บทที่ 5

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

การศึกษาทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตได้แก่ ประสิทธิภาพ (η) และอัตราส่วนการไหล (M) ของเครื่อง โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทั้งสามคือ ระยะนอสเซิลขับ (nozzle distance, L_m) ความยาวห้องผสม (mixing chamber length, L_{MC}) และความแตกต่างของหัวความดัน (different pressure head, $z_3 - z_2$) เพื่อจะแสดงว่าค่าที่ได้รับมาจากการออกแบบเป็นค่าซึ่งสามารถยอมรับได้ หลังจากนั้นจะศึกษาผลกระทบของการใช้เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตในการสูบที่มีกับลูกกุ้ง

<u>ผลการทดลอง</u>

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตในห้องปฏิบัติการเครื่องกล จะเห็นถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพ (η) และอัตราส่วนการไหล (M) ของเครื่องที่เปลี่ยนไป เมื่อพารามิเตอร์ทั้งสามดังกล่าวมาแล้วเปลี่ยนไป และอัตราการตายของลูกกุ้งที่ผ่านเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตขนาดตามที่ออกแบบไว้ดังนี้

1. <u>อัตราส่วนการไหล (flow ratio, $M = Q_s/Q_m$)</u>

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อความยาวห้องผสม (L_{MC}) และความแตกต่างของหัวความดัน ($z_3 - z_2$) คงที่ ค่าของอัตราส่วนการไหล (M) จะเพิ่มขึ้นกับระยะนอสเซิลขับที่เพิ่มขึ้นจาก -40 มิลลิเมตร ถึงประมาณ 38 มิลลิเมตร หลังจากนั้นก็จะลดลงกับระยะนอสเซิลขับที่เพิ่มขึ้นจากประมาณ 38 มิลลิเมตร ถึง 120 มิลลิเมตร ที่ความยาวห้องผสมจาก 1,180 มิลลิเมตร ถึง 580 มิลลิเมตร ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังในกราฟที่แสดงอยู่ในภาคผนวก ง

ในทำนองเดียวกันจากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อระยะนอสเซิลขับ (L_m) และความแตกต่างของหัวความดัน ($z_3 - z_2$) คงที่ ค่าอัตราส่วนการไหล (M) จะเพิ่มขึ้นกับความยาวห้องผสมที่เพิ่มขึ้นจาก 580 มิลลิเมตร ถึงประมาณ 880 มิลลิเมตร หลังจากนั้นก็จะลดลงกับความยาวห้อง

ผสมที่เพิ่มขึ้นจากประมาณ 880 มิลลิเมตร ถึง 1,180 มิลลิเมตร ที่ระยะนอสเซิลขับจาก 120 มิลลิเมตร ถึง -40 มิลลิเมตร ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังในกราฟที่แสดงอยู่ในภาคผนวก ง

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนการไหล (M) เมื่อทั้งความยาวท้องผสม (L_{MC}) และระยะนอสเซิลขับ (L_m) คงที่ โดยที่มีความแตกต่างของหัวความดัน (z_3-z_2) เปลี่ยนไปจะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนการไหล (M) นั้นจะเพิ่มขึ้นกับความแตกต่างของหัวความดันที่ลดลงจาก 35 เซนติเมตร 30 เซนติเมตร 25 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่ความยาวท้องผสมจาก 1,180 มิลลิเมตร ถึง 580 มิลลิเมตร และระยะนอสเซิลขับจาก 120 มิลลิเมตร ถึง -40 มิลลิเมตร ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังในกราฟที่แสดงอยู่ในภาคผนวก ง

จากการทดลองทั้งสองแบบดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้รับมาจากการออกแบบคือ ความยาวท้องผสม 880 มิลลิเมตร และระยะนอสเซิลขับ 38 มิลลิเมตรนั้น เป็นค่าซึ่งทำให้อัตราส่วนการไหลมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6 เมื่อความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตร หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ค่าที่ได้รับมาจากการออกแบบเป็นค่าที่ดีที่สุด เมื่อความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตรนั่นเอง

2. ประสิทธิภาพ (efficiency, η)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตกับพารามิเตอร์ทั้งสามมีลักษณะเช่นเดียวกับอัตราส่วนการไหล แต่ที่แตกต่างกันก็คือ เมื่อความแตกต่างของหัวความดันมีค่าน้อยลงอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตมีค่าน้อยลงก็ได้ ดังที่แสดงให้เห็นในกราฟที่อยู่ในภาคผนวก ง

จากการทดลองทางด้านประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้รับมาจากการออกแบบคือ ความยาวท้องผสม 880 มิลลิเมตร และระยะนอสเซิลขับ 38 มิลลิเมตรนั้น เป็นค่าซึ่งทำให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 35% เมื่อความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตร หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ค่าที่ได้รับมาจากการออกแบบเป็นค่าที่ดีที่สุด เมื่อความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตรนั่นเอง

3. อัตราการตายของลูกกุ้ง

จากการทดลองนำเอาลูกกุ้งมาทดสอบกับเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตที่ได้สร้างตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้ลูกกุ้งขนาด 1 ซม. และให้มีความหนาแน่นของลูกกุ้ง 500 ตัว/ลบ.ม. ผลปรากฏว่า

<u>การทดลองครั้งที่ 1</u>		
จำนวนลูกกุ้งที่ผ่านเครื่อง	283	ตัว
จำนวนลูกกุ้งที่ตายไปทันทีหลังจากผ่านเครื่อง	2	ตัว
จำนวนลูกกุ้งที่ตายไปหลังจากที่เลี้ยงไว้	0	ตัว
อัตราการตายคิดเป็นเปอร์เซนต์	0.007	%
<u>การทดลองครั้งที่ 2</u>		
จำนวนลูกกุ้งที่ผ่านเครื่อง	183	ตัว
จำนวนลูกกุ้งที่ตายไปทันทีหลังจากผ่านเครื่อง	0	ตัว
จำนวนลูกกุ้งที่ตายไปหลังจากที่เลี้ยงไว้	0	ตัว
อัตราการตายคิดเป็นเปอร์เซนต์	0	%
<u>การทดลองครั้งที่ 3</u>		
จำนวนลูกกุ้งที่ผ่านเครื่อง	197	ตัว
จำนวนลูกกุ้งที่ตายไปทันทีหลังจากผ่านเครื่อง	0	ตัว
จำนวนลูกกุ้งที่ตายไปหลังจากที่เลี้ยงไว้	0	ตัว
อัตราการตายคิดเป็นเปอร์เซนต์	0	%
<u>ค่าเฉลี่ย</u>		
อัตราการตายคิดเป็นเปอร์เซนต์	0.002	%

เมื่อนำลูกกุ้งที่ผ่านเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตนี้มาเลี้ยงเปรียบเทียบกับลูกกุ้งซึ่งไม่ผ่านเครื่อง จะเห็นได้ว่าลูกกุ้งมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากโดยไม่สามารถบ่งชี้ได้เลยว่า ลูกกุ้งซึ่งผ่านเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตนี้ได้รับบาดเจ็บประการใด

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้รับมา จะนำมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (flow ratio, $M = Q_s/Q_m$) กับระยะนอสเซิลขับ (nozzle distance, L_m)

จากกราฟรูปที่ ง.1 ถึง ง.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อความยาวห้องผสม (L_{MC})และความแตกต่างของหัวความดัน ($z_3 - z_2$) คงที่ ค่าของอัตราส่วนการไหล (M) จะเพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วจะลดลงกับค่าของระยะนอสเซิลขับที่เพิ่มขึ้นจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด เมื่อความยาวห้องผสมจาก 1,180 มิลลิเมตร ถึง 580 มิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากการที่เพิ่มระยะนอสเซิลขับเท่ากับลดอัตราการเกิดคาวิเตชั่น (cavitation) และยังลดแรงขับเคลื่อน (driving force) เมื่อระยะนอสเซิลขับน้อย ๆ การลดอัตราการเกิดคาวิเตชั่นมีผลกระทบมากกว่าการลดแรงขับเคลื่อน ดังนั้นจะทำให้อัตราส่วนการไหล (M) มีค่าสูงขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง การเพิ่มระยะนอสเซิลขับต่อไปจะทำให้การลดอัตราการเกิดคาวิเตชั่นมีผลกระทบน้อยกว่าการลดแรงขับเคลื่อน (driving force) ดังนั้นจึงทำให้อัตราส่วนการไหล (M) มีค่าลดลง

2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (flow ratio, $M = Q_s/Q_m$) กับความยาวห้องผสม (mixing chamber length, L_{MC})

จากกราฟรูปที่ ง.8 ถึง ง.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะนอสเซิลขับ (L_m) และความแตกต่างของหัวความดัน ($z_3 - z_2$) คงที่ ค่าอัตราส่วนการไหล (M) จะเพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วจะลดลงกับค่าของความยาวห้องผสมที่เพิ่มขึ้นจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด เมื่อระยะนอสเซิลขับจาก 120 มิลลิเมตร ถึง -40 มิลลิเมตร ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากที่ความยาวห้องผสมยังน้อยอยู่ การผสมไม่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ในห้องผสม หรือการเพิ่มขึ้นของความดันสถิตย์ยังไม่ถึงค่าสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มความยาวถึงจุด ๆ หนึ่งการผสมก็จะเสร็จสมบูรณ์หรือการเพิ่มขึ้นของความดันสถิตย์ถึงค่าสูงสุด ดังนั้นถ้าเพิ่มความยาวต่อไปก็จะเกิดความสูญเสีย (loss) ขึ้นได้ จึงทำให้ความสัมพันธ์เป็นเช่นนั้น

3. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับอัตราส่วนของระยะนอสเซิลขับต่อเส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของนอสเซิลขับ (L_m/d_m)

จากผลการทดลองที่ได้รับมานำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ L_m/d_m ที่ความยาวห้องผสมต่าง ๆ เมื่อความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตร ได้ดังในรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าที่ความยาวห้องผสมตั้งแต่ 1,180 มิลลิเมตร ถึง 680 มิลลิเมตรนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีค่าสูงที่สุดที่ค่า L_m/d_m เท่ากับ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นไปตามที่ใช้ในการออกแบบโดยที่เมื่อความยาวห้องผสมเท่ากับ 880 มิลลิเมตร จะได้ค่าประสิทธิภาพมีค่าสูงที่สุดที่แต่ละ L_m/d_m

4. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับอัตราส่วนของความยาวห้องผสมต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L_{MC}/d_s)

จากผลการทดลองที่ได้รับมานำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ L_{MC}/d_s ที่ระยะนอสเซิลขับต่างๆเมื่อความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตร ได้ดังในรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าที่ระยะนอสเซิลขับตั้งแต่ 100 มิลลิเมตร ถึง 0 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีค่าสูงที่สุดที่ค่า L_{MC}/d_s เท่ากับ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นไปตามที่ใช้ในการออกแบบ โดยที่เมื่อระยะนอสเซิลขับเท่ากับ 38 มิลลิเมตรจะได้ค่าประสิทธิภาพมีค่าสูงที่สุดที่แต่ละ L_{MC}/d_s

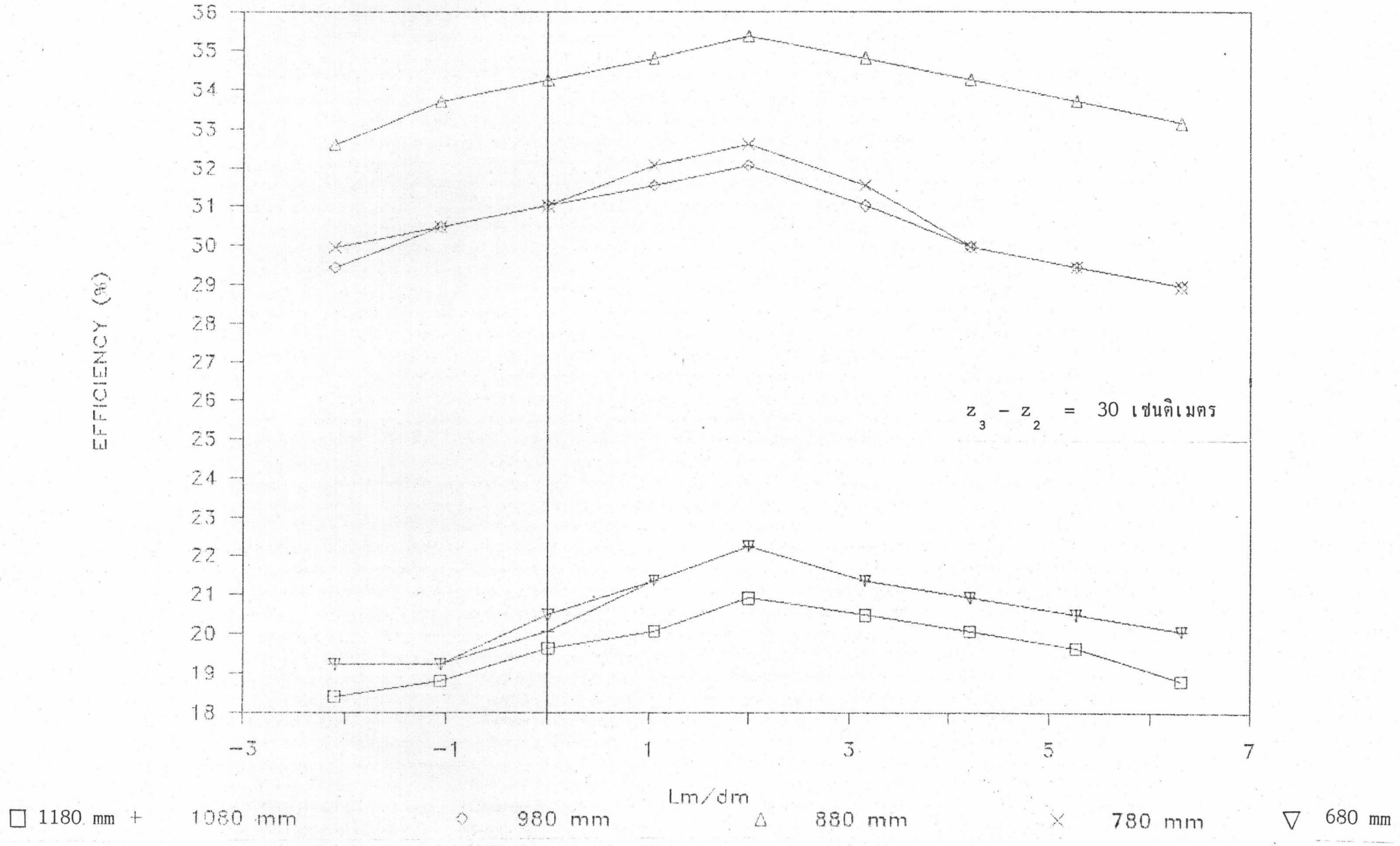
5. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับอัตราส่วนการไหล (flow ratio, $M = Q_s/Q_m$)

จากผลการทดลองที่ได้รับมา นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Q_s/Q_m เมื่อระยะนอสเซิลขับเท่ากับ 38 มิลลิเมตร และความยาวห้องผสมเท่ากับ 880 มิลลิเมตร ได้ดังในรูปที่ 5.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วจะลดลง

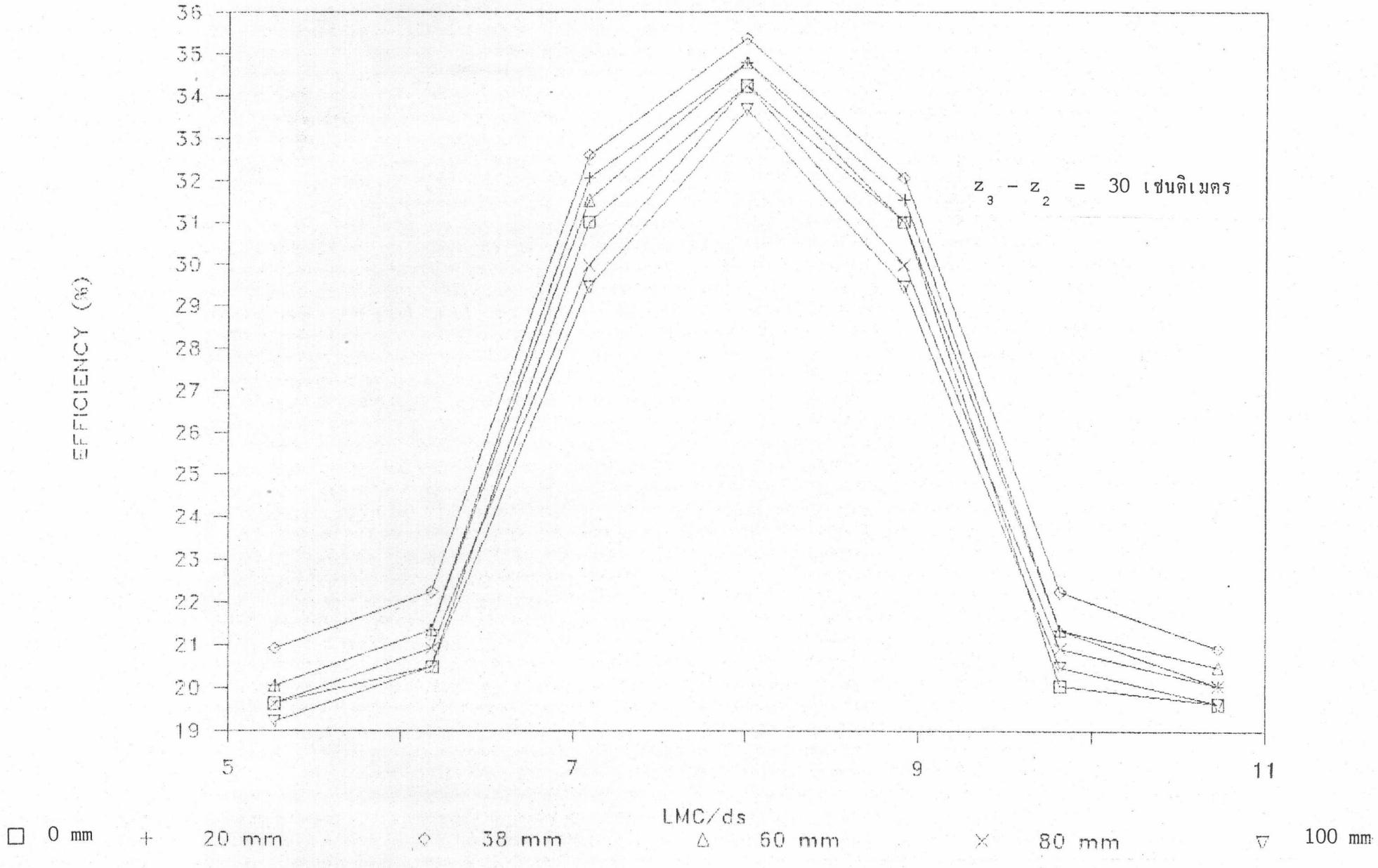
6. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับความแตกต่างของหัวความดัน (different pressure head, $z_3 - z_2$)

จากผลการทดลองที่ได้รับมา นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ $z_3 - z_2$ เมื่อระยะนอสเซิลขับเท่ากับ 38 มิลลิเมตร และความยาวห้องผสมเท่ากับ 880 มิลลิเมตร ได้ดังในรูป

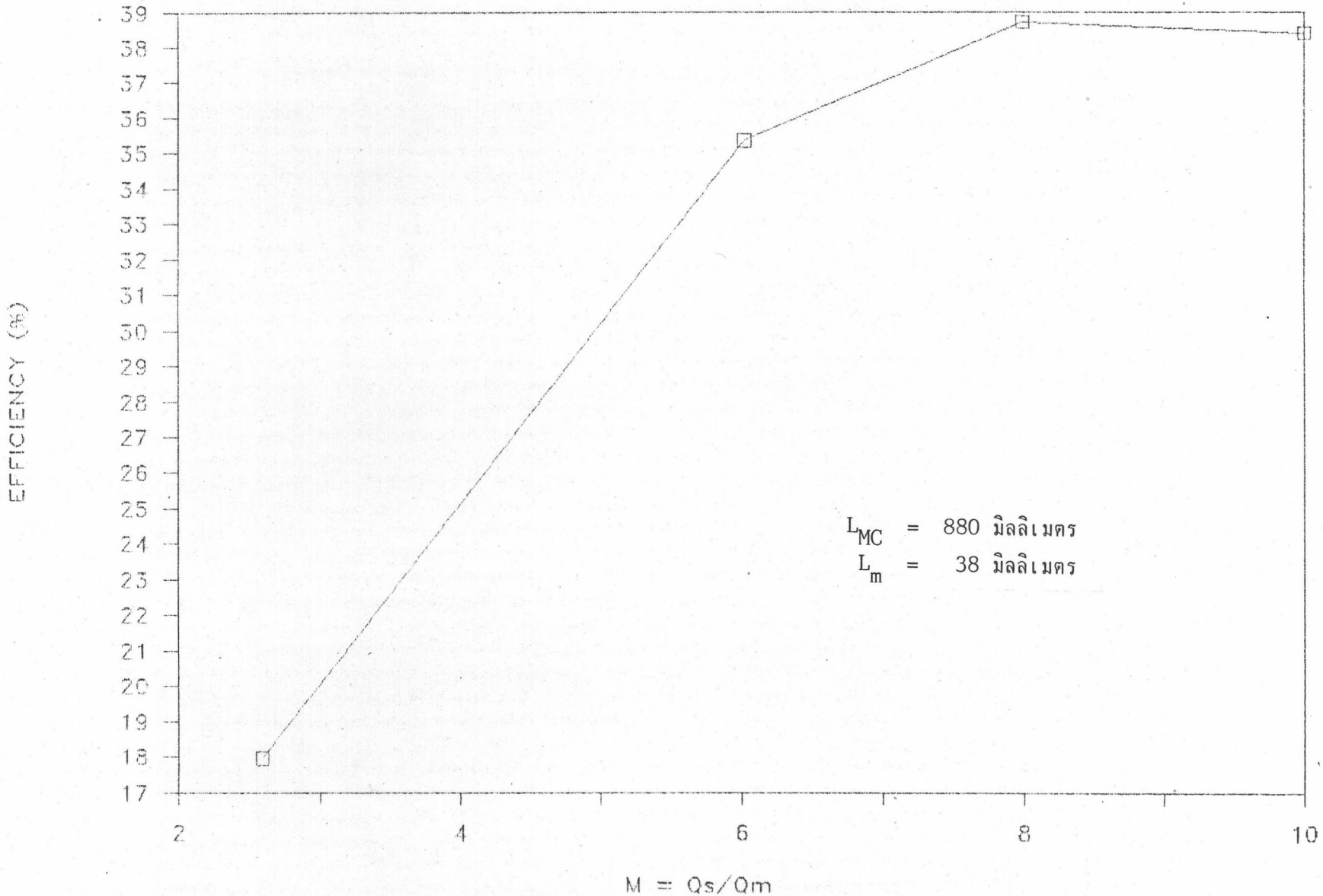
ที่ 5.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความแตกต่างของหัวความดันมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วจะลดลง



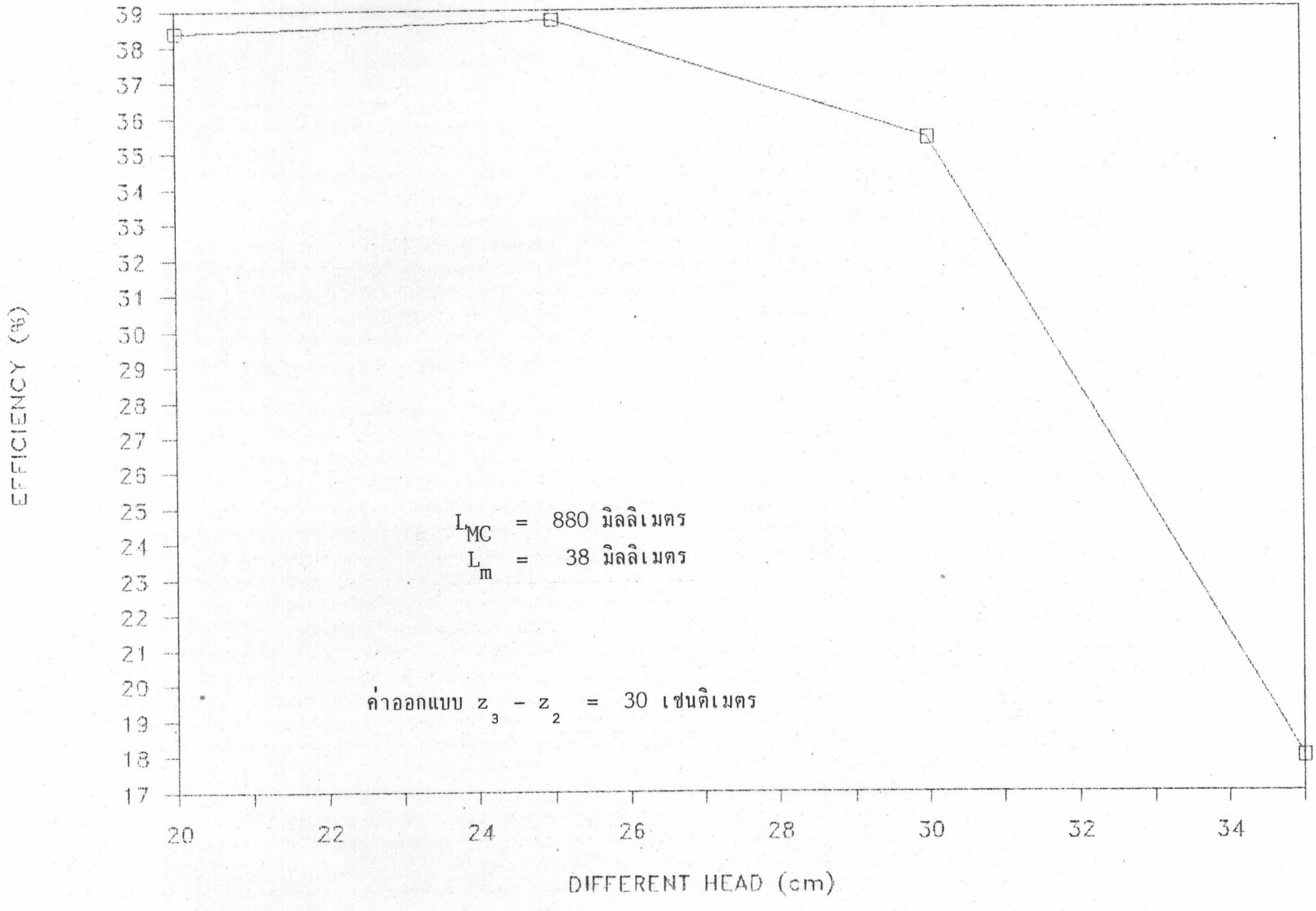
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับอัตราส่วนของระยะนอสเซิลขับต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของนอสเซิลขับ (L_m/d_m) ที่ค่า L_{MC} ต่าง ๆ



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับอัตราส่วนของความยาวห้องผสม ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L_{MC}/d_s) ที่ค่า L_m ต่าง ๆ



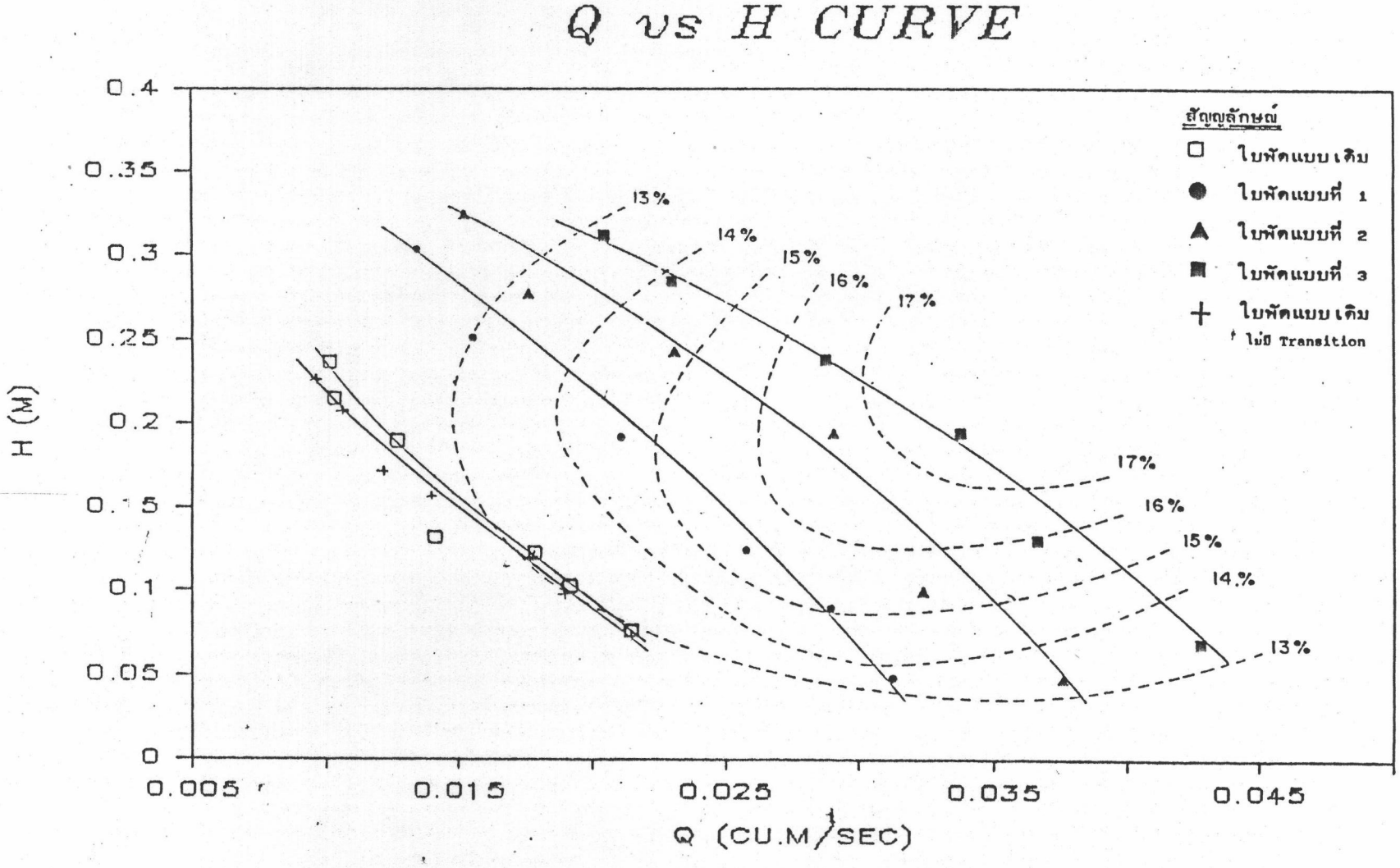
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับอัตราส่วนการไหล (flow ratio, $M = Q_s/Q_m$) ที่ค่า $z_3 - z_2$ ต่าง ๆ



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (efficiency, η) กับความแตกต่างของหัวความดัน (different pressure head, $z_3 - z_2$)

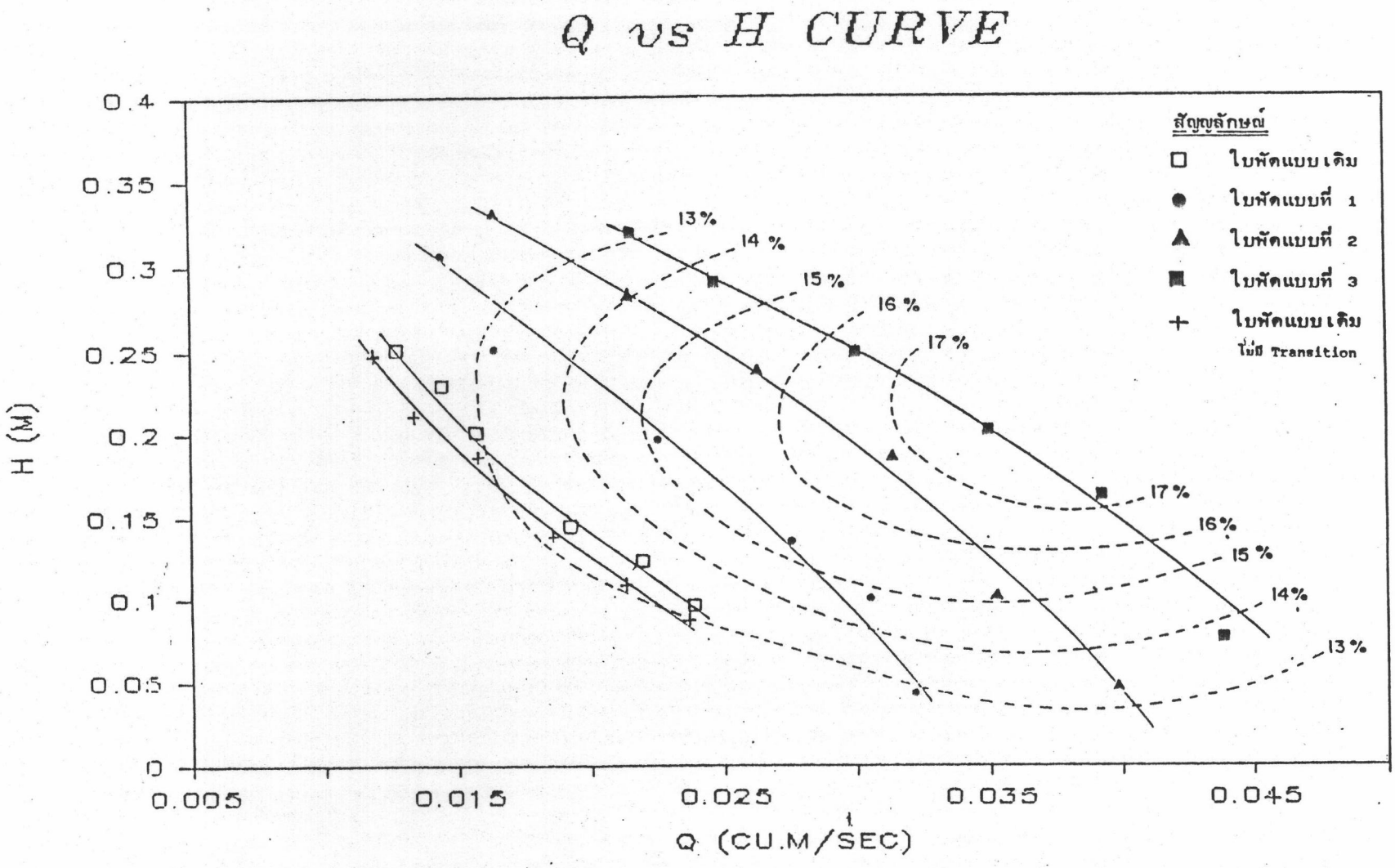
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตกับเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน

จากการทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตกับเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน ซึ่งได้ทำการวิจัยมาแล้วโดยนาย ยิ่งยศ นำเงิน ซึ่งเป็นนิสิตภาควิชาวิศวกรรมโยธา ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งใช้หัวข้อว่า การปรับปรุงเครื่องสูบน้ำแบบดันน้ำไหลตามแนวแกนสำหรับนากุ้ง จะเห็นได้ว่า ถ้าทำการเปรียบเทียบกันเฉพาะตัวเครื่องสูบด้วยกันไม่ใช่ทั้งระบบสูบ ที่ความแตกต่างของหัวความดันเท่ากับ 30 เซนติเมตร และอัตราการไหลเท่ากับ 61 ลบ.ม/ชม. เครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 35% ในขณะที่ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกนเท่ากับ 13% ดังแสดงในรูปที่ 5.5 ถึง 5.7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดของใบพัดแบบต่าง ๆ โดยมีเส้น contour ของประสิทธิภาพร่วมอยู่ด้วย ที่ความเร็วรอบ 1,800 2,000 2,200 รอบ/นาที ตามลำดับของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกนซึ่งได้ทำการวิจัยขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่ถ้าพิจารณาถึงทั้งระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตโดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งเป็นตัวขับเคลื่อนจะพบว่า ที่ความแตกต่างของหัวความดัน และอัตราการไหลเท่ากัน ระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะมีประสิทธิภาพรวมเท่ากับ 6% ซึ่งจะเห็นได้ว่า เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก ประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งอันประกอบไปด้วยมอเตอร์ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องสูบ และเครื่องสูบน้ำ ซึ่งถ้าใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งซึ่งมีประสิทธิภาพสูง ก็จะทำให้ระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต มีประสิทธิภาพรวมสูงกว่าเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน อาทิเช่น เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งซึ่งผลิตในต่างประเทศ ดังแสดงกราฟคุณสมบัติดังในรูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพของเครื่องสูบนี้ที่หัวความดันแตกต่าง และอัตราการไหลเดียวกับที่ใช้ในระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตเดิมเท่ากับ 50% ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตเท่ากับ 17.5% ซึ่งจะเห็นได้ว่าสูงกว่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน สาเหตุที่ไม่ใช้เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกนเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตทั้ง ๆ ที่เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกนให้อัตราการไหลที่ต่ำตามที่ต้องการ เนื่องมาจากที่อัตราการไหลต่ำค่าเดียวกันเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งจะทำการสูบที่ให้หัวความดันที่สูงกว่าซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในระบบเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต



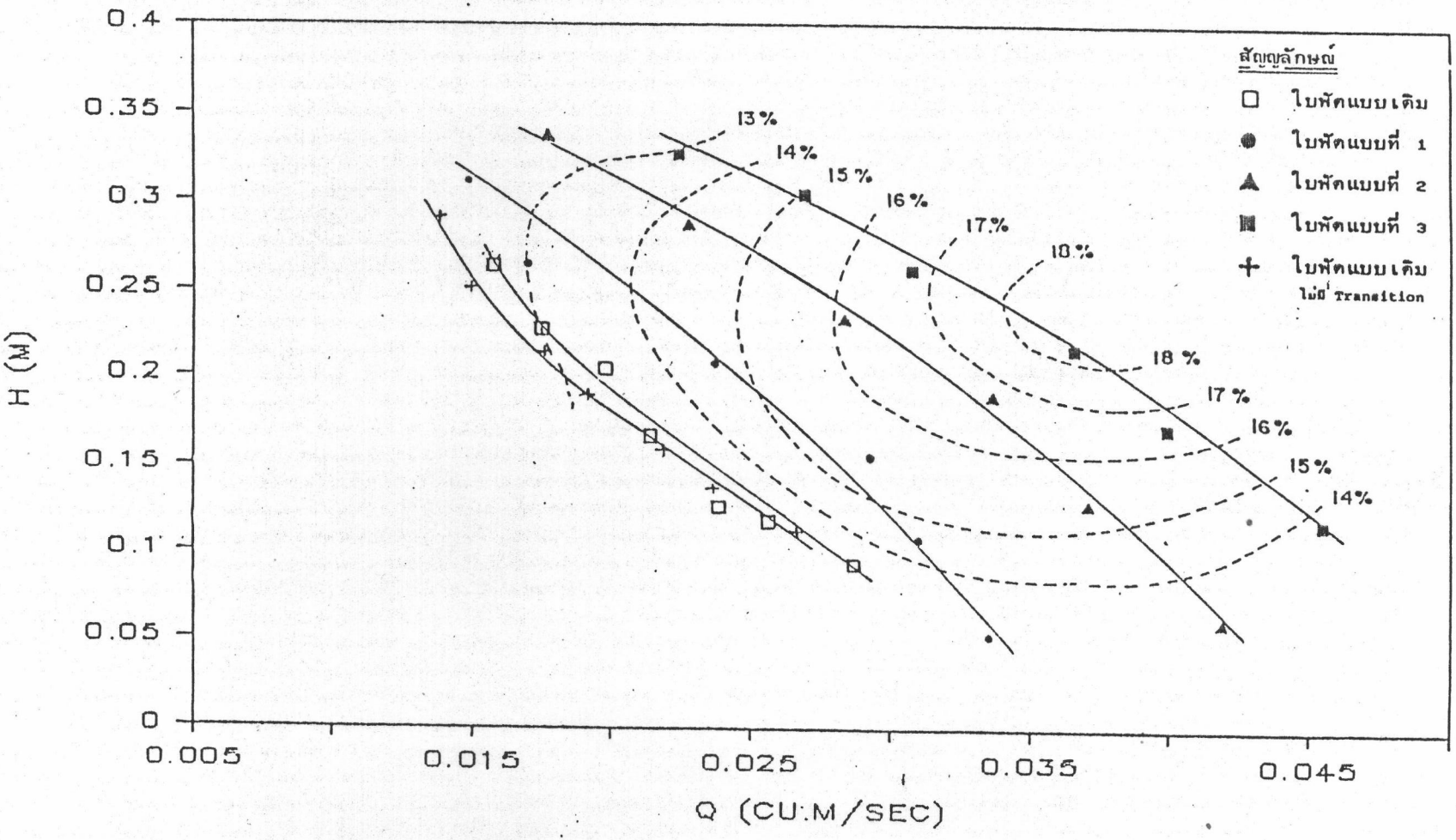
รูปที่ 5.5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดของใบพัดแบบต่าง ๆ โดยมี

เส้น contour ของประสิทธิภาพร่วมอยู่ด้วย (ความเร็วรอบ 1800 รอบ/นาที)

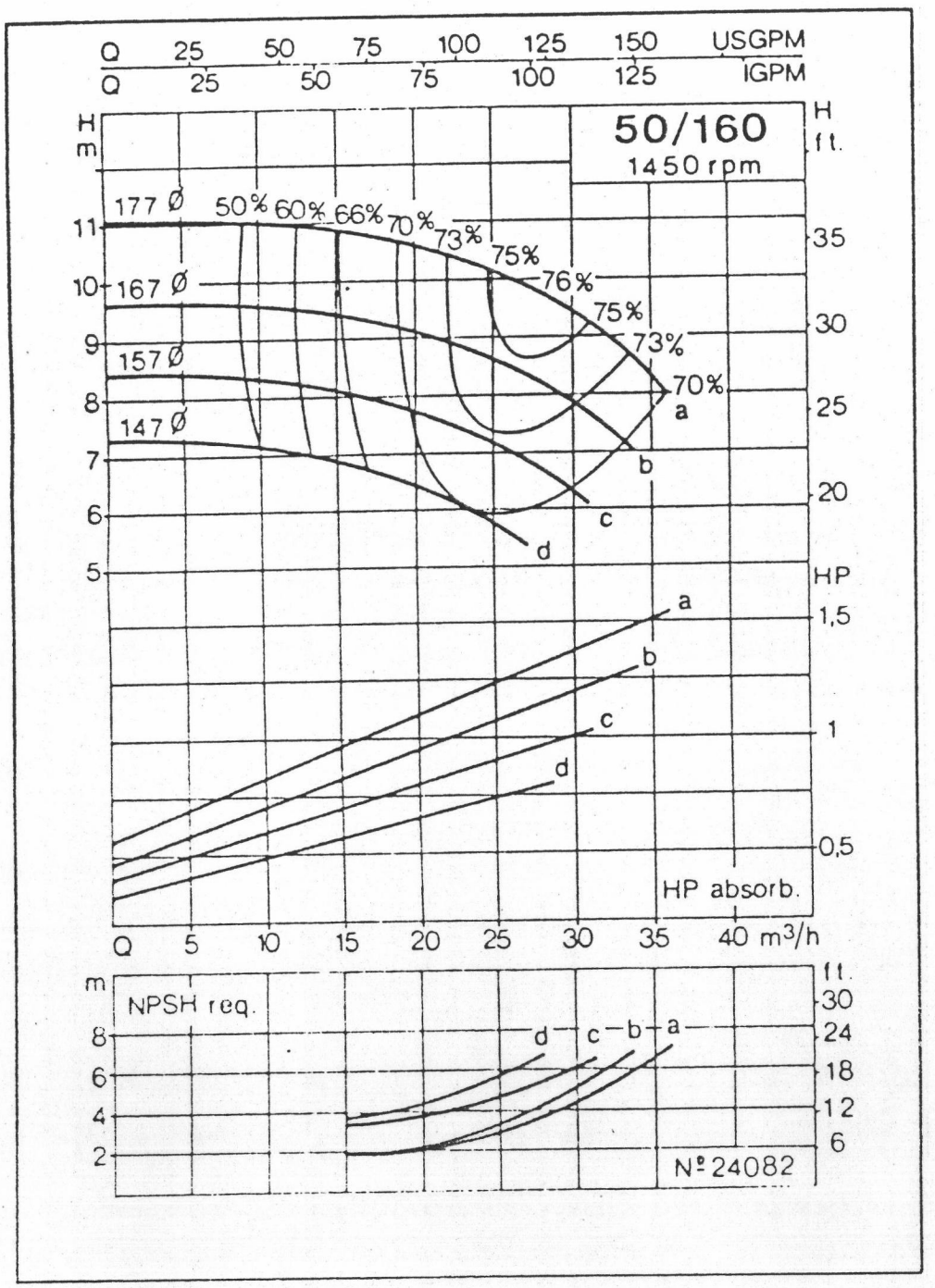


รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดของใบพัดแบบต่าง ๆ โดยมี

เส้น contour ของประสิทธิภาพร่วมอยู่ด้วย (ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที)



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดของใบพัดแบบต่าง ๆ โดยมีเส้น contour ของประสิทธิภาพรวมอยู่ด้วย (ความเร็วรอบ 2200 รอบ/นาที)



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของหัวความดัน (ΔH) กับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งจาก BOMBAS ITUR