

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การพัฒนาระบบ

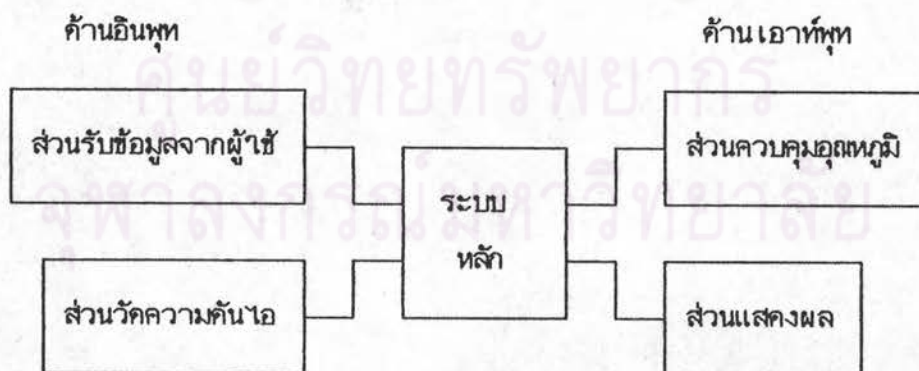
1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขต

เครื่องมือที่จะสร้าง เป็นเครื่องมือวัดค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของอาหาร ที่มีสมบัติ ดังนี้

1. แสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขแบบดิจิทัล
2. สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ทำการวัดได้โดยผู้ใช้
3. การวัดค่าวอเตอร์แอคทีวิตีใช้วิธีวัดค่าความดันไอในอาหารและ

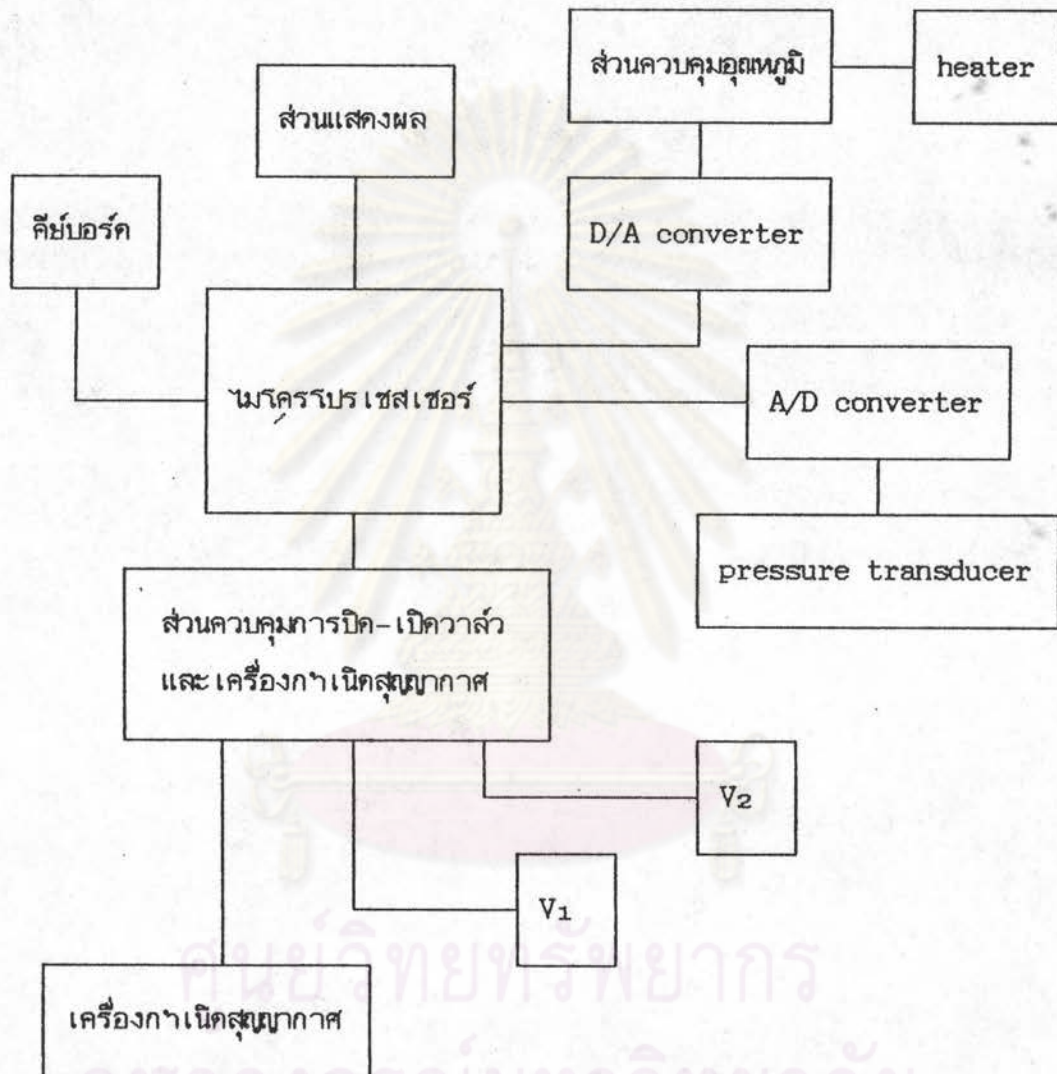
คำนวณค่าวอเตอร์แอคทีวิตีจากข้อมูลความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการวัด

ดังนั้นจากความต้องการของระบบสามารถกำหนดลักษณะ และจำนวนของอินพุต และเอาต์พุตได้ดังแผนภูมิได้ดังรูปที่ 4.1 การรับข้อมูลจากผู้ใช้จะกระทำผ่านทางแปงคีย์(key board) ซึ่งมีความต้องการเพียงการป้อนค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการวัด และการรีเซ็ต(reset) เครื่อง การวัดค่าความดันไอของอาหารใช้อุปกรณ์ประเภทนาอิมิเตอร์แสดงผลที่ได้ทางแปงแสดงผล(display)การควบคุมอุณหภูมิใช้อิเล็กทรอนิกส์เทอร์มิสตัท



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความต้องการของระบบ

จากความต้องการของระบบและอุปกรณ์ต่างๆที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้สามารถออกแบบเครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตีได้ดังแผนภูมิที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตีแบบตัวเลข ควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

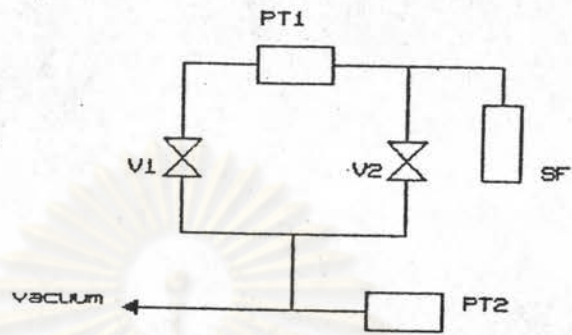
2. ออกแบบลักษณะการใช้งานทั่วไปของระบบ

การทำงานของเครื่องสามารถอธิบายได้จากแผนภูมิในรูปที่ 4.2 เมื่อเปิดสวิตช์ไฟหรือกดคีย์รีเซ็ต เครื่องจะรอให้ผู้ใช้นับอุณหภูมิที่ต้องการเป็นเลขจำนวนเต็ม 2 หลักทางแผงคีย์เริ่มจากหลักขวาสุดแล้วเลื่อนไปทางซ้าย และจะรอการกดคีย์ครั้งที่ 3 หากการกดคีย์ครั้งที่ 3 นี้เป็นคีย์เอ็นเทอร์(enter) เครื่องจะรับข้อมูลเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ แต่ถ้าเป็นคีย์ตัวเลข เครื่องจะนำมาวางไว้ทางหลักขวาสุดแล้วรอการกดคีย์ครั้งที่ 2 เพื่อเป็นค่าอุณหภูมิ การกดคีย์บ่อนข้อมูลจำนวนครบ 2 หลักแล้วกดคีย์เอ็นเทอร์ เครื่องจะส่งสัญญาณเสียงเตือนและแสดงข้อความ Err ทางแผงแสดงผลอยู่ชั่วระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจะรอให้ผู้ใช้นับอุณหภูมิทั้งหมดทั้ง 2 หลัก ข้อมูลที่เป็นค่าของอุณหภูมิจะถูกกำหนดไว้ในช่วง 30 ถึง 45°C ถ้าบ่อนค่าอุณหภูมิน้อยกว่า หรือมากกว่า เครื่องจะกระทำเช่นเดียวกันกับการบ่อนข้อมูลจำนวนครบทั้ง 2 หลักแล้วจึงนำบ่อนค่าอุณหภูมิใหม่ เมื่อผ่านขั้นตอนที่ค้องบ่อนค่าอุณหภูมิแล้ว จากนั้นเครื่องจะเปิดวาล์ว V_1 และ V_2 แล้วจึงเปิดเครื่องกำเนิดสุญญากาศ(vacuum pump) เพื่อลดความดันในระบบให้อยู่ในช่วงที่อุปกรณ์วัดความดันจะให้ค่าที่เที่ยงตรงซึ่งจะใช้เวลาช่วงหนึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของระบบท่อของมานอมิเตอร์ สมบัติของอุปกรณ์วัดความดัน และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดสุญญากาศ ความดันสุญญากาศจะถูกตรวจสอบโดยอุปกรณ์วัดความดัน หลังจากที่ได้ความดันสุญญากาศที่ต้องการแล้วจะปิดวาล์ว V_1 และ V_2 จากนั้นจึงปิดเครื่องกำเนิดสุญญากาศ แล้วส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิต่อทางเอาต์พุตพอร์ท และเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าโดย D/A converter เพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับอิเล็กทรอนิกส์เทอร์มิสแตทที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิที่วัดโดยอุปกรณ์ที่อยู่ภายในขวดบรรจุสารตัวอย่างมีค่าตามต้องการแล้ว เครื่องจะวัดความดันไอของน้ำในระบบท่อทางด้านขวดบรรจุตัวอย่าง เทียบกับความดันไอในระบบท่ออีกด้านหนึ่ง ความดันที่วัดได้ในรูปของแรงดันไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลดิจิทัลโดย A/D converter เข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ จากนั้นจะหน่วงเวลาระยะหนึ่งเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความดันในระบบหากว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ระยะเวลาที่ใช้จะค้องนานพอที่จะสามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้น แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้การทำงานของเครื่องใช้เวลามากเกินความจำเป็น และเมื่อวัดความดันได้เท่ากัน 3 ครั้งติดต่อกันก็จะถือว่าระบบเข้าสู่สมดุลย์ ค่าความดันที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณค่าวอเตอร์แอกทิวิตีแล้วส่งสัญญาณเสียงเป็นจังหวะเพื่อบอกให้ผู้ใช้นับทราบว่าการทำงานสิ้นสุดแล้วและพร้อมที่จะแสดงผลที่ได้ เมื่อผู้ใช้นับคีย์ใดคีย์หนึ่งบนแผงคีย์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการถนอมแผงแสดงผลให้มีอายุการใช้งานได้นาน การแสดงผลจะแสดงออกทางแผงแสดงผลเป็นค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่มีจำนวนทศนิยม 3 หลัก

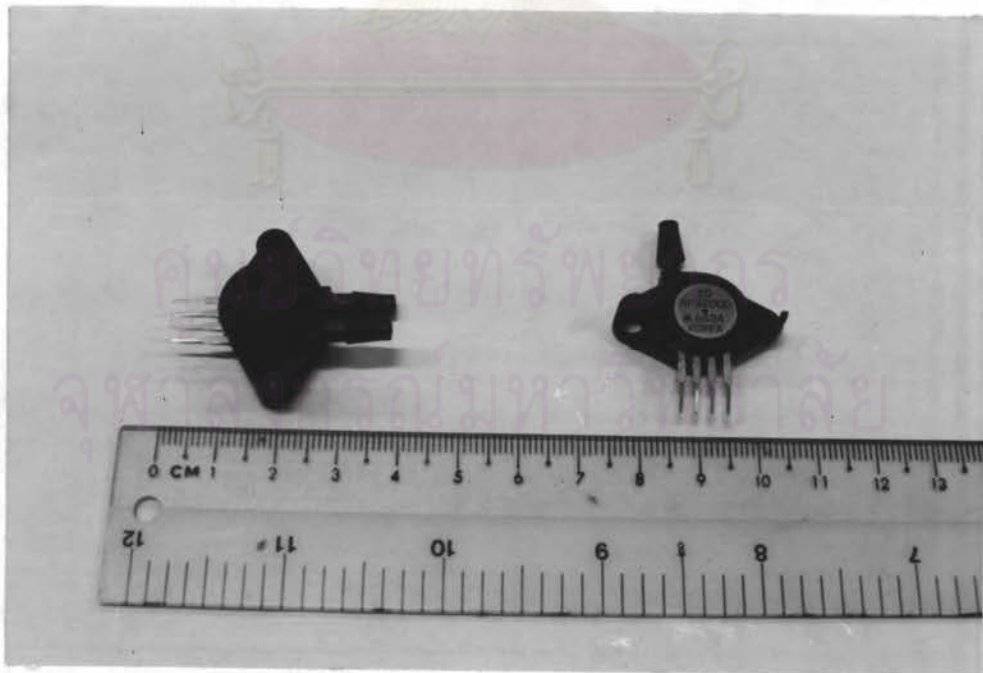
3. ออกแบบ และพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์ รวมทั้งทดสอบการทำงานเบื้องต้น

การใช้ระบบที่เป็นไมโครโพรเซสเซอร์มีข้อดีคือการออกแบบในยุ่งยาก ไม่ต้องการความรวดเร็วที่ซับซ้อน เพียงแค่เลือกอุปกรณ์ที่มีสมบัติตามต้องการและสามารถเชื่อมต่อเข้าด้วยกันได้มาต่อกัน ถ้าหากอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ไม่สามารถเชื่อมต่อเข้าด้วยกันได้จะต้องมีการออกแบบ interface เพื่อที่จะเชื่อมต่ออุปกรณ์นั้นเข้าด้วยกันเป็นวงจร จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมเพื่อให้งานตามที่ต้องการ การออกแบบเครื่องมือที่เป็นระบบไมโครโพรเซสเซอร์และวงจรทางดิจิทัล ถึงแม้ว่าจะไม่มีความยุ่งยากในการออกแบบ แต่ระบบพวกนี้จะมีความอ่อนไหวเป็นอย่างมากในด้านสัญญาณรบกวน กระแสไฟฟ้าใช้เลี้ยงวงจร และอุณหภูมิใช้งาน การออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัญหาพวกนี้ ภาคจ่ายไฟจะต้องมีการควบคุมแรงดันให้คงที่สามารถจ่ายกระแสได้อย่างพอเพียง มีการป้องกันสัญญาณรบกวนทั้งจากแหล่งจ่ายไฟและจากแหล่งอื่น การเลือกใช้อุปกรณ์จะต้องเลือกใช้อุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วงที่มีการใช้งานจริงและเนื่องจากอุปกรณ์ทางดิจิทัลและไมโครโพรเซสเซอร์ถูกออกแบบมาให้มีการทำงานอย่างเฉพาะเจาะจงอยู่แล้ว การออกแบบวงจรหลักมักจะไม่ค่อยมีความแตกต่างกันมากนัก จะต่างกันที่วงจรส่วนอื่นที่ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละจุดประสงค์ การออกแบบจะแบ่งออกเป็นส่วนตัวดังนี้

3.1 ส่วนวัดความดัน ใช้मानมิเตอร์ที่มีลักษณะดังรูปที่ 4.3 ระบบท่อใช้ท่อทองแดงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.18 นิ้ว เพื่อให้ใช้เวลาในการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศน้อยที่สุด เนื่องจากการใช้เวลาในการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศที่นานเกินไปอาจทำให้ตัวอย่างที่ต้องการหาค่าวอเคอร์แอคทีวิตีสูญเสียน้ำหนักออกกับอากาศที่ถูกดูดออก ค่าที่วัดได้จึงผิดไปจากความเป็นจริง วาล์วที่เข้าในระบบเป็นวาล์ว CKD เบอร์ ADK11-10 เป็นวาล์วที่สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยไฟฟ้า ช่องเปิดของวาล์ว 12 mm ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดของวาล์วรุ่นนี้ การที่ใช้วาล์วที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่เพื่อผลลัพธ์ที่จะมีต่อการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศ การเชื่อมต่อของวาล์วกับระบบท่อใช้เกลียวขนาด 0.375 นิ้ว อุปกรณ์วัดความดันในระบบของ मानมิเตอร์มี 2 ตัวด้วยกันคือตัวแรกใช้ในการควบคุมความดันสุญญากาศของระบบ ได้แก่ MPX200GVP ตัวอักษร GVP ที่ต่อท้ายจะเป็นตัวบอกวิธีการวัดว่าเป็นความดันสุญญากาศเทียบกับความดันบรรยากาศ ณ ที่นั้น ส่วนอุปกรณ์วัดความดันอีกตัวหนึ่งคือ MPX2010DP ตัวอักษร DP หมายถึงการวัดความดันแบบความดันแตกต่างอุปกรณ์วัดความดันทั้ง 2 ตัวมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ลักษณะของமானมิเตอร์ PT1 คือ differential pressure transducer
PT2 คือ vacuum pressure transducer SF ชวคบรรจุตัวอย่าง V1 และ
V2 คือ วาล์ว



รูปที่ 4.4 ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์วัดความดัน MPX200GVP และ MPX2010DP

ใช้ในการวัดความดันในระบบท่อของมานอมิเตอร์ทางค้ำที่ต่อกับชาวบรรจุสารตัวอย่าง เทียบกับระบบท่ออีกค้ำหนึ่ง ลักษณะของ MPX2010DP ที่เลือกใช้อุปกรณ์วัดความดันแบบวัดความดันแตกต่างก็ เพื่อผลที่เกิดจากความดันเริ่มต้นของระบบที่ใหม่เป็นสัญญาณอย่างสมบูรณ์ และผลของไอของสารที่นำเข้้น้ำและความดันไอที่มืออยู่ในบรรยากาศขณะนั้น เนื่องจากความดันค้ำกล่าวจะกระทำในทั้ง 2 ค้ำของอุปกรณ์เนขนาดที่เท่ากันค้ำจะแสดงได้จากสมการเมื่อระบบมีการบรรจุตัวอย่างอาหารความดันในระบบท่อทั้ง 2 ค้ำของอุปกรณ์วัดความดันจะเขียนเป็นสมการได้ค้ำนี้

$$P_a = \frac{p_a}{V_a} RT \text{ และ } P_b = \frac{p_b}{V_b} RT$$

จากการที่อัตราส่วนของ p_a ต่อ V_a เท่ากับ p_b ต่อ V_b ซึ่งมีค่าคงที่ จะเห็นได้ว่า P_a และ P_b จะเป็นปริมาณโดยตรงกับอุณหภูมิ(T) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเท่ากันทั้ง 2 ค้ำ P_a จะยังคงเท่ากับ P_b

แรงค้ำไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์วัดความดันจะเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณซึ่งประกอบด้วยไอซีออปแอมป์เบอร์ LM308 จำนวน 3 ค้ำ และ LF386 อีก 1 ค้ำ LM308 ค้ำแรกค้ำเป็นวงจรขยายความแตกต่าง(differential amplifier) มีอัตราขยายแรงค้ำเท่ากับ 22 เท่า ค้ำที่ 2 เป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายแรงค้ำเท่ากับ 1 เพื่อแก้แรงค้ำออฟเซต(off set)ของอุปกรณ์วัดความดัน แรงค้ำออฟเซตได้จาก LF386 ที่ค้ำเป็นวงจรโวลเตจฟอลโลเวอร์ แรงค้ำอินพุตค้ำจากการใช้ความค้ำทาน 2 ค้ำ และความค้ำทานปรับค้ำได้ 1 ค้ำ ค้ำเป็นวงจรแบ่งแรงค้ำ เนื่องจากแรงค้ำออฟเซตที่ค้ำต้องการอาจเป็นค้ำค้ำทั้งบวกและลบ วงจรแบ่งแรงค้ำจึงค้ำอยู่ระหว่าง +15 VDC และ -15 VDC LM308 ค้ำที่ 3 ค้ำเป็นวงจรขยายโพตรงแบบน้กลับ และสามารถปรับอัตราขยายแรงค้ำได้เพื่อให้ได้แรงค้ำเอาท์พุทเหมาะสมกับช่วงการทงานของ A/D converter ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0-4 V วงจรในส่วนวัดความดันแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6

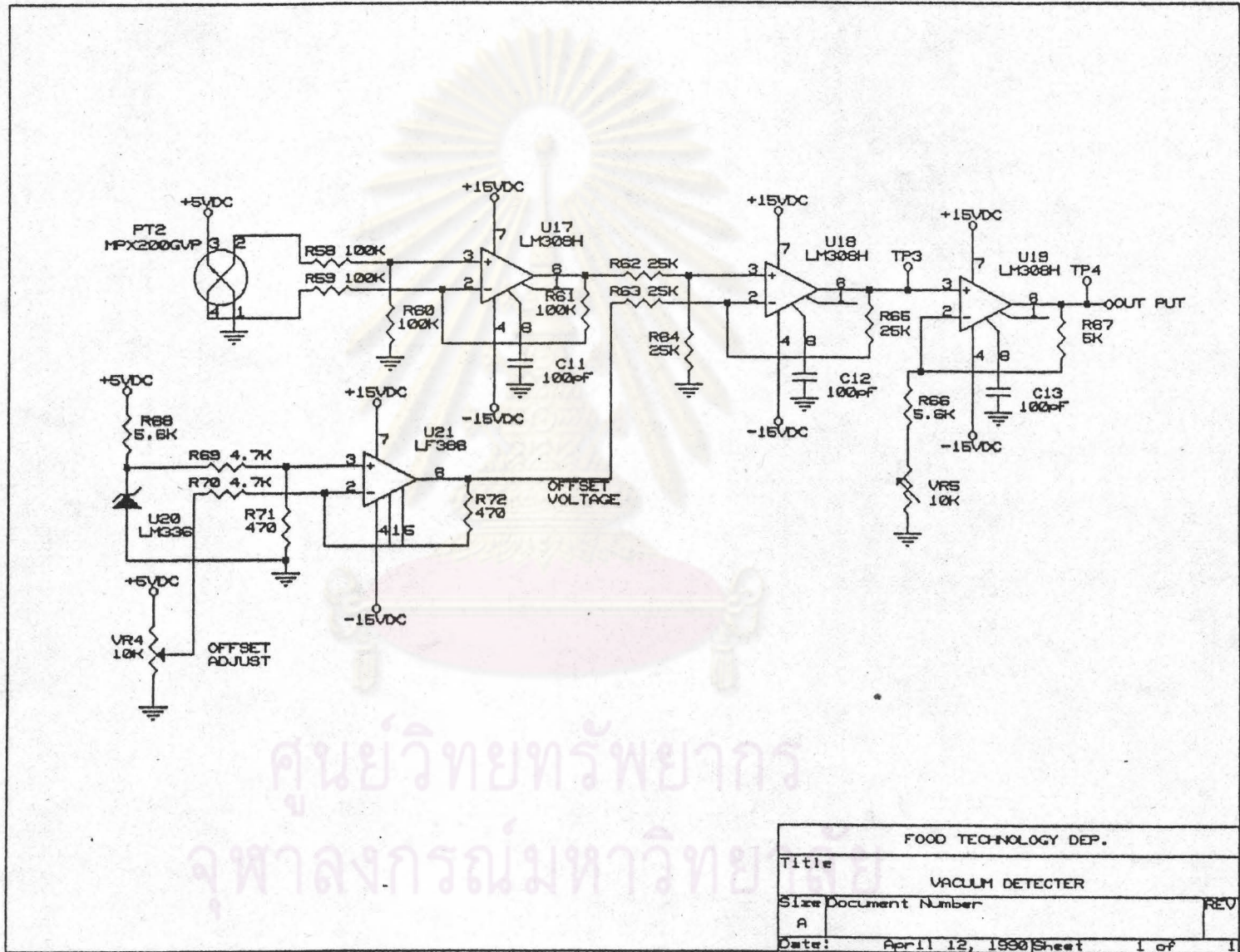
A/D converter ที่ใช้ค้ำเป็น ADC0808 ซึ่งสามารถเชื่อมเชื่อมเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้โดยตรง มีช่องสัญญาณอินพุท 8 ช่อง การเลือกช่องสัญญาณอินพุททาค้ำ

โดยใช้การถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 3 bit ในที่นี้ใช้เพียง 2 ช่อง ดังนั้นจึงใช้สัญญาณจากขาแอดเดรส A₀-A₁ ของ Z80 เข้าสู่ขา A₀ และ A₁ ของ ADC0808 ส่วน A₂ ต่อลงกราวด์ สัญญาณ A₀ และ A₁ จะร่วมกับสัญญาณการเลือกพอร์ทหมายเลข COH(PS3) จากวงจรถอดรหัสของอินพุตเอาต์พุตในวงจรหลักและสัญญาณ RD และ WR จาก Z80 เพื่ออ่านและเขียนข้อมูลจากพอร์ทที่ต้องการ เมื่อได้ข้อมูลที่ เป็นดิจิทัลแล้วจะส่งสัญญาณให้ Z80 รับข้อมูลที่ ได้เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป อุปกรณ์วัดความดันอีกตัวหนึ่งที่ใช้วัดความดันในขณะที่มีการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศคือ MPX200GVP มีระดับแรงดันเอาต์พุตต่อความดันไม่เท่ากับ MPX2010 ดังนั้นการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นดิจิทัลจึงใช้แรงดันอ้างอิงไม่เท่ากัน ฉะนั้นจึงได้เพิ่มอนาลอกสวิทช์(analog switch)4016(12)เพื่อใช้เลือกแรงดันอ้างอิงในการแปลงสัญญาณเข้าไปในวงจรที่ใช้ควบคุมแรงดันอ้างอิงซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์ LF351 ต่อเป็นวงจรขยายแรงดันที่ปรับอัตราขยายได้ สัญญาณควบคุมที่ใช้เลือกระดับแรงดันอ้างอิงได้จาก PC₀ และ PC₁ ของ 8255 ตัวที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.7

เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาของวงจรหลักเป็น 4 MHz. และจากสมบัติของ ADC0808 จะใช้สัญญาณนาฬิกาในช่วง 10 ถึง 1280 KHz. ซึ่งในที่นี้ออกแบบมาใช้สัญญาณนาฬิกา 500 KHz. จึงต้องการสัญญาณนาฬิกาจากวงจรหลักด้วย 8 โดยจะใช้ฟลิปฟลอป (flipflop) 4 ตัวซึ่งในแต่ละตัวจะหารด้วย 2 เลือกใช้ 74LS74 ซึ่งเป็นไอซีที่ภายในบรรจุฟลิปฟลอปชนิด D อยู่ 2 ตัว ต่อเป็นวงจรวงจรดังรูปที่ 4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

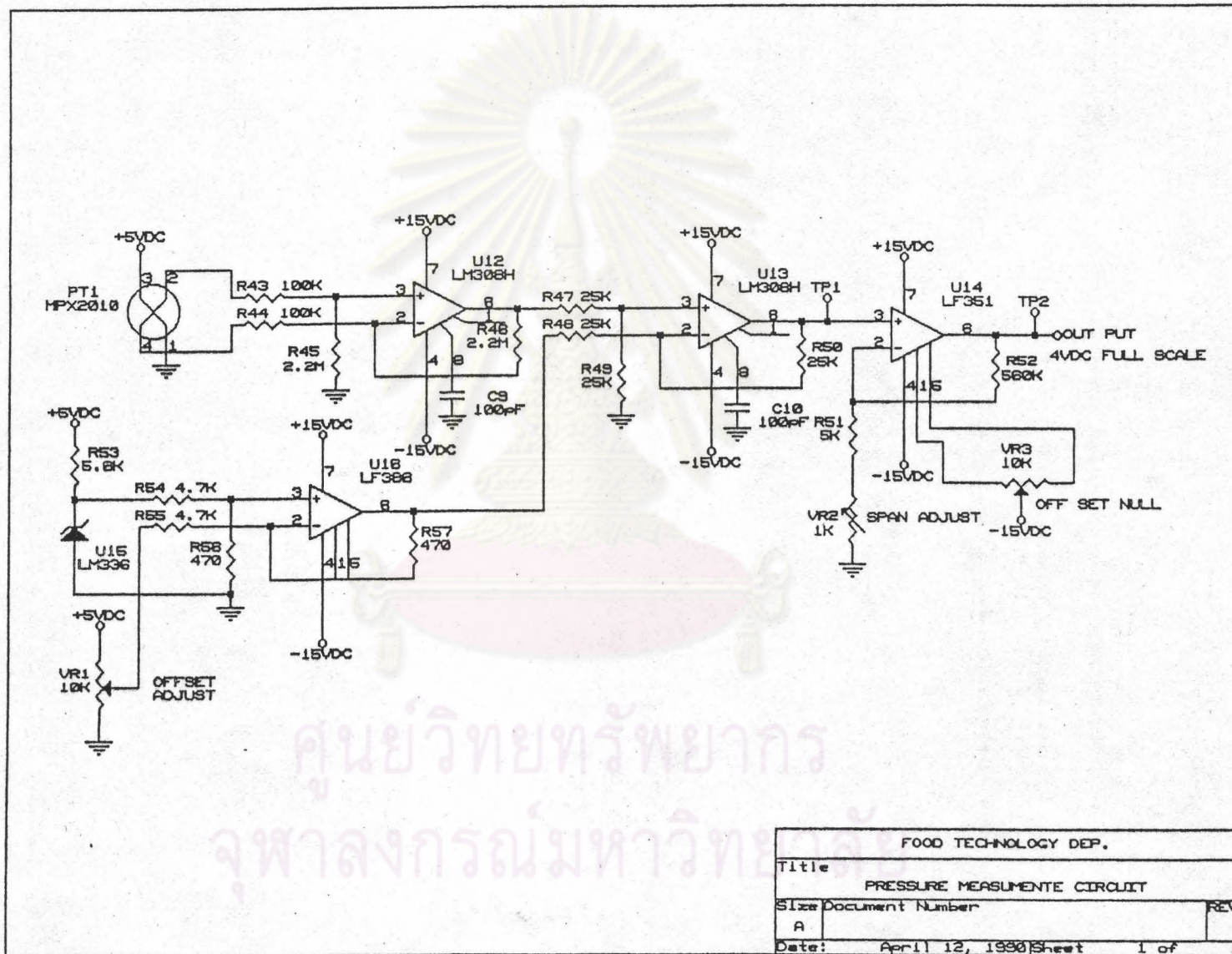
รูปที่ 4.5 วงจรส่วนวัดความดัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FOOD TECHNOLOGY DEP.		
Title		
VACUUM DETECTOR		
Size	Document Number	REV
A		
Date:	April 12, 1990	Sheet 1 of 1

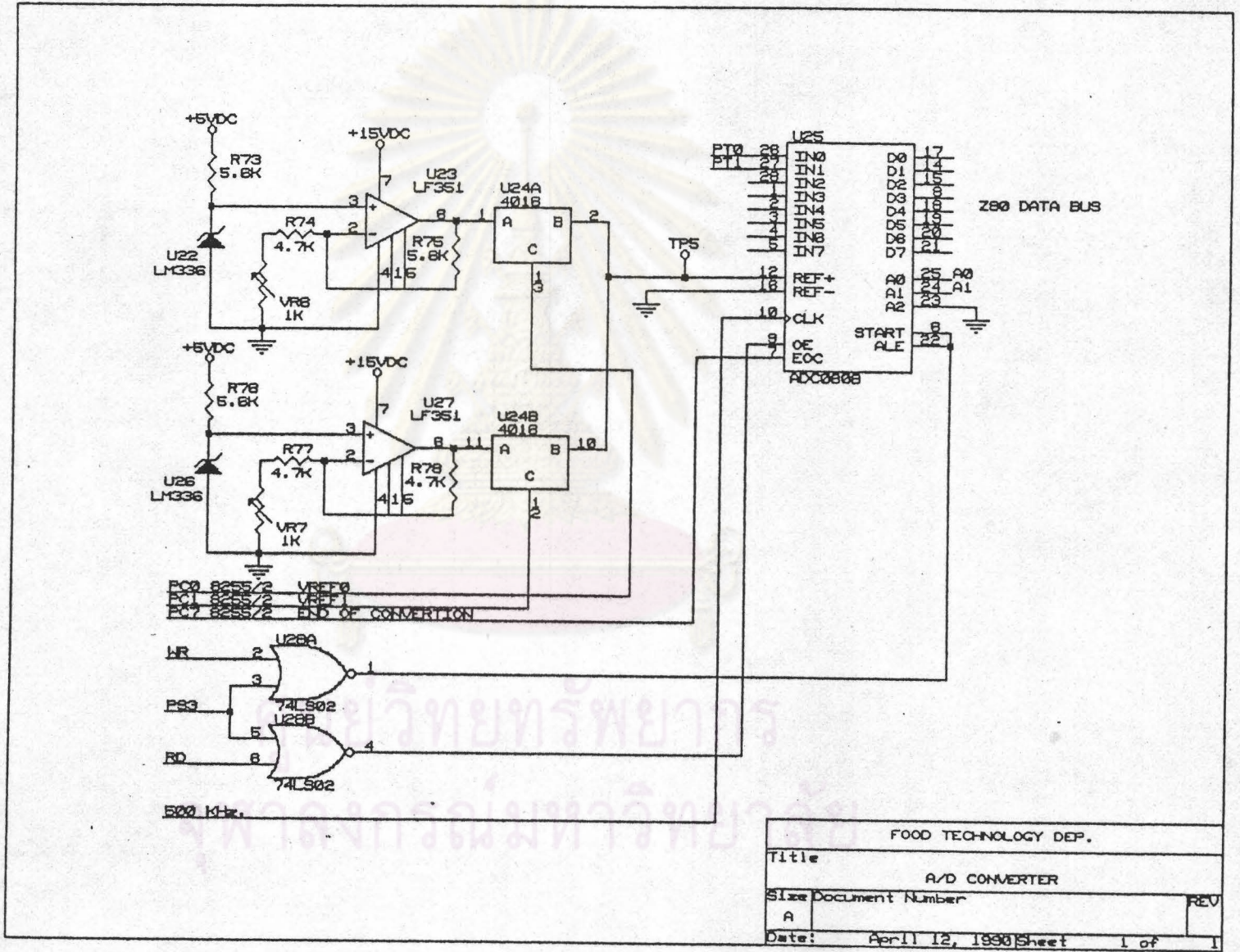
รูปที่ 4.6 วงจรสำหรับวัดความดันแบบกึ่งอัตโนมัติ



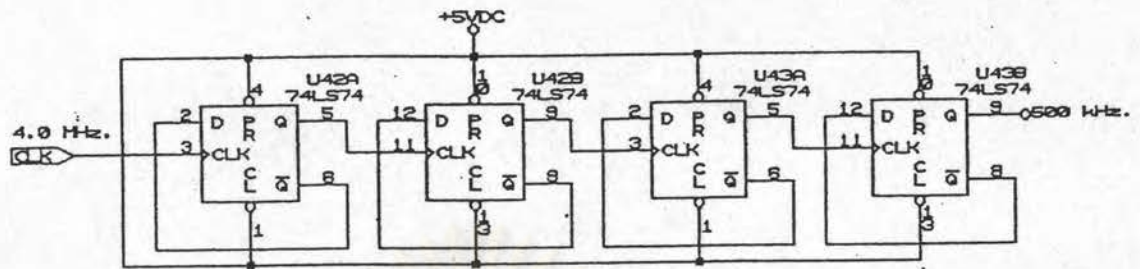
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FOOD TECHNOLOGY DEP.		
Title		
PRESSURE MEASUREMENT CIRCUIT		
Size	Document Number	REV
A		
Date:	April 12, 1990	Sheet 1 of 1

รูปที่ 4.7 วงจร A/D converter ที่ใช้ ADC0808



FOOD TECHNOLOGY DEP.	
Title	A/D CONVERTER
Size Document Number	REV
A	
Date:	April 12, 1990 Sheet 1 of 1



รูปที่ 4.8 วงจรหารสัญญาณนาฬิกา

3.2 ส่วนควบคุมอุณหภูมิ(9) หลักการทำงานคือ รับข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัลจากไมโครโปรเซสเซอร์แล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงให้แก่วงจรควบคุมอุณหภูมิ วงจรในส่วนนี้แสดงในรูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11 ข้อมูลดิจิทัลที่แทนค่าอุณหภูมิที่ส่งออกไปจากไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าโดย D/A converter ผ่านออปแอมป์ LF351 ซึ่งคือเป็นวงจรขยายแรงดันแบบกลับ(inverting amplifier) เอาท์พุทที่ได้ใช้เป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับวงจรควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ LM335H ให้เอาท์พุทเป็นแรงดันที่แปรผันตามอุณหภูมิเป็น 10 mV ต่อ 1 Kelvin จึงต้องใช้วงจรปริแอมป์(pre amp) ซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์ LM308 คือเป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 1 ปรับแรงดันออฟเซทไว้ที่ 2.730 V เพื่อให้ได้ค่าแรงดันเป็น 10 mV ต่อ 1°C แรงดันออฟเซทได้จาก LF386 คือเป็นวงจรขยายแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันได้ แรงดันอินพุทได้จากไฟตรง 5 V จากคกระแสด้วยตัวต้านทานแล้วควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วย LM336 2.5 V แรงดันที่ได้จากวงจรปริแอมป์จะเข้าสู่ LM324 ซึ่งคือเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(voltage comparater) 2 ชุด แรงดันอ้างอิงจาก A/D converter จะถูกป้อนเข้าขา 2 และถูกแบ่งแรงดันโดยความต้านทาน 500 ohm และ 150 Kohm เข้าสู่ขา 6 ของ LM324 เพื่อกำหนดช่วง hysteresis ของอุณหภูมิที่ขอมมาให้เกิดขึ้นได้ วงจรชุดแรกจะหาหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันอ้างอิงที่ได้จาก D/A converter(V_H) กับแรงดันจาก LM335(V_L) และชุดที่ 2 จะเปรียบเทียบแรงดันที่ได้จากการแบ่งแรงดันจากแรงดันอ้างอิงของชุดแรก(V_T) ดังนั้น V_H จะมากกว่า V_L เสมอซึ่งผลจากวงจรจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

- กรณีที่ 1 เมื่อ VT มากกว่า VH ขา 14 จะเป็น 1 และ ขา 1 จะเป็น 0
 กรณีที่ 2 เมื่อ VT น้อยกว่า VL ขา 14 จะเป็น 0 และ ขา 1 จะเป็น 1
 กรณีที่ 3 เมื่อ VT มากกว่า VL แต่น้อยกว่า VH ทั้งขา 14 และขา 1 จะเป็น 0

สัญญาณจากขา 1 และ 7 ของ LM324 จะถูกป้อนเข้าสู่ R-S ฟลิปฟลอป 4013 โดยสัญญาณจากขา 7 จะเข้าสู่ขา clock และขา 1 เข้าสู่ขา reset เอาท์พุทของฟลิปฟลอปแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัญญาณของการทำงานของเทอร์มิสตัท

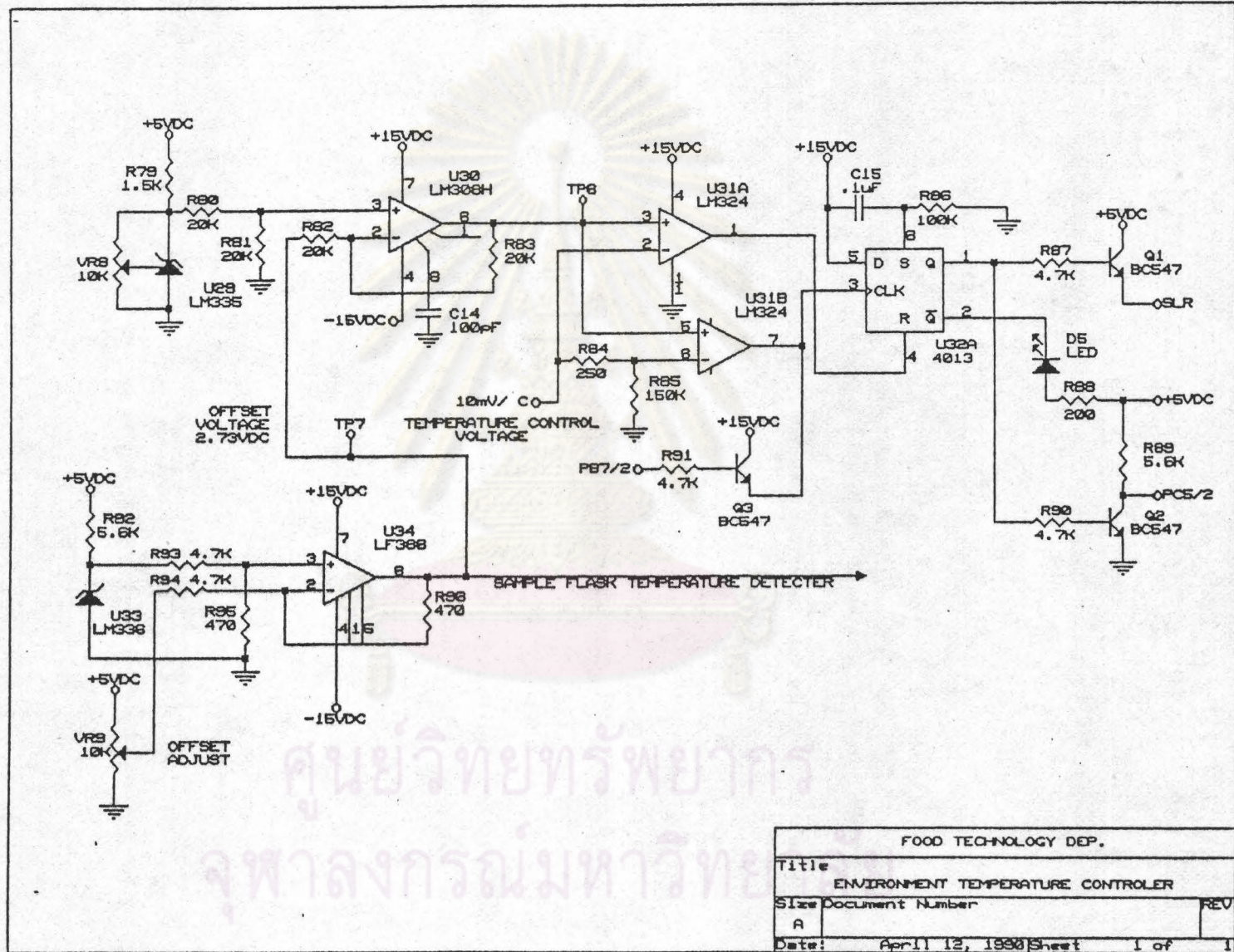
clock	R	D	Q
1	0	1	1
0	1	1	0
0	0	1	*

* ไม่มี การเปลี่ยนแปลง

เมื่อมีสัญญาณดังกล่าวเทอร์มิสตัทจะทำงานดังนี้ คือ ปิดเครื่องกำเนิดความร้อนในกรณีที่ 1 เปิดเครื่องกำเนิดความร้อนในกรณีที่ 2 และไม่มี การเปลี่ยนแปลงในช่วงฮิสเทอรีซิสที่กำหนดไว้ ในกรณีที่ 3 สัญญาณที่ออกจากขา Q ของฟลิปฟลอปจะนำไปใช้เปิดเครื่องกำเนิดความร้อน โดยผ่านทางรีเลย์สวิตช์ การตรวจสอบอุณหภูมิภายในชวลบรจุกตัวอย่างจะกระทำโดย LM335 อีกตัวหนึ่งซึ่งอยู่ภายในส่วนบนของชวลบรจุกตัวอย่างผ่านวงจรเปรียบเทียบเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ได้จาก D/A converter โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน สัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะเป็นสัญญาณ "temperature OK" เข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านทางพอร์ท c6 ของ 8255 ตัวที่ 2

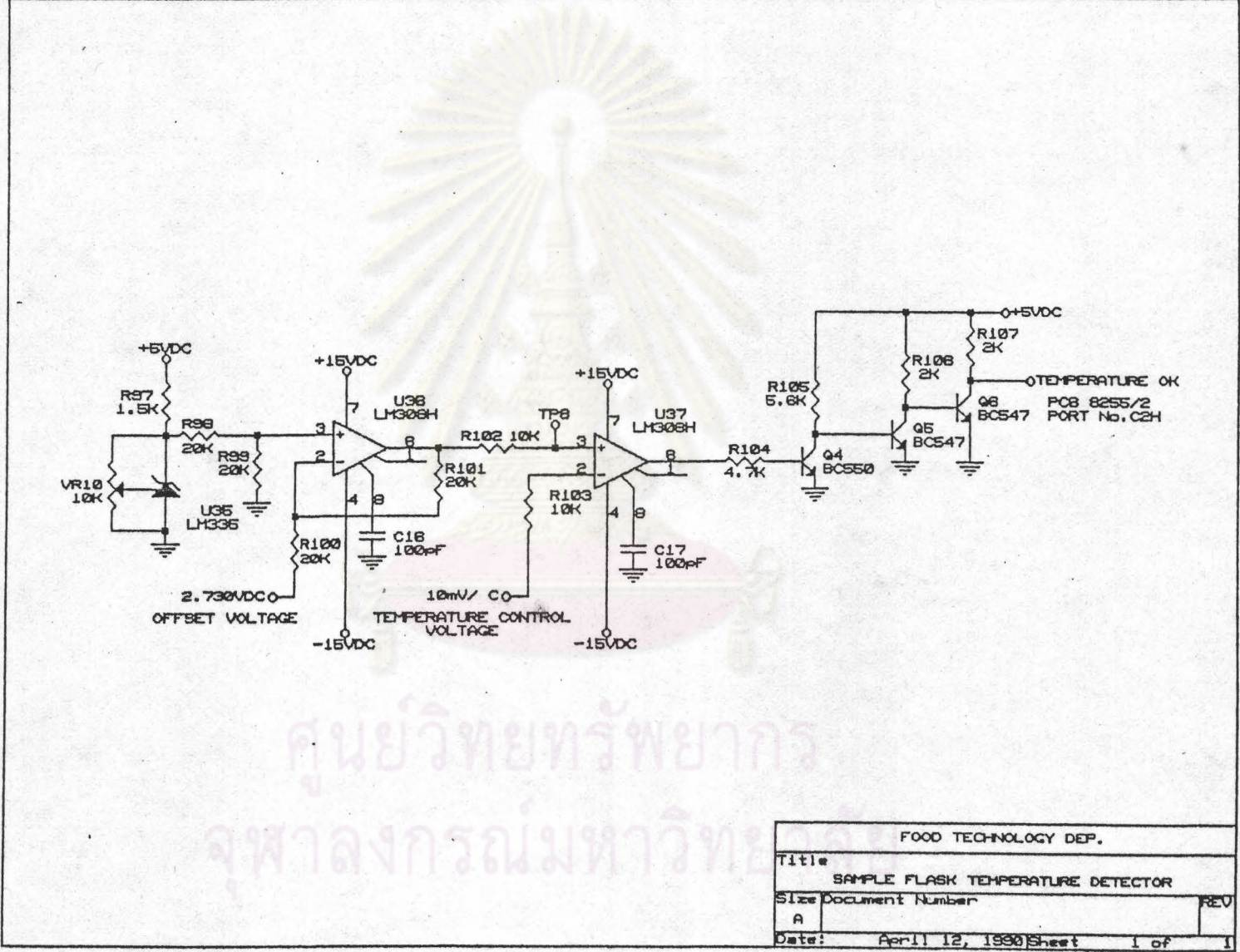
- 3.2.1 การทดสอบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ โดยต่อ LM335 ดังวงจรในรูปที่ 4.12 นำไปวัดอุณหภูมิในตู้อบลมร้อน(hot air oven) วัดแรงดันที่ขา + ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาเขียนกราฟกับค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณจะได้เส้นกราฟดังรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.9 วงจรสำหรับควบคุมอุณหภูมิ



T 15099166

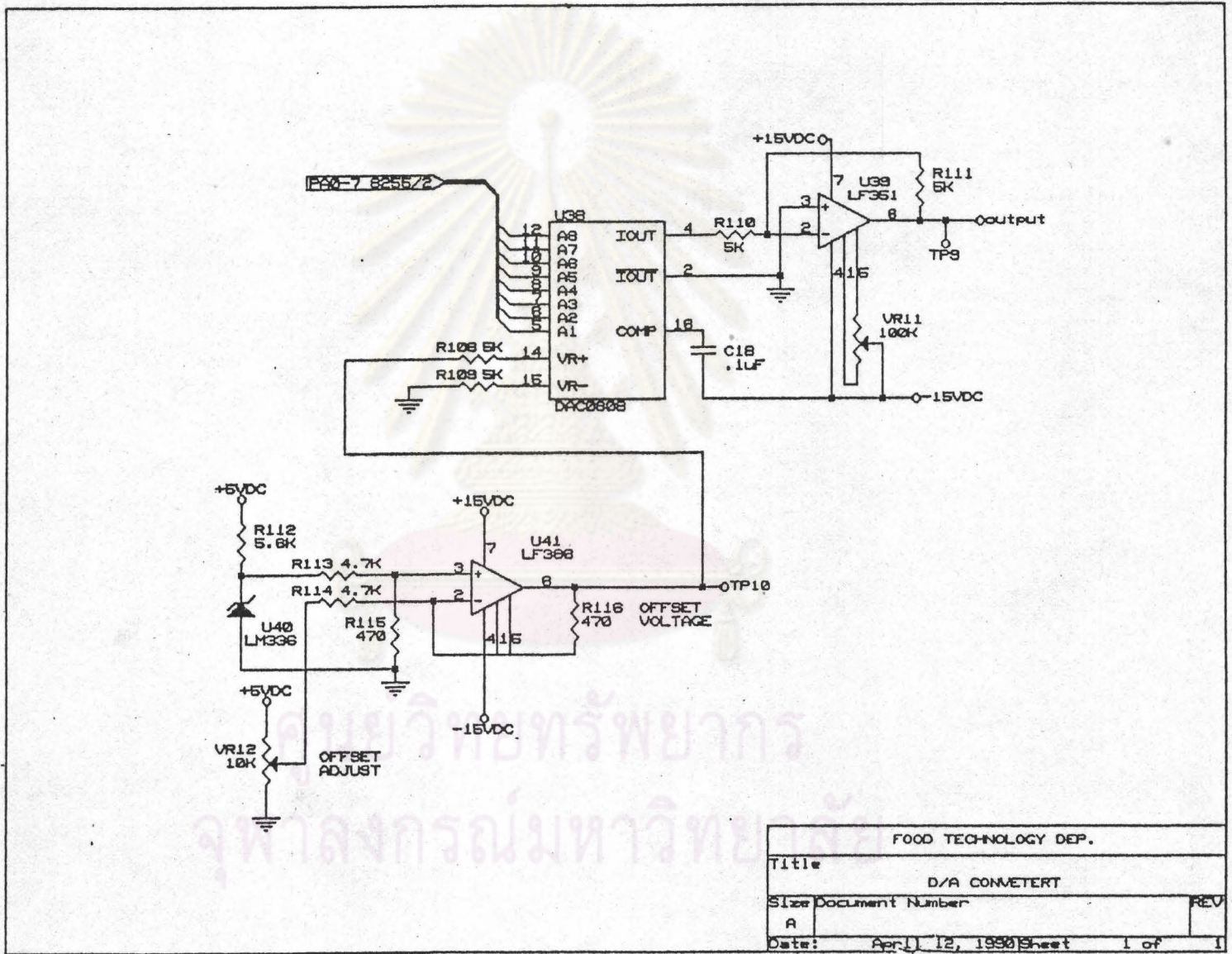
รูปที่ 4.10 วงจรตรวจสอบอุณหภูมิแบบปรอทอุณหภูมิจำกัด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FOOD TECHNOLOGY DEP.	
Title	
SAMPLE FLASK TEMPERATURE DETECTOR	
Size Document Number	
A	REV
Date: April 12, 1990	Sheet 1 of 1

รูปที่ 4.11 วงจร A/D converter ชนิด DAC0808



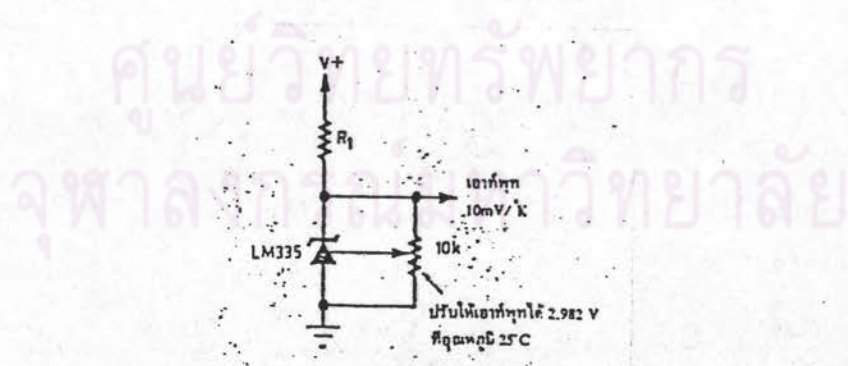
FOOD TECHNOLOGY DEP.	
Title	D/A CONVERTER
Size	Document Number
A	REV
Date:	Apr 12, 1990 Sheet 1 of 1

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากขา + ของ LM335

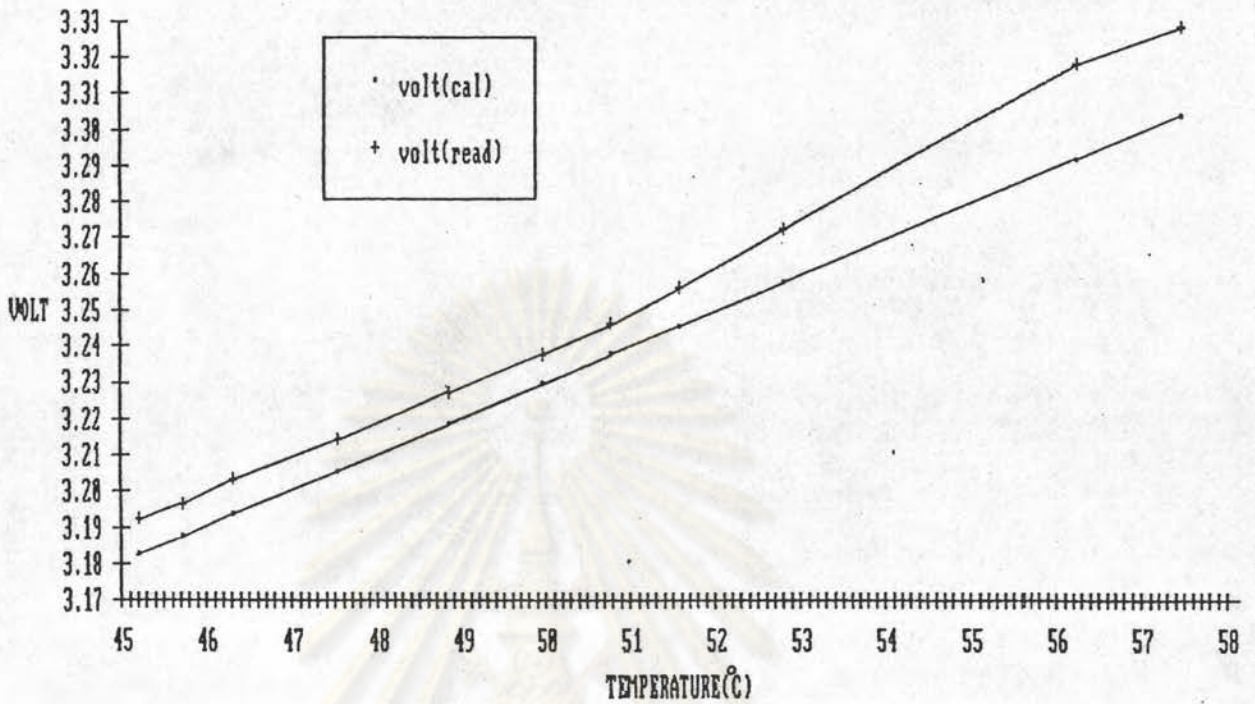
อุณหภูมิ* (°C)	แรงดันที่วัดได้ (V)	แรงดันที่ได้จากการคำนวณ** (V)
45.2	3.192	3.182
45.7	3.196	3.187
46.3	3.203	3.193
47.5	3.214	3.205
48.8	3.227	3.218
49.9	3.237	3.229
50.7	3.246	3.237
51.5	3.256	3.245
52.7	3.272	3.257
56.1	3.318	3.291
57.3	3.328	3.303

* จากเครื่อง recorder (°C)

** $V = (2730 + (10 T)) / 1000$ (volt)



รูปที่ 4.12 วงจรที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ LM335



รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้า

3.3 ส่วนควบคุมการเปิดเปิดวาล์ว และ เครื่องกำเนิดสุญญากาศ ทำได้โดย การส่งข้อมูลทางดิจิทัลออกมาทางพอร์ต A ของ 8255 ตัวที่ 2 ข้อมูลที่ถูกส่งออกมานี้จะควบคุม การเปิดปิดของวาล์วผ่านทางรีเลย์สถานะของแข็ง (solidstate relay) อีกทีหนึ่ง ข้อมูลที่ควบคุม วาล์วและ เครื่องกำเนิดสุญญากาศตามลำดับการทางานของ เครื่องแสดง ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจากพอร์ต A ของ 8255 ในการควบคุมวาล์ว และ เครื่องกำเนิด สุญญากาศ ตามลำดับการทางานของ เครื่อง

A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	เครื่องกำเนิดสุญญากาศ	วาล์ว V1	วาล์ว V2
0	0	0	0	0	0	0	0	ปิด	ปิด	ปิด
1	0	0	0	0	0	0	0	เปิด	ปิด	ปิด
1	1	1	0	0	0	0	0	เปิด	เปิด	เปิด

3.4 วงจรหลัก จะประกอบด้วยตัวไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ อุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต และส่วนประกอบอื่นตามความต้องการของอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์รอบข้าง ไมโครโปรเซสเซอร์ที่เลือกใช้คือ Z80A CPU ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 4 MHz โปรแกรมควบคุมการทำงานจะถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำที่เป็น EPROM เบอร์ 2716 ซึ่งมีความจุขนาด 2 kbyte และหน่วยความจำชนิด RAM ที่ใช้เก็บค่าต่างวาระใช้เบอร์ 6116 ซึ่งมีความจุขนาด 2 kbyte เช่นกันเนื่องจากการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำเพื่อเขียนหรืออ่านของไมโครโปรเซสเซอร์จะใช้สัญญาณจากขาแอกเคอเรสของ Z80 ซึ่งมีทั้งหมด 16 ขาสามารถอ้างหน่วยความจำได้ถึง 2^{16} หรือเท่ากับ 64 kbyte สำหรับ EPROM 2716 และ RAM 6116 ใช้แอกเคอเรส A₀-A₁₀ ค่าของเลขฐานสองสูงสุดคือ 1111111111 ซึ่งเท่ากับ 7FF ฐานสิบหก ดังนั้นแอกเคอเรสของหน่วยความจำแต่ละตัวจะเป็นดังนี้คือ 0000H ถึง 07FFH ใน 2716 และ 0800H ถึง 0FFFH ใน 6116 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เลขรหัสฐานสองและฐานสิบหกซึ่งเป็นแอกเคอเรสของหน่วยความจำ

00000000	00000000	=	0000H
00000111	11111111	=	07FF
00001000	00000000	=	0800H
00001111	11111111	=	0FFFH

การที่จะทำการนับตำแหน่งของหน่วยความจำอย่างต่อเนื่องได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการเลือกไอซีหน่วยความจำ ซึ่งจะได้จากการถอดรหัสที่ละ 2 kbyte จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง A₀-A₁₀ จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 และที่ A₁₀ และ A₁₁ จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 00 01 10 และ 11 จากข้อมูลนี้จะนำมาใช้เลือกไอซีหน่วยความจำโดยอาศัยวงจรถอดรหัส(decoder)ซึ่งประกอบด้วยไอซีถอดรหัสเบอร์ 74LS139 ซึ่งจะถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 2 บิต ไปเป็นฐานสิบหกจะมี 2 อินพุตคือ A และ B และมี 4 เอาต์พุตคือ Y₀ Y₁ Y₂ และ Y₃ ซึ่ง 74LS139 หนึ่งตัวจะประกอบด้วยวงจรถอดรหัส 2 ชุดในตัวเดียวกัน เอาต์พุตของวงจรถอดรหัสจะขึ้นอยู่กับอินพุต A และ B ดังตารางที่ 4.5 ดังนั้นเมื่อ Y₀ เป็น 0 จะเป็นการเลือกไอซีหน่วยความจำตัวที่ 1 และเมื่อ Y₁ เป็น 0 จะเป็นการ

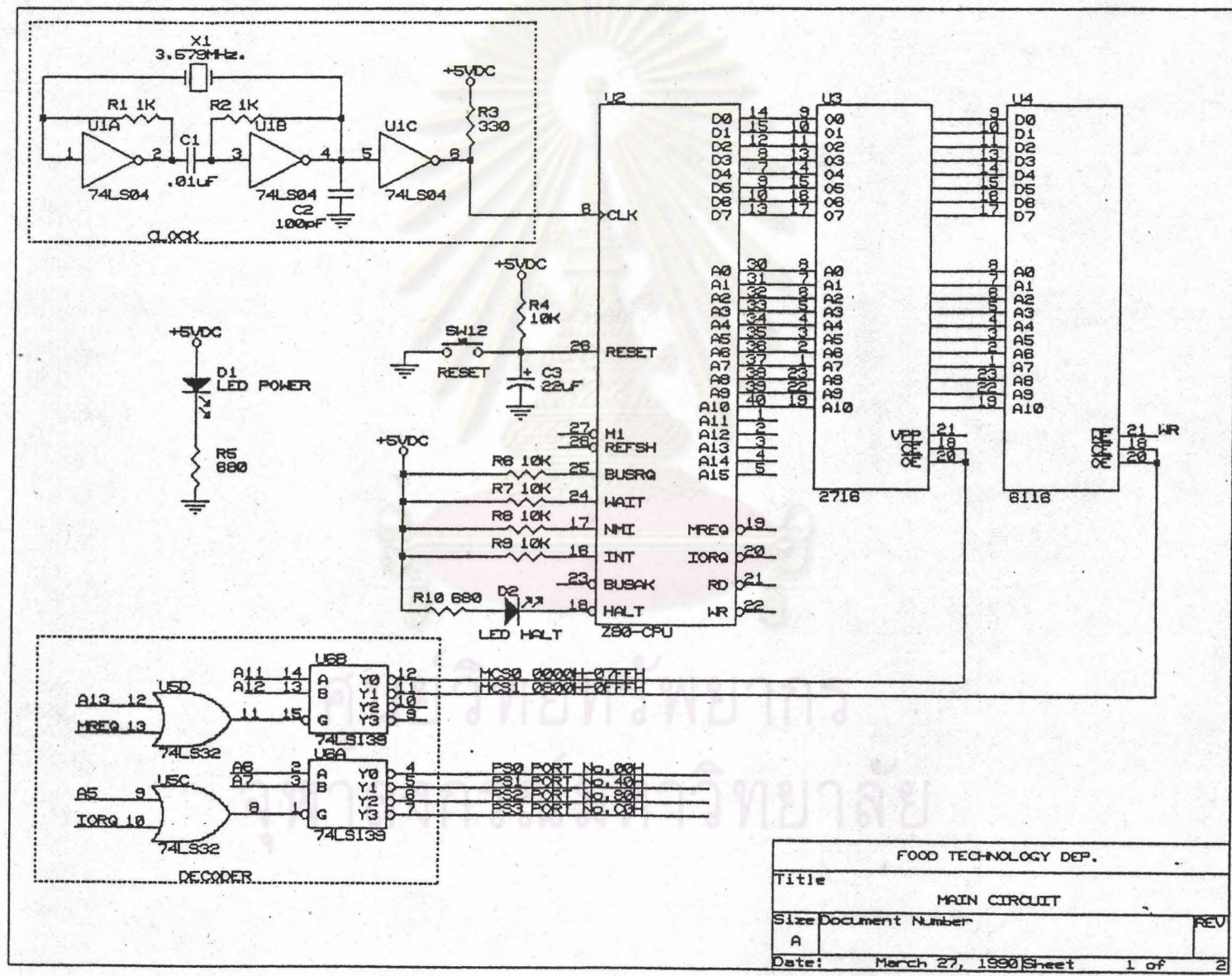
เลือกไอซีหน่วยความจำตัวที่ 2 วงจรหลักที่ออกแบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 ผลของการถอครหัสที่อินพุต A และ B มีค่าต่างกัน

B	A	OUTPUT			
		Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃
0	0	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.14 วงจรหลักสำหรับของวงจรถ่ายแบบภาพ วงจรถอดรหัส และหน่วยความจำ



FOOD TECHNOLOGY DEP.	
Title MAIN CIRCUIT	
Size A	Document Number REV
Date: March 27, 1990	Sheet 1 of 2

3.5 วงจรส่วนอินพุท เอาท์พุท การติดต่อกับอุปกรณ์รอบข้าง(periferal device) จะกระทำผ่านอุปกรณ์อินพุทเอาท์พุทซึ่งใช้พอร์ทแบบขนานเบอร์ 8255 ซึ่งแบ่งออกเป็นพอร์ทขนาด 8 บิต จำนวน 3 พอร์ท ได้แก่ พอร์ท A B และ C จำนวน 2 ตัว สำหรับการถอดรหัสเพื่อใช้เลือกตำแหน่งของอินพุทเอาท์พุทพอร์ทที่ใช้หลักการเดียวกันกับที่ใช้กับหน่วยความจำ โดยการถอดรหัสจะหาที่ละ 40H โดยที่ใช้สัญญาณจาก A₆ และ A₇ โดยที่วงจรถอดรหัสอีกชุดหนึ่งงาน 74LS139

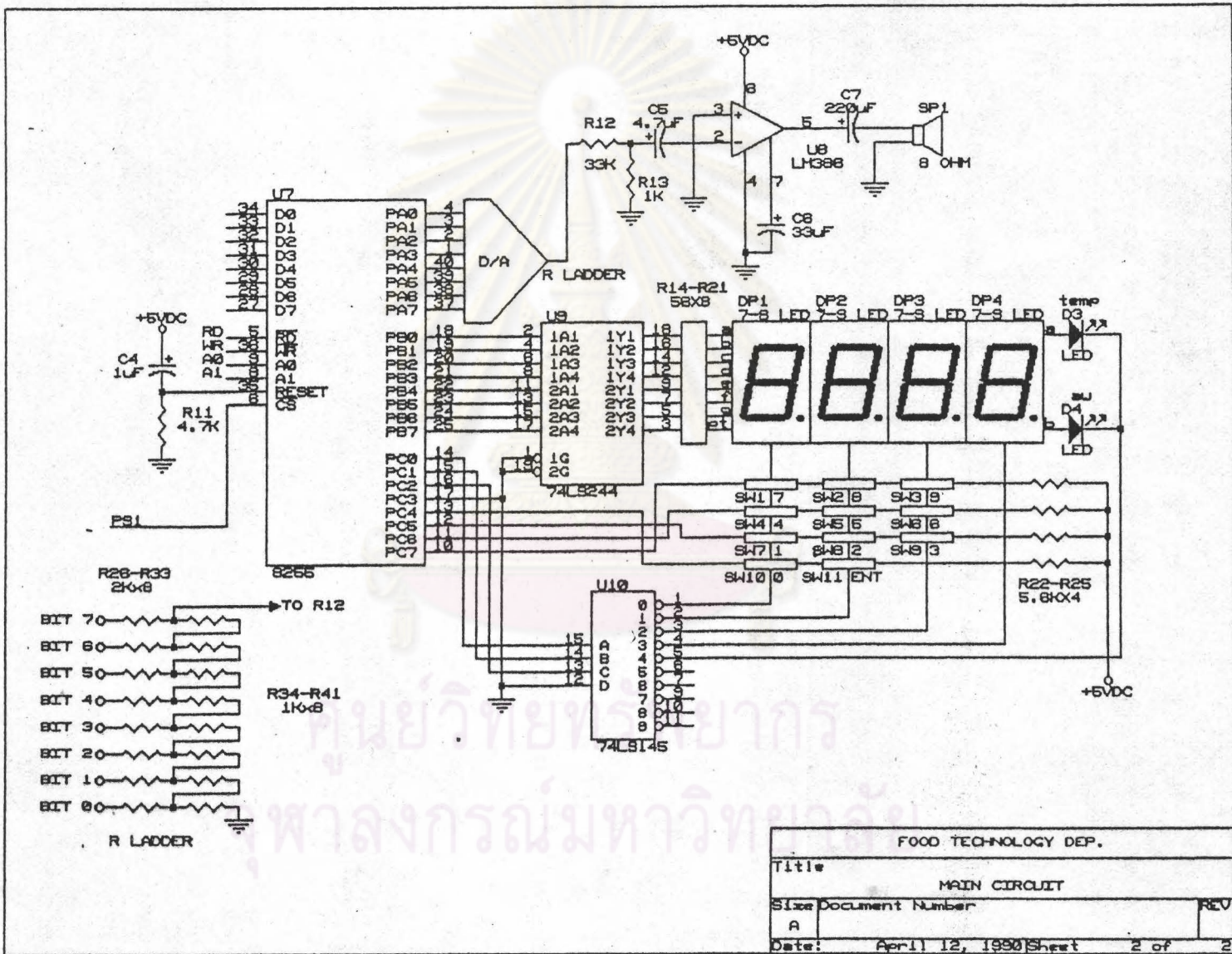
8255 ตัวที่ 1 จะเป็นเอาท์พุทสำหรับวงจร A/D converter ในวงจรกำเนิดสัญญาณเสียง A/D converter ที่ใช้ในส่วนนี้เป็นแบบ resistor ladder พอร์ท B และ C ใช้ในการสแกนแผงแสดงผลและคีย์บอร์ด วงจรส่วนนี้แสดงในรูปที่ 4.15

พอร์ท A ของ 8255 ตัวที่ 2 เป็นเอาท์พุทสำหรับข้อมูลในการควบคุมอุณหภูมิพอร์ท B ใช้ในการควบคุมวาล์ว และเครื่องกำเนิดสัญญาณภาค ส่วนพอร์ท C แบ่งออกเป็นพอร์ท C บน และพอร์ท C ล่าง พอร์ท C บนใช้เป็นพอร์ทเอาท์พุทของสัญญาณ V_{ref0} และ V_{ref1} ให้แก่วงจรส่วนวัดความดัน และพอร์ท C ล่างใช้เป็นอินพุทรับสัญญาณ end of conversion(EOC) จากวงจรส่วนวัดความดัน และสัญญาณ temperature OK จากส่วนควบคุมอุณหภูมิ วงจรส่วนนี้แสดงในรูปที่ 4.16

8255 ทั้ง 2 ตัวถูกใช้ในโหมด(mode) 0 ซึ่งเป็นโหมดอินพุทเอาท์พุทมาตรฐาน(6) การเซตโหมดของ 8255 สามารถทำได้โดยการเขียนค่าควบคุม(control word)ลงในพอร์ทควบคุม(control port)ของ 8255 ค่าควบคุมจะเป็นตัวกำหนดการเป็นอินพุทหรือเอาท์พุทของพอร์ททั้ง 3 ของ 8255 ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.3 ค่าควบคุมที่ใช้นี้เป็น 88H ซึ่งจะทำการให้พอร์ท A B และ พอร์ท C ส่วนล่างเป็นพอร์ทเอาท์พุทและพอร์ท C ส่วนบนเป็นพอร์ทอินพุท

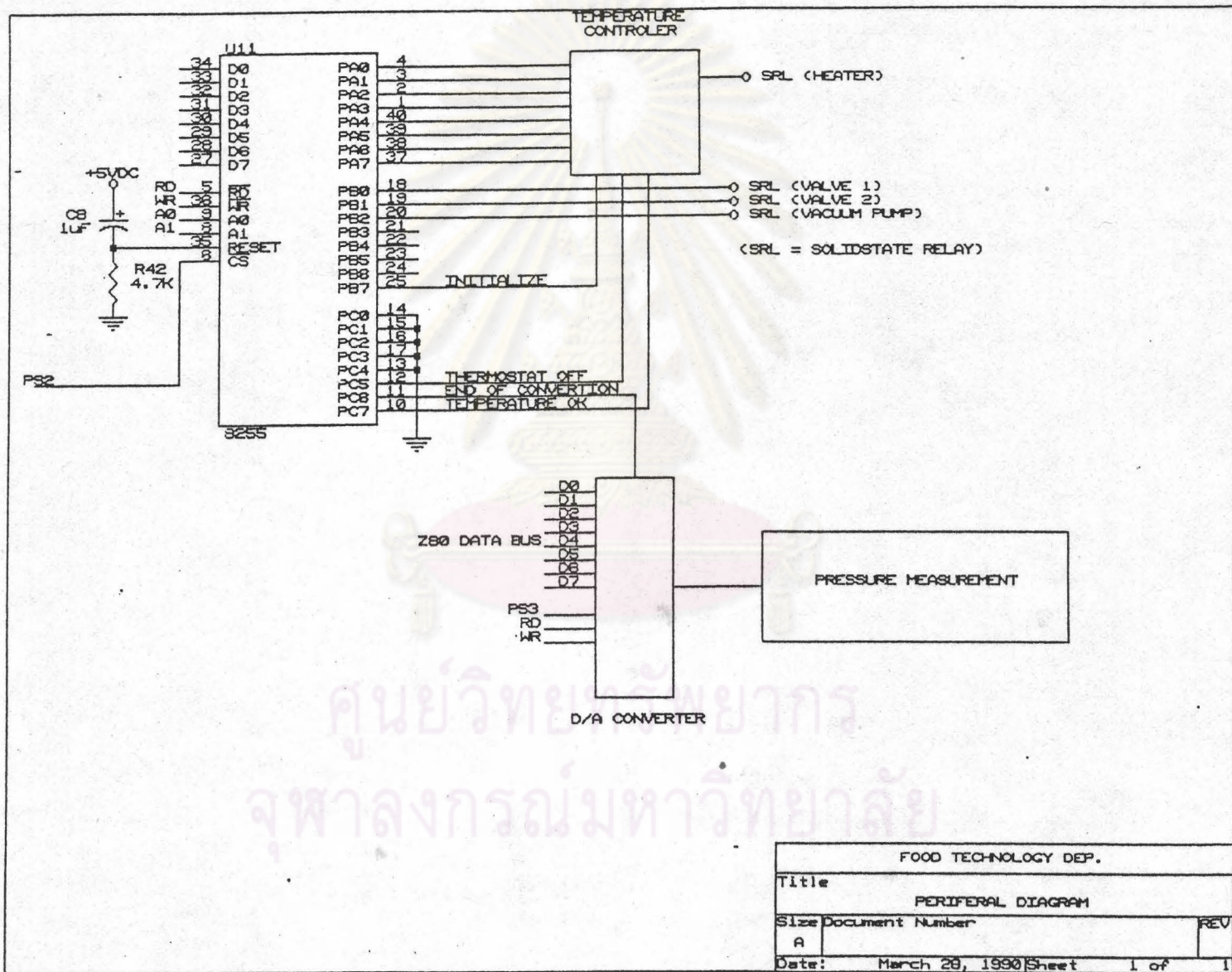
มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 วงจรส่วนอินพุตเอาต์พุตสำหรับที่ 1 ส่วนแสดงผล และสัญญาณ



FOOD TECHNOLOGY DEP.	
Title	
MAIN CIRCUIT	
Size	Document Number
A	
Date:	April 12, 1990 Sheet 2 of 2

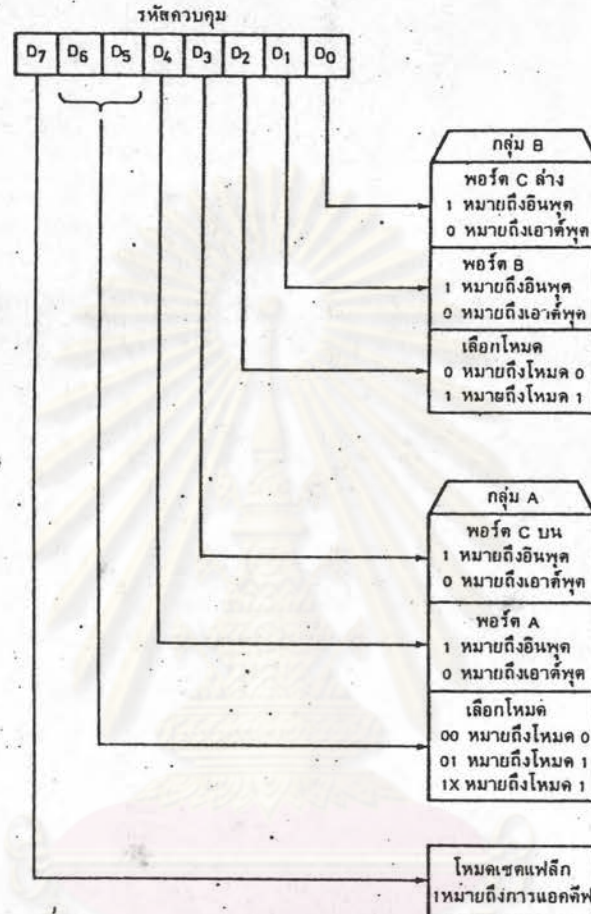
รูปที่ 4.16 วงจรรส่วนอินพุตเอาต์พุตส่วนที่ 2



ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FOOD TECHNOLOGY DEP.	
Title	
PERIPHERAL DIAGRAM	
Size Document Number	REV
A	
Date: March 29, 1990	Sheet 1 of 1

ตารางที่ 4.6 คำควบคุม(control word)ของ 8255 ใน mode 0 (6)



3.6 วงจรส่วนแสดงผลและคีย์บอร์ด

ประกอบด้วยแผงแสดงผลแบบตัวเลขซึ่งเป็นแอลอีดี(LED, light emitting diode) 7 ส่วนแบบ anode ร่วม ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.15 จำนวน 4 หลัก และแอลอีดีแสดงสถานะการแสดงผล 2 ตัว โดยจะรับข้อมูล จากพอร์ต B ของ 8255 ตัวที่ 1 ผ่าน 74LS244 ซึ่งเป็นตัวขับกระแสให้สูง ขึ้นเพื่อการแสดงผลของแอลอีดี 7 ส่วนทั้ง 4 หลัก และแอลอีดีแสดงสถานะอีก 2 ตัว การแสดงผลเป็นแบบมัลติเพล็กซ์(multiplex)โดยได้รับ สัญญาณสแกนจากพอร์ต C ล่างได้แก่ PC₀-PC₃ และถอดรหัสโดยไอซีถอดรหัส 74LS145 ถอดรหัสจากเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิต เป็นฐาน 10 โดยแสดงทีละหลักติดต่อกันไปด้วยความเร็วสูง มากสัญญาณที่จะหาเห็นแอลอีดี 7 ส่วนแสดงเป็นตัวเลขต่างๆแสดงได้ดังในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.17 ลักษณะของแอลอีดี 7 ส่วน และคีย์สวิตช์ที่ใช้ในวงจร

ตารางที่ 4.7 ค่าของเลขฐานสองที่ใช้ในการแสดงผลของแอลอีดี 7 ส่วนเป็นตัวเลขต่างๆ

	เลขฐานสอง	เลขฐานสิบหก	เลขที่แสดงบนแอลอีดี 7 ส่วน
PB	0 1 2 3 4 5 6 7		
segment	a b c d e f g pt		
	0 0 0 0 0 0 0 0	0000H	.*
	1 1 1 1 1 1 0 0	003FH	0
	0 1 1 0 0 0 0 0	0006H	1
	1 1 0 1 1 0 1 0	005BH	2
	1 1 1 1 0 0 1 0	004FH	3

ตารางที่ 4.7 ค่าของเลขฐานสองที่ใช้ในการแสดงผลของแอลอีที 7 ส่วนเป็นตัวเลขต่างๆ (ต่อ)

	เลขฐานสอง	เลขฐานสิบหก	เลขที่แสดงบนแอลอีที 7 ส่วน
PB	0 1 2 3 4 5 6 7		
segment	a b c d e f g p t		
	1 1 0 1 1 0 1 0	005BH	2
	1 1 1 1 0 0 1 0	004FH	3
	0 0 1 0 0 1 1 0	0066H	4
	1 0 1 1 0 1 1 0	006DH	5
	0 0 1 1 1 1 1 0	007CH	6
	1 1 1 0 0 0 0 0	0007H	7
	1 1 1 1 1 1 1 0	007FH	8
	1 1 1 0 0 1 1 0	0067H	9
	0 0 0 0 0 0 0 1	0080H	.

* ไม่มีการแสดงผล

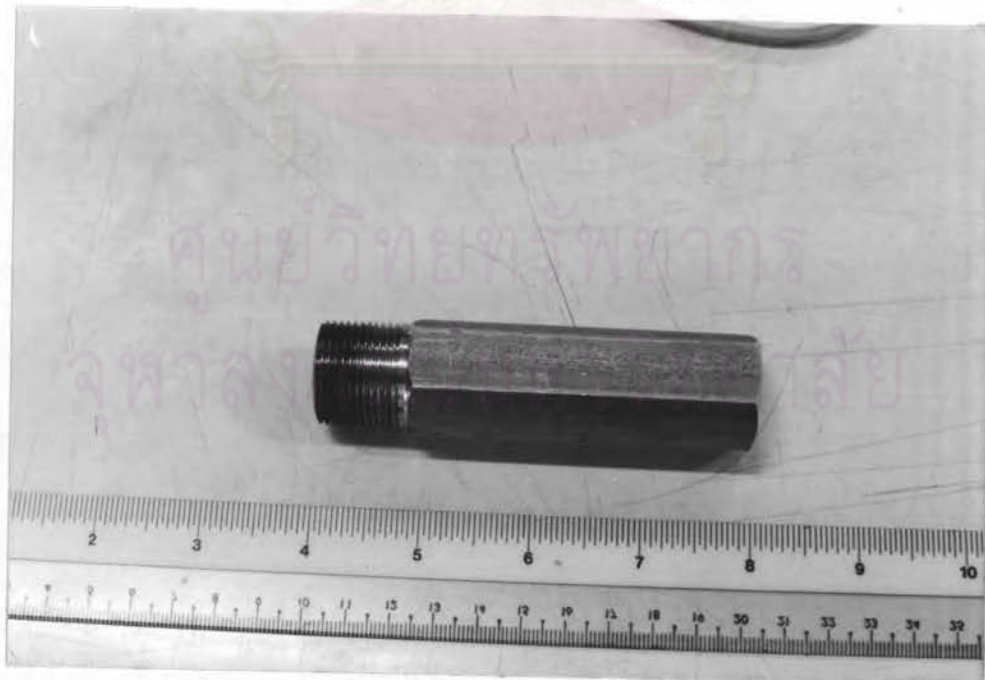
ตารางที่ 4.8 รหัสของคีย์ต่างๆ

7,70H	8,71H	9,72H
4,B0H	5,B1H	6,B2H
1,D0H	2,D1H	3,D2H
0,E0H	ENT,E1H	RES

สัญญาณจากพอร์ท C นอกจากจะใช้สัญญาณแอลอีดี 7 ส่วนแล้วยังใช้ในการสแกนคีย์ด้วย คีย์บอร์ดประกอบด้วยคีย์สวิตช์ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.17 ต่อกันเป็นแมทริกซ์ขนาด 3x4 ใช้งานเพียง 11 คีย์ เป็นคีย์ตัวเลข 10 คีย์ ได้แก่ 0 ถึง 9 ที่เหลืออีก 1 คีย์ใช้เป็นคีย์เอ็นเทอร์ คีย์ที่วางอยู่จะต่อกับขา RESET ของ Z80 พอร์ท C ส่วนบนอันได้แก่ PC4-PC6 จะเป็นอินพุตรับข้อมูลจากแผงคีย์

การสแกนคีย์ทำได้โดยการส่งสัญญาณสแกนซึ่งได้แก่ 000 001 010 011 100 ออกทางพอร์ท C ส่วนล่าง สัญญาณสแกนนี้จะถูกถอดรหัสโดย 74LS145 แล้วส่งไปยังคีย์ในแต่ละคอลัมน์ จากนั้นจะอ่านข้อมูลเข้าทางพอร์ท C ส่วนบน ค่าที่ได้จะเป็นค่ารหัสของคีย์ต่างๆซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 4.8 เมื่อได้รับรหัสของคีย์ที่กดแล้วจะนำมาเปลี่ยนเป็นค่าของคีย์โดยโปรแกรมอีกทีหนึ่ง

3.7 ระบบท่อของมานอมิเตอร์ ประกอบด้วยวาล์วเลขน้อยกว่าลวที่ใช้กับสุญญากาศจำนวน 2 ตัว ระบบท่อใช้ท่อทองแดงทำให้สามารถบัดกรีให้เชื่อมกับส่วนอื่นมาได้เพื่อมิให้เกิดการรั่วของอากาศ ส่วนที่บรรจุตัวอย่างทำจากสแตนเลส 6 เหลี่ยม คว้านภายในและกลึงเกลียวดังรูปที่ 4.18 เพื่อความสะดวกในการทำให้แน่นกับส่วนประกอบอื่นเพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ ขนาดที่ใช้คือเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว



รูปที่ 4.18 ลักษณะของส่วนบรรจุสารตัวอย่างที่ทำจากสแตนเลส

3.8 การออกแบบส่วนตัวถังของเครื่อง ใช้แผ่นอลูมิเนียมหนาประมาณ 1 mm ทำเป็นตู้บรรจุส่วนที่ใช้ทำการวัดความดันทั้งหมด ส่วนที่ทำเนิคความร้อนจะอยู่ด้านบนของตู้ มีพัดลมที่จะดูดอากาศภายในตู้ผ่าน heater แล้วเป่าอากาศที่ถูกทำให้ร้อนแล้วกลับเข้าสู่ภายในตู้ ดังนั้นขนาดของตู้จึงต้องขึ้นอยู่กับขนาดของส่วนดังกล่าว นอกจากนี้การออกแบบให้มีพัดลมจะทำให้อากาศมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีการกระจายของอุณหภูมิได้อย่างทั่วถึง จากการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (on-off) เพื่อมิให้เกิดการที่อุณหภูมิสูงเกินไป (overheat) จึงได้มีการใช้วัสดุป้องกันการถ่ายเทความร้อน (insulator) ด้านหน้าของตู้จะเป็นประตูเปิดเข้าสู่ภายในเพื่อการบรรจุตัวอย่าง ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะบรรจุอยู่ในกล่องต่างหากซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่บนแท่นเดียวกันกับตู้ที่บรรจุส่วนมานอิมิเตอร์ ด้านหน้าของกล่องจะได้รับการติดตั้งส่วนของคีย์บอร์ดและส่วนแสดงผล

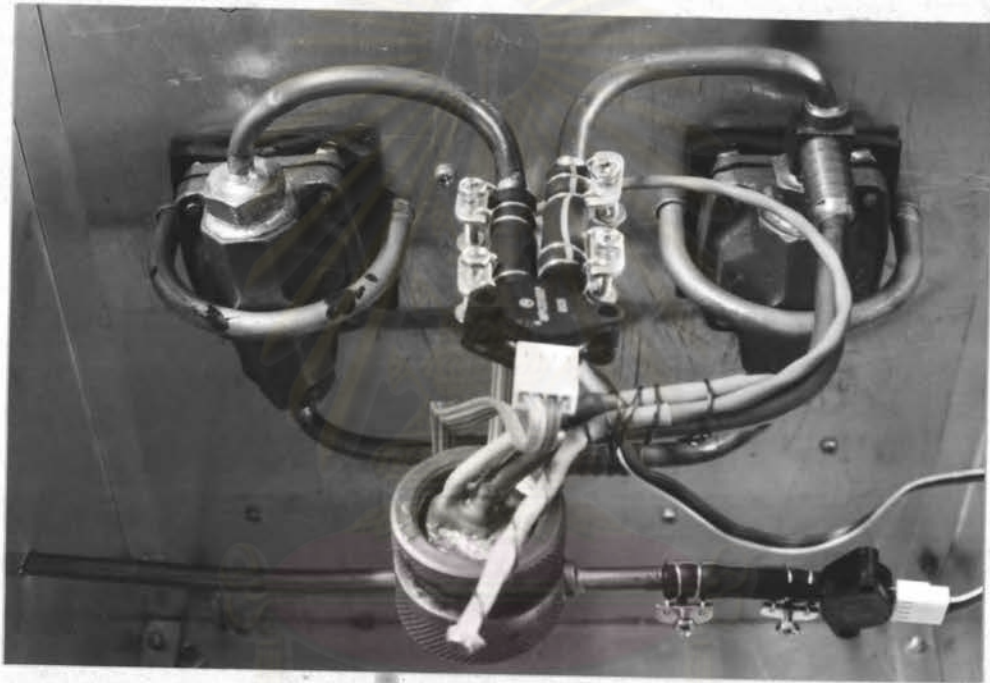
4. การพัฒนาฮาร์ดแวร์ (Hardware development)

เริ่มจากการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์จากวงจรที่ได้รับการออกแบบไว้แล้ว เมื่อได้แผ่นวงจรพิมพ์มาแล้วจึงประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงไป อุปกรณ์สัณยฆอยที่ใช้ เช่น ความต้านทาน และตัวเก็บประจุจะต้องเลือกที่มีค่าความผิดพลาดต่ำเนื่องจากระบบเป็นแบบที่ต้องการความถูกต้องของระดับแรงดันตามจุดต่างๆ การที่อุปกรณ์มีความผิดพลาดสูงอาจทำให้การวัดผิดพลาดได้ โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิงควรใช้แบบปรับค่าได้อย่างละเอียดจึงจะสามารถปรับแรงดันอ้างอิงได้ถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้ การเดินสายเชื่อมต่างๆควรให้เป็นระเบียบรวมให้เป็นหมวดหมู่ จะทำให้ลดความผิดพลาดในการที่จะต่อสายผิดอันอาจทำให้เกิดการเสียหายของอุปกรณ์ได้ และยังช่วยลดสัญญาณรบกวนอีกด้วย จากนั้นจึงประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน ประกอบส่วนวัดความดันอันได้แก่ MPX2010 และระบบท่อ รวมทั้งโซลีนอยด์วาล์วเข้าด้วยกัน รอยต่อของท่อต่างๆจะต้องต่อกันให้สนิทห้ามมีการรั่วของอากาศได้ อาจต้องใช้วัสดุบางอย่างเข้าช่วยเพื่อป้องกันการรั่ว เนื่องจากถ้าหากเกิดการรั่วขึ้นแล้วจะทำให้เครื่องมือทางานผิดพลาดได้ มานอิมิเตอร์ที่ประกอบเสร็จแล้วมีลักษณะดังรูปที่ 4.19 และ เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นใช้ในการทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 4.20

5. การเขียนโปรแกรมควบคุม (Software development) (13)

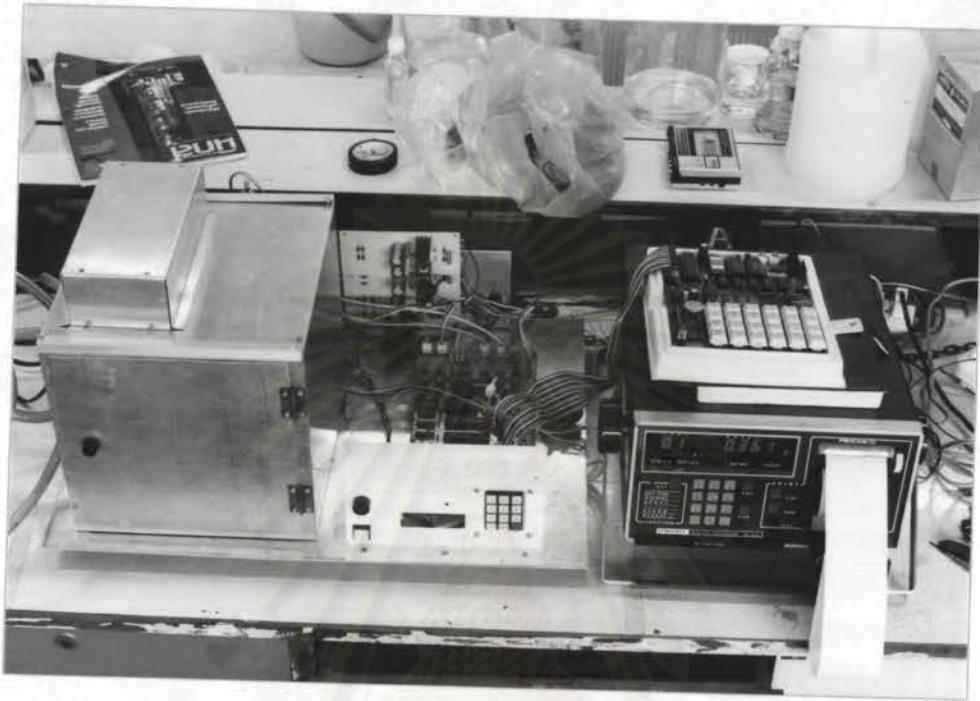
โปรแกรมควบคุมถูกเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีบนเครื่อง IBM PC แล้วแปลโดยโปรแกรม X80 แล้วลิงค์ (link) ได้เป็นโปรแกรมภาษาเครื่อง (machine code) ใน

รูปเลขฐานสอง ถ่ายโปรแกรมที่เบลเป็นภาษาเครื่องแล้วลงในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เขียว Z80 ET BOARD เพื่อที่จะใช้จำลองการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้น เมื่อการทำงานของเครื่อง เป็นไปตามที่ต้องการแล้วบรรจุโปรแกรมที่เขียนขึ้นลงในหน่วยความจำถาวรของเครื่องที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.19 ระบบของมานอมิเตอร์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

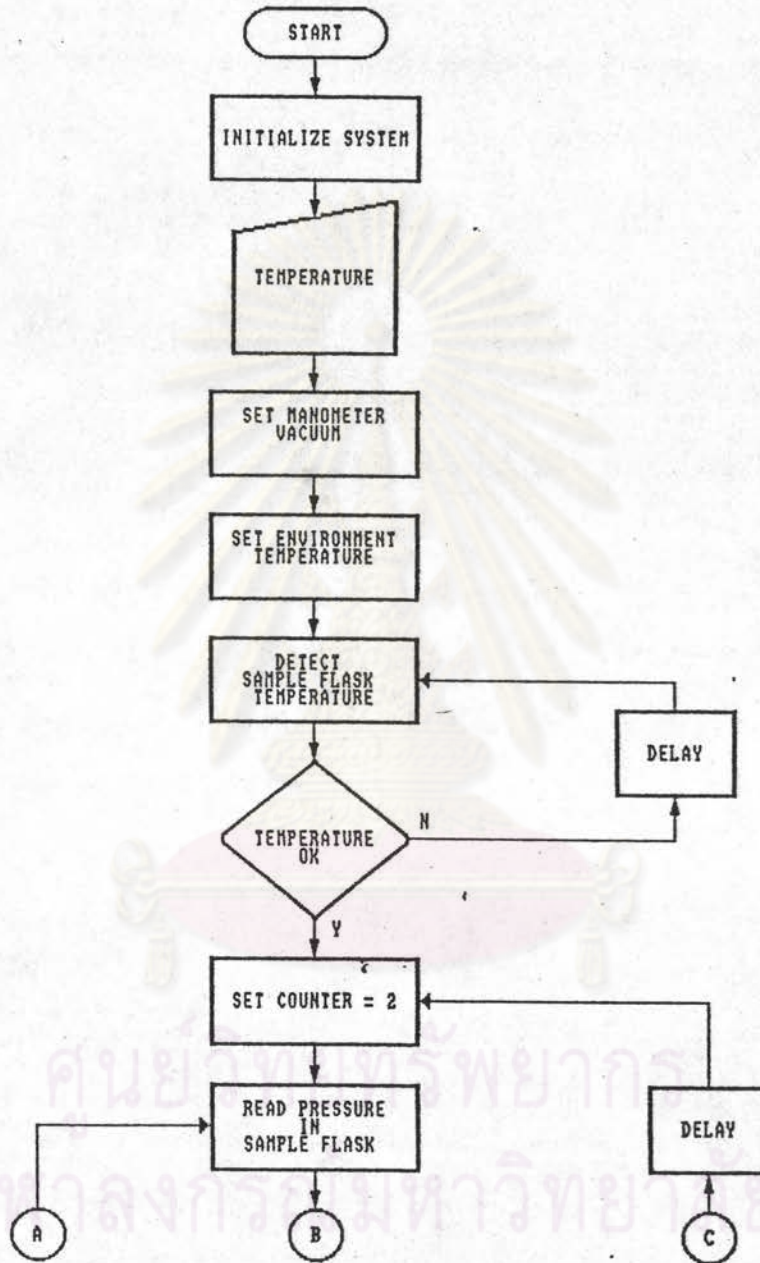


รูปที่ 4.20 ลักษณะภายนอกของ เครื่องต้นแบบ

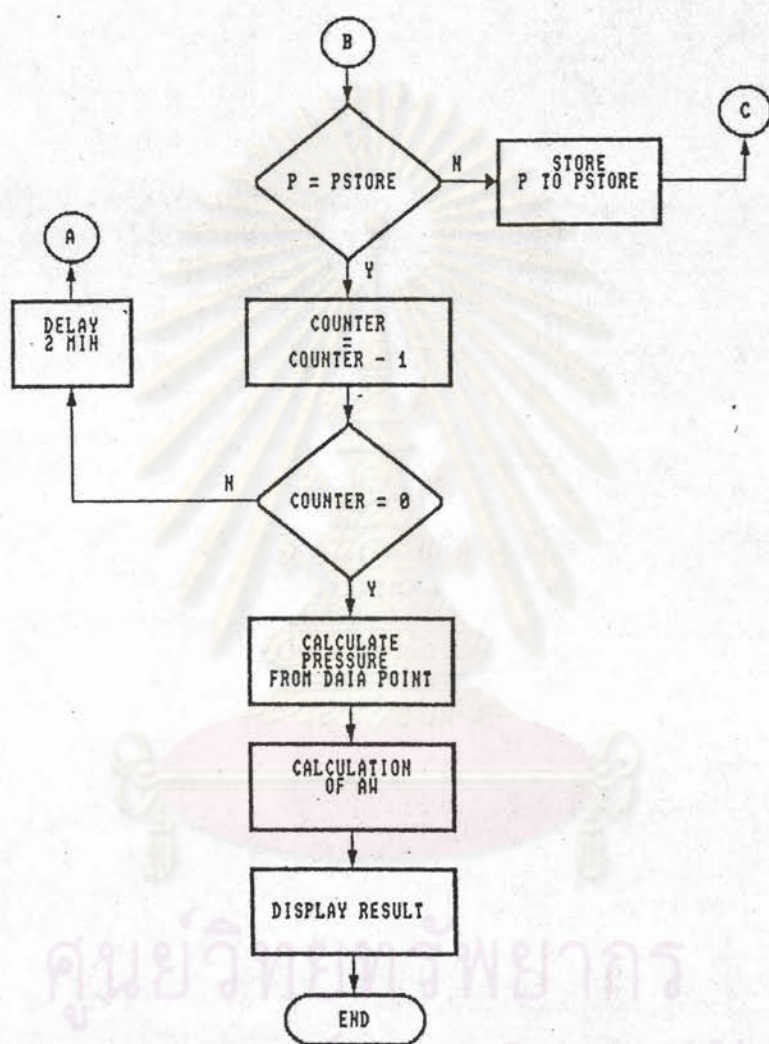
ส่วนของโปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็นโปรแกรมย่อย และโปรแกรมหลัก ซึ่งในส่วน
 ส่วนของโปรแกรมหลักจะได้โครงสร้างมาจากการทำงานของ เครื่อง ซึ่งสามารถสรุปออกมา
 เป็นข้อๆได้ดังนี้

1. รับข้อมูลอุณหภูมิจำนวน 2 หลัก
2. ทหาระบบให้เป็นสัญญาณ
3. ส่งข้อมูลอุณหภูมิให้อิ เลคทรอนิก เทอร์มิสตัท
4. ตรวจสอบอุณหภูมิภายในขวดบรรจุสารตัวอย่าง
5. อ่านค่าความดันไอของสารตัวอย่างที่สภาวะสมดุลย์
6. คำนวณค่าวอ เทอร์แอคทิวิตีจากค่าความดันไอที่วัดได้
7. แสดงค่าวอ เทอร์แอคทิวิตีที่คำนวณได้ทางแผงแสดงผล

จากที่กล่าวมาสามารถนำมาเขียนเป็นผังงาน(flow chart) ได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผังงานของโปรแกรมหลัก



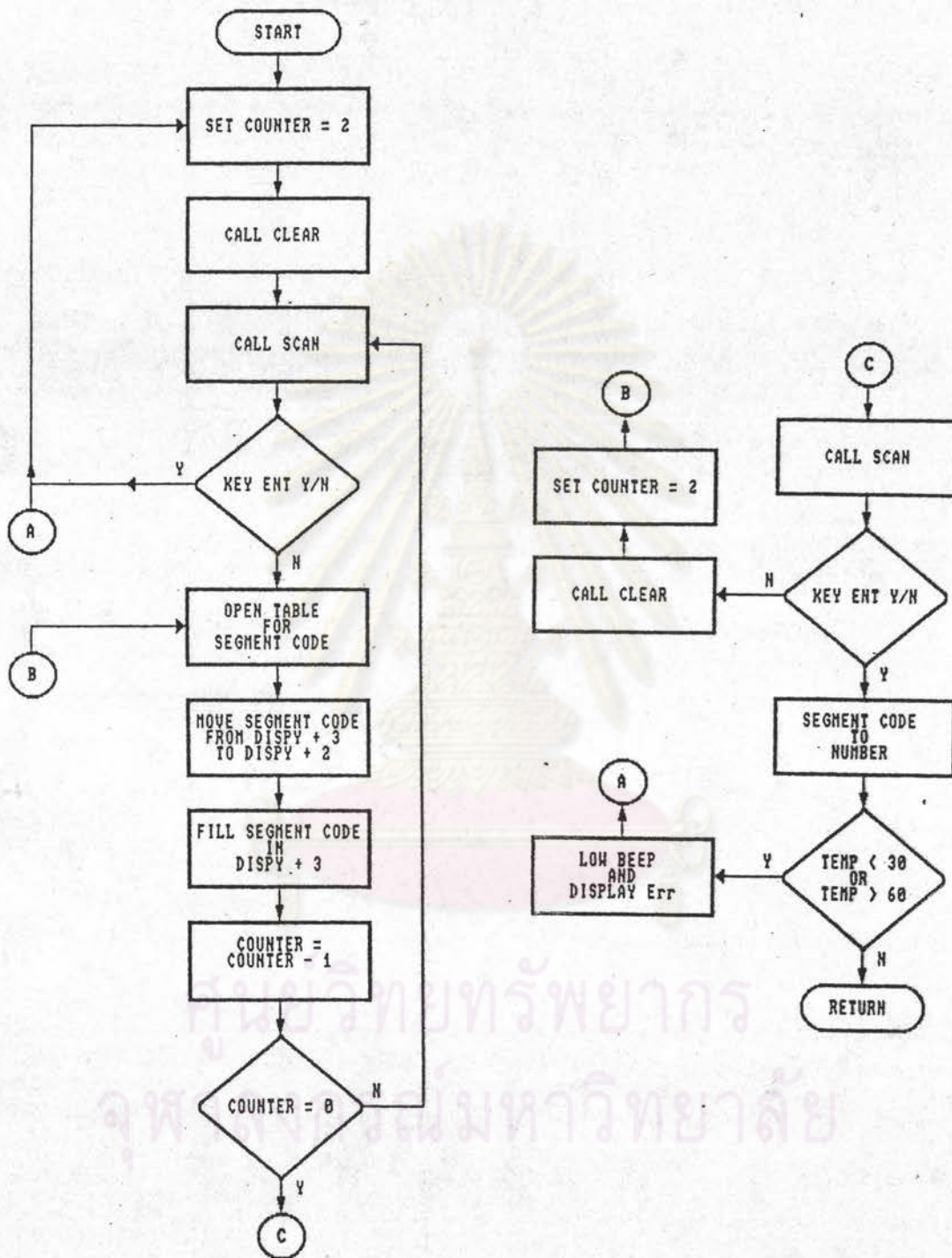
รูปที่ 4.21 (ต่อ)ผังงานของโปรแกรมหลัก

1. โปรแกรมย่อยรับข้อมูลอุณหภูมิ(temperature input submain)

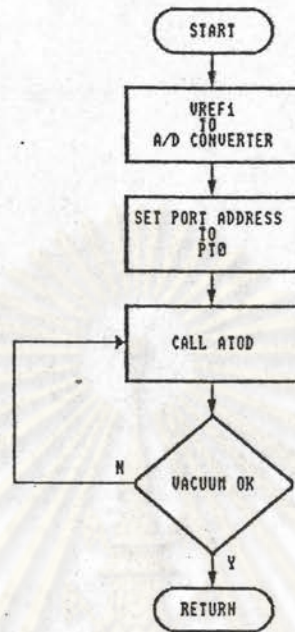
การรับข้อมูลอุณหภูมิต้องการเพียง 2 หลัก โดยการสแกนคีย์ 3 ครั้ง สำหรับครั้งที่ 3 เป็นการสแกนคีย์เอ็นเทอร์เพื่อบอกการสิ้นสุดการป้อนข้อมูล นอกจากนี้ยังต้องมีการตรวจสอบความผิดพลาดในการป้อนข้อมูล ดังนั้นโปรแกรมย่อยรับข้อมูลอุณหภูมิจึงมีการทำงานดังนี้

- 1 ตั้งตัวนับเป็น 2
- 2 หาหน่วยความจำที่ค้องใช้เป็นบัฟเฟอร์ค่าว่างหรือมุมที่จะรับข้อมูล
- 3 เรียกโปรแกรมย่อยสแกนคีย์
- 4 ตรวจสอบว่าเป็นคีย์เอ็นเทอร์หรือไม่ ถ้าเป็นคีย์เอ็นเทอร์ให้แสดงความผิดพลาดแล้วกลับไป 1
- 5 เปิดตารางหาค่าคีย์จากรหัสของคีย์ที่ได้รับการกด
- 6 ย้ายข้อมูลที่อยู่บนบัฟเฟอร์การแสดงผลหลักที่ 3 ไปไว้ที่หลักที่ 2
- 7 นำข้อมูลที่ได้มาใหม่บรรจุลงในบัฟเฟอร์ตำแหน่งที่ 3
- 8 ลดค่าตัวนับลง 1
- 9 ค่าของตัวนับเป็น 0 หรือไม่ ถ้าไม่ เป็น 0 กลับไปที่ 3
- 10 เรียกโปรแกรมย่อยสแกนคีย์
- 11 ตรวจสอบว่าเป็นคีย์เอ็นเทอร์หรือไม่ ถ้าไม่ เป็นคีย์เอ็นเทอร์ ทำบัฟเฟอร์ให้ว่าง ตั้งตัวนับให้เป็น 2 แล้วกลับไป 5
- 12 นำข้อมูล 2 หลักที่ได้ไปหาค่าที่เป็นข้อมูลตัวเลข
- 13 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่าอยู่ระหว่างพิสัยที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในพิสัยให้แสดงความผิดพลาดแล้วกลับไป 1
- 14 เก็บค่าอุณหภูมิที่ได้ไว้ในหน่วยความจำ
- 15 กลับไปหาโปรแกรมหลักต่อ

จากลำดับการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้สามารถเขียนเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผังงานของโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลจากเทอร์มินัล



รูปที่ 4.23 ผังงานของโปรแกรมย่อยการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศ

2. โปรแกรมย่อยการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศ(vacuum setting submain)

ในโปรแกรมย่อยนี้จะต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น วาล์ว และ เครื่องกำเนิดสุญญากาศ มีการตรวจสอบความดันสุญญากาศที่ได้ เพื่อควบคุมให้เป็นไปตามต้องการ มีการทำงานดังนี้

1. กำหนดแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการแปลงสัญญาณให้แก่ A/D converter
2. กำหนดหมายเลขอินพุทพอร์ทให้กับโปรแกรมย่อยอ่านข้อมูลจาก A/D converter
3. ส่งรหัสที่ใช้เปิดวาล์วและ เครื่องกำเนิดสุญญากาศออกไปยังพอร์ทควบคุม
4. เรียกโปรแกรมย่อยอ่านข้อมูลจาก A/D converter

5. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ว่าได้ตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ด้านกลับ
ไปที่ 4
6. กลับไปหาโปรแกรมหลักต่อ

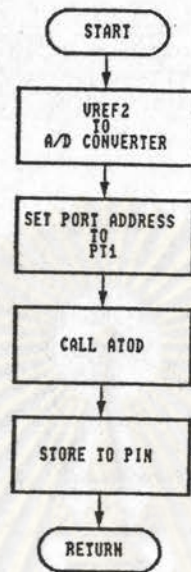
เขียนเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 4.23

3. โปรแกรมย่อยอ่านค่าความดันไอน้ำ (pressure reading submain)
โปรแกรมจะต้องมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความดันในระบบ
เพื่อจะดูว่าระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลหรือไม่ ซึ่งแต่ละรอบของการอ่านค่าความดันจะมีการหน่วง
เวลาประมาณ 10 วินาที ซึ่งโปรแกรมจะมีการทำงานดังต่อไปนี้

1. กำหนดแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการแปลงสัญญาณให้แก่
A/D converter
2. กำหนดหมายเลขอินพุทพอร์ตให้กับโปรแกรมย่อยอ่านข้อมูลจาก
A/D converter
3. เรียกโปรแกรมย่อยอ่านข้อมูลจาก A/D converter
4. เก็บค่าที่ได้ในตัวแปร PIN
5. กลับไปหาโปรแกรมหลักต่อ

ผังงานแสดงดังรูปที่ 4.24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



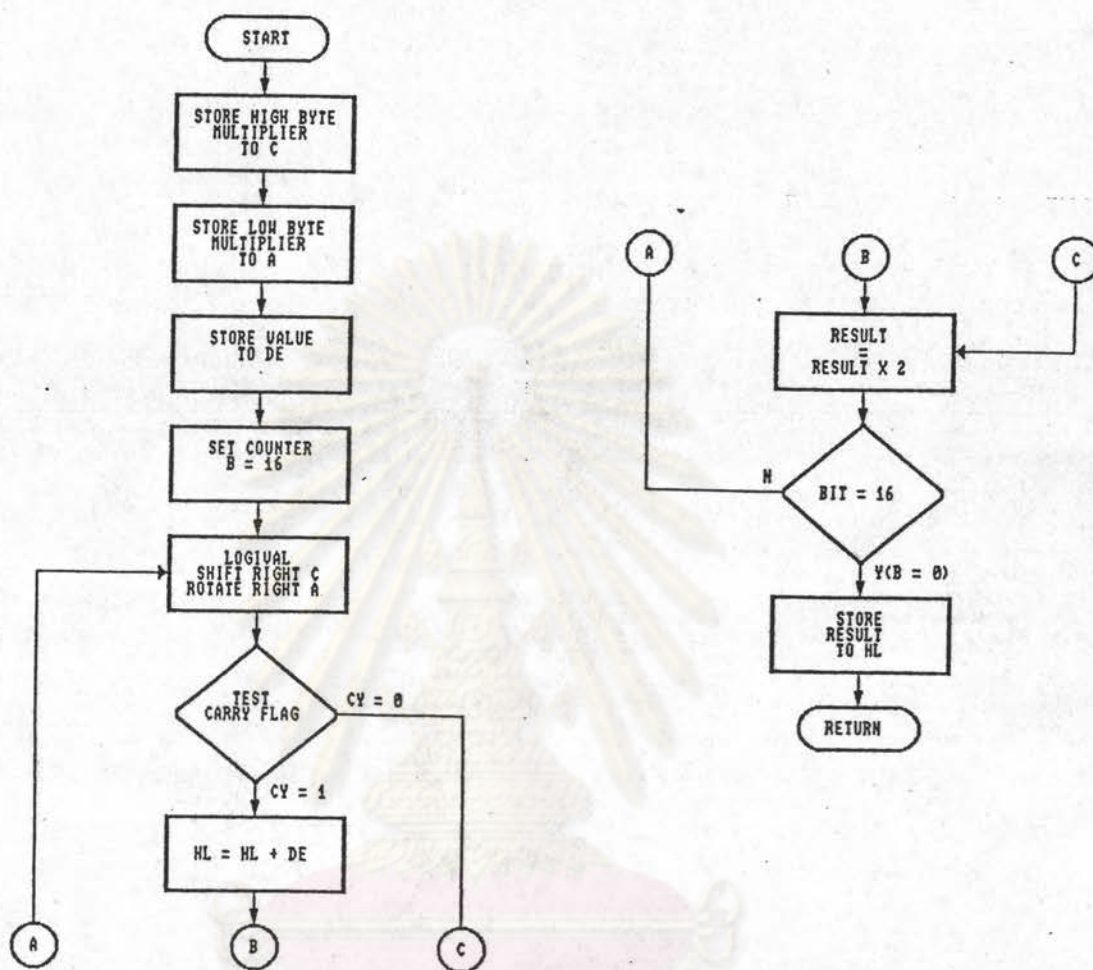
รูปที่ 4.24 ผังงานของโปรแกรมย่อยอ่านค่าความดันไอน้ำ

4. โปรแกรมย่อยคำนวณค่าอวเทอร์แอคทีวิตี(Aw calculation submain)

1. นำข้อมูลจากตัวแปร PSTORE ไปคูณด้วย 5.4 ซึ่งเป็นค่าความดันที่ 1 LSB จะได้ค่าความดันไอที่วัดได้
2. นำข้อมูลค่าอุณหภูมิจากตัวแปร TEMP มาเปิดตารางหาค่าความดันไอของน้ำบริสุทธิ์
3. หาค่าความดันจากข้อ 1 ด้วยค่าความดันจากข้อ 2

5. โปรแกรมย่อยการคูณ(14)

ใช้หลักการของการเลื่อนบิตข้อมูลไปทางซ้าย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2^n โดย n เท่ากับ จำนวนบิตที่ต้องการเลื่อน จะมีการทดสอบบิตของตัวคูณ ถ้าเป็น 0 จะบวกผลลัพธ์ตัวก่อนด้วย 0 ถ้าเป็น 1 จะบวกผลลัพธ์ตัวก่อนด้วยตัวตั้ง ผลจากการคูณในแต่ละบิตจะมีการเลื่อนบิตของผลลัพธ์ให้ตรงกับตำแหน่งของตัวคูณ ผังงานแสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ผังงานของโปรแกรมย่อยการคูณ

6. โปรแกรมย่อยการหาร(14)

1. รีจิสเตอร์ A เป็น counter ของการหารซึ่งเท่ากับจำนวนบิตที่ต้องการหาร
2. ในโปรแกรมนี้ HL ถูกใช้เป็น working register คือใช้สำหรับการลบด้วย ถ้าตัวตั้งมากกว่าตัวหารจะมีการลบเกิดขึ้น เก็บผลลัพธ์ใน HL
3. ในโปรแกรมนี้จะใช้ DE คู่กับ HL โดย DE จะถูกเลื่อนเข้าไปใน HL สิ่งที่เกิดขึ้นจะสลับกับการคูณด้วยมือ คือในการคูณด้วยมือ

ตัวหารจะถูก shift ขวา แต่ในโปรแกรมตัวตั้งและผลลัพธ์จะถูก shift ซ้าย ไปพร้อมกันที่ละบิต ซึ่งจะให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

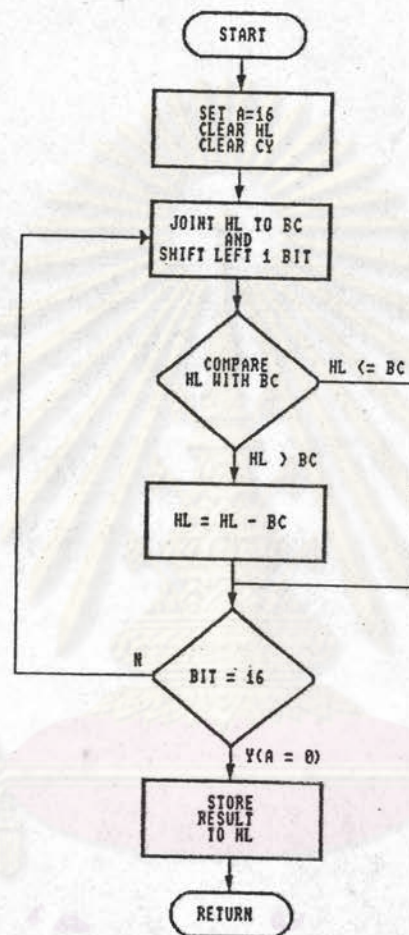
4. จะมีการเปรียบเทียบ HL กับ BC ถ้า $HL > BC$ จะมีการทำให้ $HL = HL - BC$ และ carry flag จะถูกเซ็ทเป็น "1" โดยอัตโนมัติ แต่ถ้า $HL < BC$ จะไม่มีการลบเกิดขึ้น carry flag จะถูกเซ็ทเป็น "0"
5. เพราะว่าบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดของ DE ไม่มีข้อมูลอยู่ ดังนั้นจึงมีการ shift carry flag ที่เกิดขึ้น (ซึ่งก็คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการหารนั่นเอง) เข้าไปในบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดครั้งละหนึ่งตำแหน่ง

ผังงานแสดงดังรูปที่ 4.26

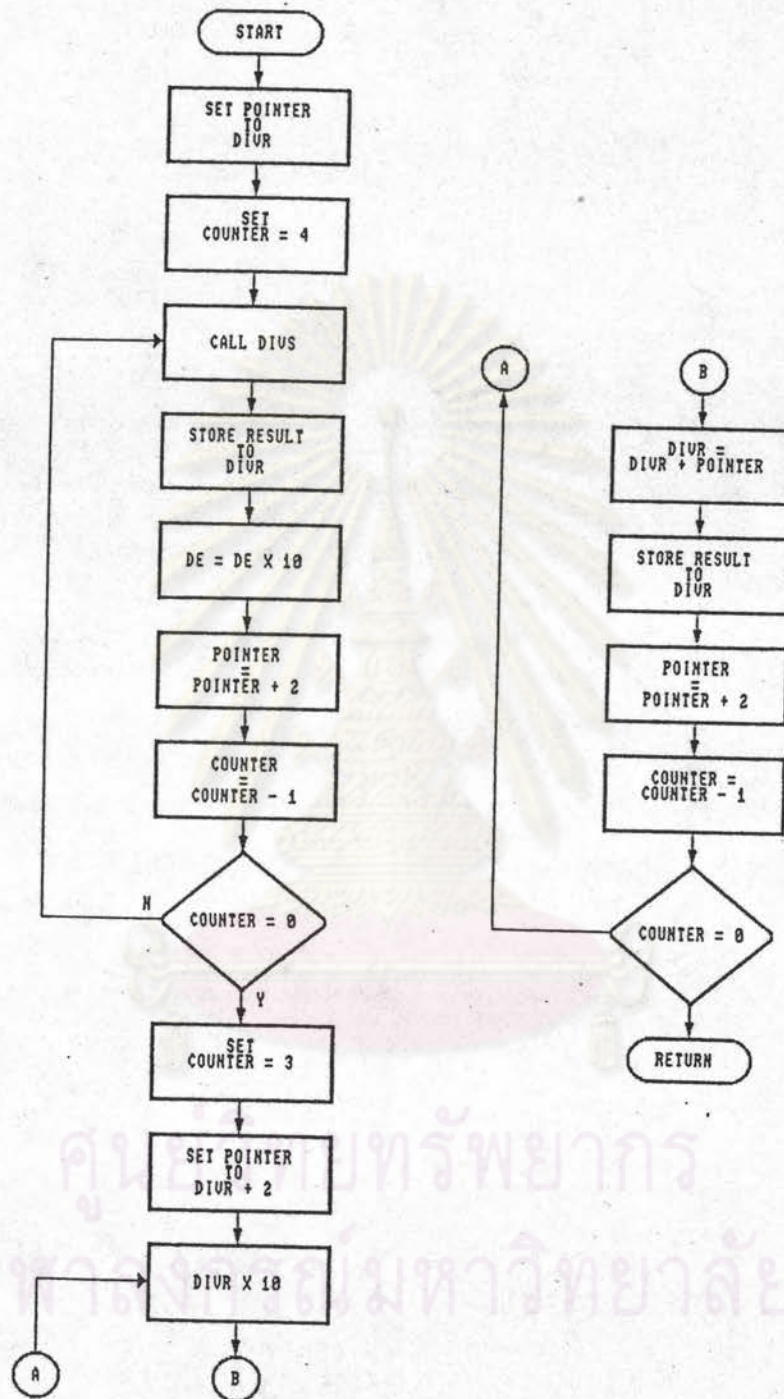
7. โปรแกรมย่อยหารเลขขนาด 32 บิต ด้วย 16 บิต

โปรแกรมจะใช้หลักการของวิธีการยาวโดยคูณเศษที่เหลือด้วย 10 แล้วหารด้วยตัวหารจนได้ผลลัพธ์ 4 จำนวน จากนั้นจึงนำผลลัพธ์หลักแรกทางซ้ายมาคูณด้วย 10 แล้วบวกด้วยหลักถัดไป แล้วทำแบบเดียวกันกับผลลัพธ์หลักถัดไป ผังงานแสดงดังรูปที่ 4.27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 ผังงานของโปรแกรมย่อยการหาร



รูปที่ 4.27 ฟังงานของโปรแกรมย่อยหารเลขขนาด 32 บิต ด้วย 16 บิต

ผลการทดสอบเครื่อง

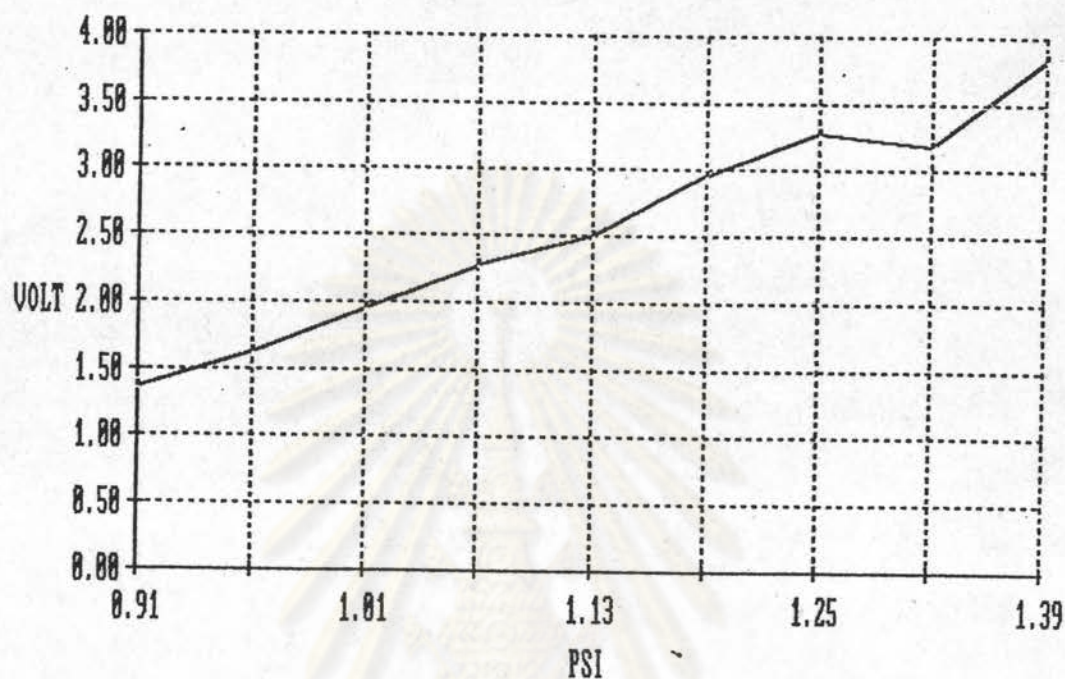
1. ผลการทดสอบความเป็นเส้นตรงของ เครื่องมือ

จากการวัดค่าความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.9 เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างความดันและแรงดันไฟฟ้าจะได้กราฟดังรูปที่ 4.28 ผลของ regression analysis แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.9 แรงดันที่จุด TP2 และความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (PSI)	แรงดันที่ได้จากการคำนวณ* (V)	แรงดันที่วัดได้ (V)
37	0.908	2.62	1.36
38	0.958	2.76	1.63
39	1.014	2.92	1.96
40	0.869	3.08	2.28
41	1.127	3.25	2.50
42	1.090	3.42	2.96
43	1.252	3.61	3.27
44	1.328	3.80	3.18
45	1.388	4.00	3.83

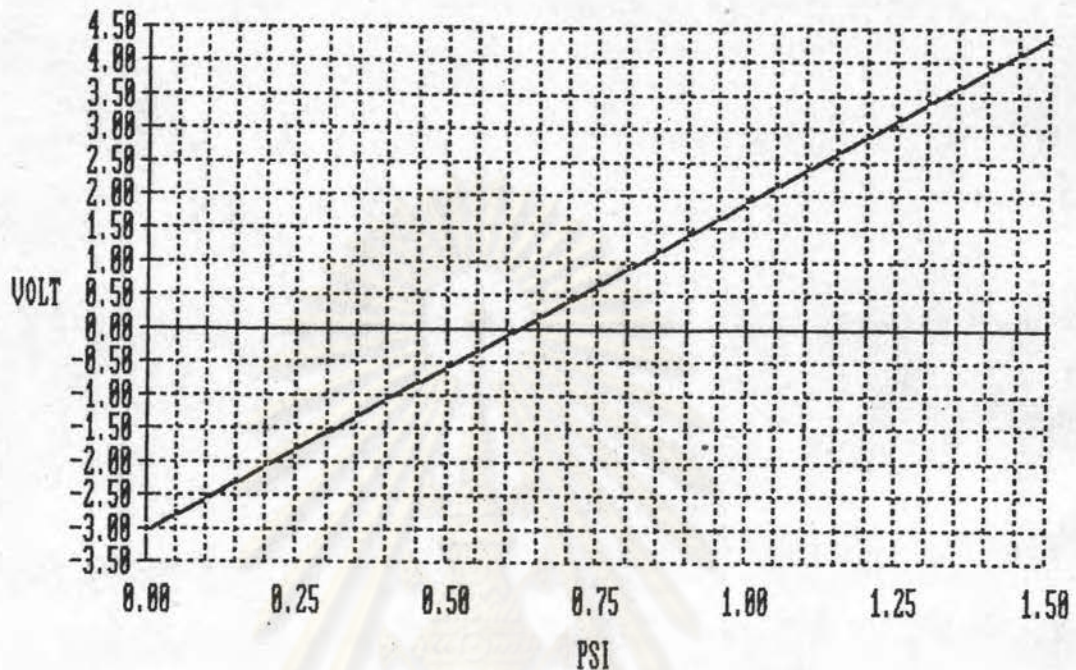
* $4/1.388 \times$ ความดัน



รูปที่ 4.28 กราฟระหว่างความดันและแรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 4.10 ผลของ regression analysis ระหว่างความดัน(X) และแรงดันไฟฟ้า(Y)

Constant	-3.06415
Std Err of Y Est	0.135328
R Squared	0.976294
No. of Observations	9
Degrees of Freedom	7
X Coefficient(s)	4.944961
Std Err of Coef.	0.291240



รูปที่ 4.29 กราฟแสดง regression ระหว่างความดัน(X) และแรงดันไฟฟ้า(Y)

จากการทดลองจะเห็นว่าความดันและแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นเส้นตรง แต่แรงดันไฟฟ้าที่ความดันค่าต่าง ๆ ไม่ตรงกับที่คำนวณได้ เนื่องจากความดันเริ่มต้นของระบบที่ไม่เป็นสภาวะอากาศอย่างสมบูรณ์ ทำให้ความดันด้านสภาวะอากาศของอุปกรณ์วัดความดันมีผลต่อค่าความดันทางด้านชวคบรรจุตัวอย่าง เมื่อความดันด้านชวคบรรจุตัวอย่างมีค่าน้อยๆ แต่เมื่อความดันด้านชวคบรรจุตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความดันทางด้านสภาวะอากาศมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความดันด้านชวคบรรจุตัวอย่าง จึงมีผลต่อความดันที่วัดได้น้อยลง เรื่องความการเพิ่มขึ้นของความดันด้านชวคบรรจุตัวอย่าง ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงการคำนวณค่าความดันที่วัดได้ โดยทดลองวัดค่าความดันของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการคำนวณความดันที่ถูกต้อง ความดันที่วัดครั้งนี้จะได้จากการนำ A/D converter แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นตำแหน่งข้อมูล ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นค่าความดันได้โดยการคูณด้วย $5.4/1000$ ซึ่งได้จากค่าความดันเต็มสเกลหารด้วย 255 ซึ่งเป็นตำแหน่งข้อมูลสูงสุดของ A/D converter ขนาด 8 บิต ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.30 จากนั้นทำ linear regression

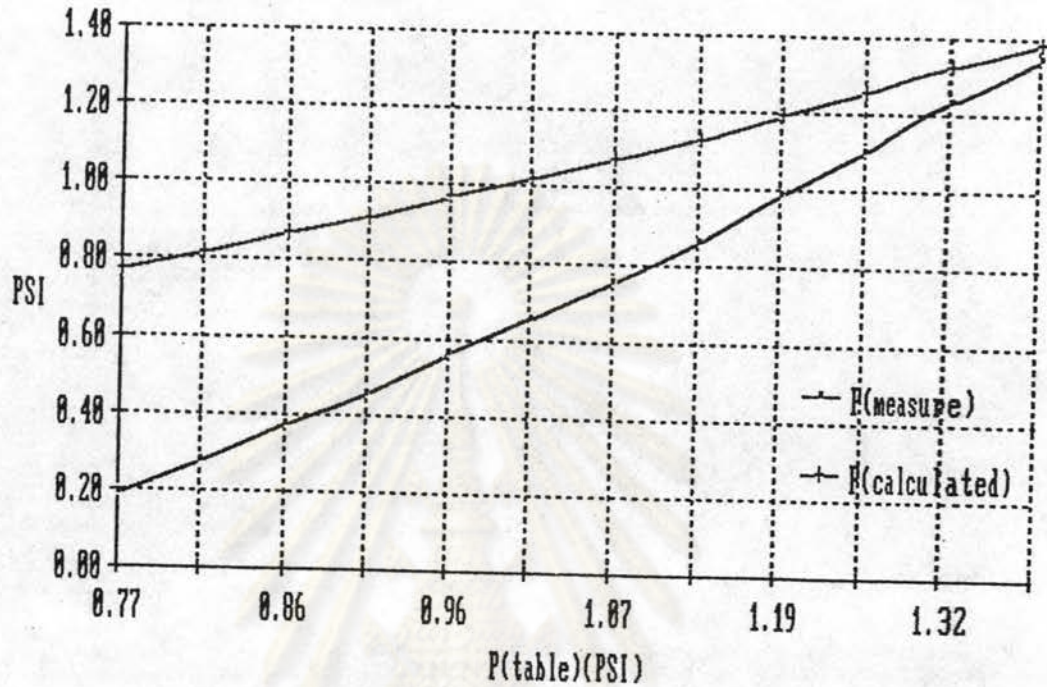
ระหว่างความดันที่วัดได้กับความดันจริง ผลแสดงดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.11 ตำแหน่งข้อมูลและค่าความดันที่วัดได้ ณ อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งข้อมูล			ความดัน(PSI)		
	replicate 1	2	3	ค่าเฉลี่ย	วัดได้ ^๑	ตาราง ^๒
34	59	20	26	35	0.189	0.771
35	73	35	44	51	0.274	0.814
36	87	54	66	69	0.373	0.860
37	101	68	83	84	0.454	0.908
38	115	93	104	104	0.562	0.959
39	134	109	121	121	0.655	1.014
40	152	126	140	139	0.752	1.070
41	168	150	159	159	0.859	1.128
42	192	170	185	182	0.985	1.189
43	214	191	205	203	1.098	1.252
44	237	218	227	227	1.228	1.319
45	255	242	248	248	1.341	1.388

^๑ 5.4xdata point/1000

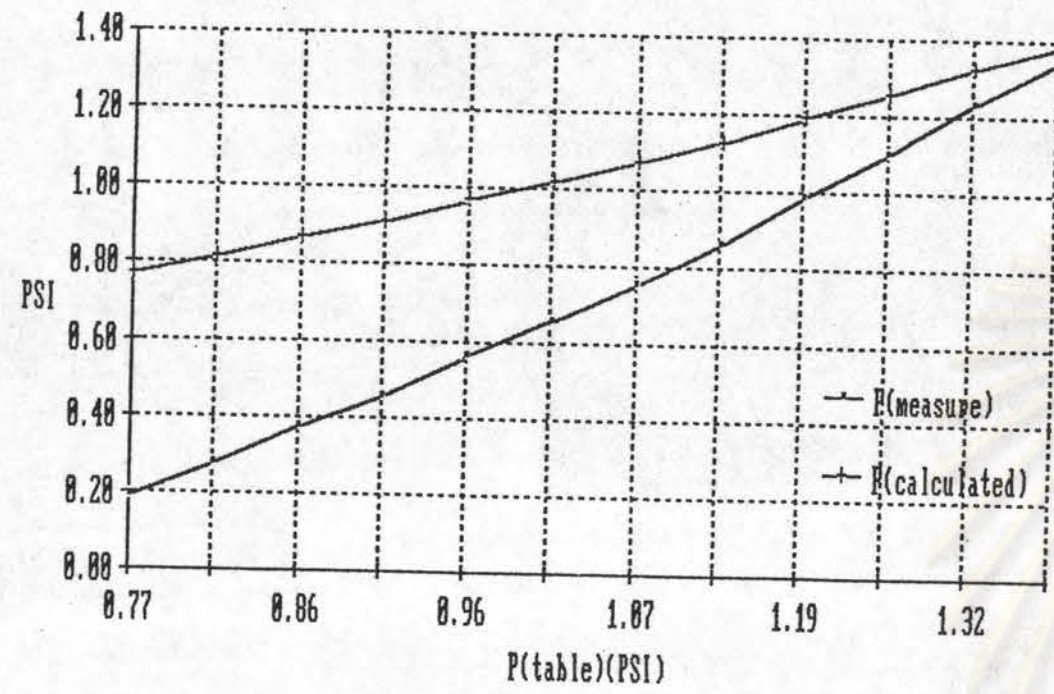
^๒ ตารางไอน้ำ(10)



รูปที่ 4.30 กราฟระหว่างความดันที่วัดได้จาก MPX2010DP และความดันจากตาราง

ตารางที่ 4.12 ผลของ regression analysis ระหว่างความดันที่วัดได้(X) และความดันจากตาราง(Y)

Constant	0.664760
Std Err of Y Est	0.004068
R Squared	0.999633
No. of Observations	12
Degrees of Freedom	10
X Coefficient(s)	0.535364
Std Err of Coef.	0.003239

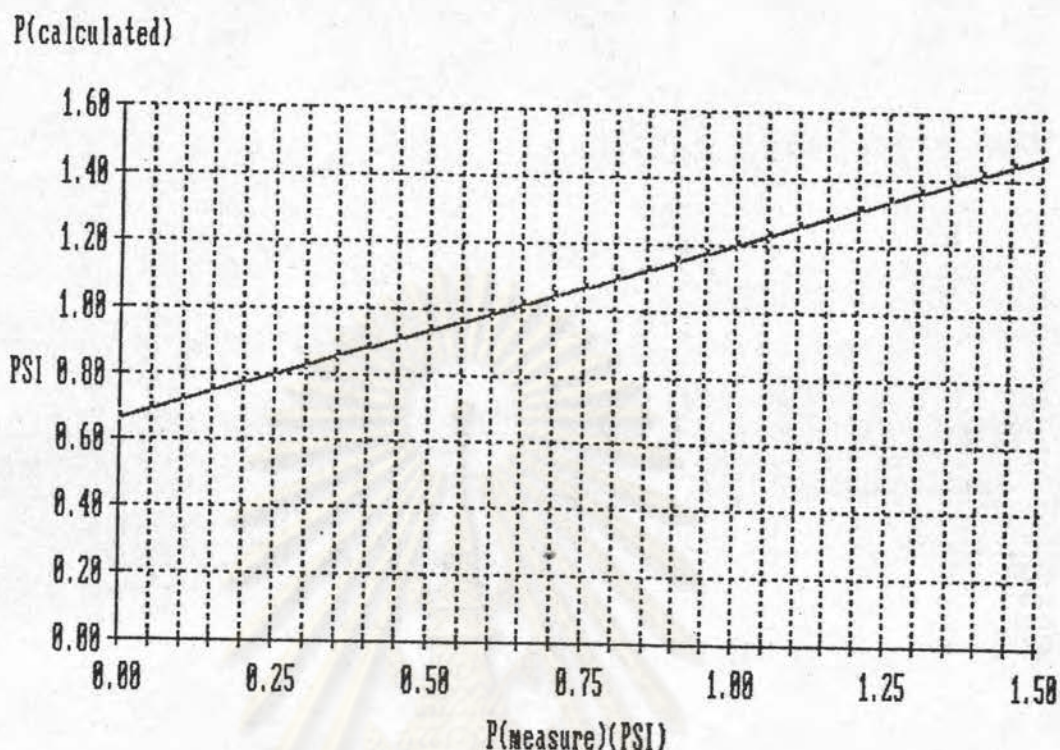


รูปที่ 4.30 กราฟระหว่างความดันที่วัดได้จาก MPX2010DP และความดันจากตาราง

ตารางที่ 4.12 ผลของ regression analysis ระหว่างความดันที่วัดได้(X) และความดันจากตาราง(Y)

Constant	0.664760
Std Err of Y Est	0.004068
R Squared	0.999633
No. of Observations	12
Degrees of Freedom	10
X Coefficient(s)	0.535364
Std Err of Coef.	0.003239

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 วิทยาลัย



รูปที่ 4.31 กราฟแสดง regression ระหว่างความดัน(X) และความดันทางทฤษฎี(Y)

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความดันต่ำสุดที่สามารถวัดได้จะต้องมีค่ามากกว่า 0.66 PSI ซึ่งเป็นผลมาจากความดันเริ่มต้นของระบบประกอบกับความผิดพลาดของวาล์ว เนื่องจากการที่วาล์วทั้ง 2 ตัวอาจปิดไม่พร้อมกันเมื่อได้รับสัญญาณให้ปิดวาล์ว ซึ่งหากเกิดขึ้นในสภาวะที่ความดันเป็นสูญญากาศอย่างสมบูรณ์ก็จะไม่มีผลต่อความดันที่วัดได้ นอกจากนี้เครื่องกำเนิดสูญญากาศที่ใช้เป็นแบบที่ป้องกันการไหลกลับของอากาศจึงไม่สามารถปิดเครื่องกำเนิดสูญญากาศก่อนที่จะปิดวาล์วได้ การปิดของวาล์วที่พร้อมกัน แม้จะเป็นช่วงเวลาเพียงเล็กน้อยก็อาจก่อให้เกิดความแตกต่างของความดันขึ้นระหว่าง 2 ด้านของอุปกรณ์วัดความดันได้ วาล์วที่ใช้ซึ่งมีลักษณะเป็นโคอะแพรมที่หาคำด้วยวัสดุประเภทยางก็อาจก่อให้เกิดความไม่สมดุลย์ระหว่าง 2 ด้านของอุปกรณ์วัดความดันได้เนื่องจากความยืดหยุ่นของโคอะแพรม ดังนั้นเมื่อมีแรงที่เกิดจากความดันมากกระทำจะทำให้โคอะแพรมเกิดการยืดหรือหดตัว ถ้าหากความยืดหยุ่นของโคอะแพรมของวาล์วทั้ง 2 ตัวมีค่าไม่เท่ากันก็จะทำให้ความดันที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดความดันไม่เท่ากับ 0 ในขณะที่ไม่มีตัวอยู่ภายในระบบ

จาก regression ระหว่างความชื้นที่วัดได้กับความชื้นจากตาราง คัดแปลง
โปรแกรมให้มีการคำนวณค่าความชื้นที่วัดได้ให้มีค่าที่ถูกต้องโดยการคูณความชื้นที่วัดได้ด้วย
0.54 แล้วบวกด้วย 0.665

2. ผลการทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการวัดของ เครื่องมือ

จากการวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิ
calibration curve ที่หาที่อุณหภูมิเริ่มต้น 33 °C ได้ผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

อุณหภูมิ (°C)	Aw		
	measure	mean	SD
36	1.002	1.0346	0.0321
38	1.084		
40	1.022		
42	1.005		
44	1.060		

การทำ calibration curve ที่อุณหภูมิเริ่มต้นค่าหนึ่งจะหาให้ค่าวอเตอร์
แอคทิวิตีที่ถูกต้องได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานเครื่องที่อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับเมื่อค้นหา
calibration curve เนื่องจากการใช้อุปกรณ์วัดความชื้น(MPX200GVP)ที่เน้นการชดเชย
อุณหภูมิ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้การหาให้ระบบเป็นสูญากาศเปลี่ยนแปลง
ความชื้นเริ่มต้นในระบบก็จะเปลี่ยนแปลงด้วยดังนั้นจะเห็นได้จาก calibration curve ที่หาที่
อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และผลจาก regression แสดงดังตาราง
ที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 ตำแหน่งข้อมูลและค่าความดันที่วัดได้ ณ อุณหภูมิต่างๆ เมื่ออุณหภูมิ เริ่มต้น 25°C

อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งข้อมูล	ความดัน(PSI)	
		วัดได้ ^a	ตาราง ^b
34	100	0.540	0.771
35	111	0.599	0.814
36	128	0.691	0.860
37	144	0.778	0.908
38	160	0.864	0.959
39	171	0.923	1.014
40	185	0.999	1.070
41	199	1.075	1.128
42	214	1.156	1.189
43	227	1.226	1.252
44	246	1.328	1.319
45	255	1.377	1.388

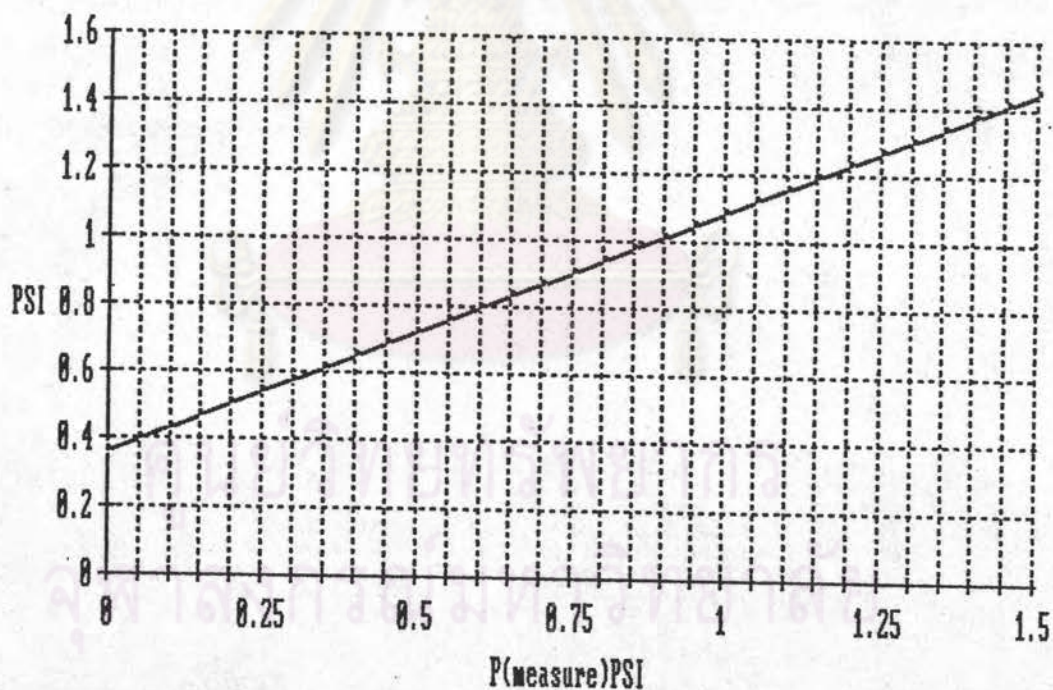
^a 5.4 x data point/1000

^b ตารางหน้า(10)

ตารางที่ 4.15 ผลของ regression analysis ระหว่างความดันที่วัดได้(X) และ ความดันจากตาราง(Y)

Constant	0.358349
Std Err of Y Est	0.018157
R Squared	0.992709
No. of Observations	12
Degrees of Freedom	10
X Coefficient(s)	0.724377
Std Err of Coef.	0.019630

P(calulate)



รูปที่ 4.32 กราฟแสดง regression ระหว่างความดัน(X) และความดันทางทฤษฎี(Y)

จากผลของอุณหภูมิคงที่กล่าวจึง เปลี่ยนอุปกรณ์วัดความดันสุญญากาศเป็นชนิดที่มี การชดเชยอุณหภูมิ ได้แก่ MPX2050DP ซึ่งเป็นแบบที่ใช้วัดความดันแตกต่าง โดยใช้ได้เพียง

คำนวณอากาศ แล้ววัดความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.16 และผลจาก regression ดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.16 ค่าความดันที่วัดได้ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความดันที่วัดได้เมื่อระบบมีอุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ ^a (PSI)					ค่าเฉลี่ย
	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	
34	0.691	0.302	0.383	0.378	0.540	0.459
35	0.756	0.362	0.448	0.454	0.648	0.534
36	0.826	0.437	0.508	0.535	0.713	0.604
37	0.886	0.497	0.578	0.616	0.799	0.675
38	0.961	0.567	0.637	0.702	0.869	0.747
39	1.031	0.637	0.707	0.761	0.940	0.815
40	1.085	0.697	0.783	0.842	0.988	0.879
41	1.166	0.767	0.842	0.902	1.064	0.948
42	1.253	0.848	0.929	0.988	1.166	1.037
43	1.323	0.923	0.988	1.069	1.237	1.108
44	1.377	1.015	1.075	1.166	1.339	1.194
45	1.377	1.091	1.161	1.247	1.377	1.251

^a 5.4 x data point/1000

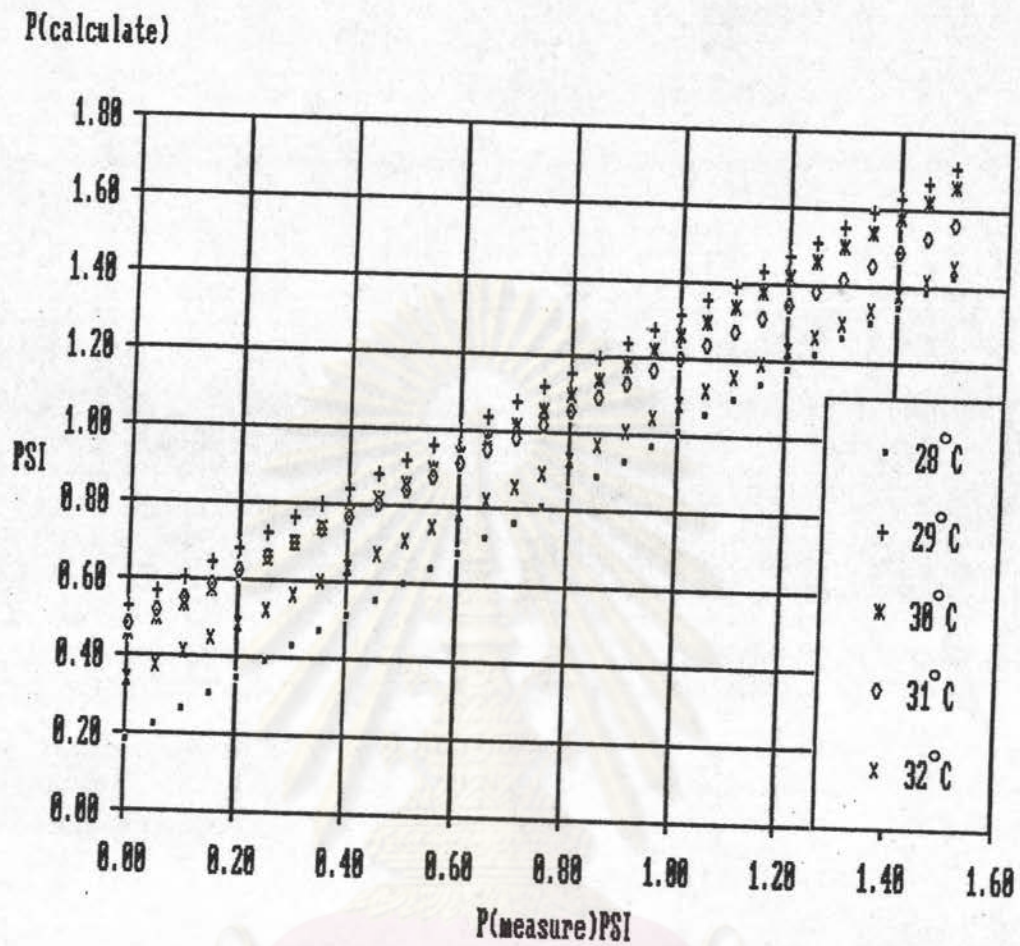
ตารางที่ 4.17 regression ของค่าความดันที่วัดได้(X)ที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างว และค่าความดันจากตาราง(10)(Y)

	อุณหภูมิ					ค่าเฉลี่ย ^a
	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	
Constant	0.174	0.521	0.451	0.476	0.334	0.385
Std Err of Y Est	0.027	0.007	0.007	0.013	0.019	0.012
R Squared	0.984	0.999	0.999	0.996	0.992	0.997
No. of Observations	12	12	12	12	12	12
Degrees of Freedom	10	10	10	10	10	10
X Coefficient(s)	0.831	0.788	0.803	0.720	0.742	0.785
Std Err of Coef.	0.034	0.008	0.009	0.014	0.021	0.014

^a จากค่าเฉลี่ยความดันตารางที่ 4.16

จากการทดลองจะเห็นว่าความดันเริ่มต้นจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบ แต่จะแปรผันไปอย่างไม่มีระบบเป็นผลเนื่องมาจากเครื่องกำเนิดสุญญากาศ จากตารางที่ 4.17 ค่า X coefficient ซึ่งเป็นความชันของสมการ regression จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.777 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 ในทำนองเดียวกัน ค่า constant ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความดันเริ่มต้นในระบบจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.391 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.125 นั่นคือที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างวที่ทำการทดลองไม่ทำให้ค่าความดันที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

จากผลที่ได้จึงนำค่าความชันและค่าคงที่ที่ได้จาก regression ของค่าเฉลี่ยความดันในตารางที่ 4.16 และค่าความดันจากตาราง(10) มาใช้เป็น calibration curve ในโปรแกรม แล้วทดลองวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีของน้ำและสารละลายเกลืออิ่มตัว โดยบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบ



รูปที่ 4.33 กราฟแสดง regression ระหว่างค่าความดันที่วัดได้(X)และความดันจากตาราง(10)(Y)ที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ

ผลจากการวัดค่าวอเทอร์แอคทิวิตีของน้ำบริสุทธิ์และสารละลายเกลืออิ่มตัวหลังจากเปลี่ยนอุณหภูมิวัดความดันสุญญากาศแล้วได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าออสโมติกแอกทิวิตีของน้ำบริสุทธิ์และสารละลายเกลืออิ่มตัวที่อุณหภูมิ 40 °C โดยมียอดทงูมิเริ่มต้นต่างวากัน

ชนิดของตัวอย่าง	Aw				ค่าเฉลี่ย	SD
H ₂ O	0.958	0.964	1.171	1.001	1.024	0.087
NaCl	0.703	0.762	0.648	0.731	0.711	0.042
KCl	0.814	0.798	0.842	0.837	0.823	0.018
K ₂ SO ₄	0.912	0.899	0.905	0.920	0.913	0.008

ตารางที่ 4.19 ความถูกต้องของเครื่อง

ชนิดของตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	SMV ^a	%difference ^b
NaCl	0.711	0.755	-5.82
KCl	0.823	0.847	-2.83
K ₂ SO ₄	0.913	0.967	-5.58

^a Troller(21)

^b ค่าเฉลี่ย-SMV

———— x 100

SMV