



การประเมินสภาพอุปกรณ์บนสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

โดยวิธีการตัดสินใจด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Condition Evaluation on Transmission System Components

Using Analytic Hierarchy Process

นางสาวอภิสร่า แสงขำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2563

การประเมินสภาพอุปกรณ์บนสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยวิธีการตัดสินใจด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Condition Evaluation on Transmission System Components Using Analytic Hierarchy Process

นางสาวกิสรา แสงขำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

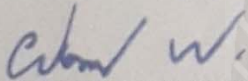
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

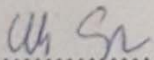
มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2563

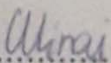
คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นารายณ์)



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวดี นาคทรัพย์)



(ดร.วินัย ทิดารวม)



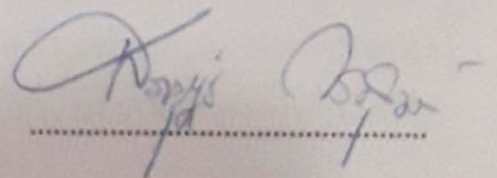
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นารายณ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

กรรมการ

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรานุรักษ์ วรสุมนต์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประเมินสภาพอุปกรณ์บนสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยวิธีการตัดสินใจด้วย
กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

หน่วยกิต 5 หน่วยกิต

จัดทำโดย อภิสรา แสงขำ 6104200020

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ นารายณ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

พุทธศักราช 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอในเรื่องการประเมินสภาพและจัดลำดับความสำคัญของระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงรวมทั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อการจัดการการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพและช่วยในการลดต้นทุนรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา โดยระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะแบ่งเป็น กลุ่มหลัก ๆ ตามลักษณะ 5 การใช้งานดังนี้ ฉนวน ส่วนที่กระแสไหลผ่าน โครงสร้างและฐานราก ส่วนป้องกันฟ้าผ่า และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะมีอุปกรณ์ย่อยต่าง ๆ ประกอบอยู่ เงื่อนไขของการประเมินระบบสายส่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์แบ่งได้ 6 ปัจจัย ได้แก่ อายุ ความเครียดการใช้งาน อาการเสีย ประเภทการล้มเหลว เทคโนโลยีล้ำสมัย รวมถึงความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม การประเมินจะใช้การให้คะแนนและน้ำหนักโดยนำทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้นมาประยุกต์ใช้น้ำหนักของแต่ละกลุ่มและปัจจัยออกมา

หลังจากได้ค่าน้ำหนักออกมาจึงทำการให้คะแนนสภาพของอุปกรณ์ย่อยในแต่ละกลุ่มตามปัจจัยที่กล่าวมาตอนต้น จะทำให้ได้สภาพของอุปกรณ์หลัก (%Sj) เมื่อได้สภาพของอุปกรณ์หลักแล้วนำมาคำนวณหาดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์หลัก (%HI) จากนั้นจะนำเอาดัชนีสุขภาพมาคำนวณหาดัชนีประสิทธิภาพของกลุ่มอุปกรณ์ (%EPI) ในท้ายที่สุดจะคำนวณหาดัชนีปรับปรุง (%ERI) ทำให้รู้ว่าระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่ในสภาพใดและสามารถวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : คำนวณหาดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์/คำนวณหาดัชนีประสิทธิภาพของกลุ่มอุปกรณ์

Project Title: Condition Evaluation of Transmission System Components Using Analytic Hierarchy Process

Credits: 5 Credits

By: Miss Apissara Saengkhum 6104200020

Advisor: Asst. Prof. Dr. Yongyuth Naras

Degree: Bachelor of Engineering

Major: Electrical Engineering

Faculty: Engineering

Year: 2020

Abstract

This thesis presented a performance assessment of high voltage transmission lines including sub-components in order to manage and effective maintenance with a low maintenance costs. The high voltage transmission line was divided into five sub-components, such as insulation, current carrying, construction and foundation, lightning protection and accessories. Each sub-components could be separated into sub-equipment. The condition evaluation of the transmission line was classified into six criteria, such as age, stress, symptom, failed type, obsolescence including safety and environment. Weight and score technique was applied to the evaluation. The Analysis Hierarchy Process (AHP) was applied to calculate weight of each group and criteria.

After weight and score were given, conditioning sub-equipment (%Sj), health index (%HI), equipment performance index (%EPI) and finally renovation index (%ERI), the calculated data was used to identify the maintenance scheduling the high voltage transmission line.

Keywords: weight and score/health index/equipment performance index

Approved by

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม พ.ศ.2563 ทางผู้จัดทำโครงการนี้ต้องขอขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นารายณ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยเป็นกำลังใจและทุนทรัพย์ในการเรียน และขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคน ที่เป็นกำลังใจในการทำโครงการนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



ผู้จัดทำ

อภิสร่า แสงขำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา / สถานภาพปัจจุบันและความสำคัญของสิ่งที่เป็นประเด็นปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ส่วนประกอบของการส่งไฟฟ้ากำลัง	4
2.2 ข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้า	26
2.3 ดัชนีสุขภาพของอุปกรณ์	29
2.4 ทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น	31
บทที่ 3. วิธีการคำนวณ	39
3.1 การคำนวณค่าน้ำหนักของอุปกรณ์	39
3.2 การคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย	46
บทที่ 4. ผลการประเมินสภาพ	53
4.1 ขั้นตอนการคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์หลักจากอุปกรณ์ย่อยในแต่ละปัจจัย	53
4.2 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์	67
4.3 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5. สรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุป	73
5.2 ปัญหาที่พบ	73
5.3 ข้อเสนอแนะ	74
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก การคำนวณโดยใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น	76
ประวัติผู้แต่ง	86



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ส่วนประกอบของระบบสายส่ง	4
2-2 พิกัดแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนลูกถ้วยแบบแขวน	9
2-3 แสดงระยะห่างแนวเขตเดินสายที่สัมพันธ์กับระดับแรงดัน	10
2-4 ประเภทของการเสื่อมสภาพที่เกิดจากอายุลำดับเวลา	26
2-5 การให้คะแนนอุปกรณ์	31
2-6 การให้ค่าเปรียบเทียบความสำคัญของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์	34
2-7 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปัจจัย	34
2-8 หลักการให้ค่าความสำคัญ	35
2-9 ตัวอย่างการให้ค่าความสำคัญเปรียบเทียบระหว่างปัจจัย	35
2-10 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์	37
3-1 การเปรียบเทียบความสำคัญของอุปกรณ์	40
3-2 หาผลรวมในแถวแนวตั้งของอุปกรณ์	40
3-3 การหาค่าหนึ่งหน่วยของอุปกรณ์	41
3-4 การหาค่าน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละตัว	41
3-5 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มอุปกรณ์ระบบสายส่ง	43
3-6 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มฉนวน	44
3-7 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มส่วนที่กระแสไหลผ่าน	44
3-8 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	44
3-9 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มโครงสร้างและฐานราก	45
3-10 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มอุปกรณ์อื่น ๆ	45
3-11 การเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัย	46
3-12 หาผลรวมในแถวแนวตั้งของปัจจัย	47
3-13 การหาค่าหนึ่งหน่วยของปัจจัย	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3-14 การหาค่าน้ำหนักของปัจจัยแต่ละตัว	48
3-15 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มคนวน	50
3-16 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มส่วนที่กระแสน้ำไหลผ่าน	51
3-17 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	51
3-18 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มโครงสร้างและฐานราก	51
3-19 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มอุปกรณ์อื่น ๆ	52
4-1 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยอายุ ($\%S_{j,age}$)	56
4-2 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยความเครียดการใช้งาน ($\%S_{j,stress}$)	58
4-3 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยอาการเสีย ($\%S_{j,symptom}$)	60
4-4 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยประเภทการล้มเหลว ($\%S_{j,failed\ type}$)	62
4-5 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยเทคโนโลยีล้าสมัย ($\%S_{j,obsolescence}$)	64
4-6 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ($\%S_{j,environment\ and\ safety}$)	66
4-7 ค่าดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์ ($\%HI_k$)	69
4-8 ค่าดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า ($\%EPI$)	70
4-9 ผลการทดลองใส่คะแนนของอุปกรณ์เหมือนกันทั้งหมด	71
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์กับสภาพอุปกรณ์	72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ลูกถ้วยกระเบื้องเคลือบ 230 กิโลโวลต์	6
2-2 ลูกถ้วยแก้ว	7
2-3 ลูกถ้วยแขวน	9
2-4 มาตรฐานกำหนดแนวเขตเดินสาย	10
2-5 สายอะลูมิเนียมล้วน	11
2-6 สายอะลูมิเนียมผสม	12
2-7 สายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก	13
2-8 สเตรนแคลมป์	14
2-9 แคลมป์แขวนสาย	14
2-10 ลักษณะเสาโครงเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	16
2-11 การไขว้สลับเฟสสายตัวนำ	17
2-12 ส่วนประกอบของเสาโครงเหล็ก	19
2-13 เสาโครงเหล็กในระบบส่ง 500 กิโลโวลต์	19
2-14 เสาโครงเหล็กในระบบส่ง 230 กิโลโวลต์	19
2-15 เสาโครงเหล็กในระบบส่ง 115 กิโลโวลต์	20
2-16 น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	21
2-17 เหล็กสตั๊ป	21
2-18 สายโอเวอร์เฮดกราวด์	22
2-19 อาร์คชิ่งฮอว์น	23
2-20 อุปกรณ์กันสาย	24
2-21 สเต็ปโบลท์	24
2-22 อุปกรณ์หน่วงการแขวง	25
2-23 น้ำหนักถ่วงสาย	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

2-24 แผนภูมิเชิงลำดับชั้นอย่างง่าย

33



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยได้มีการขยายตัวและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา ทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีความต้องการความยืดหยุ่นในการทำงาน (Flexibility) มุ่งเน้นในการลดต้นทุนและค่าใช้จ่าย (Cost Reduction) รวมทั้งต้องมีการบริหารจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสม (Risk Management) ดังนั้นการทำงานในปัจจุบันการบริหารจัดการความเสี่ยง เครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ (Decision Support Tools) และการรวมเอาความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมาร่วมใช้งาน (Integrated Information Technology) จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขันได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

การบริหารจัดการระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งและได้รับความสนใจอย่างมากทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากการบริหารจัดการระบบไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมสามารถลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาอย่างได้ผล โดยความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังยังอยู่ในระดับที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการระบบไฟฟ้ากำลังนั้นมีความซับซ้อนเนื่องจากการรวบรวมความรู้ในหลายด้าน เช่น พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของสินทรัพย์ในระบบไฟฟ้ากำลัง ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังและสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ความสำคัญของสินทรัพย์แต่ละตัวในระบบไฟฟ้ากำลัง ความเชื่อถือได้โดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและในการบำรุงรักษา วิธีการที่ใช้ในการบำรุงรักษาสินทรัพย์ เป็นต้น ความรู้ที่กล่าวมาจะถูกนำมาใช้กำหนดการใช้งานสินทรัพย์ให้ใกล้เคียงกับอายุสิ้นสุดการใช้งานโดยพิจารณาจากความเชื่อถือได้ของสินทรัพย์และความเชื่อถือได้ที่ต้องการจากระบบไฟฟ้า นั่นคือการได้มาซึ่งผลตอบแทนอย่างต่อเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานอยู่

สายส่งไฟฟ้าแรงสูงนับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากจากแหล่งผลิตไปยังโหลด โดยทั่วไปสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะมีระยะทางไกลเนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าและโหลด นอกจากนี้การปลดหรือทริปสายส่งไฟฟ้าแรงสูงออกจากระบบไฟฟ้ายังมีผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าอีกด้วย โดยทั่วไปหลังจากนำ

สายส่งไฟฟ้าแรงสูงเข้าใช้งานสายส่งไฟฟ้าแรงสูงก็จะมีสภาพไปตามอายุการใช้งาน (Ageing) และการเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ผลกระทบจากฟ้าผ่า การผุกร่อนของโครงเหล็กจากมลภาวะ การทรุดตัวของฐานราก การเสื่อมสภาพของลูกถ้วยฉนวนและสายไฟฟ้า ฯลฯ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการบำรุงรักษาหรือปรับปรุงเพื่อให้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงกลับมามีสภาพที่พร้อมต่อการใช้งานได้ดีอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ยังต้องมีการพิจารณาความสำคัญของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงต่อระบบส่งไฟฟ้ากำลัง เช่น ปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้า N-1 Criteria ความสำคัญของโหลด อายุสายส่ง สถิติการเกิดความผิดปกติเสียหาย ผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เป็นต้น อนึ่งความผิดปกติหรือความเสียหายที่เกิดกับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างและดับเป็นเวลานาน สูญเสียรายได้จากการขายพลังงานไฟฟ้า และมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ

จากความสำคัญของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงต่อระบบไฟฟ้า จำนวนของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่มีอยู่มาก ราคาต้นทุน รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาโปรแกรมประเมินสภาพและความสำคัญของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงต่อระบบไฟฟ้า เพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้และแนวทางในการใช้และบำรุงรักษาสายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อประเมินสภาพและจัดลำดับความสำคัญโดยใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process : AHP) ของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและอุปกรณ์ประกอบ สำหรับการใช้งานและการบำรุงรักษาสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.3.1 ทำการประเมินสภาพสายส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบใช้อากาศเป็นฉนวนในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 5 กลุ่มหลัก คือ

- 1) สายตัวนำและอุปกรณ์ประกอบสาย เช่น สายส่งไฟฟ้า(Conductors), อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า(Conductor's jumper), อาร์เมอร์รอด(Armour Rod), ชุดคอมเพรสชั่นเดเดนแคลมป์(Compression Dead End)
- 2) ลูกถ้วยฉนวน
- 3) โครงสร้างและฐานรากของเสาส่ง

- 4) ส่วนของการป้องกันฟ้าผ่า เช่น สายโอเวอร์เฮดกราวนด์ (OPGW), คันกั้นกระแสไฟฟ้า (Arching horn), ระบบต่อลงดิน (Grounding)
- 5) อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น อุปกรณ์กั้นสาย (Spacer), อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง (Vibration damper), ป้ายเตือนอันตราย (Danger sign)

1.3.2 จัดทำโปรแกรมในการประเมินสภาพสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

1.3.3 ทดลองประเมินสภาพสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้งานในระดับแรงดัน 230 kV

1.3.4 กำหนดวิธีการและหลักการวิเคราะห์ประเมินสภาพสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

1.3.5 จัดทำโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้งานเป็นโปรแกรมต้นแบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและอุปกรณ์ประกอบ รวมทั้งการประเมินสภาพ

1.5.2 ได้หลักการประเมินโดยใช้วิธี Weight Score Technique และการคำนวณโดยใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process : AHP)

1.5.3 ได้โปรแกรมอย่างง่ายโดยใช้ Microsoft Excel

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แรงดันที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 13.8 กิโลโวลต์ แต่จะไม่เกิน 20 กิโลโวลต์ เพราะจะมีปัญหาเกี่ยวกับฉนวนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและคำนวณถึงผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย ดังนั้นระบบส่งกำลังไฟฟ้าจึงมีจุดมุ่งหมายหลัก ๆ คือเพื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ หรือแหล่งจ่ายพลังไฟฟ้าเพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตต่าง ๆ กันไปยังจุดศูนย์กลางการจ่าย โหลด ในกรณีที่แหล่งผลิตต่าง ๆ อยู่ห่างกันเพื่อเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากระบบหนึ่งเข้ากับอีกระบบหนึ่ง (Tie Line) เมื่อในระบบหนึ่งมีกำลังผลิตไม่เพียงพอก็สามารถรับจากอีกระบบหนึ่งได้

2.1 ส่วนประกอบของการส่งไฟฟ้ากำลัง

จะแบ่งตามลักษณะหน้าที่การทำงานได้เป็น 5 กลุ่มดังต่อไปนี้คือ ฉนวน ส่วนที่กระโดดผ่าน โครงสร้างและฐานราก ส่วนป้องกันฟ้าผ่า และอุปกรณ์อื่น ๆ มีอุปกรณ์ย่อยประกอบดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ส่วนประกอบของระบบสายส่ง

อุปกรณ์ระบบสายส่ง (Sub-system)	ส่วนประกอบอุปกรณ์ระบบสายส่ง (Component)
ฉนวน (Insulation)	ลูกถ้วย (Insulator) เขตเดินสายส่งไฟฟ้า (Right of Way)
ส่วนที่กระโดดผ่าน (Current Carrying)	สายส่งไฟฟ้า (Conductors), อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า (Conductor's jumper) เกราะกันสาย (Armour Rod) ชุดคอมเพรสชันเดดเอนแกลมป์ (Compression Dead End) แคมป์ (Clamps) จุดต่อสายส่งไฟฟ้า (Conductor's Joint)

ตารางที่ 2-1 (ต่อ) ส่วนประกอบของระบบสายส่ง

อุปกรณ์ระบบสายส่ง (Sub-system)	ส่วนประกอบอุปกรณ์ระบบสายส่ง (Component)
โครงสร้างฐานราก (Construction and Foundation)	ลานบริเวณรอบเสา (Tower yard) รากฐาน (Foundation couple) นอตตัวผู้และนอตตัวเมีย (Bolts & Nuts) เหล็กเพลท (Plate) เหล็กสตัป (Stub)
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection)	สายโอเวอร์เฮดกราวนด์ (OHG/OPGW) อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮด กราวนด์ (OHG's jumper) คั่นกันกระแสไฟฟ้า (Arching horn) ระบบต่อลงดิน (Grounding)
อุปกรณ์อื่น ๆ (Accessories)	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก (Counter Weight) อุปกรณ์กันสาย (Demper) อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง (Vibration damper) ป้ายเตือนอันตราย (Danger sign) ป้ายเสา (Tower sign) ไฟแสดงตำแหน่งเสา (aviation lamp) สเต็ปโบลท์ (Step bolt)

2.1.1 ฉนวน (Insulation)

จะมีจะลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น

2.1.1.1 ลูกถ้วย (Insulator)

ลูกถ้วยฉนวนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับสายไฟ ทำหน้าที่เป็นฉนวนและป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหรือลัดวงจรลงดิน ในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแรงสูงมักใช้ลูกถ้วยแขวนซึ่งสายในอากาศ เพราะประหยัดค่านำสายไฟฟ้าหรือรองรับด้วยลูกถ้วยฉนวน เพื่รองรับน้ำหนักและแรงกลหลายรูปแบบที่เกิดขึ้น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไปสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ

1. แบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตได้ 3 ชนิด คือ

1.1 ลูกถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain Insulators)

โดยทำจากส่วนผสมของดินเหนียว อะลูมินา ดินขาว หินฟอสเฟต และ ควอตซ์ ถ้าใส่อะลูมินาสูงจะทำให้ทนแรงดึงได้สูง ลูกถ้วยที่ดีจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ค่าความคงทนทางไฟฟ้าประมาณ 60 กิโลโวลต์/เซนติเมตร
- ค่าความคงทนต่อแรงกดประมาณ 70000 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
- ความคงทนต่อแรงดึงประมาณ 500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 2-1 ลูกถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain Insulators) 230 กิโลโวลต์

1.2 ลูกถ้วยแก้ว (Glass Insulator)

ทำจากแก้วโดยนำแก้วมาหลอมแล้วเทลงในเบ้าหล่อที่จัดทำตามรูปที่ต้องการแล้วนำไปอบเพื่อเพิ่มความคงทน ปัจจุบันจะใช้เป็นชนิดแก้วเหนียว ลูกถ้วยแก้วที่ดีจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

- มีค่าความคงทนทางไฟฟ้าประมาณ 140 กิโลโวลต์/เซนติเมตร
- ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่อความร้อนต่ำจึงนำไปใช้งานในบริเวณที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาสูง ๆ ได้ โดยลูกถ้วยจะไม่แตกร้าวหรือหดตัว

- จากโครงสร้างของแก้วที่มีลักษณะใส จึงมองเห็นรูปพรุนหรือรอยแตกร้าวในเนื้อลูกถ้วยได้
- ลูกถ้วยแก้วมีค่าความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์น้อยกว่าเนื่องจากแก้วโปร่งใสจึงไม่ดูดความร้อน

ข้อเสียของลูกถ้วยแก้ว คือ จะมีไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะที่ผิวของลูกถ้วยได้ง่าย จึงทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าได้



ภาพที่ 2-2 ลูกถ้วยแก้ว (Glass Insulator)

2. แบ่งชนิดลูกถ้วยที่ใช้ในระบบสายส่ง

เมื่อลูกถ้วยฉนวนผลิตเสร็จแล้ว จากนั้นจะนำไปติดตั้งใช้งานซึ่งสามารถแยกประเภทการติดตั้งใช้งานหลัก ๆ ได้เป็น 2 รูปแบบ คือ 1.) ติดตั้งใช้งานแบบแขวน 2.) ติดตั้งใช้งานแบบยึดอยู่กับที่ลักษณะตั้งหรือนอน

ซึ่งจำเป็นต้องเรียกชื่อลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับการติดตั้งใช้งานด้วยโดยการเรียกชื่อลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าจะเรียกการติดตั้งใช้งานก่อนแล้วต่อด้วยวัสดุที่ใช้ทำลูกถ้วย แต่ในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงนิยมใช้ลูกถ้วยแขวน

ลูกถ้วยแขวน (suspension-type insulators)

มักจะใช้กับระบบแรงดันที่สูงกว่า 33 กิโลโวลต์ หรือกรณีที่สายไฟมีขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 240 ตารางมิลลิเมตร ขึ้นไป การติดตั้งสามารถนำลูกถ้วยมาต่ออนุกรมกันตามจำนวนที่เหมาะสมกับแรงดัน โดยลูกถ้วยแขวนมีข้อดีดังนี้

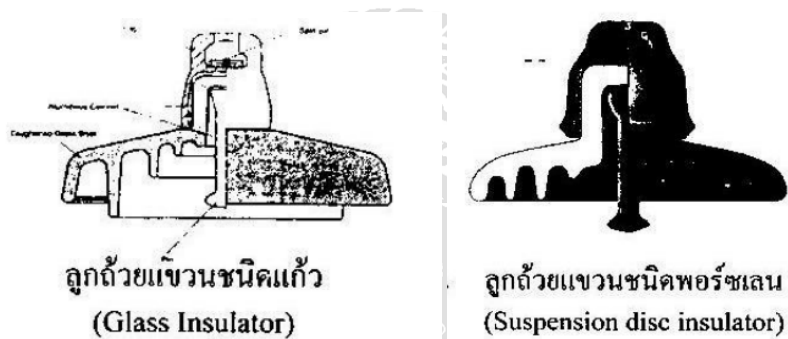
1. สามารถเพิ่มหรือลดจำนวนลูกถ้วยได้อย่างเหมาะสมกับระดับแรงดันที่ใช้งาน
2. กรณีลูกถ้วยถูกไคร้กัด สามารถถอดเปลี่ยนได้โดยลูกถ้วยอื่นยังสามารถใช้งานได้ อยู่ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
3. การติดตั้งในลักษณะแขวนลอย ทำให้สามารถปรับตัวรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว ส่วนค่าแรงบิดจะถูกขจัดหรือลดน้อยลง
4. การติดตั้งลูกถ้วยแขวนบนเสาโครงเหล็กจะช่วยลดปัญหาการถูกฟ้าผ่า เนื่องจากแขวนอยู่ใต้โครงเหล็ก และสายกราวด์เหนือศีรษะ โดยลูกถ้วยแขวนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด
 - 4.1. แบบสลัก (Clevis Type) จะมีลักษณะด้านบนเป็นแผ่นโลหะคู่เจาะรูกลม แนวเดียวกัน ส่วนด้านล่างเป็นแผ่นโลหะเดี่ยวเจาะรูอีกเช่นกัน และจะมีหมุดสำหรับขัด (Cotter Pin หรือ Split Pin) ในการต่อพวงลูกถ้วย
 - 4.2. แบบข้อต่อ (Ball and Socket Type) จะมีส่วนที่เป็นฉนวนเหมือนกับแบบสลักแต่ส่วนที่เป็นโลหะด้านบนและล่างจะแตกต่างกันคือ ส่วนบนจะเป็นเบ้าสำหรับข้อต่อกลม (Socket) ที่ผนังด้านข้างของเบ้าเจาะรูใส่หมุดทองเหลือง (Socket Key) เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกถ้วยหลุดออกจากกัน ส่วนล่างของลูกถ้วยเป็นแกนเหล็กปลายบานออก ส่วนที่เป็นแกนเหล็กจะขัดเข้าไปในข้อต่อ (Socket) ของลูกถ้วยลูกถัดมา และสอดหมุดยึดเบ้า (Socket Pin) เข้าไปในรูด้านข้างของเบ้านี้เพื่อขัดไม่ให้แกนเหล็กขยับไปมาตามแนวแกน

ลูกถ้วยแบบแขวนนี้เห็นวิธีการใช้ทั่ว ๆ ไป 2 แบบ คือ แบบติดตั้งแขวนลอย จะอยู่ในช่วงกลาง ๆ ของความยาวระบบสายส่งเพื่อรับแรงดึงสายในแนวดิ่ง แต่ที่ตามจุดโค้งหรือปลายสุดของระบบสายส่ง ลูกถ้วยแขวนนี้จะเรียงกันอยู่ในแนวนอนและสามารถรับแรงดึงของ

สายในแนวนอนได้ เรียกว่า แบบติดตั้งแนวนอน พิกัดแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนลูกถ้วยแบบแขวนแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 พิกัดแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนลูกถ้วย

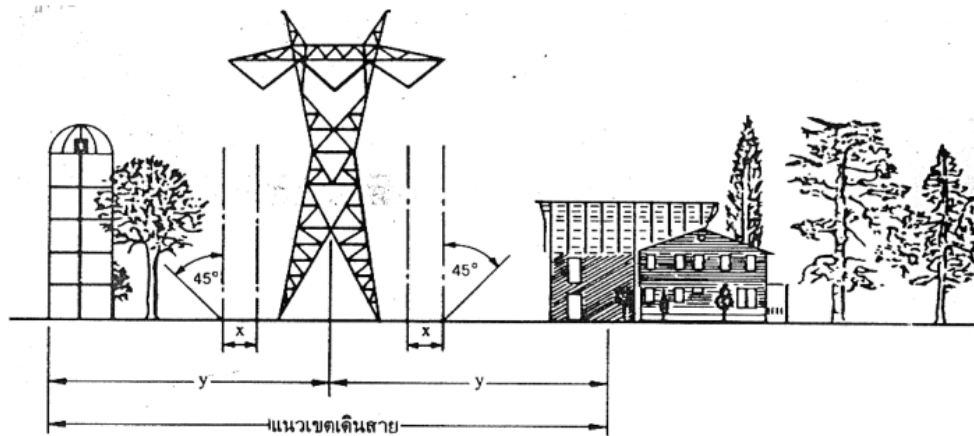
ขนาดแรงดันสายส่ง (kV)	แบบแขวนลอย	แบบรับแรงดึง
115	8	11
230	14	15
500	26	28



ภาพที่ 2-3 ลูกถ้วยแขวน (suspension-type insulators) แบ่งตามชนิดวัสดุ

2.1.1.2 แนวเขตเดินสาย (Right of way : ROW)

คือบริเวณพื้นที่ใต้แนวสายไฟที่ถูกสงวนไว้มิให้เอกชนเข้ามาดำเนินการก่อสร้าง หรือปลูกต้นไม้ และกระทำการอื่นใด อันจะเป็นเหตุให้กระทบกระเทือนต่อแนวสายไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน แนวเขตเดินสายจะกำหนดให้เป็นระยะทางไว้ค่าหนึ่งสำหรับแรงดันไฟฟ้าแต่ละระดับ ซึ่งระยะดังกล่าวนี้ จะวัดจากกึ่งกลางเสาออกมาทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะที่ สมมาตรกัน



ภาพที่ 2-4 มาตรฐานกำหนดแนวเขตเดินสาย

- ระยะ x คือ ระยะที่ต่ำสุดที่ยอมให้ต้นไม้สูงนอกแนวเขตลี้มเข้าหาเสา ถ้าต้นไม้สูงกว่าขีดกำหนดจะต้องร่นกิ่งให้อยู่ในพิภคที่ปลอดภัย
- ระยะ y คือ ระยะปลอดภัยเมื่อเสาล้ม ระยะห่างของแนวเขตที่ถูกกำหนดขึ้นนี้ จะสัมพันธ์กับความสูงของเสา และระดับแรงดันที่ใช้ส่งด้วย

โดยที่ระยะของ x และ y นั้นจะมีขนาดเท่าไรจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันของเสาส่งด้วยซึ่งจะแสดงค่าดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงระยะห่างแนวเขตเดินสายที่สัมพันธ์กับระดับแรงดัน

ระดับแรงดัน (kV)	แนว x (m)	แนว y (m)
69	2	9
115	3	12
220	4	20
500	6.5	40

2.1.2 ส่วนที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Lightning Protection) จะมีลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น

2.1.2.1 สายตัวนำไฟฟ้า (Conductor) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเลือกใช้ อะลูมิเนียมเป็นสายไฟฟ้าแรงสูง เพราะว่ามีสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ถึงจะด้อยกว่าทองแดงแต่จะมี น้ำหนักเบากว่าและราคาถูกกว่าทองแดง และสายไฟฟ้าแรงสูงจะเป็นสายอะลูมิเนียมเปลือยโดย ขนาดของสายส่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดัน สายส่งที่ใช้หลักๆอยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. สายอะลูมิเนียมล้วน (All Aluminium Conductor : AAC)

เป็นสายอะลูมิเนียมตีเกลียวเป็นชั้น ๆ โดยอาจมีอะลูมิเนียมรีดแข็งเป็น แกนกลาง ซึ่งจะทนแรงดึงได้ดีกว่าสายอะลูมิเนียมแกนเหล็กตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (TIS) ส่วนใหญ่จะใช้ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ที่ขนาดแรงดัน 69 กิโลโวลต์ และ 115 กิโลโวลต์สายอะลูมิเนียมล้วนสามารถึงสายให้มีระยะห่างของเสา (Span) มาก ๆ ได้ไม่เกิน 50 เมตร แต่ถ้าสายมีขนาด 95 ตารางมิลลิเมตร ขึ้นไปนั้นสามารถมีระยะห่างของเสาได้ไม่เกิน 100 เมตร สำหรับในระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ จะใช้สายเพียงขนาดเดียวคือ 400 ตารางมิลลิเมตร



ภาพที่ 2-5 สายอะลูมิเนียมล้วน (All Aluminium Conductor : AAC)

2. สายอะลูมิเนียมผสม (All Aluminium Alloy Conductor : AAAC)

มีส่วนผสมของอะลูมิเนียม 99% แมกนีเซียม 0.5% และซิลิกอน 0.5% โดยส่วนผสมของแมกนีเซียมและซิลิกอนจะทำให้สายชนิดนี้มีความแข็งแรง ทนแรงดึงได้สูงกว่าสายอะลูมิเนียมล้วน และส่วนผสมของแมกนีเซียมจะทนทานต่อการกัดกร่อนของไอเกลือหรือไอความเค็มของน้ำทะเลได้ สำหรับประเทศไทยได้นำสายชนิดนี้ไปติดตั้งในพื้นที่ภาคใต้ ใช้ที่แรงดัน 115 กิโลโวลต์



ภาพที่ 2-6 สายอะลูมิเนียมผสม (All Aluminium Alloy Conductor : AAAC)

3. สายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (Aluminium Conductor Steel Reinforced : ACSR)

สายไฟจะประกอบด้วยตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวเป็นชั้นๆภายในจะประกอบด้วยแกนเหล็กเป็นเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel) เป็นชนิดแท่งตันเดี่ยว และชนิดหลายเส้นตีเกลียวเพราะมีแกนเหล็กอยู่ตรงกลางทำให้รับแรงดึงได้สูงจึงสามารถขยายระยะห่างช่วงเสาได้เช่น ข้ามแม่น้ำ ในป่า หุบเขา เป็นต้น แต่จะไม่ใช้สายนี้ในบริเวณชายทะเลเพราะว่ามีแกนกลางเป็นเหล็ก โดยจะกำหนดระยะห่างจากทะเลเกินกว่า 1 กิโลเมตร สำหรับในระบบสายส่ง 115 กิโลโวลต์ จะใช้สายอะลูมิเนียมแกนเหล็กเพียงขนาดเดียวคือ 380/50 ตารางมิลลิเมตร



ภาพที่ 2-7 สายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (Aluminium Conductor Steel Reinforced : ACSR)

2.1.2.2 เกราะกันสายปลายเรียว (Tapered Armor Rods)

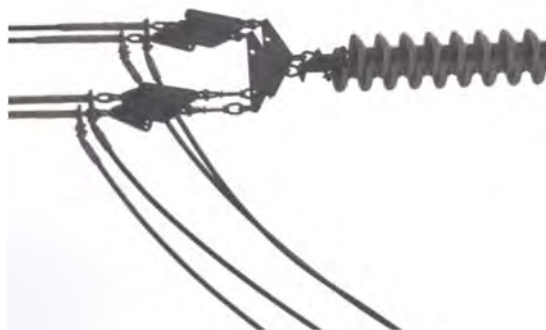
เป็นลวดอะลูมิเนียม ที่ใช้พันสายไฟฟ้า ตรงบริเวณที่ใช้แคลมป์แขวนสายเอาไว้ ใช้ป้องกันการชำรุดเสียหายของสายอื่นเนื่องจากแกว่งไปมา

2.1.2.3 ชุดคอมเพรสชันเดดเอนด์แคลมป์ (Compression Dead End Clamp)

เป็นชุดสำหรับจับปลายสายยึดเข้ากับตัวเสามีหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดของสายไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย ชุดแกนเหล็กปลายเป็นเคลวิส (Clevis) หรือชนิดโอวอล (Oval) ตัวอะลูมิเนียมเดดเอนด์ (Aluminum Dead End Body) และตัวต่อ จัมเปอร์อะลูมิเนียม (Aluminum Jumper Connector) เป็นชนิดต่อด้วยปลายแผ่นประกบยึดนอตตัวเมีย ซึ่งมีคุณสมบัติของการทนแรงดึงจะต้องไม่น้อยกว่า 95% ของแรงดึงสูงสุดที่สายไฟฟ้าทนได้ และความนำไฟฟ้าจะต้องไม่น้อยกว่าของสายส่ง

2.1.2.4 สเตรนแคลมป์ (Strain Clamp)

เป็นตัวรับสายไฟฟ้าหรือโอเวอร์เฮดกราวด์ เพื่อยึดติดกับชุดลูกถ้วย ทำด้วยโลหะผสมอะลูมิเนียมใช้ในการดึงสายติดกับพวงลูกถ้วย ส่วนนอตตัวผู้และนอตตัวเมีย เป็นเหล็กเหนียวอบสังกะสี



ภาพที่ 2-8 สเตรนแคลมป์ (Strain Clamp)

2.1.2.5 แคลมป์แขวนสาย (Suspension Clamp)

ทำด้วยโลหะผสมเหล็กผสมอะลูมิเนียมใช้จับสายไฟฟ้า โยมีพรีฟอร์มอาร์เมอร์รอก (Preformed Armor Rod) พันทับสายก่อน แคลมป์นี้จะใช้งานในลักษณะหุ้มสายตัวนำ (Conductor) หรือสายโอเวอร์เฮดกราวด์ไว้กับเสา ลักษณะของแคลมป์จะต้องไม่เป็นเหลี่ยม ปลายแหลมคม เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากโคโรนา ความสามารถในการรับแรงต้องไม่น้อยกว่าชุดของลูกถ้วย ในกรณีที่เกิดการไม่สมดุลที่แคลมป์จะต้องทนแรงที่จะทำให้สายเลื่อนได้ไม่น้อยกว่า 25% ของแรงดึงสูงสุดที่สายนั้นจะทนได้ ส่วนประกอบของแคลมป์แขวนสาย ประกอบด้วยตัวแคลมป์ ปลิ้น และยูโบลท์



ภาพที่ 2-9 แคลมป์แขวนสาย (Suspension Clamp)

2.1.3 อุปกรณ์กลุ่มโครงสร้างและฐานราก

จะมีจะลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น

2.1.3 1 เสาส่งแรงสูง (Tower) แบ่งตามลักษณะวัสดุที่ใช้สร้างได้แก่

1. เสาโครงเหล็ก (Steel Tower)

เป็นเสาไฟฟ้าที่มีความแข็งแรงมาก ทำด้วยเหล็กฉากประกอบเข้าด้วยกัน มีความสูงไม่ต่ำกว่า 10 เมตร และเสาโครงเหล็กจะมีฐานตั้งอยู่บนพื้นหลายจุด โดยปกติแล้วจะมีฐาน 4 ขา ตั้งอยู่บนพื้นรากที่แข็งแรง ซึ่งเสาโครงเหล็กส่วนใหญ่ใช้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ที่มีระดับแรงดัน ตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ ขึ้นไป เพราะจะต้องรองรับน้ำหนักและแรงดึงของสายตัวนำที่มีขนาดใหญ่ โดยขนาดและความสูงของเสามักจะออกแบบให้สัมพันธ์กับขนาดสาย แรงดึงของสาย และระดับแรงดันที่ใช้งานด้วย ซึ่งเสาโครงเหล็กยังสามารถแบ่งตามประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) แบ่งตามประเภทรูปทรงทางสถาปัตยกรรม

- เสาโครงสร้างเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นเสาที่มีความแข็งแรงสูง นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูง
- เสาโครงเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้าใช้กับวงจรไฟฟ้าแรงเดียว
- เสาโครงเหล็กแบบคอร์เซกมีส่วนตรงกลางเสาคอด โดยปกติจะใช้กับวงจรสายส่งไฟฟ้าชนิดที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงและมีระยะห่างช่วงเสายาว
- เสาโครงเหล็กรูปขาห้อยตั้งบนปั้นจั่น หรือเสาโครงเหล็กแบบแกนทรีใช้สำหรับวงจรสายส่งไฟฟ้าพาดผ่านรางรถไฟ ถนน และแม่น้ำ
- เสาโครงเหล็กแบบหมุนจะมีส่วนบนของเสาหมุนได้เป็นมุม 45° คือสามารถปรับตำแหน่งมุมต่างๆ ได้โดยใช้สลักเกลียวในการปรับมุม
- เสาโครงเหล็กแบบเอ็มซีเสาโครงเหล็กทั้ง 4 มุมทำด้วยท่อเหล็กอุดตันด้วยซีเมนต์
- เสาโครงเหล็กแบบยึดโยงจะก่อสร้างเป็นข้อต่อ โดยมีเส้นลวดโยงช่วยยึดโครงสร้างและสามารถยืดหยุ่นในการรับแรงกระทำได้



ภาพที่ 2-10 ลักษณะเสาโครงเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2) แบ่งตามประเภทตามลักษณะการติดตั้ง

- ชนิดยึดติดแน่นมีคุณสมบัติดังนี้คือ เสาโครงเหล็กชนิดนี้มีขามากกว่า 3 ขาขึ้นไป สามารถรับน้ำหนักของสายได้ทั้งหมด มีความแข็งแรงมาก และสามารถรับแรงได้ทุกทาง

- ชนิดขยับไหวมีคุณสมบัติดังนี้คือจะประกอบด้วยขาของเสาโครงเหล็กเพียง 2 ขา ดังนั้นจึงมีแนวเบี่ยงเบนหรือโน้มเอียงตามแนวสายส่งกำลังไฟฟ้าได้ แต่จะต้องออกแบบให้อยู่ในสถานะสมดุล กล่าวคือน้ำหนักที่จุดศูนย์ถ่วงของเสาโครงเหล็กจะต้องอยู่ในทิศทางของฐานเสาส่ง ซึ่งเสาชนิดนี้จะสามารถรับแรงได้เฉพาะในแนวตั้งฉากกับสายส่งเท่านั้น และสามารถโยกไหวตามแนวสายส่งได้

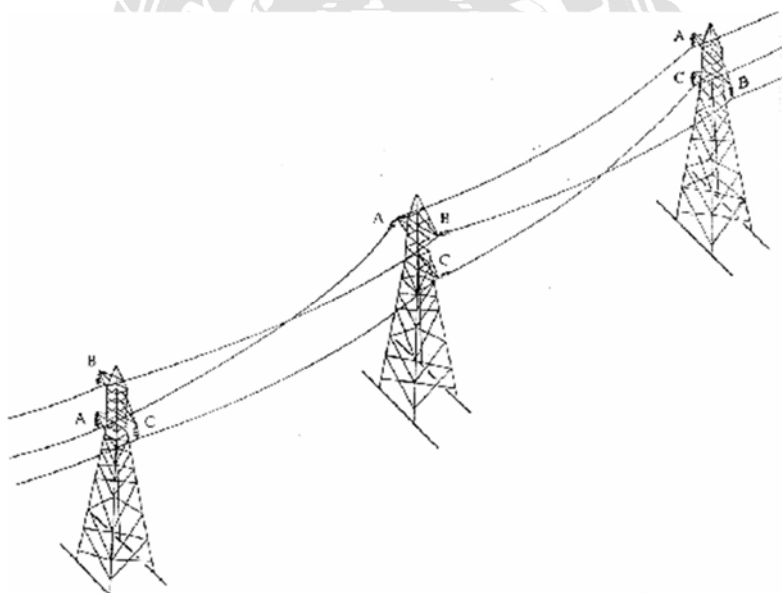
3) ประเภทตามลักษณะการชิงวงจรไฟฟ้าใช้งาน

- ชนิดวงจรเดี่ยวมีคุณสมบัติดังนี้คือเสาต้นหนึ่งจะมีเฉพาะเฟส A B และ C ทั้งนี้ในแต่ละเฟสจะเป็นตัวนำเดี่ยว หรือตัวนำคู่ควบก็ได้

- ชนิดวงจรคู่คุณสมบัติดังนี้คือ ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักได้มาก
โครงสร้างต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง

4) แบ่งตามประเภทตามลักษณะการไขว้สลับเฟสสายตัวนำ (Transposition)

เนื่องจากวงจรการส่งกำลังไฟฟ้าระยะปานกลางและระยะยาวจะต้องมีการไขว้สลับเฟสสายตัวนำ เพื่อให้ค่าการเหนี่ยวนำ (Reactance) ในตัวนำสายส่งมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด แรงดันตกคร่อมค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 เฟส และกระแสที่ไหลในแต่ละเฟสจะมีค่าใกล้เคียงกันด้วย ซึ่งการนี้จะต้องมีการออกแบบเสาโครงเหล็กสำหรับการไขว้สลับเฟสโดยเฉพาะ เช่น เสาโครงเหล็กสำหรับการไขว้สลับเฟสสายตัวนำวงจรเดี่ยว เสาโครงเหล็กสำหรับจุดประสงค์ตามข้อนี้จะมีครอสอาร์มเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า และการไขว้สลับเฟสสายตัวนำจะกระทำใน 2 ช่วงเสา ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 การไขว้สลับเฟสสายตัวนำ (Transposition)

ส่วนประกอบเสาโครงเหล็ก แบ่งออกเป็น 5 ส่วนได้แก่

1) ฐานราก (Foundation)

ส่วนของเสาโครงสร้างเหล็กที่เป็นฐานของเสา โดยมีส่วนอยู่ใต้ระดับพื้นผิวดินเป็นส่วนใหญ่ และจะมีส่วนที่โผล่หุ้มเหล็กขาเหนือพื้นดิน ประกอบด้วยเหล็กสตั๊บ (Stub) ซึ่งเป็นเหล็กฉากขนาดใหญ่และเหล็กสาน (Reinforcement Bar) ส่วนด้านล่างของฐานรากอาจจะมีเสาเข็มด้วยหรือไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและชนิดของฐานรากที่เลือกใช้ เฉพาะส่วนของคอนกรีต (Concrete) เหนือระดับผิวดินนั้น เพื่อให้เสาโครงสร้างเหล็กมีความแข็งแรง จะต้องมีการถมดินอัดโดยรอบฐานไว้ (Backfill) โดยทั่วไปฐานรากมี 3 ชนิด คือชนิดมีเสาเข็มชนิดฐานแผ่ และชนิดแท่งตรง

2) ส่วนขา จะมี 2 ลักษณะ คือ ขาต่าง และ ขาค่อ

ขาต่างใช้ในกรณีที่สภาพที่ตั้งเสาต่างระดับกัน เช่น บริเวณไหล่เขา เนินเขา เพื่อที่จะจัดให้ระดับขาเสาทั้งสี่เท่ากัน จะได้ประกอบเสาโครงสร้างเหล็กชั้นต่อไป ส่วนขาค่อจะเป็นชิ้นส่วนของเสาโครงสร้างเหล็กที่ต่อจากสตั๊บ (Stub) ขึ้นมา โดยมีขาต่อหลายระดับความสูงตามความต้องการ แต่ถ้ามีการต่อขาต่อมากขึ้นอาจจะทำให้ความแข็งแรงของเสาโครงสร้างเหล็กลดลง ซึ่งมีวิธีแก้ไขในกรณีที่ต้องการความสูงเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มส่วนต่อ (Body Extension) แทนซึ่งต่อจากขาไปยังส่วนประกอบร่วม (Common Part)

3) ส่วนต่อ (Body Extension)

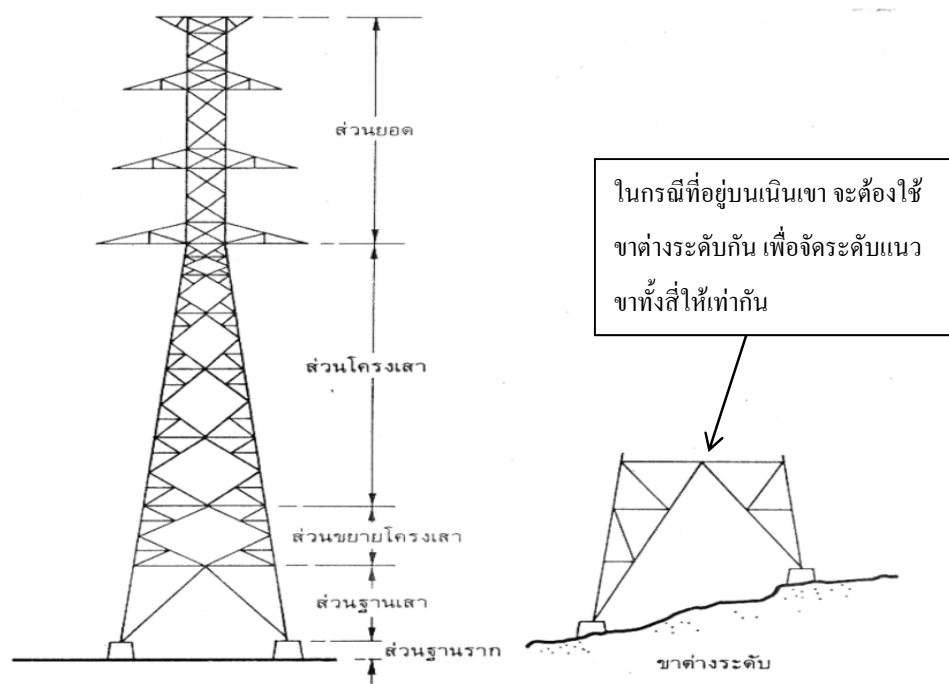
เป็นส่วนที่เสริมความสูงของเสาโครงเหล็ก กรณีที่มีการเดินสายข้ามอีกวงจรหนึ่ง หรือเดินสายผ่านชุมชนที่มีอาคารสูง เพราะถ้าเพิ่มความสูงโดยการเสริมขาต่อมากเกินไป อาจทำให้เสาโครงสร้างเหล็กไม่แข็งแรงจึงใช้วิธีการเพิ่มส่วนต่อ

4) ส่วนกลาง (Common Body)

เป็นส่วนลำตัวของเสาจะประกอบด้วยขาเสาหลัก (Main Leg) และเหล็กทแยง (Bracing) ตั้งแต่ครอสอาร์มอันล่างลงมาจนถึงส่วนขาของเสา

5) ส่วนยอด (Top Part)

ประกอบด้วยครอสอาร์มสำหรับติดตั้งพวงลูกถ้วยแขวนสายตัวนำ และครอสอาร์มสำหรับติดตั้งสายกราวด์เหนือศีรษะ (Overhead Ground Wire : OHG)



ภาพที่ 2-12 ส่วนประกอบของเสาโครงเหล็ก



ภาพที่ 2-13 เสาโครงเหล็กในระบบส่ง
500 กิโลโวลต์



ภาพที่ 2-14 เสาโครงเหล็กในระบบส่ง
230 กิโลโวลต์



ภาพที่ 2-15 เสาโครงเหล็กในระบบส่ง 115 กิโลโวลต์

2.1.3 2 อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น

1. เหล็กเพลท (Steel Plate) เป็นเหล็กแผ่นที่ใช้สำหรับสานต่อเหล็กฉากเข้าด้วยกัน
2. ป้ายเตือนอันตราย (Danger Sign) เป็นแผ่นสังกะสีสีเหลืองมติดบริเวณโคนเสา พื้นที่สีเหลือง ตัวอักษรสีแดง ใช้ประโยชน์สำหรับเตือนบุคคลทั่วไปไม่ให้ปีนขึ้นบนเสา ส่วนมากจะติดไว้กับเสาที่ใกล้ย่านชุมชน ที่พักอาศัยติดกับถนนหนทางสัญจรไปมา
3. นอตตัวผู้และนอตตัวเมีย (Bolts and nuts) ใช้สำหรับยึดส่วนต่าง ๆ ของเสาเข้าด้วยกัน

4. เหล็กstub (Stub) เป็นเหล็กซึ่งฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตของฐานรากต่อกับเหล็กขา โดยใช้เหล็กประกบด้านในและด้านนอกยึดด้วยนอตตัวผู้และนอตตัวเมีย เนื่องจากอาจมีปัญหาเรื่องน้ำท่วมฐานรากและเหล็กเมมเบอร์ (Member) ซึ่งจะทำให้เกิดสนิมได้ การแก้ปัญหาทำได้โดยการใช้สปีทูนีสทาเคลือบผิวเหล็กไว้



ภาพที่ ก บริเวณขาหลัก

ภาพที่ ข บริเวณจุดต่อโครงสร้าง

ภาพที่ 2-16 นอตตัวผู้และนอตตัวเมีย (Bolts and nuts)



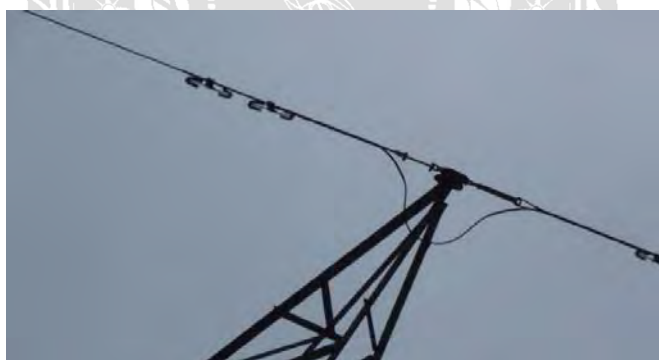
ภาพที่ 2-17 เหล็กstub (Stub)

2.1.4 อุปกรณ์กลุ่มป้องกันฟ้าผ่า

จะมีจะลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น

2.1.4.1 สายโอเวอร์เฮดกราวด์ (OHG)

ทำหน้าที่ป้องกันสายไฟฟ้าไม่ให้เสียหายเนื่องจากถูกฟ้าผ่า สายนี้จะจึงอยู่เหนือสายไฟฟ้าบนขดเสาและมีสายต่อลงดินตามลักษณะการออกแบบ การติดตั้งสายโอเวอร์เฮดกราวด์จะต้องมีมุมครอบคลุมสายไฟฟ้าทุกเส้นได้ทั้งหมด ดังจะเห็นว่าเสาบางแบบมีสายโอเวอร์เฮดกราวด์เพียงเส้นเดียว บางแบบมี 2 เส้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการป้องกันฟ้าผ่าสายไฟฟ้าได้ และเนื่องด้วยสายโอเวอร์เฮดกราวด์เป็นหลักจึงมีปัญหาเรื่องการเกิดสนิมซึ่งเป็นอันตรายต่อสายมาก จึงป้องกันโดยการใช้สายเหล็กอาบสังกะสีหรืออาบอะลูมิเนียมเพื่อป้องกันสนิมดังกล่าว สายโอเวอร์เฮดกราวด์ทั่วไปจะประกอบด้วยเหล็ก 7 เส้น มีใช้หลายขนาด เช่น ขนาด 38 ตารางมิลลิเมตร 50 ตารางมิลลิเมตร และ 55 ตารางมิลลิเมตร โดยทั่วไปสายโอเวอร์เฮดกราวด์แยกได้เป็น 3 ชนิดคือ สายเหล็กตีเกลียวอาบสังกะสี สายเหล็กตีเกลียวอาบอะลูมิเนียม และสายเหล็กตีเกลียวเคลือบอะลูมิเนียม

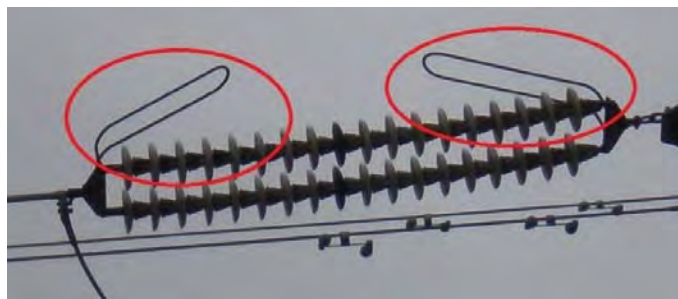


ภาพที่ 2-18 สายโอเวอร์เฮดกราวด์ (OHG)

2.1.4.2 อาร์คชิงฮอร์น (Arcing Horn)

เป็นโลหะยาวโค้งมีลักษณะคล้ายเขาสัตว์ ใช้เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้า เมื่อเกิดฟ้าผ่าทำให้กระแสผ่านช่องว่างอากาศลงสู่ดินโดยระยะอาร์คของอาร์คชิงฮอร์นจะต้องน้อยกว่าระยะทางตามผิวลูกถ้วยจากสายไฟถึงครอสอาร์มที่แขวนพวงลูกถ้วย เพื่อป้องกันการเกิดวบไฟ

ตามฟิวลูกถ้วยปกติจะติดตั้งกับพวงลูกถ้วยแรงดันสูงตั้งแต่ 115 กิโลโวลต์ ขึ้นไป แต่อาจจะใช้กับแรงดันต่ำกว่าก็ได้ถ้าบริเวณนั้นเกิดฟ้าผ่าบ่อย ๆ



ภาพที่ 2-19 อาร์คซิงฮอร์น (Arcing Horn)

2.1.4.3 ระบบต่อลงดิน (Grounding)

เป็นส่วนที่อยู่กับฐานรากของเสาโครงเหล็ก โดยทั่วไปตามแบบของ กฟผ. กำหนดให้ทำที่ฐานรากสอบฐานหรือสี่ฐานตามความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ความต้านทานของเดิมลดลง ซึ่งจะทำให้สามารถรับประจุที่ถ่ายจากตัวเสาลงดินได้มากที่สุด ค่าความต้านทานของดินกำหนดไว้ไม่เกิน 10 โอห์ม ระบบต่อลงดินประกอบด้วยกราวด์รูด (Ground Rod) หรือเคาน์เตอร์พอยส์ (Counter Poise) ซึ่งฝังดินและมีสายต่อยึดติดกับสตั๊ป (Stub) โดยมีกราวด์เพลท (Ground Plate) เป็นตัวยึด

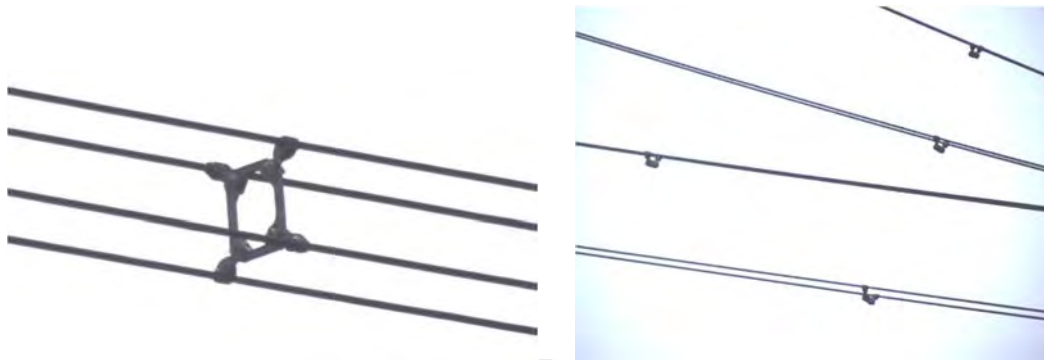
2.1.5 อุปกรณ์อื่นๆ (Accessories)

จะมีลักษณะและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น

2.1.5.1 อุปกรณ์คั่นสาย (Spacer)

เป็นโลหะอลูมิเนียมผสมที่ใช้สำหรับค้ำสาย 2 เส้นที่อยู่ภายในเฟสเดียวกันให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันตลอดความยาวของสายนั้นเพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาสายแกว่งพันกันขณะที่มีลมปะทะหรือเกิดแรงดูดระหว่างสายขณะที่มีกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านสายตัวนำนั้น อุปกรณ์คั่นสายจะค้ำสายให้ห่างกันประมาณ 20-40 เซนติเมตรและจะวางไว้เป็นช่วง ๆ โดยให้มีระยะห่างกันประมาณ 15-40 เซนติเมตรซึ่งคุณสมบัติของอุปกรณ์คั่นสายจะต้องมีความแข็งแรงและ

เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพื่อป้องกันการอาร์ค เมื่อมีการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าระหว่างสาย และจะต้องไม่ทำให้เกิดโคโรนา



ภาพที่ ก แบบ 4 สายตัวนำ

ภาพที่ ข แบบ 4 สายตัวนำ

ภาพที่ 2-20 อุปกรณ์คั่นสาย (Spacer)

2.1.5.2 สเต็ปโบลท์ (Step Bolt)

เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว ยาว 14 เซนติเมตร ยึดไว้ที่ขาเสาหลัก (Main Leg) โดยติดเป็นระยะที่ขาใดขาหนึ่งจนถึงบันไดเพื่อมีไว้สำหรับขึ้นเสา



ภาพที่ 2-21 สเต็ปโบลท์ (Step Bolt)

2.1.5.3 อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง (Vibration Damper)

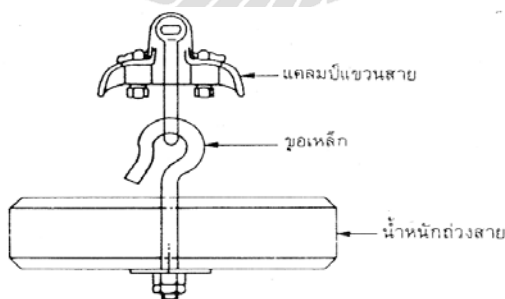
ใช้เป็นตัวลดแรงสั่นสะเทือนในสายที่เกิดจากแรงลมปะทะสาย ถ้าปล่อยให้สายแกว่งโดยไม่ได้ลดแรงสั่นสะเทือน อาจทำให้สายตีเกลียวตรงจุดที่ติดกับแคลมป์ยึดสายชำรุดได้ อุปกรณ์หน่วงการแกว่งนี้จะติดไว้ใกล้ ๆ กับแคลมป์แขวนสาย มีระยะห่างเป็นระยะ ๆ ทั้งสองด้าน



ภาพที่ 2-22 อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง (Vibration Damper)

2.1.5.4 น้ำหนักถ่วงสาย (Counter Weight)

โดยจะใช้ยึดกับสายไฟเพื่อเพิ่มน้ำหนักกลงบนสายไม่ให้สายและพวงลูกถ้วยยกตัวขึ้น จะติดตั้งเฉพาะเสาที่มีปัญหาเท่านั้น อุปกรณ์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วยแคลมป์ยึดสาย ขอเหล็ก และน้ำหนักถ่วงสายซึ่งทำจากเหล็กหรือซีเมนต์ มีลักษณะกลมหรือสี่เหลี่ยม จะมีน้ำหนักลูกละประมาณ 30 กิโลกรัมขึ้นไปทั้งนี้จะต้องอยู่ในเงื่อนไขของระยะห่างมาตรฐานของสายกับโครงเหล็กเสาส่งหรือพื้นดิน



ภาพที่ 2-23 น้ำหนักถ่วงสาย (Counter Weight)

2.2 ข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้า (Performance Evaluation Criteria)

2.2.1 อายุ (Age)

ในระบบส่งไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ในการส่งไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่หรือสินทรัพย์อื่น ๆ เช่นนอตและส่วนประกอบในระบบส่งอื่น ๆ จะถูกควบคุมรักษาเพื่อให้บริการไม่บกพร่อง ระหว่างการใช้งานปกติความคงทนทางกลและทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ค่อย ๆ เสื่อมลงจนบางชนิดของความล้มเหลวที่เกิดขึ้น กระบวนการนี้เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นกระบวนการอายุ อายุหมายถึงความแข็งแรงของอุปกรณ์ที่ทวีความรุนแรงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปตามลำดับ ในตารางที่ 2-4 ก็แสดงประเภทของการเสื่อมสภาพของกระบวนการอายุ

ตารางที่ 2-4 ประเภทของการเสื่อมสภาพที่เกิดจากอายุลำดับเวลา

ประเภทของการเสื่อมสภาพ	คำอธิบาย
การผุกร่อน (Corrosion)	การรวมกันของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่อยู่บริเวณโดยรอบเป็นผลในการย่อยสลายทางเคมีทำให้วัสดุเกิดความสูญเสียคุณสมบัติทางกลหรือความคงทนทางไฟฟ้า
การสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss)	กลไกต่างๆเช่นการปนเปื้อนในไดอิเล็กตริกนำไปสู่การสูญเสียความคงทนต่อความเครียดไฟฟ้า
การหดตัว (Shrinkage)/การแข็งตัว (Hardening)	กระดาษ ยาง วงแหวนอัดลูกสูบที่เป็นวัสดุและตราประทับสามารถแข็งตัวหรือหดตัวในช่วงเวลาหนึ่งและจะสูญเสียความสามารถเมื่ออยู่ภายใต้ความชื้นหรือมีความดัน
การเก็บรักษาความชื้น (Moisture retention)	การดูดซึมน้ำเข้าวัสดุค่อย ๆ มีผลทำให้เกิดสูญเสียความคงทนทางกลหรือทางไฟฟ้า

2.2.2 ความเครียดการใช้งาน (Stress)

ความเครียดไฟฟ้าหมายถึงความเสียหายที่เกิดความร้อนที่อาจเกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ระบบส่งไฟฟ้ามารับภาระกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าเกินขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ ผลของกรณีนี้มันอาจเกิดจากการเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวหรือเกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ หรือไม่เป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่อง

จากกรณีดังกล่าวสุดท้ายสามารถระบุเวลาเฉพาะในมิลลิวินาทีเท่านั้นทราบได้ที่เงื่อนไขยังคงมีอยู่ ซึ่งสามารถมองเห็นความเสียหายทั้งภายนอกและภายในที่เกิดจากความเครียดไฟฟ้า

2.2.3 อาการเสีย (Symptom)

ก็จะมีสัญญาณใด ๆ เข้ามารบกวนการทำงานในระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ อาการเสียเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้ด้วยการมองเห็นหรือจากอุปกรณ์ตรวจจับอื่น ๆ สิ่งที่มาารบกวนการทำงาน เช่น เกิดจากแรงดันเกินไฟฟ้า ผ่า แรงดันเกินสวิตซ์ซึ่ง แรงดันเกินชั่วขณะ หรือแรงดันต่ำกว่าปกติ เป็นต้น ทำให้อุปกรณ์บางส่วนแสดงอาการเสียที่จะนำไปสู่ความล้มเหลวในการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น การดิสชาร์จบางส่วน การรวบไฟ การอาร์ค หรือการเกิดโคโรน่า เป็นต้น

2.2.4 ประเภทการล้มเหลว (Failed-type)

อุปกรณ์ในระบบส่งมีการวิเคราะห์จากสถิติความล้มเหลวซึ่งเป็นหมายเลขของเหตุการณ์และข้อมูลพื้นฐานที่กักไว้ใช้ประโยชน์ ในเวลาที่กำหนดเป็นเวลานานเนื่องจากเหตุนี้จะวิเคราะห์ทางสถิติความล้มเหลว ทำได้โดยการแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าต่ออัตราความล้มเหลวของแต่ละผู้ผลิตและแต่ละรุ่นจะต้องคำนวณและเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ อัตราความล้มเหลวสามารถคำนวณได้ในสมการที่ 2-1

$$\text{Failure Rate} = \frac{\text{Number of failure}}{\text{Total usage time}} \quad (2-1)$$

ในสมการที่ 2-1 อัตราความล้มเหลว (Failure Rate) หมายถึงอาการความถี่ต่อปีของอุปกรณ์ของผู้ผลิตใด ๆ และรูปแบบ เพราะสถานีย่อยอุปกรณ์รองของผู้ผลิตใด ๆ ที่ไม่เหมือนกัน อัตราความล้มเหลวของผู้ผลิตแต่ละรายควรได้รับการคำนวณโดยใช้หลักเกณฑ์เดียวต่อ 100 อุปกรณ์ ดังนั้นสมการที่ 2-1 มีการแก้ไขในขณะที่สมการที่ 2-2

$$\text{Failure Rate} = \text{Failure Rate} \times 100 \quad (2-2)$$

อัตราความล้มเหลวที่คำนวณได้สามารถช่วยในการตัดสินใจต่อผู้ผลิตที่ผลิตอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูงและประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าสำหรับรูปแบบที่อุปกรณ์

2.2.5 เทคโนโลยีล้าสมัย (Obsolescence)

การเสื่อมสภาพทางเทคโนโลยีเป็นความสูญเสียอย่างแท้จริงต่อผลประโยชน์ของสินทรัพย์เนื่องจากการพัฒนาของเทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ที่ดีกว่าก่อกวนการเสื่อมสภาพทางกายภาพ มีปัจจัยสำคัญหลายประการสำหรับการประเมินเทคโนโลยีล้าสมัยมีดังนี้

ก. ชิ้นส่วนอะไหล่ที่พร้อมใช้งานตัวอย่างเช่นถ้าอุปกรณ์บางส่วนเกิดความล้มเหลว สิ่งที่เกิดขึ้นต้องแทนที่ด้วยใหม่ แต่มันไม่ได้เป็นส่วนอะไหล่ในเวลาเช่นนั้นก็ไม่สามารถส่งไฟฟ้าไปที่จุดโหลดซึ่งได้รับความเสียหายและผลกระทบต่อระบบ เช่นเดียวกับความน่าเชื่อถือของระบบ ดังนั้นชิ้นส่วนอะไหล่ของอุปกรณ์ที่ควรจะมีในเวลาชิ้นส่วนอะไหล่จะแบ่งออกเป็น 5 ระดับที่คือ 1. มีอยู่ 2. มีอยู่แต่เสียเวลาสั่งซื้อและขาดแต่ยังคงผลิตอยู่ 3. ไม่ผลิต 4. แก๊ซไม่พร้อมใช้งาน 5. ไม่สามารถแก้ไข

ข. หลังจากการขายต้องมีบริการที่มีคุณภาพประกอบไปด้วยการให้บริการโดยผู้ผลิต เช่นบุคลากรมาให้ความรู้หรือคำปรึกษา พนักงานซ่อมบำรุงและการบริการลูกค้า

ค. ล้าสมัยเทคโนโลยีหมายถึงนวัตกรรมของเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วโดยคำนึงการทำงานในอนาคต เป็นผลให้เทคโนโลยีใหม่และรูปแบบอุปกรณ์ใหม่ไหลออกมาเพื่อรองรับเทคโนโลยีในอนาคต

2.2.6 ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (Environment and safety)

สิ่งแวดล้อมบางพื้นที่จะมีผลกระทบต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้า เช่น พื้นที่ติดชายทะเลจะทำให้มีคราบไอเกลือเกาะตามอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ถ้าอยู่ใกล้เขตอุตสาหกรรมจะมีคราบฝุ่นและคราบสารเคมีจากโรงงาน ความปลอดภัยจะคำนึงถึงระยะห่างระหว่างสายตัวนำกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง การหย่อนของสายทำให้มีระยะใกล้พื้นดินทำให้เกิดการผิดพลาดลงดินได้ง่าย

2.3 ดัชนีสุขภาพของอุปกรณ์ (Health Index)

สภาพของอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้าได้รับการประเมินตามปกติโดยการทดสอบไฟฟ้า การทดสอบทางกลและการตรวจสอบภาพ เกณฑ์การให้คะแนนและเทคนิคการถ่วงน้ำหนักมาใช้ในการคำนวณอัตราร้อยละของดัชนีสุขภาพ

2.3.1 การให้น้ำหนัก (Weight) และการให้คะแนน (Score) ของอุปกรณ์

ด้วยการปรับปรุงเกณฑ์การให้คะแนนและเทคนิคการถ่วงน้ำหนักในรูปแบบของการวิเคราะห์แบบหลายเกณฑ์ถูกนำไปใช้กับสภาพของอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้าและระดับของความสำคัญของการประเมินผล

2.3.2 การคำนวณดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (Equipment Performance Index : EPI) และดัชนีการปรับปรุงอุปกรณ์ (Equipment Renovation Index : ERI)

สำหรับการประเมินผลเทคนิคกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับในการจัดหมวดหมู่ระดับความสำคัญของปัจจัยการเสื่อมสภาพและหน้าที่ของอุปกรณ์ เมื่อรับการประเมินจะแบ่งเป็น 3 โชนสีที่แตกต่างกัน โดยโชนสีเขียวหมายถึงสุขภาพดี โชนสีเหลืองหมายถึงสุขภาพปานกลาง ต้องระมัดระวัง และโชนสีแดงหมายถึงสุขภาพแย่ มีความเสี่ยงที่ระบบจะล้มเหลวสูง มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\% S_j = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^n (\% S_{i,max} \times W_i)} \times 100 \quad (2-3)$$

เมื่อ %S_j คือ เปอร์เซนต์สภาพของกลุ่มอุปกรณ์หลักจากอุปกรณ์ย่อยในแต่ละปัจจัย

S_i คือ คะแนนที่ประเมินสภาพของอุปกรณ์ย่อยในกลุ่มอุปกรณ์หลัก

S_{i,max} คือ คะแนนที่ประเมินสูงสุด

W_i คือ น้ำหนักของอุปกรณ์ย่อย

n คือ จำนวนอุปกรณ์ย่อยในกลุ่มอุปกรณ์หลัก

i คือ อุปกรณ์ย่อย

จากสมการที่ 2-3 จะคำนวณเปอร์เซ็นต์สภาพกลุ่มอุปกรณ์หลักได้ โดยจะใส่คะแนนตามปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน เมื่อได้เปอร์เซ็นต์สภาพกลุ่มอุปกรณ์ครบทุกปัจจัยจะนำไปใช้คำนวณหาดัชนีสุขภาพในสมการที่ 2-4

$$\%HI_k = \frac{\sum_{j=1}^m (\%S_j \times w_j)}{\sum_{j=1}^m (\%S_{j,max} \times w_j)} \times 100 \quad (2-4)$$

เมื่อ $\%HI_k$ คือ เปอร์เซ็นต์ดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์

$\%S_{j,max}$ คือ เปอร์เซ็นต์สภาพของกลุ่มอุปกรณ์สูงสุด

w_j คือ น้ำหนักของปัจจัยการเสื่อมสภาพ

m คือ จำนวนปัจจัยการเสื่อมสภาพ

j คือ ปัจจัยการเสื่อมสภาพ

ในสมการที่ 2-4 จะคำนวณเปอร์เซ็นต์ดัชนีสุขภาพของทุกกลุ่มอุปกรณ์ โดยใช้คะแนนเป็นเปอร์เซ็นต์สภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย จะได้เปอร์เซ็นต์ดัชนีสุขภาพของทุกกลุ่มอุปกรณ์นำไปคำนวณหาดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้าในสมการที่ 2-5

$$\%EPI = \frac{\sum_{k=1}^p (\%HI_k \times w_k)}{\sum_{k=1}^p (\%HI_{k,max} \times w_k)} \times 100 \quad (2-5)$$

เมื่อ $\%EPI$ คือ เปอร์เซ็นต์ดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

$\%HI_{k,max}$ คือ เปอร์เซ็นต์ดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์สูงสุด

w_k คือ น้ำหนักของกลุ่มอุปกรณ์หลักในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

p คือ จำนวนของกลุ่มอุปกรณ์หลักในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

k คือ กลุ่มอุปกรณ์หลักจากดัชนีสุขภาพ

เมื่อได้เปอร์เซ็นต์ดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า ก็จะสามารถหาเปอร์เซ็นต์ดัชนีปรับปรุงได้ โดยใช้สมการที่ 2-6

$$\%ERI = 100 - \%EPI \quad (2-6)$$

เมื่อ %ERI คือ เปอร์เซนต์ดัชนีปรับปรุงระบบส่งกำลังไฟฟ้า

1.) การให้น้ำหนัก (Weight)

คือการให้ความสำคัญต่อปัจจัยการเสื่อมสภาพและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าว่ามีความสำคัญแตกต่างกันอย่างไร จะคำนึงถึงผลกระทบต่อการส่งไฟฟ้าเป็นหลัก

2.) การให้คะแนน (Score)

คือการให้คะแนนตามสภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าว่ามีสภาพเป็นอย่างไร โดยจะให้คะแนนตามเกณฑ์ในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 การให้คะแนนอุปกรณ์

การให้คะแนน (Score)	1	2	3	4	5
ความหมาย	สภาพแย่ที่สุด	สภาพแย่	สภาพปานกลาง	สภาพดี	สภาพดีมาก

2.4 ทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process : AHP)

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการ “วัดค่าระดับ” ของการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด กระบวนการที่ว่านี้ได้รับการคิดค้นเมื่อปลายทศวรรษที่ 1970 โดยศาสตราจารย์ Thomas Saaty แห่งมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เป็นกระบวนการตัดสินใจที่ใช้ในการวินิจฉัยเพื่อหาเหตุผลเป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ โดยแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็น ส่วน ๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นแล้วกำหนดค่าของการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ และนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณเพื่อดูว่าปัจจัยและทางเลือกอะไรมีค่าลำดับความสำคัญมากที่สุด เป็นกระบวนการที่ใช้ทำงานง่าย เพราะมีโครงสร้างเลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์

2.4.1 การพิจารณาองค์ประกอบในการตัดสินใจ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ปัญหาหรือเป้าหมาย

ปัญหาหรือเป้าหมายเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งจะส่งผลต่อการพิจารณาและการประเมินทางเลือก ดังนั้นการวางตำแหน่งของปัญหาหรือเป้าหมายอย่างถูกต้องจะเป็นการควบคุมองค์ประกอบต่าง ๆ ให้ไปในทิศทางที่ถูกต้อง โดยเริ่มต้นด้วยการกำหนดประเด็นของปัญหาอย่างคร่าว ๆ แล้วจึงตั้งคำถาม ทดสอบ และพิจารณาตามลำดับ ต่อจากนั้นก็นำปัญหาหรือเป้าหมายไปใส่ในกระบวนการตัดสินใจที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2. เกณฑ์การตัดสินใจ

ช่วยให้กระบวนการตัดสินใจเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความละเอียดซับซ้อน โดยผู้ตัดสินใจควรมองปัญหาในมุมกว้าง และในมุมกลับให้สมดุลระหว่างเกณฑ์ที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม มองผลจากการตัดสินใจในระยะยาว รวมถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

3. ทางเลือก

เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการตัดสินใจ เพราะการแก้ปัญหาที่จะให้ได้สำเร็จผลตามที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับว่ามีทางเลือกที่ถูกต้องหรือไม่ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อความสามารถในการวินิจฉัยด้วย ดังนั้นผู้ตัดสินใจต้องใช้เหตุผล ใ้คร่ครวญ และไตร่ตรองอย่างรอบคอบ รวมถึงแสวงหาทางเลือกใหม่ที่สร้างสรรค์ตลอดเวลา โดยเริ่มตั้งคำถามว่า อย่างไร ทำไม เป็นต้น

4. ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการพิจารณาองค์ประกอบ

ในการตัดสินใจ ผู้ตัดสินใจต้องเผชิญกับความเสี่ยงและความไม่แน่นอนอันมีผลกระทบต่อตัดสินใจ กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์นำเอาความเสี่ยงและความไม่แน่นอนมาสนับสนุนการตัดสินใจได้ โดยพิจารณาจาก 3 กรณี ดังนี้

1.) การกำหนดความเสี่ยงหรือความไม่แน่นอนให้เป็นปัจจัยหนึ่งเกณฑ์หลักหรือเกณฑ์รอง เหมาะกับสถานการณ์ที่ค่อนข้างจะมีความเสี่ยงหรือความไม่แน่นอนต่ำ และมีความซับซ้อนน้อย

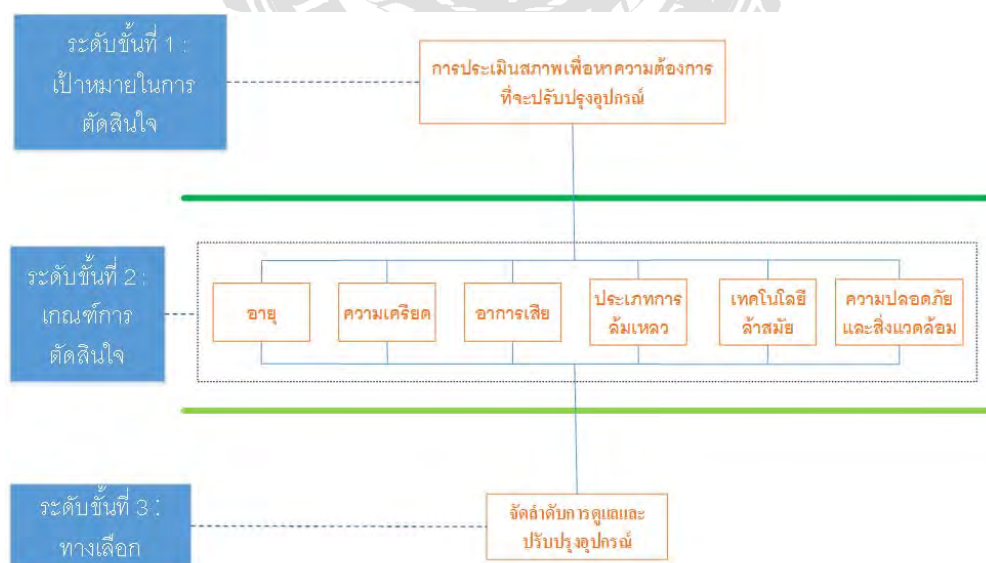
2.) กำหนดความเสี่ยงหรือความไม่แน่นอนออกมาในรูปของสถานการณ์แสดงไว้เป็นระดับชั้นของแผนภูมิ เช่น สถานการณ์ที่ดีที่สุด สถานการณ์ที่เป็นกลาง และสถานการณ์ที่แย่ที่สุด เป็นต้น โดยอาจอยู่ระหว่างปัญหาและเกณฑ์หลัก หรืออยู่ระหว่างเกณฑ์หลักและเกณฑ์รอง

3.) การสร้างแผนภูมิใหม่ขึ้นมาสำหรับพิจารณาความเสี่ยงและความไม่แน่นอน โดยเฉพาะ กรณีเหมาะสำหรับการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน ซึ่งจะเป็นการยากที่จะนำเอาความเสี่ยงเข้ามาพิจารณาพร้อมกับเกณฑ์หรือปัจจัยอื่น

5. ลำดับชั้นในการการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น มีขั้นตอนสรุปดังนี้

5.1 กำหนดปัญหาและสร้างแผนภูมิลำดับชั้น

เริ่มต้นด้วยการให้คำจำกัดความของปัญหาอย่างตรงประเด็นและสร้างสรรค์ รวมถึงหาองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปัญหาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งส่วนที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม จากนั้นนำรายละเอียดขององค์ประกอบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มาจัดหมวดหมู่ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นของลักษณะองค์ประกอบ โดยระดับชั้นที่สูงที่สุดจะเป็นเป้าหมายรวมของปัญหา และระดับชั้นล่างสุดจะเป็นทางเลือกของปัญหา ดังแสดงในภาพที่ 2-24 ซึ่งโครงสร้างของแผนภูมิแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของปัญหา ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถมองปัญหาอย่างทั่วถึงและชัดเจน



ภาพที่ 2-24 แผนภูมิเชิงลำดับชั้นอย่างง่าย

5.2 การให้ค่าเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัย

คือเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่นำมาพิจารณาว่าแต่ละปัจจัยสำคัญแตกต่างกันอย่างไร โดยให้ตัวเลขแทนความหมายของการเปรียบเทียบ ในภาพที่ 2-24 จะเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจโดยการให้คะแนนความสำคัญตามตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การให้ค่าเปรียบเทียบความสำคัญของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

คะแนน	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่า ๆ กัน	ทั้ง 2 ปัจจัยส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่าๆกัน
2	สำคัญมากกว่าเล็กน้อย	แสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งเล็กน้อย
3	สำคัญมากกว่าปานกลาง	แสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
4	สำคัญมากกว่ามาก	แสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
5	สำคัญมากกว่ามากที่สุด	ปัจจัยหนึ่งได้รับความพึงพอใจมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกปัจจัยหนึ่ง ในทางปฏิบัติปัจจัยนั้นได้มีอิทธิพลเหนือกว่าอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 2-7 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปัจจัย

เกณฑ์การตัดสินใจ		ปัจจัย			
C1 , C2 , C3 , ... , Cn		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
ปัจจัย	A ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄
	A ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄
	A ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄
	A ₄	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄

โดยที่ C1 , C2 , C3 ,..., Cn จะเป็นหัวข้อใหญ่ที่จะนำมาพิจารณาส่วน A1 , A2 , A3 ,..., An จะเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ของหัวข้อใหญ่ เช่น หัวข้อใหญ่เป็นส่วนป้องกันฟ้าผ่า ส่วนประกอบย่อยก็จะเป็น สายโอเวอร์เฮดกราวด์ อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮดกราวด์ คันกั้นกระแสไฟฟ้า ระบบต่อลงดิน เป็นต้น ตารางที่ 2-8 เป็นการให้คะแนนเชิงลำดับชั้นมี 4 ปัจจัยในการตัดสินใจ

ตารางที่ 2-8 หลักการให้ค่าความสำคัญ

เกณฑ์การตัดสินใจ		ปัจจัย			
C1 , C2 , C3 , ... , Cn		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
ปัจจัย	A ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄
	A ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄
	A ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄
	A ₄	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄

จากตารางที่ 2-8 บริเวณพื้นที่สีเหลืองจะเป็นส่วนที่ให้คะแนน ส่วนบริเวณสีขาวจะเป็นส่วนกลับของบริเวณสีเหลือง เช่น $a_{21}=1/a_{12}$, $a_{31}=1/a_{13}$ และ $a_{32}=1/a_{23}$ เป็นต้น ส่วนพื้นที่สีแดงจะมีค่าเท่ากับ 1 เพราะเป็นปัจจัยเดียวเปรียบเทียบกับกันจึงมีค่าเท่ากัน ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 ตัวอย่างการให้ค่าความสำคัญเปรียบเทียบระหว่างปัจจัย

เกณฑ์การตัดสินใจ		ปัจจัย			
C1 , C2 , C3 , ... , Cn		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
ปัจจัย	A ₁	1	2	3	5
	A ₂	1/2	1	1/3	4
	A ₃	1/3	3	1	2
	A ₄	1/5	1/4	1/2	1

อธิบายความหมายของคะแนนที่ให้จากตารางที่ 2-9

- $a_{11} = 1$ หมายถึง ปัจจัย A₁ และ A₁ มีความสำคัญเท่ากัน
- $a_{12} = 2$ หมายถึง ปัจจัย A₁ มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย A₂ เล็กน้อย
- $a_{13} = 3$ หมายถึง ปัจจัย A₁ มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย A₃ ปานกลาง

- $a_{24} = 4$ หมายถึง ปัจจัย A_2 มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย A_4 มาก
- $a_{14} = 5$ หมายถึง ปัจจัย A_1 มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย A_4 มากที่สุด
- $a_{21} = 1/2$ หมายถึง ปัจจัย A_2 มีความสำคัญน้อยกว่าปัจจัย A_1 เล็กน้อย
- $a_{31} = 1/3$ หมายถึง ปัจจัย A_3 มีความสำคัญน้อยกว่าปัจจัย A_1 ปานกลาง
- $a_{42} = 1/4$ หมายถึง ปัจจัย A_4 มีความสำคัญน้อยกว่าปัจจัย A_2 มาก
- $a_{41} = 1/5$ หมายถึง ปัจจัย A_4 มีความสำคัญน้อยกว่าปัจจัย A_1 มากที่สุด

2.4.2 การคำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR)

เพื่อเป็นการทดสอบว่าผลของการเปรียบเทียบรายคู่ที่ได้ดำเนินมาในส่วนที่แล้วนั้นมีความสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ จะทำการคำนวณค่าความสอดคล้องของเหตุผล โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณค่า $\lambda_{\max}$

จะใช้สูตรที่ได้จากการสังเคราะห์ของ Eigenvector ซึ่งในกรณีที่มีการวินิจฉัยในปัจจัยนั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ค่า $\lambda_{\max} = n$ แสดงดังสมการด้านล่างนี้

$$\lambda_{\max} = \begin{bmatrix} \frac{1}{W_{1n}} (a_{11} W_{1n} + a_{12} W_{2n} + \dots + a_{1n} W_{nn}) \\ \frac{1}{W_{2n}} (a_{21} W_{1n} + a_{22} W_{2n} + \dots + a_{2n} W_{nn}) \\ \frac{1}{W_{nn}} (a_{n1} W_{1n} + a_{n2} W_{2n} + \dots + a_{nn} W_{nn}) \end{bmatrix}$$

โดยจะเริ่มหาที่ $\lambda_{\max}$ ของปัจจัย A1 จะคำนวณได้จากเอาค่าเปรียบเทียบความสำคัญในแถวแนวนอน A1 มาคูณกับน้ำหนักที่คำนวณได้ตามลำดับ แสดงในสมการที่ 2-7

$$\lambda_{\max, A1} = \frac{1}{W_{1n}} (a_{11} W_{1n} + a_{12} W_{2n} + \dots + a_{1n} W_{nn}) \quad (2-7)$$

ลำดับต่อมาคำนวณหา $\lambda_{\max}$ ของปัจจัย A2 จะคำนวณได้จากเอาค่าเปรียบเทียบความสำคัญในแถวแนวนอน A2 มาคูณกับน้ำหนักที่คำนวณได้ตามลำดับ แสดงในสมการที่ 2-8

$$\lambda_{\max, A2} = \frac{1}{W_{2n}} (a_{21} W_{1n} + a_{22} W_{2n} + \dots + a_{2n} W_{nn}) \quad (2-8)$$

ถ้ามีถึง n ตัวจะคำนวณหา $\lambda_{\max}$ ของปัจจัย A_n จะคำนวณได้จากเอาค่าเปรียบเทียบความสำคัญในแถวแนวนอน A_n มาคูณกับน้ำหนักที่คำนวณได้ตามลำดับ แสดงในสมการที่ 2-9

$$\lambda_{\max, A_n} = \frac{1}{W_{nn}} (a_{n1} W_{nn} + a_{n2} W_{nn} + \dots + a_{nn} W_{nn}) \quad (2-9)$$

จากนั้นจะหา $\lambda_{\max}$ ได้จากการนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยจากสมการที่ 2-10

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} (\lambda_{\max, A1} + \lambda_{\max, A2} + \dots + \lambda_{\max, A_n}) \quad (2-10)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index : CI) หาได้จากสมการนี้

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (2-11)$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index : RI)

โดยที่ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่มเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับขนาดของเมตริกซ์ ตั้งแต่ 1×1 จนถึง 12×12 ผลของค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่มดังแสดงในตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

เมื่อ n คือจำนวนที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ที่ใช้ในปริภูมิต้นพืชเล่มนี้มีมากที่สุด 12 ตัว

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล

คือ การหาอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า CI ที่คำนวณได้จากตารางเมตริกซ์กับค่า RI ที่ได้จากตารางที่ 2-10 ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) หาได้จากสมการนี้

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2-12)$$

ถ้าผลจากการคำนวณได้ค่า $CR \leq 0.1$ หรือ 10% ถือว่าการเปรียบเทียบรายคู่นั้นมีความสอดคล้องกันของเหตุผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่หากค่า $CR > 0.1$ จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ ผู้ตัดสินใจจะต้องทบทวนการวินิจฉัยและการจัดลำดับความสำคัญในการเปรียบเทียบรายคู่อีกครั้ง



บทที่ 3

วิธีการคำนวณ

ในส่วนของบทที่ 3 จะเป็นการนำทฤษฎีจากบทที่ 2 มาใช้ เพื่อที่จะนำมาหาค่าน้ำหนักของอุปกรณ์ และหาค่าน้ำหนักของข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้นในการหาค่าน้ำหนักของอุปกรณ์ ซึ่งจะต้องนำค่าน้ำหนักเหล่านี้ไปใช้ต่อในการหาสภาพของสายส่งไฟฟ้า

3.1 การคำนวณค่าน้ำหนักของอุปกรณ์

เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ในแต่ละกลุ่ม และนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปใช้ต่อในบทที่ 4 จะยกตัวอย่างจากอุปกรณ์ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง เมื่อกำหนดให้ C1 คือ อุปกรณ์ระบบสายส่ง, A1 คือ ฉนวน, A2 คือ ส่วนที่กระแสไหลผ่าน, A3 คือ โครงสร้างและฐานราก, A4 คือ ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า, A5 คือ อุปกรณ์อื่น ๆ โดยมี 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเปรียบเทียบความสำคัญของอุปกรณ์

ให้ค่าความสำคัญของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะใช้ปัจจัยในแต่ละหลักเปรียบเทียบกับปัจจัยในแต่ละแถวว่ามีความสำคัญมากกว่าหรือน้อยกว่าเท่าไร โดยใส่เป็นตัวเลขจากตารางที่ 2-7 ในที่นี้จะใส่ค่าในช่องว่างที่อยู่ด้านบนแนวทแยงของเลข 1 เช่น A1 เปรียบเทียบกับ A2 ให้คะแนนเท่ากับ $1/2$ หมายความว่า A1 มีความสำคัญน้อยกว่า A2 เล็กน้อย ส่วนการเปรียบเทียบ A2 กับ A1 จะเป็นส่วนกลับของการเปรียบเทียบระหว่าง A1 กับ A2 คือ 2 โดยค่าที่เป็นส่วนกลับจะอยู่ด้านล่างแนวทแยงของเลข 1 แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบความสำคัญของอุปกรณ์

C1	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/2	1/3	3	5
A2	2	1	1	3	5
A3	3	1	1	4	5
A4	1/3	1/3	1/4	1	2
A5	1/5	1/5	1/5	1/2	1

เมื่อกำหนดให้ C1 คือ อุปกรณ์ระบบสายส่ง, A1 คือ ฉนวน, A2 คือ ส่วนที่กระแสไหลผ่าน, A3 คือ โครงสร้างและฐานราก, A4 คือ ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า, A5 คือ อุปกรณ์อื่น ๆ

ขั้นตอนที่ 2 หาผลรวมในแต่ละหลัก

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสำคัญเสร็จแล้วก็นำคะแนนความสำคัญที่ได้มารวมกันในแต่ละหลัก เช่น ในหลัก A1 ผลรวมของความสำคัญมีค่าเท่ากับ $1+2+3+1/3+1/5 = 6.53$ ในหลัก A2 ผลรวมของความสำคัญมีค่าเท่ากับ $1/2+1+1+1/3+1/5 = 3.03$ ส่วนหลัก A3, A4, A5 สามารถทำได้เช่นกัน แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 หาผลรวมในแต่ละหลักของอุปกรณ์

C1	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/2	1/3	3	5
A2	2	1	1	3	5
A3	3	1	1	4	5
A4	1/3	1/3	1/4	1	2
A5	1/5	1/5	1/5	1/2	1
ผลรวม	6.53	3.03	2.78	11.50	18.00

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าต่อหน่วย

นำผลรวมที่ได้มาหารสมาชิกในแต่ละหลัก เพื่อจะทำให้ผลรวมของแต่ละหลักมีค่าเท่ากับ 1 เช่น ในหลัก A1 ค่าต่อหน่วยของแถว A1 มีค่าเท่ากับ $(1/6.53) = 0.15$ ค่าต่อหน่วยแถว A2 มีค่า

จากตารางที่ 3-4 จะได้นำหนักของอุปกรณ์ระบบสายส่ง (C1) ออกมา คือ $A1 = 0.1953$,
 $A2 = 0.3067$, $A3 = 0.3547$, $A4 = 0.0898$, $A5 = 0.0535$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่า $\lambda_{\max}$

เมื่อได้ค่านำหนักแล้วก็จะได้นำมาหาค่า $\lambda_{\max}$ ของอุปกรณ์แต่ละตัวจากสมการที่ 2-7 ถึง 2-9 แล้วนำของแต่ละตัวมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ $\lambda_{\max}$ จากสมการที่ 2-10 โดยที่ $n = 5$

$$\lambda_{\max,A1} = \frac{1}{0.1953} \left[(1 \times 0.1953) + \left(\frac{1}{2} \times 0.3067 \right) + \left(\frac{1}{3} \times 0.3547 \right) + (3 \times 0.0898) + (5 \times 0.0535) \right]$$

$$= 5.14$$

$$\lambda_{\max,A2} = \frac{1}{0.3067} \left[(2 \times 0.1953) + (1 \times 0.3067) + (1 \times 0.3547) + (3 \times 0.0898) + (5 \times 0.0535) \right]$$

$$= 5.18$$

$$\lambda_{\max,A3} = \frac{1}{0.3547} \left[(3 \times 0.1953) + (1 \times 0.3067) + (1 \times 0.3547) + (4 \times 0.0898) + (5 \times 0.0535) \right]$$

$$= 5.28$$

$$\lambda_{\max,A4} = \frac{1}{0.0898} \left[\left(\frac{1}{3} \times 0.1953 \right) + \left(\frac{1}{3} \times 0.3067 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 0.3547 \right) + (1 \times 0.0898) + (2 \times 0.0535) \right]$$

$$= 5.04$$

$$\lambda_{\max,A5} = \frac{1}{0.0535} \left[\left(\frac{1}{5} \times 0.1953 \right) + \left(\frac{1}{5} \times 0.3067 \right) + \left(\frac{1}{5} \times 0.3547 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 0.0898 \right) + (1 \times 0.0535) \right]$$

$$= 5.04$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของ $\lambda_{\max}$ ที่จะได้จาก $\lambda_{\max}$ ของทั้ง 5 กลุ่มอุปกรณ์ จะมีค่าดังนี้

$$\lambda_{\max,avg} = \frac{1}{5} [5.14 + 5.18 + 5.28 + 5.04 + 5.04]$$

$$= 5.14$$

ขั้นตอนที่ 6 การหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล

เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อทำการตรวจสอบว่าคะแนนความสำคัญที่ให้แก่อุปกรณ์ทุกตัวมีความเหมาะสมหรือมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยการหาค่าดัชนีวัดความสอดคล้องจากสมการที่ 2-11 และหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลจากสมการที่ 2-12 และจะต้องใช้ค่าของค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ซึ่งจะค่าอยู่ในตารางที่ 2-10 ในที่นี้จะมีค่า $n = 5$ และค่า $RI = 1.12$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.14 - 5}{5 - 1} = 0.034389$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.034389}{1.12} = 0.030704 = 3.0704\%$$

ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลที่ได้จะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 หรือ 10% เพราะค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลจะเป็นตัวที่จะชี้วัดว่าคะแนนที่ได้ใส่ให้อุปกรณ์นั้นมีความสมเหตุสมผลกันหรือไม่ และถ้าหากว่าค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลมีค่ามากกว่า 0.1 จะต้องทำการให้คะแนนอุปกรณ์ในกลุ่มนั้น ๆ ใหม่แสดงว่าการให้คะแนนในครั้งก่อนหน้านั้นได้ทำการให้คะแนนอุปกรณ์ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงของคะแนนอุปกรณ์แต่ละอัน จะต้องทำการแก้ไขจนกว่าค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลจะน้อยกว่า 0.1 ซึ่งจากการคำนวณได้ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลเท่ากับ 3.0704% แสดงว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสรุปค่าน้ำหนักของกลุ่มอุปกรณ์ระบบสายส่งได้ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มอุปกรณ์ระบบสายส่ง

อุปกรณ์	น้ำหนัก
ฉนวน	21%
ส่วนที่กระแสไหลผ่าน	31%
โครงสร้างและฐานราก	18%
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	16%
อุปกรณ์อื่น ๆ	11%

ในที่นี้จะไม่สามารถหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลของอุปกรณ์ในกลุ่มของ จนวนได้ เนื่องจากจำนวนอุปกรณ์ภายในกลุ่มมีอยู่ 2 ตัว คือ ลูกถ้วย และ เขตเดินสายส่งไฟฟ้า ซึ่งจะมี $n = 2$ ทำให้เมื่อใช้ตารางของค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์จะได้ค่าเท่ากับ 0 ดังตารางที่ 2-10 ซึ่งจะทำให้หาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลไม่ได้นั่นเอง จึงได้ทำการกำหนดขึ้นมาดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มจนวน

อุปกรณ์	น้ำหนัก
ลูกถ้วย	33.00%
เขตเดินสายส่งไฟฟ้า	67.00%

ส่วนค่าน้ำหนักของอุปกรณ์ย่อยแต่ละตัวในกลุ่มอุปกรณ์หลักซึ่งได้แก่ ส่วนที่กระแสไหลผ่าน ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า โครงสร้างและฐานราก และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ได้จากการใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้นจะแสดงในตารางที่ 3-7 ถึงตารางที่ 3-10 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-7 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มส่วนที่กระแสไหลผ่าน

อุปกรณ์	น้ำหนัก
สายส่งไฟฟ้า	48.00%
อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า	10.00%
ชุดคอมเพรสชันเคเบิลเอนแคลมป์ / แคลมป์	15.00%
เกราะกันสาย	28.00%

ตารางที่ 3-8 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า

อุปกรณ์	น้ำหนัก
สายโอเวอร์เฮดกราวด์	11.00%
อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮด กราวด์	13.00%
คั่นกันกระแสไฟฟ้า	7.05%
ระบบต่อลงดิน	16.00%

ตารางที่ 3-9 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มโครงสร้างและฐานราก

อุปกรณ์	น้ำหนัก
ลานบริเวณรอบเสา	6.43%
รากฐาน	18.40%
น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	15.19%
โครงค้ำยัน	12.03%
โครงสร้างเสา	12.89%
เหล็กเสาเข็ม	6.75%
เหล็กเพลท	12.47%
เหล็กสตั๊ป	11.52%
ปล่องควัน	2.16%
การทาสี	2.16%

ตารางที่ 3-10 น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มอุปกรณ์อื่น ๆ

อุปกรณ์	น้ำหนัก
ป้ายเตือนอันตราย,ป้ายเสา	28.00%
ไฟแสดงตำแหน่งเสา	17.00%
สแต๊ปโบลท์	7.00%
อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก	12.00%
อุปกรณ์คั่นสาย	17.98%
อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง	8.00%

3.2 การคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย

จะใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้นเพื่อหาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลกระทบในแต่ละกลุ่มของอุปกรณ์ซึ่งจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ คือ อายุ ความเครียดการใช้งาน อาการเสียประเภทการล้าเหลว เทคโนโลยีล้ำสมัย และความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม โดยในแต่ละกลุ่มของอุปกรณ์จะต้องวิเคราะห์ว่าอะไรที่จะส่งผลต่อการทำงานของระบบ ที่จะเป็นต้นเหตุให้ระบบเกิด

ความผิดพลาดได้ จะมีขั้นตอนการหาค่าน้ำหนักของข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในแต่ละกลุ่มอุปกรณ์ มีวิธีการดังนี้ ยกตัวอย่างจากจนวน เมื่อกำหนดให้ C2 คือ จนวน, A1 คือ อายุ, A2 คือ ความเครียดการใช้งาน, A3 คือ อาการเสีย, A4 คือ ประเภทการล้มเหลว, A5 คือ เทคโนโลยีล้ำสมัย และ A6 คือ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนที่ 1 การเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัย

ให้ค่าความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จะใช้ปัจจัยในแต่ละหลักเปรียบเทียบกับปัจจัยในแต่ละแถวว่ามีความสำคัญมากกว่าหรือน้อยกว่าเท่าไร โดยใส่เป็นตัวเลขจากตารางที่ 2-6 ในที่นี้จะใส่ค่าในช่องว่างที่อยู่ด้านบนแนวทแยงของเลข 1 เช่น A1 เปรียบเทียบกับ A2 ให้คะแนนเท่ากับ 2 หมายความว่า A1 มีความสำคัญมากกว่า A2 เล็กน้อย ส่วนการเปรียบเทียบ A2 กับ A1 จะเป็นส่วนกลับของการเปรียบเทียบระหว่าง A1 กับ A2 คือ $1/2$ โดยค่าที่เป็นส่วนกลับจะอยู่ด้านล่างแนวทแยงของเลข 1 แสดงดังตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11 การเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัย

C2	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	2	3	3	5	2
A2	1/2	1	2	3	1	3
A3	1/3	1/2	1	1	2	1
A4	1/3	1/3	1	1	1/2	3
A5	1/5	1	1/2	2	1	1
A6	1/2	1/3	1	1/3	1	1

เมื่อกำหนดให้ C2 คือ จนวน, A1 คือ อายุ, A2 คือ ความเครียดการใช้งาน, A3 คือ อาการเสีย, A4 คือ ประเภทการล้มเหลว, A5 คือ เทคโนโลยีล้ำสมัย และ A6 คือ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนที่ 2 หาผลรวมในแต่ละหลัก

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสำคัญเสร็จแล้วก็ให้นำคะแนนความสำคัญที่ได้มารวมกันในแต่ละหลัก เช่น ในหลัก A1 ผลรวมของความสำคัญมีค่าเท่ากับ $1+1/2+1/3+1/3+1/5+1/2 = 2.87$ ในหลัก A2 ผลรวมของความสำคัญมีค่าเท่ากับ $2+1+1/2+1/3+1+1/3 = 5.17$ ส่วนหลัก A3, A4, A5, A6 สามารถทำได้เช่นกัน แสดงดังตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3-12 หาผลรวมในแถวแนวตั้งของปัจจัย

C2	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	2	3	3	5	2
A2	1/2	1	2	3	1	3
A3	1/3	1/2	1	1	2	1
A4	1/3	1/3	1	1	1/2	3
A5	1/5	1	1/2	2	1	1
A6	1/2	1/3	1	1/3	1	1
ผลรวม	2.87	5.17	8.50	10.33	10.50	11.00

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าต่อหน่วย

นำผลรวมที่ได้มาหารสมาชิกในแต่ละหลัก เพื่อจะทำให้ผลรวมของแต่ละหลักมีค่าเท่ากับ 1 เช่น ในหลัก A1 ค่าต่อหน่วยของแถว A1 มีค่าเท่ากับ $(1/2.87) = 0.35$ ค่าต่อหน่วยแถว A2 มีค่าเท่ากับ $[(1/2)/2.87] = 0.17$ สำหรับแถว A3, A4, A5, A6 มีค่าเท่ากับ $[(1/3)/2.87]$, $[(1/3)/2.87]$, $[(1/5)/2.87]$, $[(1/2)/2.87] = 0.12, 0.12, 0.07, 0.17$ ตามลำดับ สำหรับหลัก A2, A3, A4, A5, A6 สามารถทำได้เช่นเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 การหาค่าหนึ่งหน่วยของปัจจัย

C2	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	0.35	0.39	0.35	0.29	0.48	0.18
A2	0.17	0.19	0.24	0.29	0.10	0.27
A3	0.12	0.10	0.12	0.10	0.19	0.09
A4	0.12	0.06	0.12	0.10	0.05	0.27

A5	0.07	0.19	0.06	0.19	0.10	0.09
A6	0.17	0.06	0.12	0.03	0.10	0.09
ผลรวม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ขั้นตอนที่ 4 การหาค่าน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละตัว

นำค่าที่ได้มารวมกันในแต่ละแถว เช่น ในแถว A1 ค่าผลรวมมีค่าเท่ากับ $0.35+0.39+0.35+0.29+0.48+0.18 = 2.04$ ในแถว A2 ค่าผลรวมมีค่าเท่ากับ $0.17+0.19+0.24+0.29+0.10+0.27 = 1.26$ แล้วนำผลรวมที่ได้ในแต่ละแถวมารวมกันในหลักนั้นจะได้เท่ากับ $2.04+1.26+0.71+0.72+0.70+0.57 = 6.00$ หลังจากนั้นทำเป็นค่าต่อหน่วยเพื่อให้มีค่าเท่ากับ 1 ก็จะได้น้ำหนักของอุปกรณ์ในกลุ่มนั้น ๆ ออกมา เช่น การหาค่าน้ำหนักของแถว A1 มีค่าเท่ากับ $(2.04/6.00) = 0.3395$ ค่าน้ำหนักของแถว A2 มีค่าเท่ากับ $(1.26/6.00) = 0.2103$ ส่วนแถว A2, A3, A4, A5, A6 สามารถทำได้เช่นกัน แสดงดังตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14 การหาค่าน้ำหนักของปัจจัยแต่ละตัว

C2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ผลรวม	น้ำหนัก
A1	0.35	0.39	0.35	0.29	0.48	0.18	2.04	0.3395
A2	0.17	0.19	0.24	0.29	0.10	0.27	1.26	0.2103
A3	0.12	0.10	0.12	0.10	0.19	0.09	0.71	0.1181
A4	0.12	0.06	0.12	0.10	0.05	0.27	0.72	0.1193
A5	0.07	0.19	0.06	0.19	0.10	0.09	0.70	0.1170
A6	0.17	0.06	0.12	0.03	0.10	0.09	0.57	0.0958
ผลรวม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00

จากตารางที่ 3-14 จะได้น้ำหนักของข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้าของฉนวน (C2) ออกมา คือ $A1 = 0.3395$, $A2 = 0.2103$, $A3 = 0.1181$, $A4 = 0.1193$, $A5 = 0.1170$, $A6 = 0.0958$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่า $\lambda_{\max}$

เมื่อได้ค่าน้ำหนักแล้วก็ต้องนำมาหาค่า $\lambda_{\max}$ ของอุปกรณ์แต่ละตัวจากสมการที่ 2-7 ถึง 2-9 แล้วนำของแต่ละตัวมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ $\lambda_{\max}$ จากสมการที่ 2-10 โดยที่ $n = 6$

$$\lambda_{\max, A1} = \frac{(1 \times 0.3395) + (2 \times 0.2103) + (3 \times 0.1181) + (3 \times 0.1193) + (5 \times 0.1170) + (2 \times 0.0958)}{0.3395}$$

$$= 6.62$$

$$\lambda_{\max, A2} = \frac{\left(\frac{1}{2} \times 0.3395\right) + (1 \times 0.2103) + (2 \times 0.1181) + (3 \times 0.1193) + (1 \times 0.1170) + (3 \times 0.0958)}{0.2103}$$

$$= 6.56$$

$$\lambda_{\max, A3} = \frac{\left(\frac{1}{3} \times 0.3395\right) + \left(\frac{1}{2} \times 0.2103\right) + (1 \times 0.1181) + (1 \times 0.1193) + (2 \times 0.1170) + (1 \times 0.0958)}{0.1181}$$

$$= 6.65$$

$$\lambda_{\max, A4} = \frac{\left(\frac{1}{3} \times 0.3395\right) + \left(\frac{1}{3} \times 0.2103\right) + (1 \times 0.1181) + (1 \times 0.1193) + \left(\frac{1}{2} \times 0.1170\right) + (3 \times 0.0958)}{0.1193}$$

$$= 6.43$$

$$\lambda_{\max, A5} = \frac{\left(\frac{1}{5} \times 0.3395\right) + (1 \times 0.2103) + \left(\frac{1}{2} \times 0.1181\right) + (2 \times 0.1193) + (1 \times 0.1170) + (1 \times 0.0958)}{0.1170}$$

$$= 6.74$$

$$\lambda_{\max, A6} = \frac{\left(\frac{1}{2} \times 0.3395\right) + \left(\frac{1}{3} \times 0.2103\right) + (1 \times 0.1181) + \left(\frac{1}{3} \times 0.1193\right) + (1 \times 0.1170) + (1 \times 0.0958)}{0.0958}$$

$$= 6.37$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของ $\lambda_{\max}$ ที่จะได้จาก $\lambda_{\max}$ ของทั้ง 6 ปัจจัย จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}\lambda_{\max} &= \frac{1}{6}(6.62+6.56+6.65+6.43+6.74+6.37) \\ &= 6.56\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 6 การหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล

เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อทำการตรวจสอบว่าคะแนนที่ให้แก่อุปกรณ์ทุกตัวมีความเหมาะสมหรือมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยการหาค่าจากสมการที่ 2-11 และหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลจากสมการที่ 2-12 และจะต้องใช้ค่าของค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ซึ่งจะค่าอยู่ในตารางที่ 2-10 ในที่นี้จะมีค่า $n = 6$ และค่า $RI = 1.24$

$$\begin{aligned}CI &= \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6.56 - 6}{6 - 1} = 0.112305 \\ CR &= \frac{CI}{RI} = \frac{0.112305}{1.24} = 0.090569 = 9.0569\%\end{aligned}$$

จากการคำนวณจะเห็นว่าค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.1 หรือ 10% แสดงว่าคะแนนที่ได้ใส่ให้แก่อุปกรณ์นั้นมีความสมเหตุสมผลกันและมีความสอดคล้องกัน จึงสรุปค่าน้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มของฉนวนได้ดังตารางที่ 3-15

ตารางที่ 3-15 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มฉนวน

ปัจจัย	น้ำหนัก
อายุ	33.95%
ความเครียดการใช้งาน	21.03%
อาการเสีย	11.81%
ประเภทการล้มเหลว	11.93%

เทคโนโลยีล้ำสมัย	11.70%
ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	9.58%

ส่วนค่าน้ำหนักของปัจจัยแต่ละกลุ่มอุปกรณ์หลัก ได้แก่ ส่วนที่กระแสไหลผ่าน ส่วนที่ป้องกันไฟฟ้า โครงสร้างและฐานราก และอุปกรณ์อื่น ๆ จะแสดงในตารางที่ 3-16 ถึงตารางที่ 3-19 ตามลำดับ ตารางที่ 3-16 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มส่วนที่กระแสไหลผ่าน

ปัจจัย	น้ำหนัก
อายุ	27.79%
ความเครียดการใช้งาน	32.74%
อาการเสีย	14.92%
ประเภทการล้มเหลว	11.16%
เทคโนโลยีล้ำสมัย	6.17%
ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	7.21%

ตารางที่ 3-17 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มส่วนที่ป้องกันไฟฟ้า

ปัจจัย	น้ำหนัก
อายุ	26.51%
ความเครียดการใช้งาน	35.67%
อาการเสีย	13.96%
ประเภทการล้มเหลว	10.23%
เทคโนโลยีล้ำสมัย	5.96%
ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	7.67%

ตารางที่ 3-18 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มโครงสร้างและฐานราก

ปัจจัย	น้ำหนัก
อายุ	34.76%
ความเครียดการใช้งาน	21.09%
อาการเสีย	12.84%
ประเภทการล้มเหลว	5.77%

เทคโนโลยีล้ำสมัย	15.13%
ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	10.42%

ตารางที่ 3-19 น้ำหนักของปัจจัยในกลุ่มอุปกรณ์อื่น ๆ

ปัจจัย	น้ำหนัก
อายุ	35.50%
ความเครียดการใช้งาน	5.88%
อาการเสีย	13.68%
ประเภทการล้มเหลว	28.70%
เทคโนโลยีล้ำสมัย	10.65%
ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	5.59%

เมื่อได้ค่าน้ำหนักของอุปกรณ์ต่าง ๆ มาแล้วก็จะต้องมาหาคะแนนอุปกรณ์ (S_i) แล้วนำคะแนนที่ให้นั้นมาคูณกับค่าน้ำหนักที่ได้มาจากการทำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในกลุ่มต่าง ๆ ก็จะได้สภาพในกลุ่มนั้น ๆ ออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์ ($\%S_i$) ที่ได้มาคูณกับค่าน้ำหนักของข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้าก็จะได้ค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์อีกรอบ ($\%HI$) แล้วมาคูณกับค่าน้ำหนักของระบบ (W_k) จากกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ของอุปกรณ์ระบบสายส่ง (Sub-system) ก็จะได้สภาพของระบบนั้นออกมาว่าอยู่ในสภาพใดโดยดูจากค่าดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (Equipment Performance Index : EPI) ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการประเมินสภาพ

จากบทที่ 2 ที่ได้กล่าวถึงโครงสร้างของตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการตัดสินใจ ซึ่งจะช่วยให้รู้ว่าอุปกรณ์มีความสำคัญต่อระบบส่งไฟฟ้าอย่างไร โดยจะบอกด้วยค่าของน้ำหนักที่แสดงออกมาจากตารางของกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้นและเมื่อได้ใส่คะแนนเข้าไปจะทำให้ได้ว่าอุปกรณ์อยู่ในสภาพใดซึ่งในส่วนนี้ถ้าดูจากโครงสร้างลำดับชั้นอย่างง่ายจะอยู่ในระดับชั้นที่ 1 เพื่อที่จะนำค่าที่หามาจากระดับชั้นที่ 2 และระดับชั้นที่ 3 มาใช้ โดยจะแสดงผลการศึกษาที่ได้ดังนี้

4.1 ขั้นตอนการคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์หลักจากอุปกรณ์ย่อยในแต่ละปัจจัย

เมื่อได้น้ำหนักของอุปกรณ์ย่อย (w_i) จากการทำการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มาแล้ว หลังจากนั้นทำการให้คะแนนในแต่ละปัจจัย (S_i) เมื่อให้คะแนนแล้วก็จะได้สภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) โดยคำนวณจากสมการที่ 2-3 มีสมการดังนี้

$$\% S_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\% S_i \times w_i)}{\sum_{i=1}^n (\% S_{i,max} \times w_i)} \times 100$$

จะต้องทำการคิดทั้งหมด 6 กลุ่มด้วยกัน คือ อายุ ความเครียดการใช้งาน อาการเสีย ประเภทการล้มเหลว เทคโนโลยีล้ำสมัย และความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

ก. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย (%S_j) ของปัจจัยอายุ

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{current carrying}} &= \frac{(0.46 \times 3.67) + (0.32 \times 3.67) + (0.15 \times 3.00) + (0.07 \times 5.00)}{(0.46 \times 5.00) + (0.32 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 31.00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{insulation}} &= \frac{(0.70 \times 3.33) + (0.30 \times 3.00)}{(0.70 \times 5.00) + (0.30 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 21.00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{construction and foundation}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 1.00) + (0.18 \times 3.00) + (0.15 \times 1.00) + (0.12 \times 4.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 3.00) \\ &+ (0.12 \times 2.00) + (0.12 \times 4.00) + (0.02 \times 3.00) + (0.02 \times 3.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 18.00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{lightning protection}} &= \frac{(0.37 \times 4.00) + (0.37 \times 3.00) + (0.07 \times 4.00) + (0.19 \times 2.00)}{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 16.00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{accessories}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 4.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 3.67) + (0.13 \times 4.75) + (0.06 \times 3.00) + (0.03 \times 4.00) \\ &+ (0.03 \times 1.00) + (0.04 \times 2.00) + (0.10 \times 2.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 3.00) + (0.08 \times 2.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 5.00) \\ &+ (0.03 \times 5.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.08 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 11.00\% \end{aligned}$$

ซึ่งจากการคำนวณมีคะแนน (S_i) บางตัว ที่มีค่าออกมาเป็นทศนิยมเพราะได้ทำการเฉลี่ยค่ามาจากคะแนนที่ให้กับอุปกรณ์ในแต่ละเฟสแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยนั้นมาคิด โดยอุปกรณ์ที่มีการเฉลี่ยคะแนนได้แก่ สายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์คั่นสาย และอุปกรณ์หน่วงการแกว่ง ค่าคะแนนและสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ในกลุ่มต่าง ๆ ของกลุ่มปัจจัยอายุ แสดงในตารางที่ 4-1

เมื่อค่า W_i ของฉนวนมาจากตารางที่ 3-6

W_i ของส่วนที่กระแสไหลผ่านมาจากตารางที่ 3-7

W_i ของส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่ามาจากตารางที่ 3-8

W_i ของโครงสร้างและฐานรากมาจากตารางที่ 3-9

W_i ของอุปกรณ์อื่น ๆ ตารางที่ 3-10

สำหรับค่าคะแนนและสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อยในกลุ่มต่าง ๆ จะแสดงการคำนวณเป็นข้อ ๆ ไป คือ ข. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) ของปัจจัย

ความเครียดการใช้งาน

ก. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) ของปัจจัย

อาการเสีย

ง. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) ของปัจจัย

ประเภทการล้มเหลว

จ. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) ของปัจจัย

เทคโนโลยีล้ำสมัย

ฉ. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) ของปัจจัย

ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

ผลที่ได้จากการคำนวณในแต่ละปัจจัย ได้แก่ ความเครียดการใช้งาน อาการเสีย ประเภทการล้มเหลว เทคโนโลยีล้ำสมัย และความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม แสดงในตารางที่ 4-2 ถึงตารางที่ 4-6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยอายุ (% $S_{j,age}$)

อายุ				
อุปกรณ์	อุปกรณ์ย่อย	W_i	S_i	% S_j
ส่วนที่กระแสไฟฟ้า	สายส่งไฟฟ้า	0.46	3.67	73.12%
	อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า	0.32	3.67	
	ชุดคอมเพรสชันเคเคเคเค/แคลมป์	0.15	3.00	
	กระดกสาย	0.07	5.00	
ฉนวน	ลูกถ้วย	0.70	3.33	64.67%
	เขตเคเคเคเคเคเคเคเคเคเค	0.30	3.00	
โครงสร้างและฐานราก	ลานบริเวณรอบเสา	0.06	1.00	58.72%
	รากฐาน	0.18	3.00	
	น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	0.15	1.00	
	โครงค้ำยัน	0.12	4.00	
	โครงสร้างเสา	0.13	5.00	
	เหล็กเสาค้ำ	0.07	3.00	
	เหล็กเพลท	0.12	2.00	
	เหล็กสตั๊ป	0.12	4.00	
	ปลอกควั่น	0.02	3.00	
	การทาสี	0.02	3.00	
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	สายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	4.00	64.91%
	อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	3.00	
	คั่นกันกระแสไฟฟ้า	0.07	4.00	
	ระบบต่อลงดิน	0.19	2.00	
อุปกรณ์อื่น ๆ	อุปกรณ์ฉนวน	0.19	4.00	70.87%
	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก	0.07	5.00	
	อุปกรณ์คั่นสาย	0.18	3.67	
	อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง	0.13	4.75	
	ดาข่ายกันงู	0.06	3.00	
	ป้ายเตือนอันตราย	0.03	4.00	
	ป้ายเสา	0.03	1.00	
	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04	2.00	
	สแต็ปโบลท์	0.10	2.00	
	ดาข่ายกันคน	0.06	5.00	
	ไฟที่สายตัวนำ	0.02	3.00	
	ลูกบอลเตือน	0.08	2.00	

ข. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย (%S_j) ของปัจจัยความเครียดการใช้งาน

$$\begin{aligned}\%S_{j,\text{current carrying}} &= \frac{(0.46 \times 4.33) + (0.32 \times 2.67) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 2.00)}{(0.46 \times 5.00) + (0.32 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 74.73\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%S_{j,\text{insulation}} &= \frac{(0.70 \times 4.33) + (0.30 \times 3.00)}{(0.70 \times 5.00) + (0.30 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 78.67\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%S_{j,\text{construction and foundation}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 3.00) + (0.18 \times 4.00) + (0.15 \times 1.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 3.00) + (0.07 \times 2.00) \\ &+ (0.12 \times 2.00) + (0.12 \times 1.00) + (0.02 \times 1.00) + (0.02 \times 2.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 52.67\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%S_{j,\text{lightning protection}} &= \frac{(0.37 \times 2.00) + (0.37 \times 4.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 3.00)}{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 62.82\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%S_{j,\text{accessories}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 2.00) + (0.07 \times 2.00) + (0.18 \times 2.33) + (0.13 \times 2.25) + (0.06 \times 4.00) + (0.03 \times 4.00) \\ &+ (0.03 \times 2.00) + (0.04 \times 3.00) + (0.10 \times 2.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 1.00) + (0.08 \times 2.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 5.00) \\ &+ (0.03 \times 5.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.08 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 49.57\%\end{aligned}$$

ตารางที่ 4-2 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยความเครียดการใช้งาน (% $S_{j, stress}$)

ความเครียดการใช้งาน				
อุปกรณ์	อุปกรณ์ย่อย	W_i	S_i	% S_j
ส่วนที่กระแสไหลผ่าน	สายส่งไฟฟ้า	0.46	4.33	74.73%
	อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า	0.32	2.67	
	ชุดคอมเพรสชันเคเดน/แคลมป์	0.15	5.00	
	เกราะกันสาย	0.07	2.00	
ฉนวน	ลูกถ้วย	0.70	4.33	78.67%
	เขตเดินสายส่งไฟฟ้า	0.30	3.00	
โครงสร้างและฐานราก	ลานบริเวณรอบเสา	0.06	3.00	52.67%
	รากฐาน	0.18	4.00	
	น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	0.15	1.00	
	โครงค้ำยัน	0.12	5.00	
	โครงสร้างเสา	0.13	3.00	
	เหล็กเสาค้ำ	0.07	2.00	
	เหล็กเพลท	0.12	2.00	
	เหล็กสตั๊ด	0.12	1.00	
	ปล้องควั่น	0.02	1.00	
	การทาสี	0.02	2.00	
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	สายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	2.00	62.82%
	อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	4.00	
	คั่นกันกระแสไฟฟ้า	0.07	5.00	
	ระบบต่อลงดิน	0.19	3.00	
อุปกรณ์อื่น ๆ	อุปกรณ์ฉนวน	0.19	2.00	49.57%
	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก	0.07	2.00	
	อุปกรณ์กันสาย	0.18	2.33	
	อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง	0.13	2.25	
	ดาข่ายกันงู	0.06	4.00	
	ป้ายเตือนอันตราย	0.03	4.00	
	ป้ายเสา	0.03	2.00	
	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04	3.00	
	สแต็ปโบลท์	0.10	2.00	
	ดาข่ายกันคน	0.06	5.00	
	ไฟที่สายตัวนำ	0.02	1.00	
	ลูกบอลเตือน	0.08	2.00	

ค. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย (%S_j) ของปัจจัยอาคารเสีย

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{current carrying}} &= \frac{(0.46 \times 2.33) + (0.32 \times 2.67) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 3.00)}{(0.46 \times 5.00) + (0.32 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 57.85\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{insulation}} &= \frac{(0.70 \times 4.67) + (0.30 \times 3.00)}{(0.70 \times 5.00) + (0.30 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 83.33\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{construction and foundation}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 2.00) + (0.18 \times 1.00) + (0.15 \times 4.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 2.00) + (0.07 \times 1.00) \\ &+ (0.12 \times 3.00) + (0.12 \times 4.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 1.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 56.23\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{lightning protection}} &= \frac{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 4.00) + (0.07 \times 2.00) + (0.19 \times 3.00)}{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 80.68\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{accessories}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 2.00) + (0.07 \times 2.00) + (0.18 \times 2.00) + (0.13 \times 2.75) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 4.00) \\ &+ (0.03 \times 2.00) + (0.04 \times 3.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 4.00) + (0.02 \times 2.00) + (0.08 \times 1.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 5.00) \\ &+ (0.03 \times 5.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.08 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 54.54\% \end{aligned}$$

ตารางที่ 4-3 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยอาการเสีย (% $S_{j, \text{symptom}}$)

อาการเสีย				
อุปกรณ์	อุปกรณ์ย่อย	W_i	S_i	% S_j
ส่วนที่กระแสน้ำไหลผ่าน	สายส่งไฟฟ้า	0.46	2.33	57.85%
	อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า	0.32	2.67	
	ชุดคอมเพรสชันเคเดน/แคลมป์	0.15	5.00	
	เกราะกันสาย	0.07	3.00	
ฉนวน	ลูกถ้วย	0.70	4.67	83.33%
	เขตเดินสายส่งไฟฟ้า	0.30	3.00	
	รากฐาน	0.18	1.00	
	น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	0.15	4.00	
	โครงสร้างเสา	0.13	2.00	
	เหล็กเสาเข็ม	0.07	1.00	
	เหล็กเพลท	0.12	3.00	
	เหล็กสตั๊ป	0.12	4.00	
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	สายโอเวอร์เฮดกราวนด์	0.37	5.00	80.68%
	อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮดกราวนด์	0.37	4.00	
	กันกั้นกระแสไฟฟ้า	0.07	2.00	
	ระบบต่อลงดิน	0.19	3.00	
อุปกรณ์อื่น ๆ	อุปกรณ์ฉนวน	0.19	2.00	54.54%
	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก	0.07	2.00	
	อุปกรณ์กันสาย	0.18	2.00	
	อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง	0.13	2.75	
	ดาข่ายกันงู	0.06	5.00	
	ป้ายเตือนอันตราย	0.03	4.00	
	ป้ายเสา	0.03	2.00	
	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04	3.00	
	สแต๊ปโบลท์	0.10	5.00	
	ดาข่ายกันคน	0.06	4.00	
	ไฟที่สายตัวนำ	0.02	2.00	
	ลูกบอลเตือน	0.08	1.00	

ง. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย (%S_j) ของปัจจัยประเภทการล้มเหลว

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{current carrying}} &= \frac{(0.46 \times 3.00) + (0.32 \times 2.00) + (0.15 \times 3.00) + (0.07 \times 5.00)}{(0.46 \times 5.00) + (0.32 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 56.24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{insulation}} &= \frac{(0.70 \times 2.00) + (0.30 \times 5.00)}{(0.70 \times 5.00) + (0.30 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 58.00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{construction and foundation}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 3.00) + (0.18 \times 2.00) + (0.15 \times 1.00) + (0.12 \times 2.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 4.00) \\ &+ (0.12 \times 2.00) + (0.12 \times 2.00) + (0.02 \times 3.00) + (0.02 \times 4.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 49.98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{lightning protection}} &= \frac{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 1.00) + (0.07 \times 2.00) + (0.19 \times 3.00)}{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 58.59\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{accessories}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 3.00) + (0.07 \times 2.00) + (0.18 \times 2.67) + (0.13 \times 3.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 2.00) \\ &+ (0.03 \times 3.00) + (0.04 \times 2.00) + (0.10 \times 2.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 3.00) + (0.08 \times 1.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 5.00) \\ &+ (0.03 \times 5.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.08 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 55.54\% \end{aligned}$$

ตารางที่ 4-4 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยประเภทการล้มเหลว (%S_{j,failed type})

จ. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย (%S_j) ของปัจจัยเทคโนโลยีล้ำสมัย

$$\begin{aligned} \%S_{j,\text{current carrying}} &= \frac{(0.46 \times 2.33) + (0.32 \times 3.00) + (0.15 \times 3.00) + (0.07 \times 4.00)}{(0.46 \times 5.00) + (0.32 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 55.28\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j,\text{insulation}} &= \frac{(0.70 \times 2.33) + (0.30 \times 5.00)}{(0.70 \times 5.00) + (0.30 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 62.67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j,\text{construction and foundation}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 2.00) + (0.15 \times 3.00) + (0.12 \times 2.00) + (0.13 \times 1.00) + (0.07 \times 2.00) \\ &+ (0.12 \times 2.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 2.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 52.53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j,\text{lightning protection}} &= \frac{(0.37 \times 2.00) + (0.37 \times 3.00) + (0.07 \times 4.00) + (0.19 \times 2.00)}{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 50.19\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j,\text{accessories}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 3.00) + (0.07 \times 2.00) + (0.18 \times 3.33) + (0.13 \times 4.25) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 4.00) \\ &+ (0.03 \times 2.00) + (0.04 \times 3.00) + (0.10 \times 1.00) + (0.06 \times 2.00) + (0.02 \times 3.00) + (0.08 \times 4.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 5.00) \\ &+ (0.03 \times 5.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.08 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \end{aligned}$$

= 61.61%

ตารางที่ 4-5 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยเทคโนโลยีล้าสมัย (% $S_{j,obsolescence}$)

เทคโนโลยีล้าสมัย				
อุปกรณ์	อุปกรณ์ย่อย	W_i	S_i	% S_j
ส่วนที่กระแสไหลผ่าน	สายส่งไฟฟ้า	0.46	2.33	55.28%
	อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า	0.32	3.00	
	ชุดคอมเพรสชั่นเคเดน/แคลมป์	0.15	3.00	
	เกราะกันสาย	0.07	4.00	
ฉนวน	ลูกถ้วย	0.70	2.33	62.67%
	เขตเดินสายส่งไฟฟ้า	0.30	5.00	
โครงสร้างและฐานราก	ลานบริเวณรอบเสา	0.06	5.00	52.53%
	รากฐาน	0.18	2.00	
	น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	0.15	3.00	
	โครงค้ำยัน	0.12	2.00	
	โครงสร้างเสา	0.13	1.00	
	เหล็กเสาเข็ม	0.07	2.00	
	เหล็กเฟลท	0.12	2.00	
	เหล็กสตั๊ป	0.12	5.00	
	ปล่องควัน	0.02	2.00	
	การทาสี	0.02	5.00	
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	สายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	2.00	50.19%
	อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	3.00	
	กันกันกระแสไฟฟ้า	0.07	4.00	
	ระบบต่อลงดิน	0.19	2.00	
อุปกรณ์อื่นๆ	อุปกรณ์ฉนวน	0.19	3.00	61.61%
	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก	0.07	2.00	
	อุปกรณ์กันสาย	0.18	3.33	
	อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง	0.13	4.25	
	ตาข่ายกันงู	0.06	5.00	
	ป้ายเตือนอันตราย	0.03	4.00	
	ป้ายเสา	0.03	2.00	
	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04	3.00	
	สแต๊ปโบลท์	0.10	1.00	

	ดาข่ายกันคน	0.06	2.00	
	ไฟที่สายตัวนำ	0.02	3.00	
	ลูกบอลเตี๋ยน	0.08	4.00	

จ. การคำนวณสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย (%S_j) ของปัจจัยความปลอดภัยและสิ่งแวดลอม

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{current carrying}} &= \frac{(0.46 \times 1.67) + (0.32 \times 3.00) + (0.15 \times 3.00) + (0.07 \times 2.00)}{(0.46 \times 5.00) + (0.32 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 46.48\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{insulation}} &= \frac{(0.70 \times 1.33) + (0.30 \times 1.00)}{(0.70 \times 5.00) + (0.30 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 24.67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{construction and foundation}} &= \frac{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 1.00) + (0.18 \times 1.00) + (0.15 \times 1.00) + (0.12 \times 3.00) + (0.13 \times 4.00) + (0.07 \times 4.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 3.00) + (0.02 \times 1.00) + (0.02 \times 1.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.06 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.15 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) \\ &+ (0.12 \times 5.00) + (0.12 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100 \\ &= 51.17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%S_{j, \text{lightning protection}} &= \frac{(0.37 \times 2.00) + (0.37 \times 3.00) + (0.07 \times 1.00) + (0.19 \times 4.00)}{(0.37 \times 5.00) + (0.37 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.19 \times 5.00)} \times 100 \\ &= 53.68\% \end{aligned}$$

$$\%S_{j,accessories} = \frac{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 3.00) + (0.18 \times 2.33) + (0.13 \times 3.50) + (0.06 \times 1.00) + (0.03 \times 1.00) \\ &+ (0.03 \times 4.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 3.00) + (0.06 \times 2.00) + (0.02 \times 1.00) + (0.08 \times 2.00) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(0.19 \times 5.00) + (0.07 \times 5.00) + (0.18 \times 5.00) + (0.13 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.03 \times 5.00) \\ &+ (0.03 \times 5.00) + (0.04 \times 5.00) + (0.10 \times 5.00) + (0.06 \times 5.00) + (0.02 \times 5.00) + (0.08 \times 5.00) \end{aligned} \right]} \times 100$$

$$= 61.37\%$$

ตารางที่ 4-6 ค่าสภาพของอุปกรณ์ในกลุ่มปัจจัยความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (%S_{j,environment and safety})

ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม				
อุปกรณ์	อุปกรณ์ย่อย	W _i	S _i	%S _j
ส่วนที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน	สายส่งไฟฟ้า	0.46	1.67	46.48%
	อุปกรณ์ต่อของสายส่งไฟฟ้า	0.32	3.00	
	ชุดคอมเพรสชั่นเคเบิล/เคเบิล	0.15	3.00	
	กระดกสาย	0.07	2.00	
ฉนวน	ลูกถ้วย	0.70	1.33	24.67%
	เคเบิลสายส่งไฟฟ้า	0.30	1.00	
โครงสร้างและฐานราก	รากฐาน	0.18	1.00	51.17%
	น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย	0.15	1.00	
	โครงสร้างเสา	0.13	4.00	
	เหล็กเสาเข็ม	0.07	4.00	
	เหล็กเพลท	0.12	5.00	
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	สายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	2.00	53.68%
	อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37	3.00	
	คั่นกันกระแสไฟฟ้า	0.07	1.00	
	ระบบต่อลงดิน	0.19	4.00	
อุปกรณ์อื่น ๆ	อุปกรณ์ฉนวนน้ำหนัก	0.07	3.00	61.37%
	อุปกรณ์คั่นสาย	0.18	2.33	
	อุปกรณ์หน่วงการแกว่ง	0.13	3.50	
	ป้ายเตือนอันตราย	0.03	1.00	
	ป้ายเสา	0.03	4.00	
	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04	5.00	
	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04	5.00	

จากตารางที่ 4-1 ถึง 4-6 จะเห็นว่าเมื่อให้คะแนน (S_j) ตามสภาพอุปกรณ์ในแต่ละปัจจัย คือ อายุ ความเครียดการใช้งาน อาการเสีย ประเภทการล้มเหลว เทคโนโลยีล้ำสมัย และความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม จะได้สภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) จากการส่งไฟฟ้ากำลังแต่ละกลุ่มอุปกรณ์จะมีปัจจัยที่มีผลกระทบหรือทำให้เสียหายต่างกันไป ในขั้นตอนที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีสุขภาพของอุปกรณ์จึงต้องมีการให้ความสำคัญของปัจจัย (W_j) สำหรับแต่ละกลุ่มอุปกรณ์ด้วย

4.2 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์

หลังจากคิดค่าสภาพของกลุ่มอุปกรณ์จากอุปกรณ์ย่อย ($\%S_j$) เสร็จแล้วก็ต้องนำมาหาค่าดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์ ($\%HI_k$) ของอุปกรณ์ในแต่ละกลุ่มแต่ครั้งนี้จะใช้น้ำหนักของข้อกำหนดในการประเมินอุปกรณ์ในระบบส่งไฟฟ้า (W_j)

- เมื่อ W_j ของฉนวนมาจากตารางที่ 3-15
 W_j ของส่วนที่กระแสไหลผ่านมาจากตารางที่ 3-16
 W_j ของส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่ามาจากตารางที่ 3-17
 W_j ของโครงสร้างและฐานรากมาจากตารางที่ 3-18
 W_j ของอุปกรณ์อื่น ๆ มาจากตารางที่ 3-19

ต่อมาทำการหาค่าดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์แต่ละกลุ่มอุปกรณ์หลักโดยใช้สมการที่ 2-4 ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\%HI_k = \frac{\sum_{j=1}^m (\%S_j \times W_j)}{\sum_{j=1}^m (\%S_{j,max} \times W_j)} \times 100$$

เมื่อแทนค่าสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \%HI_{k, \text{current carrying}} &= \frac{(0.28 \times 73.12) + (0.33 \times 74.73) + (0.15 \times 57.58) + (0.11 \times 56.24) + (0.06 \times 55.28) + (0.07 \times 46.48)}{(0.28 \times 100) + (0.33 \times 100) + (0.15 \times 100) + (0.11 \times 100) + (0.06 \times 100) + (0.07 \times 100)} \times 100 \\ &= 66.46\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%HI_{k, \text{insulation}} &= \frac{(0.34 \times 64.67) + (0.21 \times 78.67) + (0.12 \times 83.33) + (0.12 \times 58.00) + (0.12 \times 62.67) + (0.10 \times 24.67)}{(0.34 \times 100) + (0.21 \times 100) + (0.12 \times 100) + (0.12 \times 100) + (0.12 \times 100) + (0.10 \times 100)} \times 100 \\ &= 64.95\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%HI_{k, \text{construction and foundation}} &= \frac{(0.35 \times 58.72) + (0.21 \times 52.67) + (0.13 \times 56.23) + (0.06 \times 49.98) + (0.15 \times 52.53) + (0.10 \times 51.17)}{(0.35 \times 100) + (0.21 \times 100) + (0.13 \times 100) + (0.06 \times 100) + (0.15 \times 100) + (0.10 \times 100)} \times 100 \\ &= 54.90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%HI_{k, \text{lightning protection}} &= \frac{(0.27 \times 64.91) + (0.36 \times 62.82) + (0.14 \times 80.68) + (0.10 \times 58.59) + (0.06 \times 50.19) + (0.08 \times 53.68)}{(0.27 \times 100) + (0.36 \times 100) + (0.14 \times 100) + (0.10 \times 100) + (0.06 \times 100) + (0.08 \times 100)} \times 100 \\ &= 63.98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%HI_{k, \text{accessories}} &= \frac{(0.36 \times 70.87) + (0.06 \times 49.57) + (0.14 \times 54.54) + (0.29 \times 55.54) + (0.11 \times 61.61) + (0.06 \times 61.37)}{(0.36 \times 100) + (0.06 \times 100) + (0.14 \times 100) + (0.29 \times 100) + (0.11 \times 100) + (0.06 \times 100)} \times 100 \\ &= 61.47\% \end{aligned}$$

ค่าคะแนน (S_j) ของกลุ่มอุปกรณ์ คำนวณน้ำหนัก (W_j) ของปัจจัยและค่าดัชนีสุขภาพของอุปกรณ์ ($\%HI_k$) ของแต่ละกลุ่มอุปกรณ์หลักแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์ (%HI_k)

อุปกรณ์	ปัจจัย	W _j	S _j	%HI _k
ส่วนที่กระแสน้ำไหลผ่าน	อายุ	0.28	73.12%	66.46%
	ความเครียดการใช้งาน	0.33	74.73%	
	อาการเสียว	0.15	57.58%	
	ประเภทการลัดวงจร	0.11	56.24%	
	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.06	55.28%	
	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.07	46.48%	
ฉนวน	อายุ	0.34	64.67%	64.95%
	ความเครียดการใช้งาน	0.21	78.67%	
	อาการเสียว	0.12	83.33%	
	ประเภทการลัดวงจร	0.12	58.00%	
	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.12	62.67%	
	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.10	24.67%	
โครงสร้างและฐานราก	อายุ	0.35	58.72%	54.90%
	ความเครียดการใช้งาน	0.21	52.67%	
	อาการเสียว	0.13	56.23%	
	ประเภทการลัดวงจร	0.06	49.98%	
	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.15	52.53%	
	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.10	51.17%	
ส่วนที่ป้องกันไฟฟ้า	อายุ	0.27	64.91%	63.98%
	ความเครียดการใช้งาน	0.36	62.82%	
	อาการเสียว	0.14	80.68%	
	ประเภทการลัดวงจร	0.10	58.59%	
	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.06	50.19%	
	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.08	53.68%	
อุปกรณ์อื่น ๆ	อายุ	0.36	70.87%	61.47%
	ความเครียดการใช้งาน	0.06	49.57%	
	อาการเสียว	0.14	54.54%	
	ประเภทการลัดวงจร	0.29	55.54%	
	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.11	61.61%	
	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.06	61.37%	

4.3 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เมื่อได้ค่าดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์ (%CRI or %HI_k) ก็จะนำมาใช้ในการหาสภาพของอุปกรณ์ โดยค่าน้ำหนักในกลุ่มนี้จะเป็นน้ำหนักของอุปกรณ์ระบบสายส่ง (Sub-System : W_k) มาจากตารางที่

3-10 ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อที่จะหาว่าระบบมีสภาพอย่างไร ซึ่งจะเป็นการหาค่าดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (Equipment Performance Index : EPI) ซึ่งค่าที่จะนำมาคำนวณนั้นอยู่ในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ค่าดัชนีประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้า (%EPI)

อุปกรณ์หลัก	% CRI <i>j</i>	%W <i>component, j</i>	%EPI
ฉนวน	22.00	21	23.48%
ส่วนที่กระแสไหลผ่าน	38.61	31	
โครงสร้างและฐานราก	46.50	18	
ส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า	51.00	16	
อุปกรณ์อื่น ๆ	43.06	11	

จากค่าที่ได้มาจากตารางที่ 4-8 นั้นสามารถนำมาคำนวณหาค่าดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (%EPI) ได้โดยใช้สมการที่ 2-5 ซึ่งมีสมการดังนี้จะแสดงการคำนวณดังนี้

$$\%EPI = \frac{\sum_{k=1}^p \left(\%HI_k \times W_k \right)}{\sum_{k=1}^p \left(\%HI_{k,max} \times W_k \right)} \times 100$$

จะแสดงการคำนวณหาค่าดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ดังนี้

$$\%EPI = \frac{(22.00 \times 21) + (38.61 \times 31) + (46.50 \times 18) + (51.00 \times 16) + (43.06 \times 11)}{51.00 \times (21+31+18+16+11)} \times 100$$

$$= 76.52\%$$

จากการคำนวณจะเห็นว่าค่าดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์มีค่าเท่ากับ 76.52% ส่วนการหาค่าดัชนีการปรับปรุงอุปกรณ์จะใช้สมการที่ 2-6 ในการหาค่าซึ่งได้ค่าดังนี้

$$\%ERI = 100 - \%EPI$$

$$\%ERI = 100 - 76.52\%$$

$$= 23.48\%$$

จากนั้นทดลองใส่ค่าคะแนนเพื่อหาแนวโน้มของโปรแกรมว่าถูกต้องหรือมีทิศทางไปในทางเดียวกัน จะใส่คะแนนเป็นเลขเดียวกันทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ออกมาจะได้ค่าดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ผลการทดลองใส่คะแนนของอุปกรณ์เหมือนกันทั้งหมด

คะแนน	เปอร์เซ็นต์ที่ได้
0	20%
1	40%
2	60%
3	80%
4	100%

จากตารางที่ 4-9 จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่คะแนนมากที่สุดคือ 5 คะแนนให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด ใส่ 4, 3, 2, 1 และ 0 คะแนนให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด จะได้เปอร์เซ็นต์ออกมา 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ตามลำดับ ทั้งหมดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

ค่าของดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (%EPI) จะเป็นตัวที่บ่งบอกว่าสภาพของสายส่งนั้นอยู่ในสภาพใดและจะต้องการปรับปรุงมากน้อยเพียงไร โดยความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (%EPI) กับสภาพอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์กับสภาพอุปกรณ์

%EPI	สภาพ	ความหมาย	Color band
0-39	สภาพแย่	ต้องซ่อมหรือเปลี่ยน	Red
40-79	สภาพปานกลาง	ต้องหมั่นดูแล	Yellow
80-100	สภาพดี	ดูแลตามตาราง	Green

จากตารางที่ 4-10 จะเห็นว่าค่าดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (%EPI) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 76.52% แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพปานกลาง ซึ่งหมายความว่าต้องหมั่นดูแลเพื่อตรวจสอบให้ระบบมีประสิทธิภาพเพียงพอในการส่งกำลังไฟฟ้า และเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือได้ คือ สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง มีไฟดับน้อยที่สุด และมีระยะเวลาสั้นที่สุด

ถ้าค่าของดัชนีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (%EPI) ค่ามากก็จะมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบก็จะมีความตามไปด้วย และยังทำให้ไม่ต้องไปทำการบำรุงรักษามากทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษา



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการทำโครงการเล่มนี้โดยเริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า อ้างอิงจากบทความของต่างประเทศที่มีอุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้ามากกว่าในประเทศไทย เมื่อนำมาใช้สามารถปรับให้เหมาะสมโดยแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีอุปกรณ์ย่อยต่าง ๆ จากทำการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างอุปกรณ์ย่อยในกลุ่ม ระหว่างกลุ่มของอุปกรณ์ และปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพ โดยใช้การตัดสินใจเชิงลำดับชั้นเพื่อหาน้ำหนักความสำคัญในส่วนต่าง ๆ จากนั้นทดลองประเมินโดยทำการให้คะแนนเพื่อหาดัชนีสุขภาพของกลุ่มอุปกรณ์ หาดัชนีประสิทธิภาพและจะได้ดัชนีการปรับปรุงของระบบส่งกำลังไฟฟ้า แล้วนำมาวิเคราะห์ว่าควรดูแลหรือปรับปรุงแก้ไขต่อไป

5.2 ปัญหาที่พบ

เนื่องจากใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้นมาใช้เปรียบเทียบหาความสำคัญ ในความเป็นจริงต้องให้ผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้นมาให้คะแนนเปรียบเทียบระหว่างคู่ จะได้ผลประเมินที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงนำไปสู่การตัดสินใจเรื่องการบริหารรักษาที่แม่นยำ แต่ถ้ามีผู้เชี่ยวชาญหลายคนที่มีความชำนาญในด้านต่าง ๆ แตกต่างกันไป เราจะใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ในการหาคำตอบสุดท้ายเพื่อไปใช้คำนวณต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ขอบเขตการให้คะแนนเปรียบเทียบระหว่างคู่และประเมินจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน

5.3.2 เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินอาจจะต้องวิเคราะห์ปัจจัยย่อยที่มีผลต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้า

5.3.3 เมื่อทำการประเมินในประเทศไทย อาจจะต้องตัดอุปกรณ์ที่ไม่มีออกไป และทำการเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญโดยใช้กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับขั้นใหม่



บรรณานุกรม

- ชัด อินทะสี. (2554). *การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ณภัทร ศรีนาว, อุดลย์ นงภา, สิทธิโชค สินรัตน์, แวมยุรา คำสุข และพิมสหรา ยาคล้ำ. (2559). การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งของคลังสินค้า. *วารสารธุรกิจปริทัศน์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 8(2), 75-89.
- มนัสชนก บริสุทธิญาณิ, นุชบา พุกกษาพันธุ์รัตน์. (2559). การใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์สำหรับการจัดลำดับอุปสรรคของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับโซ่อุปทาน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 11(2), 26-38.
- สุภากร อายุมน . (2552). *การจัดลำดับความสำคัญของสายส่งไฟฟ้าระบบ 115 เควี ในพื้นที่ความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคเหนือ เพื่อการจัดสรรงบประมาณการบำรุงรักษา*. (วิทยานิพนธ์). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรารณ โลหิตปุระ. (2558). การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า: กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้าธุรกิจร้านสะดวกซื้อ. *วารสารวิจัยรามคำแหง (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) มหาวิทยาลัยรามคำแหง*, 18(1), 58-70.
- วิฑูรย์ ตันศิริมงคล. (2557). *AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก*. กรุงเทพฯ: กราฟฟิค แอนด์ ปริ้นติ้ง.

ภาคผนวก

การประเมินสภาพอุปกรณ์บนสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยวิธีการตัดสินใจด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น
(Condition Evaluation on Transmission System Components Using Analytic Hierarchy Process)

ตารางที่ ก-2 การเปรียบเทียบความสำคัญของโครงสร้างและฐานราก

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	1	1/4	1/2	1/4	1	1/2	1/4	1/2	5	5
A2	4	1	3	1	3	2	1	2	5	5
A3	2	1/3	1	3	1/3	2	3	2	5	5
A4	4	1	1/3	1	1/2	4	1	1/2	5	5
A5	1	1/3	3	1/4	1	3	2	1	5	5
A6	2	1/2	1/2	1/4	1/3	1	1/3	1/3	5	5
A7	4	1	1/3	1/2	1/2	3	1	2	5	5
A8	2	1/2	1/2	2	1	3	1/2	1	5	5
A9	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1
A10	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1
ผลรวม	20.40	5.32	9.57	8.65	8.07	18.90	9.48	9.73	42.00	42.00

ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	น้ำหนัก	ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	น้ำหนัก
A1	ลานบริเวณรอบเสา	0.06	A6	เหล็กเสาเข็ม	0.07
A2	รากฐาน	0.18	A7	เหล็กเพลท	0.12
A3	นอตตัวผู้และนอตตัวเมีย	0.15	A8	เหล็กสตั๊ป	0.12
A4	โครงค้ำยัน	0.12	A9	ปล้องควั่น	0.02
A5	โครงสร้างเสา	0.13	A10	การทาสี	0.02

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max,A7}$	$\lambda_{\max,A8}$
10.63	11.47	11.20	11.18	11.82	10.86	11.15	10.96
$\lambda_{\max,A9}$	$\lambda_{\max,A10}$	$\lambda_{\max}$	n	RI	CI	CR	
10.86	10.86	11.0981	10	1.49	0.122011	0.081886	

ตารางที่ ก-3 การเปรียบเทียบความสำคัญของส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า

	A1	A2	A3	A4
A1	1	1	5	2
A2	1	1	5	2
A3	1/5	1/5	1	1/3
A4	1/2	1/2	3	1
ผลรวม	2.70	2.70	14.00	5.33

ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	น้ำหนัก
A1	สายโอเวอร์เฮดกราวด์	0.37
A2	อุปกรณ์ต่อสายโอเวอร์เฮด กราวด์	0.37
A3	คันทันกระแสไฟฟ้า	0.07
A4	ระบบต่อลงดิน	0.19

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max}$	n	RI	CI
4.01	4.01	4.00	4.00	4.004161	4	0.90	0.001387
CR							
0.001541							

ตารางที่ ก-4 การเปรียบเทียบความสำคัญของอุปกรณ์อื่น ๆ

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
A1	1	4	1	3	4	4	4	4	3	4	5	3
A2	1/4	1	1/3	1/3	3	3	3	3	1/2	2	4	1/3
A3	1	3	1	3	4	5	4	4	2	4	5	3
A4	1/3	3	1/3	1	3	4	4	3	2	3	5	3
A5	1/4	1/3	1/4	1/4	1	3	3	5	1/3	1/3	5	1/3
A6	1/4	1/3	1/5	1/4	1/3	1	1	1/2	1/4	1/4	2	1/3
A7	1/4	1/3	1/4	1/3	1/3	1	1	1/2	1/3	1/3	2	1/3
A8	1/4	1/3	1/4	1/3	1/5	2	2	1	1/3	1/2	2	1
A9	1/3	2	1/2	1/2	3	4	3	3	1	3	4	2
A10	1/4	1/2	1/3	1/5	3	4	3	2	1/3	1	3	1/2
A11	1/5	1/4	1/5	1/5	1/5	1/2	1/2	1/2	1/4	1/3	1	1/5
A12	1/3	3	1/3	1/3	3	3	3	1	1/2	2	5	1
ผลรวม	4.70	18.08	4.98	9.73	25.07	34.50	31.50	27.50	10.83	20.75	43.00	15.03

ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	น้ำหนัก	ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	น้ำหนัก
A1	อุปกรณ์ฉนวน	0.19	A7	ป้ายเสา	0.03
A2	อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก	0.07	A8	ไฟแสดงตำแหน่งเสา	0.04
A3	อุปกรณ์คันสาย	0.18	A9	สแต็ปโบลท์	0.10
A4	อุปกรณ์หน่วยการแกว่ง	0.13	A10	ดาข่ายกันคน	0.06
A5	ดาข่ายกันงู	0.06	A11	ไฟที่สายตัวนำ	0.02
A6	ป้ายเตือนอันตราย	0.03	A12	ลูกบอลเตือน	0.08

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max,A7}$	$\lambda_{\max,A8}$
13.70	13.55	13.63	13.85	12.63	12.57	12.62	12.72
$\lambda_{\max,A9}$	$\lambda_{\max,A10}$	$\lambda_{\max,A11}$	$\lambda_{\max,A12}$	$\lambda_{\max}$	n	RI	CI
13.72	13.35	12.68	13.76	13.23	12	1.48	0.111979
CR							
0.075661							

ตารางที่ ก-5 การเปรียบเทียบความสำคัญปัจจัยการเสื่อมสภาพของถนน

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	2	3	3	5	2
A2	1/2	1	2	3	1	3
A3	1/3	1/2	1	1	2	1
A4	1/3	1/3	1	1	1/2	3
A5	1/5	1	1/2	2	1	1
A6	1/2	1/3	1	1/3	1	1
ผลรวม	2.87	5.17	8.50	10.33	10.50	11.00

ตัวแปร	ข้อปัจจัยการเสื่อมสภาพ	น้ำหนัก
A1	อายุ	0.34
A2	ความถี่การใช้งาน	0.21
A3	อาการเสีย	0.12
A4	ประเภทการสัมผัส	0.12
A5	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.12
A6	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.10

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max}$	n
6.62	6.56	6.65	6.43	6.74	6.37	6.56	6
RI	CI	CR					
1.24	0.112305	0.090569					

ตารางที่ ก-6 การเปรียบเทียบความสำคัญปัจจัยการเสื่อมสภาพของส่วนที่กระแสไหลผ่าน

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	1/2	3	4	5	3
A2	2	1	2	5	4	3
A3	1/3	1/2	1	3	2	2
A4	1/4	1/5	1/3	1	3	3
A5	1/5	1/4	1/2	1/3	1	1
A6	1/3	1/3	1/2	1/3	1	1
ผลรวม	4.12	2.78	7.33	13.67	16.00	13.00

ตัวแปร	ชื่อปัจจัยการเสื่อมสภาพ	น้ำหนัก
A1	อายุ	0.28
A2	ความเครียดการใช้งาน	0.33
A3	อาการเสีย	0.15
A4	ประเภทการสัมผัส	0.11
A5	เทคโนโลยีสมัย	0.06
A6	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.07

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max}$	n
6.69	6.73	6.76	6.25	6.21	6.20	6.47	6
RI	CI	CR					
1.24	0.094735	0.076399					

ตารางที่ ก-7 การเปรียบเทียบความสำคัญปัจจัยการเสื่อมสภาพของโครงสร้างและฐานราก

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	2	3	4	5	2
A2	1/2	1	2	4	1	3
A3	1/3	1/2	1	2	2	1
A4	1/4	1/4	1/2	1	1/3	1/2
A5	1/5	1	1/2	3	1	3
A6	1/2	1/3	1	2	1/3	1
ผลรวม	2.78	5.08	8.00	16.00	9.67	10.50

ตัวแปร	ข้อปัจจัยการเสื่อมสภาพ	น้ำหนัก
A1	อายุ	0.35
A2	ความถี่การใช้งาน	0.21
A3	อาการเสีย	0.13
A4	ประเภทการสัมผัส	0.06
A5	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.15
A6	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.10

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max}$	n
6.76	6.33	6.79	6.31	6.49	6.17	6.48	6
RI	CI	CR					
1.24	0.095049	0.076652					

ตารางที่ ก-8 การเปรียบเทียบความสำคัญปัจจัยการเสื่อมสภาพของส่วนที่ป้องกันฟ้าผ่า

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	1/2	3	3	5	4
A2	2	1	4	5	4	3
A3	1/3	1/4	1	4	3	1
A4	1/3	1/5	1/4	1	2	3
A5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1
A6	1/4	1/3	1	1/3	1	1
ผลรวม	4.12	2.53	9.58	13.83	16.00	13.00

ตัวแปร	ชื่อปัจจัยการเสื่อมสภาพ	น้ำหนัก
A1	อายุ	0.27
A2	ความถี่การใช้งาน	0.36
A3	อาการเสีย	0.14
A4	ประเภทการสัมผัส	0.10
A5	เทคโนโลยีสมัย	0.06
A6	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.08

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max}$	n
6.69	6.80	7.03	6.31	6.31	6.46	6.60	6
RI	CI	CR					
1.24	0.120313	0.097027					

ตารางที่ ก-9 การเปรียบเทียบความสำคัญปัจจัยการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์อื่น ๆ

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	5	3	2	3	5
A2	1/5	1	1/2	1/4	1/3	1
A3	1/3	2	1	1/3	2	3
A4	1/2	4	3	1	4	5
A5	1/3	3	1/4	1/3	1	2
A6	1/5	1	1/3	1/5	1/2	1
ผลรวม	2.57	16.00	8.08	4.12	10.83	17.00

ตัวแปร	ชื่อปัจจัยการเสื่อมสภาพ	น้ำหนัก
A1	อายุ	0.36
A2	ความเครียดการใช้งาน	0.06
A3	อาการเสีย	0.14
A4	ประเภทการสัมผัส	0.29
A5	เทคโนโลยีล้ำสมัย	0.11
A6	ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม	0.06

$\lambda_{\max,A1}$	$\lambda_{\max,A2}$	$\lambda_{\max,A3}$	$\lambda_{\max,A4}$	$\lambda_{\max,A5}$	$\lambda_{\max,A6}$	$\lambda_{\max}$	n
6.29	6.15	6.21	6.32	6.03	6.12	6.19	6
RI	CI	CR					
1.24	0.037364	0.030132					

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ – นามสกุล : นางสาวอภิสรา แสงขำ
รหัสนักศึกษา : 6104200020
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ที่อยู่ : 98/44 หมู่บ้านนาราพาร์ค ถ.กาญจนาภิเษก ต.ปลายบาง
อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษา : โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ ไทย-เยอรมัน
ปริญญาตรี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสยาม