



แบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ  
( The Feed Stuff Factory Automation Model )

โดย

นายกฤษฎา	อำพรหมราช	38013393
นายพีรชา	จันทร์	38013411
นายมนตรี	ตันยกุล	38013416
นายสังเวียน	ชงเที	38013428

วัน เดือน ปี.....-5.ค.ค.2541  
เลขทะเบียน.....038531  
เลขเรียกหนังสือ.....T.40012 ก.2824

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2540

แบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ  
( The Feed Stuff Factory Automation Model )

โดย

นายกฤษฎา	ข้าพรหมราช	38013393
นายพีรชา	จันทร์	38013411
นายมนตรี	ตันยกุล	38013416
นายสังเวียน	ชมที	38013428

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ทวีพล

ชื้อสัตย์

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ

- |                |            |          |
|----------------|------------|----------|
| 1. นายกฤษฎา    | ข้าพรหมราช | 38013393 |
| 2. นายพีรชา    | จันทร      | 38013411 |
| 3. นายมนตรี    | ตันยกุล    | 38013416 |
| 4. นายสังเวียน | ชมที       | 38013428 |



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ทวีพล ชื่อสัตย์)



## แบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ

นายกฤษฎา	จำพรหมราช	38013393
นายพีรชา	จันทร	38013411
นายมนตรี	ตันยกุล	38013416
นายสังเวียน	ชมที	38013428
อาจารย์ทวีพล	ชื่อสัตย์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึง การศึกษาและการสร้างแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ โดยทำการสร้างแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ พร้อมทั้งเขียนโปรแกรม เพื่อควบคุมแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติที่สร้างขึ้นด้วย ซึ่งใช้ Microsoft Visual Basic และใช้โปรแกรม กึ่งสำเร็จรูป Microsoft Access เก็บฐานข้อมูล เนื่องจากสูตรอาหารแต่ละชนิดมีคุณค่าอาหารที่แตกต่าง กัน เช่น โปรตีน ไฟเบอร์ แร่ธาตุอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง หรือ อื่นๆ แตกต่างกันไป การศึกษาและการสร้างแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ จะช่วยให้ เกิดความสะดวกในการควบคุมส่วนผสมอาหาร แต่ละสูตร ซึ่งจะมีความหลากหลายแต่ปริมาณไม่มากนัก จึงเหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการปริมาณอาหารไม่มาก แต่ต้องใช้สูตรผสมหลายสูตร และเป็นแนวทาง ในการพัฒนาให้เป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพต่อไป

## The Feed Stuff Factory Automation Model

Krissada Kumpommarach

Peeracha Chantorn

Montree Tunyakul

Sungvain Chomtee

Adviser

Taweepol Suesut

The Academic of 1997

**Abstract :** This thesis is presents a model of feed stuff factory automation using a personal computer for control and monitoring the operation , this software is developed using Microsoft Visual Basic and Microsoft Access database for Windows. The feed stuff formula have several types , such as many of row material and food property each formula is different . This model design for the many kinds of feed stuff formula but low of food demand , so that is suitable for the user is wanted comfortable and quickly in low quantity by this machine . More over it is guiding for high efficiency feed stuff factory automation development .

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีประกอบโครงการ	4
2.1 ลักษณะทั่วไปของการ์ดอินพุต - เอาต์พุต	4
2.2 การดีโค้ดพอร์ต (DECODE PORT)	5
2.3 การแมพแอดเดสอินพุต - เอาต์พุต (I/O ADDRESS MAP)	7
2.4 การใช้งาน 8255	8
2.5 การใช้งานตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	9
2.6 การใช้งานตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก	10
2.7 การติดตั้ง (Setup) และการปรับแต่งต่างๆเกี่ยวกับการ์ด	11
2.8 การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง	12
2.9 ข้อกำหนดของการ์ด	13
2.10 การทำงานของเกจความเครียด (Strain gage)	14
2.11 เกจความเครียดชนิดไม่ยืดติด	14
2.12 เกจความเครียดชนิดยึดติด	15
2.13 บริดจ์ของเกจความเครียด	16
2.14 การชดเชยอุณหภูมิ	20
2.15 การจัดวางเกจความเครียด	21
2.16 การสมดุลย์บริดจ์ (balancing of bridges)	24

2.17 การสอบเทียบ	25
2.18 การเลือกขนาดกระบอกสูบ	31
2.19 การหาความยาวช่วงชัก	39
2.20 การหาค่าแรงกระทำด้านข้างของก้านสูบที่อนุญาต	42
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	<b>44</b>
3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ	44
3.2 หลักการทำงาน	46
3.3 การเตรียมอาหารก่อนการผสม	56
<b>บทที่ 4 การทดลองการทำงานและการแสดงผล</b>	<b>60</b>
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	60
4.2 ลำดับขั้นการทดลอง	60
4.3 สรุปผลการทดลอง	73
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์</b>	<b>76</b>
5.1 ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำโครงการ	76
5.2 สรุปผลที่ได้จากการทำโครงการ	77
5.3 ข้อเสนอแนะ	77
<b>ภาคผนวก</b>	
<b>กิตติกรรมประกาศ</b>	
<b>บรรณานุกรม</b>	

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการกำหนดลอจิกให้ตำแหน่งแอดเดรส	6
รูปที่ 2.2 แสดงเกทความเครียดชนิดไม่ขีดตัด	14
รูปที่ 2.3 แสดงชนิดของเกทความเครียด	15
รูปที่ 2.4 แสดงการติดเกทความเครียด	15
รูปที่ 2.5 สมดุลย์บริดจ์ของเกทความเครียด	17
รูปที่ 2.6 ไม่สมดุลย์บริดจ์ของเกทความเครียด	17
รูปที่ 2.7 กราฟของ $E'O/E0$ เทียบกับ $R_0/R_1$	18
รูปที่ 2.8 ดีซีบริดจ์	19
รูปที่ 2.9 เอซีบริดจ์	19
รูปที่ 2.10 การชดเชยอุณหภูมิด้วยคัมมิเกจ	20
รูปที่ 2.11 การจัดวางเกทความเครียดโดยใช้เกทสี่ตัว	20
รูปที่ 2.12 รูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้สำหรับการวัดแรง P	21
รูปที่ 2.13 การจัดวางเกทความเครียดเพื่อวัดแรง P	22
รูปที่ 2.14 การจัดวางในอีกลักษณะหนึ่ง	23
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการคำนวณกระแสเอาต์พุตของโหลดเซลล์	23
รูปที่ 2.16 การใช้ Apex Resistance เพื่อการสมดุลและการสอบเทียบ	25
รูปที่ 2.17 การจัดวางสมดุลย์แบบขนาน	25
รูปที่ 2.18 การสอบเทียบเกทความเครียดทางไดนามิคโดยใช้ลูกเบียร์	26
รูปที่ 2.19 การสอบเทียบเกทความเครียดทางไดนามิคโดยใช้ตัวลั่นสะเทือน	27
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการติดตั้งเกทความเครียด	27
รูปที่ 2.21 การจัดวางบริดจ์	27
รูปที่ 2.22 แสดงมวลโลหะ	29
รูปที่ 2.23 การหาแรงดันสุทธิของกระบอกสูบลม	34
รูปที่ 2.24 การหาค่าขนาดกระบอกสูบตามอัตราการทำงาน	35
รูปที่ 2.25 แสดงการหาความช่วงชักสูงสุดที่กระทำได้	40
รูปที่ 2.26 การหาขนาดของก้านสูบที่ปลอดภัยจากการโค้งงอ	41
รูปที่ 2.27 ระยะเพื่อความยาวช่วงชัก	42

รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงการ	45
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องผสมอาหารสัตว์อัตโนมัติ	47
รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงการทำงานของโครงการโดยรวม	50
รูปที่ 3.4 แสดงแผงหน้าปัดแสดงสถานะวาล์วที่อุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ	50
รูปที่ 3.5 แสดงแผงหน้าปัดควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ	51
รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ภายในแผงควบคุม	52
รูปที่ 3.7 แสดงด้านหลังแผงควบคุม	52
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟของระบบ	53
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และCONTROL PANEL	54
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรควบคุมวาล์ว	55
รูปที่ 3.11 แสดงภาพบนจอภาพในส่วนของเมนูหลัก	57
รูปที่ 3.12 แสดงภาพบนจอภาพในส่วนของอัตราส่วนผสมอาหารสัตว์	58
รูปที่ 3.13 แสดงภาพบนจอภาพในส่วนของการผสมอาหารสัตว์	59
รูปที่ 4.1 จำลองค่าแรงดัน	60
รูปที่ 4.2 วงจรขยายแรงดัน	61
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรตัวรับน้ำหนัก Load Cell	62
รูปที่ 4.4 แสดงวงจร Instrument Amp	62
รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอ MIXED DESIGN โปรตีน 18%	65
รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอ PLANT DIAGRAM โปตีน 18%	66
รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอ MIXED DESIGN โปตีน 15%	68
รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอ PLANT DIAGRAM โปตีน 15%	69
รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอ MIXED DESIGN โปตีน 21%	71
รูปที่ 4.10 แสดงหน้าจอ PLANT DIAGRAM โปตีน 21%	72
รูปที่ 4.11 แสดงเครื่องจักรแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ	74
รูปที่ 4.12 แสดงคู่มือ MANUAL และคอมพิวเตอร์	75

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

ในปัจจุบัน เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์กำลังประสบปัญหาการแข่งขันในตลาด ซึ่งทำให้ราคาในการจำหน่ายผลผลิตจากสัตว์ลดต่ำลง ในขณะที่ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากการเลี้ยงสัตว์ในอดีตนั้น การเลี้ยงสัตว์จะอาศัยวิถีธรรมชาติ เช่น วัว จะปล่อยให้กินหญ้าตามธรรมชาติทั่วไป หรือ การเลี้ยงไก่ จะเป็นไก่พันธุ์พื้นบ้าน อาศัยข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่มีอยู่ทั่วไปเป็นอาหาร เป็นต้น

ในปัจจุบัน ปริมาณการเลี้ยงสัตว์มีจำนวนมากขึ้น มีการพัฒนาขยายพันธุ์ชนิดใหม่ ทำให้อาหารตามธรรมชาติ มีคุณค่าอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการในการเพิ่มผลผลิตของสัตว์ จึงมีความจำเป็นในการนำอาหารที่มีคุณค่าในตัวเองมาผสมกัน เพื่อให้ได้สารอาหารครบถ้วน

ข้อพิจารณาในการผสมอาหาร คือ

- ทำอย่างไร อาหารเหล่านั้น จึงจะคลุกเคล้ากันสม่ำเสมอทุกส่วน
- ทำอย่างไร จึงจะสะดวกและรวดเร็วในการผลิต
- มีวิธีการอย่างไร เมื่อต้องการเปลี่ยนสูตรผสมอาหาร

จากข้อพิจารณาดังกล่าว เราจึงได้สร้างแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ และเขียนซอฟต์แวร์ (Software) ขึ้นมา เพื่อสะดวกและรวดเร็วในการผลิตอาหารสัตว์สูตรต่างๆ และสามารถบันทึกสูตรอาหาร ข้อผิดพลาดในการผลิตไว้ เพื่อการพัฒนาการผลิต ซึ่งผู้ใช้ที่เป็นบุคคลธรรมดา จะสามารถผลิตอาหารสัตว์เองได้อย่างง่ายดาย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและประยุกต์เทคโนโลยีสมัยใหม่สำหรับอาชีพเกษตรกร
2. เพื่อศึกษาหลักการทางขบวนการควบคุม (Process Control) ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ คือ
  - 2.1 อุปกรณ์ตรวจจับ ได้แก่ ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ต่างๆ
  - 2.2 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Trasmitter)
  - 2.3 เครื่องควบคุม เป็นสมองของระบบควบคุม (Computer)
  - 2.4 อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (Final Control Element) ได้แก่ วาล์ว สายพาน และมอเตอร์

3. การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer : PC) เป็นส่วนควบคุม คือ รับสัญญาณ วัดค่าประมวลผล ตัดสินใจ และส่งสัญญาณควบคุมการทำงาน
4. การใช้เครื่องวัดน้ำหนักอัตโนมัติ (Load Cell) เป็นอุปกรณ์วัดในขบวนการควบคุม (Process Control)
5. ศึกษาการเชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์อื่นๆ
6. ศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ และคุณสมบัติของวัสดุ
7. ศึกษาคุณสมบัติของสารต่างชนิดกัน นำมาทำงานร่วมกันในขบวนการเดียวกัน เช่น อัตราการไหลที่แตกต่างกัน น้ำหนักจำเพาะที่ต่างกัน มีผลต่อการออกแบบ โครงสร้างของเครื่องกลอื่นๆ
8. เนื่องจากอาหารผสมมีสูตรต่างๆ ที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมบ่อยครั้ง โครงการนี้เหมาะสำหรับการทดลองและวิจัยในสถาบันการศึกษาและศูนย์วิจัยทั่วไป
9. โครงการนี้มีต้นทุนการผลิตต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลประโยชน์ที่จะได้รับ อุปกรณ์เป็นมาตรฐาน จึงเหมาะกับบุคคลทั่วไป หรือกลุ่มต่างๆ เช่น กลุ่มเกษตรและสหกรณ์

### 1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

ปริญญานิพนธ์นี้ จะกล่าวถึง การสร้างแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ และการเขียนโปรแกรมการควบคุม ซึ่งทำการเขียนด้วย Microsoft Visual Basic ที่ทำงานบน Windows และจะใช้โปรแกรมกึ่งสำเร็จรูป Microsoft Access มาใช้ในการเก็บฐานข้อมูล และการเชื่อมต่อผ่านการ์ดอินพุต-เอาต์พุต (Input/Output Card) โดยข้อมูลสูตรการผสมอาหารสัตว์ และข้อผิดพลาดต่างๆ จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำถาวร (Hard Disk) หรือ Floppy Disk เพื่อการพัฒนาต่อไป

ในการใช้โปรแกรมผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถเข้าสู่การทำงานหลักของโปรแกรม โดยมีหัวข้อหลัก ดังนี้

1. เมนูหลัก (Menu)
2. กำหนดอัตราส่วนผสมอาหารสัตว์ (Order)
3. ระบบเตือนข้อผิดพลาด (Alarm)
4. รายงาน (Report)
5. คำแนะนำต่างๆ (Help)

เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน ผู้ใช้สามารถเลือกสูตรผสมอาหารสัตว์ และกำหนดสูตรต่างๆ เช่น อัตราส่วนผสม รอบการผสม เวลาในการผสม รวมทั้งสามารถเก็บข้อมูลในการผลิต และสามารถพิมพ์สูตรอาหารที่ผู้ใช้กำหนดไว้ ออกมาเป็นข้อมูลเก็บไว้ได้ เพื่อแก้ไขพัฒนาต่อไป

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

ทำให้การผสมอาหารสัตว์ มีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีความสะดวก รวดเร็ว ที่ชัดเจน เพราะได้นำเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงานและเนื่องจาก โปรแกรมการทำงานมีความยืดหยุ่น ทำให้ผู้ใช้ได้ผลผลิตที่แน่นอน และสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ด้วยตนเอง เพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ชนิดของสัตว์ และอายุของสัตว์ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตสัตว์ออกมามีคุณภาพ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีประกอบโครงการงาน

#### 2.1 ลักษณะทั่วไปของการ์ดอินพุต-เอาต์พุต (Input-Output Card)

เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) เพื่อขยายระบบอินพุตและเอาต์พุต ให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นซึ่งการ์ดสามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ทั้งในรูปของสัญญาณอนาล็อก (analog) และสัญญาณดิจิตอล (digital) ทำให้มีความอ่อนตัวในการไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้มากขึ้น ซึ่งการ์ดมีอุปกรณ์ร่วมมีจุดเด่นต่างๆ ของตัวมันเองดังนี้

1. ไอซี 8255 (Programmable Peripheral Interface) จำนวนหนึ่งตัว ซึ่งสามารถที่จะใช้โปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุตตามความต้องการของผู้ใช้เองได้ทั้งหมด 3 พอร์ต หรือ 24 บิต I/O ในรูปของสัญญาณดิจิตอลนั่นเอง
2. มีไอซี 8253 (Programmable Interval Timer) จำนวนหนึ่งตัวทำให้การ์ดสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบฐานเวลาต่างๆ ได้มากมาย เช่น
  - 2.1 โปรแกรมให้ทำงานเป็นวงจรสร้างฐานเวลาแบบต่างๆ
  - 2.2 โปรแกรมให้เป็นวงจรรนับแบบต่างๆ
  - 2.3 โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพต์ (Interrupt) ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC)
  - 2.4 โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave)
  - 2.5 โปรแกรมให้เป็นวงจรสร้างความถี่ (Oscillator)

ซึ่ง IC 8253 นี้ มีโครงสร้างภายในให้ใช้งานได้ถึง 3 แชนแนล ทำงานแยกจากกันอย่างอิสระ

3. ไอซี ADC (analog to digital converter) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้ได้ถึง 3 เบอร์ คือ ADC0804 (8 บิต) หรือ ADC1001 (10 บิต) ซึ่งทำให้การ์ด สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับ หรือการวัดสัญญาณหรือรับสัญญาณอินพุตในรูปของสัญญาณอนาล็อก (Analog) ได้ 1 แชนแนล ซึ่งขนาดของสัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่รับเข้ามาสามารถที่จะรับได้โดยตรงสูงถึง 5 Vdc หรือมากกว่าโดยเพิ่มวงจรขยายย่านวัดเข้าไปอีกเล็กน้อย ทำให้การ์ดสามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดสัญญาณต่างๆ ได้มากมายเช่น

#### 3.1 เครื่องวัดแรงดัน

#### 3.2 เครื่องวัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.2 เครื่องวัดกระแส เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ

3.4 เครื่องวัดความต้านทาน

3.5 เครื่องวัดความจุ

ซึ่งผลการวัดแบบต่างๆสามารถที่จะนำมาเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลหรือแสดงผลในรูปแบบอื่นๆได้ตามต้องการโดยผู้ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมเอง

4. ไอซี DAC (digital to analog converter) จำนวน 1 ตัว ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ถึง 2 เบอร์ คือ DAC1232 ( 12 บิต) ซึ่งเลือกได้โดยการ Set JP1 ทำให้ การ์ด สามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมต่างๆ โดยส่งสัญญาณในรูปแบบ อนาล็อก (Analog) มีวงจร อนุกรม (OP-AMP) เพื่อขยายขนาดของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0 V ถึง 10.66 Vdc.

## 2.2 การดีโค้ดพอร์ต (DECODE PORT)

ตำแหน่งของพอร์ตบนการ์ด จะใช้ IC TTL 74LS688 (U3) 74LS139 (U4) 74LS32 (U7) switch dip - 8 (sw 1) ต่อร่วมกันเป็นวงจรดีโค้ดพอร์ต (decode port) โดยใช้ switch 1 เป็นตัวกำหนดเบอร์พอร์ต ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยการที่การ์ด จะใช้ตำแหน่งของพอร์ต ทั้งหมด 12 พอร์ต คือ

XX0H =	PORT PA ของ 8255
XX1H =	PORT PB ของ 8255
XX2H =	PORT PC ของ 8255
XX3H =	PORT CONTROL ของ 8255
XX4H =	PORT COUNTER ของ 8253
XX5H =	PORT COUNTER ของ 8253
XX6H =	PORT COUNTER ของ 8253
XX7H =	PORT CONTROL ของ 8253
XX8H =	PORT CONTROL ของ DAC
XX9H =	PORT CONTROL ของ DAC
XXAH =	PORT CONTROL ของ ADC
XXBH =	PORT CONTROL ของ ADC

เราสามารถที่จะกำหนดเบอร์พอร์ต (port number) ได้โดยการกำหนดระดับลอจิก ให้กับตำแหน่ง แอดเดรส นั้นๆ ตามความต้องการ ซึ่งบน การ์ด สามารถที่จะกำหนดระดับของลอจิก

ให้กับตำแหน่ง แอดเดรส ใดๆโดยใช้ Switch 1 ซึ่งหาก ON Switch จะได้ผลลัพธ์ ลอจิก 0 หาก OFF Switch จะได้ระดับ ลอจิก 1

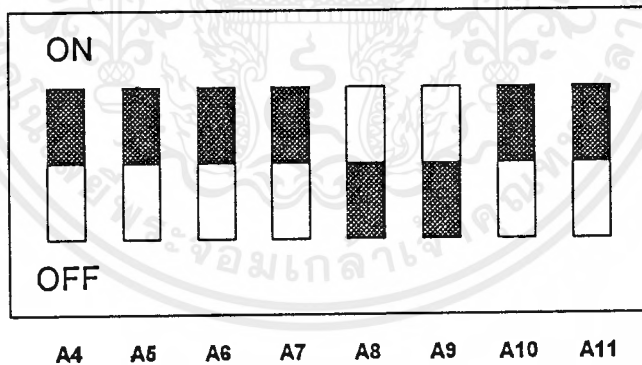
ตัวอย่างเช่น ถ้าเราต้องการกำหนดตำแหน่ง Port Address เป็น 300H สามารถที่จะทำได้ดังนี้คือ

1. กำหนดระดับ ลอจิก ให้กับ แอดเดรส ต่างๆให้เท่ากับ 300H คือ

A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
			3					0				0

จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง พอร์ต 300H เราจะต้องให้ลอจิก 1 กับตำแหน่ง แอดเดรส A8, A9 และต้องให้ลอจิก 0 กับ แอดเดรส A11, A10, A7, a6, A5, A4 (ซึ่ง A4 - A11 ถูกต่อไว้กับ Dip Switch SW1) ส่วน A0 - A3 จะถูกดีโค้ด (DECODE) ด้วย ไอซี 74LS139 อีกทีหนึ่ง ดังนั้น SW1 จึงมีหน้าเลือก แอดเดรส เพียงสองหลักเท่านั้น

2. การเช็ตสวิตช์ เพื่อกำหนดลอจิก ให้ตำแหน่ง แอดเดรส ตามข้อที่หนึ่ง



รูปที่ 2.1 แสดงการกำหนด ลอจิก ให้ตำแหน่ง แอดเดรส

2.3 การแมพแอดเดรสอินพุต - เอาต์พุต (I/O ADDRESS MAP)

HEX Range	Usage
000H - 00FH	DMA CHIP 8237A - 5
020H - 021H	INTERRUPT 8259A
040H - 043H	TIMER 8253 - 5
060H - 063H	PPI 8255A - 5
080H - 083H	DMA PAGE REGISTER
0AX	NMI MASK REGISTER
0CX	RESERVED
0EX	RESERVED
200H - 20FH	GAME CONTRO
210H - 217H	EXPANSION UNIT
220H - 24FH	RESERVED
278H - 27FH	RESERVED
2F0H - 2F7H	RESERVED
2F8H - 2FFH	ASYNCHRONOUS COMMUNICATIONS
300H - 31FH	PROTOTYPE CARD
320H - 32FH	FIXED DISK
378H - 37FH	PRINTER
380H - 38CH	SDLC COMMUNICATION
380H - 389H	BINARY SYNCHRONOUS
3A0H - 3A9H	COMMUNICATIONS
3B0H - 3BFH	BINARY SYNCHRONOUS
3C0H - 3CFH	COMMUNICATIONS
3D0H - 3DFH	IBM MONOCHOM DISPLAY/PRINTER
3E0H - 3E7H	RESERVED
3F0H - 3F7H	COLOR/GRAPHICS
3F8H - 3FFH	RESERVED
	DISKETTS
	ASYNCHRONOUS COMMUNICATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การใช้งาน 8255 (programmable peripheral interface )

ไอซี 8255 (programmable peripheral interface) เป็นไอซีประกอบด้วยพอร์ตใช้งานถึง 3 พอร์ต และ พอร์ตควบคุม (Control port) อีก 1 พอร์ต รวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่งไอซี 8255 สามารถที่จะโปรแกรมให้เป็นที่ตั้งอินพุตและเอาต์พุตได้ทั้ง 3 พอร์ต หรือ 24 บิต I/O โดยการกำหนดที่พอร์ตควบคุม ซึ่งการโปรแกรมเพียงแต่ส่งค่า control word cord ไปให้พอร์ตควบคุมเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255 ซึ่งมีรายละเอียดและตัวอย่างการโปรแกรมดังนี้

D0 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C ล่าง (PC0 - PC3) คือ

- ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น อินพุต (INPUT)
- ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น เอาต์พุต (OUTPUT)

D1 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต B (PB0 - PB7) คือ

- ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็นอินพุต (INPUT)
- ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็นเอาต์พุต (OUTPUT)

D2 ใช้สำหรับกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C ล่างและพอร์ต B คือ

- ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 0
- ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 1

D3 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C (PC4 - PC7) คือ

- ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็นอินพุต (INPUT)
- ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็นเอาต์พุต (OUTPUT)

D4 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต A (PA0 - PA7) คือ

- ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็นอินพุต (INPUT)
- ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็นเอาต์พุต (OUTPUT)

D6, D5 ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ต C และ พอร์ต A คือ

- ถ้าเป็น 00 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 0
- ถ้าเป็น 01 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 1
- ถ้าเป็น 1X หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 2

D7 ใช้สำหรับกำหนด MODE SET FLAG คือ

- ถ้าเป็น 1 หมายถึง ทำงาน (Active) ซึ่งต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น 1 เสมอ
- ถ้าเป็น 0 หมายถึง ไม่ทำงาน (Non - active)

## 2.5 การใช้งานตัวแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิตอล; ADC (Analog to digital Converter)

ไอซี ADC0804 เป็น ไอซี ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตในรูปของอนาล็อก (Analog) แล้วเปลี่ยนเป็นดิจิตอล (Digital) เพื่อส่งให้หน่วยประมวลผลกลางทำการประมวลผล ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อ (Interface) กับอุปกรณ์ภายนอกที่ให้สัญญาณเป็นอนาล็อก (Analog) ได้โดยตรงถึง 5 Vdc หรือมากกว่าโดยผู้ใช้เพียงเพิ่มเติมวงจรขยายข่านวัต เช่นเดียวกับเครื่องวัดทั่วๆ ไป ซึ่งขนาดของสัญญาณที่รับเข้ามานั้น สามารถกำหนดแถบความกว้าง (range) ของสัญญาณได้ โดยการควบคุมขนาดของ  $V_I$ - และ  $V_{ref}/2$  ซึ่ง  $V_I$ - จะเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นหรือค่าต่ำสุดของสัญญาณที่รับเข้ามาโดยบนการ์ด ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดยใช้ JP4 คือถ้า Short JP4 ที่ตำแหน่ง 1-2 (ground) จะทำให้สัญญาณเริ่มต้นจาก 0V. จนถึง Maximum (ไม่ควรเกิน 5 V.) แต่ถ้าผู้ใช้ Short JP4 ที่ตำแหน่ง 2-3 จุดเริ่มต้นของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ  $V_I$ - จากภายนอกที่ต่อมาจาก Connector CN2 ซึ่งผู้ใช้ต้องกำหนดเองซึ่งโดยปกติแล้วต้องมีค่ามากกว่า 0 V. แต่ต่ำกว่า  $V_{ref}/2$  เสมอ ส่วนสัญญาณ  $V_{ref}/2$  จะเป็นตัวกำหนดขนาดสูงสุดของสัญญาณที่รับเข้ามา (Maximum) นั่นคือ

- ถ้าสัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่รับเข้ามามีค่าเป็น 2 เท่าของ  $V_{ref}/2$  จะได้ข้อมูล = FFH
- ถ้าสัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่รับเข้ามามีค่าเป็น 1 เท่าของ  $V_{ref}/2$  จะได้ข้อมูล = 7FH
- ถ้าสัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่รับเข้ามามีค่าเท่ากับ  $V_I$ - จะได้ข้อมูล = 00H

ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลง ข้อมูล ที่มีต่อขนาดของสัญญาณจะเป็นเชิงเส้นตลอด (linear) ซึ่งขนาดของสัญญาณ  $V_{ref}/2$  ผู้ใช้สามารถเลือกได้โดย JP5 กล่าวคือถ้าผู้ใช้ Short ที่ตำแหน่ง 2-3 ขนาดของสัญญาณ  $V_{ref}/2$  จะขึ้นอยู่กับขนาดที่ผู้ใช้กำหนดเองจากภายนอกที่ต่อมาจาก Connector CN2 ซึ่งขนาดของ  $V_{ref}/2$  ที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาต้องมีค่ามากกว่า 0 V. และไม่ควรเกิน 2.5 V. ด้วยเช่นกัน

ตัวอย่าง ผู้ใช้เลือก  $V_I$ - เท่ากับ 0 V (JP4 short ที่ตำแหน่ง 1-2) แล้ว จะได้ว่าช่วงของสัญญาณที่เข้ามามีความละเอียดถึง 256 ระดับ นั่นคือ

- ถ้าสัญญาณอินพุตอนาล็อก (Analog Input) มีค่าเท่ากับ 0 V. จะได้ข้อมูล เท่ากับ 00H
  - ถ้าสัญญาณอินพุตอนาล็อก (Analog Input) มีค่าเท่ากับ 2.50 V. จะได้ข้อมูล เท่ากับ 70H
  - ถ้าสัญญาณอินพุตอนาล็อก (Analog Input) มีค่าเท่ากับ 5.0 V. จะได้ข้อมูล เท่ากับ FFH
- ดังนั้นจะได้ความละเอียดของสัญญาณ  $= (5 V - 0 V) / 256 = 0.0195 V$

หรืออาจกล่าวได้ว่า ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณได้ตั้งแต่ 0 V - 5.0 V โดยมีความแตกต่างแต่ละ

ช่วง (Step) เป็น 0.0195 V

หรืออีกในกรณีหนึ่งคือ หากผู้ใช้เลือก VI - เท่ากับ 0.50 V จากภายนอกซึ่งต่อเข้ามาทาง Connector CN2 (JP5 Short ที่ตำแหน่ง 2 - 3) แล้ว จะได้ว่าค่าช่วงสัญญาณอินพุตอนาล็อก ( Analog Input ) จะต้องอยู่ระหว่าง 0.50 V - 3.50 V นั่นเอง

สำหรับไอซี ADC บน การ์ด สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งหมด 2 โหมดการทำงาน โดยการเลือกที่ Jumper JP2 คือ

- โหมดทำงานปกติ ( Free Run Mode )
- โหมดอินเทอร์รัพท์ ( Interrupt Mode )

## 2.6 การใช้งานตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก ; DAC ( digital to analog converter )

ไอซี DAC มีลักษณะการทำงานที่ตรงกันข้ามกับไอซี ADC กล่าวคือมันจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอล ( digital ) ให้เป็นสัญญาณอนาล็อก ( analog ) ซึ่งนิยมใช้งานในด้านการควบคุมต่างๆ ซึ่งบน การ์ด มีไอซี DAC ให้ใช้งานหนึ่งตัว โดยสามารถที่จะเลือกใช้ได้ 2 เบอร์ คือ DAC0832 ( 8 Bit ) หรือ DAC1232 ( 12 Bit ) ตัวใดตัวหนึ่งโดยการเลือกที่ Jumper JP1

ซึ่งการควบคุมขนาดของสัญญาณเอาต์พุตอนาล็อก ( Analog Output ) นั้นทำได้โดยการส่งค่าข้อมูล ออกไปยังพอร์ตควบคุมของไอซี DAC ( Port Control DAC ) ซึ่งอัตราส่วนของขนาดสัญญาณเอาต์พุตอนาล็อก ( Analog Output ) ที่ได้นั้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้น ( Linear ) นั่นคือ

- ถ้าส่งค่า ข้อมูล ค่า FFH จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต(output) สูงสุด
- ถ้าส่งค่า ข้อมูล ค่า 7FH จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต(output) ครึ่งหนึ่ง
- ถ้าส่งค่า ข้อมูล ค่า 00H จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต(output) ต่ำสุด

ซึ่งขนาดของสัญญาณเอาต์พุตอนาล็อก ( Analog Output ) นั้นมีความละเอียดถึง 256 ค่าจากย่านความกว้างของสัญญาณทั้งหมด ( Range ) หรือคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความละเอียดของช่วงสัญญาณ} = (V_{\max} - V_{\min}) / 256$$

### ตัวอย่าง

ต้องการขนาดสูงสุดของสัญญาณ 10 V โดยให้ขนาดต่ำสุดของสัญญาณเป็น 0 V จะ  
ได้ความละเอียดของสัญญาณเป็น 0.039 V

2.7 การติดตั้ง (SETUP) และการปรับแต่งต่างๆเกี่ยวกับการ์ด (CARD)

JPI DAC Select ใช้สำหรับเลือกเบอร์ไอซี DAC (U10)ว่าจะใช้ไอซี DAC ขนาด 8 Bit (DAC0832) หรือ 12 bit (DAC1232) โดยมีวิธีการตั้ง (SET) ดังนี้คือ

เบอร์ของไอซี DAC	การจัดการต่างๆเกี่ยวกับ Jumper JP1			
DAC0832 8 bit	OPEN 1-2	OPEN 3-4	SHORT 5-6	SHORT 7-8
DAC1232 12 bit	SHORT 1-2	SHORT 3-4	OPEN 5-6	OPEN 7-8

JP2 ADC Select Mode ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานของไอซี ADCว่าจะให้ทำงานในโหมดปกติ (Free Run) หรือโหมดอินเทอร์รัพท์ (Interrupt) โดยมีวิธีการตั้ง (SET) ดังนี้คือ

Mode	การจัดการต่างๆเกี่ยวกับ Jumper JP2							
FREE RUN Mode	open	open	open	open	short	short	short	short
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16
INTERRUPT Mode	short	short	short	short	open	open	open	open
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16

JP4 Vi- Select ใช้เลือก Vi- ให้ ADC โดยเลือกระหว่างให้ Vi- ของ ADC = 0 V (GROUND) หรือ Vi- จากภายนอกที่ต่อเข้ามาทาง CN2

Vi- Select Source	การจัดการต่างๆเกี่ยวกับ Jumper JP1	
0 V Reference (Ground)	Short 1 - 2	Open 2 - 3
External Reference	Open 1 - 2	Short 2 - 3

JP5 Vref/2 Select ใช้สำหรับเลือกแรงดันอ้างอิง (Vref/2) ให้กับ ADC ระหว่างแรงดันอ้างอิงมาตรฐาน 2.50 Vdc บน การ์ด เอง หรือ แรงดันอ้างอิงจากภายนอกซึ่งต่อเข้ามาทาง CN2

Vref/2 Select Source	การจัดการต่างๆเกี่ยวกับ Jumper JP5	
2.50 V Reference (Internal)	Short 1 - 2	Open 2 - 3
External Reference	Open 1 - 2	Short 2 - 3

**\*\* หมายเหตุ Vref ถ้าเลือกจากภายนอกต้องควบคุมไม่ให้เกิน 2.50 V ด้วย \*\***  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- CN1 เป็นตัวเชื่อมต่อ (Connector) ขนาด 34 Pin ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อของสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต ระหว่าง 8255 และ อุปกรณ์ภายนอก
- CN2 เป็นตัวเชื่อมต่อ (Connector) ขนาด 20 Pin ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อของสัญญาณ ระหว่าง 8255 , ADC และ DAC กับ อุปกรณ์ภายนอก

## 2.8 การปรับแต่งแรงดันอ้างอิง (2.50 V บนการ์ด)

การ์ดมีวงจรควบคุมแรงดันอ้างอิงที่ประกอบอยู่ในตัวเรียบร้อยแล้วซึ่งใช้ ไอซี LM336 เป็นอุปกรณ์หลักโดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR1) เป็นตัวปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งขนาดของแรงดันอ้างอิงนี้กำหนดให้มีขนาด 2.50 V โดยใช้เป็นแรงดันอ้างอิง ของไอซี DAC และ ADC ซึ่งการปรับแต่งค่าแรงดันอ้างอิงนี้ทำได้โดยการใช้โวลต์มิเตอร์วัดเทียบระหว่าง กราวด์ (GND) และจุดกำเนิดแรงดันอ้างอิง 2.50 V (ขา 8 ของ DAC0832 หรือ ขา 1 ของ JP5) แล้วทำการปรับ VR1 จนได้แรงดัน 2.50 Vdc พอดี

**\*\* หมายเหตุ \*\*** ถ้าค่าแรงดันอ้างอิงนี้ไม่เที่ยงตรงจะมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับไอซี ADC อาจทำให้ผลการวัดต่าง ๆ ได้ค่าที่ผิดพลาดตามไปด้วย

### 2.8.1 การปรับแต่งขนาดของสัญญาณ อนาล็อก (Analog)

สัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่ได้จากไอซี DAC มีวงจรออฟแอมป์ (OP-AMP) เพื่อทำการขยายให้มีขนาดสัญญาณสูงขึ้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ดีขึ้น ซึ่งขนาดของสัญญาณนี้สามารถกำหนดและปรับแต่งได้ 74LS245 2 ตัว ตั้งแต่ 0V = 10.6V โดยประมาณ การปรับแต่งขนาดของสัญญาณอนาล็อก (Analog) ของดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D to A) ทำได้โดย

1. กำหนดค่าของสัญญาณสูงสุดที่ต้องการใช้
2. ตั้งค่า ข้อมูล = FFH ให้ Port Control ของ DAD (XXB OR XX9)
3. ปรับ VR2 ให้ได้ขนาดของสัญญาณตามต้องการ

**\*\* หมายเหตุ \*\*** การปรับขนาดของสัญญาณอนาล็อก (Analog) ต้องทำหลังจากปรับแต่ง แรงดันอ้างอิง Vref 2.50 VDC เรียบร้อยแล้วจึงจะได้ผลที่แน่นอน

## 2.9 ข้อกำหนดของการ์ด (SPECIFICATION OF CARD)

DISCRIPTION	MIN	MAX	UNITS
INPUT LOGIC LOW	-0.5	0.8	VOLT
INPUT LOGIC HIGH	2.0	5.5	VOLT
OUTPUT LOGIC LOW	-	0.45	VOLT
OUTPUT LOGIC HIGH	2.4	5.0	VOLT
ANALOG INPUT (VI +)	0	5	VOLT
ANALOG OUTPUT	0.1	10.67	VOLT
VREF / 2 (DAC)	-	2.50	VOLT
VREF / 2 (ADC)	0.1	2.50	VOLT
VI -	0	5.0	VOLT
VCC	: +5 V		
	: +12 V		
	: -12 V		
	: GND		
DIGITAL I/O	: 3 PORT (24 BIT I/O 8255)		
ANALOG INPUT	: 1 CHANAL (ADC 8 BIT OR 10 BIT OPTION)		
ANALOG OUTPUT	: 1 CHANAL (ADC 8 BIT OR 12 BIT OPTION)		
CONNECTOR	: 34 PIN * 1 (HEADER 17 PIN * 2 ROW)		
	: 20 PIN * 1 (HEADER 10 PIN * 2 ROW)		
DECODE PORT	: 8 POSITION DIP SWITCH		

### 2.10 การทำงานของเกจความเครียด (Strain Gages)

ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้อยู่บนพื้นฐานที่ว่า ตัวนำไฟฟ้าอันหนึ่งถูกขึงให้ตึง หรือ ถูกอัดตัวค่าความต้านทานของมันจะเปลี่ยนแปลง อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในความยาว พื้นที่หรือพิกัดความต้านทาน (Resistivity) ของมัน ค่าความต้านทาน R ของตัวนำไฟฟ้าอันหนึ่ง มีพื้นที่หน้าตัด A ความยาว L และพิกัดความต้านทานของวัสดุ  $\rho$  คือ

$$R = \rho L / A \tag{1.20}$$

เกจแฟคเตอร์ F ของตัวนำไฟฟ้าถูกนิยามเหมือนกับ

$$F = (\Delta R/R) / (\Delta L/L) = (\Delta R/R) / \xi \tag{1.21}$$

เมื่อ  $\Delta R$  เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน R เนื่องจากความเครียด  $\xi$  ซึ่ง

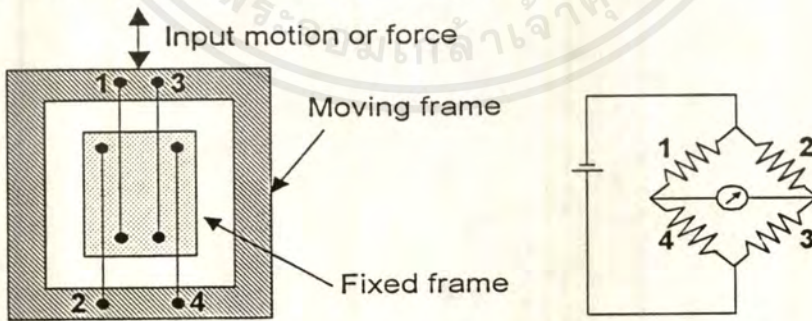
$$\xi = \Delta L/L$$

ในทางปฏิบัติ ตัวนำไฟฟ้าที่ใช้มักอยู่ในรูปของเส้นลวดเล็กๆหรือโลหะแผ่นบาง ทรานสดิวเซอร์เกจความเครียดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. เกจความเครียดชนิดไม่ยึดติด
2. เกจความเครียดชนิดยึดติด

### 2.11 เกจความเครียดชนิดไม่ยึดติด

เกจความเครียดชนิดนี้ ลวดค่าความต้านทานเส้นหนึ่งจะถูกขึงให้ตึงระหว่างสองเฟรม เฟรมหนึ่งเป็นเฟรมเคลื่อนที่อีกเฟรมหนึ่งอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) ขนาดของเส้นลวดตามปกติแล้วมีความยาว 25 มิลลิเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ไมโครเมตร



(ก) ลักษณะการจัดวาง

(ข) วงจร

รูปที่ 2.2 แสดงเกจความเครียดชนิดไม่ยึดติด

เฟลทที่บิดงอได้จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับสปริงระหว่างเฟรมทั้งสอง เส้นลวดจะอยู่ภายใต้การป้อนโหลดอันใหม่ซึ่งมากกว่าโหลดที่มีการอัดตัวที่ตั้งเอาไว้ในตอนแรก การเคลื่อนที่ของอินพุตที่แสดงในรูปที่ 2.2 จะขึงลวดเส้นที่ 1 และ 3 ให้ตึง ขณะเดียวกันก็จะลดความตึงในลวดเส้นที่ 2 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

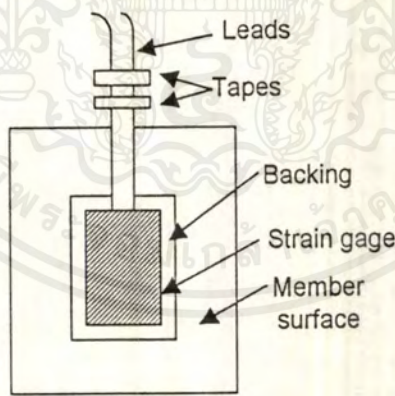
การเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตรงข้ามกัน เส้นลวดจะจะถูกนำมาต่อเข้ากับวงจรวิสโตนบรีดจ์ แสดงดังในรูปที่ 2.2 โดยทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้สามารถวัดการเคลื่อนที่ที่มีขนาดเล็กมากได้ถึง 50 ไมโครเมตร และแรงที่มีขนาดเล็กมาก่ออีกด้วย ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้อาจนำไปใช้เพื่อการวัด แรง ความดัน และความเร่งได้

### 2.12 เกจความเครียดชนิดยึดติด

ทรานสดิวเซอร์เกจความเครียดชนิดยึดติดถูกใช้อย่างกว้างขวางเพื่อ วัดสิ่งที่แปรเปลี่ยน ทางกายภาพหลายอย่างเช่น ความเครียด แรง แรงบิด ความดัน และ ความเร่งได้



รูปที่ 2.3 แสดงชนิดของเกจความเครียด



รูปที่ 2.4 แสดงการติดเกจความเครียด

เกจเหล่านี้ อาจทำจากวัสดุจำพวกโลหะ หรือสารกึ่งตัวนำและอยู่ในรูปของเกจเส้นลวดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร หรือโลหะแผ่นบางๆหรือแท่งเล็กๆ (ในกรณีของสารกึ่งตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.3 เกจเหล่านี้มีกระดาษหรือวัสดุชนิดอื่นห่อหุ้ม เพื่อใช้ยึดติดกับพื้นผิวที่ต้องการวัดความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ครั้นยึดติดแล้ว เกจจะได้รับความเครียดเหมือนกับความเครียดที่มีอยู่ใน

พื้นผิวนั้น เกจเหล่านี้มีความไวสูงมากและเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ความเครียดที่ต่ำประมาณ  $10^{-7}$  อาจวัดได้

เกจที่ทำด้วยโลหะผสมทองแดง - นิกเกิลมีเกจแฟคเตอร์ 2 ถึง 3 ขณะที่เซมิคอนดักเตอร์เกจมีเกจแฟคเตอร์ 100 ถึง 200 ตารางที่ 2.1 จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุห่อหุ้มเกจ ชนิดของเส้นลวด และสารยึดติด

ตารางที่ 2.1

วัสดุห่อหุ้มเกจ	สารยึดติด	ชนิดเส้นลวด	หมายเหตุ
กระดาษหรือไหม	Nitrocellulose	โลหะผสม CU,Ni	ใช้ได้สูงถึง $60^{\circ}\text{C}$
เบคาไลต์	Epoxy	โลหะผสม CU,Ni	ใช้ได้สูงถึง $200^{\circ}\text{C}$
Glass Weave	Ceramic cement	โลหะผสม Ni,Cr	ใช้ได้สูงถึง $400^{\circ}\text{C}$

กระแสไหลผ่านเกจโดยปกติถูกจำกัดที่ 10 ถึง 30 มิลลิแอมแปร์ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการทดสอบเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเส้นลวด เกจที่ห่อหุ้มด้วยเบคาไลต์สามารถต้านทานกระแสที่มีค่าค่อนข้างสูงได้

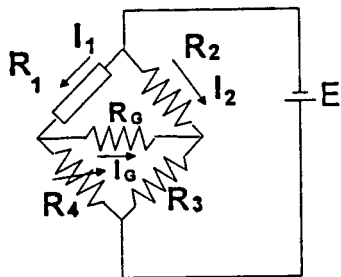
เราต้องให้ความระมัดระวังเอาใจใส่ในขณะทำการติดเกจ พื้นผิวที่ต้องการติดเกจจะต้องทำให้สะอาดโดยตลอด ต่อมาจึงใส่สารยึดติดอย่างหนาแน่นเข้ากับส่วนที่ต้องการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากนั้นตรวจสอบการเชื่อมต่อเกจและฉนวนเป็นลำดับสุดท้าย

### 2.13 บริดจ์ของเกจความเครียด

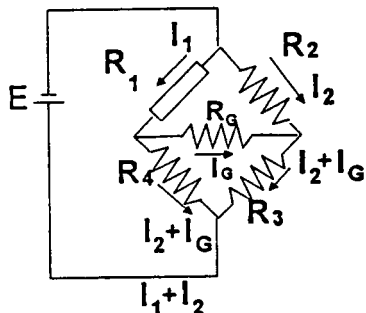
เกจความเครียดโดยปกติแล้ว จะถูกต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรวิทสโตนบริดจ์ เพื่อว่าการเปลี่ยนแปลงในค่าความต้านทานของมัน อันเนื่องมาจากความเครียดจะได้วัดได้หรือให้เอาต์พุตที่สามารถนำไปแสดงผลหรือบันทึกได้ มีการจัดวางวงจรบริดจ์อยู่สองรูปแบบ นั่นคือ

1. สมดุลย์บริดจ์ (balanced bridge)
2. ไม่สมดุลย์บริดจ์ (unbalanced bridge)

ในการจัดวางแบบสมดุลย์บริดจ์ (รูปที่ 2.5) ค่าความต้านทานของเกจความเครียด  $R_1$  เป็นแขนข้างหนึ่งของวิทสโตนบริดจ์ ขณะที่แขนที่เหลือมีค่าความต้านทาน  $R_2, R_3, R_4$  บริดจ์จะถูกกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายดีซีด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $E$  และ  $R_5$  เป็นค่าความต้านทานของกัลวานอมิเตอร์ บริดจ์กล่าวได้ว่าสมดุล เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เงื่อนไขของการสมดุลย์ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีก็คือ



รูปที่ 2.5 สมดุลย์บริดจ์ของเกจความเครียด



รูปที่ 2.6 ไม่สมดุลย์บริดจ์ของเกจความเครียด

ถ้า  $R_1$  มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเครียด บริดจ์ซึ่งสมดุลย์ในตอนต้นก็จะไม่สมดุลย์ได้อีกครั้ง โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $R_4$  หรือ  $R_2$  การเปลี่ยนแปลงอันนี้สามารถวัดได้และถูกใช้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $R_1$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเครียด เทคนิคอันนี้สามารถนำมาใช้เพื่อวัดความเครียดทางสถิติได้เพียงอย่างเดียว

การจัดวางแบบไม่สมดุลย์บริดจ์ที่แสดงในรูปที่ 2.6 กระแสที่ไหลผ่านกัลวาโนมิเตอร์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมกัลวาโนมิเตอร์ถูกใช้ เพื่อแสดงความเครียดในเกจความเครียด วิธีนี้ใช้เพื่อวัดความเครียดทางสถิติ เพื่อแสดงถึงการได้มาของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาต์พุตที่ไม่สมดุลย์กับการเปลี่ยนแปลงในค่าความต้านทานของเกจ  $R_1$  สมการที่ (1.23) ถึง (1.26) สามารถเขียนได้ดังนี้โดยใช้กฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff)

$$I_1 R_1 + R_4(I_1 - I_g) = E \quad (1.23)$$

$$I_1 R_1 + I_g R_g - I_2 R_2 = 0 \quad (1.24)$$

$$I_g R_g + (I_2 + I_g) R_3 - (R_1 - I_g) R_4 = 0 \quad (1.25)$$

แก้สมการที่ (1.23) (1.24) และ (1.25) เพื่อหาค่า  $I_g$  เราจะได้

$$I_g = E(R_2 R_4 - R_1 R_3) / [R_2(R_1 + R_4)(R_g + R_3 + R_4) + R_1 R_3 R_4 + R_2 R_4^2 + R_g R_3(R_1 + R_4)] \quad (1.26)$$

$$I_g = (-E \Delta R_1) / [4 R_1(R_1 + R_g)] \quad (1.27)$$

$$= (-EF \xi_1) / [4(R_1 + R_g)] \quad (1.28)$$

เมื่อ  $\xi_1$  เป็นความเครียด ซึ่งเกิดจาก  $R_1$  และ

$$\xi_1 = \Delta R_1 / R_1 F$$

$F$  เป็นเกจแฟกเตอร์ความเครียด

แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อม  $R_g$  ( $E_0$ ) =  $I_g R_g$

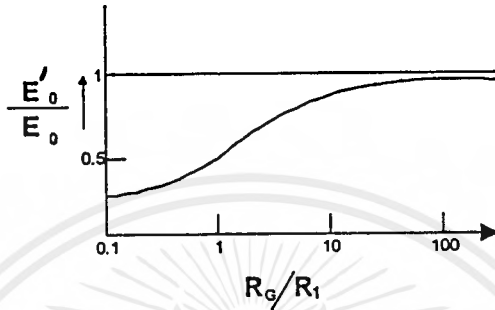
$$= (-E \xi_1 R_g F) / [4(R_1 + R_g)] \quad (1.29)$$

แรงเคลื่อนเอาต์พุตที่เปิดวงจร ( $E'0$ ) =  $(-EF \xi_1) / 4$

$$(1.30)$$

อันนี้ เกิดขึ้นได้โดยการกำหนดให้  $R_g \rightarrow \infty$  ในสมการที่ (1.29)

อัตราส่วนของ  $E'_0/E_0$  ถูกพล็อตเทียบกับ  $R_g/R_1$  ในรูปที่ 2.7 เราจะพบว่า  $R_g$  จะต้องมีค่าอย่างน้อยร้อยละเท่าของค่าความต้านทานของเกจความเครียด  $R_1$  เพื่อให้เอาต์พุต  $E_0$  มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 2.7 กราฟของ  $E'_0/E_0$  เทียบกับ  $R_g/R_1$

เมื่อแขนของวิสโตมบรีดจ์มากกว่าหนึ่งแขน บรรจุด้วยเกจความเครียดและค่าความต้านทานของมันเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเครียด เอาต์พุตที่ได้รับก็คือผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้คือ ในรูปที่ 2.5 ถ้า  $R_2$  เปลี่ยนแปลงเป็น  $R_2 + \Delta R_2$  และในตอนต้นกำหนดให้  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  สมการที่ (1.27) จะกลายเป็น

$$I_g = E\Delta R_2 / 4 R_2(R_1 + R_g)$$

ดังนั้น ถ้า  $R_1$  เปลี่ยนแปลงเป็น  $R_1 + \Delta R_1$  และ  $R_2$  เป็น  $R_2 + \Delta R_2$  ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงคือ

$$I_g = -E/4(R_1 + R_g)[(\Delta R_1 / R_1) - (\Delta R_2 / R_2)] \quad (1.31)$$

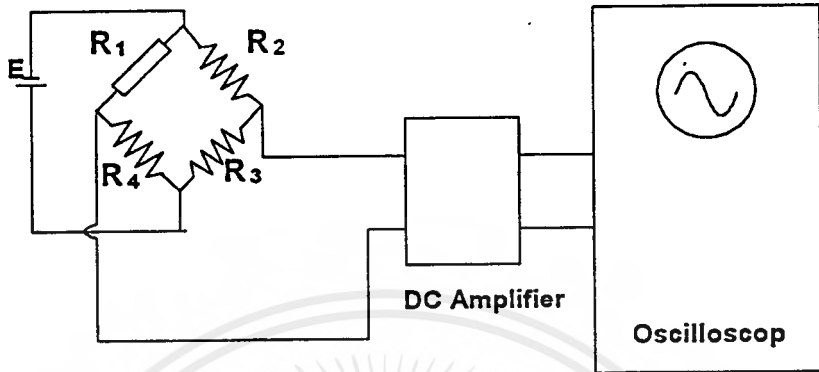
ในทำนองเดียวกัน ถ้าแขนทั้งสองของบรีดจ์มีเกจความเครียดต่ออยู่ ซึ่งค่าความต้านทานของมันจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเครียด เราจะพบว่า

$$I_g = E/4(R_2 + R_g)[-\Delta R_1 / R_1 + \Delta R_2 / R_2 - \Delta R_3 / R_3 + \Delta R_4 / R_4] \quad (1.32)$$

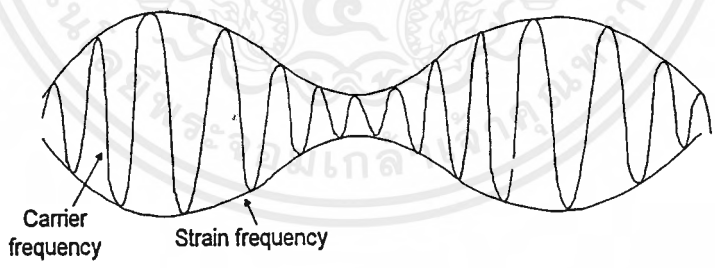
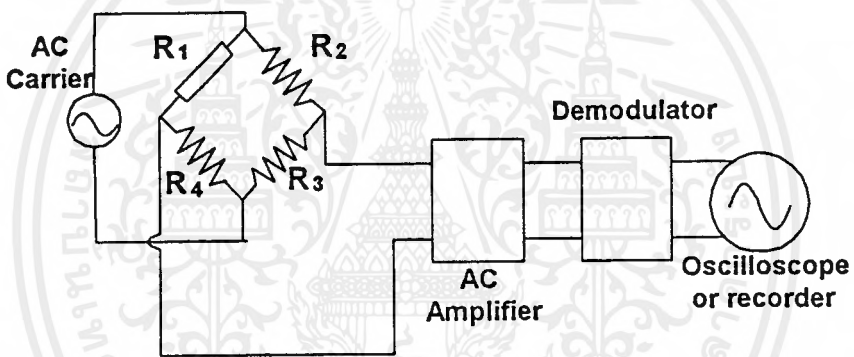
ด้วยเหตุนี้เราจะพบว่ากระแสเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นถ้าการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทาน  $\Delta R_1$  มีธรรมชาติที่ตรงกันข้ามกับ  $\Delta R_2$  และ  $\Delta R_4$  และมีธรรมชาติที่เหมือนกับ  $\Delta R_3$  ดังนั้นแขนที่อยู่ใกล้ชิดกัน ของบรีดจ์จะต้องมีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้ามกัน เพื่อให้เอาต์พุตมีขนาดใหญ่หรือเพิ่มความไวของบรีดจ์ อันนี้จะต้องให้ความสนใจขณะจัดวางเกจความเครียดบนพื้นที่ที่ต้องการวัดในลักษณะที่ว่าถ้า  $R_1$  เป็นความดึงเครียด  $R_2$  ควรจะเป็นความอัดเครียด  $R_3$  เป็นความดึงเครียด และ  $R_4$  เป็นความอัดเครียด ดังนั้น มันเป็นไปได้ที่จะให้คำนิยามคำว่า “แฟคเตอร์เพิ่มสัญญาณ (Signal enhancement factor) ของบรีดจ์” เหมือนกับอัตราส่วนของเอาต์พุตสูงสุดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในเกจความเครียดหลายๆตัว ต่อเอาต์พุตสูงสุดที่ได้รับจากการใช้เกจความเครียดเพียงตัวเดียวในพื้นที่ที่ต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การวัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เกจที่มีมากกว่าหนึ่งตัว (ภายใต้ความเครียด) ถูกจัดวางไว้อย่างเหมาะสม สามารถทำให้ความไวเพิ่มมากขึ้นหรือทำให้สัญญาณเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 ดีซีบริดจ์



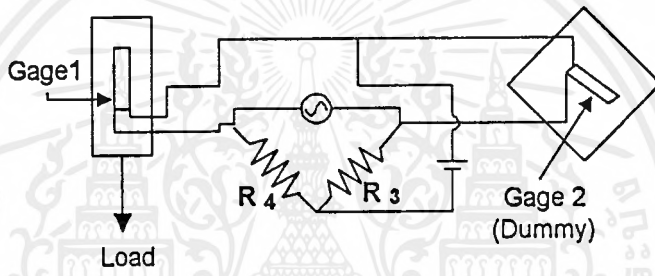
รูปที่ 2.9 เอซีบริดจ์

การกระตุ้นบริดจ์อาจทำได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟเอซีหรือดีซี ดังวงจรที่ให้ไว้ในรูปที่ 2.8 และ 2.9 ในทั้งสองกรณี ตัวขยายเป็นสิ่งที่ต้องการเพื่อการคัปปลิ่ง ในกรณีของเอซีบริดจ์สัญญาณเป็นแอมพลิจูดมอดูเลตเหมือนแสดงในรูปที่ 2.9 ดังนั้นคิมอดูเลเตอร์ จึงเป็นสิ่งที่ต้องการ เพื่อการกรองความถี่พาหะเอาต์พุตที่ได้ จะเหมือนกับความเครียดที่กำลังถูกวัด ในจำพวกของบริดจ์ เอซีบริดจ์จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุต เนื่องจากอุณหภูมิและไม่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งตามปกติแล้วมักจะพบในดีซีบริดจ์ อย่างไรก็ตามเอซีบริดจ์มีราคาแพงและการตอบสนองความถี่สูงของมัน ถูกจำกัดที่ประมาณหนึ่งในห้าของความถี่พาหะที่ใช้

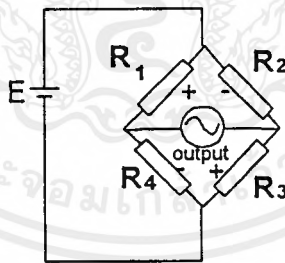
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14 การชดเชยอุณหภูมิ

นอกจากความเครียดแล้ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานในเกจความเครียดด้วยแต่มันไม่สะดวกที่จะใช้การคำนวณเพื่อการแก้ไขอุณหภูมิ การแก้ไขและการชดเชยอุณหภูมิที่สร้างขึ้นโดยตัวของมันเองจะสะดวกกว่า อันนี้ทำได้โดย (1) ใช้ดัมมิเกจ (dummy gage) หรือ (2) ใช้เกจมากกว่าหนึ่งตัวที่มีการจัดวางอย่างเหมาะสม ในกรณี(1) แสดงผังรูปที่ 2.10 เกจค่าความต้านทาน  $R_2$  เท่ากับ  $R_1$  ถูกยึดบนแท่งของวัสดุทดสอบ (test specimen) ซึ่งกำลังได้รับโหลด อย่างไรก็ตาม แท่งของวัสดุที่มี  $R_2$  ไม่ได้รับความเครียด แต่อยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอันเดียวกัน ด้วยเหตุที่  $R_1$  และ  $R_2$  เป็นแขนที่ใกล้ชิดกันของบริดจ์ เอาต์พุตเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจึงเป็น 0 เพราะว่าทั้ง  $R_1$  และ  $R_2$  มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิเป็นจำนวนเท่ากัน



รูปที่ 2.10 การชดเชยอุณหภูมิด้วยดัมมิเกจ



รูปที่ 2.11 การจัดวางเกจความเครียดโดยใช้เก็จสี่ตัว

ในกรณี(2) เกจ  $R_2$  ไม่ได้เป็นดัมมิเกจ แต่ถูกจัดวางไว้อย่างเหมาะสมบนแท่งวัสดุทดสอบเพื่อว่ามันจะได้มีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้ามกับความเครียดใน  $R_1$  ในกรณีเช่นนี้จะทำให้ระบบมีความไวและมีการชดเชยอุณหภูมิไปพร้อมๆกัน แท้จริงแล้ว ถ้าแขนทั้งสองของบริดจ์เป็นเกจใช้งานเหมือนแสดงในรูปที่ 2.11 โดยแขนที่ใกล้ชิดกันของบริดจ์มีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้ามกัน สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุดและมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย และเป็นเรื่องปกติที่ค่าความต้านทานเริ่มต้นของทุกๆแขนของบริดจ์ จะต้องมีค่าเท่ากัน

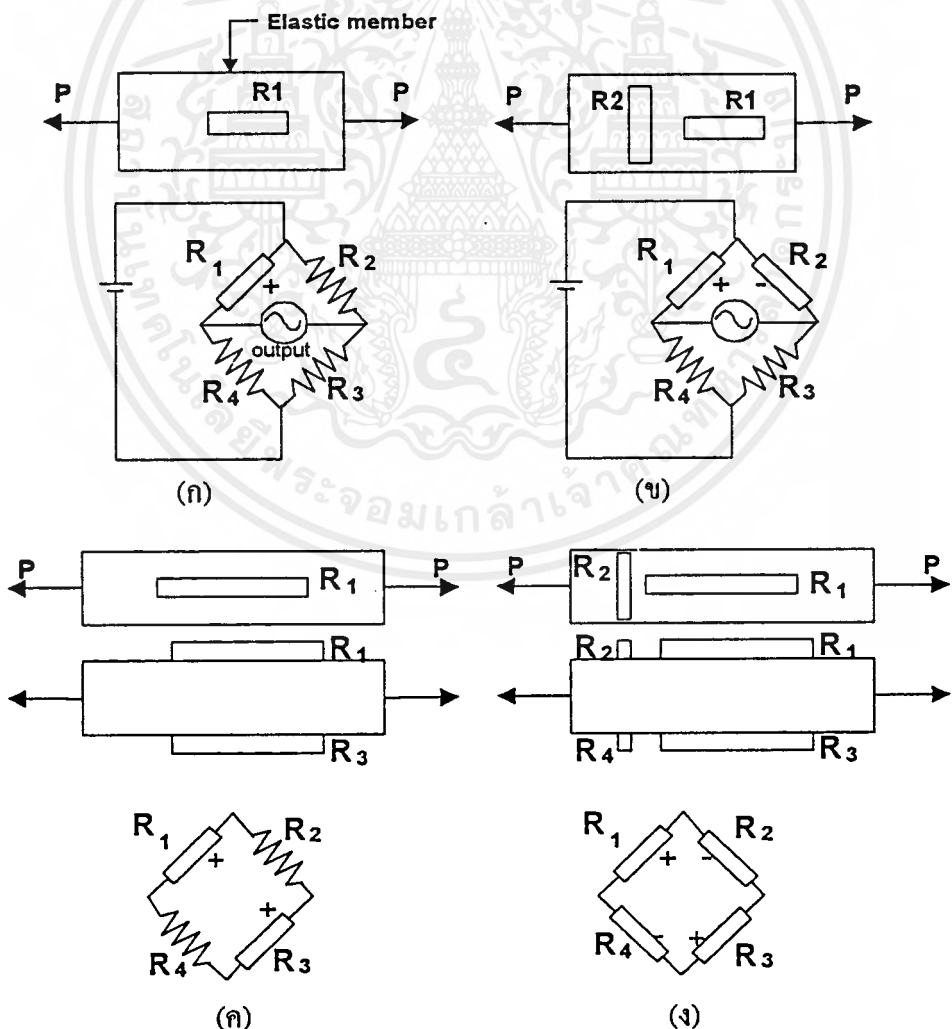
การชดเชยอุณหภูมิเป็นสิ่งจำเป็น เมื่อต้องการวัดความเครียดทางสถิติ เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณเอาต์พุต ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะน้อยมาก สำหรับการวัดความเครียดทางไดนามิก ดังนั้นการวัดความเครียดทางไดนามิกจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมี การชดเชยอุณหภูมิ

### 2.15 การจัดวางเกจความเครียด (strain gage arrangement)

มีปัจจัยสองอย่างดังต่อไปนี้ จะต้องคำนึงถึงขณะตัดสินใจวางเกจความเครียดบนชิ้นส่วนยืดหยุ่น เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือ

1. ความไว และ
2. การชดเชยอุณหภูมิ

การจัดวางเกจความเครียดที่แสดงในรูปที่ 2.12 เป็นสิ่งที่สอดคล้องกับการพิจารณาทั้งสองประการ



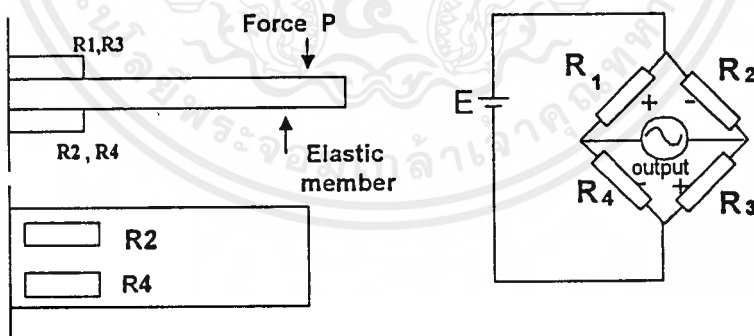
รูปที่ 2.12 รูปแบบการจัดวางที่เป็นไปได้สำหรับการวัดแรง  $P$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของเกจที่เป็นไปได้ของการวัดแรง  $P$  ที่ป้อนไปที่ชิ้นส่วนยืดหยุ่น แสดงในรูปที่ 2.12 (ก) (ข) (ค) และ (ง) โดยเกจความเครียดแสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในรูปที่ 2.12 (ก) เกจ  $R_1$  ถูกยึดติดอยู่บนชิ้นส่วนยืดหยุ่น เพื่อวัดความเครียดตามแนวแกนในชิ้นส่วนยืดหยุ่น แต่ระบบไม่มีการชดเชยอุณหภูมิและเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ  $R_1$  เพียงอย่างเดียว

ในการจัดวางรูปที่ 2.12 (ข) เกจสองตัว  $R_1$  และ  $R_2$  ถูกวางไว้เป็นมุมฉากหรือที่เรียกว่า “การจัดวางของพอยสัน (Poisson’s arrangement)” ดังนั้น  $R_1$  จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความดึงเครียดตามแนวขวางในชิ้นส่วนยืดหยุ่น โดยความเครียดอันหลังจะเป็น  $v$  เท่าของความเครียดอันแรก เมื่อ  $v$  หมายถึง อัตราส่วนพอยสัน (Poisson’s ratio) แฟคเตอร์สนับสนุนสัญญาณจะเป็น  $(1 + v)$  เพราะว่าการคำนวณของ  $R_1$  และ  $R_2$  มีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้าม และระบบมีการชดเชยอุณหภูมิด้วยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อ  $R_1$  และ  $R_2$  เท่าๆกันจึงไม่มีผลกระทบต่อเอาต์พุต การจัดวางของรูปที่ 2.12 (ค) ซึ่งทั้ง  $R_1$  และ  $R_2$  อยู่ภายใต้ความดึงเครียดตามแนวแกนด้วยจำนวนที่เท่ากันและ  $R_1$  และ  $R_2$  ถูกยึดติดไว้บนแกนของบริดจ์ด้านตรงข้ามกัน จึงให้แฟคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น 2 แต่จะไม่มีการชดเชยอุณหภูมิ ดังนั้นการจัดวางแบบนี้ จึงต้องการสองดัมมิเกจเพื่อทำให้เกิดความมั่นใจในเรื่องการชดเชยอุณหภูมิ

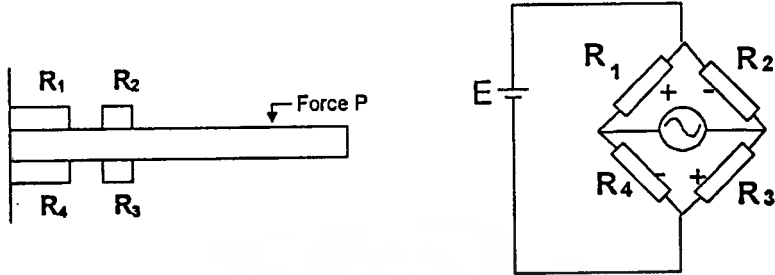
การจัดวางรูปที่ 2.12 (ง) ซึ่งใช้เกจสี่ตัวโดย  $R_2$  และ  $R_4$  ถูกจัดวางไว้เป็นมุมฉากกับ  $R_1$  และ  $R_3$  จะให้แฟคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น  $2(1 + v)$  และมีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.13 การจัดวางเกจความเครียดเพื่อการวัดแรง  $P$

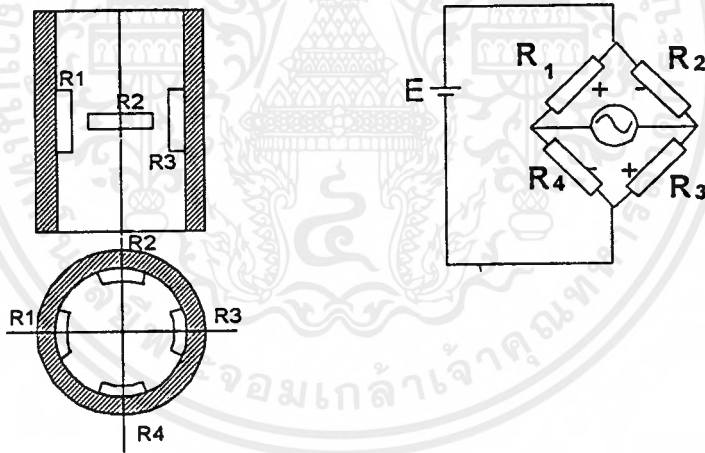
อีกตัวอย่างหนึ่ง แรง  $P$  สามารถวัดได้โดยใช้คานยืดหยุ่น (elastic cantilever) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เกจความเครียดถูกยึดติดอยู่ที่โคนของคานตรงที่ความเครียดของการโค้งมากที่สุด  $R_1$  และ  $R_3$  มีความดึงเครียด ขณะที่  $R_2$  และ  $R_4$  มีความอัดเครียด การจัดวางบริดจ์ของรูปที่ 2.13 (ข) จะให้แฟคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น 4 และมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย การจัดวางในลักษณะอื่นแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่ง  $R_1$  และ  $R_2$  ถูกยึดติดตามการจัดวางของพอยสันและอันนี้ก็ใช้กับ  $R_3$  และ  $R_4$  ด้วยการจัดวางบริดจ์ของรูปที่ 2.13 (ข) แกนที่ติดกันจะมีความเครียดในธรรมชาติที่ตรงกันข้าม แม้ว่าจะมีขนาดไม่เท่ากัน

ก็ตาม การจัดวางของรูปที่ 2.14 จะให้แฟคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเป็น  $2(1 + V)$  เมื่อ  $v$  เป็นอัตราส่วนของพอยสันและอุณหภูมิที่จะถูกชดเชยด้วย



รูปที่ 2.14 การจัดวางในอีกลักษณะหนึ่ง

**ตัวอย่าง** โหลดเซลล์อันหนึ่ง มีรูปร่างเป็นโลหะทรงกระบอกกลวงได้รับโหลดตามแนวแกน เกจความเครียดสี่ตัวถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อทำให้สัญญาณเอาต์พุตสูงขึ้นและชดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โหลดเซลล์มีพื้นที่หน้าตัดเป็น 2 ตารางเซนติเมตร Young's modulus ของโลหะเป็น  $2.07 \times 10^{11}$  นิวตันต่อตารางเมตร และอัตราส่วนของพอยสันเป็น 0.3



รูปที่ 2.15

ค่าความต้านทานของเกจความเครียด = 1000 โอห์ม

เกจแฟคเตอร์ = 2.1

กระแสในเกจความเครียดแต่ละตัวถูกจำกัดที่ 20 มิลลิแอมป์ จงคำนวณหา

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่
2. กระแสเอาต์พุต ถ้าค่าความต้านทานของไมโครแอมมิเตอร์เป็น 500 โอห์ม

เมื่อโหลดเซลล์อยู่ภายใต้การกระทำของแรง  $10^7$  นิวตัน

**วิธีทำ** การจัดวางของของเกจความเครียดในรูป  $R_1$  และ  $R_3$  จะวัดความเครียดตามแนวแกนขณะที่  $R_2$  และ  $R_4$  วัดความเครียดตามแนวเส้นรอบวง ซึ่งมีธรรมชาติตรงข้ามกับความเครียดตามแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบเซปาระชันด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{แฟกเตอร์สนับสนุนสัญญาณ} &= 2(1 + v) \\ &= 2.6 \end{aligned}$$

สำหรับระบบที่มีการสมดุลในตอนเริ่มต้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าแบตเตอรี่

$$E = (20/1000)(R_1 + R_2)$$

แทนค่า  $R_1 = R_2 = 1000$  โอห์ม

$$E = 40 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเคี้ยวตามแนวแกนในทรงกระบอก} &= (10^5 \cdot 10^4) / 2.07 \cdot 11 \cdot 2 \\ &= 2.415 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

ถ้า  $R_1$  เพียงตัวเดียวที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความเคี้ยวข้างต้น กระแส  $R_2$  คือ

$$\begin{aligned} I_2 &= E / 4(R_1 + R_2) \\ &= 40 \cdot 2.1 \cdot 2.415 \cdot 10^3 / [4(1000 \cdot 500)] \\ &= 3.38 \cdot 10^{-5} \text{ แอมป์} \end{aligned}$$

เพราะว่าค่าความต้านทานทั้งสองตัวมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น กระแส

$$\begin{aligned} I_2 &= 2.6 \cdot 3.38 \cdot 10^{-5} \\ &= 8.79 \cdot 10^{-5} \text{ แอมป์} \end{aligned}$$

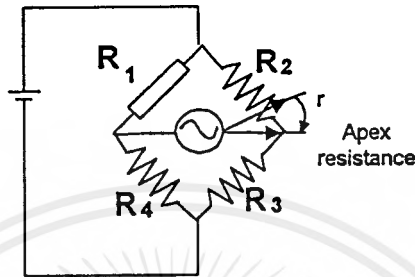
### 2.16 การสมดุลบริดจ์ (balancing of bridges)

บริดจ์ต้องถูกทำให้สมดุลตอนเริ่มต้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติค่าความต้านทานที่แขนทั้งสองอาจไม่เท่ากัน วิธีใดวิธีหนึ่ง ดังต่อไปนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อการสมดุลบริดจ์

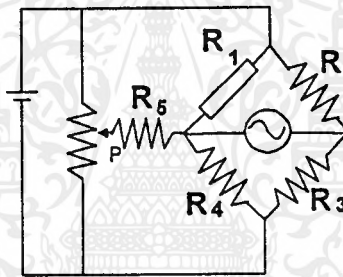
1. วิธีการสมดุลแบบอนุกรม (series balancing method) โดยใช้ Apex resistance ดังรูปที่ 2.16 เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่จุดสัมผัสของ apex resistance ถ้า  $R_2$  เพิ่มขึ้นเป็น  $r$  และ  $R_3$  ลดลงเป็นจำนวน  $r$  ด้วย ในทางตรงกันข้าม ถ้า  $R_3$  เพิ่มขึ้นเป็น  $r$   $R_2$  จะลดลงเป็น  $r$  ด้วย
2. วิธีการสมดุลแบบขนาน (parallel balancing method) บริดจ์สามารถทำให้สมดุลได้โดยการเคลื่อนที่จุดสัมผัส  $P$  ดังแสดงในรูปที่ 2.17

### 2.17 การสอบเทียบ

สำหรับการจัดวางบริดจ์แบบไม่สมดุล มันเป็นสิ่งจำเป็นที่แสดงความสัมพันธ์ของเอาต์พุตของ บริดจ์ (bridge) กับความเครียดในเกจความเครียด (Strain gage) วิธีทางไฟฟ้าหรือทางกลอาจนำมาใช้ได้



รูปที่ 2.16 การใช้ Apex Resistance เพื่อการสมดุลและการสอบเทียบ



รูปที่ 2.17 การจัดวางสมดุล แบบขนาน

วิธีทางไฟฟ้าโดยปกติจะสร้างขึ้นในวงจรบริดจ์ของเกจความเครียด ซึ่งมักพบเห็นโดยทั่วไป

#### 2.17.1 วิธีทางไฟฟ้าวิธีแรก

การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานที่แขนโดยเลียนแบบโดยการใช้ apex resistance

ในเทอมของความเครียด ( $\xi$ ) ในเกจตัวเดียว (สมมุติว่าเป็น  $R_1$ ) ความเป็นไปได้อันนี้ สามารถแสดงโดยจากรูป 2.16 ถ้าบริดจ์ถูกทำให้สมดุลในตอนแรก นั่นคือ

$$R_1/R_4 = R_2/R_3 = 1 \tag{1.33}$$

จากนั้น apex resistance เปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ  $R_2$  เพิ่มขึ้นเป็น  $R_2 + r$  และ  $R_3$  ลดลงเป็น  $R_3 - r$  บริดจ์เปลี่ยนเป็นไม่สมดุล แต่ค่าของ  $\Delta R_1/R_1$  สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงข้างต้น

$$(R_1 + \Delta R_1)/R_4 = R_2 + R - r / R_3 - r \tag{1.34}$$

กำหนดให้  $x = r/R_3$  เราจะพบว่าสมการที่ (1.33) และ (1.34) จะได้

$$\Delta R_1/R_1 = 2x/(1 - x) \tag{1.35}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น apex resistance สามารถสอบเทียบได้ในเทอมของ  $\Delta R_1/R_1$  หรือความเครียด  $\xi$  ถ้ารู้ค่าคงแฟกเตอร์

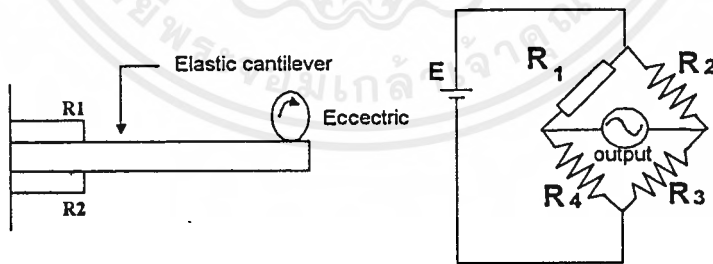
### 2.17.2 การสอบเทียบทางไฟฟ้าวิธีที่สอง

สำหรับการสอบเทียบทางสถิติ dead weights สามารถนำมาใช้โดยตรงและความเครียดสามารถคำนวณได้และมีความสัมพันธ์กับเอาต์พุต

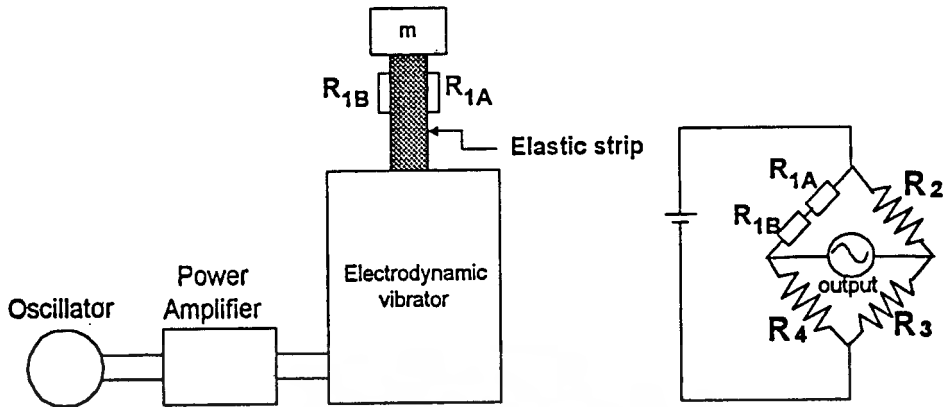
สำหรับการสอบเทียบทางไดนามิกมีสองวิธี

1. ใช้การหมุนของลูกเบี้ยว (rotating eccentric)
2. ใช้ตัวสั่นสะเทือน (vibrator)

รูปที่ 2.18 คานยึดหยุ่นถูกใช้เหมือนอุปกรณ์ยึดหยุ่น ความเครียดที่แท้จริงสามารถคำนวณได้และแฟกเตอร์ของการสอบเทียบ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเอาต์พุตและความเครียดก็คำนวณได้ ในรูปที่ 2.19 ความถี่และแอมพลิจูดของตัวสั่นสะเทือนสามารถเปลี่ยนแปลงได้เพราะว่าแรงอย่าง sinusoidal โดยมีมวล  $m$  ถูกป้อนไปที่แท่งยึดหยุ่นเป็น  $m\omega^2 x_0$  เมื่อ  $\omega$  เป็น circular frequency ของการสั่น และ  $X_0$  เป็นแอมพลิจูดของมวลที่เคลื่อนที่ซึ่งจำเป็นต้องถูกวัดโดยทรานสดิวเซอร์เคลื่อนที่ใดๆ ตรงกันข้ามกับอันนี้ เอาต์พุตของบริดจ์สามารถวัดได้ ในรูปที่ 2.17 ทั้ง  $R_1, a$  และ  $R_1, b$  ถูกจัดวางไว้เป็นแขนข้างหนึ่งของวิทสโตนบริดจ์ การกระทำเช่นนี้ก็เพื่อตัดผลของการโค้งงอใดๆในแท่งยึดหยุ่น การโค้งงอจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันแต่ในธรรมชาติที่ตรงข้ามกัน  $R_1, a$  และ  $R_1, b$  ทำให้ค่าความต้านทานรวมของแขนไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น เกจตอบสนองกับความเครียด อันเนื่องจากแรงทางไดนามิกที่ได้จากการเคลื่อนที่ของมวล  $m$  เพียงอย่างเดียว

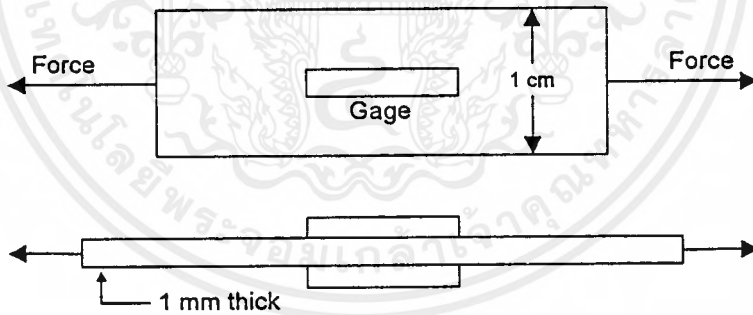


รูปที่ 2.18 การสอบเทียบเกจความเครียดทางไดนามิกโดยใช้ลูกเบี้ยว

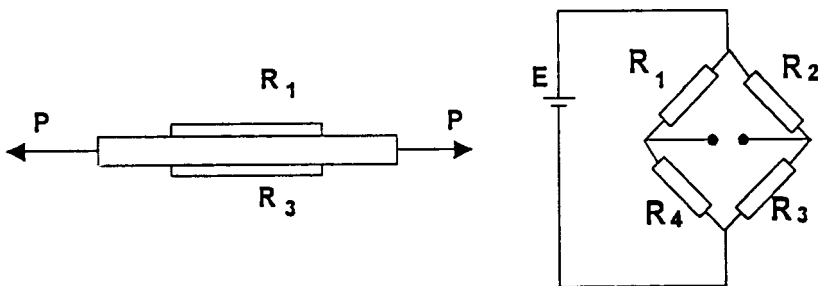


รูปที่ 2.19 การสอบเทียบเกจความเครียดทางไดนามิกโดยใช้ตัวสั่นสะเทือน

**ตัวอย่าง** ข้อประสานแรงดึง ถูกสร้างขึ้นโดยติดเกจความเครียดสองตัวหลังชนกันบนแท่งอลูมิเนียมแผ่นบาง เกจ 120 โอห์ม สี่ตัวถูกนำมาใช้สองตัวอยู่บนแท่งอลูมิเนียมแผ่นบางดังแสดงในรูปที่ 2.20 เกจ 120 โอห์ม ที่ตัวถูกนำมาใช้ สองตัวอยู่บนแท่งอลูมิเนียมและอีกสองตัวที่เหลือทำหน้าที่เป็นคัมมิเกจ เกจแพลตเตอร์ = 2.2 แรงสูงสุดที่ป้อน = 400 นิวตัน กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเกจถูกจำกัดที่ 25 มิลลิแอมป์ Young's modulus ของแท่งวัสดุ =  $6.9 \times 10^{10}$  นิวตันต่อตารางเมตร



รูปที่ 2.20



รูปที่ 2.21 การจัดวางบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ถ้าเอาต์พุตของบริดจ์ถูกต่อเข้ากับออสซิลโลสโคป ซึ่งตั้งการเบี่ยงเบนของเส้นไว้ที่ 10 มิลลิโวลต์ต่อเซนติเมตร จงหาการเบี่ยงเบนของเส้นที่โหลดสูงสุด เมื่ออิมพีแดนซ์ของออสซิลโลสโคปเท่ากับอินฟินิตี้

(ข) เมื่อต่อค่าความต้านทาน  $10^5$  โอห์ม ขนานกับเกดตัวหนึ่งทำให้เส้นบนจอ shift ไป 1 เซนติเมตร จงหาการเบี่ยงเบนของเส้นที่โหลดสูงสุด ที่สอดคล้องกับการตั้งออสซิลโลสโคป

**วิธีทำ** รูปที่ 2.21 แสดงการจัดวางบริดจ์  $R_1$  และ  $R_2$  เป็นเกจใช้งาน ขณะที่  $R_3$  และ  $R_4$  เป็นคัมมิเกจ แพลคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเท่ากับ 2

(ก) ใช้สมการที่ (1.30) สำหรับอินฟินิตี้อิมพีแดนซ์ และการเปลี่ยนแปลงของแขนเพียงข้างเดียว

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต} = EP \xi / 4$$

เพราะว่าแพลคเตอร์สนับสนุนสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ  $R_1$  และ  $R_2$  คือ 2

$$\begin{aligned} \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต} &= 25/1000 (R_1 + R_2) \\ &= 25/1000 (120 + 120) = 6 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

$$F = 2.2$$

$$\text{พื้นที่ของแท่ง A} = 10 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\text{ความเครียด } (\xi) \text{ ในแท่ง} = P/AE$$

เมื่อ E คือ Young's modulus

$$\text{ดังนั้น} \quad \xi = 400/10^{-5} (6.9 \times 10^{10}) = 5.8 \times 10^{-4}$$

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต} = 3.83 \text{ มิลลิโวลต์}$$

$$\text{หรือ การเบี่ยงเบนของเส้น} = 3.83/10 = 0.383 \text{ เซนติเมตร}$$

(ข) ใช้สมการที่ (1.37)

$$\Delta R_1 / R_2 = R_1 / R_1 + R_2 = 120 / 120 + 10^5 = 1.199 \times 10^{-3}$$

อันนี้จะทำให้เส้นบนจอ shift ไป 1 เซนติเมตร

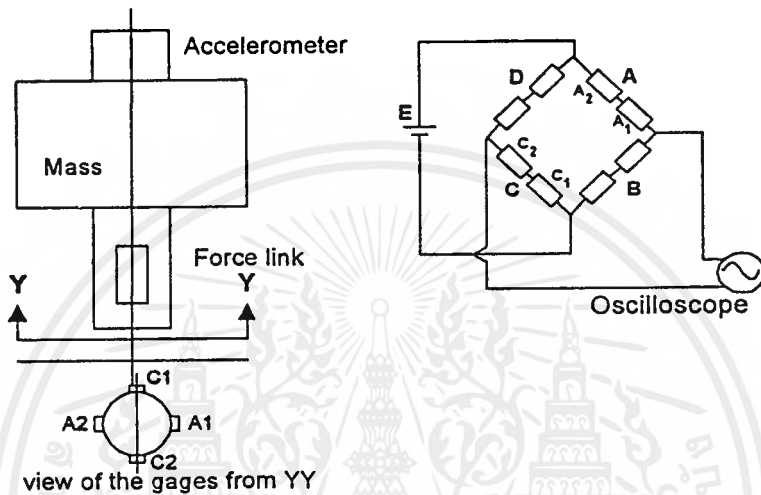
$$\Delta R_1 / R_1 \text{ เนื่องจากความเครียด } 5.8 \times 10^{-4} = 1.27 \times 10^{-3}$$

เพราะว่าระหว่างการแคลิเบรท (Calibrate) ค่าความต้านทานเพียงแขนเดียวจะเปลี่ยนแปลง แต่ขณะนำไปใช้งานกับโหลด สองแขนจะเปลี่ยนแปลงความความต้านทานของมัน

$$\text{การเบี่ยงเบนของเส้น} = 2 \times 1.27 \times 10^{-3} / 1.199 \times 10^{-3} = 2.13 \text{ เซนติเมตร}$$

**ตัวอย่างที่ 1.6** รูปที่ 2.22 แสดงมวลโลหะ (steel mass) อันหนึ่งถูกยึดติดอยู่บนข้อประสานแรง มิเตอร์วัดความแรงชนิดไพโซอิเล็กทริก (Piezo-Electric) อันหนึ่ง ถูกยึดติดอยู่ที่ด้านบนของมวลโลหะ ข้อ

ประสานแรงทำด้วยอลูมิเนียมที่มีพื้นที่หน้าตัด 6 ตารางเซนติเมตร เกจ 400 โอห์ม สี่ตัววัดติดตามแนว  
 ขาวที่ 90 องศา เกจเหล่านี้เป็นส่วนของแขน A และ C ขณะที่แขน B และ D มีเกจชดเชยอลูมิเนียม กำหนด  
 ให้เกจแพคเตอร์ = 2 มวลโลหะ = 5 กิโลกรัม มิเตอร์วัดความแรงถูกต่อเข้ากับช่องที่หนึ่งของออสซิ  
 โลสโคปด้วยอัตราขยาย 50 มิลลิโวลต์ต่อเซนติเมตร



รูปที่ 2.22

ข้อประสานแรงถูกต่อเข้ากับช่องที่สองของออสซิลโลสโคป ตัวต้านทาน  $10^6$  โอห์ม ตัวหนึ่งถูก  
 ต่อไว้ขนานกับแขน A ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของเส้นเป็น 5 เซนติเมตร ระหว่างการทดลอง ถ้าการเบี่ยง  
 เบนสูงสุดของเส้นของข้อประสานแรงเป็น 3 เซนติเมตร และการเบี่ยงเบนสูงสุดของเส้นของมิเตอร์วัด  
 ความแรงเป็น 3.8 เซนติเมตร จงหาความไวของมิเตอร์วัดความแรงในหน่วย mV/g (Young's modulus ของ  
 อลูมิเนียม =  $6.9 \times 10^{10}$  นิวตันต่อตารางเมตร)

วิธีทำ ค่าความต้านทานของแต่ละแขน

$$R_A = R_B = R_C = R_D = 800 \text{ โอห์ม}$$

ในช่องของข้อประสานแรง

$$\Delta R_A / R_A = R_A / R_A + R_{sub} = 800 / 800 + 10^6$$

อันนี้จะให้การเบี่ยงเบนของเส้นเป็น 5 เซนติเมตร.

ระหว่างการทดลอง การเบี่ยงเบนเส้นเป็น 3 เซนติเมตร. อันนี้เป็นเพราะแขนใช้งานสองแขนนั้น  
 คือ A และ C ดังนั้นเอาต์พุตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในค่าความต้านทานแต่ละแขน เนื่องจากความ  
 เครียด =  $3/2 = 1.5$  เซนติเมตร. และ  $F = 2.0$

$$\begin{aligned} \text{ความเครียดที่เหมือนกันในข้อประสานแรง} &= 1.5/5 \times 7.99 \times 10^4 / 2 = 1.1985 \times 10^{10} \\ \text{แรงที่ป้อน (p)} &= 1.1985 \times 10^4 \times 6.9 \times 10^{10} = 4961.8 \text{ นิวตัน} \\ \text{หรือ ความแรงที่ใช้} &= 4961.8/5 = 992.36 \text{ เมตรต่อวินาที} \\ &= 101.2 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตจากช่องของมิเตอร์วัดความแรง

$$= 50 \times 3.8 = 190 \text{ มิลลิโวลต์}$$

ดังนั้น ความไวของมิเตอร์วัดความแรง

$$= 190/101.2 = 1.88 \text{ มิลลิโวลต์ต่อกรัม}$$



### 2.18 การเลือกขนาดกระบอกสูบ

การเลือกขนาดกระบอกสูบลม ให้มีขนาดพอเหมาะกับงานในระบบนิวแมติก (Pneumatic) มีองค์ประกอบในการพิจารณาอยู่หลายประการด้วยกัน เช่น

1. ความดันของลมที่ใช้ในระบบ
2. น้ำหนักของงานที่กระบอกสูบจะต้องไปกระทำ
3. ความยาวช่วงชักของก้านสูบที่จะรับภาระ
4. ความเร็วของลูกสูบที่ต้องการใช้
5. ลักษณะงานที่จะนำกระบอกสูบไปใช้งาน

เมื่อจะนำกระบอกสูบลมไปใช้งาน ควรรู้เรื่องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าใดค่าหนึ่ง เปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าอื่น ๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ

ข้อมูลที่เปลี่ยน	ความเร็ว	แรงที่ได้รับ
เพิ่มความดันใช้งาน	ไม่มีผล	เพิ่มขึ้น
ลดความดันใช้งาน	ไม่มีผล	ลดลง
เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ลดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	เพิ่มขึ้น	ลดลง

การเลือกขนาดกระบอกสูบลม ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน หรือขนาดของแรงที่ได้จากลูกสูบสามารถหาได้จากการคำนวณจากสมการ หรือจากการเปิดตารางซึ่งจะกล่าวต่อไป

การคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบลม แรงที่ได้รับจากลูกสูบเพื่อ ไปดันให้ก้านสูบไปกระทำกับโหลดให้เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความดันลมที่ใช้ เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบ และแรงเสียดทานของซีล (Seal) ที่กระทำต่อกระบอกสูบ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ตามกฎของปาสคาล

$$F_u = 10(A \cdot P)$$

เมื่อ  $F_u$  คือ แรงที่ได้จากลูกสูบทางทฤษฎี (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (ตารางเซนติเมตร)

P คือ ความดันใช้งาน (บาร์)

แรงที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 2.1 นั้นเป็นแรงทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัตินั้นขณะที่ทำงานแรงจะลดลง เนื่องจากค่าความเสียหายมีค่าประมาณ 3 ถึง 10% ของแรงที่คำนวณได้ตามทฤษฎี (ในกรณีที่ค่าความดันลมอัดที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 4 ถึง 8 บาร์ นั่นคือ แรงในทางปฏิบัติจะมีค่า

$$F_n = 10(A.P) - F_R \quad \dots 2.2$$

เมื่อ  $F_n$  แรงที่ได้สุทธิในการทำงาน (นิวตัน)

$F_R$  คือ แรงที่เกิดจากการเสียหาย (นิวตัน)

เนื่องจากลักษณะของกระบอกสูบในการใช้งานมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ดังกล่าวไว้ตอนต้น แต่ในการคำนวณนี้จะขอกำหนดเฉพาะกระบอกสูบแบบพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป คือกระบอกสูบแบบทำงานทางเดียว และกระบอกสูบแบบทำงานสองทาง

สำหรับลูกสูบชนิดทำงานทางเดียว

$$F_n = 10(A.P) - (F_R + F_{sp})$$

$$F_n = 10(\pi/4 D^2.P) - (F_R + F_{sp})$$

เมื่อ  $D$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางลูกสูบ (เซนติเมตร)

$F_{sp}$  คือ แรงดันของสปริง (นิวตัน)

สำหรับลูกสูบชนิดทำงานสองทาง

ในขณะที่ลูกสูบวิ่งออก

$$F_{n1} = 10(A.P) - F_R$$

$$F_{n1} = 10(\pi/4 D^2.P) - F_R$$

ในขณะที่ลูกสูบวิ่งเข้า

$$F_{n2} = 10A'P - F_R$$

เมื่อ  $A'$  คือ พื้นที่วงแหวนของลูกสูบ (ตารางเซนติเมตร)

$$\text{แต่ } A' = \pi/4(D^2 - d^2)$$

นั่นคือ  $F_n = 10\{\pi/4(D^2 - d^2) \times P\} - F_R$

เมื่อ  $d$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางก้านสูบ (เซนติเมตร)

ค่าความต้านทานจากความเสียหายจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ งาน ความเร็วของลูกสูบ คุณภาพการหล่อลิ้น คุณภาพของผิวภายในกระบอกสูบ ชนิดของซีล (Seal) ที่ใช้ทำกระบอกสูบลม รวมทั้งก้านสูบด้วย

**ตัวอย่าง** กระบอกสูบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และแรงเสียหายที่เกิดขึ้นมีค่า 10 % ของแรงทางทฤษฎี ซึ่งค่าความดันใช้งานมีค่า 6 บาร์ และเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 12 มิลลิเมตร จงหาพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ พื้นที่วงแหวน แรงดันและแรงดึงทางทฤษฎี แรงดันและแรงดึงสุทธิ

## วิธีทำ

หาพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

$$A = \pi/4 D^2 = 5 \times 5 \times \pi/4 = 19.625 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

พื้นที่วงแหวน

$$A' = \pi/4 (D^2 - d^2) = (25 - 1.44) \times \pi/4 = 18.8 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

แรงดันทางทฤษฎี

$$\begin{aligned} F_{\text{ท}} &= 10(A.P) \\ &= 10(19.625 \times 6) = 1177.5 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

แรงดึงทางทฤษฎี

$$\begin{aligned} F_{\text{ด}} &= 10(A'.P) \\ &= 10(18.5 \times 6) = 1110 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

แรงดันสุทธิ ค่าแรงเสียดทานมีค่า ( $F_R$ )

$$F_R = 10/100 \times F_{\text{ท}} = 10/100 \times 1177.5 = 117.75 \text{ นิวตัน}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{ด}} &= A.P - F_R \\ &= 1177.5 - 117.75 = 1059.75 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

แรงดึงสุทธิ ค่าแรงเสียดทานมีค่า ( $F_R$ )

$$F_R = 10/100 \times F_{\text{ด}} = 10/100 \times 1110 = 111 \text{ นิวตัน}$$

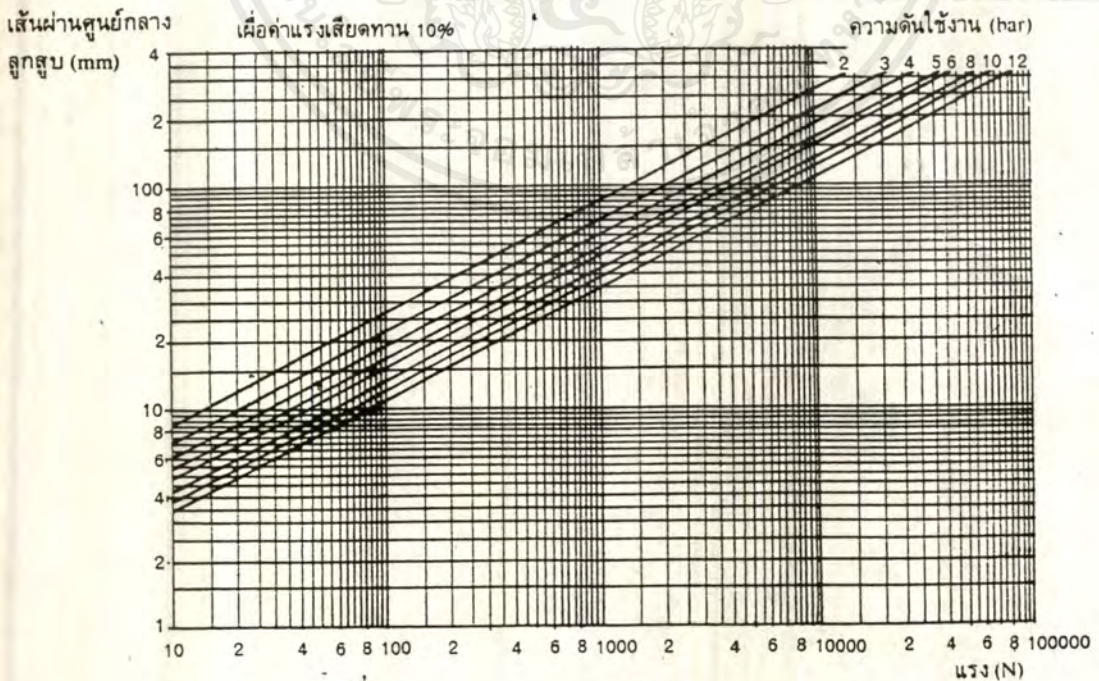
$$\begin{aligned} F_{\text{ด}2} &= A'.P - F_R \\ &= 1110 - 111 = 999 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

การหาค่าของกระบอกสูบลมจากตาราง นอกจากการคำนวณแล้ว ยังสร้างตาราง สำหรับการเปิดหาค่าแรงดันสุทธิ สำหรับกระบอกสูบลมเอาไว้ตามตารางที่ 2.3 ค่าแรงดันสุทธิที่ได้เป็นค่าที่คิดจากแรงเสียดทานที่ 10% ของแรงดันทางทฤษฎี

ตารางที่ 2.3 สำหรับหาค่าแรงดันสุทธิของกระบอกสูบลม(DIN)

เส้นผ่านศูนย์กลาง กลางกระบอก สูบลม (mm)	แรงดันของกระบอกสูบลม (bar)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42	46	50	55	60	63
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86	95	104	113	122	129
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176	194	212	230	248	264
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346	381	416	451	486	519
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706	777	848	919	990	1059

ถ้าไม่ต้องการใช้ตารางที่ 2.3 ในการเปิดหาค่าแรงดันสุทธิ อาจจะใช้รูปที่ 2.23 หาค่าแรงดันสุทธิก็ได้ โดยสามารถอ่านออกมาเป็นค่าแรงดันสุทธิได้เลย แต่การใช้ควรจะต้องทราบเส้นผ่านศูนย์กลางกลางกระบอกสูบมาตรฐานที่ไม่ใช้งานอุตสาหกรรมทั่วไปเสียก่อน โดยดูจากตารางที่ 2.4 ตามมาตรฐาน JIS และ ตารางที่ 2.5 ตามมาตรฐาน DIN



รูปที่ 2.23 การหาแรงดันสุทธิของกระบอกสูบลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

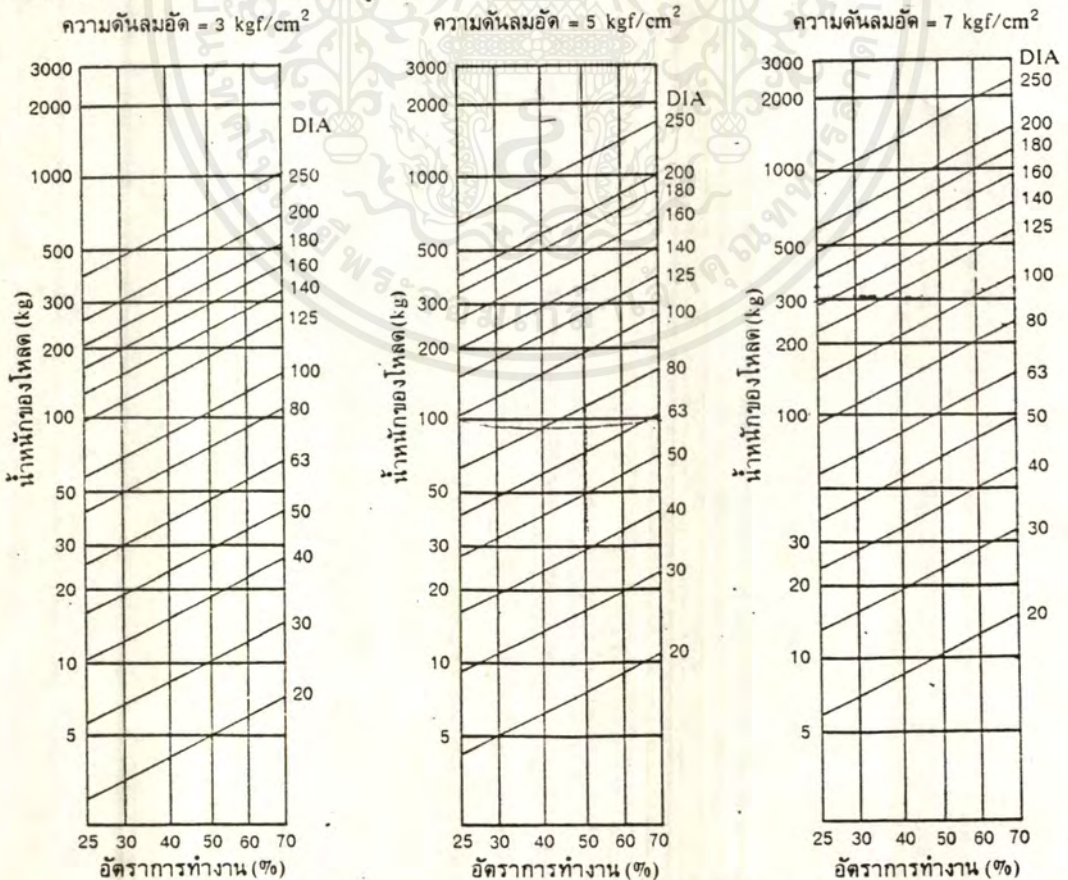
6	10	15	20
25	30	32	40
50	63	75	80
100	125	140	150
160	180	200	230
250	300	350	400

ตารางที่ 2.4 เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบตามมาตรฐาน JIS

6	8	10	12
16	20	25	32
40	50	63	70
80	100	125	160
200	250	320	-

ตารางที่ 2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบตามมาตรฐาน DIN

นอกจากนี้ยังมีวิธีการคิดหาขนาดของกระบอกสูบตามอัตราการทำงานของกระบอกสูบนั้น ๆ เช่น อัตราการทำงาน (load rate) 50%, 65%, 80%, และ 100% ของความสามารถของกระบอกสูบที่คำนวณออกมาได้ สามารถหาได้จากรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การหาขนาดกระบอกสูบตามอัตราการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สละไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับที่กล่าวมาแล้วไม่ว่าจะเป็นการหาค่าในตารางหรือในรูป เป็นการหาขนาดของกระบอกสูบทำงานคอนคินออกทั้งสิ้น แต่ในทางปฏิบัติ กระบอกสูบชนิดทำงานแบบสองทางไม่จำเป็นจะต้องทำงานคอนคินออกเพียงอย่างเดียว คอนคินกลับก็สามารถที่จะทำงานได้เช่นกัน ซึ่งจะหาได้จากตารางที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 ซึ่งตารางดังกล่าวนี้เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบกับก้านสูบขนาดมาตรฐานของ JIS

ตารางที่ 2.6 หาค่าแรงดึงและแรงดันตามอัตราการทำงาน 100%

กระบอกสูบ (mm)	ก้านสูบ (mm)	พื้นที่หน้าตัด (cm <sup>2</sup> )		ความดันใช้งาน (kgf/cm <sup>2</sup> )																หน่วยของแรง kgf					
				2		3		4		5		6		7		8		9				10			
				ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง			ตัน	ดึง		
20	10	3.14	2.35	6.2	4.7	9.4	7.0	12	9.4	15	11	18	14	21	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	12	4.90	3.77	9.8	7.5	14	11	19	15	24	18	29	22	34	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	14	7.06	5.52	14	11	21	16	28	22	35	27	42	33	49	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	16	12.5	10.5	25	21	37	31	50	42	62	52	75	63	87	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	20	19.6	16.4	39	32	58	49	78	65	98	82	117	98	137	115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	20	31.1	28.0	62	56	93	84	124	112	155	140	187	168	218	196	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6	1.13	0.84	2.2	1.6	3.3	2.5	4.5	3.3	5.6	4.2	6.7	5	7.3	5.8	9	6.7	10	7.5	11	8.4	-	-	-	-
16	6	2.01	1.72	4.0	3.4	6.0	5.1	8.0	6.8	10	8.6	12	10	14	12	16	13	18	15	20	17	-	-	-	-
20	8	3.14	2.83	6.2	5.2	9.4	7.9	12	10	15	13	18	15	21	18	25	21	28	23	31	26	-	-	-	-
25	10	4.90	4.12	9.8	8.2	14	12	19	16	24	20	29	24	34	28	39	32	44	37	49	41	-	-	-	-
32	12	8.04	6.91	16	13	24	20	32	27	40	34	48	41	56	48	64	55	72	62	80	69	-	-	-	-
40	14	12.5	11.0	25	22	37	33	50	44	62	55	75	66	87	77	100	88	113	99	125	110	-	-	-	-
32	12	8.04	6.91	16	13	24	20	32	27	40	34	48	41	56	48	64	55	72	62	80	69	-	-	-	-
40	16	12.5	10.5	25	21	37	31	50	42	62	52	75	63	87	73	100	84	113	95	125	105	-	-	-	-
50	22	19.6	15.8	39	31	58	47	78	63	98	79	117	95	137	110	157	126	176	142	196	158	-	-	-	-
63	22	31.1	27.3	62	54	93	82	124	109	155	136	187	164	218	191	249	218	280	246	311	273	-	-	-	-
80	25	50.2	45.3	100	90	150	136	201	181	251	226	301	272	351	317	402	362	452	408	502	453	-	-	-	-
100	25	78.5	73.6	157	147	235	220	314	294	392	368	471	441	549	515	628	589	706	662	785	736	-	-	-	-
32	12	8.04	6.91	16	13	24	20	32	27	40	34	48	41	56	48	64	55	72	62	80	69	-	-	-	-
40	16	12.5	10.5	25	21	37	31	50	42	62	52	75	63	87	73	100	84	113	95	125	105	-	-	-	-
50	22	19.6	15.8	39	31	58	47	78	63	98	79	117	95	137	110	157	126	176	142	196	158	-	-	-	-
63	22	31.1	27.3	62	54	93	82	124	109	155	136	187	164	218	191	249	218	280	246	311	273	-	-	-	-
80	25	50.2	45.3	100	90	150	136	201	181	251	226	301	272	351	317	402	362	452	408	502	453	-	-	-	-
100	25	78.5	73.6	157	147	235	220	314	294	392	368	471	441	549	515	628	589	706	662	785	736	-	-	-	-
125	32	122.7	114.6	245	229	368	344	490	458	613	573	736	688	859	802	981	917	1104	1032	1227	1146	-	-	-	-
140	40	153.9	141.3	307	282	461	424	615	565	769	706	923	848	1077	989	1231	1130	1385	1272	1539	1413	-	-	-	-
160	40	201.0	188.4	402	376	603	565	804	753	1005	942	1206	1130	1407	1319	1608	1507	1809	1696	2010	1884	-	-	-	-
180	40	254.4	241.8	508	483	763	725	1017	967	1272	1209	1526	1451	1781	1693	2035	1935	2290	2177	2544	2418	-	-	-	-
200	40	314.1	301.5	628	603	942	904	1256	1206	1570	1507	1884	1809	2199	2111	2513	2412	2827	2714	3141	3015	-	-	-	-
250	45	490.8	474.9	981	949	1472	1424	1963	1899	2454	2374	2944	2849	3436	3324	3926	3799	4417	4274	4908	4749	-	-	-	-
280	56	615.7	591.1	1231	1182	1847	1773	2463	2364	3078	2955	3694	3546	4310	4137	4926	4728	5541	5320	5157	5911	-	-	-	-
320	56	804.2	779.6	1608	1559	2412	2338	3216	3118	4021	3898	4825	4677	5629	5457	6433	6236	7238	7016	8042	7796	-	-	-	-
360	71	1017.8	978.2	2035	1956	3053	2934	4071	3913	5089	4891	6107	5869	7125	6847	8143	7826	9160	8804	10178	9782	-	-	-	-
400	71	1256.6	1217.0	2513	2434	3769	3651	5026	4868	6283	6085	7539	7302	8796	8519	10053	9736	11309	10953	12566	12170	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 หาค่าแรงดึงและแรงดันตามอัตราการทำงาน 80%

φ กรวยอก- รูป (mm)	φ ก้านสูบ (mm)	พื้นที่หน้าตัด (cm <sup>2</sup> )		ความดันใช้งาน (kgf/cm <sup>2</sup> )																หน่วยของแรง kgf	
				2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		หัวลูกสูบ	สุทธิ	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล	ตัน	กิโล
20	10	3.14	2.35	5.0	3.7	7.5	5.6	10	7.5	12	9.4	15	11	17	13	-	-	-	-	-	-
25	12	4.90	3.77	7.8	6.0	11	9.0	15	12	19	15	23	18	27	21	-	-	-	-	-	-
30	14	7.06	5.52	11	8.8	16	13	22	17	28	22	33	26	39	30	-	-	-	-	-	-
40	16	12.5	10.5	20	16	30	25	40	33	50	42	60	50	70	59	-	-	-	-	-	-
50	20	19.6	16.4	31	26	47	39	62	52	78	65	94	79	109	92	-	-	-	-	-	-
63	20	31.1	28.0	49	44	74	67	99	89	124	112	149	134	174	156	-	-	-	-	-	-
12	6	1.13	0.84	1.8	1.3	2.7	2.0	3.6	2.7	4.5	3.3	5.4	4.0	6.3	4.7	7.2	5.4	8.1	6.1	9.0	6.7
16	6	2.01	1.72	3.2	2.7	4.8	4.1	6.4	5.5	8.0	6.9	9.6	8.2	11	0.6	12	11	14	12	16	13
20	8	3.14	2.63	5.0	4.2	7.5	6.3	10	8.4	12	10	15	12	17	14	20	16	22	19	25	21
25	10	4.90	4.12	7.8	6.6	11	9.9	15	13	19	16	23	19	27	23	31	26	35	29	39	32
32	12	8.04	6.91	12	11	19	16	25	22	32	27	38	33	45	38	51	44	57	49	64	55
40	14	12.5	11.0	20	17	30	26	40	35	50	44	60	52	70	61	80	70	90	79	100	88
32	12	8.04	6.91	12	11	19	16	25	22	32	27	38	33	45	38	51	44	57	49	64	55
40	16	12.5	10.5	20	16	30	25	40	33	50	42	60	50	70	59	80	67	90	76	100	84
50	22	19.6	15.8	31	25	47	38	62	50	78	63	94	76	109	88	125	101	141	114	157	126
63	22	31.1	27.3	49	43	74	65	99	87	124	109	149	131	174	153	199	175	224	197	249	218
80	25	50.2	45.3	80	72	120	108	160	145	201	181	241	217	281	253	321	290	361	326	402	362
100	25	78.5	73.6	125	117	188	176	251	235	314	294	376	353	439	412	502	471	565	530	628	589
32	12	8.04	6.91	12	11	19	16	25	22	32	27	38	33	45	38	51	44	57	49	64	55
40	16	12.5	10.5	20	16	30	25	40	33	50	42	60	50	70	59	80	67	90	76	100	84
50	22	19.6	15.8	31	25	47	38	62	50	78	63	94	76	109	88	125	101	141	114	157	126
63	22	31.1	27.3	49	43	74	65	99	87	124	109	149	131	174	153	199	175	224	197	249	218
80	25	50.2	45.3	80	72	120	108	160	145	201	181	241	217	281	253	321	290	361	326	402	362
100	25	78.5	73.6	125	117	188	176	251	235	314	294	376	353	439	412	502	471	565	530	628	589
125	32	122.7	114.6	196	183	294	276	392	366	490	458	589	550	687	642	785	733	883	825	981	917
140	40	153.9	141.3	246	226	369	339	492	452	615	565	738	678	862	791	985	904	1108	1017	1231	1130
160	40	201.0	188.4	321	301	482	452	643	603	804	753	965	904	1125	1055	1286	1206	1447	1357	1608	1507
180	40	254.4	241.8	407	387	610	580	814	774	1017	967	1221	1161	1424	1354	1628	1548	1832	1741	2035	1935
200	40	314.1	301.5	502	482	753	723	1005	965	1256	1206	1507	1447	1759	1688	2010	1930	2261	2171	2513	2412
250	45	490.8	474.9	785	759	1178	1139	1570	1519	1963	1899	2356	2279	2748	2659	3141	3039	3534	3419	3926	3799
280	56	615.7	591.1	985	945	1477	1418	1970	1891	2462	2364	2955	2837	3448	310	3940	3783	4433	4255	4925	4728
320	56	804.2	779.6	1286	1286	1930	1871	2573	2494	3216	3118	3860	3742	4523	4365	5147	4989	5790	5613	6433	6236
360	71	1017.8	978.2	1628	1628	2442	2347	3257	3130	4071	3913	4885	4695	5699	5478	6514	6260	7328	7043	8142	7826
400	71	1256.6	1217.0	2012	2010	3015	2920	4021	3894	5026	4868	6031	5841	7036	6815	8042	7788	9047	8762	10052	9736

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 หาค่าแรงดึงและแรงดันตามอัตราการทำงาน 65%

หน่วยของแรง kgf

ขนาด รูป (mm)	ขนาด รูป (mm)	พื้นที่หน้าตัด (cm <sup>2</sup> )		ความเค้นใช้งาน (kg/cm <sup>2</sup> )																	
				2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		หัวลูกสูบ	ลูกสูบ	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง	ตัน	ดึง
20	10	3.14	2.35	4.0	3.0	6.1	4.5	8.1	6.1	10	7.6	12	9.1	14	10	-	-	-	-	-	-
25	12	4.90	3.77	6.3	4.9	9.5	7.3	12	9.8	15	12	19	14	22	17	-	-	-	-	-	-
30	14	7.06	5.52	9.1	7.1	13	10	18	14	22	17	27	21	32	25	-	-	-	-	-	-
40	16	12.5	10.5	16	13	24	20	32	27	40	34	49	41	57	48	-	-	-	-	-	-
50	20	19.6	16.4	25	21	38	32	51	42	63	53	76	64	99	75	-	-	-	-	-	-
63	20	31.1	28.0	40	36	60	54	81	72	101	91	121	109	141	127	-	-	-	-	-	-
12	6	1.13	0.84	1.4	1.1	2.2	1.6	2.9	2.2	3.6	2.7	4.4	3.3	5.1	3.8	5.8	4.4	6.6	4.9	7.3	5.5
16	6	2.01	1.72	2.6	2.2	3.9	3.3	5.2	4.4	6.5	5.6	7.8	6.7	9.1	7.8	10	8.9	11	10	13	11
20	8	3.14	2.63	4.0	3.4	6.1	5.1	8.1	6.8	10	8.5	12	10	14	12	16	13	18	15	20	17
25	10	4.90	4.12	6.3	5.3	9.5	8.0	12	10	15	13	19	16	22	18	25	21	28	24	31	26
32	12	8.04	6.91	10	8.9	15	13	20	17	26	22	31	26	36	31	41	35	47	40	52	44
40	14	12.5	11.0	16	14	24	21	32	28	40	35	49	43	57	50	65	57	73	64	81	71
32	12	8.04	6.91	10	8	15	13	20	17	26	22	31	26	36	31	41	35	47	40	52	44
40	16	12.5	10.5	16	13	24	20	32	27	40	34	49	41	57	48	65	54	73	61	81	68
50	22	19.6	15.8	25	20	38	30	51	41	63	51	76	61	89	72	102	82	114	92	127	102
63	22	31.1	27.3	40	35	60	53	81	71	101	88	121	106	141	124	162	142	182	169	202	177
80	25	50.2	45.3	65	58	98	88	130	117	163	147	196	178	228	206	261	235	294	265	326	294
100	25	78.5	73.6	102	95	153	143	204	191	255	239	306	287	357	335	408	382	459	430	510	478
32	12	8.04	6.91	10	8.9	15	13	20	17	26	22	31	26	36	31	41	35	47	40	52	44
40	16	12.5	10.5	16	13	24	20	32	27	40	34	49	41	57	48	65	54	73	61	81	68
50	22	19.6	15.8	25	20	38	30	51	41	63	51	76	61	89	72	102	82	114	92	127	102
63	22	31.1	27.3	40	35	60	53	81	71	101	88	121	106	141	124	162	142	182	169	202	177
80	25	50.2	45.3	65	58	98	88	130	117	163	147	196	178	228	206	261	235	294	265	326	294
100	25	78.5	73.6	102	95	153	143	204	191	255	239	306	287	357	335	408	382	459	430	510	478
125	32	122.7	114.6	159	149	239	223	319	298	398	372	478	447	558	521	638	596	717	670	797	745
140	40	153.9	141.3	200	183	300	275	400	367	500	459	600	551	700	643	800	735	900	827	1000	918
160	40	201.0	188.4	261	245	392	367	522	490	653	612	784	735	914	857	1045	980	1176	1102	1306	1225
180	40	254.4	241.8	330	314	496	471	661	628	827	786	992	943	1157	1100	1323	1257	1488	1415	1654	1572
200	40	314.1	301.5	408	392	612	588	816	784	1021	980	1225	1178	1429	1372	1633	1568	1837	1764	2042	1960
250	45	490.8	474.9	638	617	957	926	1276	1234	1595	1543	1914	1852	2233	2161	2552	2469	2871	2778	3190	3087
280	56	615.7	591.1	800	768	1200	1152	1600	1536	2001	1921	2401	2305	2801	2689	3201	3073	3602	3458	4002	3842
320	56	804.2	779.6	1045	1013	1568	1520	2091	2027	2613	2533	3136	3040	3658	3547	4182	4054	4704	4560	5227	5067
360	71	1017.8	978.2	1323	1271	1984	1907	2646	2543	3308	3179	3969	3815	4631	4451	5292	5087	5954	5722	6616	6358
400	71	1256.6	1217.0	1633	1582	2450	2373	3267	3164	4084	3955	4900	4746	5717	5537	6534	6328	7351	7119	8168	7910

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตัวอย่าง** ต้องการหาขนาดของกระบอกสูบที่ไปดัน โหลดหนัก 80 กิโลกรัม โดยให้ความดันของลมอัด 5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร อัตราความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบลมมีค่าเท่ากับ 50%

**วิธีทำ** จากรูปที่ 2.24 สามารถเลือกขนาดของกระบอกสูบลมได้ขนาดของกระบอกสูบลมได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 มิลลิเมตร

**หมายเหตุ** ถ้าคุณภาพของลมอัดมีคุณภาพที่ดี เช่น สามารถกำจัดความชื้น ละอองฝุ่นผงในระดับได้ดี อัตราการทำงานก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

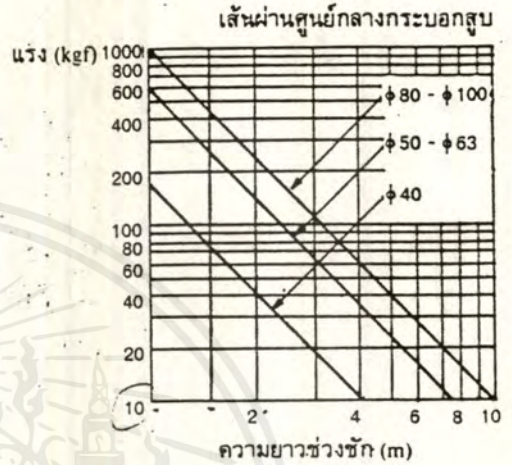
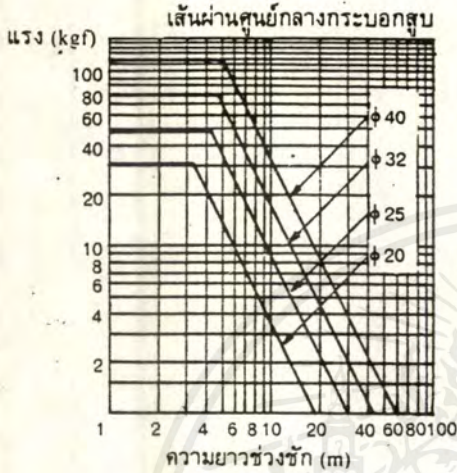
### 2.19 การหาความยาวช่วงชัก

ความยาวช่วงชักของก้านสูบที่ใช้ได้เหมาะสมไม่ควรเกิน 2000 มิลลิเมตร เพราะจะทำให้ความสิ้นเปลืองลมมากเกินไป ไม่เป็นการประหยัด แต่อย่างไรก็ตามมีความยาวของก้านสูบที่ยาวกว่านี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการและโหลดที่กระทำต่อก้านสูบ ความยาวสูงสุดที่มีมาตรฐาน JIS มีความยาวถึง 7400 มิลลิเมตร แต่ลักษณะของกระบอกสูบ ที่มีก้านยาวมากๆมักมีปัญหาเรื่องการคดงอของก้านสูบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบเล็ก และมีความยาวช่วงชักมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นความยาวช่วงชัก แรงที่กระทำรวมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ จะต้องมีความสัมพันธ์กันดังในตาราง 2.9

ตารางที่ 2.9 การหาความยาวช่วงชักของก้านสูบที่ยาวได้สูงสุด

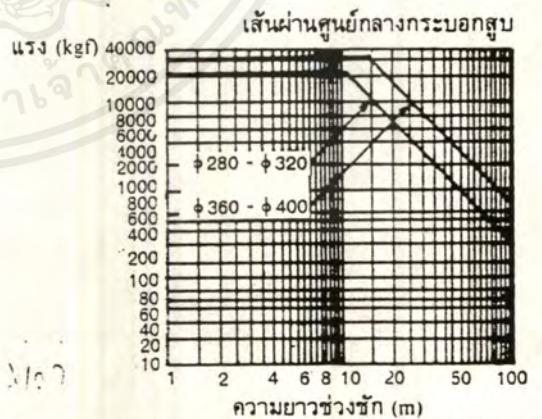
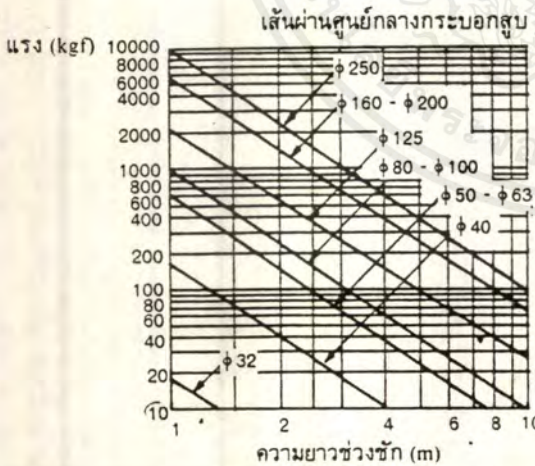
แรงที่กระทำ (kgf)	เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (mm)											
	40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	250	
20	2600	4100										
40	1810	2900	2900									
60	1500	2400	2400	3600								
80	1280	2000	2000	3140	4500							
100		1820	1820	2800	4000							
150			1480	2300	3300	4600						
200				1980	2840	3900	3900					
250				1760	2560	3500	3500	4600				
300				1600	2300	3200	3200	4100	5300			
350					2140	3000	3000	3800	5000	5900		
400					2000	2800	2800	3600	4600	5600		
500					1800	2500	2500	3200	4100	5000	7400	
600						3300	2300	2900	3800	4600	6800	
700							2100	2700	3500	4200	6200	
800								2000	2500	3300	3900	5800
900								1880	2400	3100	3700	5500
1000									2300	2900	3500	5200
1500										2400	2900	4200
2000											2500	3600
2500												3300
3000												3000

ในบางครั้งใช้วิธีคำนวณค่าได้จากแคตตาล็อก (Catalog) ของบริษัทผู้ผลิต จากรูปที่ 2.25 แคนดิ่งจะเป็นแรง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรง ส่วนแกนนอนเป็นความยาวช่วงชัก (ถ้าจะทำเป็นมิลลิเมตรจะต้องคูณด้วย 1000) สำหรับเส้นทะแยงเป็นเส้นบอกขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบ ซึ่งกระบอกสูบจะมีขนาดของก้านสูบอยู่ในตารางได้รูปทั้งหมด



เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	12	16	20	25	32	40
เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	6	6	8	10	12	14

เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	32	40	50	63	80	100
เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	12	16	22	22	25	28



เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	125	140	160	180	200	250
เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	32	40	40	40	40	45

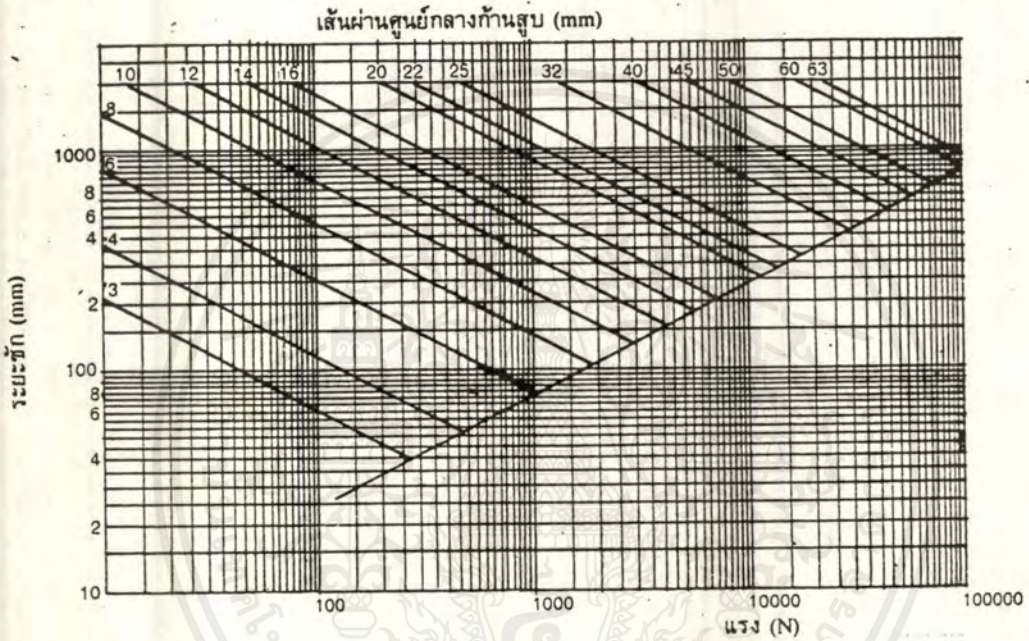
เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	280	320	360	400
เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm)	56	56	71	71

รูปที่ 2.25 แสดงการหาความช่วงชักสูงสุดที่กระทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการหาความยาวช่วงชักตามตารางที่ 2.9 แล้ว ก็ยังมีปัญหาตามมาอีก เพราะในบางครั้งกระบอกสูบโต มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตเท่ากัน แต่เส้นผ่าศูนย์กลางของก้านสูบไม่เท่ากัน จึงทำให้ความยาวช่วงชักไม่เท่ากันด้วย ดังนั้นจึงหาค่าได้จากรูปที่ 2.25

ในบางครั้ง ถ้ารู้ลักษณะของโหลดที่เอากะบอกสูบไปใช้งานและรู้ค่าปริมาณโหลดที่กระทำระยะทางที่ต้องการให้โหลดเคลื่อนที่ก็สามารถหาได้จากรูปที่ 2.26 ซึ่งเมื่อได้ค่ามาแล้วจะต้องไปเลือกขนาดของก้านสูบมาตรฐานจากแคตตาล็อกผู้ผลิตอีกครั้ง



รูปที่ 2.26 การหาขนาดของก้านสูบที่ปลอดภัยจากการโค้งงอ

**ตัวอย่าง** ต้องการหาขนาดของก้านสูบที่จะไปกระทำต่อโหลด 800 นิวตัน ระยะทางที่ต้องการให้โหลดเคลื่อนที่ 500 มิลลิเมตร และให้กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร

**วิธีทำ** จากรูปที่ 2.26 จะพบว่าต้องเลือกขนาดก้านสูบขนาด 16 มิลลิเมตร แต่ขนาดก้านสูบขนาดนี้ไม่มีในมาตรฐานของผู้ผลิต จึงต้องเลือกเอาก้านสูบขนาด 20 มิลลิเมตร (ตามตารางที่ 2.10) หรือ 22 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.25) เป็นต้น นั่นคือ

กระบอกสูบลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร  
ขนาดของก้านสูบ 20 มิลลิเมตร

ในการสร้างกระบอกสูบลมต่างๆ ไปส่วนใหญ่มักจะสร้างระยะชักสูงสุดของก้านสูบ ซึ่งเป็นช่วงชักที่นิยมในการนำไปใช้งานอุตสาหกรรมอย่างมาก ดังตารางที่ 2.10

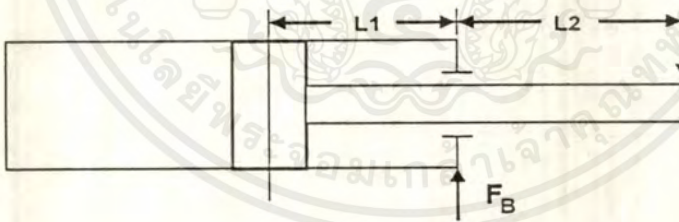
ถ้าความยาวของก้านสูบมากเกินไป นอกจากมีผลต่อการโค้งงอเกิดขึ้นกับก้านสูบแล้ว ยังทำให้เปลืองลมมากเกินไป ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างกระบอกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตุบลมแบบลูกสูบเคลื่อนที่และให้ก้านสูบอยู่กับที่ (rodless) ซึ่งกระบอกสูบนี้มีระยะชักได้ยาวมากกว่ากระบอกสูบแบบธรรมดา และประหยัดปริมาณได้หลายเท่า

ตารางที่ 2.13 ความยาวช่วงชักสูงสุดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (mm)	เกลียวปลายก้านสูบ (mm)	ระยะชักสูงสุด (mm)
40	16	M 14 X 1.5	500
50	20	M 18 X 1.5	600
63	20	M 18 X 1.5	600
80	25	M 22 X 1.5	750
100	30	M 26 X 1.5	750
125	35	M 30 X 1.5	800
140	35	M 30 X 1.5	800
160	40	M 36 X 1.5	800
180	45	M 40 X 1.5	900

ในกรณีที่ต้องการใช้งานที่มีความยาวสูงๆ ต้องเลือกให้ความยาวช่วงชักยาวกว่าช่วงชักที่ต้องการใช้งานเล็กน้อย เพื่อให้ระยะทางระหว่างจุดรับน้ำหนักของก้านสูบไม่น้อยเกินไป ดังรูปที่ 2.27 ระยะเพื่อความปลอดภัยควรมีค่าประมาณ 20% ของความยาวช่วงชักทั้งหมด



รูปที่ 2.27 ระยะเพื่อความปลอดภัย

### 2.20 การหาค่าแรงกระทำด้านข้างของก้านสูบที่อนุญาต

จากรูปที่ 2.27 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นแรงต่างๆที่เกิดขึ้นจากการที่แรงกระทำด้านข้าง ตัวอย่างเช่น การนำเอาโหลดไปแขวนไว้ที่ปลายก้านสูบ สามารถหาแรงกระทำด้านข้างได้จกสมการ

$$F_b = F_r(1 + L2/L1)$$

เมื่อ  $F_b$  คือแรงกระทำที่จุดรองรับ (นิวตัน, กิโลกรัมแรง)

$F_r$  คือแรงกระทำด้านข้างที่ยอมรับให้ได้ (นิวตัน, กิโลกรัมแรง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L1 คือระยะจากบุช (Bush) ปลายก้านสูบถึงลูกสูบ (มิลลิเมตร)

L2 คือระยะจากบุช (Bush) ที่รองรับก้านสูบถึงจุดที่แรงกระทำบนก้านสูบ (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 2.14 สำหรับหาค่า  $F_b$  เพื่อใช้ในสมการ 2.6

เส้นผ่านศูนย์กลาง กระบอกสูบ(mm.)	L1 (mm.)	L2 (mm.)	$F_b$ (Kg)
20	32	31 + ระยะชัก	1.6
25	32	33 + ระยะชัก	2.5
30	33	33 + ระยะชัก	3.5
40	45.5	36.5 + ระยะชัก	6.3
40	34	44 + ระยะชัก	6.3
50	37	48 + ระยะชัก	9.8
63	41	49 + ระยะชัก	15.6
80	47	62 + ระยะชัก	25.1
100	51	64 + ระยะชัก	39.3
125	65.5	102 + ระยะชัก	61.3
140	73	102 + ระยะชัก	76.9
160	73	114.5 + ระยะชัก	100
180	79	123.5 + ระยะชัก	127

## บทที่ 3

### การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ ได้ออกแบบโดยยึดลักษณะที่สำคัญของโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบต่างๆ คล้ายๆ กัน ดังนี้

#### 3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ

##### 1. ส่วนเตรียมอาหารก่อนผสม

1.1 คุณสมบัติอาหารและอัตราการผสม (สูตรผสม)

1.2 ถังบรรจุอาหาร (ไซโลและโครงสร้าง)

##### 2. ส่วนควบคุมการไหลของอาหาร

2.1 วงจรควบคุมมอเตอร์

2.2 การควบคุมการปิด-เปิดวาล์วปีกผีเสื้อ

2.2.1 ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมอัตโนมัติ (Automatic)

2.2.2 ใช้สวิทช์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ (Manual)

2.3 การประกอบชุดวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

##### 3. ส่วนวัดอัตราผสม

3.1 ถังบรรจุอาหารผสม เพื่อทำการวัดอัตราผสม

3.2 อุปกรณ์วัดและควบคุมอัตราผสม

3.2.1 อุปกรณ์วัดน้ำหนักอัตโนมัติ (Load Cell)

3.2.2 การควบคุมอัตราผสม (คอมพิวเตอร์)

3.3 ควบคุมการไหลออกจากถังชั่ง โดยวาล์วปีกผีเสื้อ

3.3.1 ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมอัตโนมัติ (Automatic)

3.3.2 ใช้สวิทช์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ (Manual)

##### 4. ส่วนผสมอาหาร (Mixer)

4.1 ถังบรรจุอาหารผสม (Mixer Tank)

4.2 ควบคุมการไหลออกจากถังผสม (Mixer Tank) โดยมอเตอร์ขับเคลื่อน

4.2.1 ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมอัตโนมัติ (Automatic)

4.2.2 ใช้สวิทช์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ (Manual)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.2.2 ใช้สวิทช์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ (Manual) กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การแสดงผล

5.1 แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic

5.2 แสดงผลด้วยหลอดไฟที่สวิทช์ (Switch) ที่ Monitor Control

5.3 แสดงผลด้วย LED ที่ Monitor Control

5.4 แสดงผลด้วย LED ที่วาล์ว (valve) หรือมอเตอร์ (motor) ขณะทำงาน (ON-OFF)

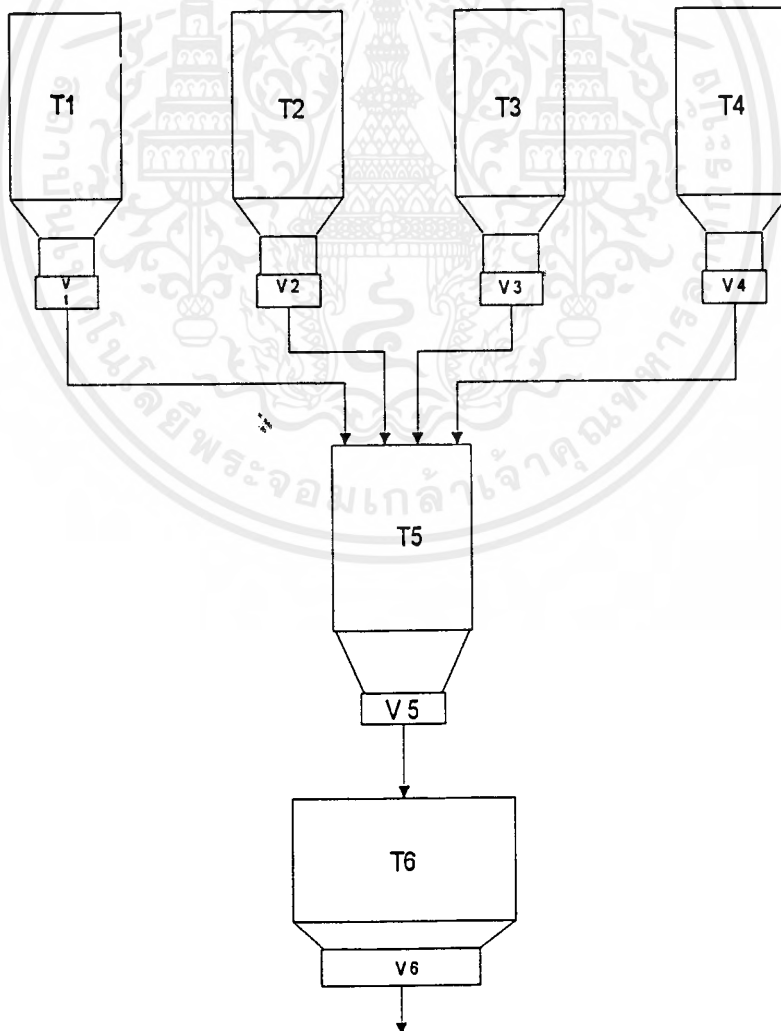
6. การแสดงคำผิดพลาดจากอัตราผสมในระบบอัตโนมัติ (Automatic Alarm Unit)

6.1 เสียงเตือน “บี๊ๆๆๆ”

6.2 ขบวนการผลิตจะหยุด (Process Break)

6.3 ขอมรับคำผิดพลาด กดปุ่มทำงานต่อ (Continue)

6.4 ไม่ขอมรับคำผิดพลาด กดปุ่ม Stop แล้วออกไปใช้ระบบไม่อัตโนมัติ (Manual) เพื่อแก้ไขอัตราผสมในจำนวนชุดการผลิต (Batch) นั้นๆ

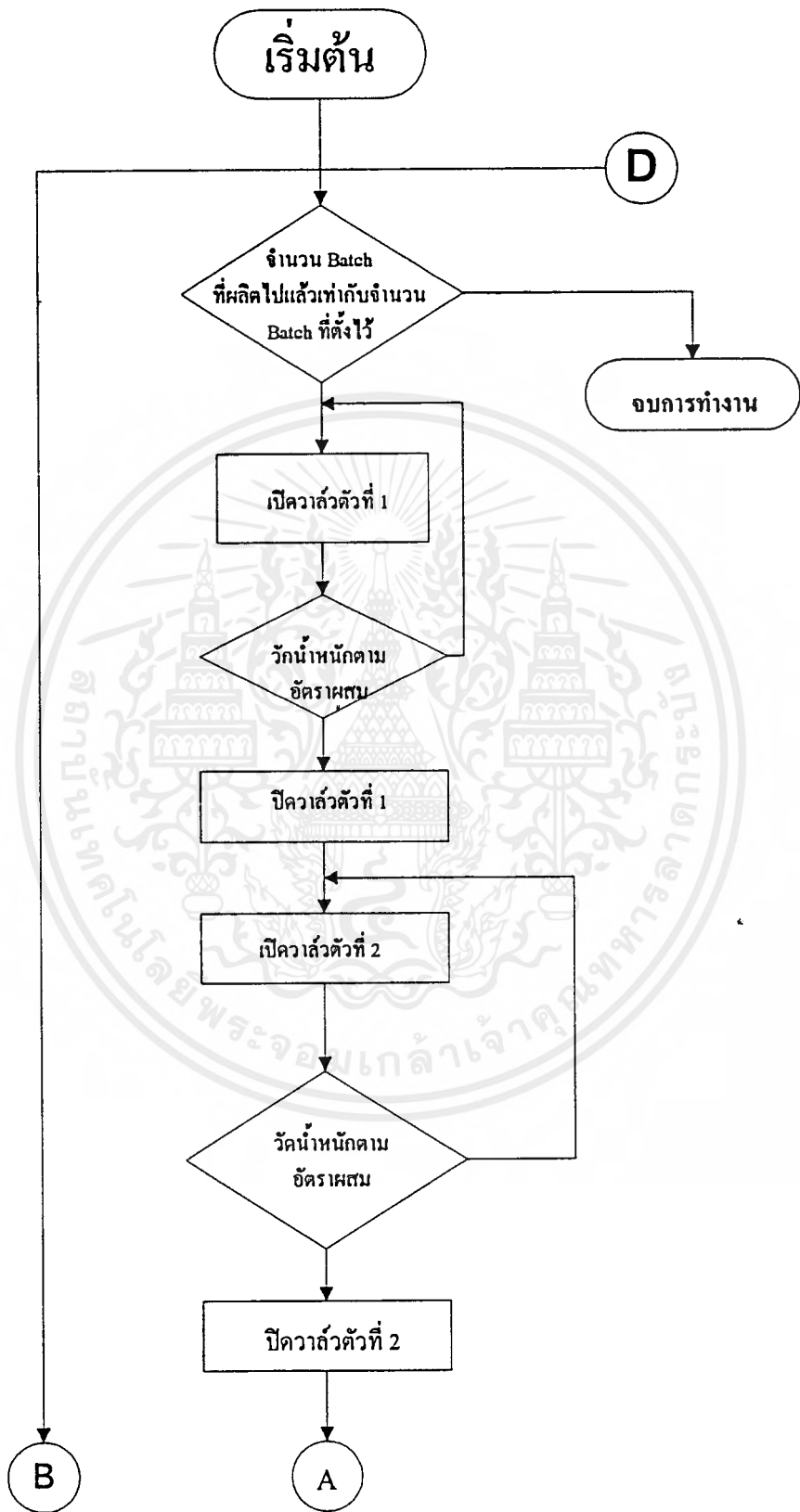


รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโรงงาน

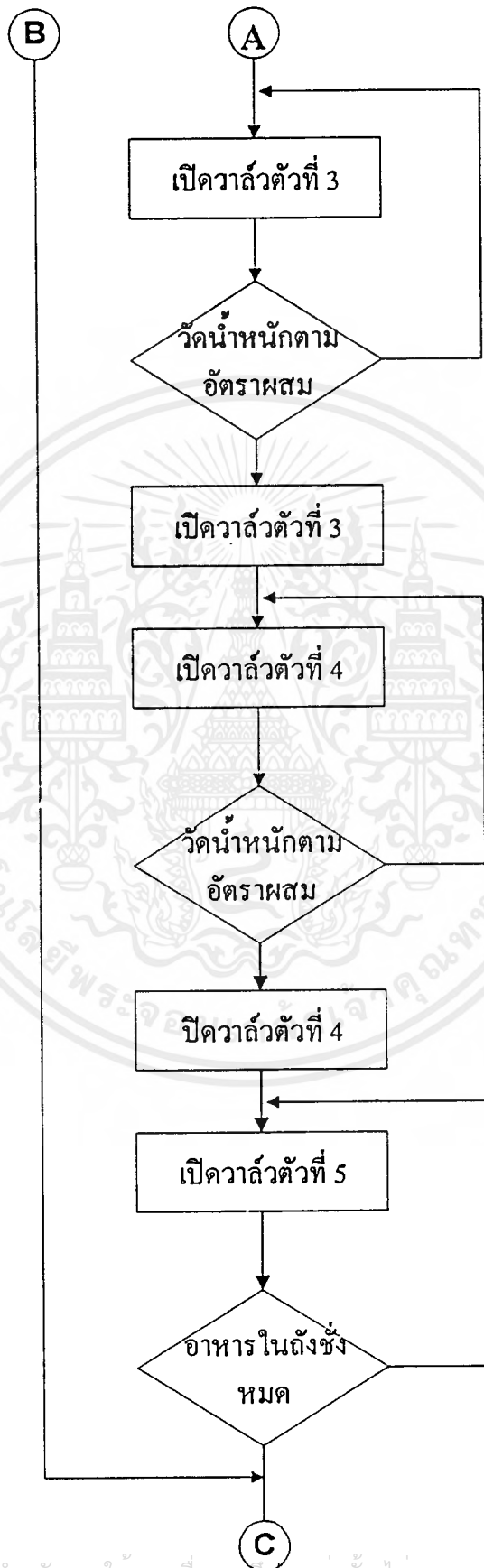
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 หลักการทำงาน

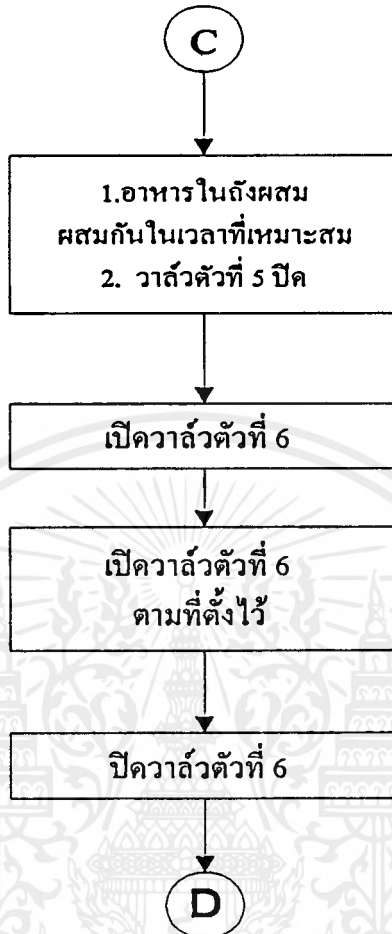
1. บรรจุอาหารต่างกัน 4 ชนิด ในไซโลแต่ละอันจนเต็ม
2. กำหนดสูตรของอาหาร โดยป้อนข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ เลือกสูตรที่ต้องการ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic
3. กำหนดจำนวนชุดการผลิต (Batch) ที่ต้องการผลิต
4. ให้อาหารของไซโลตัวที่ 1 เปิดอาหารชนิดที่ 1 ไหลลงมารวมกันที่ถังชั่ง วัดน้ำหนักโดย Load Cell เมื่อได้น้ำหนักตามสูตร Load Cell จะให้สัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์ จะประมวลผลและตัดสินใจปิดวาล์วตัวที่ 1
5. เปิดวาล์วตัวที่ 2 ให้อาหารชนิดที่ 2 ไหลมารวมกับอาหารชนิดที่ 1 ได้น้ำหนักครบตามสูตร Load Cell ส่งสัญญาณให้เครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์ ประมวลผลและตัดสินใจปิดวาล์วตัวที่ 2
6. กระทำดังกล่าวกับอาหารในไซโลตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับจนครบตามสูตร
7. เมื่ออาหารครบตามสูตรที่ตั้งไว้เครื่องคอมพิวเตอร์ จะส่งสัญญาณให้อาหารของถังชั่งเปิด เพื่อให้อาหารไปผสมกันในถังผสม (Mixer Tank)
8. เมื่ออาหารจากถังชั่งหมด จะทำการปิดวาล์ว ขณะนั้นถังผสม (Mixer) จะทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันในเวลาที่เหมาะสม (ได้จากการทดลองหลายครั้ง) ขณะวาล์วถังชั่งปิดสนิท ก็จะเปิดวาล์วไซโลตัวที่ 1 เริ่มขบวนการผสมใหม่รอบต่อไป
9. เมื่อการผสมด้วยเวลาเหมาะสม จะทำการเปิดวาล์ว เพื่อนำอาหารผสมสำเร็จไปสู่ขบวนการบรรจุต่อไป
10. การบรรจุอาหารก่อนการผสม ในโรงงานขนาดใหญ่ อาจใช้วิธีเติมอัตโนมัติ โดยการตรวจจับระดับของอาหารในไซโลขนาดเล็ก และมีไซโลขนาดใหญ่พอที่จะบรรจุอาหารได้หลายขบวนการ โดยไม่ทำให้ขบวนการเกิดการขัดแย้ง และอาจมีอาหารมากกว่า 4 ชนิด เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการในการเปลี่ยนสูตร แต่ในการผสมแต่ละครั้ง จะเตรียมในไซโลเล็กเพียง 4 ชนิดเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



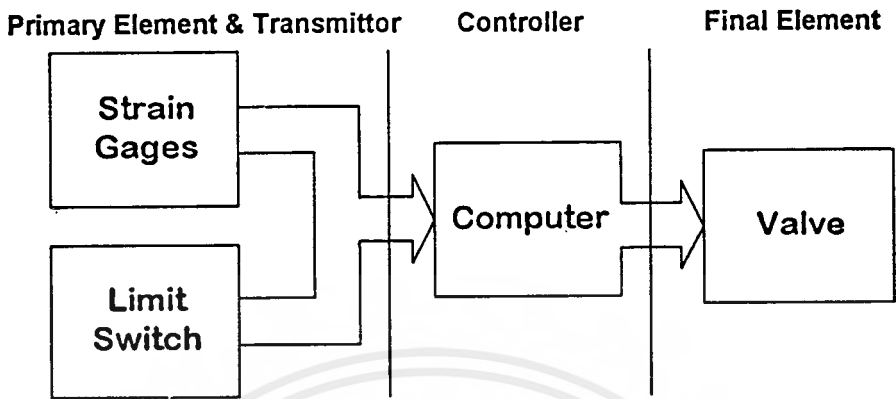
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องผสมอาหารสัตว์อัตโนมัติ

ขั้นตอนการทำงานจริงของแบบจำลองฯ

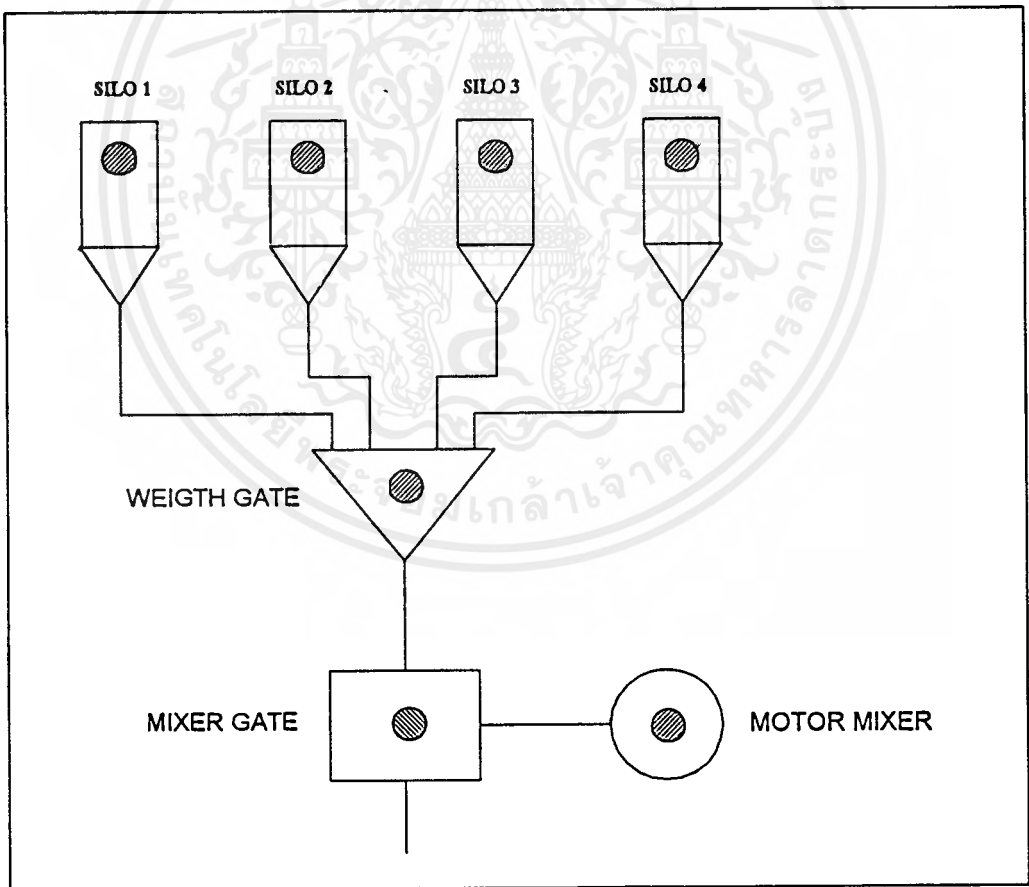
1. จัดเตรียมอาหารสัตว์ใส่ถุงๆ ละ 5 กิโลกรัม และเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมทำงาน
2. ใส่อาหารลงในไซโลทั้ง 4 โดยใส่ไซโลละ 1 ถุง
3. เชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่การ์ดอินพุตเอาต์พุต (Input - Output Card) กับอุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ
4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเข้าสู่โปรแกรม
5. กดปุ่ม F2 OPTION MIX เพื่อใส่ค่าอัตราผสมของอาหารชนิดต่าง จำนวนเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน และจำนวนรอบในการผสมอาหาร
6. กดปุ่ม PLAN เข้าสู่หน้าจอแสดงการทำงานของแบบจำลองฯ
7. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มทดลองการทำงานของแบบจำลองฯ
8. ดูการทำงานของทั้งระบบ พร้อมทั้งดูการแสดงผลที่หน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาใบเซปประเษณนดานการค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เมื่อการทำงานของระบบเสร็จสิ้น จะจบการทดลองการทำงานของแบบจำลองฯ



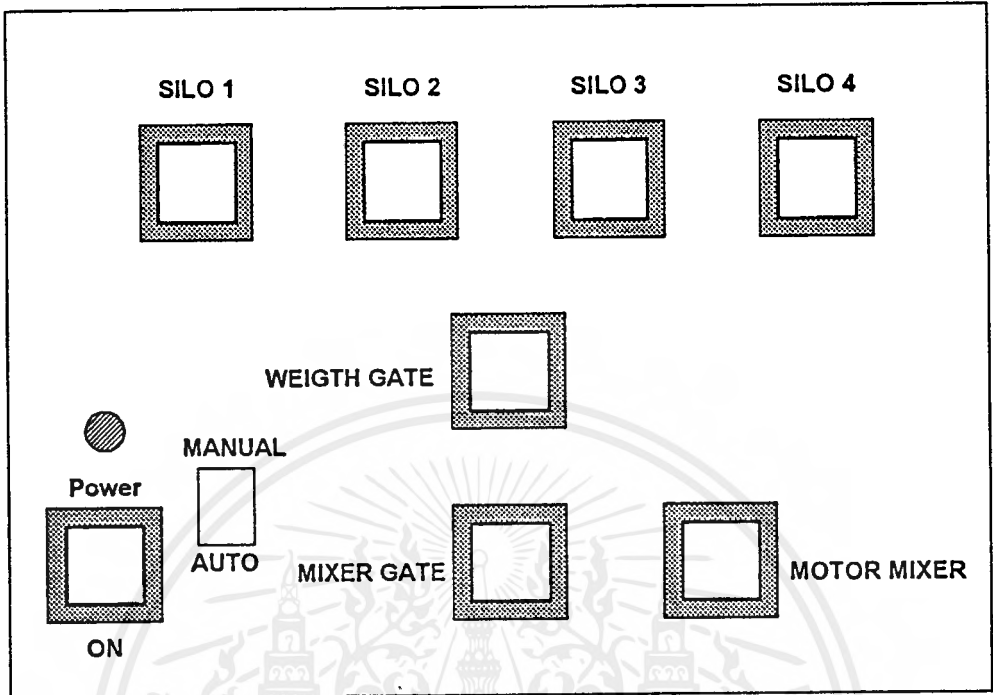
รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงการทำงานของโครงการโดยรวม



แผนหน้าปิดแสดงสถานะวาล์ว

รูปที่ 3.4 แสดงแผนหน้าปิดแสดงสถานะวาล์วที่อุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

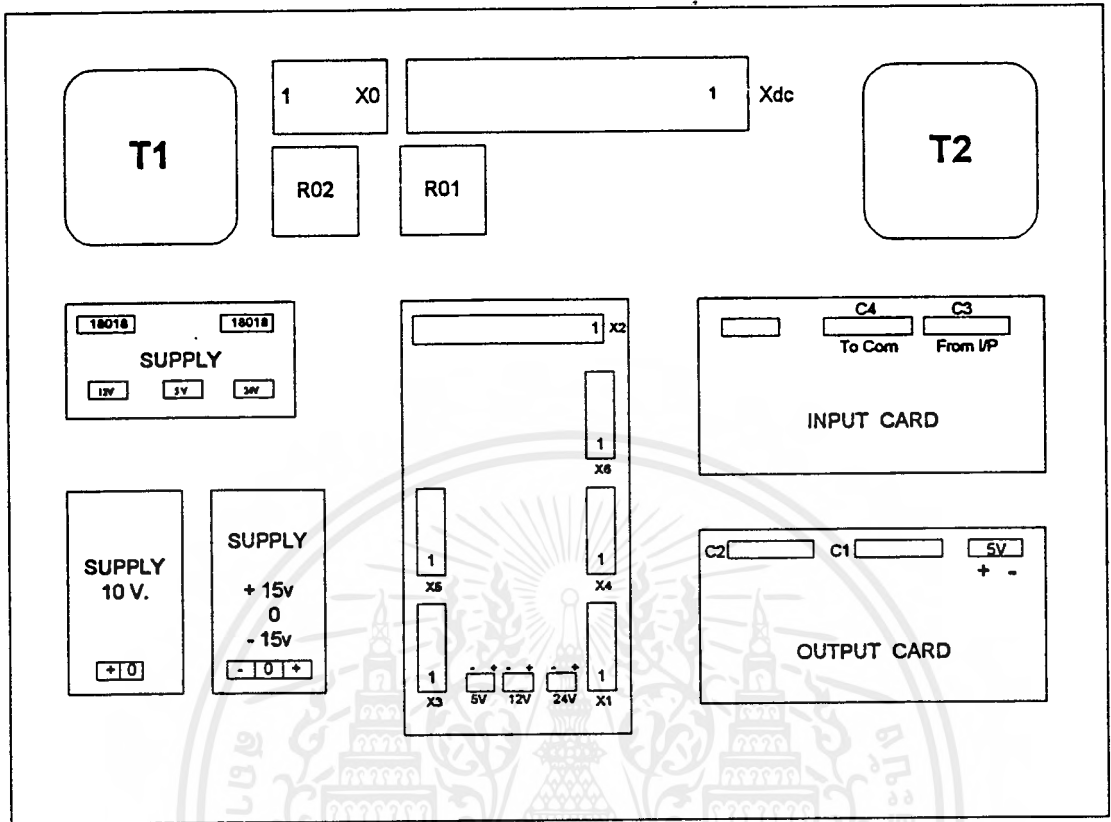


แผงหน้าปัดควบคุม

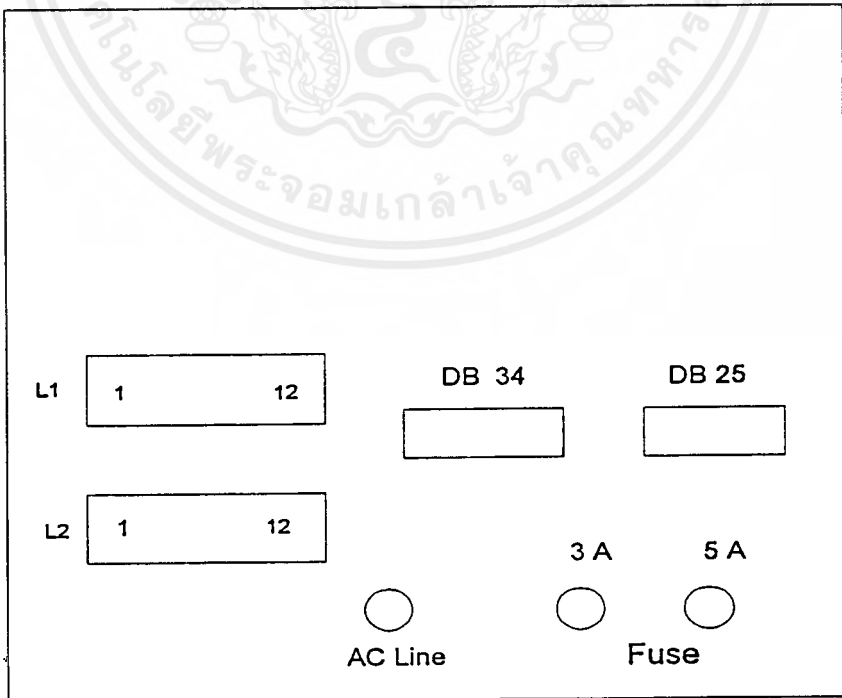


แผงหน้าปัดควบคุมด้านหน้า

รูปที่ 3.5 แสดงแผงหน้าปัดควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ



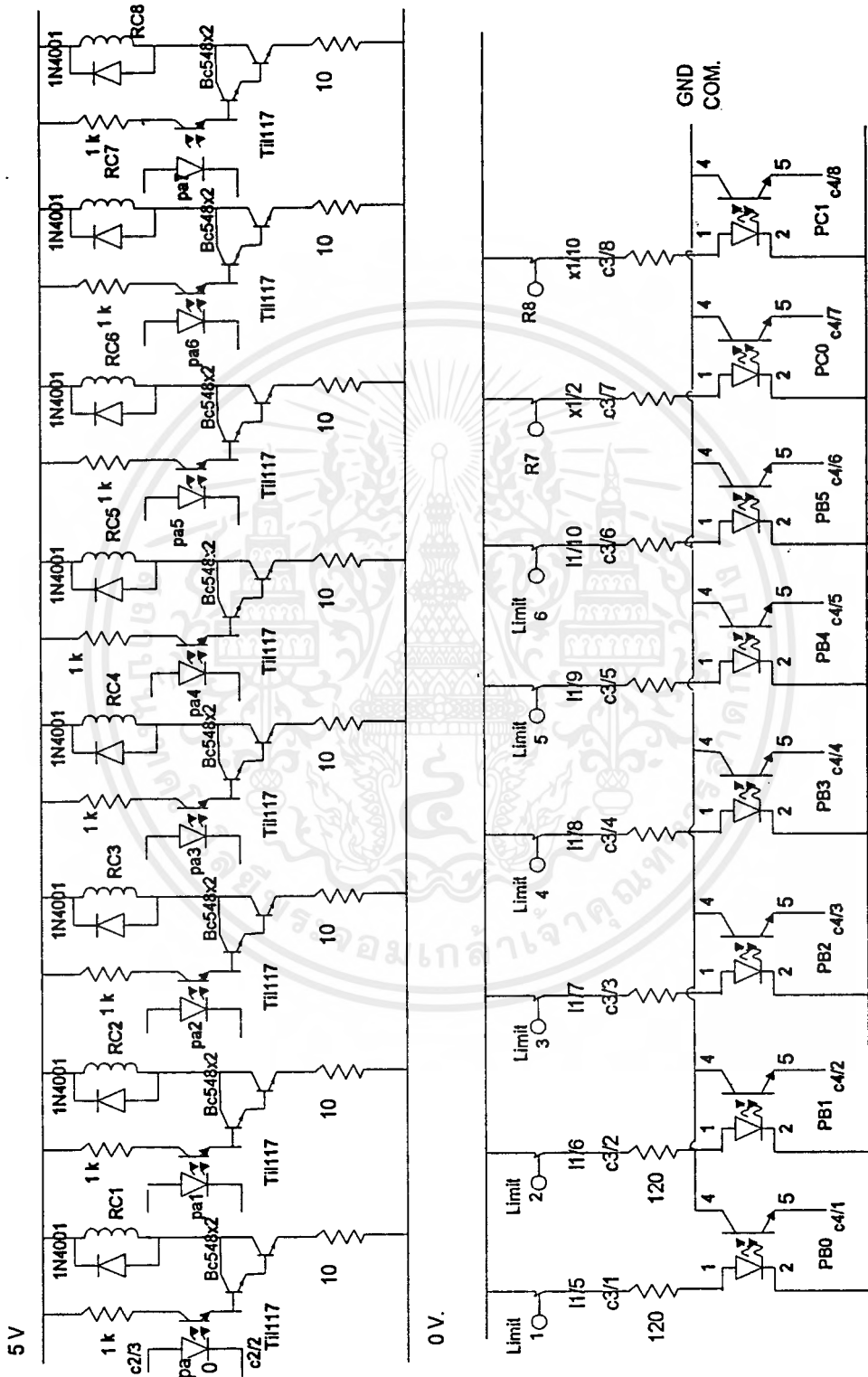
รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ภายในแผงควบคุม



รูปที่ 3.7 แสดงด้านหลังแผงควบคุม

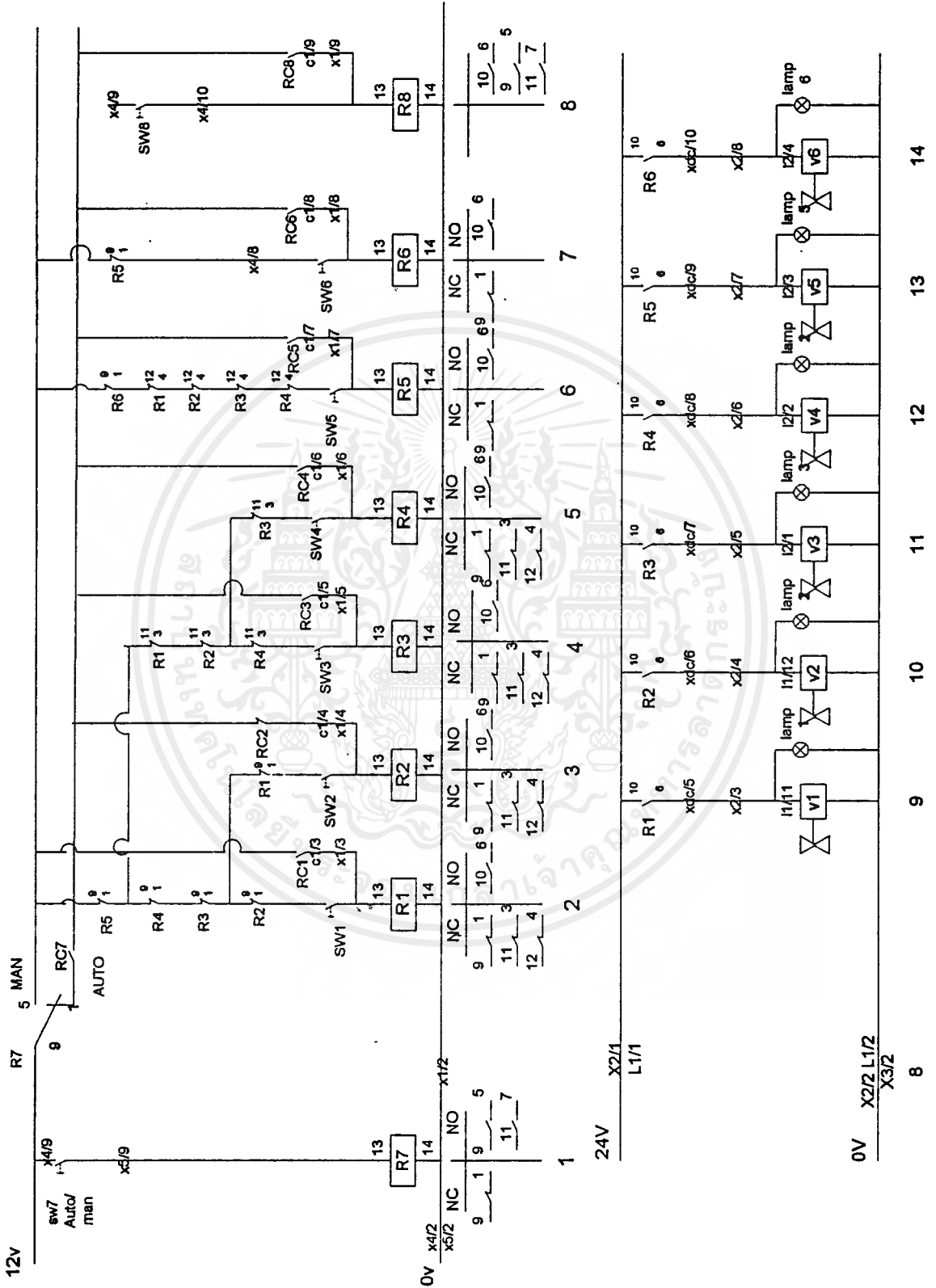
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.9 แสดงวงจรอินเทอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์และCONTROL PANEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรควบคุมวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเตรียมอาหารก่อนการผสม

เนื่องจากอาหารในแต่ละประเภทไม่มีความสมบูรณ์ของคุณค่าอาหารต่างๆ ตามความต้องการของสัตว์ในตัวเอง ดังนั้นการให้อาหารที่สมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องผสมอาหารต่างๆ เหล่านั้นเข้าด้วยกัน โดยการเลือกชนิดและสัดส่วนอย่างพอเหมาะ แล้วแต่ชนิดและวัยของสัตว์

ตัวอย่างสูตรอาหารผสมของโคนม

ส่วนประกอบ	โปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
รำละเอียด	12	-	-	12
มันเส้น	42	28	8	25
ข้าวโพดบด	-	21	29	11
ปลายข้าว	-	-	-	10
กากถั่วเหลือง	16	13	-	15
กากฝ้าย	28	28	33	25
กากถั่วเขียว	-	8	28	-
กระดูกป่น	1	1	1	1
เกลือป่น	1	1	1	1
รวม	100	100	100	100

ที่มา : สุวรรณ กิจการณ 2524, ความรู้เบื้องต้นในการเลี้ยงโคนม

จากตัวอย่างสูตรอาหารของโคนม หากต้องการอาหารที่ให้คุณค่าทางโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ จะมีวิธีการให้เลือก 4 สูตร และแต่ละสูตรใช้ปริมาณสารอาหารแตกต่างกัน ในบางครั้งอาหารแต่ละประเภทจะหาได้ตามฤดูกาล หรือมีข้อจำกัดอื่นๆ ทำให้สามารถหาอาหารอื่นมาแทน โดยใช้สูตรอื่น ก็จะให้คุณค่าอาหารเหมือนเดิม

จะเป็นความยุ่งยากหากต้องการเปลี่ยนสูตรผสมบ่อย และมีปริมาณมากตามความต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องผสมอาหารสัตว์อัตโนมัติมาช่วยในการผลิต ในโครงการนี้ จึงได้จัดไซโล (Silo) ไว้บรรจอาหารทั้งหมด 4 ชนิด โดยจะเลือกเอาอาหารที่สามารถหาได้ง่ายในการทดลอง อาหารส่วนใหญ่จะเป็นอาหารป่นแห้ง เช่น รำละเอียด การจัดทำไซโล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ไซโล (Silo)
2. โครงยึดไซโล

### 3.3 การเตรียมอาหารก่อนการผสม

เนื่องจากอาหารในแต่ละประเภทไม่มีความสมบูรณ์ของคุณค่าอาหารต่างๆ ตามความต้องการของสัตว์ในตัวเอง ดังนั้นการให้อาหารที่สมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องผสมอาหารต่างๆ เหล่านั้นเข้าด้วยกัน โดยการเลือกชนิดและสัดส่วนอย่างพอเหมาะ แล้วแต่ชนิดและวัยของสัตว์

ตัวอย่างสูตรอาหารผสมของโคนม

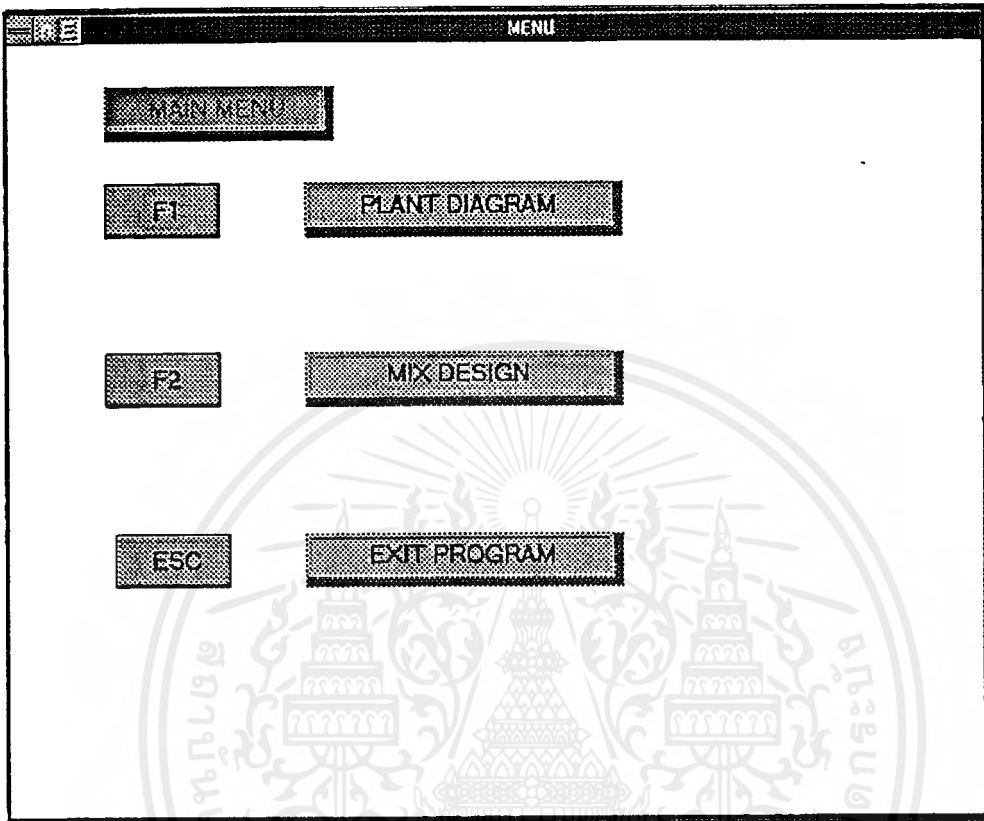
ส่วนประกอบ	โปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
รำละเอียด	12	-	-	12
มันเส้น	42	28	8	25
ข้าวโพดบด	-	21	29	11
ปลายข้าว	-	-	-	10
กากถั่วเหลือง	16	13	-	15
กากฝ้าย	28	28	33	25
กากถั่วเขียว	-	8	28	-
กระดูกป่น	1	1	1	1
เกลือป่น	1	1	1	1
รวม	100	100	100	100

ที่มา : สุวรรณา กิจภรณ์ 2524, ความรู้เบื้องต้นในการเลี้ยงโคนม

จากตัวอย่างสูตรอาหารของโคนม หากต้องการอาหารที่ให้คุณค่าทางโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ จะมีวิธีการให้เลือก 4 สูตร และแต่ละสูตรใช้ปริมาณสารอาหารแตกต่างกัน ในบางครั้งอาหารแต่ละประเภทจะหาได้ตามฤดูกาล หรือมีข้อจำกัดอื่นๆ ทำให้สามารถหาอาหารอื่นมาแทน โดยใช้สูตรอื่น ก็จะให้คุณค่าอาหารเหมือนเดิม

จะเป็นความยุ่งยากหากต้องการเปลี่ยนสูตรผสมบ่อย และมีปริมาณมากตามความต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องผสมอาหารสัตว์อัตโนมัติมาช่วยในการผลิต ในโครงการนี้ จึงได้จัดไซโล (Silo) ไว้บรรจอาหารทั้งหมด 4 ชนิด โดยจะเลือกเอาอาหารที่สามารถหาได้ง่ายในการทดลอง อาหารส่วนใหญ่จะเป็นอาหารป่นแห้ง เช่น รำละเอียด การจัดทำไซโล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ไซโล (Silo)
2. โครงยึดไซโล



รูปที่ 3.11 แสดงภาพบนจอภาพในส่วนของเมนูหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MIX DESIGN

ป้อนจำนวน process  BATCH

ป้อนจำนวน % โปรตีนต่อกิโลกรัม  %

SET TIME MOTOR MIX  SEC

SET TIME OPEN MIX\_VALVE  SEC

โปรตีนต่อกิโลกรัม  %

ข้าวโพดต่อ 30 กิโลกรัม  KG

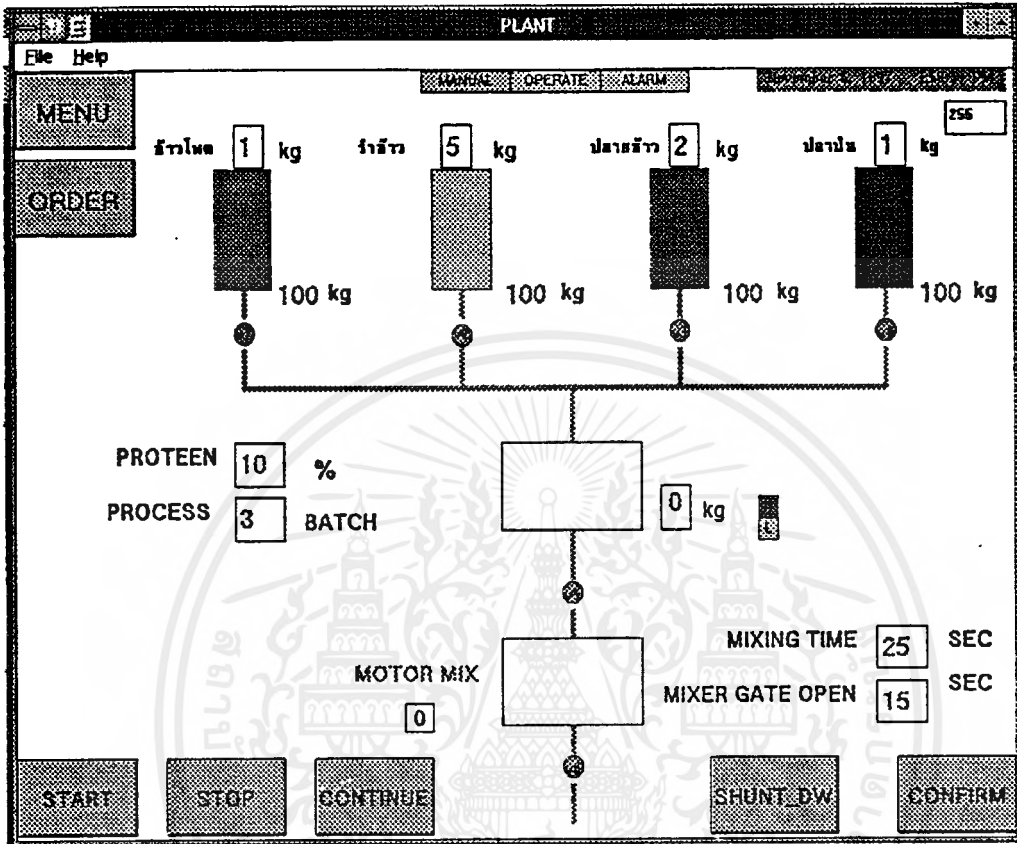
ลำต่อ 30 กิโลกรัม  KG

ปลายข้าวต่อ 30 กิโลกรัม  KG

ปลาป่นต่อ 30 กิโลกรัม  KG

NEW CHANGE MENU PLANT

รูปที่ 3.12 แสดงภาพบนจอภาพในส่วนของอัตราส่วนผสมอาหารสัตว์



รูปที่ 3.13 แสดงภาพหน้าจอภาพในส่วนของการควบคุมกระบวนการผสมอาหารสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองการทำงานและการแสดงผล

ในการทดลอง จะมีการจัดเตรียมอาหารที่จะนำมาทดลองให้พร้อม รวมทั้งการตรวจสอบอุปกรณ์ และการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับอุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์ อัตโนมัติ รายละเอียดต่างๆ ของการทดลองมีดังต่อไปนี้

#### 4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

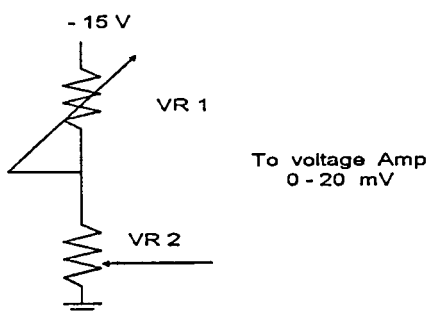
- |  |           |
|--|-----------|
| 1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ( PC )                   | 1 เครื่อง |
| 2. การ์ดอินพุตเอาต์พุต ( INPUT - OUTPUT CARD ) | 1 การ์ด   |
| 3. แบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ       |           |
| 4. อาหารสัตว์                                  | 1 ชนิด    |

**\*\*หมายเหตุ\*\*** ในการทดลอง จะใช้อาหารสัตว์เพียงชนิดเดียว เพื่อให้สามารถนำอาหารที่ออกจากถังผสม (Mixer tank) มาทดลองใหม่ได้ ซึ่งถ้าหากใช้อาหาร 4 ชนิดต่างกัน เมื่อออกจากถังผสม (Mixer tank) เราไม่สามารถแยกอาหารแต่ละชนิด เพื่อนำมาทดลองใหม่ได้ และในการทดลองที่ต้องการทดลองวาล์ว (Valve) ของแต่ละถัง (Silo) การทดลองก็จะทดสอบเปิดปิดวาล์ว (Valve) ทำให้อาหารต่างๆ ไหลเข้าสู่ถังชั่ง พร้อมๆ กันโดยยังไม่ส่งไปยังถังผสม (Mixer tank) ดังนั้นจึงใช้อาหารเพียงชนิดเดียวในการทดลอง

#### 4.2 ลำดับขั้นการทดลอง

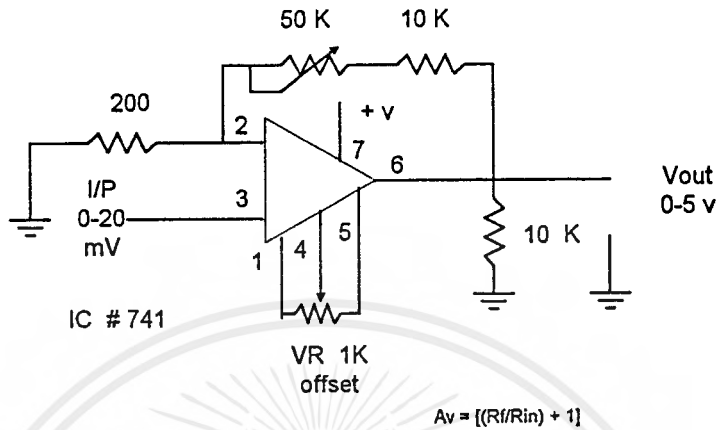
##### 4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบ โดยใช้การจำลองค่านำหนัก ( Simulate )

1. ต่วงจรตามรูป 4.1 เพื่อจำลองค่าแรงดัน 0 - 20 มิลลิโวลต์ โดยปรับ VR<sub>1</sub> ที่ 749 กิโลโอห์ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.1 จำลองค่าแรงดันอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้องวงจรขยายแรงดันตามรูป 4.2 ข้างล่าง  $A_V = 300$  เท่า



รูปที่ 4.2 วงจรขยายแรงดัน

3. ต่อขา DB 20 ของการ์ด A/D
4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และสั่งให้โปรแกรมเริ่มการทำงาน (Run Program)
5. เลือกการออกแบบส่วนผสม (Mix Design) จากเครื่องคอมพิวเตอร์
6. กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการทำงาน
7. ปรับ  $VR_1$  แล้วสังเกตค่าน้ำหนักที่หน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ (Monitor) และวัดแรงดันที่ ขา 6 (Output Op-Amp) เปรียบเทียบจะต้องได้ 0.05 โวลต์ต่อกิโลกรัม และถ้าแรงดันเป็น 5 โวลต์ จะต้องแสดงที่ 100 กิโลกรัม ถ้าไม่ได้ให้ปรับ  $VR_2$  (gain)
8. ตรวจสอบว่าเมื่อเราหมุน  $VR_2$  จนได้น้ำหนักที่ต้องการในแต่ละถัง แล้วมีการ เลื่อนการทำงาน ไปขั้นตอนต่อไป หรือถึง ต่อไปหรือไม่ ถ้าไม่ต้องตรวจสอบที่โปรแกรม

#### 4.2.2 แบบไม้อัตโนมัติ : Manual

1. จัดเตรียมอาหารสัตว์ใส่ถุงๆ ละ 5 กิโลกรัม และเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมทำงาน
2. ใส่อาหารลงในถังทั้ง 4 โดยใส่ถังละ 1 ถุง
3. กดปุ่ม ON ในแผงหน้าปัดควบคุมด้านหน้าของอุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ
4. เลื่อนสวิทช์ไปที่ Manual บนแผงหน้าปัดควบคุมด้านบนของอุปกรณ์ควบคุมแบบจำลองฯ
5. กดปุ่ม SILO 1 ดูการทำงานของวาล์วที่ถัง 1
6. จากนั้นกดปุ่ม SILO 2, 3 และ 4 เพื่อดูการทำงานของวาล์วของถังแต่ละอัน ตามลำดับ
7. กดปุ่ม WEIGHT GATE ดูการทำงานของวาล์วที่ถังชั่ง

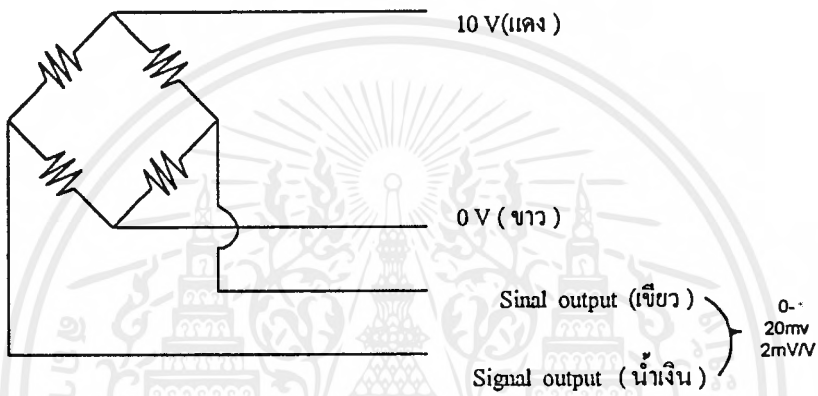
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8. กบฏ MIXER GATE คูการทำงานของวาล์วที่ถึงผสม

#### 4.2.3 แบบอัตโนมัติ : Automatic

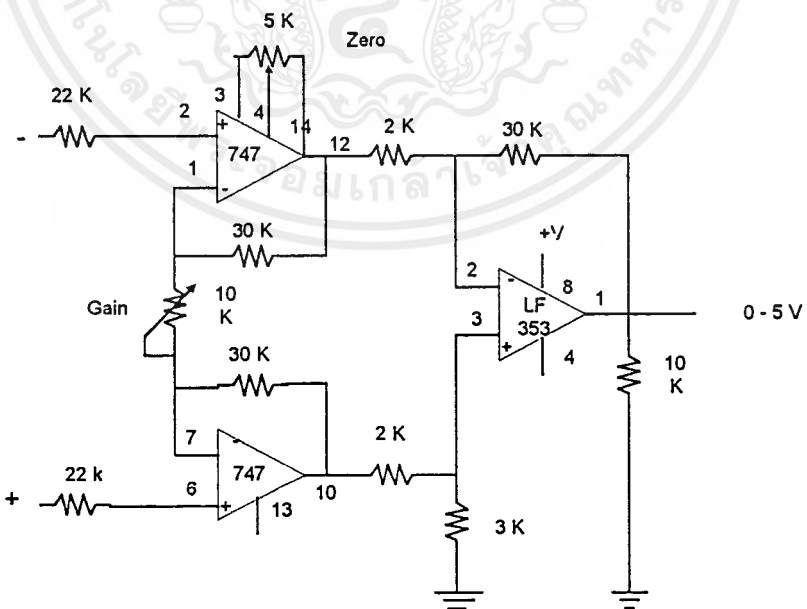
##### 4.2.3.1 ขั้นตอนการปรับแต่งค่าตั้ง ( calibration )

1. ต้องวงจรรับน้ำหนัก (Load Cell) ตามรูป เข้ากับวงจรขยายเครื่องมือวัด (Instrument Amp)



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรตัวรับน้ำหนัก Load Cell

2. ต้องวงจรขยายเครื่องมือวัด (Instrument Amp) ตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงวงจร Instrument Amp

3. ต้องแรงดันเอาต์พุต 0-5 โวลต์ จากวงจรขยายเครื่องมือวัด (Instrument Amp) เข้าขา DB20 ของ การ์ด A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และสั่งให้โปรแกรมเริ่มการทำงาน
5. กดปุ่ม F1 PLANT DIAGRAM
6. ใส่ลูกตุ้มน้ำหนักหรืออินที่นี้ใส่ปลายขั้วใส่ถุง ถุงละ 5 กิโลกรัม (จากการชั่งที่ตาชั่งมาตรฐาน) ครั้งละ 2 ถุง เพื่อความสมดุลย์
7. สังเกตค่าน้ำหนักที่หน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ และวัดค่าแรงดันที่ขา Output (ขา 1) ของ LF353 จะต้องเพิ่ม 0.5 โวลต์ ต่อ 2 ถุง [0.25 V/5 Kg] จากนั้นทำการบันทึกค่าที่วัดได้ ครั้งที่ 1 (ก่อนปรับ GAIN)

กิโลกรัมจริง	แรงดัน (V) จริง	กิโลกรัมที่จอภาพ	แรงดัน (V) วัดได้
0	0	0	0.003
10	0.5	9	0.466
20	1	19	0.93
30	1.5	28	1.496

### สรุปผลจากตาราง

1. เนื่องจากน้ำหนักของลูกตุ้มแต่ละถุงมีน้ำหนักไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดค่าน้ำหนักผิดเพี้ยน
2. ลักษณะการวาง ลูกตุ้มไม่สมดุลย์ load cell จึงรับน้ำหนักได้ไม่เท่ากัน
3. อัตราขยายของวงจร INSTRUMENT AMP ต่ำเกินไป

### วิธีแก้ไข

1. วางลูกตุ้มน้ำหนักที่จุดศูนย์กลางตาชั่งขณะทดสอบ
2. นำลูกตุ้มน้ำหนัก (ปลายขั้วถุงละ 5 kg) มาเพิ่มหรือลดน้ำหนักใหม่ โดยชั่งกับตาชั่งมาตรฐาน แล้วทดลองซ้ำ ได้ผลดังตารางครั้งที่ 2

### ครั้งที่ 2 (หลังปรับ GAIN)

กิโลกรัมจริง	แรงดัน (V) จริง	กิโลกรัมที่จอภาพ	แรงดัน (V) วัดได้
0	0	0	0.001
10	0.50	10	0.491
20	1.00	20	0.991
30	1.50	30	1.497

#### 4.2.3.2 การทดลองระบบอัตโนมัติ

##### สูตรอาหารที่ 1 โปรตีน 18 %

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เปิดไฟล์โปรแกรม ( PROJECT FILE )
3. เริ่มโปรแกรม ( RUN )
4. จากหน้าจอคดปุ่ม F2 หรือ MIX DESIGN
5. กดปุ่ม CHANGE เพื่อเลือกสูตรอาหาร
6. พิมพ์สูตร โปรตีน 18% หน้าจอจะแสดงปริมาณอาหารแต่ละชนิดดังนี้

ชนิดอาหาร	น้ำหนัก ( kg )
รำละเอียด	4
มันเส้น	13
กากถั่วเหลือง	5
กากฟ้าย	8

7. ป้อนจำนวน BATCH = 1
8. ป้อนเวลาผสม MIXING TIME = 10 วินาที
9. ป้อนเวลาเปิดปากเกจถึงผสม OPEN MIX VALVE = 5 วินาที

MIX DESIGN

ป้อนจำนวน process  BATCH

ป้อนจำนวน % โปรตีนต่อกิโลกรัม  %

SET TIME MOTOR MIX  SEC

SET TIME OPEN MIX\_VALVE  SEC

โปรตีนต่อกิโลกรัม  %

มันเส้นต่อ 30 กิโลกรัม  KG

กากถั่วเหลืองต่อ 30 กิโลกรัม  KG

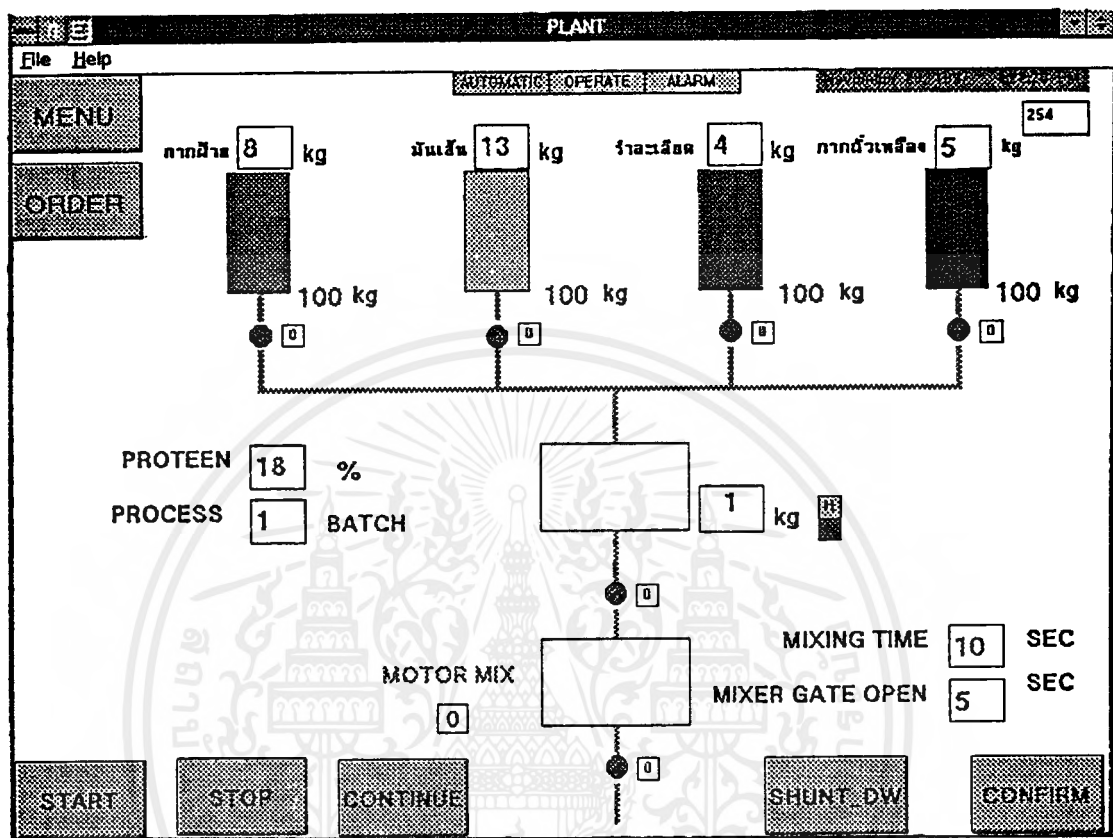
กากฝ้ายต่อ 30 กิโลกรัม  KG

รำละเอียดต่อ 30 กิโลกรัม  KG

NEW CHANGE MENU PLANT

รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอ MIXED DESIGN โปรตีน 18%

### 10. กดปุ่ม PLANT เพื่อไปหน้าจอ PLANT DIAGRAM



รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอ PLANT DIAGRAM โปรตีน 18%

11. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มเดินเครื่อง
12. เมื่อถึง 1 ปิคกดปุ่ม STOP เพื่อหยุดเครื่อง
13. บิดสวิทช์เลือกระบบ MANUAL
14. นำปลายข้าวไปชั่งกิโลแล้วบันทึก
15. กดปุ่ม SHUT DOWN
16. กดปุ่ม ORDER
17. กดปุ่ม CHARGE เลือก โปรตีน 18%
18. กดปุ่ม PLANT แล้ว START จนถึงที่ 2 ปิค
19. กดปุ่ม STOP เลือกระบบ MANAUL
20. กดสวิทช์เปิดปากเกจตาชั่งปล่อยอาหารจนเหลือน้ำหนักในตาชั่งเท่ากับถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. นำอาหารที่ปล่อยออกมาไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึก
22. กลับไปทำตั้งแต่ข้อ 15 ในครั้งที่ 3, 4 และน้ำหนักรวมทั้งหมดที่ปล่อยจากตาชั่งจะได้น้ำหนักตามตาราง

ชนิดอาหาร	น้ำหนักตามสูตร (kg)	น้ำหนักจริง (kg)
ถังที่ 1 กากฝ้าย	8	7
ถังที่ 2 มันเส้น	13	13
ถังที่ 3 รำละเอียด	4	3
ถังที่ 4 กากถั่วเหลือง	5	5
น้ำหนักรวม	30	28

สูตรอาหารที่ 2 โปรตีน 15 %

1. พิมพ์สูตร โปรตีน 15% หน้าจอจะแสดงปริมาณอาหารแต่ละชนิดดังนี้

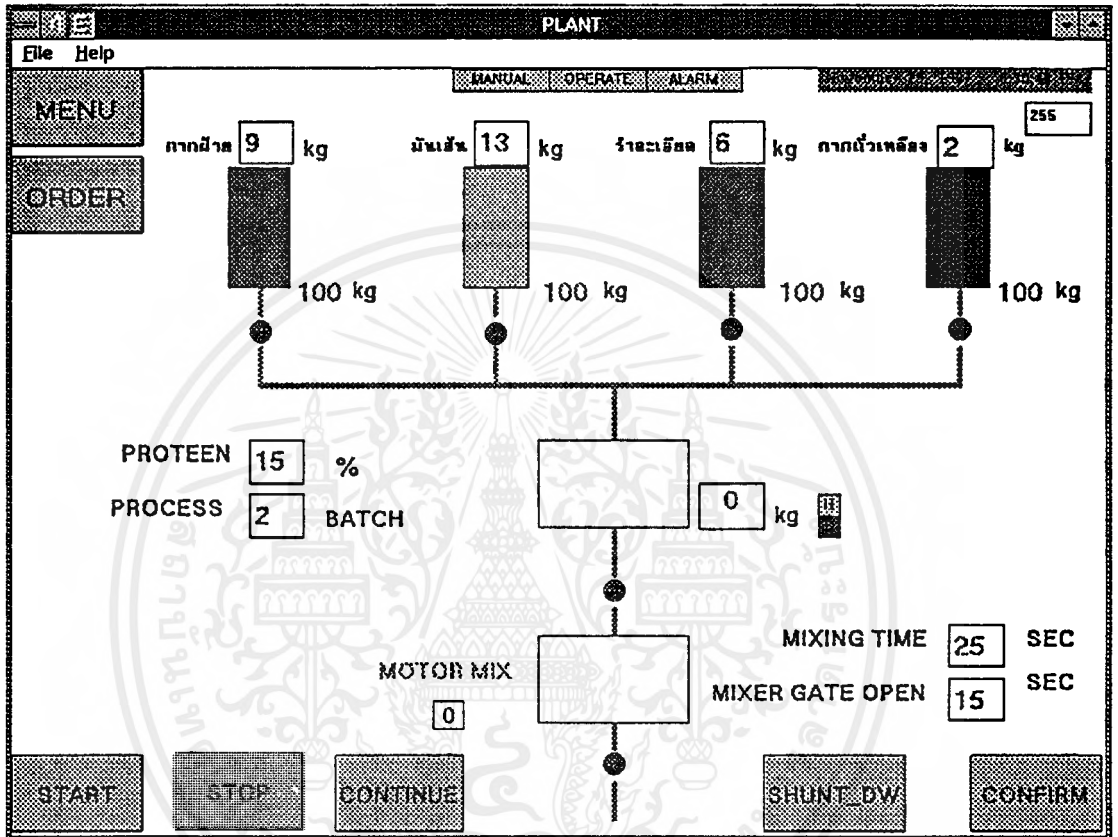
ชนิดอาหาร	น้ำหนัก (kg)
รำละเอียด	6
มันเส้น	13
กากถั่วเหลือง	2
กากฝ้าย	9

MIX DESIGN			
ป้อนจำนวน process	<input type="text" value="2"/>	BATCH	
ป้อนจำนวน % โปรตีนต่อกิโลกรัม	<input type="text" value="15"/>	%	
SET TIME MOTOR MIX	<input type="text" value="25"/>	SEC	
SET TIME OPEN MIX_VALVE	<input type="text" value="15"/>	SEC	
โปรตีนต่อกิโลกรัม	<input type="text" value="15"/>	%	
มันเส้นต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="13"/>	KG	
กากถั่วเหลืองต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="2"/>	KG	
กากฝ้ายต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="9"/>	KG	
รำละเอียดต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="6"/>	KG	
NEW	CHANGE	MENU	PLANT

รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอ MIXED DESIGN โปรตีน 15%

2. ป้อนจำนวน BATCH = 2
3. ป้อนเวลาผสม MIXING TIME = 25 วินาที
4. ป้อนเวลาเปิดปากเกจถึงผสม OPEN MIX VALVE = 15 วินาที

5. กดปุ่ม PLANT เพื่อไปหน้าจอ PLANT DIAGRAM



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอ PLANT DIAGRAM โปรตีน 15%

6. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มเดินเครื่อง
7. เมื่อดัง 1 ปิดกดปุ่ม STOP เพื่อหยุดเครื่อง
8. บิดสวิตซ์เลือกระบบ MANUAL
9. นำปลายข้าวไปชั่งกิโลแล้วบันทึก
10. กดปุ่ม SHUT DOWN
11. กดปุ่ม ORDER
12. กดปุ่ม CHARGE เลือกโปรตีน 15%
13. กดปุ่ม PLANT แล้ว START จนถึงที่ 2 ปิด
14. กดปุ่ม STOP เลือกระบบ MANAU

15. กคสวิตซ์เปิดปากเกจตาซึ่งปล่อยอาหารจนเหลือน้ำหนักในตาซึ่งเท่ากับถึง 1
16. นำอาหารที่ปล่อยออกไปซึ่งน้ำหนักแล้วบันทึก
17. กลับไปทำตั้งแต่ข้อ 15 ในถึงที่ 3, 4 และน้ำหนักรวมทั้งหมดที่ปล่อยจากตาซึ่งจะได้น้ำหนัก

ชนิดอาหาร	น้ำหนักตามสูตร (kg)	น้ำหนักจริง (kg)
ถึงที่ 1 กากฝ้าย	9	8
ถึงที่ 2 มันเส้น	13	13
ถึงที่ 3 รำละเอียด	6	5
ถึงที่ 4 กากถั่วเหลือง	2	2
น้ำหนักรวม	30	28

สูตรอาหารที่ 3 โปรตีน 21 %

1. พิมพ์สูตรโปรตีน 21% หน้าจอจะแสดงปริมาณอาหารแต่ละชนิดดังนี้

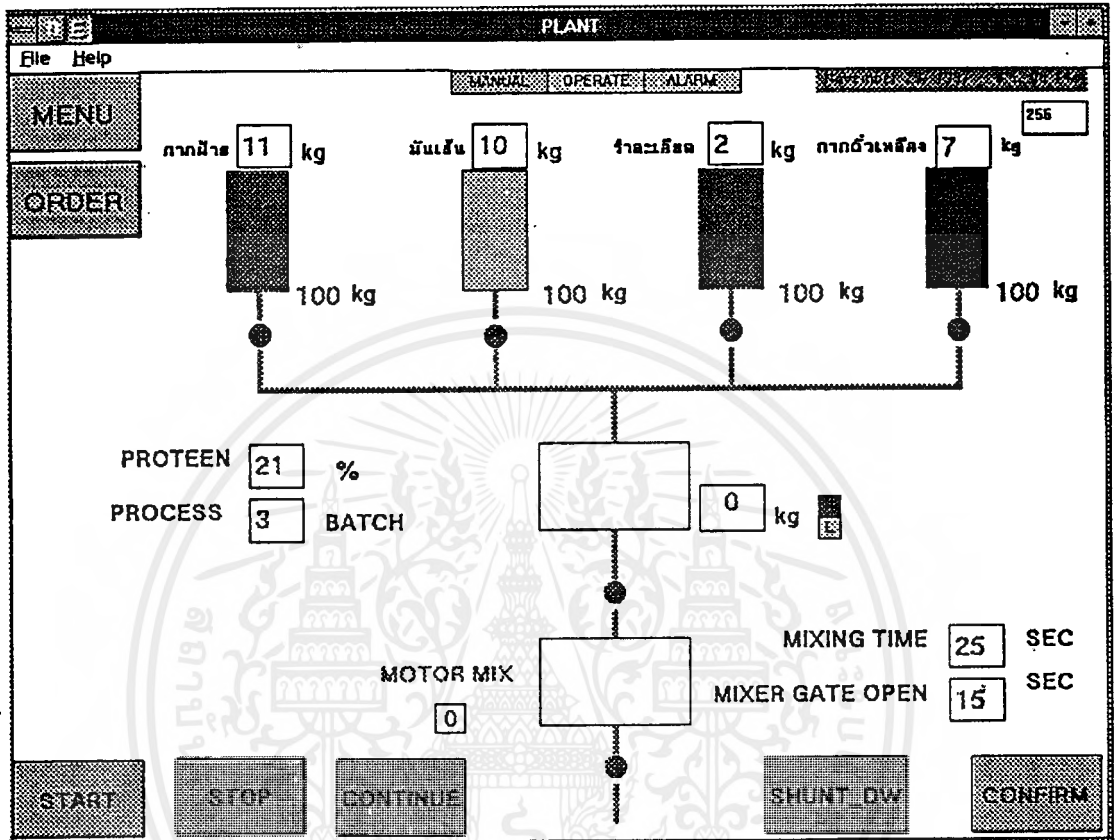
ชนิดอาหาร	น้ำหนัก (kg)
รำละเอียด	2
มันเส้น	10
กากถั่วเหลือง	7
กากฝ้าย	11

MIX DESIGN			
ป้อนจำนวน process	<input type="text" value="3"/>	BATCH	
ป้อนจำนวน % โปรตีนต่อกิโลกรัม	<input type="text" value="21"/>	%	
SET TIME MOTOR MIX	<input type="text" value="25"/>	SEC	
SET TIME OPEN MIX_VALVE	<input type="text" value="15"/>	SEC	
โปรตีนต่อกิโลกรัม	<input type="text" value="21"/>	%	
มันเส้นต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="10"/>	KG	
กากถั่วเหลืองต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="7"/>	KG	
กากฝ้ายต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="11"/>	KG	
รำละเอียดต่อ 30 กิโลกรัม	<input type="text" value="2"/>	KG	
<input type="button" value="NEW"/>	<input type="button" value="CHANGE"/>	<input type="button" value="MENU"/>	<input type="button" value="PLANT"/>

รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอ MIXED DESIGN โปรตีน 15%

2. ป้อนจำนวน BATCH = 3
3. ป้อนเวลาผสม MIXING TIME = 25 วินาที
4. ป้อนเวลาเปิดปากเกจถึงผสม OPEN MIX VALVE = 15 วินาที

5. กดปุ่ม PLANT เพื่อ ไปหน้าจอ PLANT DIAGRAM



รูปที่ 4.10 แสดงหน้าจอ PLANT DIAGRAM โปรตีน 21%

6. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มเดินเครื่อง
7. เมื่อดึง 1 ปิดกดปุ่ม STOP เพื่อหยุดเครื่อง
8. บิดสวิทช์เลือกระบบ MANUAL
9. นำปลายข้าวไปชั่งกิโลแล้วบันทึก
10. กดปุ่ม SHUT DOWN
11. กดปุ่ม ORDER
12. กดปุ่ม CHARGE เลือกโปรตีน 21%
13. กดปุ่ม PLANT แล้ว START จนกระทั่ง 2 ปิด
14. กดปุ่ม STOP เลือกระบบ MANAUL
15. กดสวิทช์เปิดปากเกจตาชั่งปล่อยอาหารจนเหลือน้ำหนักในตาชั่งเท่ากับถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 16. นำอาหารที่ปล่อยออกมาไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึก
- 17. กลับไปทำตั้งแต่ข้อ 15 ในถึงที่ 3, 4 และน้ำหนักรวมทั้งหมดที่ปล่อยจากตาชั่งจะได้น้ำหนัก

ชนิดอาหาร	น้ำหนักตามสูตร (kg)	น้ำหนักจริง (kg)
ถังที่ 1 กากฝ้าย	11	10
ถังที่ 2 มันเส้น	10	10
ถังที่ 3 รำละเอียด	2	2
ถังที่ 4 กากถั่วเหลือง	7	7
น้ำหนักรวม	30	29

### 4.3 สรุปผลการทดลอง

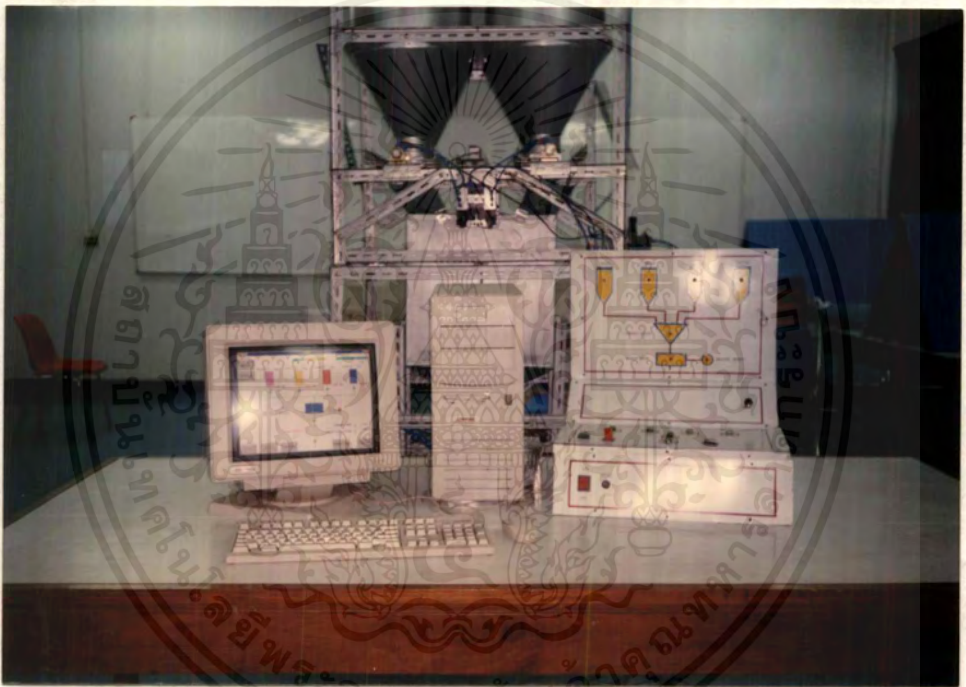
จากตารางจะเห็นว่าน้ำหนักได้ไม่ตรงกับสูตรที่เราต้องการ สาเหตุเกิดจาก เมื่อปากเกจถึง 1 เปิดอาหารจะไหลลงไปในตาชั่งเพียงข้างเดียว จึงทำให้ตาชั่งเอียงทำให้ โหลดเซลล์รับน้ำหนักไม่เต็มที่จะทำให้ค่าน้ำหนักผิดพลาด เมื่อถึง 2 เปิดซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกับถัง 1 เมื่ออาหารไหลลงจึงทำให้เกิดการสมดุล จึงได้ค่าน้ำหนักถูกต้องเช่นเดียวกับถัง 3 และ 4 ซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกัน ดังนั้นจึงควรออกแบบให้อาหารไหลลงตรงกลางตาชั่งเพื่อไม่ให้ตาชั่งเอียง

หมายเหตุ สูตรอาหารนี้ได้มาจากหนังสือ " การเลี้ยงโคนม " โครงการหนังสือเกษตรกรชุมชน ผู้แต่ง นาย พยุงศักดิ์ มณีเนตร



รูปที่ 4.11 แสดงเครื่องจักรแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงตู้ควบคุม MANUAL และ คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์

#### 5.1 ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำโครงการ

การใช้ไอซี ออปแอมป์ 741 ซึ่งมีอินพุตเป็นทรานซิสเตอร์ จะมีกระแสไบอัสอินพุตสูง ทำให้วงจรไม่เสถียรภาพ จะใช้ LF 353 ซึ่งมีอินพุตเป็น J-FET จะมีกระแสไบอัสอินพุตต่ำ ทำให้วงจรมีเสถียรภาพดีขึ้น

ส่วนการจำลอง (Simulate) โดยปรับ VR แทนตัวรับน้ำหนัก (Load Cell) นั้น เมื่อนำตัวรับน้ำหนัก (Load Cell) จริงๆ มาต่อ จะไม่สามารถขยายได้เพราะการจำลอง (Simulate) จะวัดแรงดันเทียบกราวด์ ส่วนตัวรับน้ำหนัก (Load Cell) จะเป็นลักษณะของแรงดันแตกต่าง จะต้องนำมาเข้า Diff - Amp แต่ Diff - Amp จะปรับอัตราขยาย (gain) ยากจึงต้องใช้วงจรขยายเครื่องมือวัด (Instrument Amp)

เมื่อต่อวงจรแล้วทดสอบการทำงาน (Test Run) แล้ว ค่าน้ำหนักที่แสดงบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ จะวิ่งมาก ทดลองแก้ไขโดยใส่ C คร่อมแหล่งจ่ายแรงดันและคร่อมส่วนอินพุตก็ไม่หาย จึงได้สังเกตดูที่แรงดันจากโวลท์มิเตอร์ ซึ่งก็มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear) และมีความเสถียรภาพ (stable) จึงทดลองเปลี่ยนไอซี A/D เบอร์ ADC 0804 ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างเสถียรภาพ

ปัญหาทางด้านซอฟต์แวร์ การเขียนโปรแกรมยังไม่เป็นลักษณะของ User Friendly Interface เพียงพอและโปรแกรมควบคุมระบบยังไม่มีลักษณะของ Real Time เท่าที่ควร กล่าวคือ ในระบบที่ใช้งานจริง ควรจะมีค่า Free Air ( การที่ปิดวาล์วก่อนที่จะถึงน้ำหนักที่ต้องการ แต่ยังมีวัตถุอีกจำนวนหนึ่งที่ลอยอยู่บนอากาศก่อนตกลงตาชั่ง จึงทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมาอีก และค่าน้ำหนักนี้จะไม่เท่ากับอัตราการไหลและเป็นวัตถุชนิดต่างกัน (เนื่องจากความหนาแน่นต่างกัน) )

1. เนื่องจากตัวอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนัก (Load Cell) มีราคาแพงมาก ทำให้ไม่สามารถซื้อมาจัดทำโครงการได้ จึงต้องแก้ปัญหาโดยการยืมอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนัก (Load Cell) ของหน่วยงานเอกชน มาทดลองใช้งาน

2. การจัดทำอุปกรณ์แต่ละส่วน เพื่อนำมาประกอบเป็นแบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติ นั้น มีราคาสูง จึงไม่สามารถจัดทำทุกส่วนครบได้ ส่วนที่ขาดไปคือถังผสม (Mixer Tank) ซึ่งมีราคาสูงมาก
3. เนื่องจากความรู้พื้นฐานทางการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีเพียงระดับหนึ่ง ทำให้ต้องเสียเวลาในการศึกษาเพิ่มเติม และโปรแกรมควบคุมที่จัดทำขึ้น ยังไม่ดีพอต่อการใช้งาน ควรจะมีการนำไปพัฒนาต่อไป

## 5.2 สรุปผลที่ได้จากการทำโครงการ

1. ได้รับความรู้จากการปฏิบัติงานจริง เกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการจัดทำโครงการ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมกระบอกลูกสูบ การทำงานของ Load Cell และการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ (Interface) กับอุปกรณ์อื่นๆ
2. ได้เรียนรู้การทำงานเป็นกลุ่ม ได้พัฒนาความสามารถในการเขียนโปรแกรมบน Visual Basic และการใช้งาน Microsoft Access เพื่อเป็นฐานข้อมูล

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองโรงงานผลิตอาหารสัตว์อัตโนมัติที่จัดทำขึ้นนี้ ควรจะมีการนำไปพัฒนาต่อไป ในส่วนต่างๆ เหล่านี้

1. เพิ่มถังผสม (Mixer Tank) เพื่อให้เป็นแบบจำลองๆ ที่สมบูรณ์
2. พัฒนาโปรแกรมควบคุมให้มีความสามารถมากขึ้น จากปัญหาข้างต้นเกี่ยวกับค่า Free Air จึงควรมี หน้าต่าง (Windows) ที่ใช้กำหนดค่านี้โดยเฉพาะ และสามารถแก้ไขได้โดยง่าย ซึ่งค่าที่ได้จากการกำหนดนี้ จะไม่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับโปรแกรมควบคุมระบบ (Source Program)
3. ส่วน Alarm Unit คือส่วนที่ใช้กำหนดเงื่อนไขแสดงค่าผิดพลาดในส่วนต่างๆ ของกระบวนการ (process) เช่น ค่าผิดปกติของเวลาที่ใช้ในการชั่งน้ำหนัก , ค่าผิดพลาดของน้ำหนักที่ยอมรับได้ เป็นต้น
4. ส่วนเครื่องจักรควรเพิ่มส่วนของการอัดเม็ด และ บรรจุเป็นถุง (Packing Plant) ด้วย จึงจะถือว่าสมบูรณ์ที่สุด
5. พัฒนาการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น เช่น เพิ่มจำนวนไซโล (Silo) เพื่อจะได้ผสมอาหารสัตว์ได้หลายชนิด หลายสูตร , เพิ่มขนาดของไซโล (Silo) เพื่อจะได้ผลิตอาหารสัตว์จำนวนมากในเวลาที่เร็วขึ้น , เพิ่มสายพานลำเลียง (conveyer) เป็นต้น

# ภาคผนวก

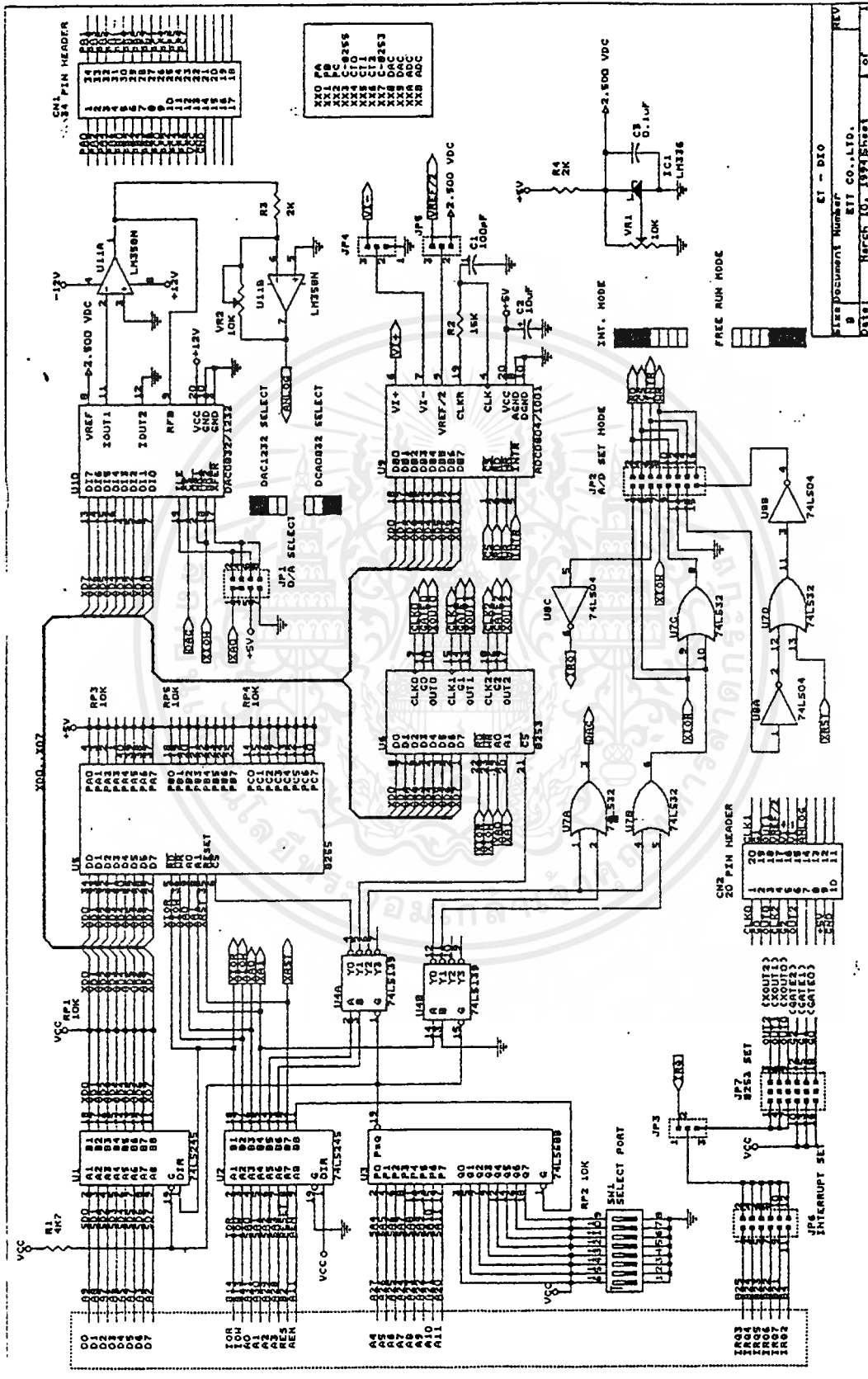


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์ การ์ดอินพุต-เอาต์พุต

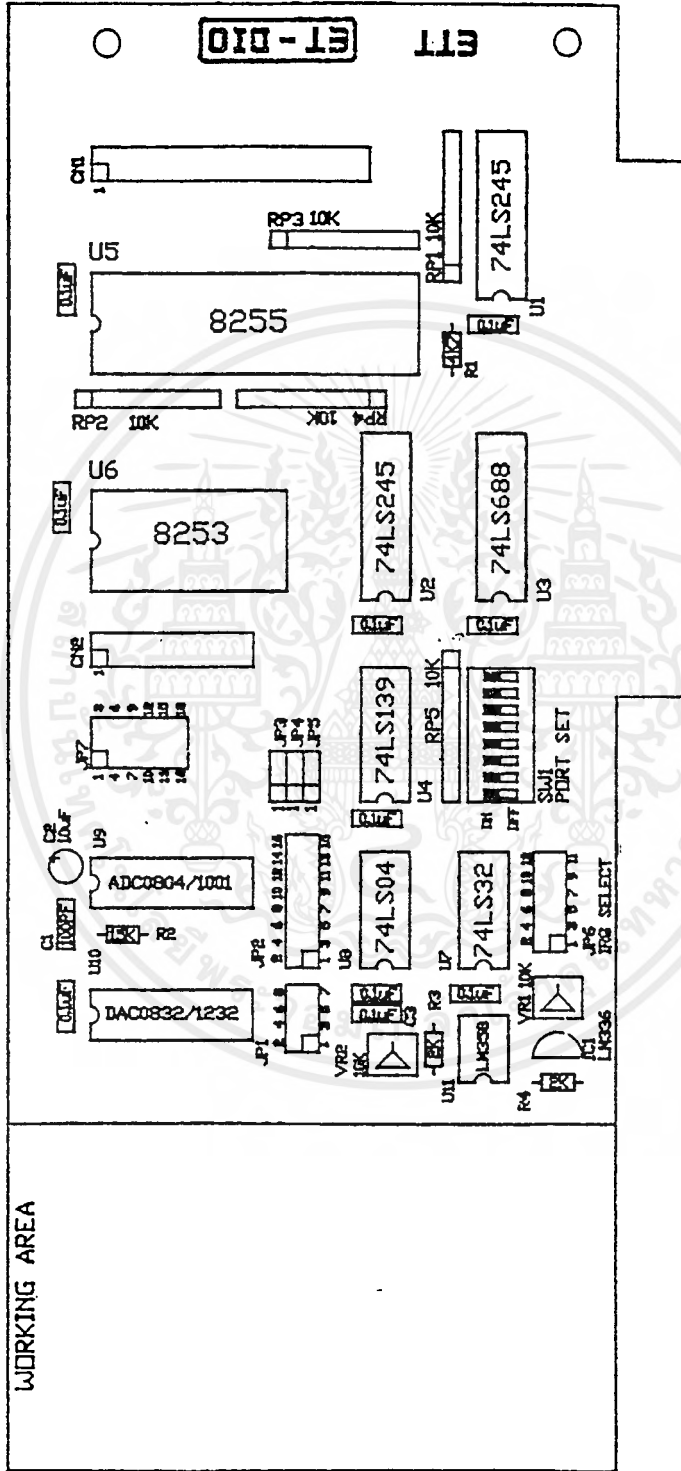
— IC 8255	1 ตัว	— SOCKET IC 40 PIN	1 ตัว
— IC 8253	1 ตัว	— SOCKET IC 24 PIN	1 ตัว
— IC ADC0B04 (ADC1001)	1 ตัว	— SOCKET IC 20 PIN	5 ตัว
— IC DAC0832(DAC1232)	1 ตัว	— SOCKET IC 16 PIN	1 ตัว
— IC 74LS688	1 ตัว	— SOCKET IC 14 PIN	2 ตัว
— IC 74LS245	2 ตัว	— SOCKET IC 8 PIN	1 ตัว
— IC 74LS139	1 ตัว	— HEADER 34 PIN (2 แถว)	1 ตัว
— IC 74LS32	1 ตัว	— HEADER 20 PIN (2 แถว)	1 ตัว
— IC 74LS04	1 ตัว	— HEADER 16 PIN (2 แถว)	1 ตัว
— IC LM35BN	1 ตัว	— HEADER 12 PIN (2 แถว)	1 ตัว
— IC LM336	1 ตัว	— HEADER 8 PIN (2 แถว)	1 ตัว
— CAPACITOR 10 UF/16V	1 ตัว	— HEADER 3 PIN (1 แถว)	3 ตัว
— CAPACITOR 0.1 UF/50V	10 ตัว	— HEADER 18 PIN (3 แถว)	1 ตัว
— CAPACITOR 100 PF/50V	1 ตัว	— JUMPER	21 ตัว
— RESISTOR 15 K	1 ตัว	— VARIABLE RES. 10 K	2 ตัว
— RESISTOR 2K	2 ตัว	— SIP RES. 10 K 9PIN	5 ตัว
— RESISTOR 4K7	1 ตัว	— DIP SWITCH 8 จุด	1 ตัว
— แผ่นวงจร	1 แผ่น	— แผ่นเหล็กยึดแผ่นวงจร	1 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงวงจรบนการ์ด A/D Converter

REV 0  
 9  
 ET - DIO  
 SITE DOCUMENT NUMBER  
 BIT CO., LTD.  
 0112 March 10, 1981



รูปแสดงการวางตำแหน่งอุปกรณ์บนการ์ด A/D Converter



# Operational Amplifiers

## LM747/LM747C dual operational amplifier

### general description

The LM747 and the LM747C are general purpose dual operational amplifiers. The two amplifiers share a common bias network and power supply leads. Otherwise, their operation is completely independent.

- Low-power consumption
- No latch-up
- Balanced offset null

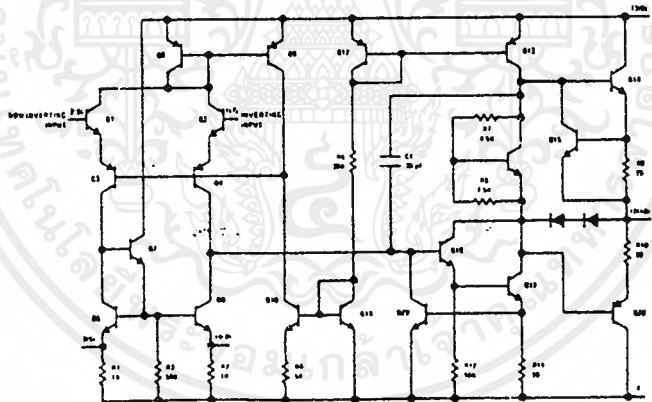
### features

- No frequency compensation required
- Short-circuit protection
- Wide common-mode and differential voltage ranges

Additional features of the LM747 and LM747C are: no latch-up when input common mode range is exceeded, freedom from oscillations, and package flexibility.

The LM747C is identical to the LM747 except that the LM747C has its specifications guaranteed over the temperature range from 0°C to 70°C instead of -55°C to +125°C.

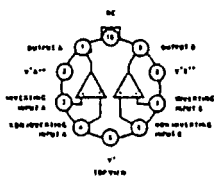
### schematic diagram (each amplifier)



See Application Information for Pin Number for Packages 8, 20 Pin

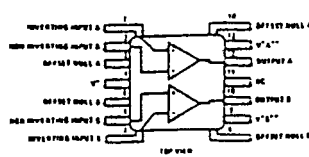
### connection diagrams

Metal Can Package



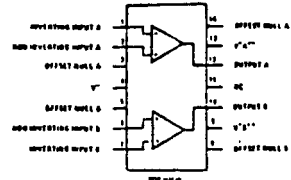
Order Number LM747H or LM747CH  
See Package 14

Flat Package



Order Number LM747F or LM747CF  
See Package 4

Dual-In-Line Packages



Order Number LM747D or LM747CD  
See Package 1

Order Number LM747CN  
See Package 22

\*V+ and V- are internally connected

### absolute maximum ratings

Supply Voltage	LM747	±22V
	LM747C	±18V
Power Dissipation (Note 1)		800 mW
Differential Input Voltage		±30V
Input Voltage (Note 2)		±15V
Output Short-Circuit Duration		Indefinite
Operating Temperature Range	LM747	-55°C to 125°C
	LM747C	0°C to 70°C
Storage Temperature Range		-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		300°C

### electrical characteristics (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS	LM747			LM747C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_S \leq 10\text{ k}\Omega$		1.0	5.0		1.0	6.0	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	200		80	200	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		200	500		200	500	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.3	1.0		0.3	1.0		M $\Omega$
Supply Current Both Amplifiers	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$		3.0	5.6		3.0	5.6	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	50	160		50	160		V/mV
Input Offset Voltage	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			6.0			7.5	mV
Input Offset Current				500			300	nA
Input Bias Current				1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25			25			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$	±12 ±10	±14 ±13		±12 ±10	±14 ±13		V V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±12			±12			V
Common Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	70	90		70	90		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	77	96		77	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM747 is 150°C, while that of the LM747C is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. For the flat package, the derating is based on a thermal resistance of 185°C/W when mounted on a 1/16-inch-thick epoxy glass board with ten, 0.03-inch-wide, 2-ounce copper conductors. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: These specifications apply for  $V_S = \pm 15\text{V}$  and  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified. With the LM747C, however, all specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$   $V_S = \pm 15\text{V}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/A/156/A/157/A, LF255/256/257,  
LF355/A/356/A/357/A-T

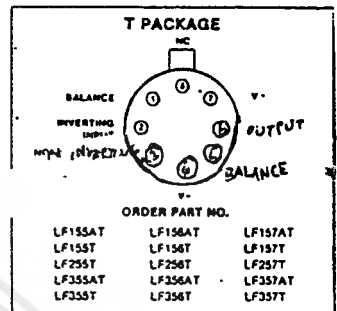
**DESCRIPTION**

LF155, LF155A, LF255, LF355, LF355A (Low Supply Current)  
LF156, LF156A, LF256, LF356, LF356A (Wide Band)  
LF157, LF157A, LF257, LF357, LF357A (Wide Band)  
The LF155, LF156, LF157 Series of operational amplifiers employ well matched, high voltage JFET input structures on the same monolithic chip as bipolar devices. These amplifiers feature low input bias and offset currents, low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time and low noise.

**SPECIFIC FEATURES**

- |  |                  |                  |
|--|------------------|------------------|
|  | LF155A           | LF156A           |
| • Settling time (0.01%)                        | 4 $\mu$ s        | 1.5 $\mu$ s      |
| • High slew rate                               | 5v/ $\mu$ s      | 12v/ $\mu$ s     |
| • Wide bandwidth                               | 2.5MHz           | 5MHz             |
| • Low input noise                              | 20nV/ $\sqrt$ Hz | 12nV/ $\sqrt$ Hz |
| • LF155, LF156—military qualifications pending |                  |                  |
- 
- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
|                         | LF157A           |
| (A <sub>v</sub> = 5)    |                  |
| • Settling time (0.01%) | 1.5 $\mu$ s      |
| • High slew rate        | 50v/ $\mu$ s     |
| • Wide bandwidth        | 20MHz            |
| • Low input noise       | 12nV/ $\sqrt$ Hz |

**PIN CONFIGURATION**



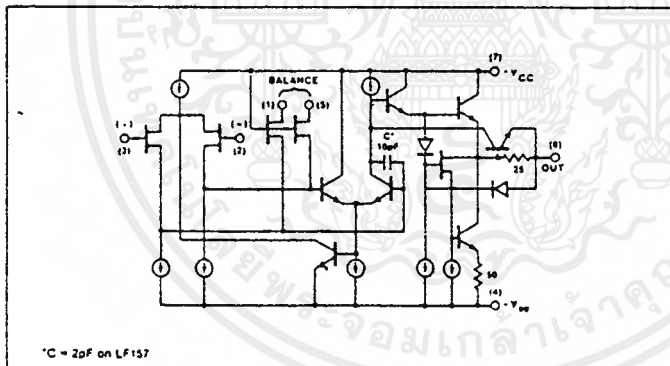
**COMMON FEATURES**

- (LF155A/156A/157A)
- Low input bias current 30pA
  - Low input offset current 3pA
  - High input impedance 10<sup>12</sup> $\Omega$
  - Low input offset voltage 1mV
  - Low V<sub>OS</sub> temperature drift 3 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C
  - Low input noise current 0.01pA/ $\sqrt$ Hz

**APPLICATIONS**

- Precision high speed integrators
- Fast A/D, D/A converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifier

**EQUIVALENT SCHEMATIC**

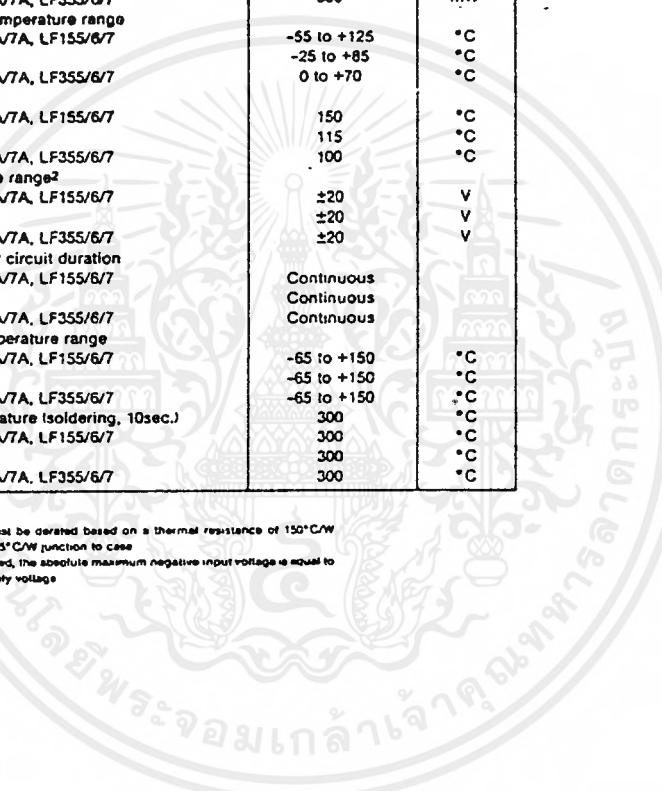


**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

PARAMETER	RATING	UNIT
Supply voltage		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	±22	V
LF255/6/7	±22	V
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	±18	V
Power dissipation <sup>1</sup> TO-99 (T-package)		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	670	mW
LF255/6/7	570	mW
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	500	mW
Operating temperature range		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	-55 to +125	°C
LF255/6/7	-25 to +85	°C
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	0 to +70	°C
T <sub>J</sub> (Max)		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	150	°C
LF255/6/7	115	°C
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	100	°C
Input voltage range <sup>2</sup>		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	±20	V
LF255/6/7	±20	V
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	±20	V
Output short circuit duration		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	Continuous	
LF255/6/7	Continuous	
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	Continuous	
Storage temperature range		
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	-65 to +150	°C
LF255/6/7	-65 to +150	°C
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	-65 to +150	°C
Lead temperature (soldering, 10sec.)	300	°C
LF155A/6A/7A, LF155/6/7	300	°C
LF255/6/7	300	°C
LF355A/6A/7A, LF355/6/7	300	°C

**NOTES**

1. The TO-99 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W junction to ambient or 25°C/W junction to case
2. Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage



# HIGH PERFORMANCE JFET INPUT OP AMPS

# LF155/LF156/LF157/A SERIES

LF155/A/LF156/A/LF157/A, LF255/256/257,  
LF355/A/356/A/357/A-T

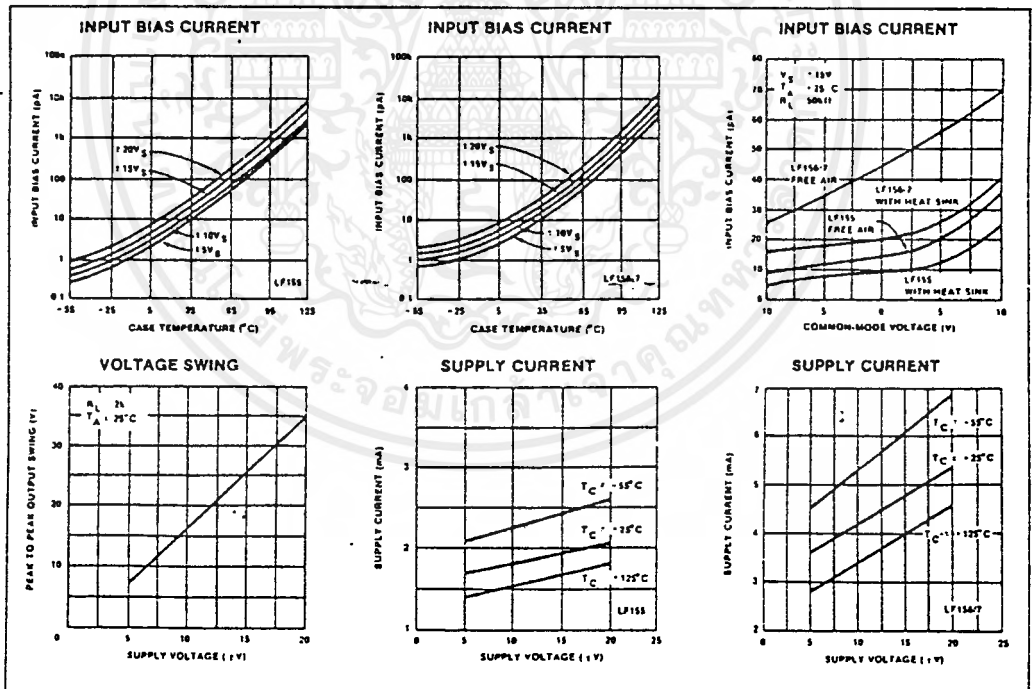
## AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Cont'd) $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 15\text{V}$ unless otherwise specified.†

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LF157/257			LF357			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SR Slew rate	LF157A/LF157: $A_v = 5$	30	50			50		V/ $\mu\text{s}$
GBW Gain bandwidth product			20			20		MHz
$t_s$ Settling time <sup>5</sup> to 0.01%			1.5			1.5		$\mu\text{s}$
$e_n$ Equiv. input noise volt.	$R_S = 100\Omega$ $f = 100\text{Hz}$ $f = 1000\text{Hz}$		15 12			15 12		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$ Equiv. input noise current	$f = 100\text{Hz}$ $f = 1000\text{Hz}$		0.01 0.01			0.01 0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{IN}$ Input capacitance			3			3		pF

### NOTE

5 Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using  $2k(\Omega)$  resistors for the LF155/B. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input pin on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10V step input is applied to the inverter. For the LF157,  $A_v = -5$ , the feedback resistor from output to input is  $2k(\Omega)$  and the output step is 10V (See Settling Time Test Circuit).

## TYPICAL DC PERFORMANCE CHARACTERISTICS (curves are for LF155, LF156 and LF157 unless otherwise specified.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**HIGH PERFORMANCE JFET INPUT OP-AMPS — LF155/LF155A/LF156/LF156A/LF157/LF157A SERIES**

LF155/A/156/A/157/A, LF255/256/257,  
LF355/A/356/A/357/A-T

**AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$  unless otherwise specified.†

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LF155A/LF355A			LF156A/356A			LF157A/357A			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SR Slew rate	LF155/156 LF155A/6A: $A_v = 1$	3	5		10	12		40	50		V/ $\mu\text{s}$
GBW Gain bandwidth product			2.5		4	4.5		15	20		MHz
$t_s$ Settling time <sup>3</sup> to 0.01%			4			1.5			1.5		$\mu\text{s}$
$e_n$ Equiv. input noise volt.	$R_S = 100\Omega$ $f = 100\text{Hz}$ $f = 1000\text{Hz}$		25 20			15 12			15 12		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$ Equiv. input noise current	$f = 100\text{Hz}$ $f = 1000\text{Hz}$		0.01 0.01			0.01 0.01			0.01 0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{in}$ Input capacitance			3			3			3		pF

**AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Cont'd)  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$  unless otherwise specified.†

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LF155/255/355			LF156/256			LF356			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SR Slew rate	LF155/156 LF155A/6A: $A_v = 1$		5		7.5	12			12		V/ $\mu\text{s}$
GBW Gain bandwidth product			2.5			5			5		MHz
$t_s$ Settling time <sup>3</sup> to 0.01%			4			1.5			1.5		$\mu\text{s}$
$e_n$ Equiv. input noise volt.	$R_S = 100\Omega$ $f = 100\text{Hz}$ $f = 1000\text{Hz}$		25 20			15 12			15 12		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$ Equiv. input noise current	$f = 100\text{Hz}$ $f = 1000\text{Hz}$		0.01 0.01			0.01 0.01			0.01 0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{in}$ Input capacitance			3			3			3		pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**HIGH PERFORMANCE JFET INPUT OP AMPS LF155/155A/156/156A/157/157A SERIES**

LF155/A/156/A/157/A, LF255/256/257,  
LF355/A/356/A/357/A-T

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified. (See notes on following page.)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LF155A/6A/7A			LF355A/8A/7A			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{os}$ Input offset voltage	$R_s = 50\Omega$		1	2 2.5		1	2 2.3	mV mV
$\Delta V_{os}/\Delta T$ Avg. TC of input offset voltage	$R_s = 50\Omega$		3	5		3	5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta\text{TC}/\Delta V_{os}$ Change in average TC <sup>2</sup> with $V_{os}$ adjust	$R_s = 50\Omega$		0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{os}$ Input offset current <sup>1,3</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J \leq T_{high}$		3	10 10		3	10 1	pA nA
$I_b$ Input bias current <sup>1,3</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J \leq T_{high}$		30	50 25		30	50 5	pA nA
$R_{in}$ Input resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$			$10^{12}$			$10^{12}$	$\Omega$
$A_{VOL}$ Large signal voltage gain	$V_s = \pm 15\text{V}$ $V_o = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$ Over temp.	50 25	200		50 25	200		V/mV V/mV
$V_o$ Output voltage swing	$V_s = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ $V_s = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		V V
$V_{CM}$ Input common mode Voltage range	$V_s = \pm 15\text{V}$	$\pm 11$	+15.1 -12		$\pm 11$	+15.1 -12		V V V
CMRR PSRR	Common-mode rejection ratio Supply volt. rej. ratio <sup>4</sup>	85 85	100 100		85 85	100 100		dB dB

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Cont'd)  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified. (See notes on following page.)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LF155/6/7			LF255/6/7			UNIT
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{os}$ Input offset voltage	$R_s = 50\Omega$		3	5 7		3	5 5.5	mV mV
$\Delta V_{os}/\Delta T$ Avg. TC of input offset voltage	$R_s = 50\Omega$		5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta\text{TC}/\Delta V_{os}$ Change in average TC <sup>2</sup> with $V_{os}$ adjust	$R_s = 50\Omega$		0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{os}$ Input offset current <sup>1,3</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J \leq T_{high}$		3	20 20		3	20 1	pA nA
$I_b$ Input bias current <sup>1,3</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J \leq T_{high}$		30	100 50		30	100 5	pA nA
$R_{in}$ Input resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$			$10^{12}$			$10^{12}$	$\Omega$
$A_{VOL}$ Large signal voltage gain	$V_s = \pm 15\text{V}$ $V_o = \pm 10\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$ Over temp.	50 25	200		50 25	200		V/mV V/mV
$V_o$ Output voltage swing	$V_s = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ $V_s = \pm 15\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$		V V
$V_{CM}$ Input common mode Voltage range	$V_s = \pm 15\text{V}$	$\pm 11$	+15.1 -12		$\pm 11$	+15.1 -12		V V V
CMRR PSRR	Common-mode rejection ratio Supply volt. rej. ratio <sup>4</sup>	85 85	100 100		85 85	100 100		dB dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**HIGH PERFORMANCE JFET INPUT OP. AMPS — LF155/155A/156/156A/157/157A SERIES**

LF155/A/156/A/157/A, LF255/256/257,  
LF355/A/356/A/357/A-T

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Cont'd)  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LF355/6/7			UNIT
		Min	Typ	Max	
$V_{os}$	Input offset voltage		3	10 13	mV mV
$\Delta V_{os}/\Delta T$	Avg. TC of input offset voltage		5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta\text{TC}/\Delta V_{os}$	Change in average TC <sup>2</sup> with $V_{os}$ adjust		0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{os}$	Input offset current <sup>1,3</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J \leq T_{high}$	3	50 2	pA nA
$I_b$	Input bias current <sup>1,3</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J \leq T_{high}$	30	200 8	pA nA
$R_{in}$ $A_{VOL}$	Input resistance Large signal voltage gain	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_s = \pm 15\text{V}$ $V_o = \pm 10\text{V}, R_L = 2\text{k}\Omega$ Over temp.	25 15	1012 200	$\Omega$ V/mV V/mV
$V_o$	Output voltage swing	$V_s = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{k}\Omega$ $V_s = \pm 15\text{V}, R_L = 2\text{k}\Omega$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 13$ $\pm 12$	V V
$V_{CM}$	Input common mode Voltage range	$V_s = \pm 15\text{V}$	$\pm 10$	+15.1 -12	V V V
CMRR PSRR	Common-mode rejection ratio Supply volt. rej. ratio <sup>4</sup>		80 80	100 100	dB dB

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**  $T_A = 25^\circ\text{C}, V_s = \pm 15\text{V}$  unless otherwise specified.

PARAMETER	LF155A/355A LF155/255			LF355			LF156A/LF156/256			UNIT
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply current		2	4		2	4		5	7	mA

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Cont'd)  $T_A = 25^\circ\text{C}, V_s = \pm 15\text{V}$  unless otherwise specified.

PARAMETER	LF356A/LF356			LF157A/LF157/257			LF357A/LF357			UNIT
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply current		5	10		5	7		5	10	mA

**NOTES**

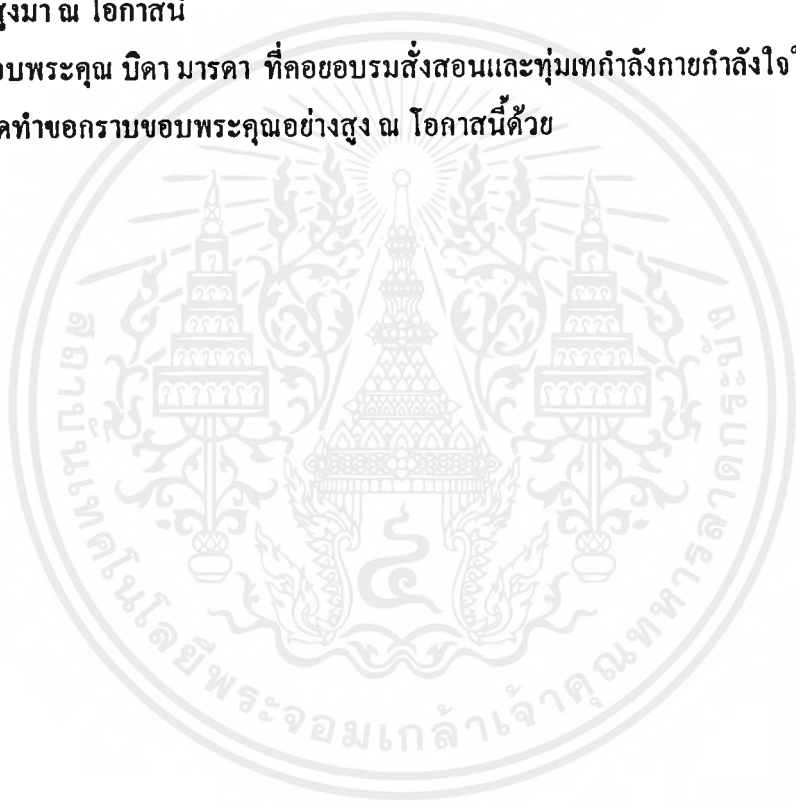
1. These specifications apply for  $\pm 15\text{V} \leq V_s \leq \pm 20\text{V}$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$  and  $T_{high} = +125^\circ\text{C}$  unless otherwise stated for the LF155A/BA/7A and the LF155/6/7. For the LF255/6/7, these specifications apply for  $\pm 15\text{V} \leq V_s \leq \pm 20\text{V}$ ,  $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$  and  $T_{high} = 85^\circ\text{C}$  unless otherwise stated. For the LF355A/BA/7A, these specifications apply for  $\pm 15\text{V} \leq V_s \leq \pm 20\text{V}$ ,  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$  and  $T_{high} = +70^\circ\text{C}$ , and for the LF355/6/7 these specifications apply for  $V_s = \pm 15\text{V}$  and  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .  $V_{os}$ ,  $I_b$  and  $I_{os}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .
2. The Temperature Coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount (0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.
3. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ\text{C}$ . increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_d, T_J = T_A + \theta_{JA} P_d$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.
4. Supply Voltage Rejection is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะความเมตตา จากอาจารย์ต่างๆ ที่ให้การอบรมสั่งสอน วิชาความรู้มาตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ทวีพล ชื้อศักดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ รวมถึงบริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (CPAC) ที่ให้การสนับสนุน โดยให้ยืมอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนัก (Load Cell) ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอนและทุ่มเทกำลังกายกำลังใจในการให้การศึกษา แก่ผู้จัดทำ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย





## บรรณานุกรม

1. Wallanc Wang “VISUAL BASIC 4 FOR WINDOWS 95” , IDG BOOKS.
2. จิระ จริงจิตร “เรียนลัด VISUAL BASIC รวมทั้ง Professional Edition”, บริษัท  
ไปรวิชั่น จำกัด (2538)
3. “VISUAL BASIC FOR WINDOWS 3.0”, บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.
4. John Clack Craig “The Microsoft Visual Basic for Windows Workshop”, SE-EDUCATION  
PUBLIC COMPANY LIMITED.
5. “คู่มือการใช้ ET - PCUDIO”, บริษัท อีทีที จำกัด.
6. ผศ. เกษตร์ สิริสันติสัมฤทธิ์ “หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม”, คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
7. ป่านเพชร ชินินทร “นิวแมติกอุตสาหกรรม”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (2521)
8. ลิจิต เอียดแก้ว “การเลี้ยงโคนม”, ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท
9. พยุงศักดิ์ มณีเนตร “การเลี้ยงโคนม”, โครงการหนังสือเกษตรชุมชน