บทที่ 4

โครงสร้างในกรณีศึกษาและการจำลอง
(Tower in Case Study and Modeling)

4.1 ลักษณะทั่วไปของเสาส่งไฟฟ้ากรณีศึกษา

เสาส่งไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีศึกษาเป็นเสาส่งไฟฟ้าขนาด 230 เควี แบบ DA1 เป็นเสาส่งไฟฟ้าโครงสร้างเหล็กชนิดที่ใช้แขวนสายไฟฟ้า (Suspension tower) ซึ่งมีความสูง 46.68 เมตร ดังแสดงในรูปที่ (1.1) ตัวโครงสร้างทำด้วยเหล็กฉากขาเท่ากัน (Equal leg angle) ยึดติดกันด้วยสลัก (Bolt) เป็นโครงสร้างลักษณะโครงถัก (Truss) ยกเว้นส่วนเสาสั้น (Stub) ในโครงสร้างเสาส่งที่ฐานเท่านั้นที่ฝังแน่นในฐานราก

โครงถักนี้รองรับด้วยเสาสั้น (Stub) ยาว 0.50 เมตร ซึ่งฝังอยู่ในฐานราก ชิ้นส่วนในเสาส่งไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ 3 แบบคือ

ก. ชิ้นส่วนหลัก (Main member) เป็นชิ้นส่วนขาที่อยู่มุมทั้งสี่

ข. ชิ้นส่วนทแยง (Diagonal member) เป็นชิ้นส่วนที่ยึดโยงชิ้นส่วนหลัก

ค. ชิ้นส่วนเกิน (Redundant member) เป็นชิ้นส่วนที่ใส่เพิ่มนอกเหนือจากที่ต้องการจากสภาวะสมดุล แต่ใส่เพื่อลดความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนหลัก หรือชิ้นส่วนทแยงเป็นสำคัญ ซึ่งจะเพิ่มกำลังให้กับชิ้นส่วน

แบบจำลองโครงถักที่ใช้จะสมมุติจุดยึดที่ฐานเป็นแบบยึดแน่น (Fixed supports) ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะสมมุติให้มีขนาดหน้าตัดคงที่ แรงภายนอกให้กระทำที่ข้อต่อ (Joints) เท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นจะศึกษาเฉพาะแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometrically

nonlinear analysis) เท่านั้น โดยในการวิเคราะห์ทั้งหมดในงานวิจัยจะใช้โปรแกรม SAP90 (1992) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความถูกต้อง เป็นที่ยอมรับทั่วโลก

4.2 การจำลองเสาส่งไฟฟ้า

เสาส่งไฟฟ้าที่ศึกษาดูคล้ายกับเป็นโครงถักสามมิติ (Space truss) แต่เมื่อดูจากสภาพความเป็นจริงของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าปลายของชิ้นส่วนทแยงในระนาบที่ตั้งฉากกันไม่ได้พบกันที่จุดยึดเดียวกัน ทำให้โครงสร้างไม่เป็นสามเหลี่ยมพื้นฐานคือรูปปิระมิดฐานสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นรูปพื้นฐานของโครงถัก 3 มิติ ทำให้โครงสร้างไม่มีเสถียรภาพ (Instability) ภายใต้แรงกระทำที่ข้อต่อซึ่งตั้งฉากกับระนาบของชิ้นส่วนทแยง ในงานวิจัยจึงทำการเพิ่มชิ้นส่วนจินตภาพ (Imaginary member) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ชิ้นส่วนดังกล่าวจะเลือกให้มีพื้นที่หน้าตัดน้อยมาก ในที่นี้เลือกประมาณ 1/250 เท่า ของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนหลักของโครงสร้างในตำแหน่งจุดยึดดังกล่าว ชิ้นส่วนจินตภาพนี้จำเป็นเพื่อให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ (Stability) โดยการเลือกพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนจินตภาพดังกล่าว ได้จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นเรขาคณิตกับแบบจำลองโดยส่วนหลักเป็นชิ้นส่วนคาน (Beam element) และชิ้นส่วนทแยงเป็นโครงถัก โดยไม่ต้องใช้ชิ้นส่วนจินตภาพ (สุมลรัตน์ ,2539) ดังจะกล่าวต่อไป

รูปที่ 4.3ก. แสดงรูปด้านข้างของแบบจำลองเสาส่งไฟฟ้าพร้อมหมายเลขของชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนทแยง ส่วนหมายเลขของชิ้นส่วนจินตภาพและพิกัดต่างๆ ได้ให้ไว้ในภาคผนวก ก และภาคผนวก ข ตามลำดับ

การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต จะใช้แรงกระทำรูปแบบเดียวกันและกระทำเฉพาะที่จุดยึด (ไม่พิจารณาแรงที่กระทำบนชิ้นส่วน) และจะเพิ่มแรงกระทำเรื่อยๆ ด้วยแฟคเตอร์ (Load factor ,LF) จนกระทั่งโครงสร้างสูญเสียเสถียรภาพโดยรวม (Overall instability) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งได้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ระหว่างกรณีของชิ้นส่วนจินตภาพที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 1/250 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนหลักกับแบบจำลองของสุมลรัตน์ (2539) ซึ่งจะเห็นว่าผลของแฟคเตอร์ที่ทำให้โครงสร้างสูญเสียเสถียรภาพโดยรวมใกล้เคียงกันในการวิเคราะห์ทั้งสองแบบจำลอง

ผลการวิเคราะห์พบสิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง คือเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยมีสมมุติฐานที่ให้ชิ้นส่วนหลักเป็นชิ้นส่วนคาน หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ (Bending stress) ในชิ้นส่วนมีค่าประมาณ 2-6 เปอร์เซนต์ ของกำลังชิ้นส่วน (Bending capacity) เป็นการแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างมีพฤติกรรมหลักเป็นโครงสร้างถักสามมิติ ดังนั้นการจำลองให้โครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าชนิด DA.1 เป็นโครงถักจึงมีความเหมาะสม

4.3 ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

ความเร็วลมพื้นฐานแบ่งตามลักษณะการวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.3.1 ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์สถิตย์ศาสตร์เทียบเท่า เพื่อหาหน่วยแรงลมในแต่ละข้อกำหนดคือ

ก. ข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กำหนดความเร็วลมพื้นฐานเท่ากับ 35.7 เมตรต่อวินาที เฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที ที่ความสูง 10 เมตร คิดที่คาบการกลับ 50 ปี โดยคำนวณจากความเร็วลมเฉลี่ย 30.3 เมตรต่อวินาที ที่วัดได้จากสถานีตรวจอากาศในบริเวณใกล้เคียงกับแนวเสาส่ง และปรับแก้ด้วยแฟคเตอร์ 1.18 เนื่องจากสถานีตรวจวัดไม่ได้อยู่ในสภาพพื้นผิวโล่ง ซึ่งเทียบเท่ากับความเร็วลมพื้นฐาน 34.4 เมตรต่อวินาที ($35.7/\sqrt{1.08}$) เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง

ข. ข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา ใช้ค่าความเร็วลมพื้นฐานเท่ากับ 26.5 เมตร ต่อวินาที เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง สำหรับคาบการกลับ 50 ปีและเป็นลมประเภทธรรมดา (ที่ไม่ใช่ไต้ฝุ่น) ในภาคใต้ (Mikitiuk และคณะ,1995) แต่เมื่อคำนึงถึงพายุไต้ฝุ่นจะปรับแก้ความเร็วลมพื้นฐานเป็น 31.7 เมตรต่อวินาทีสำหรับสภาวะใช้งานซึ่งให้ผลเทียบเท่ากับผลจากพายุไต้ฝุ่นเกย์ที่สภาวะประลัย เมื่อใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก 1.40 สำหรับแรงลม[1]

4.3.2 รูปแบบของแรงลมในการวิเคราะห์พลศาสตร์ นอกจากหน่วยแรงลมที่กระทำต่อเสาส่ง

---

[1] ความเร็วลมเทียบเท่ากับที่สภาวะประลัย $= 37.5/\sqrt{1.4} = 31.7$ เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมไต้ฝุ่น (Mikitiuk และคณะ,1995) เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตร

จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงเหมือนกับข้อกำหนด UWO ความเร็วลมที่ระดับเดียวกันยังมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย ดังนั้นแรงที่กระทำต่อโครงสร้างจะเป็นฟังก์ชันของเวลา ข้อมูลความเร็วลมที่ใช้วิเคราะห์เพื่อแปลงเป็นแรงลมใช้กระทาต่อเสาส่งไฟฟ้า DA1. ในงานวิจัยนี้ได้จาก 2 แหล่ง กล่าวคือ

ก. ความเร็วลมที่วัดได้จริงในช่วงที่เกิดพายุใน Ann Arbor , มิชิแกน วันที่ 28 เมษายน 1931 (Sherlock, R.H. และ Stout, M.B., 1937) โดยใช้เครื่องมือบันทึกพิเศษ (Special electric recording anemometer) และใช้เวลาในการบันทึกประมาณ 24 วินาที มีระยะห่างของช่วงเวลา (Time interval) ประมาณ 0.5 วินาที ซึ่งคำนวณหาความเร็วลมพื้นฐานเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาทีเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง ลักษณะของความเร็วลมที่ได้จากการบันทึกจะแปรเปลี่ยนตามเวลาและความสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ข. ความเร็วลมที่ได้ทดสอบในอุโมงค์ลม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (P. Lukkunaprasit, P. Pheinsusom and S. Soobphakarnpittayakool,1995) รูปที่ 4.5 แสดงอุปกรณ์ แผ่นไสปร์(Spires),แผ่นขวาง (Barrier) และบล๊อกสร้างความขรุขระ (Roughness block) และรูปแบบการติดตั้ง เพื่อสร้างความหนาของขอบชั้น (Boundary layer) ความเร็วเฉลี่ยที่พัดประมาณ 5.18 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความสูง 53 เซนติเมตร ผลจากการทดสอบได้ลักษณะของลมตามความสูงดังรูปที่ 4.6 สำหรับเสกลความยาว (Length scale) เท่ากับ 1:50 วิเคราะห์ความหนาแน่นของพลังงานเชิงสเปกตรัม (Power spectral density) ของลมธรรมชาติในสัดส่วนจริง (Full scale) ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟังก์ชันความหนาแน่นของพลังงานเชิงสเปกตรัม ที่แนะนำโดย Melbourne (1982) ซึ่งมีสภาพลมแบบชนบทคล้ายกัน พบว่าลมที่จำลองได้มีพลังงานในช่วงความถี่สูงมากกว่าความเป็นจริง

ในการวิจัยได้ทำการทดสอบความเร็วลมใหม่โดยใช้ลักษณะอุปกรณ์สร้างความหนาของขอบชั้นเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น ลักษณะของความเร็วลมที่วัดได้แสดงดังในรูปที่ 4.8 โดยมีความเร็วเฉลี่ยที่ระดับ 93.3 เซนติเมตร ประมาณ 7.7 เมตรต่อวินาที (ที่ความสูง 53 ซม. มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 6.8 เมตรต่อวินาที) กำหนดช่วงเวลา (Time interval) ของการบันทึกเท่ากับ 0.005 วินาที ใช้เวลาในการบันทึกข้อมูล 20 วินาที ในการแปลงความเร็วไปสู่ลมธรรมชาติในสัดส่วนจริง

ได้สมมุติเสกลความยาวเท่ากับ 1:50 เช่นเดิม และสมมุติว่ามีความหนาแน่นของพลังงานเชิงสเปกตรัมเป็นเหมือนเดิม

4.4 หน่วยแรงดันลม และการกระจายตามความสูง

ก. ข้อกำหนด กฟผ ใช้ความเร็วลมพื้นฐานดังได้กล่าวในหัวข้อ 4.3.1.ก และให้ใช้ค่าแรงดันลมที่กระทำต่อเสาส่งมีค่าคงที่ตลอดความสูง โดยที่แรงดันลมได้มาจากการแปลงความเร็วลมกระโชก 2 วินาที (2-second gust) ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่งไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพิจารณาตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเกิน (Overload factor) เท่ากับ 1.30 ในการคำนวณแรงกระทำที่สภาวะประลัย

ข. ข้อกำหนด UWO ใช้ความเร็วลมพื้นฐานดังได้กล่าวในหัวข้อ 4.3.1.ข และกำหนดให้หน่วยแรงดันลมที่กระทำต่อเสาส่งเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามระดับความสูงตามกฎยกกำลัง และใช้ตัวคูณน้ำหนักเท่ากับบรรทุกเกิน 1.40

ตารางที่ 4.2 สรุปสาระสำคัญของการคำนวณแรงลมโดยข้อกำหนดทั้งสอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย