# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความนำ

ในอดีตที่ผ่านมาการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีทางด้านสถิตย์ศาสตร์เพราะเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์มีการนำมาใช้น้อย หรือมีการพัฒนาช้ามาก จึงทำให้ผลการตอบสนองที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ อาจจะไม่ตรงกับพฤติกรรมที่แท้จริงมากนัก และอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างทางด้านพลศาสตร์พัฒนาช้า คือการวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก,ซับซ้อนและต้องใช้เวลาค่อนข้างมากรวมถึงข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องเป็นข้อมูลที่แท้จริงและถูกต้อง เช่นข้อมูลความเร็วลมก็ต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการบันทึกและความสูงของจุดที่บันทึกเป็นต้นซึ่งต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ และคอมพิวเตอร์ที่มีความละเอียดถูกต้องและแม่นยำสูง

ต่อมาในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทางด้านคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณมากขึ้น ทำให้การวิเคราะห์ที่ยุ่งยากในอดีตเป็นเรื่องที่ง่ายในปัจจุบัน และยังให้ความถูกต้องและแม่นยำสูงด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะพิเศษหรือการวิเคราะห์ที่ต้องการพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างจึงควรวิเคราะห์ด้วยวิธีทางพลศาสตร์ เพื่อให้ได้พฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างซึ่งสามารถนำไปพัฒนาปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดและรูปแบบของแรงที่ใช้ในวิธีการทางสถิตย์ศาสตร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นตรงตามพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้าง

โครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะมีรูปแบบลักษณะโครงสร้างเป็นโครงถัก 3 มิติ (Space truss) ซึ่งรับน้ำหนักด้วยตัวเอง (Self-supporting laced structures) เพื่อใช้ในการติดตั้งสายไฟ (Conductor) จากอดีตจนถึงปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้พยายามปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรงและประหยัด ภายหลังที่ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาระยะเวลาหนึ่ง ในปี พ.ศ. 2525 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ได้กำหนดมาตรฐานในการออกแบบโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าขนาด 500 เควี. ขึ้นมา โดยว่าจ้างวิศวกรต่างประเทศใช้ช่วยจัดทำขึ้น

ต่อมาในปี พ.ศ. 2531 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ ทำการออกแบบเสาส่งไฟฟ้าขนาด 230 เควี. ซึ่งมีความสูงประมาณ 46.68 เมตร เพื่อใช้ในโครงการประจวบคีรีขันธ์ - สุราษฎร์-ธานี และสระบุรี 2 - นครราชสีมา 2 โดยได้พยายามใช้มาตรฐานของเสาส่งไฟฟ้าขนาด 500 เควี. เป็นแบบอ้างอิง ในวันที่ 4 พฤศจิกายน 2532 ได้เกิดพายุเกย์ ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงประมาณ 37.5 เมตรต่อวินาที (Mikitiuk และคณะ ,1995) พัดผ่านบริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดชุมพร และประจวบคีรีขันธ์ได้รับผลกระทบโดยตรง ทำให้มีผู้เสียชีวิตไม่น้อยกว่า 600 คน บ้านเรือนเสียหายกว่า 46000 หลังคาเรือน และมีเรือเสียหายกว่า 200 ลำรวมทั้งเรือขุดเจาะน้ำมันด้วย และยังได้ทำความเสียหายต่อเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงกว่า 30 ต้น ในจำนวนดังกล่าวมีอยู่ 6 ต้นที่เพิ่งจะก่อสร้างเสร็จและยังไม่ได้ติดตั้งสายส่งไฟฟ้าแรงสูงซึ่งในจำนวนดังกล่าวเป็นเสาส่งไฟฟ้า DA.1 ขนาด 230 เควี รวมอยู่ด้วย 3 ต้น

ด้วยเหตุที่เสาส่งไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ขึงสายไฟฟ้า จะรับแรงกระทำน้อยกว่าในสภาพขึงสายไฟฟ้าแล้ว การวิบัติในสภาพที่ยังไม่ได้ขึงสายไฟฟ้า จึงบ่งชี้ถึงความจำเป็นที่จะต้องศึกษาพฤติกรรมของเสาส่งไฟฟ้าในสภาพที่ยังไม่ได้ทำการขึงสายไฟฟ้าโดยละเอียด โดยในการวิเคราะห์จะศึกษาจะศึกษาทั้งทางสถิตย์ศาสตร์และพลศาสตร์ และพิจารณาผลความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต เหตุผลที่ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นและพลศาสตร์ เพราะลักษณะโครงสร้างโดยรวมของเสาส่งไฟฟ้าขนาด 230 เควี มีความชะลูด (Slender) และความอ่อนตัว (Flexibility) ค่อนข้างมาก ในการวิเคราะห์ที่กล่าวมาทั้งหมดจะใช้โปรแกรม SAP90 วิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลลิเมนต์ (Finite element method) ซึ่งพัฒนาโดย Edward L.Wilson และ Ashraf Habibull (1992) แห่งมหาวิทยาลัย California , Berkeley

## 1.2 วัตถุประสงค์

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก ๆ คือ

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การคำนวณทางด้านสถิตย์ศาสตร์ตามข้อกำหนดต่างๆ เช่น

ข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) หรือข้อกำหนดที่เสนอไว้โดยหน่วยวิจัยอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา (Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory University of Western Ontario (UWO), Canada)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometric nonlinearity) โดยใช้รูปแบบของแรงกระทำตามข้อกำหนดที่กล่าวข้างต้น

1.2.3 เพื่อศึกษาและทำนายพฤติกรรมจากผลการวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์ โดยจะศึกษาผลเมื่อคิดผลของโหมดที่สูงขึ้น (Higher mode) ว่ามีมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์เพียงโหมดเดียว (First mode)

1.2.4 นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อข้างต้น มาเปรียบเทียบกันกล่าวคือนำผลการวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์ เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางสถิตย์ศาสตร์ข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา

## 1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในอดีตงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้ามีการศึกษากันพอสมควร โดยเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งพอจะกล่าวได้ดังนี้

Charles และ Max Zar (1966) ได้เริ่มทำการทดสอบความถูกต้องการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณเสาส่งไฟฟ้า โดยเทียบกับการทดสอบในโครงสร้างจริง โดยโปรแกรมที่ใช้ทดสอบนั้นชื่อ STAIR (Structural Analysis Interpretive Routine) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยสถาบัน M.I.T โดยมีสมมุติฐานคือชิ้นส่วนที่มีความสมมาตร (Prismatic members) โดยที่จุดยึด (Joints) เป็นจุดยึดแบบหมุน (Pin joints) และแรงภายนอกกระทำที่จุดยึด โดยคิดเฉพาะแบบเชิงเส้น (Linear) ซึ่งผลสรุปที่ออกมาพบว่าการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังคงเชื่อถือได้ และยังทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของเสาส่งไฟฟ้าด้วย โดยเฉพาะผลกระทบของตัวยึดโยงในแนวราบ (Horizontal bracing)

คณะกรรมการออบแบบและวิเคราะห์โครงสร้างด้านเสาส่ง (Task Committee on Tower Design of Analysis and Design of Structure,1967-1971) ได้ทำการรวบรวมการออกแบบเสาส่งไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกา และได้จัดทำเป็นคู่มือในการออกแบบโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าที่เป็นโครงสร้างเหล็กโดยใช้ชื่อว่า Guide for design of steel transmission towers ( Manuals and reports on engineering practice -No. 52: ) และได้มีการปรับปรุงอีกครั้งในปี ค.ศ 1988

Lo, Morcor และ Goel (1975) ได้ทำการรวบรวมและเปรียบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าโดยวิธีเชิงเส้น (Linear analysis) ซึ่งในขณะนั้นพบว่าโปรแกรม Trantower ของ Sargent และ Lundy ถือว่าดีที่สุด และยังสามารถแสดงรูปกราฟฟิกส์ได้ด้วย

คณะกรรมการด้านเสาส่งไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมโครงสร้างของสหรัฐอเมริกา (Committee on Electrical Transmission Structures of the Structural Division,1982) ได้พยายามปรับปรุงลักษณะของแรง ที่กระทำต่อโครงสร้างในสภาพต่าง ๆ เพื่อให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรงและประหยัด

Kempner, Richard และ Smith (1983) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางด้านพลศาสตร์ (Dynamic) ของเสาส่งไฟฟ้าแบบ CRSS (Cross - Rope - Suspension System) ซึ่งได้ผลที่น่าสนใจคือพบว่าการแกว่งของสายไฟมีผลไม่มากนักที่ความถี่ต่ำๆแต่ที่ความถี่สูงๆพบว่ามีผลกระทบต่อเสาส่งไฟฟ้าคือทำให้เกิดการแกว่งในโครงสร้าง

Roy, Fang และ Rossow (1984) ได้เริ่มทำการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น (Geomotric nonlinearity ) เนื่องจากเห็นว่าโครงสร้างมีความอ่อนตัว (Flexibility) และความชะลูด (Slender) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่มาก (Large displacement) และจากการวิเคราะห์พบว่าการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นอาจจะเพิ่มแรงภายใน (Internal forces) ให้สูงถึงได้ถึง 9% เมื่อเปรียบเทียบกับการคิดแบบเชิงเส้นที่ใช้คำนวณออกแบบกันอยู่ทั่วไป โดยในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นเรขาคณิต ได้ใช้โปรแกรม Trantower โดยได้ทำการปรับปรุงบางส่วนเพื่อสามารถคำนวณแบบไม่เชิงเส้นเรขาคณิตได้

Peyrot และ Wilhoite (1989) ได้รวบรวมความรู้พื้นฐาน และวิธีการวิเคราะห์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ รวมทั้งโครงสร้างเหล็ก โดยรวมอยู่ในคู่มือ Structural engineering handbook (Gaylord,1989)

Al - Bermani และ Kitipornchai (1990) ได้ยกรายงานของสถาบันด้านไฟฟ้ากำลัง (Electric power research institute) ซึ่งพบว่า 23% ของโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าที่ทดสอบ ซึ่งออกแบบโดยวิธีเชิงเส้นเกิดการพังทลายก่อนที่จะรับแรงเต็มที่ คือประมาณ 95.4% ของแรงที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้น Al - Bermani และ Kitipornchai จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ " AK TOWER " ซึ่งจะใช้วิเคราะห์และทำนายพฤติกรรมก่อนการวิบัติ ( Ultimate behavior) ของเสาส่งไฟฟ้า โดยคิดผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตทางวัสดุ หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1994 ได้ศึกษาผลการลื่นไถลของสลักเกลียว การศึกษาพบว่าแทบไม่มีผลต่อโครงสร้าง

Mikitiuk , Surry , Lukkunaprasit และ Eursiriwan (1995) ได้ศึกษาวิจัยหาความเร็วลมออกแบบที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย โดยพิจารณาทั้งลมประเภทพายุไต้ฝุ่น (รวมพายุโซนร้อนด้วย) และลมธรรมดา โดยการวิเคราะห์ลมธรรมดาได้นำข้อมูลลมสูงสุดจากสถานีต่างๆ ทั่วประเทศไทยที่ไม่ใช่ลมพายุไต้ฝุ่นตั้งแต่ ค.ศ.1951 ถึง ค.ศ 1990 มารวบรวมและวิเคราะห์โดยสมมุติการกระจายค่าปลายสุดเป็นประเภท 1 (Type I exterme value distribution) และได้ทำการปรับแก้ข้อมูลเนื่องจากที่ตั้งของเครื่องมือ และความขรุขระของสภาพภูมิประเทศในบริเวณรอบๆ สถานีตรวจอากาศตลอดจนช่วงเวลาในการบันทึกค่า สำหรับพายุไต้ฝุ่น ได้ทำการจำลองการเกิดพายุไต้ฝุ่นด้วยวิธีมอนติคาร์ (Monte Carlo Computer Simulation) โดยใช้ข้อมูลพายุไต้ฝุ่นในรัศมี 500 กิโลเมตร รอบจุดพิจารณา เพื่อหาคุณลักษณะของพายุไต้ฝุ่นที่จะเกิดขึ้นในไทย ผลการวิเคราะห์ที่ได้ๆ นำมาสร้างแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานซึ่งเป็นค่าคาดหวังในเวลา 50 ปี ของความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงที่ระดับ 10 เมตรในที่โล่ง

Davenport,A.G,Ho.T.C, and Surry,D. (1995) แห่งหน่วยวิจัยอุโมงค์ลมแห่งมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา ได้ศึกษาลักษณะและรูปแบบของแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าในประเทศไทย พร้อมเสนอแนะข้อกำหนดใหม่เรียกว่าวิธีละเอียด (Detailed method) โดยมีรูปแบบหน่วยแรงลมที่กระทำต่อเสาส่งไฟฟ้าใกล้เคียงสภาพจริงของลมคือ มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง และเสนอการใช้ชุดของแรง ซึ่งเรียกว่าแพตช์โหลด (Patch

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

loading ) เพื่อคำนึงถึงผลการกระโชกของลมที่ไม่สัมพันธ์กัน (Uncorrelated gusts) สภาวะลมที่พิจารณาเป็นสภาวะลมแรงคือคิดที่คาบการกลับ 50 ปี ความเร็วลมพื้นฐานเป็นความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตร

สุมลรัตน์ รัตนสุภากร ( 2539 ) ได้ศึกษาเสาส่งไฟฟ้าขนาด 230 เควี (DA1) ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นโครงสร้างเหล็กมีความสูงประมาณ 46.68 เมตร โดยที่ศึกษาเปรียบเทียบข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กับข้อกำหนดที่เสนอโดยหน่วยงานวิจัยอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา พร้อมทั้งวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต พบว่าความเร็วลมวิกฤตมีค่าประมาณ 28.9-39.3 เมตร/วินาที ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความเร็วลมพายุไต้ฝุ่นเกย์ (37.5 เมตร/วินาที) ที่ผ่านบริเวณที่ติดตั้ง ซึ่งอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เสาส่งไฟฟ้าเกิดความเสียหาย

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, พูลศักดิ์ เพียรสุสม และนรินทร์ เอื้อศิริวรรณ (2540) ให้ข้อเสนอแนะคำนวณหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอย่างง่ายเนื่องจากมีความเห็นว่า ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครรวมทั้งกฎหมายกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527) ล้าสมัยและมีค่าน้อยเกินไปสำหรับอาคารสูงมากเนื่องจากว่าไม่มีการคำนึงถึงเขต (Zoning) หรือสภาพภูมิประเทศ โดยใช้วิธีการในข้อกำหนดของการออกแบบอาคารของประเทศแคนาดา (NBC, 1990) แต่ได้มีการปรับปรุงให้ง่ายขึ้นและคล้ายคลึงกับที่เคยใช้ในกฎกระทรวงที่วิศวกรคุ้นเคย โดยมีการคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศ, สภาพความขรุขระของบริเวณรอบ ๆ อาคาร, ความชะลูดของอาคาร และความสำคัญของอาคารสาธารณะ ส่วนความเร็วพื้นฐานออกแบบที่เหมาะสมอ้างอิงจากงานวิจัยร่วมระหว่างหน่วยวิจัยอุโมงค์ลมและการสั่นไหว จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมกับหน่วยงานวิจัยอุโมงค์ลมมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา

## 1.4 ข้อสมมุติฐานในงานวิจัย

การวิจัยได้สมมุติฐานเสาส่งไฟฟ้าซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างเหล็ก หลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1.4.1 งานวิจัยจะทำการจำลองโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าเป็นลักษณะโครงถักสามมิติ โดยการจำลอง เป็นชิ้นส่วนรับแรงในแนวแกนทั้งหมดยกเว้นชิ้นส่วนเสาสั้น (Stub) ยาว 0.50 เมตร ที่ฐานของเสาส่งไฟฟ้าเท่านั้นที่จำลองเป็นชิ้นส่วนคาน

1.4.2 จุดยึดของการเชื่อมต่อของชิ้นส่วน มีดีกรีของความอิสระเท่ากับ 3 คือการเคลื่อนที่ใน 3 ทิศทาง

1.4.3 เนื่องจากโครงสร้างเป็นโครงถัก 3 มิติ แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างจะกระทำเฉพาะจุดยึดเท่านั้น

1.4.4 คุณสมบัติของชิ้นส่วนในขณะที่รับแรงเป็นอิลาสติกนั้นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด และหน่วยแรงยังคงเป็นเส้นตรงคือวัสดุเป็นชนิดอิลาสติก และโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยมากภายใต้แรงกระทำ (Small deformation)

1.4.5 ในการคำนวณทางด้านพลศาสตร์จะทำการจำลองมวลที่ระดับต่างๆ 7 จุด และแรงที่กระทำจะเป็นฟังก์ชันของเวลาแบบสุ่ม (Random function)

**1.5 ขอบข่ายของการวิจัย**

ในการวิจัยจะมุ่งเน้นศึกษาเสาส่งไฟฟ้า DA.1 ซึ่งเป็นเสาส่งไฟฟ้าขนาด 230 เควี. ในโครงการประจวบคีรีขันธ์- สุราษฎร์ธานี ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเนื่องจากว่าเป็นเสาส่งไฟฟ้าที่มีปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยมีขอบข่ายของการวิจัยดังต่อไปนี้

1.5.1 เสาส่งไฟฟ้าที่ทำการวิเคราะห์จะอยู่ในลักษณะที่ยังไม่ได้ขึงสายไฟฟ้าแรงสูง และพิจารณาแรงลมกระทำในทิศทางตั้งฉากและขนานกับแนวสายส่งไฟฟ้าเท่านั้น

1.5.2 การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางด้านสถิตย์ศาสตร์ จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตเท่านั้น

1.5.3 การวิเคราะห์ด้านสถิตย์ศาสตร์จะใช้รูปแบบของแรงที่กระทำต่อเสาส่งไฟฟ้าตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้คือ

ก. ข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ข. ข้อกำหนดของหน่วยงานวิจัยอุโมงค์ลมมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา โดยการคำนวณตัวคูณผลพลศาสตร์จะพิจารณาเฉพาะผลการสถิตย์ศาสตร์ของลมเท่านั้น

1.5.4 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ใช้รูปแบบของแรงที่เป็นฟังชันก์ของเวลา โดยข้อมูลที่ใช้ได้มาจากการบันทึกจริงที่ Ann Arbor, มิชิแกน ในวันที่ 28 เมษายน 1931 ซึ่งเสนออยู่ในวรสารวิทยาศาสตร์อากาศทางทะเลในเดือนธันวาคม (1937) ประเทศแคนาดา โดย Sherlock, R.H. และ Stout, M.B. ได้นำมาสร้างเป็นเส้นชั้นความเร็ว และจากการทดลองในอุโมงค์ลมของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.6 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1.6.1 ศึกษาข้อกำหนดและรูปแบบของแรงที่กระทำต่อเสาส่งไฟฟ้าตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและหน่วยงานวิจัยอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา

1.6.2 ทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้านสถิตย์ศาสตร์ทั้งแบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นโดยใช้รูปแบบของแรงตามข้อกำหนดต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นโดยศึกษาเฉพาะกรณีที่เสาส่งไฟฟ้ายังไม่ได้ขึงสายไฟ

1.6.3 ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางด้านพลศาสตร์โดยใช้แรงลมที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

1.6.4 นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในลักษณะต่าง ๆ มาทำการหาข้อสรุปเพื่อปรับปรุงเสนอแนะหรือพัฒนาต่อไป