

บทที่ 6

วอร์เตอร์ แฮมเมอร์ (Water hammer)

การศึกษากการเกิด วอร์เตอร์ แฮมเมอร์ (Water hammer) ในท่อไม้ไผ่ มีจุดประสงค์ เพื่อที่จะหาค่าความเร็วของคลื่นความดัน และขนาดของความดัน ที่เพิ่มขึ้นที่ประตุน้ำ หลังจากที่มีประตุน้ำอย่างรวดเร็ว เราสามารถที่จะหาค่าทั้งสองนี้ได้ โดยใชสมการ 2-13 และ สมการ 2-17 แต่ในการศึกษานี้ จะหาค่าทั้งสอง โดยการวัดผลที่ได้จากการทดลอง แล้วจึงนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่หาได้จากสมการดังกล่าว สำหรับวิธีการทดลอง จะกล่าวโดยละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 เครื่องมือในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1 ท่อไผ่ยาว(L) 10.56 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 4.41 ซม. ความหนาเฉลี่ยของผนังท่อ 0.79 ซม. พิกัดศูนย์กลางของท่อไม้ ในแนวรัศมี 63,763 ปอนด์/ตร.นิ้ว (จากตัวอย่างที่ 16 ในบทที่ 5)

2 ชุดเครื่องมือ สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของความดัน ซึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Supply voltage) ขนาด 7.5 โวลต์ Pressure transducer และ Oscilloscope (รูปที่ 6-1)

3 เครื่องสูบน้ำ ขนาด 3 แรงม้า เพื่อสูบน้ำจากแหล่งเก็บน้ำ เขาสูดถึงเก็บน้ำ

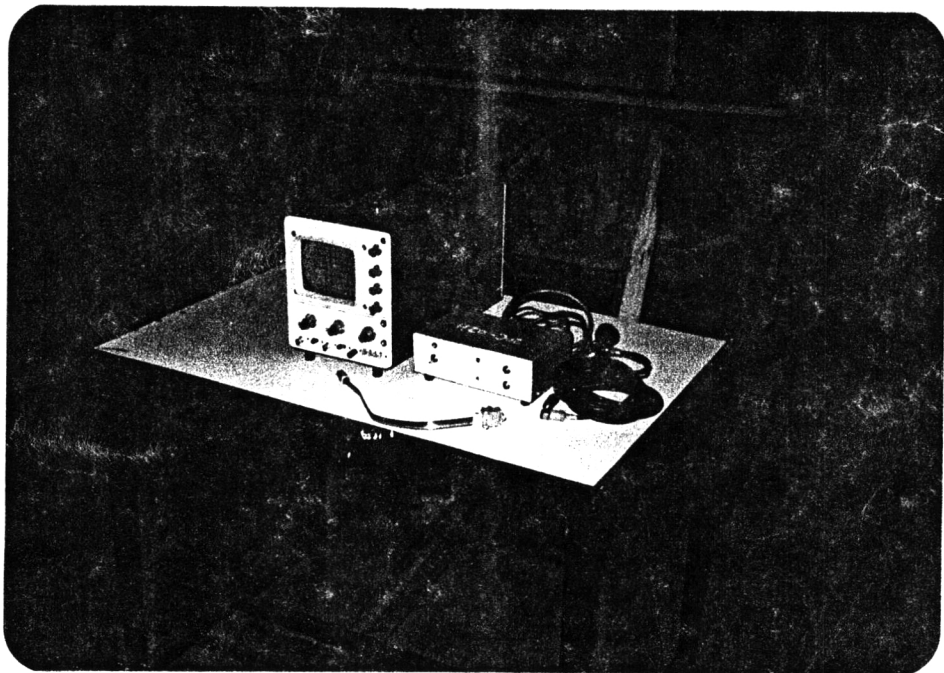
4 ดังเก็บน้ำ ที่สามารถควบคุมระดับน้ำในถังได้ ขนาด $0.98 \times 0.98 \times 1.80$ เมตร มีหลอดแก้วบอกระดับน้ำในถัง ติดอยู่ข้างถัง

ถึง เก็บน้ำนี้ จะใช้ เป็นแหล่งจ่ายน้ำให้ไหลไปตามท่อได้

5 นาฬิกาจับเวลา ถังน้ำและเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำ

6 เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิ น้ำ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของน้ำ

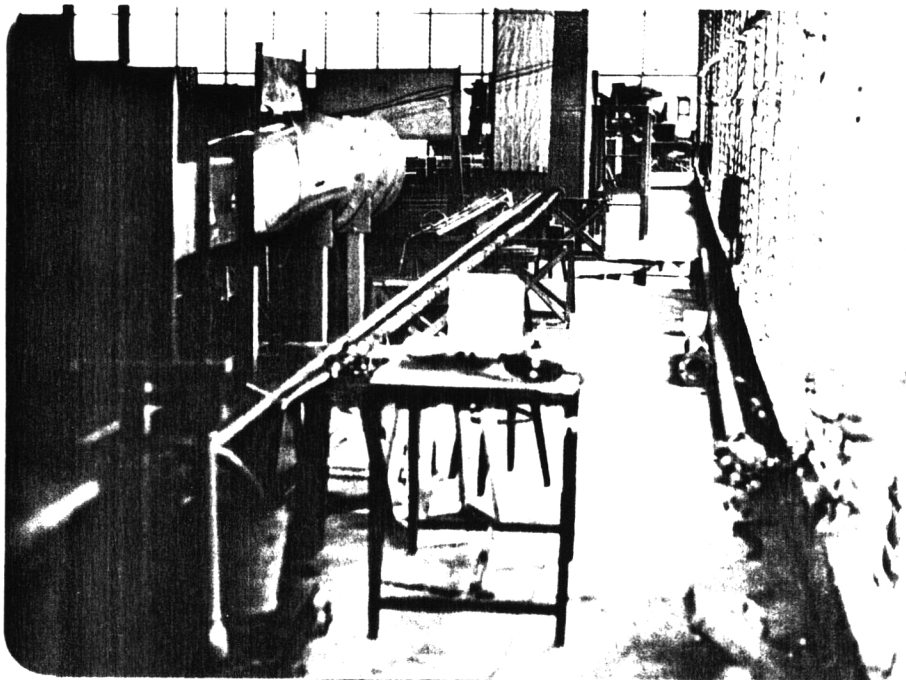
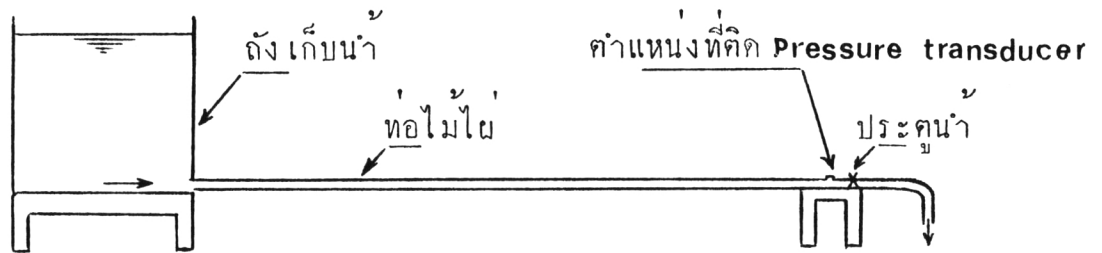
7 กล้องถ่ายรูป พร้อมควยเลนส์ถ่ายใกล้ (Close up lens) เพื่อใช้บันทึกภาพสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ ที่ปรากฏบนจอภาพ Oscilloscope หลังจากที่ได้ปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6-1 ชุดเครื่องมือ สำหรับวัดความดันภายในท่อ

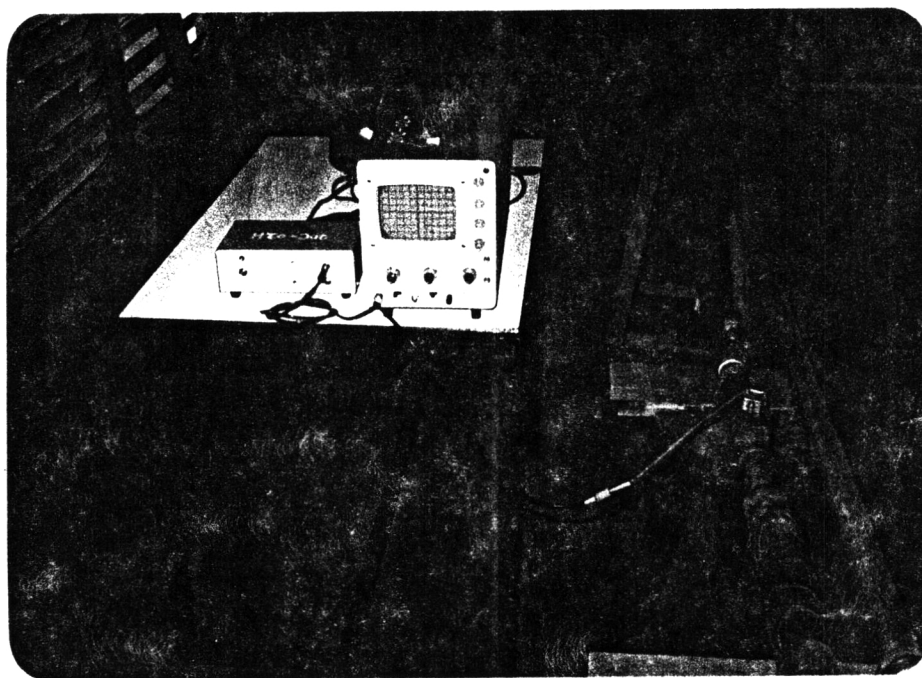
6.2 วิธีทดลอง

ท่อปลายท่อไม้เข้ากับถังเก็บน้ำ ขนาด $0.98 \times 0.98 \times 1.80$ เมตร ถังเก็บน้ำนี้ จะเป็นแหล่งจ่ายน้ำให้ไหลไปตามท่อไม้ ซึ่งสามารถควบคุมระดับน้ำในถังได้ ส่วนปลายท่ออีกข้างหนึ่ง จะติดประตุน้ำชนิด ปิด-เปิด เร็ว น้ำจะไหลผ่านประตุน้ำลงสู่ถัง ซึ่งวางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อที่จะหาอัตราการไหลของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 การต่อท่อไม้ เพื่อทำการทดลองการเกิด
วอร์เตอร์ แอมเมอร์ ในท่อไม้

Pressure transducer จะถูกติดตั้งที่ตำแหน่งกานเหนือหน้าของประตู
 นำขึ้นไปเล็กน้อย เพื่อใช้วัดขนาดของความดัน โดยวัดค่าออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า
 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า จะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงขนาดของความดัน และ
 สัญญาณไฟฟ้าจาก Pressure transducer จะถูกขยายและบันทึกลงบนจอภาพ
 ของ Oscilloscope ซึ่งทำให้สามารถทราบถึง การเปลี่ยนแปลงขนาดของ
 สัญญาณ ณ เวลาต่างๆหลังจากที่ปิดประตู หน้า รูปที่ 6-3 แสดงถึง การตรวจ
 ไฟฟ้า เพื่อนำสัญญาณไฟฟ้าจาก Pressure transducer เข้าสู่ Oscilloscope



รูปที่ 6-3 การตรวจจรไฟฟ้าและติดตั้งชุดเครื่องมือวัดความดัน

สำหรับขั้นตอนการทดลองต่อไป มีดังนี้



6.2.1 ทำการ Calibration of pressure transducer

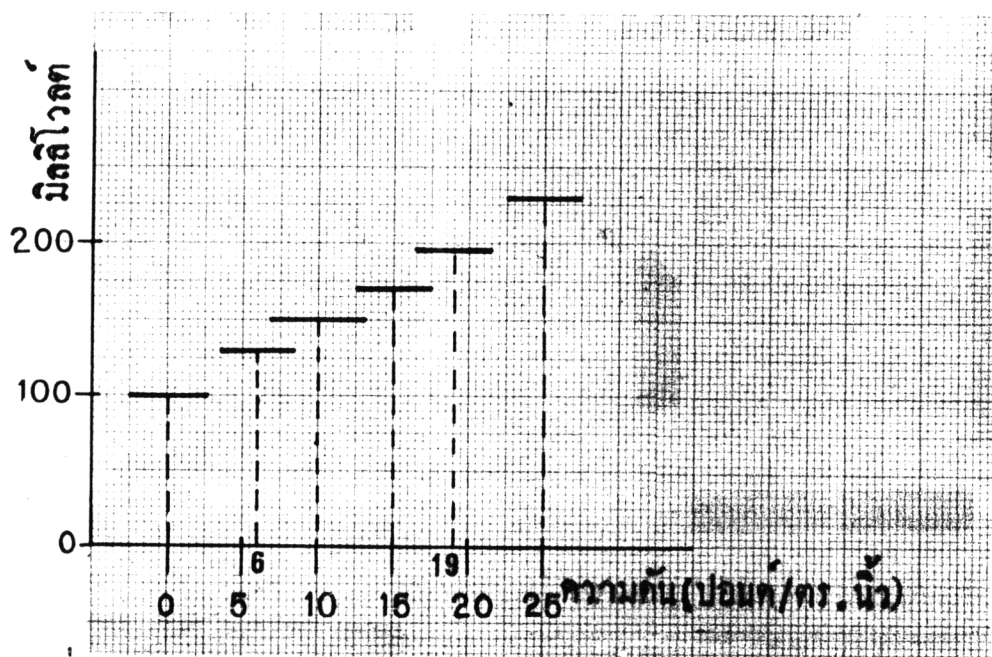
เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่าง ขนาดของความดันและแรงดันไฟฟ้า โดยการเพิ่มขนาดของความดันในท่อใต้ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ขณะเดียวกันก็บันทึก ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ ความดันที่รู้ค่านั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 6-4 จากนั้น จึงนำค่าทั้งสองที่อ่านได้ มาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างขนาดของความดัน และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6-5

6.2.2 วัตถุประสงค์การไหลของน้ำในท่อไม้ไผ่

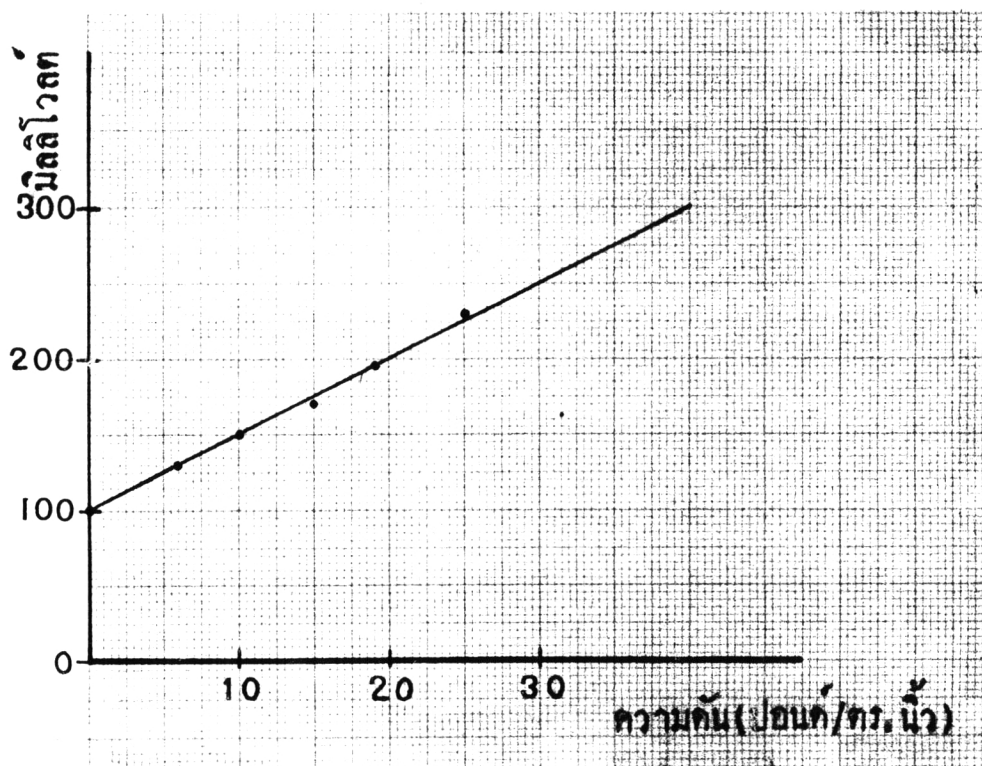
ก่อนอื่นต้องทำให้อัตราการไหลของน้ำในท่อไม้ไผ่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยการปรับปริมาณ การไหลของน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำ จนกระทั่งความสูงของระดับน้ำในถังคงที่ ซึ่งสังเกตได้จากระดับน้ำในหลอดแก้วบอกระดับ ที่ตั้งอยู่ข้างถัง สำหรับการทดลองนี้ จะใช้ความสูงของระดับน้ำในถัง เท่ากับ 1.20 เมตร 1.50 เมตร และ 1.60 เมตร ตามลำดับ เมื่อความสูงของระดับน้ำในถังคงที่ตามที่ต้องการแล้ว จึงทำการวัดอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำในท่อไม้ไผ่ ในการศึกษานี้ จะทำการทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 6-1

6.2.3 บันทึกภาพการ เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า

หลังจากการวัดอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำในท่อไม้ไผ่ ที่ระดับน้ำในถังคงที่ค่าหนึ่งแล้ว ขั้นตอนไปก็คือ ทำการบีบประคูนอย่างรวดเร็วจนและถ่ายภาพสัญญาณไฟฟ้า ที่ปรากฏขึ้นบนจอภาพ Oscilloscope ด้วยกล้องถ่ายรูปที่สวมเลนส์ถ่ายใกล้ (Close up lens) จะได้อภาพดังแสดงในรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-4 กราฟแสดงการ Calibration of pressure transducer



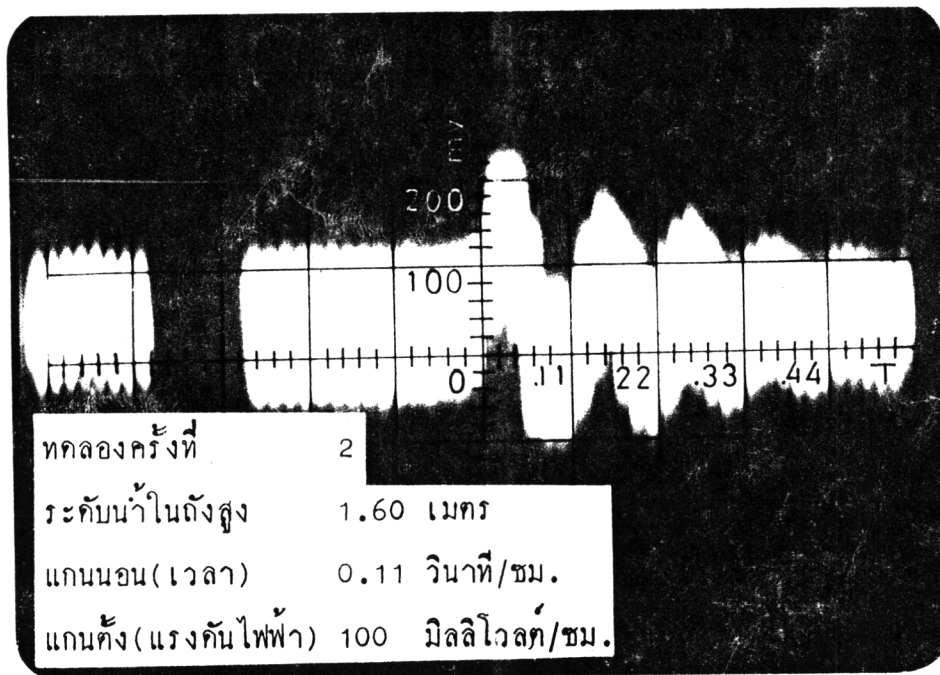
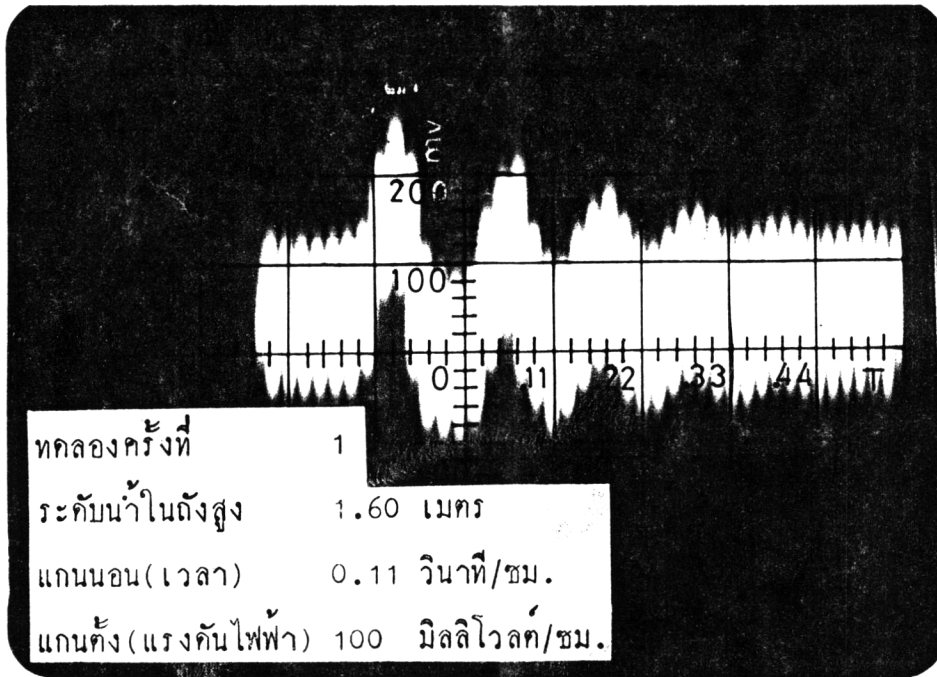
รูปที่ 6-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าและความดัน

ตารางที่ 6-1 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อไม้ไผ่

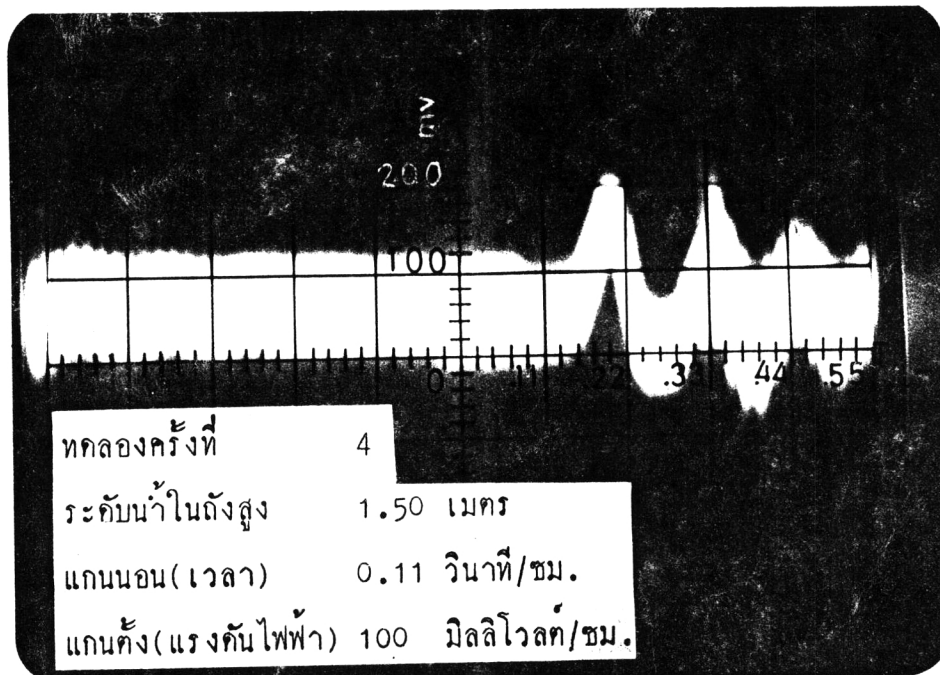
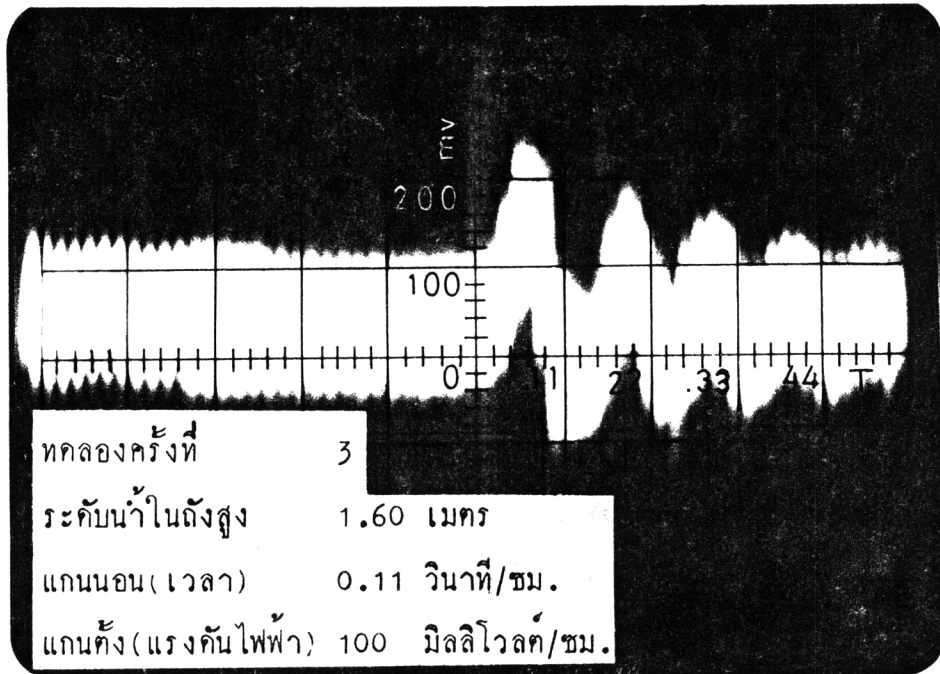
ทดลอง ครั้งที่	น้ำหนักน้ำ ที่ชั่งได้(กก.)	ช่วงเวลาใน การชั่ง(วินาที)	อุณหภูมิ ของน้ำ	ระดับน้ำในถัง (เมตร)
1	7.3	8.35	28	1.60
2	6.8	8.05	28	1.60
3	7.1	8.12	28	1.60
4	6.8	8.09	28	1.50
5	6.9	8.32	28	1.50
6	6.7	8.09	28	1.50
7	5.8	8.37	28	1.20
8	5.8	8.34	28	1.20
9	6.0	8.40	28	1.20
10	5.7	8.25	28	1.20

6.3 ผลการทดลอง

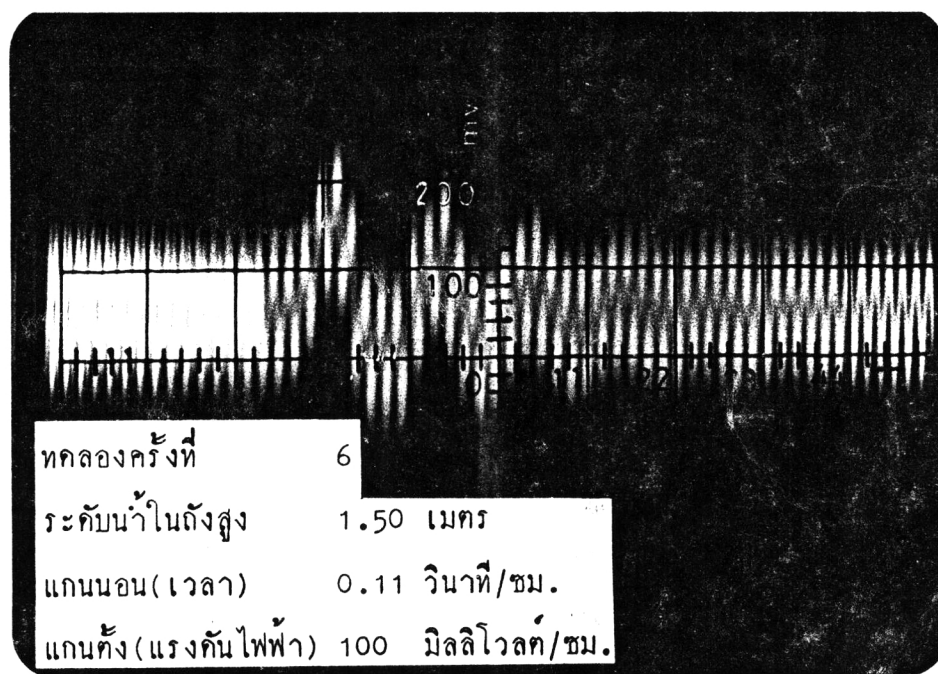
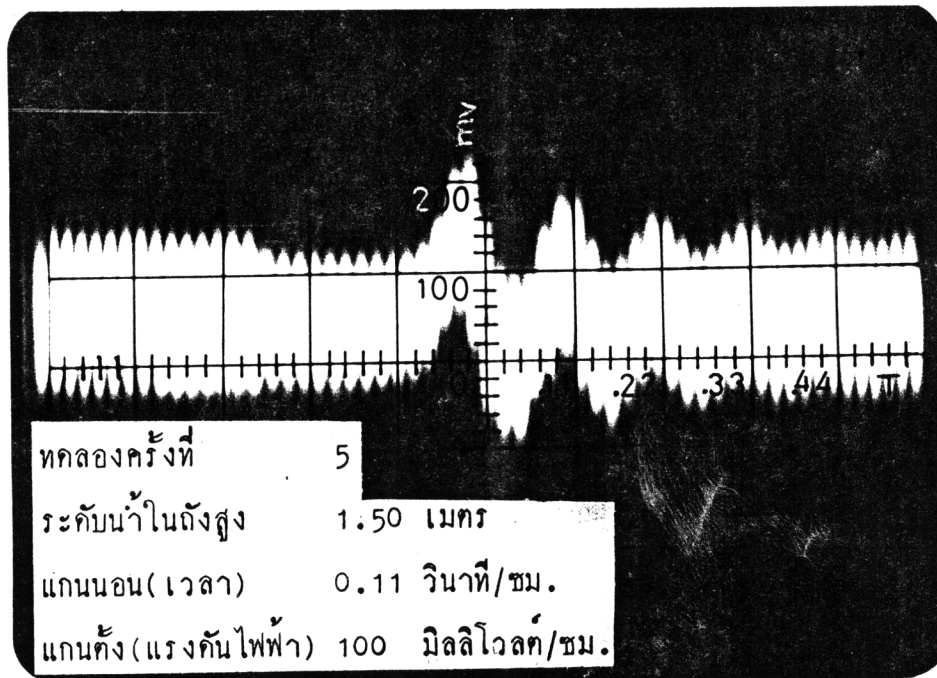
ผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง จะแสดงในรูปที่ 6-6 เป็นรูปที่แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ หลังจากทีเปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว เมื่อนำค่าของความดัน ที่อ่านได้จากกราฟในรูปที่ 6-5 มาแทนค่าแรงดันไฟฟ้า ที่แสดงในรูปที่ 6-6 แล้ว จะได้อกราฟที่แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงขนาดของความดัน ณ เวลาต่างๆ หลังจากทีเปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 6-7



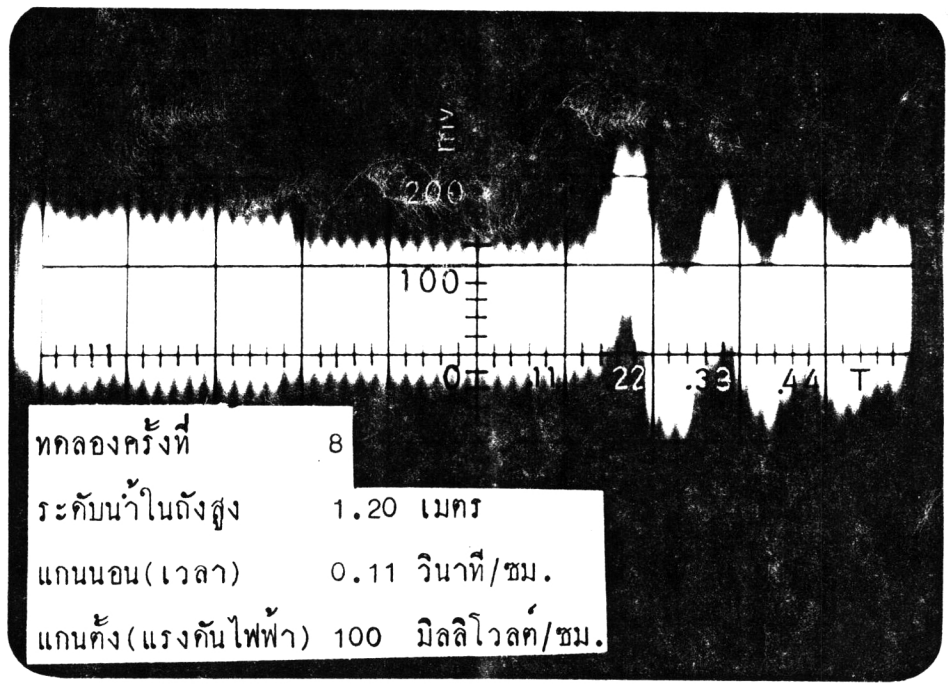
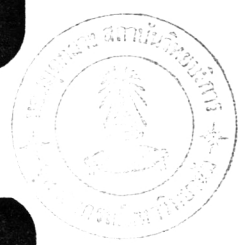
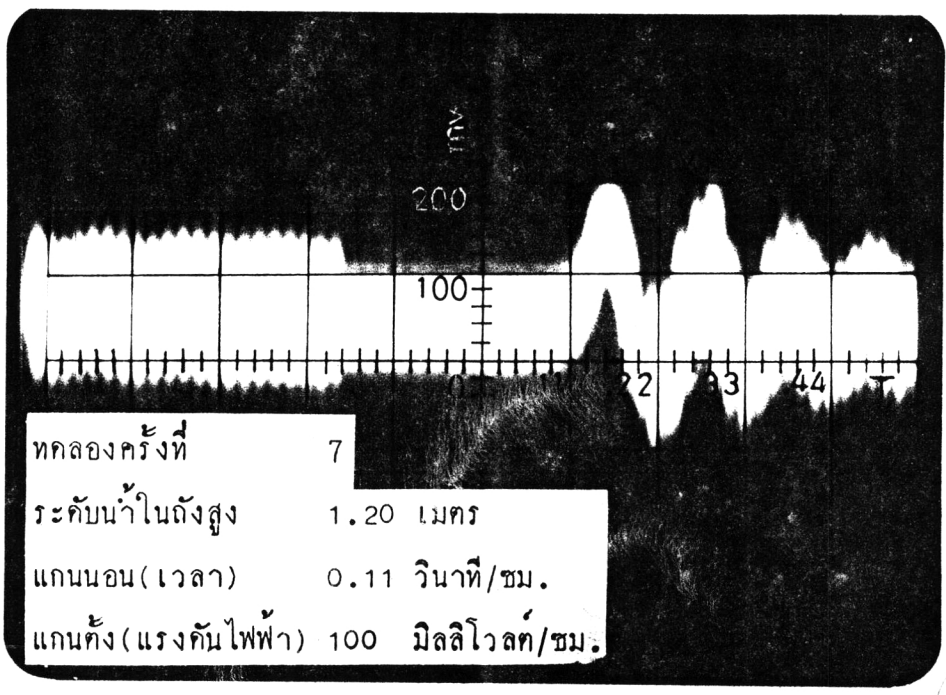
รูปที่ 6-6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ
หลังจากเปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว



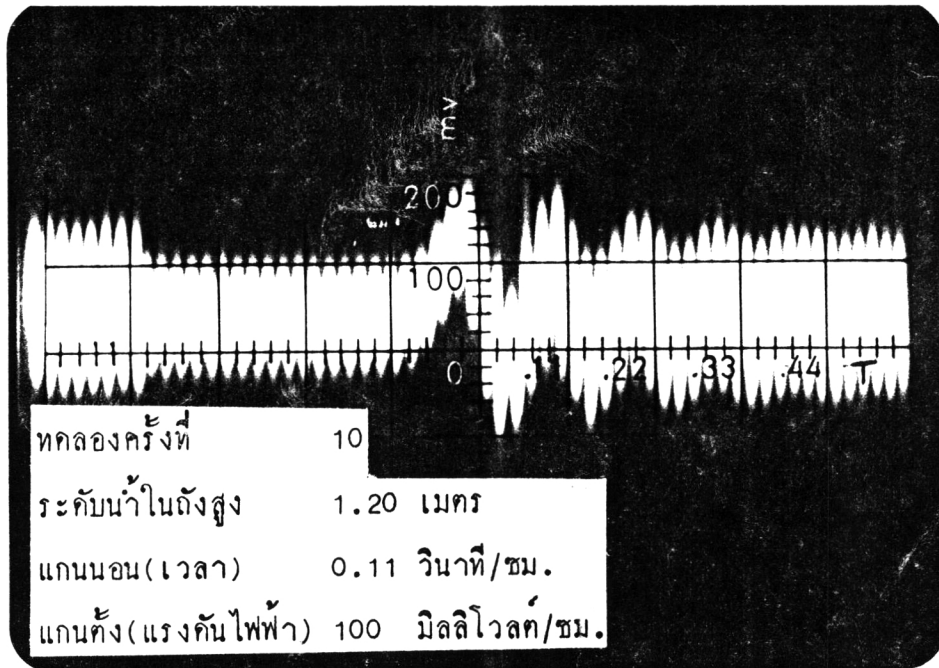
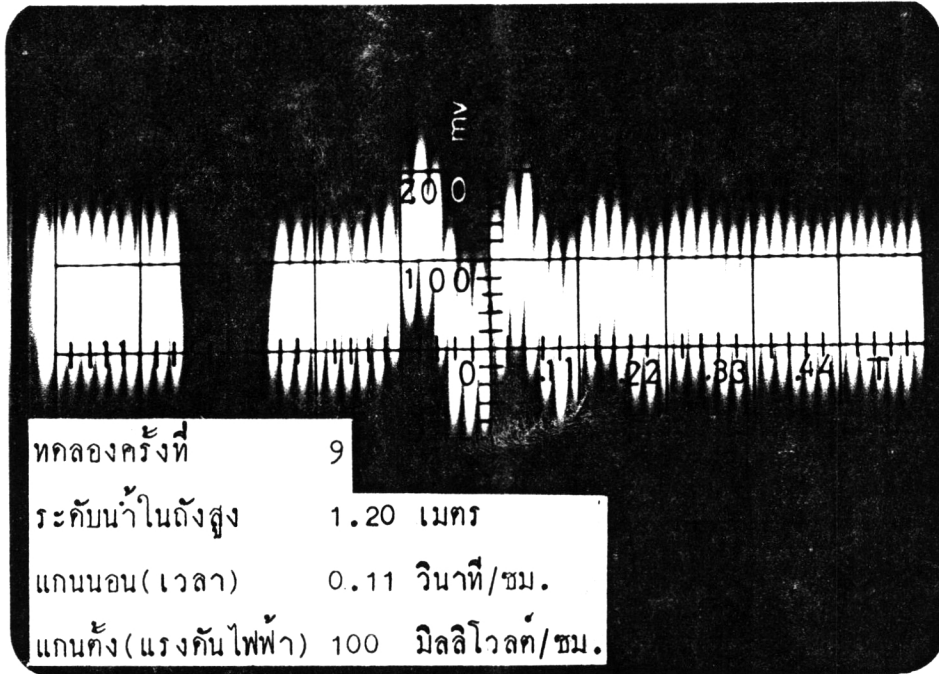
รูปที่ 6-6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ
หลังจากปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว



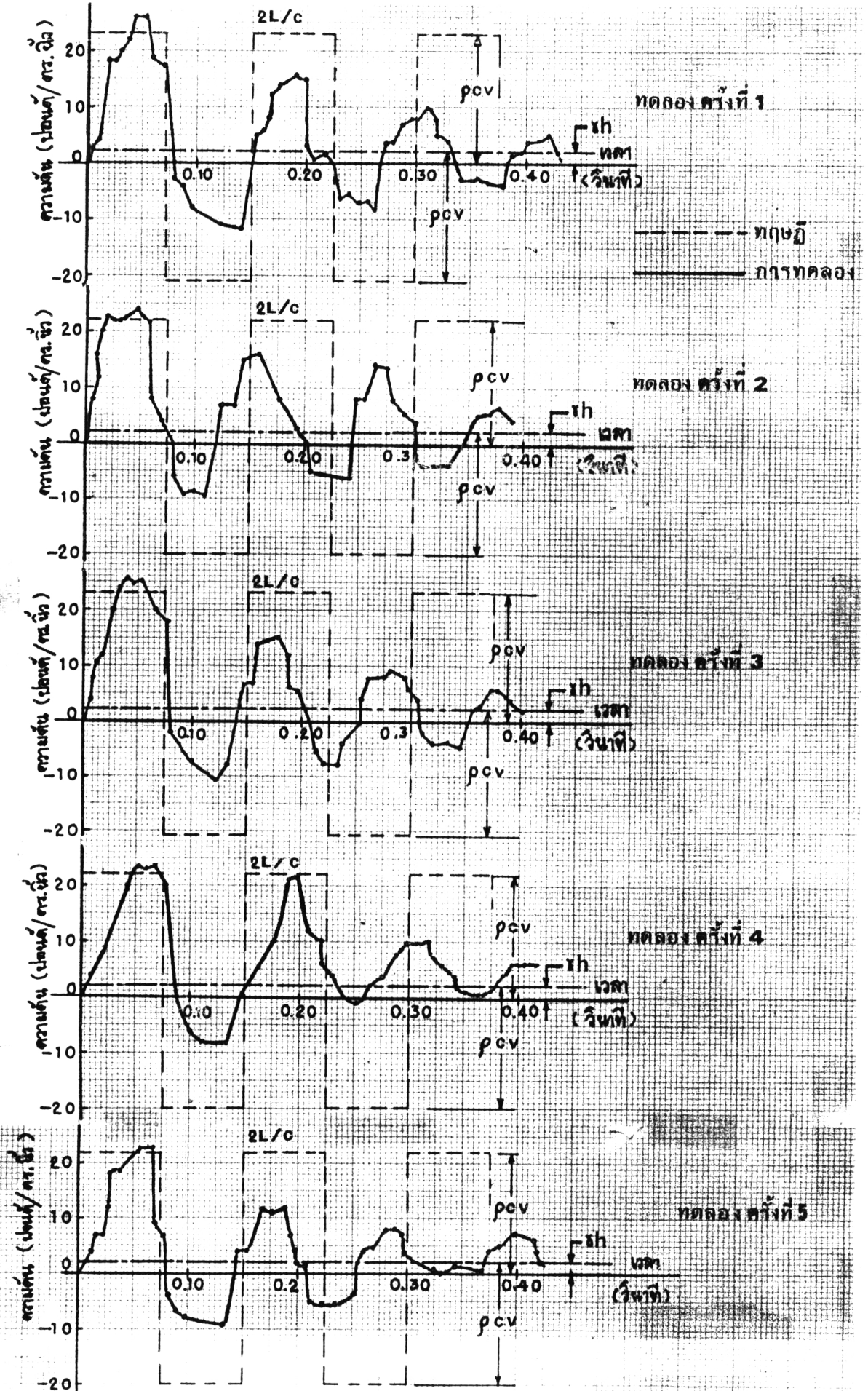
รูปที่ 6-6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ
หลังจากปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว



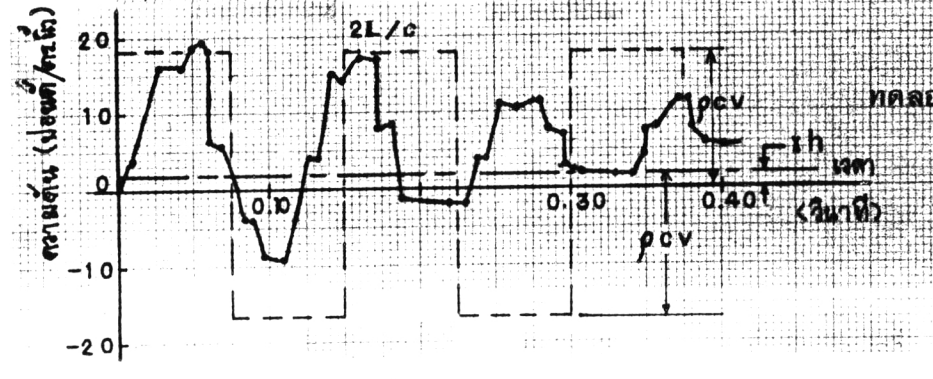
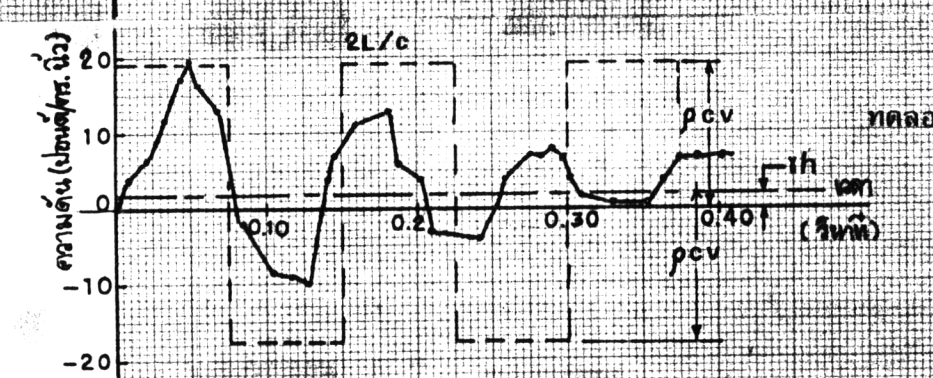
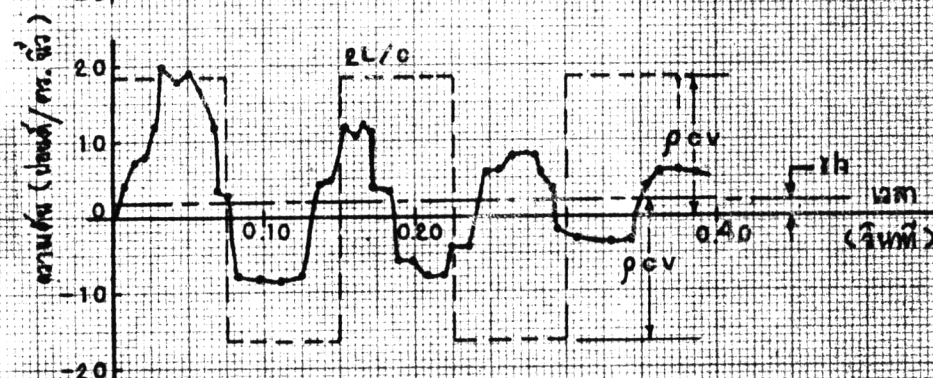
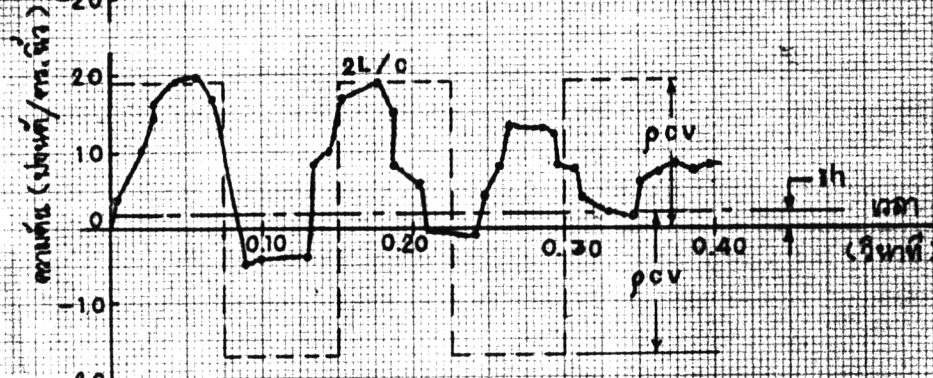
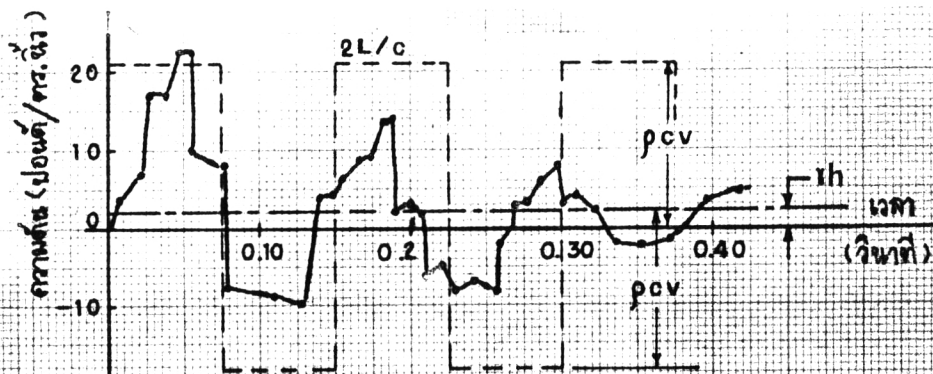
รูปที่ 6-6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ หลังจากปิดประตุน้ำอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6-6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ
หลังจากปิดประตูน้ำอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6-7 การเปลี่ยนแปลงของความดัน ณ เวลาต่างๆหลังจากปิดประตูน้ำในท่อไม้ไผ่



รูปที่ 6-7 (ต่อ)

ตารางที่ 6-2 การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาค่าความเร็วของคลื่นความดัน
และขนาดความดันที่เพิ่มขึ้นที่ประตูน้ำของท่อไม้ไผ่

	หน่วย	ทดลองครั้งที่										หมายเหตุ	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Q	cm ³ /sec	877.59	847.94	877.72	843.75	832.49	831.34	695.59	698.09	717.01	693.55	จากตารางที่ 6 - 1	
A	cm ²	15.27	15.27	15.27	15.27	15.27	15.27	15.27	15.27	15.27	15.27		
V	cm./sec	57.47	55.53	57.48	55.26	54.52	54.44	45.55	45.72	46.96	45.42		Q/A
ρ	gm./cm ³	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962	0.9962		
ρ	slug/ft ³	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933	1.933		
E _w	lb/in ²	322,240	322,240	322,240	322,240	322,240	322,240	322,240	322,240	322,240	322,240		
ΔP	lb/in ²	26.0	24.0	26.0	23.8	23.0	22.9	20.0	20.0	20.0	19.5		จากการทดลอง
2L/C	sec	0.080	0.080	0.080	0.085	0.080	0.077	0.085	0.077	0.080	0.080		"
C	ft/sec	865.92	865.92	865.92	814.98	865.92	899.66	814.98	899.66	865.92	865.92		"
C	ft/sec	906.53	906.53	906.53	906.53	906.53	906.53	906.53	906.53	906.53	906.53		จากสมการ 2-13
2L/C	sec	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	จากทฤษฎี	
ΔP	lb/in ²	22.99	22.15	22.99	22.03	21.78	21.66	18.13	18.25	18.74	18.13	จากสมการ 2-17	
γh	lb/in ²	2.27	2.27	2.27	2.13	2.13	2.13	1.70	1.70	1.70	1.70		
E _p	lb/in ²	57,524	57,524	57,524	49,896	57,524	61,362	49,896	61,362	57,524	57,524	จากสมการ 2-13	

6.4 การวิเคราะห์และการวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง จะถูกนำมาวิเคราะห์(จากรูปที่ 6-7) เพื่อหาขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้นที่ประตุน้ำ (P) และช่วงเวลาที่คลื่นความดันเคลื่อนที่ จากประตุน้ำไปยังถังเก็บน้ำ และเคลื่อนที่กลับมายังประตุน้ำอีก ($2L/c$) จากนั้น ก็สามารถหาค่าความเร็วของคลื่นความดันน้ำได้ (c) ดังแสดงในตารางที่ 6-2 สำหรับค่าความเร็วของคลื่นความดัน และขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้นที่ประตุน้ำ ซึ่งคำนวณได้จาก สมการ 2-13 และ สมการ 2-17 ก็ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6-2 เช่นกัน

สำหรับการทดลองครั้งนี้ สามารถหาค่าความเร็วของคลื่นความดันน้ำในท่อได้ ใกล้เคียง ประมาณ 248 - 275 เมตร/วินาที (815 - 900 ฟุต/วินาที) หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 263 เมตร/วินาที (862 ฟุต/วินาที) และในขณะที่ ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อได้ มีค่าเท่ากับ 57.47 ซม./วินาที ความดันที่ประตุน้ำ จะเพิ่มขึ้นสูงสุด หลังจากปิดประตุน้ำอย่างรวดเร็ว ประมาณ 17.9 นิวตัน/ตร.ซม. หรือ 26 ปอนด์/ตร.นิ้ว

จากตารางที่ 6-2 จะเห็นว่า ค่าความเร็วของคลื่นความดัน และขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งวัดได้จากการทดลอง จะต่างจากค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก สมการ 2-13 และ สมการ 2-17 ได้มาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี โดยตั้งสมมุติฐานไว้ว่า การปิดประตุน้ำ เป็นการปิดอย่างกะทันหัน โดยที่การไหลของน้ำที่ประตุน้ำ จะถูกทำให้หยุดไหลทันที และไม่คำนึงถึงผลที่เกิดจากความต้านทานต่อการไหล เนื่องจากความเสียดทานในท่อ แต่ขอสมมุติฐานทั้งสองไม่สามารถเป็นจริงได้ในทางปฏิบัติ เพราะว่าการปิดประตุน้ำเป็นการปิดด้วยมือ และความต้านทานต่อการไหล เนื่องจากความเสียดทานในท่อ จะต้องเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งมีผลต่อขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะคลื่นลูกที่สอง และลูกถัดๆ ไป ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 6-7 ว่าขนาดของความดันของคลื่นลูกถัดๆ ไป จะลดขนาดลงเรื่อยๆ จนเท่ากับความดันปกติ⁽¹⁷⁾

เมื่อพิจารณารูปที่ 6-7 จะเห็นว่า ช่วงเวลาที่คลื่นความดัน เคลื่อนที่ไป และกลับจากประตูน้ำ ของคลื่นลูกแรกที่วัดได้จากการทดลอง จะมากกว่าค่าที่คำนวณ ได้จากทฤษฎี ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก การไหลของน้ำที่ประตูน้ำไม่ถูกทำให้หยุดไหล โดยทันที และ เมื่อพิจารณาจุดยอดของคลื่นความดันลูกแรก จะเห็นว่า ค่าความดัน สูงสุดที่ประตูน้ำ จะเกิดขึ้นก่อนที่คลื่นความดันจะ เคลื่อนที่กลับมาถึงประตูน้ำ ($T < 2L/c$) ทั้งนี้เป็นเพราะผลของความต้านทานต่อการไหล เนื่องจากความเสียดทานในท่อไม้ไผ่⁽¹⁷⁾ อย่างไรก็ตาม ขนาดของความดันที่เพิ่มขึ้นที่ประตูน้ำ ก็ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วของ คลื่นความดัน และ ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อไม้ไผ่ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

เมื่อนำค่าความเร็วของคลื่นความดันน้ำในท่อไม้ไผ่ที่ได้จากการทดลอง ไป แทนค่าในสมการ 2-13 จะสามารถหาค่าพิคภัยึกหยุนในแนวรัศมีของท่อไม้ไผ่ที่นำมาใช้ ทดลองในครั้งนี้ได้ ดังแสดงในตารางที่ 6-2 ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39,142 นิวตัน/ตร.ซม. (56,766 ปอนด์/ตร.นิ้ว) แต่จากการทดลอง เพื่อหาค่าพิคภัยึกหยุนในแนวรัศมีของ ท่อไม้ไผ่ จากการวัดโดยตรงดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 5 พบว่า พิคภัยึกหยุนในแนวรัศมี ของท่อไม้ไผ่ที่นำมาใช้ทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ 43,966 นิวตัน/ตร.ซม. (63,763 ปอนด์/ตร.นิ้ว) ซึ่งจะต่างกันประมาณ 12% ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการที่รัศมีภายใน และภายนอกของท่อไม้ไผ่มีการขยายตัวไม่เท่ากัน ซึ่งการทดลองในบทที่ 5 นั้น ได้ใช้ รัศมีภายนอกของท่อไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้นไปแทนค่าในสมการ 2-22 โดยถือว่าความหนาของ ท่อไม้ไผ่ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความดันภายในเพิ่มขึ้น อันที่จริงแล้วน่าจะต้องใช้รัศมีภายใน ที่เพิ่มขึ้นไปแทนค่าในสมการ 2-22 จึงจะถูกตอง ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ ค่า พิคภัยึกหยุนในแนวรัศมีของท่อไม้ไผ่ที่หาได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่าต่างกันบ้าง