

เครื่องมือ และผลการทดลอง

ในการศึกษาเกี่ยวกับกังหันลมแบบพื้นที่ภาคตัดขวางรูปปีกเฮลิคอปเตอร์ จำเป็นที่จะต้องสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบเพื่อหาข้อมูลมาวิเคราะห์ ดังนั้นในบทนี้ จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกังหันลม

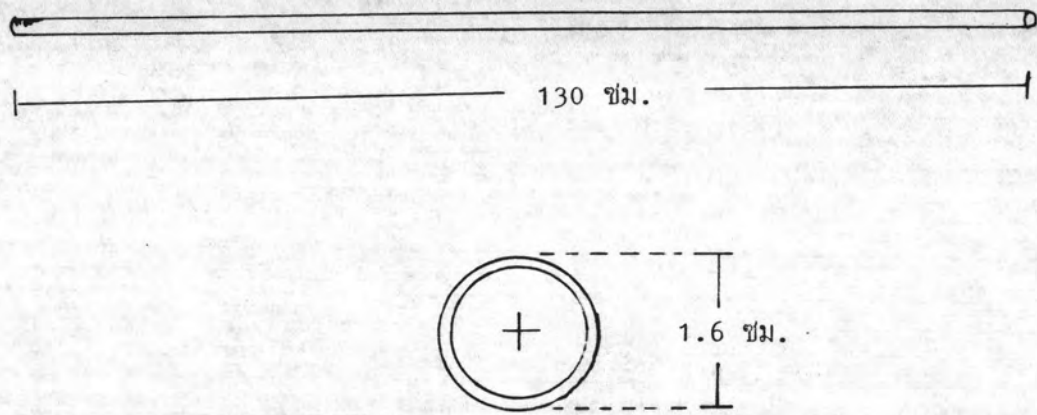
4.1 ส่วนประกอบของระบบกังหันลม

สำหรับระบบกังหันลมชนิดพื้นที่ภาคตัดขวางรูปปีกเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter blade) นี้ มีส่วนประกอบที่สำคัญหลายอย่างซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของกังหัน ดังจะพิจารณาต่อไปนี้

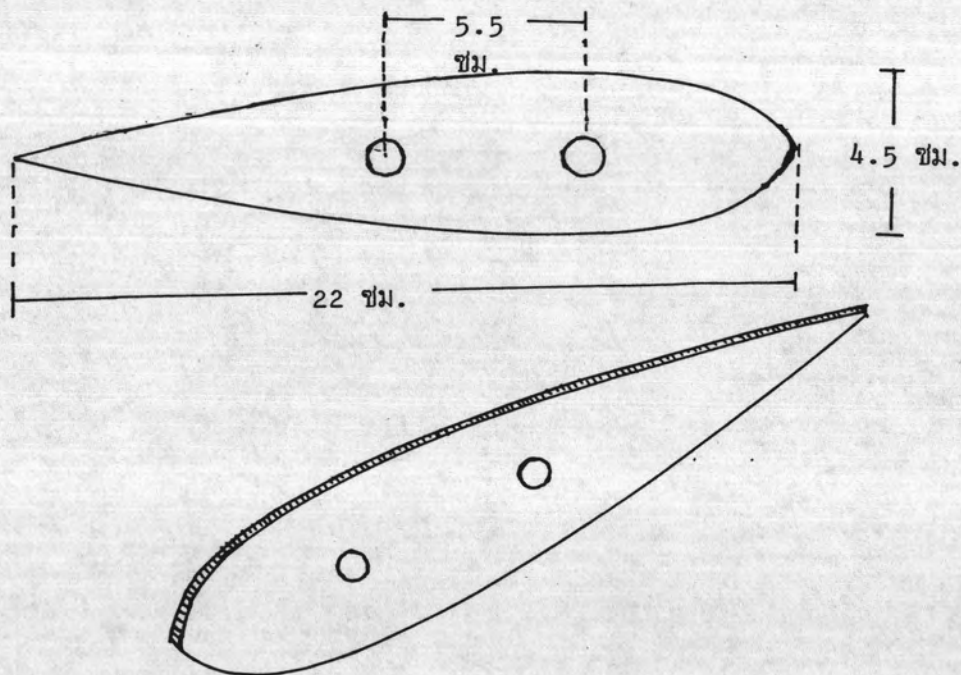
4.1.1 ตัวใบกังหันชนิดพื้นที่ภาคตัดขวางรูปปีกเฮลิคอปเตอร์

ใบกังหันที่สร้างขึ้นมานี้ ให้ออกแบบโดยให้มีพื้นที่ภาคตัดขวาง (Cross section) เป็นรูปคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งส่วนประกอบของตัวปีกมีทั้งส่วนที่อยู่ภายในและส่วนที่ห่อหุ้มด้านนอก ดังรายละเอียด

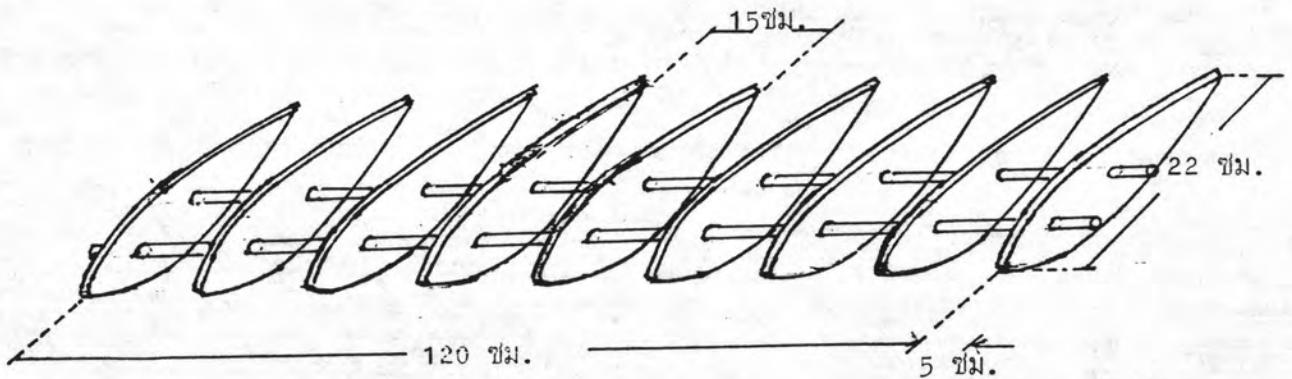
ก. ส่วนประกอบด้านใน สำหรับด้าน ใน ของตัวปีกกังหันประกอบด้วยท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 ซม. จำนวน 2 ท่อน ยาว 130 ซม. ใช้สำหรับทำเป็นแกนกลางของตัวใบ โดยนำมาวางในลักษณะขนานกัน เพื่อใช้เป็นที่ยึดของแผ่นไม้ กระจกานอัดที่นำมาตัดให้มีพื้นที่หน้าตัดคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งมีอยู่จำนวน 9 อัน โดยแต่ละอันถูกนำมายึดไว้กับแกนเหล็ก และให้แต่ละอันห่างกัน 15 ซม. แล้วใช้ อีพอกซี (Epoxy) เคลือบแผ่นไม้กระจกานอัดดังกล่าวนี้ไว้กับแกนเหล็กเพื่อทำให้แผ่นไม้กระจกานอัดยึดติดแน่นกับแกนเหล็ก จากการกระทำดังกล่าวข้างต้นทำให้เราได้ลักษณะของโครงร่างภายในของตัวปีกใบกังหัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงท่อเหล็กที่ใช้ทำแกนปีกของใบกังหัน และภาพแสดงพื้นที่หน้าตัดของท่อเหล็กขนาดเท่าของจริง



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงแผ่นไม้กระดานอัดที่ถูกตัดให้มีรูปพื้นที่ภาคตัดขวางคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ โดยมองจากด้านข้างตรงและด้านข้างเฉียง



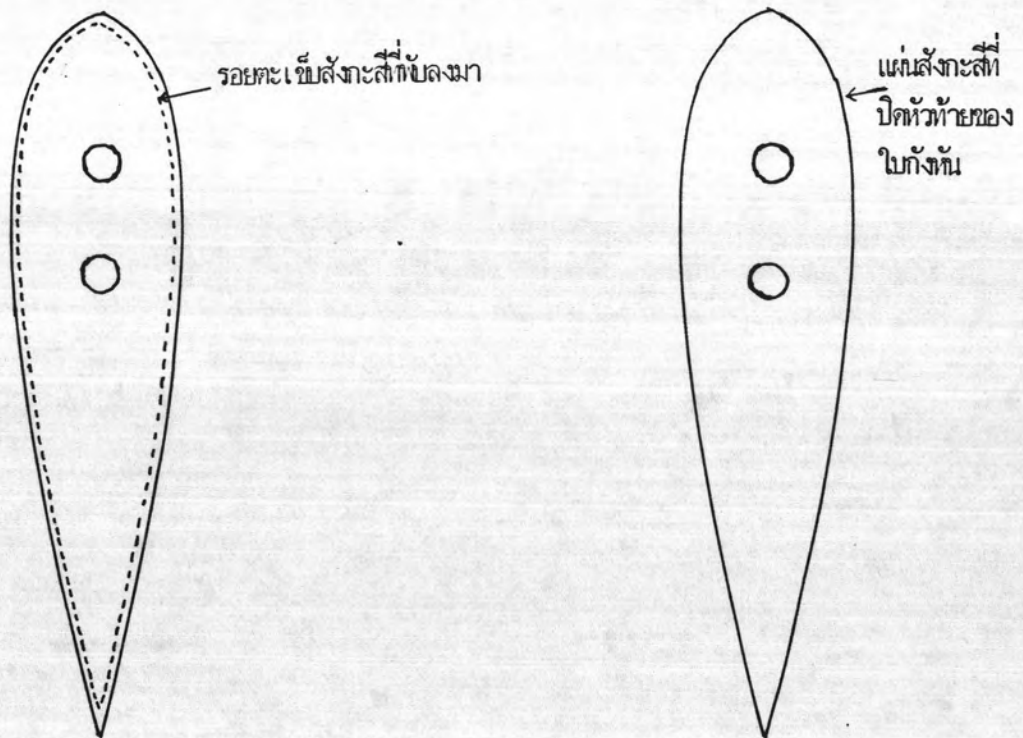
รูปที่ 4.3 แสดงแผ่นไม้กระดานอัดพื้นที่ภาคตัดขวางคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ที่ถูกยึดติดกับแกนท่อเหล็ก 2 ท่อน

หลังจากที่ได้ทำคั้งที่กล่าวข้างต้นแล้ว เพื่อต้องการที่จะให้โครงร่างยังมั่นคงและแข็งแรงมากกว่านี้ จึงได้ใช้เหล็กแบนขนาดหนา 2.54 ซม. หน้ากว้าง 1.5 ซม. คาคนไม้กระดานอัดที่ตัดให้มีพื้นที่หน้าตัดคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ ทุกอัน โดยคาคนข้างละ 2 เส้น ตรงส่วนที่ก่อนมาทางด้านปลายมน และส่วนที่ก่อนไปทางด้านปลายหางของตัวปีกใบกั้งหัน ทำให้แผ่นไม้กระดานอัดคั้งกล่าวถูกตรึงแน่น ไม่สามารถเขยื้อนได้ การยึดแผ่นเหล็กกับแผ่นไม้นั้นได้ใช้ข้อปอกซีเช่นกันเคลือบไว้ จากขบวนการที่กล่าวนี้ เมื่อเสร็จแล้วจะได้โครงร่างเป็นดังในรูปที่ 4.4



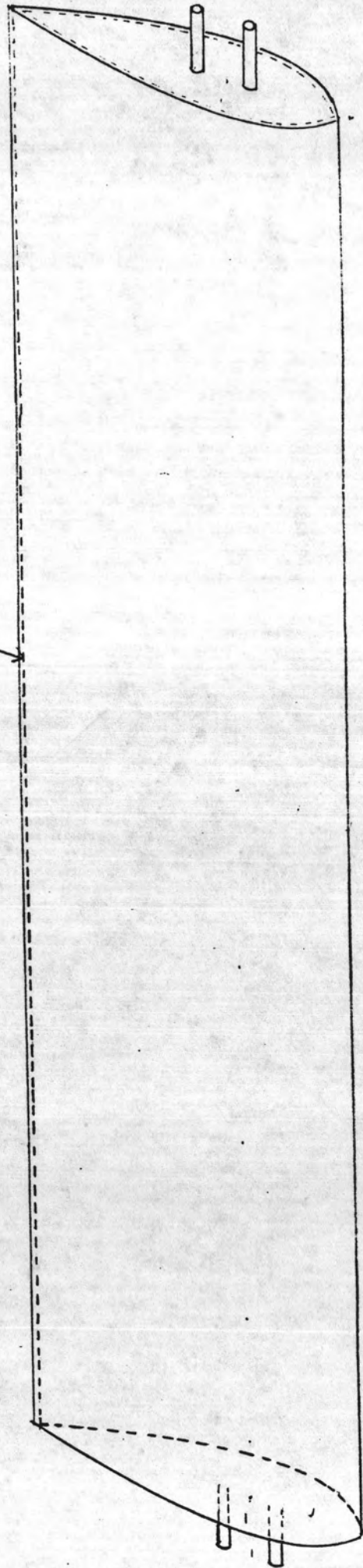
รูปที่ 4.4 แสดงโครงร่างภายในทั้งหมดของใบกั้งหันแบบภาคตัดขวางรูปปีกเฮลิคอปเตอร์

ข. ส่วนประกอบด้านนอก ภายนอกของใบก้างหันได้ใช้สังกะสีขนาดเบอร์ 30 ทุ่มโครงร่างภายในไว้ โดยขณะต่อหุ้มนั้นได้พยายามรักษาผิวหน้าของแผ่นสังกะสีไว้ เพื่อมิให้บุบ เพราะในการสร้างปีกใบก้างหันแบบพื้นที่ภาคตัดขวางรูปปีกเฮลิคอปเตอร์ นี้ ส่วนที่เป็นผิวด้านนอกจะต้องเรียบ เพื่อมิให้ลมที่มาปะทะใบก้างหันเกิดการกระจายตามรอยบุบ ทำให้เสียแรงลมไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งจะเป็นผลทำให้แรงкруตลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



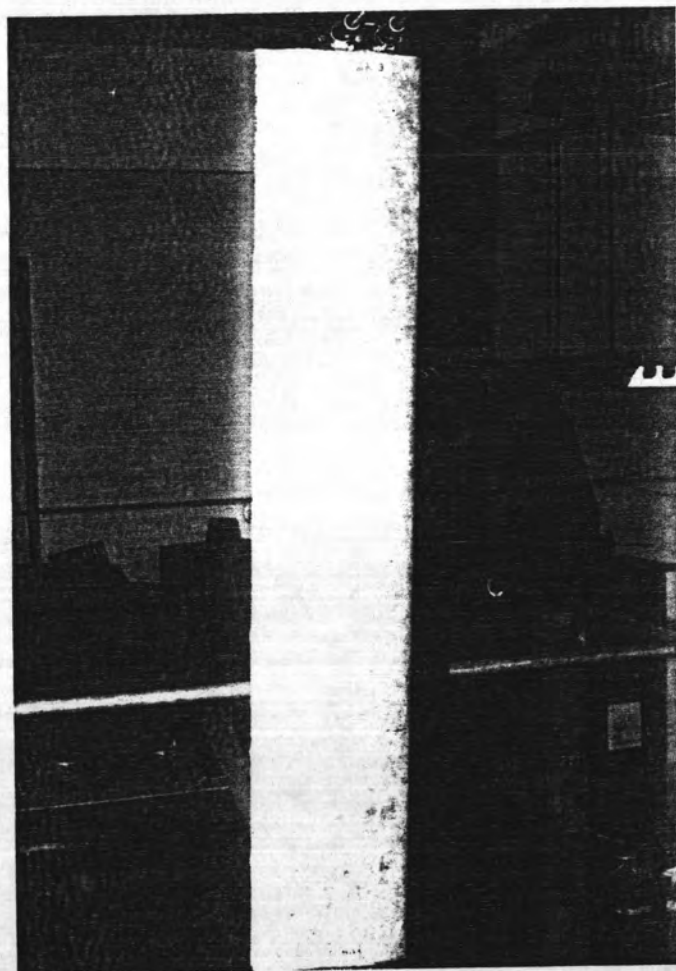
รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงส่วนพับของสังกะสีเป็นรอยตะเข็บ และแผ่นสังกะสีปิดหัวท้ายของตัวใบก้างหัน

รอยพับของสังกะสี



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงการทูลงสังกะสีและรอยพับ

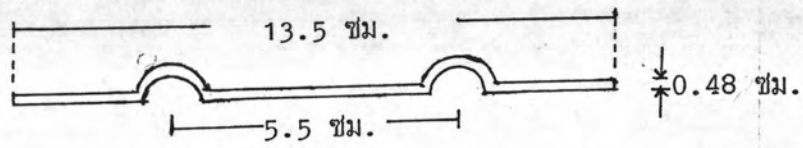
ตรงส่วนด้านนอกที่เป็นตำแหน่งรอยพับบนตัวใบกังหัน ถูกเชื่อมติดกัน ต่อจากนั้นใช้ตะไบฝนให้เรียบ ตัวใบกังหันหลังจากที่สร้างเสร็จแล้ว จะเป็นดังในรูปที่ 4.7 ซึ่งได้สร้างไว้จำนวน 3 ใบ ตามแบบที่กำหนดไว้



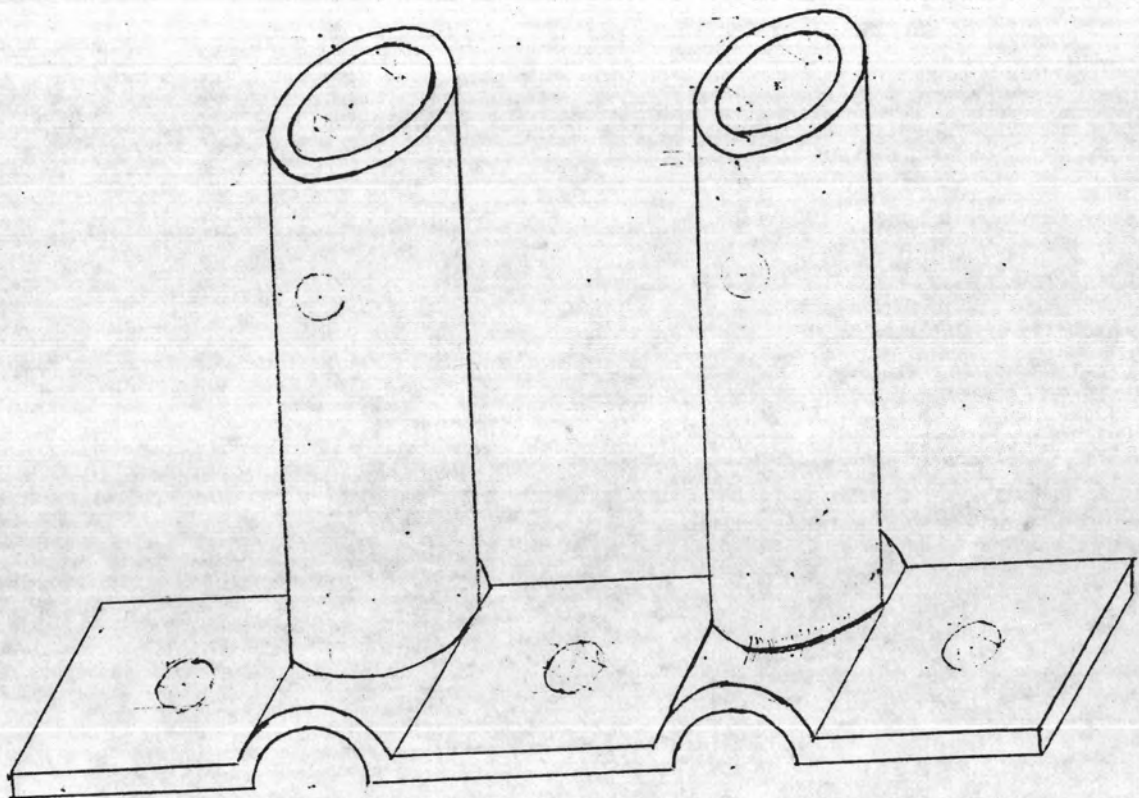
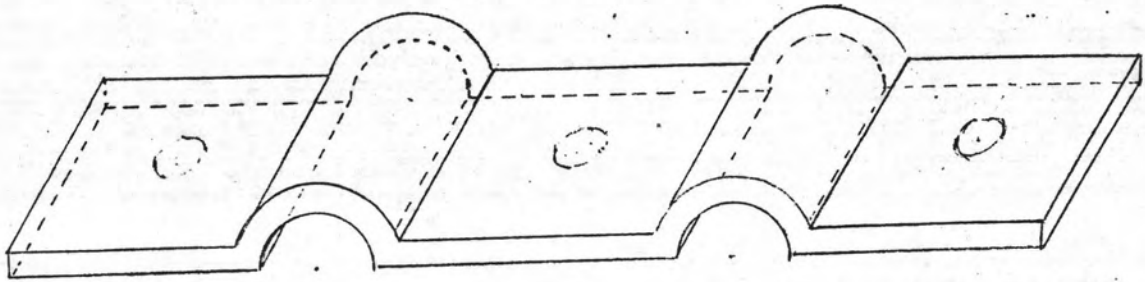
รูปที่ 4.7 ภาพแสดงใบกังหันเมื่อสร้างเสร็จแล้ว

4.1.2 ส่วนยึดใบกังหันกับแกนรศมี

การติดตั้งใบกังหันเพื่อเชื่อมต่อกับแกนรศมีนั้นได้ออกแบบในลักษณะที่สามารถถอดออกจากกันได้ ดังนั้นส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดลักษณะอย่างนี้ได้ก็คือ การออกแบบส่วนต่อเชื่อมระหว่างใบกังหันกับแกนรศมี แกนรศมีในที่นี้ หมายถึง ส่วนที่ต่อเชื่อมระหว่างใบกังหันกับเสากลาง (Shaft) หรือแกนหมุนสำหรับส่วนยึดกับใบกังหัน ผู้ทดลองได้ออกแบบ ดังในรูปที่ 4.8

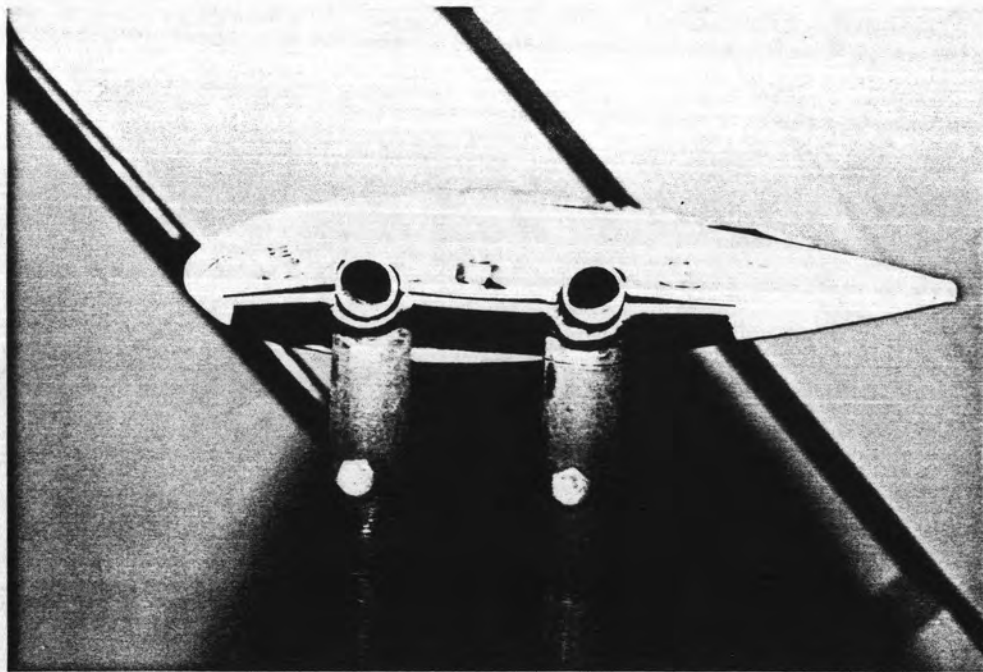


รูปที่ 4.8 แสดงขนาดของส่วนยึดใบกังหันกับแกนรัศมี



รูปที่ 4.9 แสดงส่วนยึดใบกังหันกับแกนรัศมี ประกอบด้วย 2 ส่วนใช้ประกบกัน

ส่วนประกอบดังในรูปที่ 4.9 เป็นชิ้นส่วน 2 ชิ้นที่ใช้ประกบกัน เมื่อจะนำไปยึดกับไบกัณฑ์จะต้องนำส่วนประกอบแต่ละชิ้นนี้ไปชนากับส่วนที่ยื่นออกมาของไบกัณฑ์แล้วประกบไว้ด้วยกัน ต่อจากนั้นจะใช้ขนาด 2.54 ซม. 3 ตัว ยึดชิ้นส่วนทั้งคู่ไว้ด้วยกัน ชิ้นส่วนที่กล่าวนี้ได้สร้างไว้ 6 คู่ โดยใช้ 2 คู่ ต่อไบกัณฑ์ 1 ไบ สำหรับส่วนที่ยื่นออกมาของส่วนยึดไบกัณฑ์อันหนึ่ง ทำด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 ซม. ซึ่งรูของท่อนี้มีขนาด 1.6 ซม. เป็นขนาดที่สามารถจะนำท่อเหล็กที่ใช้เป็นแกนรัศมี สวมลงไปได้ แล้วต่อจากนั้น จะใช้รอยยึดท่อที่สวมลงไปกับส่วนยึดไบกัณฑ์ เมื่อประกอบเสร็จแล้วจะเป็นดังในภาพรูปที่ 4.10

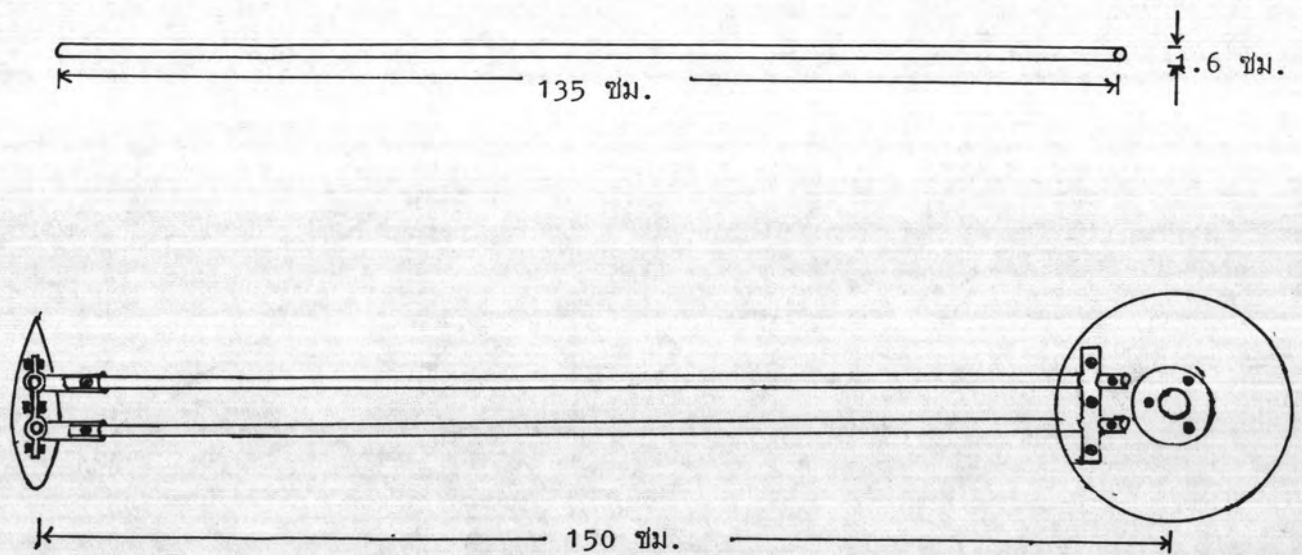


รูปที่ 4.10 ภาพแสดงส่วนยึดไบกัณฑ์เชื่อมต่อกับแกนรัศมีที่ประกอบเสร็จแล้ว

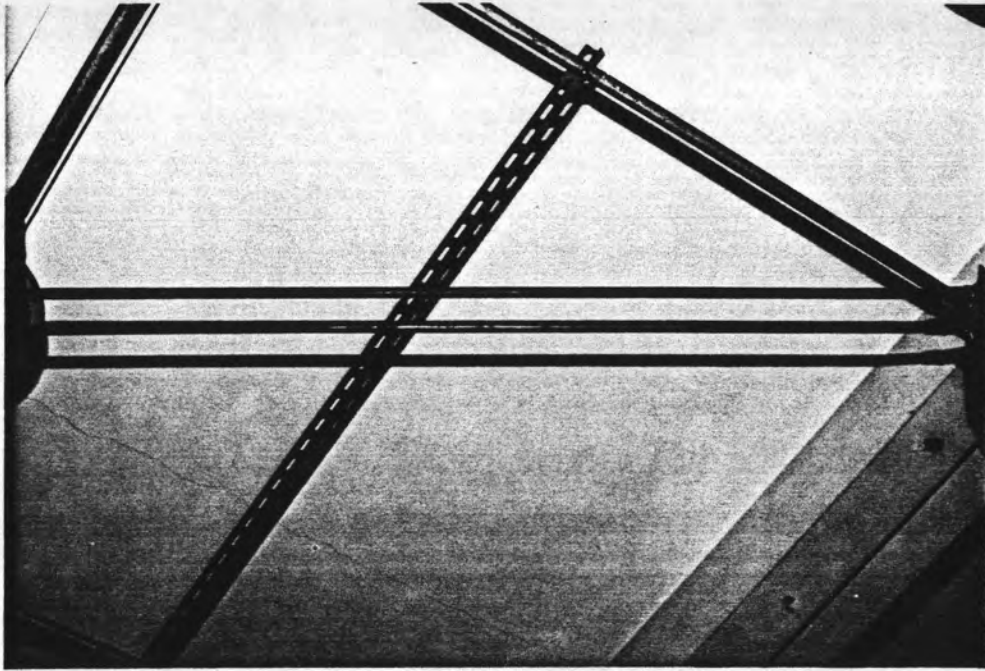
4.1.3 แกนแนวรัศมี (Radial axis of rotation)

แกนที่ใช้เป็นรัศมีในการหมุนในที่นี้จะเรียกว่า แกนรัศมีซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากสำหรับการหมุนของไบกัณฑ์ และจะต้องมีความแข็งแรงด้วย เพราะนอกจากจะถูกเหวี่ยงขณะ

กำลังหมุน แล้วยังต้องรับน้ำหนักของตัวใบกังหัน ด้วยเหตุนี้ ผู้ทดลองจึงได้ออกแบบแกนแนวรัศมี ทำด้วยเหล็ก โดยใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 ซม. จำนวน 4 เส้น มาทำเป็นแกนแนวรัศมี ใ้รับส่วนด้านบนของตัวปีกใบกังหัน 2 เส้น และส่วนด้านล่าง 2 เส้น แกนแนวรัศมีทำหน้าที่เป็นส่วนต่อเชื่อมระหว่างใบกังหันและแกนกลาง การยึดเชื่อมกับแกนกลางและตัวปีกกระทำโดยใช้ขนาด 2.54 ซม. ยึด ระบบกังหันที่สร้างขึ้นต้องใช้แกนท่อเหล็กทำรัศมี จำนวนทั้งหมด 12 เส้น ซึ่งในแต่ละใบจะใช้ 4 เส้น ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงแกนรัศมีและการเชื่อมต่อกับแกนกลางและตัวใบกังหัน



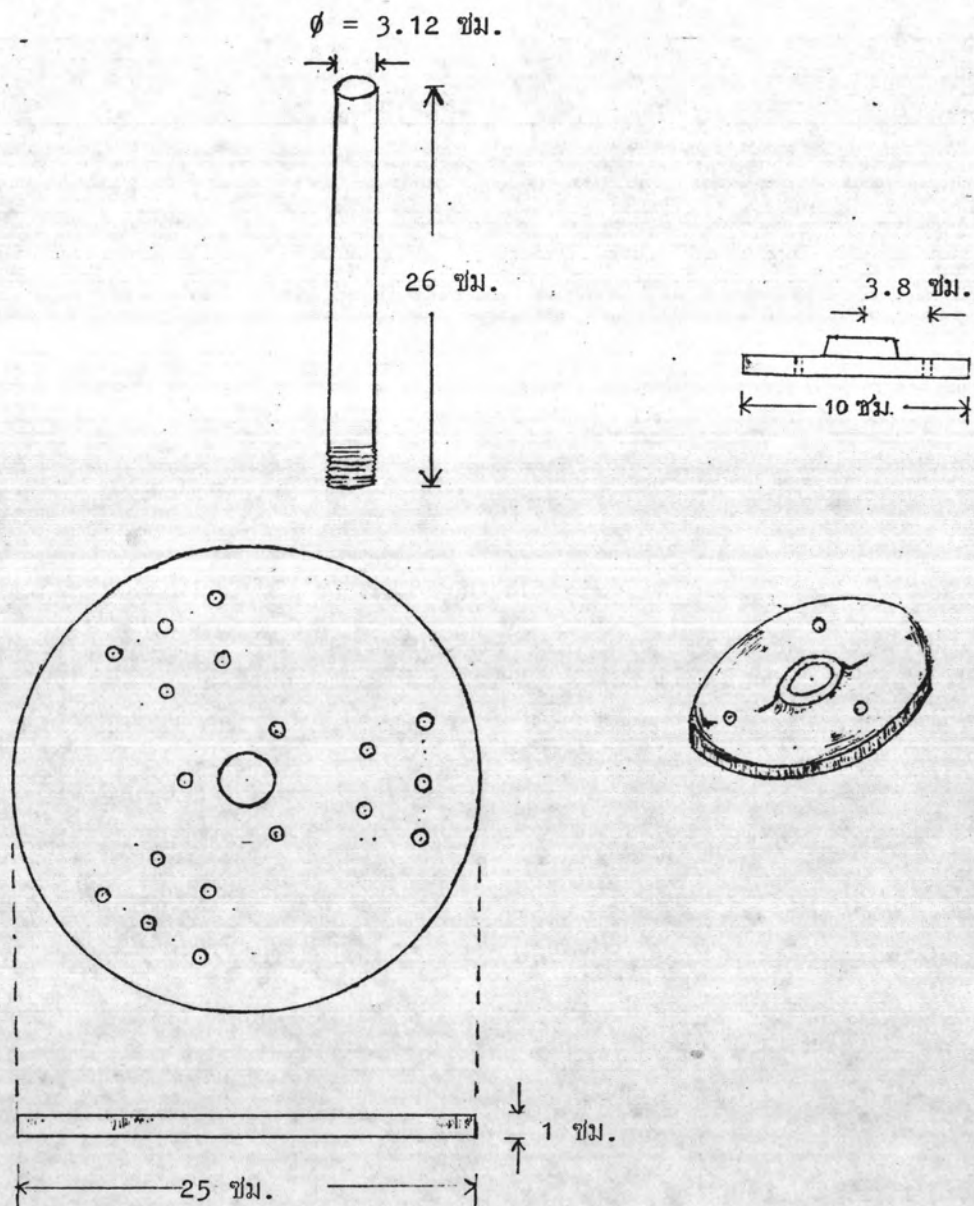
รูปที่ 4.12 แสดงแกนแวนอร์ซี่มีจากเครื่องมือจริงที่สร้างขึ้น

4.1.4 เสาแกนกลาง (Shaft)

เสาแกนกลาง เป็นองค์ประกอบที่อยู่ตรงกลางของระบบกังหันที่สร้างขึ้น ทำหน้าที่ในการหมุน และเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทกำลังเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ตามแต่ละจุดประสงค์ ดังนั้นส่วนนี้จึงต้องมีความแข็งแรงและจะต้องมีขนาดใหญ่พอสมควร มิฉะนั้นแล้วจะไม่สามารถรับน้ำหนักจากระบบกังหันได้ และที่สำคัญก็คือ ขณะกำลังหมุนอยู่ นั้นก็จะต้องรับแรงดึงเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางของตัวใบแต่ละใบด้วย ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนเสา แกนกลางนี้มีมาก ถ้าไม่แข็งแรงแล้วอาจจะหักได้ ในการทดลองนี้จึงได้ออกแบบโดยใช้ท่อเหล็กขนาด 3.12 ซม. หนา 0.32 ซม. เหล็กที่ใช้เป็นเหล็กกล้า เพื่อที่จะรับแรงกระทำต่าง ๆ ได้เต็มที่ เพราะเหล็กกล้าเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงอยู่ในตัวมาก การทำเสาแกนกลางนี้ ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยแต่ละส่วนสามารถต่อเชื่อมกันได้ ส่วนประกอบทั้งสามนี้ แบ่งเป็น ส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่าง ตามตำแหน่งที่ติดตั้งดังรายละเอียดต่อไปนี้

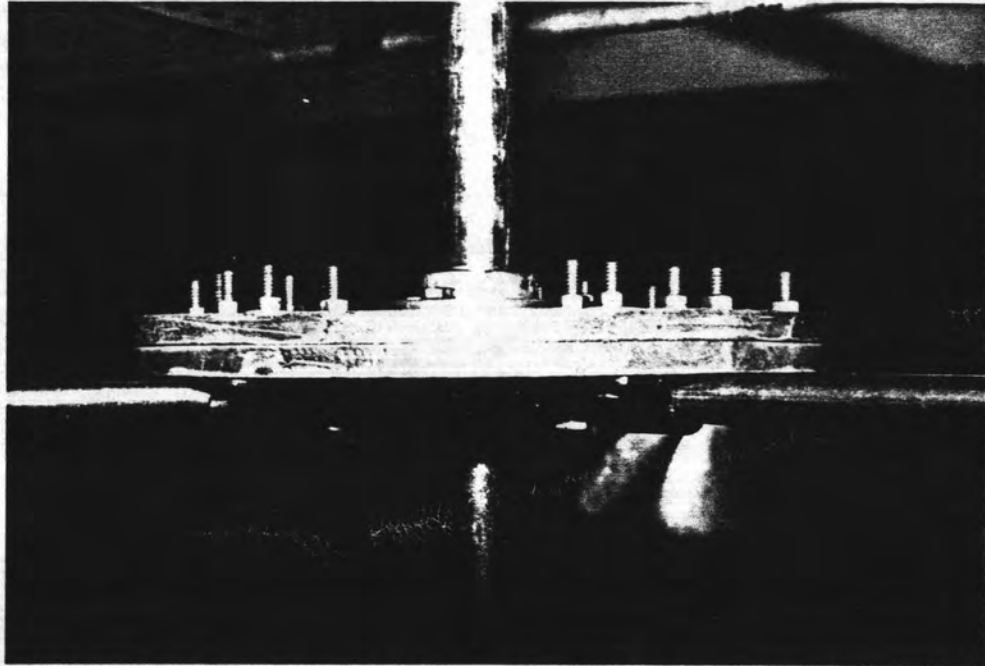
ก. ส่วนบน เป็นส่วนที่ใช้ยึดกับโครงครอบระบบกังหัน โดยสวมอยู่ในตลับลูกปืน (Bearing) สามารถเขยื้อนขึ้นลงได้ และหมุนได้อิสระในตลับลูกปืน การยึดแกนกลาง

ส่วนบนไว้กับโครงครอบระบบกึ่งตันนี้ ก็เพื่อต้องการจะป้องกันการส่ายของระบบใบกึ่งตันขณะกำลังหมุนนั่นเอง เพราะมีฉะนั้นแล้ว จะทำให้เสาส่วนกลางหักได้ ส่วนประกอบของเสาแกนกลางส่วนบนมี ดังนี้



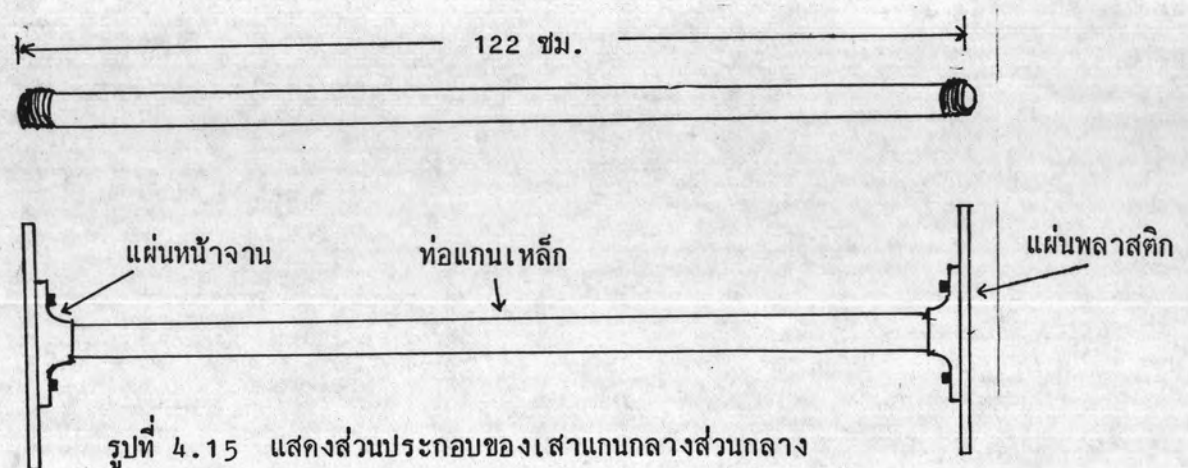
รูปที่ 4.13 แผนภาพแสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเสาแกนกลางส่วนบน

เมื่อนำชิ้นส่วนดังในรูปที่ 4.13 มาประกอบกัน จะได้ส่วนประกอบที่สำเร็จรูป เป็นดังในภาพข้างล่าง รูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงส่วนประกอบของเสาแกนกลางส่วนบน

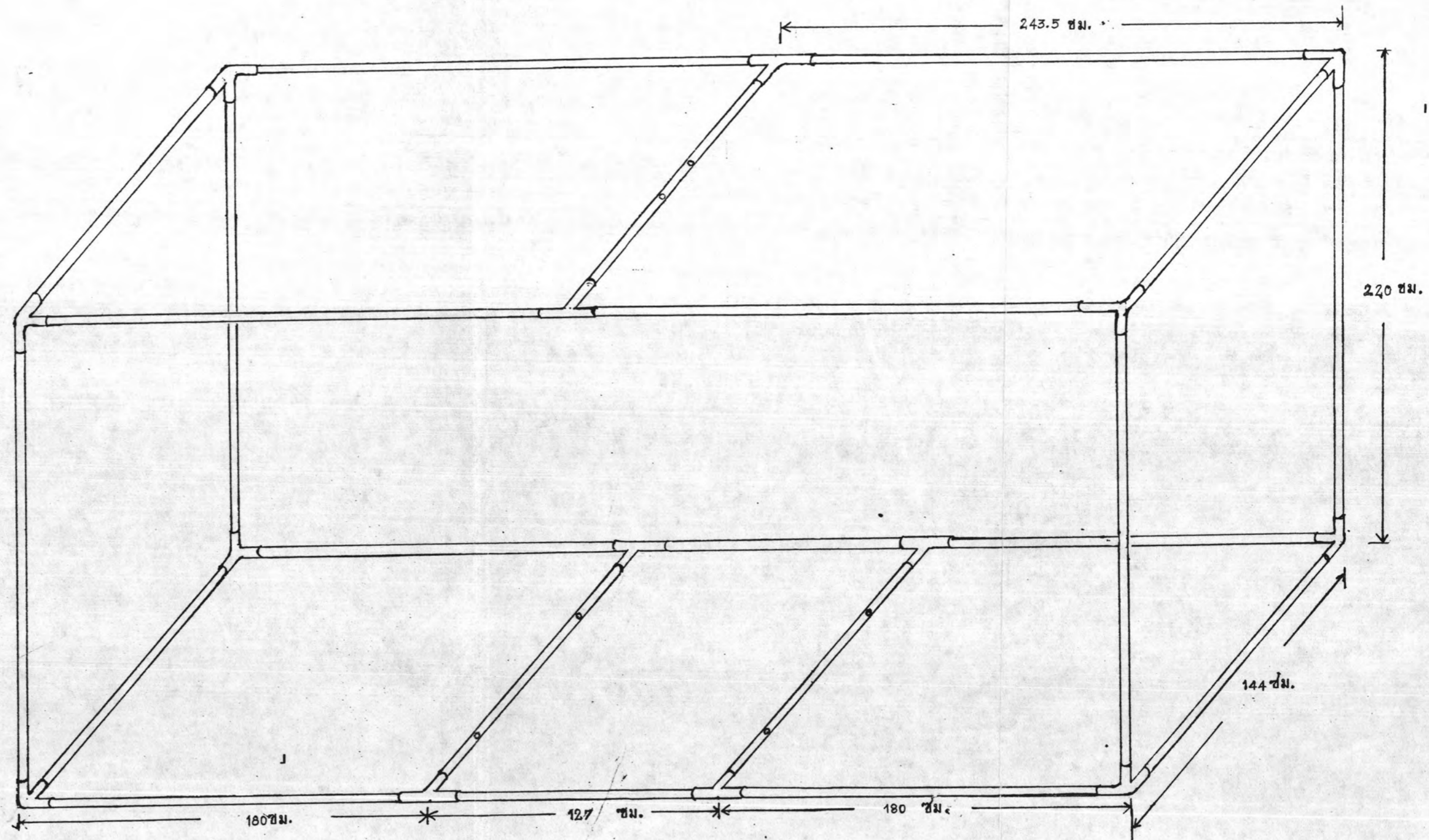
ข. ส่วนกลาง เสาแกนกลางส่วนกลางเป็นส่วนที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการ เป็นแกนหมุนของระบบการหมุนของกังหัน และเป็นส่วนต่อระหว่างแกนกลางส่วนบนและส่วนล่าง ส่วนประกอบของเสาแกนกลางส่วนกลาง ประกอบด้วยแกนท่อเหล็กขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.18 ซม. ความหนาของท่อ 0.32 ซม. ที่ปลายของท่อได้ทำเกลียว เพื่อสวมกับแผ่นหน้าจานซึ่ง เป็นส่วนที่จะต้องไปยึดกับแผ่นพลาสติก ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงส่วนประกอบของเสาแกนกลางส่วนกลาง

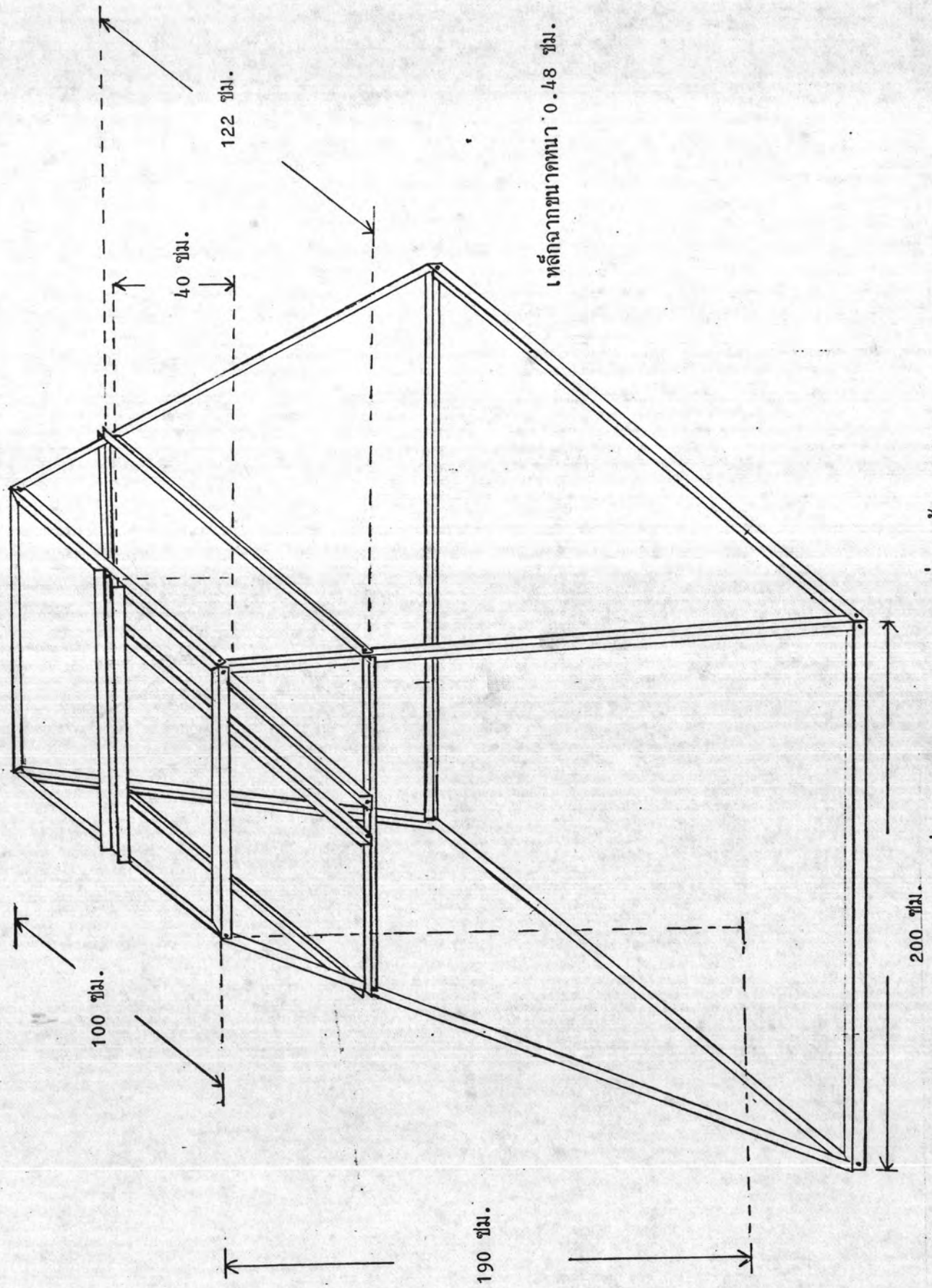
ค. ส่วนล่าง เส้าแกนกลางส่วนล่าง เหมือนกันกับเส้าแกนกลาง ส่วนบน ทุกชั้น แต่เส้าแกนกลางส่วนล่างใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 ซม. ทำหน้าที่ยึดกับฐานของระบบกังหันโดยสวมอยู่กับคัลบลูกปืนซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานรองรับระบบกังหันส่วนล่าง ทำให้ระบบกังหันสามารถวางตัวอยู่ในแนวตั้งได้และหมุนได้อิสระในแนวตั้ง การเชื่อมต่อของเส้าแกนกลาง ส่วนบนส่วนกลาง และส่วนล่าง จะเป็นดังในรูปที่ 4.13 และ 4.14

4.1.5 โครงยึดแกนกลางใบกังหัน โครงยึดแกนกลางใบกังหันที่สร้างขึ้นมานี้ ก็เพื่อที่จะใช้เป็นที่ยึดของเส้าแกนกลาง เพื่อลดการส่ายของระบบกังหันขณะกำลังหมุนและป้องกันการบิดตัวของเส้าแกนกลาง เพราะขณะที่ระบบกังหันกำลังหมุนนั้นจะมีแรงเหวี่ยงเกิดขึ้นทำให้เส้าแกนกลางส่าย โครงยึดใบกังหันดังกล่าวนี้ สร้างด้วยท่อเหล็ก ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมที่ครอบตัวระบบกังหันไว้ และโครงยึดใบกังหันนี้จะวางอยู่บนโครงของฐานที่ใช้เป็นที่ติดตั้งใบกังหันและยึดกันไว้ด้วยนอต รายละเอียดของโครงยึดใบกังหัน เป็นดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 โครงยึดไม้กั้น พื้น

4.1.6 โครงของฐานที่ใช้ติดตั้งใบกังหัน เป็นโครงสร้างเหล็กที่ต่อขึ้นมาเพื่อใช้เป็น ที่ติดตั้งระบบกังหัน ซึ่งเป็นโครงที่ต้องการความแข็งแรงมาก ดังนั้นจึงตั้งใช้เหล็กฉากขนาดหนา 0.5 ซม. เป็นส่วนประกอบในการต่อโครง ชั้นส่วนที่นำมาประกอบนี้ประกอบด้วย ส่วนที่ทำหน้าที่ เป็นขา 4 ท่อน เป็นฐานรองรับขา 4 ท่อน ส่วนยึดขาส่วนบน 4 ท่อน และส่วนที่ทำหน้าที่ยึดขา ส่วนกลาง อีก 4 ท่อน ส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแท่นวางตลับลูกปืน (Bearing) ซึ่งมีอยู่ 2 คู่ โดยคู่แรกวางอยู่บนส่วนยึดขาส่วนบน และอีกคู่วางอยู่บนส่วนยึดขาส่วนกลาง ตลับ ลูกปืนทั้งสองชุดที่วางอยู่นี้ ทำหน้าที่เป็นตัวรับเสาะแกนกลาง (Shaft) ของตัวระบบกังหัน การที่ ใช้ตลับลูกปืน 2 ชุด รองรับก็เพื่อต้องการเพิ่มความแข็งแรงในการรองรับการหมุนของกังหัน และ ที่สำคัญ คือ ส่วนด้านล่างเป็นส่วนที่ต้องรับน้ำหนักของระบบส่วนบน ความแข็งแรงจึงต้องมีมาก ทุก จุดที่มีการเชื่อมต่อกันของโครงของฐานจะถูกยึดไว้ด้วยนอต รายละเอียดของโครงสร้างฐานเป็น ดังในรูปที่ 4.17

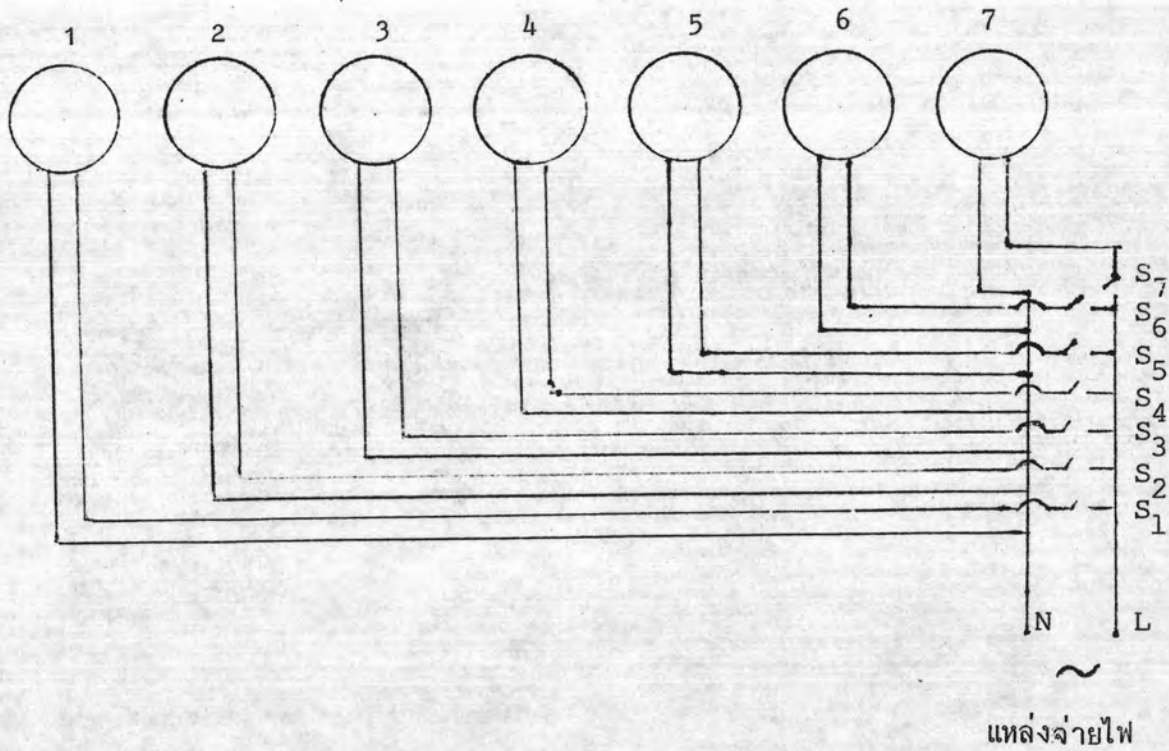


รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างฐานที่ใช้ติดตั้งเบกิ้งทัน

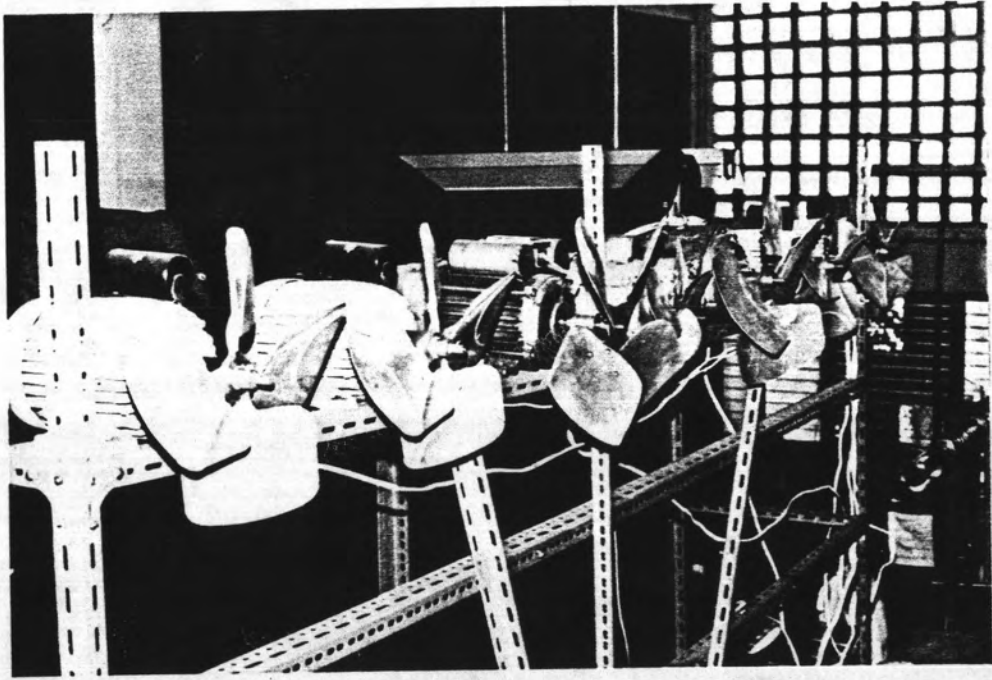
4.1.7 แผงพัดลม (Blower) ที่ใช้เป็นต้นกำเนิดลม

ต้นกำเนิดลมในการทดลองนี้ใช้พัดลม (Blower) เป็นแหล่งในการจ่ายกระแสลม พัดลมที่ใช้มีทั้งหมด 7 ตัว โดยนำมาติดตั้งเรียงเป็นแถวในแนวนอน ในระดับเดียวกับแนวกึ่งกลางของใบกังหัน แผงพัดลมทั้ง 7 ตัวดังกล่าว ติดตั้งอยู่บนโครงเหล็กที่ต่อขึ้นมาเพื่อใช้เป็นฐานรองรับพัดลมโดยเฉพาะ การใช้พัดลมเป็นแหล่งจ่ายพลังงานลมก็เนื่องมาจากว่าในการวิจัยครั้งนี้มีความจำกัดในการหาแหล่งลมธรรมชาติ และที่สำคัญในการวิจัยนี้เป็นแค่เพียงอยู่ในขั้นการทดลองเท่านั้น ดังนั้นผู้ทดลองจึงได้ใช้พลังงานลมจากพัดลมแทน เพื่อศึกษาวิเคราะห์การทำงานของระบบกังหันชนิด ภาคตัดขวางรูปปีกเฮลิคอปเตอร์ กระแสลมที่ได้จากแผงพัดลมที่กล่าวนี้ อาจจะไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควรแต่ก็พอที่จะใช้วิเคราะห์ได้ การทำงานของแผงพัดลมถูกควบคุมด้วยแผงสวิทช์ที่ติดตั้งขึ้น รายละเอียดการติดตั้งแผงพัดลมดูได้จากรูปที่ 4.18 และตัวอย่างแผงพัดลมที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ในรูปที่

4.19



รูปที่ 4.18 แสดงแผงพัดลมและสวิทช์

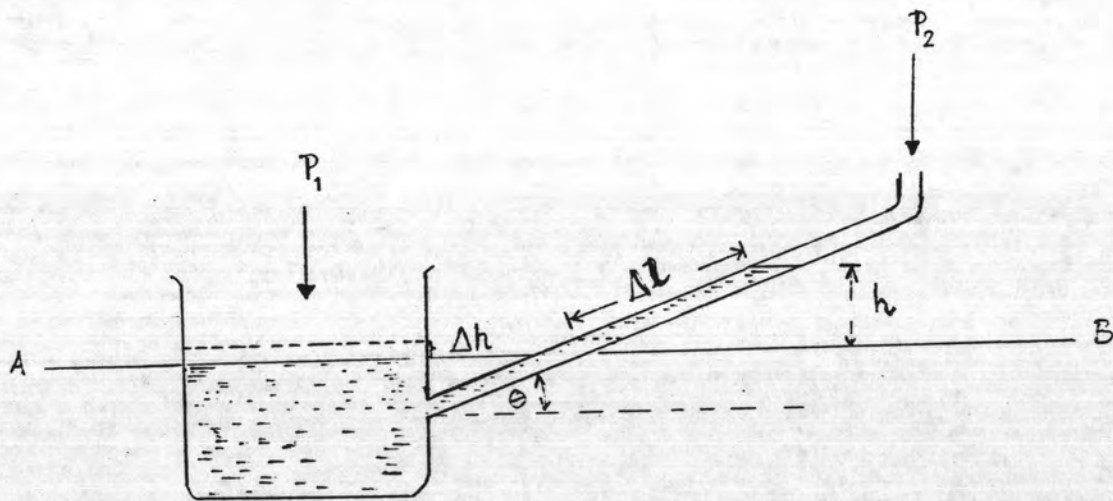


รูปที่ 4.19 แสดงแผงพัดลม (Blower) ที่ติดตั้งเสร็จแล้ว

4.2 การวัดการกระจายอัตราเร็วลมจากแหล่งกำเนิด

4.2.1 เครื่องมือวัดอัตราเร็วลม

ในการวัดการกระจายอัตราเร็วลมจากแหล่งกำเนิดลม เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายแบบ แต่ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้แบบมานอมิเตอร์แบบเอียง (Inclined manometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดผลต่างของความดันที่มีความไวมากที่สุด ขาข้างหนึ่งทำเป็นกระเปาะใหญ่ และขาอีกข้างหนึ่งเป็นท่อแก้วซึ่งต่อกันอยู่กับกระเปาะใหญ่ในลักษณะแบบเอียง แสดงได้ดังรูปที่ 4.20 (7)



รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะของมานอมิเตอร์แบบเอียง

ก่อนที่จะนำมานอมิเตอร์แบบเอียงไปใช้วัดค่าผลต่างความดัน จะต้องปรับให้มานอมิเตอร์แบบเอียงนี้อยู่ในแนวระดับเสียก่อน

- ให้ a_1 และ a_2 เป็นพื้นที่หน้าตัดของกระเปาะ และท่อแก้ว ตามลำดับ
 ρ' เป็นความหนาแน่นของเหลวที่บรรจุ
 θ เป็นมุมที่ท่อแก้วเอียงทำกับแนวระดับ

เมื่อความดัน P_1 เป็นความดันที่กระทำต่อของเหลวด้านกระเปาะใหญ่แล้วทำให้ของเหลวในกระเปาะลดลง Δh หรือปริมาตรของของเหลวลดลง $a_1 \Delta h$ อันเป็นผลทำให้ลำของ

ของเหลวในท่อแก้วเพิ่มขึ้น หรือปริมาตรเพิ่มขึ้น a_2

$$\text{ดังนั้น } a_1 \Delta h = a_2 \Delta l \quad (4.1)$$

$$\Delta h = \frac{a_2}{a_1} \Delta l \quad (4.2)$$

ที่ระดับ AB ระดับของเหลวในกระเปาะและท่อแก้วเอียงต่างกันตามแนวตั้ง เป็น h และ

$$h = \Delta h + \Delta l \sin \theta \quad (4.3)$$

จากสมการ (4.2) และ (4.3) จะได้

$$h = \Delta l \left(\sin \theta + \frac{a_2}{a_1} \right) \quad (4.4)$$

เมื่อคิดความดันที่ระดับ AB จะได้

$$P_1 = P_2 + \rho' g \Delta l \left(\sin \theta + \frac{a_2}{a_1} \right) \quad (4.5)$$

เนื่องจาก $a_1 \gg a_2$ จะได้ $\frac{a_2}{a_1} \ll 1$

และถ้ามุม θ มีค่าน้อย ๆ จะได้ $\sin \theta \cong \tan \theta$

ดังนั้น สมการ (4.5) จึงเขียนเป็น

$$P_1 \approx P_2 + \rho' g \Delta l \tan \theta \quad (4.6)$$

หรือ

$$P_1 - P_2 \approx \rho' g \Delta l \tan \theta \quad (4.7)$$

เมื่อให้มานอมิเตอร์แบบเอียงมีความไวมากขึ้น ของเหลวที่ใช้บรรจุ จะต้องมีความหนาแน่นน้อย ๆ และไม่ติดกับผิวแก้ว ในที่นี้ใช้น้ำมันก๊าด ซึ่งมีความหนาแน่น 772 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่า g ประมาณ 9.8 เมตร/วินาที²

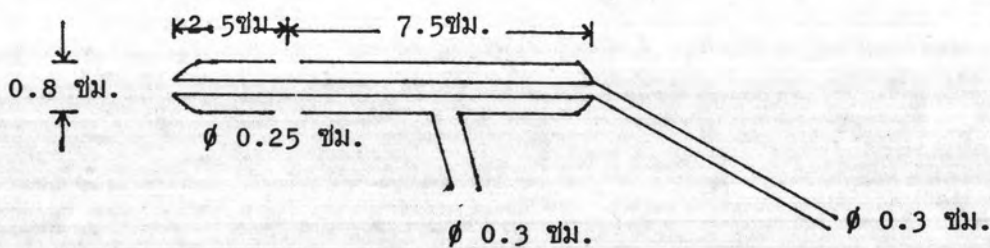
ดังนั้น สมการ (4.7) จึงเขียนเป็น

$$P_1 - P_2 = 7565.6 \Delta l \tan \theta \quad (4.8)$$

เมื่อ P_1 และ P_2 มีหน่วยเป็น นิวตัน/ตารางเมตร
 Δl มีหน่วยเป็น เมตร

4.2.2 ท่อปีตอต-สแตติก (Pitot-static tube)

เป็นท่อที่สามารถวัดความดันสถิต และความดันรวมได้พร้อมกัน โดยนำเอาท่อที่วัดความดันสถิตและความดันรวม มารวมอยู่ด้วยกัน มีลักษณะ เป็นท่อทรงกระบอกขนาดเล็ก 2 ท่อ ซ้อนกัน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.21

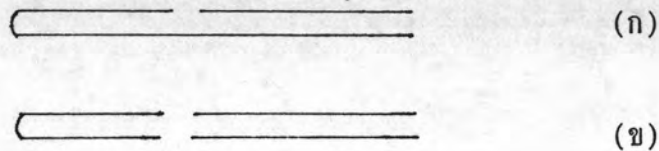


รูปที่ 4.21 แสดงขนาดของท่อปีตอต-สแตติก

ค่าความดันที่วัดได้ แบ่งเป็น 2 ค่าคือ

4.2.2.1 ความดันสถิต (Static pressure)

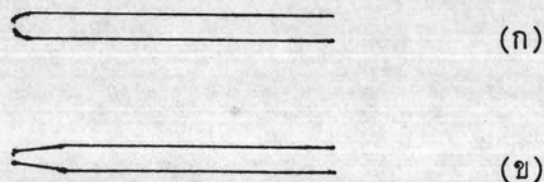
ความดันสถิตเป็นความดันที่กระทำบนพื้นผิวในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิว ความดันสถิต ณ จุด ๆ หนึ่งที่มีของไหลไหลผ่าน สามารถวัดได้โดยใช้ท่อทรงกระบอกกลวงเล็ก ๆ เจาะรูบนผิวทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งปิด อีกข้างหนึ่งเปิด โดยวางในทิศทางเดินของของไหล ให้แนวแกนท่อขนานกับทิศของการไหล โดยเอาด้านปิดชี้ไปทางทิศของไหลไหลเข้า ต่อปลายเปิด เข้ากับเครื่องวัดความดัน ค่าที่วัดได้ จะเป็นค่าความดันสถิต ลักษณะของท่อวัดความดันสถิตแสดงได้ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะของท่อวัดความดันสถิต (ก) เจาะรูเดี่ยว (ข) เจาะสองรู

4.2.2.2 ความดันรวม (Total pressure)

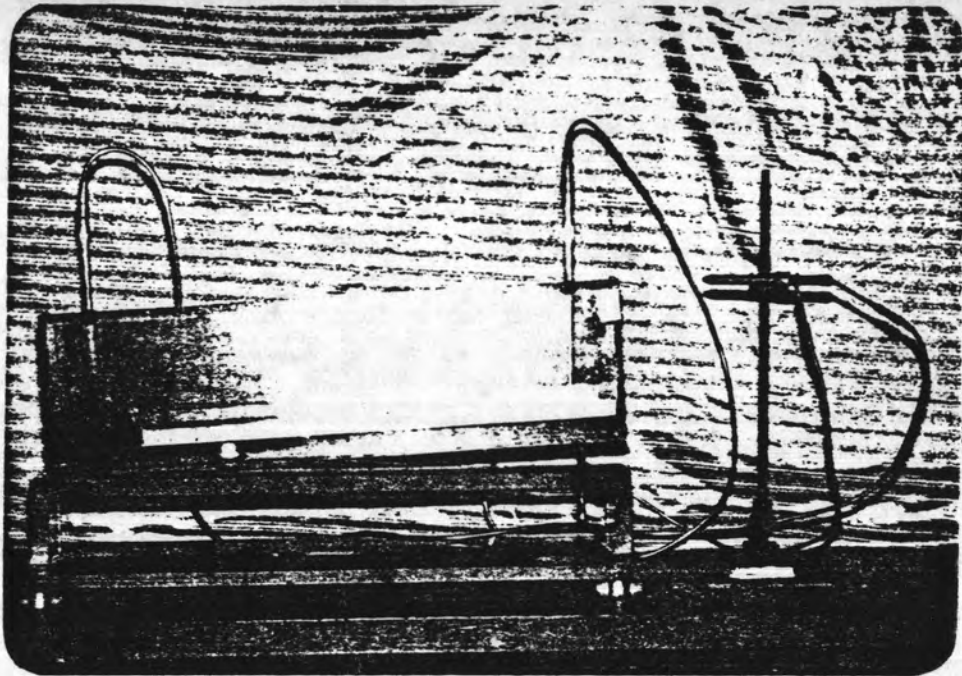
ความดันรวมเป็นความดัน ณ จุดหนึ่ง ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความดันนิ่ง (Stagnation pressure : P_{st}) ความดันรวมสามารถวัดได้โดยใช้ท่อทรงกระบอก กลวงเล็ก ๆ ปลายข้างหนึ่งปิด ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเปิด ที่ตรงกลางปลายด้านปิดนี้จะเจาะรูเล็ก ๆ เมื่อต้องการวัดความดันให้นำท่อนี้วางในทางเดินของของไหลให้แกนท่อนานกับทิศของการไหล โดยเอาด้านที่เจาะรูชี้ไปทางทิศที่ของไหลให้แกนท่อนานกับทิศของการไหล โดยเอาด้านที่เจาะรูชี้ไปทางทิศที่ของไหลไหลเข้า ต่อปลายด้านเปิด เข้ากับเครื่องวัดความดัน ค่าที่ได้จะเป็นค่าความดันรวม ลักษณะของท่อวัดความดันรวมแสดงได้ ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะของท่อวัดความดันรวม

(ก) ปลายมน (ข) ปลายแหลม

เมื่อนำท่อพิทอต-สแตติก ต่อเข้ากับมานอมิเตอร์ แบบเอียงก็สามารถนำไปวัดและคำนวณหาอัตราเร็วลมได้ ลักษณะของท่อพิทอต-สแตติกที่ต่อกับมานอมิเตอร์แบบเอียงแสดงได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงท่อปิดต-สแตติกและมานอมิเตอร์แบบเอียง

จากสมการ (4.8) จะได้ค่า P_s เป็น ความดันรวม และค่า P_2 เป็นความดันสถิต ดังนั้นสมการ (4.8) จึงเขียนได้เป็น

$$P_{st} - P = 7565.6 \Delta l \tan \theta \quad (4.9)$$

จากสมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation) สามารถหาอัตราเร็วในเส้นกระแสของไหลได้จาก

$$v = \left[\frac{2}{\rho} (P_{st} - P) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.10)$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วของเส้นกระแสของไหล หน่วยเป็น เมตร/วินาที
 ρ เป็นความหนาแน่นของของไหล หน่วยเป็น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 P_{st} เป็นความดันรวม หน่วยเป็น นิวตัน/ตารางเมตร
 P เป็นความดันสถิต หน่วยเป็น นิวตัน/ตารางเมตร

ดังนั้น จากสมการ (4.9) และ (4.10) จะได้ว่า

$$v = \left[151.3 \frac{\Delta l \tan \theta}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.11)$$

เมื่อ v มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

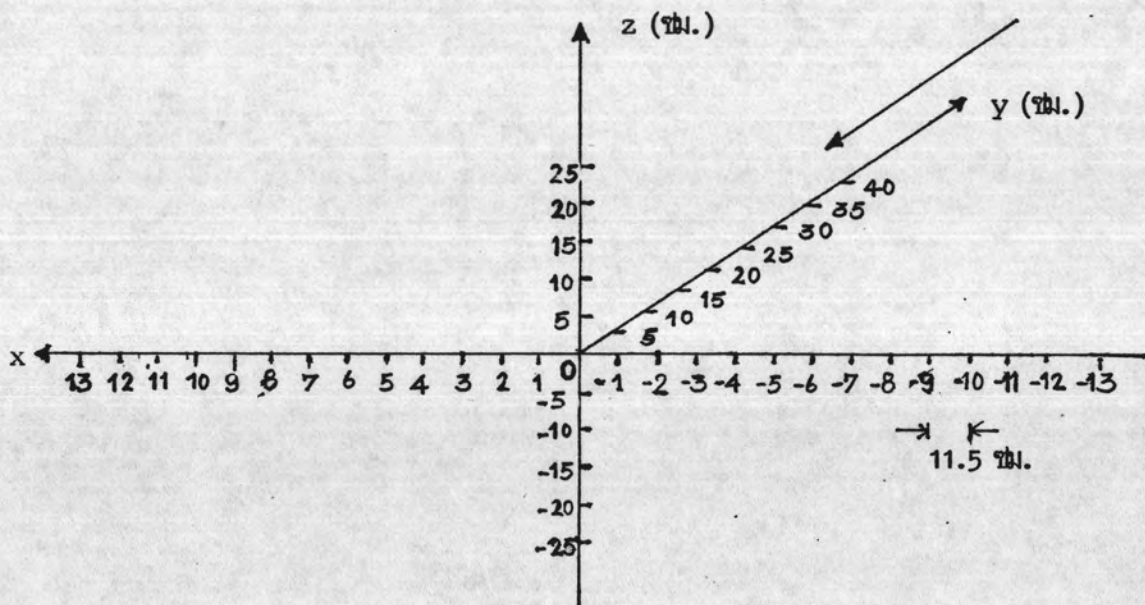
Δl มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

และ $\rho_{\text{อากาศ}}$ มีค่า 1.16 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 31°C

ค่า $\tan \theta$ ที่ปรับไว้ในกรวัด มีค่าเท่ากับ $2/45$

4.2.3 การวัดการกระจายอัตราเร็วลมในการทดลอง

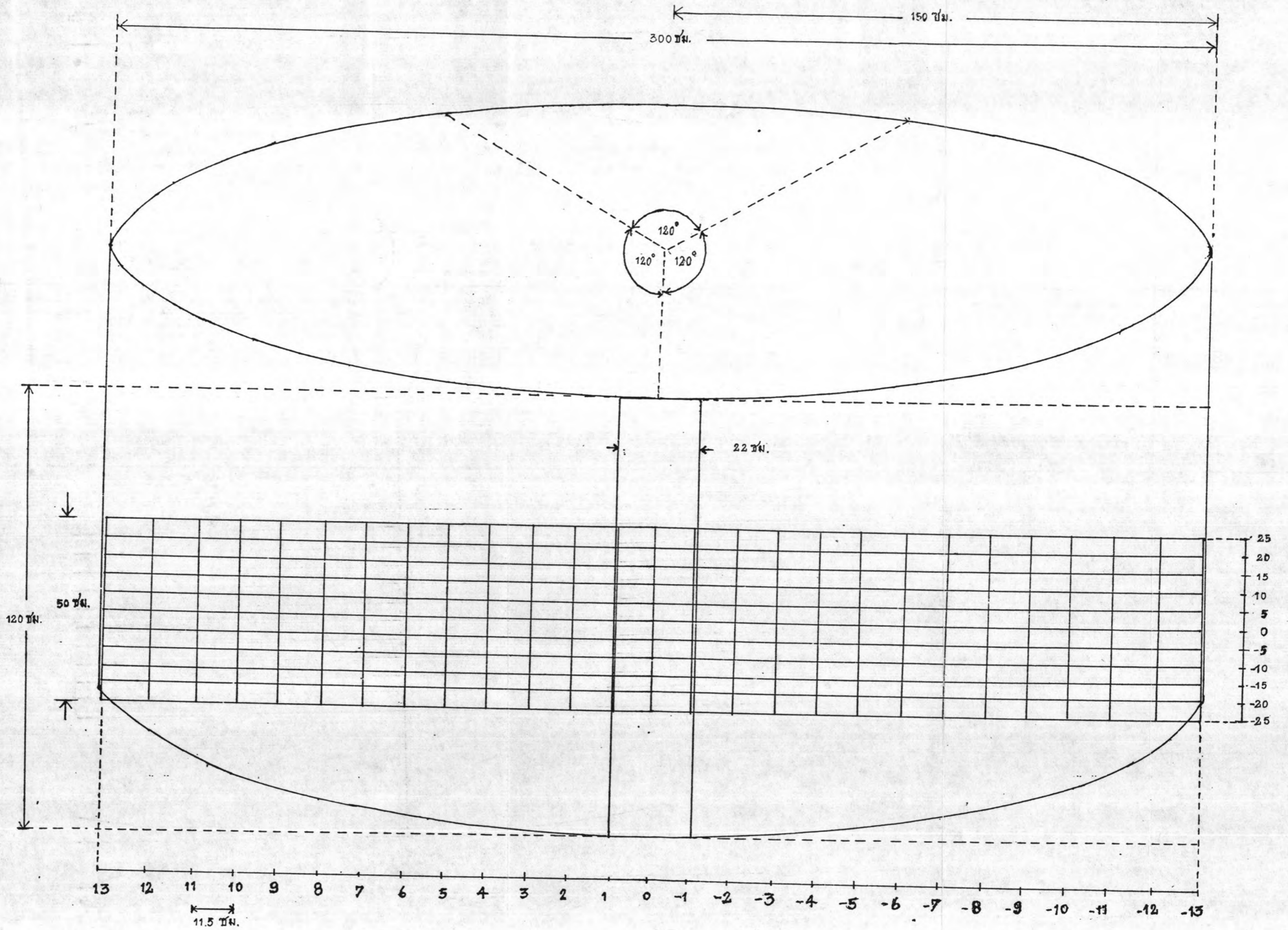
ก่อนที่จะทำการวัดอัตราเร็วลมด้วยเครื่องมือมาตรแบบเอียง เพื่อวัดการกระจายของกระแสลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการวัดจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งหรือบริเวณของการวัด ในที่นี้ได้กำหนดตำแหน่งของการวัดกระแสลมเป็นดังในรูปที่ 4.25 โดยพิจารณาการวัด เป็น 3 แนว คือ แนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z



รูปที่ 4.25 แผนภาพแสดงตำแหน่งในการวัดกระแสลม

วิธีการวัด ใช้ท่อปัดต-สแตก ซึ่งมีสายยางต่อโยงจากท่อไปยังมานอมิเตอร์แบบเอียง ต่อจากนั้นนำท่อปัดต-สแตก มาติดตั้งบนขาตั้งซึ่งสามารถเลื่อนไปมาตามตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวแกน x และแกน y ได้ ขณะเดียวกันท่อปัดต-สแตกก็สามารถจะปรับขึ้นลงตามแนวแกน z ในการวัดแต่ละครั้ง จะวัดที่ละระนาบ ระนาบที่กล่าวถึงคือ ระนาบ xz เมื่อวัดครบตามจุดที่กำหนดแล้ว ก็ค่อยถอยร่นไปที่ละ 5 ซม. ตามแนวแกน y แล้วเริ่มวัดทุกจุดบนระนาบ xz เหมือนเดิม ดังนั้นจะได้ระนาบ xz ที่เริ่มตั้งแต่ $y=0$ ซม. จนถึง 40 ซม. ทั้งหมด 9 ระนาบ

ขอบเขตของแนวการกระจายอัตราเร็วลมที่ไปปะทะใบกังหันแล้วสามารถทำให้กังหันหมุนได้เอง ดังรูปที่ 4.26 พร้อมทั้งขอบเขตการกวาดของใบกังหันซึ่งกวาดเป็นรูปทรงกระบอก

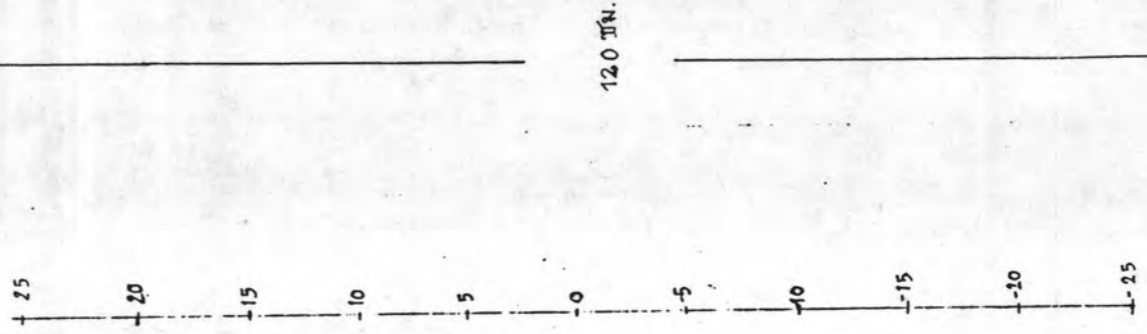
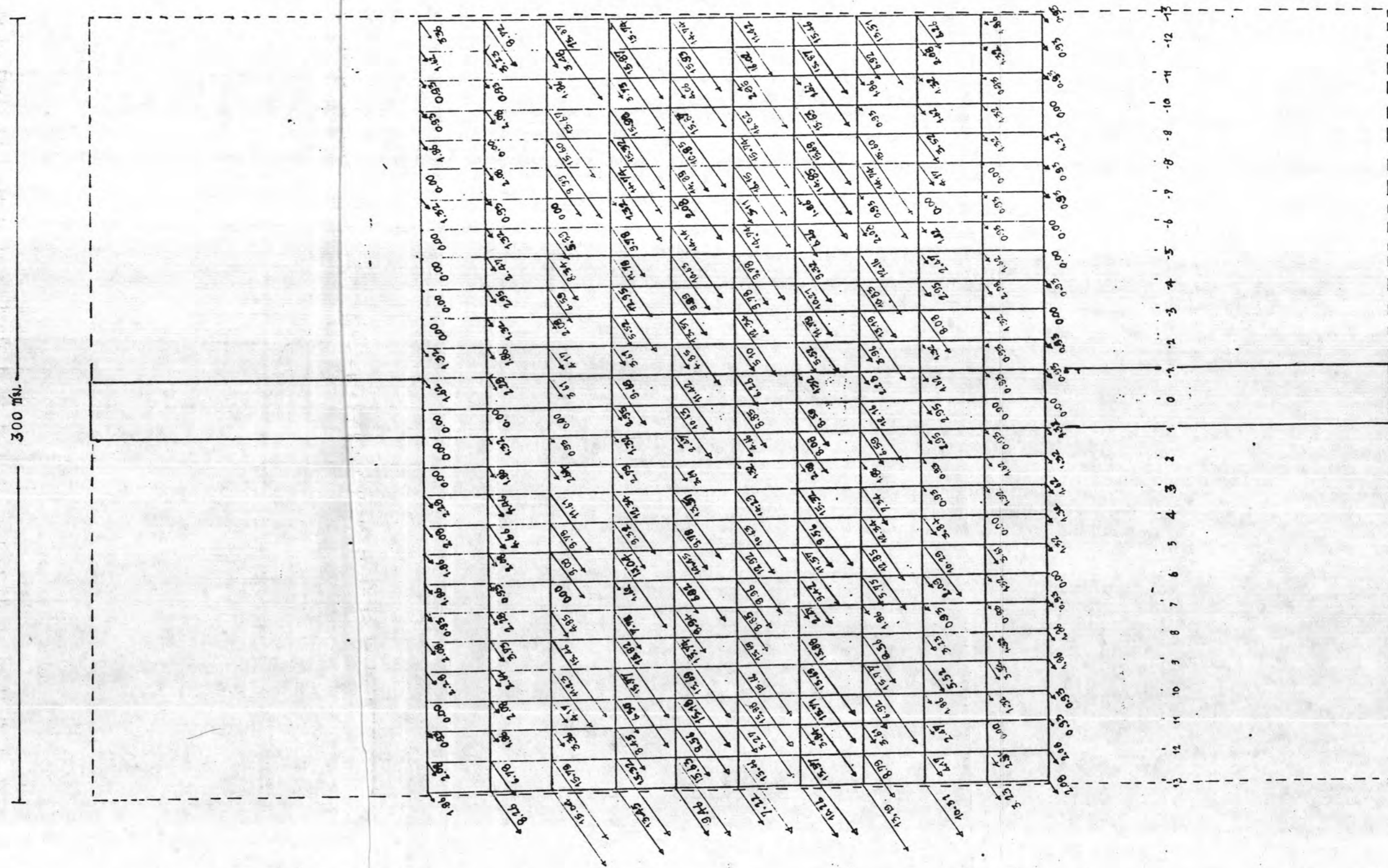


รูปที่ 4.26 แสดงแผนผังขอบเขตการกระจายอัตราเร็วลมและการกวาดของใบกังหัน

จากการวัดอัตราเร็วลมบนระนาบ xz ทุก ๆ จุดที่กำหนด ซึ่งจะได้ระนาบ
การกระจายลม 9 ระนาบ ณ จุด 0 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 ซม. บนแนว
แกน y ตามลำดับ ดังรายละเอียดการวัดในตารางที่ 4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 4.6
4.7 4.8 และ 4.9 ต่อไปนี้

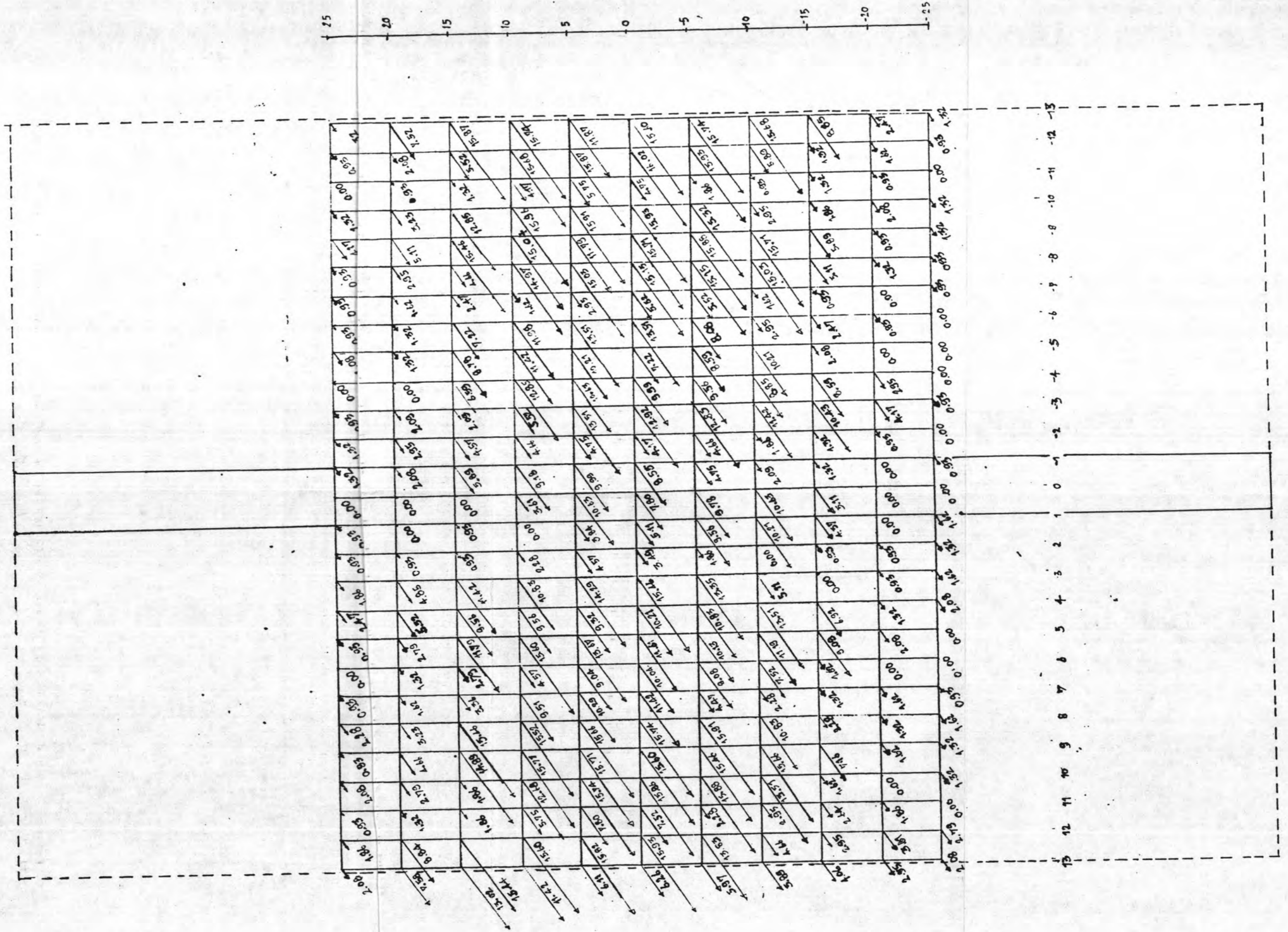


ตารางที่ 4.1 แสดงการกระจายการแสดงผลมรณะนา xz ที่ตำแหน่ง y = 0 ซม.

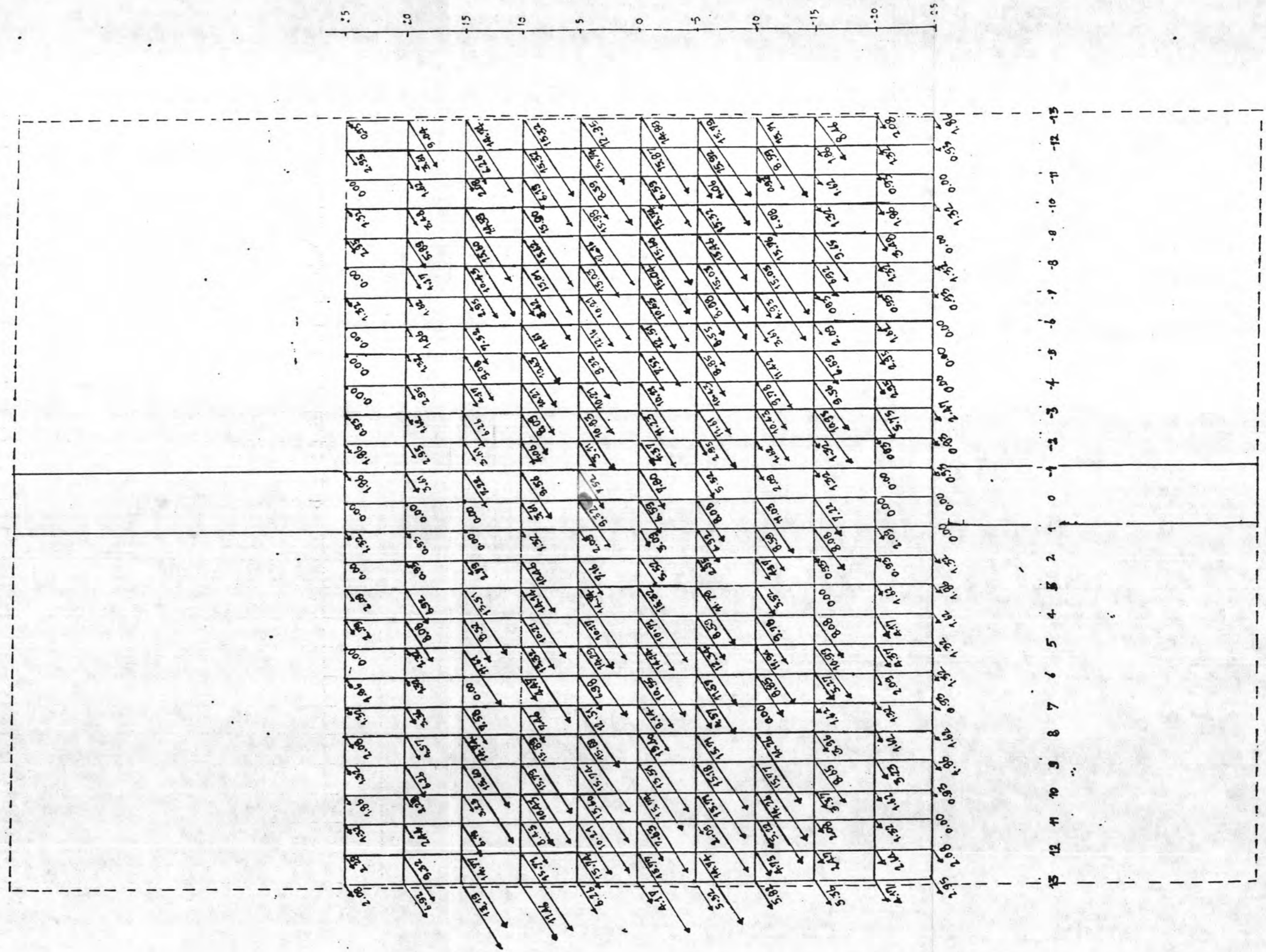


← 1:1.5 ซม. →

ตารางที่ 4.2 แสดงการกระจายกระแสลมมรณะนา xz ที่ตำแหน่ง y = 5 ซม.

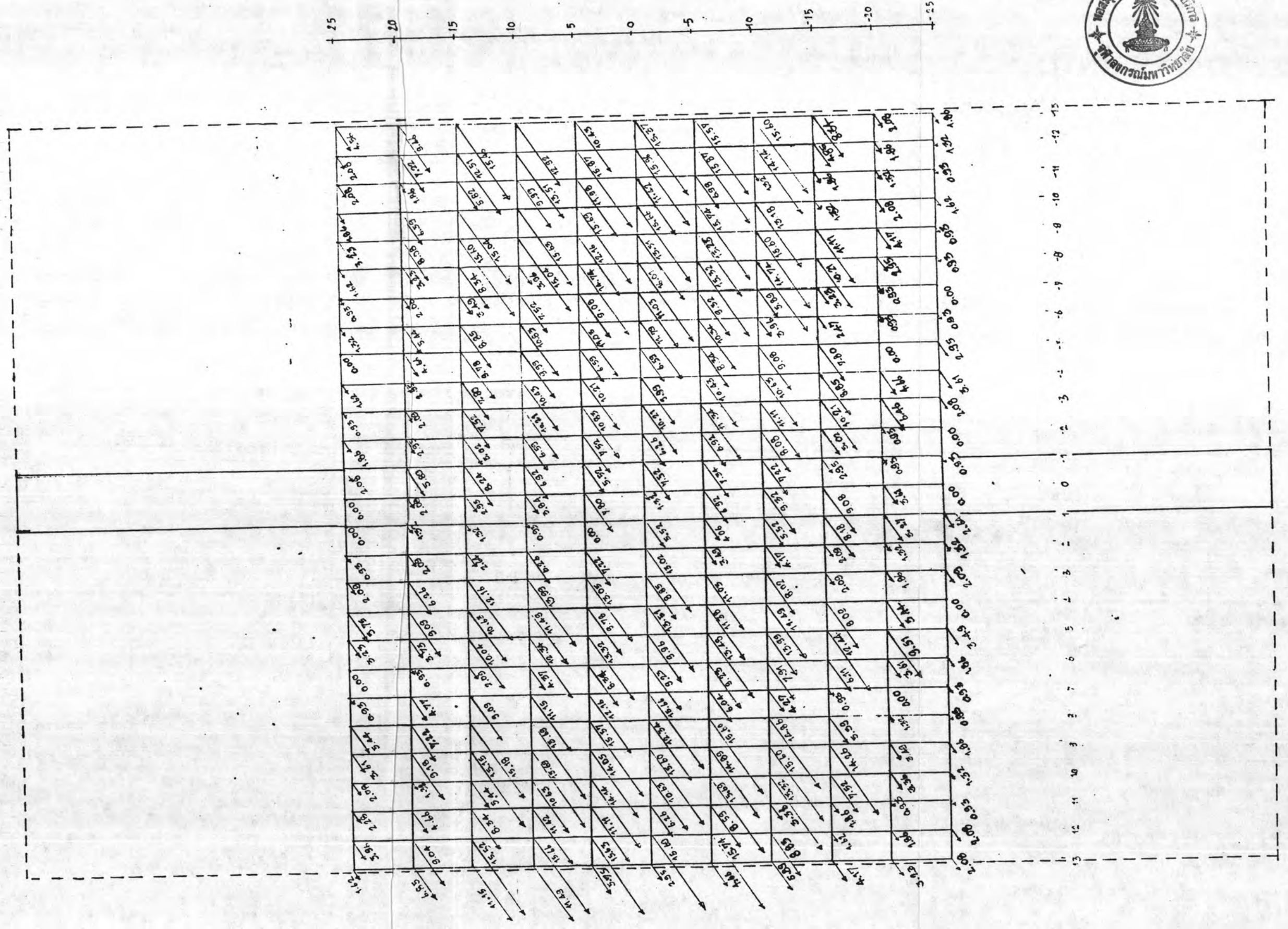


ตารางที่ 4.3 แสดงการกระจายกระแสลมบรรเทา xz ที่ตำแหน่ง y = 10 มม.

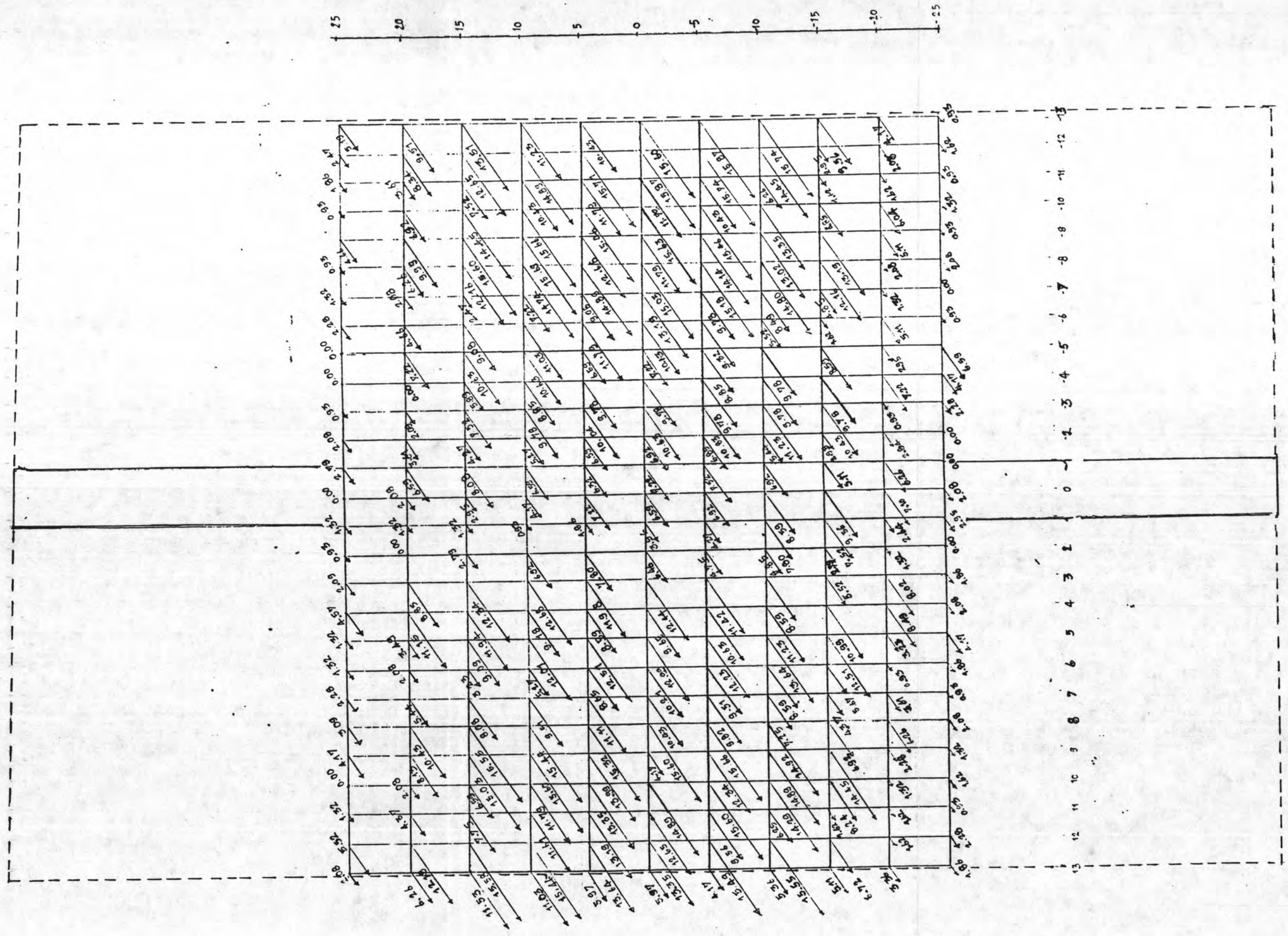




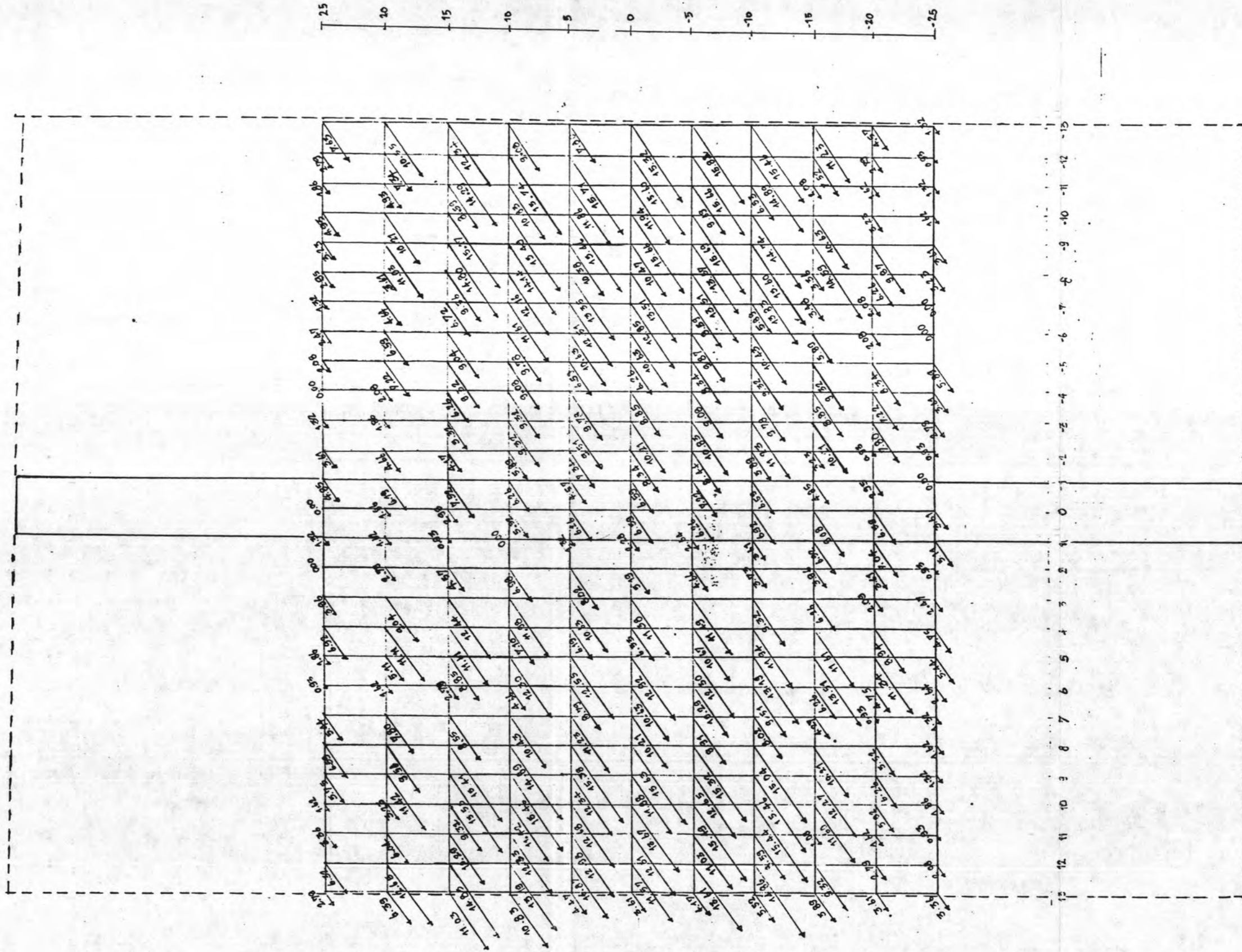
ตารางที่ 4.5 แสดงการกระจายกระแสลมบนบานประตู ที่ตำแหน่ง $y = 20$ ซม.



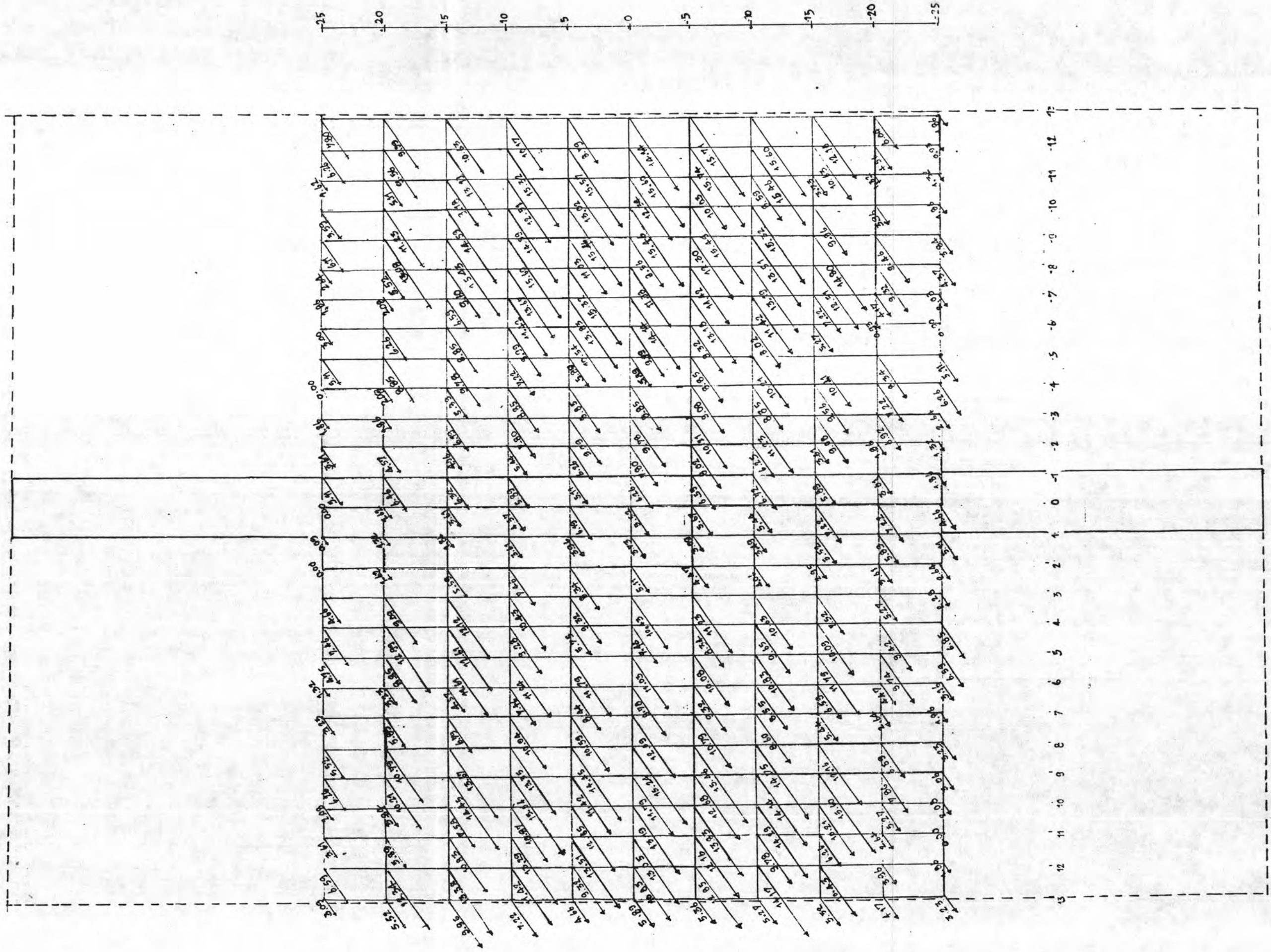
ตารางที่ 4.6 แสดงการกระจายกระแสลมบนระนาบ xz ที่ตำแหน่ง y = 25 มม.



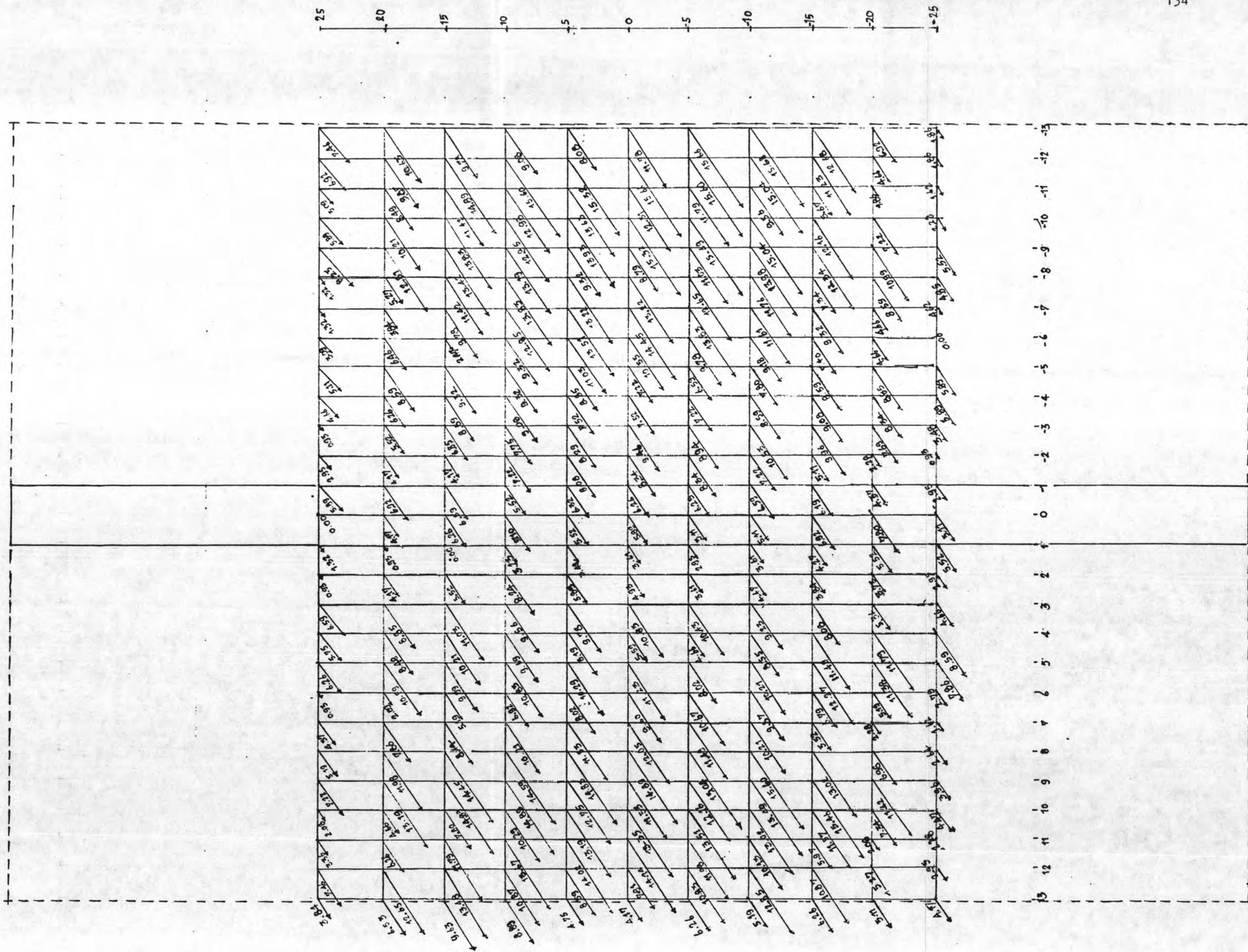
ตารางที่ 4.7 แสดงการกระจายกระแสสมมุตินาบ xz ที่ตำแหน่ง $y = 30$ ซม.



ตารางที่ 4.8 แสดงการกระจายระแวกสมบรูณานว xz ที่ตำแหน่ง y = 35 ซม.



ตารางที่ 4.9 แสดงการกระจายกระแสลมระนาบ xz ที่ตำแหน่ง Y = 40 ซม.



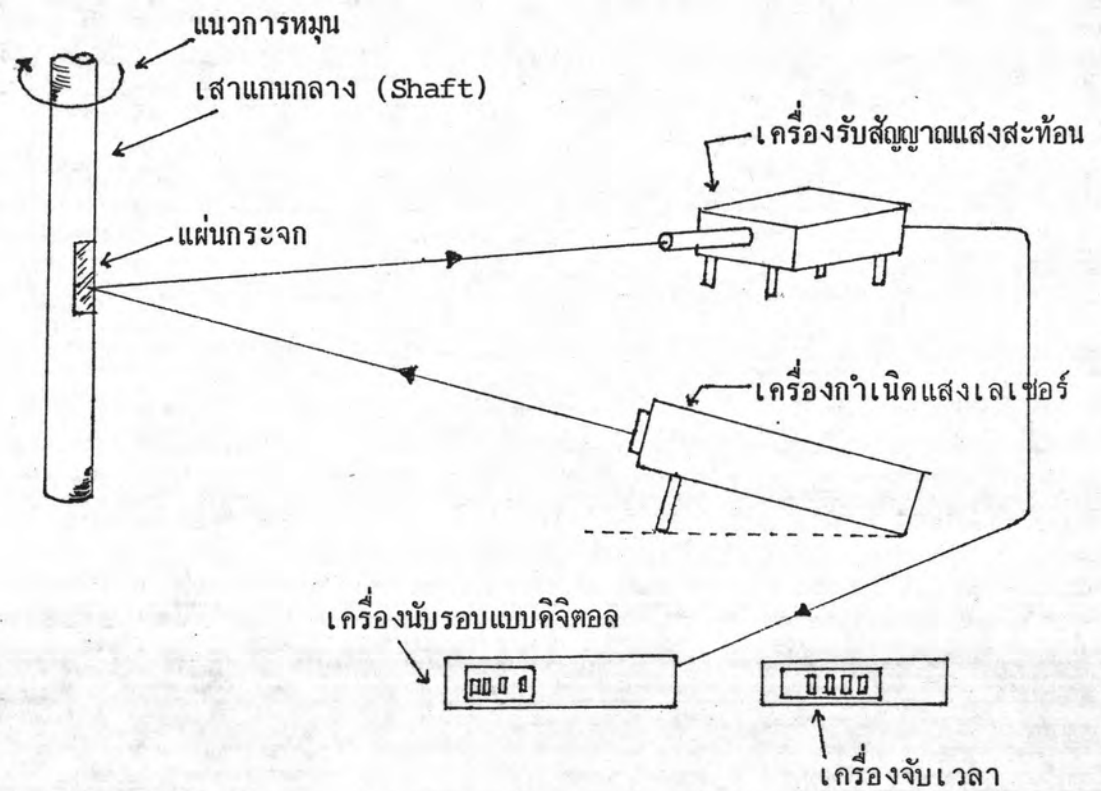
จากการวัดดังกล่าวพบว่า การกระจายอัตราเร็วลม จากแหล่งกำเนิดที่ได้จากพัดลม (Blower) ไม่ค่อยสม่ำเสมอ สาเหตุเพราะว่า ไม่สามารถควบคุมลำกระแสลมได้ เนื่องจากไม่มีโมเมนต์ลม ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะนำอุปกรณ์ที่สร้างไปติดตั้งได้ แต่การกระจายอัตราเร็วลมดังกล่าวคล้ายคลึงลมธรรมชาติมาก เพราะว่าในธรรมชาติก็ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมลำกระแสลมเช่นกัน

การประมาณค่าอัตราเร็วลมที่เข้าปะทะตัวใบกังหันยึดหลักใช้อัตราเร็วที่อยู่ใกล้ตัวใบที่สุด และเป็นอัตราเร็วที่อยู่จุดกึ่งกลางของตัวใบ เป็นตัวแทนของอัตราเร็วลมเฉลี่ยที่เข้าหาตัวใบกังหัน ซึ่งในที่นี้มีค่าประมาณ 8.85 เมตร/วินาที และในการทดลองนี้ไม่สามารถเปลี่ยนค่าอัตราเร็วลมได้ ดังนั้นอัตราเร็วลมที่ใช้พิจารณาจึงมีเพียงค่าเดียว

4.3 เครื่องวัดรอบ

สิ่งสำคัญในการพิจารณาการทำงาน of ระบบกักทันลมก็คือจำนวนรอบของการหมุนของกักทัน และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดจำนวนรอบของการหมุนก็มีได้หลายลักษณะ แต่ในที่นี้ได้ใช้เครื่องมือนับรอบแบบระบบใช้แสงสะท้อน โดยฉายแสงเลเซอร์ (Laser) ไปตกกระทบบนแผ่นกระจกแล้วให้สะท้อนกลับมากกระทบสารที่มีความไวต่อแสง แล้วป้อนสัญญาณจังหวะการรับแสงสะท้อนเข้าสู่เครื่องนับจำนวนครั้งแบบระบบดิจิทัล (Digital) โดยแต่ละรอบการหมุนจะเกิดการสะท้อนเข้าสู่เครื่องรับสัญญาณหนึ่งครั้ง จึงทำให้สามารถนับรอบการหมุนได้ อย่างถูกต้อง ในการนับการหมุนนี้ได้ใช้เครื่องมือจับเวลาการหมุนด้วยโดยจับเวลาการหมุนแล้วนับรอบในเวลา 1 นาที

การวางตำแหน่งลำแสงเลเซอร์ และเครื่องรับสัญญาณแสงสะท้อน จะวางในลักษณะทำมุมพอเหมาะค่าหนึ่ง ซึ่งจะทำให้แสงตกกระทบแล้ว สามารถสะท้อนเข้าสู่ช่องเครื่องมือรับสัญญาณได้พอดี ดังรายละเอียดในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.2.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องนับรอบแบบแสงเลเซอร์สะท้อน

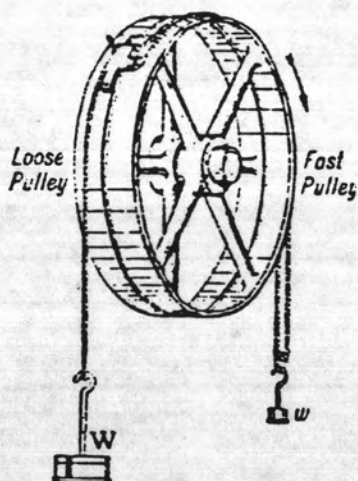
การวัดรอบการหมุนของกังหัน

ในการวัดรอบการหมุนของกังหัน ได้ใช้เครื่องมือตั้งที่กล่าวแล้วข้างต้น วัดจำนวนรอบของการหมุนของระบบกังหัน โดยวัดเป็นจำนวนรอบต่อนาที แล้วนำมาเทียบเป็นจำนวนรอบต่อวินาที

4.4 การวัดกำลังที่ได้จากกังหันลม

อุปกรณ์ที่ใช้วัดกำลังของกังหันลม คือ เครื่องวัดแบบพรอนีเบรค ซึ่งเป็นไคนาโมมิเตอร์แบบง่ายที่สุด เริ่มใช้ครั้งแรก โดย พรอนี (Prony) รูปแบบเริ่มต้นของเครื่องมือนี้ประกอบด้วยแผ่นไม้ 2 แผ่น ประกบติดกับตัวหมุนที่จะวัดกำลังงาน และสามารถปรับค่าแรงต้านความเสียดทานระหว่างตัวหมุนกับเครื่องมือได้ อาศัยหลักของโมเมนต์ สามารถหา

ค่าแรงต้านความเสียดทานระหว่างตัวหมุนและเครื่องมือได้ ซึ่งจะหาค่างานที่ทำโดยตัวหมุนได้ ลักษณะของเครื่องมือแบบนี้ แสดงดังในรูปที่ 4.28



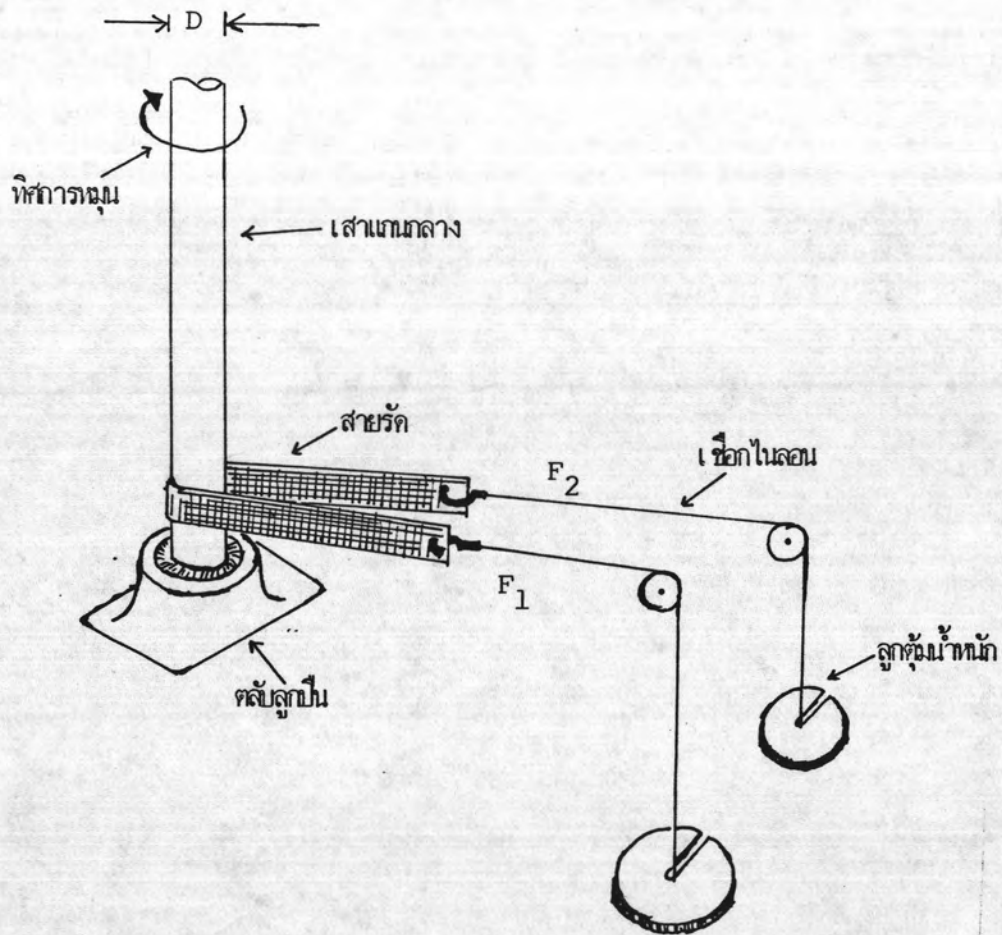
รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะของไดนาโมมิเตอร์แบบพรอนี่เบรค

กำลังงานที่วัดได้จากพรอนี่เบรค คือ

$$\text{Horse power} = \frac{2 \pi F r \omega}{550} \quad (4.12)$$

เมื่อ	F	เป็นแรงต้านความเสียดทาน	หน่วยเป็น ปอนด์
	r	เป็นรัศมีของตัวหมุน	หน่วยเป็น ฟุต
	ω	เป็นอัตราการหมุนของตัวหมุน	หน่วยเป็น รอบต่อวินาที

นอกจากนี้รูปแบบของโพรนีเบรค ยังได้รับการปรับปรุงและตัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติมอีก เพื่อให้วัดค่ากำลังงานได้ดีขึ้น และเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะวัดโพรนีเบรคที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีลักษณะแสดงดังในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะโพรนีเบรคที่ใช้ในการวิจัย

กำลังงานที่วัดได้จากโพรนิ์เบรค แบบนี้ คือ

$$\text{Horse Power} = \frac{(F_1 - F_2) \pi D \omega}{550}$$

หรือ $\text{Power (วัตต์)} = (F_1 - F_2) \pi D \omega \quad (4.13)$

เมื่อ F_1 และ F_2 มีหน่วยเป็นนิวตัน

D มีหน่วย เป็น เมตร

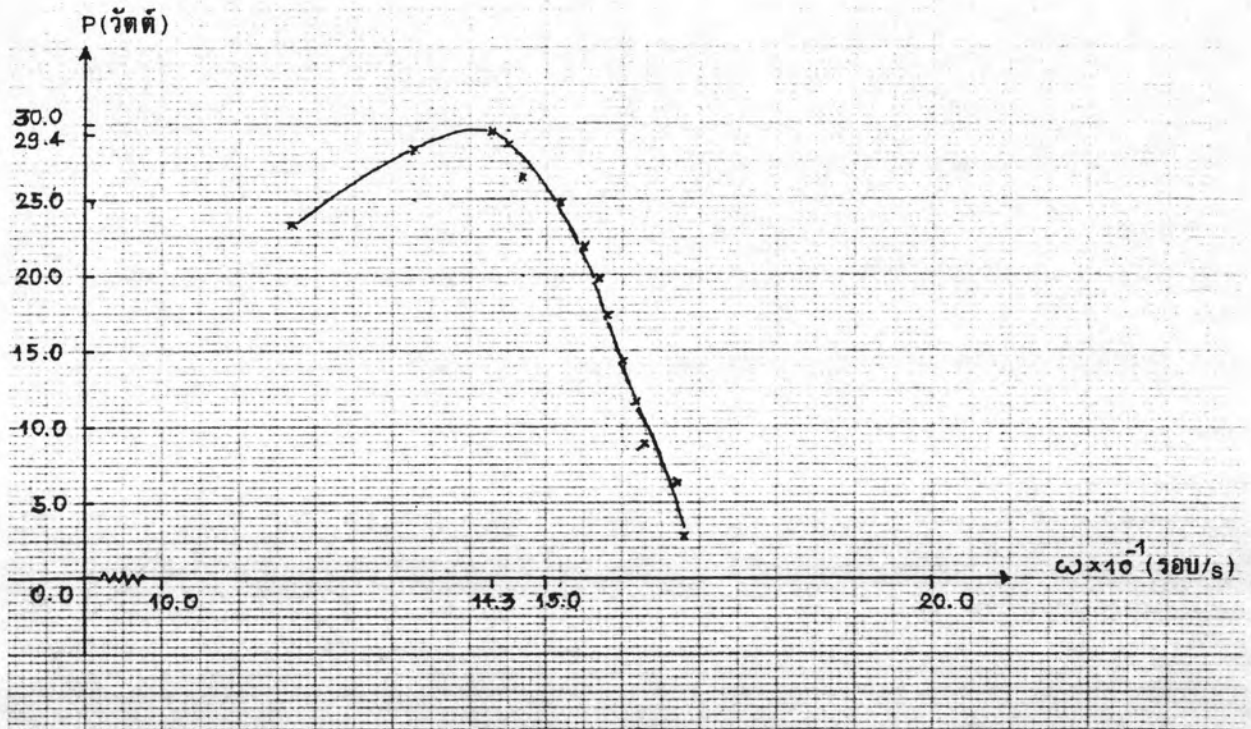
ω มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที

จากการวัดกำลังของระบบกักัน ด้วยเครื่องมือวัดแบบ โพรนิ์เบรค (Prony Brake) ดังที่ได้กล่าวข้างต้น สามารถคำนวณหา กำลังของระบบกักัน ที่อัตราการหมุน ω ค่าต่าง ๆ โดยเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาแกนกลาง (D) เท่ากับ 0.035 เมตร

ตารางที่ 4.10 แสดงกำลังของระบบกังหันที่อัตราการหมุนค่าต่าง ๆ

ครั้งที่	อัตราการหมุน ω (รอบ/วินาที)	F_1 (นิวตัน)	F_2 (นิวตัน)	$P = \sqrt{(F_1 - F_2)} \omega D$ (วัตต์)
1	1.68	24.9	9.8	2.8
2	1.67	49.4	4.7	6.3
3	1.63	73.9	25.4	8.7
4	1.62	98.4	33.3	11.5
5	1.60	122.9	41.1	14.4
6	1.58	147.4	49.0	17.2
7	1.57	171.9	57.8	19.6
8	1.55	196.4	68.6	21.8
9	1.52	225.8	78.4	24.6
10	1.47	255.2	91.1	26.4
11	1.45	274.8	96.0	28.5
12	1.43	284.6	98.0	29.4
13	1.33	294.4	101.9	28.2
14	1.17	304.2	124.2	23.1

จากกำลังที่วัดได้ที่อัตราการหมุนค่าต่าง ๆ สามารถจะเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและอัตราการหมุน ดังในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและอัตราการหมุน

เมื่อพิจารณากราฟดังในรูปที่ 4.30 จะเห็นว่า ยอดของกราฟที่สูงที่สุดจะตรงกับกำลัง 29.4 วัตต์ ที่อัตราการหมุน 1.43 รอบ/วินาที แสดงว่าระบบกักกันที่สร้างขึ้นมานี้ จะให้กำลังสูงสุดแค่เพียงประมาณ 29.4 วัตต์ ณ อัตราเร็วลมเท่าที่ใช้ในการทดสอบ

จากกำลังที่วัดได้ดังกล่าวข้างต้น สามารถนำไปหาการเปลี่ยนแปลงของทอร์ก (Torque) ที่อัตราการหมุนต่าง ๆ ของระบบกักกันได้ โดย ทอร์ก กำลังและอัตราการหมุน มีความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$P = \tau \omega$$

หรือ

$$\tau = \frac{P}{\omega} \quad (4.14)$$

เมื่อ τ = ทอร์กที่เกิดขึ้น หน่วย นิวตัน-เมตร

P = กำลัง หน่วย วัตต์

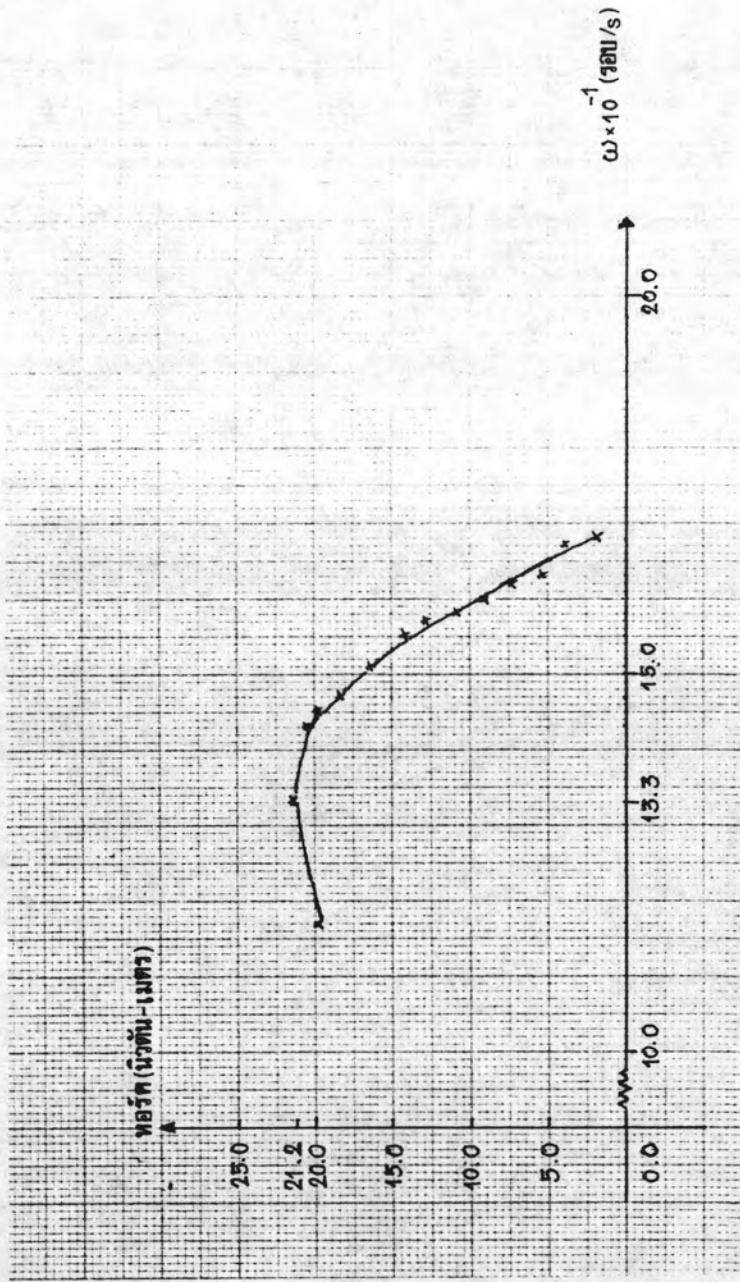
ω = อัตราการหมุน หน่วย รอบ/วินาที

ค่าของ ทอร์ก และอัตราการหมุนที่ได้ แสดงดังในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าของทอร์กที่อัตราการหมุนต่าง ๆ

ครั้งที่	อัตราการหมุน ω (รอบ/วินาที)	ทอร์ก τ (นิวตัน-เมตร)
1	1.68	1.7
2	1.67	3.8
3	1.63	5.2
4	1.62	7.2
5	1.60	9.0
6	1.58	10.8
7	1.57	12.6
8	1.55	14.1
9	1.51	16.2
10	1.47	18.1
11	1.45	19.7
12	1.43	20.5
13	1.33	21.2
14	1.17	19.8

จากตารางที่ 4.11 เมื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและอัตราการหมุน เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของทอร์ก จะได้กราฟดังในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับอัตราการหมุน

จากการพิจารณากราฟ จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของทอร์ค เมื่ออัตราการหมุนเพิ่มขึ้น พบว่าที่อัตราการหมุนค่าหนึ่ง ค่าทอร์คจะสูงสุด จากการทดลองนี้ คือ ค่า 1.33 รอบต่อวินาที จะให้ค่าทอร์คสูงสุด และหลังจากนั้นค่าทอร์คจะลดลงเมื่ออัตราการหมุนเพิ่มขึ้น แสดงว่าการทำงานของระบบกังหันจะให้การทำงานสูงสุดที่ค่าอัตราการหมุนค่าหนึ่งเท่านั้น เพราะถ้าอัตราการหมุนมากกว่าค่าดังกล่าวนี้แล้ว ระบบกังหันจะเกิดการสั่น ทำให้มีการสูญเสียพลังงาน ซึ่งจะเป็นเหตุให้ค่าทอร์คลดลง ในทำนองเดียวกันกำลังก็จะลดลงเช่นกัน

4.5 วิเคราะห์การทำงานของใบกังหันลมแบบแกนตั้งชนิดภาคตัดขวางคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์

ลักษณะพิเศษของกังหันลมแบบแกนตั้ง คือ แกนกลาง (Central axis) จะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม และตัวใบกังหันจะหมุนได้รอบแกนกลางตามแนวตั้ง โดยมีแกนรับที่ยื่นออกมาจากแกนกลาง ทำมุมฉากกับระนาบของตัวใบ การทำงานของกังหันลมแบบแกนตั้งที่ออกแบบขึ้นมาี้ คล้ายกับการทำงานของกังหันลมแบบ แคร้ เรียงส มาก และยังสามารถหมุนได้เองเมื่อมีลมมาปะทะตัวใบ เพราะ ค่าทอร์คที่ทำให้เกิดการหมุนนี้ ได้จากแรงยก (Lift force) เช่นเดียวกับกังหันลมแบบแคร้ เรียงส ซึ่งไม่เหมือนกับกังหันลมแบบ ซาโวเนียส ที่ได้จากแรงครูด (Drag force) แต่ความแตกต่างระหว่างกังหันลมแบบแกนตั้งกับตัวกังหันลมแบบแคร้ เรียงส ก็มี คือ ความโค้งของตัวใบของกังหันลมแบบแคร้ เรียงสจะคงที่แน่นอน ส่วนของกังหันลมแบบแกนตั้ง ความโค้งจะมีเฉพาะตรงส่วนหนึ่งในสี่ของความยาวคอร์ด (Chord) เท่านั้น และลำของตัวใบ มีลักษณะยาวเป็นแนวตรง (straight blade) ทำให้สามารถเกิดทอร์คได้สูงกว่า

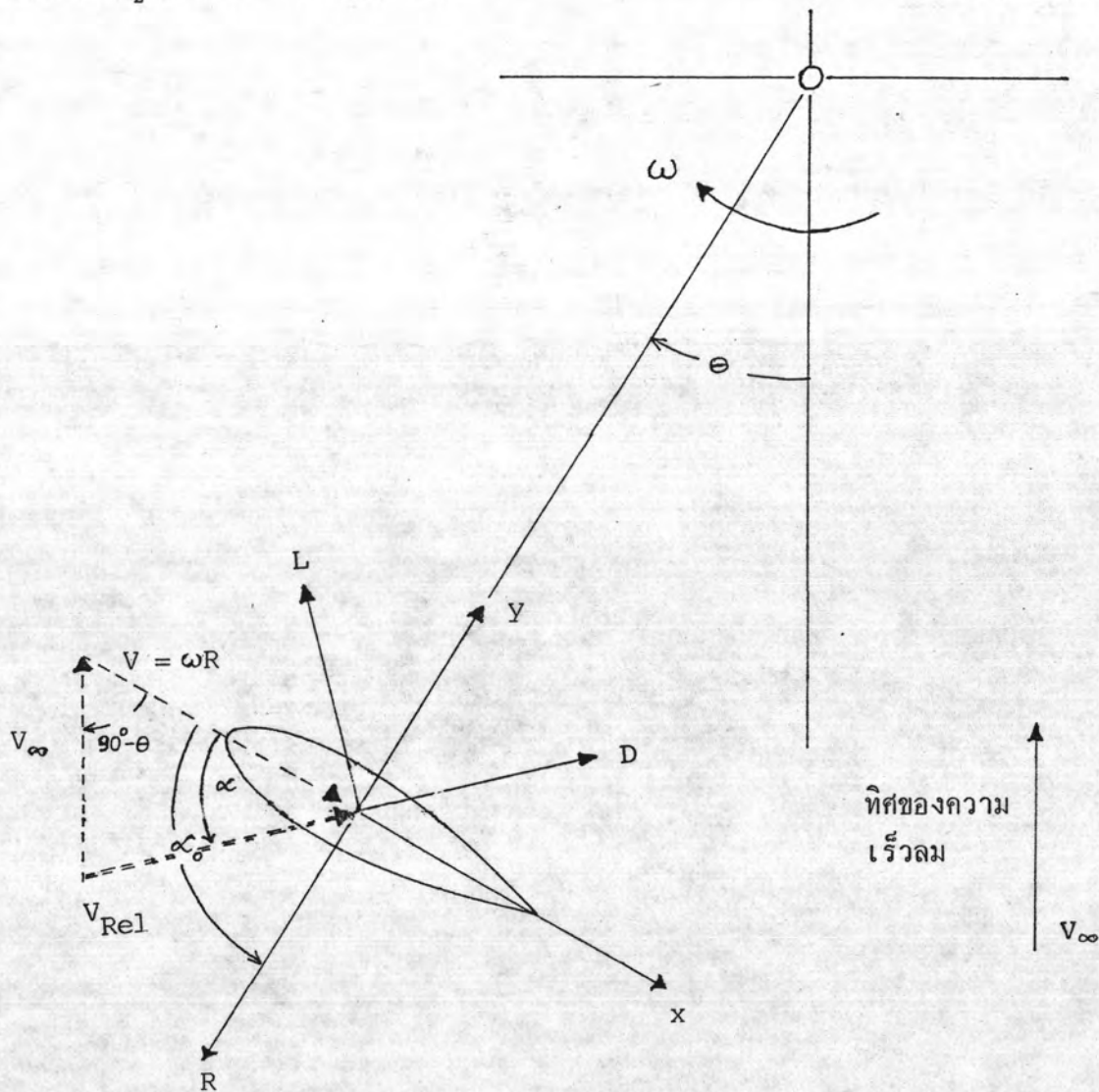
โดยทั่วไป กังหันลมแบบแกนตั้ง จะทำงานด้วยแรงยก และมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีข้อจำกัดด้วยเหตุที่ว่า เมื่อหมุนด้วยอัตราการหมุนสูงแล้ว ถ้าโครงสร้างไม่ดี จะทำให้พังหรือสูญเสียได้ เนื่องจากว่า ถ้าหมุนด้วยอัตราเร็วสูง จะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) มาก บนตัวใบ และแรงหนีศูนย์กลางนี้เองที่จะทำให้ตัวใบหักได้ เนื่องจากเกิดความเค้น (Stress) บนตัวใบสูง

แรงบนตัวใบ (Forces on blade)

ใบกังหันที่เลือกสร้างขึ้นมามีลักษณะคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ ทำด้วยวัสดุที่หาซื้อ

ภายในประเทศซึ่งมีราคาไม่สูงมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ ต้องการผลิตเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยราคาไม่สูงและสามารถหาวัสดุได้ภายในประเทศ ความหนาของลำตัวใบ 4.5 ซม. ความยาวของคอร์ค 22 ซม. และมีมวลต่อความยาว 2.92 กิโลกรัมต่อเมตร

ในการศึกษาการกระทำของแรงบนตัวใบ ซึ่งเกิดจากกระแสลม สามารถวิเคราะห์ได้ โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีอากาศพลศาสตร์ และความรู้เกี่ยวกับเรขาคณิต (Geometry) ให้พิจารณารูปที่ 4.32 ประกอบ (5)



รูปที่ 4.32 แสดงรายละเอียดของแรงเชิงเรขาคณิตที่กระทำบนตัวใบกังหันโดย $\alpha_0 = 90^\circ$

จากการพิจารณาแรงดังในรูปที่ 4.32 จะเห็นว่าแรงต่อหนึ่งหน่วยความยาวบนใบกังหัน สามารถแยกได้ เป็น 2 แนว คือ แนวขนานกับคอร์ด (แนวแกน x) และแนวตั้งฉากกับคอร์ด (แนวแกน y) ดังนี้

$$F_x = -L \sin \alpha + D \cos \alpha \quad (4.15)$$

$$\text{และ } F_y = L \cos \alpha + D \sin \alpha - m\omega^2 R \quad (4.16)$$

โดย F_x แทนแรงที่กระทำบนตัวใบตามแนวแกน

F_y แทนแรงที่กระทำบนตัวใบตามแนวแกน

L แทนแรงยก (Lift force)

D แทนแรงครูด (Drag force)

$m\omega^2 R$ แทนแรงหนีศูนย์กลางที่กระทำกับตัวใบ

m แทนมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของใบ

α แทนมุมที่แนวความเร็วสัมพัทธ์ของลม (v_{Rel}) ทำกับแนวความเร็วของใบกังหันหรือเรียกอีกชื่อว่า มุมปะทะ (Angle of attack)

$$\text{เมื่อแทน } L = \left(\frac{1}{2} \rho v_{Rel}^2 c \right) C_L$$

$$\text{และ } D = \left(\frac{1}{2} \rho v_{Rel}^2 c \right) C_D$$

โดย ρ แทนความหนาแน่นของอากาศ

c แทนความยาวของคอร์ด

C_L แทนสัมประสิทธิ์ของแรงยก

C_D แทนสัมประสิทธิ์ของแรงครูด

จะได้ว่า

$$C_{Fx} = \left(\frac{v_{Rel}}{v_\infty} \right)^2 \left[-C_L \sin \alpha + C_D \cos \alpha \right] \quad (4.17)$$

และ

$$C_{Fy} = \left(\frac{V_{Rel}}{V_\infty}\right)^2 \left[C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha \right] - \frac{2m}{\rho RC} \left(\frac{\omega R}{V_\infty}\right)^2 \quad (4.18)$$

โดยที่ $\left(\frac{V_{Rel}}{V_\infty}\right)^2$ สามารถที่จะคำนวณได้จากสามเหลี่ยมของความเร็วในรูปที่ 4.32

ดังได้กล่าวข้างต้นซึ่งจะได้ว่า

$$\left(\frac{V_{Rel}}{V_\infty}\right)^2 = 1 + \left(\frac{\omega R}{V_\infty}\right)^2 - 2\left(\frac{\omega R}{V_\infty}\right) \sin \theta \quad (4.19)$$

และในทำนองเดียวกันก็สามารถหาค่ามุมปะทะ (α) ที่สัมพันธ์กับมุมโคจร (Orbit angle) ของใบกังหัน (θ) รอบแกนกลางได้ ดังนี้

$$V_{Rel} \cos \alpha = \omega R - V_\infty \sin \theta$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{V_{Rel}}{V_\infty} \cos \alpha = \frac{\omega R}{V_\infty} - \sin \theta \quad (4.20)$$

$$\text{แต่} \quad V_\infty \cos \theta = V_{Rel} \sin \alpha$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{V_{Rel}}{V_\infty} = \frac{\cos \theta}{\sin \alpha}$$

แทนค่าใน (4.20) จะได้

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{\cos \theta}{\frac{\omega R}{V_\infty} - \sin \theta} \right] \quad (4.21)$$

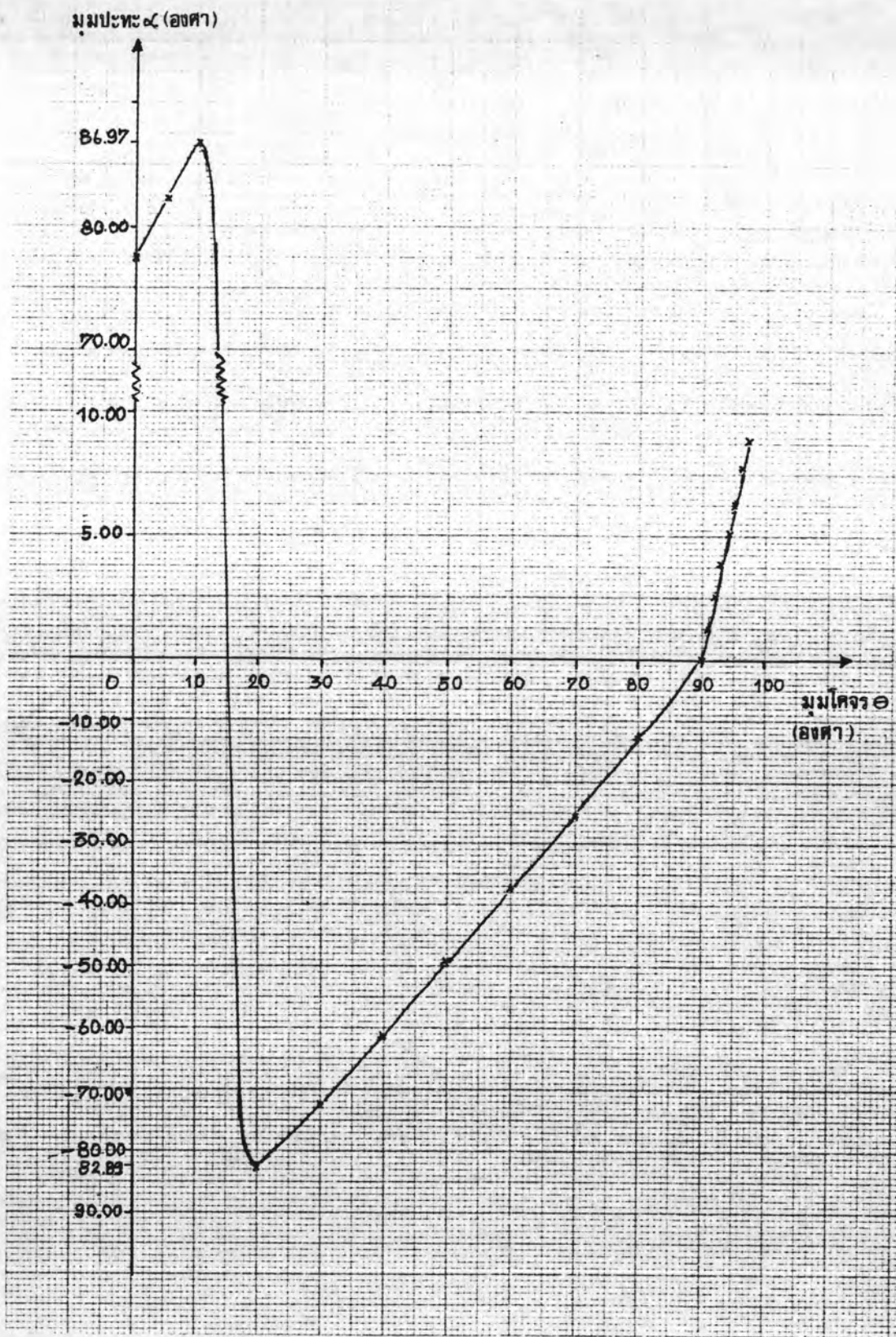
จากสมการ (4.21) เมื่อพิจารณาที่อัตราหมุนสูงสุด $\omega = 1.43$ รอบต่อวินาที และอัตราเร็วลมเท่ากับ 8.85 เมตรต่อวินาที จะได้ค่า $\frac{\omega R}{V_\infty}$ เท่ากับ 0.225 และเมื่อนำไปหาค่ามุมโคจร θ ที่สัมพันธ์กับมุมปะทะ α ในหน่วยองศา จะได้ค่าดังในตารางที่ 4.12 และ

เมื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมโคจรและมุมปะทะ จะได้ดังกราฟรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.12 แสดงค่ามุมโคจร และมุมปะทะ

$$\text{ที่ } \frac{\omega R}{V_\infty} = 0.225 \quad \text{และให้ } x = \frac{\cos\theta}{\frac{\omega R}{V_\infty} - \sin\theta}$$

มุมโคจร θ (องศา)	ค่า x	มุมปะทะ α (องศา)
0	4.444	77.32
5	7.217	82.11
10	18.923	86.97
20	- 8.025	-82.89
30	- 3.149	-72.38
40	- 1.836	-61.43
50	- 1.186	-49.87
60	- 0.780	-37.95
70	- 0.478	-25.59
80	- 0.227	-12.84
90	0.000	0.00
91	0.021	1.25
92	0.043	2.51
93	0.067	3.84
94	0.089	5.10
95	0.112	6.43
96	0.135	7.70
97	0.157	8.96



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะกับมุมโคจร

เมื่อพิจารณาสมการ (4.17) (4.18) และ (4.19) สามารถที่จะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบนตัวใบในแนวแกน x และ y ได้ โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก C_L และสัมประสิทธิ์ของแรงครูด C_D จากความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาตัวใบแบบ NACA - 0015 ดังต่อไปนี้

$$C_L = 0.1\alpha \quad \text{เมื่อ } \alpha \leq 8^\circ$$

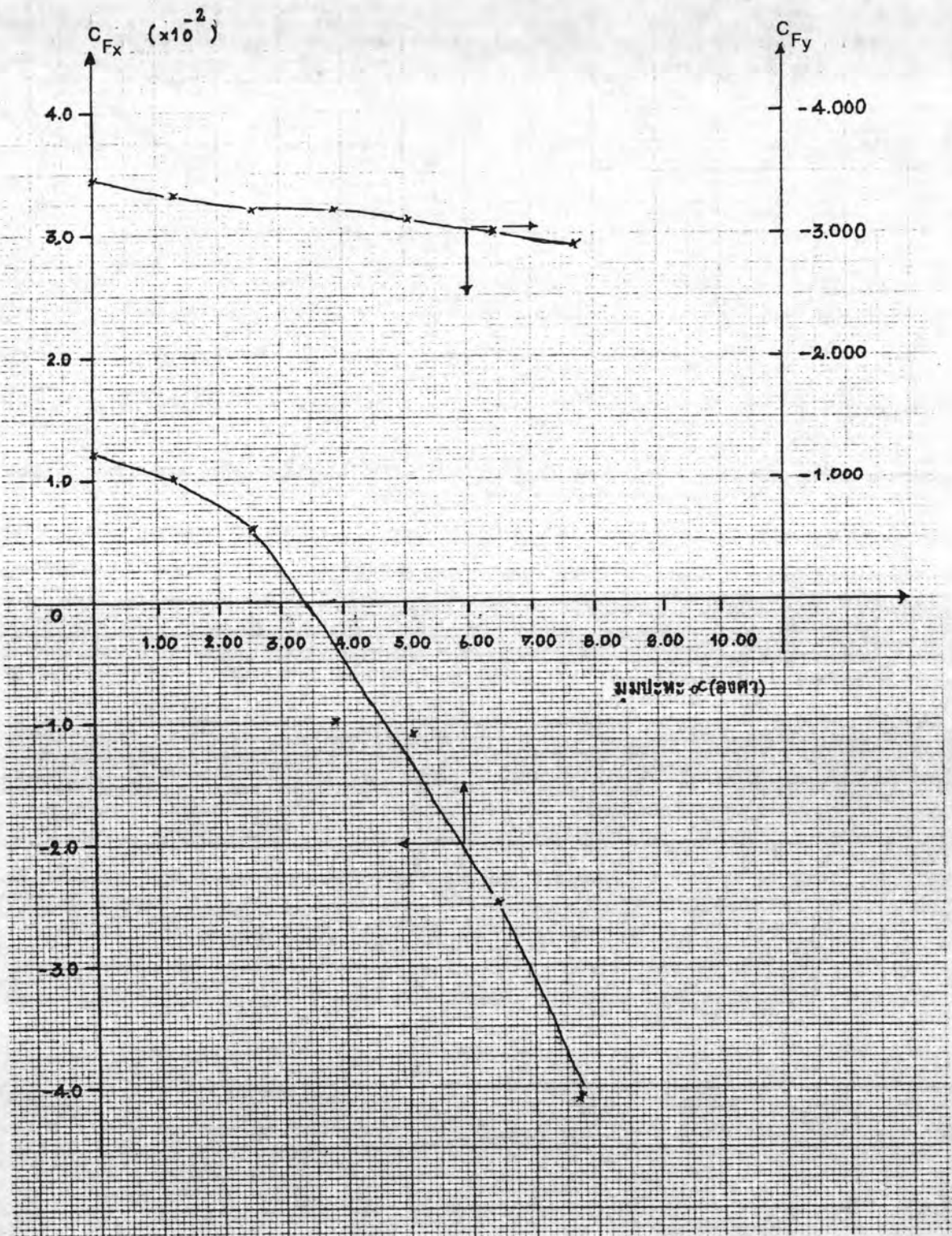
และ
$$C_D = 0.020 + 0.026 C_L^2 \quad \text{เมื่อ } \alpha \leq 15^\circ$$

ซึ่งเป็นตัวใบลักษณะคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ พิจารณาในกรณีที่มีมุมปะทะน้อย ๆ (5) ดังนั้นในกรณี ความยาวคอร์ด (c) เท่ากับ 22 ซม. มวลต่อความยาว (m) เท่ากับ 2.92 กิโลกรัมต่อเมตร รัศมีการหมุนของใบ (R) เท่ากับ 150 ซม. และความหนาแน่นของอากาศ (ρ) เท่ากับ 1.16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากข้อมูลดังกล่าวนี้ สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบนตัวใบตามแนวแกน x (C_{Fx}) และสัมประสิทธิ์ของแรงบนตัวใบตามแนวแกน y (C_{Fy}) ที่ค่ามุมปะทะ ดังในตารางที่ 4.13 ผลจากตารางที่ได้นี้สามารถเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะกับ C_{Fx} และ C_{Fy} ได้ดังในกราฟรูปที่ 4.34



ตารางที่ 4.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงที่กระทำบนตัวใบตามแนวแกน X และ y
ที่ค่ามุมปะทะต่าง ๆ

α (องศา)	C_L	C_D	$(v_{Rel}/v_\infty)^2$	C_{Fx}	C_{Fy}
0.00	0.0000	0.0200	0.6006	0.012	-3.432
1.25	0.1250	0.0204	0.6007	0.010	-3.357
2.51	0.2510	0.0216	0.6009	0.006	-3.281
3.84	0.3840	0.0238	0.6012	-0.001	-3.201
5.10	0.5100	0.0267	0.6017	-0.011	-3.125
6.43	0.6430	0.0307	0.6023	-0.025	-3.045
7.70	0.770	0.0354	0.6030	-0.041	-2.969



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะกับสัมประสิทธิ์ของแรงที่กระทำบนตัวใบตามแนวแกน x และ y

จากการพิจารณากราฟจะเห็นว่าขนาดค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบนตัวใบตามแนว x และ y มีค่าลดลงในช่วงที่พิจารณา