones (LPZs). It provides information for the design, installation, maintenance and testing of a Lightning Electromagnetic Impulse (LEMP) protection system for electrical/electronic systems within a structure.

The following table gives a broad outline as to the key variances between the outgoing standard, BS 6651, and the new standard BS EN 62305.

BS 6651 standard

BS EN 62305 standard

Document structure

118 page document, including 9 pages devoted to risk assessment

475 page document, separated into 4 parts, including 153 pages devoted to risk assessment (BS EN 62305-2)

Focus on Protection of Structures against Lightning

Broader focus on Protection against Lightning including the structure and services connected to the structure

Specific tables relating to choice and dimension of Lightning Protection System components and conductors

Specific tables relating to sizes and types of conductor and earth electrodes.
Lightning Protection System components – specifically related to BS EN 50164 testing regimes

Annex B – guidance on application of BS 6651

BS EN 62305-3 Annex E – extensive guidance given on application of installation techniques complete with illustrations

Annex C – general advice (recommendation) for protection of electronic equipment with separate risk assessment

BS EN 62305-4 is devoted entirely to protection of electrical and electronic systems within the structure (integral part of standard) and is implemented through single separate risk assessment (BS EN 62305-2)

Definition of risk

Risk (of death/injury) level set at 1 in 100,000 (1×10^{-5}) based on comparable exposures (smoking, traffic accidents, drowning etc)

3 primary risk levels defined:
 R_1 loss of human life 1 in 100,000 (1×10^{-5})
 R_2 loss of service to the public 1 in 10,000 (1×10^{-4})
 R_3 loss of cultural heritage 1 in 10,000 (1×10^{-4})

Protection measures

Mesh arrangement is promoted as the commonly used means of air termination network

Mesh arrangement, protective angle method, catenary system, extensive use of air finials, all form part of or all of air termination network

2 levels of Lightning Protection mesh design: (20m x 10m; 10m x 5m)

4 sizes of mesh defined according to structural class of Lightning Protection System:
Class I 5m x 5m Class II 10m x 10m
Class III 15m x 15m Class IV 20m x 20m

2 levels of down conductor spacing: 20m & 10m

4 levels of down conductor spacing dependent on structural class of Lightning Protection System:
Class I 10m Class II 10m
Class III 15m Class IV 20m

Use of bonds promoted to minimize side flashing

Extensive sections/explanations provided on equipotential bonding

10 ohm overall earthing requirement, achieved by $10 \times$ number of down conductors

10 ohms overall earthing requirement achieved either by Type A arrangement (rods) or Type B arrangement (ring conductor)

Requirement to bond all metallic services, (gas, water, electricity etc) to main earth terminal along with external down conductor

Requirement to bond all metallic services to main equipotential bonding bar. 'Live' electrical conductors (e.g. power, data, telecoms) bonded via Surge Protection Devices (SPDs)

Rolling sphere concept on structures over 20m tall: 20m sphere used on highly flammable contents/ electronic equipment within building
60m sphere all other buildings

4 sizes of rolling sphere concept defined according to structural class of Lightning Protection System:
Class I 20m Class II 30m
Class III 45m Class IV 60m

BS EN 62305-2 Risk Management

BS EN 62305-2 is key to the correct implementation of BS EN 62305-3 and BS EN 62305-4. The assessment and management of risk is now significantly more in depth and extensive than the approach of BS 6651.

BS EN 62305 specifically deals with making a risk assessment, the results of which define the level of Lightning Protection System (LPS) required. While BS 6651 devoted 9 pages (including figures) to the subject of risk assessment, BS EN 62305 currently contains some 153 pages.

The first stage of the risk assessment is to identify which of the four types of loss (as identified in BS 62305-1) the structure and its contents can incur. The ultimate aim of the risk assessment is to quantify and if necessary reduce the relevant primary risks i.e.:

- R_1 risk of loss of human life
- R_2 risk of loss of service to the public
- R_3 risk of loss of cultural heritage
- R_4 risk of loss of economic value

For each of the first three primary risks, a tolerable risk (R_T) is set. This data can be sourced in table NK.1 of the National Annex of BS EN 62305-2.

Each primary risk (R_n) is determined through a long series of calculations as defined within the standard. If the actual risk (R_n) is less than or equal to the tolerable risk (R_T), then no protection measures are needed. If the actual risk (R_n) is greater than its corresponding tolerable risk (R_T), then protection measures must be instigated. The above process is repeated (using new values that relate to the chosen protection measures) until R_n is less than or equal to its corresponding R_T .

It is this iterative process as shown in figure 3 that decides the choice of indeed Lightning Protection Level (LPL) or Lightning Protection System (LPS) and Lightning Electro-magnetic Impulse (LEMP) Protection Measures System (LPMS).

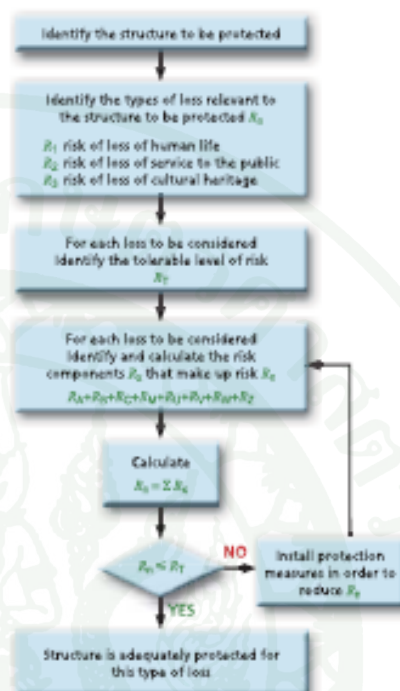
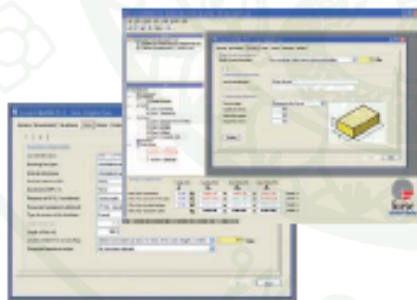


Figure 3: Procedure for deciding the need for protection (BS EN 62305-1 Figure 1)



StrikeRisk v5.0 risk management software

An invaluable tool for those involved in undertaking the complex risk assessment calculations required by BS EN 62305-2, StrikeRisk v5.0 facilitates the assessment of risk of loss due to lightning strikes and transient overvoltages caused by lightning.

Quick & easy to use, with full reporting capability, StrikeRisk v5.0 automates risk assessment calculations and delivers results in minutes, rather than the hours or days it would take to do the same calculations by hand.

Contact Purse for more details about StrikeRisk v5.0.



ภาคผนวก ง

มาตรฐาน วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ.2553

บทที่ 5

การบริหารความเสี่ยง

5.1 วิธีการพื้นฐาน

การตัดสินใจที่จะป้องกันสิ่งปลูกสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคจากฟ้าผ่า เช่นเดียวกับการเลือกมาตรการป้องกัน ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 1 โดยต้องปฏิบัติตามวิธีการต่อไปนี้

- การระบุวัตถุที่จะป้องกัน และคุณลักษณะของวัตถุที่จะป้องกัน
- การระบุชนิดแบบทั้งหมดของการสูญเสียในวัตถุที่จะป้องกัน และความเสี่ยง R ที่มีความสัมพันธ์แบบสมนัยกัน (R_1 ถึง R_4)
- การประเมินค่าของความเสี่ยง R สำหรับการสูญเสียแต่ละชนิดแบบ (R_1 ถึง R_4)
- การประเมินค่าของความจำเป็นของการป้องกัน โดยเปรียบเทียบความเสี่ยง R_1, R_2 และ R_3 สำหรับสิ่งปลูกสร้าง (R'_2 สำหรับระบบสาธารณูปโภค) กับความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_4
- การประเมินค่าของความคุ้มค่าของการป้องกัน โดยเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น ระหว่างกรณีมีมาตรการป้องกันกับไม่มีมาตรการป้องกัน ในกรณีนี้ต้องทำการประเมินองค์ประกอบความเสี่ยง R_4 สำหรับสิ่งปลูกสร้าง (R'_4 สำหรับระบบสาธารณูปโภค) เพื่อที่จะประเมินมูลค่าการสูญเสียเหล่านั้น (ดูภาคผนวก ข)

5.2 สิ่งปลูกสร้างที่จะพิจารณาสำหรับการประเมินความเสี่ยง

สิ่งปลูกสร้างที่จะพิจารณา ประกอบด้วย :

- สิ่งปลูกสร้างเอง
- สิ่งติดตั้งภายในสิ่งปลูกสร้าง
- สิ่งที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้าง
- ผู้คนภายในสิ่งปลูกสร้าง หรือยืนในบริเวณที่ห่างจากภายนอกของสิ่งปลูกสร้างไม่เกิน 3 เมตร
- สภาพแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้าง

การป้องกันไม่รวมถึงระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่ภายนอกสิ่งปลูกสร้าง

หมายเหตุ สิ่งปลูกสร้างที่จะพิจารณาอาจแบ่งย่อยเป็นหลายย่าน (ดูบทที่ 6)

5.3 ระบบสาธารณูปโภคที่จะพิจารณาสำหรับการประเมินความเสี่ยง

ระบบสาธารณูปโภคที่จะพิจารณาคือ การต่อกันทางกายภาพระหว่าง :

- อาคารชุมสายโทรคมนาคมกับอาคารของผู้ใช้ หรืออาคารชุมสายโทรคมนาคมสองแห่ง หรืออาคารของผู้ใช้สองแห่ง สำหรับสายโทรคมนาคม (TLC);
- อาคารชุมสายโทรคมนาคม หรืออาคารของผู้ใช้กับโหนดกระจายสาย หรือ ระหว่างโหนดกระจายสายสองโหนด สำหรับสายโทรคมนาคม (TLC);
- สถานีไฟฟ้าย่อยแรงสูงกับอาคารของผู้ใช้ สำหรับสายไฟฟ้ากำลัง
- สถานีจำหน่ายหลักกับอาคารของผู้ใช้ สำหรับระบบท่อ

ระบบสาธารณูปโภคที่จะพิจารณารวมถึงบริษัทสาย และบริษัทที่ชั่วสาย เช่น

- ตัวมัลติเพล็กซ์ เครื่องขยายกำลัง หน่วยโครงข่ายสัญญาณแสง มิเตอร์ บริษัทที่ชั่วสาย ฯลฯ
- เซอร์กิตเบรกเกอร์ ระบบป้องกันกระแสเกิน มิเตอร์ ฯลฯ
- ระบบควบคุม ระบบความปลอดภัย มิเตอร์ ฯลฯ

การป้องกันไม่รวมถึงบริษัทของผู้ใช้ หรือสิ่งปลูกสร้างใด ๆ ที่ต่ออยู่ที่ปลายของระบบสาธารณูปโภค

5.4 ความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_T

การระบุค่าของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้เป็นความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจตามกฎหมาย

ค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_T ในกรณีว้าผ่าที่สัมพันธ์กับการสูญเสียชีวิตคน หรือการสูญเสียค่าทางสังคมหรือค่าทางวัฒนธรรมแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าตัวอย่างของความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_T

ชนิดแบบของการสูญเสีย	R_T (ต่อปี)
การสูญเสียชีวิตคนหรือบาดเจ็บแบบถาวร	10^{-5}
การสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ	10^{-3}
การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม	10^{-3}

5.5 วิธีการเฉพาะเพื่อประเมินค่าความจำเป็นของการป้องกัน

ตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 1 ความเสี่ยงต่อไปนี้จะพิจารณาในการประเมินค่าความจำเป็นของการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับวัตถุใด ๆ :

- ความเสี่ยง R_1 , R_2 และ R_3 สำหรับสิ่งปลูกสร้าง
- ความเสี่ยง R'_1 และ R'_2 สำหรับระบบสาธารณูปโภค

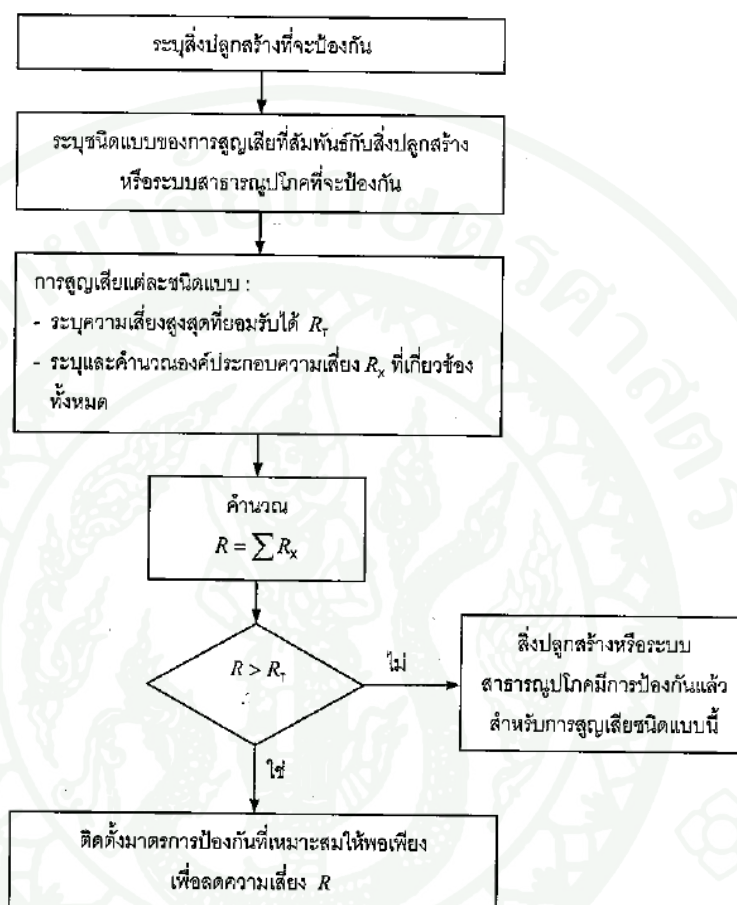
ในแต่ละความเสี่ยงที่จะพิจารณาดังนี้มีขั้นตอนดังนี้

- การระบุองค์ประกอบความเสี่ยง R_x ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยง
- การคำนวณองค์ประกอบความเสี่ยง R_x ที่ระบุไว้
- การคำนวณความเสี่ยงทั้งหมด R (ดูข้อ 4.3)
- การระบุความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_r
- การเปรียบเทียบความเสี่ยง R กับความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_r

ถ้า $R \leq R_r$, การป้องกันฟ้าผ่าไม่มีความจำเป็น

ถ้า $R > R_r$, มาตรการป้องกันต้องนำมาใช้ เพื่อลดให้ $R \leq R_r$ สำหรับความเสี่ยงทั้งหมดที่วัตถุนั้นจะได้รับ

วิธีการประเมินค่าความจำเป็นสำหรับการป้องกัน แสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วิธีการตัดสินใจความจำเป็นของการป้องกัน

5.6 วิธีการประเมินค่าความคุ้มค่าของการป้องกัน

นอกจากความจำเป็นของการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคแล้ว ยังอาจเป็นประโยชน์มากขึ้นที่จะหาข้อดีทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งมาตรการป้องกันเพื่อลดการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ L4

การประเมินองค์ประกอบความเสี่ยง R_x สำหรับสิ่งปลูกสร้าง (R'_x สำหรับระบบสาธารณูปโภค) ทำให้ผู้ใช้ประเมินค่าของการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ ในกรณีที่มีและไม่มีการใช้มาตรการป้องกัน (ดูภาคผนวก ข)

วิธีการหาความคุ้มค่าของการป้องกันต้องการข้อมูลต่อไปนี้

- การระบุองค์ประกอบความเสี่ยง R_x ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยง R_x สำหรับสิ่งปลูกสร้าง (R'_x สำหรับระบบสาธารณูปโภค)

ภาคผนวก ก
(ใช้เป็นข้อมูล)
การประเมินจำนวนเหตุการณ์อันตรายรายปี N

ก.1 ทัวไป

จำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยรายปี N เนื่องจากวาบฟ้าผ่าซึ่งมีอิทธิพลต่อวัตถุที่จะป้องกัน ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองของพื้นที่ที่วัตถุนั้นตั้งอยู่ และคุณลักษณะทางกายภาพของวัตถุนั้น การคำนวณหาค่าจำนวน N ที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน N_0 กับพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของวัตถุนั้น และโดยคำนึงถึงตัวประกอบแก้ไขซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางกายภาพของวัตถุ

ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน N_0 คือ จำนวนครั้งของวาบฟ้าผ่าต่อพื้นที่ตารางกิโลเมตรต่อปี คำนีหาได้จากเครือข่ายตำแหน่งวาบฟ้าผ่าลงดินในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก

หมายเหตุ ถ้าไม่สามารถหาแผนที่ของ N_0 ได้ ในเขตบ่อนอากาศประมาณจากสมการ

$$N_0 \approx 0.1 \times T_0 \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่

T_0 คือ วันที่มีพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (ซึ่งสามารถหาได้จากแผนที่ไอโซเคอราอนิก (isokeraunic map) โดย isokeraunic map คือ แผนที่ที่แสดงสถานที่ที่มีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองเฉลี่ยต่อปีเท่ากัน)

เหตุการณ์ที่อาจพิจารณาว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน คือ

- วาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง
- วาบฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง
- วาบฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคที่เข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง
- วาบฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคที่เข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง
- วาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างที่ระบบสาธารณูปโภคต่ออยู่

เหตุการณ์ที่อาจพิจารณาว่าเป็นอันตรายต่อระบบสาธารณูปโภคที่จะป้องกัน คือ

- วาบฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค
- วาบฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภค
- วาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างนั้นที่ระบบสาธารณูปโภคนั้นต่ออยู่

ก.2 การประเมินจำนวนเหตุการณ์อันตรายเฉลี่ยรายปีเนื่องจากวบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง N_D และวบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างที่ปลายสาย "a" N_{D_a}

ก.2.1 การหาพื้นที่รับฟ้าผ่า A_u

กรณีสิ่งปลูกสร้างแยกอิสระอยู่บนพื้นราบ พื้นที่รับฟ้าผ่า A_u คือพื้นที่ที่กำหนดโดยการตัดกันระหว่างพื้นผิวดินกับเส้นตรงที่มีความชัน 1/3 ซึ่งลากจากส่วนบนของสิ่งปลูกสร้าง (สัมพันธ์กับสิ่งปลูกสร้างที่จุดนั้น) และหมุนโดยรอบสิ่งปลูกสร้าง การหาค่า A_u อาจกระทำโดยวิธีกราฟหรือวิธีคณิตศาสตร์

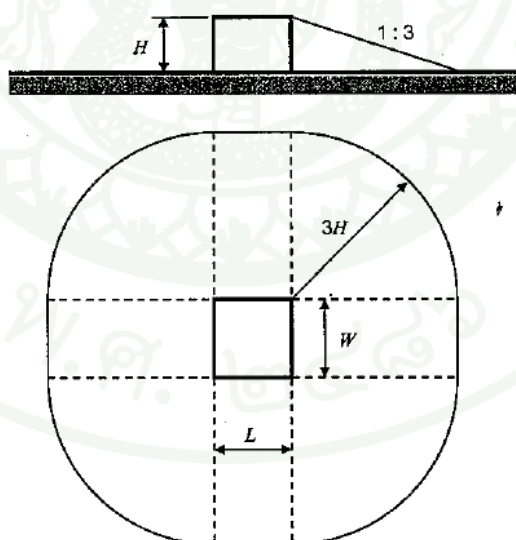
สิ่งปลูกสร้างที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉาก

กรณีสิ่งปลูกสร้างรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉากแยกอยู่อิสระที่มีความยาว L ความกว้าง W และความสูง H อยู่บนพื้นราบ พื้นที่รับฟ้าผ่ามีค่าเท่ากับ

$$A_u = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times (H)^2 \quad (\text{ก.2})$$

โดย L , W และ H มีหน่วยเป็นเมตร (ดูรูปที่ ก.1)

หมายเหตุ การหาค่าที่ถูกต้องมากขึ้น สามารถทำได้โดยการพิจารณาความสูงสัมผัสของสิ่งปลูกสร้างเทียบกับวัตถุโดยรอบหรือพื้นดินภายในระยะห่างจากสิ่งปลูกสร้าง $3H$



รูปที่ ก.1 พื้นที่รับฟ้าผ่า A_u ของสิ่งปลูกสร้างแยกอิสระ

ก.2.1.1 สิ่งปลูกสร้างที่มีรูปร่างซับซ้อน

ถ้าสิ่งปลูกสร้างมีรูปร่างซับซ้อน เช่น มีหลังคาที่มีส่วนที่โผล่สูงขึ้น (ดูรูปที่ ก.2) ควรใช้วิธีการกราฟในการหาค่า A_d (ดูรูปที่ ก.3) เนื่องจากความแตกต่างจะมีค่าสูงมากหากใช้พื้นที่รับฟ้าผ่าที่พิจารณาจากมิติสูงสุดของสิ่งปลูกสร้าง (A_{dmax}) หรือพื้นที่รับฟ้าผ่าที่พิจารณาจากมิติต่ำสุดของสิ่งปลูกสร้าง (A_{dmin}) (ดูตารางที่ ก.1)

ค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าโดยประมาณที่สามารถยอมรับได้คือ ค่าสูงสุดระหว่างพื้นที่รับฟ้าผ่าที่พิจารณาจากมิติต่ำสุดของสิ่งปลูกสร้าง A_{dmin} กับพื้นที่รับฟ้าผ่าที่เกิดจากหลังคาที่มีส่วนที่โผล่สูงขึ้น A_d' อาจคำนวณได้จากสมการ

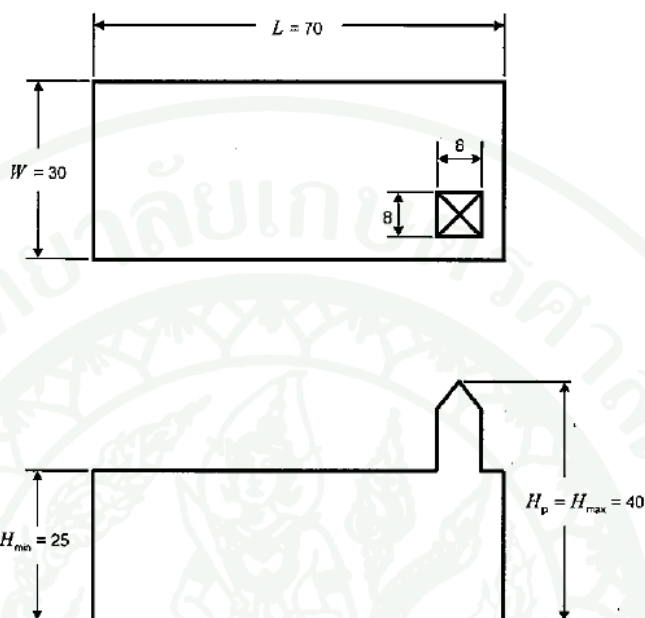
$$A_d' = 9\pi \times (H_p)^2 \quad (ก.3)$$

โดยที่ H_p คือ ความสูงของส่วนที่โผล่สูงขึ้น

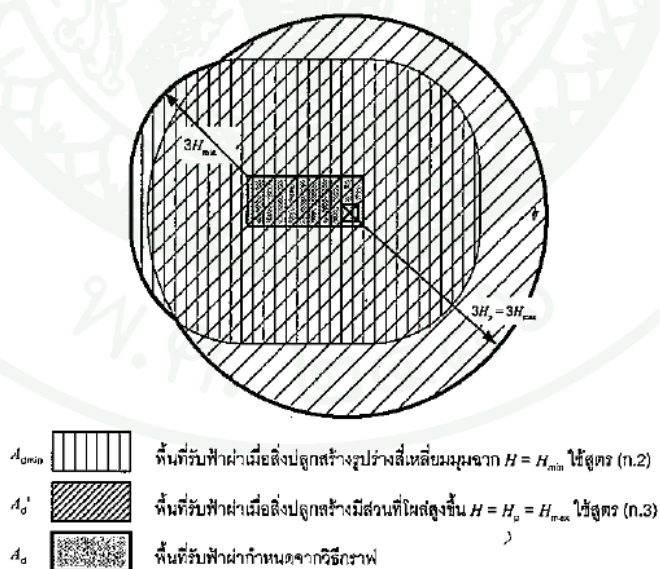
ค่าที่แตกต่างกันของพื้นที่รับฟ้าผ่าตามวิธีการข้างต้น แสดงไว้ในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่าของพื้นที่รับฟ้าผ่าที่ขึ้นอยู่กับวิธีการหาค่า

	วิธีการกราฟ	สิ่งปลูกสร้าง (มิติสูงสุด)	สิ่งปลูกสร้าง (มิติต่ำสุด)	ความสูงของ ส่วนที่โผล่สูงขึ้น H_p
มิติสิ่งปลูกสร้าง (L, W, H) m	ดูรูปที่ ก.2	$70 \times 30 \times 40$	$70 \times 30 \times 25$	40
m^2	$A_d = 47,700$	$A_{dmax} = 71,316$	$A_{dmin} = 34,770$ ดูรูปที่ ก.3	$A_d' = 45,240$ ดูรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.2 สิ่งปลูกสร้างที่มีรูปร่างขั้นบันได



รูปที่ ก.3 วิธีการต่าง ๆ ในการกำหนดพื้นที่รับฟ้าสำหรับสิ่งปลูกสร้างตามรูปที่ ก.2

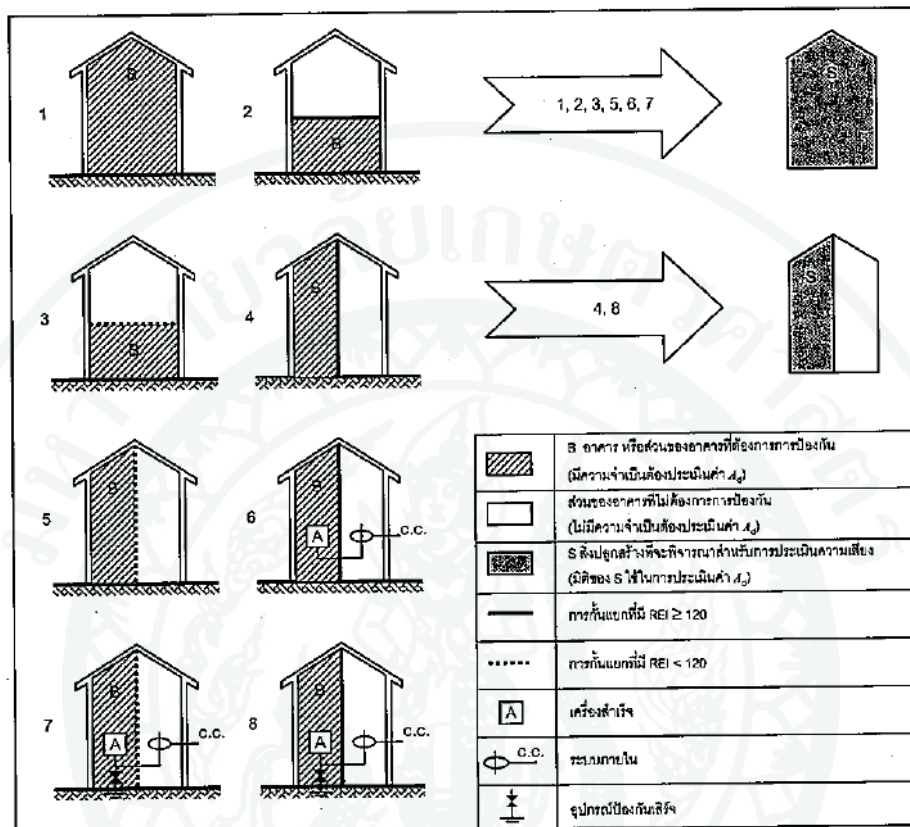
ก.2.1.2 สิ่งปลูกสร้างที่เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร

กรณีสิ่งปลูกสร้าง S ที่จะพิจารณาเป็นเพียงส่วนหนึ่งของอาคาร B อาจใช้มิติของสิ่งปลูกสร้าง S ในการประเมินค่าพื้นที่ A_d ภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปตามสภาวะดังต่อไปนี้ทั้งหมด (ดูรูปที่ ก.4)

- สิ่งปลูกสร้าง S เป็นส่วนแยกในแนวดิ่งของอาคาร B
- อาคาร B ไม่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด
- การลุกลามของเพลิงไหม้ระหว่างสิ่งปลูกสร้าง S กับส่วนอื่นของอาคาร B หลีกเลี่ยงได้โดยใช้ผนังที่ทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 120 นาที (REI 120) หรือโดยใช้มาตรการป้องกันอื่นที่เท่าเทียมกัน
- การกระจายของแรงดันเกินไปตามสายที่ใช้ร่วมกัน (ถ้ามี) หลีกเลี่ยงโดยใช้อุปกรณ์ป้องกันเลี้ยวติดตั้งที่จุดทางเข้าของสายเหล่านั้นสู่สิ่งปลูกสร้าง หรือโดยใช้มาตรการป้องกันอื่นที่เท่าเทียมกัน

หมายเหตุ นิยามและข้อมูลของ REI อยู่ใน Official Journal of European Union, 1994/28/02, n. C 62/63

กรณีที่ไม่เป็นไปตามสภาวะข้างต้น ควรใช้มิติของอาคาร B ทั้งหมด



รูปที่ ก.4 สิ่งปลูกสร้างที่จะพิจารณาสำหรับการประเมินค่าพื้นที่รับไฟฟ้า A_d

ก.2.2 ตำแหน่งที่ตั้งสัมพัทธ์ของสิ่งปลูกสร้าง

ตำแหน่งที่ตั้งสัมพัทธ์ของสิ่งปลูกสร้าง ปรับแก้ด้วยตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง C_d ซึ่งคำนึงถึงวัตถุโดยรอบหรือตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดโล่ง (ดูตารางที่ ก.2)

ตารางที่ ก.2 ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง C_d

ตำแหน่งที่ตั้งสัมพัทธ์	C_d
วัตถุซึ่งล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่สูงกว่า	0.25
วัตถุซึ่งล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่มีความสูงเท่ากันหรือน้อยกว่า	0.5
วัตถุแยกอิสระ ไม่มีวัตถุอื่นอยู่ในบริเวณใกล้เคียง	1
วัตถุแยกอิสระบนยอดเขาหรือเนินเขา	2

ก.2.3 จำนวนเหตุการณ์อันตราย N_o สำหรับสิ่งปลูกสร้าง (ปลาย "b" ของระบบ
สาธารณูปโภค)

อาจประเมินค่า N_o จากสมการ

$$N_o = N_g \times A_{ob} \times C_{ob} \times 10^{-6} \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่

N_g คือ ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน (flash/km²/year)

A_{ob} คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างแยกอิสระ (m²) (ดูรูปที่ ก.1)

C_{ob} คือ ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้าง (ดูตารางที่ ก.2)

ก.2.4 จำนวนเหตุการณ์อันตราย N_{oa} สำหรับสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง (ปลาย "a" ของระบบ
สาธารณูปโภค)

จำนวนเฉลี่ยรายปีของเหตุการณ์อันตราย N_{oa} เนื่องจากวาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ปลาย
"a" ของสาย (ดูข้อ 6.5 และรูปที่ 6.1) อาจประเมินค่าจากสมการ

$$N_{oa} = N_g \times A_{oa} \times C_{oa} \times C_l \times 10^{-6} \quad (\text{ก.5})$$

โดยที่

N_g คือ ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน (flash/km²/year)

A_{oa} คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าของสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียงที่แยกอิสระ (m²) (ดูรูปที่ ก.1)

C_{oa} คือ ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง (ดูตารางที่ ก.2)

C_l คือ ตัวประกอบการแก้ กรณีมีหม้อแปลงไฟฟ้า HV/LV บนระบบสาธารณูปโภคที่ต่อ
กับสิ่งปลูกสร้าง โดยหม้อแปลงตั้งอยู่ระหว่างจุดฟ้าผ่ากับสิ่งปลูกสร้าง (ดูตารางที่ ก.4) ตัว
ประกอบนี้ให้กับส่วนของสายที่อยู่ต้นทางจากหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อเทียบกับสิ่งปลูกสร้าง

ก.3 การประเมินจำนวนเฉลี่ยรายปีของเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวาบฟ้าผ่าใกล้สิ่ง
ปลูกสร้าง N_m

อาจประเมินค่า N_m จากสมการ

$$N_m = N_g \times (A_m - A_{ob} C_{ob}) \times 10^{-6} \quad (\text{ก.6})$$

โดยที่

N_g คือ ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน (flash/km²/year)

A_m คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าของวาบฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง (m²)

พื้นที่รับฟ้าผ่า A_m ขยายไปถึงระยะ 250 เมตร จากเส้นรอบสิ่งปลูกสร้าง (ดูรูปที่ ก.5)

ถ้า $N_m < 0$, ต้องใช้ $N_m = 0$ ในการประเมิน

ก.4 การประเมินจำนวนเฉลี่ยรายปีของเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวาทฟ้าผ่าลงระบบ สาธารณูปโภค N_L

ระบบสาธารณูปโภคที่มีส่วนเดียว อาจประเมินค่า N_L จากสมการ

$$N_L = N_g \times A \times C_d \times C_i \times 10^{-6} \quad (\text{ก.7})$$

โดยที่

N_g คือ ความหนาแน่นวาทฟ้าผ่าลงดิน (flash/km²/year)

A คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าของวาทฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค (m²) (ดูตารางที่ ก.3 และรูปที่ ก.5)

C_d คือ ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของระบบสาธารณูปโภค (ดูตารางที่ ก.2)

C_i คือ ตัวประกอบการแก้ไขกรณีมีหม้อแปลงไฟฟ้า HV/LV บนระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง โดยหม้อแปลงตั้งอยู่ระหว่างจุดฟ้าผ่ากับสิ่งปลูกสร้าง (ดูตารางที่ ก.4) ตัวประกอบนี้ใช้กับส่วนของสายที่อยู่ต้นทางจากหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อเทียบกับสิ่งปลูกสร้าง

ตารางที่ ก.3 พื้นที่รับฟ้าผ่า A และ A_i ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของระบบสาธารณูปโภค

	ในอากาศ	ฝังดิน
A	$(L_c - 3(H_a + H_b))6H_c$	$(L_c - 3(H_a + H_b))\sqrt{\rho}$
A_i	$1,000L_c$	$25L_c\sqrt{\rho}$

โดยที่

A คือ พื้นที่รับฟ้าผ่ากรณีวาทฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภค (m²)

A_i คือ พื้นที่รับฟ้าผ่ากรณีวาทฟ้าผ่าลงดินใกล้ระบบสาธารณูปโภค (m²)

H_c คือ ความสูงของตัวนำของระบบสาธารณูปโภคเหนือพื้นดิน (m)

L_c คือ ความยาวของส่วนของระบบสาธารณูปโภคจากสิ่งปลูกสร้างถึงโหนดกระจาย

โหนดแรก (m) ค่าสูงสุดของ L_c ควรใช้ 1,000 m

H_a คือ ความสูงของสิ่งปลูกสร้างที่ต่อปลาย "a" ของระบบสาธารณูปโภค (m)

H_b คือ ความสูงของสิ่งปลูกสร้างที่ต่อปลาย "b" ของระบบสาธารณูปโภค (m)

ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของดินที่ระบบสาธารณูปโภคฝังอยู่ (Ωm) ค่าสูงสุดของ ρ

ควรใช้ 500 Ωm

วัตถุประสงค์ในการคำนวณนี้ ให้ใช้ข้อกำหนดดังนี้

- กรณีไม่รู้ค่า L_c ให้ใช้ค่า L_c เท่ากับ 1,000 m
- กรณีไม่รู้ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ให้ใช้ค่า ρ เท่ากับ 500 Ω m
- กรณีเคเบิลใต้ดินทั้งเส้นเดินอยู่ภายในรากสายดินแบบตาข่ายที่ถี่มาก อาจถือว่า $A_s = A_g = 0$ สำหรับพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล
- สิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันต้องถือว่าเป็นสิ่งปลูกสร้างที่ต่อกับปลาย "b" ของระบบสาธารณูปโภค

หมายเหตุ ข้อมูลเพิ่มเติมของพื้นที่รับฟ้าผ่า A_s และ A_g สามารถหาได้จาก ITU Recommendation K.46 และ K.47

ตารางที่ ก.4 ตัวประกอบหม้อแปลง C_i

หม้อแปลง	C_i
ระบบสาธารณูปโภคที่มีหม้อแปลงแบบสองขดลวด	0.2
ระบบสาธารณูปโภคเท่านั้น	1

ก.5 การประเมินจำนวนเฉลี่ยรายปีของเหตุการณ์อันตรายเนื่องจากวาบฟ้าผ่าไถ่ระบบสาธารณูปโภค N_i

ส่วนหนึ่งของระบบสาธารณูปโภค (เหนือดิน, ใต้ดิน, มีกำบัง, ไม่มีกำบัง เป็นต้น) อาจประเมินค่า N_i จากสมการ

$$N_i = N_g \times A_s \times C_o \times C_i \times 10^{-6} \quad (\text{ก.8})$$

โดยที่

N_g คือ ความหนาแน่นวาบฟ้าผ่าลงดิน (flash/km²/year)

A_s คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าของวาบฟ้าผ่าลงดินไถ่ระบบสาธารณูปโภค (m²) (ดูตารางที่ ก.3 และ รูปที่ ก.5)

C_o คือ ตัวประกอบสภาพแวดล้อม (ดูตารางที่ ก.5)

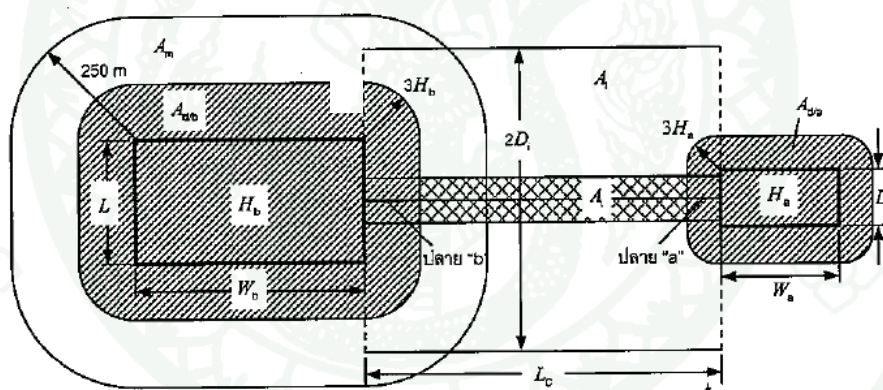
C_i คือ ตัวประกอบการแก้ กรณีมีหม้อแปลงไฟฟ้า HV/LV บนระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง โดยหม้อแปลงตั้งอยู่ระหว่างจุดฟ้าผ่ากับสิ่งปลูกสร้าง (ดูตารางที่ ก.4) ตัวประกอบนี้ใช้กับส่วนของสายที่อยู่ต้นทางจากหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อเทียบกับสิ่งปลูกสร้าง

ตารางที่ ก.5 ตัวประกอบสภาพแวดล้อม C_e

สภาพแวดล้อม	C_e
ในเมืองที่มีอาคารสูง ¹⁾	0
/ ในเมือง ²⁾	0.1
ชานเมือง ³⁾	0.5
ชนบท	1

¹⁾ ความสูงของอาคารสูงกว่า 20 เมตร
²⁾ ความสูงของอาคารระหว่าง 10 กับ 20 เมตร
³⁾ ความสูงของอาคารต่ำกว่า 10 เมตร

หมายเหตุ พื้นที่รับฟ้าผ่า A_f ของระบบสาธารณูปโภค กำหนดจากความยาว L_c ของระบบสาธารณูปโภค และระยะด้านข้าง D_i (ดูรูปที่ ก.5) ซึ่งหากเกิดความฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคอาจเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันเกินขนาดไม่ต่ำกว่า 1.5 kV

รูปที่ ก.5 พื้นที่รับฟ้าผ่า (A_o , A_m , A_i , A_s)

ภาคผนวก ข
(ใช้เป็นข้อมูล)
การประเมินความน่าจะเป็น P_x
ที่จะเกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง

ความน่าจะเป็นที่แสดงไว้ในภาคผนวกนี้นำไปใช้ได้ หากมาตรการป้องกันเป็นไปตาม

- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3 สำหรับมาตรการป้องกันเพื่อลดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต และมาตรการป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ
- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 4 สำหรับมาตรการป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบภายใน

ค่าอื่น ๆ อาจได้รับคัดเลือกมาใช้ หากพิสูจน์แล้วว่าถูกต้อง

ค่าความน่าจะเป็น P_x ที่น้อยกว่า 1 อาจจะถูกเลือกมาใช้ ถ้ามาตรการหรือคุณลักษณะมีผลต่อการป้องกันสิ่งปลูกสร้างทั้งหมดหรือย่านของสิ่งปลูกสร้าง (Z_0) ที่จะป้องกัน และสำหรับบริเวณที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

ข:1 ความน่าจะเป็น P_x ที่วابلฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต

ค่าความน่าจะเป็น P_x ที่วابلฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างจะทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดการช็อกจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว ซึ่งเป็นฟังก์ชันของมาตรการป้องกันทั่วไป แสดงไว้ในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ค่าความน่าจะเป็น P_x ที่วابلฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว

มาตรการป้องกัน	P_x
ไม่มีมาตรการป้องกัน	1
การหุ้มฉนวนทางไฟฟ้าของตัวนำลงดินที่เปิดโล่ง (เช่น ฉนวนครอสลิงค์โพลีเอทิลีน (XLPE) มีความหนาอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร)	10^{-2}
การทำให้พื้นดินมีศักย์เท่ากันอย่างเป็นผล	10^{-2}
การติดประภาศเตือน	10^{-1}

ถ้ามีการใช้มาตรการป้องกันมากกว่า 1 วิธี ค่า P_d คือผลคูณของค่า P_d ของแต่ละมาตรการที่ใช้

หมายเหตุ 1 ข้อมูลเพิ่มเติมดูข้อ 8.1 และ 8.2 ในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3

หมายเหตุ 2 กรณีใช้ชิ้นส่วนเสริมแรงหรือโครงของสิ่งปลูกสร้างเป็นระบบตัวนำลงดิน หรือในที่ซึ่งมีการจำกัดการเข้าถึงทางกายภาพ ค่า P_d สามารถละทิ้งได้

ข.2 ความน่าจะเป็น P_g ที่วบบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดการเสียหายทางกายภาพ

ค่าความน่าจะเป็น P_g ของความเสียหายทางกายภาพโดยวบบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างในฟังก์ชันของระดับป้องกันฟ้าผ่า (LPL) แสดงไว้ในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ค่าความน่าจะเป็น P_g ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ

คุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้าง	ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	P_g
สิ่งปลูกสร้างที่ไม่ได้รับการป้องกันด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่า	-	1
สิ่งปลูกสร้างที่ได้รับการป้องกันด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่า	4	0.2
	3	0.1
	2	0.05
	1	0.02
สิ่งปลูกสร้างที่มีระบบตัวนำล่อฟ้าเป็นไปตามระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับ 1 และมีโครงโลหะที่ต่อเนื่องหรือโครงของคอนกรีตเสริมแรงทำหน้าที่เป็นระบบตัวนำลงดินโดยธรรมชาติ		0.01
สิ่งปลูกสร้างที่มีหลังคาโลหะหรือมีระบบตัวนำล่อฟ้า ซึ่งอาจรวมถึงองค์ประกอบโดยธรรมชาติ, โดยมีการป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงลงสิ่งติดตั้งใดๆบนหลังคาอย่างสมบูรณ์ และมีโครงโลหะที่ต่อเนื่องหรือโครงของคอนกรีตเสริมแรงทำหน้าที่เป็นระบบตัวนำลงดินโดยธรรมชาติ		0.001

หมายเหตุ ค่า P_g อื่นนอกเหนือจากตารางที่ ข.2 อาจเป็นไปได้ ถ้ามีการตรวจสอบอย่างละเอียดโดยคำนึงถึงข้อกำหนดของเกณฑ์การกำหนดขนาดและเกณฑ์การคัดกับฟ้าผ่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 1

ข.3 ความน่าจะเป็น P_C ที่วาทฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน

ความน่าจะเป็น P_C ที่วาทฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน ขึ้นอยู่กับการป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเล็รจที่มีการประสานสัมพันธ์ที่นำมาใช้

$$P_C = P_{SPD} \quad (\text{ข.1})$$

ค่า P_{SPD} ขึ้นอยู่กับระดับป้องกันฟ้าผ่าที่อุปกรณ์ป้องกันเล็รจได้ออกแบบไว้ แสดงไว้ในตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ค่าความน่าจะเป็น P_{SPD} ขึ้นอยู่กับระดับป้องกันฟ้าผ่าที่อุปกรณ์ป้องกันเล็รจได้ออกแบบไว้

ระดับป้องกันฟ้าผ่า	P_{SPD}
ไม่มีการป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเล็รจที่มีการประสานสัมพันธ์	1
3 - 4	0.03
2	0.02
1	0.01
หมายเหตุ 3	0.005 - 0.001

หมายเหตุ 1 "การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเล็รจที่มีการประสานสัมพันธ์" เท่านั้น ที่เหมาะสมในการใช้เป็นมาตรการป้องกันเพื่อลดค่า P_C การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเล็รจที่มีการประสานสัมพันธ์จะมีประสิทธิผลในการลด P_C เฉพาะกรณีสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับการป้องกันด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่า หรือสิ่งปลูกสร้างที่มีโครงโลหะที่ต่อเนื่อง หรือมีโครงของคอนกรีตเสริมแรงทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยธรรมชาติ ซึ่งข้อกำหนดการต่อประสานและการต่อลงดินเป็นไปตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3

หมายเหตุ 2 ระบบภายในที่มีการกำบังซึ่งต่อกับสายภายนอกที่ประกอบด้วยเคเบิลที่มีการป้องกันฟ้าผ่า หรือระบบที่มีการเดินสายในช่องทางเดินเคเบิลที่มีการป้องกันฟ้าผ่า หรือท่อโลหะร้อยสาย หรือท่อโลหะ อาจไม่ต้องการใช้การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเล็รจที่มีการประสานสัมพันธ์

หมายเหตุ 3 ค่า P_{SPD} อาจมีค่าน้อยลงได้อีก หากอุปกรณ์ป้องกันเล็รจมีคุณลักษณะการป้องกันที่ดีกว่า (ความสามารถทนต่อกระแสสูงกว่า, ระดับป้องกันต่ำกว่า เป็นต้น) เทียบกับข้อกำหนดของระดับป้องกันฟ้าผ่า 1 ที่ตำแหน่งการติดตั้งเดียวกัน

ข.4 ความน่าจะเป็น P_M ที่วามฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน

ความน่าจะเป็น P_M ที่วามฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้างจะทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายใน ขึ้นอยู่กับมาตรการป้องกันฟ้าผ่า (LPM) ที่นำมาใช้ ตามตัวประกอบ K_{MS}

ในกรณีที่มีการป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่มีการประสานสัมพันธ์ที่ตรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 4 ไม่ได้จัดไว้ให้ ให้ถือว่าค่า P_M เท่ากับค่า P_{MS}

ค่า P_{MS} ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ K_{MS} แสดงไว้ในตารางที่ ข.4 โดยที่ K_{MS} คือตัวประกอบที่สัมพันธ์กับสมรรถนะของมาตรการป้องกันที่นำมาใช้

เมื่อการป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่มีการประสานสัมพันธ์ที่ตรงตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 4 ได้จัดไว้ให้ ค่า P_M เท่ากับค่าที่ต่ำกว่าระหว่างค่า P_{SPD} กับค่า P_{MS}

ตารางที่ ข.4 ค่าความน่าจะเป็น P_{MS} ตาม K_{MS}

K_{MS}	P_{MS}
≥ 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
≤ 0.013	0.0001

กรณีระบบภายในที่มีบริภัณฑ์ไม่สอดคล้องกับความสามารถด้านทานหรือระดับแรงดันคงทน ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง ต้องถือว่า $P_{MS} = 1$

ค่าตัวประกอบ K_{MS} สามารถหาจากสมการ

$$K_{MS} = K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4} \quad (\text{ข.2})$$

โดยที่

K_{S1} คำนึงถึงประสิทธิภาพการกำบังของสิ่งปลูกสร้าง ระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือตัวกำบังอื่นที่ขอบเขตของย่านป้องกันฟ้าผ่า 0/1

K_{S2} คำนึงถึงประสิทธิภาพการกำบังของตัวกำบังภายในสิ่งปลูกสร้างที่ขอบเขตของย่านป้องกันฟ้าผ่า X/Y ($X > 0, Y > 1$)

มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 2

K_{S3} คำนึงถึงคุณลักษณะของการเดินสายภายใน (ดูตารางที่ ข.5)

K_{S4} คำนึงถึงความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของระบบที่จะป้องกัน

ภายในย่านป้องกันฟ้าผ่า ที่ระยะปลอดภัยจากกำลังที่ขอบเขตอย่างน้อยเท่ากับ ความกว้างของดาข่าย w ตัวประกอบ K_{S1} และ K_{S2} ของระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือตัวกำบังปฏิมลลักษณะ ดาข่าย อาจประเมินได้จากสมการ

$$K_{S1} = K_{S2} = 0.12 \times w \quad (\text{ข.3})$$

โดยที่

w (เมตร) คือ ความกว้างดาข่ายของตัวกำบังปฏิมลลักษณะดาข่าย หรือของตัวนำลงดิน ชนิดดาข่ายของระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือระยะห่างระหว่างเสาโลหะของสิ่งปลูกสร้าง หรือระยะห่าง ระหว่างโครงสร้างเสริมแรงของคอนกรีตที่ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยธรรมชาติ

กรณีตัวกำบังโลหะต่อเนื่องที่มีความหนา 0.1 มิลลิเมตร ถึง 0.5 มิลลิเมตร ให้ค่า

$$K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4} \text{ ถึง } 10^{-5}$$

หมายเหตุ 1 ในที่ซึ่งโครงข่ายต่อประสานลักษณะดาข่ายที่จัดไว้ให้เป็นไปตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 4 อาจลด ค่า K_{S1} และ K_{S2} ลงครึ่งหนึ่ง

ในที่ซึ่งวงรอบเหนี่ยวนำเดินใกล้กับตัวนำของกำลังที่ขอบเขตของย่านป้องกันฟ้าผ่า โดย ระยะห่างจากตัวกำบังสั้นกว่าระยะปลอดภัย ค่า K_{S1} และ K_{S2} จะสูงขึ้น ดังตัวอย่างเช่น ค่า K_{S1} และ K_{S2} ควรเพิ่มเป็น 2 เท่าในที่ซึ่งระยะห่างจากตัวกำบังอยู่ในช่วง $0.1 w$ ถึง $0.2 w$

กรณีของย่านป้องกันฟ้าผ่าแบบลดหลั่นเป็นชั้น ผลลัพธ์ของค่า K_{S2} เป็นผลคูณของค่า K_{S2} ที่เกี่ยวข้องของแต่ละย่านป้องกันฟ้าผ่า

หมายเหตุ 2 ค่าสูงสุดของ K_{S1} จำกัดที่ 1

ตารางที่ ข.5 ค่าตัวประกอบ K_{S3} ขึ้นอยู่กับการเดินสายภายใน

ชนิดแบบของการเดินสายภายใน	K_{S3}
เคเบิลที่ไม่มีตัวกำบัง - ไม่มีการระวางเส้นทางการเดินสายเพื่อหลีกเลี่ยงวงรอบ ¹⁾	1
เคเบิลที่ไม่มีตัวกำบัง - มีการระวางเส้นทางการเดินสายเพื่อหลีกเลี่ยงวงรอบขนาดใหญ่ ²⁾	0.2
เคเบิลที่ไม่มีตัวกำบัง - มีการระวางเส้นทางการเดินสายเพื่อหลีกเลี่ยงวงรอบ ³⁾	0.02
เคเบิลที่มีตัวกำบัง โดยมีความต้านทานของตัวกำบัง ⁴⁾ $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$	0.001
เคเบิลที่มีตัวกำบัง โดยมีความต้านทานของตัวกำบัง ⁴⁾ $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$	0.0002
เคเบิลที่มีตัวกำบัง โดยมีความต้านทานของตัวกำบัง ⁴⁾ $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$	0.0001

¹⁾ ตัวนำวงรอบที่มีเส้นทางการเดินสายแตกต่างกันภายในอาคารขนาดใหญ่ (พื้นที่วงรอบขนาดประมาณ 50 m²)

²⁾ ตัวนำวงรอบที่มีเส้นทางการเดินสายภายในท่อร้อยสายไฟเดียวกัน หรือตัวนำวงรอบที่มีเส้นทางการเดินสายแตกต่างกันภายในอาคารขนาดเล็ก (พื้นที่วงรอบขนาดประมาณ 10 m²)

³⁾ ตัวนำวงรอบที่มีเส้นทางการเดินสายในเคเบิลเดียวกัน (พื้นที่วงรอบขนาดประมาณ 0.5 m²)

⁴⁾ เคเบิลที่มีความต้านทานของตัวกำบัง R_s (Ω/km) ประสานกับแท่งตัวนำต่อประสานให้ศักย์เท่ากันที่ปลายทั้งสองข้าง และบริเวณที่ติดกับแท่งตัวนำต่อประสานเดียวกัน

กรณีการเดินสายที่เดินในท่อร้อยสายโลหะต่อเนื่อง ซึ่งมีการต่อประสานกับแท่งตัวนำต่อประสานให้ศักย์เท่ากันที่ปลายทั้งสองข้าง ค่า K_{S3} ต้องคูณด้วย 0.1

ตัวประกอบ K_{S4} ประเมินค่าจากสมการ

$$K_{S4} = 1.5/U_w \quad (\text{ข.4})$$

โดยที่

U_w คือ พิกัดความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของระบบที่จะป้องกัน หน่วยเป็น kV

ถ้ามีเครื่องสำเร็จที่มีระดับความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์แตกต่างกันในระบบภายใน ต้องเลือกตัวประกอบ K_{S4} ที่เกี่ยวข้องกับระดับความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ที่มีระดับต่ำสุด

t_p คือ เวลาเป็นชั่วโมงต่อปีที่ผู้คนอยู่ในสถานที่อันตราย, ภายนอกสิ่งปลูกสร้าง (กรณีพิจารณาเฉพาะ L_1) หรือภายในสิ่งปลูกสร้าง (กรณีพิจารณา L_1 , L_i และ L_o)

ตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ L_1 , L_i และ L_o เมื่อการหาค่า n_p , n_i และ t_p มีความไม่แน่นอนหรือหาได้ยาก แสดงไว้ในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยของ L_1 , L_i และ L_o

ชนิดแบบของสิ่งปลูกสร้าง	L_1
ทุกชนิดแบบ - (คนอยู่ในสิ่งปลูกสร้าง)	10^{-4}
ทุกชนิดแบบ - (คนอยู่นอกสิ่งปลูกสร้าง)	10^{-2}

ชนิดแบบของสิ่งปลูกสร้าง	L_i
โรงพยาบาล, โรงแรม, อาคารพลเรือน	10^{-1}
โรงงานอุตสาหกรรม, อาคารพาณิชย์, โรงเรียน	5×10^{-2}
สถานบันเทิงสาธารณะ, โบสถ์, พิพิธภัณฑ์	2×10^{-2}
อื่นๆ	10^{-2}

ชนิดแบบของสิ่งปลูกสร้าง	L_o
สิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด	10^{-1}
โรงพยาบาล	10^{-3}

การสูญเสียชีวิตมนุษย์ได้รับผลจากคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างซึ่งนำมาพิจารณาโดยใช้ตัวประกอบเพิ่ม (h_z) และตัวประกอบลด (r_t , r_p , r_o , r_u) ดังนี้

$$L_A = r_u \times L_1 \quad (\text{ค.2})$$

$$L_U = r_u \times L_1 \quad (\text{ค.3})$$

$$L_B = L_V = r_o \times h_z \times r_t \times L_1 \quad (\text{ค.4})$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \quad (\text{ค.5})$$

โดยที่

r_u คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียของชีวิตมนุษย์ ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน (ดูตารางที่ ค.2)

r_u คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียของชีวิตมนุษย์ ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้น (ดูตารางที่ ค.2)

r_p คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับการเตรียมการลดผลที่ตามมาจากการเกิดเพลิงไหม้ (ดูตารางที่ ค.3)

r_1 คือ ตัวประกอบลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ของสิ่งปลูกสร้าง (ดูตารางที่ ค.4)

r_2 คือ ตัวประกอบเพิ่มการสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ เมื่อมีอันตรายพิเศษ (ดูตารางที่ ค.5)

ตารางที่ ค.2 ค่าของตัวประกอบลด r_s และ r_u ตามชนิดของผิวดินหรือพื้น

ชนิดของพื้นผิว	ความต้านทานของหน้าสัมผัส k Ω ¹⁾	r_s และ r_u
เกษตรกรรม, คอนกรีต	≤ 1	10^{-2}
หินอ่อน, เซรามิก	1 – 10	10^{-3}
กรวดทราย, ฝ่าหนา, พรม	10 – 100	10^{-4}
แอสฟัลต์, เสื่อน้ำมัน, ไม้	≥ 100	10^{-5}
หมายเหตุ ¹⁾ วัดค่าระหว่างขั้วไฟฟ้าขนาด 400 cm ² ซึ่งมีแรงกด 500 N ที่จุดนั้น		

ตารางที่ ค.3 ค่าของตัวประกอบลด r_p ตามการเตรียมการเพื่อลดผลที่ตามมาจากการเกิดเพลิงไหม้

การเตรียมการ	r_p
ไม่มีการเตรียมการ	1
มีการเตรียมการใด ๆ ต่อไปนี้ 1 มาตรการ : ถังดับเพลิง, การติดตั้งเครื่องดับเพลิงที่ทำงานด้วยมือแบบยึดกับที่, การติดตั้งสัญญาณเตือนที่ทำงานด้วยมือ, จุดจ่ายน้ำดับเพลิงจากระบบท่อประปา, การแบ่งส่วนป้องกันไฟ, ทางหนีไฟที่มีการป้องกันไฟ	0.5
มีการเตรียมการใด ๆ ต่อไปนี้ 1 มาตรการ : การติดตั้งเครื่องดับเพลิงที่ทำงานอัตโนมัติแบบยึดกับที่, การติดตั้งสัญญาณเตือนที่ทำงานอัตโนมัติ ¹⁾	0.2
¹⁾ เฉพาะกรณีที่มีการป้องกันแรงดันเกินและความเสียหายอื่น ๆ และนักดับเพลิงสามารถมาถึงในเวลาน้อยกว่า 10 นาที	

ในกรณีที่มีการเตรียมการมากกว่า 1 มาตรการ ให้เลือกค่า r_p ที่ต่ำที่สุด

ในสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด ค่า $r_p = 1$ สำหรับทุกกรณี

ตารางที่ ค.4 ค่าของตัวประกอบลด r_i ตามความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ของสิ่งปลูกสร้าง

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

หมายเหตุ 1 ในกรณีสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด และสิ่งปลูกสร้างที่เก็บของผสมที่อาจระเบิด อาจจำเป็นต้องประเมินค่า r_i อย่างละเอียดเพิ่มเติม

หมายเหตุ 2 สิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้สูง ได้แก่ สิ่งปลูกสร้างทำจากวัสดุติดไฟ สิ่งปลูกสร้างที่มีหลังคาทำจากวัสดุติดไฟ หรือสิ่งปลูกสร้างที่มีโหลดเพลิงไหม้จำเพาะมากกว่า 800 MJ/m^2

หมายเหตุ 3 สิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ปานกลาง ได้แก่ สิ่งปลูกสร้างที่มีโหลดเพลิงไหม้จำเพาะอยู่ระหว่าง 400 MJ/m^2 ถึง 800 MJ/m^2

หมายเหตุ 4 สิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ต่ำ ได้แก่ สิ่งปลูกสร้างที่มีโหลดเพลิงไหม้จำเพาะน้อยกว่า 400 MJ/m^2 หรือสิ่งปลูกสร้างที่เก็บวัสดุติดไฟในบางเวลานั้น

หมายเหตุ 5 โหลดเพลิงไหม้จำเพาะ คือ อัตราส่วนของพลังงานที่เกิดจากวัสดุติดไฟในสิ่งปลูกสร้างทั้งหมดต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของสิ่งปลูกสร้างนั้น

ตารางที่ ค.5 ค่าของตัวประกอบ h_z ที่เพิ่มปริมาณการสูญเสียสัมพัทธ์เมื่อมีอันตรายพิเศษ

ชนิดอันตรายพิเศษ	h_z
ไม่มีอันตรายพิเศษ	1
ความตื้นตระหนกระดับต่ำ (เช่น สิ่งปลูกสร้างที่จำกัด 2 ชั้น ที่มีจำนวนคนไม่เกิน 100 คน)	2
ความตื้นตระหนกระดับปานกลาง (เช่น สิ่งปลูกสร้างที่ออกแบบสำหรับงานด้านวัฒนธรรม หรืองานกีฬา ที่มีจำนวนคนอยู่ระหว่าง 100 - 1,000 คน)	5
บริเวณที่การอพยพทำได้ยาก (เช่น สิ่งปลูกสร้างที่มีคนที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้, โรงพยาบาล)	5
ความตื้นตระหนกระดับสูง (เช่น สิ่งปลูกสร้างที่ออกแบบสำหรับงานด้านวัฒนธรรม หรืองานกีฬา ที่มีจำนวนคนมากกว่า 1,000 คน)	10
อันตรายต่อพื้นที่โดยรอบหรือสิ่งแวดล้อม	20
การปนเปื้อนต่อพื้นที่โดยรอบหรือสิ่งแวดล้อม	50

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายคณิต เตโชขลาชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 กันยายน 2525
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 4 สังกัดสำนักตรวจสอบ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย