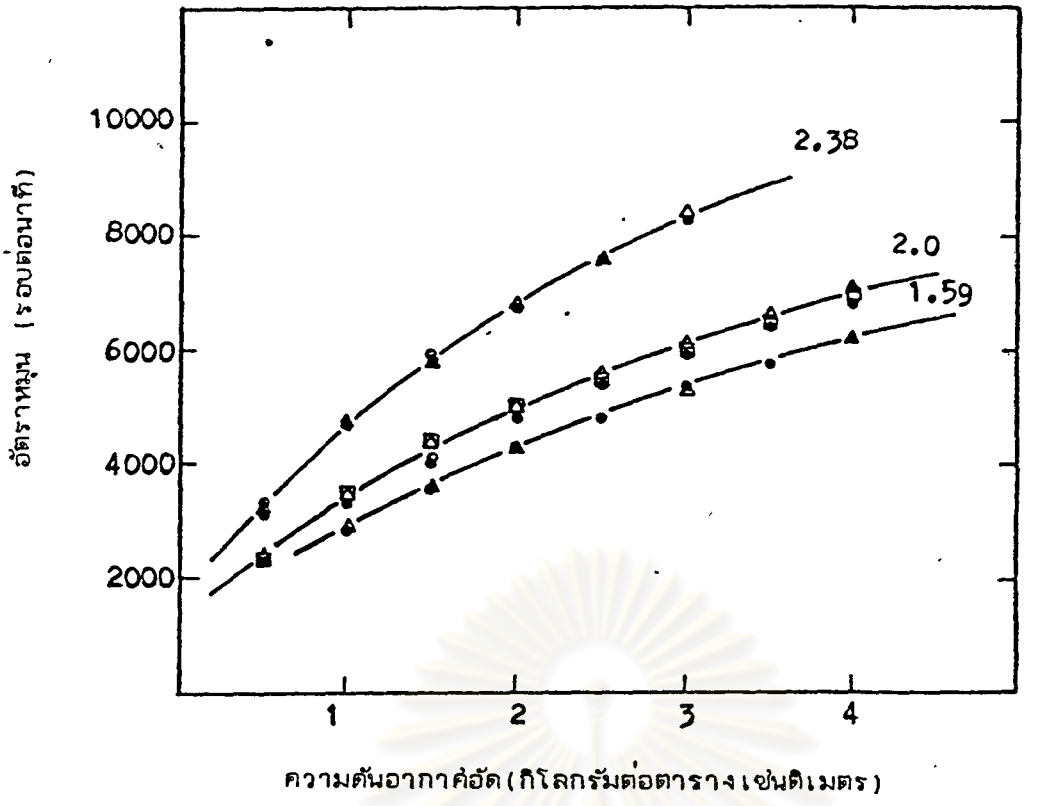
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

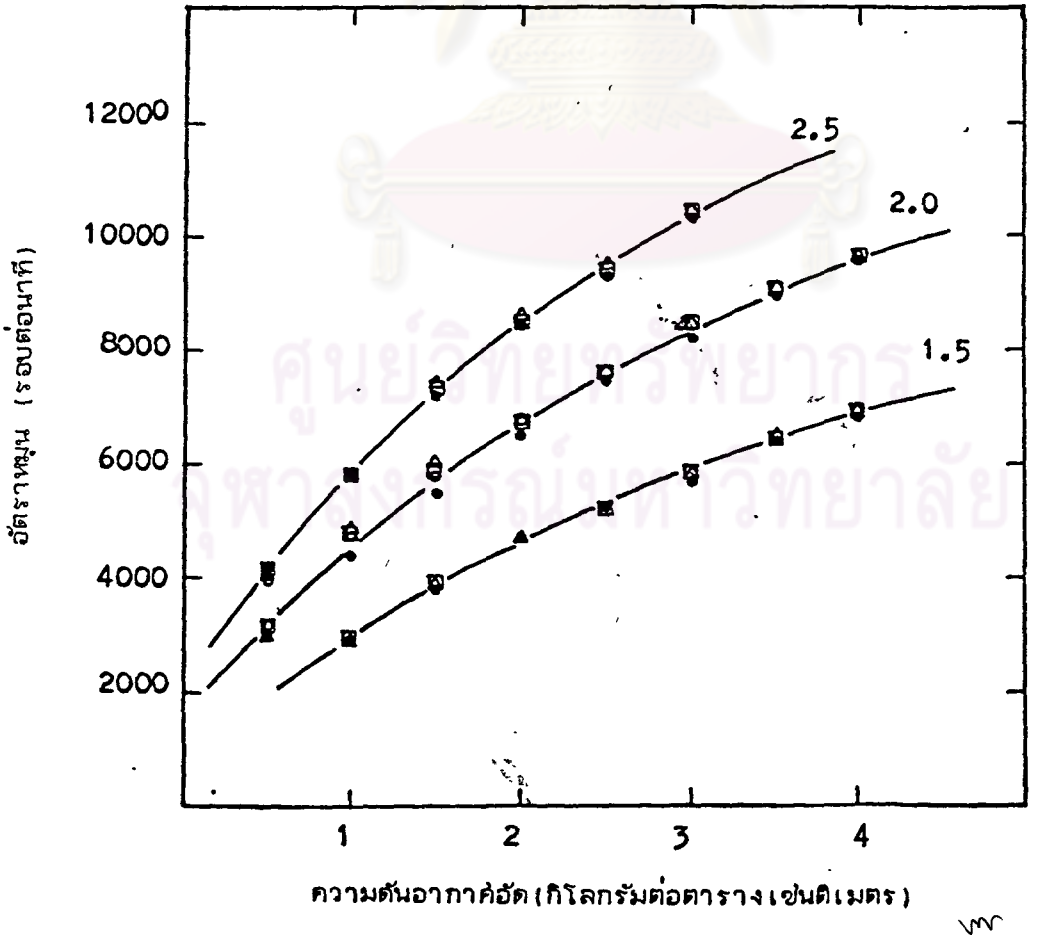
ผลการทดลองเพื่อแสดงสมรรถนะหรือลักษณะเฉพาะของเครื่องกังหัน แสดงด้วยปริมาณเหล่านี้คือ แรงบิด กำลังงาน อัตราหมุน และอัตราไหลของของไหลที่เครื่องกังหันใช้ไปในการผลิตพลังงานกล ในการทดลองนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเหล่านี้ดังผลการทดลองที่เสนอต่อไปนี้

4.1 อัตราหมุนขณะไม่มีภาระ

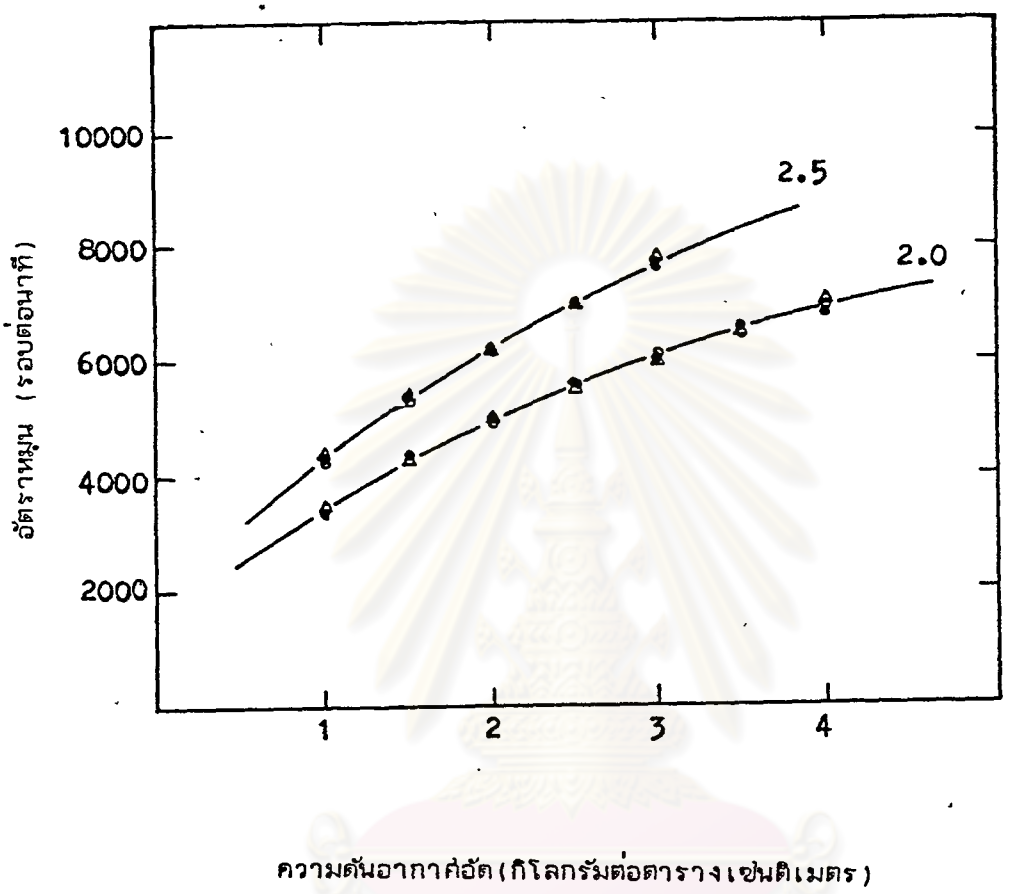
อัตราหมุนของเครื่องกังหันขณะไม่มีภาระเป็นอัตราเร็วสูงสุดของเครื่องกังหันสำหรับพลังงานจลน์ที่เข้าสู่ใบกังหันขนาดหนึ่ง ซึ่งสัมพันธ์อยู่กับขนาดของความดันอากาศอัดและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ผลการทดลองวัดอัตรา หมุนขณะไม่มีภาระ แสดงผลด้วยกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศอัดกับอัตราหมุน สำหรับหัวฉีดที่ใช้แต่ละขนาด ผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 เป็นดังกราฟรูปที่ 4.1 และของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เป็นดังกราฟรูปที่ 4.2 สำหรับเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ยังได้ทำการทดลองโดยลดจำนวนหัวฉีดลงเหลือเพียง 2 รู ได้ผลเป็นกราฟดังรูปที่ 4.3 รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ง จากผลการทดลองจะเห็นว่า สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละขนาด เมื่อความดันอากาศอัดเพิ่มขึ้น อัตราหมุน (จำนวนรอบต่อนาที) จะเพิ่มขึ้นในลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งตามทฤษฎีแล้วอัตราเร็วใบกังหัน (U) (หรือ อัตรา หมุน (N)) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของลำอากาศที่เข้าสู่ใบกังหัน (C) ตามความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกังหัน ซึ่งอัตราส่วนความเร็วของเครื่องกังหันเครื่องหนึ่งจะมีค่าคงที่เท่ากับค่าที่ออกแบบไว้ ถ้าการเพิ่มของความดันอากาศอัดทำให้ความเร็วของลำอากาศเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงแล้ว กราฟที่ได้จะต้องเป็นเส้นตรง การที่กราฟจากผลการทดลองไม่เป็นเส้นตรงนั้น อาจเนื่องมาจากการสูญเสียต่าง ๆ ภายในเครื่องกังหันและการเพิ่มความเร็วของลำอากาศไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มของความดันอากาศอัด



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา หมุน กับความดันอากาศอัดที่ใช้ขณะไม่มีภาระ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร ของเครื่องกังหันเครื่องที่ 1



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา หมุน กับความดันอากาศอัดที่ใช้ขณะไม่มีภาระ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ของเครื่อง



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราหมุน กับความดันอากาศอัดขณะไม่มีภาระ เมื่อลดจำนวนหัวฉีดเหลือ 2 รู สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2

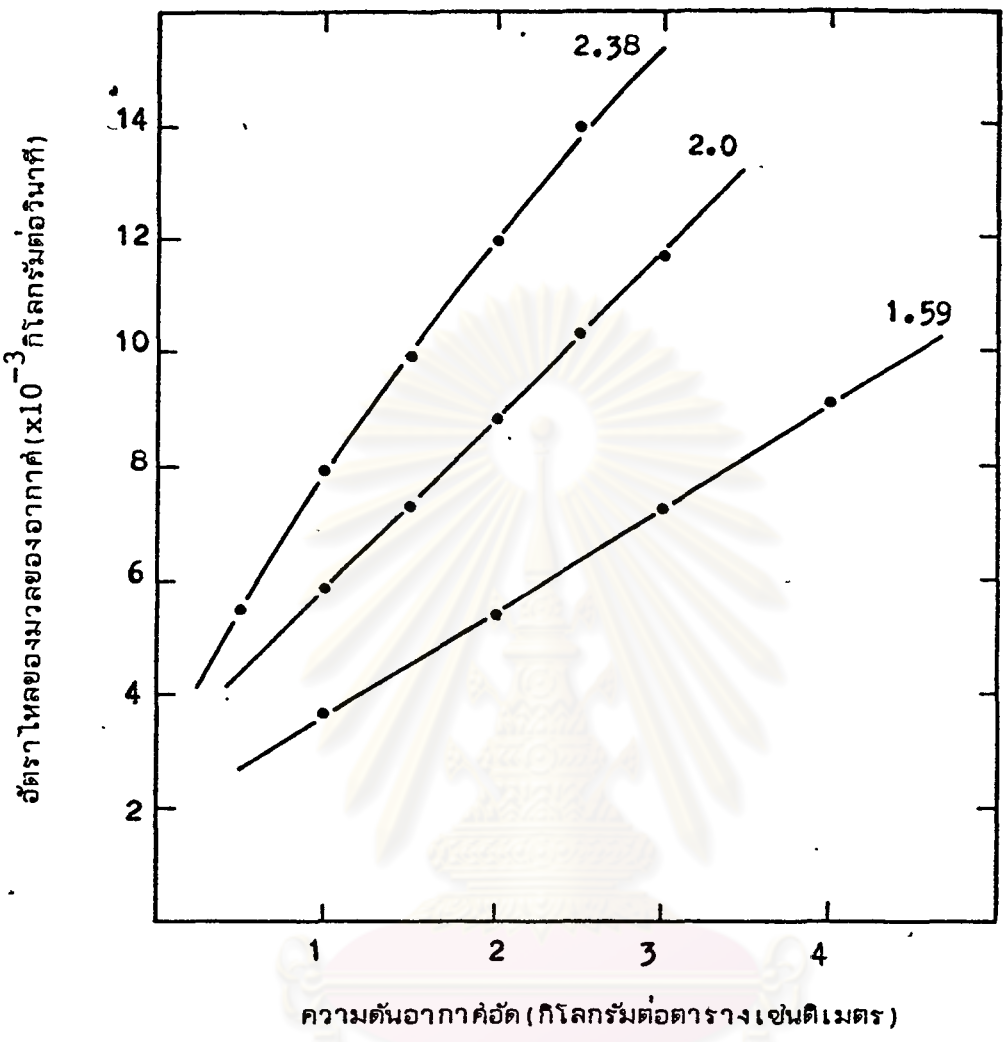
4.2 อัตราไหลของมวลของอากาศ

ในการทดลองทำการวัดอัตราไหลของมวลของอากาศจากอากาศที่ไหลผ่านออกจากเครื่องกังหัน ด้วยวิธีวัดความเร็วของอากาศในท่อเวนทูรี แล้วคูณด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อจะได้อัตราไหลของปริมาตรของอากาศ เมื่อคูณด้วยความหนาแน่นของอากาศก็จะได้อัตราไหลของมวลของอากาศ ความหนาแน่นของอากาศคำนวณจากความสัมพันธ์ $\rho = \frac{P}{RT}$ โดยสมมติว่าอากาศเป็นก๊าซสมบูรณ์ ที่ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ = 1.02×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ใช้ค่าอุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จากทางออกของท่อเวนทูรี R เป็นค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant) สำหรับอากาศมีค่าเท่ากับ 237 J/kg-K ผลการทดลองวัดอัตราไหลของมวลที่ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ แสดงด้วยกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลของอากาศกับความดันอากาศอัดที่ใช้สำหรับเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 ทำการทดลองกับหัวฉีดที่ 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ ได้ผลเป็นกราฟดังรูปที่ 4.4 สำหรับเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ทำการทดลองกับหัวฉีดทั้ง 3 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ ได้ผลเป็นกราฟดังรูปที่ 4.5 เครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อลดจำนวนหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร เหลือขนาดละ 2 รู วัดอัตราไหลของมวลได้ผลเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.6 ผลการทดลองที่แสดงในกราฟเหล่านี้ทั้งหมด เป็นค่าอัตราไหลของมวลที่ได้จากการวัดความเร็วโดยวิธีของท่อเวนทูรี สำหรับผลการทดลองวัดอัตราไหลทั้ง 2 วิธี คือวิธีของท่อเวนทูรี และวิธีของหลอดปิโตต์ที่ใช้กับท่อเวนทูรี แสดงไว้ในตารางในภาคผนวก ฉ.

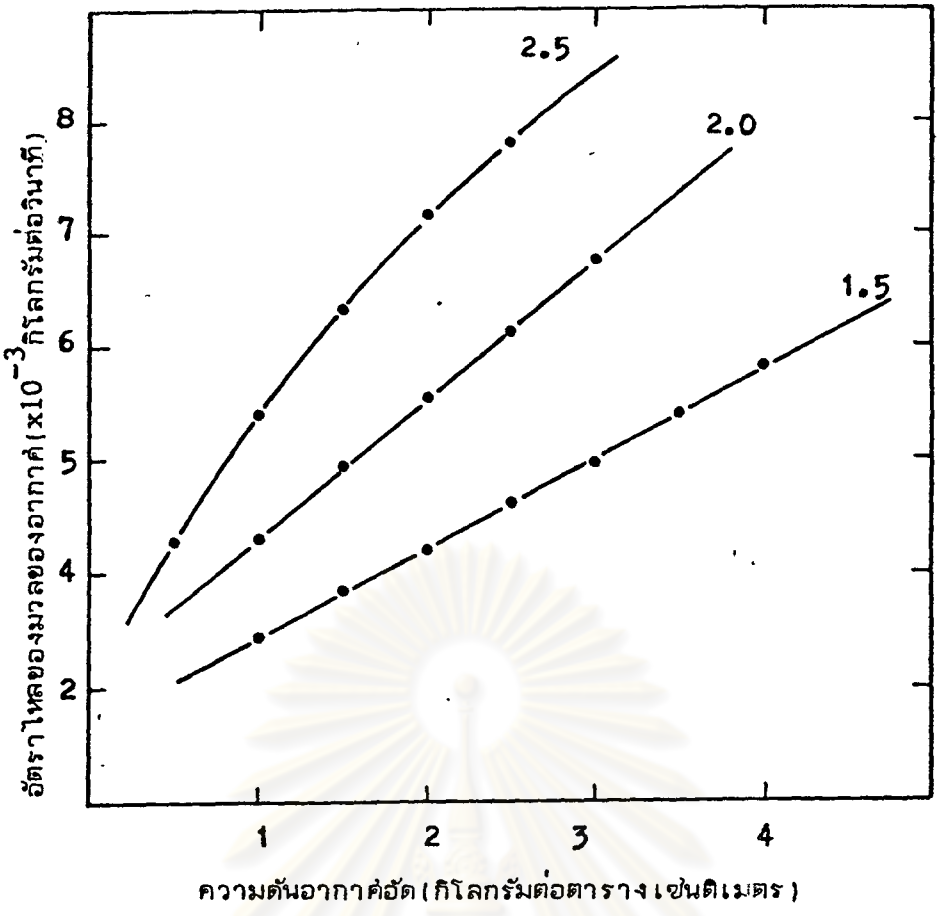
จากกราฟของผลการทดลองทั้ง 3 รูปคือ รูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลของอากาศกับความดันอากาศอัดมีลักษณะเป็นเส้นตรงนั่นคือ อัตราไหลของมวลของอากาศ $\dot{m}$ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันอากาศอัด p_1 ที่ทางเข้ายกเว้นสำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 และ 2.5 มิลลิเมตร ในเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.4 กับ

รูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 มีอัตราไหลของมวลสูงกว่าเครื่องที่ 2 สำหรับหัวฉีดทั้ง 3 ขนาดเมื่อเปรียบเทียบกันตามลำดับ โดยเฉพาะเมื่อใช้หัวฉีดขนาดเท่ากันคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร เครื่องกังหันเครื่องที่ 1 มีอัตราไหลของมวลของอากาศเท่ากับ 5.86, 8.84 และ 11.67 ($x10^{-3}$ กิโลกรัมต่อวินาที) ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 มีอัตราไหลของมวลของอากาศเท่ากับ 4.62, 7.10 และ 9.53 ($x10^{-3}$ กิโลกรัมต่อวินาที) ที่ความดันอาอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

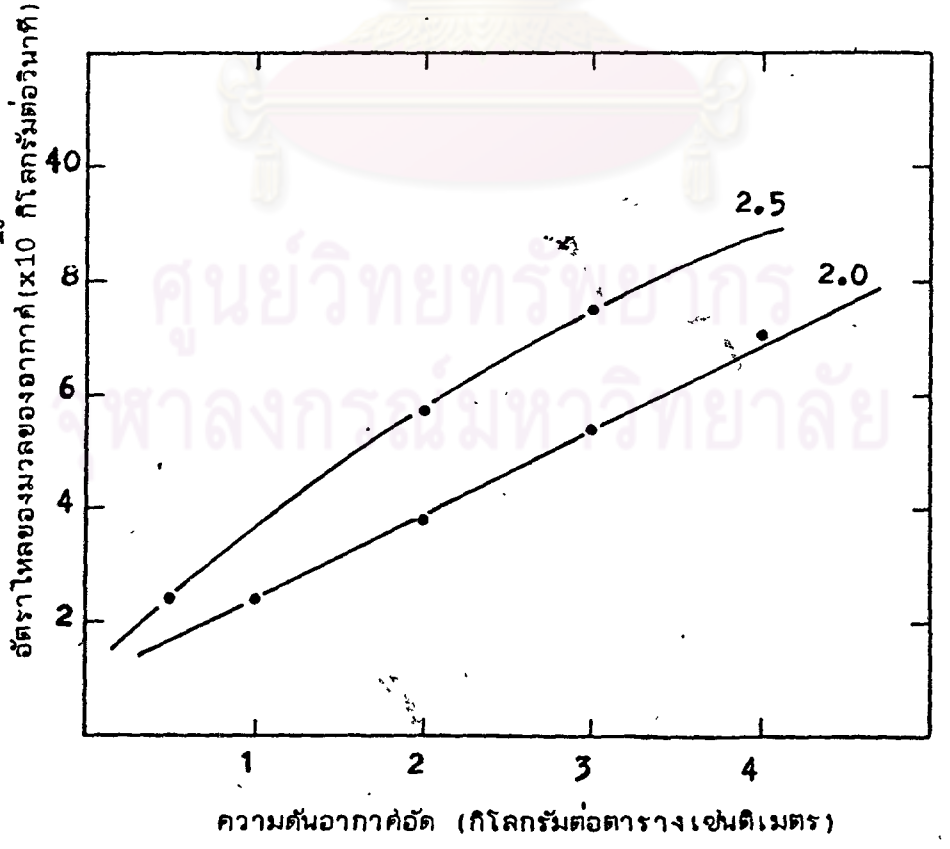
การไหลผ่านหัวฉีดของของไหลนั้น ความเร็วที่ออกจากหัวฉีดจะเป็นไปตามสมการ (2.79) ถ้าหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมีภาวะที่ทางเข้าและทางออกของหัวฉีดเหมือนกันแล้ว ความเร็วของของไหลที่ไหลออกจากหัวฉีดจะต้องมีความเร็วเท่ากัน ถ้าลองใช้หลักการนี้ในการคำนวณประมาณค่าอัตราไหลของมวลของอากาศสำหรับหัวฉีดขนาดหนึ่ง จากผลการทดลองที่ได้จากหัวฉีดอีกขนาดหนึ่ง จะได้ผลดังนี้ สำหรับเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 ถ้าใช้อัตราไหลของมวลที่ได้จากการทดลองของหัวฉีดขนาด 1.59 มิลลิเมตร คำนวณประมาณค่าอัตราไหลของมวลสำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ตัวอย่างเช่น ที่ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากอัตราไหลของมวลเท่ากับ 3.64×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร จะคำนวณได้ว่าสำหรับหัวฉีดขนาด 2.0 มิลลิเมตร จะมีอัตราไหลของมวลเท่ากับ 5.76×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที แต่ค่าที่วัดได้จากการทดลองเท่ากับ 5.86×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที ในทำนองเดียวกันที่ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากการคำนวณประมาณจะมีอัตราไหลของมวลเท่ากับ 8.54×10^{-3} และ 10.25×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 8.84×10^{-3} และ 11.67×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที จะเห็นว่าค่าที่คำนวณได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ค่าจึงอาจจะสรุปได้ว่าหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพดีกว่าหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร จากการคำนวณประมาณด้วยวิธีเดียวกันนี้ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร โดยคำนวณจาก



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลของอากาศกับความดันอากาศอัดสำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลของอากาศกับความดันอากาศอัด สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0, 2.5 มิลลิเมตร ของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลของอากาศกับความดันอากาศอัด สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู

การทดลองของหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร พบว่าค่าที่คำนวณได้สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองทุกค่า จึงอาจสรุปได้ว่าหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร นอกจากนี้แล้วการไหลผ่านหัวฉีด ถ้าความดันที่ทางออกต่ำกว่าความดันวิกฤติ อัตราไหลของมวลก็จะถูกควบคุมด้วยความดันวิกฤติของหัวฉีดซึ่งความดันวิกฤติจะขึ้นอยู่กับความดันที่ทางเข้าของหัวฉีดตามสมการ (2.89) สำหรับอากาศค่าดัชนีการขยายตัวแบบไอเซนทรอปิค $\nu = 1.40$ ที่อุณหภูมิ $0^{\circ}c$ (13) จะได้ว่าอัตราส่วนความดันวิกฤติ $\frac{p_c}{p_1} = 0.528$ ถ้าความดันที่ทางออกของหัวฉีดต่ำกว่าความดันวิกฤติแล้วจากสมการ (2.88) จะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อัตราไหลของมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูงสุด $\frac{\dot{m}}{A_t}$ จะแปรผันตรงตามความดัน p_1 ที่ทางเข้าหัวฉีดโดยประมาณ ดังความสัมพันธ์ในสมการ (2.88) ในการทดลองนี้ถ้าสมมุติว่ามีอัตราส่วนความดันวิกฤติเท่ากับ 0.528 ก็จะเห็นว่าความดันอากาศที่ทางออกของหัวฉีดซึ่งถือว่าเท่ากับความดันบรรยากาศและสมมติให้เท่ากับ 1.03 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีค่าต่ำกว่าความดันวิกฤติสำหรับความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ ยกเว้นขนาด 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตัวอย่างเช่น ที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (เป็นความดันเกจ) จะเท่ากับความดันสัมบูรณ์ 2.03 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะได้ว่าจะมีความดันวิกฤติเท่ากับ $0.528 \times 2.03 = 1.072$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะเห็นว่าความดันที่ทางออกซึ่งเท่ากับความดันบรรยากาศนั้นต่ำกว่าความดันวิกฤติ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลของอากาศกับความดันอากาศอัดมีลักษณะเป็นเส้นตรงสอดคล้องกับทางทฤษฎี แต่สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 และ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อยนั้น อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพของหัวฉีดหรือการสูญเสียต่าง ๆ ในหัวฉีด นอกจากนี้แล้วที่ความดันอากาศอัดเท่ากับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความดันบรรยากาศที่ทางออกของหัวฉีดจะสูงกว่าความดันวิกฤติของหัวฉีด นั่นคือ อัตราไหลของมวลของอากาศไม่ถูกควบคุมด้วยความดันวิกฤติของหัวฉีด อัตราไหลของมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ $\frac{\dot{m}}{A_2}$ จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการ (2.83) ซึ่งใน

จากการทดลองจะเห็นว่าที่ความดันอากาศอัด 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราไหลของอากาศจึงมีค่าต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของมวลกับความดันอากาศอัดเป็นแบบเส้นตรงอย่างเห็นได้ชัด

4.3 ผลของการใช้ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ

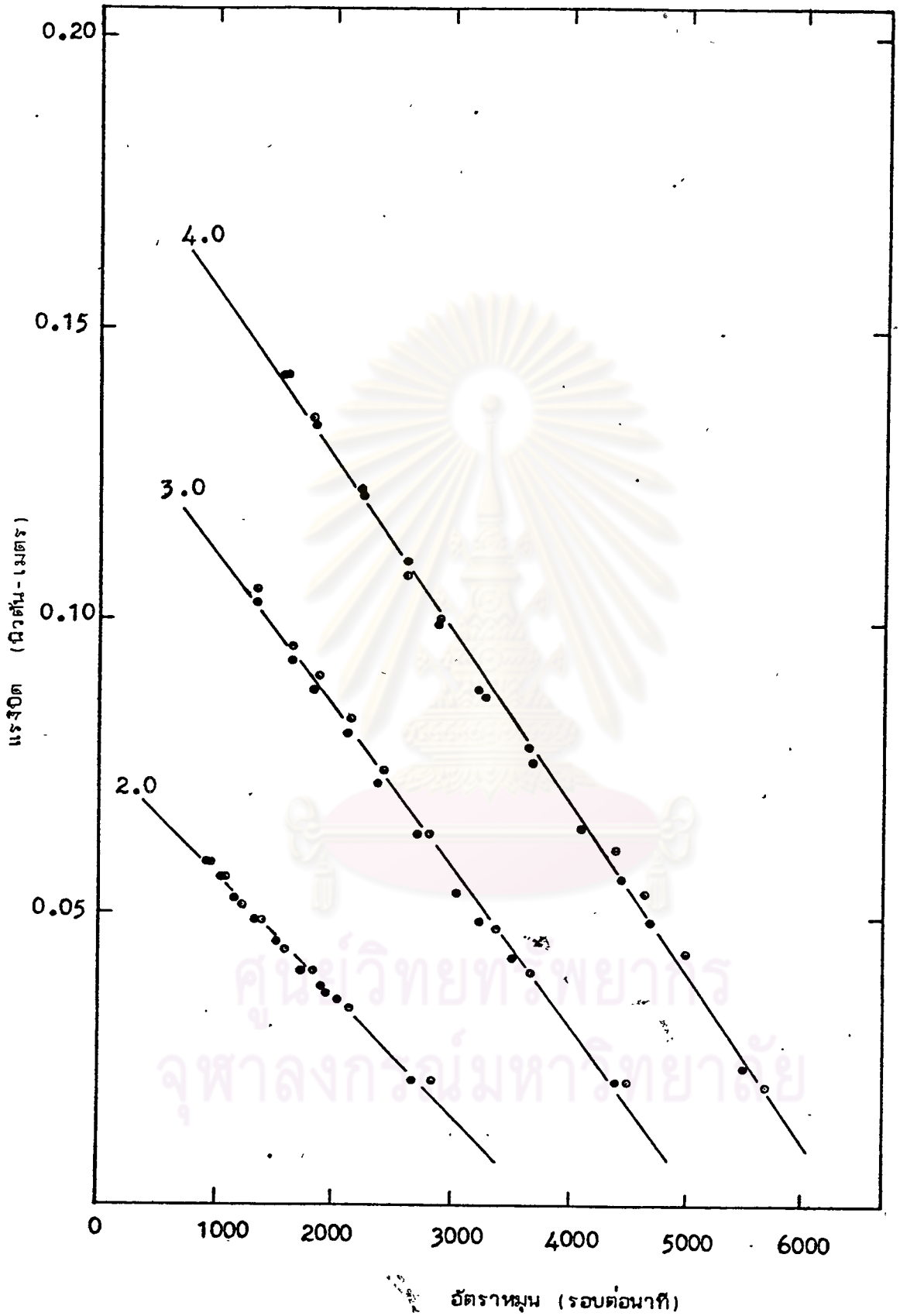
จากการวัดแรงบิดที่เพลาเครื่องกังหันและอัตราหมุน (จำนวนรอบต่อนาที) ก็จะสามารถคำนวณกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันได้ ถ้าภาวะที่เข้าสู่เครื่องกังหันคงที่ (ความดันอากาศอัดและขนาดของหัวฉีดคงที่) แรงบิดที่เกิดจากลำอากาศไหลผ่านใบกังหันเป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้นของอัตราเร็วใบกังหันซึ่งก็คืออัตราหมุนตามสมการ 2.23 และ 2.35 นั่นคือกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนจะเป็นเส้นตรง ส่วนกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับอัตราหมุนจะเป็นเส้นโค้งแบบพาราโบลา มีจุดที่ให้กำลังงานสูงสุดตามสมการ 2.28 และ 2.31 ซึ่งเป็นภาวะที่เครื่องกังหันทำงานได้ดีที่สุด ผลจากการทดลองใช้ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ สำหรับหัวฉีดที่ใช้แต่ละขนาด แสดงด้วยกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับจำนวนรอบต่อนาที และกำลังงานกับจำนวนรอบต่อนาที ดังรายละเอียดผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 ที่จะเสนอตามลำดับ สำหรับรายละเอียดข้อมูลผลการทดลองได้เสนอไว้ในภาคผนวก ค

4.3.1 ผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 1

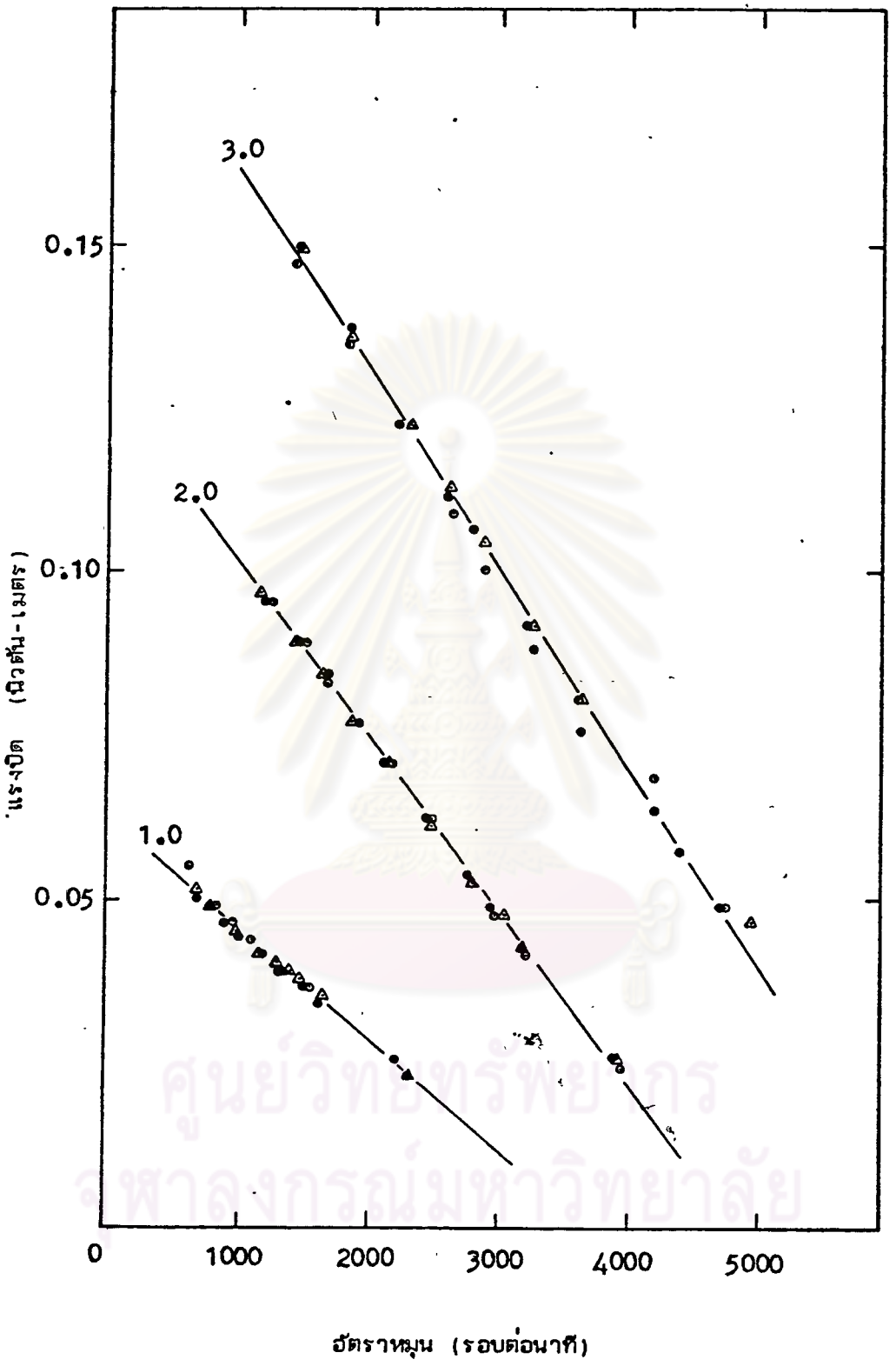
ผลการทดลองระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ ทั้ง 3 ขนาดมีดังนี้ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร ได้ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 2.0, 3.0, และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ผลการทดลองเป็นดังกราฟตามรูปที่ 4.7 สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ได้ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดลองเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.8 และสำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร ได้ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผล

การทดลองเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.9 จากกราฟผลการทดลองจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราเร็วมีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งสอดคล้องตามทฤษฎี กล่าวคือเมื่อภาวะที่เข้าสู่เครื่องกังหันคงที่ แรงบิดจะแปรผันตามอัตราเร็วของใบกังหัน ในการทดลองนี้เมื่อใช้ความดันอากาศอัดคงที่ อัตราไหลของมวลของอากาศและความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ใบกังหันก็จะมีค่าคงที่ แรงบิดก็จะแปรผันตามอัตราหมุน จากสมการ (2.35) จะเห็นว่า $\tau \alpha (-U)$ นั่นคือ เมื่ออัตราหมุนลดลงแรงบิดก็จะเพิ่มขึ้นหรือแรงบิดเพิ่มขึ้นอัตราหมุนก็จะลดลง ซึ่งในการทดลองวัดแรงบิดกระทำโดยการเพิ่มขนาดของภาระแก่เครื่องกังหัน ขณะเดียวกันถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากันและที่อัตราหมุนเท่ากัน เมื่อควบคุมความดันอากาศอัดที่ใช้เพิ่มสูงขึ้น เครื่องกังหันก็จะให้แรงบิดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีพลังงานจลน์เข้าสู่ใบกังหันเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้แรงบิดจะแปรผันตามอัตราไหลของมวล $\dot{m}$ และความเร็วที่เข้าสู่ใบกังหัน C ตามสมการ (2.35) ซึ่ง U มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น ในกราฟรูปที่ 4.8 ที่อัตราหมุน 2000 รอบต่อนาที เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะให้แรงบิดเท่ากับ 0.0285, 0.0752 และ 0.1308 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ

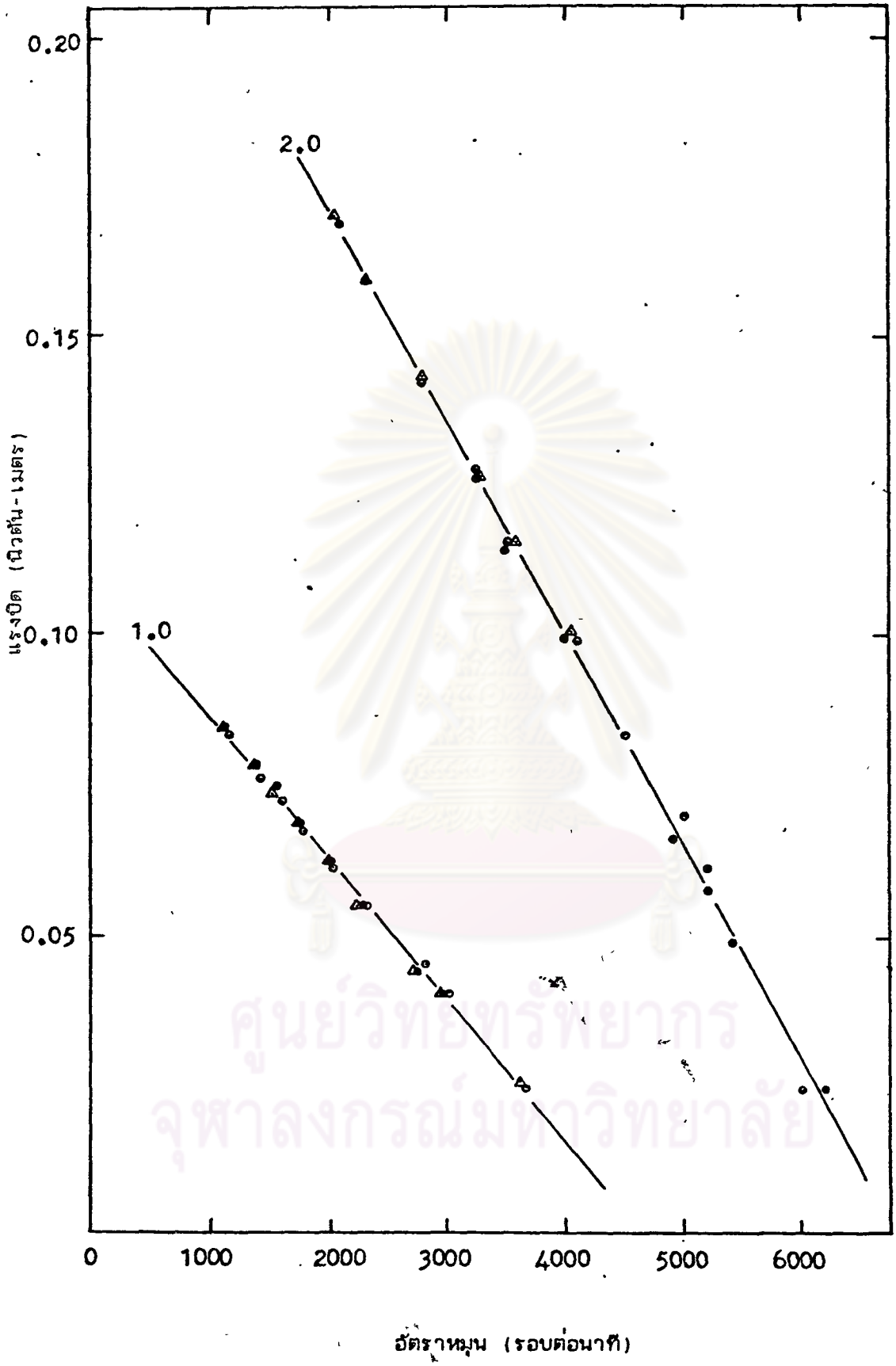
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับจำนวนรอบต่อนาที ที่ได้จากผลการทดลองเมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ ทั้ง 3 ขนาดเช่นเดียวกัน สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร ผลการทดลองจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.10 สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ผลการทดลองจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.11 และผลการทดลองสำหรับหัวฉีดขนาด 2.38 มิลลิเมตร จะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.12 จากผลการทดลองจะเห็นว่า สำหรับหัวฉีดที่ใช้แต่ละขนาดเมื่อเพิ่มความดันอากาศอัดให้สูงขึ้น เครื่องกังหันจะให้กำลังงานสูงสุดเพิ่มขึ้นที่อัตราเร็วสูงขึ้นตามลำดับ ดังเช่นในรูปที่ 4.11 เครื่องกังหันจะให้กำลังงานสูงสุดที่อัตราเร็ว 1850, 2350 และ 3100 รอบต่อนาที เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยหลักการแล้วเครื่องกังหันจะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราหมุนที่ให้อัตราส่วนความเร็วสอดคล้องกับค่าที่ออกแบบหรือค่าที่เหมาะสมของเครื่องกังหัน ซึ่งเป็นอัตราที่ทำให้มีการสูญเสียในการไหลผ่านใบกังหันของลำอากาศน้อยที่สุด เครื่องกังหันแต่ละเครื่องจะมีอัตราส่วน $\frac{U}{C}$ เท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง (16) เมื่อความเร็วของลำอากาศ (C) เพิ่มขึ้น อัตราเร็วของใบกังหัน (U) ที่เหมาะสมจะต้องเพิ่มขึ้นด้วยนั่นคือ อัตราหมุนที่เหมาะสมจะต้องสูงขึ้นด้วย จึงทำให้อัตราหมุนเมื่อเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดเพิ่มขึ้นตามความดันอากาศอัดที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.7 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 2.0, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

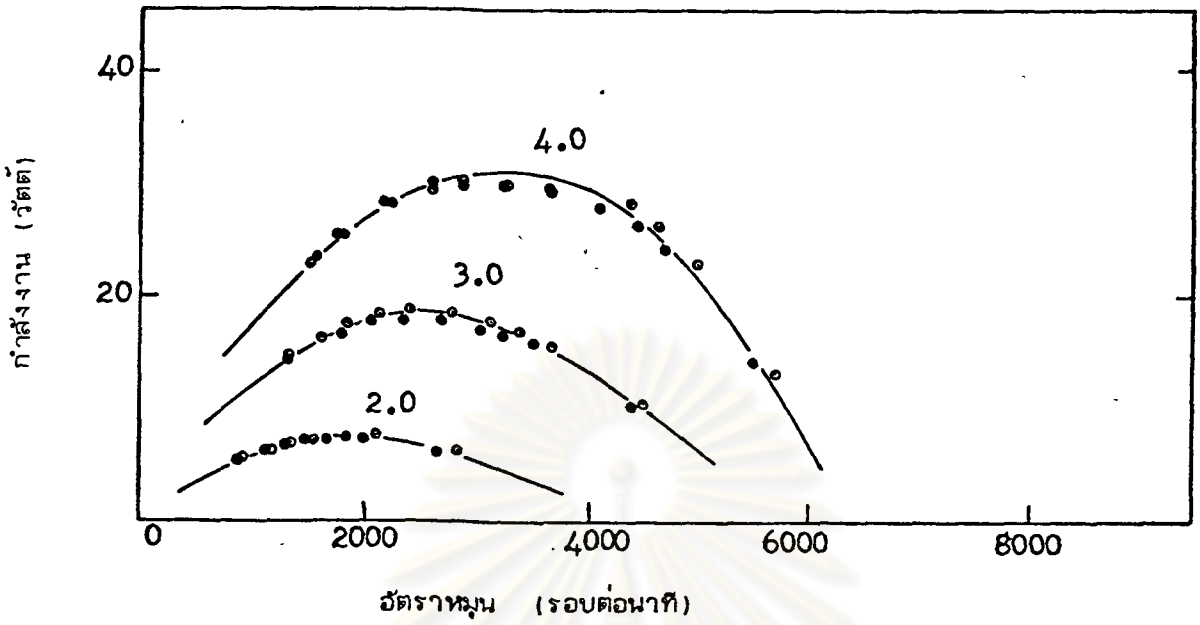


รูปที่ 4.8 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

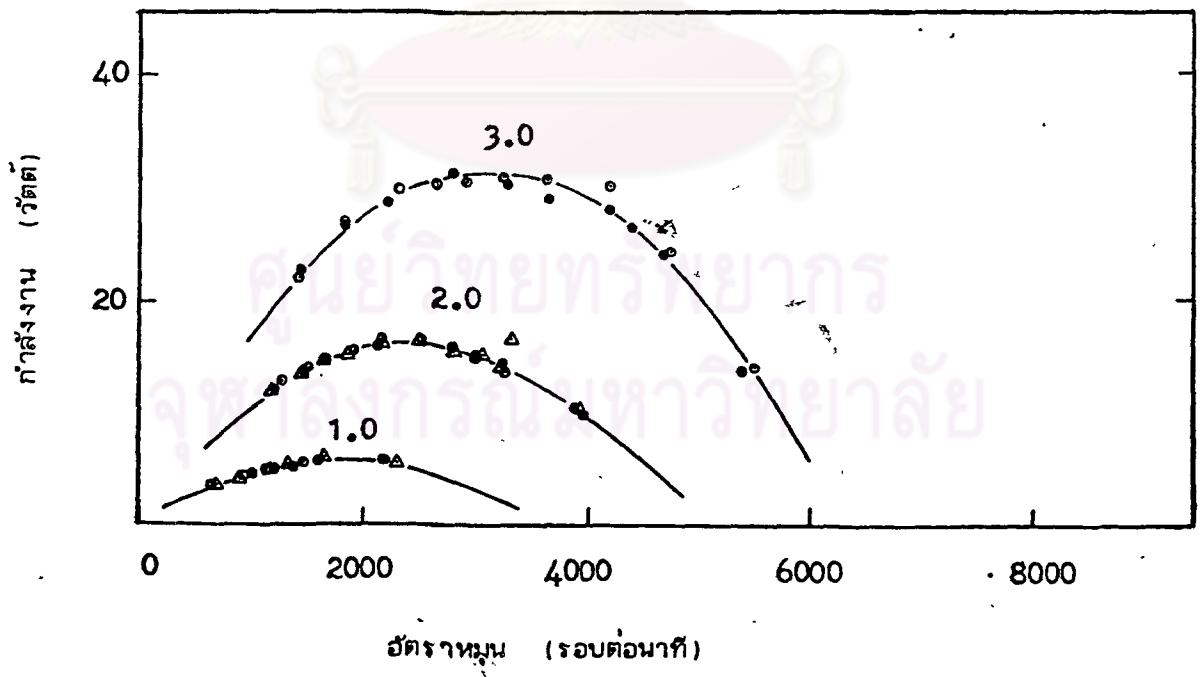


รูปที่ 4.9 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

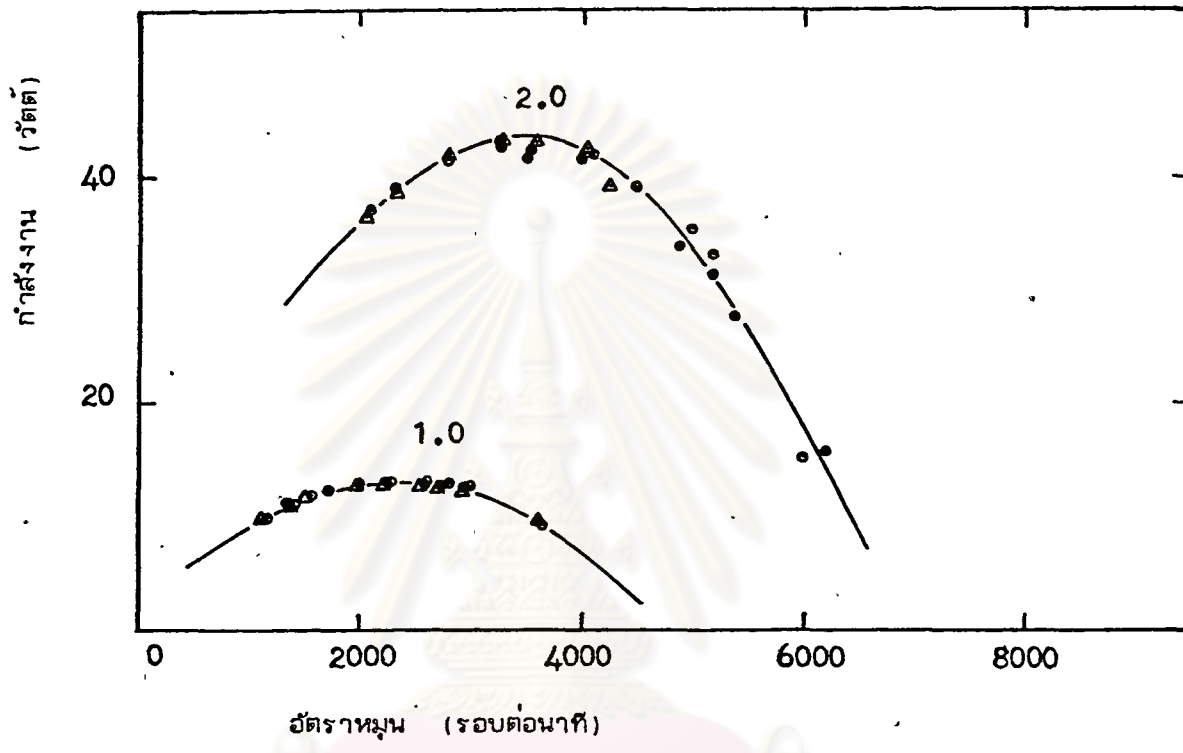
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 2.0, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตรที่ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 เมื่อเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุด สำหรับความดันอากาศอัดที่ใช้ขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 (ก) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
2.0	1800	0.0395	7.5	5.40×10^{-3}
3.0	2400	0.0735	18.5	7.24×10^{-3}
4.0	3200	0.0926	31.20	9.11×10^{-3}

ตารางที่ 4.1 (ข) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	1850	0.0310	6.1	5.86×10^{-3}
2.0	2350	0.0658	16.4	8.84×10^{-3}
3.0	3100	0.0975	31.6	11.67×10^{-3}

ตารางที่ 4.1 (ค) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	2400	0.053	13.0	7.89×10^{-3}
2.0	3500	0.1179	43.75	11.92×10^{-3}

จากกราฟแสดงผลการทดลอง รูปที่ 4.7 ถึง 4.12 เมื่อพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุดสำหรับความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ เมื่อใช้หัวฉีดแต่ละขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร ในการทดลองนี้ใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันเมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ เป็นตารางได้ดังนี้ ตารางที่ 4.1 (ก) สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59 มิลลิเมตร ตารางที่ 4.1 (ข) สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร และตารางที่ 4.1 (ค) สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร จากตารางทั้ง 3 ตารางนี้ จะเห็นว่า กำลังงานสูงสุดที่เครื่องกังหันสามารถให้ได้เมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ และที่ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ กันนั้น เครื่องกังหันใช้อัตราไหลของมวลของอากาศในการผลิตกำลังงานด้วยอัตราต่าง ๆ กัน ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันที่ทำงานด้วยภาวะแตกต่างกัน ขนาดหัวฉีดและความดันอากาศอัดแตกต่างกัน โดยพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตกำลังงานจากอัตราไหลของมวลของอากาศที่เครื่องกังหันใช้ไป 1 กิโลกรัมต่อวินาที ผลจะเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ง) ซึ่งจะเห็นว่า เครื่องกังหันเมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.38 มิลลิเมตร และความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีสมรรถนะในการผลิตกำลังงานมากที่สุดคือ 3.67×10^{3} วัตต์ ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ 1 กิโลกรัมต่อวินาที

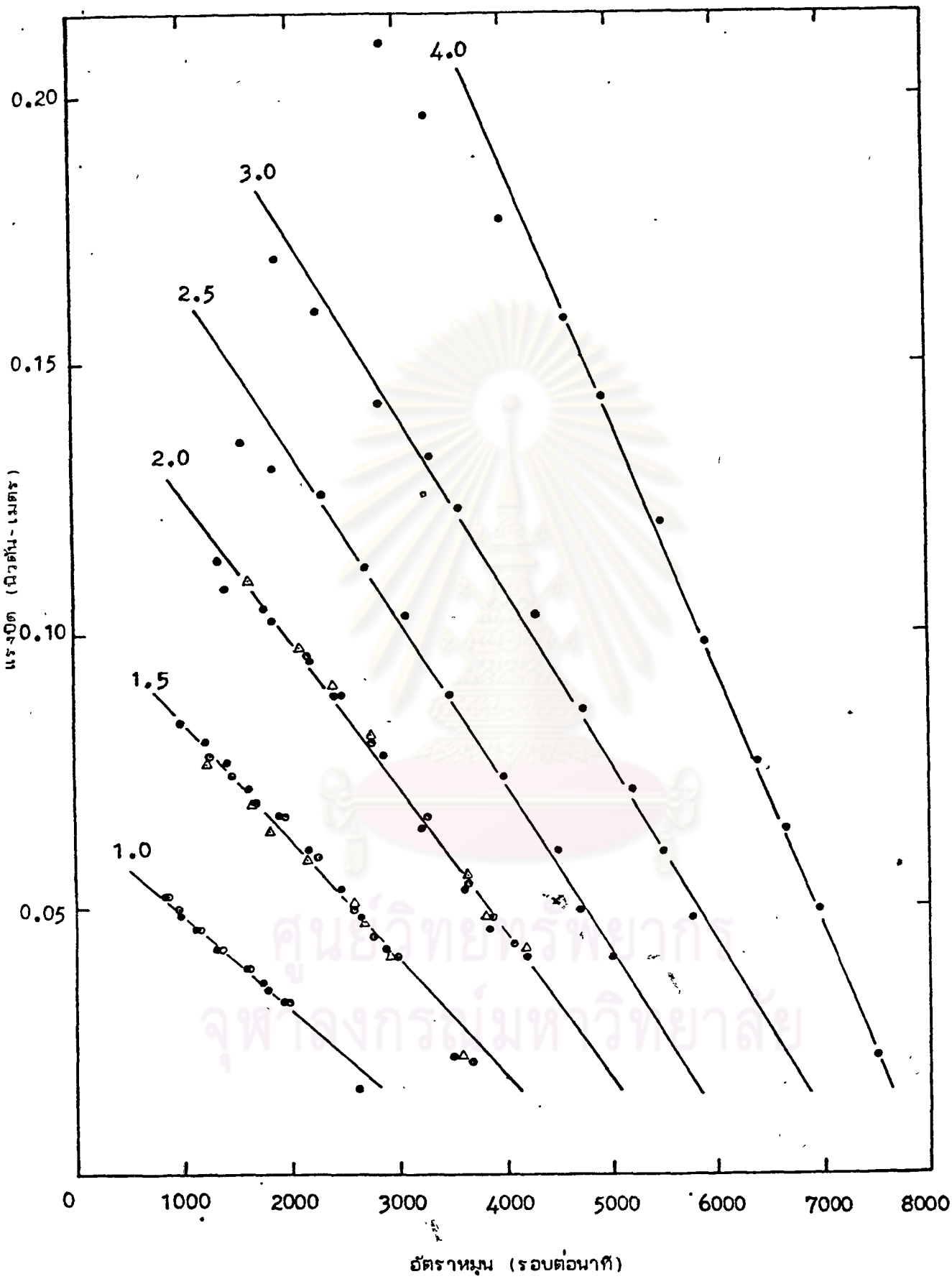
ตารางที่ 4.1 (ง) แสดงสมรรถนะในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 เมื่อใช้หัวฉีดและความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ กัน

ความดันอากาศอัด กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	กำลังงานสูงสุดต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ ($\times 10^3$ วัตต์ต่ออัตราไหลของมวล 1 กิโลกรัมต่อวินาที)		
	หัวฉีดขนาด 1.59	หัวฉีดขนาด 2.0	หัวฉีดขนาด 2.38
1.0	–	1.04	1.65
2.0	1.39	1.86	3.67
3.0	2.56	2.71	–
4.0	3.42	–	–

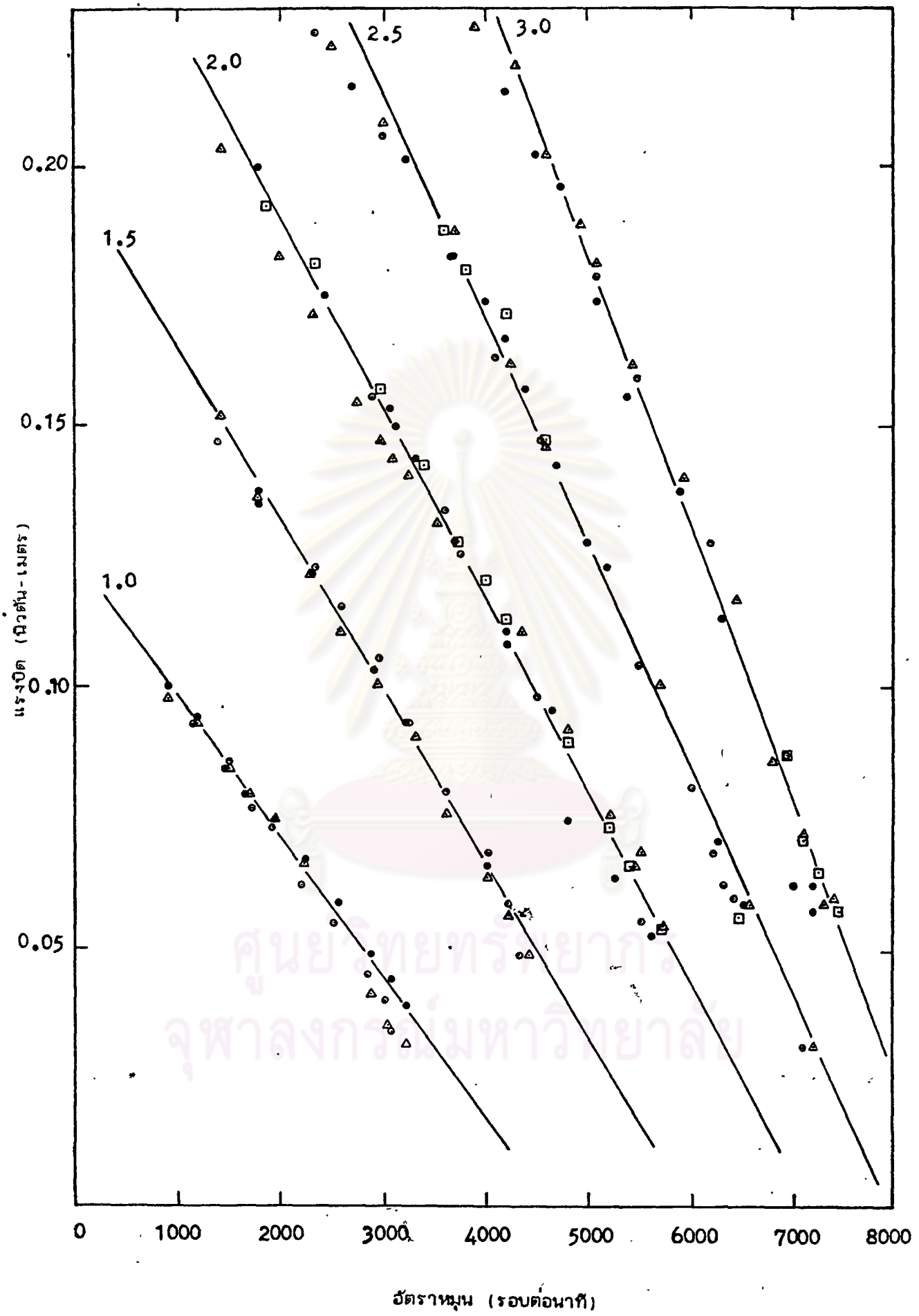
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2

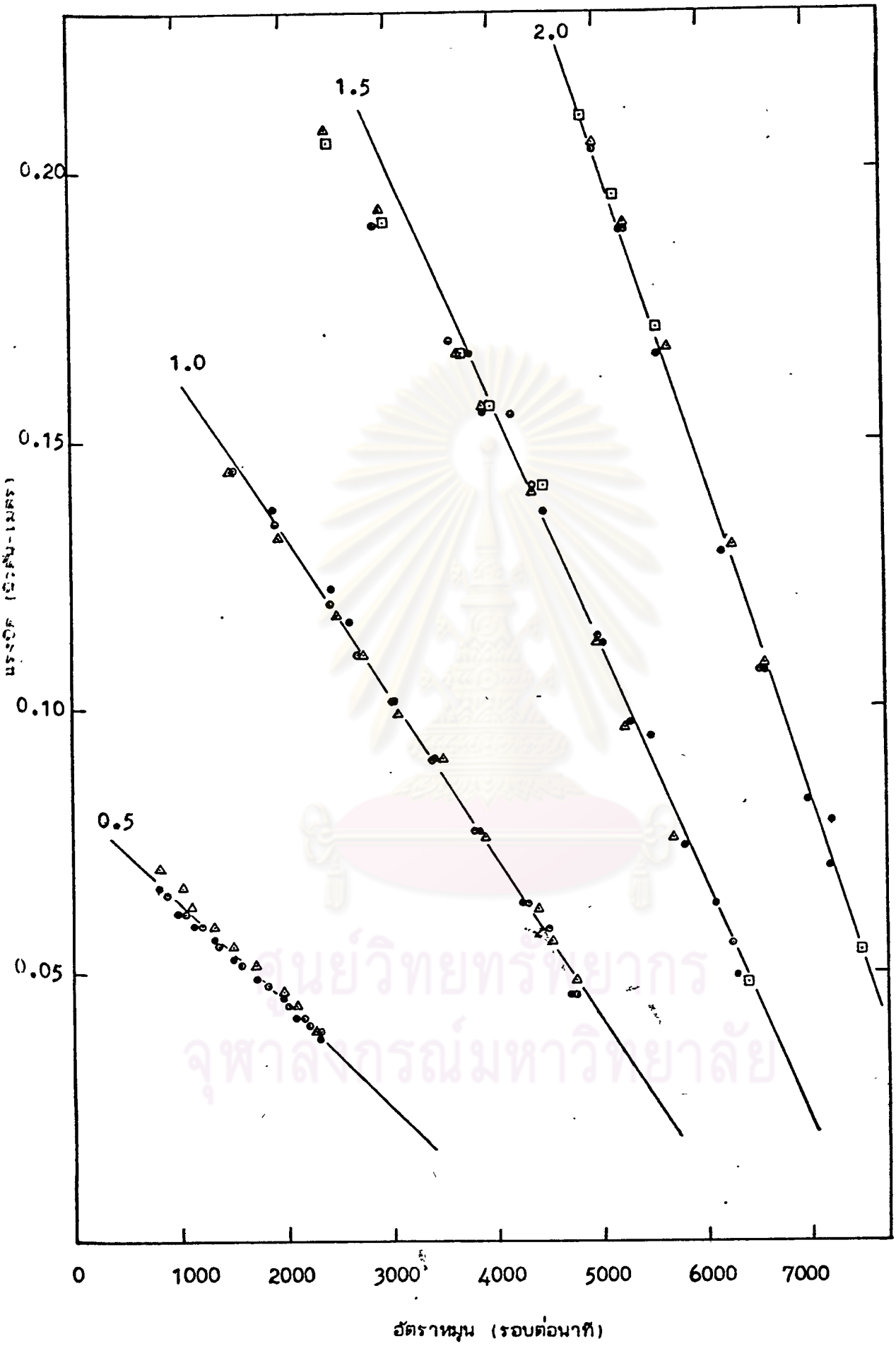
ผลการทดลองระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ ทั้ง 3 ขนาดมีดังนี้ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดลองแสดงเป็นกราฟตามรูปที่ 4.13 สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดลองเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.14 และสำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดลองเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.15 จากกราฟผลการทดลองจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนมีลักษณะเป็นเส้นตรงลอดคล้องตามทฤษฎี ดังที่ได้กล่าวแล้วเช่นเดียวกับเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 แต่จะสังเกตเห็นว่าจุดกราฟที่บริเวณปลายเส้นจะเริ่มโค้งเบี่ยงออกจากแนวเส้นตรง ทั้งนี้เนื่องจากในทางปฏิบัติมีการสูญเสียต่าง ๆ เกิดขึ้นโดยเฉพาะการสูญเสียที่เนื่องจากการไหลผ่านใบกังหันด้วยมุมเข้าที่ต่างไปจากมุมของใบกังหัน จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องกังหันหมุนด้วยอัตราหมุนที่ให้อัตราส่วนความเร็วต่างไปจากค่าที่ออกแบบหรือค่าที่เหมาะสมของเครื่อง ดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.2.3 เนื่องจากในการทดลองเมื่อเพิ่มภาระแก่เครื่องกังหัน เครื่องกังหันจะหมุนช้าลงทำให้มีค่าอัตราส่วนความเร็ว $\frac{U}{C}$ ลดลงต่างไปจากค่าที่ออกแบบมากขึ้นตามอัตราหมุนที่ลดลง ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียมากขึ้นจุดกราฟก็จะเริ่มโค้งและโค้งมากขึ้น ถ้าในการทดลองสามารถแปรค่าภาระโดยเพิ่มภาระให้แก่เครื่องกังหันได้มากกว่านี้ ก็จะเห็นความโค้งของเส้นกราฟได้มากขึ้น ในการทดลองนี้ภาระที่จะให้แก่เครื่องกังหันถูกจำกัดด้วยขนาดของไดนาโมมิเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้วัดแรงบิด ซึ่งความจริงแล้วผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 กราฟของแรงบิดกับอัตราเร็วรอบหมุนก็จะต้องมีลักษณะโค้งเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.13 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศต่าง 1.0, 1.5, 2.0, 2.5,



รูปที่ 4.14 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตรา หมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5

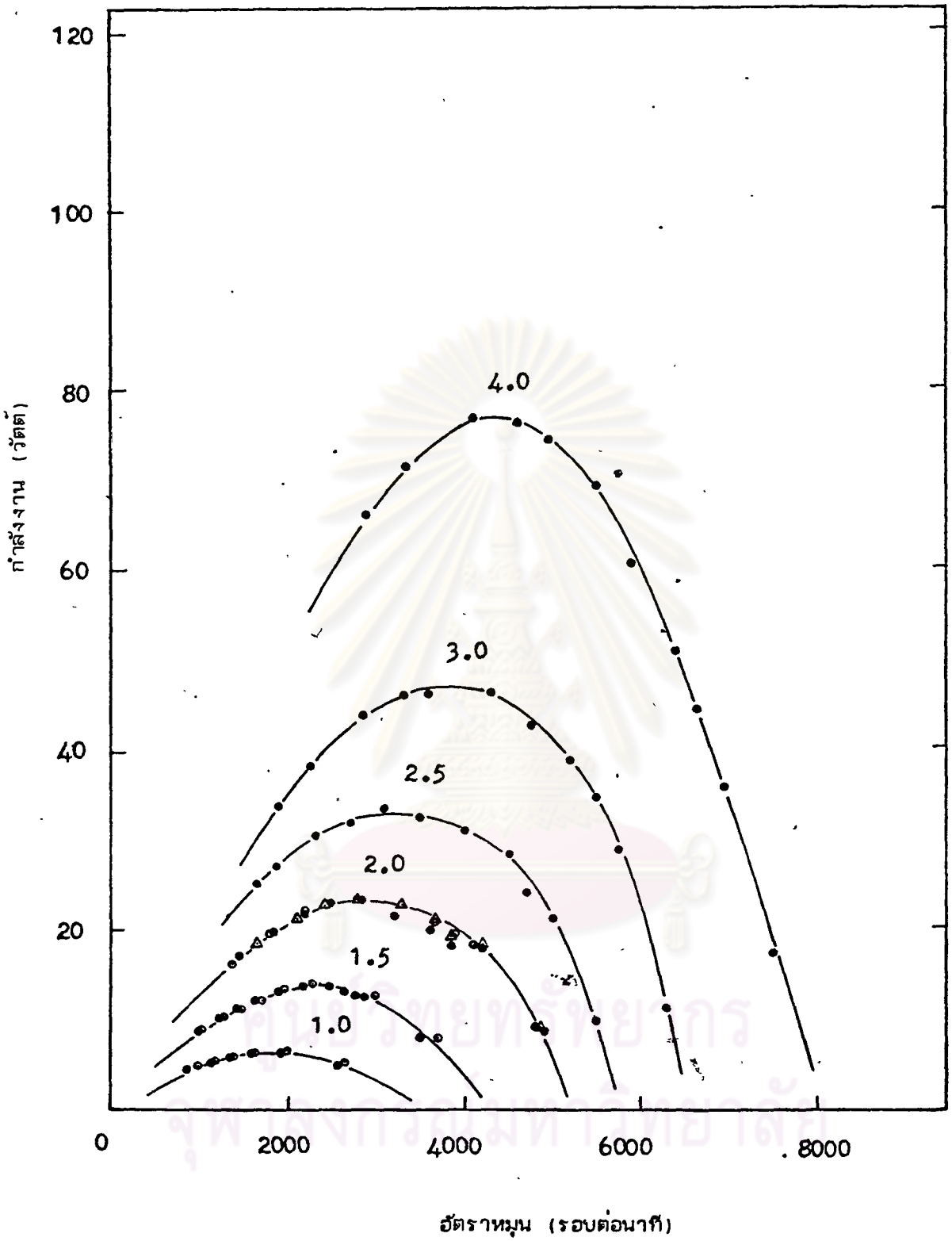


รูปที่ 4.15 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

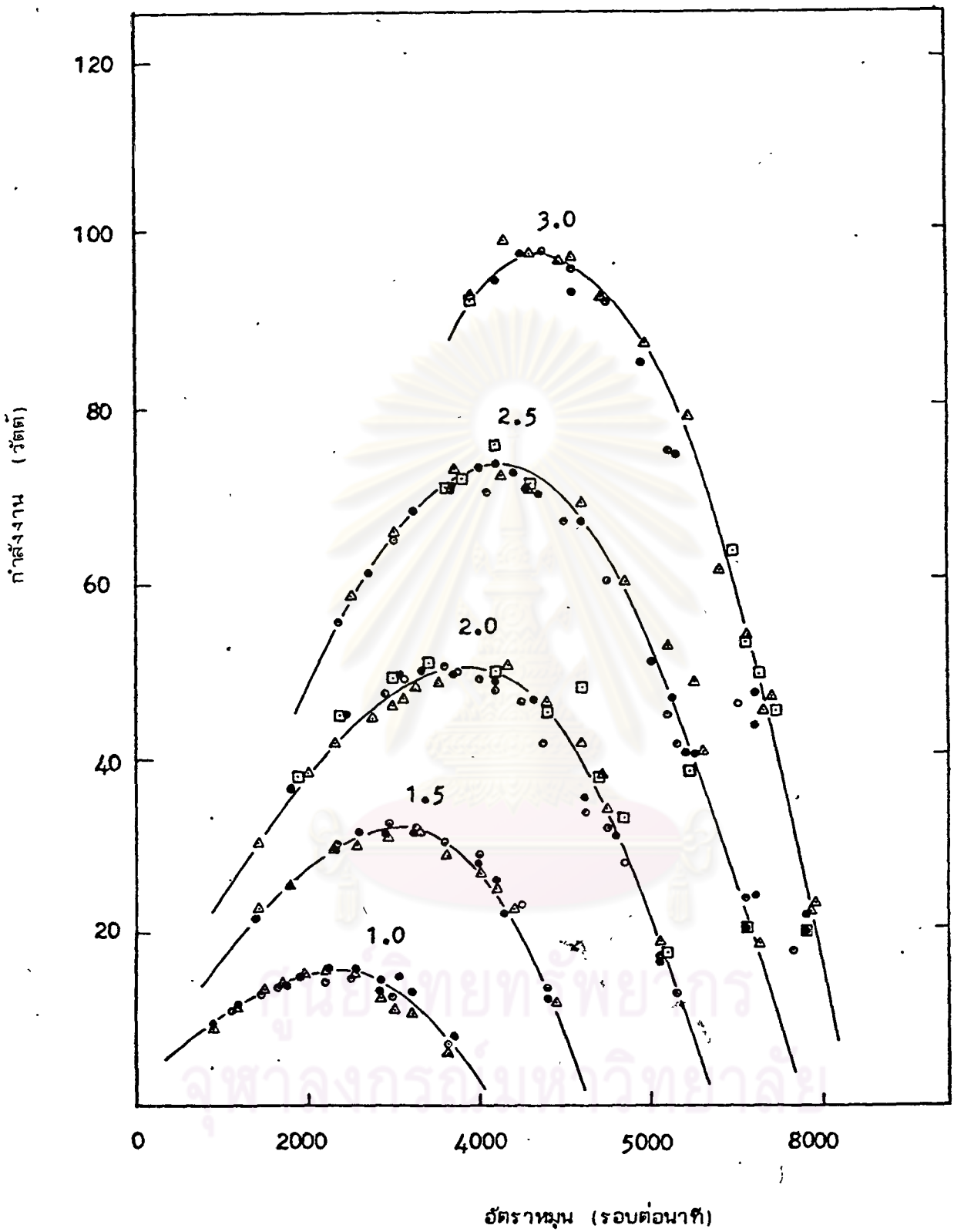
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับจำนวนรอบต่อนาที ที่ได้จากการทดลองเมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ ทั้ง 3 ขนาดเช่นเดียวกัน สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่า สำหรับหัวฉีดที่ใช้ขนาดหนึ่งเมื่อเพิ่มความดันอากาศอัดให้สูงขึ้น กำลังงานสูงสุดที่เครื่องกังหันสามารถให้ได้ก็จะมากขึ้นและมีอัตราหมุนสูงขึ้นตามลำดับในลักษณะเดียวกันกับเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 ก็ได้กล่าวแล้ว

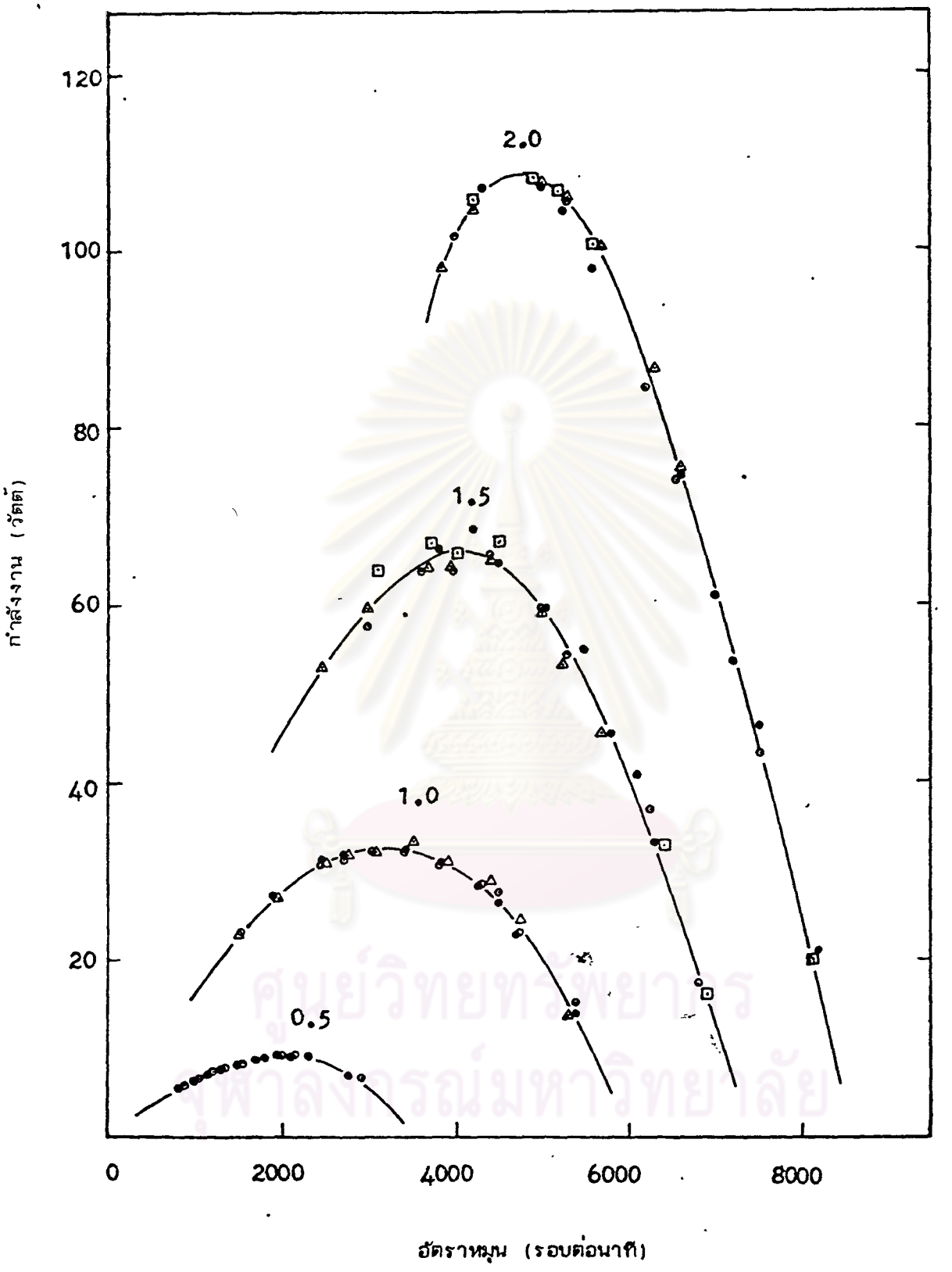
จากกราฟแสดงผลการทดลอง เมื่อพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุดสำหรับความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ เมื่อใช้หัวฉีดแต่ละขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันเมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่าง ๆ เป็นตารางได้ดังนี้ ตารางที่ 4.2 (ก) สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ตารางที่ 4.2 (ข) สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร และตารางที่ 4.2 (ค) สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ในการทดลองนี้ใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู เมื่อพิจารณาความสามารถในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันที่ทำงานด้วยภาวะแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากกำลัง งานสูงสุดที่ผลิตได้ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศที่ใช้ไป 1 กิโลกรัมต่อวินาที ผลจะเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ง) ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อเครื่องกังหันใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร และความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีสมรรถนะในการผลิตกำลังงานมากที่สุดเท่ากับ 10.46×10^3 วัตต์ ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ 1 กิโลกรัมต่อวินาที และจะมีสมรรถนะในการผลิตกำลังงานต่ำสุด เท่ากับ 2.13×10^3 วัตต์ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ 1 กิโลกรัมต่อวินาที เมื่อเครื่องกังหันใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตรและความดันอากาศอัด 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหัน กับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตรา หมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุด สำหรับความดันอากาศอัดที่ใช้ขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 (ก) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	1750	0.0355	6.5	1.89×10^{-3}
1.5	2400	0.0538	14.0	3.69×10^{-3}
2.0	2900	0.0750	23.5	4.44×10^{-3}
1.5	3200	0.0973	33.0	5.24×10^{-3}
3.0	3850	0.1137	47.0	5.94×10^{-3}
4.0	4300	0.1672	76.9	7.66×10^{-3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 (ข) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	2350	0.0640	15.7	4.62×10^{-3}
1.5	3000	0.0986	31.7	5.89×10^{-3}
2.0	3850	0.1220	50.0	7.10×10^{-3}
2.5	4250	0.1597	73.0	8.28×10^{-3}
3.0	4650	0.2005	97.1	9.53×10^{-3}

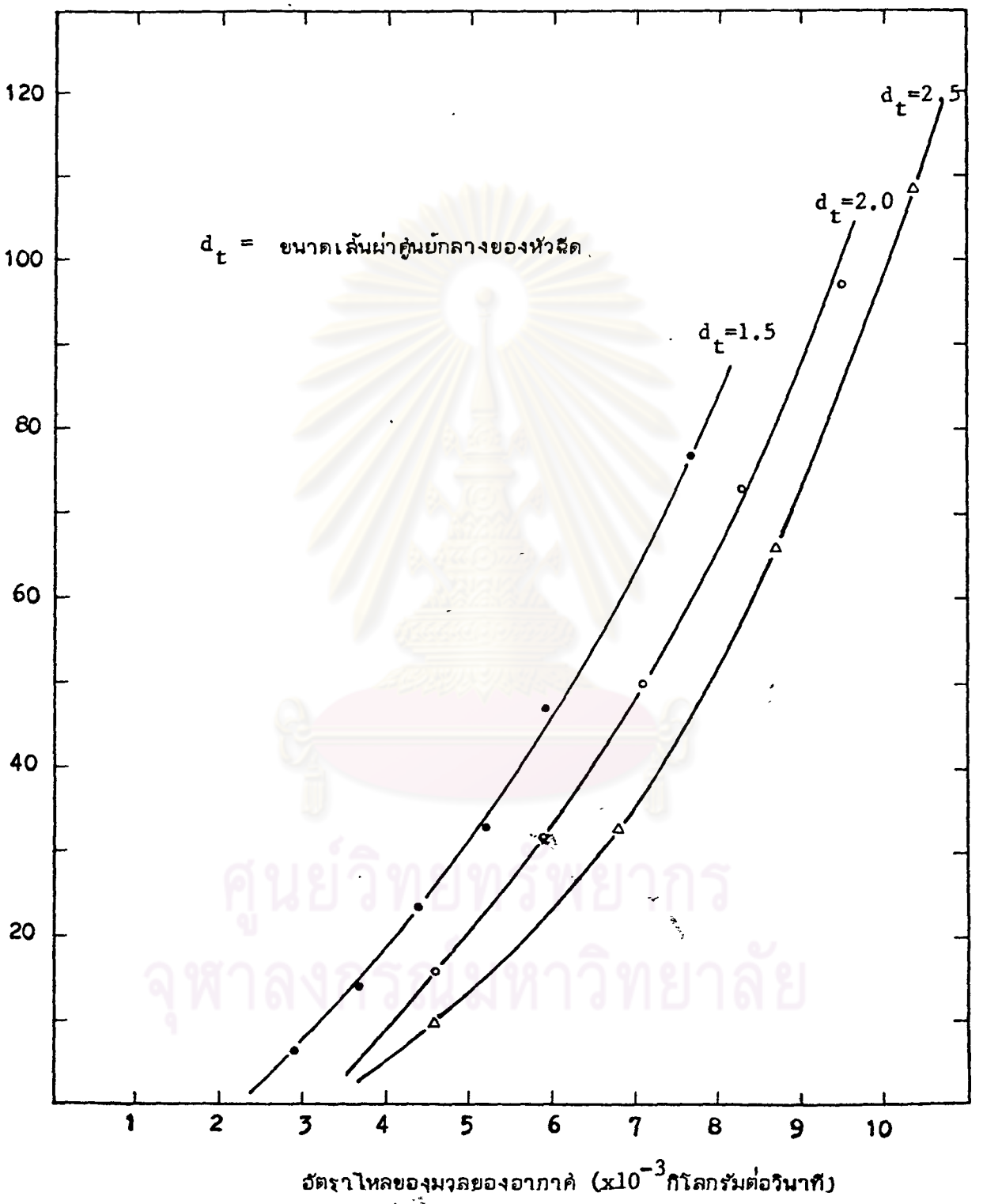
ตารางที่ 4.2 (ค) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
0.5	2050	0.0430	9.7	4.58×10^{-3}
1.0	3200	0.0963	32.7	6.81×10^{-3}
1.5	4100	0.1527	66.2	8.69×10^{-3}
2.0	4800	0.2167	108.5	10.37×10^{-3}

ตารางที่ 4.2 (ง) แสดงสมรรถนะในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้หัวฉีดและความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ กัน

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	กำลังงานสูงสุดต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ ($\times 10^3$ วัตต์ต่ออัตราไหลของมวล 1 กิโลกรัมต่อวินาที)		
	หัวฉีดขนาด 1.5	หัวฉีดขนาด 2.0	หัวฉีดขนาด 2,5
0.5	—	—	2.13
1.0	2.25	3.40	4.81
1.5	3.79	5.39	7.63
2.0	5.29	7.04	10.46
2.5	6.30	8.82	—
3.0	7.91	10.19	—
4.0	10.04	—	—

เมื่อนำค่ากำลังงานสูงสุดที่เครื่องกังหันสามารถให้ได้และอัตราไหลของมวลของอากาศเมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ สำหรับหัวฉีดที่ใช้แต่ละขนาด จากตารางที่ 4.2 (ก) ตารางที่ 4.2 (ข) และตารางที่ 4.2 (ค) มาเขียนกราฟระหว่างกำลังงานสูงสุดกับอัตราไหลของมวลของอากาศ จะได้กราฟเป็นดังรูปที่ 4.19 ซึ่งจากกราฟนี้จะเห็นว่า เมื่ออัตราไหลของมวลของอากาศสำหรับฉีดแต่ละขนาดมีค่าเท่ากัน หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าจะให้กำลังงานสูงสุดได้มากกว่าหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า ตัวอย่างเช่น เมื่ออัตราไหลของมวลของอากาศเท่ากับ 6.0×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร จะให้กำลังงานสูงสุด 46.0 วัตต์ หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร จะให้กำลังงานสูงสุด 33.2 วัตต์ และหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จะให้กำลัง งานสูงสุด 20.3 วัตต์ แต่หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดที่วัดได้กับอัตราไหลของมวลของอากาศ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร

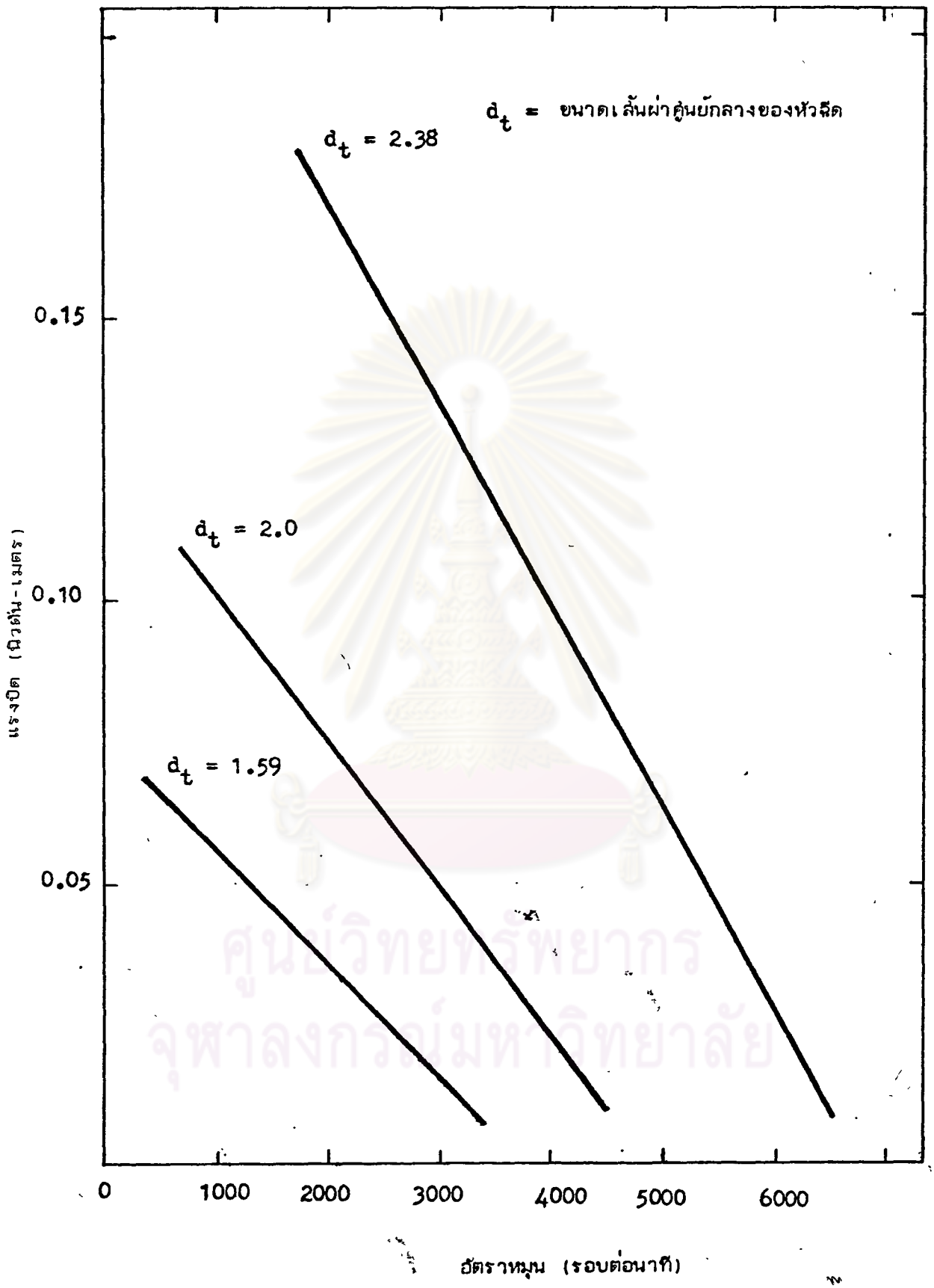
จะให้อัตราไหลของมวลได้เท่ากับหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่านั้นจะต้องมีความเร็วของลำอากาศที่ออกจากหัวฉีดสูงกว่า จึงจะต้องใช้ความดันอากาศอัดสูงกว่าและจะทำให้เครื่องกังหันหมุนด้วยอัตราหมุนสูงกว่า อาจจะกล่าวได้ว่า สำหรับความต้องการอัตราไหลของมวลขนาดหนึ่ง ถ้ามีแหล่งพลังงานที่มีความดันไอสูงพอ การเลือกใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กเครื่องกังหันจะให้กำลังงานได้ดีกว่าเมื่อใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า

4.4 ผลของการใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน

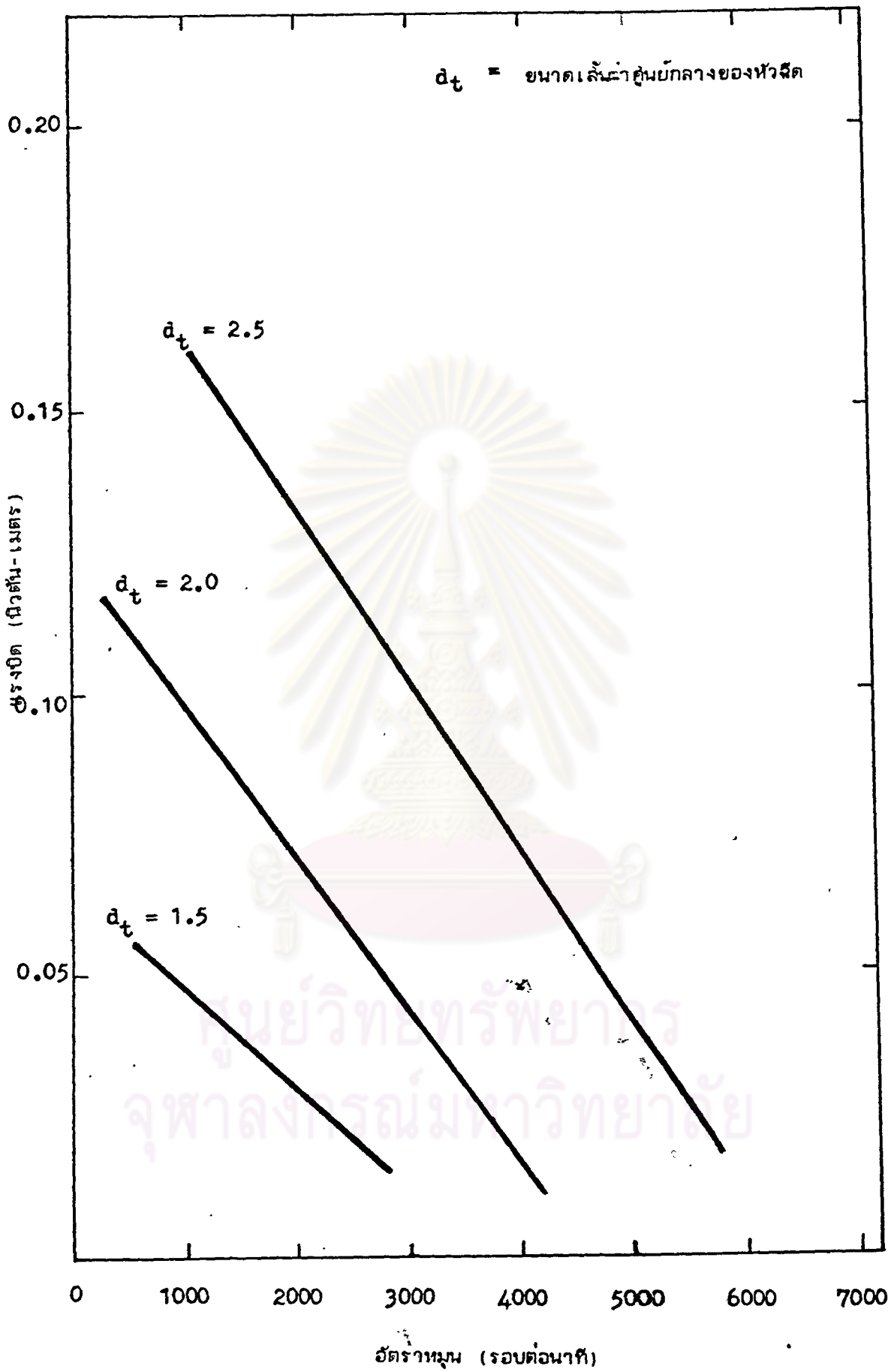
จากทฤษฎีการไหลผ่านหัวฉีดของของไหล จะได้ว่าหัวฉีดที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางที่ส่วนลำคอต่างกัน ถ้ามีภาวะที่ทางเข้า (ความดันและปริมาตรจำเพาะ) คงที่เท่ากันและมีความดันที่ทางออกเท่ากันแล้ว ความเร็วที่ไหลออกจากหัวฉีดและอัตราไหลของมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะต้องเท่ากันตามสมการ (2.79) และ (2.83) ตามลำดับ นั่นคือ ถ้าหัวฉีดมีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางหรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนลำคอโตขึ้นก็จะให้อัตราไหลของมวลมากขึ้นโดยที่ความเร็วที่ไหลออกจากหัวฉีดเท่าเดิม จากข้อมูลผลการทดลองวัดแรงบิดและกำลังงานทั้งหมดที่ได้แสดงผลแล้วในหัวข้อ 4.3 เมื่อนำมาวิเคราะห์พิจารณาถึงผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดที่มีต่อขนาดของแรงบิดและกำลังงาน โดยใช้ความดันอากาศอัดที่ทางเข้าเท่ากัน นั่นคือ จะพิจารณาถึงผลของการเพิ่มอัตราไหลของมวลที่เข้าสู่ใบกังหันโดยมีความเร็วคงที่ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบมีดังนี้

สำหรับเครื่องกังหันเครื่องที่ 1 ผลที่มีต่อแรงบิดแสดงผลด้วยกราฟของแรงบิดกับอัตราหมุน ที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดทั้ง 3 ขนาดคือ 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร ดังกราฟในรูปที่ 4.20 ส่วนผลที่มีต่อกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.24

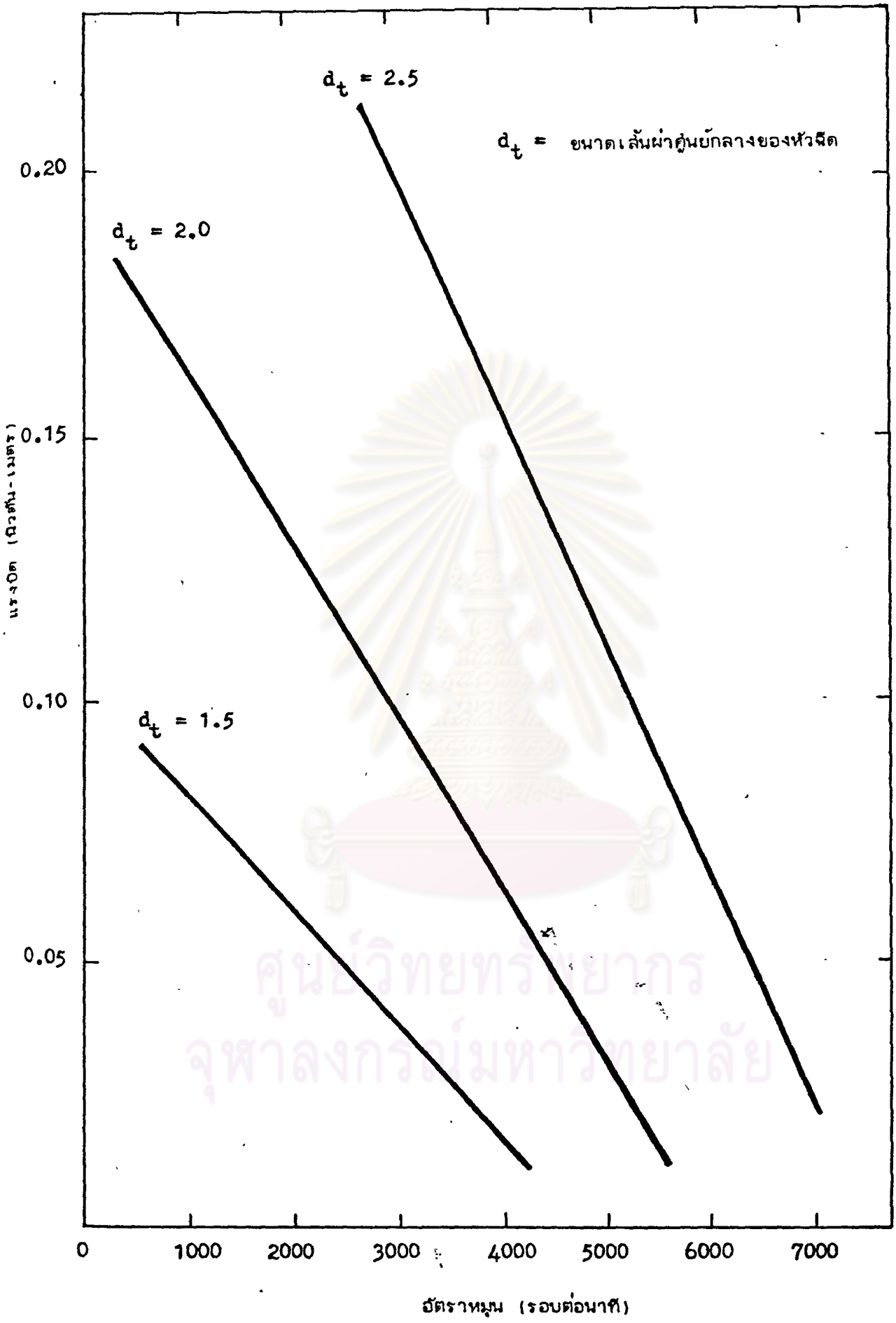
สำหรับเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดที่ใช้มี 3 ขนาดคือ 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ผลที่มีต่อแรงบิดแสดงผลด้วยกราฟของแรงบิดกับอัตราหมุนที่ความดันอากาศอัด 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ ส่วนผลที่มีต่อกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหัน ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลจะเห็นดังกราฟในรูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ



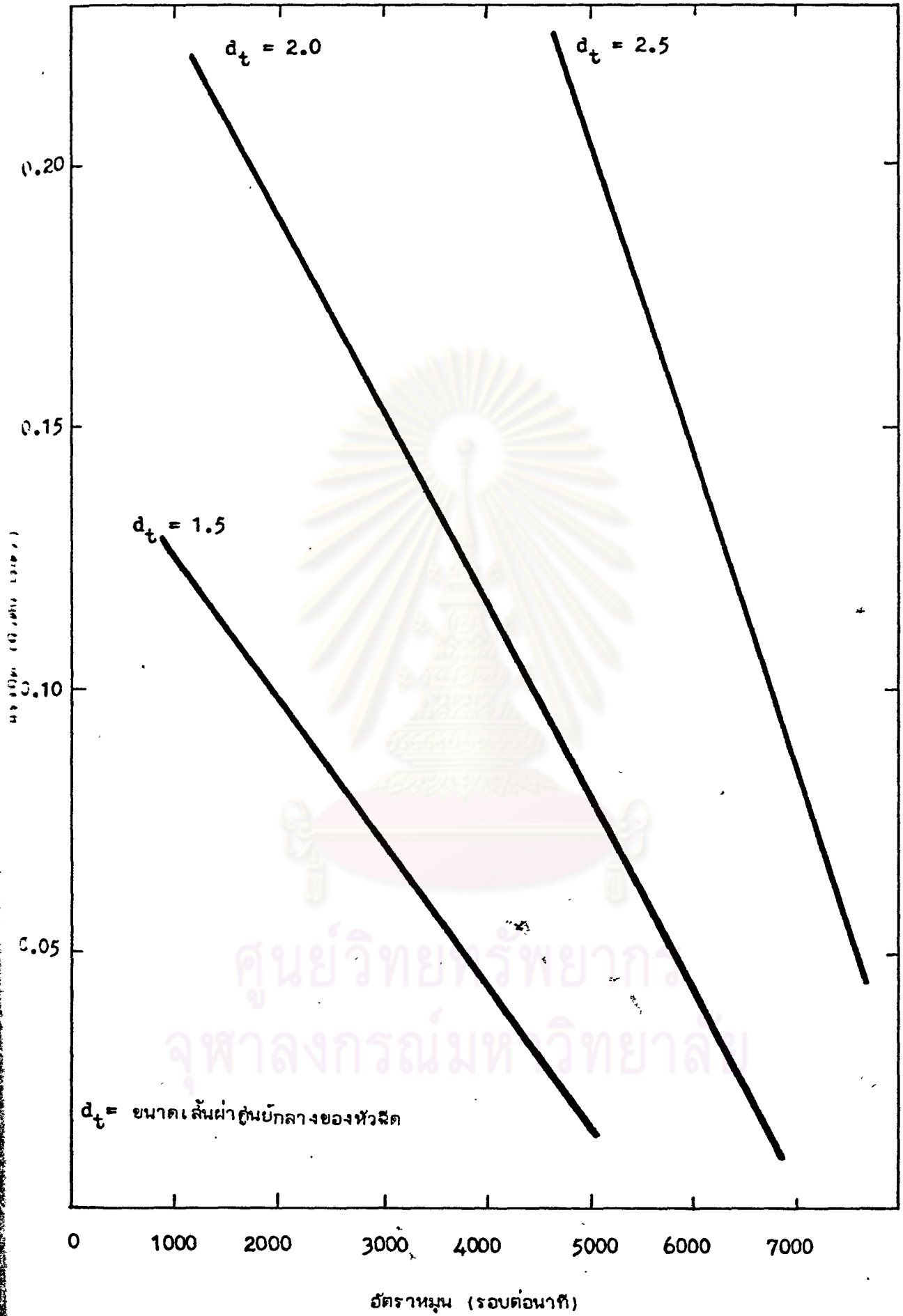
รูปที่ 4.20 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน ที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร



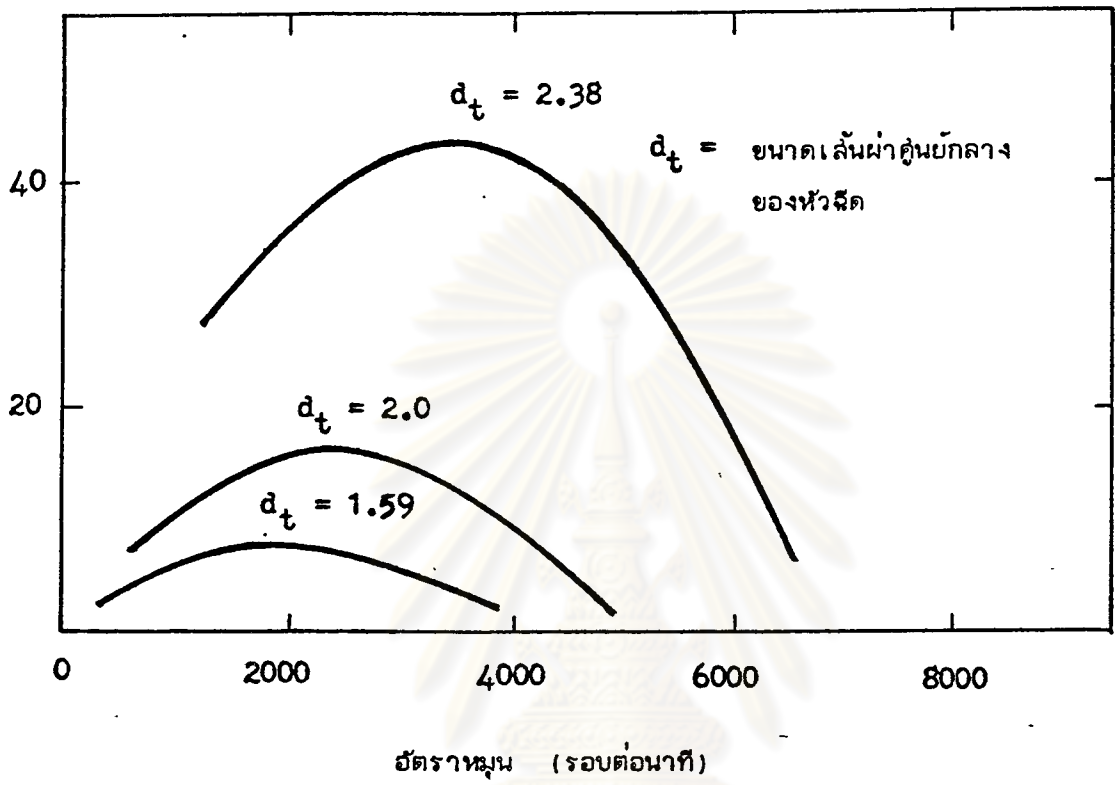
รูปที่ 4.21 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน ที่ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร



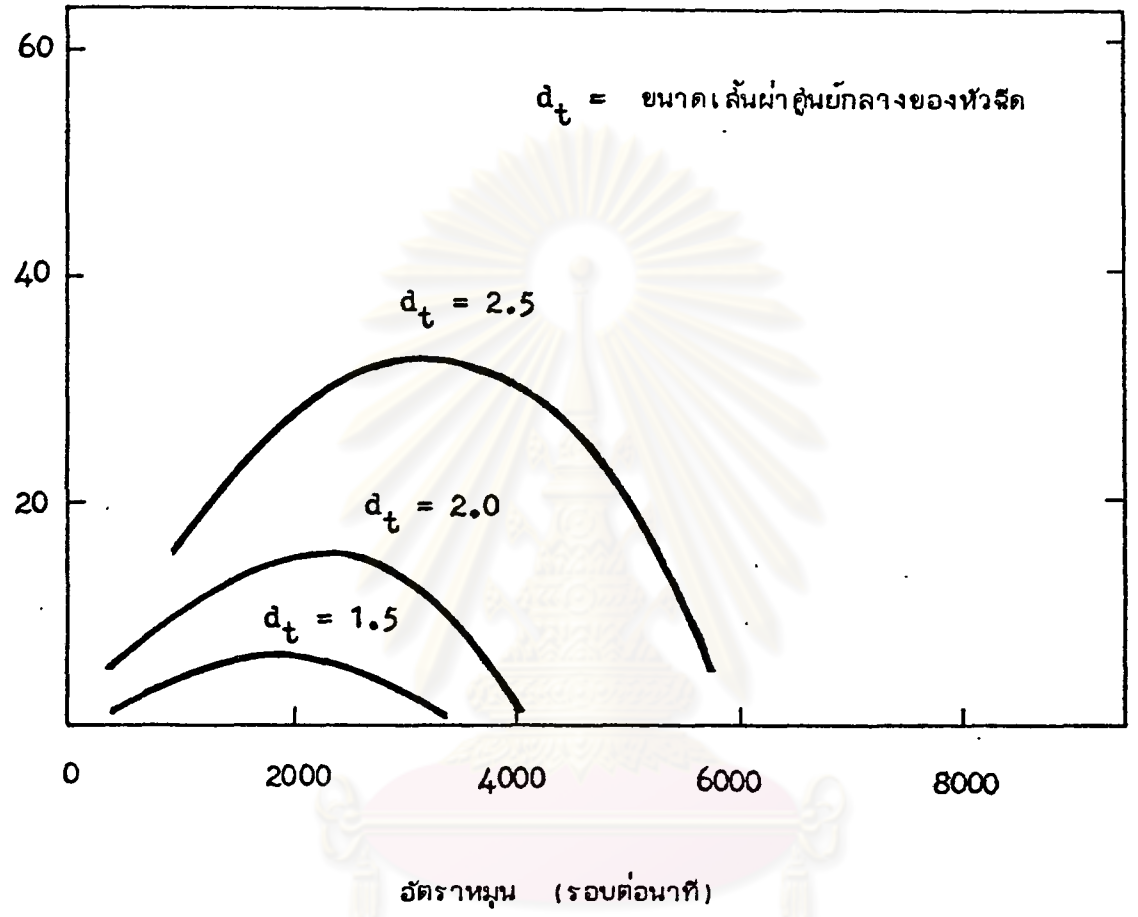
รูปที่ 4.22 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน ที่ใช้ความดันอากาศอัด 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.23 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน ที่ใช้ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร

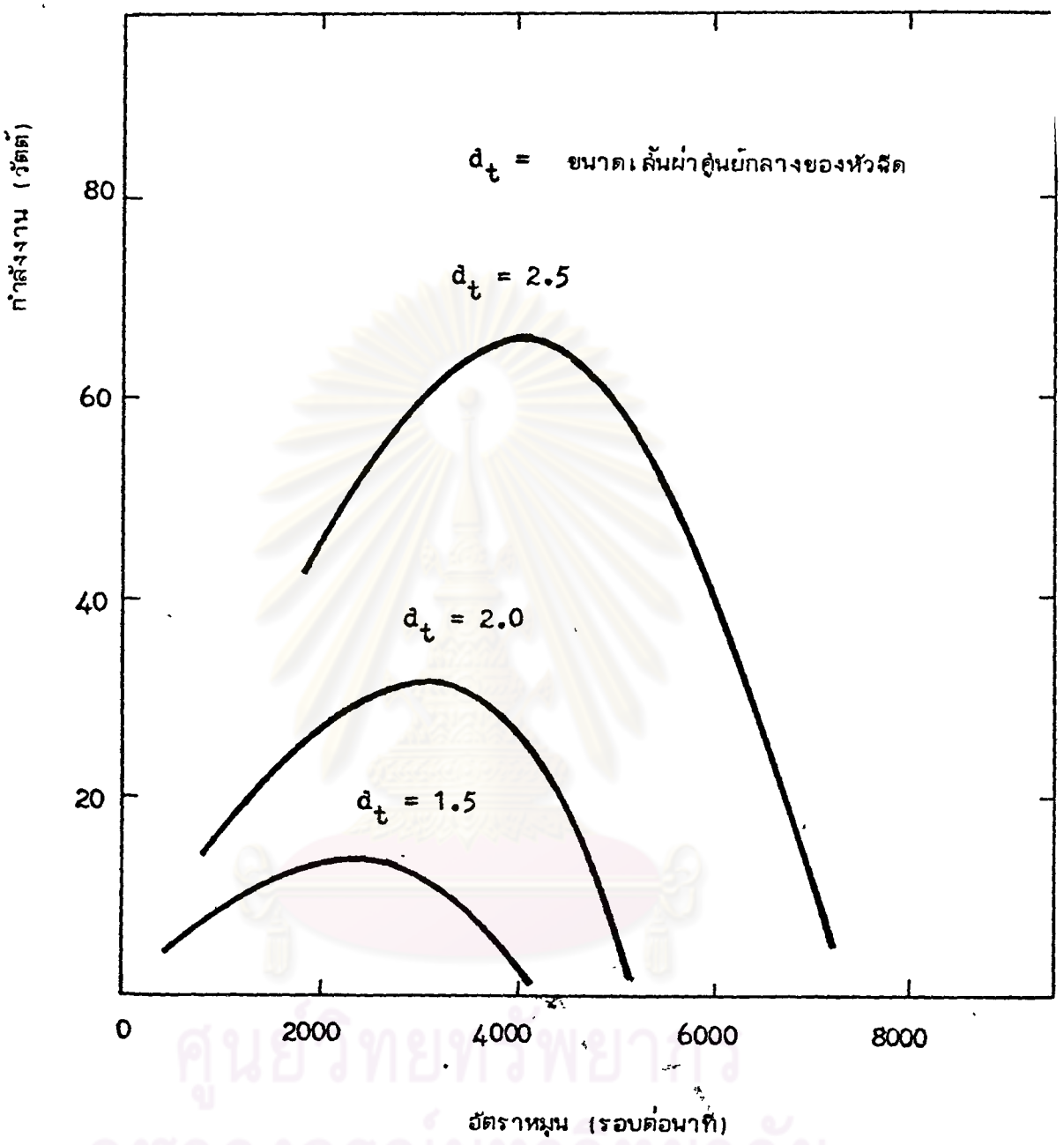


รูปที่ 4.24 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหัน กับอัตราหมุนที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.59, 2.0 และ 2.38 มิลลิเมตร

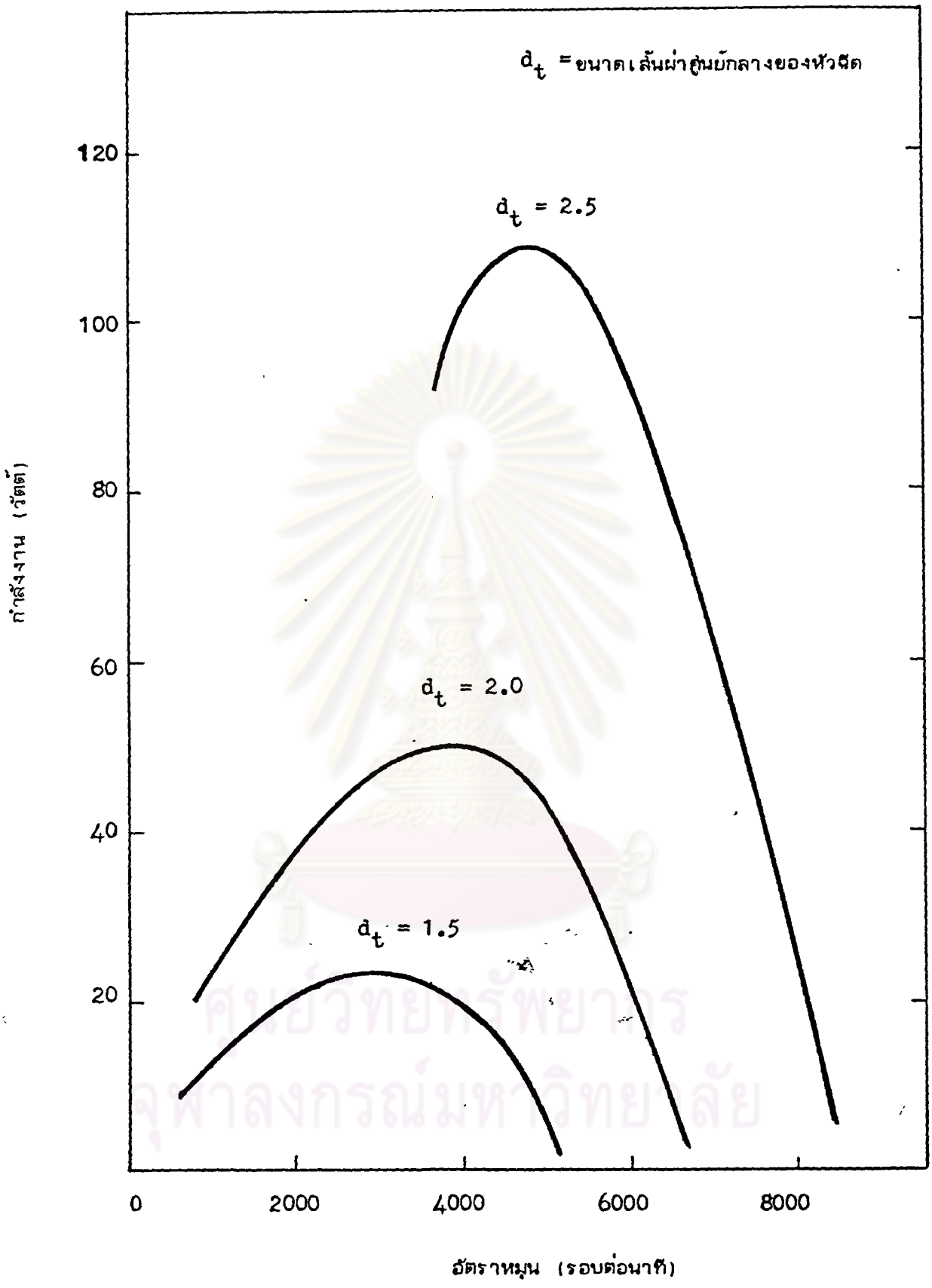


รูปที่ 4.25 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน ที่ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0, และ 2.5 มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

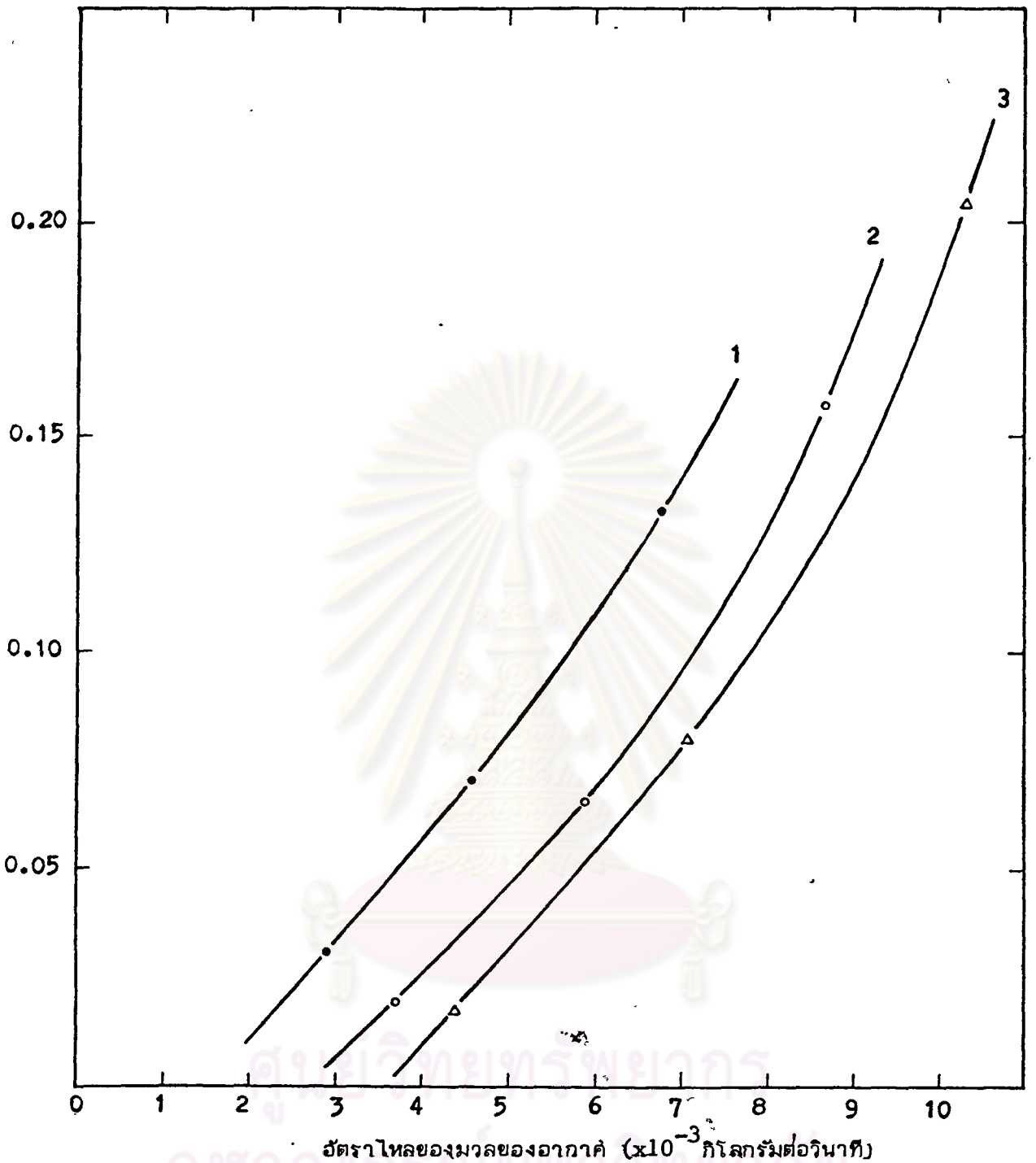


รูปที่ 4.26 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน ที่ความดันอากาศอัด 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.27 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน ที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร

จากกราฟแสดงผลการทดลองรูปที่ 4.20-4.27 จะเห็นว่า เมื่ออัตราไหลของมวลอากาศเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด แรงบิดและกำลังงานจะเพิ่มขึ้นและกราฟของแรงบิดกับอัตราหมุนจะมีความชันมากขึ้นตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของแรงบิดตามอัตราไหลของมวลของอากาศที่เพิ่มขึ้นนั้น จะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่มากขึ้นเมื่ออัตราไหลของมวลที่มีค่าสูงขึ้น เช่นในการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราหมุน 4000 รอบต่อนาที หัวฉีดจากเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร จะให้แรงบิด 0.0199 นิวตัน-เมตร และมีอัตราไหลของมวลของอากาศ 3.69×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร จะให้แรงบิด 0.0654 นิวตัน-เมตร และมีอัตราไหลของมวลของอากาศ 5.89×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที และหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จะให้แรงบิด 0.1568 นิวตัน-เมตร และมีอัตราไหลของมวลของอากาศ 8.69×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที จะเห็นว่า เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเพิ่มขึ้นจาก 1.5 มิลลิเมตร เป็น 2.0 มิลลิเมตร มีอัตราไหลของมวลเพิ่มขึ้น 2.2×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที จะให้แรงบิดเพิ่มขึ้น 0.0455 นิวตัน-เมตร และเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเพิ่มขึ้นจาก 2.0 มิลลิเมตรเป็น 2.5 มิลลิเมตร มีอัตราไหลของมวลเพิ่มขึ้น 2.8×10^{-3} กิโลกรัมต่อวินาที จะให้แรงบิดเพิ่มขึ้น 0.0914 นิวตัน-เมตร และเมื่อนำค่าแรงบิดกับอัตราไหลของมวลของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่อัตราหมุนเท่ากันจากการใช้หัวฉีดขนาดต่างกันทั้ง 3 ขนาด และความดันอากาศอัดเท่ากันมาเขียนกราฟ จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่การเพิ่มของแรงบิดจะเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อการไหลของมวลมีอัตราไหลสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 4.28 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราไหลของมวล ที่ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราหมุน 2000 รอบต่อนาที ที่ความดันอากาศอัด 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราหมุน 4000 รอบต่อนาที และที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและอัตราหมุน 5000 รอบต่อนาที ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว เมื่อภาวะอื่น ๆ ได้แก่ ความเร็วของลำอากาศที่ลู่ใบกังหัน C_1 อัตราเร็วใบกังหัน U, มุมของหัวฉีด α_1 และรัศมีเฉลี่ยของวงล้อใบกังหันของเครื่องกังหันมีค่าคงที่ แรงบิด τ จะแปรผันตามอัตราไหลของมวล $\dot{m}$ ตามสมการที่ (2.25) ดังนั้นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราไหลของมวลจะต้องเป็นเส้นตรง แต่การที่กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราไหลของมวลของอากาศที่ได้ในกรณีนี้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งนั้น อาจจะเนื่องมาจากการสูญเสียต่าง ๆ ใน



รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราไหลของมวลของอากาศ ที่ความดันอากาศอัดคงที่ และอัตราหมุน คงที่ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร

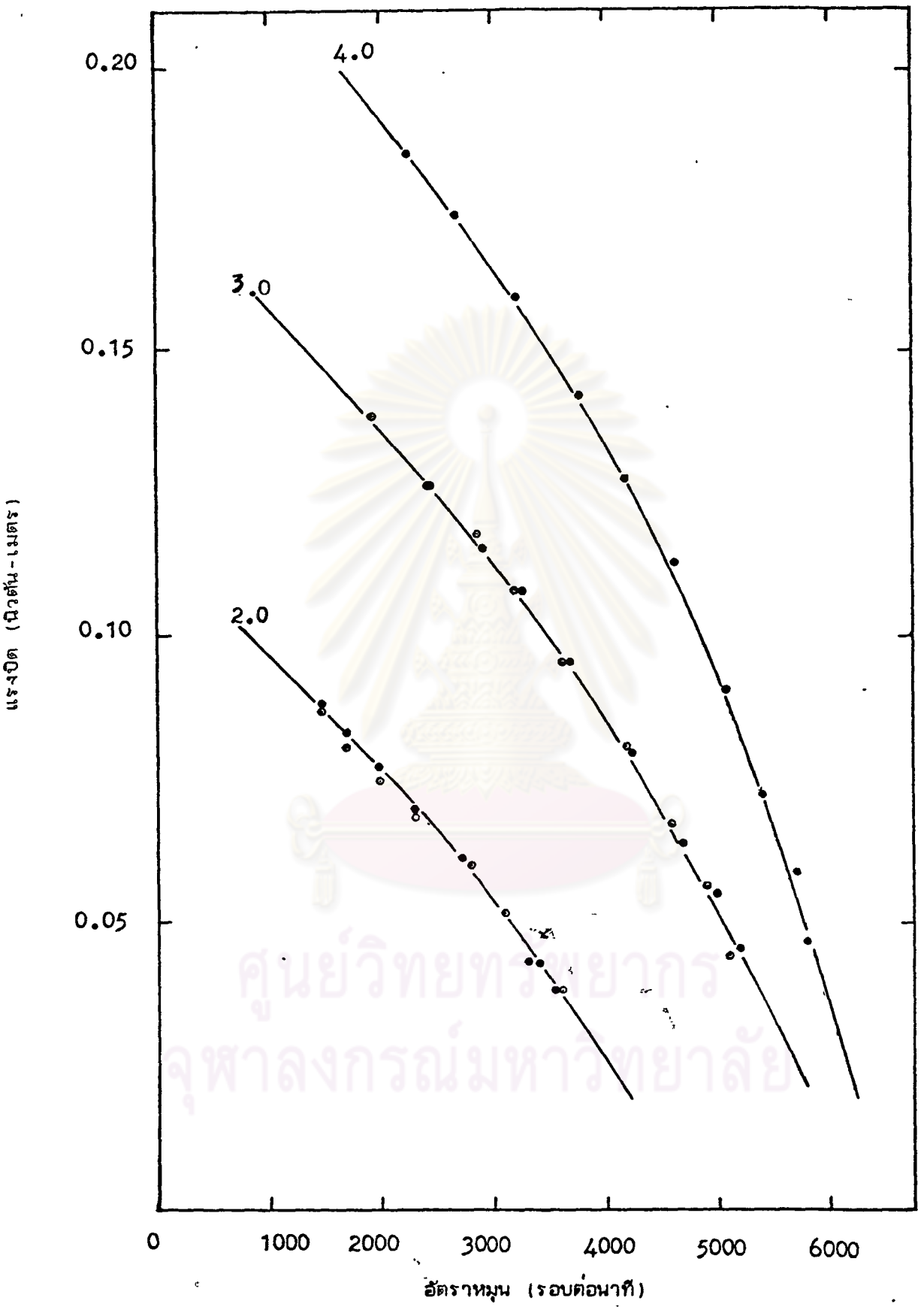
1. ที่ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราหมุน 2000 รอบต่อนาที
2. ที่ความดันอากาศอัด 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราหมุน 4000 รอบต่อนาที
3. ที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราหมุน 5000 รอบต่อนาที

การไหลผ่านใบกังหันเมื่อมีอัตราไหลของมวลต่ำมากกว่าเมื่อมีอัตราไหลของมวลสูง สำหรับกำลังงานก็เช่นเดียวกัน เมื่ออัตราไหลของมวลเพิ่มขึ้นกำลังงานก็จะเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้แล้วจะเห็นว่า ที่ความดันอากาศอัดเท่ากัน จุดที่ให้กำลังงานสูงสุดของเครื่องกังหันมีอัตราหมุนสูงขึ้นเมื่ออัตราไหลของมวลเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วควรจะมีอัตราหมุนเท่ากันเพราะเครื่องกังหันแต่ละเครื่องจะมีอัตราส่วนความเร็วที่เหมาะสมเพียงค่าเดียวซึ่งก็คือ อัตราส่วนความเร็วที่ได้ออกแบบไว้ การที่เครื่องกังหันมีอัตราหมุนที่จุดให้กำลังงานสูงสุดสูงขึ้นนั้นแสดงว่าการสูญเสียในการไหลผ่านใบกังหันเมื่อมีอัตราไหลต่ำมีมากกว่าการสูญเสียเมื่อมีอัตราไหลสูงขึ้น

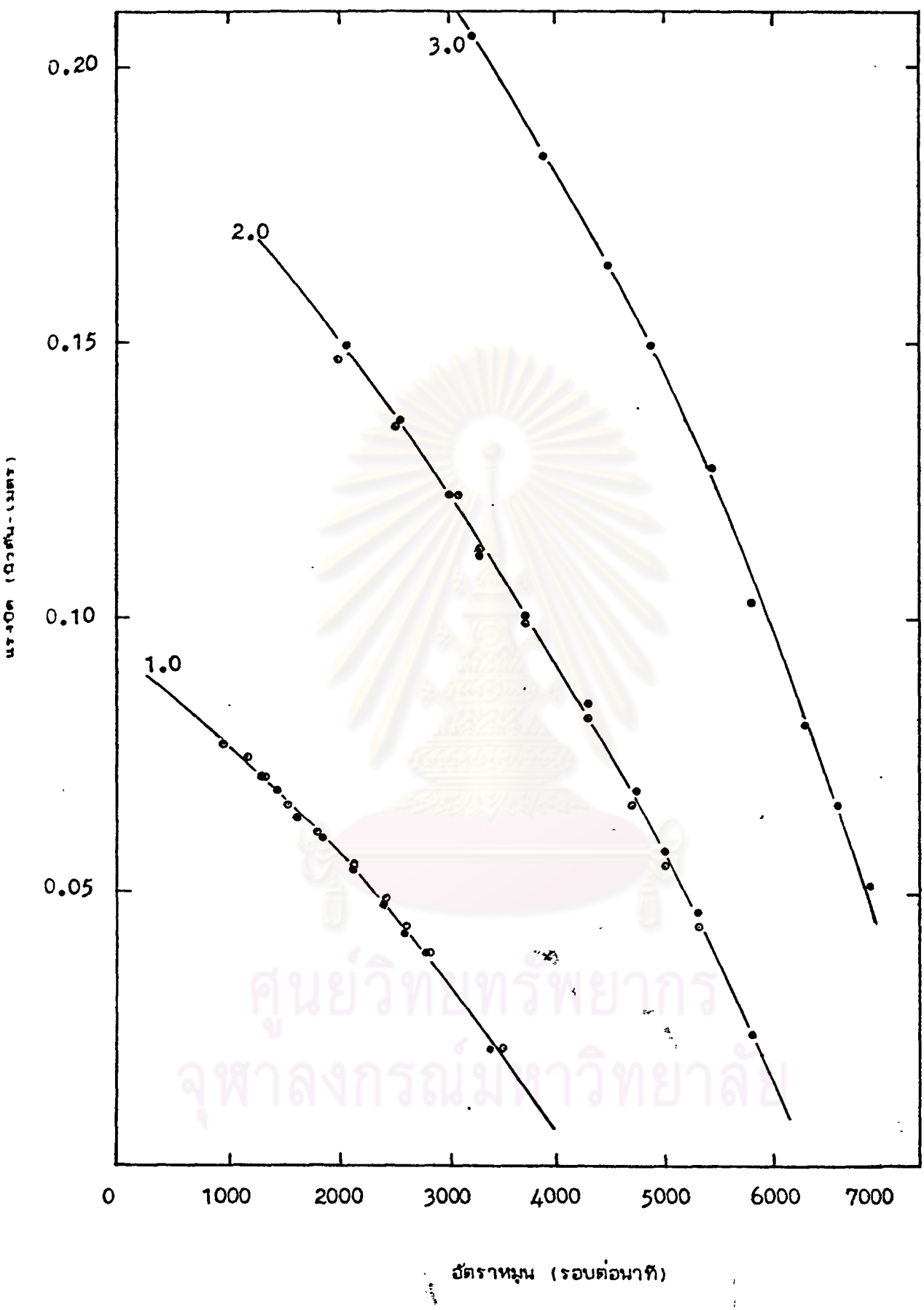
4.5 <u>ผลของการลดจำนวนหัวฉีด</u>

การทดลองลดจำนวนหัวฉีดที่ใช้ในเครื่องกังหันจาก 4 รูเหลือ 2 รู ได้กระทำในเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองวัดแรงบิดและ กำลังงานที่ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ กัน แสดงด้วยกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน และกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัด 2.0, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.29 และ 4.31 ตามลำดับ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.30 และ 4.32 ตามลำดับ

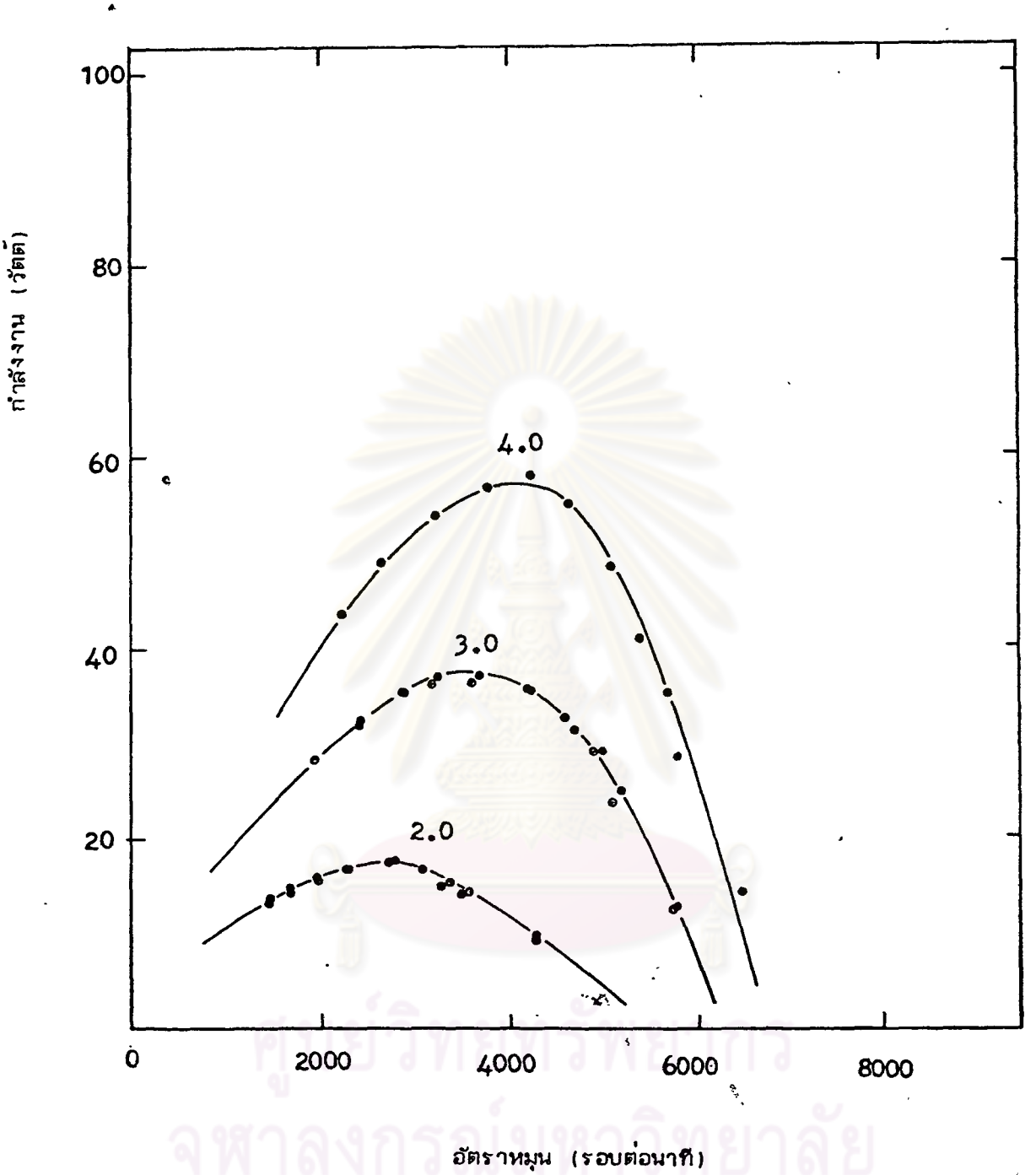
จากกราฟจะเห็นว่าเส้นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนมีลักษณะโค้งเล็กน้อย ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะเป็นเส้นตรง แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้วมีการสูญเสียต่าง ๆ เกิดขึ้นภายในเครื่องกังหัน ดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.6 โดยเฉพาะการสูญเสียที่เนื่องจากการไหลผ่านใบกังหันที่อัตราหมุนต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากัน ดังที่ได้อธิบายแล้วในผลการทดลองหัวข้อ 4.3.2 แต่เมื่อเพิ่มอัตราไหลของมวลโดยการเพิ่มความดันอากาศอัด (เพิ่มความเร็วของการไหล) ก็จะทำให้มีแรงบิดเพิ่มขึ้นตามลำดับ ถึงแม้ว่าเส้นกราฟจะโค้งแต่ก็ยังคงมีลักษณะเดียวกันกับผลการ



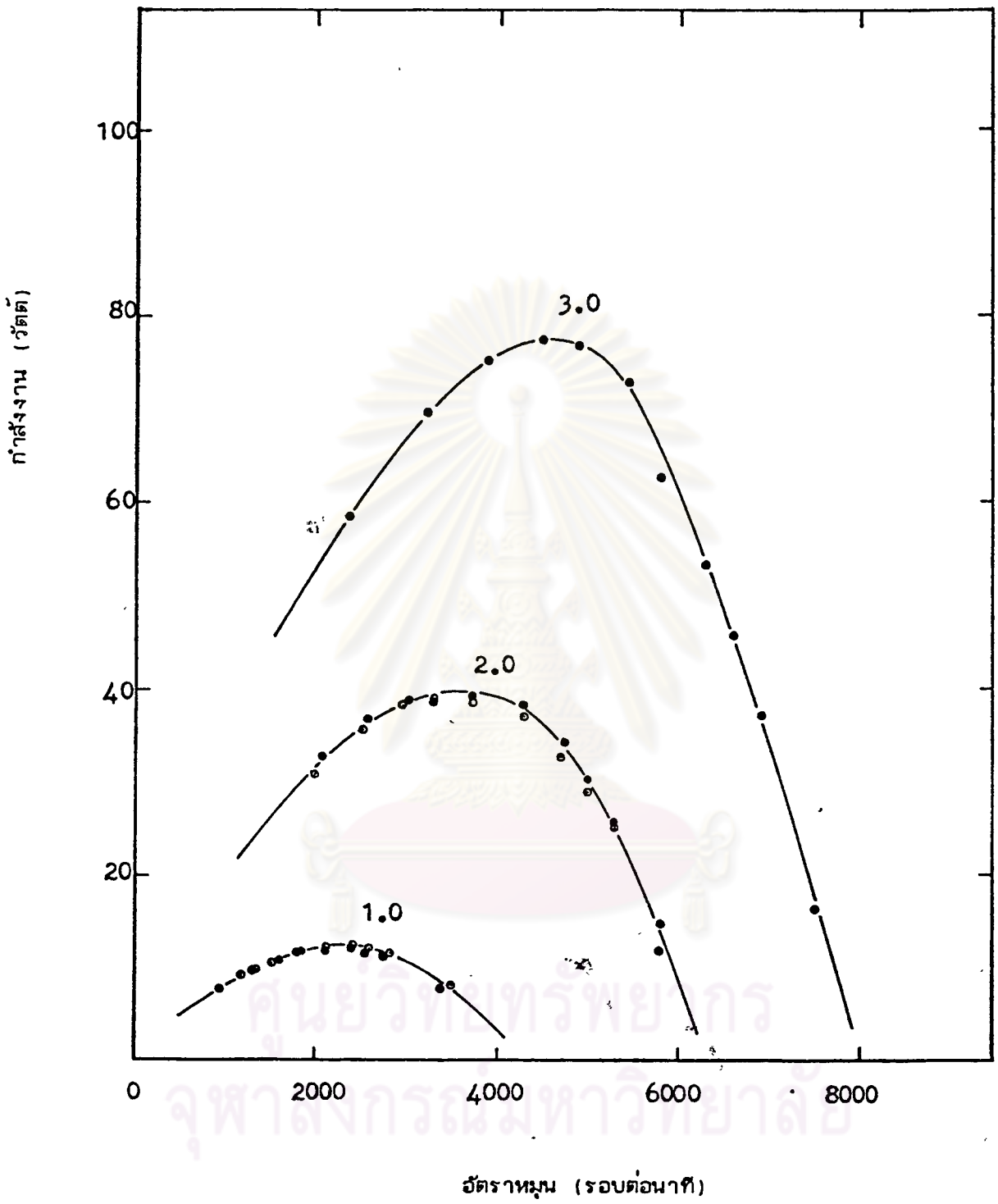
รูปที่ 4.29 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศฉีด 2.0, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.30 กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัด 2.0, 3.0 และ 4.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันกับอัตราหมุน หมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ทดลองเมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู กล่าวคือเส้นกราฟจะชันมากขึ้นเมื่อใช้ความดันอากาศอัดสูงขึ้น ซึ่งแสดงว่าเครื่องกังหันมีสมรรถนะสูงขึ้น (เมื่อแรงบิดหรือภาระของเครื่องกังหันเพิ่มขึ้นอัตราหมุนจะลดลงในอัตราส่วนน้อยลง) สำหรับกำลังงานก็เช่นเดียวกัน กำลังงานจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความดันอากาศอัด เมื่อพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุด จะเห็นว่าอัตราหมุนเพิ่มขึ้นตามความดันอากาศอัดที่เพิ่มขึ้น เช่น เดียวกับที่ได้กล่าวแล้วในผลการทดลองเมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รูในหัวข้อ 4.3 จากกราฟในรูปที่ 4.29 ถึง 4.32 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันเมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู โดยพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุด ดังนี้ สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 (ก) และสำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 (ข) สำหรับความสามารถในการผลิตกำลังงาน เมื่อพิจารณาจากกำลังงานสูงสุดที่ผลิตได้ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศที่ใช้ไป 1 กิโลกรัมต่อวินาที แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 (ค)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อลดจำนวนหัวฉีดเหลือ 2 รู เมื่อเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดสำหรับความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 (ก) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
2.0	2800	0.0573	17.5	3.79×10^{-3}
3.0	3600	0.0950	37.3	5.38×10^{-3}
4.0	4100	0.1305	57.0	7.05×10^{-3}

ตารางที่ 4.3 (ข) เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร

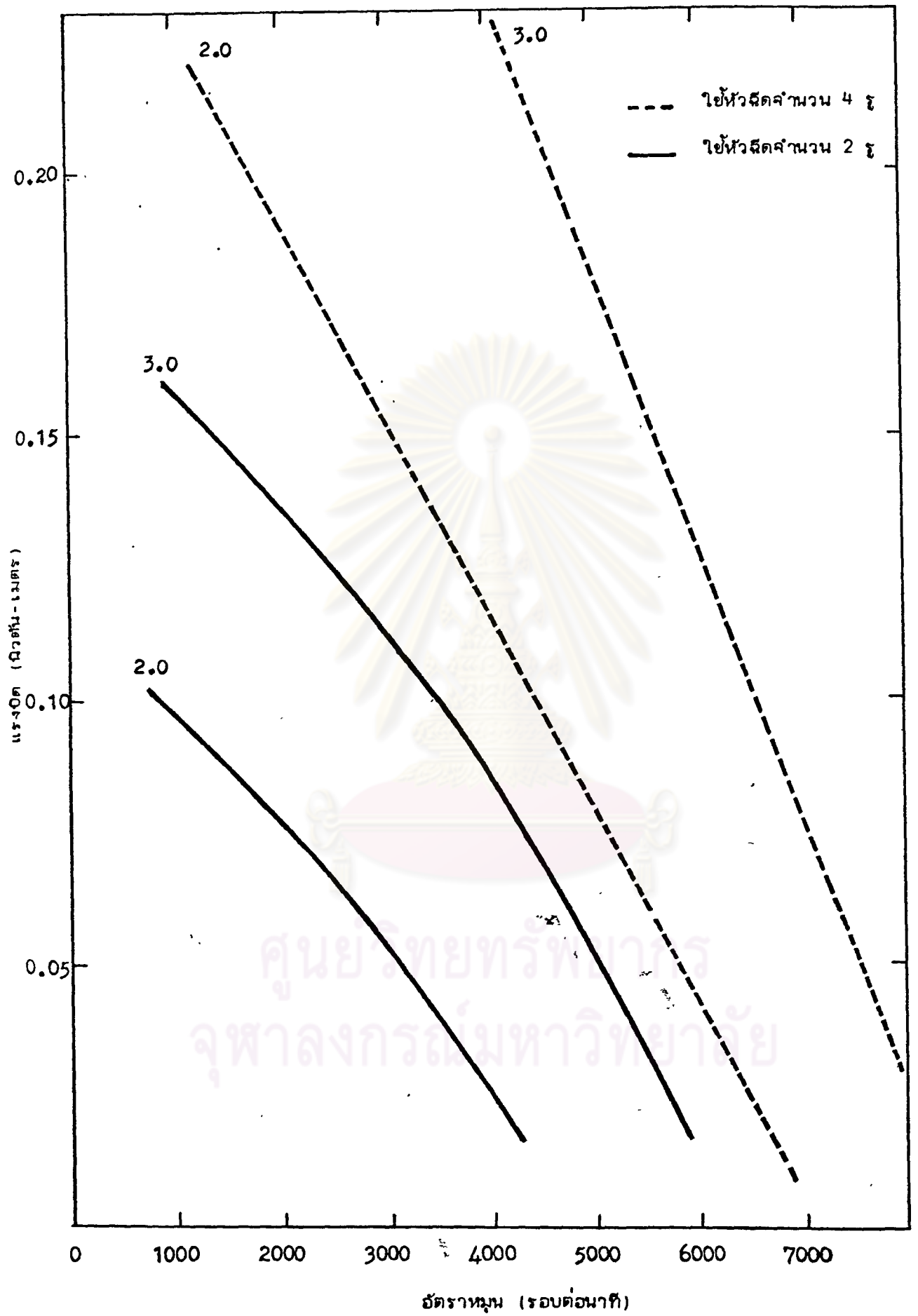
ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	2350	0.0484	12.4	3.70×10^{-3}
2.0	3600	0.1022	39.6	5.69×10^{-3}
3.0	4600	0.1593	77.4	7.52×10^{-3}

ตารางที่ 4.3 (ค) แสดงสมรรถนะในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัดขนาดต่าง ๆ

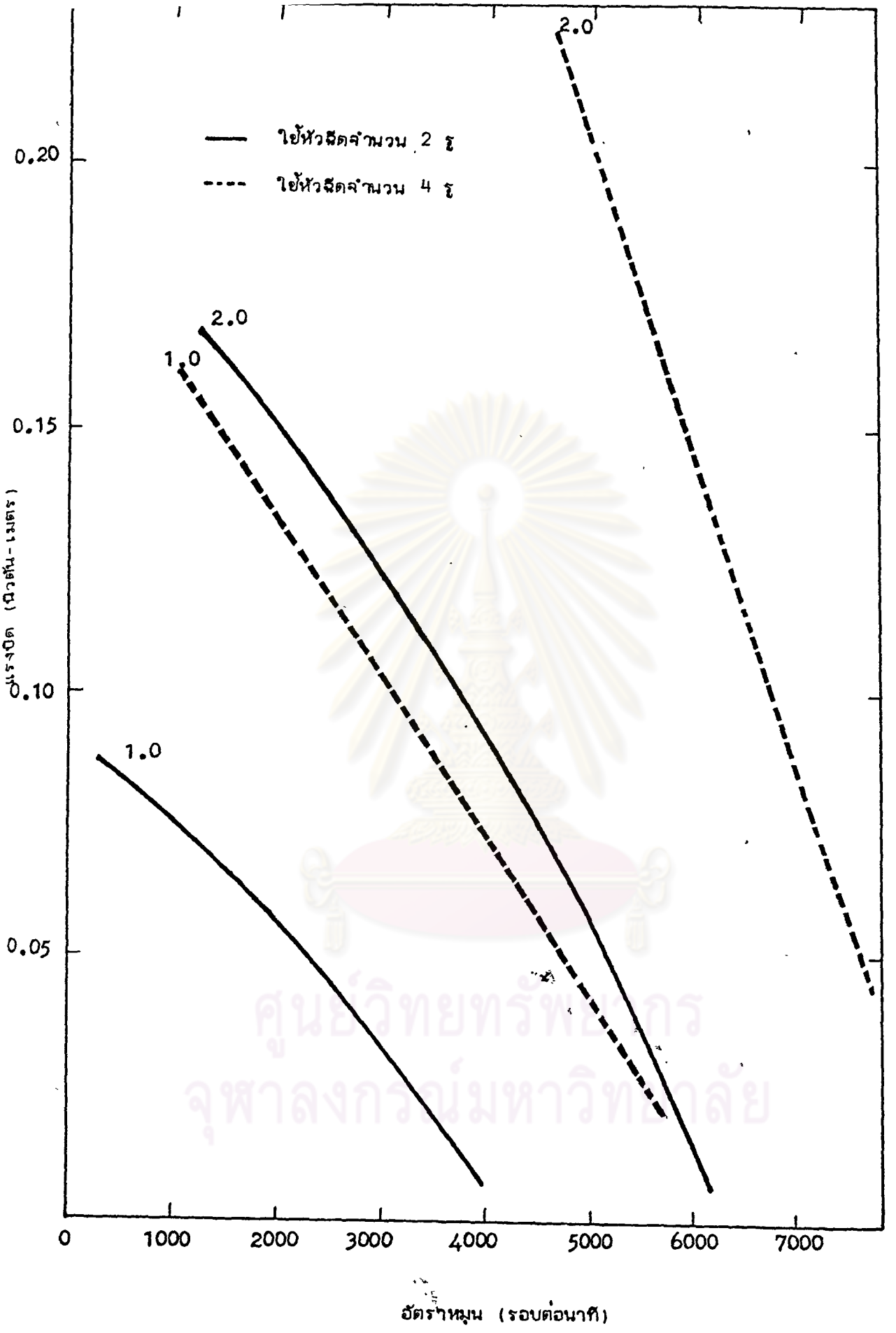
ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	กำลังงานสูงสุดต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ ($\times 10^3$ วัตต์ต่ออัตราไหลของมวล 1 กิโลกรัมต่อวินาที)	
	หัวฉีดขนาด 2.0	หัวฉีดขนาด 2.5
1.0	-	3.35
2.0	4.62	6.96
3.0	6.93	10.29
4.0	8.09	-

จากข้อมูลผลการทดลองวัดแรงบิดและกำลังงาน สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู ที่ได้แสดงผลแล้วในหัวข้อ 4.3 เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลองเมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู เพื่อศึกษาผลของการลดอัตราไหลของมวลของอากาศด้วย การลดจำนวนหัวฉีดที่ใช้ลงครึ่งหนึ่ง โดยใช้ขนาดของหัวฉีดและความดันอากาศอัดเท่ากัน ผลของการเปรียบเทียบแสดงด้วยกราฟมีดังนี้ ผลที่มีต่อแรงบิดแสดงด้วยกราฟของแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.33 เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.34 ส่วนผลที่มีต่อกำลังงานที่เพลาของเครื่องกังหัน ผลจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.35 และ 4.36 เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

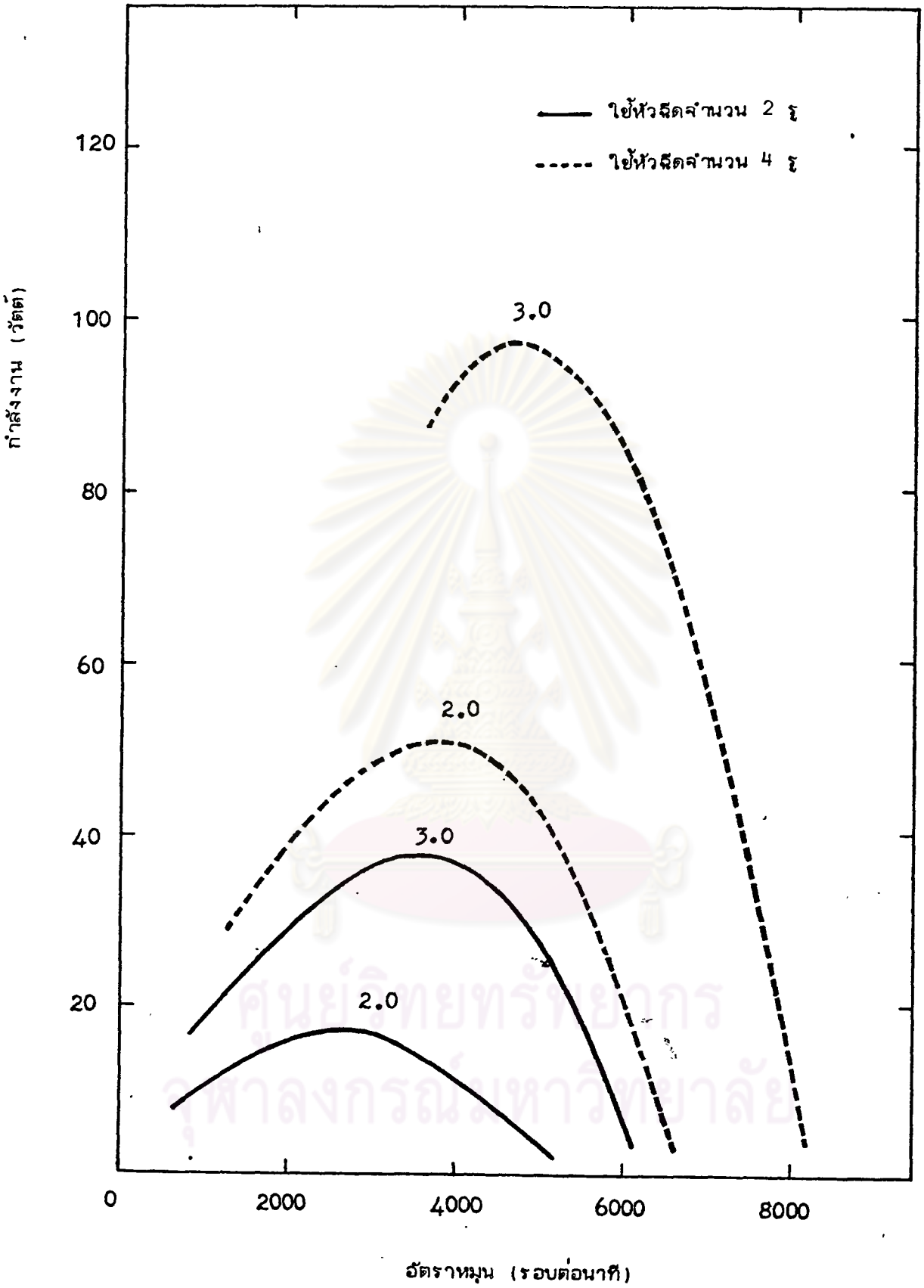
จากกราฟในรูปที่ 4.33 ถึง 4.36 จะเห็นว่า เมื่ออัตราไหลของมวลของอากาศลดลงด้วยการลดจำนวนหัวฉีดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งก็คือ การลดอัตราไหลของมวลของอากาศลงครึ่งหนึ่ง แรงบิดและกำลังงานที่วัดได้จะลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าที่วัดได้เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู ถ้าพิจารณาจากความสามารถในการผลิตกำลังงานจากตารางที่ 4.2 (ง) และ 4.3(ค) ก็จะเห็นว่าความสามารถในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันเมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู ต่ำกว่าเมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู สำหรับหัวฉีดทั้งสองขนาด ตัวอย่างเช่นจากกราฟในรูปที่ 4.32 เมื่อใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราหมุน 3000 รอบต่อนาที เมื่อใช้หัวฉีด 4 รู จะให้แรงบิด 0.1533 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้หัวฉีด 2 รู จะให้แรงบิด 0.0535 นิวตัน-เมตร กำลังงานที่วัดได้ก็เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น จากกราฟในรูปที่ 4.35 เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู จะให้กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 50.0 วัตต์ เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู จะให้กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 17.5 วัตต์ จะเห็นว่ากำลังงานสูงสุดที่วัดได้เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู จะมีค่าประมาณ $\frac{1}{3}$ ของค่าที่วัดได้เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู เท่านั้น เนื่องจากการสูญเสียต่าง ๆ ในเครื่องกังหันบางส่วนจะมีค่าคงที่ และเมื่อเครื่องกังหันมีกำลังงานต่ำ ปริมาณความสูญเสีย



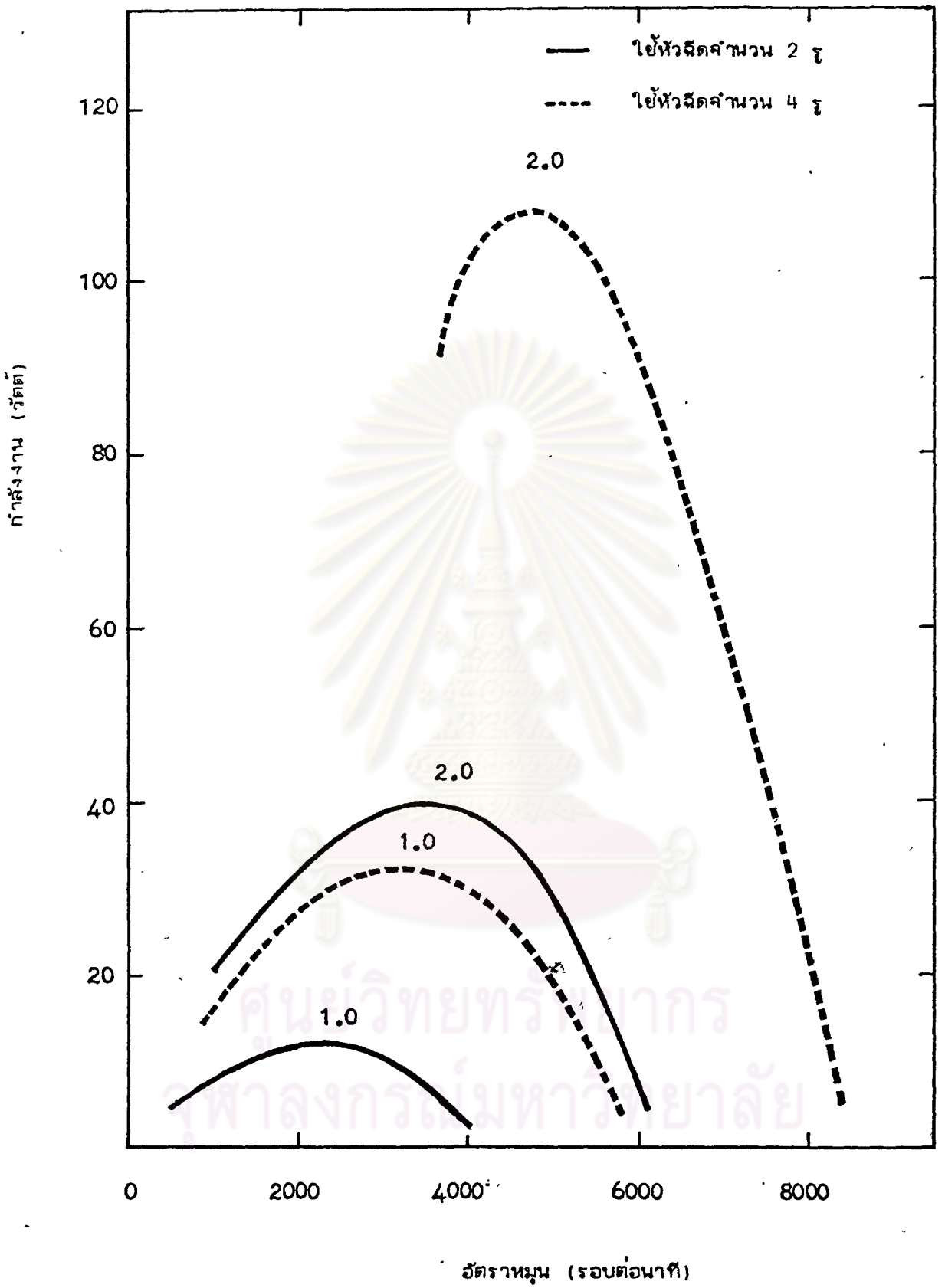
รูปที่ 4.33 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู และ 2 รู สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศ อัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.34 กราฟเปรียบเทียบกำลังงานจากผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู และ 4 รู สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู และ 4 รู สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตรที่ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

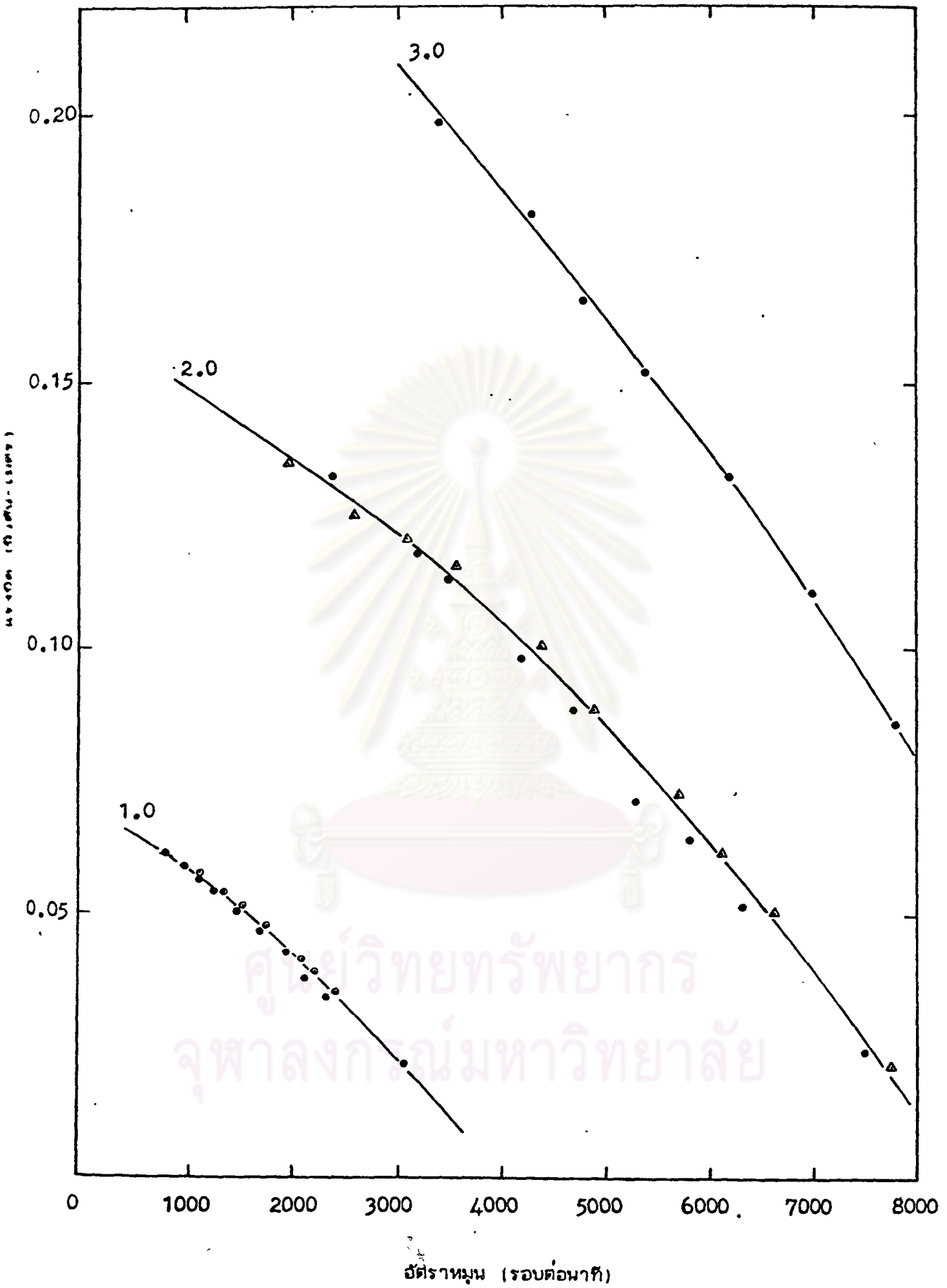


รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้หัวฉีดจำนวน 4 รู และ 2 รู สำหรับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ที่ความดันอากาศอัด 1.0, และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

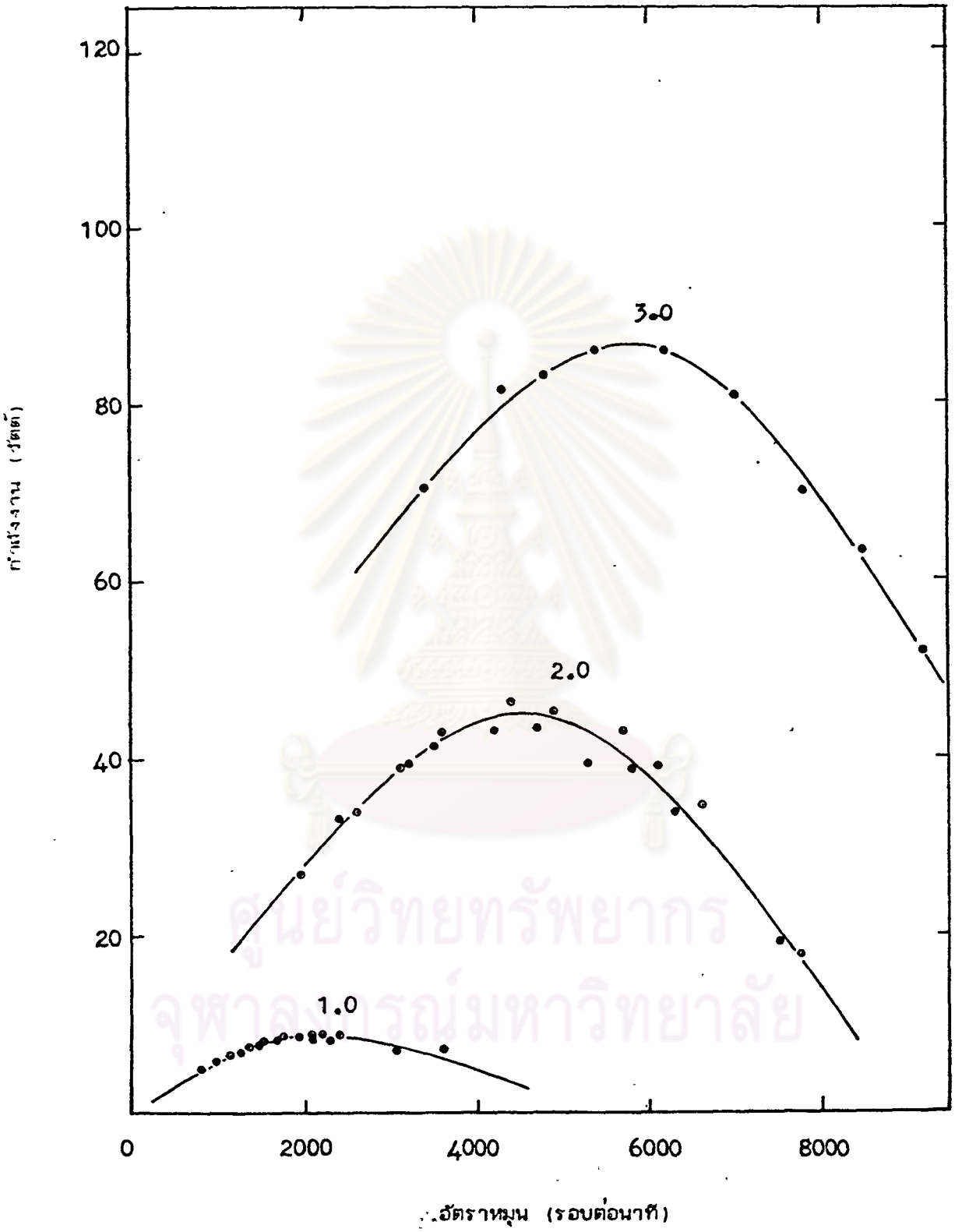
ต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกำลังงานที่เครื่องกังหันผลิตได้ก็จะเป็นปริมาณที่มีค่ามาก นอกจากนี้แล้ว ยังมีการสูญเสียเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากมีจำนวนใบกังหันที่ไม่ได้รับการไหลผ่านของลำอากาศ เพิ่มขึ้นเพราะลดจำนวนหัวฉีดลงจาก 4 รู เหลือเพียง 2 รู ทำให้มีความต้านทานต่อการหมุนมากขึ้น

4.6 ผลการทดลองเมื่อใช้ใบหมุนเพียงหนึ่งแถว

การทดลองใช้ใบหมุนแถวแรกเพียงแถวเดียวในเครื่องกังหันชนิด 2 ขั้นความเร็วที่สร้างขึ้น ได้ทำการทดลองในเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 โดยใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ผลการทดลองวัดแรงบิดและกำลังงานที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงผลด้วยกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนจะเป็นดังรูปที่ 4.37 และระหว่างกำลังงานกับอัตราหมุนจะเป็นดังรูปที่ 4.38 จากกราฟผลการทดลองจะเห็นว่าเส้นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนจะโค้งเล็กน้อย การเพิ่มความดันอากาศอัดทำให้แรงบิดและอัตราหมุนที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุดเปลี่ยนไปในลักษณะเดียวกันกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.3 และ 4.5 จากกราฟในรูปที่ 4.37 และ 4.38 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันโดยพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 (ก) สำหรับความสามารถในการผลิตกำลังงานเมื่อพิจารณาจากกำลังงานสูงสุดที่ผลิตได้ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศที่ใช้ไป 1 กิโลกรัมต่อวินาที แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 (ข)



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุน เมื่อใช้ใบหมุนเพียง 1 แถว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับอัตราหมุน เมื่อใช้ใบหมุนเพียง 1 แถว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความต้องการอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

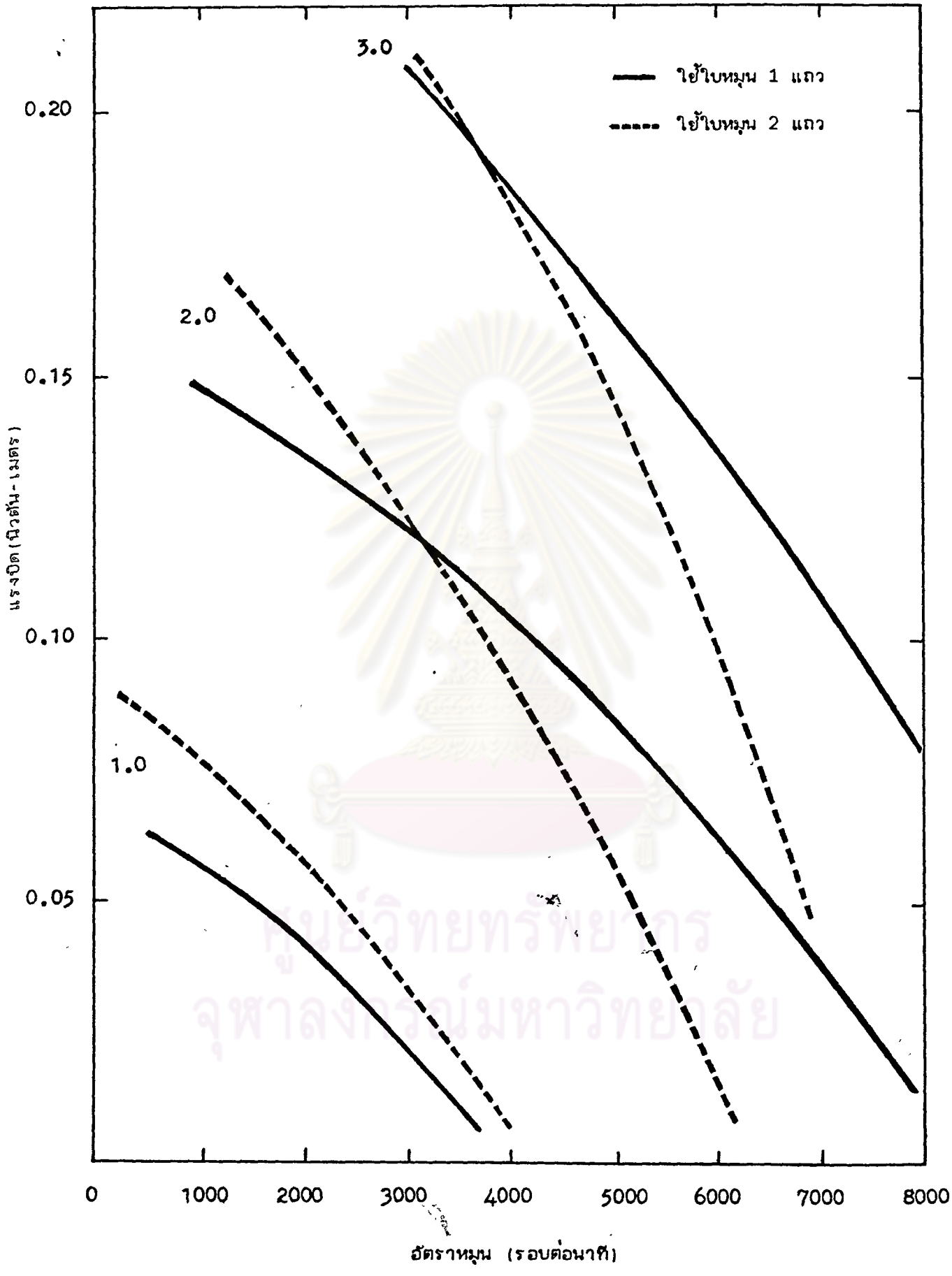
ตารางที่ 4.4 (ก) แสดงผลการทดลองเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้ใบหมุนเพียงหนึ่งแถวโดยใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู และเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดสำหรับความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	2150	0.0395	9.0	2.70×10^{-3}
2.0	4500	0.0908	45.3	5.69×10^{-3}
3.0	5800	0.1403	86.7	7.52×10^{-3}

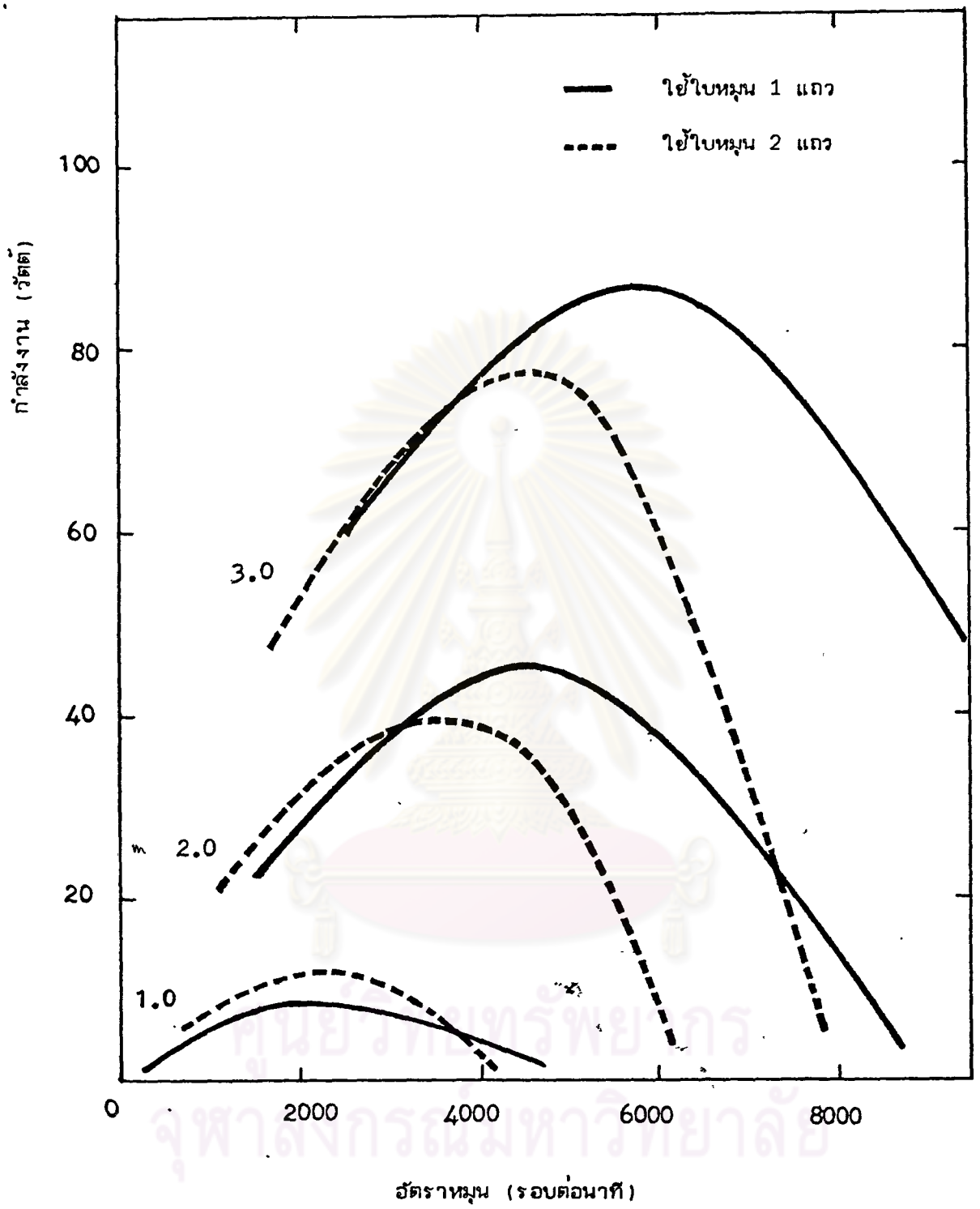
ตารางที่ 4.4 (ข) แสดงสมรรถนะในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เมื่อใช้ใบหมุนหนึ่งแถวและสองแถว โดยใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	กำลังงานสูงสุดต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ ($\times 10^3$ วัตต์ ต่ออัตราไหลของมวล 1 กิโลกรัมต่อวินาที)	
	มีใบหมุน 1 แถว	มีใบหมุน 2 แถว
1.0	2.43	3.35
2.0	7.96	6.96
3.0	11.54	10.29

จากข้อมูลผลการทดลองวัดแรงบิดและกำลังงานของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวนหัวฉีด 2 รู และมีใบหมุน 2 แถว ซึ่งได้แสดงผลไว้ในหัวข้อ 4.5 ในกราฟรูปที่ 4.30 และ 4.32 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้โดยแสดงการเปรียบเทียบด้วยกราฟดังนี้ ผลที่มีต่อแรงบิดจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.39 และผลที่มีต่อกำลังงานที่เพลาของเครื่องกังหันจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.40 จากกราฟรูปที่ 4.39 จะเห็นว่า เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราหมุนเท่ากันเครื่องกังหันแบบที่มีใบหมุน 2 แถว จะให้แรงบิดได้สูงกว่าและเส้นกราฟชันกว่าแบบที่ใช้ใบหมุนแถวเดียว เช่น ที่อัตราหมุน 2000 รอบต่อนาที แบบที่มีใบหมุนแถวเดียวเช่นที่อัตราหมุน 2000 รอบต่อนาที แบบที่มีใบหมุน 1 แถว จะให้แรงบิดเท่ากับ 0.042 นิวตัน-เมตร แบบที่มีใบหมุน 2 แถว จะให้แรงบิดเท่ากับ 0.0565 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราหมุนประมาณ 3000 รอบต่อนาที ทั้งแบบที่มีใบหมุนแถวเดียวและ 2 แถวจะให้แรงบิดเท่ากัน และที่อัตราหมุนต่ำกว่า 3000 รอบต่อนาที แบบใบหมุน 2 แถวให้แรงบิดได้มากกว่า แต่ที่อัตราหมุนสูงกว่า 3000 รอบต่อนาที แบบใบหมุนแถวเดียวให้แรงบิดได้มากกว่า และเมื่อใช้ความดันอากาศอัด 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรก็จะให้ผลในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ที่อัตราหมุนประมาณ 3500 รอบต่อนาที ทั้ง 2 แบบจะให้แรงบิดเท่ากันที่อัตราหมุนต่ำกว่า 3500 รอบต่อนาที แบบที่มีใบหมุน 2 แถวให้แรงบิดดีกว่า และที่อัตราหมุนสูงกว่า 3500 รอบต่อนาที แบบที่มีใบหมุนแถวเดียวให้แรงบิดดีกว่า เมื่อพิจารณากำลังงานที่เพลาจากกราฟรูปที่ 4.40 จะเห็นว่า เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แบบที่มีใบหมุน 1 แถวให้กำลังงานสูงสุดได้สูงกว่าและที่อัตราหมุนสูงกว่าแบบที่มีใบหมุน 2 แถว และที่อัตราหมุนสูงกว่า 3000 รอบต่อนาที และ 3500 รอบต่อนาที ตามลำดับ แบบที่มีใบหมุน 1 แถวจะให้กำลังงานได้สูงกว่าแบบที่มีใบหมุน 2 แถว เมื่อมีอัตราหมุนเท่ากัน สำหรับที่อัตราหมุนต่ำกว่า 3000 และ 3500 รอบต่อนาที ตามลำดับก็จะมีลักษณะตรงกันข้ามและเมื่อใช้ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แบบที่มีใบหมุน 2 แถวจะให้กำลังงานสูงสุดได้มากกว่าและที่อัตราหมุนสูงกว่าแบบที่มีใบหมุน 1 แถว นอกจากนี้แล้ว ในกรณีที่ใช้ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราหมุนสูงกว่า 3000 และ 3500



รูปที่ 4.39 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ระหว่างการใช้ใบหมุน 1 แถว และ 2 แถว โดยใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.40 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังงานของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ระหว่างการใช้ใบหมุน 1 แถว และ 2 แถว โดยใช้หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาจากแรงบิดเท่ากันหรือกำลังงานเท่ากัน จะเห็นว่า แบบที่มีใบหมุน 1 แ มีอัตราหมุนสูงกว่าแบบที่มีใบหมุน 2 แถว และเมื่ออัตราหมุนต่ำกว่า 3000 และ 3500 รอบต่อนาทีตามลำดับก็จะมีลักษณะตรงกันข้าม เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการผลิตกำลังงานที่แสดงในตารางที่ 4.4 (ข) จะเห็นว่าที่ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แบบที่มีใบหมุน 1 แถว มีความสามารถในการผลิตกำลังงานดีกว่าแบบที่มีใบหมุน 2 แถว แต่ที่ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แบบที่มีใบหมุน 2 แถว มีความสามารถในการผลิตกำลังงานดีกว่า จากผลการทดลองที่กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นว่าที่อัตราหมุนต่ำ เครื่องกังหันแบบที่มีใบหมุน 2 แถว จะมีสมรรถนะดีกว่าแบบที่มีใบหมุน 1 แถว และที่อัตราหมุนสูง ๆ แบบที่มีใบหมุน 1 แถวจะมีสมรรถนะดีกว่า โดยทางทฤษฎีแล้วเครื่องกังหันแบบแรงผลักชนิดที่มีใบหมุนแถวเดียวเป็นเครื่องกังหันที่หมุนด้วยอัตราหมุนสูงมาก และอัตราส่วนความเร็วที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 0.49 ดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 1.2.1.1 จากผลการทดลองนี้ก็แสดงให้เห็นว่าสอดคล้องกับทฤษฎี ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้ไม่ได้ใช้ใบหมุนที่ออกแบบสำหรับเครื่องกังหันชนิด 1 แถวก็ตาม

โดยทางทฤษฎีแล้วเครื่องกังหันแบบแรงผลักชนิดรวมความเร็วที่มีใบหมุน 2 แถว จะต้องให้กำลังงานได้ดีกว่าชนิดธรรมดาที่มีใบหมุน 1 แถว (6, 11) แต่จากผลการทดลองนี้ การที่เครื่องกังหันแบบที่มีใบหมุน 2 แถวให้กำลังงานสูงสุดต่ำกว่าเมื่อใช้ใบหมุนเพียงแถวเดียว แสดงว่าแบบที่มีใบหมุน 2 แถว จะต้องมีการสูญเสียค่อนข้างมาก โดยเฉพาะการสูญเสียที่เกิดจากการไหลผ่านใบกังหันทั้ง 3 แถว ซึ่งอาจจะไม่สอดคล้องรับกันพอดี

4.7 ผลการทดลองเครื่องกังหันชนิด 1 ขั้นความเร็ว

เครื่องกังหันชนิด 1 ขั้นความเร็วที่นำมาทดลองวัดแรงบิดและกำลังงานนี้ เป็นเครื่องกังหันที่สร้างขึ้นโดยคณะของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งหะพันธุ์ (27, 28) เพื่อใช้ศึกษาวิจัยความเป็นไปได้ของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานกลโดยใช้กังหันไอความดันต่ำ เครื่องกังหันเครื่องนี้มีลักษณะและขนาดของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อหมุน 109 มิลลิเมตร

ความสูงของใบกังหันประมาณ 10 มิลลิเมตร

ความกว้างของใบกังหันประมาณ 25 มิลลิเมตร

จำนวนใบกังหัน 35 ใบ

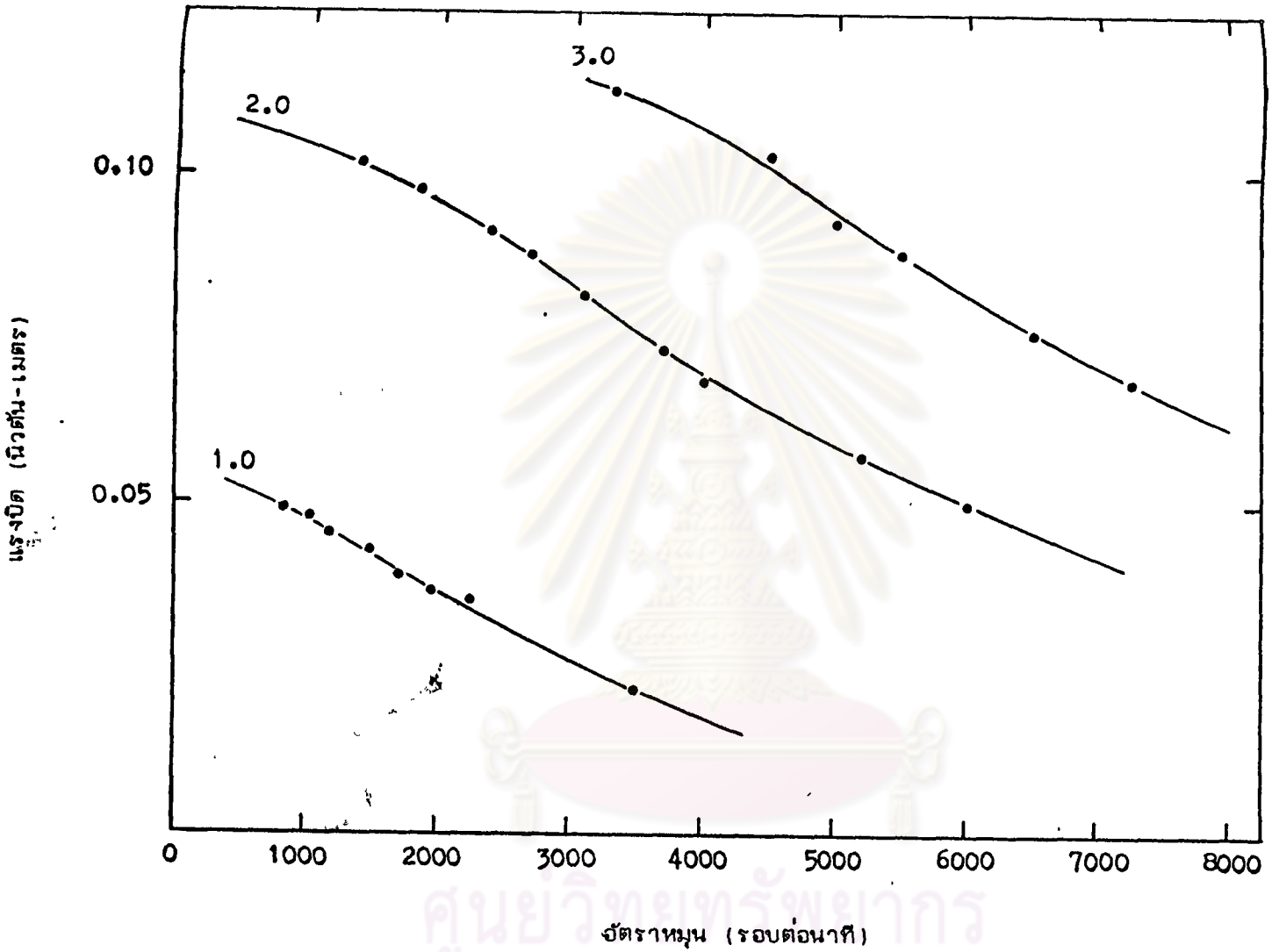
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของวงล้อใบกังหัน 119 มิลลิเมตร

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด 2.5 มิลลิเมตร

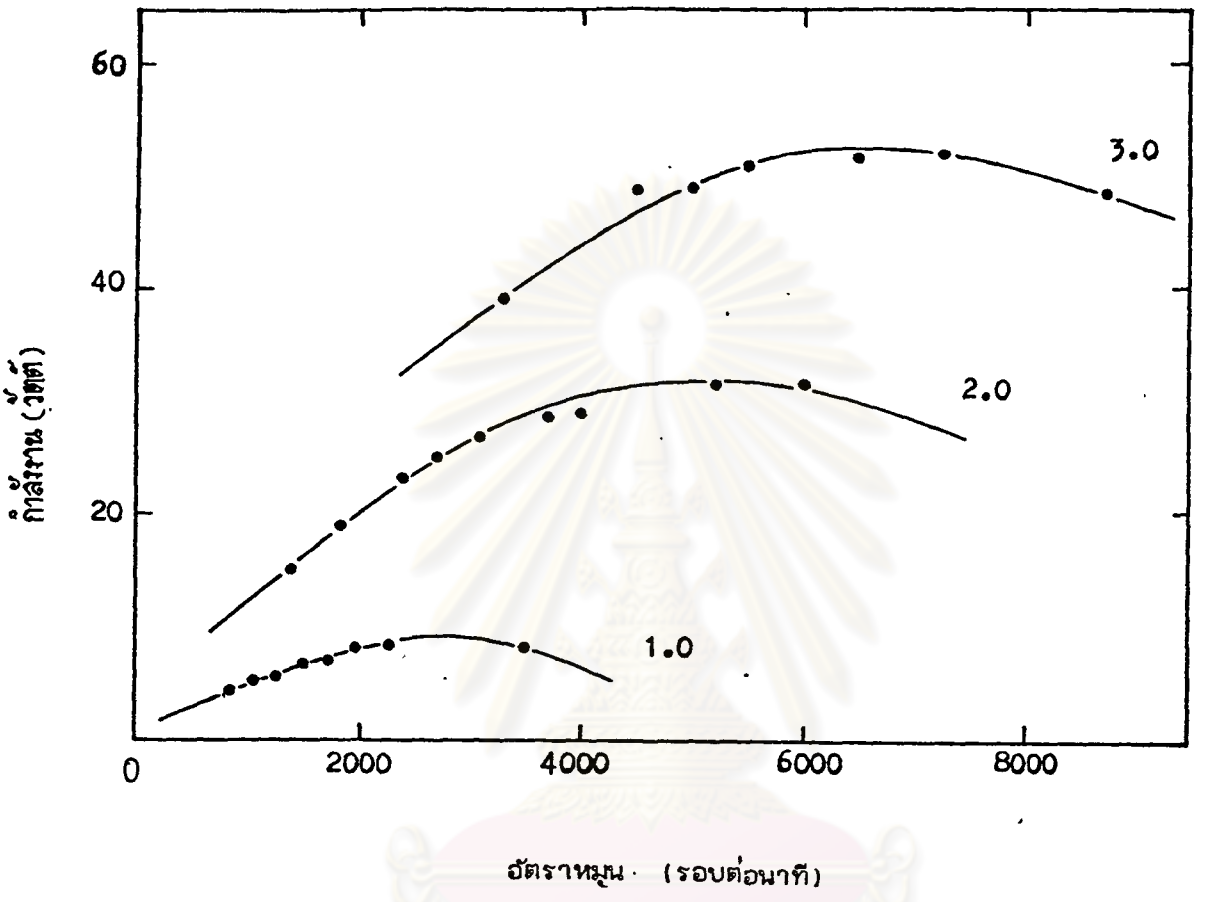
จำนวนหัวฉีด 2 รู

หัวฉีดทำมุม 45° กับระนาบของวงล้อใบกังหัน

การทดลองวัดแรงบิดและกำลังงานได้ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดลองวัดแรงบิดจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.41 และผลการทดลองวัดกำลังงานจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.42 จากกราฟรูปที่ 4.41 จะเห็นว่าเส้นกราฟของแรงบิดกับอัตราหมุนมีลักษณะโค้งไปมาเล็กน้อยและมีความชันน้อย ซึ่งจะแสดงว่าเครื่องกังหันนี้ให้แรงบิดต่ำ เมื่อภาระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก็จะทำให้อัตราหมุนลดลงไปมาก การเพิ่มขึ้นของความดันอากาศอัดก็จะทำให้แรงบิดและอัตราหมุนสูงขึ้น เช่น ที่อัตราหมุน 3500 รอบต่อนาที จะให้แรงบิดเท่ากับ 0.022, 0.763 และ 0.1113 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่แรงบิดเท่ากันจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันอากาศอัดขึ้น 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราหมุนจะสูงขึ้นอย่างมาก เช่นเครื่องกังหันจะให้แรงบิดเท่ากับ 0.10 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีอัตราหมุน 1600 รอบต่อนาที และเมื่อใช้ความดันอากาศอัด 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีอัตราหมุน 4600 รอบต่อนาที เครื่องกังหันนี้เป็นเครื่องกังหันที่หมุนด้วยอัตราหมุนสูงมาก ซึ่งก็เป็นไปตามชนิดของเครื่องกังหันคือ ชนิด 1 ขั้นความเร็วสำหรับกำลังงานที่เพลาของเครื่องกังหัน จากกราฟรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันอากาศอัดที่ใช้กำลังงานของเครื่องกังหันก็จะเพิ่มขึ้นและอัตราหมุนที่เครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยในลักษณะเดียวกันกับผล



รูปที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนของเครื่องกังหันชนิด 1 ขั้น ความเร็ว ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับอัตราหมุน สำหรับเครื่องกังหันชนิด 1 ขั้นความเร็ว ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซ่นติเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองของเครื่องกังหันชนิด 2 ขั้นความเร็ว (มีใบหมุน 2 แถว) เครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 ที่ได้กล่าวแล้ว จากกราฟรูปที่ 4.41 และ 4.42 เมื่อพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุดที่ความดันอากาศอัดแต่ละขนาด จะสรุปลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันนี้เป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเครื่องกังหันชนิด 1 ขั้นความเร็ว เมื่อเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุด ที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงาน (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	2900	0.0384	9.0	3.65×10^{-3}
2.0	5250	0.0568	31.8	5.62×10^{-3}
3.0	6600	0.0750	52.5	7.48×10^{-3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาจากกำลังงานสูงสุดและอัตราไหลของมวลของอากาศ จะได้ว่า ความสามารถในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันนี้เท่ากับ 2.46, 5.65 และ 7.02 ($\times 10^3$ วัตต์ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ 1 กิโลกรัมต่อวินาที) ตามลำดับ และเมื่อลองพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้หัวฉีดจำนวน 2 รู ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.3(ข) และ 4.3 (ค) จะเห็นว่า เครื่องกังหันเครื่องนี้มีความสามารถในการผลิตกำลังงานต่ำกว่าสำหรับทุกค่าความดันอากาศอัดที่ใช้คือ 1.0, 2.0 และ

3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่มีอัตราหมุนสูงกว่ามากและมีแรงบิดต่ำกว่า โดยเฉพาะเมื่อใช้ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันเครื่องนี้จะมีแรงบิดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 เท่านั้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้ใบหมุนเพียงแถวเดียว จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 (ข) จะเห็นว่า เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันทั้งสองเครื่องมีความสามารถในการผลิตกำลังงานเท่า ๆ กัน แต่เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันเครื่องนี้มีความสามารถในการผลิตกำลังงานต่ำกว่าค่อนข้างมาก และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแรงบิดและอัตราหมุนจากผลการทดลองเมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่แสดงในตารางที่ 4.4 (ก) และตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ความดันอากาศอัดเท่ากันแต่ละค่า เครื่องกังหันเครื่องนี้มีแรงบิดต่ำกว่า แต่มีอัตราหมุนสูงกว่า เนื่องจากเครื่องกังหันทั้งสองเครื่องนี้ใช้หัว นิดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 รูเท่ากัน จึงต้องมีอัตราไหลของมวลของอากาศเท่ากันโดยประมาณ และเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้ใบหมุน 1 แถว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงล้อใบกังหันเฉลี่ยโตกว่าของเครื่องกังหันเครื่องนี้ 32 มิลลิเมตร และมีการออกแบบต่างกัน จากผลการเปรียบเทียบเมื่อพิจารณาอย่างกว้าง ๆ อาจจะกล่าวได้ว่า เครื่องกังหันที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงล้อใบกังหันโตกว่าจะให้แรงบิดมากกว่าและมีอัตราหมุนต่ำกว่า โดยหลักการแล้วสำหรับเครื่องกังหันที่มีอัตราเร็วใบกังหันเท่ากัน เครื่องกังหันที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงล้อใบกังหันโตกว่าจะมีอัตราหมุนต่ำกว่าตามความสัมพันธ์ในสมการ (2.55) ดังนั้นอาจจะใช้หลักการนี้ในการลดอัตราหมุนของเครื่องกังหันชนิด 1 ขั้นความเร็วด้วยการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงล้อใบกังหันให้โตขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลกระทบอื่น ๆ หรือความเหมาะสมด้วย สำหรับแรงบิดเนื่องจากแรงบิดของเครื่องกังหันเกิดจากแรงที่กระทำบนใบกังหันและมีค่าเท่ากับแรงกระทำบนใบกังหันคูณด้วยรัศมีของวงล้อใบกังหันเฉลี่ย ถ้ามีแรงกระทำบนใบกังหันเท่ากันแต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงล้อใบกังหันโตขึ้นก็จะให้แรงบิดมากขึ้น

4.8 ผลการทดลองเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีชนิดมีใบหมุน 1 แถว

เครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีชนิดมีใบหมุน 1 แถว ที่นำมาทดลองนี้ เป็นเครื่องกังหันแบบแรงผลักที่สร้างขึ้นโดยคณะของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เล็งหะพันธุ์ เช่นเดียวกับเครื่องกังหันชนิด 1 ขั้น ความเร็วที่ทำการทดลองในหัวข้อ 4.7 เครื่องกังหันนี้มีลักษณะและขนาดของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงใบกังหันขอบนอก 125 มิลลิเมตร

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงใบกังหันขอบใน 80 มิลลิเมตร

จำนวนหัวฉีด 2 รู

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด 2.38 มิลลิเมตร

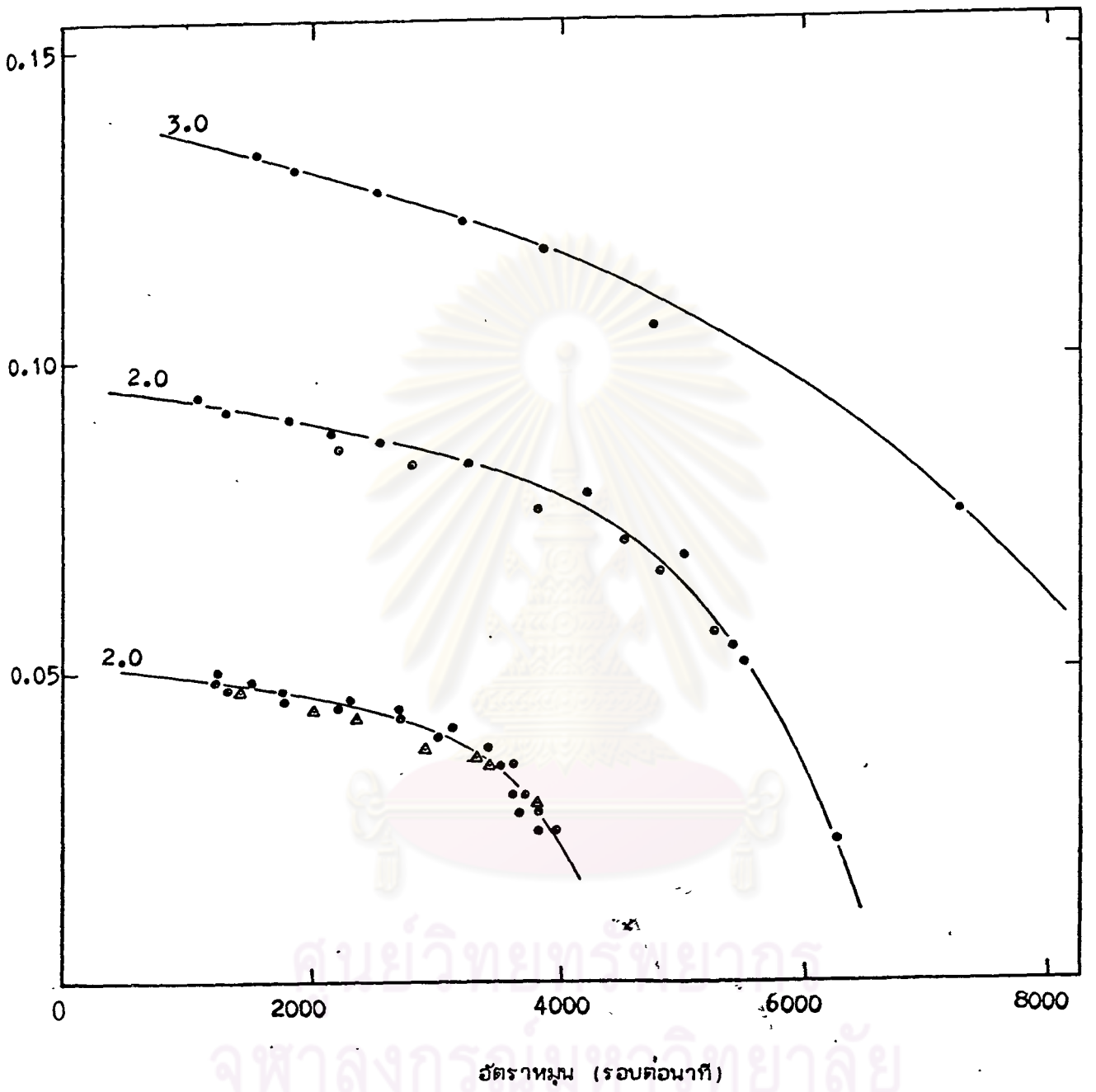
หัวฉีดทำมุมกับแนวเส้นสัมผัสของใบกังหันประมาณ 30 องศา

จำนวนใบกังหัน 16 ใบ

ความกว้างของใบกังหัน 22.5 มิลลิเมตร

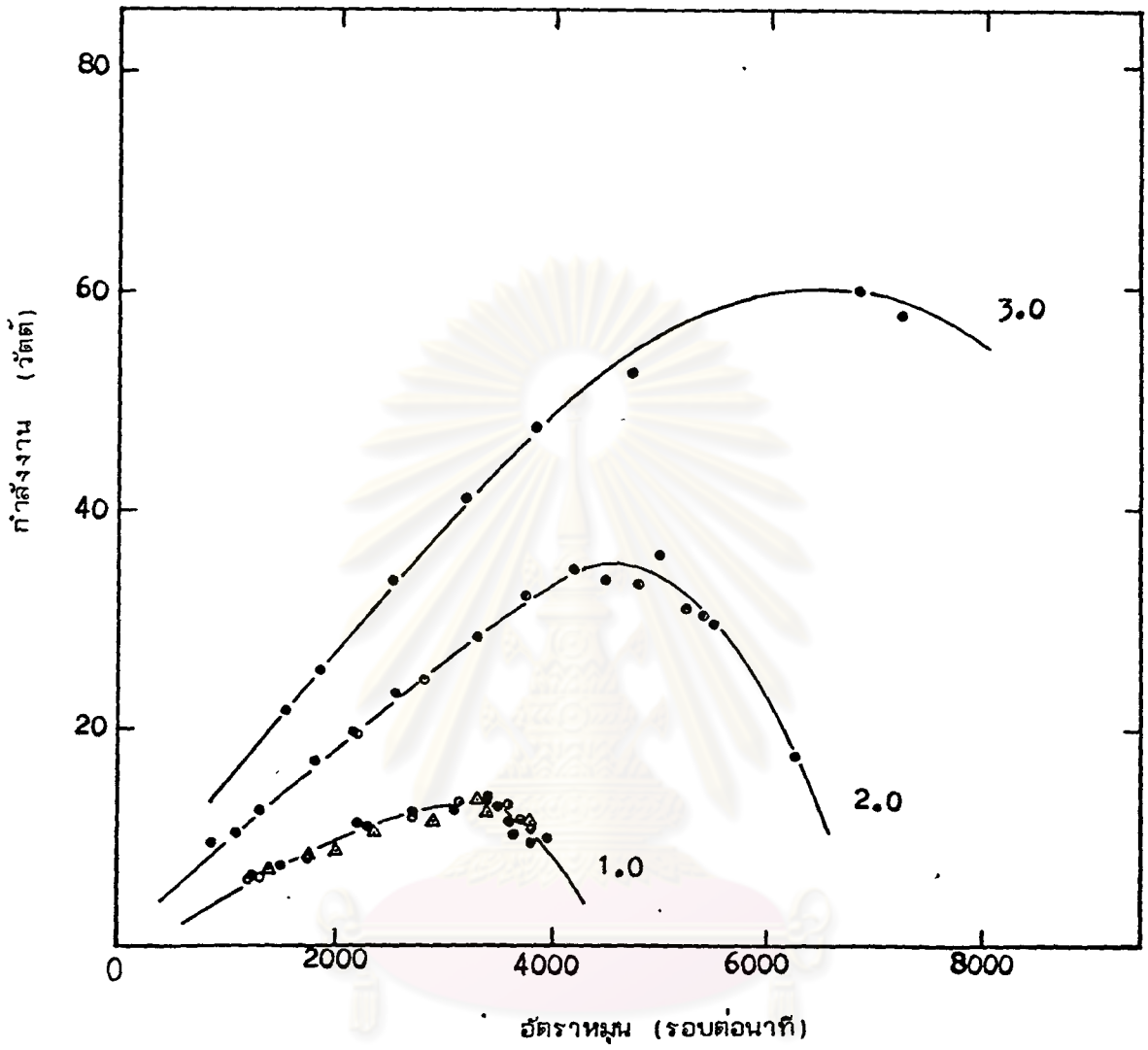
ความสูงของใบกังหัน 12 มิลลิเมตร

การทดลองวัดแรงบิดและกำลังงานได้ทำการทดลองที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดลองวัดแรงบิดจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.43 และผลการทดลองวัดกำลังงานจะเป็นดังกราฟในรูปที่ 4.44 จากกราฟแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.43 จะเห็นว่ากราฟของแรงบิดกับอัตราหมุนเป็นเส้นโค้งลักษณะเดียวกันทั้ง 3 เส้น ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ความดันอากาศอัด 3 ขนาด เมื่อเปรียบกับผลการทดลองในรูปที่ 4.30 และ 4.37จะเห็นว่ากราฟของการทดลองนี้โค้งกว่ามาก และมีลักษณะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่มีอัตราหมุนสูง ๆ เส้นกราฟจะมีความชันมากกว่า ช่วงที่มีอัตราหมุนต่ำ เช่น เมื่อใช้ความดันอากาศอัด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราหมุนต่ำกว่า 4500 รอบต่อนาที โดยประมาณเส้นกราฟจะมีความชันน้อย และที่อัตราหมุนสูงกว่า 4500 รอบต่อนาทีเส้นกราฟจะมีความชันมากกว่ามาก ซึ่งแสดงว่าเมื่อภาระของเครื่องกังหันนี้สูงกว่า



รูปที่ 4.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับอัตราหมุนของเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมี ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับอัตราหมุน สำหรับเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมี ที่ความดันอากาศอัด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ระดับหนึ่งแล้วอัตราหมุนของเครื่องจะลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นคือเครื่องกังหันมีแรงบิดต่ำ สำหรับกำลังงานที่เพลาเครื่องกังหันจากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 4.44 จะเห็นว่าจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุดจะมีอัตราหมุนสูงขึ้นเมื่อใช้ความดันอากาศอัดมากขึ้น เช่นเดียวกันกับผลการทดลองอื่นที่ได้กล่าวมาแล้วและด้วยเหตุผลเดียวกัน และเมื่อเครื่องกังหันมีอัตราหมุนสูงกว่าอัตราหมุนที่ให้กำลังงานสูงสุดแล้วกำลังงานของเครื่องกังหันจะลดลงเร็วกว่าเมื่อมีอัตราหมุนต่ำกว่า จากกราฟผลการทดลองรูปที่ 4.43 และ 4.44 เมื่อพิจารณาจากจุดที่เครื่องกังหันให้กำลังงานได้สูงสุด จะสรุปลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันนี้ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมี เมื่อเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุด ที่ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ความดันอากาศอัด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)	อัตราหมุน (รอบต่อนาที)	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	อัตราไหลของมวลของอากาศอัด (กิโลกรัมต่อวินาที)
1.0	3250	0.0380	13.6	3.27×10^{-3}
2.0	4550	0.0715	35.0	4.95×10^{-3}
3.0	6500	0.0880	60.0	6.61×10^{-3}

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาจากกำลังงานสูงสุดและอัตราไหลของมวลของอากาศจะได้ว่า ความสามารถในการผลิตกำลังงานของเครื่องกังหันนี้เท่ากับ 4.16 , 7.07 และ

9.08 ($x10^3$ วัตต์ต่ออัตราไหลของมวลของอากาศ 1 กิโลกรัมต่อวินาที) เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องกังหันฮ่นิด 1 ขั้นความเร็วในหัวข้อ 4.7 จะเห็นว่า เครื่องกังหันเครื่องนี้มีความสามารถในการผลิตกำลังงานสูงกว่าสำหรับทุกค่าความดันอากาศอัดที่ใช้คือ 1.0, 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับอัตราหมุนนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และสำหรับแรงบิด เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันทั้งสองมีแรงบิดเท่า ๆ กัน และเมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 2.0 และ 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีจะมีแรงบิดสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากเครื่องกังหันทั้งสองเครื่องนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงล้อใบกังหันใกล้เคียงกัน จึงอาจจะสรุปได้ว่าเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีมีสมรรถนะสูงกว่าฮ่นิด 1 ขั้นความเร็วที่เป็นแบบไหลตามแนวแกน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้ใบหมุน 1 แถว ที่แสดงในตารางที่ 4.4 (ก) และ 4.4 (ข) จะเห็นว่า เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีนี้มีความสามารถในการผลิตกำลังงานสูงกว่า มีอัตราหมุนสูงกว่า แต่มีแรงบิดต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมี มีความสามารถในการผลิตกำลังงานต่ำกว่าเล็กน้อย มีอัตราหมุนใกล้เคียงกัน แต่มีแรงบิดต่ำกว่า เมื่อใช้ความดันอากาศอัดขนาด 3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีมีความสามารถในการผลิตกำลังงานต่ำกว่า มีอัตราหมุนสูงกว่า และมีแรงบิดต่ำกว่า แต่เนื่องจากเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้ใบหมุน 1 แถว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงล้อใบกังหันเฉลี่ยโตกว่าเล็กน้อย และจากการเปรียบเทียบดังกล่าว อาจจะกล่าวได้ว่าเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีมีสมรรถนะในการผลิตกำลังงานไม่ด้อยกว่าเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้ใบหมุน 1 แถว โดยที่มีอัตราหมุนสูงกว่าแต่มีแรงบิดต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเครื่องกังหันทั้ง 3 แบบนี้มีการออกแบบที่ต่างกันมาก จึงไม่อาจสรุปผลการเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน ซึ่ง

เครื่องกังหันทั้ง 3 แบบที่นำมาเปรียบเทียบกันนี้ต่างก็มีการสูญเสียอย่างเห็นได้ชัดที่ทำให้เครื่องกังหันทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร กล่าวคือ เครื่องกังหันเครื่องที่ 2 ที่ใช้ใบหมุน 1 แถวนั้น ใบกังหันไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับใช้ในเครื่องกังหันแบบ 1 ขั้นความเร็ว เครื่องกังหันชนิด 1 ขั้นความเร็วมีมุมของหัวฉีดโตมากประมาณ 45 องศา ซึ่งโตเกินไปทำให้การเปลี่ยนทิศทางของลำอากาศเมื่อไหลผ่านใบกังหันได้ไม่มากเท่าที่ควร และจำนวนใบกังหันอาจจะน้อยเกินไป สำหรับเครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีก็เช่นเดียวกัน ซึ่งมีมุมของหัวฉีดค่อนข้างโต คือประมาณ 30 องศา และจำนวนใบกังหันน้อยไปคือมีเพียง 16 ใบ ทำให้ระยะห่างระหว่างใบมากเกินไป เกิดการสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านใบกังหันไม่เต็มช่องทางผ่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย