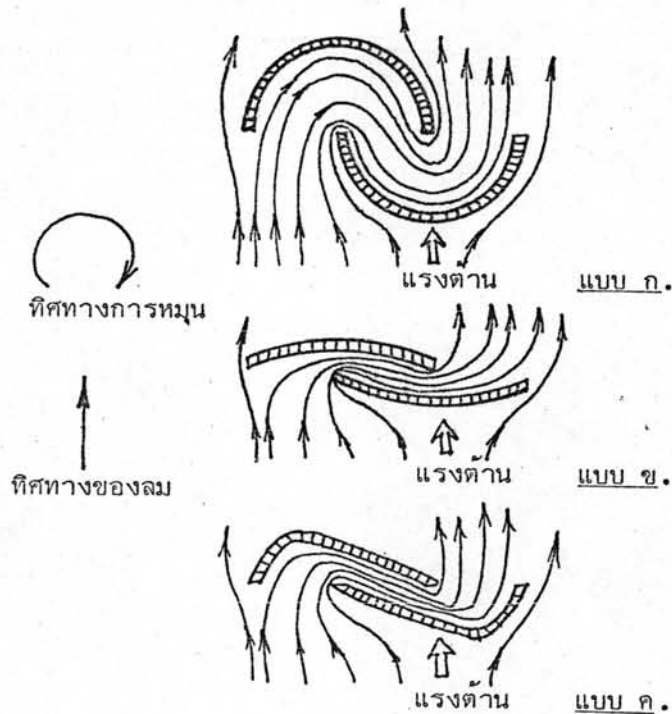




1. ลักษณะรูปร่าง จำนวน และตำแหน่งการติดตั้งของใบรับลม

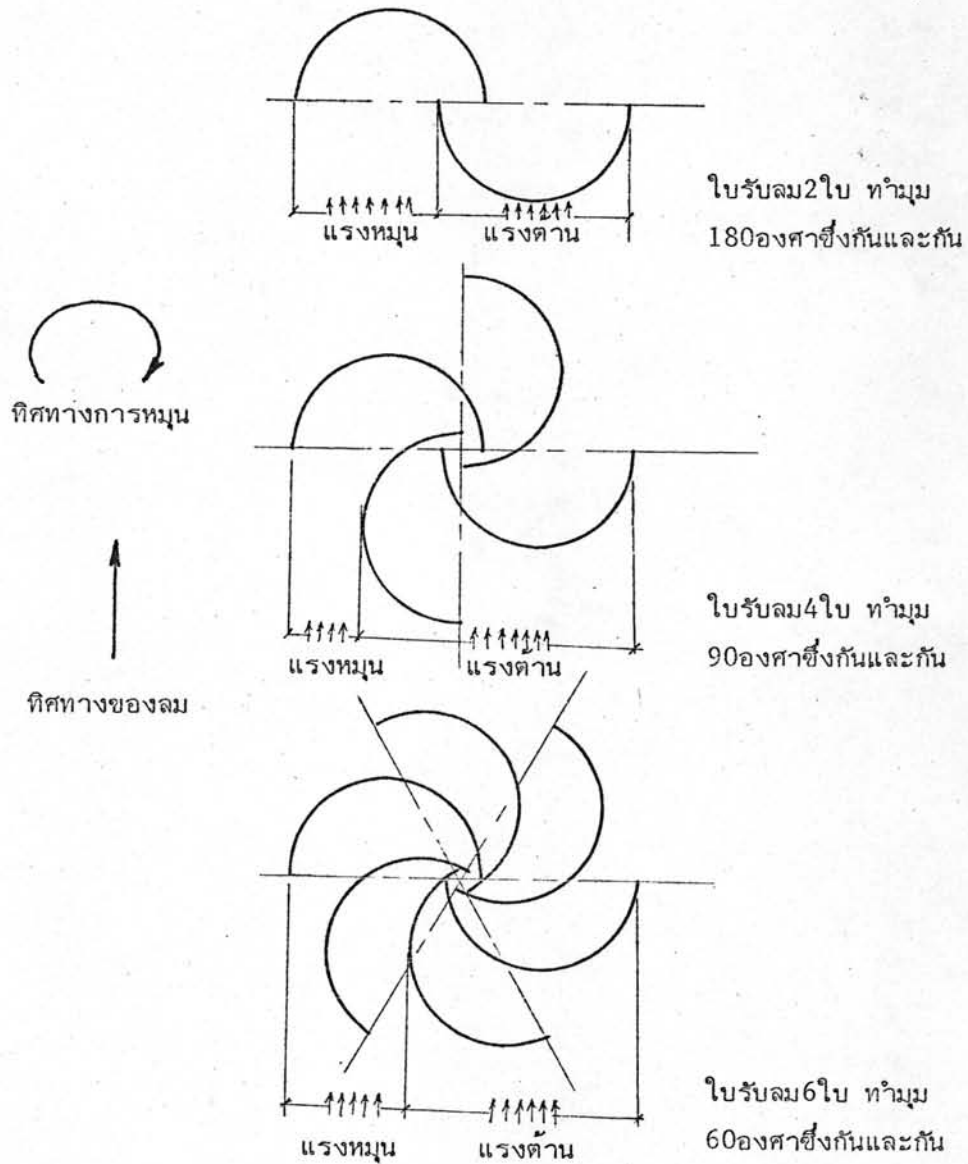
จากลักษณะการไหลของอากาศบนใบรับลม<sup>14</sup> 3 แบบ ที่มีจำนวนใบ ตำแหน่งการติดตั้ง และพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางลมของใบรับลมเหมือนกัน แต่มีรูปร่างต่างกัน (รูปที่ 32) จะพบว่า แบบ ก. ซึ่งใบรับลมเป็นรูปทรงกระบอกกลางครึ่งซีก ให้แรงต้านน้อยกว่า และการสร้างง่ายกว่าแบบ ข. และ ค.



รูปที่ 32. ลักษณะการไหลของอากาศบนใบรับลมของชุดใบรับลม 3 แบบ  
ที่มีความแตกต่างเฉพาะลักษณะรูปร่างของใบรับลม

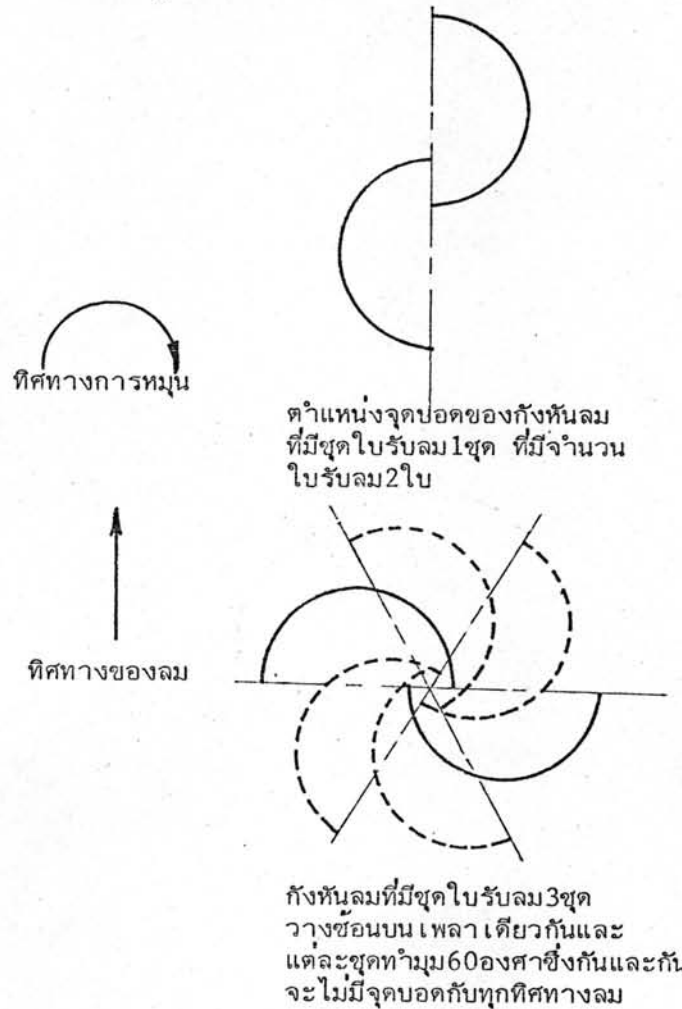
<sup>14</sup> Daniel M. Simmons, WIND POWER (London: Noyes Data Corporation, 1975), p. 102.

ชุดใบรับลมที่มีจำนวนใบรับลมมากกว่า 2 ใบ จะสามารถหมุนเองได้ดีกว่า แต่พลังงานที่ได้รับจากลมจะน้อยกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วรอบสูง ทั้งนี้เพราะว่ามวลอัตราकारไหลของอากาศที่เข้าปะทะใบรับลมนั้นน้อยกว่า และแรงต้านที่เกิดขึ้นบนใบรับลมกลับจะมีค่ามากกว่าอีกด้วย (รูปที่ 33)



รูปที่ 33. แรงหมุนและแรงต้าน ของชุดใบรับลม ที่มีจำนวนใบรับลมต่างกัน แต่มีลักษณะรูปร่าง และขนาดของใบรับลมเหมือนกัน

การที่กังหันลมที่มีใบรับลม 2 ใบ วางเยื้องกัน และหันหน้าเข้าหากัน จะมีจุดบอด แต่ถ้าให้มี  
 ชุดใบรับลม 3 ชุด วางซ้อนบนเพลาเดียวกัน โดยแต่ละชุดทำมุม 60 องศา กับชุดถัดไปตามลำดับ (รูปที่ 34)  
 กังหันลมนี้จะสามารถเริ่มหมุนได้เอง ไม่ว่าจะลมจะมีทิศทางใด



รูปที่ 34. การแก้ปัญหาจุดบอดของกังหันลมที่ใช้ชุดใบรับลมที่มีใบรับลม 2 ใบ  
 โดยให้มีชุดใบรับลม 3 ชุด วางซ้อนบนเพลาเดียวกัน และแต่ละชุด  
 ทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกัน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว กังหันลมแบบ Savonius ทั้งแบบที่ 1 และ 3 จึงใช้ใบรับลมเป็นรูป  
 ทรงกระบอกกลวงครึ่งซีก 2 ใบ วางเยื้องกัน หันหน้าเข้าหากัน ประกอบเป็น 1 ชุดใบรับลม และมีชุด  
 ใบรับลม 3 ชุด วางซ้อนบนเพลาเดียวกัน โดยแต่ละชุดทำมุม 60 องศา กับชุดถัดไปตามลำดับ

สำหรับกังหันลมแบบที่ 2 Hybrid ใบรับลมเป็นรูปอากาศพลศาสตร์สมมาตร NACA 0020 จำนวน 2 ใบ วางในลักษณะตรงข้ามกัน และมีมุมระหว่าง chordline กับคานเท่ากับ 90 องศา นั้น มีจุดบอดกับทิศทางลมตำแหน่งหนึ่ง ทั้งนี้เพราะแรงของลมบนใบรับลมทั้งสองที่ตำแหน่งนี้สมดุลกัน และถึงแม้จะเพิ่มจำนวนใบรับลม หรือเพิ่มชุดใบรับลมเป็นหลายชุดบนเพลลาเดียวกัน โดยมีมุมกับทิศทางลมต่างกัน ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาจุดบอดได้

ดังนั้น กังหันลม Hybrid นี้ จึงใช้ใบรับลมเพียง 2 ใบ เท่านั้น และในระหว่างเริ่มต้นการทดลอง แต่ละความเร็วลม ถ้ากังหันลมวางตัวในจุดบอด ก็ใช้แรงภายนอกเริ่มต้นการหมุนให้

## 2. แรงบิด กำลังขาออก และประสิทธิภาพ

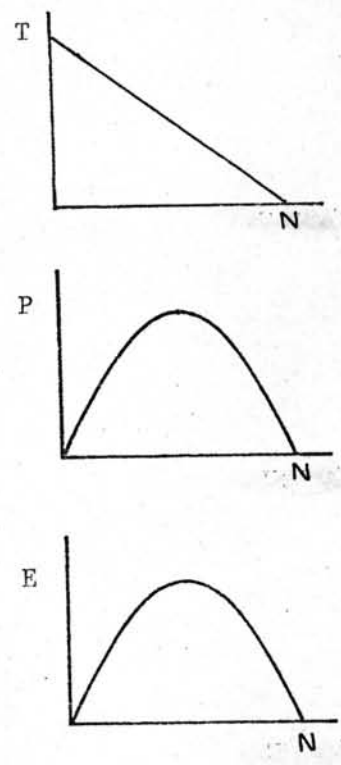
ที่ความเร็วลมคงที่ค่าหนึ่ง ในเชิงทฤษฎี แรงบิดมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบเป็นเส้นตรงที่ความชันมีค่าลบ กล่าวคือ แรงบิดขาออกเป็นศูนย์ที่ความเร็วรอบสูงสุด (Run away speed) และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอขณะที่ความเร็วรอบลดลง จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเมื่อความเร็วรอบเป็นศูนย์

สำหรับกำลังขาออก มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ เป็นรูปพาราโบลาคว่ำ คือ ที่ความเร็วรอบเป็นศูนย์ หรือความเร็วรอบสูงสุด กำลังขาออกเป็นศูนย์ ทั้งนี้เพราะว่า กำลังขาออกแปรตามผลคูณของแรงบิดกับความเร็วรอบ

และสำหรับประสิทธิภาพ มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ เป็นรูปพาราโบลาคว่ำเช่นเดียวกับกำลังขาออก ทั้งนี้เพราะว่า ประสิทธิภาพคืออัตราส่วนของกำลังขาออกกับพลังงานลมสูงสุดตามทฤษฎี ซึ่งมีค่าคงที่ (รูปที่ 35)

เนื่องจากอัตราส่วนความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลม ( $U_{tip}/V$ ) คือ  $\omega R/V$  หรือ  $2\pi NR/V$  ดังนั้นที่  $R$  (รัศมีที่ปลายใบรับลม) และ  $V$  (ความเร็วลม) ค่าหนึ่ง อัตราส่วนความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลม แปรผันตามความเร็วรอบ ซึ่งมีผลทำให้ความสัมพันธ์ของ แรงบิด กำลังขาออก และประสิทธิภาพ กับ ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลม จึงมีลักษณะเหมือนในกรณีที่มีต่อความเร็วรอบ

ในกรณีของการไหลจริง ความเสียดทานระหว่างอากาศกับใบรับลม ข้อค้ที่เกิดขึ้นบริเวณทางเข้าของใบรับลม และ flow separation ทำให้แรงบิดจริงน้อยกว่าแรงบิดเชิงทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น



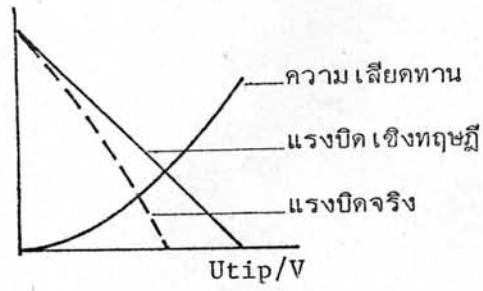
รูปที่ 35 . ความสัมพันธ์ของ แรงบิด กำลังขาออก และประสิทธิภาพ กับความเร็วรอบ ในเชิงทฤษฎี ที่ความเร็วลมคงที่

Stepanoff<sup>15</sup> กล่าวว่าในเครื่องเป่าลมแบบกังหัน การสูญเสียความดันเนื่องจาก ความเสียหาย และข้อผิดพลาดแปรผันตาม  $Q^2$  และ  $(Q-Q_s)^2$  ตามลำดับ เมื่อ  $Q$  คือ มวลอัตราการไหลของอากาศที่ปะทะใบรับลม และ  $Q_s$  คือ มวลอัตราการไหลของอากาศที่ปะทะใบรับลมซึ่งพอดีไม่เกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากค่า  $Q$  เป็นนิพจน์ของ  $U_{tip}/V$  ดังนั้น แรงบิดจริงจึงมีค่าลดลงจากค่าเชิงทฤษฎีก็ด้วยผลของความเสียหายซึ่งแปรตาม  $(U_{tip}/V)^2$  ดังรูป 35 (ก) และผลของข้อผิดพลาดซึ่งมีค่ามาก เมื่อ  $U_{tip}/V$  แตกต่างไปจากค่าซึ่งไม่มีข้อผิดพลาด ดังรูป 36 (ข)

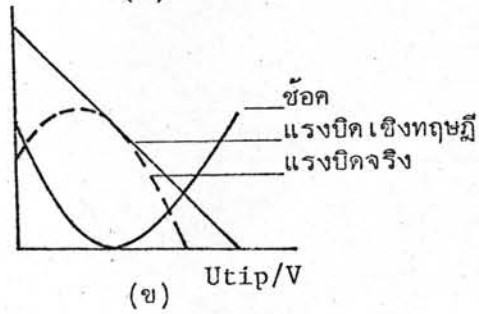
เมื่อแรงบิดมีการเปลี่ยนแปลง กำลังขาออก และประสิทธิภาพ ก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้น ความสัมพันธ์ของ กำลังขาออก และประสิทธิภาพ กับ ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลม จึงไม่เป็นไปตามรูปพาราโบลาที่คว่ำดังในเชิงทฤษฎี (รูปที่ 37)

---

<sup>15</sup> A.J. Stepanoff, TURBOBLOWERS (London: CHAPMAN & HALL, Limited, 1955), pp. 76-81.

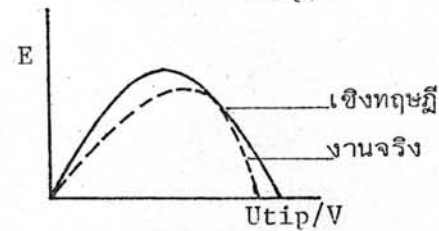
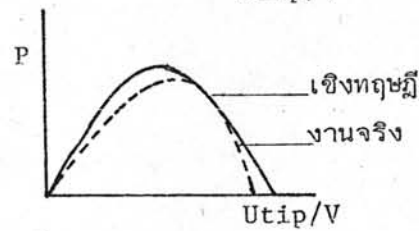
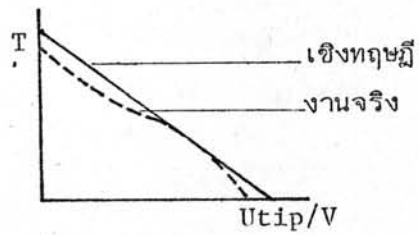


(ก)



(ข)

รูปที่ 36. ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลม ที่ความเร็วลมคงที่ และอิทธิพลของความเสียหายและข้อ



รูปที่ 37. ความสัมพันธ์ของ กำลังขาออก และประสิทธิภาพ กับ ความเร็วเชิงเส้นที่ปลาย ใบรับลม/ความเร็วลม ที่ความเร็วลมมีค่าคงที่ เมื่อแรงบิดมีการเปลี่ยนแปลง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จะพบว่า กังหันลมแบบที่1ของการวิจัยนี้ ที่ความเร็วลม 7 ถึง 10 เมตร/วินาที ที่ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลมประมาณ 0,6 ลงมา กับ 1,0 ขึ้นไป มีผลของความเสียหายและข้อขัด ซึ่งทำให้แรงบิดมีค่าน้อยกว่าปรกติ แต่ที่ความเร็วลม 11 ถึง 14 เมตร/วินาที ไม่มีผลของความเสียหายและข้อขัดเลย ดังรูปที่22 ดังนั้น กำลังขาออกและประสิทธิภาพ ที่ความเร็วลมและความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลม ในช่วงที่แรงบิดน้อยลง จึงมีค่าน้อยกว่าปรกติและไม่เป็นรูปพาราโบลาร์คว่ำ ดังรูปที่23และ24 ตามลำดับ

เพราะว่ากังหันลมนี้หมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงจัดมาก ซึ่งอาจจะเกิดอันตรายขึ้นได้ ดังนั้นการทดลองจึงกำหนดให้มีความเร็วรอบสูงสุดไม่เกิน 3500 รอบ/นาที ทำให้กราฟของรูปที่23และ24มีลักษณะคล้ายพาราโบลาร์คว่ำไม่ครบรูป

สำหรับกังหันลมแบบที่2 Hybrid ทุกๆความเร็วลม จะพบว่า ที่ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลมค่ามาก (ภาระน้อย) มีอิทธิพลของความเสียหายและข้อขัดเกิดขึ้น ทำให้แรงบิด กำลัง และประสิทธิภาพ น้อยกว่าเชิงทฤษฎี ดังรูปที่25,26และ27 ตามลำดับ

และสำหรับกังหันลมแบบที่3 ซึ่งดัดแปลงมาจากแบบที่1 โดยการไม่ติดตั้งใบรับลมตายตัวตลอดทั้งใบ แต่ให้สามารถขยับไปมาได้ ด้วยสปริงที่ติดตั้งในของใบรับลม จะพบว่า จากรูปที่28,29และ30 ตามลำดับ แรงบิด กำลังขาออกและประสิทธิภาพ มีรูปร่างแปลกออกไป แต่ก็ยังคงลักษณะที่คล้ายคลึงกับที่กล่าวมาแล้ว คือ ที่ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลมประมาณ 0,25 ลงมา มีลักษณะเหมือนแบบที่1 แต่มีค่าลดลงเร็วกว่า ทั้งนี้เพราะว่า ใบรับลมข้างขวาหรือข้างที่หันด้านคว่ำให้กับทิศลม ถูกแรงลมกดเข้าไปได้ ทำให้ทิศทางการเดินของอากาศที่ปะทะใบรับลมผิดไป ส่วนที่ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลมสูงกว่า 0,25 ขึ้นไป แรงเหวี่ยงของใบรับลมมีค่ามากกว่าแรงสปริง จึงทำให้ใบรับลมกางออกจากตำแหน่งที่รับลมดีที่สุด (เพราะภาวะปรกติใบรับลมอยู่ที่ตำแหน่งรับลมดีที่สุด) แต่ข้อสำคัญที่สังเกตพบคือ กังหันลมแบบที่3นี้ มีความเร็วรอบจำกัดค่าหนึ่ง คือ ประมาณ 1500 รอบ/นาที ไม่ว่าจะลมมีความเร็วสูงอย่างไร ถึงแม้จะหมุนตัวเปล่า ซึ่งก็ด้วยสาเหตุของการกางออกของใบรับลมนั้นเอง ดังนั้นจึงทำให้ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายใบรับลม/ความเร็วลมที่ความเร็วลมสูงกลับมีค่าน้อยลง

เส้นไข่ปลาในรูปที่28,29และ30 คือ ช่วงปรากฏการณ์ในระหว่างการทำงานของสปริงไม่เต็มที่ ดังนั้นจึงไม่สามารถบันทึกข้อมูลใดๆได้

จากรูปที่ 24 ประสิทธิภาพของกังหันลมแบบที่ 1 มีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 7 ที่  $U_{tip}/V$  ประมาณ 0.8 ที่ความเร็วลม 7 เมตร/วินาที เมื่อเพิ่มความเร็วลมขึ้น จุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดจะเปลี่ยนไปทางขวาเรื่อยๆ แสดงว่ากังหันลมแบบนี้ มีประสิทธิภาพดี เมื่อทำงานที่รอบสูง และลมมีความเร็วสูง ส่วนรูปที่ 30 แสดงว่ากังหันลมแบบที่ 3 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเกือบคงที่ ที่ความเร็วลมต่างๆ และจุดนี้อยู่ที่ค่า  $U_{tip}/V$  เกือบเท่ากันหมด ผู้เขียนเชื่อว่า ถ้าเลือกขนาดของสปริง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรอบสูงสุดให้พอเหมาะ อาจได้กังหันลมซึ่งมีประสิทธิภาพสูงพอควร และทำงานมีประสิทธิภาพคงที่ ที่ความเร็วลมต่างๆกันในช่วงกว้างได้