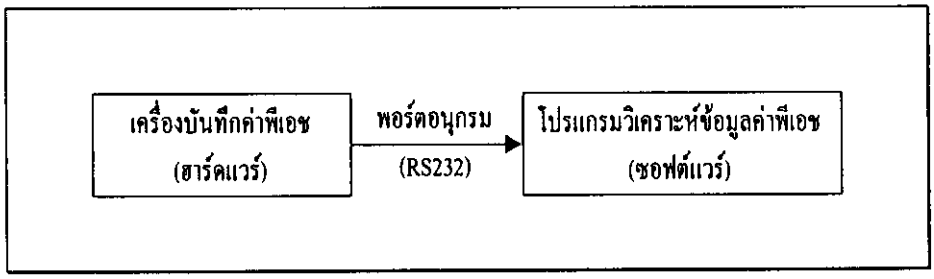
บทที่ 3

การออกแบบระบบบันทึกค่าพีเอช

จากขอบเขตของการวิจัยระบบบันทึกค่าพีเอชในหลอดอาหาร ได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบบันทึกค่าพีเอชในหลอดอาหาร โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานได้ดังภาพประกอบ 3-1



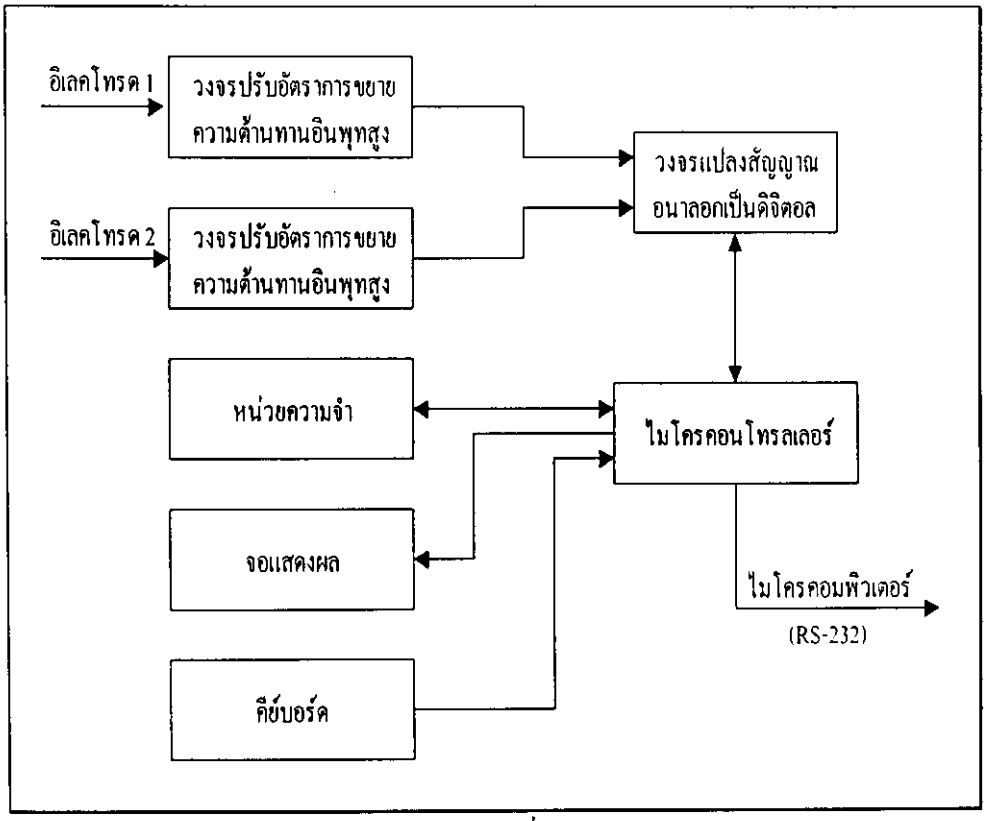
ภาพประกอบ 3-1 ความสัมพันธ์ของการทำงาน

1. ส่วนฮาร์ดแวร์ คือตัวเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องวัดและเก็บบันทึกค่าพีเอชไว้ในหน่วยความจำของตัวเครื่อง โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน สามารถวัดและเก็บบันทึกค่าพีเอชได้พร้อมๆกันสองอิเลคโทรด มีหน่วยความจำสำหรับเก็บบันทึกข้อมูล 32 กิโลไบต์ มีส่วนแสดงผลเป็น LCD ขนาด 4 บรรทัดๆ ละ 16 ตัวอักษร มีคีย์สำหรับให้ผู้ใช้ติดต่อกับเครื่อง 10 คีย์ และสามารถถ่ายโอนข้อมูลที่เก็บบันทึกในหน่วยความจำของตัวเครื่องไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 เพื่อนำข้อมูลที่ได้นี้ไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ในขั้นตอนต่อไป

2. ส่วนซอฟต์แวร์ คือตัวโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอช ซึ่งจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชผ่านทางพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 และนำข้อมูลที่ได้นี้มาแสดงผลในรูปแบบของกราฟเส้น หรือนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆตามที่แพทย์ต้องการ เช่น Long episode, Episode/hour, Symptom index และ Reflux area เป็นต้น รวมไปถึงการแสดงผลการวิเคราะห์ เพื่อช่วยให้แพทย์สามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปประกอบในการวินิจฉัยอาการของผู้ป่วยได้ดียิ่งขึ้น

3.1 การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์

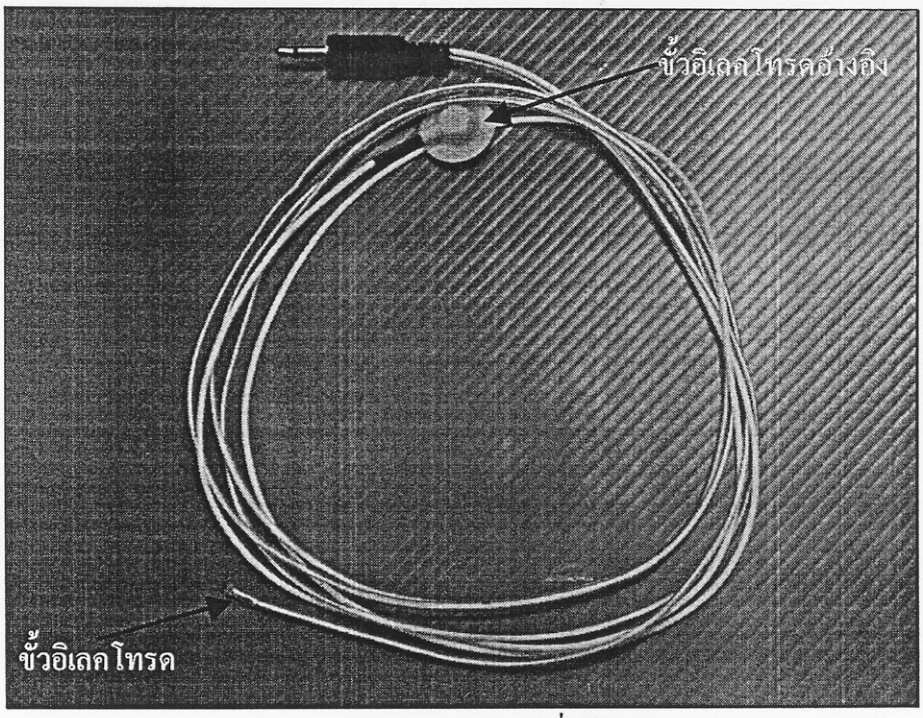
เครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชที่ได้ออกแบบมีส่วนประกอบดังภาพประกอบ 3-2 และมีรายละเอียดของส่วนต่างๆดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3-2 โครงสร้างเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช

3.1.1 อิเลคโทรด (Electrode)

อิเลคโทรดที่นำมาใช้ในวัดค่าพีเอชจะเป็นอิเลคโทรดชนิดแอนติมอนี โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร สามารถสอดเข้าไปในหลอดอาหารผ่านทางรูจมูก และขั้วอ้างอิงของอิเลคโทรด (สีเหลือง) ต้องติดที่ผิวหนังบริเวณแขน ซึ่งอิเลคโทรดนี้จะสั่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิต อิเลคโทรดแสดงดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 อิเลคโทรดที่ใช้ในการวัด

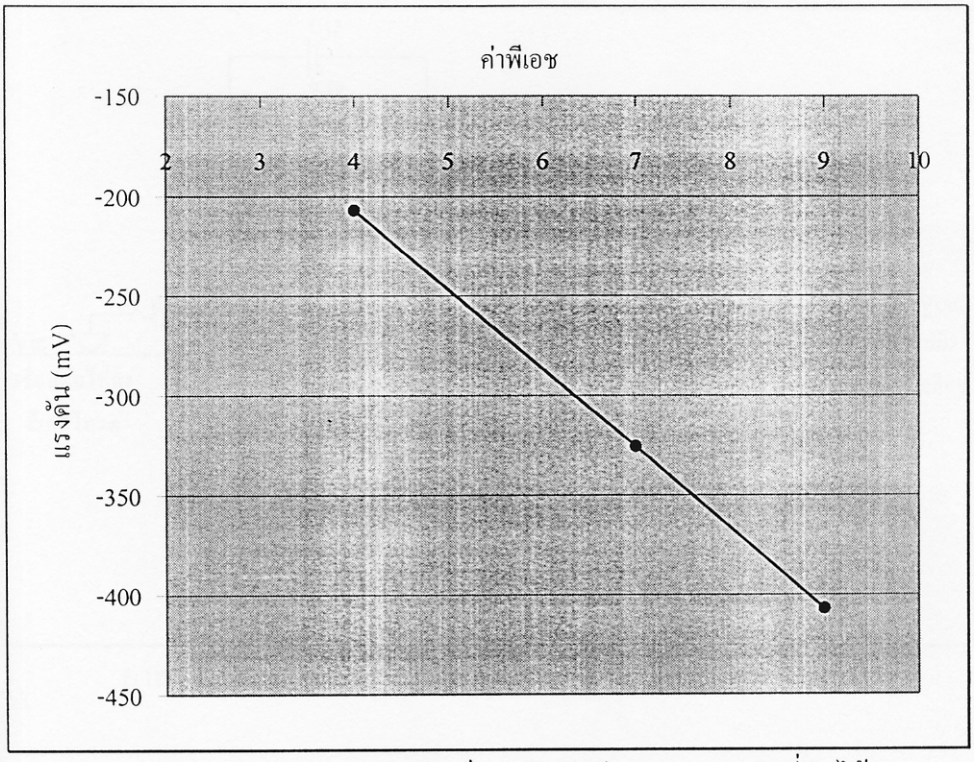
จากการทดสอบวัดค่าแรงดันที่ได้จากอิเลคโทรดดังกล่าว โดยการนำขั้วทั้งสองของอิเลคโทรดไปจุ่มในสายละลายที่มีค่าพีเอช 4, 7 และ 9 และใช้มัลติมิเตอร์รุ่น FLUKE 79 Series II วัดค่าแรงดัน ซึ่งค่าแรงดันที่วัดได้ดังแสดงในตาราง 3-1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและแรงดันที่วัดได้ดังภาพประกอบ 3-4

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าแรงดันที่ได้จากอิเลคโทรดจะมีค่าที่อยู่ในช่วงแรงดันค่าลบ และความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและแรงดันค่อนข้างจะเป็นเชิงเส้น โดยมีค่าแรงดันโดยประมาณ 40 มิลลิโวลท์/พีเอช

ตาราง 3-1 ผลการวัดค่าแรงดันที่วัดได้จากอิเลคโทรดที่จุ่มในสารละลายพีเอชค่าต่างๆ

ค่าพีเอช	แรงดันที่วัดได้ (mV)
4	-207
7	-326
9	-407

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

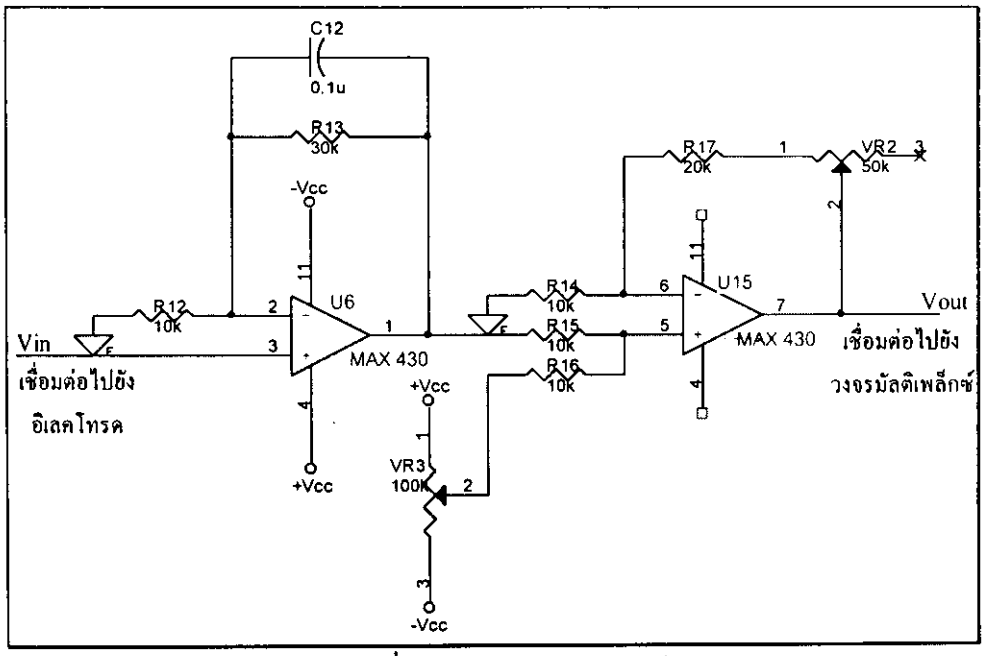


ภาพประกอบ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและแรงดันที่วัดได้

จากการทดสอบวัดความต้านทานภายในของอิเลคโทรด โดยใช้มัลติมิเตอร์รุ่น FLUKE 79 Series II พบว่าค่าความต้านทานภายในของอิเลคโทรดมีค่าประมาณ $700x10^3$ โอห์ม (ข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตคือ น้อยกว่า 10^6 โอห์ม)

3.1.2 วงจรขยายความต้านทานอินพุทสูง (High input impedance amplifier)

เนื่องจากการวัดค่าพีเอชโดยใช้อิเลคโทรดชนิดแอนติมอนีนั้น ความต้านทานภายในของตัวอิเลคโทรดจะมีค่าสูงมาก อีกทั้งแรงดันที่วัดได้นั้นจะมีค่าค่อนข้างต่ำและอยู่ในช่วงของแรงดันค่าลบด้วย ทำให้ไม่สามารถแปลงแรงดันดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิตอลได้โดยตรง จำเป็นต้องมีวงจรขยายที่มีความต้านทานขาเข้าสูงและวงจรปรับระดับแรงดันดังกล่าวให้เป็นค่าบวกอยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ โดยวงจรดังกล่าวนี้จะใช้ไอซี Op-amp LP324 ซึ่งจะมีความต้านทานขาเข้าสูง อีกทั้งยังกินกระแสน้อย แต่เมื่อได้ทำการทดสอบเครื่องต้นแบบโดยนำไปวัดค่าพีเอชในหลอดอาหารของอาสาสมัครคนแรกๆนั้น พบว่าผลการวัดค่าพีเอชที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าไม่คงที่ แนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากค่าแรงดัน Drift ของวงจรขยาย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ปรับปรุงวงจรขยายใหม่ โดยใช้ไอซี Chopper amplifier MAX 430 ซึ่งมีความต้านทานขาเข้าสูง (ข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตคือ 10^{12} โอห์ม) แทนไอซี Op-amp LP324 ตัวเดิม วงจรที่ได้ออกแบบแสดงดังในภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 การเชื่อมต่อวงจรขยายความต้านทานอินพุทสูง

การทำงานของวงจรสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน ดังนี้

- ส่วนแรกเป็นวงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส โดยมี U6, R12 และ R13 ทำงานเป็นวงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส โดยส่วนนี้จะออกแบบให้มีอัตราขยาย 4 เท่าและไม่สามารถปรับอัตราขยายได้ ซึ่งจะสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานที่ใช้ได้จากสมการ

$$\text{อัตราขยาย} = 1 + \frac{R_{13}}{R_{12}}$$

โดยเลือก R_{12} ค่าเท่ากับ 10^3 โอห์ม

$$4 = 1 + \frac{R_{13}}{10k}$$

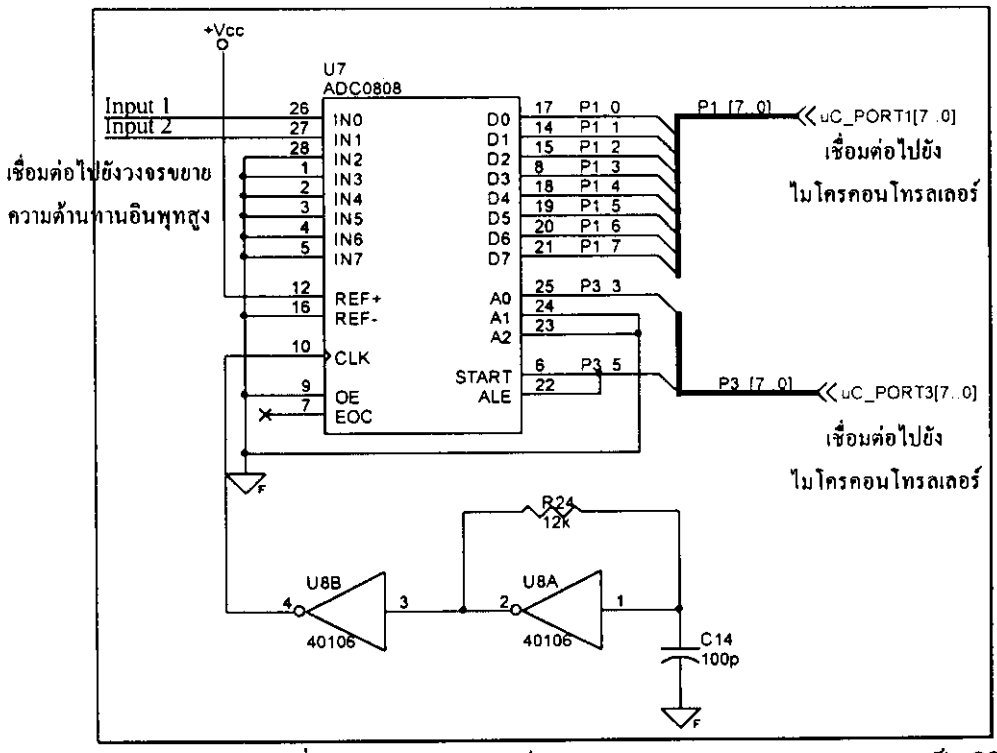
ดังนั้น $R_{13} = 30k$ โอห์ม

- ส่วนที่สองเป็นวงจรขยายและรวมแรงดันแบบไม่กลับเฟส โดยมี U15, R14, R15, R16, R17, VR2 และ VR3 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายและปรับระดับของแรงดันที่ได้จากวงจรส่วนแรกให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ โดยวงจรในส่วนนี้จะสามารถปรับอัตราขยายได้โดยการปรับค่าของ VR2 ซึ่งมีอัตราขยายสูงสุด 8 เท่า และสามารถปรับระดับของแรงดันได้โดยการปรับค่าของ VR3

3.1.3 วงจรมัลติเพล็กซ์ (Multiplex circuit) และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converter)

เนื่องจากเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชที่ออกแบบสามารถวัดค่าพีเอชได้พร้อมๆกันสองอิเลคโทรด ดังนั้นจึงมีสัญญาณอินพุทเข้ามายังวงจรแปลงสัญญาณพร้อมๆกันสองสัญญาณ จึงต้อง

มีวงจรมัลติเพล็กเพื่อทำการเลือกสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งก่อนแล้วจึงส่งต่อให้กับวงจรแปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นดิจิตอลแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำไปเก็บในหน่วยความจำ โดยวงจรในส่วนนี้จะใช้ไอซี A/D converter เบอร์ ADC0808 ซึ่งเป็นไอซีที่รวมวงจรมัลติเพล็กและวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลไว้ในตัวเดียวกัน โดยมีวงจรมัลติเพล็ก 8 ช่อง และมีความละเอียด 8 บิต โดยรายละเอียดของวงจรในส่วนนี้แสดงดังภาพประกอบ 3-6



ภาพประกอบ 3-6 การเชื่อมต่อวงจรมัลติเพล็กและวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ในการทำงานของไอซี ADC0808 นี้ จะรับสัญญาณอินพุทเข้ามาทางขา IN0-IN7 และสามารถเลือกสัญญาณอินพุทได้จากขา A0-A2 แต่เนื่องจากสัญญาณอินพุทที่เข้ามามีแค่สองสัญญาณ ดังนั้นจึงใช้ขาอินพุทของไอซีแค่สองขาเท่านั้น คือขา IN0 และ IN1 ส่วนขาอินพุทอื่นที่เหลือจะต่อลงกราวด์ และมีข้อมูลเอาท์พุทที่ได้จากการแปลงที่ขา D0-D7 ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต

ในขั้นตอนการทำงานของไอซี ADC0808 นี้จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่มีความถี่ในช่วง 10-1280x10^3 เฮิรตซ์ ป้อนให้กับขา CLK โดยในส่วนของสัญญาณนาฬิกานี้ใช้ U8 ซึ่งเป็นไอซีอินเวิร์ทเตอร์ (Inverter) ทำงานร่วมกับ R24 และ C14 เป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยเลือกความถี่ของสัญญาณนาฬิกา 700x10^3 เฮิรตซ์ และเลือก C_{14} ค่าเท่ากับ 100x10^{-9} ฟารัด ดังนั้นค่า R_{24} ที่ใช้จะสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$\text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา} = \frac{1}{1.1 * R_{24} * C_{14}}$$

$$700k = \frac{1}{1.1 * R_{24} * 100p}$$

ดังนั้น $R_{24} = 12.99k$ โอห์ม

เลือก R_{24} ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ค่า $12x10^3$ โอห์ม ดังนั้นจึงคำนวณความถี่ของสัญญาณนาฬิกาใหม่

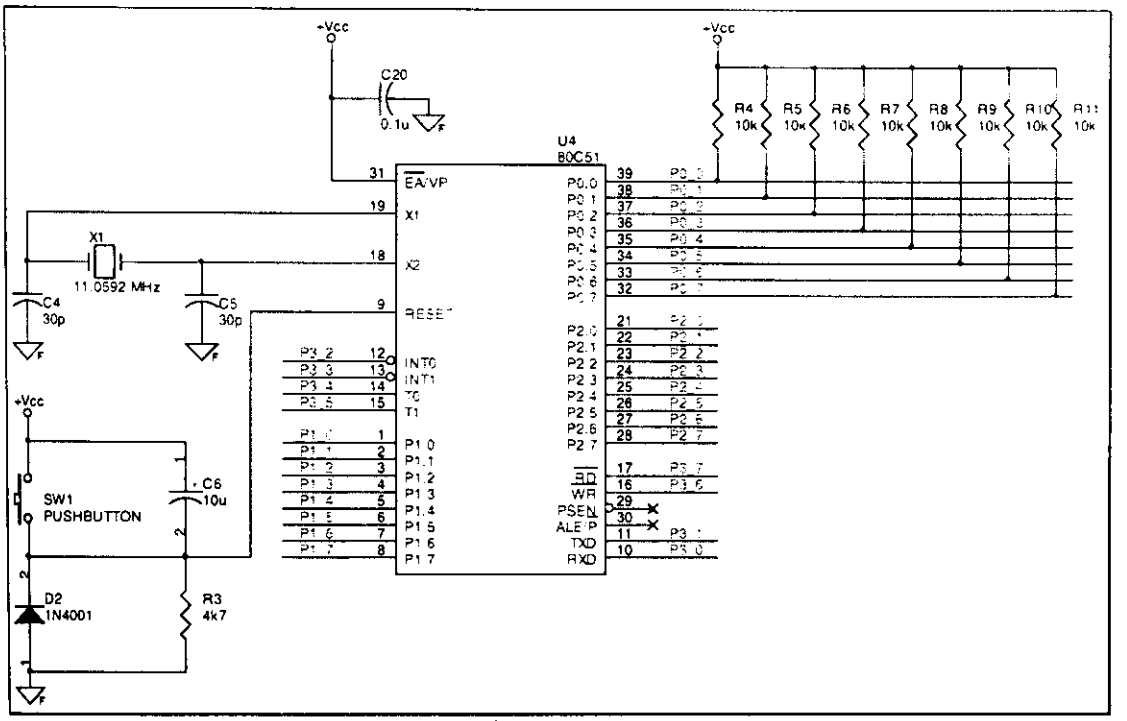
$$\text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา} = \frac{1}{1.1 * 12k * 100p}$$

$$= 757k \text{ เฮิรตซ์}$$

3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51RD2 โดยเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล 8051 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูล 256 ไบต์ และหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมอีก 64 กิโลไบต์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ควบคุมการทำงานของวงจรมัลติเพล็กและวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยเชื่อมต่อผ่านทางขา P1.0-P1.7, P3.3 และ P3.5
- ควบคุมการเก็บบันทึกข้อมูลค่าพีเอชที่วัดได้ไว้ในหน่วยความจำ โดยเชื่อมต่อกับหน่วยความจำผ่านขา P3.6 และ P3.7
- ควบคุมการทำงานของจอแสดงผล โดยเชื่อมต่อผ่านขา P2.0-P2.7 และ P0.5-P0.7
- ควบคุมการทำงานของคีย์บอร์ดผล โดยเชื่อมต่อผ่านขา P0.0-P0.4 และ P3.2
- ควบคุมการส่งข้อมูลให้เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ผ่านทางขา TxD และ RxD



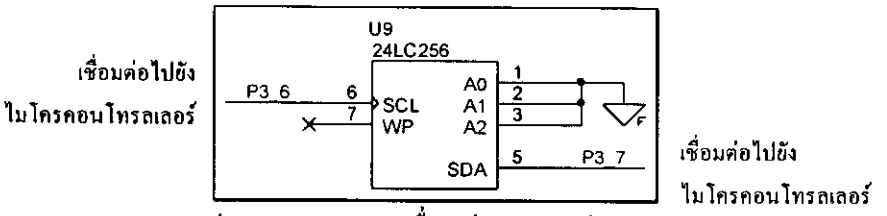
ภาพประกอบ 3-7 การเชื่อมต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 11.0592 เม็กกะเฮิรตซ์ ซึ่งใช้ Crystal X1, C4 และ C5 เป็นตัวสร้างความถี่ดังกล่าว

3.1.5 หน่วยความจำ (Memory)

ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลค่าพีเอชที่ได้จากการวัด เพื่อสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในภายหลังได้ ซึ่งหน่วยความจำที่ใช้จะเป็นแบบ 2 wire serial EEPROM เบอร์ 24C256 โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- แรงดันไฟเลี้ยงต่ำ (4.5 โวลท์ ถึง 5.5 โวลท์)
- มีความจุขนาด 32 กิโลไบต์
- มีการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 2 เส้น
- มี Schmitt trigger และวงจรกรองอินพุทเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน
- การขนถ่ายข้อมูล 2 ทิศทาง
- มีขาป้องกันการเขียนข้อมูล
- สามารถเขียนข้อมูลได้ 100,000 ครั้ง
- สามารถเก็บข้อมูลได้นานถึง 40 ปี



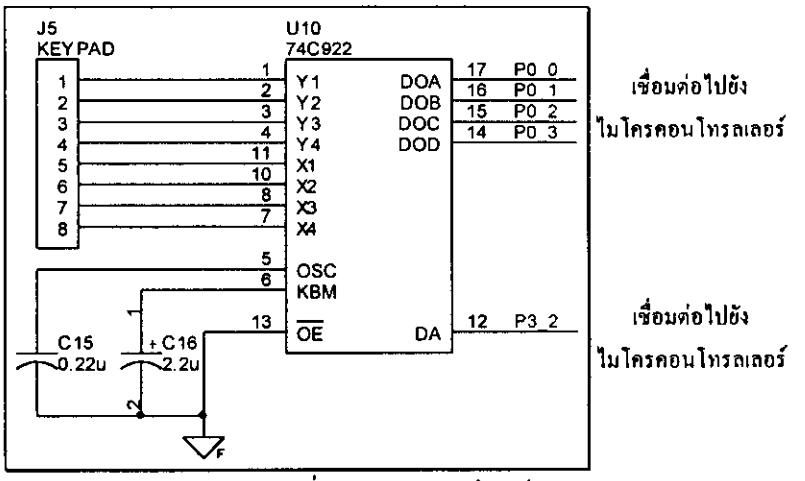
ภาพประกอบ 3-8 การเชื่อมต่อวงจรหน่วยความจำ

หน่วยความจำเบอร์ 24C256 นี้จะสามารถเชื่อมต่อกันโดยใช้สายสัญญาณร่วมกันได้สูงสุด 4 ตัว ซึ่งในการเชื่อมต่อลักษณะนี้ ต้องมีการกำหนดหมายเลขประจำตัวให้กับหน่วยความจำแต่ละตัว เพื่อใช้ในการอ้างถึงในการอ่านหรือเขียนข้อมูล การกำหนดหมายเลขประจำตัวนี้จะกำหนดผ่านทางขา A0 และขา A1 ส่วนขา A2 ยังไม่มีการการกำหนดการใช้งานจากผู้ผลิต

การทำงานของหน่วยความจำนี้คือ จะรับข้อมูลเข้าที่ขา SDA และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา SCL ซึ่งการป้อนสัญญาณทั้งสองนี้ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในคู่มือของหน่วยความจำเบอร์นี้ด้วย

3.1.6 คีย์บอร์ด (Keyboard)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ โดยให้ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลต่างๆให้กับเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช ซึ่งมีไอซีเบอร์ MM74C922 เป็นตัว Encoder โดยคีย์ที่ใช้งานมีทั้งหมด 10 คีย์ ได้แก่ คีย์สำหรับเลือกฟังก์ชันการทำงาน 3 คีย์ คีย์สำหรับเลือกเหตุการณ์ต่างๆของผู้ป่วยในขณะที่ทำการวัดจำนวน 6 คีย์ และคีย์สำหรับไฟให้ความสว่างอีก 1 คีย์



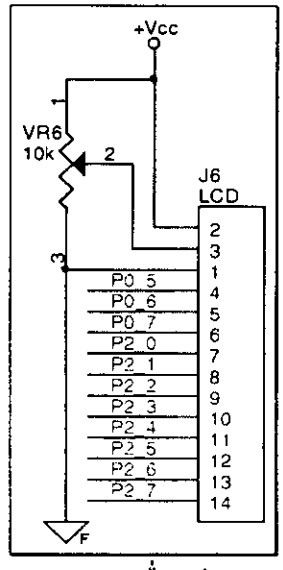
ภาพประกอบ 3-9 การเชื่อมต่อวงจรคีย์บอร์ด

การทำงานของไอซี MM74C922 นี้คือ ไอซีจะสแกนหาตำแหน่งการกดคีย์บอร์ดที่เชื่อมต่ออยู่ผ่านขา Y1, Y2, Y3, Y4, X1, X2, X3 และ X4 ซึ่งหากพบตำแหน่งที่คีย์บอร์ดถูกกด ไอซี

MM74C922 จะส่งข้อมูลตำแหน่งของคีย์ที่ถูกกดไปรอยังขา DOA-DOD ซึ่งจะเป็นข้อมูลขนาด 4 บิต และจะสร้างสัญญาณเพื่อบอกความพร้อมของข้อมูลที่ขา DA

3.1.7 จอแสดงผล (Display)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งานโดยการแสดงข้อความต่างๆ เช่น ข้อความเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง, เมนู หรือค่าพีเอชในขณะทำการวัด เป็นต้นโดยจอแสดงผลที่ใช้จะเป็น LCD Module 14 ขา รุ่น DMC164 แบบ Dot matrix สามารถแสดงตัวอักษรได้ 4 บรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร

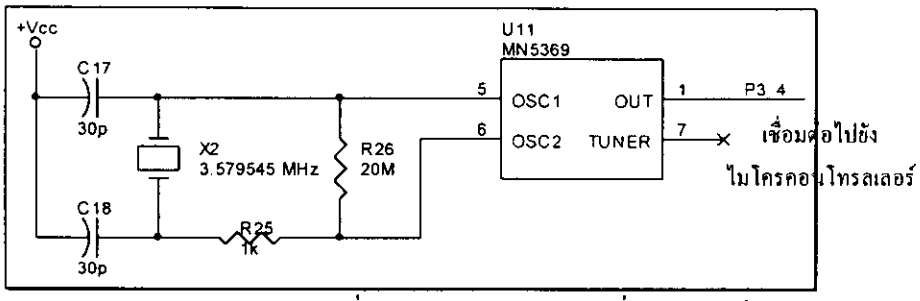


ภาพประกอบ 3-10 การเชื่อมต่อวงจรจอแสดงผล

การทำงานของวงจรจอแสดงผล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลตัวอักษรที่ต้องการแสดงผ่านทางขา 7-14 โดยข้อมูลที่ป้อนให้นั้นจะเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต ขา 4, 5 และ 6 จะเป็นขาควบคุมการทำงาน ส่วนขา 3 ซึ่งต่ออยู่กับ VR6 จะเป็นขาควบคุมความเข้มของหน้าจอแสดงผล สามารถปรับความเข้มได้โดยการปรับค่า VR6

3.1.8 วงจรสร้างความถี่ 60 เฮิรตซ์

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างความถี่ 60 เฮิรตซ์ เพื่อป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ความถี่นี้เป็นฐานความถี่ในการสร้างความถี่อื่นๆ วงจรในส่วนนี้จะใช้ไอซี MN5369, X2, R26, C17 และ C18 เป็นตัวสร้างความถี่ โดยจะสร้างความถี่ออกมาที่ขา OUT ซึ่งความถี่ที่ได้จากวงจรส่วนนี้จะมีเสถียรภาพสูงมาก

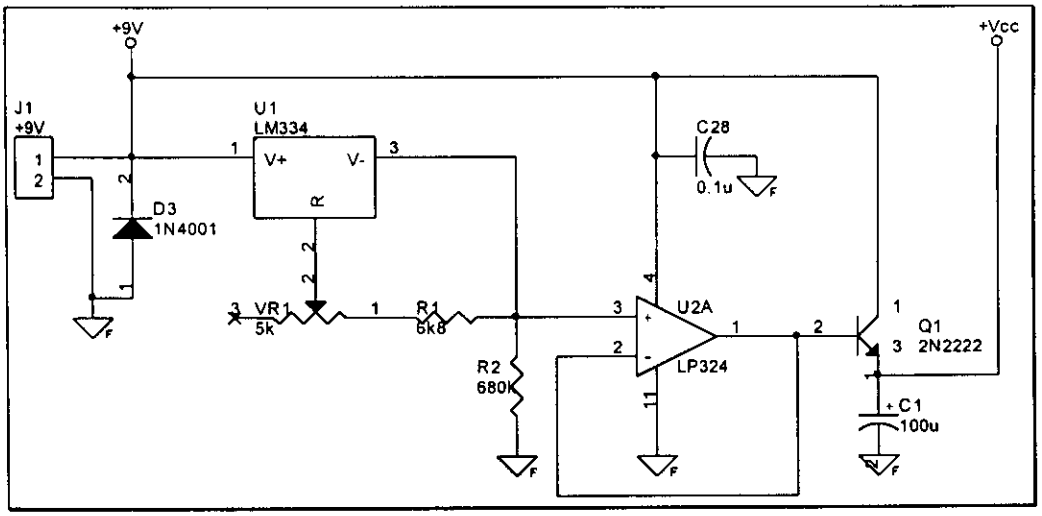


ภาพประกอบ 3-11 การเชื่อมต่อวงจรสร้างความถี่ 60 เฮิรตซ์

สัญญาณความถี่ที่ได้นี้ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านขา T0 ซึ่งเป็นขาอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0 โดยไทม์เมอร์ 0 จะนำสัญญาณความถี่นี้ไปสร้างสัญญาณความถี่ 1 เฮิรตซ์ เพื่อนำไปใช้ในการจับเวลาในส่วนต่างๆของโปรแกรม

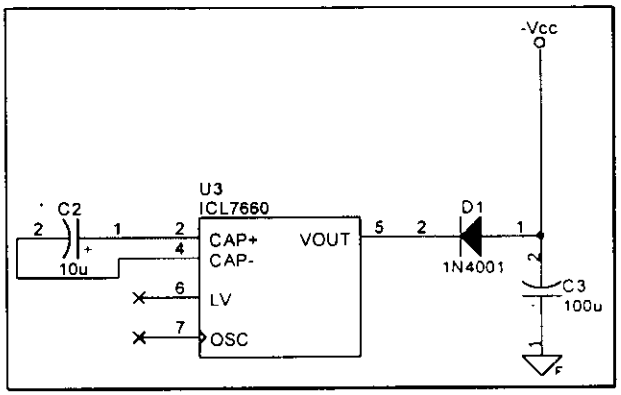
3.1.9 วงจรจ่ายแรงดัน (Power supply)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน ±5 โวลท์ แก่วงจรส่วนต่างๆทั้งหมด ซึ่งรายละเอียดของวงจรดังแสดงในภาพประกอบ 3-12 สำหรับวงจรจ่ายแรงดัน +5 โวลท์ และภาพประกอบ 3-13 สำหรับวงจรจ่ายแรงดัน –5 โวลท์



ภาพประกอบ 3-12 วงจรจ่ายแรงดัน +5 โวลท์

วงจรส่วนนี้จะใช้ไอซี LM334 ซึ่งกินกระแสน้อย และไอซี LP324 เป็นตัวสร้างแรงดัน +5 โวลท์ โดยแรงดันที่ได้จากส่วนนี้สามารถปรับค่าได้โดยการปรับค่าของ VR1



ภาพประกอบ 3-13 วงจรจ่ายแรงดัน –5 โวลท์

วงจรส่วนนี้จะใช้ไอซี ICL7660 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับสร้างแรงดันลบเป็นตัวสร้างแรงดัน –5 โวลท์ ซึ่งแรงดันในส่วนนี้จะมีค่าคงที่ไม่สามารถปรับค่าได้

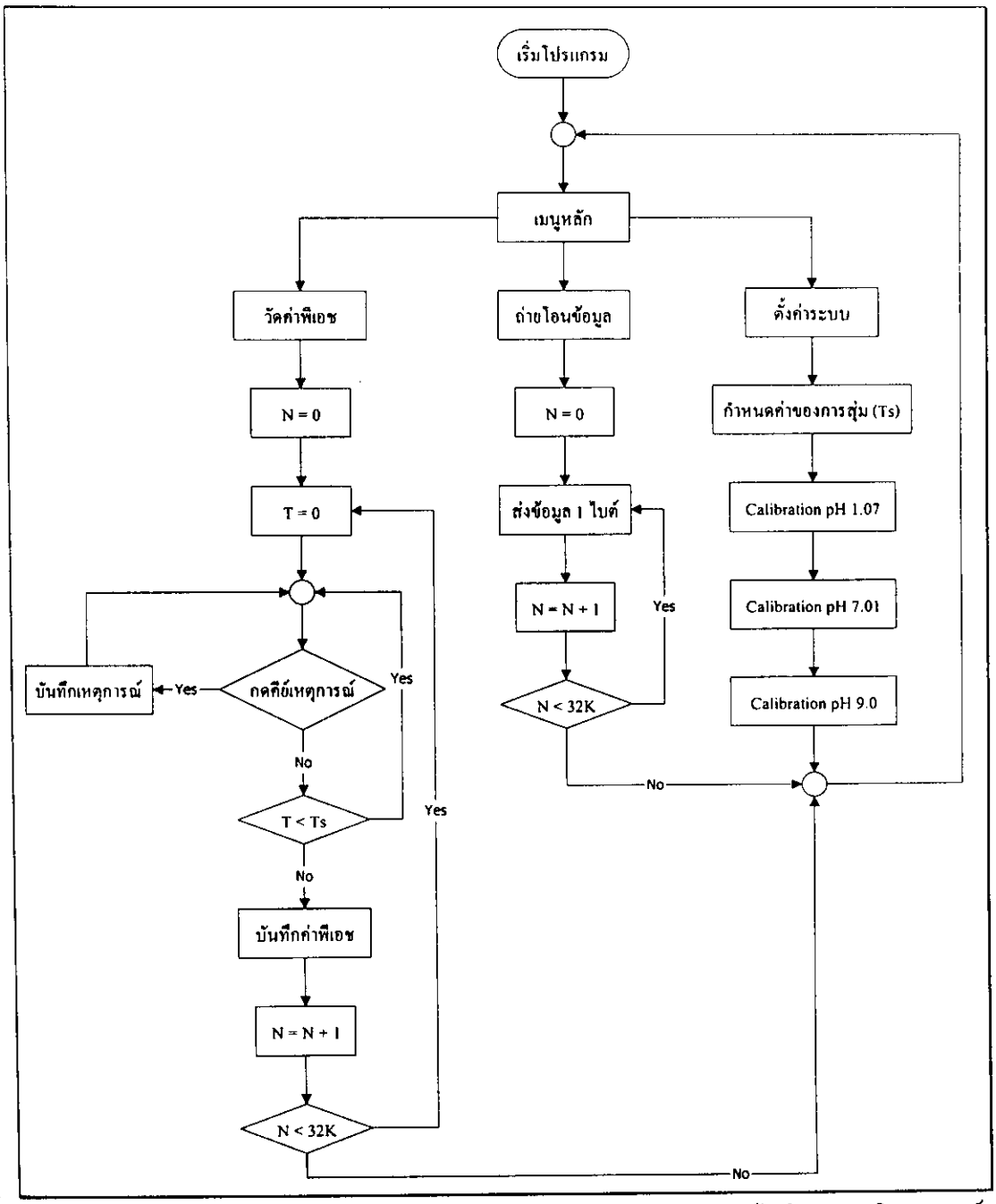
จากวงจรที่กล่าวมาทั้งหมด สัญลักษณ์ $+V_{cc}$ และ $-V_{cc}$ ที่ปรากฏอยู่ในส่วนต่างๆจะหมายถึงแรงดันไฟ +5V และ -5V ตามลำดับ

3.2 การออกแบบลายวงจร

จากวงจรทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้ทำการออกแบบลายวงจรโดยใช้โปรแกรม OrCAD เวอร์ชั่น 9.0 หลังจากนั้นได้ส่งไฟล์ที่ได้ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วให้บริษัทรับทำแผ่นลายวงจรเป็นผู้จัดทำ ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นลายวงจรที่ได้ออกแบบมีขนาดเล็ก จึงทำให้ลายวงจรมีขนาดเล็กตามไปด้วย ซึ่งไม่สามารถทำแผ่นลายวงจรขึ้นเองได้ (วงจรและลายวงจรดังแสดงในภาคผนวก ค)

3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช

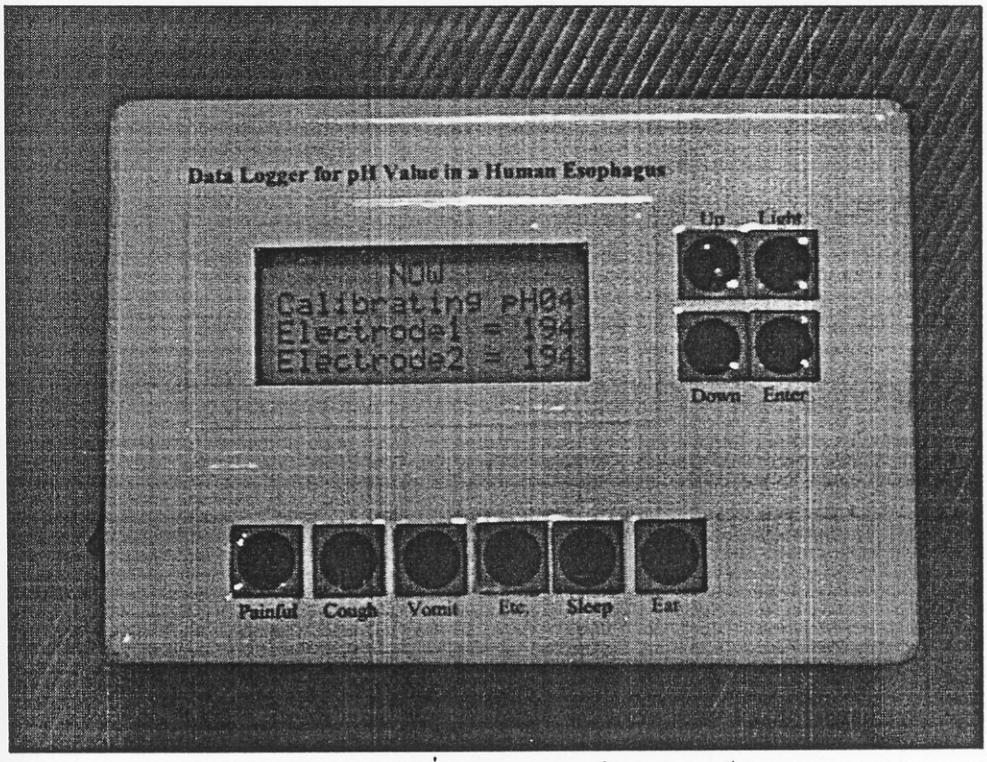
ในการควบคุมให้เครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชสามารถทำงานได้ตามต้องการนั้น ต้องมีการออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน ซึ่งภาษาที่นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมในส่วนนี้นั้น ได้เลือกใช้ภาษาซี เนื่องจากเป็นภาษาที่ใกล้เคียงกับภาษาแอสเซมบลี ซึ่งจะสามารถเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานในส่วนฮาร์ดแวร์ได้ง่ายกว่าภาษาอื่น โดยโปรแกรมที่ออกแบบมีโฟลชาร์ตการทำงานดังภาพประกอบ 3-14



ภาพประกอบ 3-14 โฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อเขียนโปรแกรมในส่วนการควบคุมการทำงานเสร็จ ก็นำโปรแกรมที่ได้มาคอมไพล์ (Compile) ซึ่งโปรแกรมที่นำมาใช้ในการคอมไพล์คือ AVC51 เวอร์ชัน 1.216 ของบริษัท Avocet Systems, Inc. & Gretetoy Pty. Ltd. หากคอมไพล์สำเร็จโดยไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ ก็จะได้ไฟล์ที่ผ่านการคอมไพล์ในรูปแบบของ Intel HEX File โดยไฟล์นี้จะสามารถนำไปบันทึกลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามโปรแกรมที่เขียนขึ้น

3.4 การทำงานของเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช



ภาพประกอบ 3-15 เครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชต้นแบบ

ภาพประกอบ 3-15 แสดงต้นแบบของเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจากการทดสอบการทำงานโดยการจ่ายแรงดัน 9 โวลท์ให้กับเครื่องต้นแบบและทำการวัดกระแส พบว่ากินกระแสประมาณ 25 มิลลิแอมป์

การทำงานของเครื่องต้นแบบ เมื่อผู้ใช้กดสวิตช์เปิดเครื่องจะปรากฏเมนูบนหน้าจอแสดงผลให้ผู้ใช้เลือกฟังก์ชันการทำงาน ผู้ใช้สามารถเลือกฟังก์ชันการทำงานโดยกดคีย์ Up หรือ Down โดยให้ลูกศรชี้ไปที่ฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ แล้วกดคีย์ Enter เครื่องจะเข้าสู่ฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ โดยฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมีดังต่อไปนี้

- Measure pH ฟังก์ชันการทำงานในส่วนนี้จะเป็นการวัดค่าพีเอช ซึ่งก่อนที่จะเข้าสู่การทำงานในฟังก์ชันนี้ ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้ตัวเครื่องก่อน การทำงานในฟังก์ชันนี้เครื่องจะทำการวัดและบันทึกค่าพีเอชตามอัตราการสุ่มที่ได้ตั้งไว้ จนกระทั่งผู้ใช้กดสวิตช์ปิดเครื่องหรือหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลเต็ม โดยในระหว่างการวัดและบันทึกนั้น หากผู้ป่วยมีอาการเจ็บ, ไอ, อาเจียน, นอน, รับประทานอาหาร หรือเกิดเหตุการณ์อื่นๆ ผู้ป่วยต้องกดคีย์เหตุการณ์ที่ตัวเครื่องให้สัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะอาการเหล่านี้จะถูกเก็บรวมไปกับค่าพีเอชด้วย

- Upload ฟังก์ชันการทำงานในส่วนนี้จะเป็นการส่งข้อมูลการวัดที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำของตัวเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 ด้วยความเร็ว 19200 บิต/วินาที

- Setup ฟังก์ชันการทำงานในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆให้กับตัวเครื่อง เมื่อเข้าสู่การทำงานในฟังก์ชันนี้ เครื่องจะให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลอัตราการสุ่ม (หน่วยเป็นวินาที) ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนอัตราการสุ่มได้ด้วยการกดคีย์ Up หรือ Down และกดคีย์ Enter เพื่อเลือกค่าอัตราสุ่มที่ต้องการ หลังจากนั้นเครื่องจะให้ผู้ใช้ทำการปรับแต่ง (Calibration) ค่าพีเอช โดยจะเริ่มจาก พีเอช 1.07, 7.01 และ 9.00 ตามลำดับ

ข้อมูลค่าพีเอชที่ได้จากการวัดรวมไปถึงเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง ซึ่งข้อมูลนี้จะไม่มีการสูญหาย จนกระทั่งมีการวัดและบันทึกค่าพีเอชในครั้งถัดไป โดยข้อมูลที่จัดเก็บในหน่วยความจำจะมีรูปแบบดังตาราง 3-2

ตาราง 3-2 รูปแบบของข้อมูลการวัดที่อยู่ในหน่วยความจำ

ตำแหน่ง	อิเลคโทรด 1	อิเลคโทรด 2	เหตุการณ์
0000	032	032	
0003	032	032	
...	...	...	...
0030	115	115	
0033	115	115	
...	...	...	...
0060	156	156	
0063	156	156	
...	...	...	...
0090	115	115	001
0093	115	115	001
0096	115	115	005
0099	116	116	001
0102	116	116	001
...	...	...	...

จากข้อมูลตัวอย่าง ข้อมูล 10 ชุดแรก (ตำแหน่งที่ 0000 ถึง 0029) จะเป็นข้อมูลการปรับแต่งเครื่องกับสารละลายพีเอช 1.07 ข้อมูล 10 ชุดถัดมา (ตำแหน่งที่ 0030 ถึง 0059) จะเป็นข้อมูลการปรับแต่งเครื่องกับสารละลายพีเอช 7.01 และข้อมูล 10 ชุดถัดมา (ตำแหน่งที่ 0060 ถึง 0089) จะเป็นข้อมูลการปรับแต่งเครื่องกับสารละลายพีเอช 9.00 ส่วนข้อมูลหลังจากตำแหน่งนี้ (ตำแหน่งที่ 0090 เป็นต้นไป) จะเป็นส่วนของข้อมูลค่าพีเอชที่ได้การวัดรวมถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการวัด โดยเก็บบันทึกตามช่วงเวลาการสุ่มที่ตั้งไว้

ข้อมูลที่เก็บในแต่ละครั้งของการสุ่มจะแบ่งออกเป็น 3 ชุดคือ ข้อมูลค่าพีเอชของอิเลคโทรด 1 ข้อมูลค่าพีเอชของอิเลคโทรด 2 และข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยที่ข้อมูลค่าพีเอชของอิเลคโทรด 1 และ 2 นั้นจะเก็บในลักษณะของข้อมูลของระดับแรงดันที่วัดได้ ซึ่งหากต้องการทราบค่าพีเอชจริงนั้น ต้องนำค่านี้ไปแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับแรงดันและค่าพีเอช ซึ่งหาได้จากข้อมูลการปรับแต่งในสารละลายพีเอชทั้งสามค่า ดังนี้

- หาค่าเฉลี่ยระดับแรงดันของพีเอชที่ใช้ในการปรับแต่งทั้ง 3 ค่าของแต่ละอิเลคโทรด

$$\text{Average1} = \frac{(\text{Data10} + \text{Data11} + \text{Data12} + ... + \text{Data19})}{10}$$

$$\text{Average7} = \frac{(\text{Data70} + \text{Data71} + \text{Data72} + ... + \text{Data79})}{10}$$

$$\text{Average9} = \frac{(\text{Data90} + \text{Data91} + \text{Data92} + ... + \text{Data99})}{10}$$

โดยที่ Data10 ถึง Data19 คือระดับแรงดันที่ได้จากการปรับแต่งเครื่องกับพีเอช 1.07

โดยที่ Data70 ถึง Data79 คือระดับแรงดันที่ได้จากการปรับแต่งเครื่องกับพีเอช 7.01

โดยที่ Data90 ถึง Data99 คือระดับแรงดันที่ได้จากการปรับแต่งเครื่องกับพีเอช 9.00

- หาสมการความสัมพันธ์ของช่วงพีเอชที่เป็นกรดของแต่ละอิเลคโทรดโดยใช้ข้อมูลการปรับแต่งพีเอช 1.07 และ 7.01

$$\text{SlopeA} = \frac{7.01 - 1.07}{\text{Average7} - \text{Average1}}$$

$$\text{OffestA} = 7.01 - (\text{Average7} * \text{SlopeA})$$

$$\text{pH} = (\text{DataA} * \text{SlopeA}) + \text{OffsetA}$$

โดยที่ DataA คือระดับแรงดันที่ได้จากการวัดค่าพีเอชในช่วงกรด

- และหาสมการความสัมพันธ์ของช่วงพีเอชที่เป็นด่างของแต่ละอิเลคโทรดโดยใช้ข้อมูลการปรับแต่งพีเอช 7.01 และ 9.00

$$SlopeB = \frac{9.00 - 7.01}{Average9 - Average7}$$

$$OffestB = 7.01 - (Average7 * SlopeB)$$

$$pH = (DataB * SlopeB) + OffsetB$$

โดยที่ DataB คือระดับแรงดันที่ได้จากการวัดค่าพีเอชในช่วงด่าง

ส่วนข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะเก็บในลักษณะของบิตข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละบิตดังตาราง 3-3 ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเหตุการณ์มีค่า 40 สามารถแปลความหมายได้โดยการแปลงค่าดังกล่าวไปเป็นข้อมูลเลขฐานสอง

40 (เลขฐานสิบ) = 28 (เลขฐานสิบหก) = 00101000 (เลขฐานสอง)

ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลดังกล่าวมีค่าเป็นหนึ่งในตำแหน่งบิตที่ 3 และ 5 (เริ่มนับจากตำแหน่งด้านขวาสุดเป็นบิต 0) ดังนั้นจึงแปลความหมายได้ว่า ช่วงเวลาดังกล่าวได้เกิดเหตุการณ์อาเจียนและเจ็บขึ้น

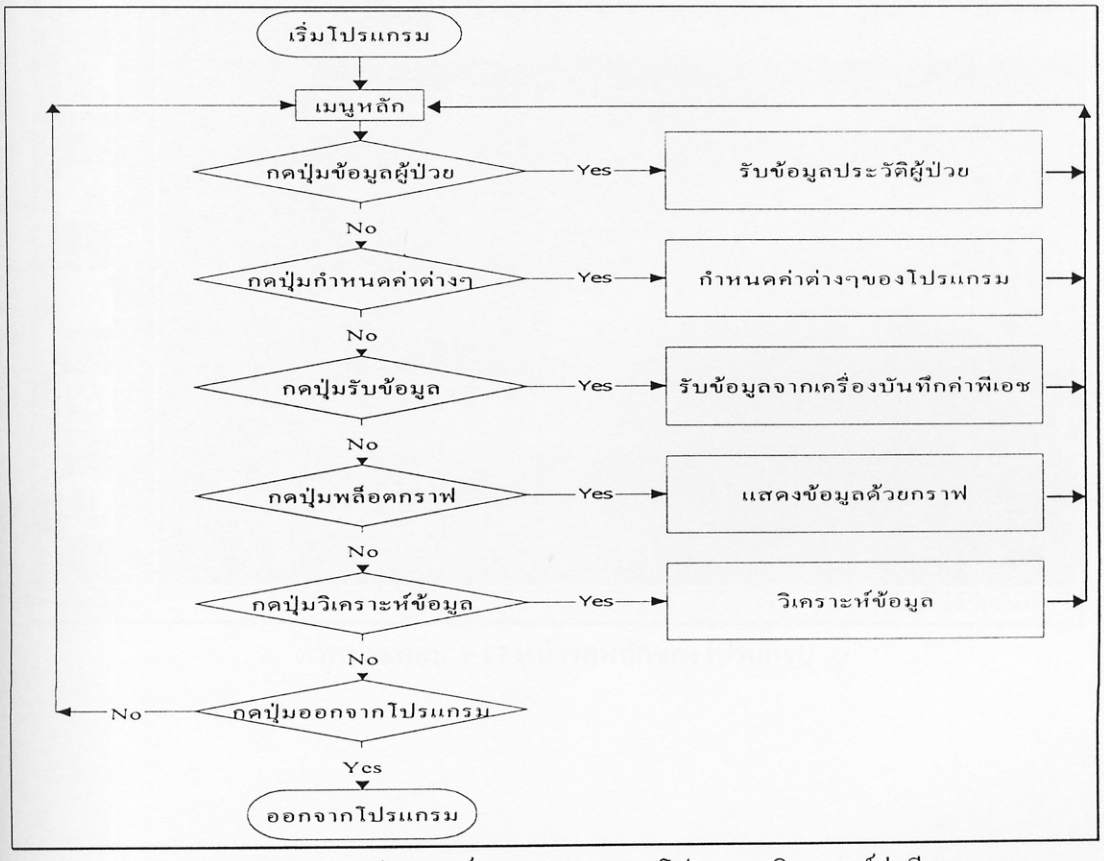
ตาราง 3-3 ความหมายในแต่ละบิตของข้อมูลเหตุการณ์

บิต	ความหมาย
0	เริ่ม/สิ้นสุดการรับประทานอาหาร
1	เริ่ม/สิ้นสุดการนอน
2	เกิดอาการอื่นๆ
3	เกิดอาการอาเจียน
4	เกิดอาการไอ
5	เกิดอาการเจ็บ
6	ไม่ได้ใช้งาน
7	ไม่ได้ใช้งาน

3.5 การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอช

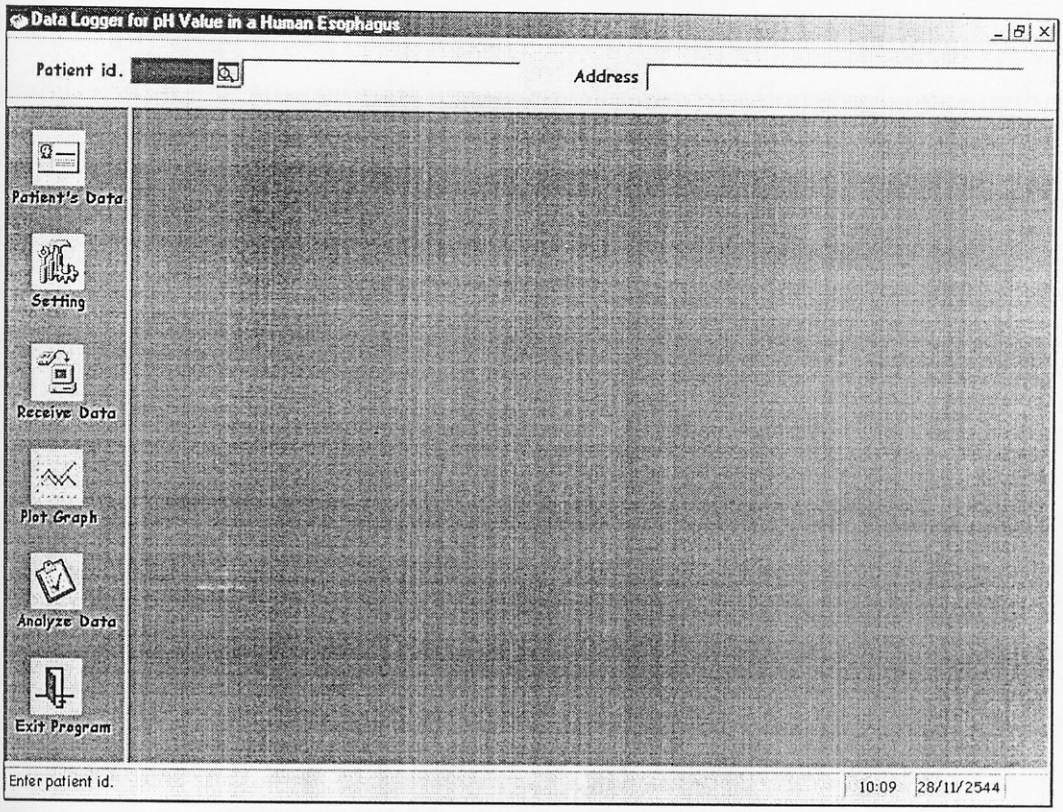
หลังทำการวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ แต่ในเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชจะไม่สามารถทำงานในส่วนนี้ได้ จึงจำเป็นต้องนำข้อมูลนี้ส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งโปรแกรมที่จะทำหน้าที่ในส่วนนี้ก็คือโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอช โดยโปรแกรมนี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลมาจากตัวเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอช และ

วิเคราะห์ผล หาพารามิเตอร์ต่างๆตามที่แพทย์ต้องการและแสดงผลการวิเคราะห์ เพื่อให้แพทย์วินิจฉัยโรคได้ง่ายขึ้น ซึ่งมีโฟลชาร์ตการทำงานดังภาพประกอบ 3-16



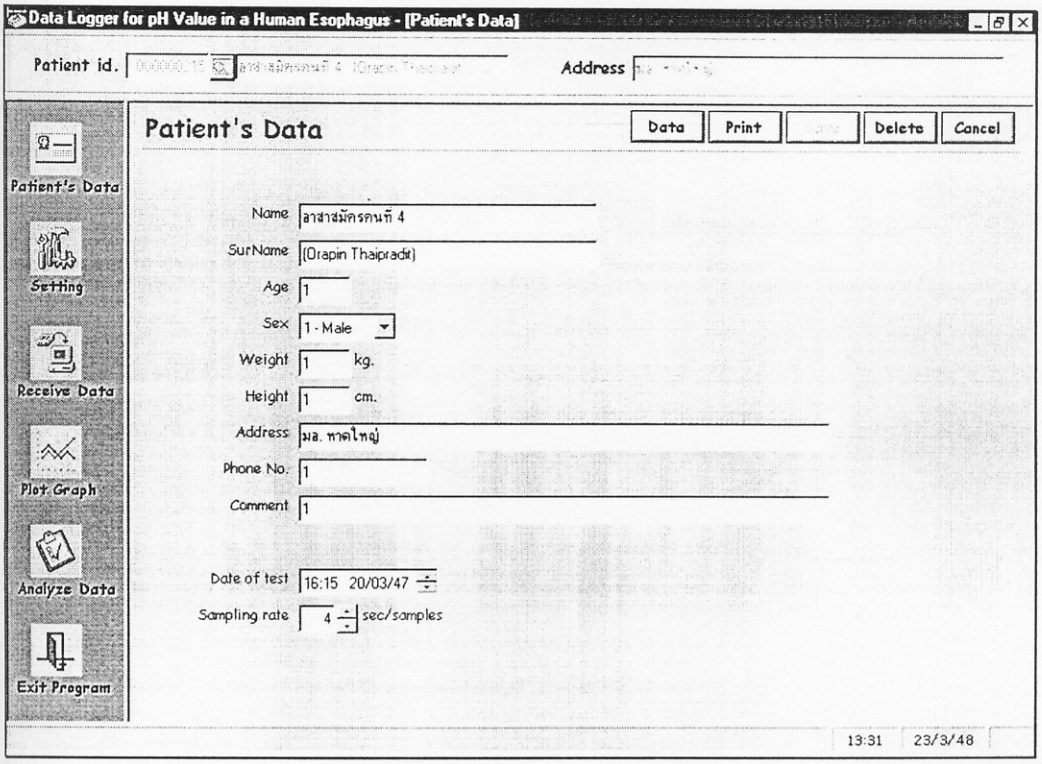
ภาพประกอบ 3-16 โฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพีเอช

โปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน จึงจำเป็นต้องออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงได้เลือกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา Visual Basic เวอร์ชั่น 6.0 โดยโปรแกรมที่ได้ออกแบบมีหน้าจอและรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้



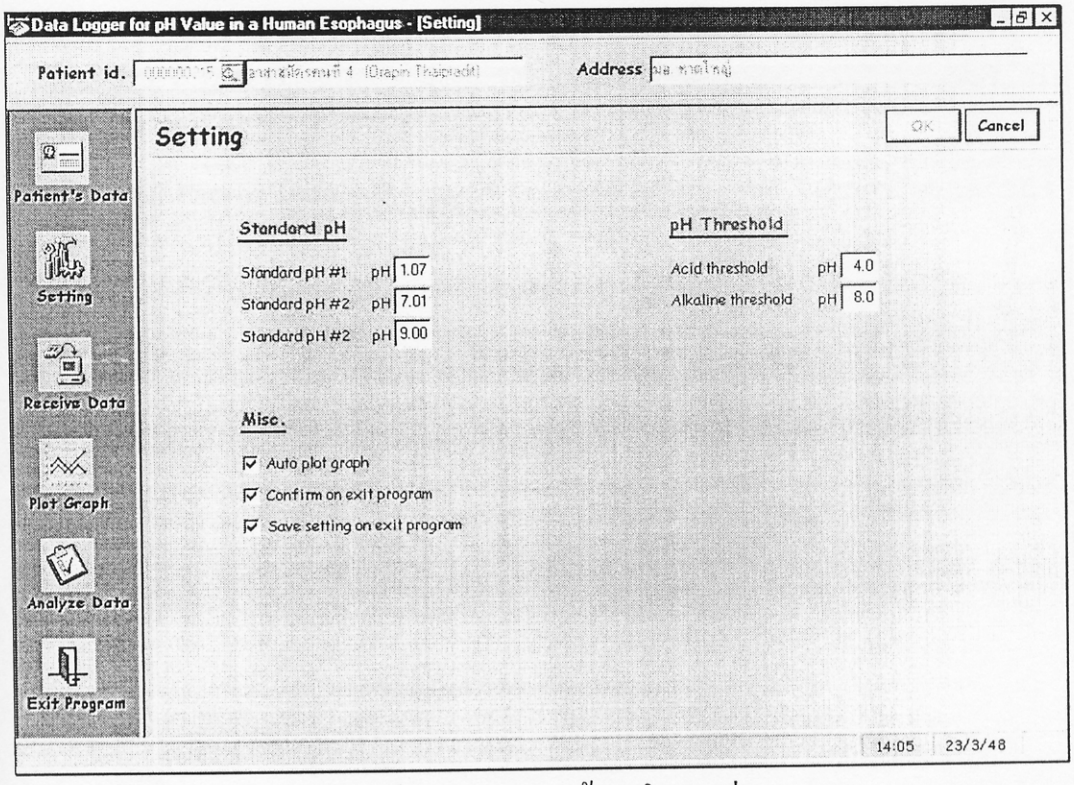
ภาพประกอบ 3-17 หน้าจอหลักของโปรแกรม

3.5.1 หน้าจอข้อมูลผู้ป่วย เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลประวัติของผู้ป่วย เช่น ชื่อ, นามสกุล, น้ำหนัก และส่วนสูง เป็นต้น ตลอดจนเวลาที่เริ่มทำการบันทึกและความถี่ของการบันทึก เพื่อนำข้อมูลนี้ไปประกอบการวินิจฉัยของแพทย์



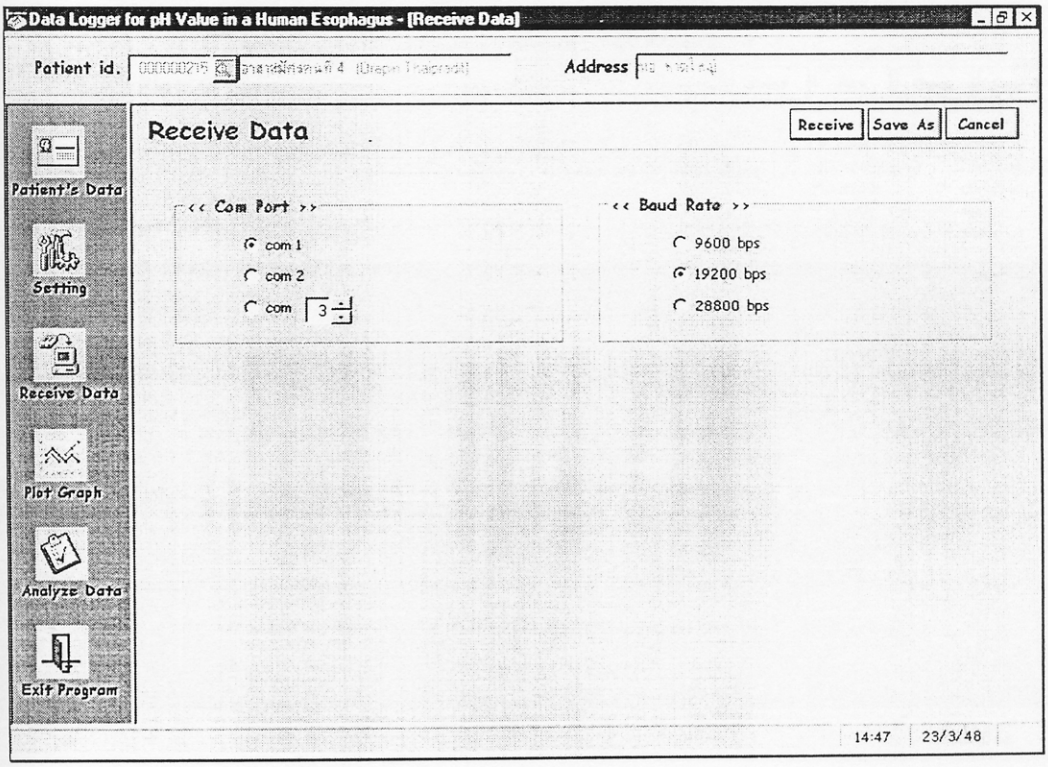
ภาพประกอบ 3-18 หน้าจอข้อมูลผู้ป่วย

3.5.2 หน้าจอกำหนดค่าต่างๆ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆให้กับตัวโปรแกรม ซึ่งได้แก่ ระดับค่าพีเอชมาตรฐานที่ใช้ในการปรับแต่งทั้ง 3 ค่า, ระดับค่าพีเอชที่ใช้อ้างอิงเพื่อตรวจจับการเกิดรีฟลักซ์ทั้งในส่วนกรดและด่าง และการกำหนดค่าอื่นๆ



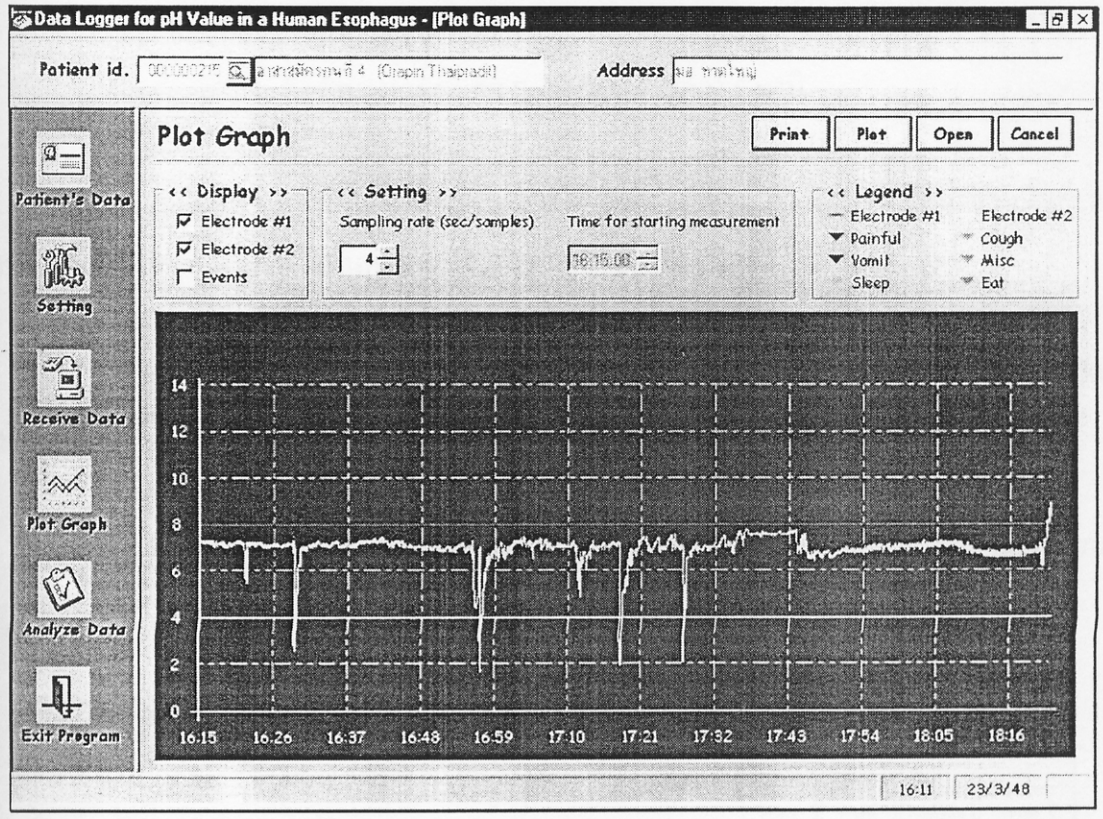
ภาพประกอบ 3-19 หน้าจอกำหนดค่า

3.5.3 หน้าจอรับข้อมูล เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับข้อมูลจากหน่วยความจำของเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชมาเก็บยังหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลนี้มาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยในส่วนนี้ผู้ใช้ต้องกำหนดหมายเลขพอร์ตและความเร็วที่ใช้รับส่งข้อมูลให้ตรงกับการกำหนดในส่วนของตัวเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชด้วย



ภาพประกอบ 3-20 หน้าจอรับข้อมูล

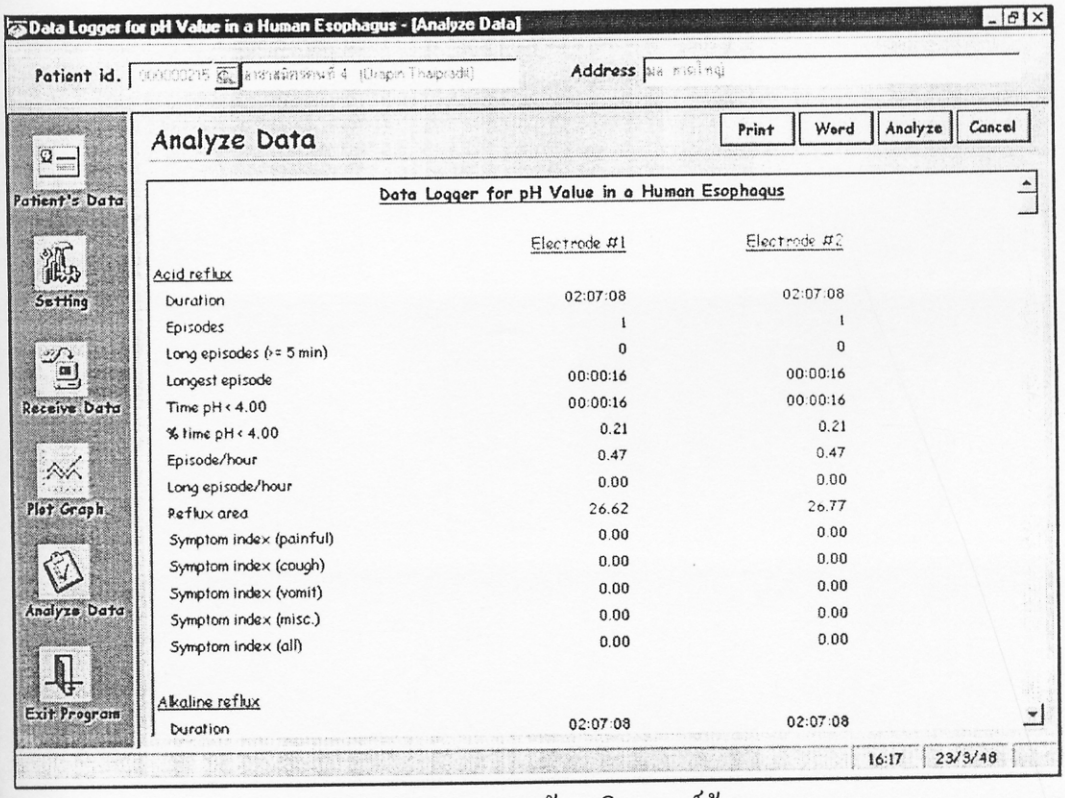
3.5.4 หน้าจอแสดงข้อมูลด้วยกราฟ เป็นส่วนใช้สำหรับแสดงข้อมูลที่รับมาจากเครื่องวัดและบันทึกค่าพีเอชในรูปแบบของกราฟ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกแสดงข้อมูลของแต่ละอิเลคโทรดหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการวัดได้



ภาพประกอบ 3-21 หน้าจอพล็อตกราฟ

3.5.5 หน้าจอวิเคราะห์ข้อมูล เป็นส่วนที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลการวิเคราะห์ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์มีดังนี้

- Reflux คือ การเกิดค่าพีเอชมีค่าต่ำกว่าระดับค่าพีเอชอ้างอิง(พีเอช 4) ในกรณีที่เป็นกรด หรือการเกิดค่าพีเอชสูงกว่าระดับพีเอชอ้างอิง(พีเอช 8)ในกรณีของด่าง นานอย่างน้อย 15 วินาที
- Episode คือจำนวนครั้งที่เกิด Reflux
- Long episode คือจำนวนครั้งที่เกิด Episode ที่นานกว่า 5 นาที
- Longest episode คือ ระยะเวลาที่เกิด Episode นานที่สุด
- %Time pH < 4 หรือ > 8 คือเวลารวมทั้งหมดที่ค่าพีเอชต่ำกว่าพีเอช 4 ในกรณีที่เป็นกรด หรือสูงกว่าพีเอช 8 ในกรณีที่เป็นด่างต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการวัด
- Episode/hour คือ จำนวนครั้งการเกิด Episode ทั้งหมดต่อเวลาที่ใช้ในการวัดทั้งหมด
- Long episode/hour คือ จำนวนครั้งการเกิด Long episode ทั้งหมดต่อเวลาที่ใช้ในการวัดทั้งหมด
- Reflux area คือ พื้นที่ทั้งหมดของการเกิด Reflux
- Symptom index คือ จำนวนครั้งของการเกิดเหตุการณ์ในขณะที่เกิด Reflux ต่อจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์นั้นทั้งหมด

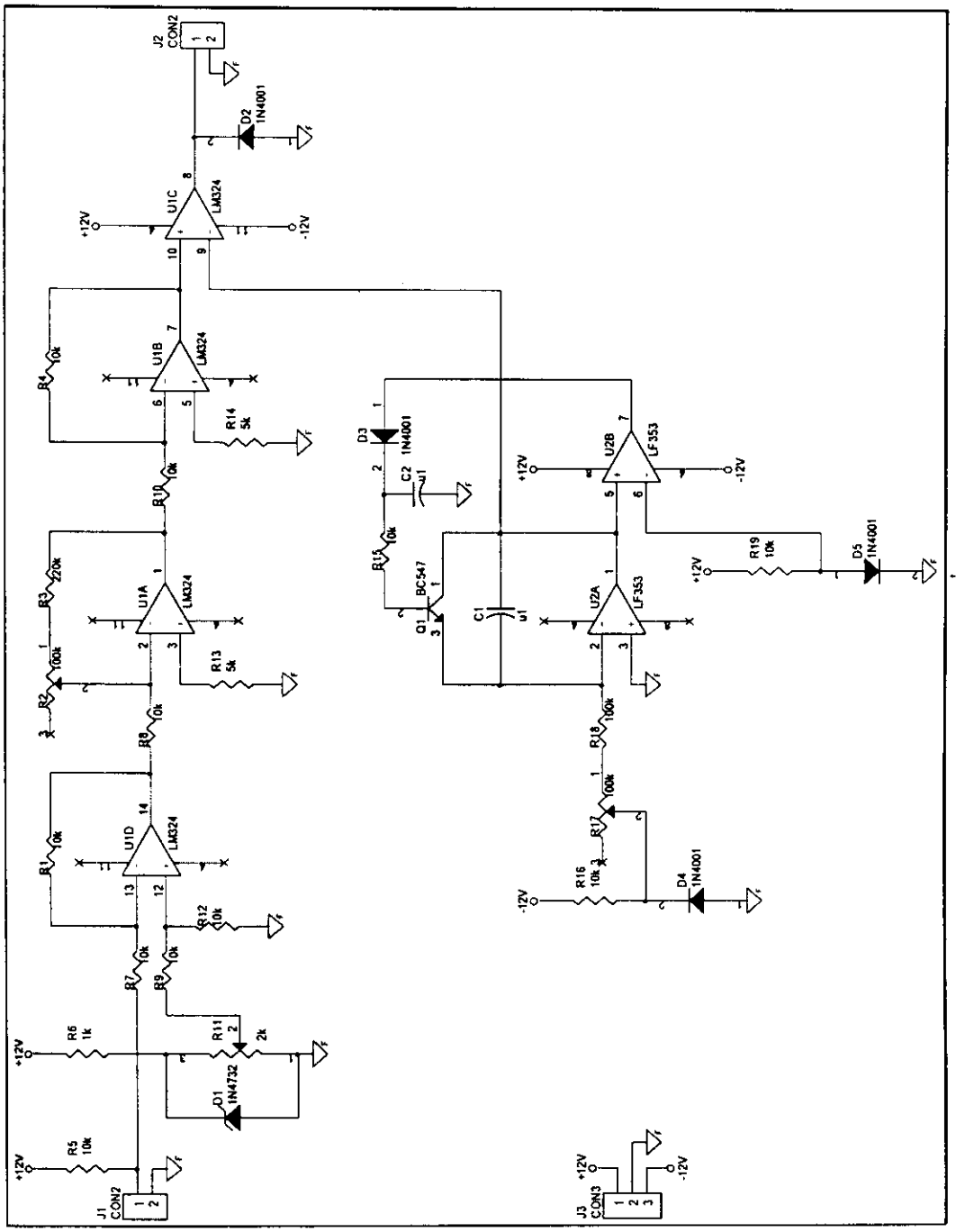


ภาพประกอบ 3-22 หน้าจอวิเคราะห์ข้อมูล

3.6 การออกแบบเครื่องอุ่นสารละลายบัฟเฟอร์

เนื่องจากค่าพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวัด จึงได้พัฒนาเครื่องอุ่นสารละลายบัฟเฟอร์ขึ้น นำมาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของสารละลายบัฟเฟอร์ให้คงที่ที่ 37 องศาเซลเซียสในขณะการปรับแต่ง (Calibrate) เพื่อให้เท่ากับอุณหภูมิของร่างกาย โดยวงจรที่ได้ออกแบบขึ้นแสดงในภาพประกอบ 3-23

วงจรในส่วนนี้จะเป็นวงจรควบคุมอุณหภูมิแบบ Proportional โดยมี U1D ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณความผิดพลาด ในขณะที่ U1A ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบ Proportional ส่วน U2A และ U2B ทำหน้าที่สร้างสัญญาณฟันเลื่อยเพื่อเป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟให้กับตัวขดลวดความร้อน ซึ่งต่อเข้ากับหัวต่อ J2 จากการทดสอบพบว่าวงจรสามารถควบคุมอุณหภูมิของสารละลายบัฟเฟอร์ให้มีค่า 37 ± 1 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 3-23 วงจรเครื่องควบคุมอุณหภูมิ