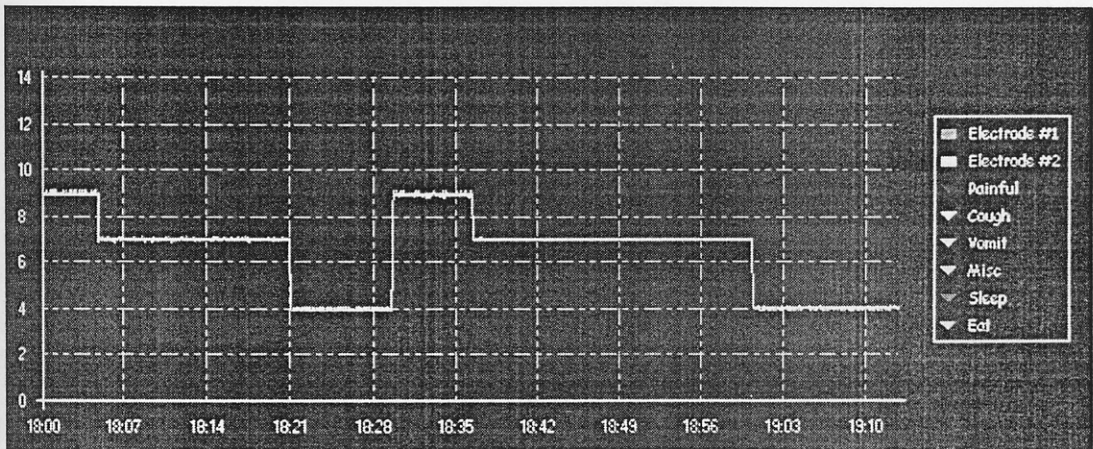


## บทที่ 4

### การทดสอบเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช

#### 4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบโดยการป้อนแรงดันคงที่ 3 ค่าให้กับอินพุตทั้ง 2 ช่องของเครื่องต้นแบบ แรงดันที่ป้อนในการทดสอบนี้มีค่า -200, -300 และ -400 มิลลิโวลต์ ซึ่งจะจำลองแทนค่าพีเอช 4, 7 และ 9 ตามลำดับ ในการทดสอบ เริ่มแรกต้องปรับแต่งเครื่องต้นแบบที่พีเอช 4, 7 และ 9 ด้วยแรงดันดังกล่าวก่อน หลังจากนั้นเริ่มวัดแรงดันทั้งสามค่า โดยเริ่มจากค่าแรงดัน -400, -300 และ -200 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ โดยวัดเป็นจำนวน 2 รอบ หลังจากนั้นได้ถ่ายข้อมูลผลการวัดที่เก็บบันทึกในหน่วยความจำไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวพล็อตกราฟเพื่อดูผลการทดสอบ กราฟที่ได้แสดงดังในภาพประกอบ 4-1



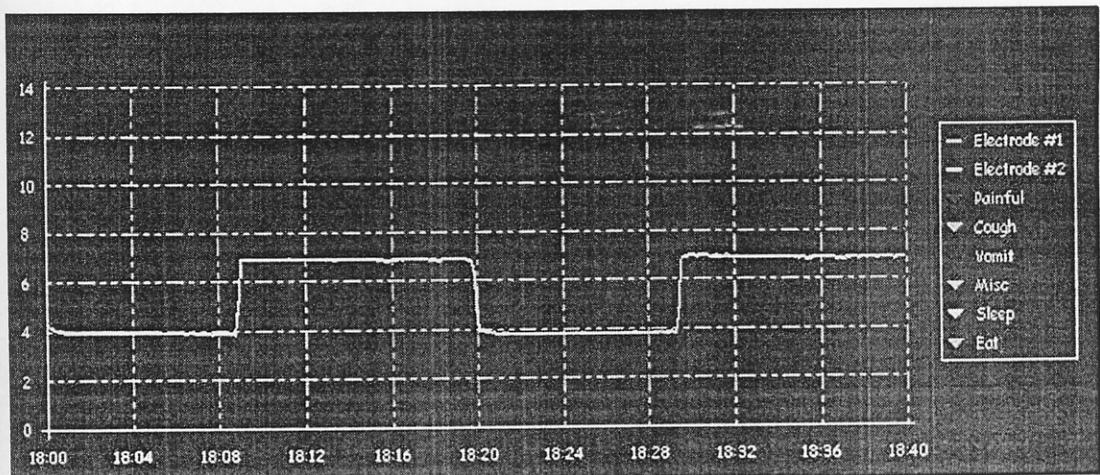
ภาพประกอบ 4-1 กราฟค่าพีเอชที่ได้จากการทดสอบโดยการจำลองแรงดัน

จากกราฟผลการทดสอบที่ได้ จะเห็นว่าค่าพีเอชที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 9, 7 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าตรงกับค่าพีเอชที่จำลองจากแรงดันที่ป้อน แสดงให้เห็นว่าตัวเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำการวัดและบันทึกข้อมูลค่าพีเอชได้อย่างถูกต้องตามต้องการ

#### 4.2 การทดสอบความถูกต้องการวัดค่าพีเอชจริง

ทำการทดสอบโดยนำเครื่องต้นแบบพร้อมด้วยอิเล็กโทรดชนิดแอนติโมนีไปวัดสารละลายพีเอชมาตรฐาน 2 ค่า คือพีเอช 4 และ 7 โดยในการทดสอบนี้จะวัดในสารละลายแต่ละชนิดเป็นเวลา

นานประมาณ 10 นาที ในการทดสอบ เริ่มแรกต้องปรับแต่งเครื่องต้นแบบที่พีเอช 4, 7 และ 9 ด้วยสารละลายพีเอชมาตรฐานก่อน จากนั้นเริ่มวัดพีเอช 4 ตามด้วยพีเอช 7 โดยวัดเป็นจำนวน 2 รอบ หลังจากนั้นได้ถ่ายข้อมูลผลการวัดที่เก็บบันทึกในหน่วยความจำไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวพล็อตกราฟเพื่อดูผลการทดสอบ กราฟและความคลาดเคลื่อนแสดงดังภาพประกอบ 4-2 และตาราง 4-1 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าค่าพีเอชที่วัดได้โดยเครื่องต้นแบบที่ใช้อิเล็กโทรดชนิดแอนติโมนีนั้น มีความคลาดเคลื่อนจากค่าพีเอชมาตรฐานประมาณ 0.3 พีเอช ซึ่งยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ (ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มีค่า 0.5 พีเอช)



ภาพประกอบ 4-2 กราฟค่าพีเอชที่ได้จากการทดสอบจากการวัดค่าพีเอชจริง

ตาราง 4-1 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าพีเอชมาตรฐานและค่าที่วัดได้

เวลา	พีเอชมาตรฐาน	พีเอชที่วัดได้	ความคลาดเคลื่อน
18:00:00	4.00	4.39	0.39
18:00:05	4.00	4.22	0.22
18:00:10	4.00	4.13	0.13
18:00:15	4.00	4.13	0.13
18:00:20	4.00	4.04	0.04
18:00:25	4.00	4.04	0.04
18:00:30	4.00	4.04	0.04
18:00:35	4.00	4.04	0.04
18:00:40	4.00	4.04	0.04
18:00:45	4.00	4.04	0.04
18:00:50	4.00	3.96	0.04
18:00:55	4.00	3.96	0.04
18:01:00	4.00	3.96	0.04
18:01:05	4.00	3.96	0.04
18:01:10	4.00	3.96	0.04
18:01:15	4.00	3.96	0.04
18:01:20	4.00	3.96	0.04
18:01:25	4.00	3.96	0.04
18:01:30	4.00	3.96	0.04

เวลา	พีเอชมาตรฐาน	พีเอชที่วัดได้	ความคลาดเคลื่อน
18:20:00		4.30	
18:20:05	4.00	3.96	0.04
18:20:10	4.00	3.96	0.04
18:20:15	4.00	3.96	0.04
18:20:20	4.00	3.96	0.04
18:20:25	4.00	3.87	0.13
18:20:30	4.00	3.87	0.13
18:20:35	4.00	3.87	0.13
18:20:40	4.00	3.87	0.13
18:20:45	4.00	3.87	0.13
18:20:50	4.00	3.87	0.13
18:20:55	4.00	3.78	0.22
18:21:00	4.00	3.78	0.22
18:21:05	4.00	3.78	0.22
18:21:10	4.00	3.87	0.13
18:21:15	4.00	3.87	0.13
18:21:20	4.00	3.78	0.22
18:21:25	4.00	3.87	0.13
18:21:30	4.00	3.78	0.22

ตาราง 4-1 (ต่อ)

18:01:35	4.00	3.96	0.04	18:21:35	4.00	3.78	0.22
18:01:40	4.00	3.96	0.04	18:21:40	4.00	3.78	0.22
18:01:45	4.00	3.96	0.04	18:21:45	4.00	3.78	0.22
18:01:50	4.00	3.96	0.04	18:21:50	4.00	3.78	0.22
18:01:55	4.00	3.96	0.04	18:21:55	4.00	3.78	0.22
18:02:00	4.00	3.96	0.04	18:22:00	4.00	3.78	0.22
18:02:05	4.00	3.96	0.04	18:22:05	4.00	3.78	0.22
18:02:10	4.00	3.96	0.04	18:22:10	4.00	3.78	0.22
18:02:15	4.00	3.96	0.04	18:22:15	4.00	3.78	0.22
18:02:20	4.00	3.96	0.04	18:22:20	4.00	3.78	0.22
18:02:25	4.00	3.96	0.04	18:22:25	4.00	3.78	0.22
18:02:30	4.00	3.96	0.04	18:22:30	4.00	3.78	0.22
18:02:35	4.00	3.96	0.04	18:22:35	4.00	3.78	0.22
18:02:40	4.00	3.96	0.04	18:22:40	4.00	3.78	0.22
18:02:45	4.00	3.96	0.04	18:22:45	4.00	3.78	0.22
18:02:50	4.00	3.96	0.04	18:22:50	4.00	3.78	0.22
18:02:55	4.00	3.96	0.04	18:22:55	4.00	3.78	0.22
18:03:00	4.00	3.96	0.04	18:23:00	4.00	3.78	0.22
18:03:05	4.00	3.96	0.04	18:23:05	4.00	3.78	0.22
18:03:10	4.00	3.96	0.04	18:23:10	4.00	3.78	0.22
18:03:15	4.00	3.96	0.04	18:23:15	4.00	3.78	0.22
18:03:20	4.00	3.96	0.04	18:23:20	4.00	3.78	0.22
18:03:25	4.00	3.96	0.04	18:23:25	4.00	3.78	0.22
18:03:30	4.00	3.96	0.04	18:23:30	4.00	3.78	0.22
18:03:35	4.00	3.96	0.04	18:23:35	4.00	3.78	0.22
18:03:40	4.00	3.96	0.04	18:23:40	4.00	3.78	0.22
18:03:45	4.00	3.96	0.04	18:23:45	4.00	3.78	0.22
18:03:50	4.00	3.96	0.04	18:23:50	4.00	3.78	0.22
18:03:55	4.00	3.96	0.04	18:23:55	4.00	3.78	0.22
18:04:00	4.00	3.96	0.04	18:24:00	4.00	3.78	0.22
18:04:05	4.00	3.96	0.04	18:24:05	4.00	3.78	0.22
18:04:10	4.00	3.96	0.04	18:24:10	4.00	3.78	0.22
18:04:15	4.00	3.96	0.04	18:24:15	4.00	3.78	0.22
18:04:20	4.00	3.96	0.04	18:24:20	4.00	3.78	0.22
18:04:25	4.00	3.96	0.04	18:24:25	4.00	3.78	0.22
18:04:30	4.00	3.96	0.04	18:24:30	4.00	3.78	0.22
18:04:35	4.00	3.96	0.04	18:24:35	4.00	3.87	0.13
18:04:40	4.00	3.96	0.04	18:24:40	4.00	3.78	0.22
18:04:45	4.00	3.96	0.04	18:24:45	4.00	3.78	0.22
18:04:50	4.00	3.96	0.04	18:24:50	4.00	3.87	0.13
18:04:55	4.00	3.96	0.04	18:24:55	4.00	3.78	0.22
18:05:00	4.00	3.96	0.04	18:25:00	4.00	3.87	0.13
18:05:05	4.00	3.96	0.04	18:25:05	4.00	3.78	0.22
18:05:10	4.00	3.96	0.04	18:25:10	4.00	3.78	0.22
18:05:15	4.00	3.96	0.04	18:25:15	4.00	3.78	0.22
18:05:20	4.00	3.96	0.04	18:25:20	4.00	3.78	0.22
18:05:25	4.00	3.96	0.04	18:25:25	4.00	3.78	0.22
18:05:30	4.00	3.96	0.04	18:25:30	4.00	3.78	0.22
18:05:35	4.00	3.96	0.04	18:25:35	4.00	3.78	0.22
18:05:40	4.00	3.96	0.04	18:25:40	4.00	3.78	0.22
18:05:45	4.00	3.96	0.04	18:25:45	4.00	3.78	0.22
18:05:50	4.00	3.96	0.04	18:25:50	4.00	3.78	0.22
18:05:55	4.00	3.96	0.04	18:25:55	4.00	3.78	0.22
18:06:00	4.00	3.96	0.04	18:26:00	4.00	3.78	0.22
18:06:05	4.00	3.96	0.04	18:26:05	4.00	3.78	0.22
18:06:10	4.00	3.96	0.04	18:26:10	4.00	3.78	0.22
18:06:15	4.00	3.96	0.04	18:26:15	4.00	3.78	0.22
18:06:20	4.00	3.96	0.04	18:26:20	4.00	3.78	0.22
18:06:25	4.00	3.87	0.13	18:26:25	4.00	3.78	0.22
18:06:30	4.00	3.87	0.13	18:26:30	4.00	3.78	0.22

## ตาราง 4-1 (ต่อ)

18:06:35	4.00	3.96	0.04	18:26:35	4.00	3.78	0.22
18:06:40	4.00	3.96	0.04	18:26:40	4.00	3.78	0.22
18:06:45	4.00	3.96	0.04	18:26:45	4.00	3.78	0.22
18:06:50	4.00	3.96	0.04	18:26:50	4.00	3.78	0.22
18:06:55	4.00	3.87	0.13	18:26:55	4.00	3.78	0.22
18:07:00	4.00	3.87	0.13	18:27:00	4.00	3.78	0.22
18:07:05	4.00	3.87	0.13	18:27:05	4.00	3.78	0.22
18:07:10	4.00	3.87	0.13	18:27:10	4.00	3.78	0.22
18:07:15	4.00	3.87	0.13	18:27:15	4.00	3.87	0.13
18:07:20	4.00	3.87	0.13	18:27:20	4.00	3.87	0.13
18:07:25	4.00	3.87	0.13	18:27:25	4.00	3.87	0.13
18:07:30	4.00	3.87	0.13	18:27:30	4.00	3.78	0.22
18:07:35	4.00	3.87	0.13	18:27:35	4.00	3.78	0.22
18:07:40	4.00	3.87	0.13	18:27:40	4.00	3.78	0.22
18:07:45	4.00	3.87	0.13	18:27:45	4.00	3.78	0.22
18:07:50	4.00	3.87	0.13	18:27:50	4.00	3.78	0.22
18:07:55	4.00	3.87	0.13	18:27:55	4.00	3.78	0.22
18:08:00	4.00	3.87	0.13	18:28:00	4.00	3.78	0.22
18:08:05	4.00	3.87	0.13	18:28:05	4.00	3.78	0.22
18:08:10	4.00	3.87	0.13	18:28:10	4.00	3.78	0.22
18:08:15	4.00	3.87	0.13	18:28:15	4.00	3.87	0.13
18:08:20	4.00	3.87	0.13	18:28:20	4.00	3.87	0.13
18:08:25	4.00	3.87	0.13	18:28:25	4.00	3.78	0.22
18:08:30	4.00	3.87	0.13	18:28:30	4.00	3.87	0.13
18:08:35	4.00	3.87	0.13	18:28:35	4.00	3.78	0.22
18:08:40	4.00	3.87	0.13	18:28:40	4.00	3.87	0.13
18:08:45	4.00	3.87	0.13	18:28:45	4.00	3.78	0.22
18:08:50		4.48*		18:28:50	4.00	3.87	0.13
18:08:55		5.43*		18:28:55	4.00	3.87	0.13
18:09:00	7.00	6.90	0.10	18:29:00	4.00	3.87	0.13
18:09:05	7.00	6.90	0.10	18:29:05	4.00	3.87	0.13
18:09:10	7.00	6.90	0.10	18:29:10	4.00	3.78	0.22
18:09:15	7.00	6.90	0.10	18:29:15	4.00	3.78	0.22
18:09:20	7.00	6.90	0.10	18:29:20		4.13*	
18:09:25	7.00	6.90	0.10	18:29:25		5.08*	
18:09:30	7.00	6.90	0.10	18:29:30	7.00	6.73	0.27
18:09:35	7.00	6.90	0.10	18:29:35	7.00	6.90	0.10
18:09:40	7.00	6.90	0.10	18:29:40	7.00	6.99	0.01
18:09:45	7.00	6.90	0.10	18:29:45	7.00	6.99	0.01
18:09:50	7.00	6.90	0.10	18:29:50	7.00	6.99	0.01
18:09:55	7.00	6.90	0.10	18:29:55	7.00	6.99	0.01
18:10:00	7.00	6.90	0.10	18:30:00	7.00	6.99	0.01
18:10:05	7.00	6.90	0.10	18:30:05	7.00	6.99	0.01
18:10:10	7.00	6.90	0.10	18:30:10	7.00	6.99	0.01
18:10:15	7.00	6.90	0.10	18:30:15	7.00	6.99	0.01
18:10:20	7.00	6.90	0.10	18:30:20	7.00	6.99	0.01
18:10:25	7.00	6.90	0.10	18:30:25	7.00	6.99	0.01
18:10:30	7.00	6.90	0.10	18:30:30	7.00	6.99	0.01
18:10:35	7.00	6.90	0.10	18:30:35	7.00	6.99	0.01
18:10:40	7.00	6.90	0.10	18:30:40	7.00	6.99	0.01
18:10:45	7.00	6.90	0.10	18:30:45	7.00	6.99	0.01
18:10:50	7.00	6.90	0.10	18:30:50	7.00	6.99	0.01
18:10:55	7.00	6.90	0.10	18:30:55	7.00	6.90	0.10
18:11:00	7.00	6.90	0.10	18:31:00	7.00	6.99	0.01
18:11:05	7.00	6.90	0.10	18:31:05	7.00	6.99	0.01
18:11:10	7.00	6.90	0.10	18:31:10	7.00	6.90	0.10
18:11:15	7.00	6.99	0.01	18:31:15	7.00	6.90	0.10
18:11:20	7.00	6.90	0.10	18:31:20	7.00	6.99	0.01
18:11:25	7.00	6.90	0.10	18:31:25	7.00	6.90	0.10
18:11:30	7.00	6.90	0.10	18:31:30	7.00	6.90	0.10

## ตาราง 4-1 (ต่อ)

18:11:35	7.00	6.90	0.10	18:31:35	7.00	6.90	0.10
18:11:40	7.00	6.90	0.10	18:31:40	7.00	6.90	0.10
18:11:45	7.00	6.90	0.10	18:31:45	7.00	6.99	0.01
18:11:50	7.00	6.90	0.10	18:31:50	7.00	6.90	0.10
18:11:55	7.00	6.90	0.10	18:31:55	7.00	6.90	0.10
18:12:00	7.00	6.90	0.10	18:32:00	7.00	6.90	0.10
18:12:05	7.00	6.90	0.10	18:32:05	7.00	6.99	0.01
18:12:10	7.00	6.90	0.10	18:32:10	7.00	6.90	0.10
18:12:15	7.00	6.90	0.10	18:32:15	7.00	6.90	0.10
18:12:20	7.00	6.90	0.10	18:32:20	7.00	6.90	0.10
18:12:25	7.00	6.90	0.10	18:32:25	7.00	6.90	0.10
18:12:30	7.00	6.90	0.10	18:32:30	7.00	6.90	0.10
18:12:35	7.00	6.90	0.10	18:32:35	7.00	6.90	0.10
18:12:40	7.00	6.90	0.10	18:32:40	7.00	6.90	0.10
18:12:45	7.00	6.90	0.10	18:32:45	7.00	6.90	0.10
18:12:50	7.00	6.90	0.10	18:32:50	7.00	6.90	0.10
18:12:55	7.00	6.90	0.10	18:32:55	7.00	6.90	0.10
18:13:00	7.00	6.90	0.10	18:33:00	7.00	6.90	0.10
18:13:05	7.00	6.90	0.10	18:33:05	7.00	6.90	0.10
18:13:10	7.00	6.90	0.10	18:33:10	7.00	6.90	0.10
18:13:15	7.00	6.90	0.10	18:33:15	7.00	6.90	0.10
18:13:20	7.00	6.90	0.10	18:33:20	7.00	6.90	0.10
18:13:25	7.00	6.90	0.10	18:33:25	7.00	6.90	0.10
18:13:30	7.00	6.90	0.10	18:33:30	7.00	6.90	0.10
18:13:35	7.00	6.90	0.10	18:33:35	7.00	6.90	0.10
18:13:40	7.00	6.90	0.10	18:33:40	7.00	6.90	0.10
18:13:45	7.00	6.90	0.10	18:33:45	7.00	6.90	0.10
18:13:50	7.00	6.90	0.10	18:33:50	7.00	6.90	0.10
18:13:55	7.00	6.90	0.10	18:33:55	7.00	6.90	0.10
18:14:00	7.00	6.90	0.10	18:34:00	7.00	6.90	0.10
18:14:05	7.00	6.90	0.10	18:34:05	7.00	6.90	0.10
18:14:10	7.00	6.90	0.10	18:34:10	7.00	6.90	0.10
18:14:15	7.00	6.90	0.10	18:34:15	7.00	6.90	0.10
18:14:20	7.00	6.90	0.10	18:34:20	7.00	6.90	0.10
18:14:25	7.00	6.90	0.10	18:34:25	7.00	6.90	0.10
18:14:30	7.00	6.90	0.10	18:34:30	7.00	6.90	0.10
18:14:35	7.00	6.90	0.10	18:34:35	7.00	6.90	0.10
18:14:40	7.00	6.90	0.10	18:34:40	7.00	6.90	0.10
18:14:45	7.00	6.90	0.10	18:34:45	7.00	6.90	0.10
18:14:50	7.00	6.90	0.10	18:34:50	7.00	6.90	0.10
18:14:55	7.00	6.90	0.10	18:34:55	7.00	6.90	0.10
18:15:00	7.00	6.90	0.10	18:35:00	7.00	6.82	0.18
18:15:05	7.00	6.90	0.10	18:35:05	7.00	6.90	0.10
18:15:10	7.00	6.90	0.10	18:35:10	7.00	6.90	0.10
18:15:15	7.00	6.90	0.10	18:35:15	7.00	6.90	0.10
18:15:20	7.00	6.82	0.18	18:35:20	7.00	6.82	0.18
18:15:25	7.00	6.90	0.10	18:35:25	7.00	6.82	0.18
18:15:30	7.00	6.90	0.10	18:35:30	7.00	6.90	0.10
18:15:35	7.00	6.90	0.10	18:35:35	7.00	6.82	0.18
18:15:40	7.00	6.82	0.18	18:35:40	7.00	6.90	0.10
18:15:45	7.00	6.82	0.18	18:35:45	7.00	6.90	0.10
18:15:50	7.00	6.82	0.18	18:35:50	7.00	6.90	0.10
18:15:55	7.00	6.82	0.18	18:35:55	7.00	6.90	0.10
18:16:00	7.00	6.90	0.10	18:36:00	7.00	6.90	0.10
18:16:05	7.00	6.90	0.10	18:36:05	7.00	6.90	0.10
18:16:10	7.00	6.90	0.10	18:36:10	7.00	6.90	0.10
18:16:15	7.00	6.90	0.10	18:36:15	7.00	6.90	0.10
18:16:20	7.00	6.90	0.10	18:36:20	7.00	6.90	0.10
18:16:25	7.00	6.90	0.10	18:36:25	7.00	6.90	0.10
18:16:30	7.00	6.90	0.10	18:36:30	7.00	6.90	0.10

ตาราง 4-1 (ต่อ)

18:16:35	7.00	6.90	0.10	18:36:35	7.00	6.90	0.10
18:16:40	7.00	6.90	0.10	18:36:40	7.00	6.90	0.10
18:16:45	7.00	6.90	0.10	18:36:45	7.00	6.82	0.18
18:16:50	7.00	6.90	0.10	18:36:50	7.00	6.82	0.18
18:16:55	7.00	6.90	0.10	18:36:55	7.00	6.90	0.10
18:17:00	7.00	6.90	0.10	18:37:00	7.00	6.82	0.18
18:17:05	7.00	6.90	0.10	18:37:05	7.00	6.82	0.18
18:17:10	7.00	6.90	0.10	18:37:10	7.00	6.82	0.18
18:17:15	7.00	6.90	0.10	18:37:15	7.00	6.90	0.10
18:17:20	7.00	6.90	0.10	18:37:20	7.00	6.90	0.10
18:17:25	7.00	6.90	0.10	18:37:25	7.00	6.90	0.10
18:17:30	7.00	6.90	0.10	18:37:30	7.00	6.90	0.10
18:17:35	7.00	6.90	0.10	18:37:35	7.00	6.90	0.10
18:17:40	7.00	6.90	0.10	18:37:40	7.00	6.90	0.10
18:17:45	7.00	6.82	0.18	18:37:45	7.00	6.82	0.18
18:17:50	7.00	6.90	0.10	18:37:50	7.00	6.90	0.10
18:17:55	7.00	6.90	0.10	18:37:55	7.00	6.90	0.10
18:18:00	7.00	6.90	0.10	18:38:00	7.00	6.90	0.10
18:18:05	7.00	6.90	0.10	18:38:05	7.00	6.90	0.10
18:18:10	7.00	6.82	0.18	18:38:10	7.00	6.90	0.10
18:18:15	7.00	6.82	0.18	18:38:15	7.00	6.90	0.10
18:18:20	7.00	6.90	0.10	18:38:20	7.00	6.90	0.10
18:18:25	7.00	6.90	0.10	18:38:25	7.00	6.90	0.10
18:18:30	7.00	6.90	0.10	18:38:30	7.00	6.90	0.10
18:18:35	7.00	6.90	0.10	18:38:35	7.00	6.90	0.10
18:18:40	7.00	6.90	0.10	18:38:40	7.00	6.90	0.10
18:18:45	7.00	6.90	0.10	18:38:45	7.00	6.90	0.10
18:18:50	7.00	6.90	0.10	18:38:50	7.00	6.90	0.10
18:18:55	7.00	6.90	0.10	18:38:55	7.00	6.90	0.10
18:19:00	7.00	6.90	0.10	18:39:00	7.00	6.90	0.10
18:19:05	7.00	6.90	0.10	18:39:05	7.00	6.90	0.10
18:19:10	7.00	6.90	0.10	18:39:10	7.00	6.90	0.10
18:19:15	7.00	6.90	0.10	18:39:15	7.00	6.90	0.10
18:19:20	7.00	6.90	0.10	18:39:20	7.00	6.90	0.10
18:19:25	7.00	6.90	0.10	18:39:25	7.00	6.82	0.18
18:19:30	7.00	6.90	0.10	18:39:30	7.00	6.90	0.10
18:19:35	7.00	6.82	0.18	18:39:35	7.00	6.90	0.10
18:19:40	7.00	6.82	0.18	18:39:40	7.00	6.90	0.10
18:19:45	7.00	6.64	0.36	18:39:45	7.00	6.90	0.10
18:19:50	7.00	6.21	0.79	18:39:50	7.00	6.90	0.10
18:19:55		5.08*		18:39:55	7.00	6.90	0.10

\* ช่วงการเปลี่ยนค่าพีเอชในการวัด

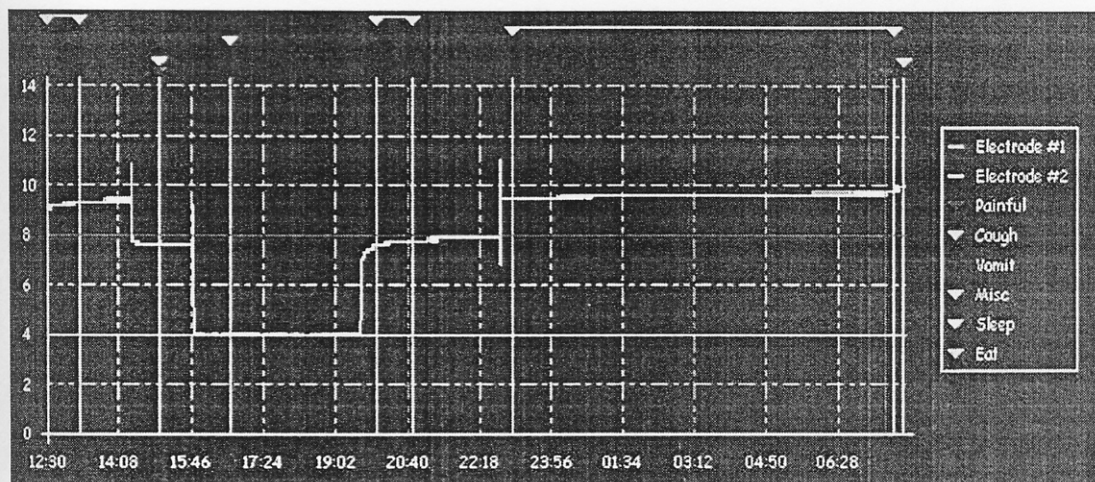
#### 4.3 การทดสอบการทำงานโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอช

ทำการทดสอบตัวโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอชโดยการป้อนแรงดันคงที่ค่าต่างๆให้กับอินพุตทั้ง 2 ช่องของเครื่องต้นแบบเพื่อจำลองเป็นค่าพีเอชต่างๆ และในระหว่างการวัดนั้นได้กดปุ่มเหตุการณ์ที่เครื่องต้นแบบ (ปุ่มอาการเจ็บ (Painful), อาการไอ (Cough), อาการอาเจียน (Vomit), อาการอื่นๆ (Etc), นอน (Sleep) และรับประทานอาหาร (Eat)) เพื่อจำลองการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ พร้อมจดบันทึกเอาไว้ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากตัวโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอช โดยข้อมูลที่จดบันทึกไว้แสดงดังตาราง 4-2

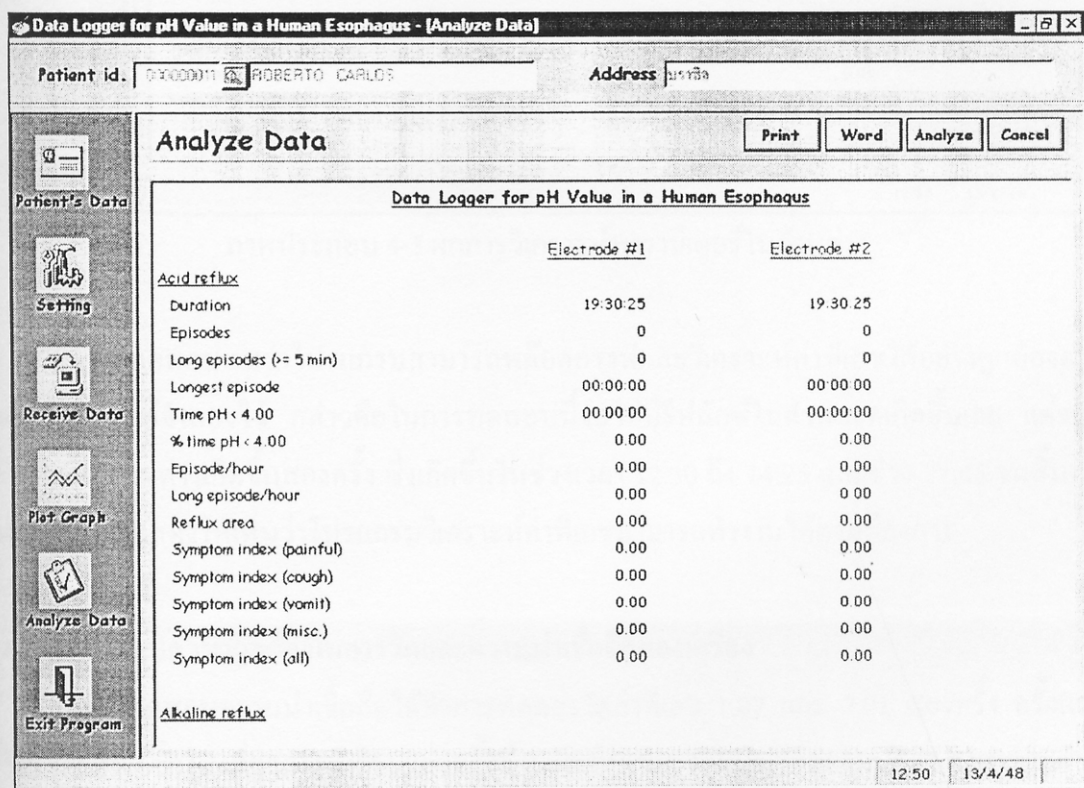
ตาราง 4-2 เวลาและเหตุการณ์ระหว่างการทดสอบ

เวลา	เหตุการณ์
12:30	เริ่มบันทึกข้อมูล พร้อมกดปุ่ม Eat
13:15	กดปุ่ม Eat
14:26	เปลี่ยนระดับแรงดัน
15:03	กดปุ่ม Painful และ Cough
15:48	เปลี่ยนระดับแรงดัน
16:39	กดปุ่ม Misc.
18:18	กดปุ่ม Vomit
19:35	เปลี่ยนระดับแรงดัน
19:57	กดปุ่ม Eat
20:46	กดปุ่ม Eat
21:08	กดปุ่ม Vomit
22:44	เปลี่ยนระดับแรงดัน
23:03	กดปุ่ม Sleep
07:32	กดปุ่ม Painful
07:43	กดปุ่ม Sleep
07:56	กดปุ่ม Cough
08:00	สิ้นสุดการบันทึกข้อมูล

หลังทดสอบเสร็จได้ถ่ายข้อมูลผลการวัดที่เก็บบันทึกในหน่วยความจำไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวพล็อตกราฟและวิเคราะห์ผลเพื่อดูผลการทดสอบ ซึ่งกราฟค่าพีเอชพร้อมเหตุการณ์แสดงในภาพประกอบ 4-3 และผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงในภาพประกอบ 4-4 และ 4-5 สำหรับการเกิดรีฟลักซ์ในด้านกรดและรีฟลักซ์ในด้านด่างตามลำดับ

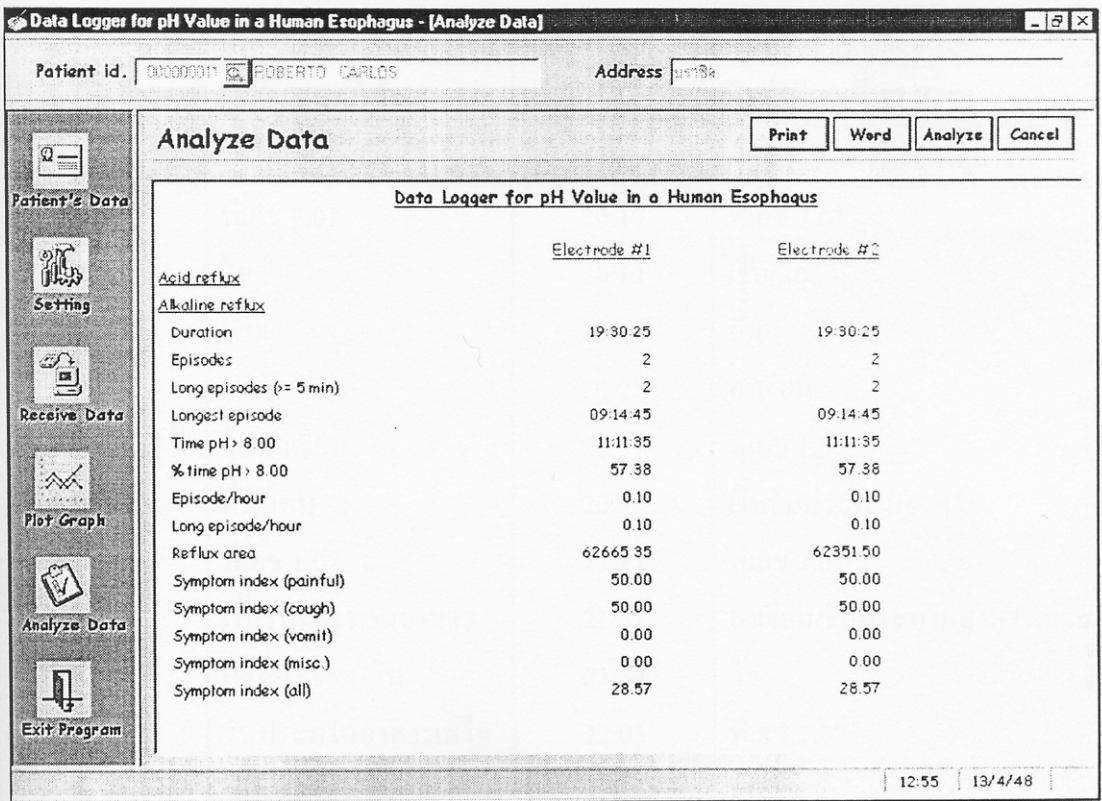


ภาพประกอบ 4-3 กราฟค่าพีเอชพร้อมเหตุการณ์ที่ได้จากการทดสอบการทำงาน



ภาพประกอบ 4-4 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในด้านกรด





ภาพประกอบ 4-5 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในด้านต่าง

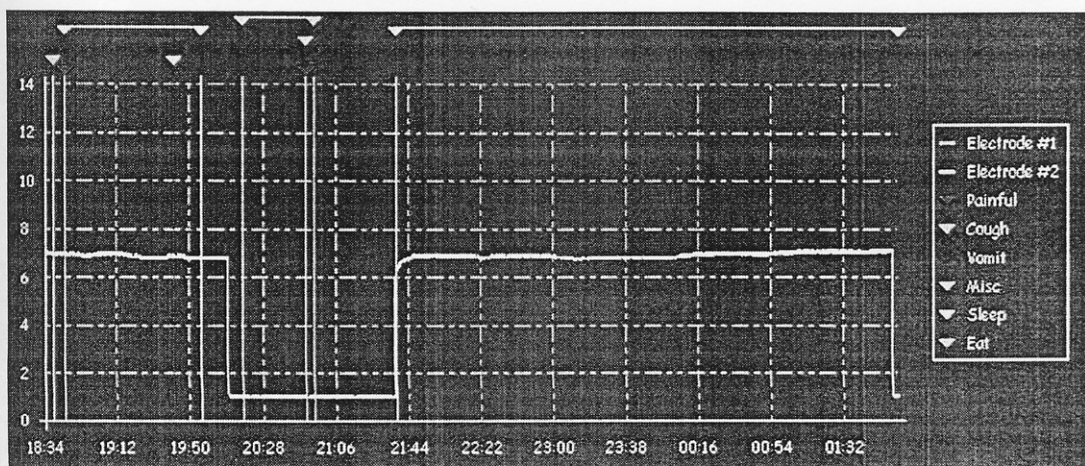
จากผลทดสอบพบว่าโปรแกรมสามารถพล็อตกราฟและวิเคราะห์ค่าพีเอชได้อย่างถูกต้องตรงตามข้อมูลที่ได้จำลองไว้ กล่าวคือในการทดสอบนี้จะไม่มีการรบกวนเกิดขึ้นเลย แต่จะมีรีฟลักซ์ในด้านต่างเกิดขึ้นสองครั้ง ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 12:30 ถึง 14:25 และช่วง 22:45 จนถึงสิ้นสุดการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอชสามารถทำงานได้ตามต้องการ

#### 4.4 การทดสอบความถูกต้องในการวัดและความน่าเชื่อถือของเครื่อง

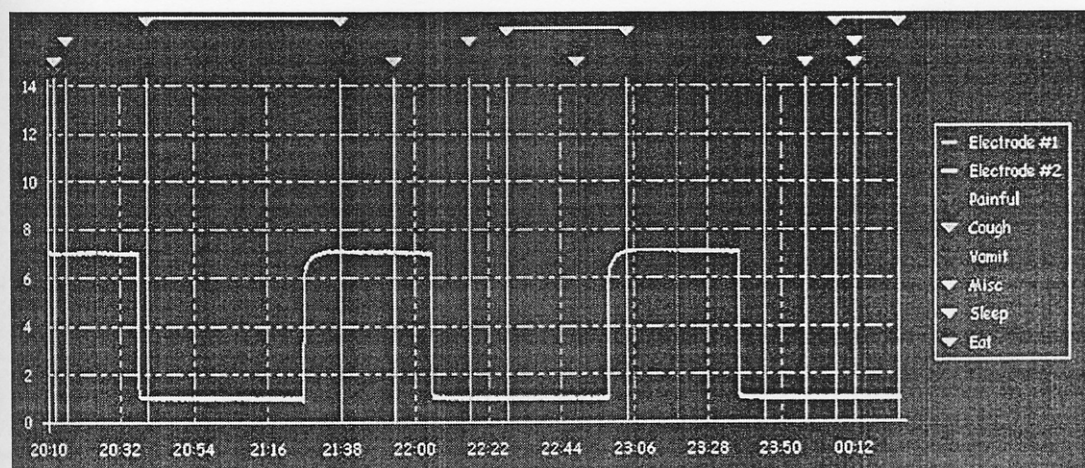
ในการทดสอบความน่าเชื่อถือได้ทำการทดลองวัดค่าพีเอช 1.07 และ 7.01 สองครั้ง ครั้งแรกวัดเป็นเวลา 7 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และครั้งที่ 2 วัดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลได้คัดสรรกิจกรรมต่างๆ ดังแสดงในตาราง 4-3 หลังจากนั้นได้นำข้อมูลที่บันทึกไว้มาแสดงผลดังภาพประกอบ 4-6 และ 4-7

ตาราง 4-3 ค่าพีเอชและเหตุการณ์ระหว่างการทดสอบ

บันทึกค่าพีเอชที่อุณหภูมิห้อง		บันทึกค่าพีเอชที่ 37 °C	
12/12/45 เวลา	ค่าพีเอชและเหตุการณ์	15/12/45 เวลา	ค่าพีเอชและเหตุการณ์
18:34	พีเอช 7.01	20:10	พีเอช 7.01
18:38	ไอ	20:12	เจ็บ/ไอ
18:44	เจ็บ	20:15	อื่นๆ
18:45	นอน	20:25	อาเจียน
19:41	ไอ/อาเจียน	20:37	พีเอช 1.07
19:56	ตื่นนอน	20:40	เริ่มรับประทานอาหาร
20:10	พีเอช 1.07	21:27	พีเอช 7.01
20:17	เริ่มรับประทานอาหาร	21:37	อาเจียน/รับประทานอาหารเสร็จ
20:50	เจ็บ/อาเจียน/อื่น	21:54	ไอ
20:55	รับประทานอาหารเสร็จ	22:05	พีเอช 1.07
21:37	พีเอช 7.01	22:16	อื่นๆ
21:38	นอน	22:27	นอน
01:57	พีเอช 1.07	22:48	ไอ/อาเจียน
02:00	ตื่นนอน	22:58	พีเอช 7.01
		23:04	ตื่นนอน
		23:19	เจ็บ
		23:37	พีเอช 1.07
		23:45	เจ็บ/อื่นๆ
		23:57	ไอ
		00:06	เริ่มรับประทานอาหาร
		00:12	ไอ/อื่นๆ
		00:25	รับประทานอาหารเสร็จ



ภาพประกอบ 4-6 กราฟค่าพีเอชพร้อมเหตุการณ์ที่ทดสอบในวันที่ 12/12/45



ภาพประกอบ 4-7 กราฟค่าพีเอชพร้อมเหตุการณ์ที่ทดสอบในวันที่ 15/12/45

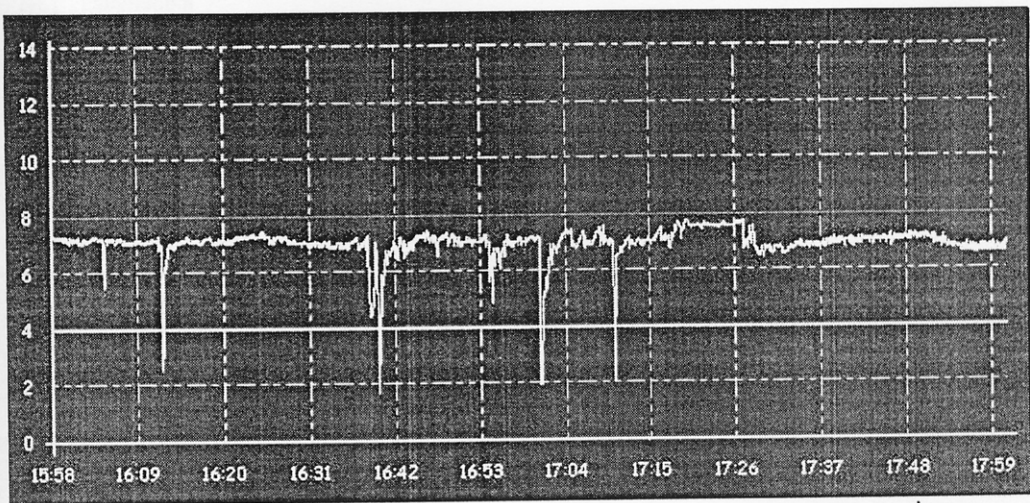
จากผลการทดสอบจะเห็นว่าเครื่องสามารถวัดค่าพีเอชได้ตรงตลอดเวลาที่ทำการวัดไม่ว่าจะวัดที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และพบว่าค่าพีเอชและเหตุการณ์ที่บันทึกได้ตรงกับการกดคีย์ที่แสดงในตาราง 4-3

#### 4.5 การทดสอบกับอาสาสมัคร

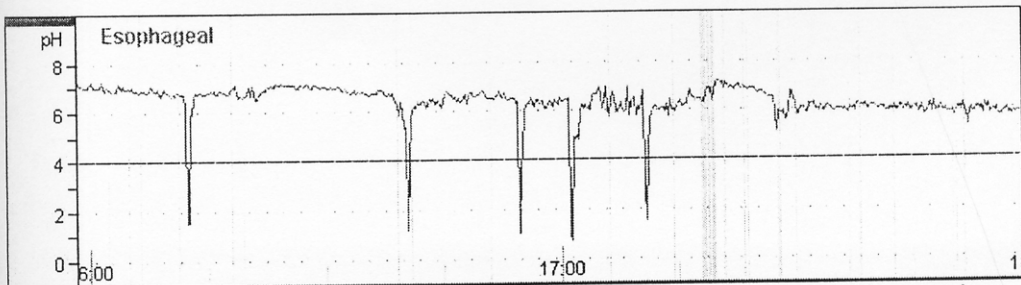
ในการทดสอบกับอาสาสมัคร จะทดสอบโดยการวัดค่าพีเอชในหลอดอาหารของอาสาสมัครปกติ ซึ่งจะทำการทดสอบในช่วงบ่ายหลังอาหารเที่ยง และเวลาในการทดสอบในแต่ละอาสาสมัครไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ในการทดสอบนั้นจะเข้าไปพร้อมกับเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชของต่างประเทศยี่ห้อ Medtronic รุ่น Digi-Crappher pH

ในการทดสอบจะสอดสายอิเล็กโทรดชนิดเอนติโมนี 2 เส้นลงในหลอดอาหารของอาสาสมัครผ่านทางรูจมูก โดยอิเล็กโทรดเส้นหนึ่งต่อกับเครื่องต้นแบบ และอีกเส้นต่อกับเครื่อง Medtronic โดยเครื่องต้นแบบจะเก็บข้อมูลทุกๆ 4 วินาที และเครื่อง Medtronic จะเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที

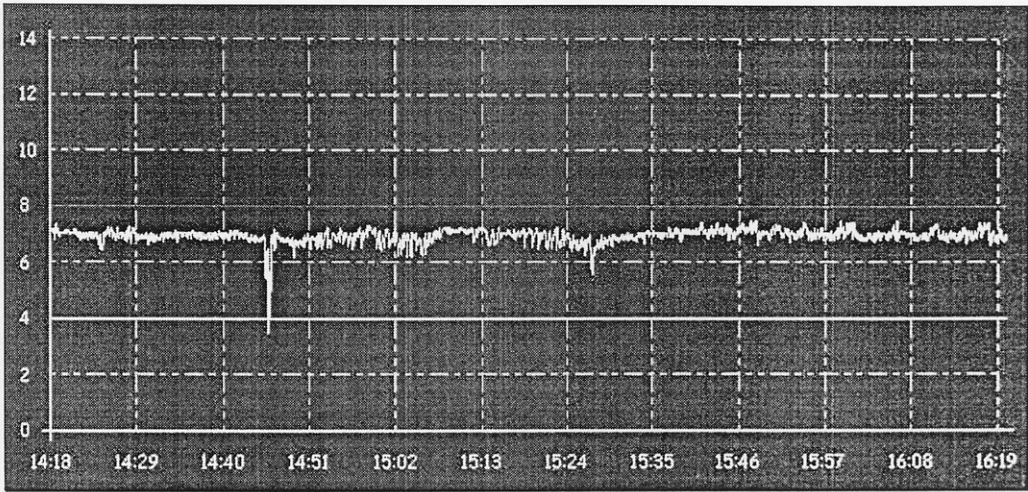
จากการทดสอบในอาสาสมัครทั้ง 8 คน พบว่าอาสาสมัครในคนที่ 1 ถึงคนที่ 3 นั้นได้ผลการวัดออกมาไม่ดี อาจเนื่องจากปัญหาของแรงดัน Offset ของวงจรขยาย จึงได้ลองปรับปรุงวงจรขยายแรงดันใหม่ ดังได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ซึ่งหลังจากปรับปรุงปัญหาในส่วนนี้ได้หายไป ส่วนอาสาสมัครคนที่ 8 นั้นหลังจากเริ่มวัดไประยะหนึ่ง พบว่าค่าพีเอชที่วัดได้มีค่าผิดปกติ และกลับมาเป็นปกติอีกครั้งเมื่อตอนใกล้สิ้นสุดการวัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุดเชื่อมต่อระหว่างสายอิเล็กโทรดและตัวเครื่องต้นแบบไม่แน่น ทำให้เครื่องต้นแบบไม่สามารถวัดค่าพีเอชได้ในช่วงดังกล่าว กราฟเปรียบเทียบระหว่างเครื่องต้นแบบและเครื่อง Medtronic แสดงดังภาพประกอบ 4-8 ถึง 4-15



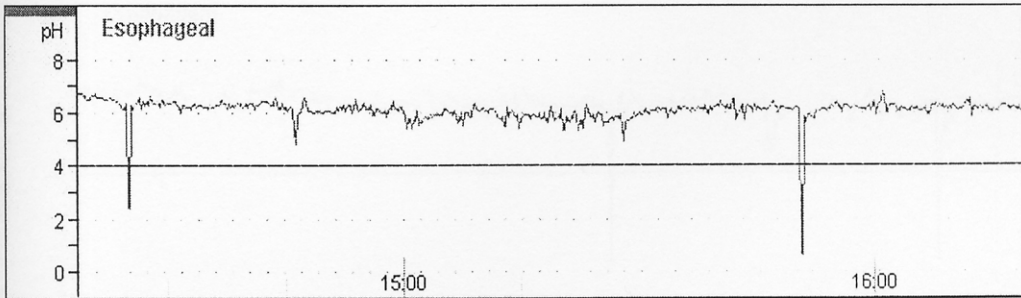
ภาพประกอบ 4-8 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 4



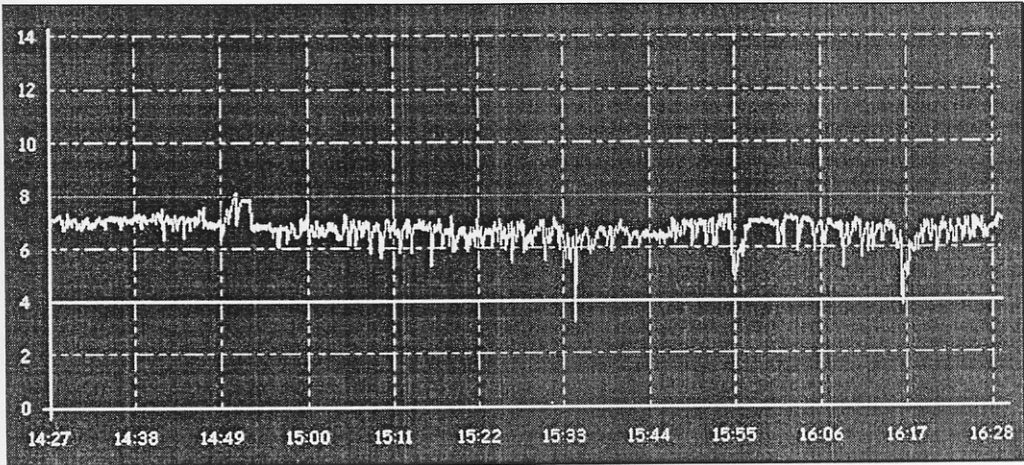
ภาพประกอบ 4-9 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 4



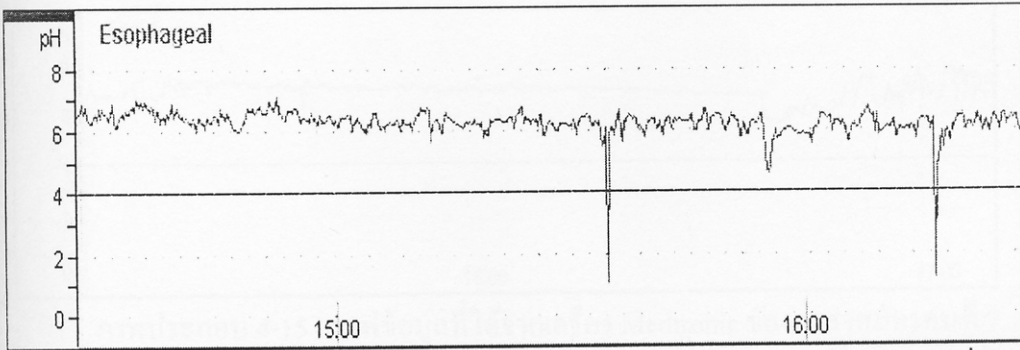
ภาพประกอบ 4-10 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 5



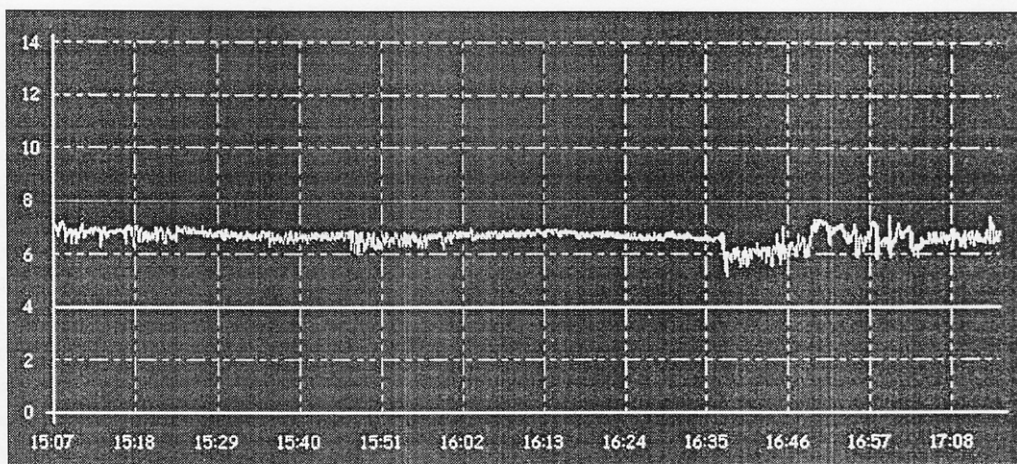
ภาพประกอบ 4-11 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 5



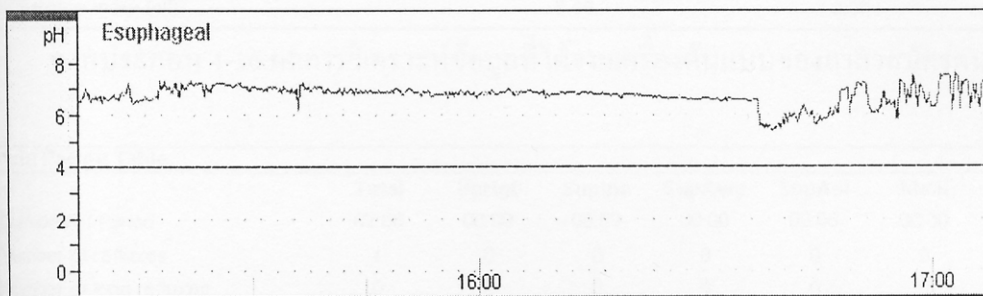
ภาพประกอบ 4-12 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 6



ภาพประกอบ 4-13 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 6



ภาพประกอบ 4-14 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 7



ภาพประกอบ 4-15 กราฟข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 7

และผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างเครื่องต้นแบบและเครื่อง Medtronic แสดงดัง

ภาพประกอบ 4-16 ถึง 4-23

**Data Logger for pH Value in a Human Esophagus**

	Electrode #1	Electrode #2
<u>Acid reflux</u>		
Duration	02:07:08	02:07:08
Episodes	1	1
Long episodes (>= 5 min)	0	0
Longest episode	00:00:16	00:00:16
Time pH < 4.00	00:00:16	00:00:16
% time pH < 4.00	0.21	0.21
Episode/hour	0.47	0.47
Long episode/hour	0.00	0.00
Reflux area	26.61	26.76
Symptom index (painful)	0.00	0.00
Symptom index (cough)	0.00	0.00
Symptom index (vomit)	0.00	0.00
Symptom index (misc.)	0.00	0.00
Symptom index (all)	0.00	0.00

ภาพประกอบ 4-16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 4

**Acid Period Table**

	<b>Total</b>	<b>Upright</b>	<b>Supine</b>	<b>SupAwa</b>	<b>SupAsl</b>	<b>Meal</b>	<b>Postpr</b>
Duration of Period	02:06	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
Number of refluxes	1	0	0	0	0	0	0
Number of long refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Duration of longest reflux (min)	0	-	-	-	-	-	-
Time pH < 4 (min)	1	0	0	0	0	0	0
Fraction time pH < 4 (%)	0.8	-	-	-	-	-	-
Minimum	0.7	-	-	-	-	-	-
Maximum	7.7	-	-	-	-	-	-
Mean	6.5	-	-	-	-	-	-
Median	6.5	-	-	-	-	-	-

ภาพประกอบ 4-17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 4



**Data Logger for pH Value in a Human Esophagus**

	<u>Electrode #1</u>	<u>Electrode #2</u>
<u>Acid reflux</u>		
Duration	02:02:04	02:02:04
Episodes	0	0
Long episodes (>= 5 min)	0	0
Longest episode	00:00:00	00:00:00
Time pH < 4.00	00:00:00	00:00:00
% time pH < 4.00	0.00	0.00
Episode/hour	0.00	0.00
Long episode/hour	0.00	0.00
Reflux area	0.00	0.00
Symptom index (painful)	0.00	0.00
Symptom index (cough)	0.00	0.00
Symptom index (vomit)	0.00	0.00
Symptom index (misc.)	0.00	0.00
Symptom index (all)	0.00	0.00

ภาพประกอบ 4-18 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 5

<b>Acid Period Table</b>	<b>Total</b>	<b>Uprigt</b>	<b>Supine</b>	<b>SupAwa</b>	<b>SupAsl</b>	<b>Meal</b>	<b>Postpr</b>
Duration of Period	02:02	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
Number of refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Number of long refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Duration of longest reflux (min)	0	-	-	-	-	-	-
Time pH < 4 (min)	0	0	0	0	0	0	0
Fraction time pH < 4 (%)	0.2	-	-	-	-	-	-
Minimum	0.5	-	-	-	-	-	-
Maximum	7.3	-	-	-	-	-	-
Mean	6.2	-	-	-	-	-	-
Median	6.2	-	-	-	-	-	-

ภาพประกอบ 4-19 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 5

Data Logger for pH Value in a Human Esophagus

	<u>Electrode #1</u>	<u>Electrode #2</u>
<u>Acid reflux</u>		
Duration	02:02:16	02:02:16
Episodes	0	0
Long episodes ( $\geq 5$ min)	0	0
Longest episode	00:00:00	00:00:00
Time pH < 4.00	00:00:00	00:00:00
% time pH < 4.00	0.00	0.00
Episode/hour	0.00	0.00
Long episode/hour	0.00	0.00
Reflux area	0.00	0.00
Symptom index (painful)	0.00	0.00
Symptom index (cough)	0.00	0.00
Symptom index (vomit)	0.00	0.00
Symptom index (misc.)	0.00	0.00
Symptom index (all)	0.00	0.00

ภาพประกอบ 4-20 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกแบบของอาสาสมัครคนที่ 6

<u>Acid Period Table</u>	<b>Total</b>	<b>Uprigt</b>	<b>Supine</b>	<b>SupAwa</b>	<b>SupAsl</b>	<b>Meal</b>	<b>Postpr</b>
Duration of Period	02:04	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
Number of refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Number of long refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Duration of longest reflux (min)	0	-	-	-	-	-	-
Time pH < 4 (min)	0	0	0	0	0	0	0
Fraction time pH < 4 (%)	0.3	-	-	-	-	-	-
Minimum	1.0	-	-	-	-	-	-
Maximum	7.1	-	-	-	-	-	-
Mean	6.3	-	-	-	-	-	-
Median	6.4	-	-	-	-	-	-

ภาพประกอบ 4-21 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 6

**Data Logger for pH Value in a Human Esophagus**

	Electrode #1	Electrode #2
<b>Acid reflux</b>		
Duration	02:07:28	02:07:28
Episodes	0	0
Long episodes (>= 5 min)	0	0
Longest episode	00:00:00	00:00:00
Time pH < 4.00	00:00:00	00:00:00
% time pH < 4.00	0.00	0.00
Episode/hour	0.00	0.00
Long episode/hour	0.00	0.00
Reflux area	0.00	0.00
Symptom index (painful)	0.00	0.00
Symptom index (cough)	0.00	0.00
Symptom index (vomit)	0.00	0.00
Symptom index (misc.)	0.00	0.00
Symptom index (all)	0.00	0.00

ภาพประกอบ 4-22 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องค้นแบบของอาสาสมัครคนที่ 7

**Acid Period Table**

	Total	Uprigt	Supine	SupAwa	SupAsl	Meal	Postpr
Duration of Period	02:07	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
Number of refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Number of long refluxes	0	0	0	0	0	0	0
Duration of longest reflux (min)	0	-	-	-	-	-	-
Time pH < 4 (min)	0	0	0	0	0	0	0
Fraction time pH < 4 (%)	0.0	-	-	-	-	-	-
Minimum	5.3	-	-	-	-	-	-
Maximum	7.7	-	-	-	-	-	-
Mean	6.8	-	-	-	-	-	-
Median	6.8	-	-	-	-	-	-

ภาพประกอบ 4-23 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Medtronic ของอาสาสมัครคนที่ 7

จากผลการทดสอบกับอาสาสมัครจะเห็นว่าค่าพีเอชที่วัดจากเครื่องค้นแบบและเครื่อง Medtronic นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถตรวจวัดการเกิดค่าพีเอชต่ำกว่า 4 ได้เหมือนกันทั้งสองเครื่อง ยกเว้นในกรณีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 4 ในช่วงเวลาสั้นมากๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความถี่ในการเก็บบันทึกข้อมูลของทั้งสองเครื่องไม่เท่ากัน และเมื่อนำผลการวัดไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเทียบกับโปรแกรมวิเคราะห์ผลของบริษัท Medtronic พบว่า ได้ผลการวิเคราะห์เหมือนกัน โดยจะเห็นว่าในอาสาสมัครคนที่ 4 พบการเกิดรีฟลักซ์ 1 ครั้งเหมือนกัน มีระยะเวลาการเกิด 16 วินาที ส่วนอาสาสมัครคนอื่นๆจะไม่พบรีฟลักซ์เกิดขึ้นทั้งในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และโปรแกรมของบริษัท Medtronic