บทที่ 6
สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินผลกระทบทางกลที่เกิดจากแรงลมที่ทำให้ความเค้นของสายเพิ่มขึ้น และผลกระทบทางความร้อนจากการจ่ายโหลด โดยทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดของฉนวนและเปลือกนอกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ ใช้สายขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 33 กิโลโวลต์ ซึ่งพบว่าความเค้นที่เพิ่มขึ้นจากความเร็วลมที่ปะทะสายทำให้ฉนวนและเปลือกมีการยืดออกทำให้ระดับการฉนวนต่ำลงบริเวณที่สายพาดบนหัวลูกถ้วย และบริเวณที่มีการแตะสัมผัสกับต้นไม้ ซึ่งเป็นบริเวณที่อาจเสียหายได้ง่ายจากแรงดันเกินพิกัด ทั้งจากฟ้าผ่า และการดิสชาร์จบางส่วน เป็นต้น

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของฉนวนและเปลือกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบหาแรงดึงที่ทำให้สายยืดออกทำให้ฉนวนเปลือกมีความหนาลดลง

ส่วนที่ 1 การทดสอบตามมาตรฐาน ประกอบด้วย

การทดสอบความต้านทานแรงดึง และความยืดของฉนวนและเปลือกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศก่อนเร่งอายุการใช้งาน และภายหลังเร่งอายุการใช้งานที่ 121^{o}C ± 1^{o}C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง ของสายที่ผ่านการใช้งานและสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน จากการทดสอบพบว่า หลังจากเร่งอายุการใช้งานฉนวนสายใหม่ที่ยังไม่ใช้งานมีอัตราความต้านทานแรงดึงและความยืดสูงขึ้นและสูงกว่าฉนวนสายเก่าที่ผ่านการใช้งาน

ในส่วนเปลือกสายไฟฟ้าซึ่งผ่านการใช้งานมีอัตราความต้านทานแรงดึงและความยืดสูงขึ้นหลังจากเร่งอายุการใช้งานและสูงกว่าเปลือกสายใหม่ที่ยังไม่ใช้งาน

การทดสอบความยืดสูงสุดของฉนวนและเปลือกเมื่อได้รับความร้อนที่ 150^{o}C ±2^{o}C เป็นเวลา 15 นาที และความยืดสูงสุดหลังจากปล่อยให้เย็นลงของสายที่ผ่านการใช้งาน และสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน จากการทดสอบพบว่า ฉนวนและเปลือกสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมีความยืดหยุ่นดีกว่าสายเก่าที่ผ่านการใช้งาน ทั้งยืดและหดตัวกลับได้มากขึ้น

การทดสอบ Heat Distortion ของฉนวน และเปลือกของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศที่ผ่านการใช้งาน และสายใหม่ที่ไม่ผ่านการใช้งานโดยอบชิ้นตัวอย่างที่ 120 – 122 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นใช้ Pressure Foot กดทับบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า สายใหม่ที่ยังไม่

ใช้งานจะมีความยืดหยุ่นและหดตัวได้มากกว่าสายที่ผ่านการใช้งาน เนื่องจากสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศมีฉนวนและเปลือก xlpe เป็นสารประกอบประเภทเทอร์โมเซ็ตติงที่เมื่อมีการใช้งานแล้ว หรือมีการอบสายทำให้คุณสมบัติของ xlpe มีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ทำให้สายมีลักษณะทนทานต่อแรงดึงมากขึ้น แต่ความยืดหยุ่นจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสายใหม่

ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบหาแรงดึงที่ทำให้สายยืดออกทำให้ฉนวนและเปลือกมีความหนาลดลง ประกอบด้วย

การทดสอบแรงดึงของฉนวนและเปลือก XLPE ของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา 5 ระดับ คือ 0.8±0.1, 1.2±0.1, 1.5±0.1, 1.8±0.1 และ 2.1±0.1 มม. เพื่อพิจารณาว่าความหนามีผลความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของฉนวนและเปลือกสายใหม่ที่นำมาทดสอบอย่างไร จากการทดสอบพบว่า ความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของเปลือกมีค่าสูงกว่าฉนวนของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของฉนวนมีผลต่อความต้านทานแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยน้อยมาก

การทดสอบหาแรงดึงที่เหมาะสมในการติดตั้งใช้งานจริงของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศ โดยแขวนชิ้นตัวอย่างที่มีการถ่วงน้ำหนัก 1.0 กิโลกรัม 1.4 กิโลกรัม 1.8 กิโลกรัม และ 2.2 กิโลกรัม ตากแดดกลางแจ้ง เป็นระยะเวลา 360 ชั่วโมง และวิเคราะห์หาแรงดึงที่ทำให้ฉนวนและเปลือกสายไฟฟ้ามีความหนาลดลงทำให้เกิดการชำรุดเสียหาย พบว่าที่ค่าน้ำหนักถ่วง 2.2 กิโลกรัม จะเกิดจุดซึ่งความหนาลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่ใช้เวลาเพียงเล็กน้อย คือ 6.28 นิวตันต่อตร.มม. ถ้าเปรียบเทียบกับสายที่ใช้งานจริงซึ่งมีพื้นที่ 866 ตร.มม. จะได้แรงดึงเท่ากับ 5438 นิวตัน สามารถนำค่าแรงดึงนี้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดขอบเขตแรงดึงที่ทำให้ฉนวนมีความหนาลดลงอย่างมากและเกิดวิกฤตซึ่งทำให้สายเกิดการคอดตัวอย่างมาก เมื่อสายไฟฟ้าต้องจ่ายพลังงานจะเกิดความร้อนเฉพาะจุด และยิ่งทำให้เกิดการยืดตัวมากขึ้น จนกระทั่งทำให้เกิดการยืดตัวของฉนวน และเกิดดิสชาร์จบางส่วน ในที่สุดสายจะขาดบริเวณดังกล่าวซึ่งกำหนดค่าได้ดังตารางที่ 6.1 และ 6.2 ส่วนที่แรงเงา

ตารางที่ 6.1 แรงดึงของสาย 185 ตารางมิลลิเมตร กรณีคิดแรงลม 40 กิโลกรัม/ตารางเมตร

ระยะช่วงเสา (ม.)	แรงดึงของสาย 185 ตร.ซม. (นิวตัน) ที่อุณหภูมิขณะขึงสาย							
	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	65°C
10	10449.25	6966.17	5224.63	2985.50	1899.86	1492.75	1306.16	1161.03
20	11942.00	8359.40	5971.00	4179.70	3215.15	2696.58	2322.06	2199.84
30	11063.91	8177.67	6269.55	5083.42	4179.70	3687.97	3242.87	3083.39
40	10449.25	8155.51	6687.52	5667.39	4917.29	4399.68	4028.63	3843.40
50	9857.78	8163.48	7060.30	6146.62	5499.61	5023.68	4623.56	4465.49

ตารางที่ 6.2 แรงดึงของสาย 185 ตารางมิลลิเมตร กรณีไม่คิดแรงลม

ระยะช่วงเสา (ม.)	แรงดึงของสาย 185 ตร.ซม. (นิวตัน) ที่อุณหภูมิขณะขึงสาย							
	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	65°C
10	6826.31	4550.88	3413.16	1950.38	1241.15	975.19	853.29	758.48
20	7801.50	5461.05	3900.75	2730.53	2100.40	1761.63	1516.96	1437.12
30	7227.86	5342.33	4095.79	3320.91	2730.53	2409.29	2118.51	2014.32
40	6826.31	5327.85	4368.84	3702.41	3212.38	2874.24	2631.83	2510.83
50	6439.92	5333.06	4612.37	4015.48	3592.80	3281.88	3020.49	2917.23

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง และการทดสอบ Heat Distortion พบว่าสายผ่านการใช้งานมีความต้านทานแรงดึงของฉนวนและเปลือกนอกสายสูงกว่าสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน แต่เมื่อนำสายใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานไปผ่านกระบวนการเร่งอายุการใช้งานกลับพบว่า สายมีความต้านทานแรงดึงของฉนวนและเปลือกสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสายที่ผ่านกระบวนการผลิตออกมาใหม่ควรจะมีการอบอีกครั้งเพื่อให้มีการจัดเรียงโมเลกุลของ XLPE ใหม่ทำให้สายมีความความต้านทานแรงดึงดีขึ้น ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบ

และในการหาระยะหย่อนยานของสาย ควรจะมีการใช้ให้เหมาะสม ซึ่งจะได้ว่าที่ระยะช่วงเสา 40 เมตรควรใช้ระยะหย่อนยานมากว่า 0.59 เมตร ส่วนที่ระยะช่วงเสาอื่นๆควรจะใช้ค่าที่มากกว่าเส้นแบ่งซึ่งสามารถดูได้จากตารางที่ 6.3 ส่วนที่อยู่ขวามือ

ตารางที่ 6.3 ระยะหย่อนยานต่ำสุดที่แนะนำ

ระยะช่วงเสา (ม.)	อุณหภูมิขณะขึงสาย							
	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	65°C
	ระยะหย่อนยานต่ำสุด (ม.)							
10	0.02	0.03	0.04	0.07	0.11	0.14	0.16	0.18
20	0.07	0.10	0.14	0.20	0.26	0.31	0.36	0.38
30	0.17	0.23	0.30	0.37	0.45	0.51	0.58	0.61
40	0.32	0.41	0.50	0.59	0.68	0.76	0.83	0.87
50	0.53	0.64	0.74	0.85	0.95	1.04	1.13	1.17

ซึ่งในการติดตั้งใช้งานสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศในระบบจำหน่ายควรคำนึงถึงแรงลมที่ปะทะสายเนื่องจากแรงลมที่ปะทะสายจะทำให้ความเค้นในสายเพิ่มขึ้นจากสภาวะที่ไม่มีแรงลมทำให้ฉนวนและเปลือกสายมีการเปลี่ยนแปลงความยาว และความหนา ทำให้ระดับการฉนวนมีค่าต่ำลง อยู่ในสภาวะวิกฤต และมีความเป็นได้ง่ายที่จะเสียสภาพการฉนวนจากแรงดันเกินในแบบทั้งจาก ฟ้าผ่าและ การเกิดสวิตชิ่ง เป็นต้น ซึ่งวิธีที่ลดความเค้นที่เกิดขึ้นในสายโดยการเพิ่มระยะหย่อนของสายให้มากขึ้นเพื่อป้องกันการยืดของสายเนื่องจากแรงลมได้

นอกจากแรงลมที่ปะทะสายแล้วยังต้องคำนึงถึง อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อ ระยะช่วงเสา ระยะหย่อนของสาย และกระแสที่ไหลในสาย เพราะสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขึงในอากาศอาจมีความร้อนสะสมทำให้ฉนวนและเปลือกมีการชำรุด อาจทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลลงดินผ่านรอยชำรุดของฉนวนได้