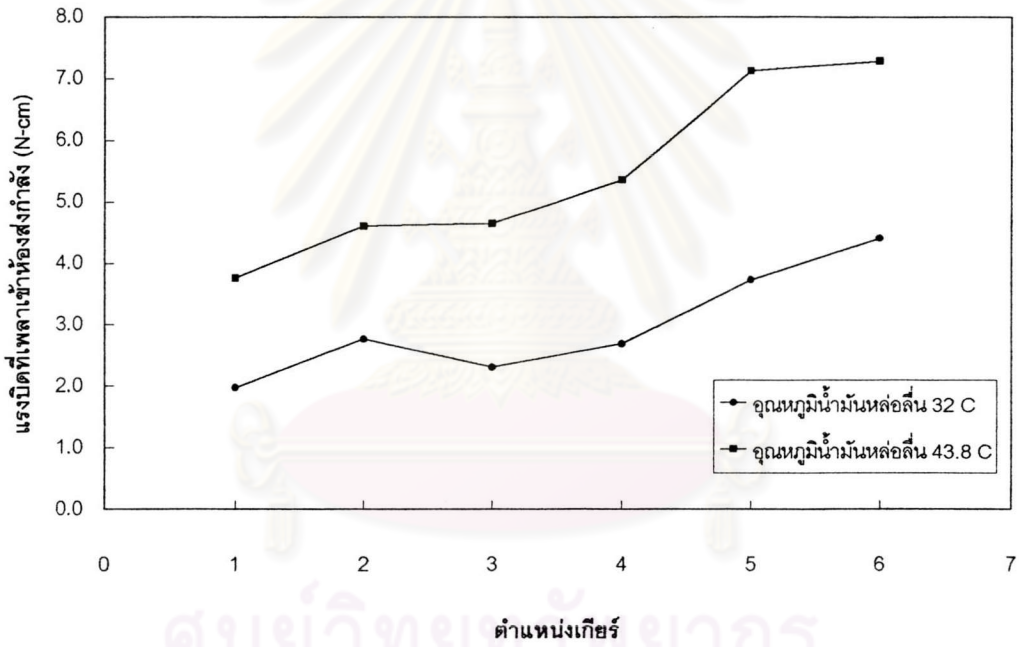
บทที่ 6

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

6.1 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง

การทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง เป็นการวัดแรงบิดน้อยที่สุดที่ป้อนเข้าสู่เพลาเข้าห้องส่งกำลังแล้วทำให้เพลาล้อเริ่มหมุน ซึ่งแรงบิดนี้จะมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลังนั่นเอง



รูปที่ 6.1 ผลของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นต่อแรงเสียดทานสถิตในห้องส่งกำลัง

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.1 แรงเสียดทานสถิตในรูปของแรงบิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลัง สอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา [8] ที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้ำมันหล่อลื่นจะเหลวมากขึ้น ค่าความหนืดต่ำลงทำให้ความสามารถในการหล่อลื่นลดลง นอกจากนี้ผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลถึงขนาดของเฟืองเพลา หรือชิ้นส่วนกลไกอื่นๆ ภายในห้องส่งกำลังที่จะขยายขึ้น ทำให้ช่องว่างที่น้ำมันหล่อลื่นจะแทรกเข้าไปอยู่เพื่อช่วยในการหล่อลื่นลดลง ทำให้แรงบิดที่วัดได้มีค่าสูงกว่าในกรณีที่อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นต่ำ

เมื่อพิจารณาตามตำแหน่งเกียร์พบว่า แรงเสียดทานสถิตมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อตำแหน่งเกียร์เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากตำแหน่งเกียร์ต่ำหรือสูงนั้นเป็นไปตามอัตราทดเกียร์ จึงกล่าวได้ว่าแรงเสียดทานสถิตมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามอัตราทดเกียร์ อนึ่งค่าอัตราทดเกียร์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

6.2 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง

การทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง เป็นการทดลองเพื่อวัดกำลังที่เครื่องยนต์ให้ออกมาในขณะที่ยังไม่มีภาระที่เพลาล้อ ดังนั้นกำลังที่เครื่องยนต์ให้ออกมานั้นจะเกิดจากการสูญเสียต่างๆ ภายในระบบส่งกำลัง เช่น การลื่นของสายพาน และแรงเสียดทานที่ชิ้นส่วนต่างๆ ภายในห้องส่งกำลัง ดังที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในบทที่ 2 นอกจากนี้ยังได้ทดลองเพื่อศึกษาการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะในกรณีที่ไม่มีภาระที่เพลาล้ออีกด้วย

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ฉ.3-ฉ.8 และดังแสดงในรูปที่ 6.2-6.9 ได้แบ่งการพิจารณาออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

6.2.1. กำลังเครื่องยนต์

จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับกำลังเครื่องยนต์ (ซึ่งก็คือกำลังสูญเสียนั่นเอง) พบว่ากำลังสูญเสียที่วัดได้จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์และจะเป็นเช่นเดียวกันนี้ทุกเกียร์ กำลังสูญเสียมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.2-0.42 กิโลวัตต์ โดยที่ค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเร็วรอบประมาณ 3600 รอบต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกำลังสูญเสียในแต่ละเกียร์ดังแสดงในรูปที่ 6.8 พบว่าเส้นกราฟวางทับซ้อนกันไม่เป็นระเบียบไม่สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของกำลังสูญเสียในแต่ละอัตราทดเกียร์ได้อย่างชัดเจน

6.2.2. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ

ในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2800-3600 รอบต่อนาทีที่ได้ทำการทดลองนี้ พบว่า ในทุกๆ เกียร์ค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.05-1.37 ลิตรต่อชั่วโมง แต่ค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่ได้จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2.25-4 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเนื่องจากในขณะที่ค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังเครื่องยนต์ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยตามสมการที่ 2.1 ซึ่งปริมาณที่

เพิ่มขึ้นของค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะน้อยกว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องยนต์ ทำให้การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงเป็นไปตามสมการที่ 2.4

จากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาทีซึ่งมีกำลังสูญเสียมากที่สุดนั้น จะมีค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุดด้วย อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะในแต่ละเกียร์ดังแสดงในรูปที่ 6.9 พบว่าเส้นกราฟวางทับซ้อนกันไม่เป็นระเบียบเหมือนในกรณีของกำลังสูญเสีย ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะในแต่ละอัตราทดเกียร์ได้

6.2.3 ตัวแปรที่มีผลต่อกำลังสูญเสีย

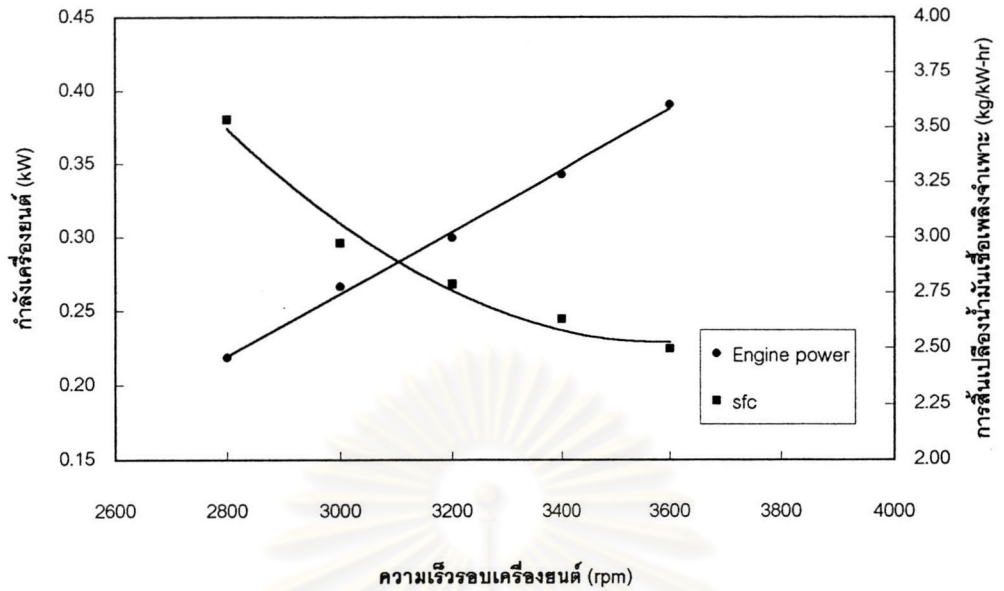
กำลังสูญเสียที่ทดลองได้นี้มาจากกำลังเครื่องยนต์ที่ใช้เอาชนะกำลังสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินในขณะไม่มีภาระที่เพลาล้อ ได้แก่ การลื่นของสายพาน และความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่างๆ ภายในห้องส่งกำลัง จากผลการทดลองที่พบว่ากำลังสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ ทำให้พอจะวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อกำลังสูญเสียได้ ดังนี้

1. ความเร็วรอบเครื่องยนต์

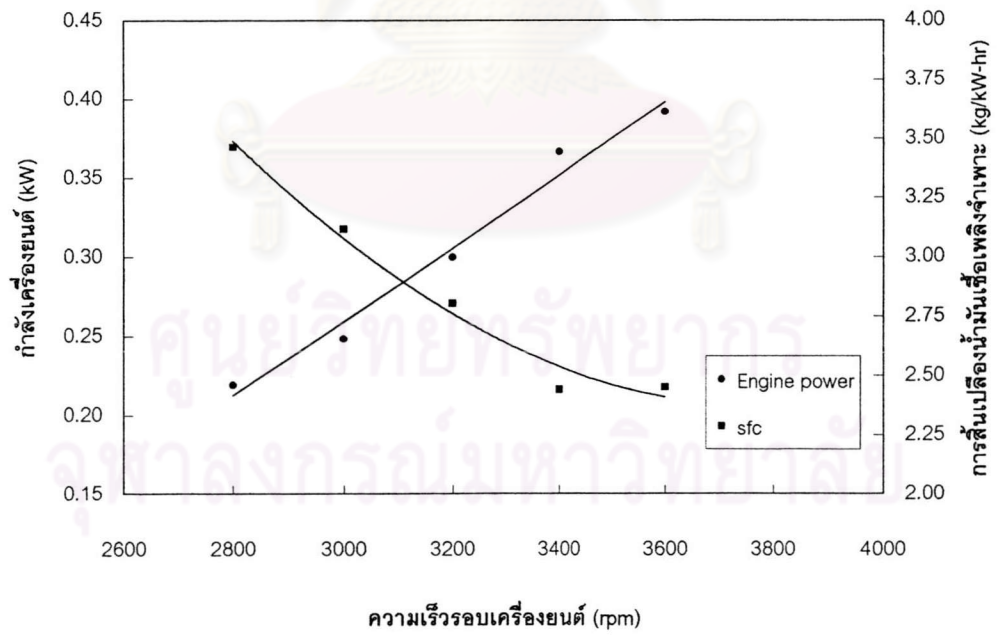
จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ความเร็วรอบของเฟืองตัวขับที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการสูญเสียของเฟืองและตลับลูกปืน การสูญเสียเนื่องจากการกลิ้ง (Rolling loss) และการสูญเสียเนื่องจากการหมุน (Windage loss) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบหมุนของเฟืองตัวขับเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วรอบหมุนของเฟืองเพิ่มตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ส่วนการสูญเสียเนื่องจากการเลื่อน (Sliding loss) จะลดลงเมื่อความเร็วรอบหมุนของเฟืองเพิ่มขึ้น แต่จะมีปริมาณที่น้อยกว่าการสูญเสียจากการกลิ้งและการสูญเสียจากการหมุน นอกจากนี้แล้วการสูญเสียของตลับลูกปืนเม็ดกลมจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นกำลังสูญเสียโดยรวมจึงเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์

2. อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ชิ้นส่วนต่างๆ ภายในห้องส่งกำลังเช่น เพลา เฟือง ตลับลูกปืน โซ่ และเฟืองโซ่จะหมุนเร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลังเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา [8] พบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการส่งกำลังลดลง หรือกำลังสูญเสียภายในห้องส่งกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นนั่นเอง ที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้นค่าความหนืดของน้ำมันจะลดลง ทำให้ความสามารถในการหล่อลื่นลดลง

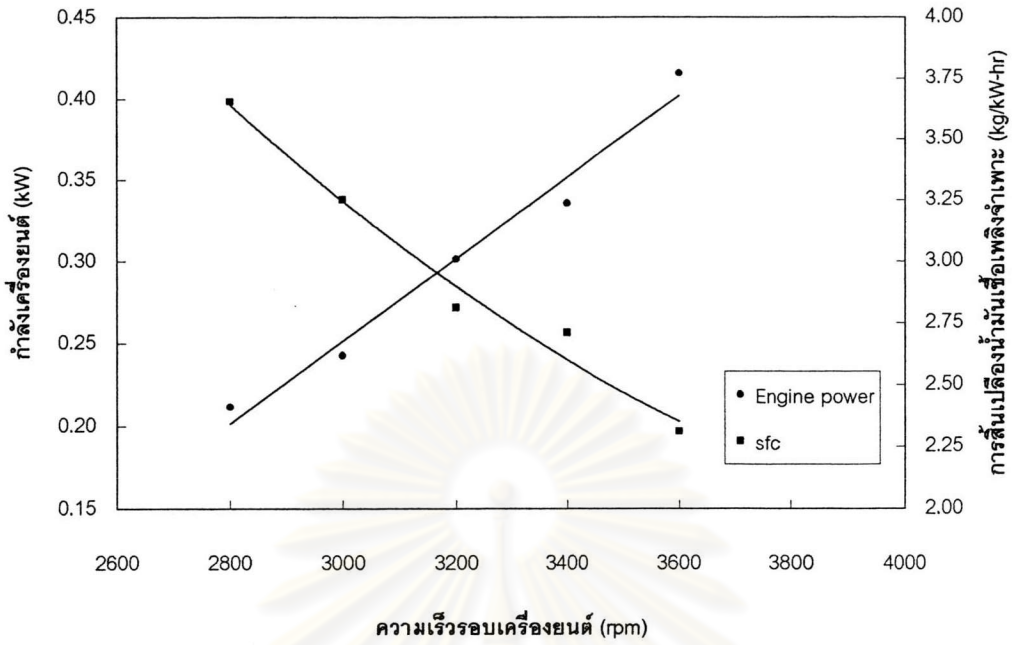


รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 1

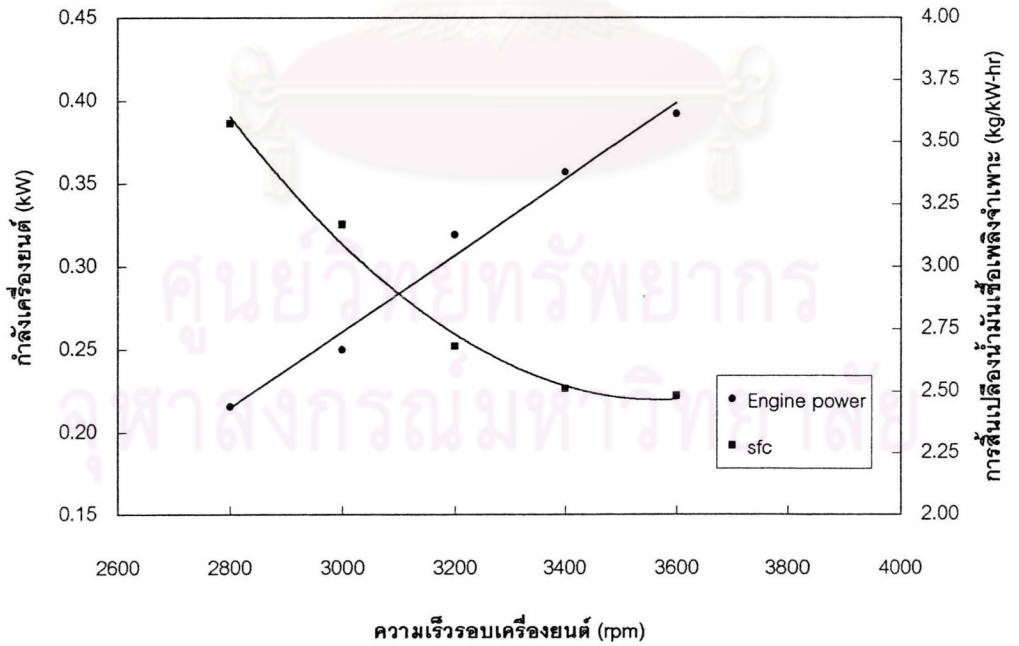


รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 2

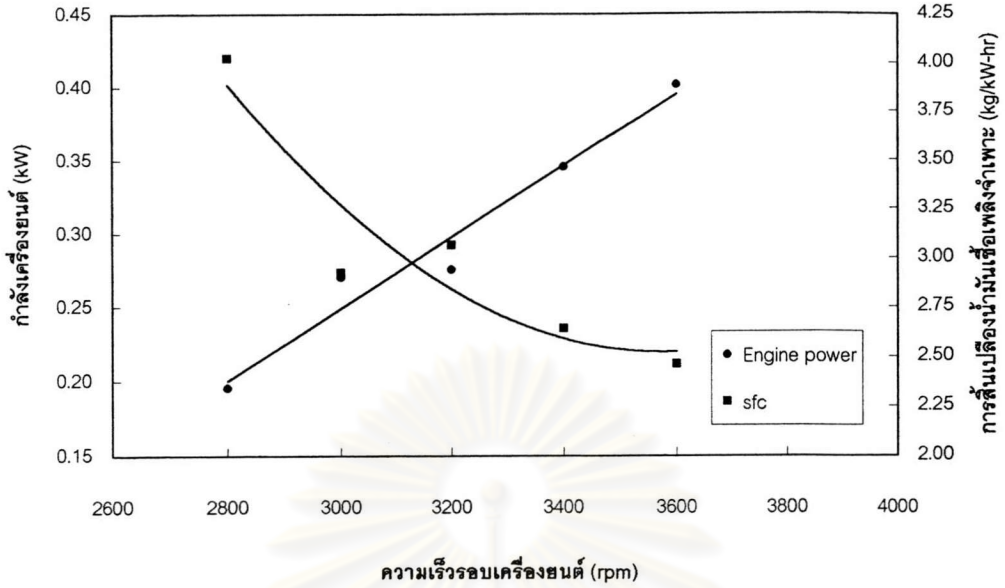
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



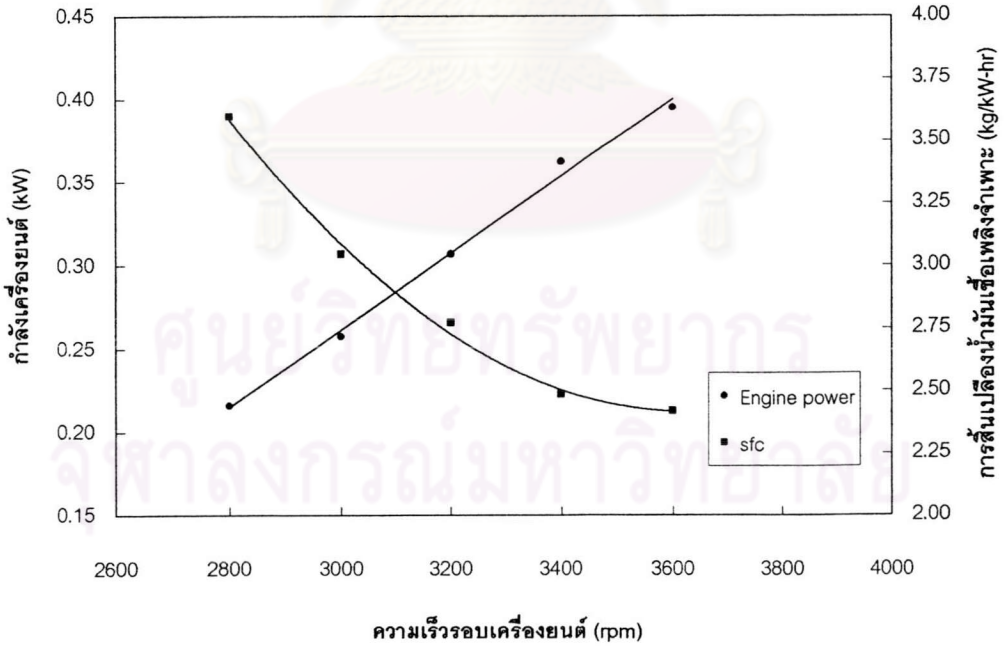
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 3



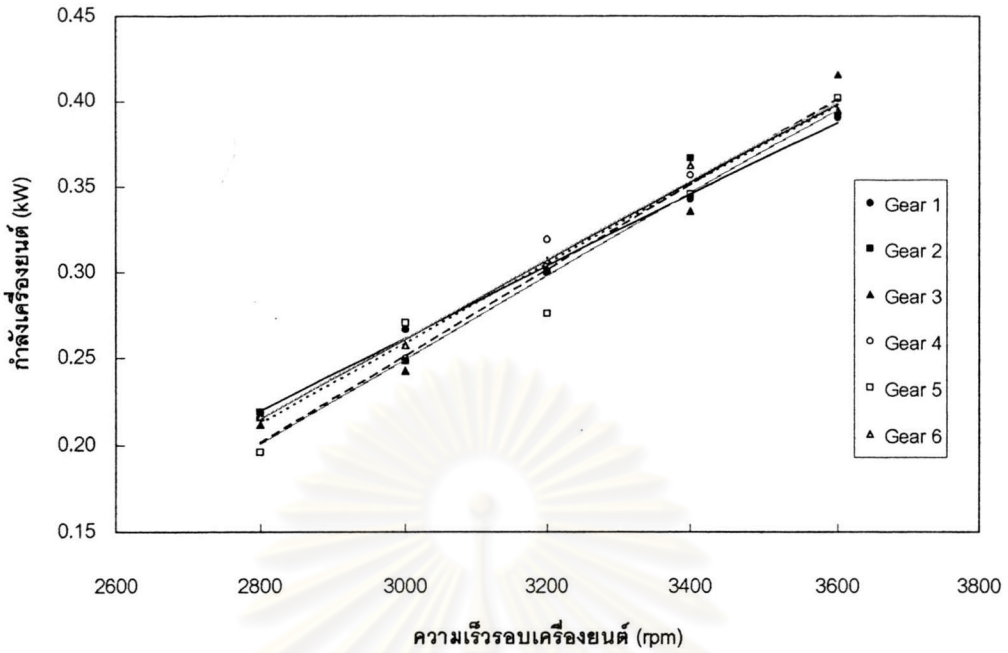
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 4



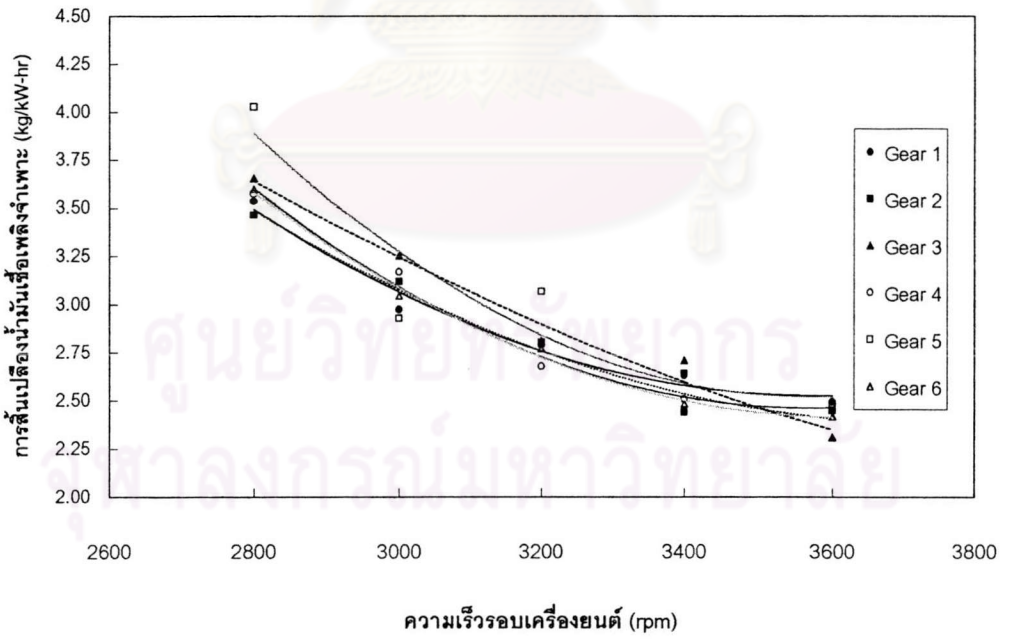
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 5



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 6



รูปที่ 6.8 กำลังสูญเสียที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ในแต่ละเกียร์



รูปที่ 6.9 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ในแต่ละเกียร์

6.3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัดประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง

การทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลังนั้น เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการส่งกำลังในกรณีที่ให้ภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะที่เกิดจากการต่อพ่วงรถไถพรวนดินด้วยอุปกรณ์การเกษตร 3 ชนิด คือ รถพ่วง ไถหัวหมู และล้อพรวนดิน โดยรถพ่วงนั้นทำการทดลองตั้งแต่เกียร์ 1-6 ไถหัวหมูจะทำการทดลองตั้งแต่เกียร์ 1-3 และล้อพรวนดินทำการทดลองในเกียร์ 1 และ 2 เท่านั้น โดยผลการทดลองในกรณีของรถพ่วง และไถหัวหมู แสดงไว้ในรูปที่ 6.10-6.39 และรูปที่ 6.40-6.54 ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองในกรณีของล้อพรวนดินนั้น แสดงไว้ในรูปที่ 6.55-6.59 โดยจะเป็นการแสดงเฉพาะที่เกียร์ 1 เท่านั้น เนื่องจากว่าการทดลองในกรณีของล้อพรวนดินที่เกียร์ 2 นั้นไม่สามารถทำได้ เพราะขณะที่กำลังเพิ่มภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อเพื่อไปให้ถึงค่าของภาระที่ได้กำหนดไว้สำหรับกรณีล้อพรวนดินนั้นเครื่องยนต์ได้ดับเสียก่อน นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเมื่อให้ภาระเป็นลักษณะของการต่อพ่วงอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วด้วย

ในส่วนของการอภิปรายได้ทำการพิจารณาเป็น 3 กรณี ตามลักษณะของภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อ โดยในกรณีแรกเป็นการให้ภาระตามลักษณะของการลากรถพ่วง กรณีที่สองเป็นการให้ภาระตามลักษณะของการติดไถหัวหมู และกรณีที่สามเป็นการให้ภาระตามลักษณะของการสวมล้อพรวนดินเข้าที่เพลาล้อ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.3.1. อภิปรายผลของการให้ภาระตามลักษณะของภาระที่เกิดจากการลากรถพ่วง

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.10-6.39 เมื่อเพิ่มภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น ความเร็วรอบเครื่องยนต์จะลดลง ทำให้ความเร็วรอบเพลาล้อลดลงด้วย แต่กำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้นเป็นไปตามสมการที่ 2.1 และ 2.2 เป็นเช่นนี้ทุกๆ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 จากผลการทดลองในตารางที่ ฉ.9-ฉ.14 ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุด ตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 มีค่าเป็น 43.60 62.94 64.35 70.56 74.62 และ 78.44% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 2800 2800 3000 3000 และ 3400 รอบต่อนาทีตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำจะมีประสิทธิภาพการส่งกำลังสูง นั่นคือมีกำลังสูญเสียต่ำ สอดคล้องกับการทดลองในส่วนของการวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง นอกจากนี้แล้วประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุดในแต่ละเกียร์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งเกียร์จากน้อยไปหามาก จึงคาดว่าประสิทธิภาพการส่งกำลังน่าจะแปรผันตามอัตราทดเกียร์ คือเมื่ออัตราทดเกียร์เพิ่มขึ้นหรือตำแหน่งเกียร์สูงขึ้น ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตาม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการที่ 2.3 จะพบความสัมพันธ์ของตัวแปร ดังนี้

$$\eta = \frac{2\pi N_a T_{aT}/60}{2\pi N_e T_e/60} \times 100$$

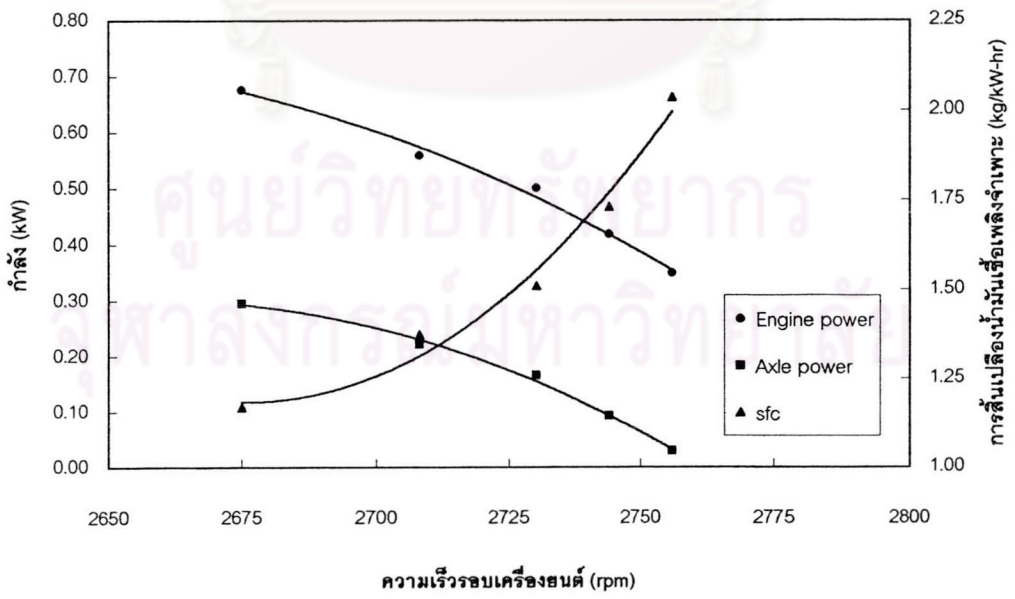
$$\eta = \frac{N_a T_{aT}}{N_e T_e} \times 100$$

$$\eta = R_G \times \frac{T_{aT}}{T_e} \times 100$$

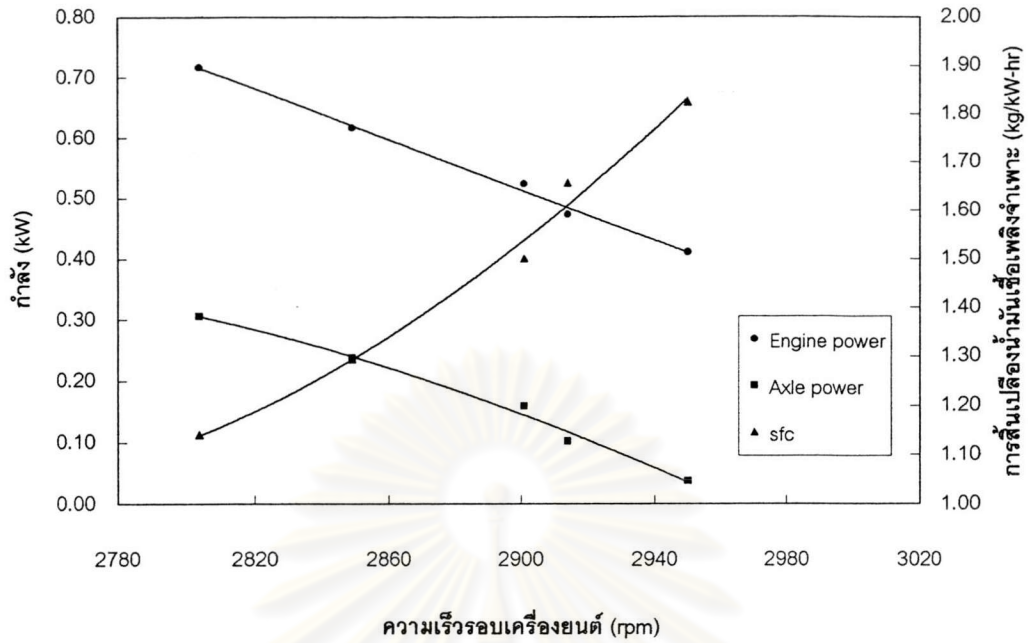
เมื่อ R_G เป็นอัตราทดเกียร์ (Gear ratio) $= \frac{N_a}{N_e}$

ซึ่งจากสมการนี้จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการส่งกำลัง (η) แปรผันตรงกับ อัตราทดเกียร์ (R_G) คือ เมื่ออัตราทดเกียร์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการส่งกำลังจะเพิ่มขึ้นตามซึ่งเป็นไปตามผลการทดลอง

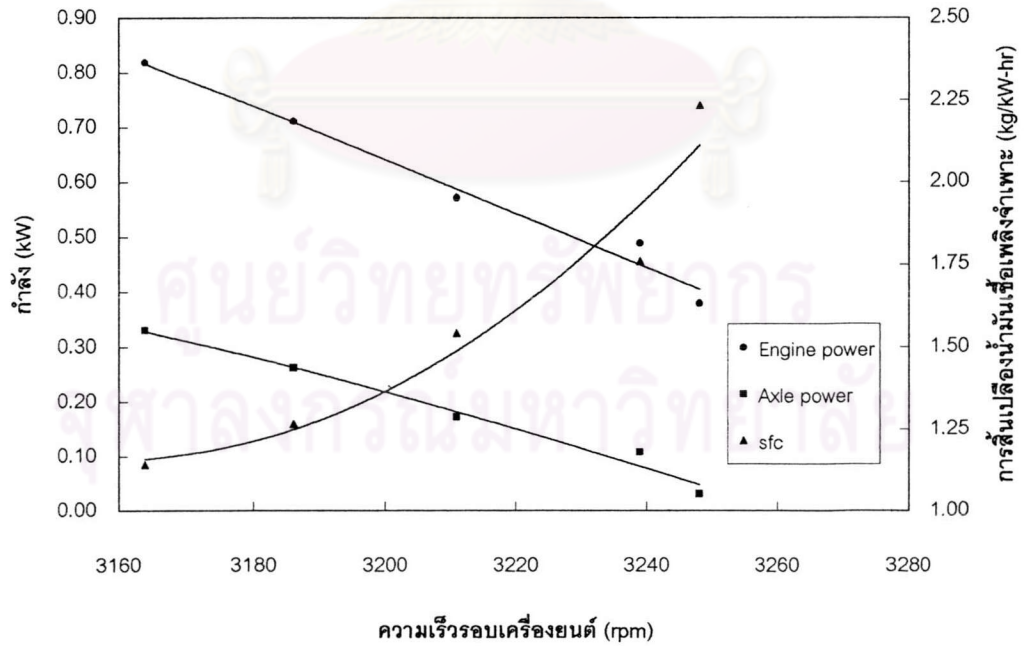
จากผลการทดลองในตารางที่ ฉ.9-ฉ.14 ทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 พบว่า การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.99 ถึง 1.44 1 ถึง 1.8 1.1 ถึง 1.9 1.1 ถึง 2 1 ถึง 2 และ 1.2 ถึง 3 ลิตรต่อชั่งโมงตามลำดับ ส่วนการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีแนวโน้มลดลงและตั้งแต่เกียร์ 3 ถึงเกียร์ 6 เมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดค่าหนึ่งและเมื่อเพิ่มแรงบิดให้มากขึ้นอีก พบว่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะกลับมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อแรงบิดที่เพลาล้อเพิ่มขึ้นอัตราการเพิ่มของกำลังเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่อัตราการเพิ่มของการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าไม่ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาร่วมกับสมการที่ 2.4 จะพบว่าสอดคล้องกับผลการทดลอง



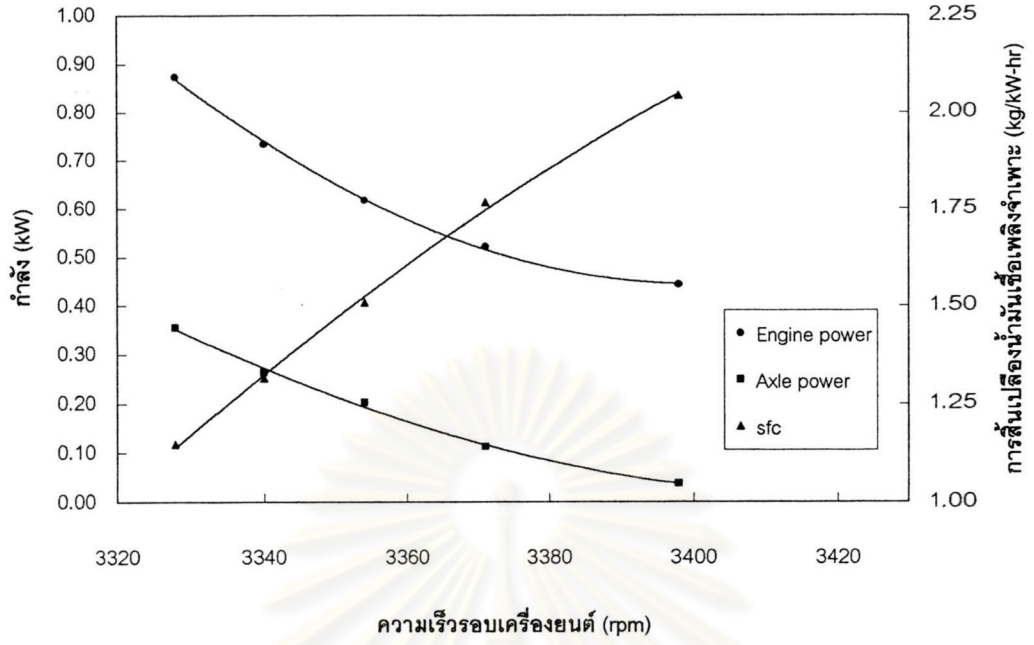
รูปที่ 6.10 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



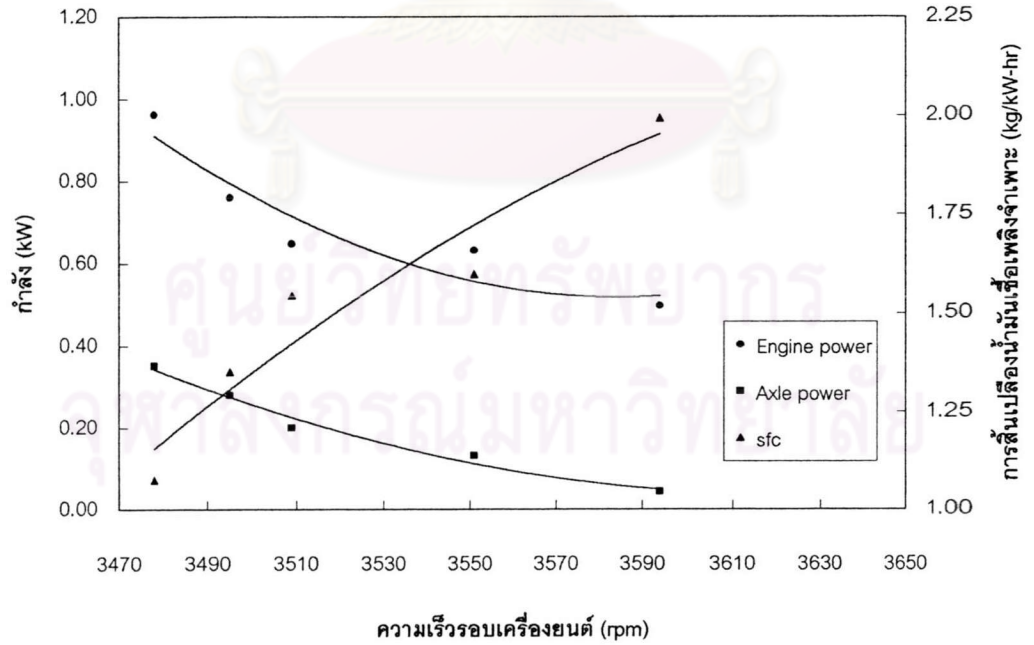
รูปที่ 6.11 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



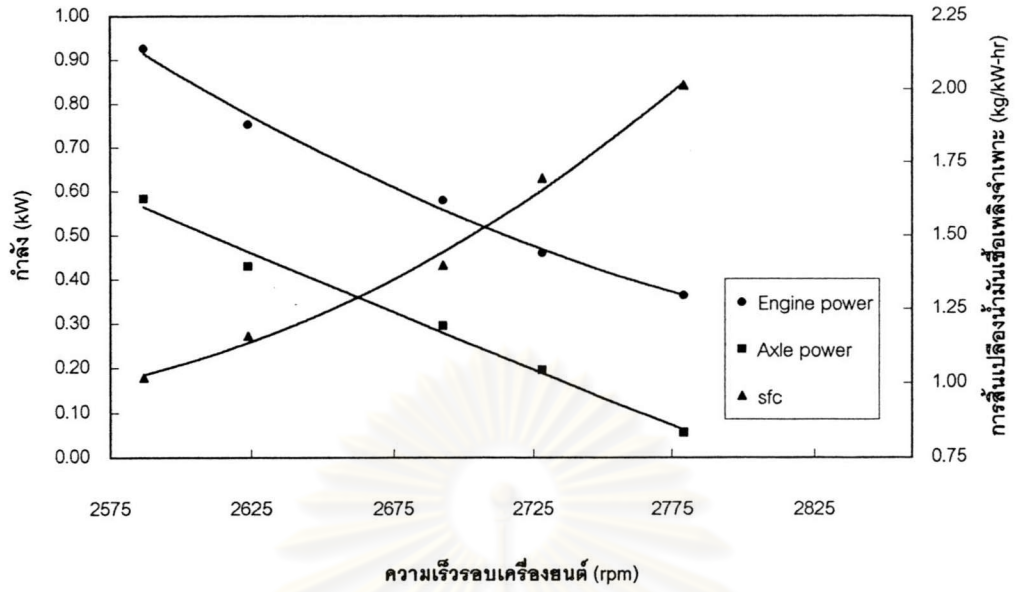
รูปที่ 6.12 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



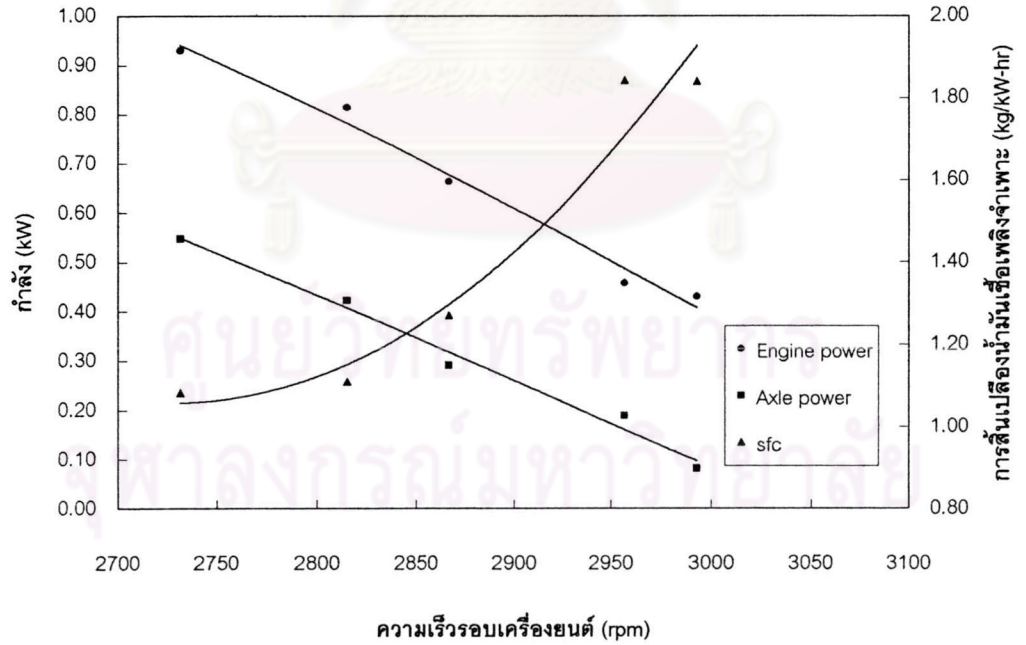
รูปที่ 6.13 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



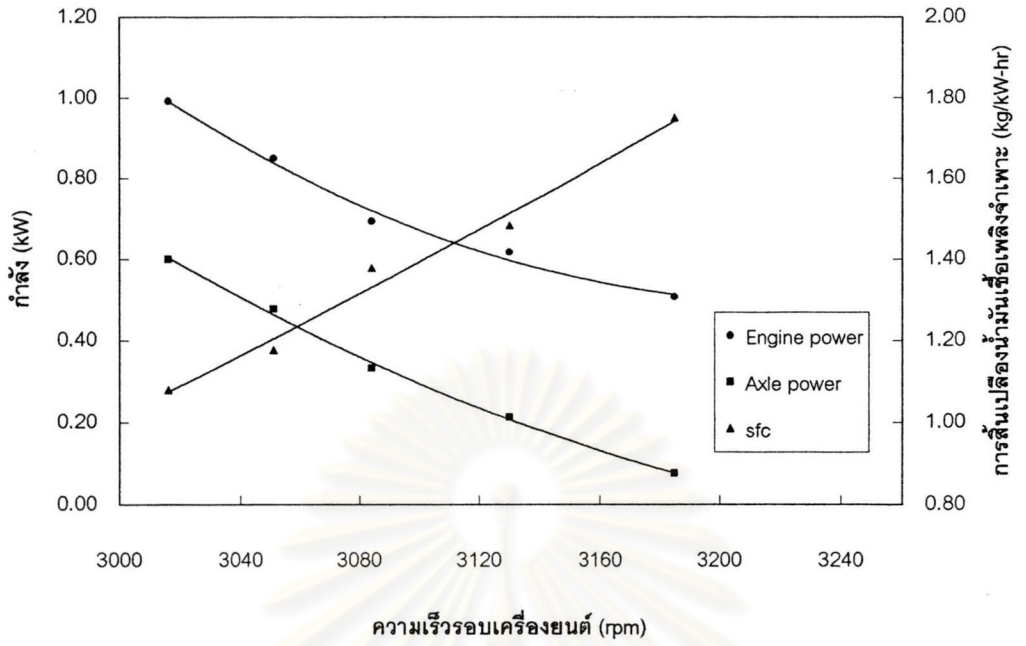
รูปที่ 6.14 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



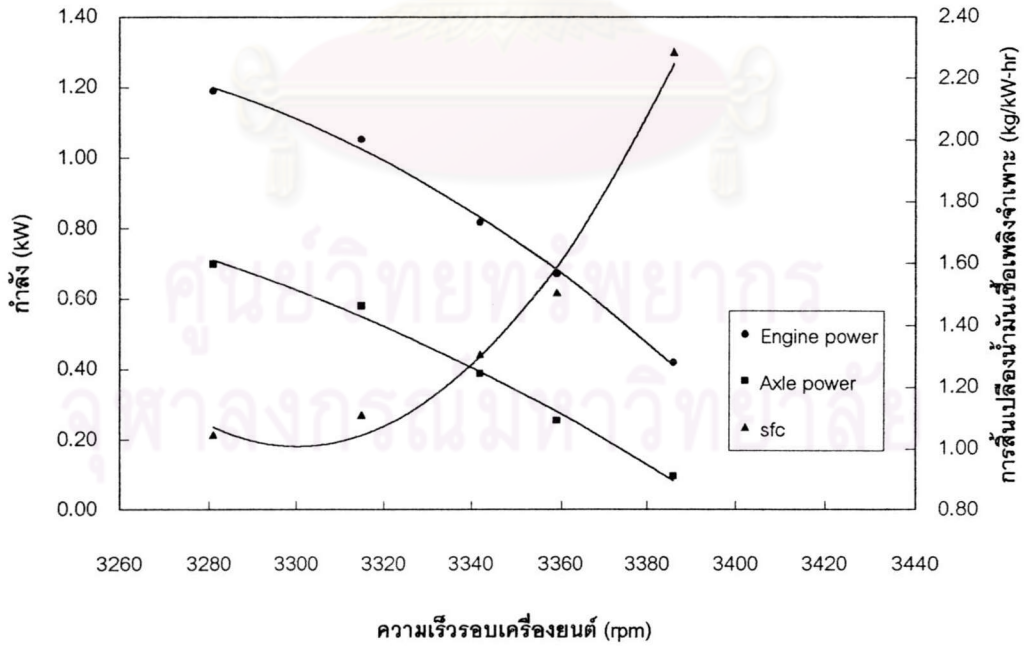
รูปที่ 6.15 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



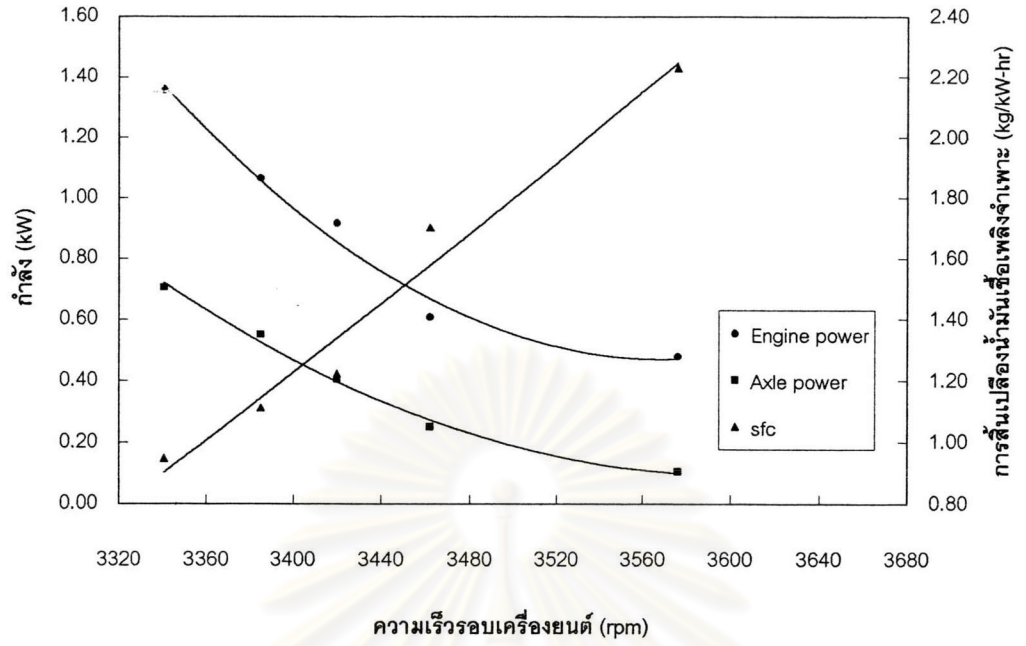
รูปที่ 6.16 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



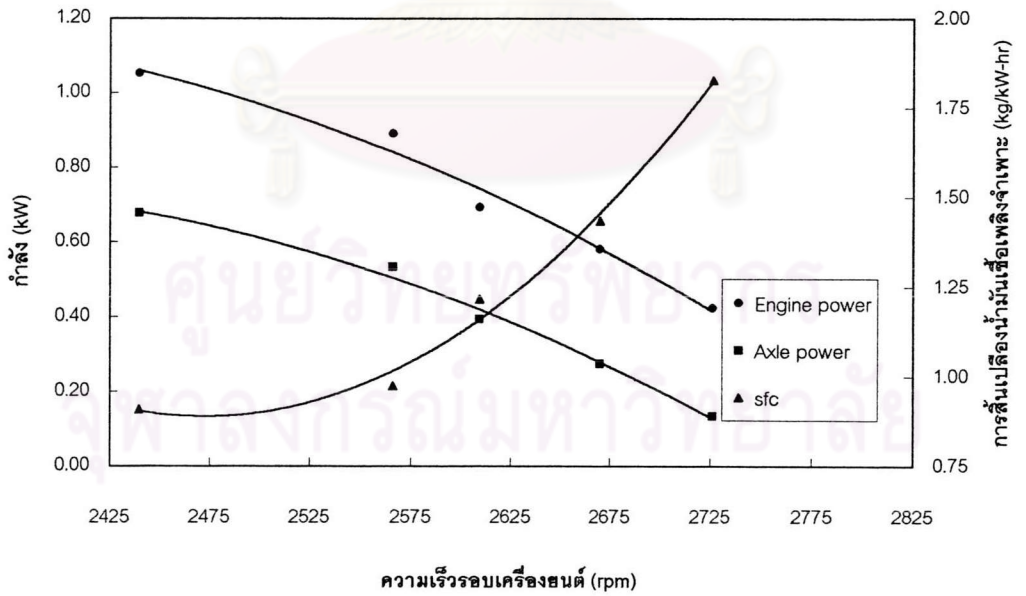
รูปที่ 6.17 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



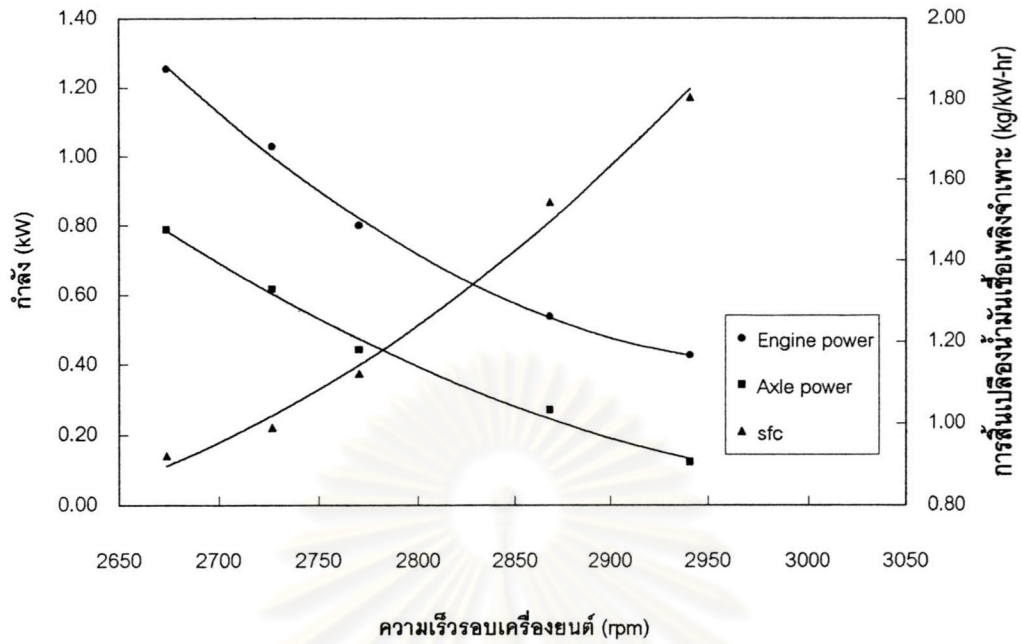
รูปที่ 6.18 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



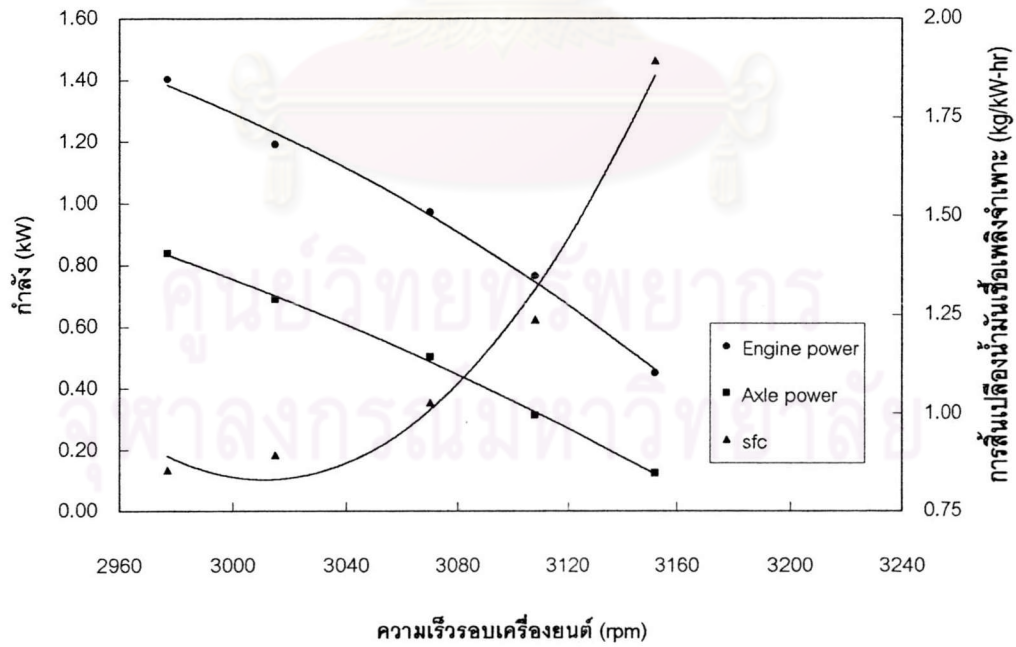
รูปที่ 6.19 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



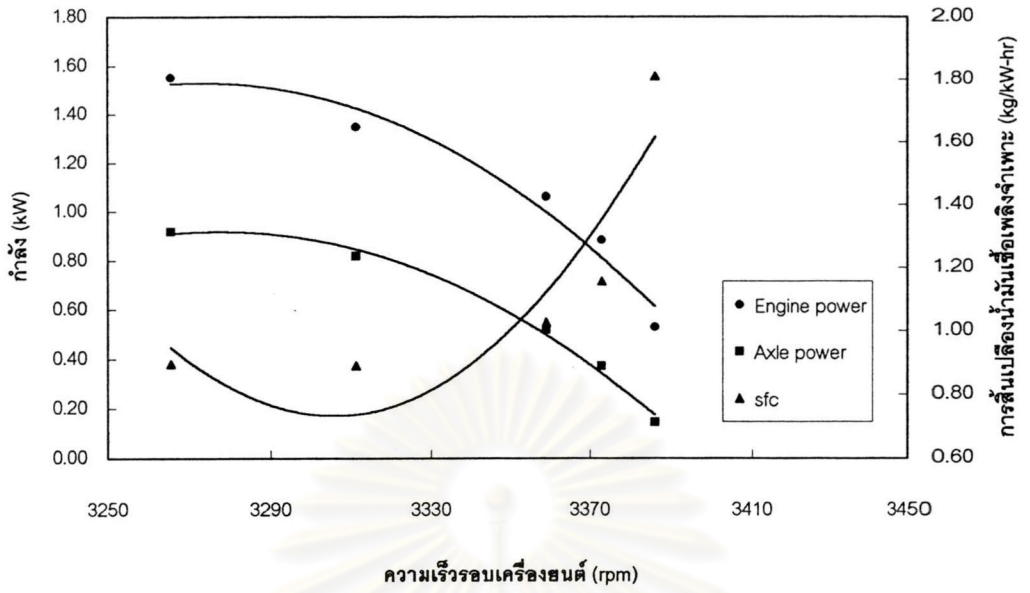
รูปที่ 6.20 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



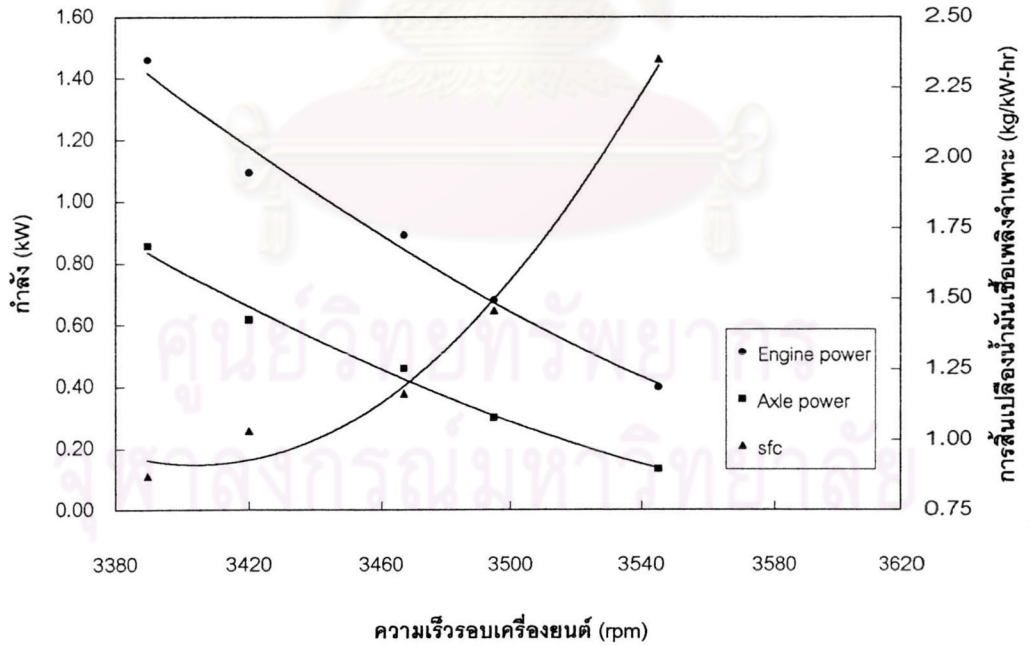
รูปที่ 6.21 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



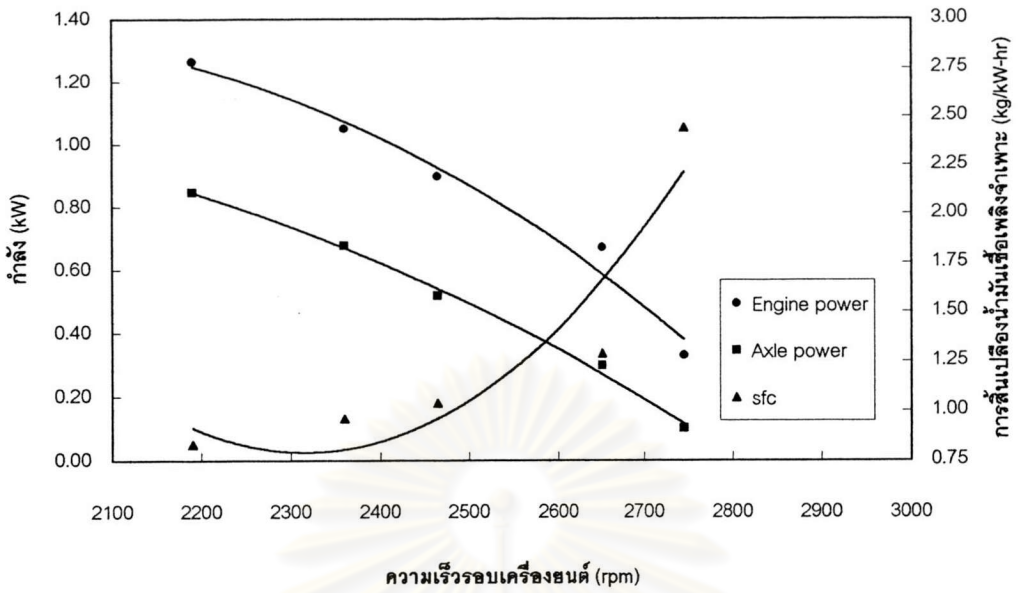
รูปที่ 6.22 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



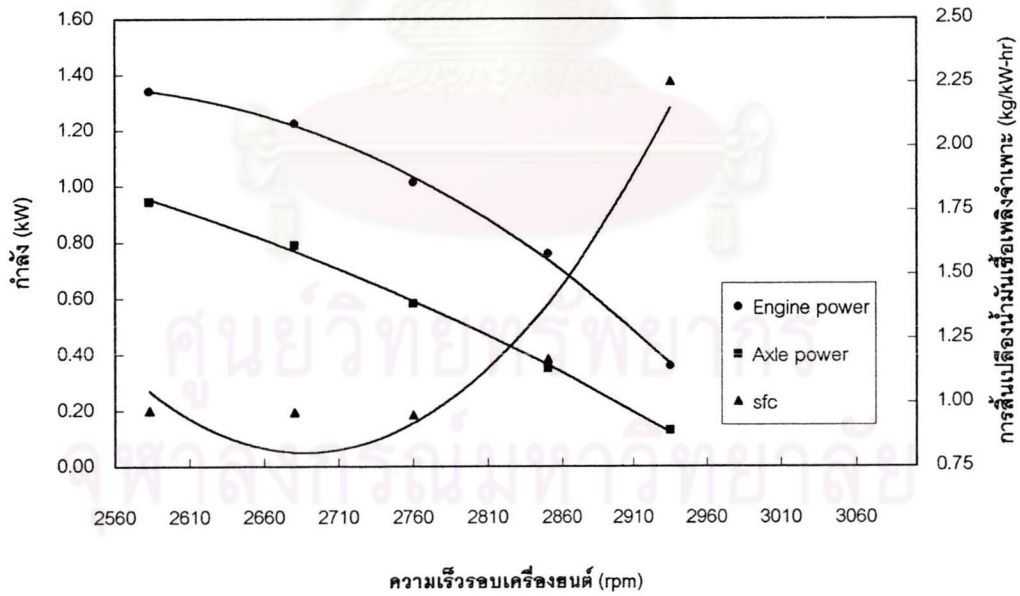
รูปที่ 6.23 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



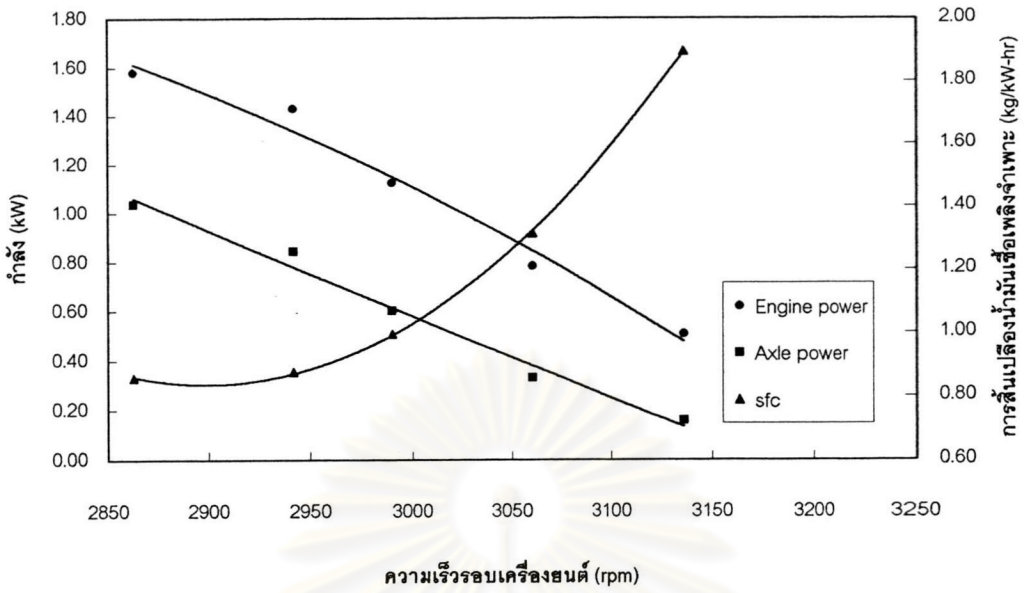
รูปที่ 6.24 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



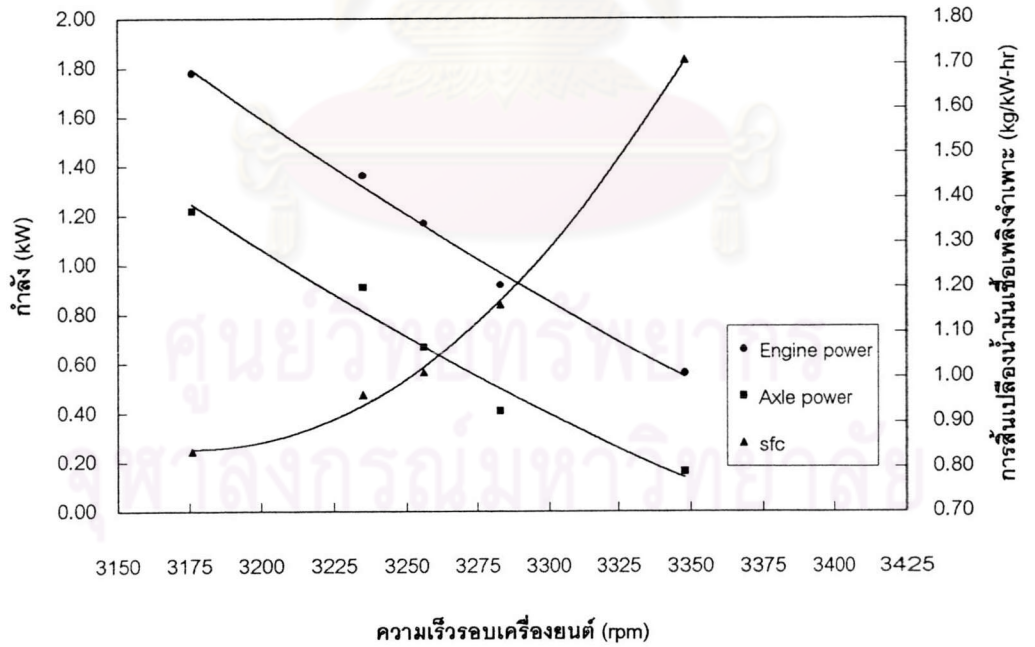
รูปที่ 6.25 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



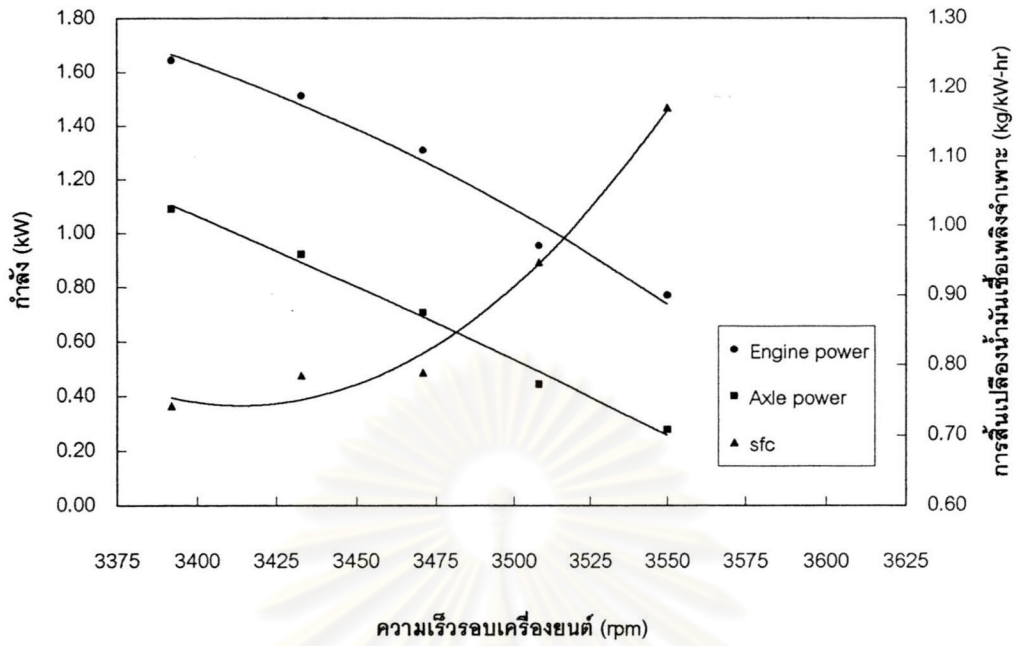
รูปที่ 6.26 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



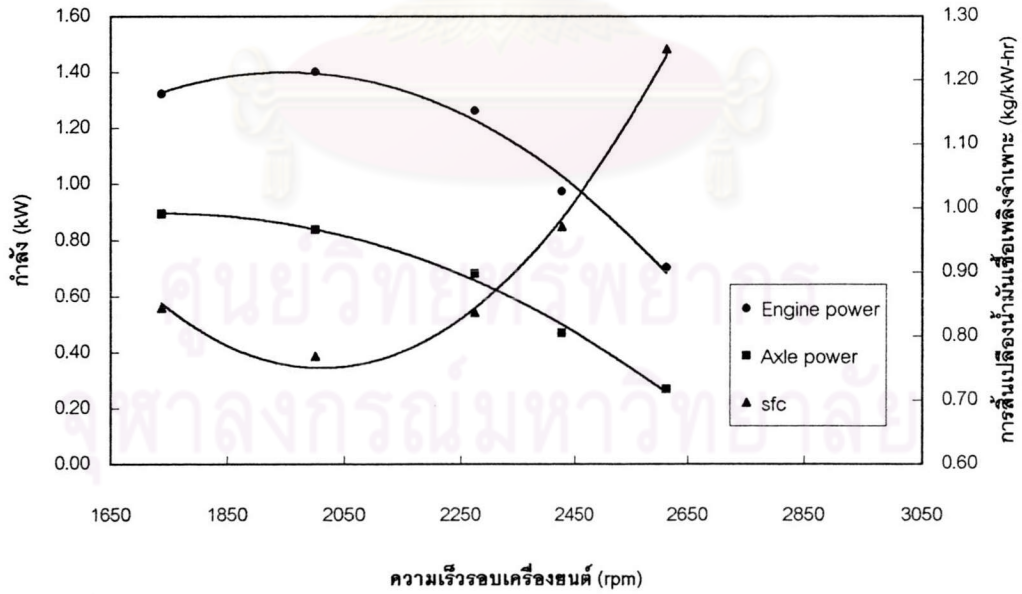
รูปที่ 6.27 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



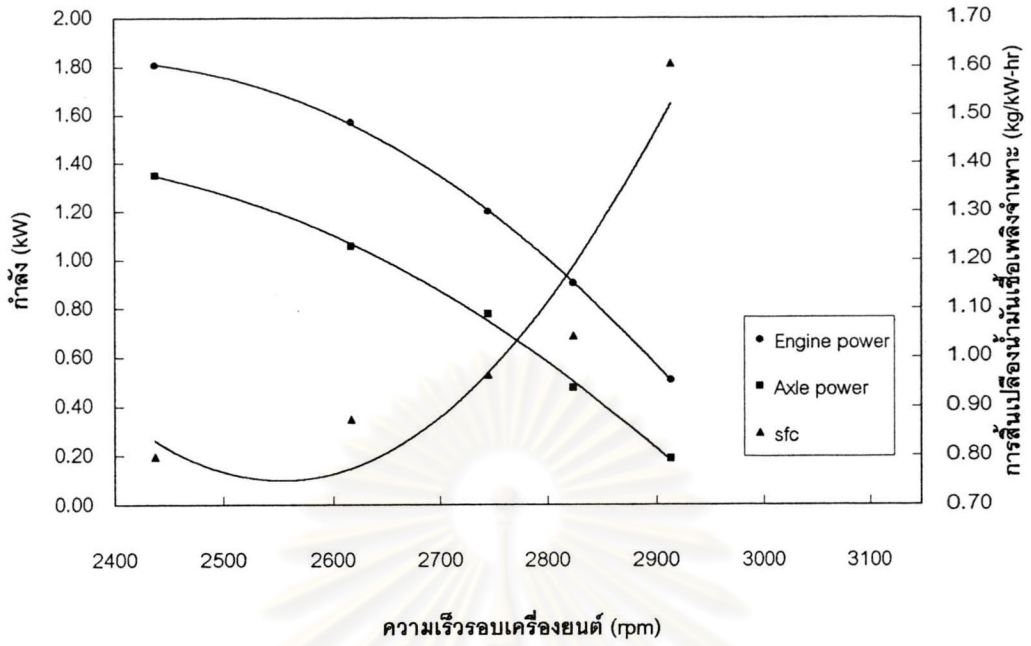
รูปที่ 6.28 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



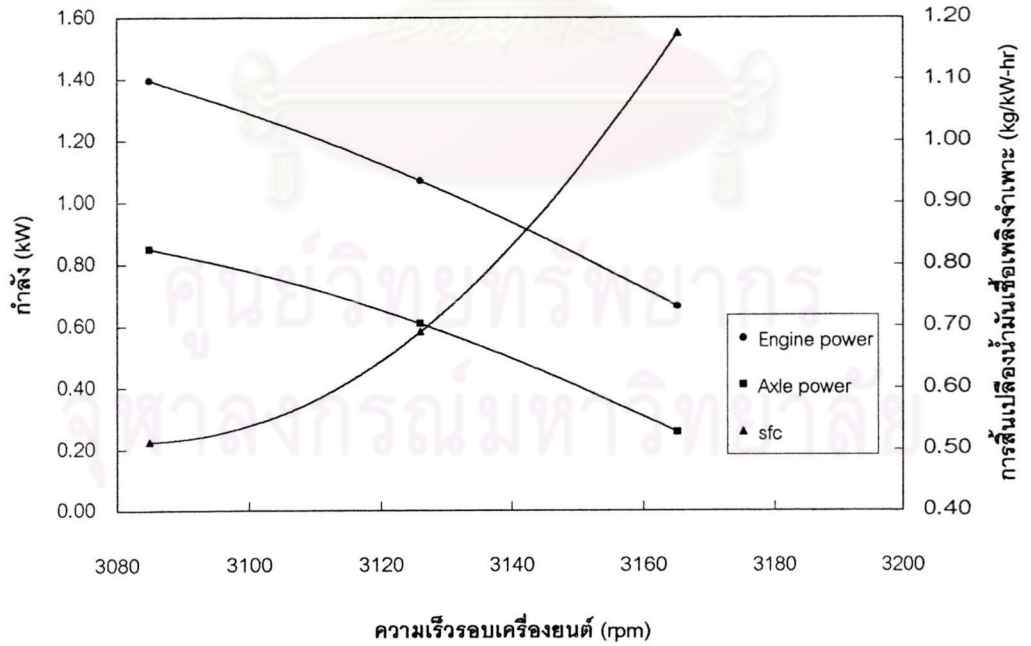
รูปที่ 6.29 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



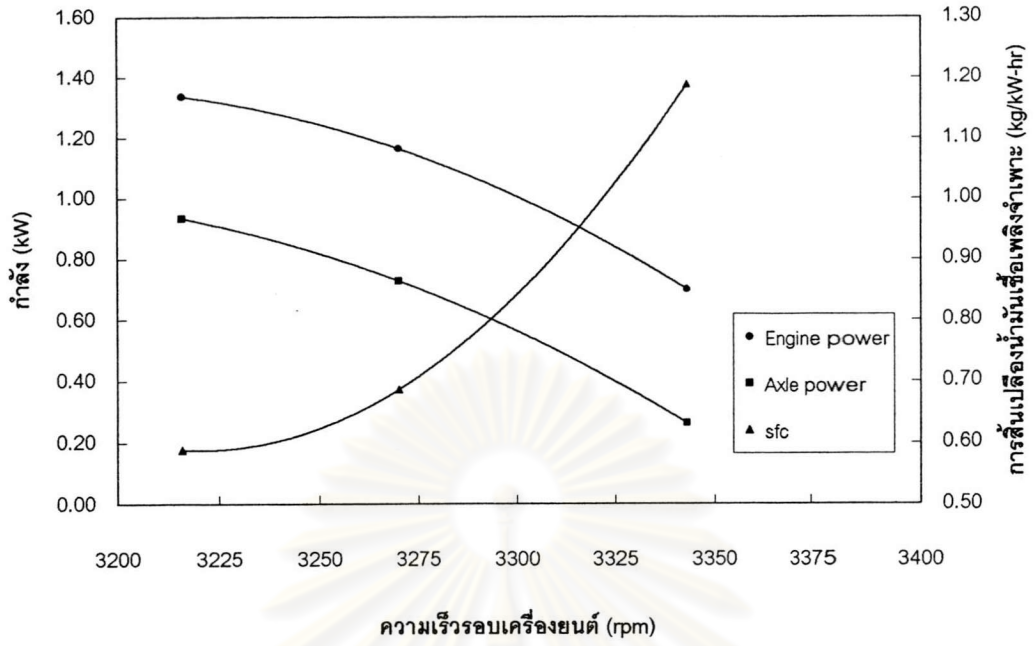
รูปที่ 6.30 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



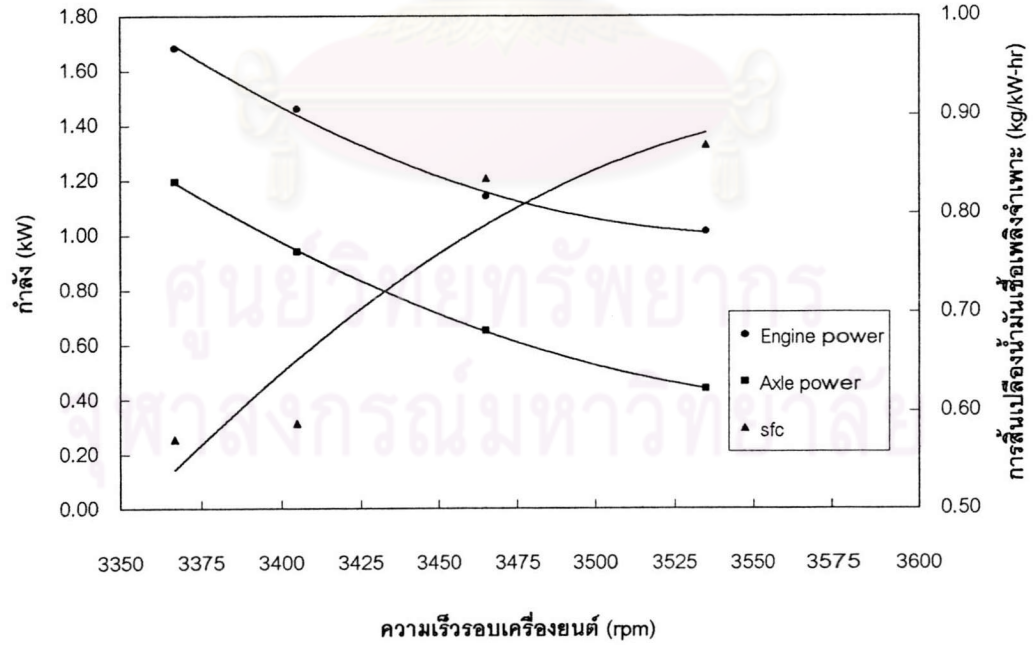
รูปที่ 6.31 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



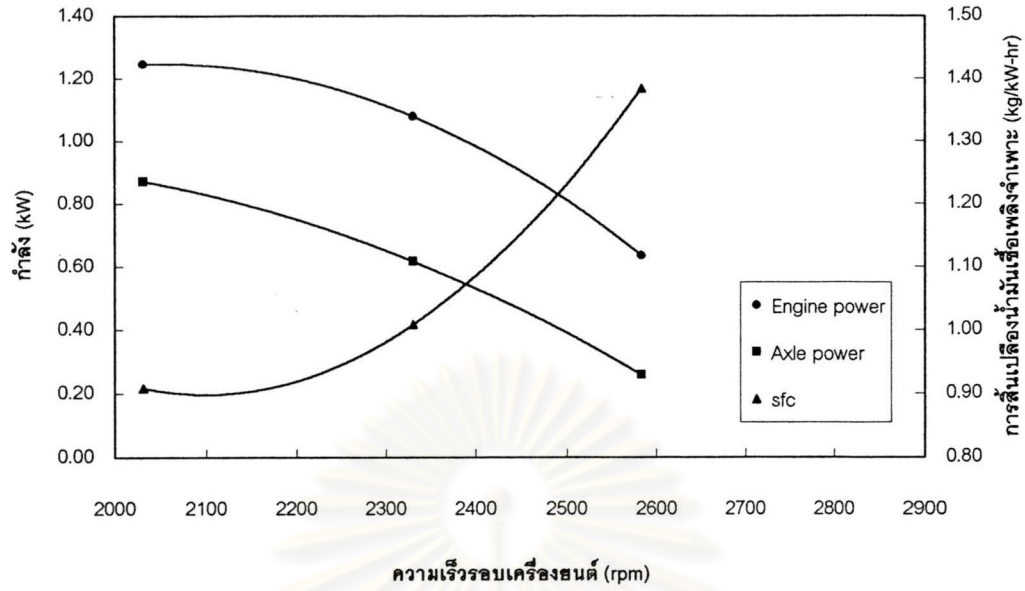
รูปที่ 6.32 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



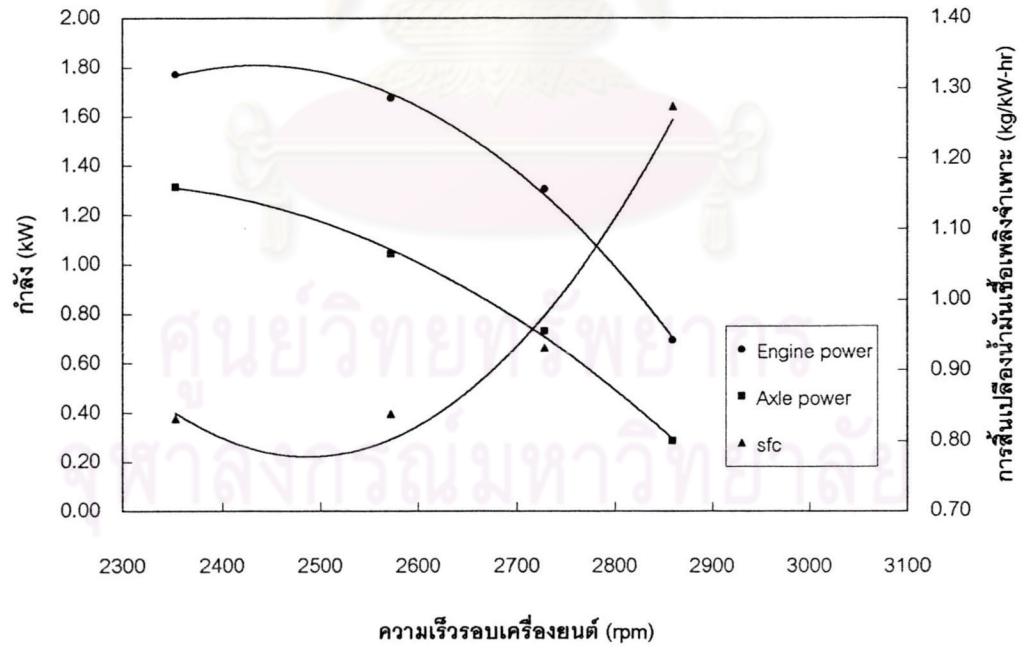
รูปที่ 6.33 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



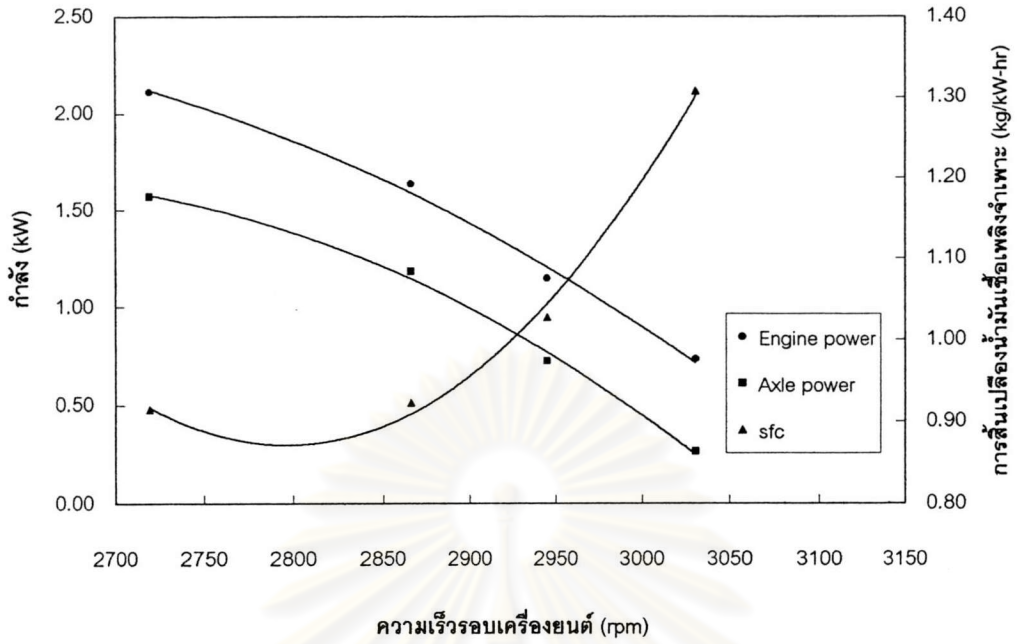
รูปที่ 6.34 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



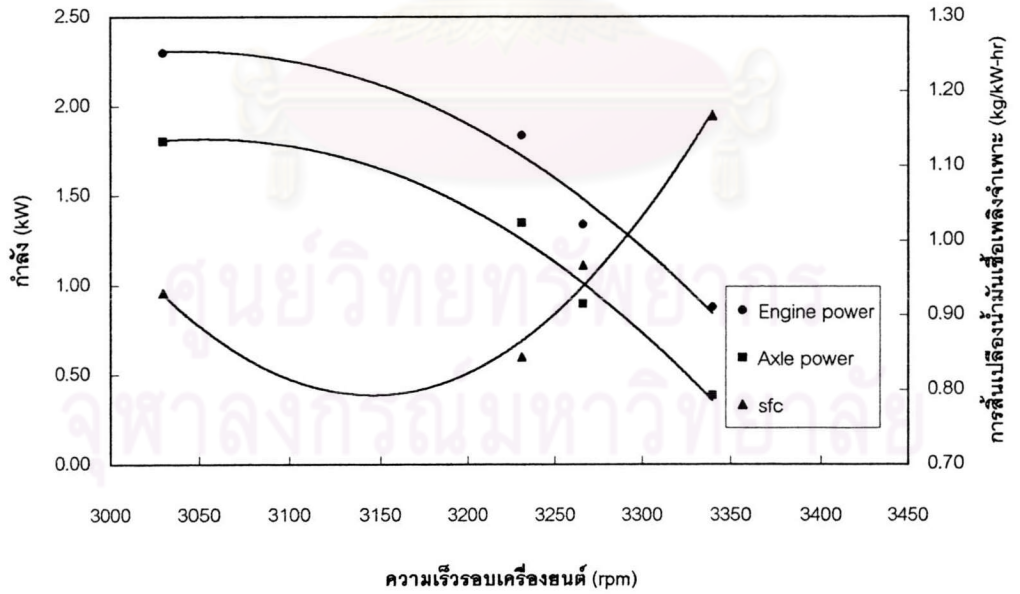
รูปที่ 6.35 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



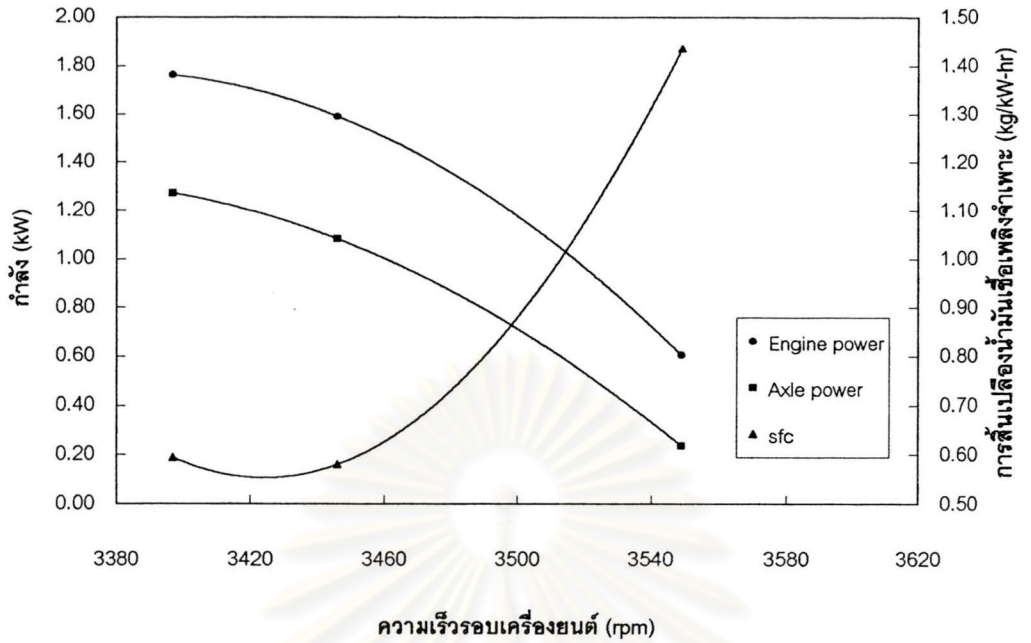
รูปที่ 6.36 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.37 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.38 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



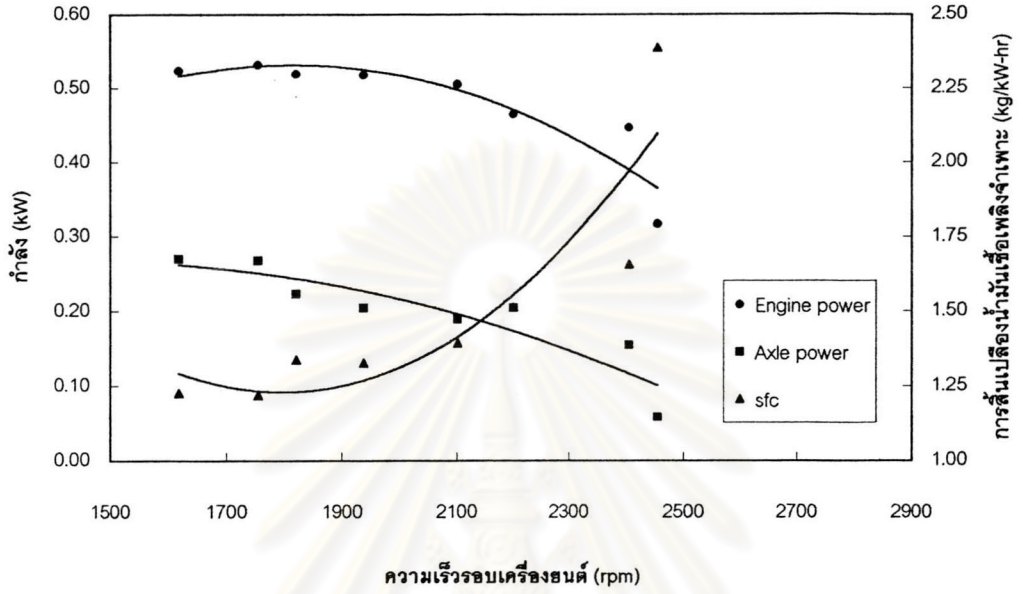
รูปที่ 6.39 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการลากรถพ่วง เกียร์ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที

6.3.2. อภิปรายผลของการให้ภาระตามลักษณะของภาระที่เกิดจากการติดไถหัวหมู

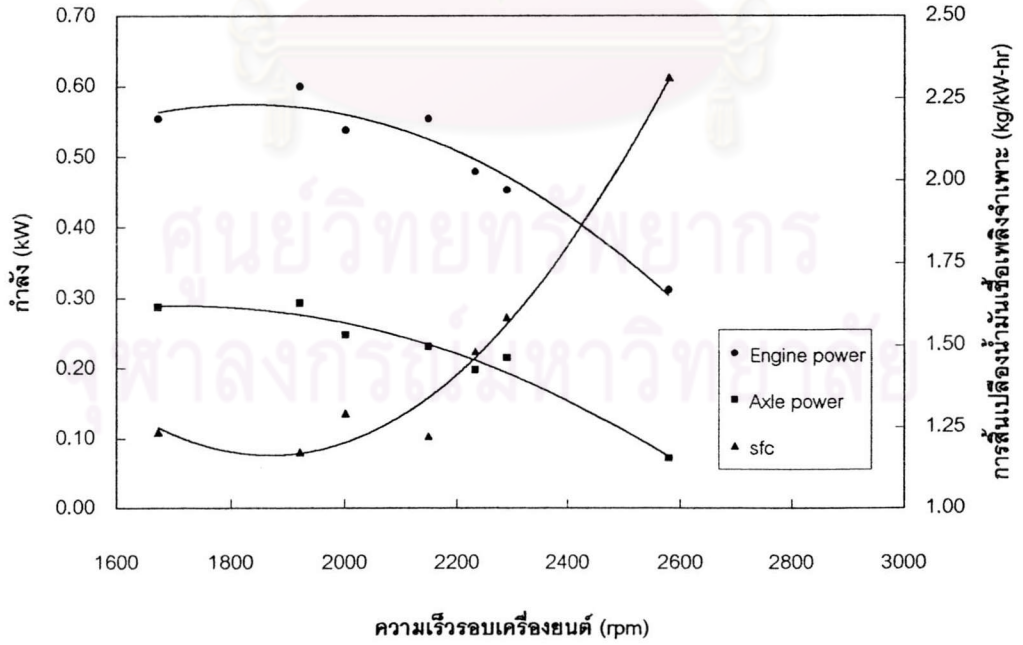
จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.40–6.54 เมื่อเพิ่มภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น ความเร็วรอบเครื่องยนต์จะลดลงมากกว่ากรณีของการให้ภาระที่เพลาล้อแบบการลากรถพ่วง ความเร็วรอบเพลาล้อก็จะลดลงตามเป็นขนาดที่สัมพันธ์กันตามอัตราทดเกียร์ แต่ในขณะเดียวกันกำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับกรณีของการลากรถพ่วง โดยแรงบิดที่ออกจากเครื่องยนต์และที่เพลาล้อแม้จะมีค่ามากแต่เนื่องจากความเร็วรอบทั้งของเครื่องยนต์และเพลาล้อลดลงเร็วมากทำให้กำลังที่คำนวณได้มีค่าไม่สูงมากนัก จากตารางที่ ฉ.13-ฉ.15 ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุดตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 3 มีค่าเป็น 59.71 72.54 และ 77.03% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 2800 และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุดในแต่ละเกียร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งเกียร์จากน้อยไปหามาก เป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้วในกรณีของการลากรถพ่วง

พิจารณาการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งเกียร์ 1 ถึงเกียร์ 3 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.89 ถึง 1.29 0.86 ถึง 1.34 และ 0.87 ถึง 1.28 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ จากรูปที่ 6.40-6.54 เมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อ การสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีแนวโน้มลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่แรงบิดค่าหนึ่ง และเมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้นอีก การสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิง

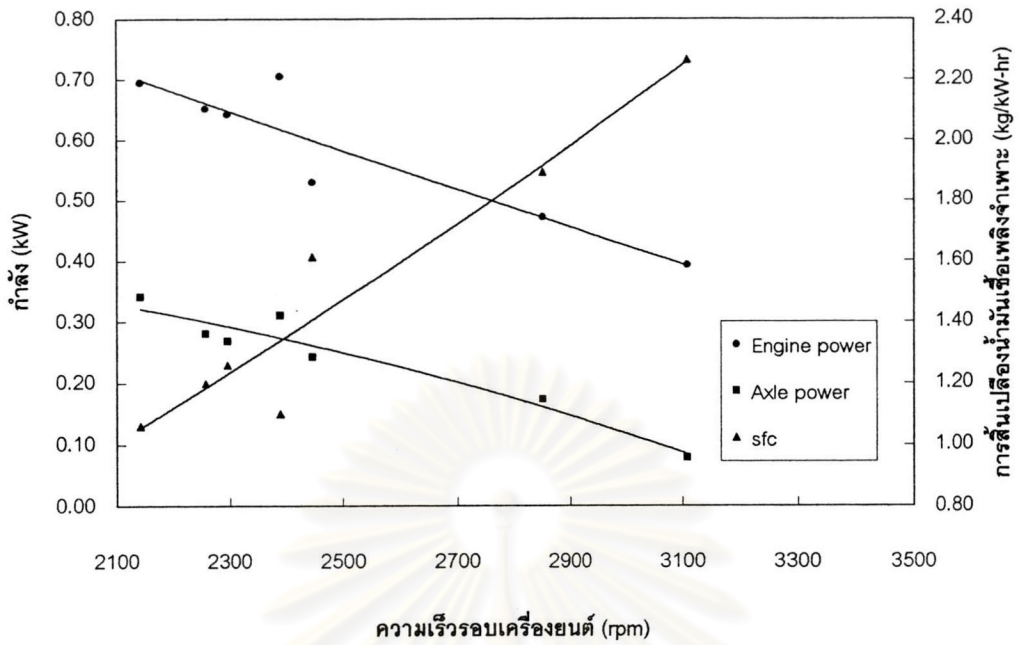
จำเพาะจะมีค่าสูงขึ้นคล้ายกับในกรณีของการลากรถพ่วง เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อกำลังเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วจะลดลง ในขณะที่การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อนำมาแทนในสมการที่ 2.4 จะได้การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีลักษณะเป็นดังผลการทดลอง



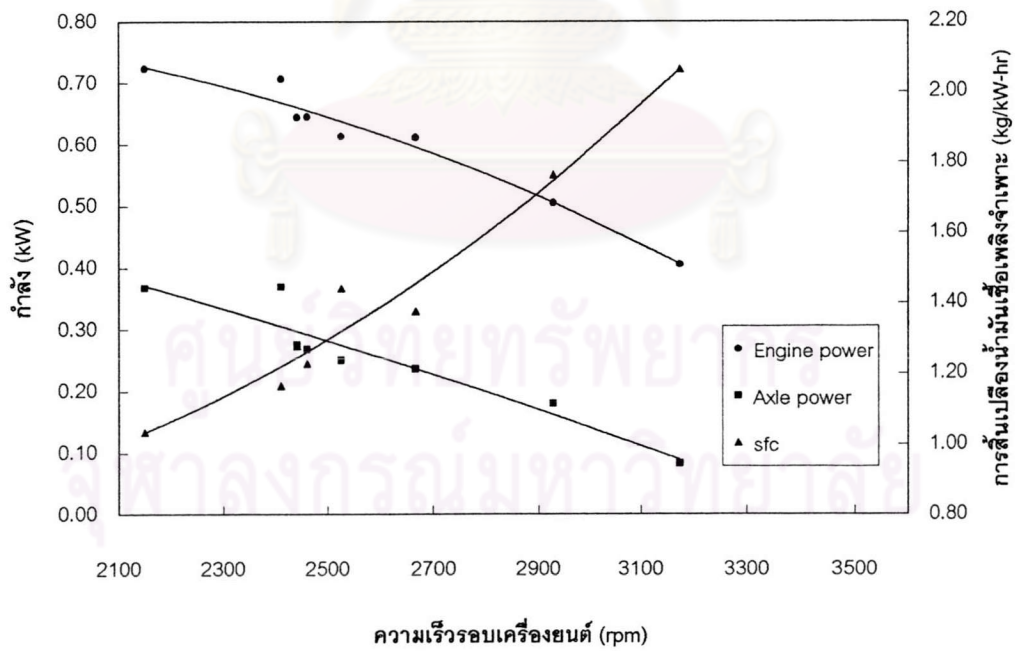
รูปที่ 6.40 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



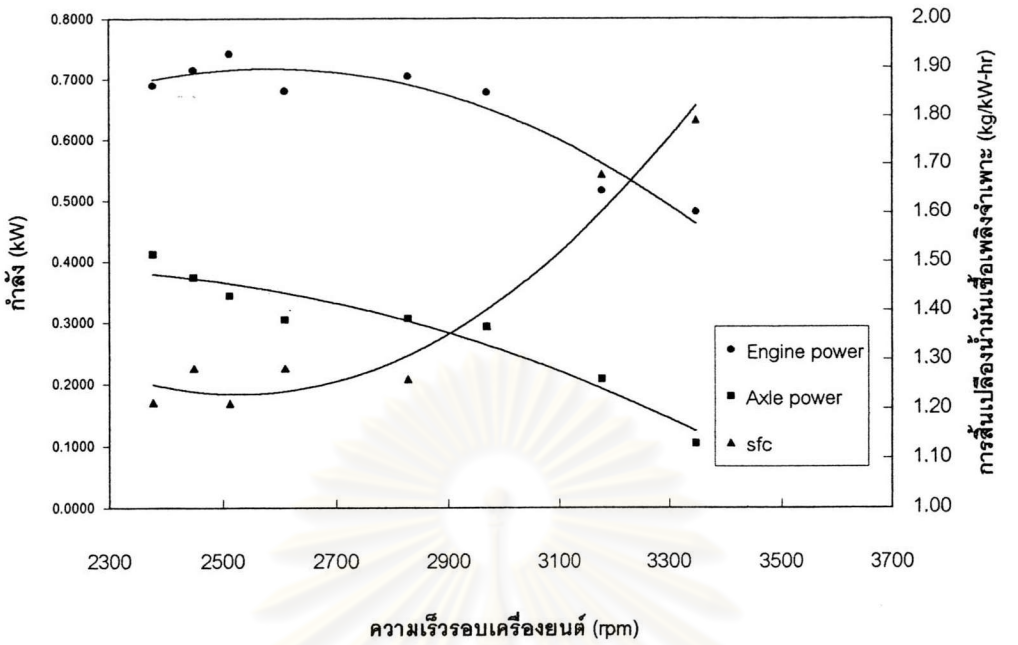
รูปที่ 6.41 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



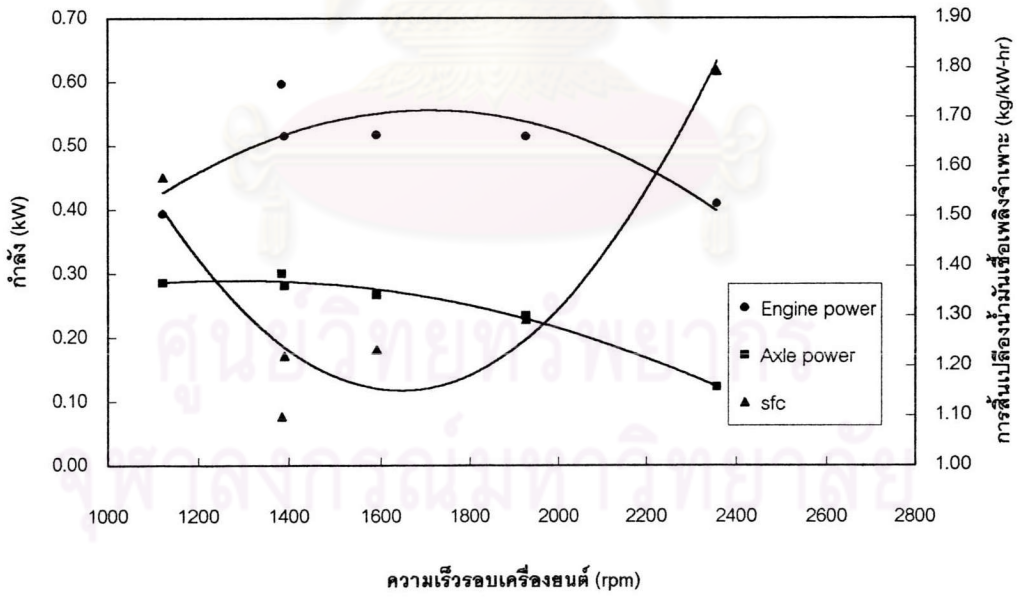
รูปที่ 6.42 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



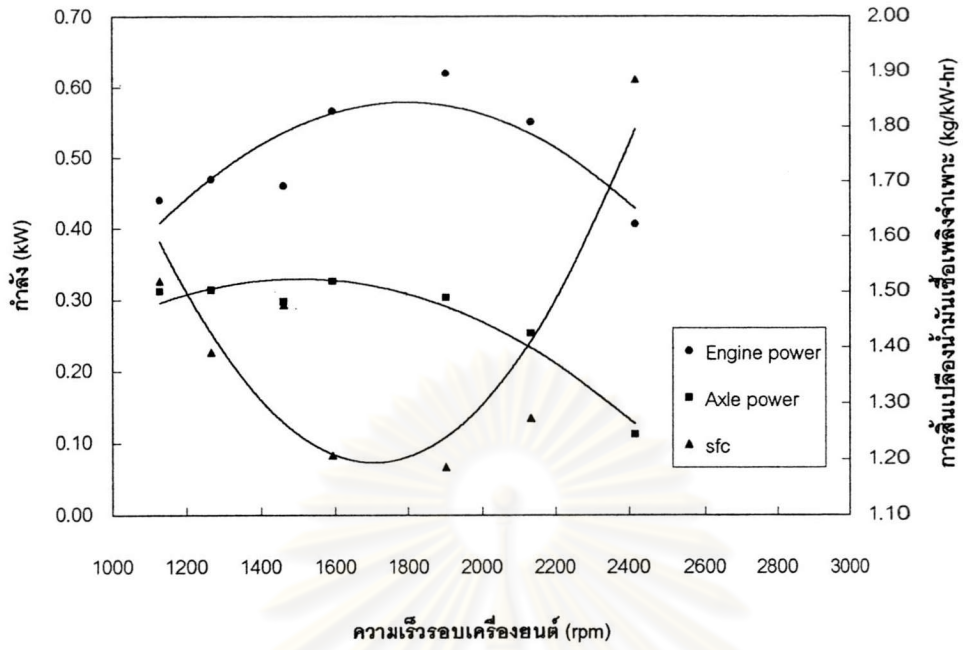
รูปที่ 6.43 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



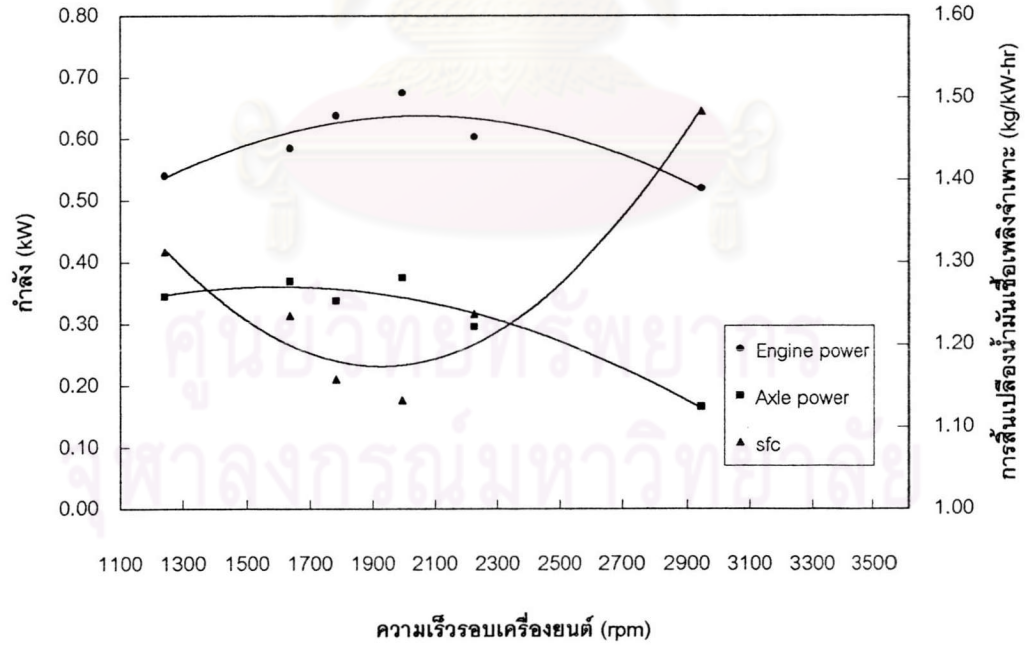
รูปที่ 6.44 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



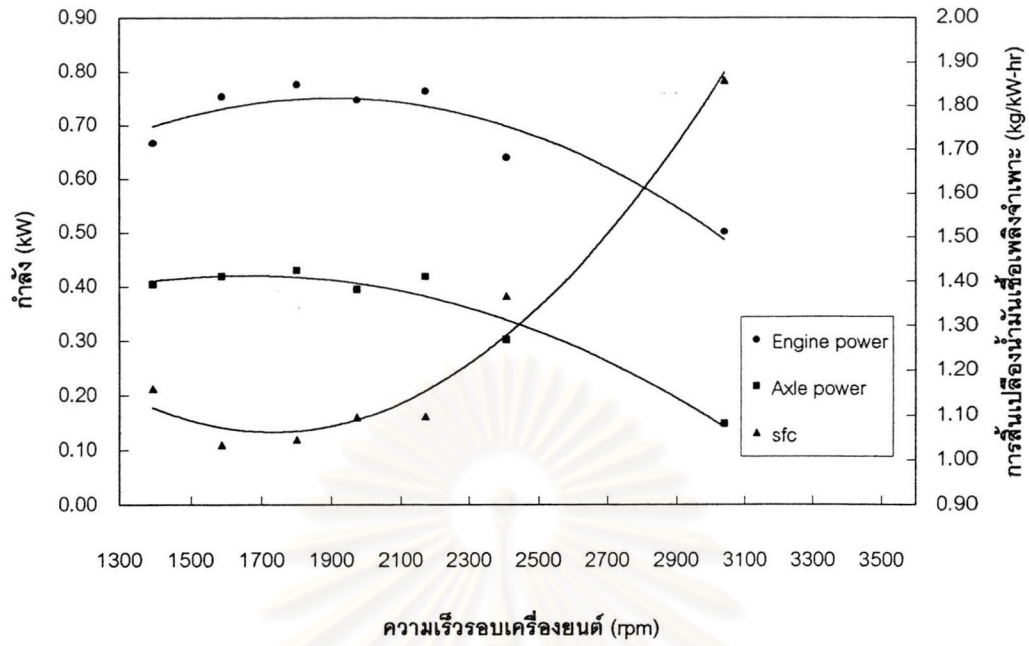
รูปที่ 6.45 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



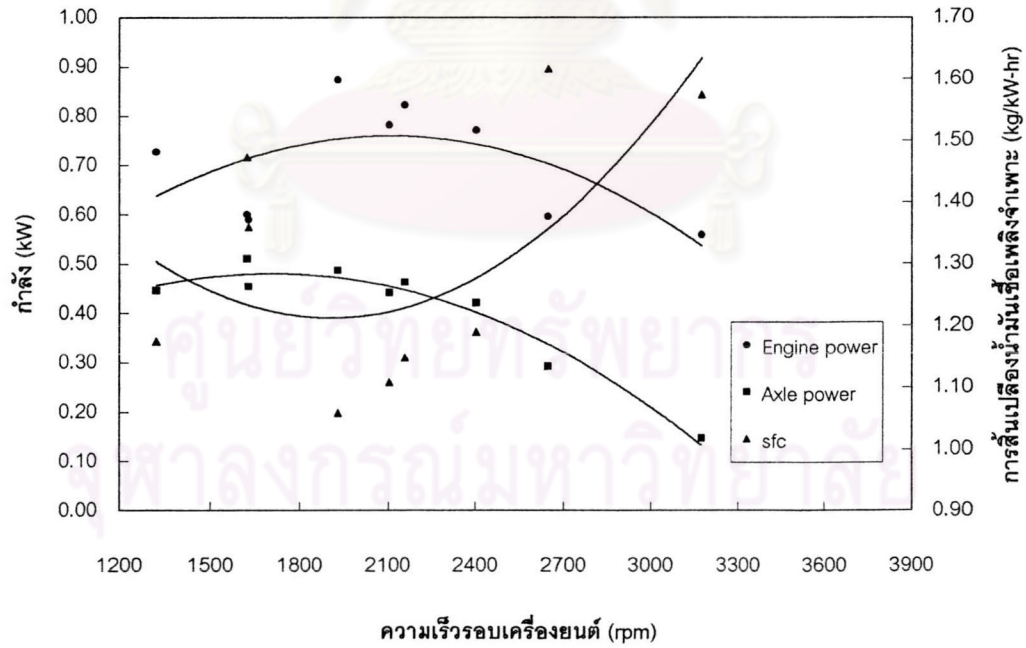
รูปที่ 6.46 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



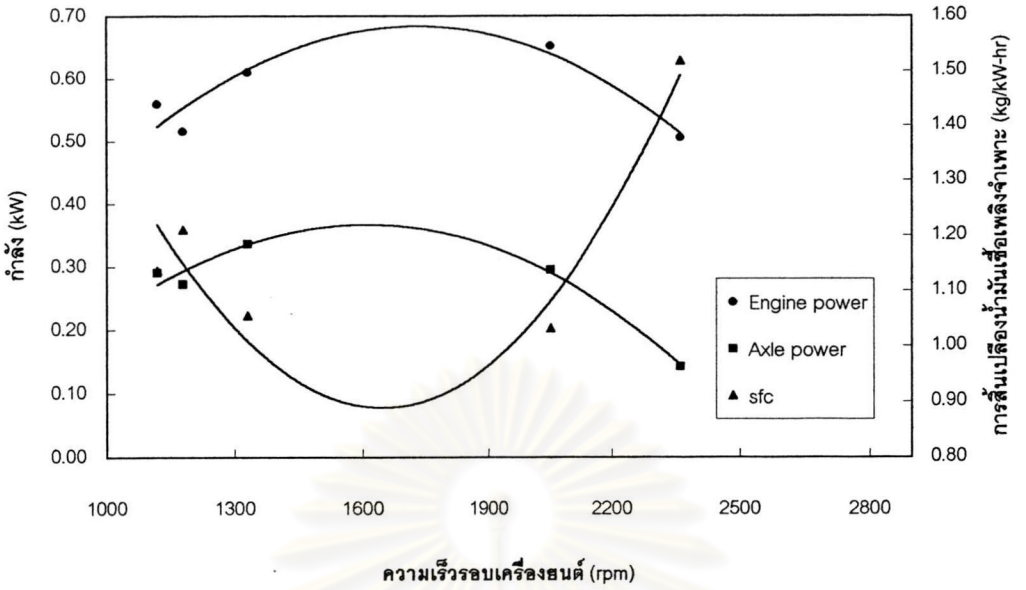
รูปที่ 6.47 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



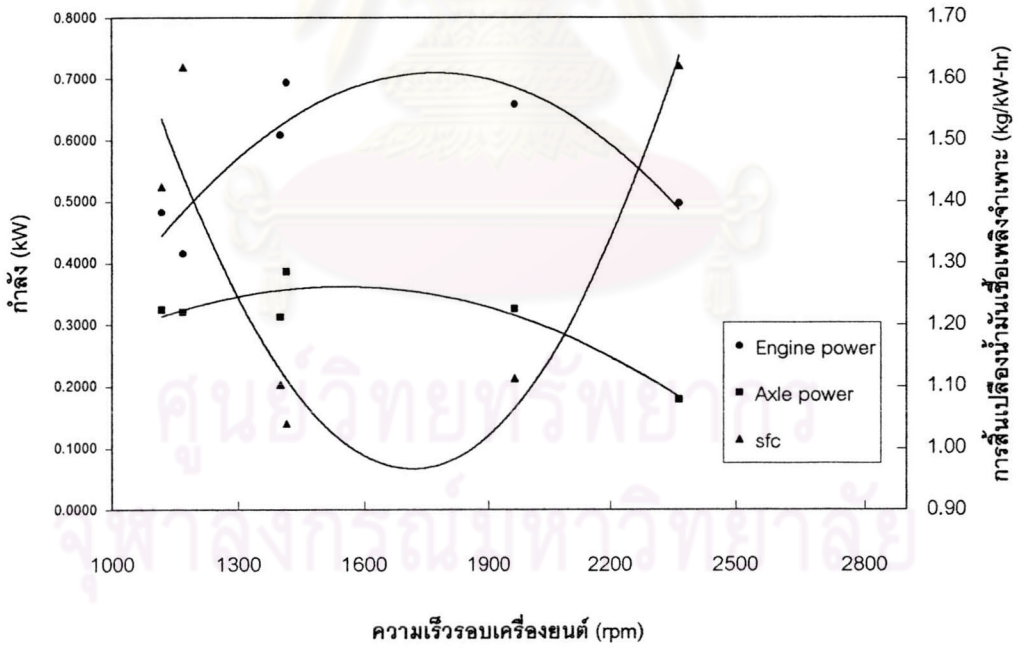
รูปที่ 6.48 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



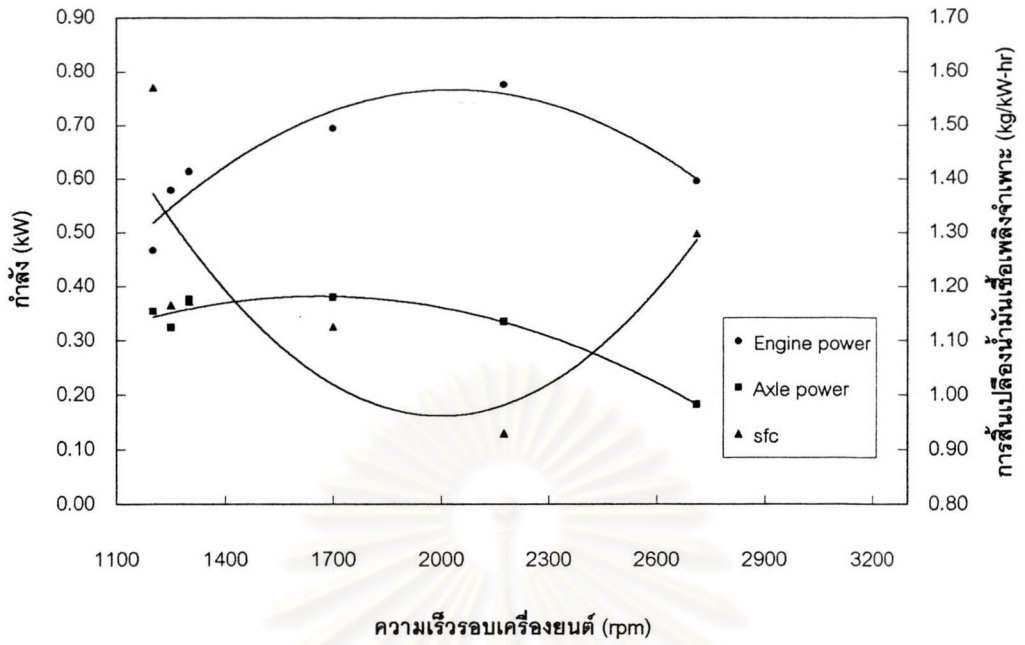
รูปที่ 6.49 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 2 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที



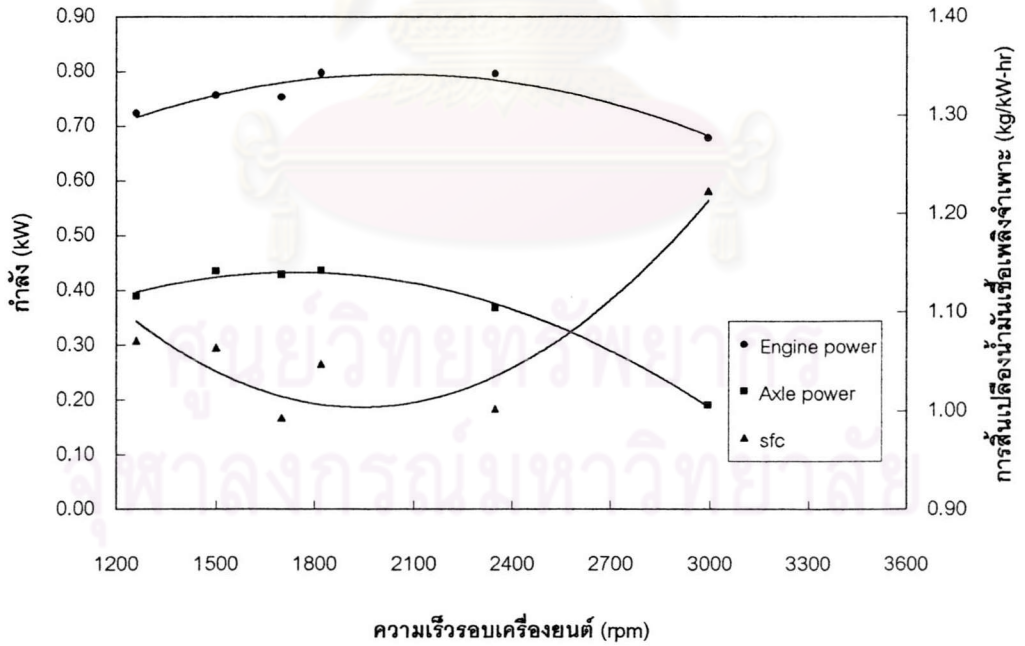
รูปที่ 6.50 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



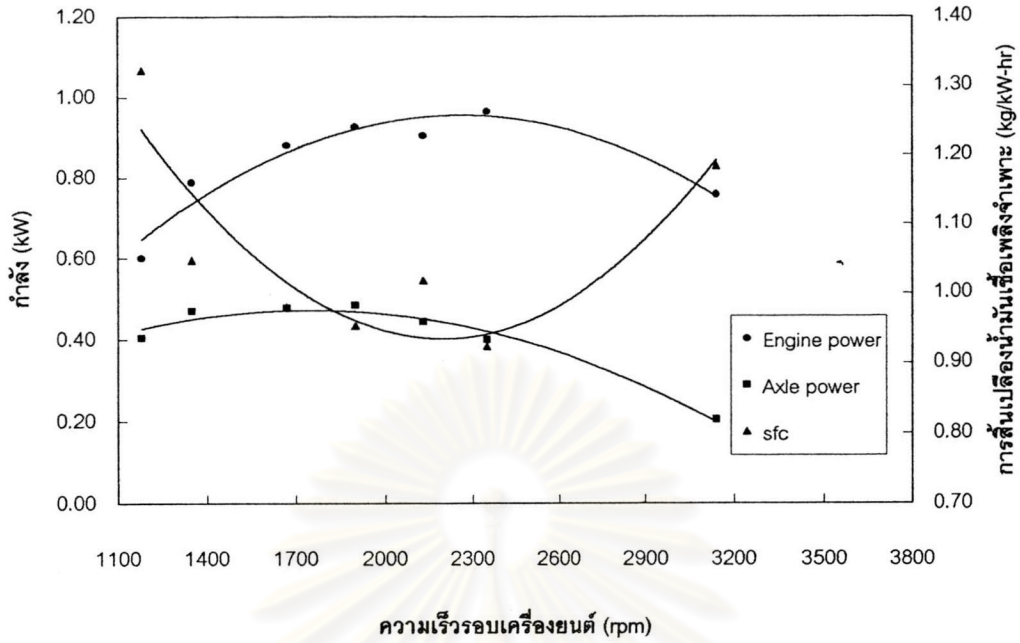
รูปที่ 6.51 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.52 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.53 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที

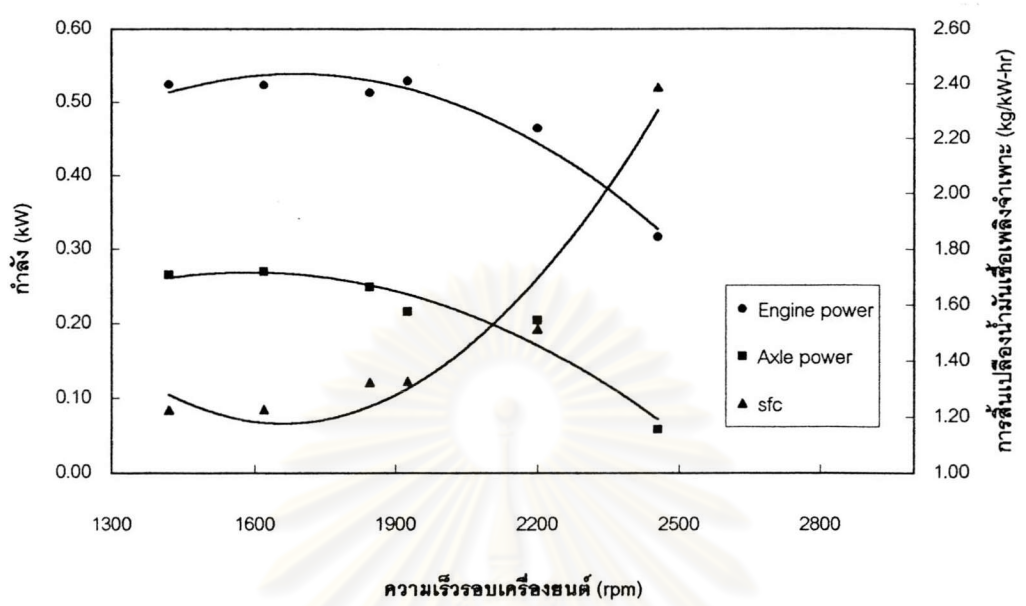


รูปที่ 6.54 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการติดไถหัวหมู เกียร์ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที

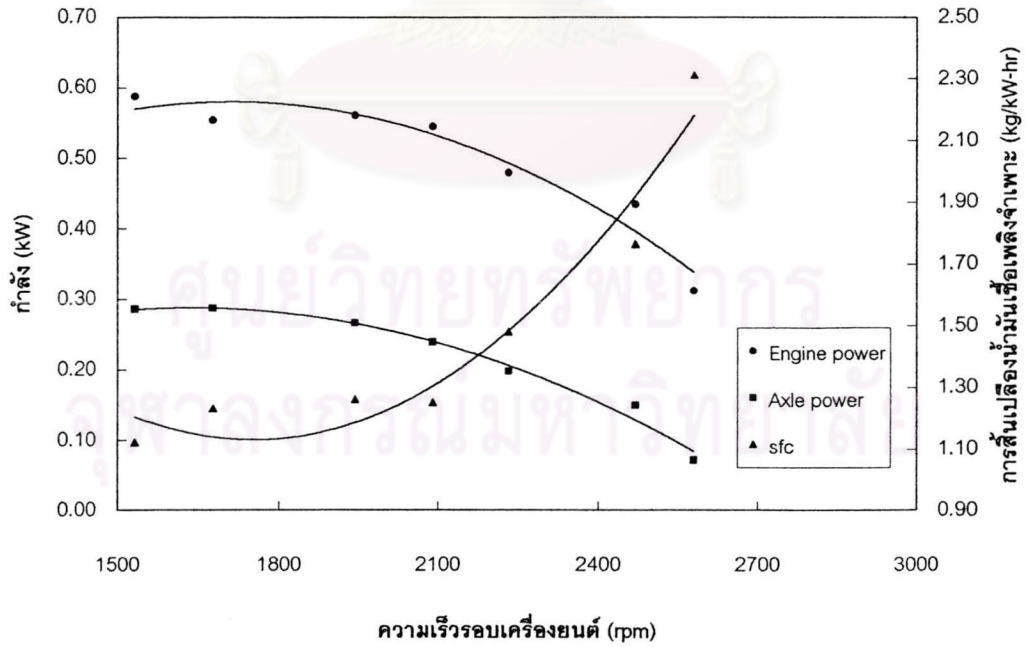
6.3.3. อภิปรายผลของการให้ภาระตามลักษณะของภาระที่เกิดจากการสวมล้อพรวนดิน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.55–6.59 ที่ทุกๆ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระ เมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น ความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบเพลาล้อจะลดลง ในขณะที่กำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วจึงมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในช่วงแรกอัตราการเพิ่มของแรงบิดเครื่องยนต์และเพลาล้อมีค่ามากกว่าอัตราการลดลงของความเร็วรอบเครื่องยนต์และเพลาล้อ จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 กำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อขึ้นไปอีก ความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบเพลาล้อจะลดลงมากกว่าแรงบิดที่เพิ่มขึ้น ทำให้กำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อลดลงเป็นไปตามสมการที่ 2.1 และ 2.2 ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุดมีค่าเป็น 51.49 51.80 53.25 50.74 และ 59.71% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 3000 3200 3400 และ 3600 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยที่การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 0.89-1.24 ลิตรต่อชั่วโมง อนึ่งในการทดลองได้ทำการเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อให้สูงขึ้นมากกว่าค่าแรงบิดสูงสุดในกรณีติดไถหัวหมูเพียงค่าเดียว เพราะเกรงว่าหากเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อไปมากกว่านี้อาจเกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วนภายในระบบส่งกำลังได้ เมื่อพิจารณารวมกับกรณีที่เป็นเกียร์ 2 ซึ่งเครื่องยนต์ดับตั้งแต่แรงบิดที่เพลาล้ออยู่ในช่วงของการให้ภาระแบบการติดไถหัวหมู ก็จะทำให้แนวโน้มของกำลังที่เพลา

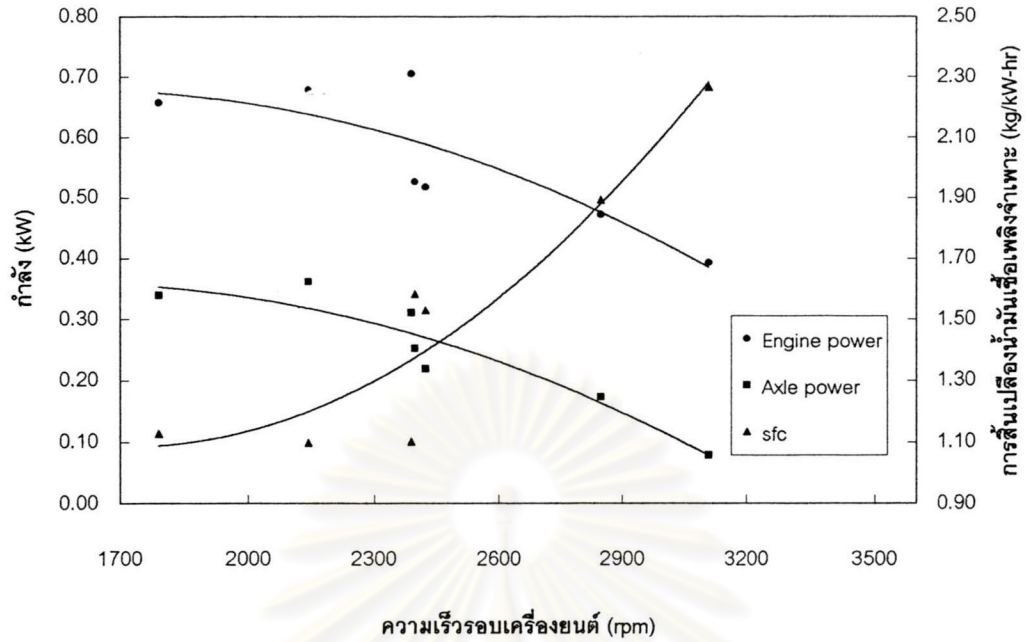
ล้อและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีลักษณะคล้ายกับที่ได้กล่าวแล้วในกรณีให้ภาระเป็นลักษณะของภาระที่เกิดจากการติดไถหัวหมู



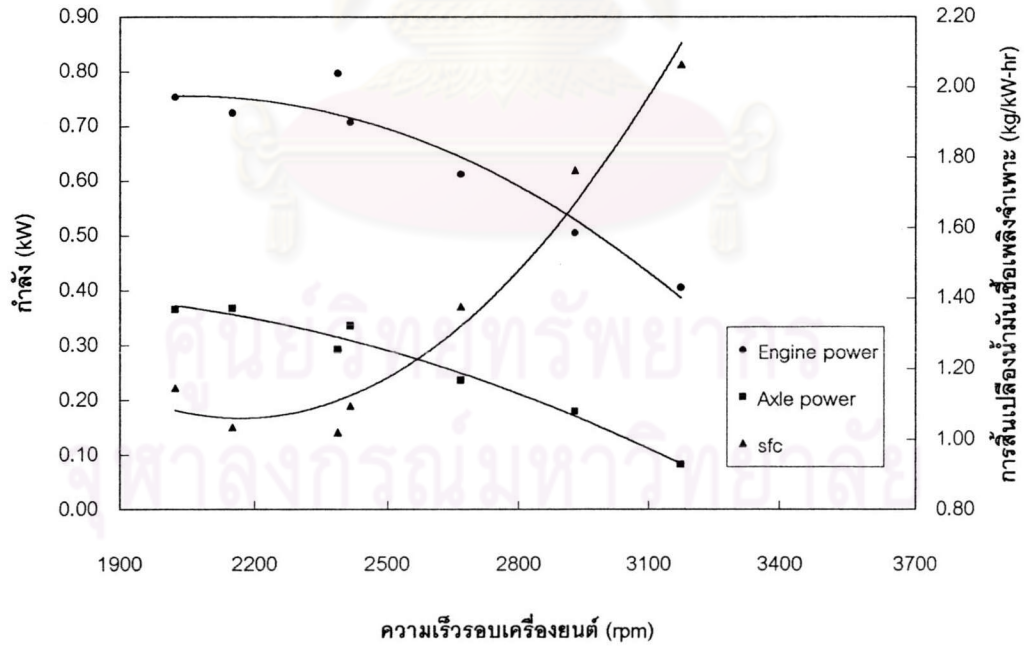
รูปที่ 6.55 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการสวมล้อพรวนดิน เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที



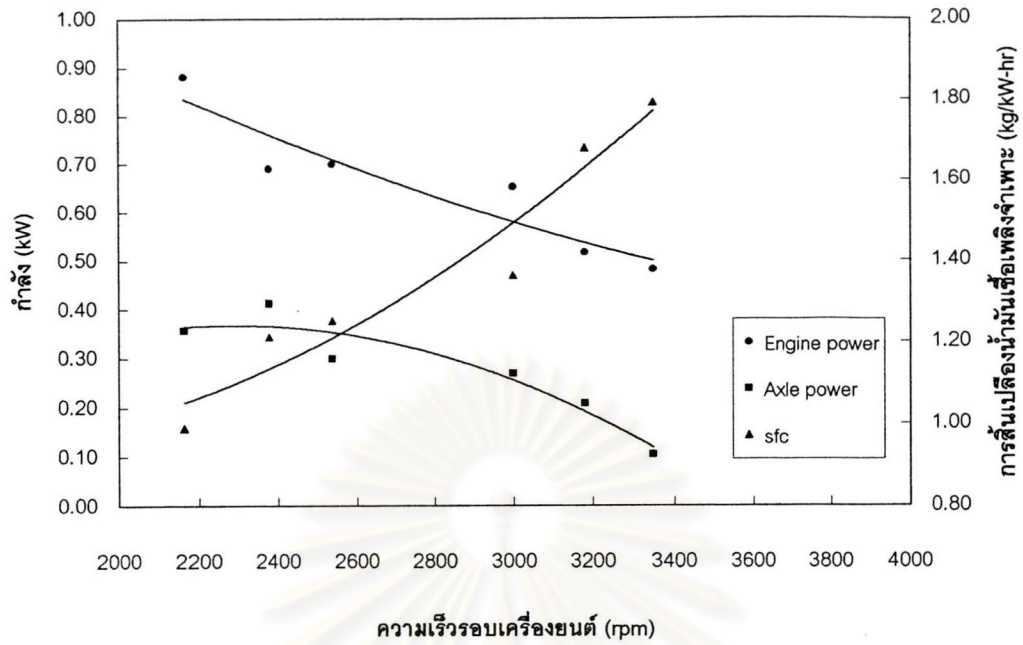
รูปที่ 6.56 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการสวมล้อพรวนดิน เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3000 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.57 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการสวมล้อพรวนดิน เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3200 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.58 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการสวมล้อพรวนดิน เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3400 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.59 การให้ภาระที่เพลาล้อในลักษณะของการสวมล้อพรวนดิน เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที

6.4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว

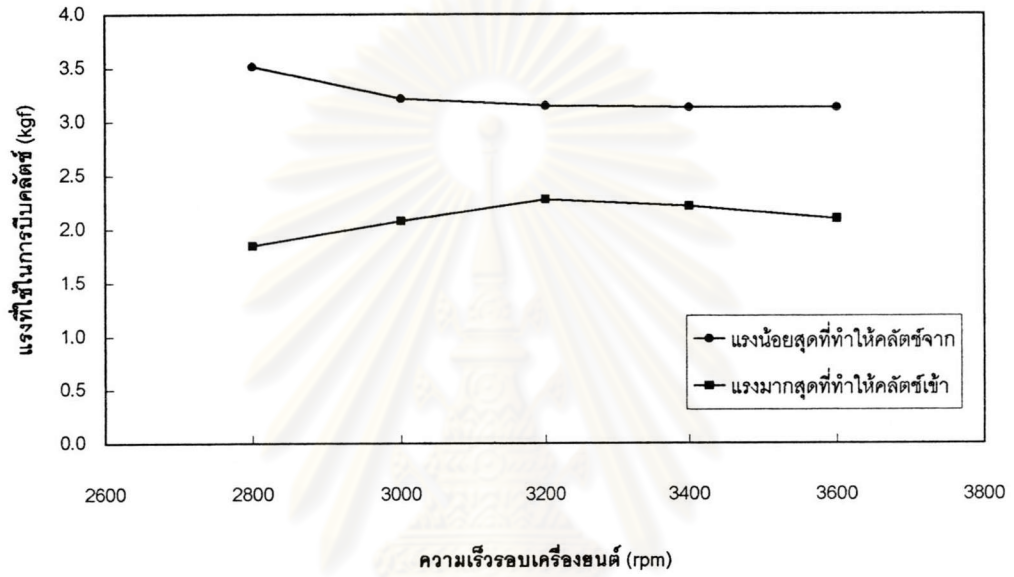
การทดลองวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ และกรณีที่มีภาระที่เพลาล้อตามลักษณะของภาระที่เกิดจากการลากรถพ่วง โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.4.1 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ

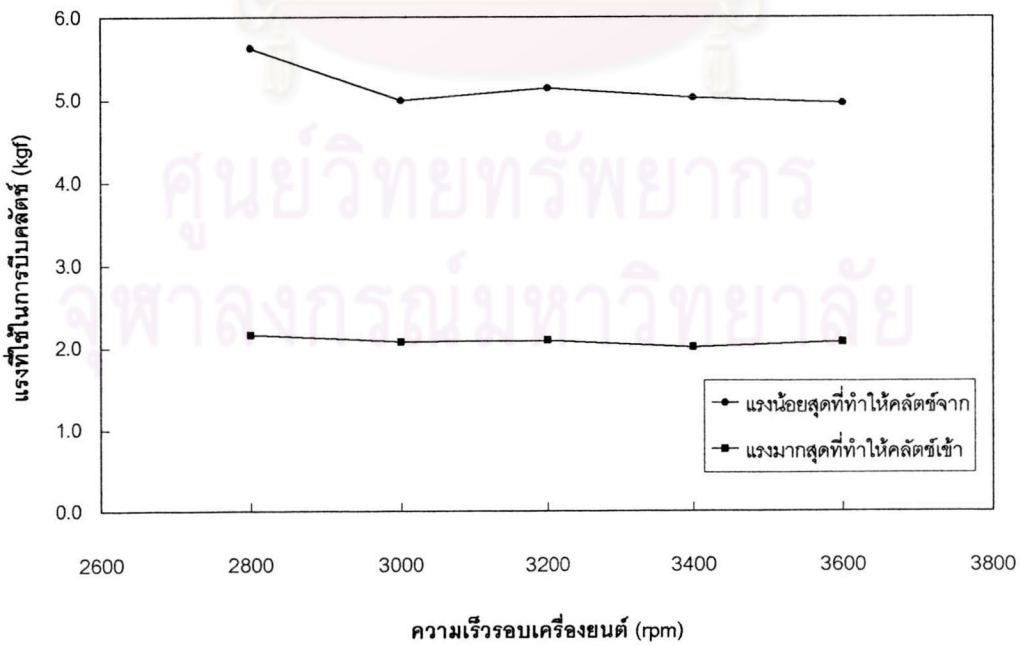
แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์ขณะไม่มีภาระสามารถพิจารณาเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ แรงน้อยสุดที่ทำให้คลัตช์จาก และแรงมากสุดที่ทำให้ล้อเริ่มหมุน (คลัตช์เข้า) โดยแยกเป็นล้อข้างซ้ายและข้างขวา ตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 ดังแสดงในรูปที่ 6.60-6.71

ในกรณีของแรงมากสุดที่ทำให้ล้อเริ่มหมุน (คลัตช์เข้า) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ และทุกเกียร์ความเร็ว ทั้งล้อข้างซ้ายและขวา ซึ่งมีค่าประมาณ 2 kgf

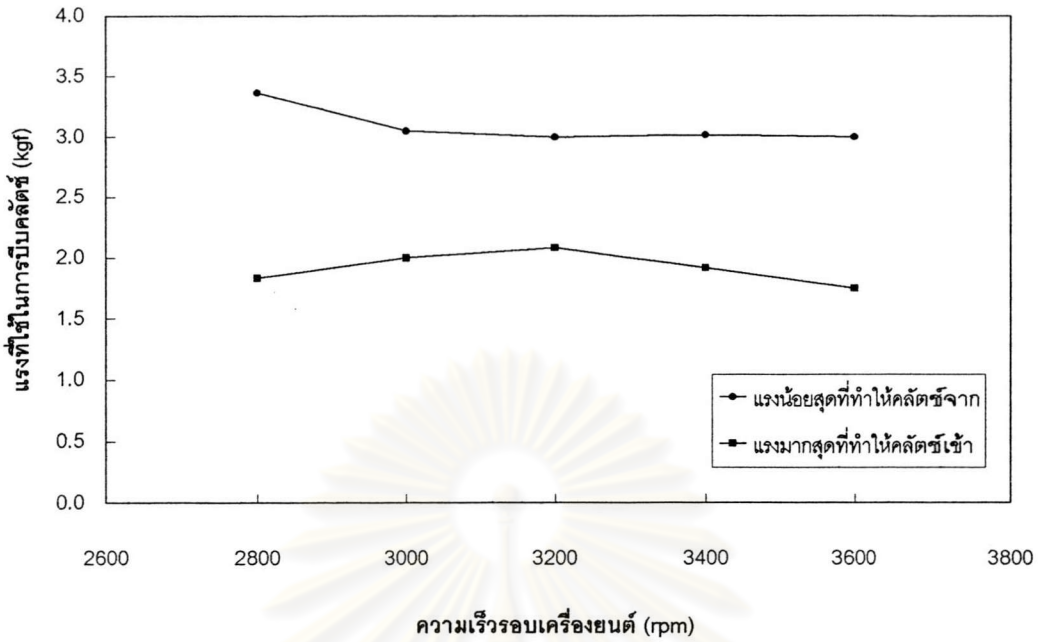
ในกรณีแรงน้อยสุดที่ทำให้คลัตช์จากนั้น พบว่า แรงที่ใช้มีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2800 rpm เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์จะมีค่าลดลงจนถึงความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 3400 rpm และ 3200 rpm ของล้อซ้ายและล้อขวาตามลำดับ จากนั้นแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ในทุกๆ เกียร์ความเร็วของเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาความแตกต่างของแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์ในแต่ละเกียร์ความเร็ว พบว่าแรงที่ใช้บีบคลัตช์ในแต่ละเกียร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่สามารถเห็นแนวโน้มของความแตกต่างในแต่ละเกียร์ได้ชัดเจน



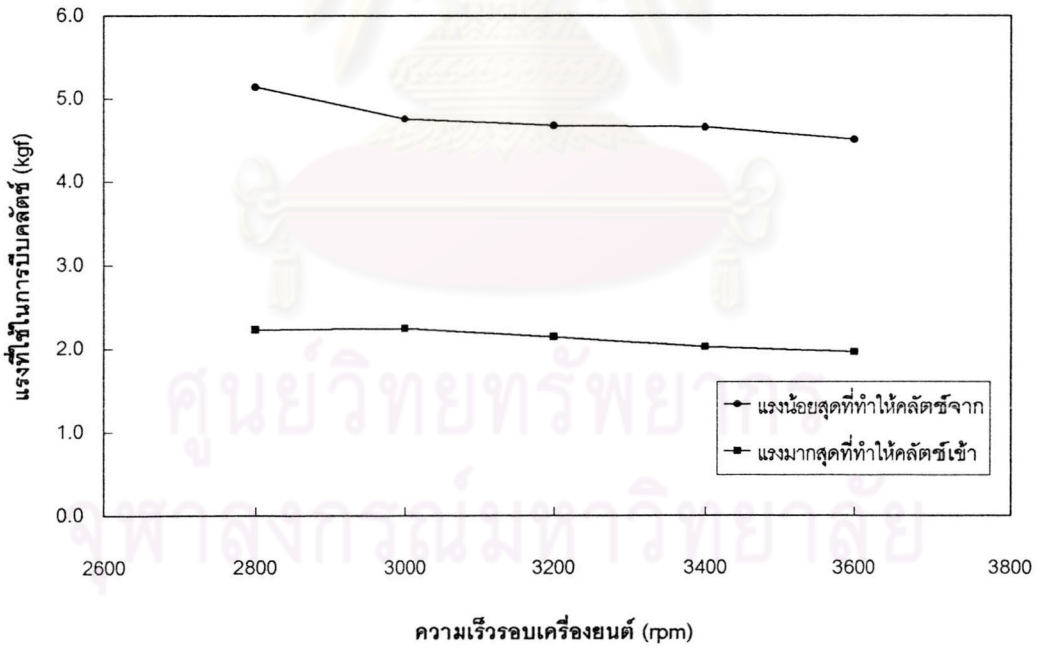
รูปที่ 6.60 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1 ล้อซ้าย



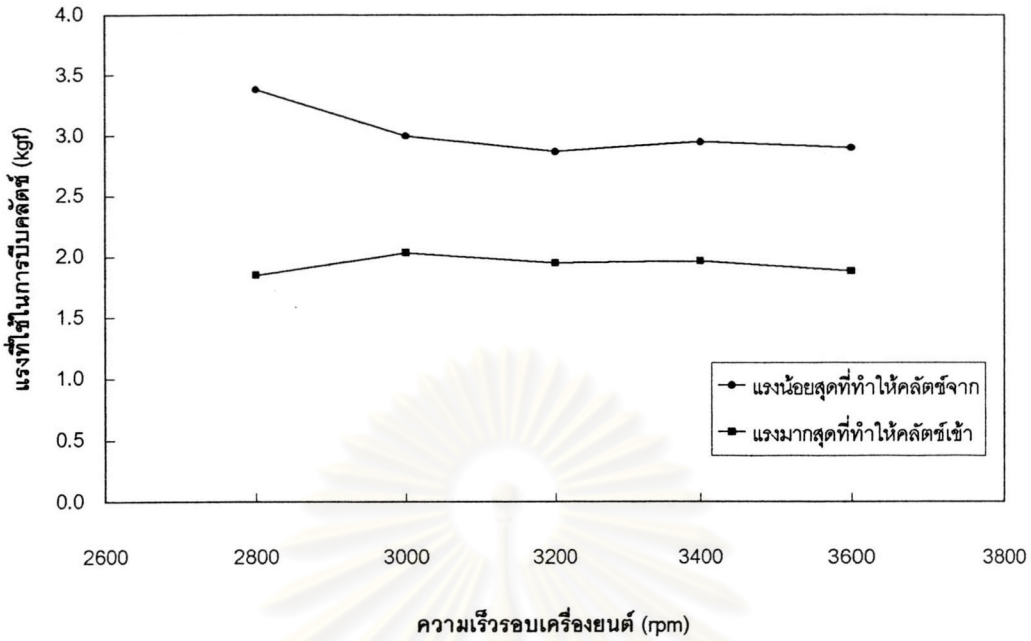
รูปที่ 6.61 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1 ล้อขวา



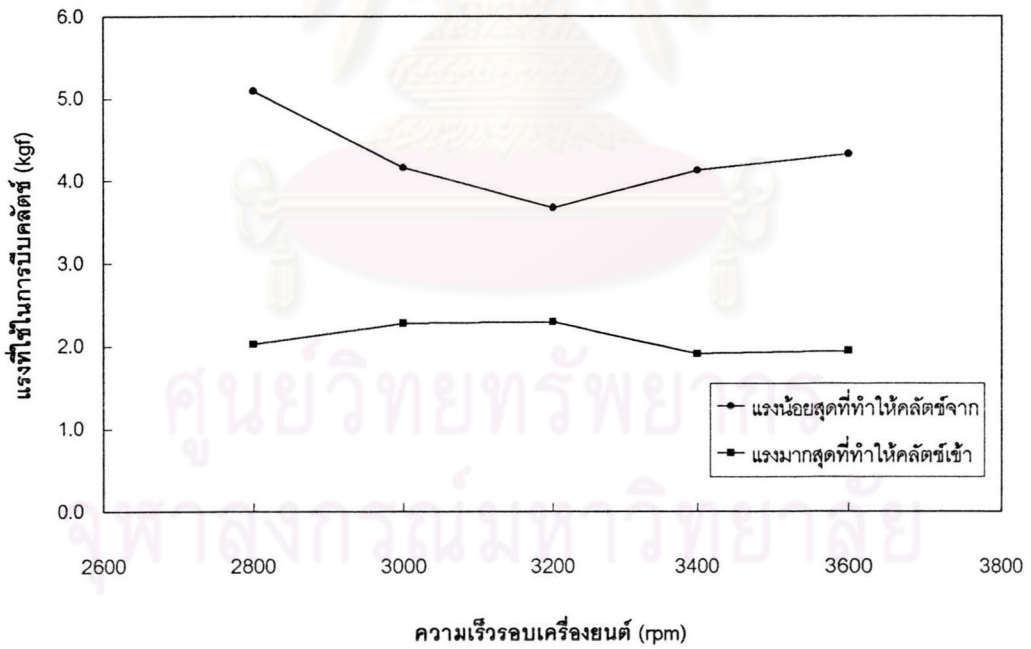
รูปที่ 6.62 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2 ล้อซ้าย



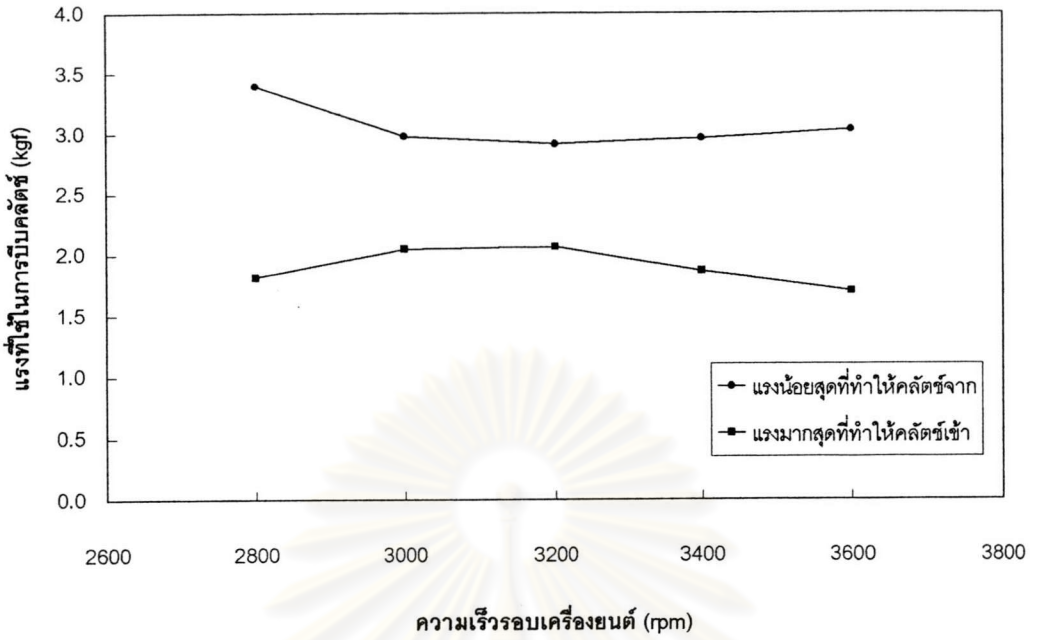
รูปที่ 6.63 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2 ล้อขวา



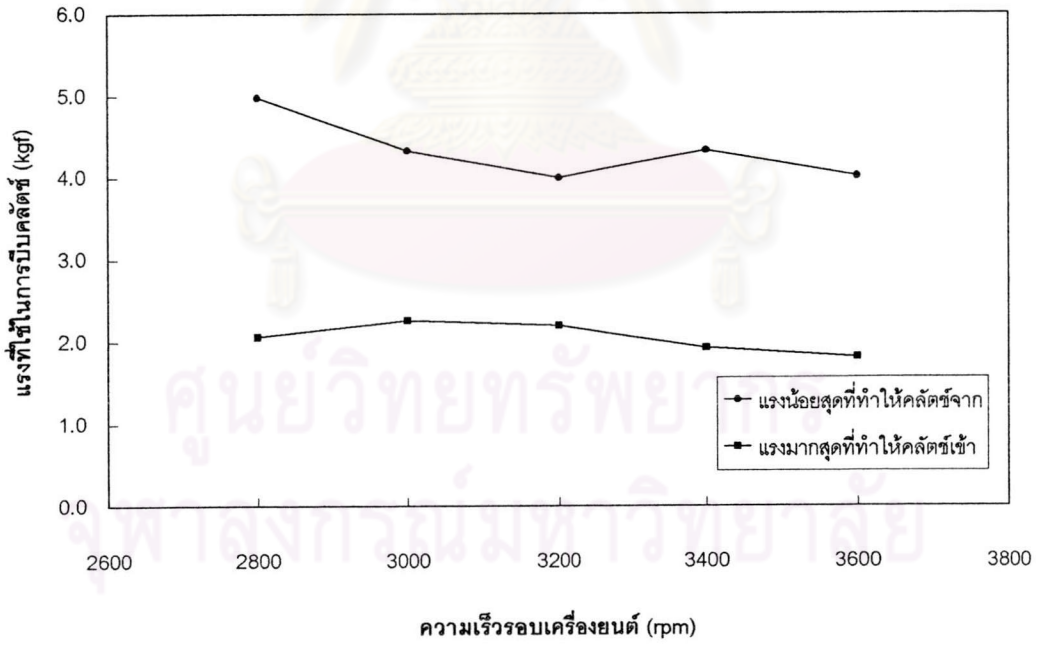
รูปที่ 6.64 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3 ล้อซ้าย



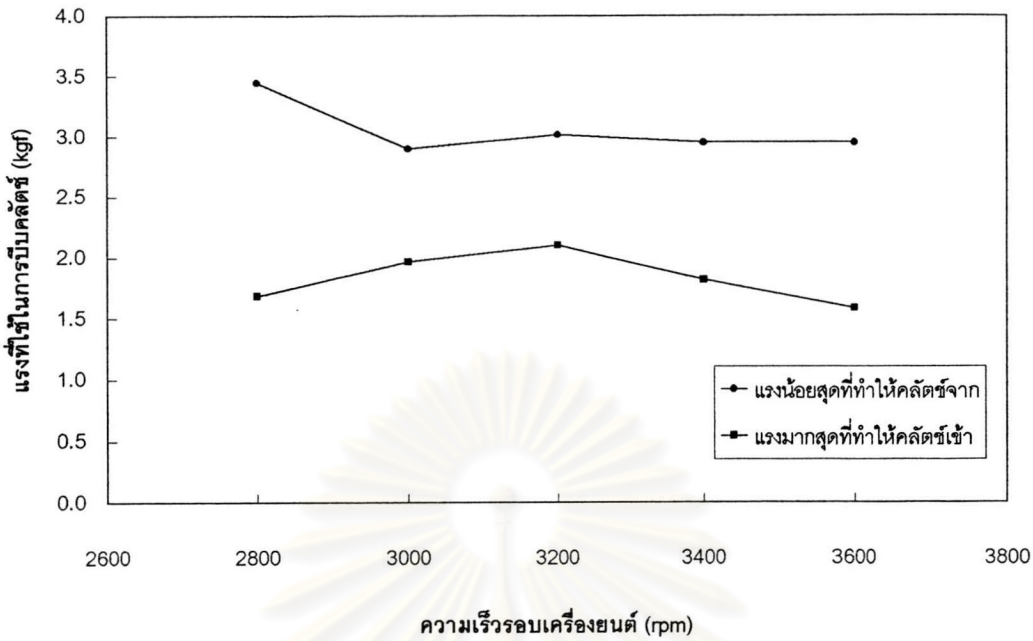
รูปที่ 6.65 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3 ล้อขวา



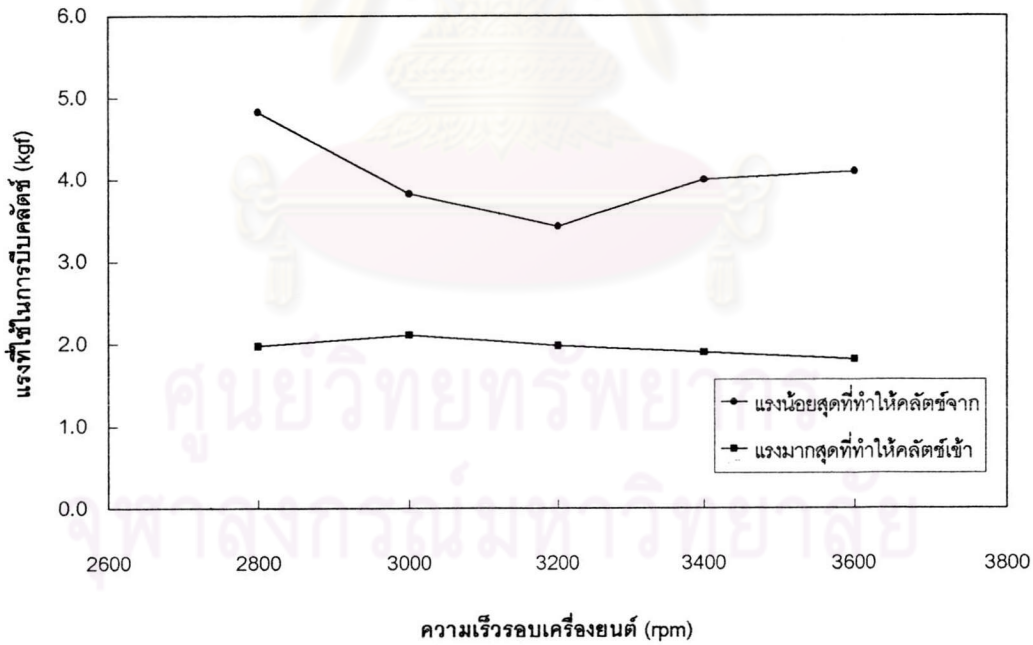
รูปที่ 6.66 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4 ล้อซ้าย



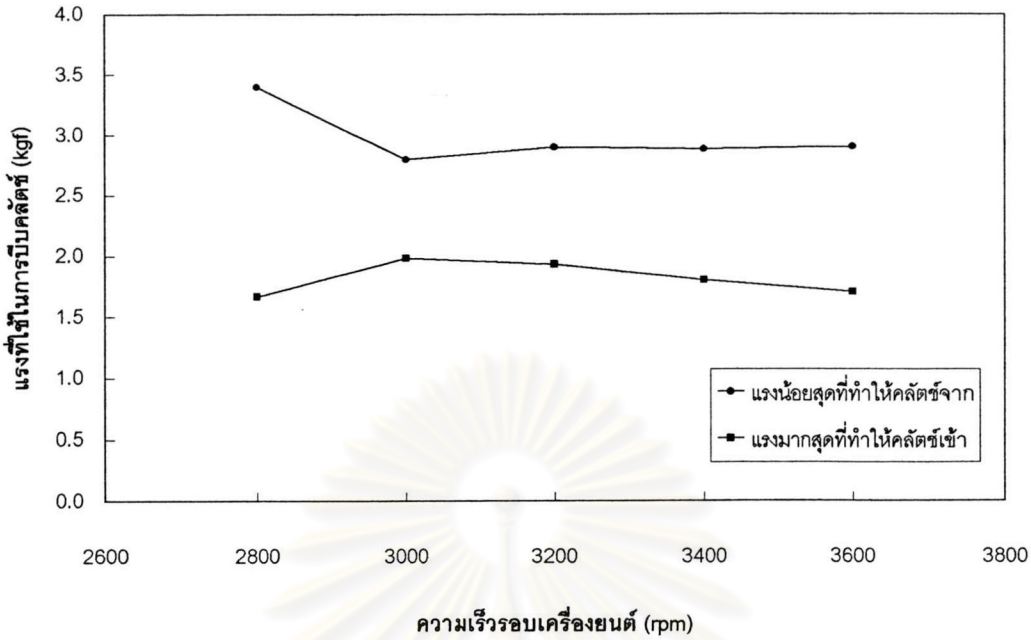
รูปที่ 6.67 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4 ล้อขวา



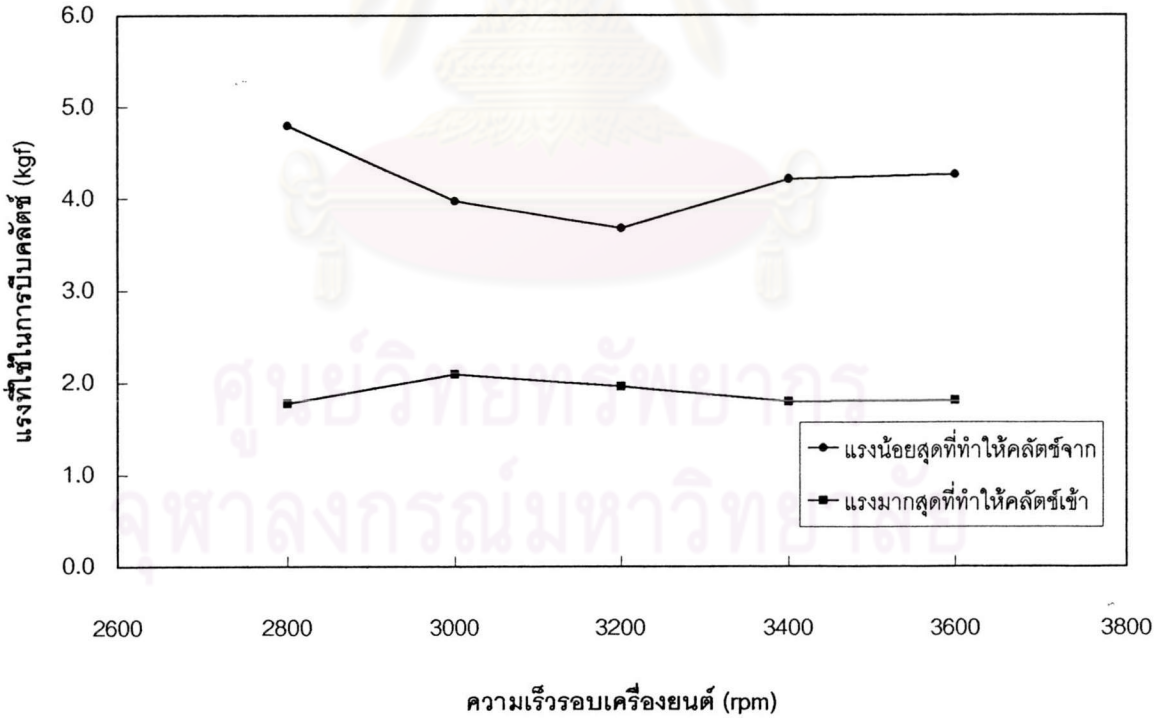
รูปที่ 6.68 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5 ล้อซ้าย



รูปที่ 6.69 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5 ล้อขวา



รูปที่ 6.70 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6 ล้อซ้าย



รูปที่ 6.71 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6 ล้อขวา

6.4.2 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ

ในการทดลองเพื่อศึกษาแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์ในกรณีที่มีภาระที่เพลาล้อนั้น ได้พิจารณาให้ภาระที่ใส่เข้าที่เพลาล้อเป็นภาระที่มีลักษณะของการต่อพ่วงรถไถพรวนดินด้วยรถพ่วงเพียงกรณีเดียว เนื่องจากในกรณีของไถและล้อพรวนดิน โดยปกติเกษตรกรผู้ใช้งานจะไม่บีบคลัตช์ขณะกำลังทำงาน แต่จะบีบคลัตช์เพื่อเลี้ยวขณะที่ไถหรือพรวนดินถึงสุดแปลงแล้ว โดยในขณะนั้นจำเป็นต้องลดความเร็วและช่วยยกคันมือถือของรถไถพรวนดินขึ้นเล็กน้อย เพื่อช่วยให้การเลี้ยวมีเสถียรภาพและปลอดภัย ภาระที่กระทำที่เพลาล้อขณะนั้นจะน้อยกว่าในขณะทำงาน ด้วยสาเหตุนี้จึงไม่นำกรณีต่อพ่วงด้วยไถหรือล้อพรวนดินมาพิจารณา

ลักษณะการทำงานของรถไถพรวนดินในกรณีต่อพ่วงด้วยรถพ่วงนั้น จะใช้เกียร์ความเร็วครบทั้ง 6 เกียร์ เพื่อให้ทำงานได้ครอบคลุมทุกสภาวะ เช่น กรณีที่วิ่งบนถนนและไม่มีภาระมากนัก อาจใช้เกียร์ 5 หรือเกียร์ 6 กรณีที่วิ่งบนพื้นดินมีภาระบรรทุกมาพอสมควร และเส้นทางที่วิ่งไม่ใช่ทางตรงก็อาจเลือกใช้เกียร์ 3 หรือเกียร์ 4 เป็นต้น ดังนั้นในการทดลองวัดแรงบีบคลัตช์กรณีต่อพ่วงด้วยรถพ่วงนั้น จะทำการทดลองทั้ง 6 เกียร์ โดยมีลักษณะของภาระกระทำเท่าๆ กันที่เพลาล้อทั้งสองข้างดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 4

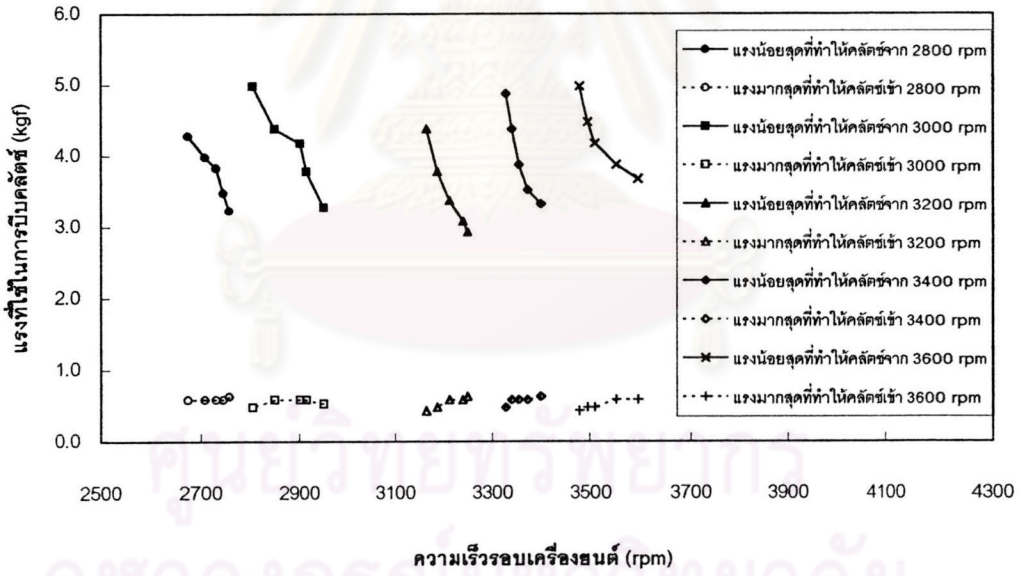
ในการศึกษาและทดลองแบบมีภาระนี้ ได้แบ่งการพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ แรงน้อยสุดที่ทำให้เพลาล้อหยุดหมุน (คลัตช์จาก) และแรงมากสุดที่ทำให้เพลาล้อเริ่มหมุน (คลัตช์เข้า) ดังแสดงในรูปที่ 6.72-6.83

กรณีของแรงมากที่สุดที่ทำให้คลัตช์เข้า พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทุกๆ ขนาดของภาระ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และเกียร์ความเร็ว โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.40-0.65 kgf หมายความว่าหลังจากเกษตรกรผู้ใช้งานบีบคลัตช์ให้จากได้แล้วสามารถลดแรงบีบคลัตช์ลงจนเกือบถึงค่าดังกล่าวได้โดยที่คลัตช์ยังจากอยู่

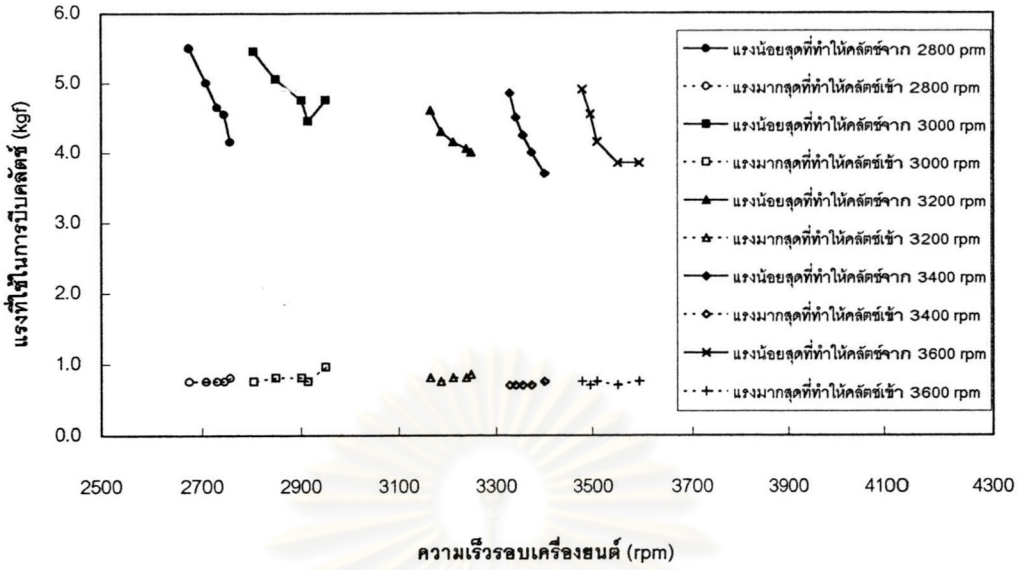
กรณีของแรงน้อยที่สุดที่ทำให้คลัตช์จาก แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์จะเพิ่มขึ้นเมื่อภาระที่เพลาล้อเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.6-5.6 kgf ซึ่งค่าสูงสุดจะอยู่ที่เกียร์ 1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 รอบต่อนาที เนื่องจากความเร็วรอบที่เพลาล้อต่ำทำให้มีแรงบิดสูง แสดงว่าภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อมีผลต่อแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์

เมื่อพิจารณารูปร่างลักษณะกลไกของคลัตช์ชนิดลูกปืนดังแสดงในรูปที่ 7.3 แล้วจะเห็นได้ว่ากลไกสำคัญที่ทำหน้าที่ในการรับแรงบิดที่เพลาล้อ คือเม็ดลูกปืน เขี้ยวของคลัตช์ ร่องรองรับลูกปืนบนเพลาล้อ และแหวนเลื่อน ขณะคลัตช์เข้า กลไกทั้ง 4 จะอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อพิจารณาที่

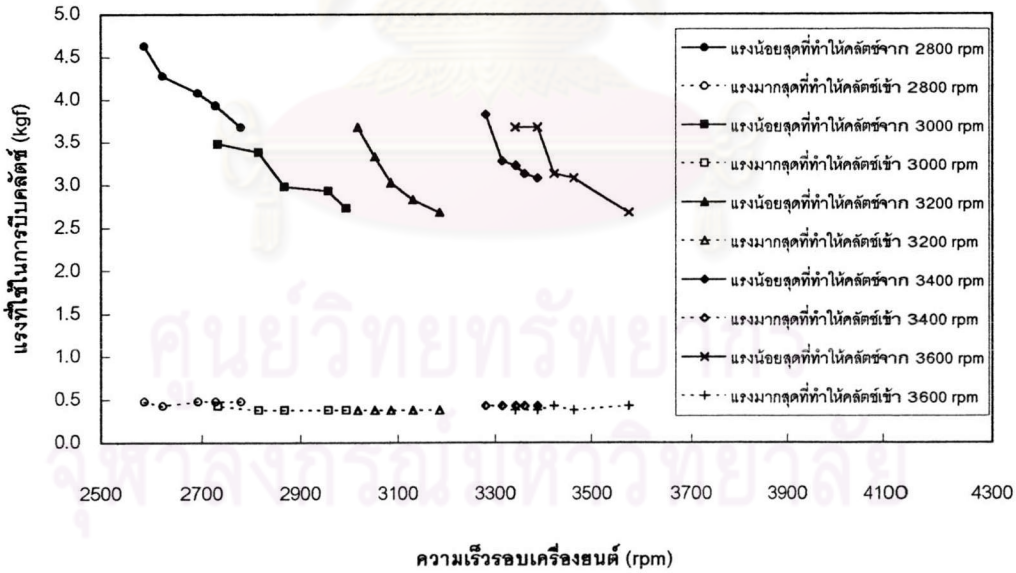
เม็ดลูกปืนจะมีแรงกระทำ 3 แรง คือแรงที่เขี้ยวของคลัตช์กระทำกับลูกปืน แรงที่เพลาล้อกระทำกับลูกปืน และแรงปฏิกิริยาที่แหวนเลื่อนกระทำกับลูกปืน เมื่อบีบคลัตช์แหวนเลื่อนจะเลื่อนไปในแนวแกนของเพลาล้อเข้าหาเฟืองโซ่ ขณะนั้นกลไกทั้ง 4 จะเสียสมดุลเนื่องจากขาดแรงปฏิกิริยาที่แหวนเลื่อนกระทำกับลูกปืน ดังนั้นลูกปืนจะถูกแรงที่เหลือดันให้เข้าไปอยู่ในช่องรองรับลูกปืนในแหวนเลื่อนทำให้เมื่อเฟืองโซ่หมุนเพลาล้อจะไม่หมุนตาม จากที่กล่าวมานี้แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์เพื่อให้คลัตช์จากนั้น น่าจะเป็นแรงที่ใช้ในการเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของลูกปืนกับแหวนเลื่อน ซึ่งหาได้จากแรงที่เขี้ยวของคลัตช์และแรงที่เพลาล้อกระทำกับลูกปืน โดยที่แรง 2 แรงนี้มีค่าเพิ่มตามแรงบิดที่เพลาล้อ ดังนั้นเมื่อแรงบิดที่เพลาล้อเพิ่มขึ้น แรงปฏิกิริยาที่แหวนเลื่อนกระทำกับลูกปืนก็จะเพิ่มขึ้นเป็นผลให้แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของลูกปืนกับแหวนเลื่อนมีค่าสูงขึ้นด้วย ทำให้ต้องใช้แรงในการบีบคลัตช์มากขึ้นเพื่อให้คลัตช์จาก แต่ในขณะที่คลัตช์จาก ถ้าปล่อยคันคลัตช์บีบเลี้ยวจะมีแรงจากสปริงเป็นตัวดันแหวนเลื่อนกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิม แหวนเลื่อนจะดันเม็ดลูกปืนกลับเข้าสู่ร่องบนเพลาล้อทำให้เกิดภาวะสมดุลของแรงขึ้นอีกครั้ง แรงมากสุดที่ทำให้คลัตช์เข้าจึงน่าจะมาจากแรงที่ใช้ในการเอาชนะแรงของสปริงที่ใช้ในการดันแหวนเลื่อนกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิมนั่นเอง เพราะมีค่าค่อนข้างคงที่



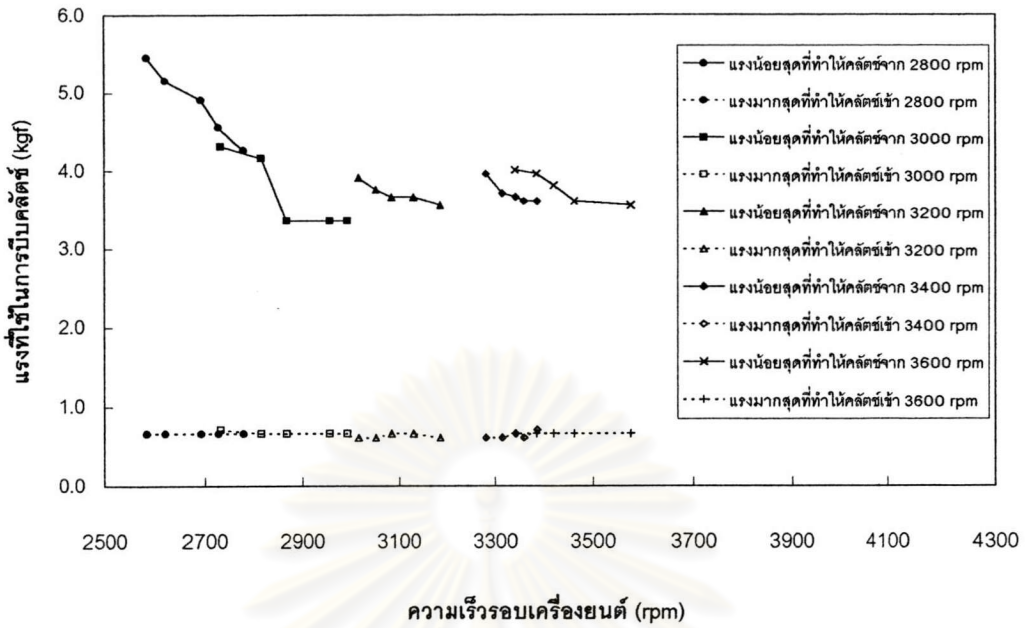
รูปที่ 6.72 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1 ล้อซ้าย



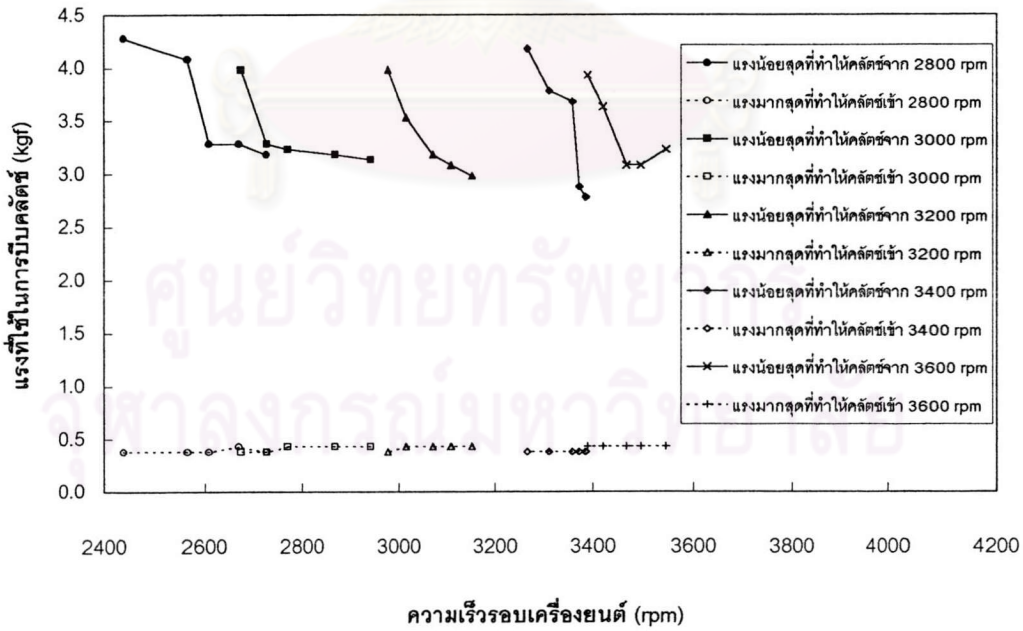
รูปที่ 6.73 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1 ล้อขวา



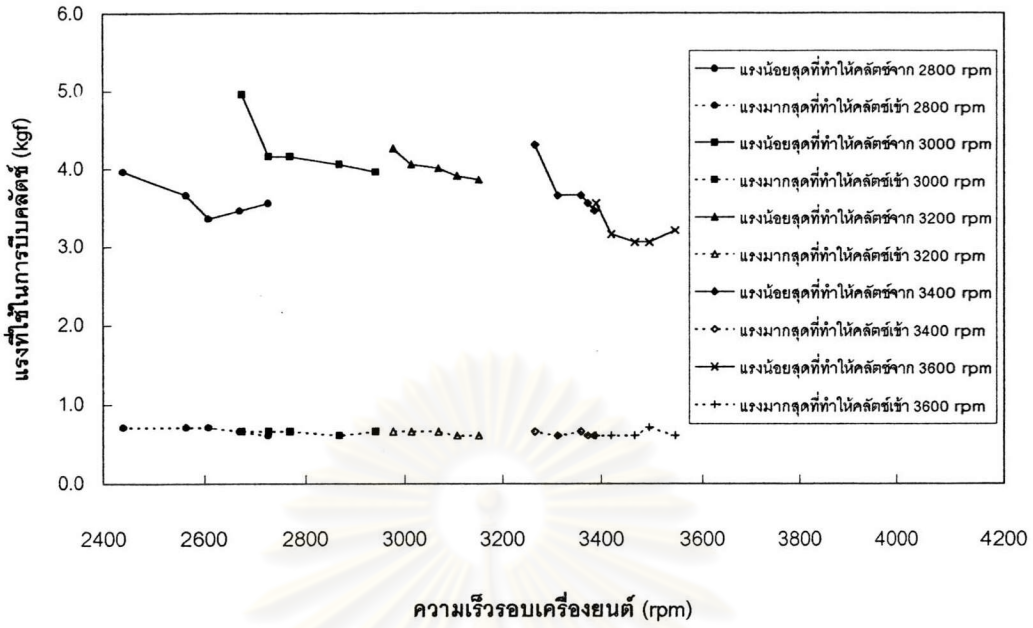
รูปที่ 6.74 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2 ล้อซ้าย



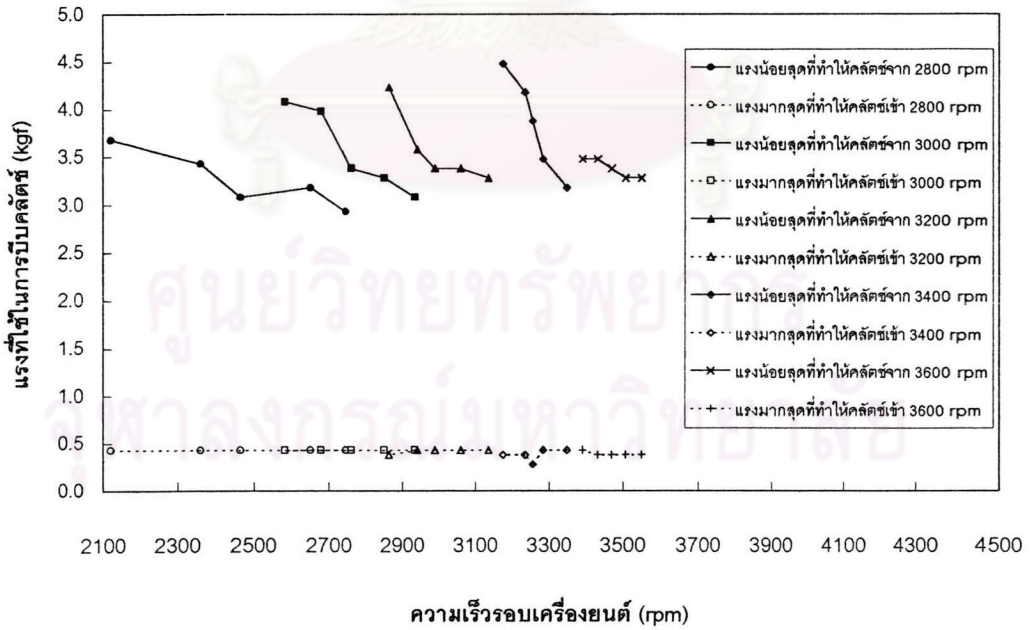
รูปที่ 6.75 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2 ล้อขวา



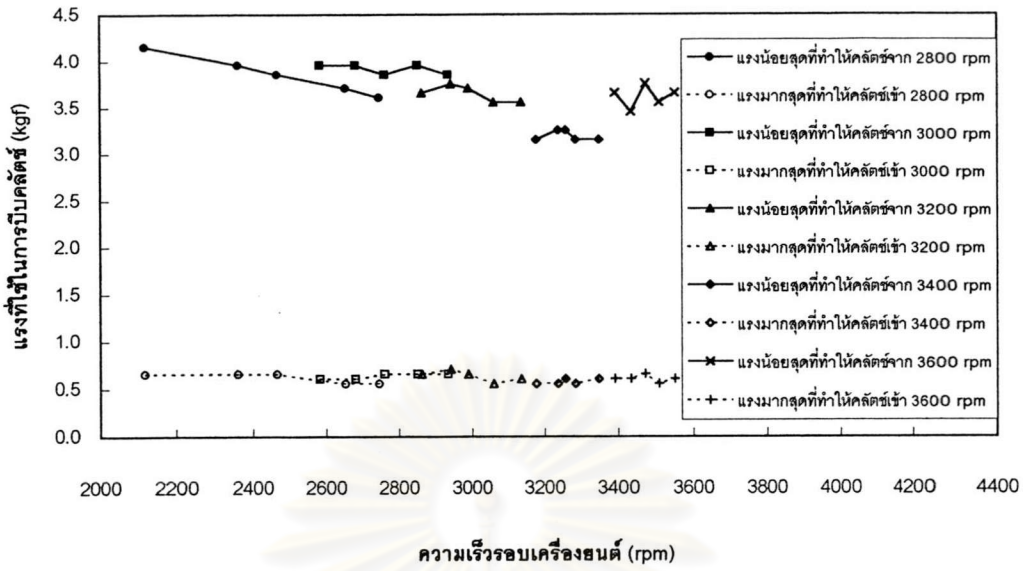
รูปที่ 6.76 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3 ล้อซ้าย



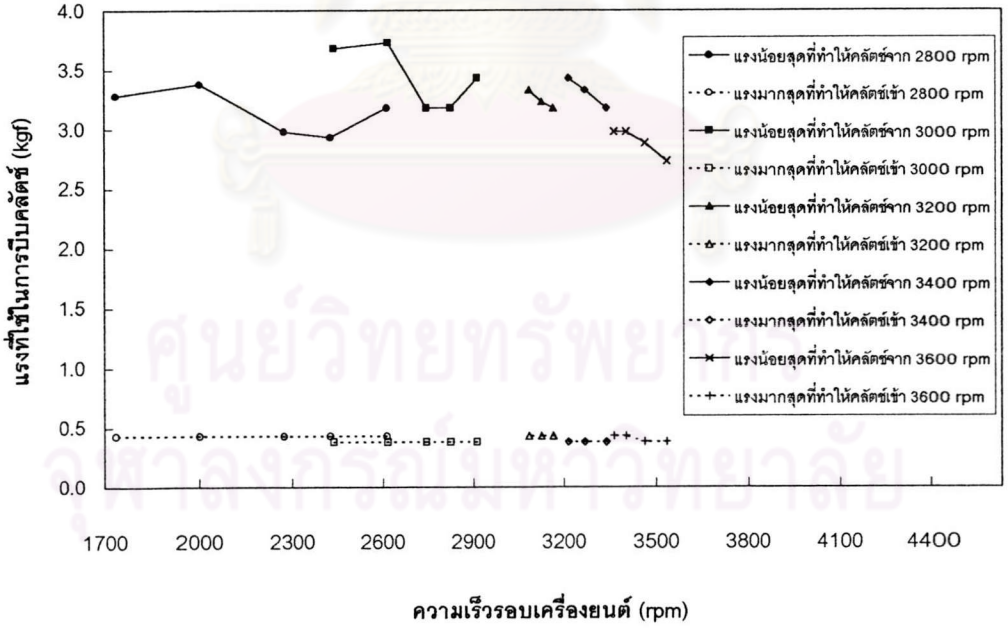
รูปที่ 6.77 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3 ล้อขวา



รูปที่ 6.78 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4 ล้อซ้าย

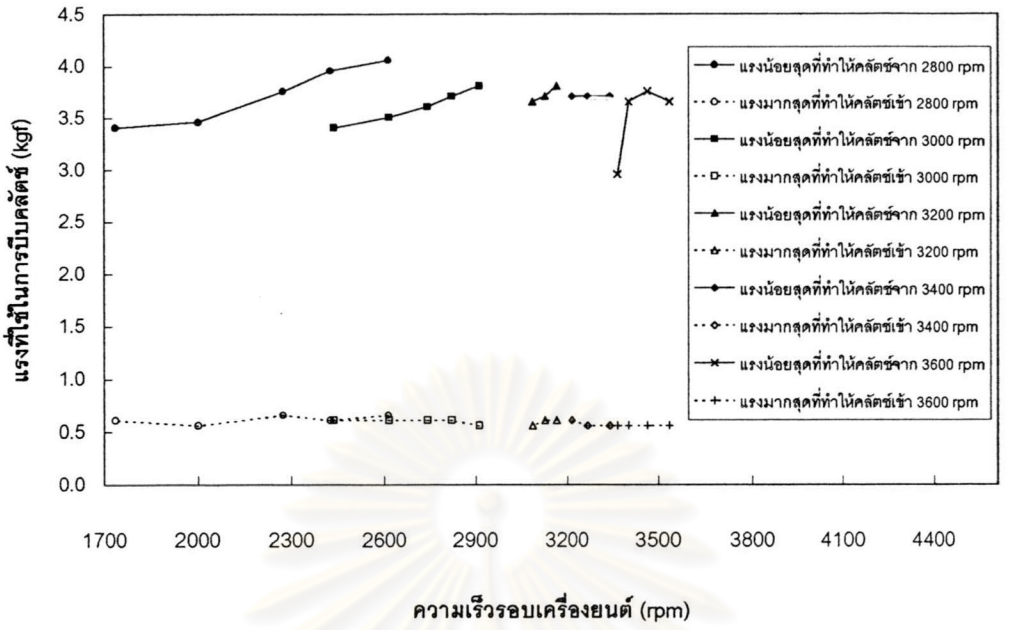


รูปที่ 6.79 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4 ล้อขวา

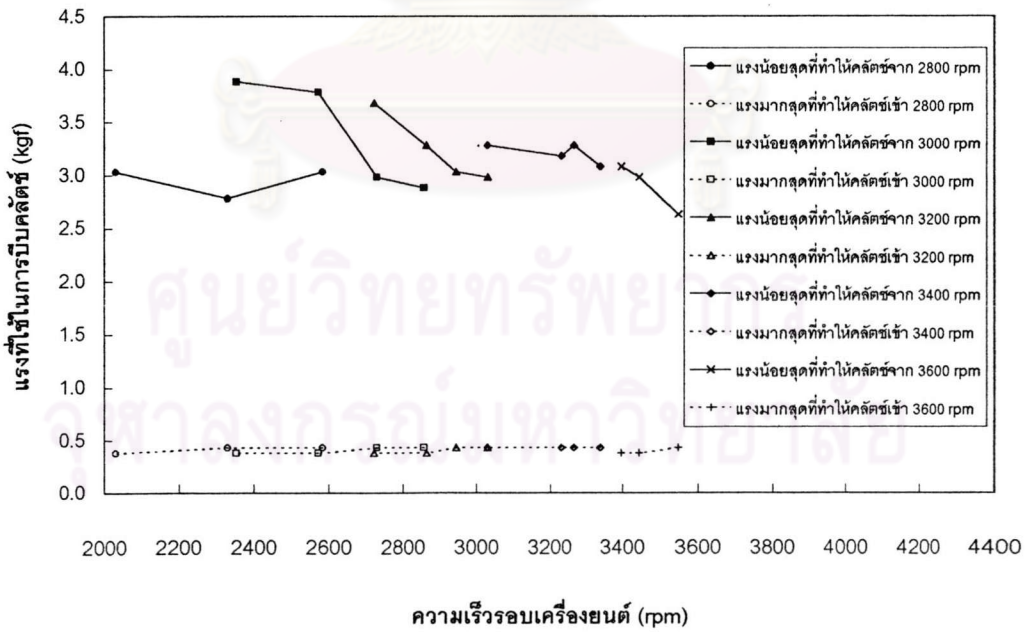


รูปที่ 6.80 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5 ล้อซ้าย

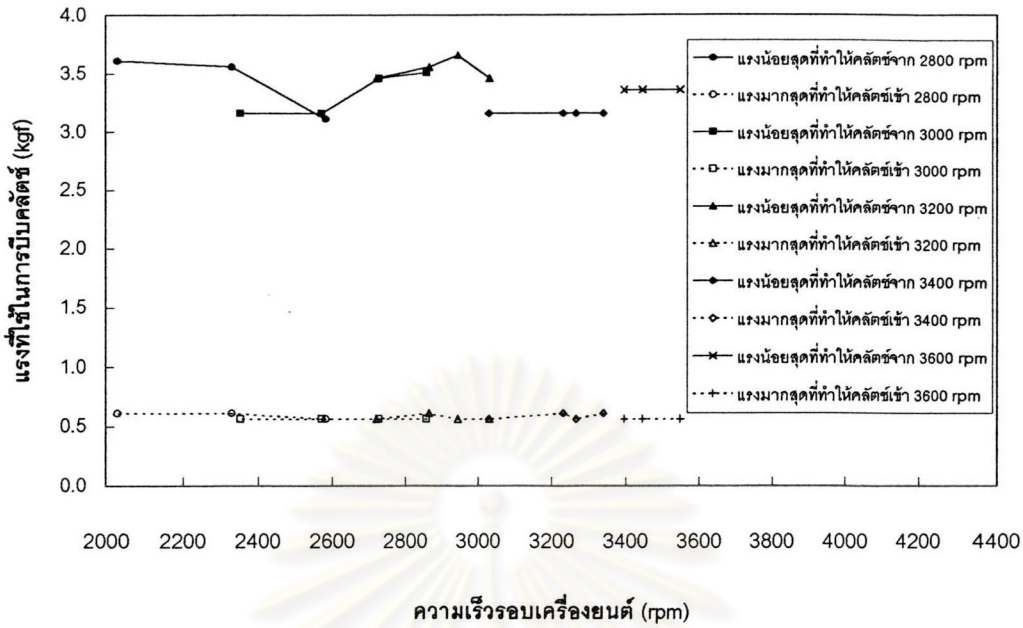
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.81 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5 ล้อขวา



รูปที่ 6.82 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6 ล้อซ้าย



รูปที่ 6.83 แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6 ล้อขวา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย