บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

เมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2532 ได้เกิดพายุไต้ฝุ่นเกย์พัดผ่านบริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้ตอนบน โดยเฉพาะจังหวัดชุมพรและประจวบคีรีขันธ์ ทำให้บ้านเรือนเสียหายกว่า 46,000 หลังคาเรือน ผู้คนเสียชีวิตกว่า 600 คน เรืออับปางกว่า 200 ลำ เสาสายส่งไฟฟ้าแรงสูง (Transmission towers) เสียหายกว่า 30 ต้น ซึ่งในจำนวนนั้น มีเสาสายส่งไฟฟ้า 6 ต้น ที่เพิ่งก่อสร้างส่วนโครงสร้างแล้วเสร็จแต่ยังไม่ได้ติดตั้งสายส่งไฟฟ้าแรงสูง การออกแบบเสาสายส่งไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าว กระทำโดยใช้ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบก็มีค่าค่อนข้างสูง กล่าวคือ 34.4 เมตร/วินาที สำหรับสภาวะใช้งาน และ 39.2 เมตร/วินาที ที่สภาวะประลัย (คิดตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 1.3) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความเร็วลมเนื่องจากพายุไต้ฝุ่นเกย์ (ประมาณว่าเท่ากับ 37.5 เมตร/วินาที - Mikitiuk และคณะ, 1995) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เสาสายส่งไฟฟ้าดังกล่าวยังไม่ได้ติดตั้งสายไฟฟ้า แรงลมที่เกิดขึ้นจึงยังน้อยอยู่ แต่ก็ยังเกิดการวิบัติของเสาสายส่งไฟฟ้า ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่น่าสนใจศึกษา

ด้วยการตระหนักถึงความจำเป็นในการปรับปรุงข้อกำหนดการออกแบบเสาสายส่งไฟฟ้า โดยคำนึงถึงข้อมูลใหม่จากพายุไต้ฝุ่นเกย์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจึงได้ว่าจ้างหน่วยวิจัยอุโมงค์ลม (Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory) มหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ (University of Western Ontario (UWO)) ประเทศแคนาดา และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยให้ทำการศึกษาเพื่อจัดทำข้อกำหนดใหม่ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาเปรียบเทียบข้อกำหนดการออกแบบทั้งสองข้อกำหนด คือ ข้อกำหนดเดิมของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และ ข้อกำหนดใหม่ที่เสนอโดย UWO อีกทั้งศึกษาผลของการวิเคราะห์แบบไม่

เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometric nonlinear analysis) ต่อการวิบัติของเสาสายส่ง โดยใช้เสาสายส่งไฟฟ้าชนิด DA1 ในสาย 230 เควี โครงการ ประจวบคีรีขันธ์-สุราษฎร์ธานี ในขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งสายไฟฟ้าเป็นกรณีศึกษา เสาสายส่งไฟฟ้าชนิด DA1 (ดูรูปที่ 1.1) นี้ เป็นชนิดที่เกิดวิบัติถึง 3 ต้น จากที่วิบัติทั้งหมด 6 ต้น และยังเป็นชนิดที่มีปริมาณมากที่สุดในสายหนึ่งๆ

1.2 วัตถุประสงค์

ในการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์คือ

ก) เพื่อเปรียบเทียบผลการออกแบบตามข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า ซึ่งกำหนดแรงและเงื่อนไขการรับแรงต่าง ๆ ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้อยู่ กับ ข้อกำหนดใหม่ของหน่วยวิจัยอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา

ข) เพื่อศึกษากรณีศึกษา หาค่าความเร็วลมที่ทำให้เสาสายส่งไฟฟ้าชนิด DA1 (บนสาย 230 เควี โครงการ ประจวบคีรีขันธ์ - สุราษฎร์ธานี) วิบัติ ในสภาพที่ยังไม่ได้ติดตั้งสายไฟฟ้า รวมทั้งเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมเนื่องจากพายุไต้ฝุ่นเกย์

ค) เพื่อศึกษาผลจากการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของเสาสายส่งไฟฟ้า และเปรียบเทียบกับวิธีเชิงเส้นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกข้อกำหนดหรือแนวทางในการวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา มีมานานแล้วแต่เป็นไปในลักษณะของข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละหน่วยงาน จนกระทั่งในปี คศ. 1967 American Society of Civil Engineers (ASCE) ได้รวบรวมจัดทำแนวทางการออกแบบเสาสายส่งไฟฟ้า ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วประเทศสหรัฐอเมริกาทั้งในส่วนของการคิดแรงบนโครงสร้างและการวิเคราะห์ออกแบบ ซึ่งจะกลายเป็นพื้นฐานสำหรับปรับปรุงแก้ไขต่อไป และต่อมาในปี คศ. 1971 คณะกรรมการชุดเดียวกันนี้ (American Society of Civil Engineers,

1971) ก็ได้จัดทำคู่มือไว้ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า ที่เป็นโครงสร้างเหล็ก ได้แก่ Guide for design of steel transmission towers, Manuals and reports on engineering practice - No. 52

American Society of Civil Engineers (1982) ได้ทำการรวบรวมแบบสอบถามและสรุปผลเกี่ยวกับการคิดแรงบนโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่แต่ละหน่วยงานในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้อยู่ รวมทั้งชนิดโครงสร้างเหล็กถักรับน้ำหนักตัวเอง เพื่อเพิ่มความรู้เกี่ยวกับการคิดแรงในสภาพต่างๆ ในอันที่จะนำมาพัฒนาปรับปรุงวิธีการออกแบบ เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ประหยัดขึ้นต่อไป

American Society of Civil Engineers (1984) ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของแรงบนโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า และพัฒนามาเป็นแนวทางการคิดแรงและวิธีการออกแบบโดยอาศัยหลักการความน่าเชื่อถือ (Reliability) บนโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าใน Guidelines for transmission line structural loading

American Society of Civil Engineers (1988) ได้ปรับปรุงแก้ไขในรายละเอียดของ Guide for design of steel transmission towers, Manual no. 52

Peyrot และ Wilhoite (1989) ได้รวบรวมความรู้พื้นฐาน และวิธีการวิเคราะห์ออกแบบ สำหรับโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าชนิดต่างๆ รวมทั้งชนิดโครงสร้างเหล็กถักรับน้ำหนักตัวเองนี้ด้วย รวมอยู่ในคู่มือ Structural engineering handbook (Gaylord, 1989)

American Society of Civil Engineers (1991) ได้พัฒนาข้อกำหนดการคิดแรงบนโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ ใน Guidelines for electrical transmission line structural loading, ASCE Manuals and reports on engineering practice No. 74

นอกเหนือจากงานวิจัยในส่วนของข้อกำหนดในการออกแบบ หรือ การคิดแรงบนโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า ยังมีงานวิจัยอีกส่วนหนึ่งที่เกี่ยวกับการปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างชนิดนี้ รวมทั้งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างดังกล่าว กล่าวคือ

Lo, Morcos และ Goel (1975) ได้ทำการรวบรวมและเปรียบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าโดยวิธีเชิงเส้น ซึ่งในขณะนั้น โปรแกรม TRANTOWER ของ Sargent และ Lundy ถือว่าดีที่สุด คือสามารถใช้วิเคราะห์-ออกแบบ แล้วทำซ้ำจนได้หน้าตัดที่ประหยัดที่สุดได้ และสามารถแสดงรูปกราฟฟิกส์ได้ทุกด้าน

Roy, Fang และ Rossow (1984) ได้เริ่มทำการคิดผลอันดับที่สองบนโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า เนื่องจากเห็นว่าผลดังกล่าว โดยเฉพาะความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometric nonlinearity) มีความสำคัญในโครงสร้างที่อ่อน (Flexible) และชะลูด (Slender) จนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งมาก (Large displacement) เช่นโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า ซึ่งในการวิจัย Roy และคณะ ได้ทำการเพิ่มเติมบางส่วนลงไปในโปรแกรม TRANTOWER เพื่อให้สามารถใช้วิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตได้ พร้อมทั้งยกตัวอย่างการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยเปรียบเทียบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า 2 ต้น ที่มีความอ่อน (ขึ้นกับความสูงของเสาสายส่งและความยาวของแขน - Crossarm) และแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (คือ แรงลม) ไม่เท่ากัน จะได้ว่า ในโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าที่อ่อนมากหรือมีแรงกระทำต่อโครงสร้างมาก จะยิ่งมีผลอันดับที่สองมาก ค่าจากตัวอย่างการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นนี้ให้ค่าแรงภายในในชิ้นส่วนโครงสร้างมากกว่าการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นสูงสุด 9.3% นอกจากนี้ Roy และคณะ ยังได้ศึกษาผลอันดับที่สองเฉพาะที่อันเนื่องมาจากการยึดรั้ง (Restraint) ของข้อต่อ ซึ่งในการวิเคราะห์สร้างแบบจำลองให้ง่ายเป็นข้อต่อหมุนแทน จากการวิจัยพบว่า ผลอันดับที่สองเฉพาะที่นี้มีผลน้อยโดยทั่วๆ ไป

Kitipornchai และ Chan (1987) ได้เสนอวิธีการหาเมตริกซ์สติฟเนสเรขาคณิต (Geometric stiffness matrix) โดยวิธีพลังงาน สำหรับชิ้นส่วนหน้าตัดเปิด ผนังบาง และไม่มีความสมมาตร (Asymmetric thin-walled open sections) ซึ่งจะมีสติฟเนสทางการดัดและการบิดต่ำ เช่น หน้าตัดรูปตัว L (Angle) หรือ ตัว T (Tee) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตโดยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ ต่อมา Al-Bermani และ Kitipornchai (1990a) ได้เสนอวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้น โดยใช้วิธีการคาน-เสา (Beam-column approach) และจำลองชิ้นส่วน (Member) ใดๆ เป็นเอเลเมนต์เดียว ทำให้สะดวกและประหยัด

เวลาในการป้อนข้อมูลและการคำนวณ ในวิธีดังกล่าวผู้วิจัยสร้างเมตริกซ์สติฟเนสการเปลี่ยนรูป (Deformation stiffness matrix) รวมเข้ากับเมตริกซ์สติฟเนสที่มีอยู่ คือเมตริกซ์สติฟเนสเชิงเส้น (Linear stiffness matrix) และเมตริกซ์สติฟเนสเรขาคณิต เพื่อให้ได้เป็นเมตริกซ์สติฟเนสสัมผัส (Tangent stiffness matrix) เพื่อใช้ในกรรมวิธีวิเคราะห์เป็นขั้นๆ เมตริกซ์สติฟเนสการเปลี่ยนรูปดังกล่าวเป็นฟังก์ชันของการเปลี่ยนรูปของเอเลเมนต์ (Element deformation) เนื่องจากแรงในแนวแกน แรงทางด้านข้าง และ แรงบิด

Al-Bermani และ Kitipornchai (1990b) ได้สรุปรวบรวมวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้นทั้งทางเรขาคณิตและทางวัสดุ สำหรับโครงสร้างที่มีชิ้นส่วนหน้าตัดเปิดผนังบางใดๆ พร้อมทั้งแสดงประสิทธิภาพโดยการยกตัวอย่างเชิงเลข (Numerical examples) หลังจากนั้นในปี ค.ศ.1992 ผู้วิจัยเดียวกันนี้ได้ยกรายงานการศึกษาของสถาบันวิจัยพลังงานไฟฟ้า (Electric Power Research Institute) ซึ่งพบว่า 23% ของโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าที่ออกแบบโดยวิธีเชิงเส้นวิบัติก่อนที่จะรับแรงเต็มที่ คือโดยเฉลี่ยที่ 95.4% ของแรงที่ใช้ออกแบบ และการวิบัติก็อาจเกิดตรงตำแหน่งที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อน Al-Bermani และ Kitipornchai จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ AK TOWER ขึ้นมาใช้วิเคราะห์ และทำนายพฤติกรรมประลัย (Ultimate behavior) ของโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า โดยคิดผลของความไม่เชิงเส้นทั้งทางเรขาคณิตและทางวัสดุ พร้อมทั้งตรวจสอบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้า 2 แห่งในประเทศออสเตรเลีย

Kitipornchai, Al-Bermani และ Peyrot (1994) ได้ศึกษาแบบจำลองการลื่นไถลของสลักเกลียว (Bolt-slippage models) เพื่อหาผลกระทบของการไถลของสลักเกลียวที่มีต่อการโก่งตัว (Deflection) และกำลังประลัย (Ultimate strength) ในโครงสร้างเหล็กถัก โดยเพิ่มแบบจำลองดังกล่าวเข้าไปในโปรแกรม AK TOWER พบว่าการไถลของสลักเกลียวมีผลต่อการโก่งตัวบ้างเล็กน้อย แต่แทบไม่มีผลต่อกำลังของโครงสร้าง

1.4 ข้อสมมติฐานที่ใช้

ข้อสมมติฐานที่ใช้ในการวิจัย มีดังต่อไปนี้

ก) โครงสร้างมีการเปลี่ยนรูปร่างน้อยมากภายใต้แรงกระทำ (Small deformation)

ข) ในการวิเคราะห์โครงสร้าง จะสมมติว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับหน่วยแรงเป็นเส้นตรง คือวัสดุเป็นชนิดอีลาสติก

ค) ในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต จะสมมติว่าความเครียดและการหมุน (Rotation) ในชิ้นส่วนมีค่าน้อยมากและสมมติว่าการบิด (Twisting) มีน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างเสาสายส่งมีลักษณะเป็นโครงถักที่ให้พฤติกรรมการรับแรงเป็นแรงในแนวแกนเป็นหลัก และชิ้นส่วนต่างๆ มีการยึดรั้งจากชิ้นส่วนที่มาเชื่อมต่อพอสมควร

1.5 ขอบข่ายของการวิจัย

ในการวิจัยนี้ มีขอบข่ายของการวิจัยดังต่อไปนี้

ก) พิจารณาเสาสายส่งอยู่เดี่ยวๆ โดยไม่คำนึงถึงผลของสายส่งไฟฟ้าที่แขวนอยู่

ข) พิจารณาเสาสายส่งตั้งบนพื้นผิวราบ (Flat terrain)

ค) ในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต เพื่อหาความเร็วลมวิกฤติ ที่ทำให้เสาสายส่งขาดเสถียรภาพ (Instability) จะทำการพิจารณาเสาสายส่งขณะที่ยังไม่ติดตั้งสายไฟฟ้าเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลกับเสาสายส่งที่วิบัติในสภาพที่ไม่มีสายไฟฟ้า

1.6 วิธีการวิจัย

วิธีที่ใช้ในการวิจัย สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ก) ศึกษาข้อกำหนดการออกแบบเสาสายส่งไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้อยู่ กับข้อกำหนดใหม่ของหน่วยวิจัยอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา

ข) ทำการวิเคราะห์หาแรงภายในโครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าแบบเชิงเส้น โดยใช้ข้อกำหนดทั้งสองดังกล่าว แล้วเปรียบเทียบแรงภายในที่ได้จากข้อกำหนดทั้งสอง กับกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้าง

ค) ทำการวิเคราะห์เสาสายส่งไฟฟ้าแบบเชิงเส้น โดยพิจารณาเฉพาะกรณีที่ยังไม่ติดตั้งสายไฟฟ้า หาค่าความเร็วลมที่ทำให้โครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าวิบัติ หรือความเร็วลมที่ทำให้แรงภายในเกินกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างโดยใช้ข้อกำหนดทั้งสอง แล้วเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมเนื่องจากพายุไต้ฝุ่นเกย์

ง) ทำการวิเคราะห์เสาสายส่งไฟฟ้า แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยพิจารณาเฉพาะกรณีที่ยังไม่ติดตั้งสายไฟฟ้า เพื่อหาค่าความเร็วลมที่ทำให้โครงสร้างเสาสายส่งไฟฟ้าสูญเสียเสถียรภาพโดยรวม (Overall instability) แล้วเปรียบเทียบกับเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้น