



Continuously Variable Transmission (CVT)



โดย

นายชูชัย

มหาพล

นายโชคชัย

สัตยวิศิษฎ์

นายปณณรัตน์

พุดมคฤโฆษ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.มงคล

มงคลวงศ์โรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2537

Continuously Variable Transmission (CVT)



อ.มงคล มงคลวงศโรจน์

Continuously Variable Transmission (CVT)

นายชูชัย มหาพล

นายโชคชัย สัตยวิศิษฎ์

นายปณณรัตน์ พุฒิศุทธิเกษ

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

2537

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบส่งกำลังโดยที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เนื้อหาในโครงการนี้จะประกอบไปด้วย ส่วนสำคัญหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วน คือ งานพู่เลย์ที่สามารถปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ ชุดไฮดรอลิคควบคุม และควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Z - 80 โดยใช้ค่า sampling time 1 วินาที

เนื้อหาในแต่ละส่วนจะแสดงถึง แนวความคิดของระบบ การออกแบบส่วนต่าง ๆ และการเลือกนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาใช้งานจริง รวมทั้งมีการศึกษาถึงผลตอบสนองของระบบที่มีผลต่อส่วนควบคุมที่ได้ออกแบบไว้โดยที่ระบบจะสามารถส่งถ่ายกำลังด้วยอัตรา 2 : 1 การทดลองจะกระทำที่ความเร็วรอบอินพุต 2 ค่า คือ 740 และ 1190 รอบต่อนาที ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเอาต์พุตออกมา 2 ช่วง คือ 400 - 1100 และ 700 - 1500 รอบต่อนาที ตามลำดับ ในการทดลองจะทำการปรับความเร็วรอบเอาต์พุตจากค่าเริ่มต้นอ้างอิงไปยังความเร็วรอบเอาต์พุตต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ซึ่งจากผลการทดลองที่ความเร็วรอบอินพุตทั้ง 2 ค่า พบว่ามีค่าความผิดพลาดและเวลาเข้าสู่สภาวะเสถียร ประมาณ $\pm 5 - 10 \%$ และ 1 นาที - 1 นาทีครึ่ง ตามลำดับนอกจากนี้จะพบว่าที่ความเร็วรอบเอาต์พุตเท่ากับ 800 รอบต่อนาที จะมีการแกว่งตัวที่ใกล้ภาวะเสถียรมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุเพราะ เป็นสภาวะเดียวกับความถี่ธรรมชาติของระบบ สุดท้ายจะเป็นการแสดงถึงสาเหตุของข้อผิดพลาดต่าง ๆ รวมทั้งแนวทางในการปรับปรุงด้วย

Continuously Variable Transmission (CVT)

Choochai Mahapol

Chokchai Satayavisit

Punnarat Puthikarukos

Associate Professor Dr. Mongkol Mongkolwongrojn

1994

Abstract

This work is intended for development of the Continuously Variable Transmission System. (CVT.) This project consist of three main parts : Adjustable Pulley Unit , Hydraulic System and Microprocessor Control included interface circuit with sampling time 1 second.

Each part will show the concept ideas , the detail designs of each component , the choice of adopting practical components , and includingly the analysis of time response of the system. This CVT. system has maximum transmission ratio of 2 : 1 . The experiments will be operated at two input speeds : 740 and 1190 rpm. and so two output speed ranges : 400 - 1100 rpm. and 700 - 1500 rpm. will be obtained respectively. We will test by changing output speed from reference value to desired value. From experimental results we will get the practical errors and the actual response time about $\pm 5 - 10 \%$ and 1 - 1.5 minutes respectively. Furthermore , many oscillations will occur near steady state at the output speed of 800 rpm. , which may be the same state of natural frequency of system. Finally the causes of practical errors and the ways to improve the system are concluded in this report.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1. บทนำ	1
2. ชุดล้อสายพานแบบปรับขนาดได้ (Adjustable Pulley)	4
3. การควบคุมการเปลี่ยนแปลงขนาด Pulley โดยใช้ระบบไฮดรอลิก	23
4. ระบบ Control	41
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	59
6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	85
ภาคผนวก (Appendix)	
A การเปลี่ยนหน่วย	90
B สูตรการหาค่าต่าง ๆ ทางไฮดรอลิก	92
C ตารางข้อมูลที่ใช้ในคำนวณขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ	98
D แผนภูมิหาค่าต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิก	104
E ชุดคำสั่งสำหรับควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Z - 80	116
F รูปภาพแสดงชุดอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ของชุด CVT.	121
เอกสารอ้างอิง	135
กิตติกรรมประกาศ	137

บทที่ 1

บทนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้ยานพาหนะเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริษัทผลิตรถยนต์ทั้งหลายต่างก็เร่งทำการผลิตรถยนต์ออกมาเป็นจำนวนมาก ๆ เพื่อให้ทันต่อความต้องการใช้งาน ผลที่เกิดขึ้นก็คือความต้องการในตัวน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางด้านต่าง ๆ ที่ทำอันตรายต่อทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

เป็นที่ทราบกันว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่เป็นทรัพยากรที่หมดเปลือง เมื่อความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เป็นที่กังวลกันว่าวันหนึ่งอาจจะไม่มีน้ำมันเหลือให้เราได้ใช้กัน อีกทั้งยังเรื่องปัญหามลพิษทางอากาศก็เป็นปัญหาที่สำคัญซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต่าง ๆ ได้หันมาให้ความสนใจกันอย่างจริงจัง มีการพยายามคิดค้นและพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในรถยนต์ เพื่อลดการก่อเกิดมลพิษและเพิ่มความสามารถในการประหยัดน้ำมัน นอกจากนี้แล้วยังมีการคิดค้นและออกแบบยานพาหนะที่ไม่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนด้วย ยานพาหนะเหล่านี้ที่สำคัญ ๆ ได้แก่ รถไฟฟ้า รถพลังแสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์บางบริษัทได้มีการผลิตรถไฟฟ้าจำหน่ายในท้องตลาดแล้ว

รถไฟฟ้าจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนแทนน้ำมันเชื้อเพลิง โดยพลังงานไฟฟ้าที่จะได้มาจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่กับรถแต่จะไม่ใช้แบตเตอรี่ธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในรถยนต์ จะต้องเป็นแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบขึ้นใหม่เพื่อให้สามารถจ่ายไฟได้ในปริมาณมาก ๆ เพราะต้องใช้ในการขับเคลื่อนรถทั้งคัน จึงทำให้เกิดปัญหาตามมา คือ น้ำหนักรถจะมากเนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาดใหญ่ จึงทำให้ต้องมีการพัฒนาแก้ไขต่อไปอีก โดยจะทำให้รถไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ก็ได้เมื่อต้องการ คือ จะเป็นในลักษณะเมื่อแบตเตอรี่ที่ใช้จ่ายไฟเพื่อขับเคลื่อนรถไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟได้ ก็จะเปลี่ยนไปใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนมาทำหน้าที่แทน โดยในขณะเดียวกันก็จะทำการแบ่งกำลังจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนมาขับ Generator เพื่อ Charge ไฟเข้ากับแบตเตอรี่ กำลังส่วนนี้จะน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนรถ แต่เนื่องจากรอบที่ใช้ในการขับ Generator ต้องคงที่อยู่ตลอด จึงเกิดปัญหาตามมาว่าจะทำอย่างไรให้รอบที่ส่งมาจากเครื่องยนต์ซึ่งไม่คงที่ให้กลายเป็นรอบที่คงที่เพื่อใช้ขับ Generator ได้

แนวคิดหนึ่งที่เกิดขึ้นก็คือ สร้างอุปกรณ์ชุดหนึ่งขึ้นมาเป็นตัวส่งถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์ไปยัง Generator หรือไดนาโม ซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้จะสามารถปรับความเร็วรอบ input ที่ไม่คงที่ ให้เป็นความเร็วรอบ output ที่คงที่อยู่เสมอ โดยอัตโนมัติหรือที่เรียกว่า CVT (Continuously Variable Transmission System) ซึ่งในโครงการนี้จะเป็นการนำแนวคิดในเรื่อง

ของ CVT มาใช้ ซึ่งในที่นี้จะใช้ Pulley 2 ตัว เป็นตัวส่งผ่านกำลัง โดย Pulley ทั้งสองตัวนี้จะสามารถปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ เพื่อให้รักษาความเร็วรอบด้านที่จะส่งไปยัง Generator ให้คงที่อยู่ตลอดเวลา การปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Pulley ทั้ง 2 ตัว จะต้องมีความสัมพันธ์กันตลอดเวลา โดยในระบบจะมีการตรวจจับความเร็วรอบทั้งด้านขาเข้าที่มาจากเครื่องยนต์ และขาออกที่จะส่งไปยัง Generator แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังชุดควบคุม ซึ่งจะมี Microprocessor คอยคำนวณหาความแตกต่างแล้วออกคำสั่งแก๊ซออกมา การแก๊ซจะกระทำโดยชุดควบคุมจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยัง Solenoid Valve ที่ทำหน้าที่ควบคุมให้กระบอกสูบเคลื่อนที่เข้าหรือออก ตัวก้านสูบซึ่งติดอยู่กับจาน Pulley ด้านหนึ่ง ก็จะดึงหรือดันจาน Pulley เพื่อปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมัน ตามแต่สัญญาณคำสั่งที่ส่งมา ส่วน Pulley อีกด้านหนึ่ง ก็จะสามารถปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้สัมพันธ์กันโดยอาศัยหลักของคาน ซึ่งก้านสูบที่ใช้ปรับขนาด Pulley นั้นจะยึดติดกับปลายคานด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งจะยึดติดกับจาน Pulley อีกตัวหนึ่ง ทำให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสัมพันธ์กันไปตลอด ส่งผลให้รอบที่ส่งไปยัง Gennerator คงที่สม่ำเสมอตลอด

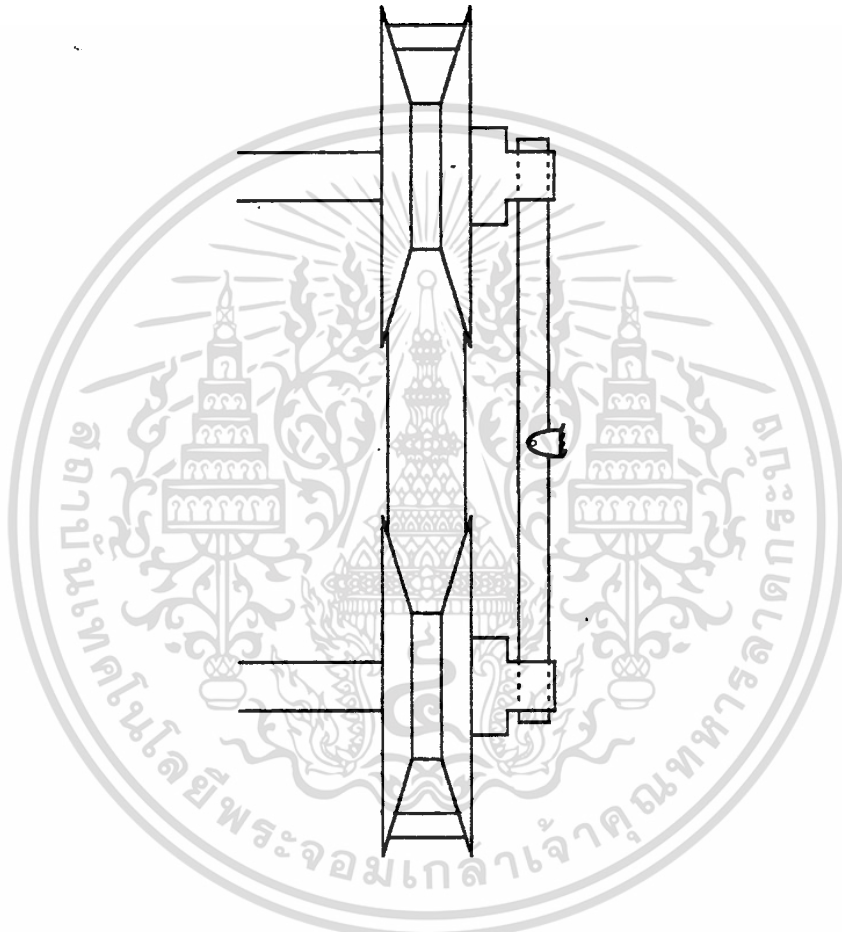
วิธีการออกแบบและขั้นตอนการทำงานของชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ จะกล่าวอย่างละเอียดต่อไป โดยจะมีผลการทดลองการทำงานของระบบ และการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้เทียบกับผลการทดสอบเครื่องจริง รวบรวมไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

ชุดล้อสายพานแบบปรับขนาดได้ (Adjustable Pulley)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดล้อยายพานแบบปรับขนาดได้จะประกอบด้วย ล้อยายพานที่มีร่องเป็นรูปตัววี 2 ตัว ด้านหลังของล้อยายพานด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อกันด้วยคานเหล็กโดยมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อยายพานทั้งสองให้สัมพันธ์กันดังรูป

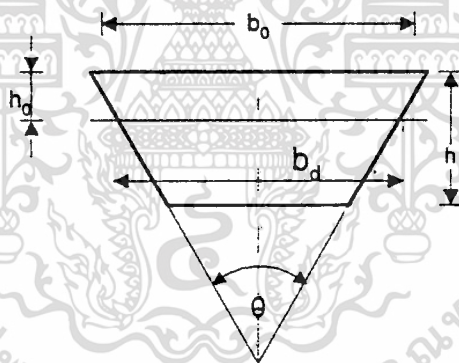


รูป 2 - 1 ล้อยายพานแบบปรับขนาดได้

ล้อยายพานทั้ง 2 จะประกอบด้วยจานที่เป็นมุมเอียง 2 จาน โดยที่จานด้านหนึ่งจะยึดติดอยู่กับเพลา ส่วนอีกจานหนึ่งสามารถเคลื่อนที่เข้าหรือออกได้ตามแนวแกน โดยใช้ชุดอุปกรณ์ไฮดรอลิคควบคุมการเคลื่อนที่

อัตราส่วนความเร็วของล้อสายพานจะถูกปรับ โดยการเพิ่มหรือลดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพาน ซึ่งจะทำให้สามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อล้อสายพานด้าน input ถูกเลื่อนเข้ามาจะทำให้สายพานแบบ V เลื่อนขึ้นตามหน้าเอียง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกัน เนื่องจากสายพานมีความยาวจำกัดจะทำให้ล้อสายพานด้าน Output ถูกสายพานกดลง และจานเหล็กจะเป็นตัวช่วยในการเลื่อนจานล้อสายพานออกด้วย ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานลดลงได้ ในอีกกรณีหนึ่งถ้าหากล้อสายพานด้าน Input ถูกเลื่อนออกสายพานจะเลื่อนลง ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานจะลดลง ในขณะที่เดียวกันล้อสายพานด้าน Output จะเลื่อนเข้ามาสายพานจะเลื่อนขึ้นตามหน้าเอียง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานจะเพิ่มได้ ลักษณะการทำงานแบบที่กล่าวมานั้นจะทำให้สามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง

สายพานที่ใช้จะเป็นสายพานแบบตัววี (V-belt) ชนิดหน้ากว้าง หรือที่เรียกว่าสายพานปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Belt) หน้าตัดของสายพานแบบตัววีเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังรูป



รูป 2 - 2 หน้าตัดของสายพานแบบตัววี (V - belt)

ลักษณะที่เป็นรูปลิ้มทำให้สายพานเกาะล้อสายพานได้แน่นขึ้นและสามารถส่งกำลังได้มากขึ้น

ทฤษฎีและการคำนวณ

เมื่อกำหนดความเร็วรอบ Input , ความเร็วรอบ Output และกำลังที่สายพานได้รับ จะสามารถหาแรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นบนล้อสายพาน ได้จากสูตร

$$T = \frac{60 H}{2 \pi n} \quad (2-1)$$

เมื่อ $T =$ แรงบิดที่เกิดขึ้น (N.m)

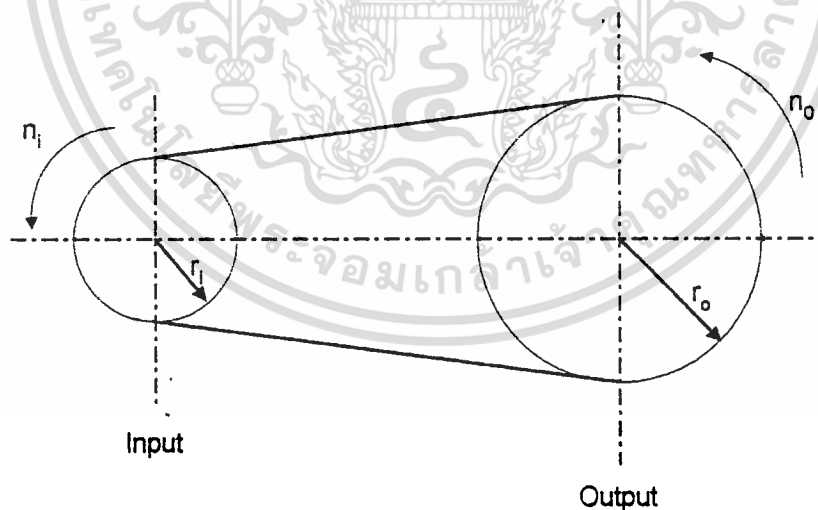
$H =$ กำลังที่สายพานได้รับ (W)

$n =$ ความเร็วรอบ (รอบ / นาที)

จากที่กำหนดให้ กำลังสูงสุดที่เข้าล้อสายพาน Input มีค่า 10 กำลังม้า (H.P.) จะได้ที่ความเร็วรอบ Input (n_i) = 1500 rpm

$$\begin{aligned} T &= \frac{60 * 10 * 745.6}{2 \pi * 1500} \\ &= 47.47 \text{ N.m.} \end{aligned}$$

ต้องการความเร็วรอบ Output (n_o) = 1800 rpm



จากสูตร

$$\frac{r_o}{r_i} = \frac{n_i}{n_o} \quad (2-2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{r_o}{r_i} = \frac{1500}{1800}$$

$$r_i = 1800$$

$$\frac{r_o}{r_i} = 0.83$$

$$r_i$$

แสดงว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานที่ Output มีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานที่ input

จากสูตร

$$V = \frac{\pi d n}{60} \quad (2-3)$$

มีข้อเสนอแนะว่า ความเร็วที่เหมาะสมของสายพานแบบตัว V ประมาณ 20 เมตรต่อวินาที และไม่ควรเกิน 25 เมตรต่อวินาที หรือต่ำกว่า 5 เมตรต่อวินาที

ปรากฏว่า เมื่อเลือก $V = 20$ เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานจะมีขนาดใหญ่เกินไปเนื่องจากแนวความคิดเริ่มต้นคิดว่าจะนำไปติดตั้งในรถไฟฟ้า จึงทดลองเลือก $V = 17$ เมตรต่อวินาที ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพานดังนี้

$$\begin{aligned} d_i &= \frac{60 \cdot V}{\pi n_i} \\ &= \frac{60 \cdot 17}{\pi \cdot 1500} \end{aligned}$$

$$= 0.22 \text{ เมตร หรือ } 220 \text{ มิลลิเมตร}$$

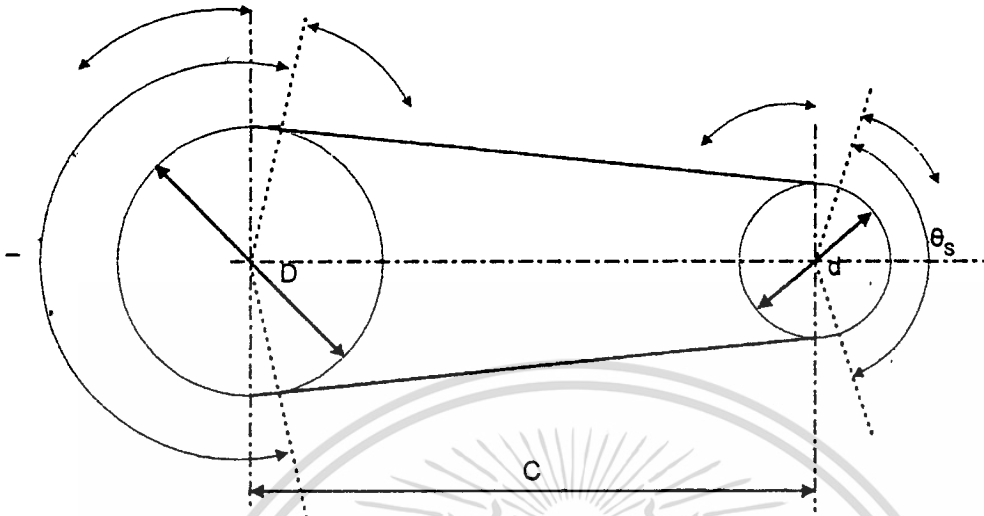
ดังนั้นนำค่า d_i ที่ได้ไปแทนในสมการ (2-2)

$$\frac{r_o}{110} = 0.83$$

$$r_o = 91.3 \text{ มิลลิเมตร}$$



$d_o = 182.6$ มิลลิเมตร



รูปที่ 2 - 3 แสดงความยาวของสายพานและมุมสัมผัส

จากสูตร

$$L_p = 2C + 1.57 (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (2-4)$$

เมื่อ

C = ระยะ Center ถึง Center

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานอันใหญ่

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานอันเล็ก

L_p = ความยาวของสายพาน

เลือก ความยาวสายพานขนาด 1500 มิลลิเมตร

$$1500 = 2C + 1.57 (220 + 182.6) + \frac{(220 + 182.6)^2}{4C}$$

ฉะนั้นจะได้ค่า $C = 433.56$ mm

จากรูป 2 - 3

$$Q_L = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{(D - d)}{2C} \quad (2-5)$$

$$= \pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{220 - 182.6}{2 * 433.56} \right)$$

$$= 3.23 \text{ rad}$$

$$Q_s = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2C} \right)$$

$$= \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{220 - 182.6}{2 * 433.56} \right)$$

$$= 3.03 \text{ rad}$$

แรงหนีศูนย์กลางของสายพาน สามารถหาได้จากสูตร

$$F_c = m' w^2 r \quad (2-6)$$

เมื่อ F_c คือ แรงหนีศูนย์กลางของสายพาน
 m' คือ มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายพาน (kg)
 w คือ ความเร็วเชิงมุม (rad / s)
 r คือ รัศมีของสายพาน (m)

จากสายพานที่เลือกใช้ความยาว 1500 มิลลิเมตร มวล 1060 กรัม

$$m' = 1.06 / 1.5 = 0.71 \text{ kg/m}$$

$$F_c = \frac{0.71 * (2 \pi * 1500)^2 * (110 / 1000)}{60}$$

$$= 211.97 \text{ N}$$

แรงตึงสูงสุดบนสายพานหาได้จากสูตร

$$F_1 = F_c + \frac{(r)}{r-1} * \frac{T}{r} \quad (2-7)$$

$$r = e^{f\theta / \sin \beta} \quad (2-8)$$

เมื่อ f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน มีค่า 0.3 เมื่อสายพานยางและล้อ
 สายพานเป็นเหล็ก

$$\theta = \text{มุมสัมผัส}$$

$$\beta = \frac{\text{มุมของล้อยสายพาน}}{2}$$

$$r = e^{(0.3 \cdot 3.23 / \sin 18)}$$

$$= 23.01$$

$$F_1 = 211.97 + \frac{(23.01)}{23.01 - 1} \cdot \frac{47.47}{110 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 663.12 \text{ N}$$

แรงดึงสูงสุดบนสายพานควรจะถูกด้วยตัวประกอบการใช้งาน (Service Factor) ซึ่งขึ้นอยู่กับ เวลาการใช้งานต่อวัน และชนิดของอุปกรณ์ ในที่นี้อุปกรณ์ต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน อุปกรณ์ที่ถูกขับเป็นเครื่องปั่นไฟ และจำนวนเวลาการใช้งาน 3-5 ชั่วโมงต่อวัน เลือกใช้ค่าตัวประกอบการใช้งาน 1.2 ดังนั้น

$$F_1 = 663.12 \cdot 1.2$$

$$= 795.75 \text{ N}$$

ส่วนค่าแรงดึงบนสายพานด้านหย่อน หาได้จาก

$$F_2 = F_1 - \frac{T}{R}$$

$$= 795.75 - \frac{47.47}{110 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 364.2 \text{ N}$$

สำหรับเพลาค่าจะคำนวณหาขนาดโดยประมาณจากสูตร

$$d = \frac{\{ 5.1 [(C_m M)^2 + (C_T T)^2]^{1/2} \}^{1/3}}{\tau_p} \quad (2-10)$$

$$\tau_p = 0.30 \text{ Syt}$$

เมื่อ d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพล

τ_p = ความเค้นเฉือนที่อนุญาต

C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

M = โมเมนต์ดัด

T = แรงบิด

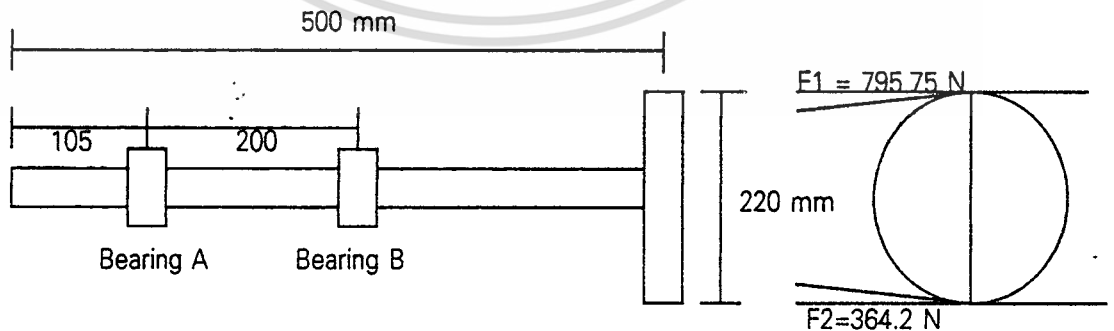
S_{yt} = Yield Strength

ค่า C_m และ C_t พิจารณาจากตาราง 2-1

ตาราง 2-1 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 - 2.0	1.5 - 2.0
เพลานูน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 - 3.0	1.5 - 3.0

วัสดุที่ใช้ทำเพลาคือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ซึ่งมี $S_{yt} = 326.97 \text{ Mpa}$

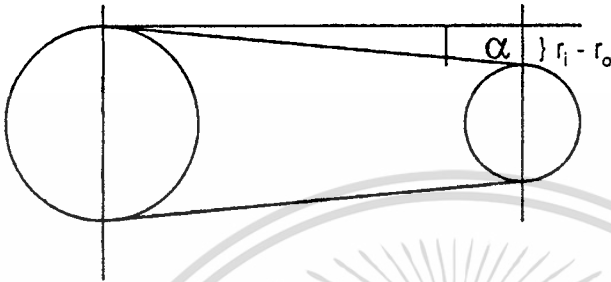


รูปที่ 2 - 4 แสดงขนาดส่วนต่างๆของเพลาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

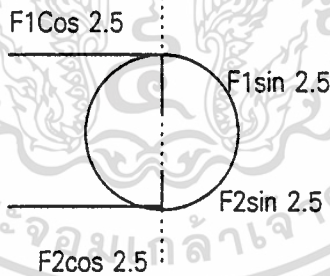
เนื่องจากที่ปลายด้าน x จะต้องนำไปต่อกับอุปกรณ์ต้นกำลังที่ยังระบุไม่ได้ว่าจะเป็น
อุปกรณ์ชนิดใดมี Load เท่าไร ดังนั้น จึงสมมติว่ามี Load ประมาณ 50 N ที่ปลายด้าน Y มีชุด
Pulley ซึ่งมีมวล 22.5 Kg หรือ $22.5 * 9.81 = 220.73 \text{ N}$

พิจารณาแรงดึงบนสายพาน



$$\begin{aligned}\alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{r_i - r_o}{C} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{110 - 91.3}{433.56} \right) \\ &= 2.5 \text{ องศา}\end{aligned}$$

แตกแรง F1 และ F2 ได้



$$F1 \cos 2.5 = 795.75 * \cos 2.5 = 795 \text{ N}$$

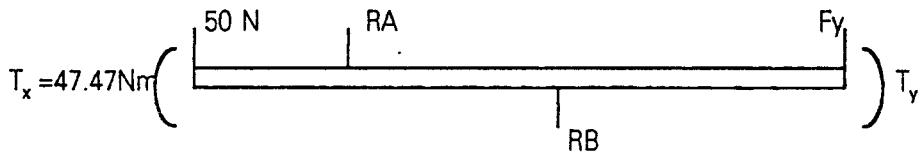
$$F1 \sin 2.5 = 795.75 * \sin 2.5 = 34.7 \text{ N}$$

$$F2 \cos 2.5 = 364.2 * \cos 2.5 = 363.85 \text{ N}$$

$$F2 \sin 2.5 = 364.2 * \sin 2.5 = 15.9 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณา Free Body Diagram ของคาน



ที่ปลาย y ของคานจะมีแรงเนื่องจากน้ำหนักของชุดล้อสายพานรวมกับแรงลัพธ์ ของแรงดึง F1 และ F2 และจะมีแรงบิดเนื่องจากแรงลัพธ์ของแรงดึง F1 และ F2 เกิดขึ้น

ที่ปลาย Y ของคานจะมีแรงกระทำ = $220.73 + F1 \sin 2.5 - F2 \sin 2.5$

$$F_y = 239.53 \text{ N}$$

และจะมีแรงบิดเกิดขึ้น = $(F1 \sin 2.5 - F2 \sin 2.5) r$

$$T_y = 47.42 \text{ N.m.}$$

จาก Free Body Diagram ของคาน

คิดโมเมนต์รอบจุด A

$$50(0.105) + R_B(0.2) = 239.53(0.395)$$

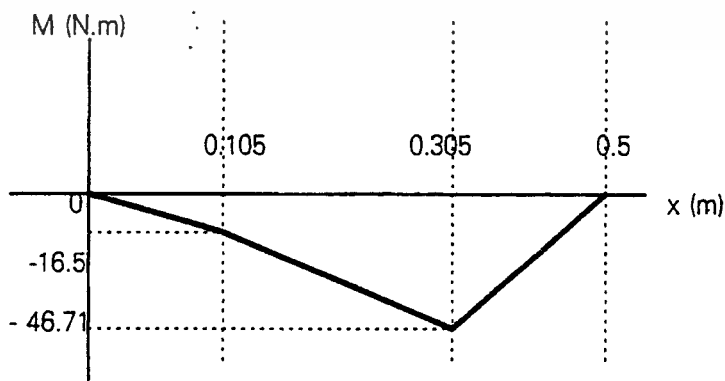
$$R_B = 446.8 \text{ N}$$

คิดสมดุลในแกน y

$$R_A + 50 + 239.53 = 446.8$$

$$R_A = 157.3 \text{ N}$$

เขียนแผนภาพโมเมนต์ตัดได้



จากสูตร 2 - 11

$$\begin{aligned}\tau_p &= 0.3 \text{ Syt} \\ &= 0.3 * 326.97 \\ &= 98.09 \text{ MPa}\end{aligned}$$

มีข้อเสนอแนะว่าถ้ามีร่องลึบบนเพลลาให้ลดค่า τ_p ลดลงเหลือ 75 % ของที่คิดได้

$$\begin{aligned}\tau_{pd} &= 0.75 * 98.99 \\ &= 73.56 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

จากตาราง 2 - 1

มีลักษณะการใช้งานเป็น เพลาหมุน แรงกระตุกอย่างเบา เพราะฉะนั้นเลือกค่า $C_m = 2.0$

และ $C_t = 1.5$

จากสูตร 2 - 10

$$d = \frac{5.1}{\tau_p} \left[(C_m M)^2 + (C_t T)^2 \right]^{1/2} \Bigg)^{1/3}$$

$$= 0.02 \text{ เมตร}$$

หรือ = 20 มิลลิเมตร

∴ เลือกใช้เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร

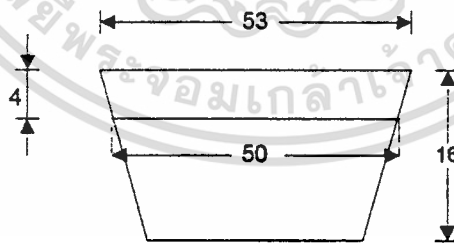
การออกแบบอุปกรณ์

ในทางปฏิบัติและการออกแบบสายพานแบบตัววีจะใช้ข้อมูลจาก Data Sheet จากบริษัทผู้ผลิต ขั้นแรกเลือกสายพานจากรายการ 2 - 1

ตาราง 2 - 2 สายพานตัววีแบบหน้ากว้างสำหรับ Variable - Speed Drives

Belt Section	Cross - sectional demensions (mm)				length range L, (mm)	Transmitted Power Po (kw) at v=20 m/s
	b_0	b_d	h	h_0		
I - B25	27	25	8.0	2.0	710 - 1600	1.9
I - B32	34	32	10.0	2.5	900 - 2000	3.1
I - B40	43	40	13.0	3.2	1120 - 2500	5.2
I - B50	53	50	16.0	4.0	1400 - 3150	9.0
I - B63	67	63	20.0	5.0	1800 - 4000	13.5

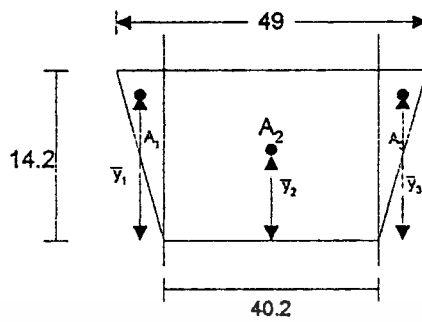
เนื่องจากต้องการกำลังสูงสุด 10 H.P. = 7.456 kw ดังนั้นจึงเลือกสายพานแบบ I - B50 ซึ่งมีหน้าตัดดังรูป



รูปที่ 2 - 5 แสดงหน้าตัดของสายพานแบบ I - B50

แต่เมื่อสอบถามไปยังบริษัทที่จำหน่ายสายพาน ปรากฏว่าไม่สามารถหาสายพานตามรูปข้างบนได้ จึงเลือกสายพานที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุด คือ $b_0 = 49$ mm , $h = 14.2$ mm , $\Psi = 36$ องศา มีหน้าตัดดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 - 6 แสดงขนาดของสายพานที่เลือกใช้จริง

ซึ่งสามารถหา Neutral Axis ของสายพานได้ดังนี้

i	$A_i \text{ (mm)}^2$	$\bar{y}_i \text{ (mm)}$	$\bar{A}_i \bar{y}_i \text{ (mm)}^3$
1	$0.5 \cdot 14.2 \cdot 4.4 = 31.24$	9.47	295.84
2	$40.2 \cdot 14.2 = 570.84$	7.1	4052.96
3	$0.5 \cdot 14.2 \cdot 4.4 = 31.24$	9.47	295.84

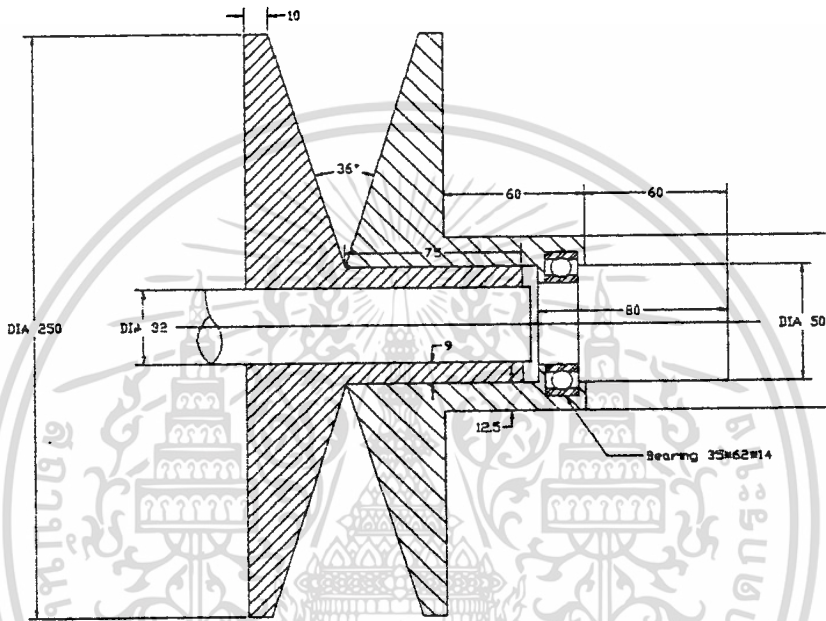
$$\sum A_i = 633.32 \quad \sum A_i \cdot \bar{y}_i = 4644.64$$

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i \cdot \bar{y}_i}{\sum A_i} = \frac{4644.64}{633.32} = 7.33 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\therefore b_d = 40.2 + 2 \cdot (7.33 \tan 18^\circ)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถออกแบบล้อสายพานได้ดังรูป



รูปที่ 2 - 7 รูปแสดงขนาดของชุดล้อสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 - 7 เป็นรูปที่แสดงขนาดของชุดล้อสายพาน โดยงานชิ้นส่วนหมายเลข 1 ทางด้านซ้ายจะยึดติดกับเพลาดำยลิม งานชิ้นส่วนหมายเลข 2 ทางด้านขวาจะสวมทับอยู่บนปลอกเพลาของงาน 1 และสามารถเคลื่อนที่ในแนวระดับบนงาน 1 ได้ การบังคับให้งาน 2 สามารถเคลื่อนที่ในแนวระดับ ทำได้โดยใช้ชิ้นส่วนที่ 3 การทำงานของชิ้นส่วนที่ 3 จะทำงานดังนี้

1. เนื่องจากชิ้นส่วนที่ 3 จะเป็นตัวดันให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวระดับฉะนั้นจะต้องทำให้ชิ้นส่วนไม่หมุนตามชุดล้อสายพาน โดยใช้การเซาะร่องแล้วอัดด้วยแหวนลูกปืนทำให้งานล้อสายพานสามารถหมุนอย่างอิสระอยู่บนชิ้นส่วนที่ 3 (พิจารณาแบบประกอบ)

2. ชิ้นส่วนที่ 3 จะถูกยึดติดไว้ด้วยคานเหล็กที่ท้ายชิ้นส่วน 3 จะส่งแรงผ่านลูกปืนไปดันหรือดึงชุดล้อสายพานที่ 2 ทำให้ทั้งชิ้นส่วนที่ 2 และ 3 เคลื่อนที่ไปในแนวระดับด้วยกัน แต่ชิ้นส่วนที่ 3 จะไม่มีการหมุนรอบแกนเหมือนชิ้นส่วนที่ 2

หาระยะระหว่าง center to center ของล้อสายพานได้จาก

$$L_p = 2C + 1.57 (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$1500 = 2C + 1.57 (188.4 + 157) + \frac{(188.4 - 157)^2}{4C}$$

ดังนั้น C = 478.6 มิลลิเมตร

มุมสัมผัสระหว่างสายพานกับล้อสายพาน

$$\begin{aligned} \text{- Input } \theta_L &= \pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{188.4 - 157}{2 * 478.6} \right) \\ &= 3.21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Output } \theta_s &= \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{188.4 - 157}{2 * 478.6} \right) \\ &= 3.08 \end{aligned}$$

แรงหนีศูนย์กลางของสายพานหาค่าได้จาก

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{0.71 * (2 \pi * 1500) * (94.2 / 1000)^2}{60} \\ &= 155.45 \text{ N} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดึงสูงสุดบนสายพานมีค่าเท่ากับ

$$F_1 = F_c + \frac{(r)}{r-1} * \frac{T}{r}$$

$$r = e^{(0.3 * 3.21 / \sin 18)}$$

$$= 22.56$$

$$F_1 = 155.45 + \frac{(22.56)}{(22.56 - 1)} 47.47 * 1000$$

$$= 682.75 \text{ N}$$

เลือก Service Factor = 1.2

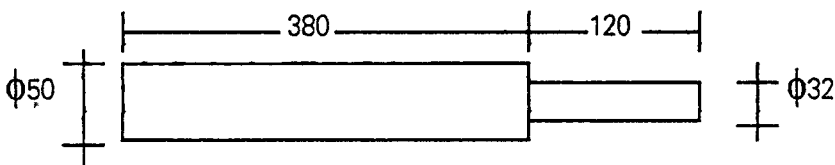
$$\text{ดังนั้น } F_1 = 682.75 * 1.2 = 819.3 \text{ N}$$

แรงดึงบนสายพานด้านหย่อนมีค่า

$$F_2 = 819.3 - \frac{47.47 * 1000}{94.2}$$

$$= 315.37 \text{ N}$$

ในส่วนของเพลลา ออกแบบให้มีขนาดดังนี้



รูปที่ 2-8 ขนาดเพลลาที่ใช้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบดังรูปข้างต้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เพลลา จากที่คำนวณทางทฤษฎี ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา 20 mm จึงออกแบบให้เพลลาส่วนที่รองรับล้อสายพานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm และเพลลาส่วนที่รับกำลังจากต้นกำลังให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm เพราะในการคำนวณทางทฤษฎี สมมติแรงที่กระทำที่ปลายเพลลาด้านซ้าย 50 N แต่ในการทำงานจริงอาจจะมีแรงกระทำที่จุดนี้มากกว่าที่สมมติขึ้นมาก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ต้นกำลัง และลักษณะการส่งกำลัง จึงต้องออกแบบให้มีขนาดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

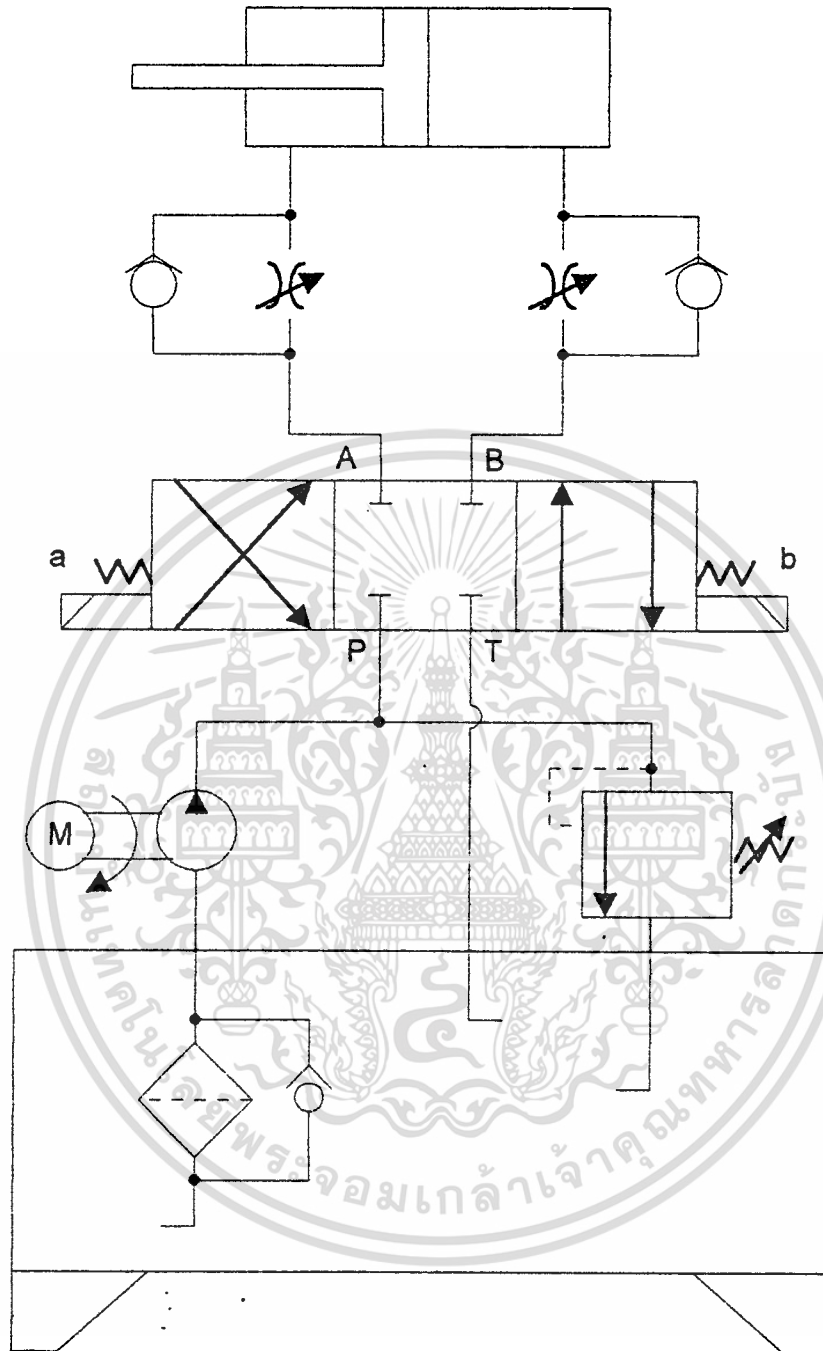


บทที่ 3

การควบคุมการเปลี่ยนแปลง ขนาดของ Pulley โดยใช้ระบบไฮดรอลิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 - 1 แสดงวงจรควบคุมการทำงานส่วนไฮดรอลิก

วงจร Hydraulic ข้างบนนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์ควบคุมการปรับเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Adjustable Pulley โดยจะทำงานภายใต้สัญญาณควบคุมที่ส่งมาจาก Microprocessor ของชุด Control อีกต่อหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Pulley นั้น เราสามารถทำได้โดยใช้ กระจบอกลูกสูบไฮดรอลิกให้ไปดันจานของ Pulley ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยจานของ Pulley จะเคลื่อนได้เพียงจานเดียว ส่วนอีกจานนั้นจะถูกยึดให้อยู่กับที่ การปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง นี้ จะต้องกระทำพร้อม ๆ กันทั้ง 2 Pulley เพื่อให้ได้รอบที่สัมพันธ์กันตลอดเวลา การที่จะปรับ Pulley ทั้ง 2 ตัวพร้อม ๆ กัน โดยใช้กระจบอกลูกสูบเพียงอันเดียว สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ เสริมในลักษณะของคานเข้ามาต่อระหว่าง Pulley กับ ลูกสูบ แล้วให้กระจบอกลูกสูบดันด้านใด ด้านหนึ่งของคาน ทำให้สามารถส่งผ่านแรงให้ไปกระทำกับ Pulley ตัวที่อยู่อีกด้านของคานใน ปริมาณที่สัมพันธ์กัน แต่การเคลื่อนตัวของ Pulley ตัวดังกล่าวจะเป็นไปในลักษณะตรงข้ามกับ การเคลื่อนตัวของกระจบอกลูกสูบ ระยะการเคลื่อนตัวของกระจบอกลูกสูบจะถูกควบคุมโดย Directional Control Valve แบบ 3 - Positioned Center Locked ; set by Solenoid and reset by Spring สัญญาณไฟฟ้าที่จะเข้า Solenoid เพื่อควบคุมให้วาล์วเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง การทำงาน จะถูกส่งมาจาก Microprocessor ของชุดควบคุมซึ่งทำการตรวจวัดรอบความเร็วของ Pulley อยู่ตลอดเวลา และทำการคำนวณเพื่อหาว่าต้องส่งสัญญาณไฟฟ้ามาที่ชุดหลอด Solenoid เมื่อใด

วงจรควบคุมการทำงาน (ส่วนไฮดรอลิก)

จากรูปวงจรไฮดรอลิกข้างต้น ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ถังน้ำมัน (Hydraulic Tank) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่บรรจุน้ำมัน Hydraulic ที่เป็น สารทำงานใช้ในระบบ ภายใน Tank มักจะมีอุปกรณ์ระบายความร้อน และ ตัวกรองน้ำมันติดตั้งรวมอยู่ด้วย

2. ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump) ทำหน้าที่ส่งจ่ายน้ำมันจาก Tank ไปยังอุปกรณ์ทำงานต่าง ๆ ในระบบ โดยมีความดันใช้งานตามต้องการ

3. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จ่ายกำลังแก่ Hydraulic Pump เพื่อให้ Pump สามารถทำงานตามหน้าที่ได้

4. หม้อกรองและวาล์วไหลทางเดียว (Filter or Straine and Check Valve) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กรองน้ำมันที่ผ่านการทำงานในวงจรแล้ว ก่อนที่จะเข้าปั๊มเพื่อส่งน้ำมันไปทำงานในวงจร หม้อกรองจะกรองเอาสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมที่ติดเข้ามาระหว่างการทำงานในวงจรออก ก่อนที่จะผ่านปั๊มเข้าไปทำงานในวงจรอีกครั้ง

5. วาล์วควบคุมความดัน (Pressure Relief Valve) เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ระบายน้ำมันไฮดรอลิกกลับสู่ Tank เมื่อความดันในระบบสูงเกินค่าความดันที่ได้ตั้งค่าไว้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการรั่วของน้ำมันในถัง หรือที่วาล์วควบคุมทิศทางการไหลอยู่ในตำแหน่งล๊อค

6. วาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional Control Valve) เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกไปยังอุปกรณ์ทำงาน คือ กระบอกลูกสูบ เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบว่าจะเคลื่อนที่เข้าหรือเคลื่อนที่ออก

7. วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve) เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่จะไหลผ่านไปยังกระบอกลูกสูบ สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันได้ตามต้องการ ซึ่งจะส่งผลต่อการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าหรือออกของกระบอกลูกสูบได้ตามต้องการ

8. กระบอกลูกสูบ (Hydraulic Cylinder or Actuator) เป็นอุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเคลื่อนที่เข้าหรือออก เร็วหรือช้า ได้ตามจังหวะและปริมาณของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลผ่านกระบอกลูกสูบ

การทำงานของวงจรไฮดรอลิก

เมื่อเริ่มต้นการทำงาน มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) จะทำการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล แล้วส่งผ่านกำลังไปขับไฮดรอลิกปั๊ม (Hydraulic Pump) แบบไหลทางเดียว ปรับอัตราการไหลไม่ได้ เพื่อทำการดูดน้ำมันจาก Tank ให้เข้าสู่วงจรการทำงาน น้ำมันที่ไหลจาก Tank ก่อนเข้าสู่ปั๊มจะต้องผ่านหม้อกรองไฮดรอลิก (Filter or Strainer) ก่อน ซึ่งตัวหม้อกรองนี้จะติดตั้งอยู่ภายใน Tank โดยจะติดตั้งร่วมกับวาล์วกันกลับไหลทางเดียว (Check Valve) เพื่อทำหน้าที่กันไม่ให้น้ำมันซึ่งยังไม่ได้กรองเอาสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมออก ผ่านเข้าปั๊มไปทำงานในวงจรได้

น้ำมันที่ผ่านปั๊มจะไหลผ่านวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional Control Valve) เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของน้ำมันว่าจะไหลไปเข้ากระบอกลูกสูบทางด้านใด เนื่องจากกระบอกลูกสูบเป็นชนิดทำงานสองทาง ทิศทางการไหลของน้ำมันที่ต่างกันจะส่งผลให้กระบอกลูกสูบเคลื่อนที่เข้าหรือออกต่างกันไปด้วย วาล์วควบคุมทิศทางการไหลในวงจรนี้จะเป็นแบบ สามตำแหน่ง ตำแหน่งกลางปิดหมด การเปลี่ยนสู่ตำแหน่งทำงานของวาล์วสามารถกระทำได้โดยอาศัยสัญญาณไฟฟ้าจากไมโครโปรเซสเซอร์ของชุดควบคุมที่เข้ามากระตุ้นชุดลวดโซลินอยด์ควบคุมว่าจะเข้าสู่ชุดลวดโซลินอยด์ที่ควบคุมตำแหน่งทำงานด้านไหน เมื่อสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นชุดลวดโซลินอยด์หมดลง ตำแหน่งการทำงานของวาล์วจะถูกรีเซ็ตกลับสู่ตำแหน่งกลางโดยการทำงานของสปริง จากรูปในที่นี่ ถ้ามีสัญญาณไฟฟ้ามาเข้าชุดโซลินอยด์ a จะมีผลทำให้กระบอกลูกสูบเคลื่อนที่ออก ในกรณีกลับกันถ้าสัญญาณไฟฟ้ามาเข้าชุดโซลินอยด์ b จะทำให้กระบอกลูกสูบเคลื่อนที่เข้ามาแทน ซึ่งทั้งสองกรณีน้ำมันที่ไหลออกจากวาล์วควบคุมทิศทางการไหลไป กระบอกลูกสูบจะต้องผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับค่าได้ ควบคุมได้ทางเดียว (Flow Control Valve) โดยในวงจรนี้เราจะติดตั้งให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลให้ทำการควบคุมปริมาณของน้ำมันที่ไหลก่อนเข้าสู่กระบอกลูกสูบ (Meter - in - Circuit) การควบคุมใน ลักษณะนี้จะเหมาะกับวงจรที่ใช้กระบอกลูกสูบแบบทำงานสองทางขนาดเล็ก ดันไหลที่ไม่หนักมาก และไหลจะต้องอยู่ในด้านตรงข้ามและมีค่าคงที่เท่านั้น ผลของการใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบ Meter - in - Circuit นี้จะช่วยทำให้กระบอกลูกสูบเคลื่อนตัวเข้าออกค่อนข้างราบเรียบสม่ำเสมอ ไม่เกิดอาการกระชากหรือเกิดการกระแทกกันของจาน pulley กับสายพาน ดังนั้นการตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลว่าจะให้มีอัตราการไหลเท่าใดนั้น ก็จะขึ้นอยู่กับความต้องการ

การให้ก้านสูบเคลื่อนที่ช้าหรือเร็วอย่างไร สามารถปรับแต่งอัตราการไหลได้จนกว่าจะได้รับความเร็วของก้านสูบที่พอใจ

นอกจากนี้แล้วในวงจรการทำงานยังมีการติดตั้งวาล์วควบคุมความดัน (Pressure Relief Valve) เอาไว้ด้วย เพื่อว่าเมื่อระบบต้องมีการรับภาระโอเวอร์โหลดนาน ๆ หรือเมื่อเกิดการอุดตันหรือขัดข้องขึ้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งในระบบ ทำให้ความดันของน้ำมันในระบบสูงขึ้นมาก เมื่อความดันสูงขึ้นถึงค่าที่ตั้งเอาไว้ที่วาล์วควบคุมความดัน วาล์วควบคุมความดันก็จะทำการตัดน้ำมันที่ไหลออกจากปั๊มเข้าสู่วาล์วควบคุมทิศทาง ให้น้ำมันไหลผ่านวาล์วควบคุมความดันกลับลงสู่ Tank เลย ซึ่งจะส่งผลให้ความดันในระบบลดลงสู่ระดับปกติ

ข้อได้เปรียบของการควบคุมโดยใช้ระบบไฮดรอลิกที่มีต่อการควบคุมโดยใช้ DC Servo Motor

การควบคุมโดยใช้ระบบไฮดรอลิกทำงาน แทนที่จะใช้ DC Servo Motor ตามที่เคยเสนอไปนั้น ทำให้เกิดข้อดีอยู่หลายประการ ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

1. ง่ายต่อการควบคุม โดยปกติแล้วการส่งกำลังโดยใช้กลไกทางไฟฟ้าจะมีความยุ่งยากมากเกี่ยวกับเรื่องของโครงสร้างที่จะควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานทั้งแบบหมุนหรือในแนวตรง แต่ในระบบไฮดรอลิกจะทำงานได้ง่ายและดีทั้งในแนวตรง และแนวหมุน เพียงแต่ใช้กำลังงานจากน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลในวงจรไปเปลี่ยนเป็นกำลังงานกล เพื่อทำงานที่ต้องการแรงผลักดันหรือแรงบิดมาก ๆ ได้

2. การปรับเปลี่ยนความเร็วของกระบอกสูบหรือไฮดรอลิกมอเตอร์กระทำได้โดยง่าย สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ทุกระดับโดยปรับที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์นั้นควรจะทำหน้าที่ความเร็วคงที่มากกว่า ถ้าหากต้องการปรับเปลี่ยนความเร็วบ่อย ๆ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องหมุนกลับทิศด้วย จะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้

3. แรงทวิคูณ ในระบบที่เป็นกลไกทางไฟฟ้า การเพิ่มแรงจะต้องส่งผ่านชุดเกียร์, รอก, คาน และอื่น ๆ ทำให้พลังงานจำนวนมากต้องสูญเสียไปกับแรงต้านทานในส่วนต่าง ๆ แต่สำหรับในระบบไฮดรอลิกเราสามารถเพิ่มแรงเป็นทวิคูณได้โดยไม่มีข้อจำกัด และต้องใช้ส่วนประกอบที่เคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4. แรงคงที่ ในระบบไฮดรอลิกเราสามารถจะบังคับให้เกิดแรงที่คงที่ได้โดยไม่จำกัดความเร็ว และยังให้ประสิทธิภาพสูงด้วย ถึงแม้ว่าในระบบจะมีการรั่วไหลเกิดขึ้นก็ตาม เพราะว่าค่าความดันที่เกิดขึ้นกับไหลจะยังคงที่อยู่

5. ตั้งขนาดของแรงที่ต้องการใช้งานได้ เพราะว่าปริมาณน้ำมันที่ไหลในระบบที่ทำให้ความดันสูงเกินความต้องการ จะไหลกลับไป Tank ผ่านวาล์วจำกัดความดัน (Pressure Relief Valve) หมด ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดค่าความดันที่ต้องการเพื่อให้เกิดแรงที่ต้องการใช้งานได้

6. การทำงานกลับทิศไปมา กระบอกสูบและไฮดรอลิกมอเตอร์สามารถทำงานกลับทิศไปมาได้โดยไม่ต้องรอให้หยุดการทำงานก่อน โดยอาศัยการควบคุมผ่านทางวาล์วควบคุมทิศทาง การไหล ส่วนปัญหาการโอเวอร์โหลดขณะทำงานกลับทิศจะไม่มี เช่น ก้านสูบเลื่อนออกจนสุดระยะชักแล้ว แต่ปั๊มยังคงส่งน้ำมันให้ไหลไปในระบบ ความดันในระบบก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเราสามารถทำให้ลดลงได้โดยผ่านทางวาล์วจำกัดความดัน ส่วนถ้าเป็นกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้า การทำงานกลับทิศไปมาเร็ว ๆ และบ่อย ๆ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรงได้ เช่น ฟิวส์ขาด , ไฟฟ้าลัดวงจร , ไฟกระชาก นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อน คือ จะทำให้อุปกรณ์ทำงานมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก

7. ควบคุมการทำงานได้เที่ยงตรง , แม่นยำ และถูกต้อง เพราะในระบบไฮดรอลิกมีวาล์วที่จะคอยควบคุมทั้งความเร็วและความดันอยู่ ซึ่งถ้าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ในกรณีที่ต้องการให้มีการเคลื่อนที่กลับทิศไปมา เพราะจะเกิดแรงเฉื่อยเนื่องจากแรงบิดในทิศเดิม ด้านการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงบิดในทิศใหม่อยู่

8. กระทัดรัด ระบบไฮดรอลิกจะกินเนื้อที่ในการติดตั้งและมีน้ำหนักน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นที่ให้ขนาดกำลังเท่ากัน เช่น ปั๊มหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 9 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีน้ำหนักเพียง 5 กิโลกรัมเท่านั้น ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้กำลังขนาดเดียวกัน จะมีน้ำหนักมากกว่าหลายกิโลกรัม และสำหรับในบริเวณที่มีเนื้อที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถติดตั้งระบบไฮดรอลิคได้ เพียงแต่ต้องให้มีเนื้อที่ในการวางท่อน้ำมันเท่านั้น

9. สามารถหยุดชะงัก เนื่องจากการรับโอเวอร์โหลดได้นาน เมื่อโหลดลดลงก็ทำงานต่อไปได้โดยทันที ไม่มีปัญหาเนื่องจากฟิวส์ขาดหรือไฟฟ้าลัดวงจรเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อเกิดการโอเวอร์โหลดนาน ๆ ระบบก็ยังคงทำงานอยู่ต่อไปได้ เพียงแค่ให้มีการระบายน้ำมันที่ทำให้เกิดความดันส่วนเกินในระบบออกไปทางวาล์วจำกัดความดัน กลับลงสู่ Tank เท่านั้น

10. ปลอดภัย ระบบไฮดรอลิคจะมีความปลอดภัยในการทำงานสูง แม้ว่าจะมีการรับโหลดนาน ๆ ไม่เกิดปัญหาเนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจรเหมือนกับระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า จึงทำให้ได้รับความสนใจและถูกนำไปใช้งานในโรงงานทั่ว ๆ ไปได้ดีกว่าระบบอื่น ๆ

การออกแบบและการเลือกขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรไฮดรอลิค

วงจรไฮดรอลิคที่ต้องการใช้งานจะต้องสามารถให้แรงขนาด 10 กิโลนิวตัน ความยาวช่วงชักในการทำงาน 5 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าและออกของก้านสูบเป็น 0.5 เซนติเมตรต่อวินาที

วิธีการออกแบบและหาขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจร สามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาพื้นที่กระบอกสูบ (A_c) ที่จะใช้งาน

เนื่องจากแรงที่ใช้งาน คือ 10 กิโลนิวตัน พื้นที่ของกระบอกสูบที่ใช้ในการทำงาน สามารถหาได้จาก Appendix B ข้อที่ 3 ได้ดังนี้

$$A (\text{in}^2) = F (\text{lb}_f) / P (\text{lb/in}^2)$$

จากมาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดก้านสูบ เราจะเลือกขนาดกระบอกสูบได้ โดยดูว่า กระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จะทำงานด้วยความดันต่ำ แต่ต้องใช้ปั๊มที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้กระบอกสูบมีความเร็วตามต้องการ แต่ในทางตรงกันข้ามกระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะต้องทำงานด้วยความดันสูงและใช้ปั๊มขนาดเล็กกว่า แต่วงจรที่ทำงานด้วยความดันสูง ๆ จะไม่ดี จึงควรเลือกทำงานที่ความดันที่พอเหมาะ โดยพิจารณาดูว่าที่ระดับความดันใช้งานที่เลือกนั้นจะต้องใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ปั๊ม , วาล์วควบคุม , และท่อทางต่าง ๆ ไปที่มีใช้และจำหน่ายกันอยู่

จากปั๊มไฮดรอลิกทั่ว ๆ ไปที่มีใช้กันอยู่จะกำหนดค่าความดันสูงสุดในการใช้งานอยู่ที่ 3000 psi แต่ความดันที่ใช้งานในวงจรควรใช้ค่าประมาณ 1000 - 2000 psi จะเหมาะสมกว่า ถ้าเราเลือกใช้ความดันใช้งานในวงจรนี้ที่ 1000 psi

ดังนั้น

$$\begin{aligned} A_c &= F / P \\ &= \frac{10 \text{ kN}}{1000 \text{ lb/in}^2} \times \frac{1000 \text{ N}}{1 \text{ kN}} \times \frac{0.2248 \text{ lb}_f}{1 \text{ N}} \\ A_c &= 2.248 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาขนาดกระบอกสูบ (Dc)

จาก Appendix B ข้อที่ 8

$$D = \sqrt{\frac{A}{0.7854}}$$

แทนค่า

$$D = \sqrt{\frac{2.248}{0.7854}}$$

$$D_c = 1.69 \text{ in}$$

เมื่อพิจารณาถูกระบอบอกสูบจากข้อที่ 1 ใน Appendix C แล้วขนาด $D_c = 1.69 \text{ in}$ ไม่มีใช้จึงต้องใช้ขนาด $D_c = 2 \text{ in}$, $A_c = 3.142 \text{ in}^2$ แทน

สำหรับในขั้นตอนที่ 1 และ 2 นี้ อาจไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณก็ได้โดยใช้ข้อที่ 1 ใน Appendix C หรือเปิดจากแผนภูมิ 1 ใน Appendix D ก็ได้ ซึ่งจะช่วยให้การพิจารณาค่ารวดเร็วขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 ทบทวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถูกระบอบอกสูบ

หาค่าความดันจากถูกระบอบอกสูบขนาด 2 in ซึ่งมีพื้นที่ของถูกระบอบอกสูบเป็น

$$\begin{aligned} \text{จาก } P &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{10000 \text{ N}}{3.142} * \frac{0.2248 \text{ lb}_f}{1 \text{ N}} \\ &= 715.47 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

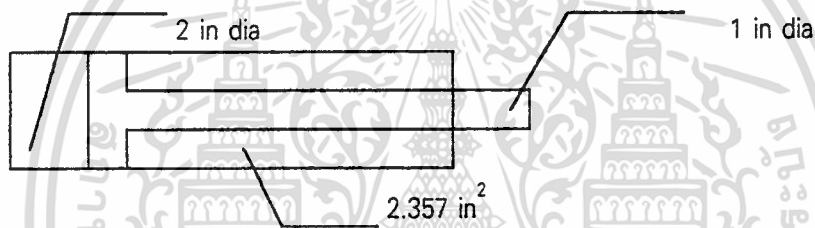
จะเห็นว่าค่าความดันที่ได้มีค่าน้อยกว่าความดันใช้งานที่เราเลือกไว้คือ 1000 lb/in^2 อยู่เล็กน้อย ซึ่งสามารถจะละทิ้งได้ไม่ต้องสนใจ

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดขนาดถูกระบอบอกสูบที่จะใช้อย่างแน่นอน

ถูกระบอบอกสูบที่เลือกใช้สำหรับงานนี้จะมีลักษณะดังรูปข้างล่าง และจากข้อ 1 ใน Appendix C จะสามารถกำหนดรายละเอียดของถูกระบอบอกสูบที่เลือกใช้ได้ดังนี้

1. ถูกระบอบอกสูบขนาด 2 in
2. ขนาดช่วงต่อ

- เกลียว N.P.T. ขนาด 1/2 in
 - เกลียวตรงขนาด 5/6 in Tube OD (7/8 - 14 THD)
3. ขนาดของก้านสูบ 1 in (STD)
 4. พื้นที่เต็มของลูกสูบ 3.142 in²
 5. พื้นที่สุทธิด้านก้านสูบ 2.357 in²
 6. พื้นที่ของก้านสูบ 0.785 in²
 7. อัตราของพื้นที่เต็มลูกสูบต่อพื้นที่สุทธิ 1.33 / 1.00
 8. แรงที่ได้จากระบบสูบมากที่สุด ที่ความดัน 1000 psi
 - แรงดัน 3142 lb_f
 - แรงดึง 2357 lb_f



รูปที่ 3 - 2 แสดงขนาดของส่วนต่าง ๆ ของลูกสูบ

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาอัตราการไหลสำหรับความเร็วที่กำหนดไว้

จาก Appendix B ข้อที่ 1

$$\text{gpm} = \frac{A (\text{in}^2) * V (\text{in} / \text{min})}{231}$$

$$\begin{aligned} \text{gpm} &= \frac{3.142 \text{ in}^2}{231} * 5 \text{ mm/s} * \frac{0.039 \text{ in}}{1 \text{ mm}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \\ &= 0.159 \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการไหล (gpm)} = 0.159 \text{ gpm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเปิดหาค่าจากแผนภูมิที่ 8 ใน Appendix B.4 อ่านค่าอัตราการไหลที่ป้อนให้แก่ กระบอกสูบที่สเกล ณ จุดที่ เส้นตรงลากต่อระหว่าง 2 in (dia) กับ 11.7 in / min ลากผ่าน มาตัดสเกลจะได้อัตราการไหล (gpm) ประมาณ 0.16 gpm เช่นกัน

ขั้นตอนที่ 6 ทบทวนหาขนาด

เนื่องจากปั๊มขนาด 0.159 gpm เป็นขนาดที่ไม่มีใช้กัน ปั๊มขนาดเล็กสุดที่มีใช้กันจะมี ขนาด 3 gpm โดยอัตราการไหลของปั๊มโดยทั่วไปจะกำหนดอัตราการไหลเป็น US gpm ที่มีความเร็วรอบ 1200 rpm แต่มอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไปที่ใช้ขับปั๊มไม่ว่าจะขนาดกี่แรงม้า จะ หมุนด้วยความเร็วรอบ 1450 rpm

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นปั๊มขนาด 3 gpm จะได้อัตราการไหล} &= \frac{3 * 1450}{1200} \\ &= 3.625 \text{ US gallon / min} \end{aligned}$$

สำหรับปั๊มที่ใช้ขึ้นอาจเป็นปั๊มแบบเวน หรือ แบบเฟือง (Vain pump or Gear pump) ก็ได้ เพราะมีราคาถูกและเหมาะสมสำหรับความดันใช้งานที่กำหนด โดยทั่วไปปั๊มแบบเวนและ แบบเฟืองจะมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรประมาณ 90 % ดังนั้นจึงมีการสูญเสียในปั๊มประมาณ 10 % ทำให้ขนาดของปั๊มที่เลือกไว้ไม่เป็นการสูญเสียมากนัก

ดังนั้นอัตราการไหลของปั๊มขนาด 3 gpm ที่ 1200 rpm เมื่อใช้งานให้หมุนข้อด้วยความเร็ว 71450 rpm และมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตร 90 % จะส่งอัตราการไหลให้กระบอกสูบได้

$$\begin{aligned} &= \frac{3 * 71450 * 0.9}{1200} \\ &= 3.26 \text{ gallon / min} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 7 ทบทวนความเร็วจาก Appendix B ข้อ 7

$$V (\text{in / min}) = \frac{231 * \text{GPM}}{A (\text{in}^2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ได้ความเร็วของก้านสูบตอนเลื่อนออก } V_{out} &= \frac{G_c}{A_c} \\
 &= \frac{231 * 3.26}{3.142} \\
 &= 239.68 \text{ in / min}
 \end{aligned}$$

และความเร็วของก้านสูบตอนเลื่อนเข้า

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= \frac{G_c}{A_{ring}} \\
 &= \frac{231 * 3.26}{2.357} \\
 &= 319.5 \text{ in/min}
 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าความเร็วที่ได้มีค่ามากกว่าที่ต้องการ คือ 11.7 in / min อยู่มาก จึงทำให้จำเป็นต้องนำวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve) มาใช้ ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลของน้ำมันที่เข้ากระบอกสูบให้ได้ความเร็วของก้านสูบตามที่ต้องการได้

ขั้นตอนที่ 8 หาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะใช้ขับเคลื่อนปั๊ม

$$\text{กำลังงานกลที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊ม} = \frac{\text{กำลังงานไฮดรอลิกที่ได้รับจากปั๊ม}}{\text{ประสิทธิภาพของปั๊ม}}$$

$$\text{ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะใช้} = \frac{\text{กำลังงานกลที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊ม}}{\text{ประสิทธิภาพการส่งกำลัง * ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า}}$$

สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่คิดที่ 80 % และถ้า

ประสิทธิภาพการส่งกำลังจะคิดที่ 90 % ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า} &= \frac{Q_p P_p}{\eta_p * \eta_t * \eta_o * \text{const}} \\
 &= \frac{3.26 \text{ gpm} * 1000 \text{ psi} * 0.000583}{0.90 * 0.90 * 0.80} \\
 &= 2.93 \text{ H.P.}
 \end{aligned}$$

เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2.93 H.P. เป็นขนาดที่ไม่มีจำหน่ายทั่ว ๆ ไป จึงควรเลือกระหว่างขนาด 2 H.P. กับ 3 H.P. ในกรณีนี้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดที่เหมาะสม ควรเป็นขนาด 3 H.P.

การหาแรงม้าที่จะใช้ขับเคลื่อนโดยประมาณอย่างรวดเร็วให้ใช้ตารางที่ 3 ใน Appendix C ที่ 3 gpm และความดัน 1000 psi ซึ่งจะใช้ค่าแรงม้าที่จะใช้ขับเคลื่อน 2.06 H.P. ทำให้เราเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 H.P. ได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการหาแรงม้าที่ใช้ขับเคลื่อนโดยวิธีนี้เป็นเพียงการประมาณค่าเท่านั้น อาจจะผิดพลาดได้ จึงควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 H.P. จะดีกว่า

ขั้นตอนที่ 9 ขนาดของถังพัก

จากข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบถังพักกำหนดให้ใช้ถังพักที่มีขนาดเล็กที่สุด ควรมีความจุน้ำมันเป็นแกลลอนได้ 3 เท่าของอัตราที่ปั๊มจ่ายออกมาเป็น gpm ในกรณีนี้ปั๊มจ่ายอัตราการไหล 3.26 gpm ให้แก่วงจร ดังนั้นจะต้องเลือกใช้ถังพักขนาดความจุ $3.26 * 3 = 9.78$ gallon

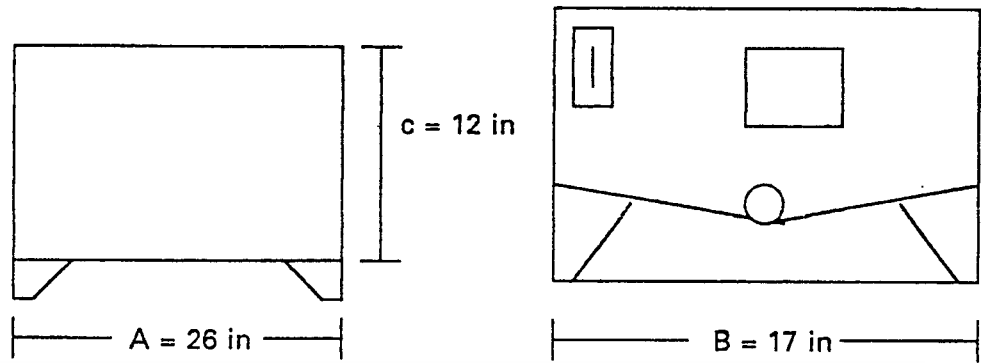
จากรูปรายละเอียดโครงสร้างของถังพักใน Appendix C

ข้อที่ 6 จะเห็นได้ว่าขนาดความจุของถังพักที่เล็กที่สุดเป็น 15 gallon ซึ่งมีขนาดของโครงสร้างดังนี้

$$A = 26 \text{ in}$$

$$B = 17 \text{ in}$$

$$C = 18 \text{ in}$$



รูปที่ 3 - 3 แสดงขนาดของส่วนต่าง ๆ ของถังน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 10 เลือกขนาดวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Directional Control Valve)

ขนาดของรูปร่างควบคุมทิศทางในการทำงานนี้จะต้องเพียงพอสำหรับอัตราการไหลที่ไหลออกจากกระบอกสูบทางด้านหัวลูกสูบในขณะที่ลูกสูบถอยกลับ เพราะน้ำมันจะถูกดันออกมา มากกว่าอัตราที่ปั๊มจ่าย ซึ่งจะคำนวณได้ดังนี้

อัตราการไหลที่ออกจากลูกสูบทางด้านหัวลูกสูบขณะลูกสูบถอยหลัง

$$\begin{aligned}
 &= \text{พื้นที่ลูกสูบ} * \text{ความเร็วถอยหลัง} \\
 &= 3.142 \text{ in}^2 * 319.5 \text{ in/min} * 1 \text{ gallon} / 231 \text{ in}^3 \\
 &= 4.345 \text{ US gallon} / \text{min}
 \end{aligned}$$

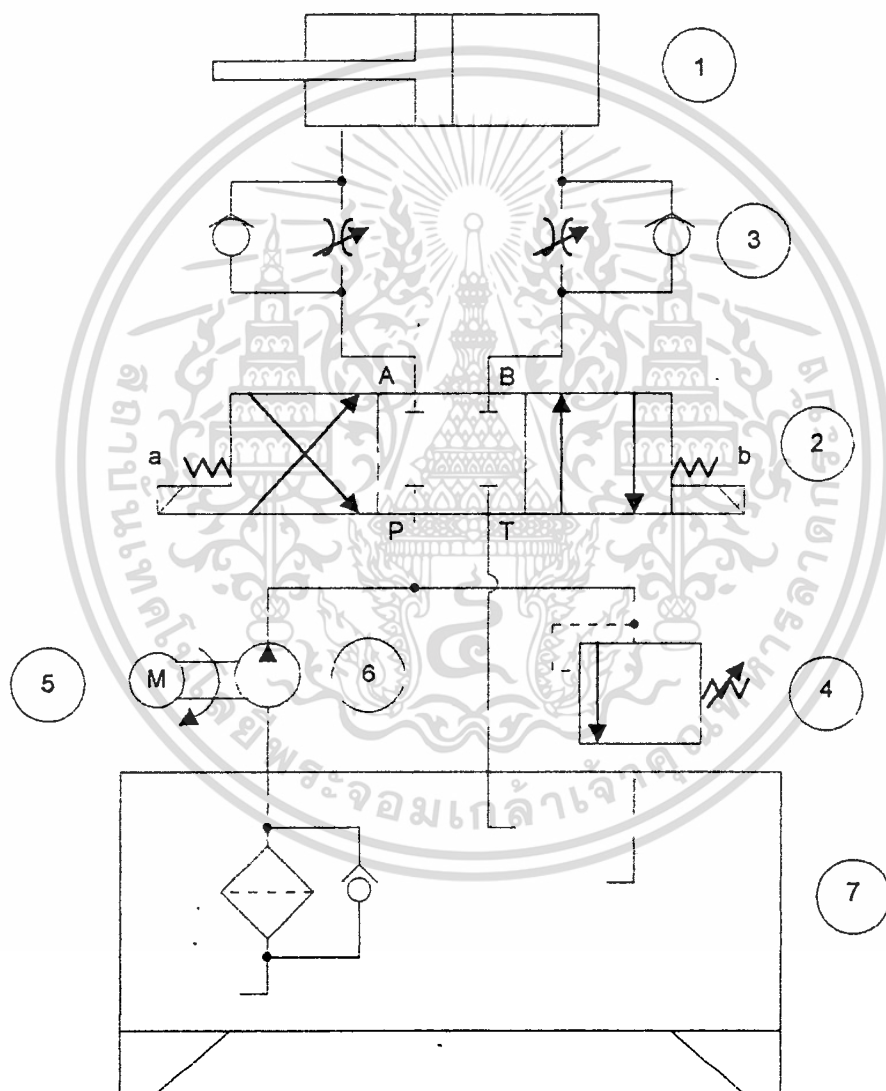
จากข้อที่ 4 ใน Appendix C จะได้ว่ารูวาล์วขนาด 1/4 in และ 3/8 in เหมาะกับอัตราการไหล 8 gpm ดังนั้นจึงเลือกใช้วาล์วควบคุมทิศทางการไหลที่มีขนาดรูวาล์ว 1/4 in หรืออาจเปิดหาจากแคตตาล็อกของบริษัท

ขั้นตอนที่ 11 เลือกขนาดวาล์วปลดความดัน

เนื่องจากไฮดรอลิกที่ต่อจากปั๊มไปยังวาล์วควบคุมทิศทาง จะต่อรวมอยู่ด้วยกันกับวาล์วปลดความดันด้วย ดังนั้นจึงควรใช้รูวาล์วสำหรับวาล์วปลดความดันขนาดเท่ากับรูวาล์วของวาล์วควบคุมทิศทาง คือ 1/4 in

ในการทำงานนี้วาล์วปลดความดันที่ใช้ควรจะมีการตั้งค่าความดันที่วาล์วไว้สูงกว่าค่าความดันที่จำเป็นในการใช้งานประมาณ 10 - 20 %

ขั้นตอนที่ 12 เขียนรูปวงจรอย่างละเอียด และกำหนดขนาดต่าง ๆ ของอุปกรณ์ลงในวงจรรูป 3-1 ได้ดังรูปที่ 3-4 ดังนี้



รูปที่ 3-4 แสดงวงจรควบคุมการทำงานส่วนไฮดรอลิกอย่างละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของอุปกรณ์ในรูป แสดงได้ดังนี้

1. ระบายออกสูบน้ำทิ้งทำงานสองทางก้านสูบเดียว
 - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 2 in
 - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 1 in
2. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve) แบบ 4 ทาง 3 ตำแหน่ง
บังคับการทำงานด้วย Solenoid Dc 24 volt ตำแหน่งกลางปิดหมด และกลับสู่ตำแหน่งกลางด้วยสปริง
 - ขนาดของรูวาล์ว 1/4 in
 - ความดันใช้งาน
 - อัตราการไหล
3. วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบมีวาล์วกั้นกลับในตัว (Flow Control and Check Valve) สามารถหมุนปรับอัตราการไหลได้ 4 รอบ ในช่วง 0.65 - 21 ลิตรต่อนาที การปรับทำได้โดยการหมุนปุ่มปรับอัตราการไหลจาก 0 คือตำแหน่งวาล์วปิดสนิทไปจนถึง 4 คือตำแหน่งวาล์วเปิดหมด อัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับความดันแตกต่างระหว่างความดันก่อนทางเข้าวาล์วและความดันที่ทางออกของวาล์วถ้าความดันแตกต่างมีค่ามาก ปริมาณการไหลที่ผ่านวาล์วก็จะมีค่ามากด้วย
4. วาล์วปลดความดันแบบไพลอต (Pilot Pressure Relief Valve) ซึ่งมีช่วงความดันใช้งาน 0 - 3000 psi
5. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)
 - ขนาด 3 H.P. ,1450 rpm
 - ข้อต่อระหว่างเพลลาขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากับปั๊มใช้ชนิดที่ยึดหยุ่นได้
6. ปั๊มไฮดรอลิค (Hydraulic Pump)
 - ปั๊มแบบเวนมี้อัตราการไหล 3 US gpm ความเร็วรอบ 1200 rpm ความดันสูงสุด 3000 psi
7. ถังพักน้ำมัน (Hydraulic Tank)
 - ขนาดความจุ 15 แกลลอน กว้าง * ยาว * สูง = 17 in * 26 in * 18 in
8. สายน้ำมันไฮดรอลิค SAE 100 - R2A ID 1/4 in W/P 5000 psi B/P 20000 คือสายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1/4 นิ้ว และความดันใช้งาน 5000 psi ความดันใช้งานสูงสุดที่สายจะระเบิด 20000 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ เนื่องจากอุปกรณ์หลาย ๆ อย่างที่ใช้ในวงจรนี้ ได้ประยุกต์ใช้จากงาน Project เดิม และจากอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในภาควิชาทำให้ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้จริงกับขนาดอุปกรณ์ทำคำนวณได้มีค่าต่างกันไปบ้าง ได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้า

- ขนาด 2 H.P. , 1415 rpm

2. ปั๊มไฮดรอลิก

- ปั๊มแบบเวนอัตรการไหล 23 ลิตรต่อนาที (5.98 US gpm) ที่มีความเร็ว

รอบ, 1415 rpm

3. วาล์วปลดความดันแบบไหลอด

- ช่วงความดันใช้งาน min 35 kg/cm^2 - max 140 kg/cm^2

ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 3 อย่างข้างต้นจะติดตั้งรวมอยู่กับถังพักน้ำมัน รวมกันเป็นชุด Power Unit ยี่ห้อ Vickers ของบริษัท THAI AGENCY ENGINEERING ที่ทางภาควิชามีอยู่แล้ว

4. ระบายกลับใช้ขนาด 1.5 in เพราะทางภาควิชามีอยู่แล้ว และระบายกลับขนาดนี้สามารถทำงานในช่วงความดันที่ต้องการได้

บทที่ 4**ระบบ Control**

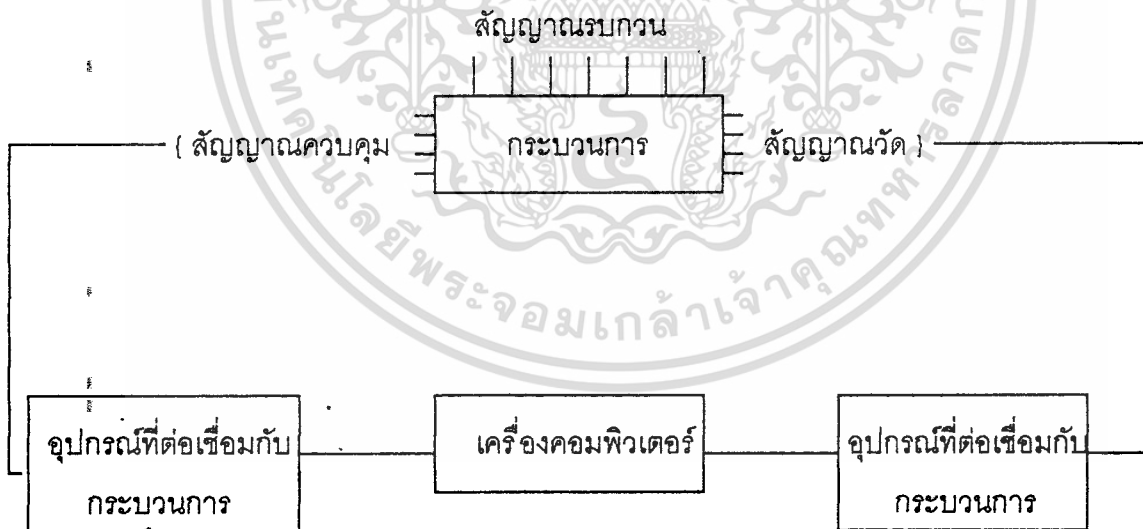
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่จะกล่าวถึงต่อไปเป็นแนวความคิดและทฤษฎีในการที่จะควบคุมระบบ CVT ให้ทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แนวความคิดในการ Control

ปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีทางด้าน Computer มีความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องมาจากผลการควบคุมมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น และผลที่ได้จะแม่นยำมากขึ้น เมื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ควบคุมทำให้ผู้ใช้พบว่ามีข้อจำกัด ทำให้สร้างวงจรควบคุมที่ซับซ้อนได้มากขึ้น แต่ง่ายลง

การควบคุมในงานของเรานี้จะใช้การควบคุมแบบดิจิทัลโดยตรง (DDC หรือ Direct Digital Control) เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่รับคำสั่งสัญญาณวัดจากเครื่องวัดนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมายการควบคุมและคำนวณคำสั่งสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมเพื่อปรับสภาพกระบวนการจากสภาพที่เป็นอยู่ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และส่งคำสั่งสัญญาณดังกล่าวไปยังอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย รูปต่อไปนี้จะแสดงโครงสร้างทั่วไปของการควบคุมกระบวนการที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมแบบดิจิทัลโดยตรง



รูปที่ 4 - 1 แสดงโครงสร้างทั่วไปของการควบคุมกระบวนการ

จากระบบที่ควบคุมข้างต้นต้องการอุปกรณ์เพิ่มเติม คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อกับกระบวนการ เพื่อรับค่า วัดค่ากระบวนการ และส่งสัญญาณควบคุมไปยังกระบวนการ และ อุปกรณ์ ติดต่อกับผู้ใช้หรือพนักงานควบคุม เพื่อรับข้อมูลและความต้องการของผู้ใช้ และแจ้งผลการควบคุมให้ผู้ใช้ทราบ

ซึ่งในชุด CVT จะใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุม

2. Block Diagram ของระบบ

- Block Diagram ของ Controller (Z - 80)

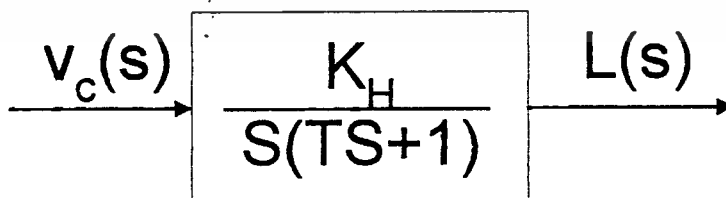


เมื่อ V_p = สัญญาณจาก Node รวม

V_c = สัญญาณจาก Controller

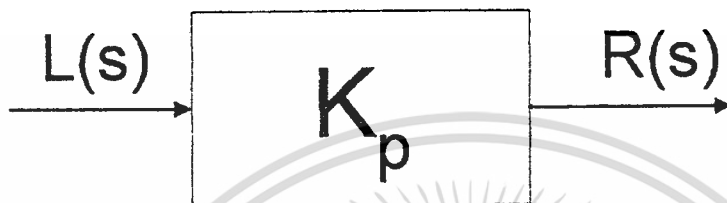
K_c = ค่าเกนของ Controller

- Block Diagram ของ Valve และ กระทบกลูบ Hydraulics



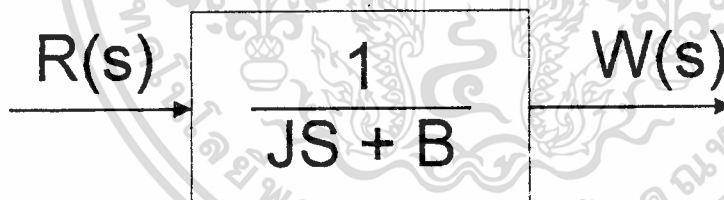
- เมื่อ K_H = ค่า gain ของระบบไฮดรอลิก
 τ = ค่า time constant
 L = ระยะเวลาของกระบอกสูบ

- Block diagram ของงาน Pulley



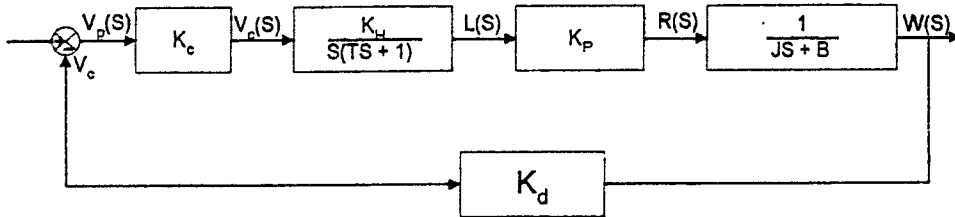
- เมื่อ K_p = ค่า gain ของงาน Pulley = $1/\tan \theta$
 R = การเปลี่ยนของรัศมี

- Block Diagram ของชุดล้อสายพาน



- เมื่อ J = Moment of Inertia
 B = Viscous Friction
 W = ความเร็วรอบของงาน Pulley ที่งาน Output

- Block Diagram รวมของระบบ



$$G(s) = \frac{K_c K_H K_P}{S(\tau S + 1)(JS + B)}$$

$$; K_1^2 = K_c K_H K_P$$

$$G(s) = \frac{K_1 / \tau}{S^3 + (B + J/\tau)S^2 + (B/\tau)S}$$

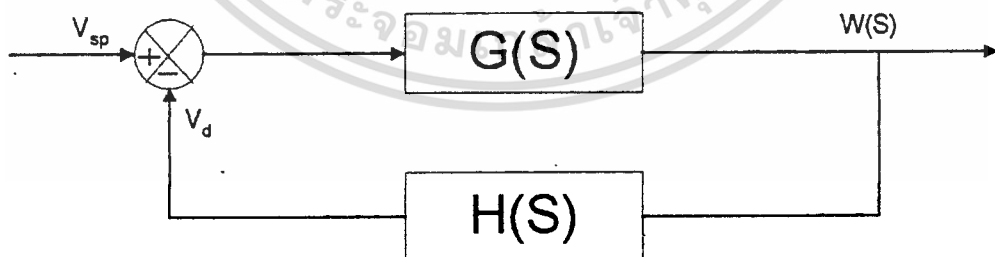
$$; K_2 = K_1 / \tau$$

$$a = B + J/\tau$$

$$b = B/\tau$$

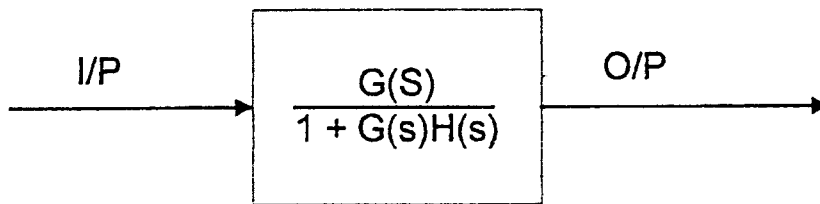
$$G(s) = \frac{K_2}{S(S^2 + aS + b)}$$

$$; H(s) = K_d$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีการยุบ Block จะได้ Block Diagram ของระบบดังนี้

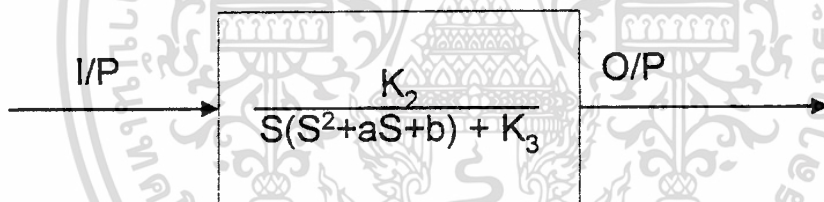


$$\therefore \text{Transfer function} = \frac{K_2}{S(S^2 + aS + b) + K_2 K_d}$$

$$: K_3 = K_2 K_d$$

$$\therefore \text{Transfer function} = \frac{K_2}{S(S^2 + aS + b) + K_3}$$

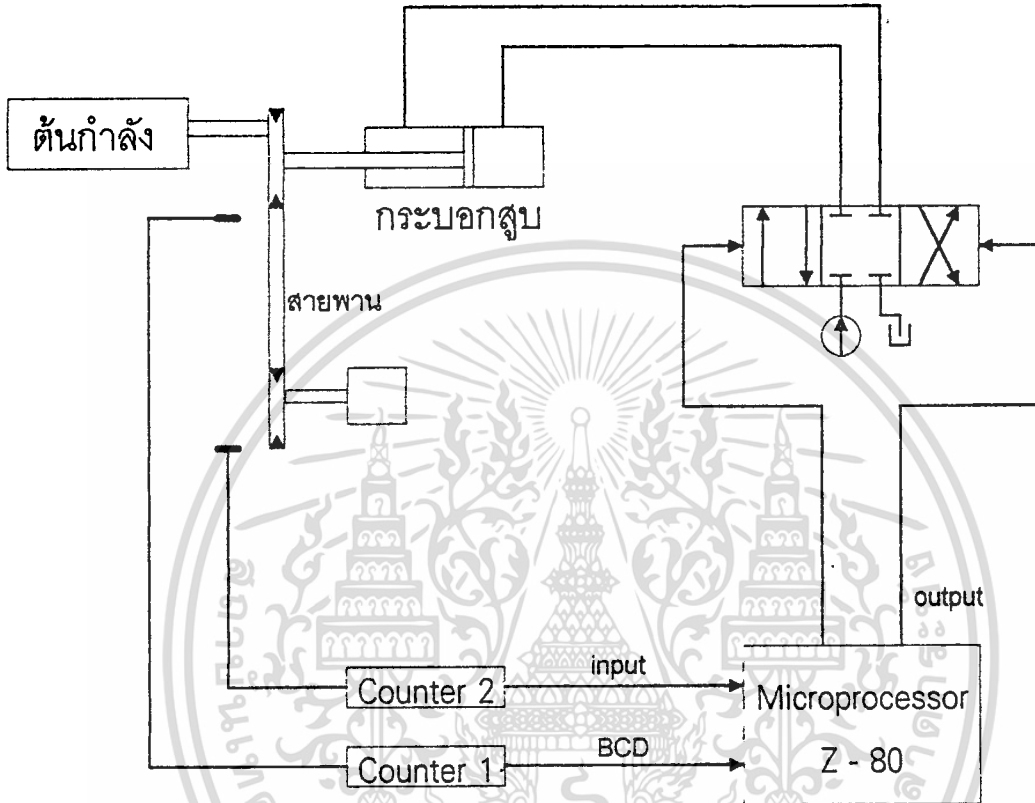
แสดงได้ในรูป Block diagram ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเลือกใช้อุปกรณ์ และการทำงานของชุดควบคุม

ก่อนอื่นพิจารณาระบบต่อไปนี้



รูปที่ 4 - 2 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรควบคุมทางไฟฟ้า

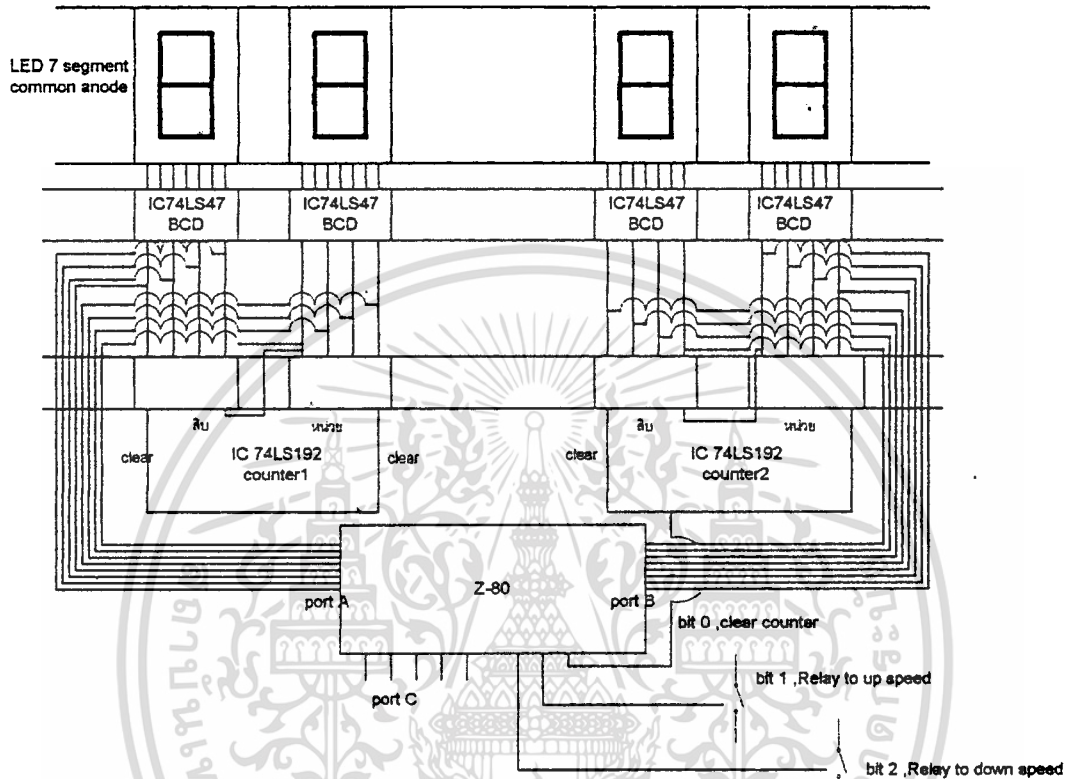
ในวงจรควบคุมจะแบ่งเป็นส่วน ๆ ดังนี้

1. ส่วนวัดความเร็วรอบและนับ (Counter)

ส่วนวัดความเร็วรอบในที่นี้จะใช้ Proximity Switch โดย Proximity Switch จะส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ออกมาตลอดเวลา ถ้าโลหะที่เคลื่อนที่ตัดผ่านจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ จะทำให้ Proximity Switch ส่งสัญญาณออกมาผ่านเข้า Counter

2. Microprocessor

Microprocessor ที่ใช้ Z-80 เนื่องจากมีราคาไม่แพงจนเกินไป ชุดคำสั่งและการทำงานเข้าใจได้ง่าย รวมทั้งนิยมใช้ทั่วไปอย่างกว้างขวาง



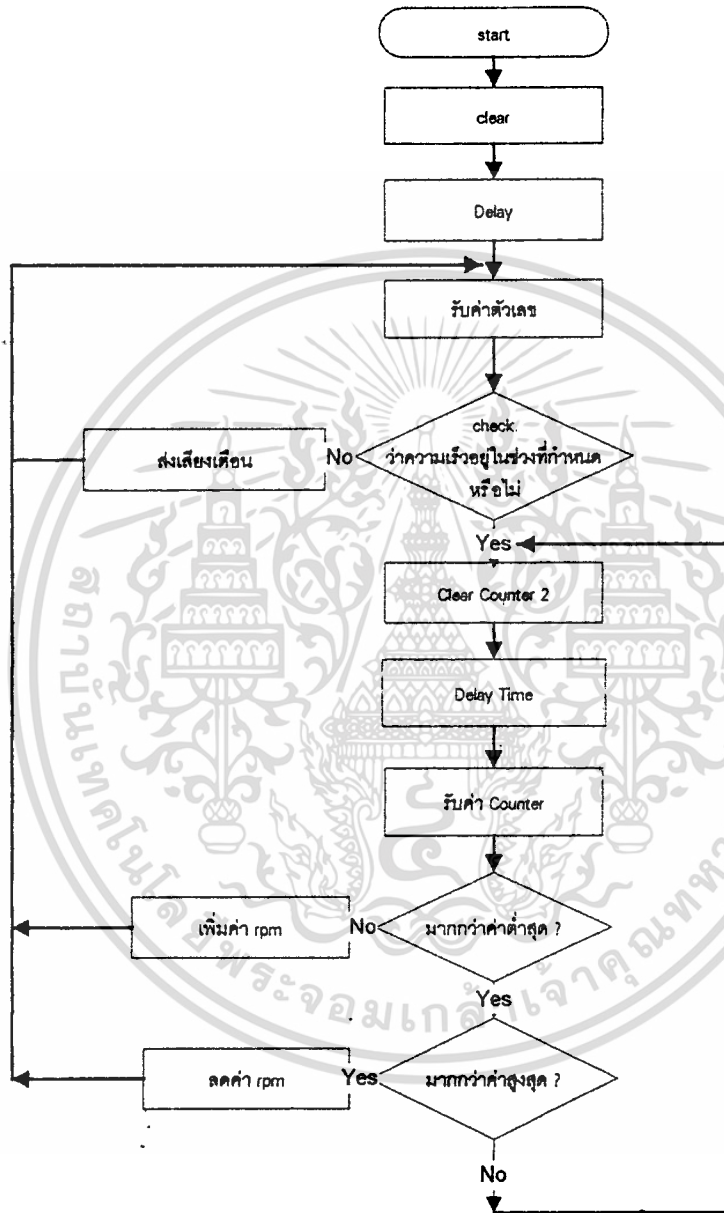
รูปที่ 4 - 3 แสดงวงจร Counter ของชุดควบคุม

การทำงานของชุดควบคุมสามารถแบ่งได้เป็นลำดับดังต่อไปนี้

1. Proximity Switch จะทำการตรวจจับความเร็วรอบของเพลาแล้วส่งสัญญาณเข้าสู่ วงจร Counter
2. จากช่วงเวลาที่ตั้งไว้จะทำให้วงจร Counter สามารถโดยวงจร Counter จะมี สัญญาณเป็น BCD ส่งเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์
3. สัญญาณเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์แล้วทำการประมวลผลส่งสัญญาณไปเปิด - ปิด วาล์วให้ทำงานเลื่อนกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กระบอกสูบไฮดรอลิคเลื่อนดัน Pulley ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นหรือลดลง
 5. ตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบอีกครั้ง แล้วเข้า Loop เดิม
- ซึ่งรายละเอียดข้างต้นสามารถแสดงได้ดัง Flowchart ต่อไปนี้



รูปที่ 4 - 4 แสดง Flowchart การทำงานของวงจรควบคุมทางไฟฟ้า

ผลจากการsimulate

1. จาก Transfer function ของระบบ

$$= K_2/s(s^2+as+b)+K_3$$

ทำการ simulate เพื่อหาค่าตัวประกอบต่าง ๆ เพื่อให้ได้ Transfer Function ที่เหมาะสมจะ
ได้รูปกราฟดังต่อไปนี้

1. กราฟที่สมมติค่าทั้งหมด ครั้งแรก
2. กราฟที่สมมติครั้งที่ 2 กำหนด $K_3 = 0$
3. ทำการเปลี่ยนค่า K_2 เป็น 20,25,30,35
4. ทำการเปลี่ยนค่า a เป็น 2, 5,10,15
5. ทำการเปลี่ยนค่า b เป็น 5, 7,10,15
6. ทำการเปลี่ยนค่า K_3 เป็น 50,75,100,150
7. สมมติค่า K ของระบบ gain เป็น 10,20,30

พิจารณากราฟที่เหมาะสมที่สุดได้ Transfer Function

$$= 25/s(s^2+5s+7)+75$$

จะเกิด rise time ต่ำสุดมีเสถียรภาพเร็วที่สุด

2. จากผลที่ได้ ทำให้สามารถหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบจาก Block Diagram ได้

ตัวแปรที่ทราบค่า $J = 3.835 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

$$K_p = 1/\tan\theta$$

$$K_c = 1000$$

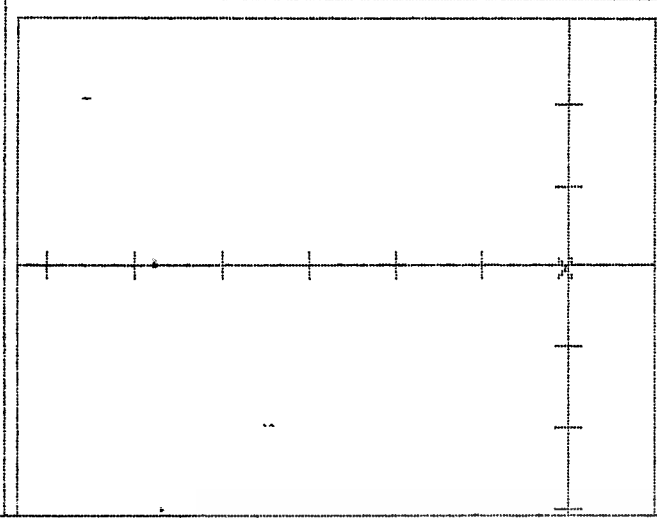
$$K_d = 3$$

ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า τ , B และ K_H

$$\text{จะได้ } \tau = 0.714$$

$$B = 4.998$$

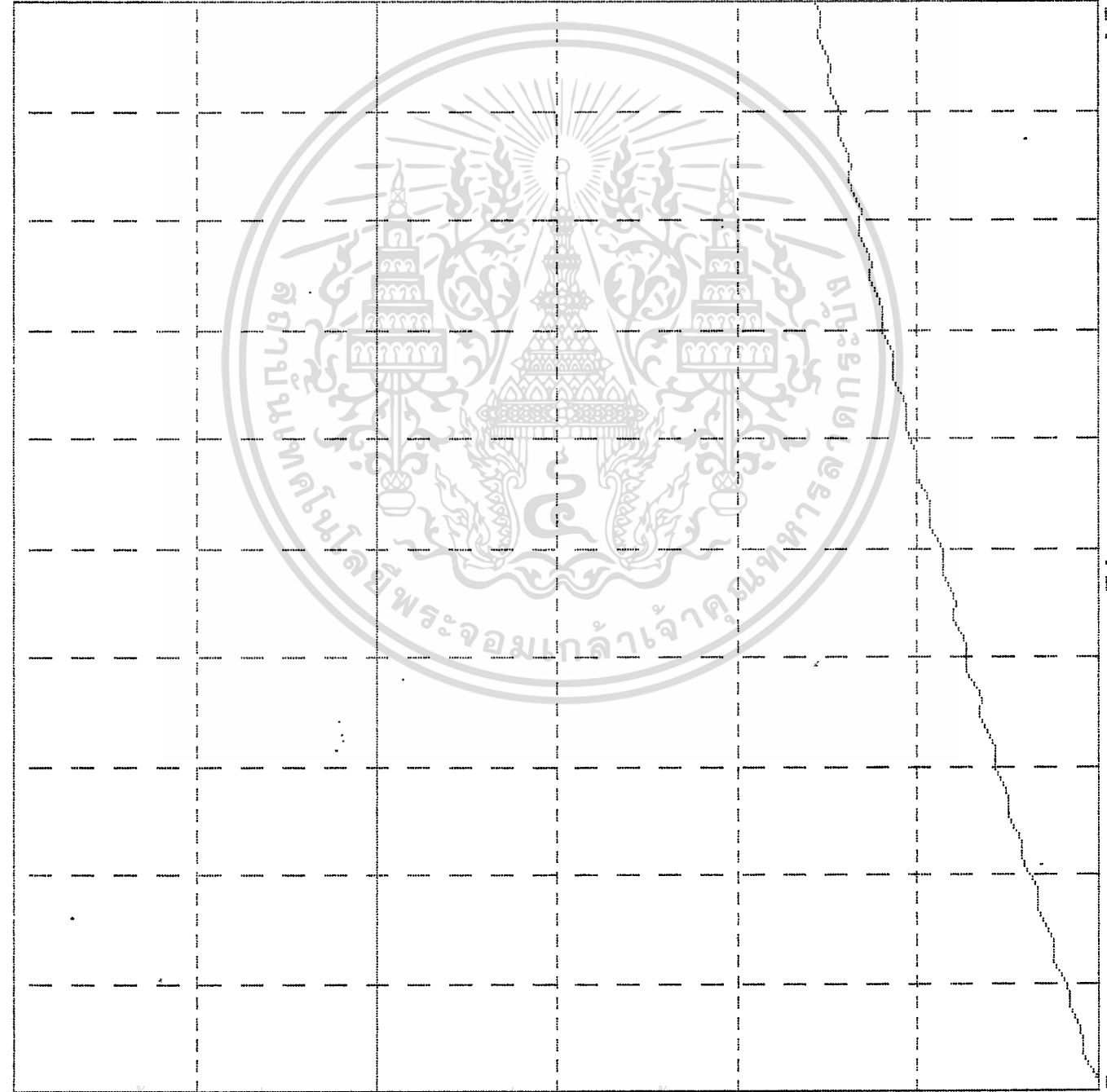
$$K_H = 3.799$$



Re(s)

TIME DOMAIN

- Closed-loop
- Plant alone
- Step input
- Linear control



10

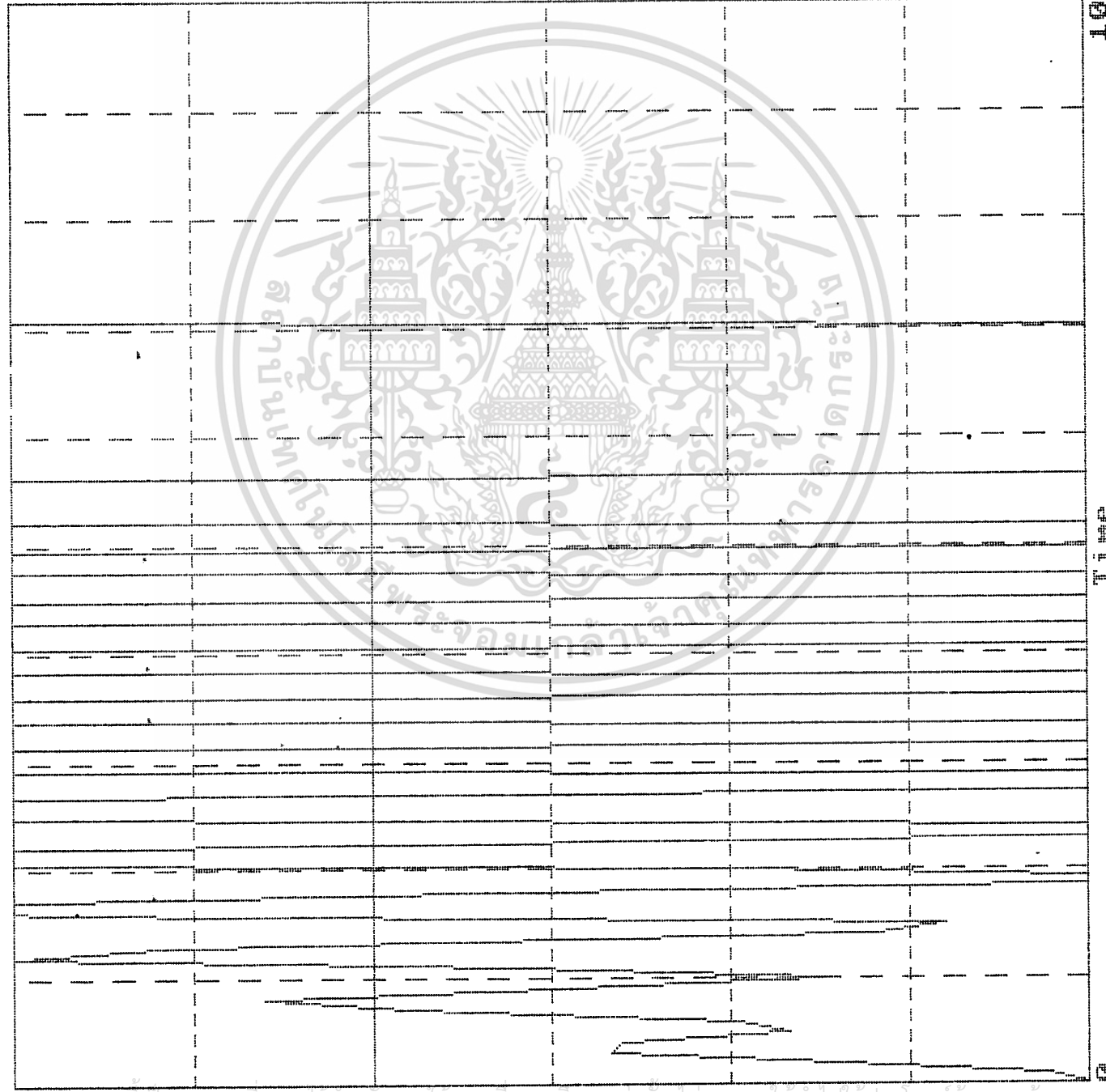
Time

0

1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

input



Re(s)

TIME DOMAIN

- Closed-loop
- Plant alone
- Step input
- Linear control

10

TIME

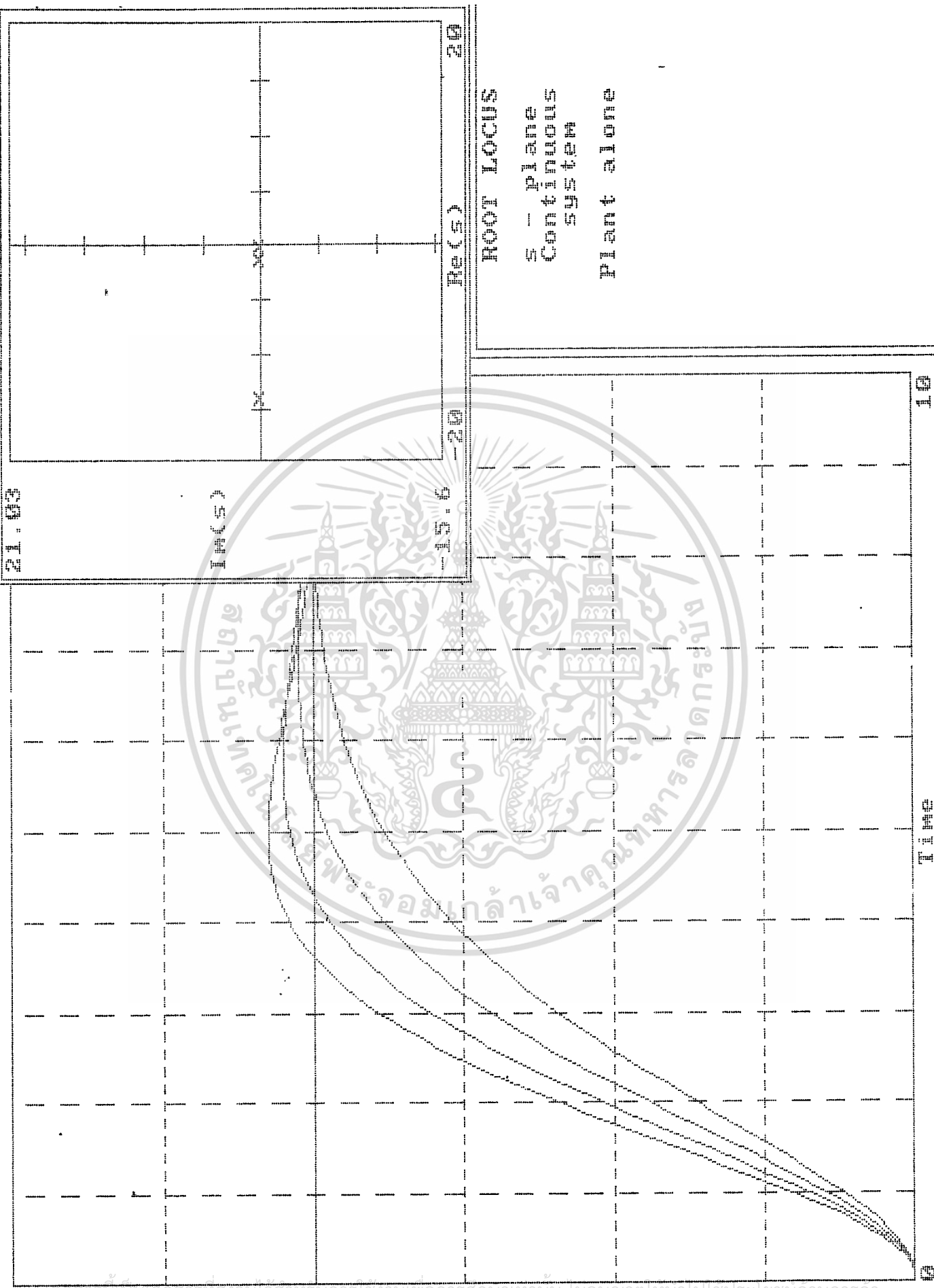
0

1.5

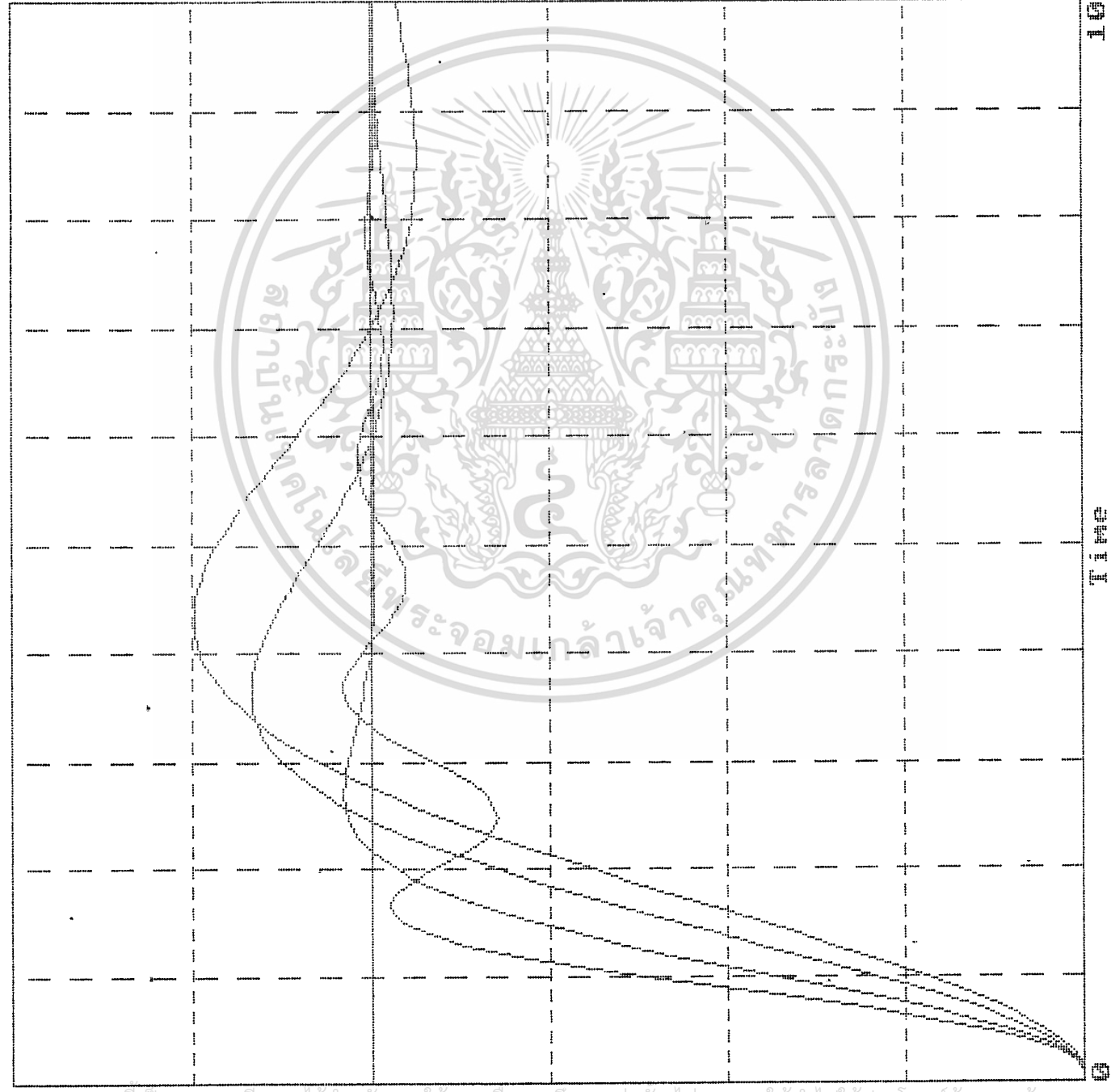
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

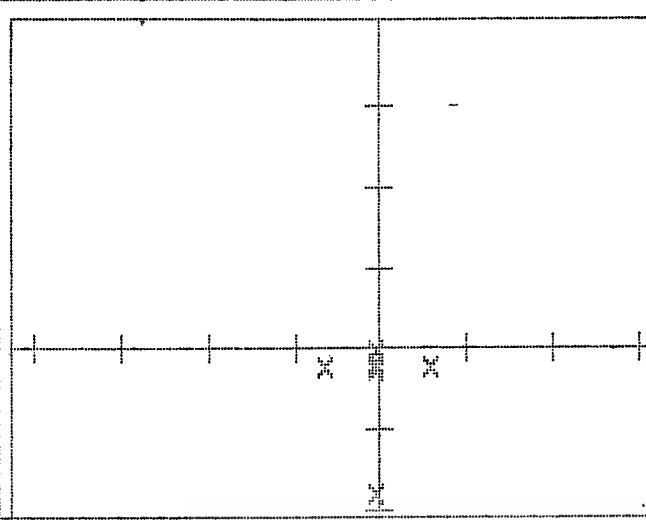
output



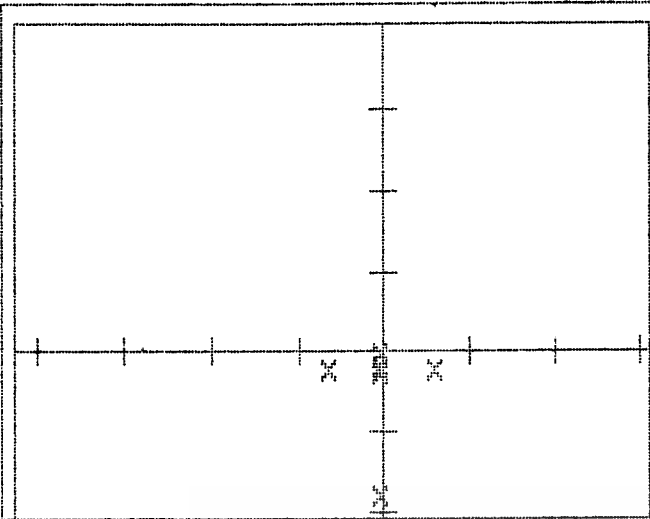
1.5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



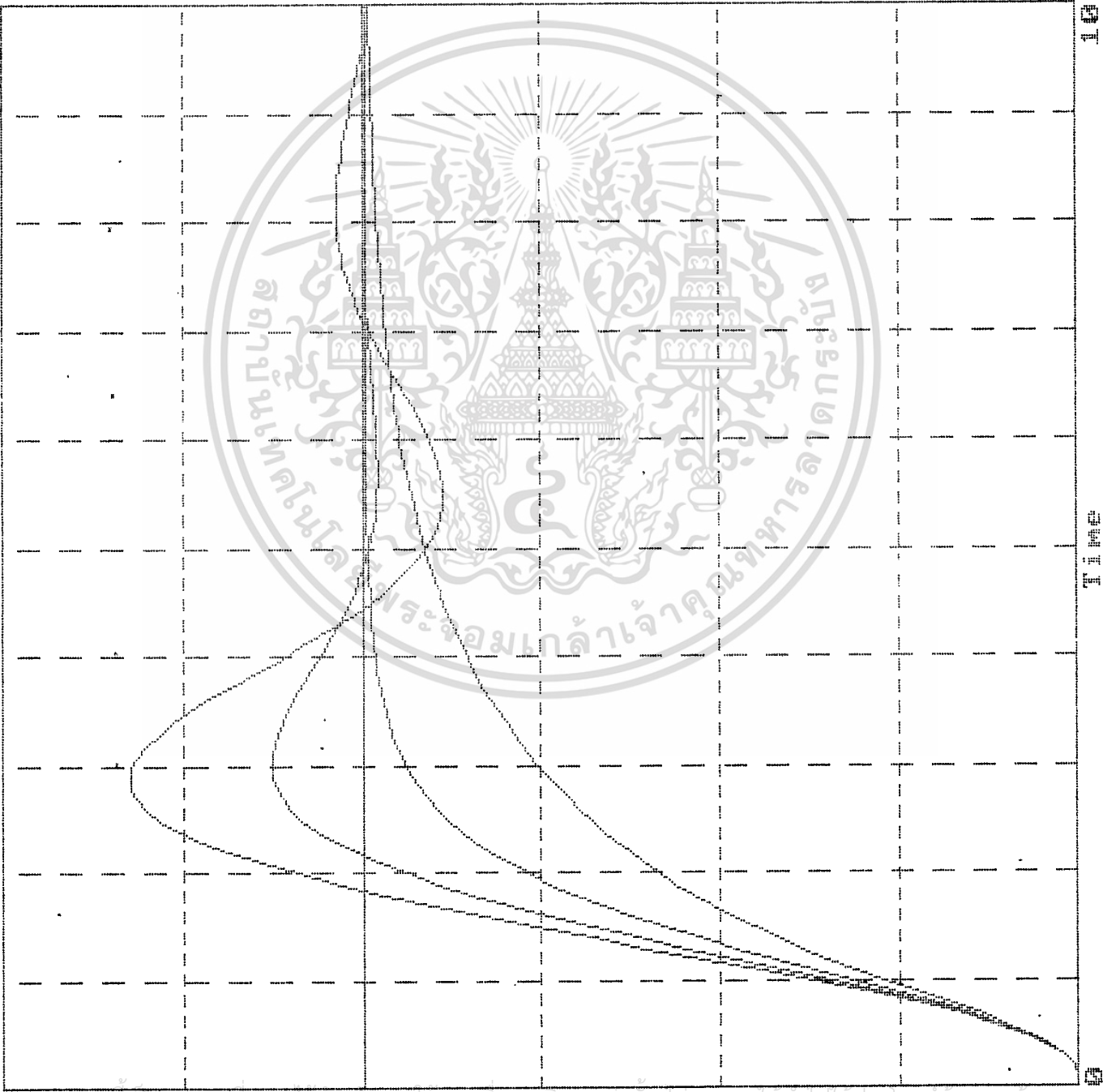
Re(s) 20
 TIME DOMAIN
 Closed-loop
 Plant alone
 Step input
 Linear control



Re(s) 20

TIME DOMAIN

Closed-loop
 Plant alone
 Step input
 Linear control



1.5

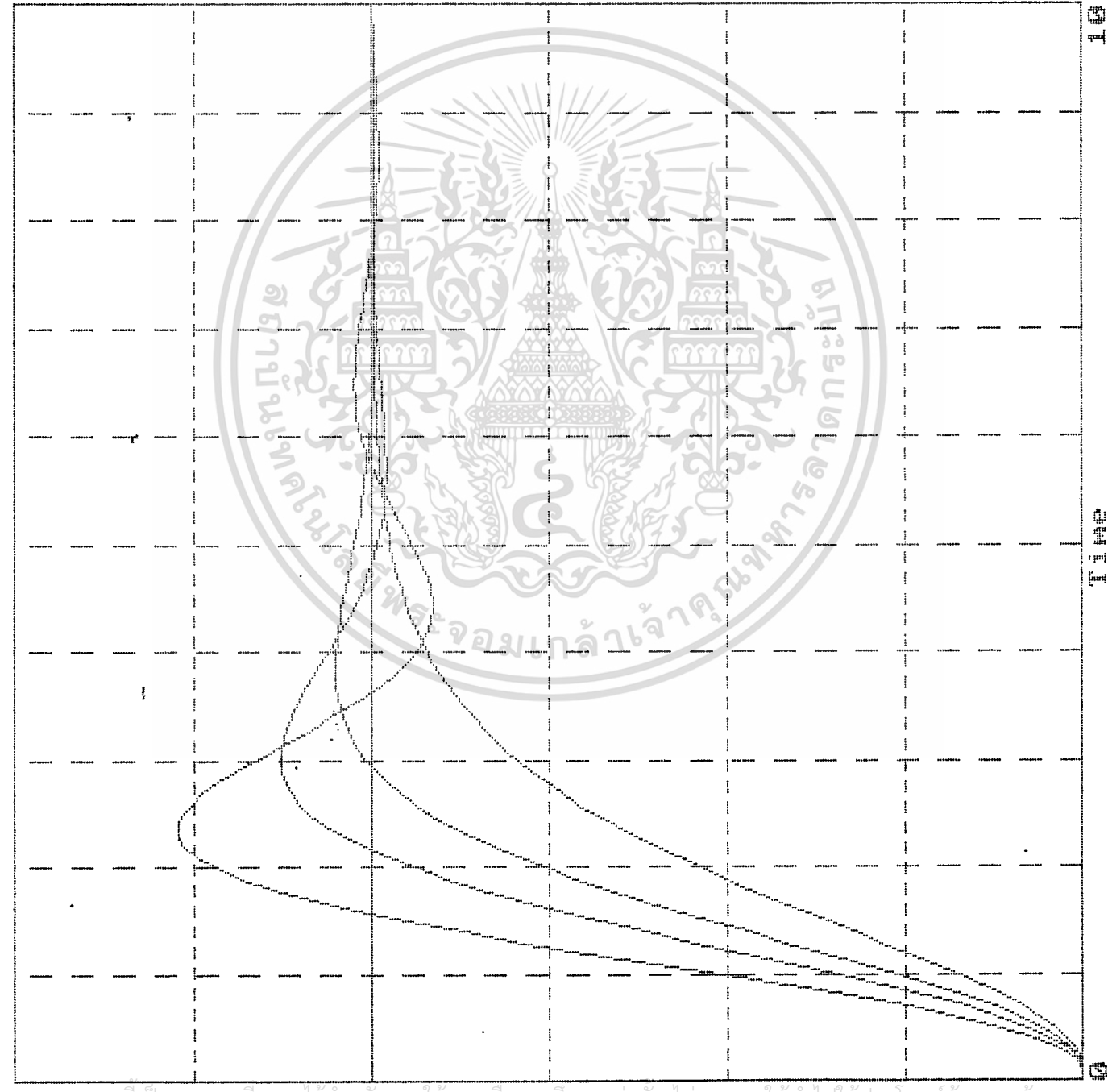
เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนเวลาหรบการเซงานเพอการศึกษาเท่านั้น เอนุญาตเนาไปเซประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

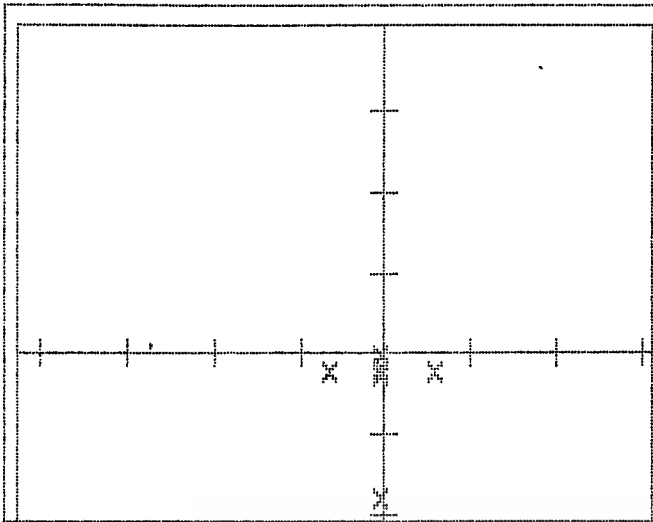
Output

0

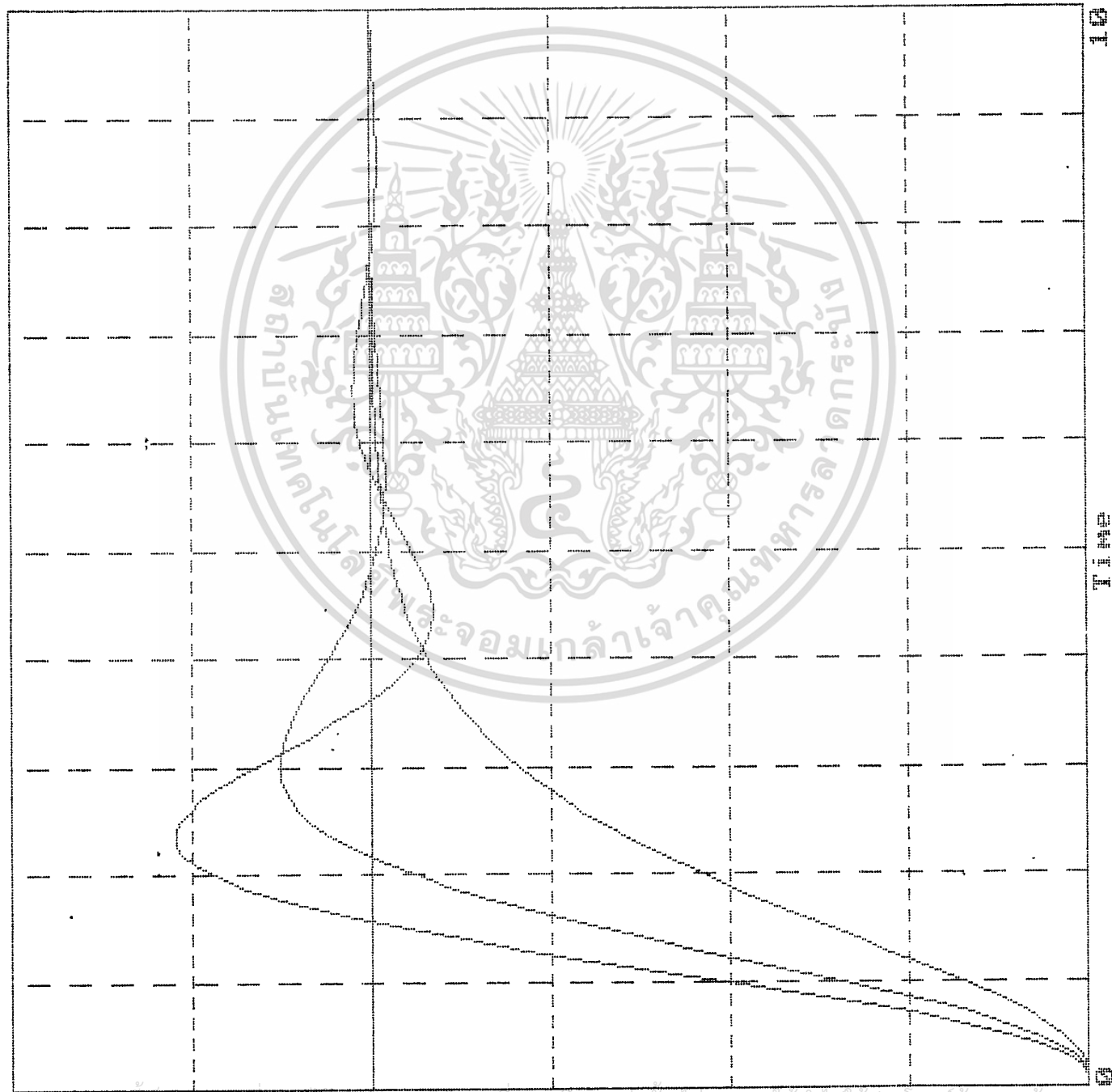
0



1.5
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Re(s) 20
 IME DOMAIN
 Closed-loop
 Plant alone
 Step input
 Linear control



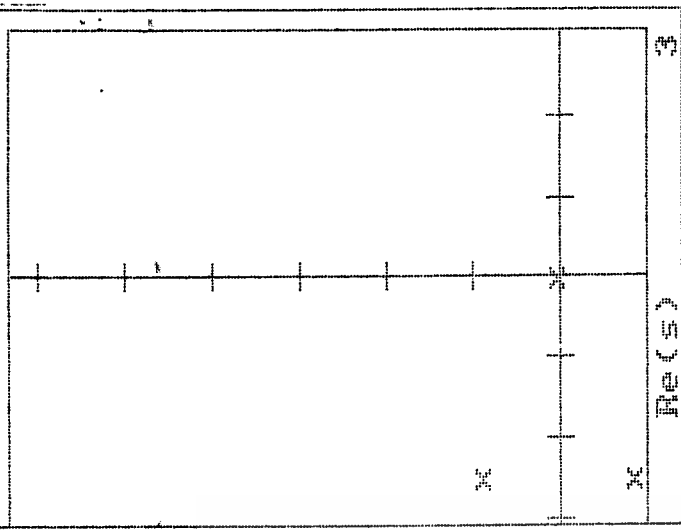
1.5

Output

0

Time

10



Re(s)

3

TIME DOMAIN

- Closed-loop
- Plant output
- Step input
- Linear control

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนเวลาหรบการเซงานเพอการศึกษาเท่านั้น เมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดจทั้งสิ้น อีกรทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา output ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลจากการsimulate

1. จากกราฟพบว่า เวลาที่ใช้ในการทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรนั้น มีค่าประมาณ 7 วินาที
2. ค่าตัวเลขต่างที่หาได้นั้น มาจากการสมมติซึ่งจะทำให้เกิดผลดีต่อระบบ ดังนั้นเราจึงควรพยายามปรับระบบจริงให้ได้ค่าต่างตามที่หาได้
3. ระบบที่มีดีควรเป็นระบบที่เข้าสู่เสถียรได้เร็ว, มีovershooting เล็กน้อยไม่มีค่า offset ซึ่งสามารถแสดงได้ดังระบบที่เลือกไว้



บทที่ 5**ผลการทดลองและการวิเคราะห์**

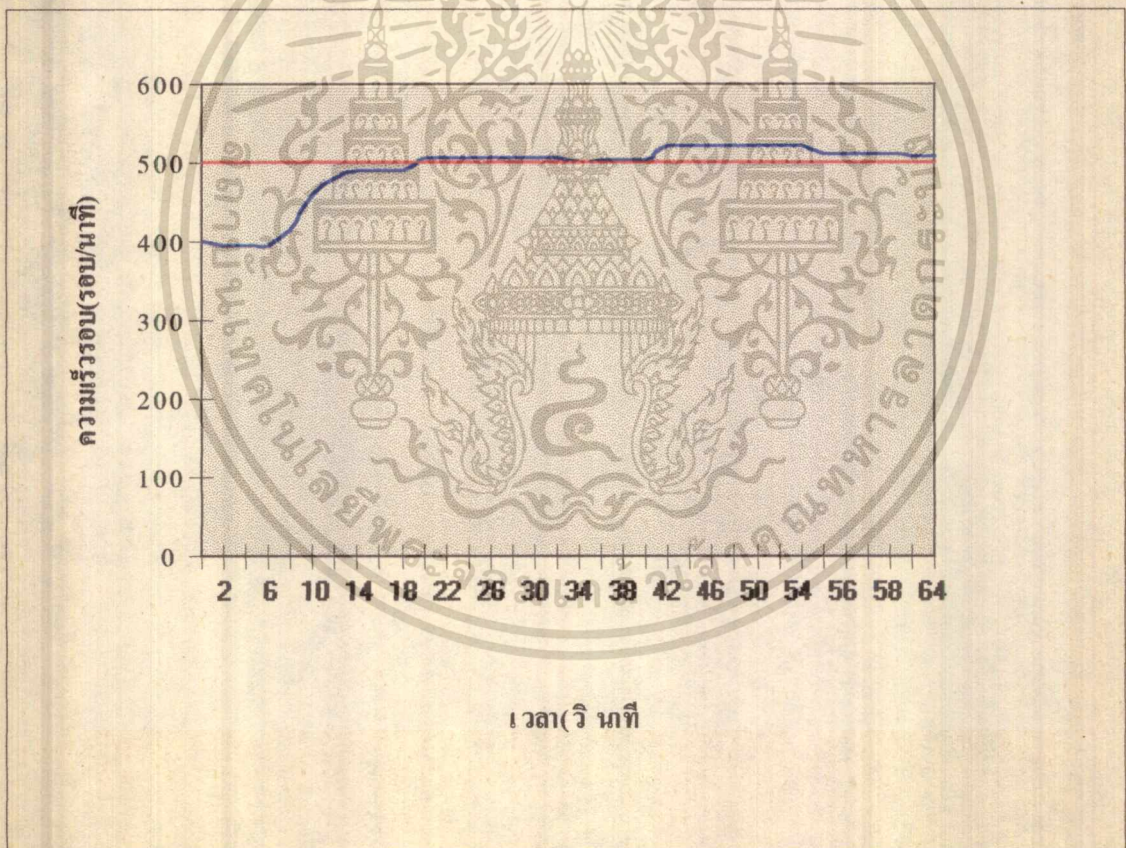
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

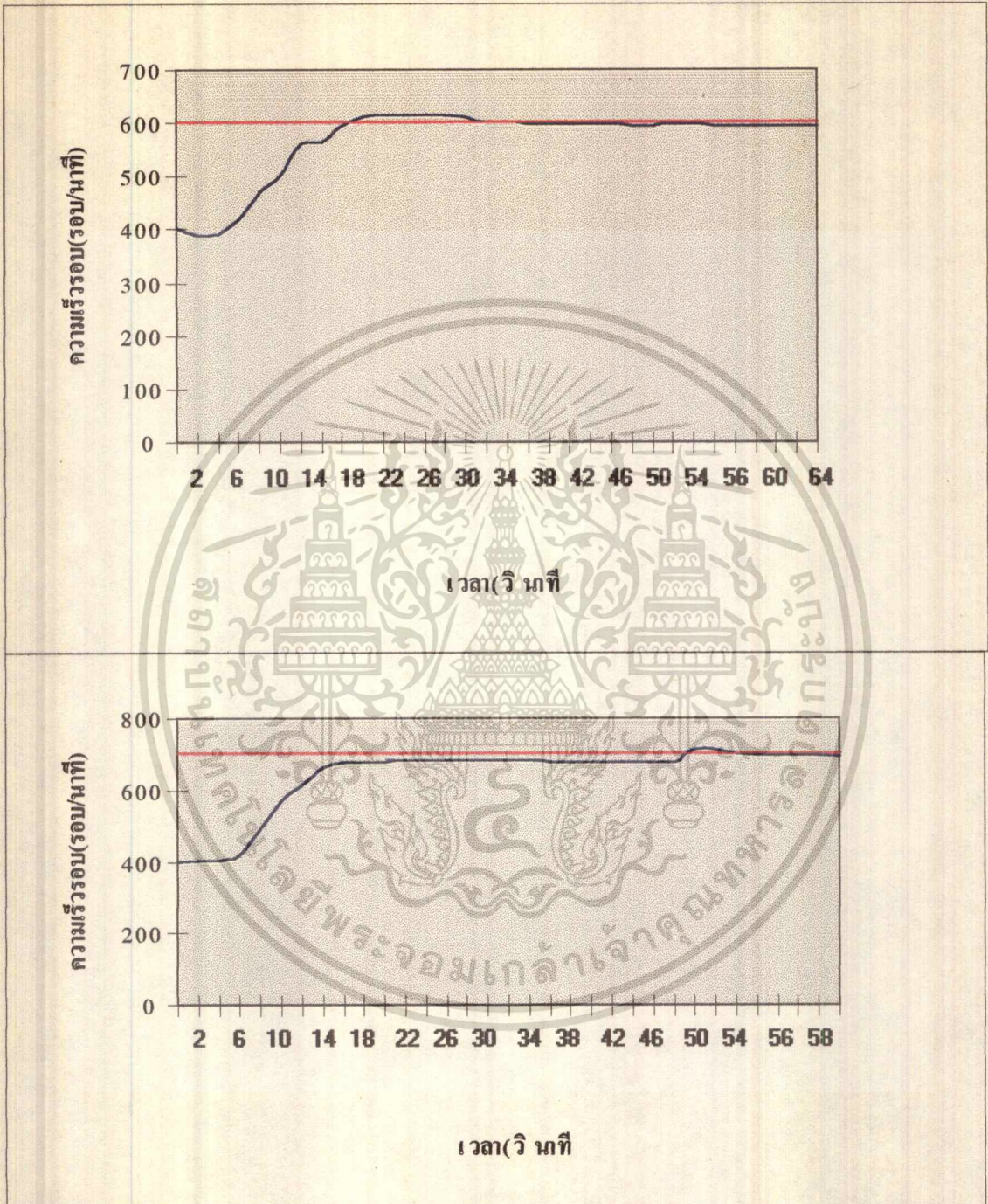
การทดลองการทำงานของชุดอุปกรณ์จะทดสอบที่ค่าความเร็วรอบ input 2 ค่าและได้ช่วงค่าความเร็วรอบ output ออกมา 2 ชุดซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ความเร็วรอบ input 740 รอบต่อนาที ความเร็วรอบ output (min - max) 400 - 1100 รอบต่อนาที
2. ความเร็วรอบ input 1190 รอบต่อนาที ความเร็วรอบ output (min - max) 700 - 1500 รอบต่อนาที

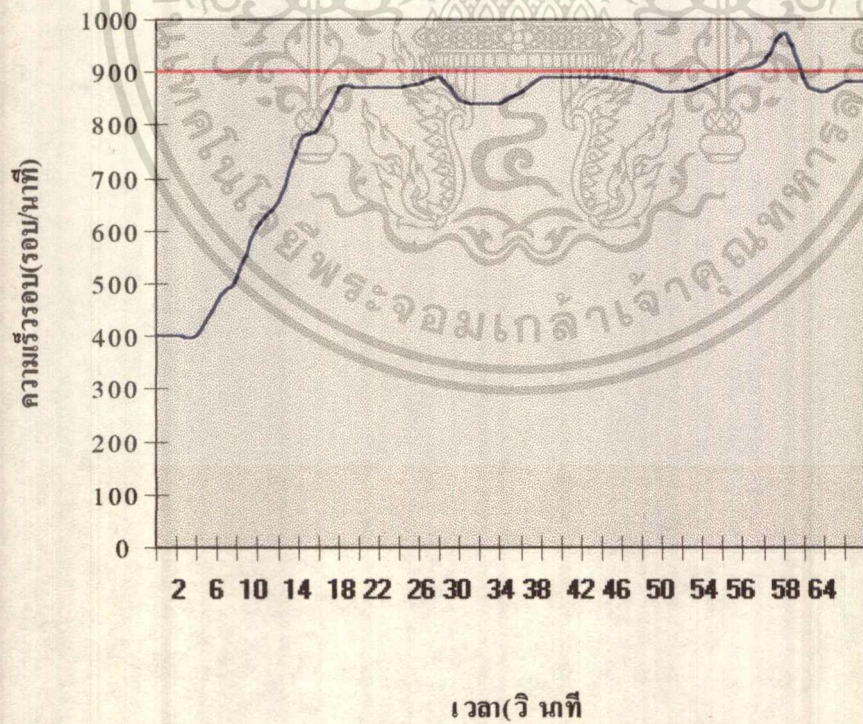
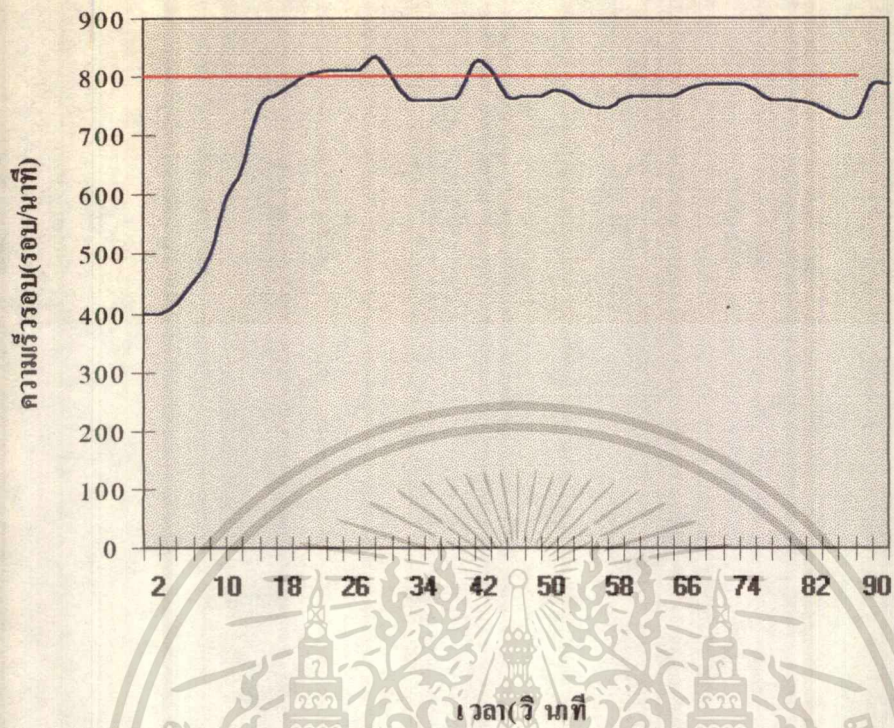
การนำเสนอข้อมูลผลการทดลองสามารถแสดงได้โดยรูปภาพต่อไปนี้

กราฟแสดงผลการทดลอง

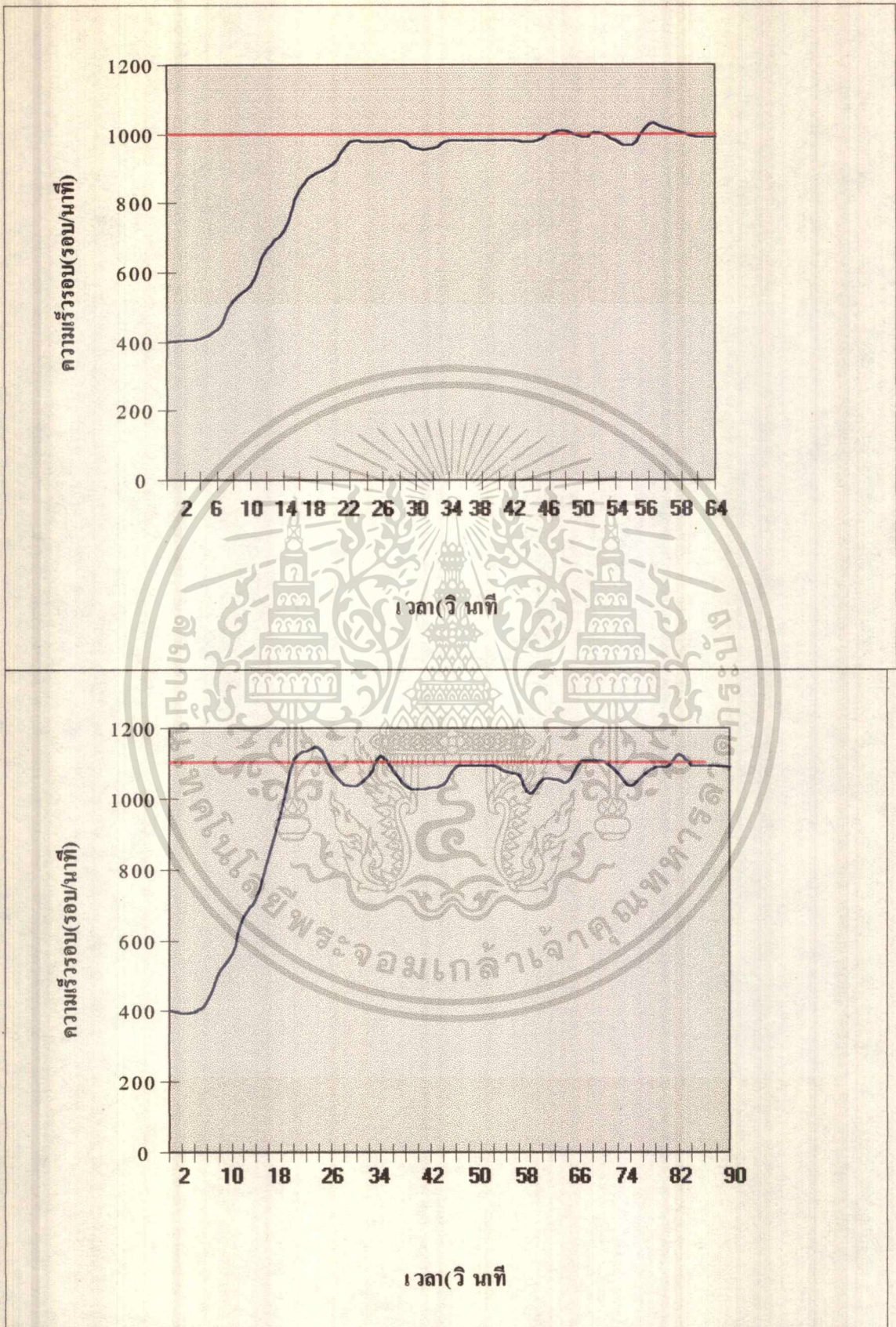




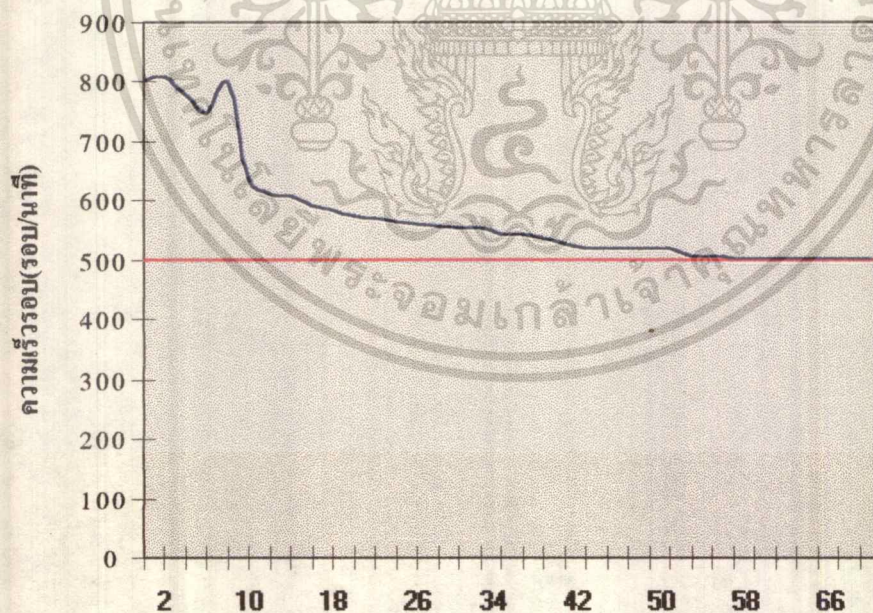
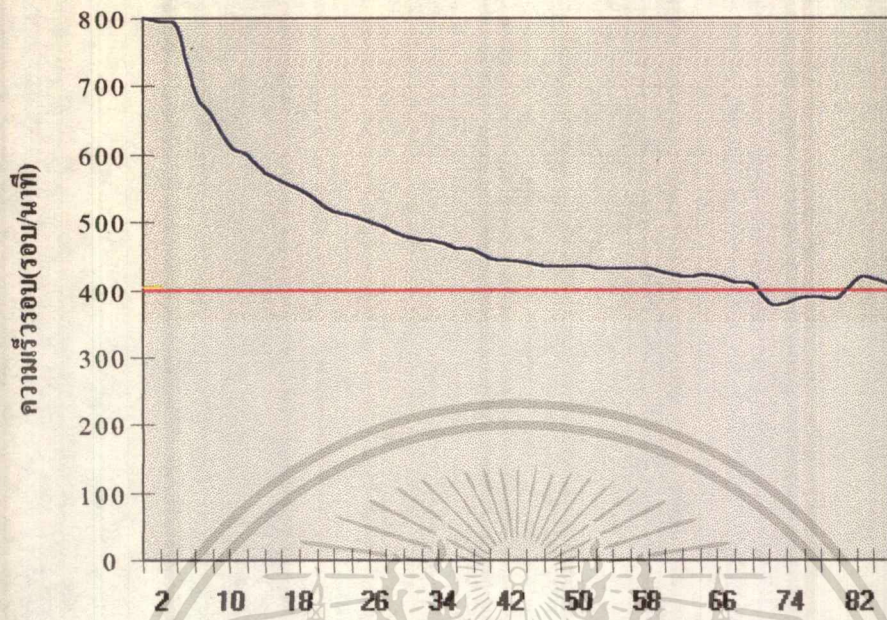
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

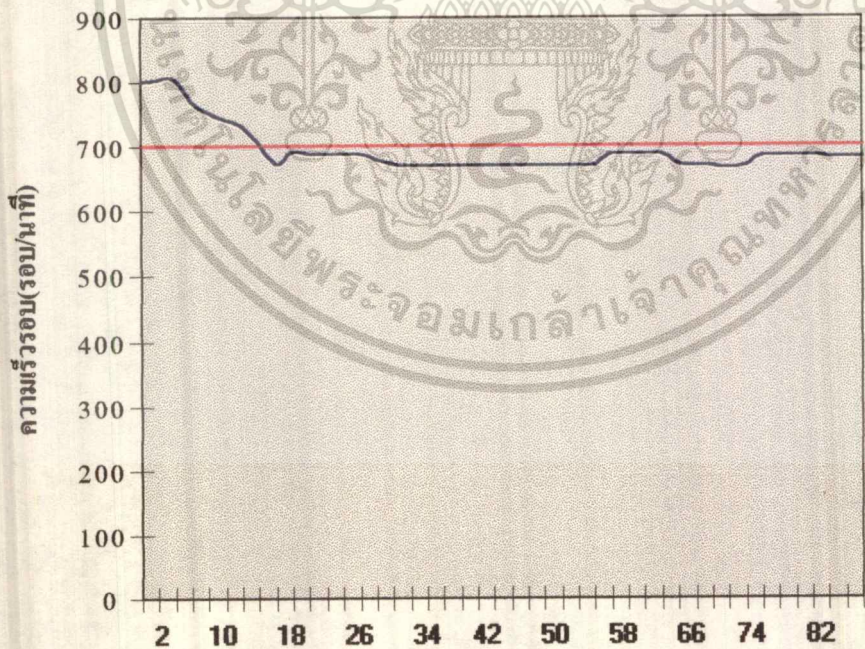
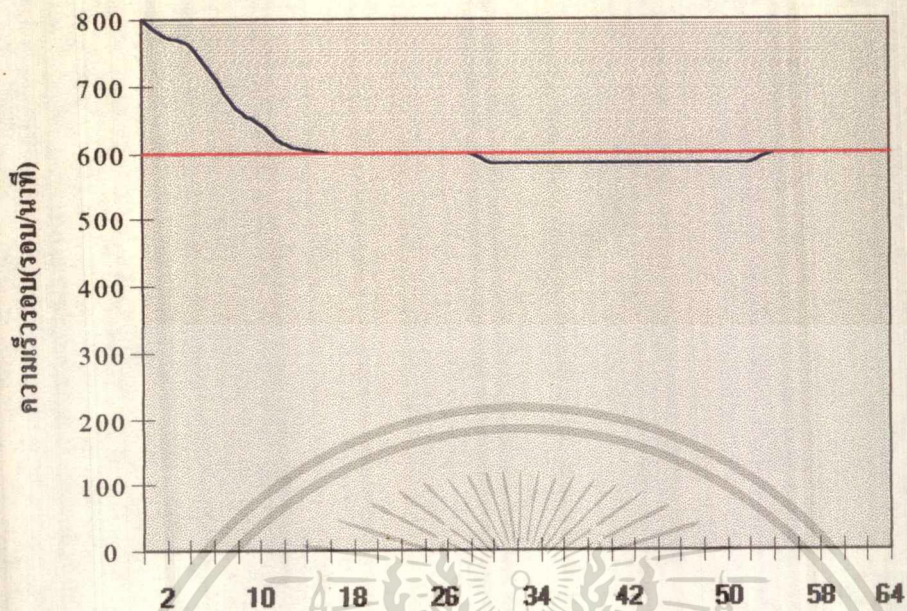


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



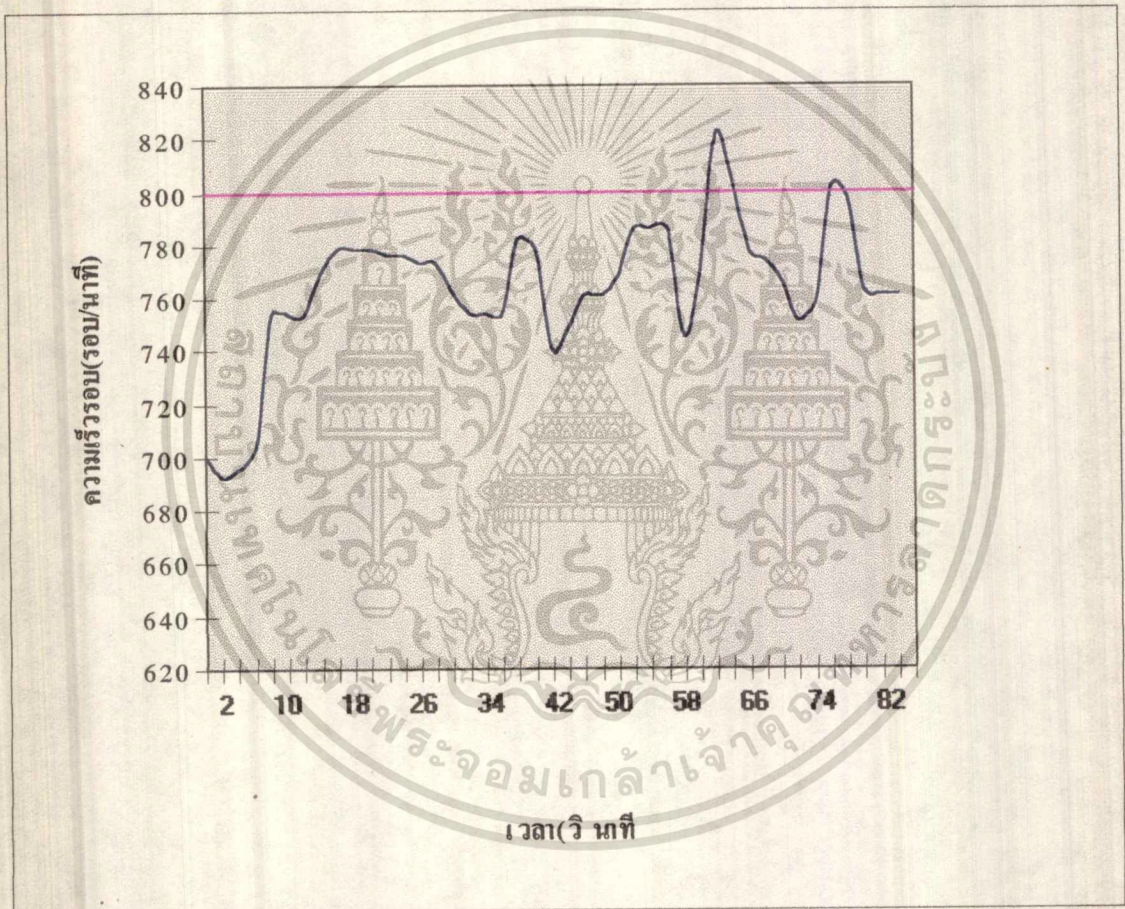
เวลา (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

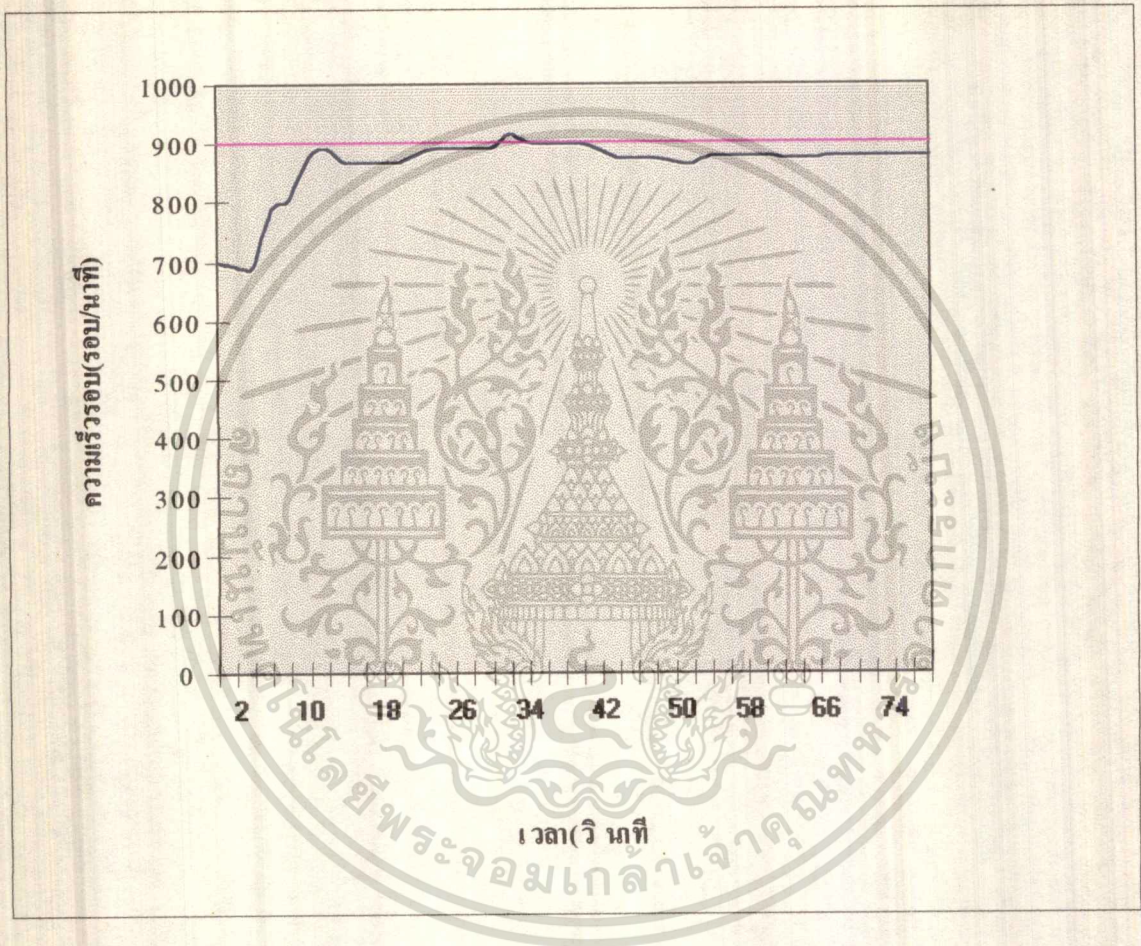


เวลา (วินาที)

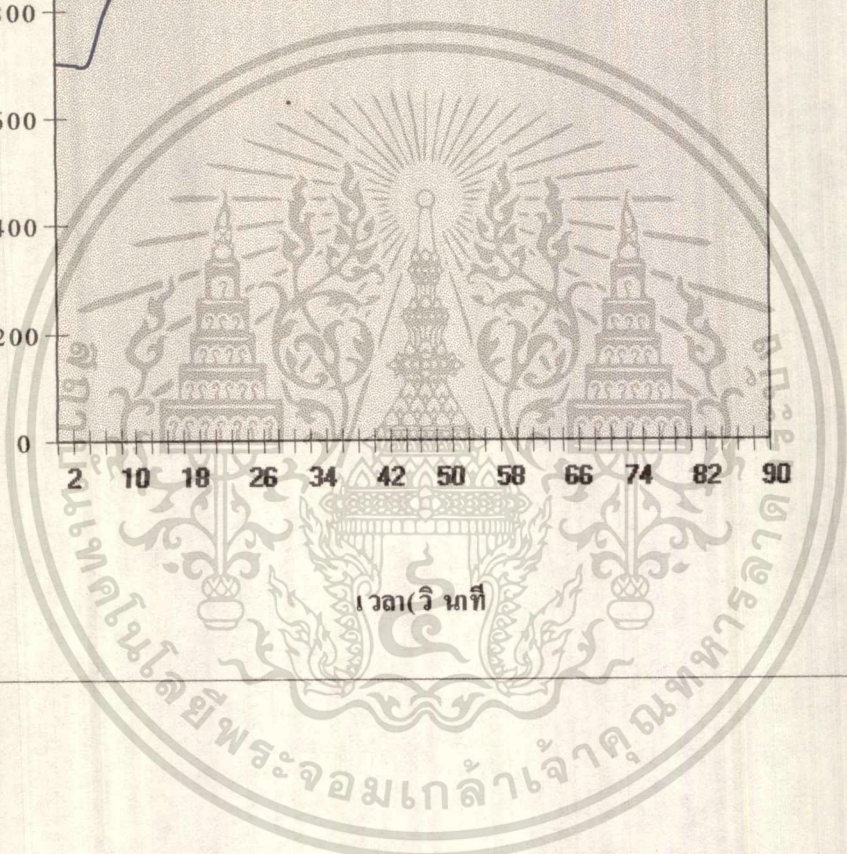
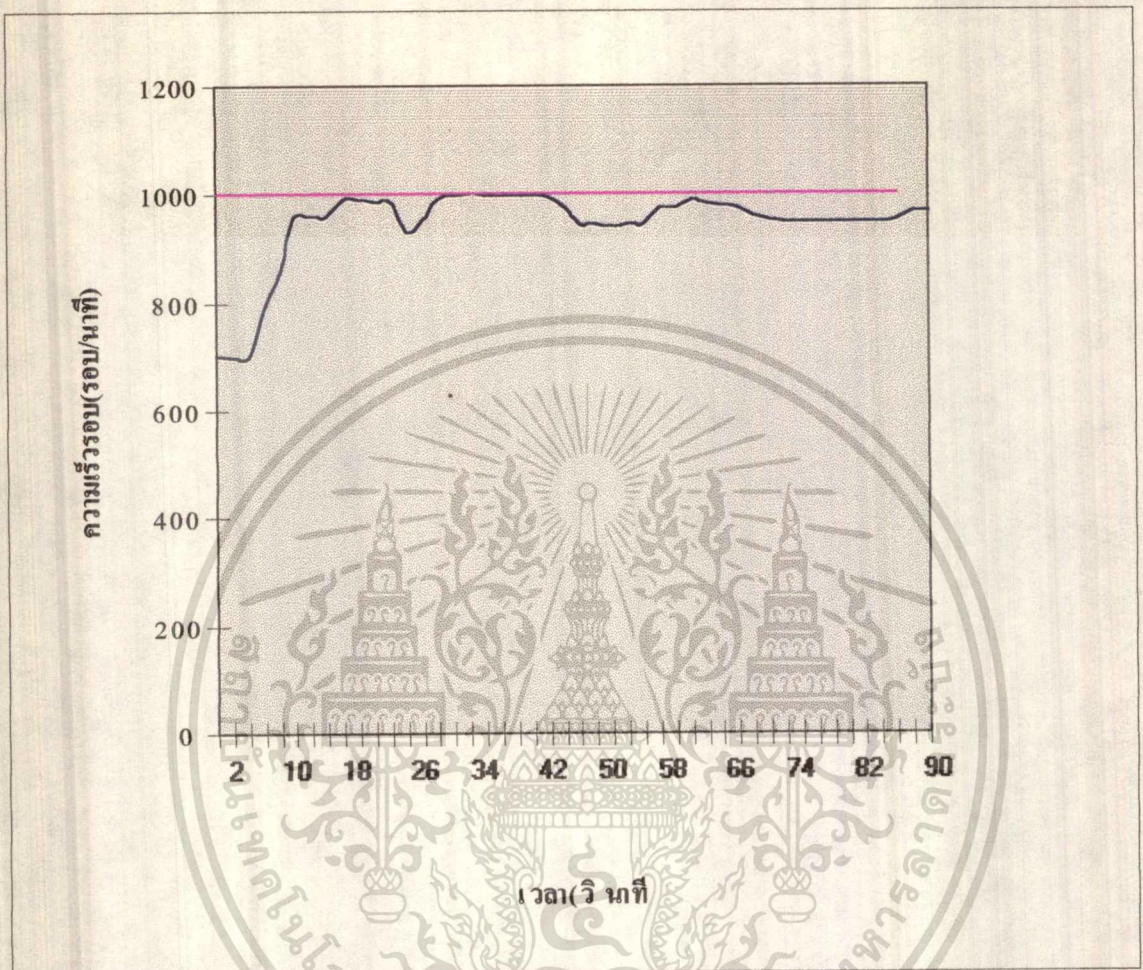
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



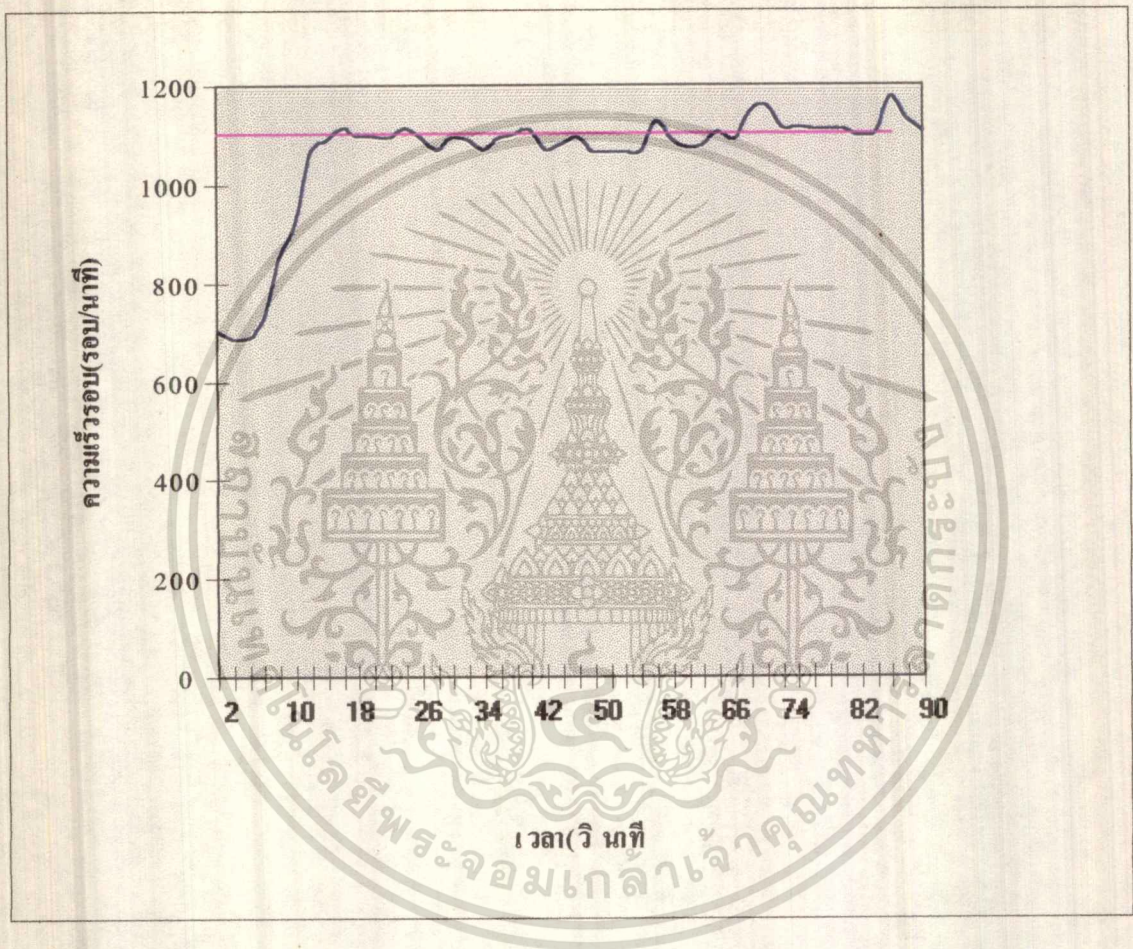
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



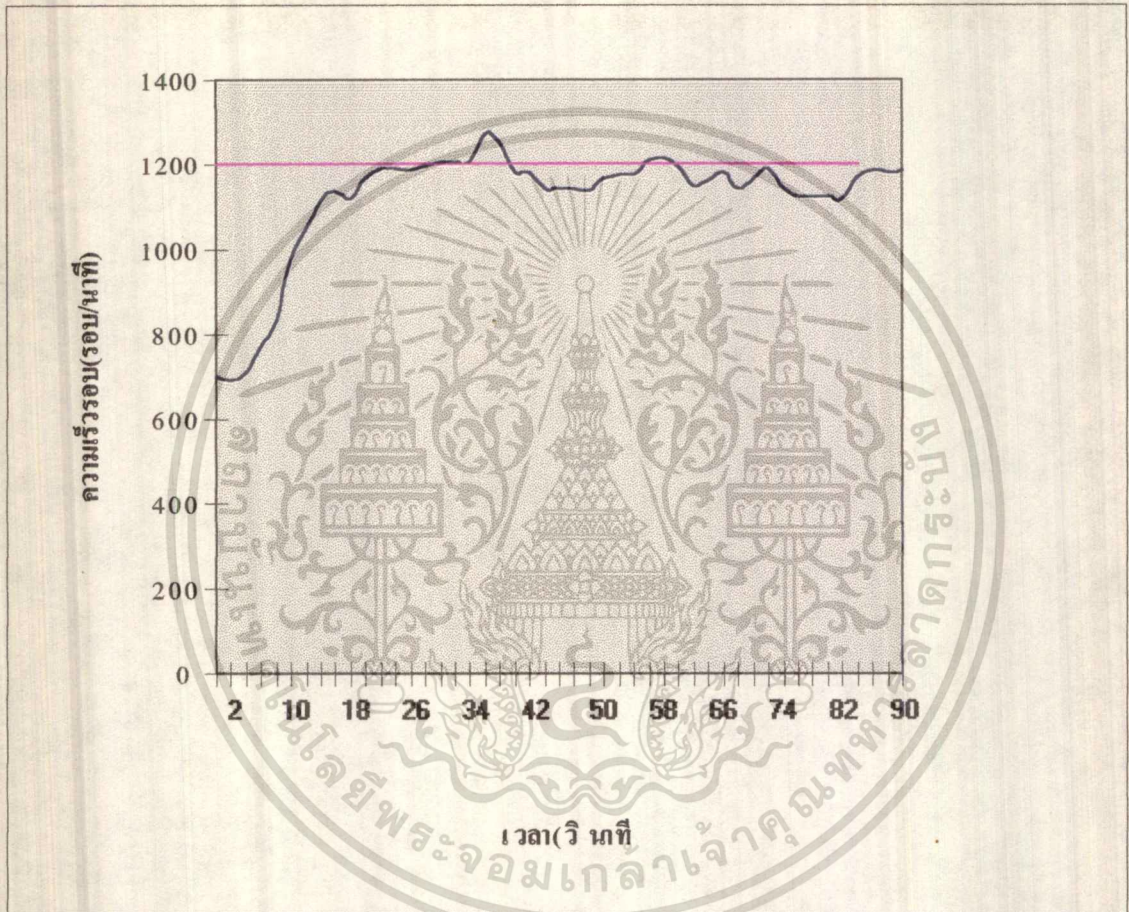
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



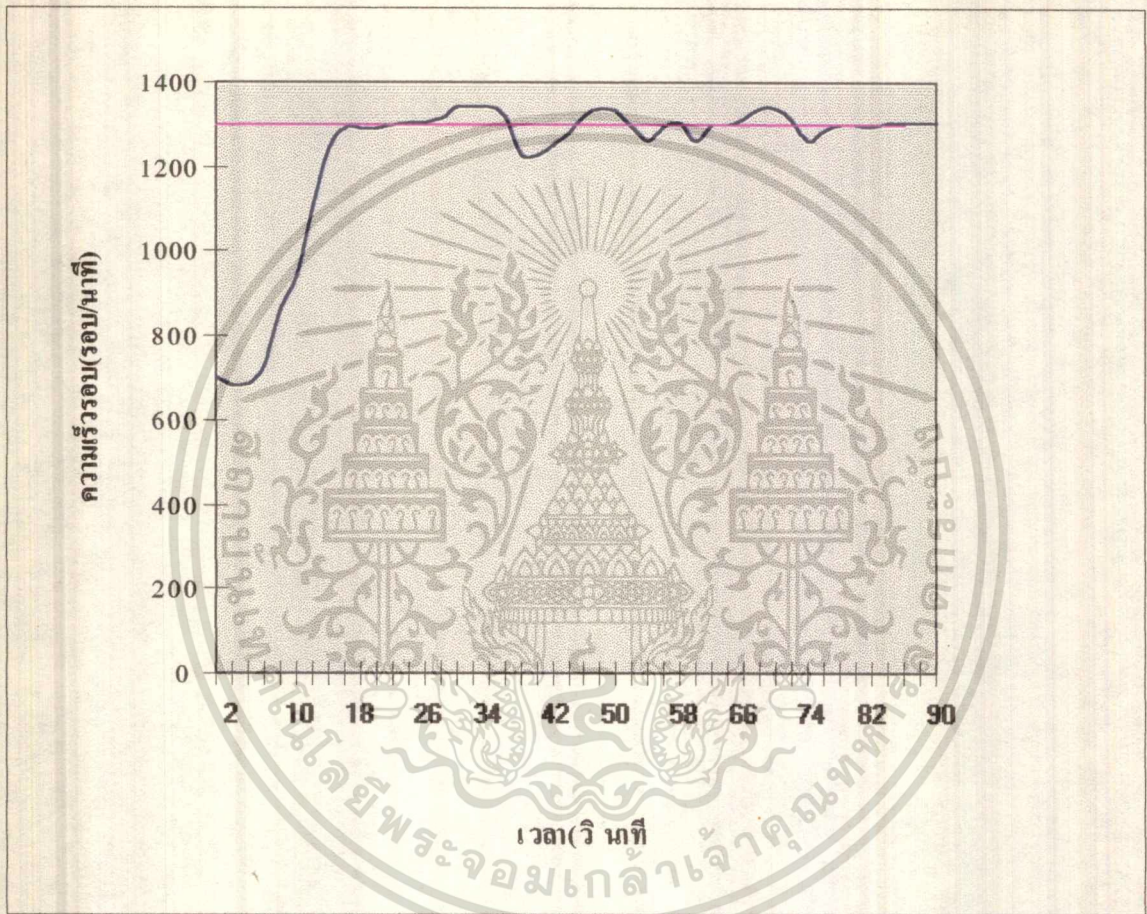
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



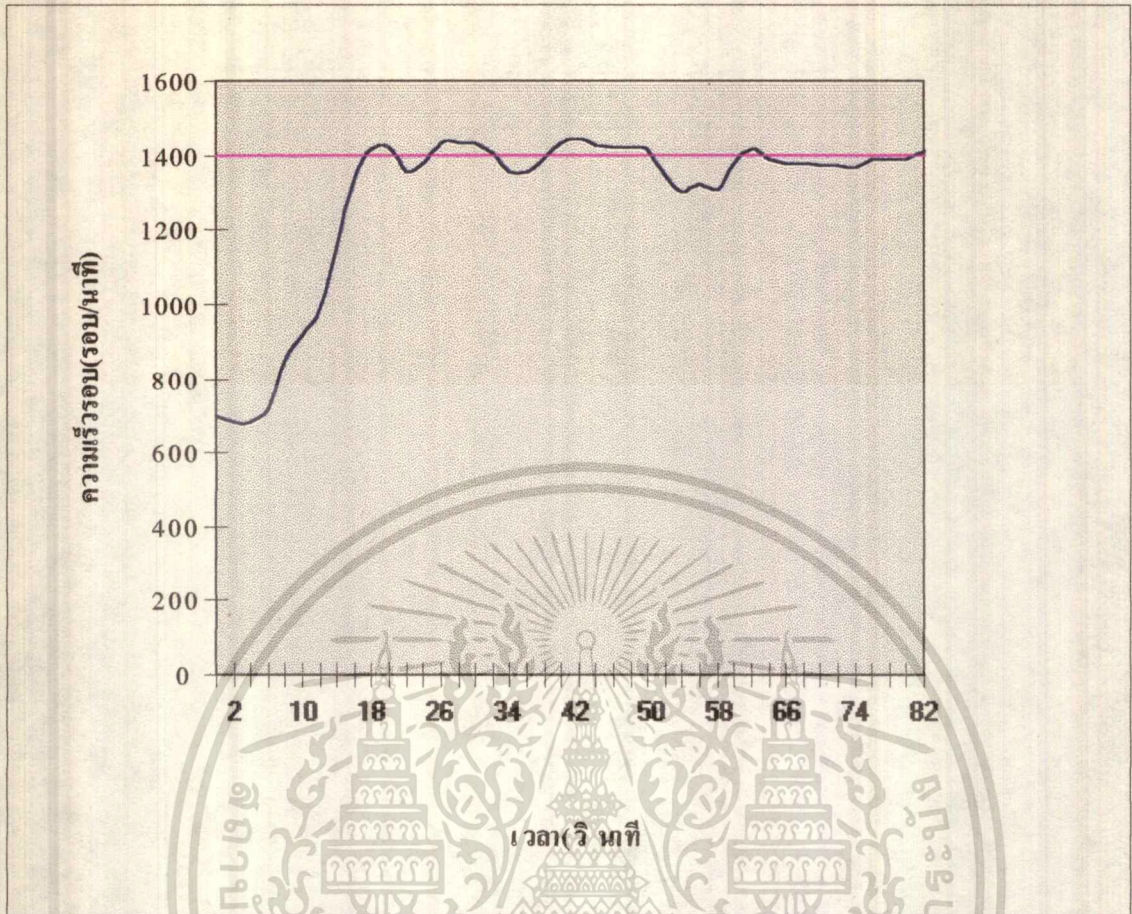
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



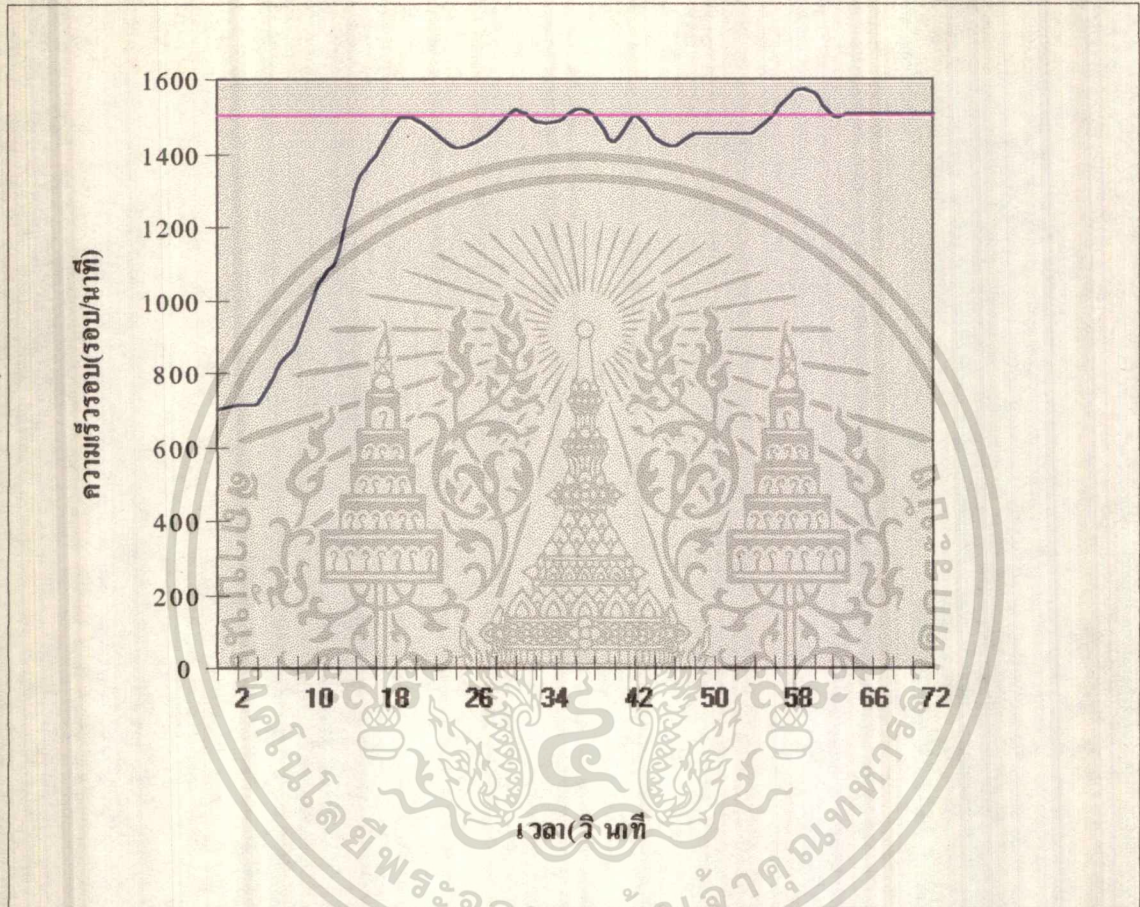
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



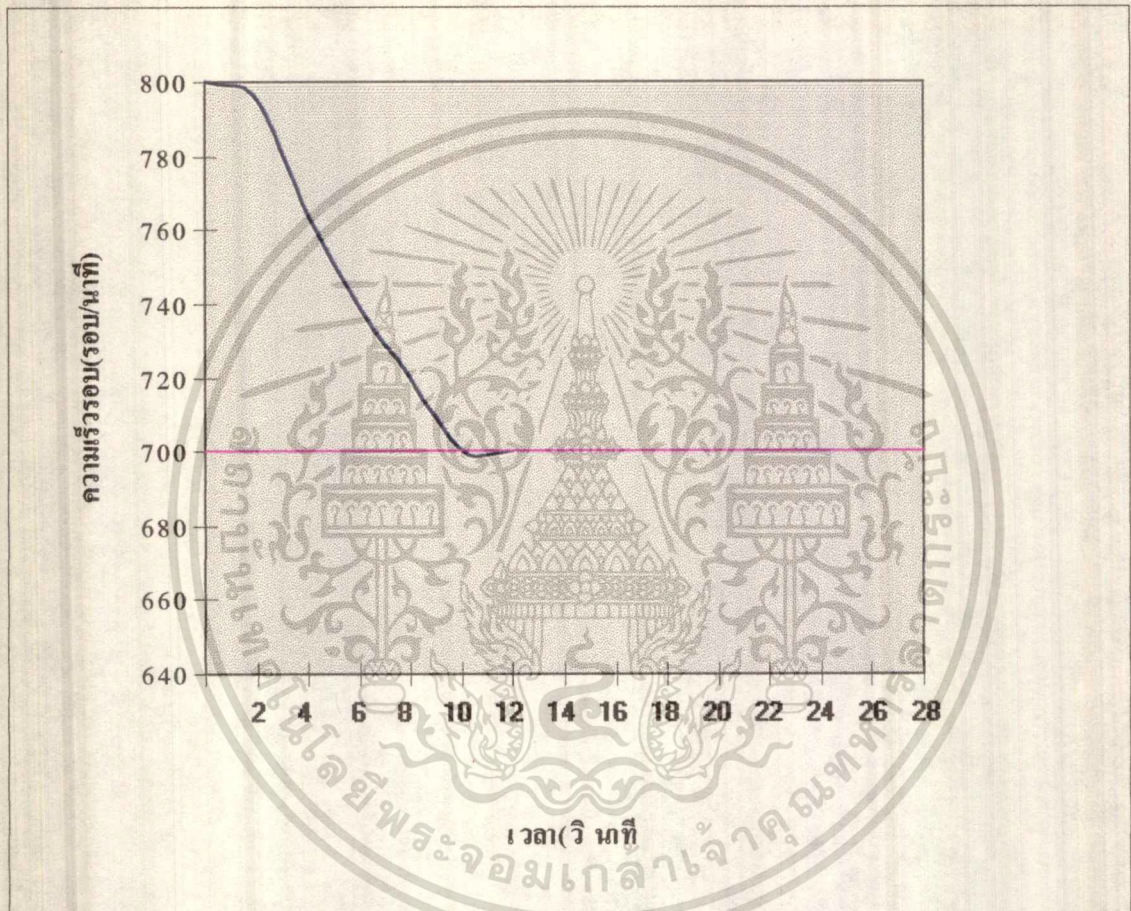
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



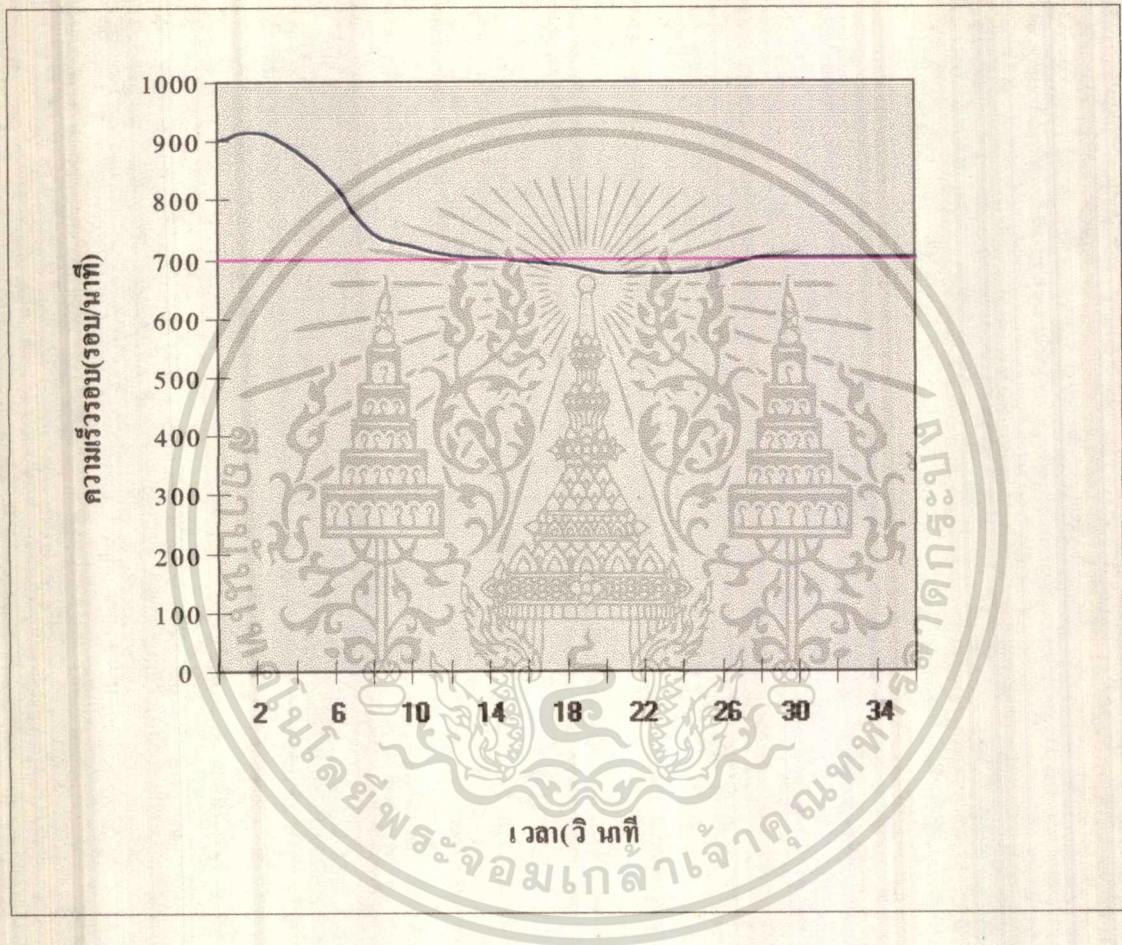
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



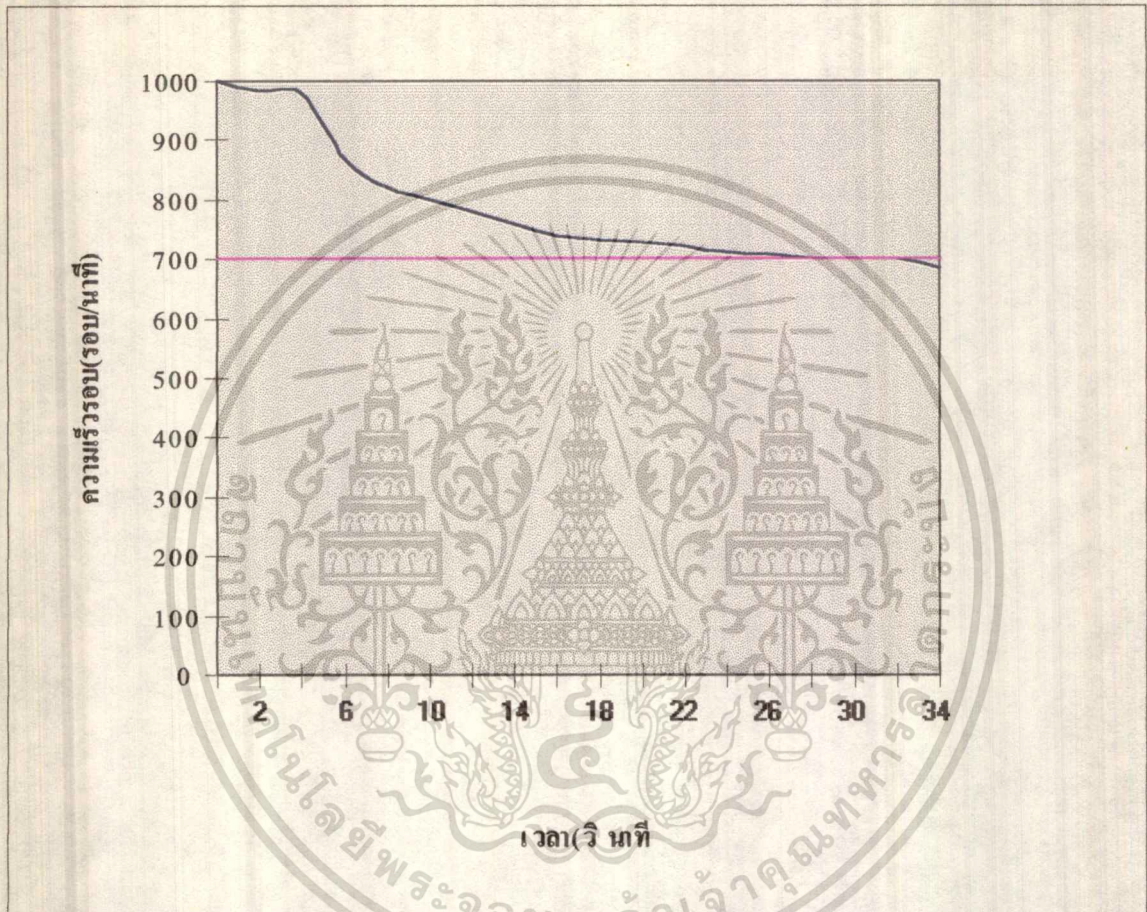
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



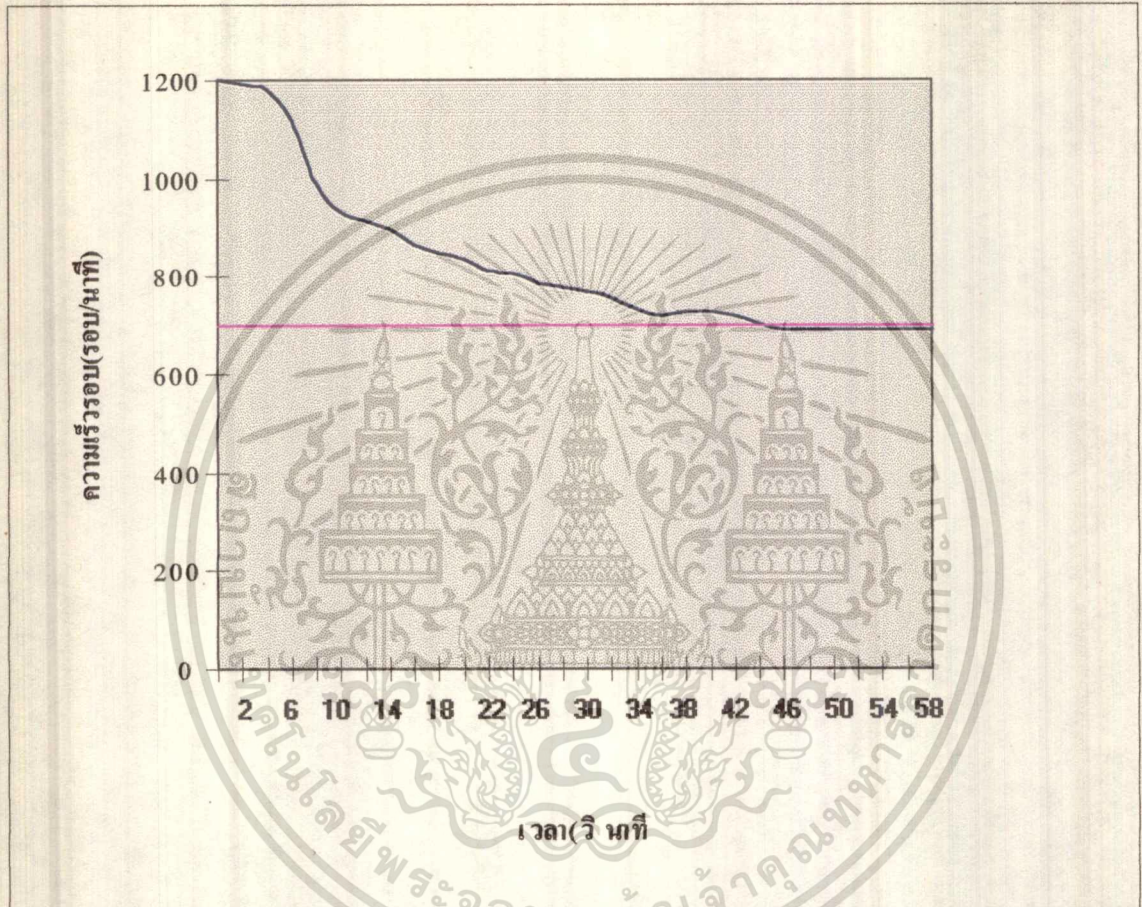
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



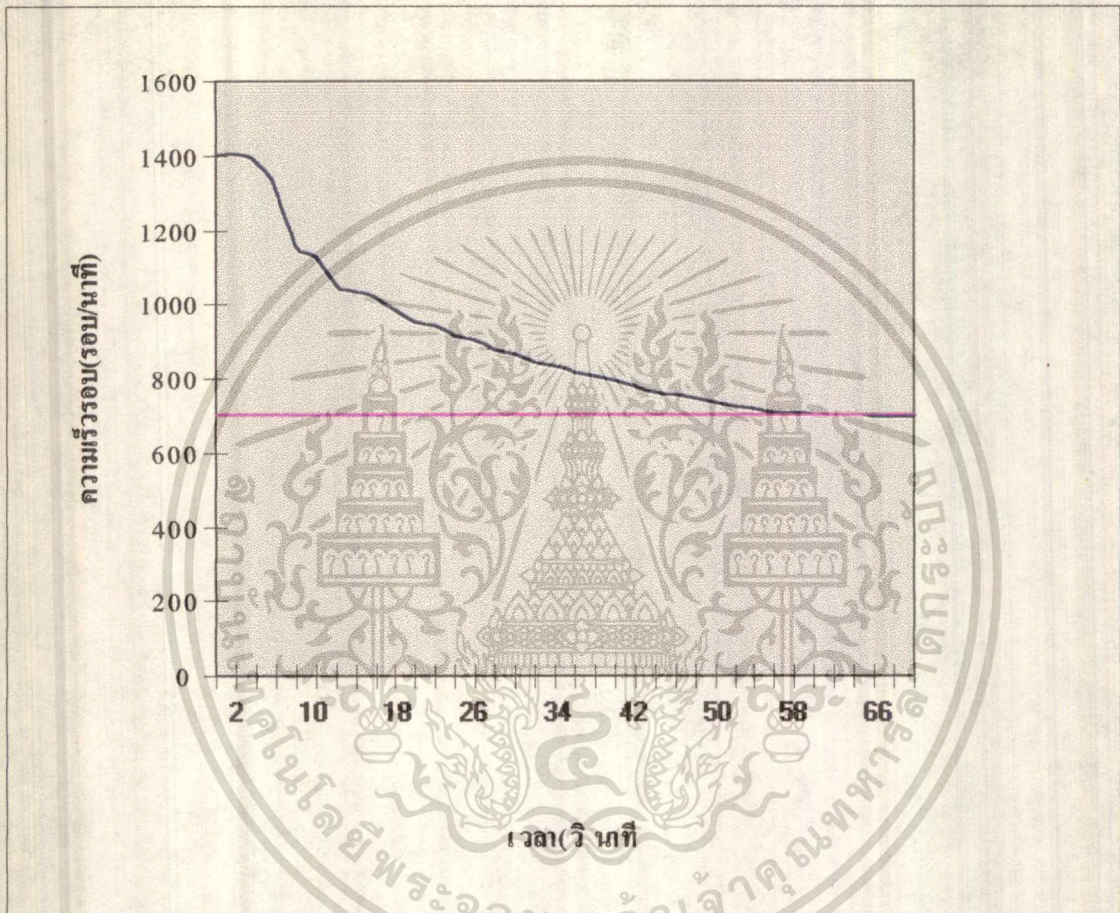
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



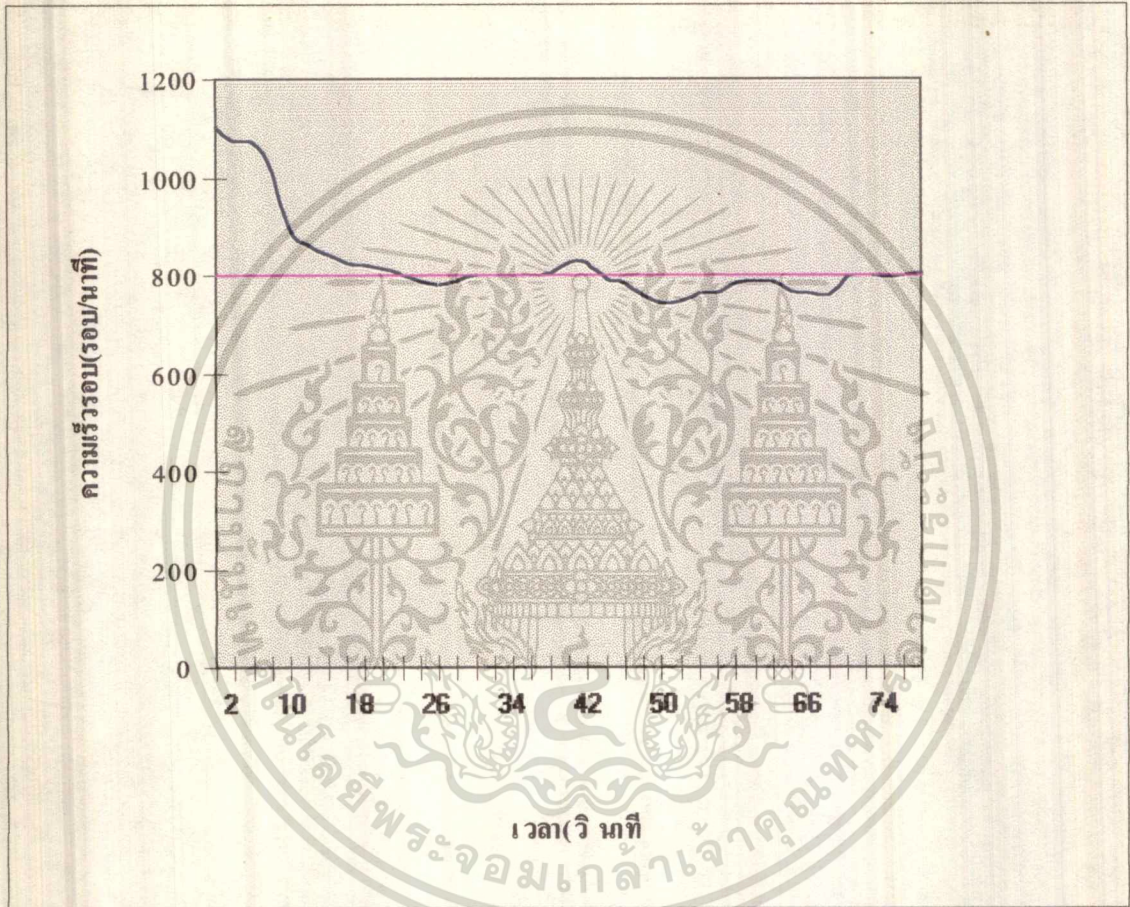
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



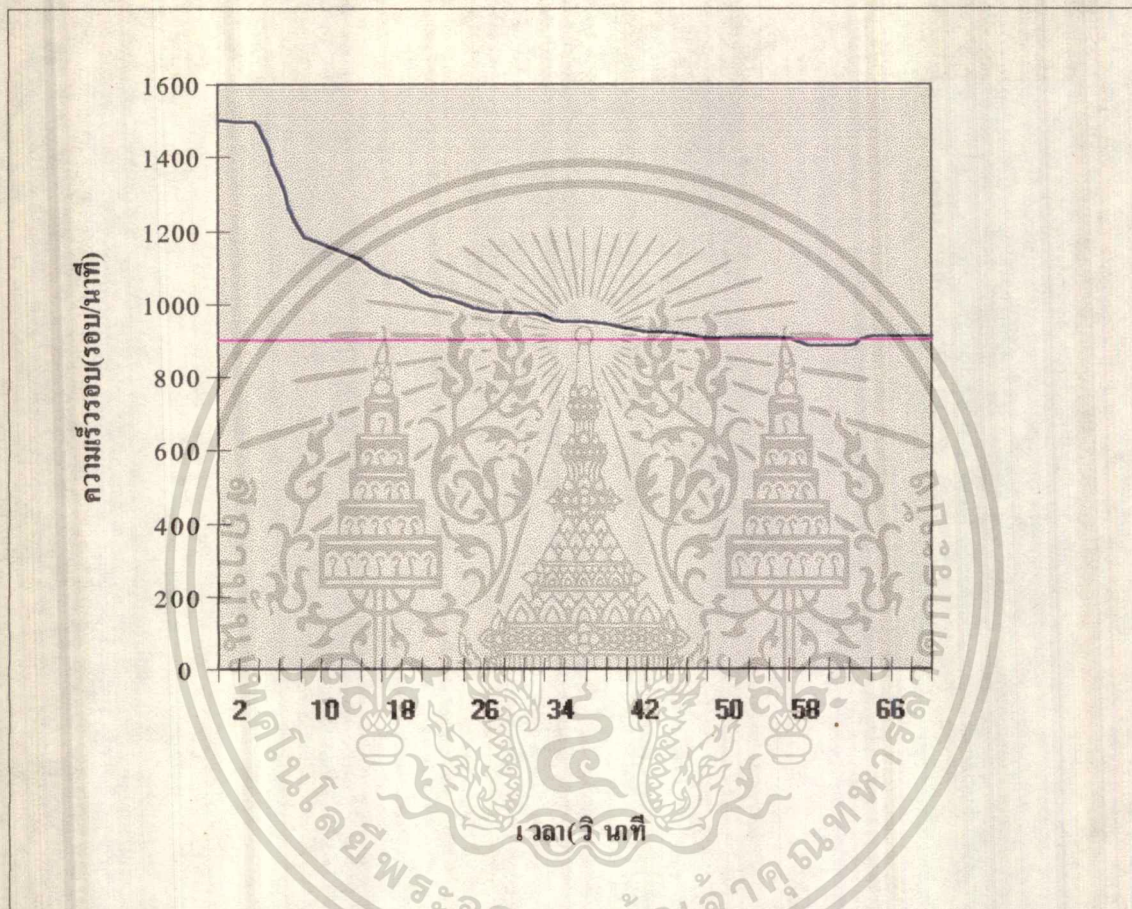
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



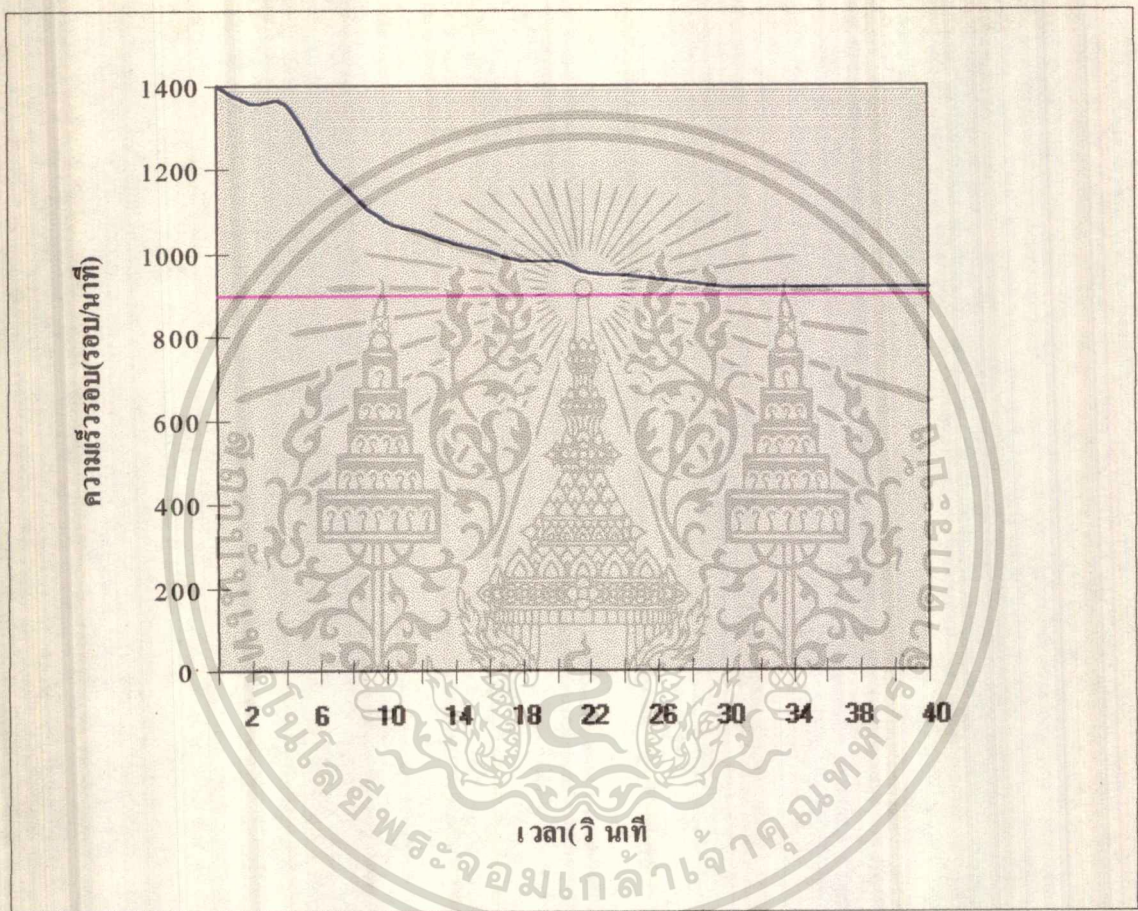
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



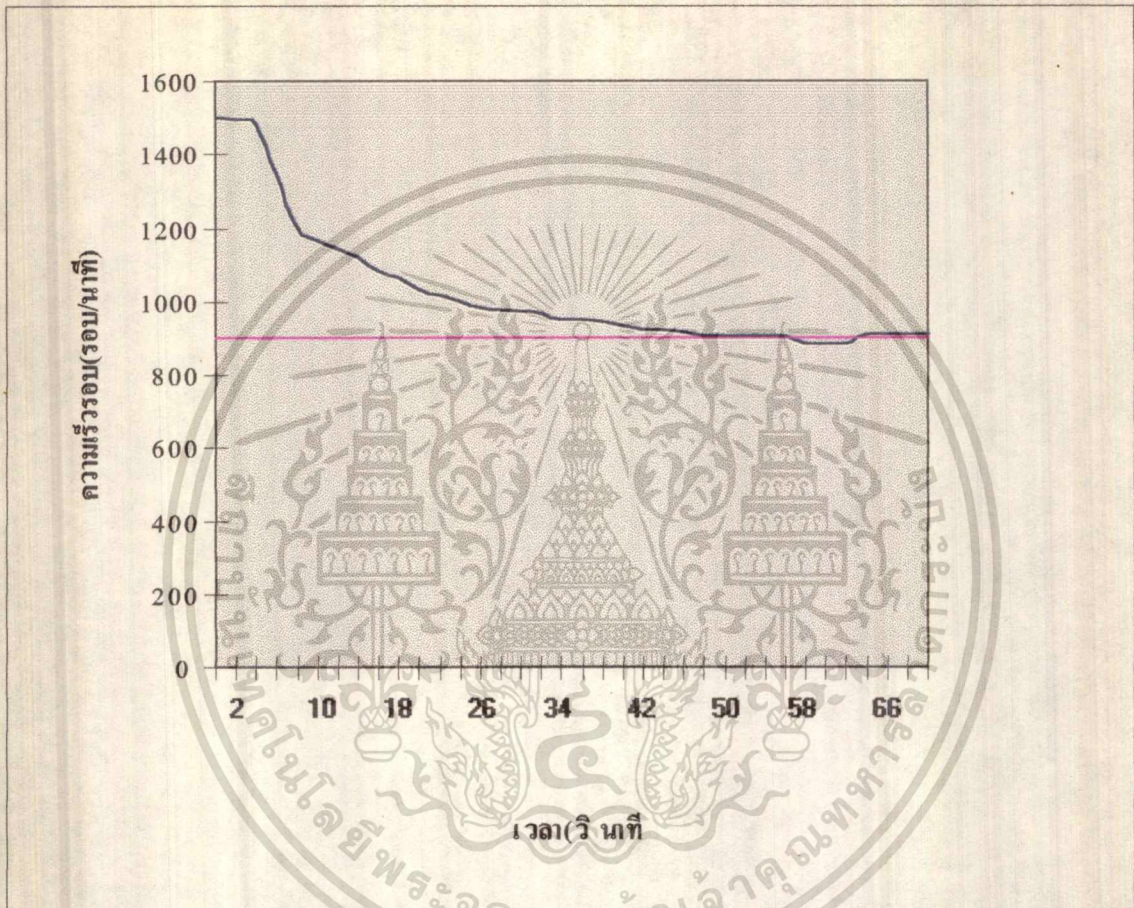
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



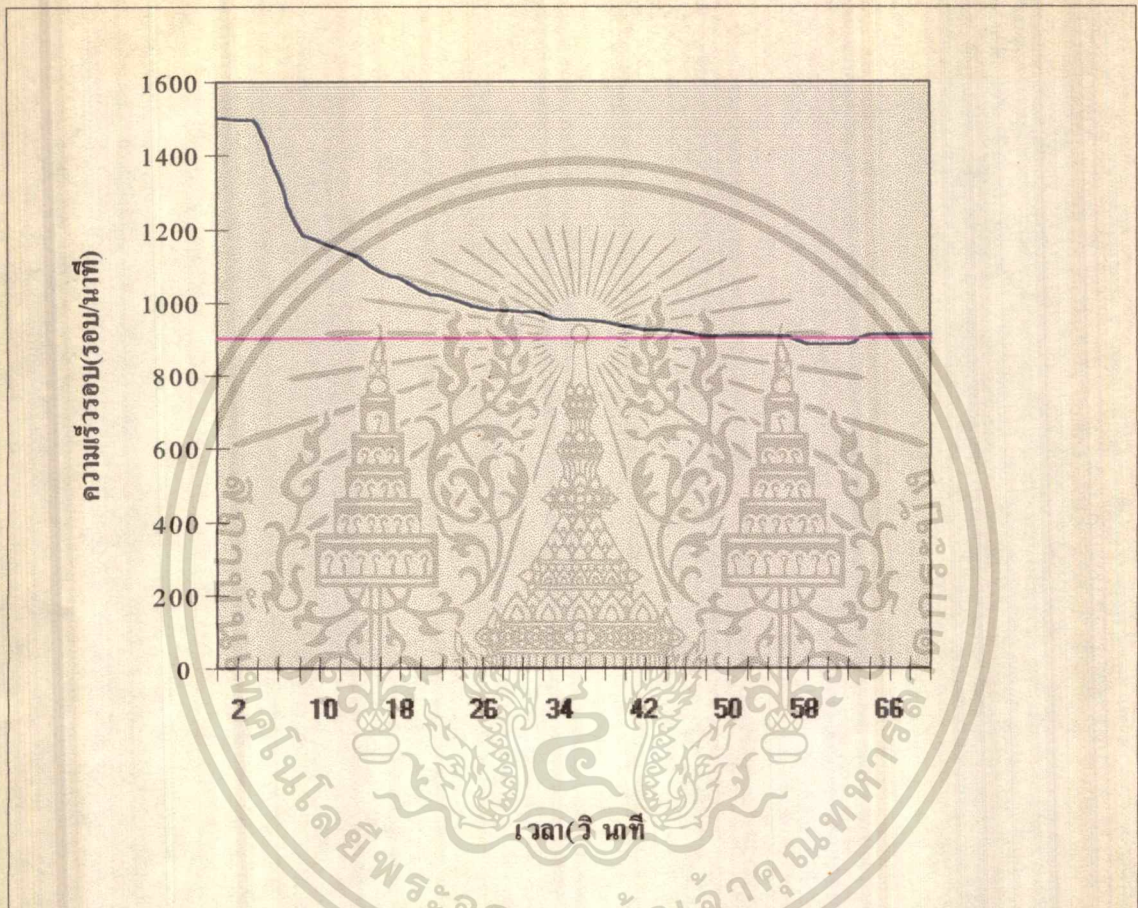
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การวิเคราะห์กราฟของผลการทดลอง

1. การทดลองในกรณีที่ความเร็วรอบอินพุต 740 รอบต่อนาที ช่วงความเร็วรอบเอาต์พุต อยู่ระหว่าง 400 - 1100 รอบต่อนาที จะทำการทดลองโดยใช้ค่าความเร็วรอบเอาต์พุตที่ 400 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อหน้าที่เป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการปรับค่าความเร็วรอบไปยังค่าเอาต์พุตต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ นอกจากนี้แล้วยังมีการทดลองใช้ค่าความเร็วรอบค่าอื่น ๆ เป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้นด้วย

1.1 จากการทดลองพบว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรในเวลาประมาณ 1 นาที

1.2 จากการทดลองพบว่าค่าความเร็วรอบเอาต์พุตที่ 800 รอบต่อหน้าที่จะประสบปัญหามากที่สุดโดยที่จุดนี้ระบบจะมีการแกว่งทำให้สามารถเข้าสู่ภาวะเสถียรได้ช้า ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากเป็นจุดที่มีสภาวะเดียวกับความถี่ธรรมชาติของระบบ

1.3 จากการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะเสถียรจะพบว่าค่าความเร็วรอบเอาต์พุตที่ได้ จะมีค่าผิดพลาดไปจากค่าที่ตั้งไว้ (Set point value) อยู่ประมาณ $\pm 5 \%$

1.4 จากการทดลองเมื่อความเร็วรอบเอาต์พุตถึงค่าที่ตั้งไว้แล้วจะมีค่าคงที่อยู่ในช่วงเวลาหนึ่งจากนั้นจะมีการแกว่งไปมาใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้

2. การทดลองในกรณีที่ความเร็วรอบอินพุต 1190 รอบต่อนาที ช่วงความเร็วรอบเอาต์พุตอยู่ระหว่าง 700 - 1500 รอบต่อนาที จะทำการทดลองโดยใช้ค่าความเร็วรอบเอาต์พุตที่ 700 รอบต่อนาทีเป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการปรับค่าความเร็วรอบไปยังค่าเอาต์พุตต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ นอกจากนี้แล้วยังมีการทดลองใช้ค่าความเร็วรอบค่าอื่น ๆ เป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้นด้วย

2.1 จากการทดลองพบว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรในเวลาประมาณ 1 นาที ถึง 1 นาทีครึ่ง

2.2 จากการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะเสถียรจะพบว่าค่าความเร็วรอบเอาต์พุตที่ได้ จะมีค่าผิดพลาดไปจากค่าที่ตั้งไว้ (Set point value) อยู่ประมาณ $\pm 10 \%$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีแรกจะเห็นว่าที่ค่าความเร็วรอบอินพุตสูงชันจะเกิดความผิดพลาดมากกว่า

2.3 จากการทดลองในกรณีนี้พบว่าค่าความเร็วรอบเอาต์พุตที่ได้จะมีการแกว่งมากกว่าการทดลองในกรณีแรกซึ่งจะเห็นว่าที่ความเร็วรอบอินพุตสูงชันการแกว่งตัวของความเร็วรอบเอาต์พุตจะมากขึ้น

3. จากการทดลองทั้ง 2 กรณีพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะเสถียรมีค่ามากกว่าที่คาดหวังไว้จากผลของการ Simulate

บทสรุปและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของการทดลองที่ผ่านมาจะพบว่าเวลาที่ระบบใช้ในการเข้าสู่ภาวะเสถียรจะมีค่ามากซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากความผิดพลาดในส่วนต่าง ๆ ของชุดทำงาน ซึ่งพอจะแยกข้อผิดพลาดออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

1. ความผิดพลาดเชิงกล (Mechanical Error)

1.1 เนื่องจากวาล์วที่ใช้ในระบบเป็นวาล์วปิดเปิดแบบ 4 / 3 ธรรมดาการทำงานของวาล์วตัวนี้จะเป็นในลักษณะเปิดหมดหรือปิดหมดไม่สามารถบังคับให้เปิดหรือปิดเพียงเล็กน้อยได้ทำให้การทำงานขาดความต่อเนื่องและไม่สามารถรักษาความเร็วรอบเอาท์พุทให้คงที่อยู่ตลอดเวลาได้

1.2 เนื่องจากวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่กลับของกระบอกสูบเป็นของเก่าไม่อยู่ในสภาพใช้งานได้ 100 % มีการรั่วซึมของน้ำมันที่วาล์วกันกลับภายในทำให้การปรับความเร็วรอบเอาท์พุทของระบบสามารถทำได้เต็มประสิทธิภาพเฉพาะจังหวะที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ออกเท่านั้นซึ่งจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะเสถียรมีค่ามากขึ้นไปอีก

1.3 เนื่องจากสายพานที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังระหว่าง Pulley ทั้ง 2 ตัวมีการขยายตัวทำให้สายพานหย่อนลงเกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นในการส่งผ่านกำลังของสายพานส่งผลให้การควบคุมงาน pulley ลำบากมากขึ้นและยังทำให้ชุด pulley เกิดการสั่นอย่างมาด้วย

1.4 เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนของการออกแบบและการสร้างชิ้นงาน

1.5 เนื่องจากอุปกรณ์ที่

ค่อนข้างมาติดตั้งให้อยู่บนโครงเดียวกันโดยการเชื่อมทำให้เมื่อนำมาใช้งานจริงจึงเกิดการสั่นค่อนข้างรุนแรง

2. ความผิดพลาดจากการวัดและระบบควบคุม (Measurement and Control Error)

2.1 เนื่องจากวงจรเคาท์เตอร์ที่ออกแบบมาจะทำการนับเฉพาะจำนวนเต็มเท่านั้นทั้งนี้เนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดคือ Proximity Switch จะสร้าง Pulse ออกมาเป็นจำนวนเต็มทำให้จะเกิดค่า offset ขึ้นที่จุดนี้

2.2 ชุดควบคุมที่ใช้ในที่นี้จะใช้ Microprocessor Z - 80 ซึ่งในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานจะมีความยุ่งยากมากต่อการทำความเข้าใจ แต่จะสามารถนำมาใช้งานได้ค่อนข้างง่ายถ้าหากต้องการโปรแกรมที่สะดวกต่อการทำความเข้าใจจะต้องสร้างวงจรการทำงานที่มีความซับซ้อนและวุ่นวายมาก

ภายในทำให้การปรับความเร็วรอบเอาต์พุทของระบบสามารถทำได้เต็มประสิทธิภาพเฉพาะ
 จังหวะที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ออกเท่านั้นซึ่งจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะ
 เสถียรมีค่ามากขึ้นไปอีก

1.3 เนื่องจากสายพานที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังระหว่าง Pulley ทั้ง 2 ตัวมีการ
 ขยายตัวทำให้สายพานหย่อนลงเกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นในการส่งผ่านกำลังของสายพานส่งผลให้
 การควบคุมงาน pulley ลำบากมากขึ้นและยังทำให้ชุด pulley เกิดการสั่นอย่างมากด้วย

1.4 เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนของการออกแบบและการสร้างชิ้นงาน

1.5 เนื่องจากอุปกรณ์ทำงานทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ส่วน จากนั้นจึง
 ค่อยนำมาติดตั้งให้อยู่บนโครงเดียวกันโดยการเชื่อมทำให้เมื่อนำมาใช้งานจริงจึงเกิดการสั่นค่อน
 ข้างรุนแรง

2. ความผิดพลาดจากการวัดและระบบควบคุม (Measurement and Control Error)

2.1 เนื่องจากวงจรเคาท์เตอร์ที่ออกแบบมาจะทำการนับเฉพาะจำนวนเต็มเท่า
 นั้นทั้งนี้เนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดคือ Proximity Switch จะสร้าง Pulse ออกมาเป็นจำนวน
 เต็มทำให้จะเกิดค่า offset ขึ้นที่จุดนี้

2.2 ชุดควบคุมที่ใช้ในที่นี้จะใช้ Microprocessor Z - 80 ซึ่งในการเขียนโปรแกรม
 ควบคุมการทำงานจะมีความยุ่งยากมากต่อการทำความเข้าใจ แต่จะสามารถนำมาใช้งานจริงได้
 ค่อนข้างง่ายถ้าหากต้องการโปรแกรมที่สะดวกต่อการทำความเข้าใจจะต้องสร้างวงจรการทำงาน
 ที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ Servo valve แทนวาล์วปิดเปิดแบบ 4 / 3 ธรรมดาเพื่อการควบคุมกระบอกสูบ
 ได้อย่างต่อเนื่องและทำให้การปรับระบบเข้าสู่ภาวะเสถียรเป็นไปได้เร็วขึ้น
2. ควรเปลี่ยนวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ควบคุมการเคลื่อนที่กลับของกระบอกสูบเป็น
 ตัวใหม่เพื่อให้สามารถทำการปรับความเร็วรอบได้เต็มประสิทธิภาพตลอดทั้งในจังหวะที่กระบอก
 สูบเคลื่อนที่เข้าและออก
3. ควรมีการทดลองเดินเครื่องจริงก่อนในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้สายพานขยายตัวจนถึงจุด
 ทำงานจากนั้นทำการปรับระยะระหว่าง Pulley ทั้ง 2 ตัวอีกครั้ง เพื่อให้สายพานตึงที่สุด
4. การออกแบบงาน Pulley ควรออกแบบให้แกนในของงาน Pulley ที่ใช้รองรับการ
 เคลื่อนที่ของงาน Pulley อีกตัวหนึ่งมีความยาวเพิ่มขึ้น เพื่อลดการแกว่งและการสั่นของ Pulley ใน

จังหวะที่งาน Pulley เลื่อนออกมากที่สุดนอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มช่วงความเร็วรอบที่จะปรับได้ด้วย

5. ควรออกแบบจตุรกรับคานให้มีพื้นที่มากขึ้นเพื่อการรองรับจุดหมุนของคานที่ดีขึ้นและยังช่วยลดการสั่นของคานอีกด้วย

6. ควรเลือกใช้วิธีวัดความเร็วรอบให้ได้ละเอียดมากขึ้นกว่าที่เป็นอยู่เช่นอาจใช้ Tacho Generator แทนซึ่งจะสร้างโวลต์เตจที่แตกต่างกันเพื่อแสดงถึงค่าความเร็วรอบต่าง ๆ ทำให้การวัดทำได้ละเอียดมากขึ้น

7. ควรใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาอินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมการทำงานให้ดีขึ้นและสะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนี้โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมยังมีความยืดหยุ่นมากขึ้นสามารถควบคุมและแก้ไขข้อผิดพลาดที่จุดต่าง ๆ ง่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A

การเปลี่ยนหน่วย

1. ความยาว (Length)

$$1 \text{ mm} = 0.039 \text{ in}$$

$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

2. พื้นที่ (Area)

$$1 \text{ in}^2 = 645.16 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ mm}^2 = 0.002 \text{ in}^2$$

3. แรง (Force)

$$1 \text{ lb}_f = 4.448 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 0.2248 \text{ lb}_f$$

4. ปริมาตร (Volume)

$$1 \text{ US. gallon} = 231 \text{ in}^3$$

$$1 \text{ US. gallon} = 37.85 \text{ litre}$$

5. ความดัน (Pressure)

$$1 \text{ lb/ in}^2 = 0.070 \text{ kg/ cm}^2$$

$$1 \text{ lb/ in}^2 = 0.069 \text{ bar}$$

$$1 \text{ kg/ cm}^2 = 14.223 \text{ lb/ in}^2$$

$$1 \text{ kg/ cm}^2 = 0.989 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 14.696 \text{ lb/ in}^2$$

$$= 1.033 \text{ kg/ cm}^2$$

$$= 1.013 \text{ bar}$$

6. ความเร็ว (Velocity)

$$1 \text{ ft/ sec} = 12 \text{ in/ sec}$$

$$1 \text{ in/ sec} = 0.083 \text{ ft/ sec}$$

$$1 \text{ ft/ sec} = 0.3048 \text{ m/ sec}$$

$$1 \text{ m/ sec} = 3.28 \text{ ft/ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. อัตราการไหล (Flow rate)

$$1 \text{ US.GPM} = 3.791 \text{ LPM}$$

$$1 \text{ LPM} = \text{US.GPM}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix B

สูตรหาค่าต่าง ๆ ทางไฮดรอลิก

1. อัตราการไหลที่ต้องการ (Required Flow Rate)

$$\text{- สำหรับระบบอกสูบ : } \text{GPM} = \frac{A (\text{in}^2) * V (\text{in} / \text{min})}{231}$$

$$\text{หรือ } \text{GPM} = 0.2597 * A (\text{in}^2) * V (\text{in} / \text{min})$$

$$\text{LPM} = 6 * A (\text{cm}^2) * V (\text{cm} / \text{sec})$$

$$\text{หรือ } \text{LPM} = 0.006 * A (\text{cm}^2) * V (\text{mm} / \text{sec})$$

- สำหรับมอเตอร์ไฮดรอลิก :

$$\text{GPM} = \frac{V_m (\text{in}^3 / \text{rev}) * \text{RPM}}{231 * \eta_v}$$

$$\text{LPM} = \frac{V_m (\text{cc} / \text{rev}) * \text{RPM}}{1000 * \eta_v}$$

โดย V_m = ปริมาตรจุ

RPM = ความเร็วรอบหมุนที่เพลลา

η_v = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของมอเตอร์ไฮดรอลิก

2. ความดันที่ต้องการ (Required Pressure)

- สำหรับระบบอกสูบ :

$$P (\text{psi, lb} / \text{in}^2) = \frac{F (\text{lb})}{A (\text{in}^2)}$$

$$P (\text{kg} / \text{cm}^2) = \frac{F (\text{kg})}{A (\text{cm}^2)}$$

$$P (\text{bar}) = \frac{F (\text{N})}{100000 * A (\text{m}^2)}$$

- สำหรับมอเตอร์ไฮดรอลิค :

$$P \text{ (psi, lb/ in}^2\text{)} = \frac{2\pi * T \text{ (lb.in)}}{V_m \text{ (in}^3\text{ / rev)}}$$

$$= \frac{6.28 * T \text{ (lb.in)}}{V_m \text{ (in}^3\text{ / rev)}}$$

$$P \text{ (psi, lb/ in}^2\text{)} = \frac{2\pi * 12 * T \text{ (lb.ft)}}{V_m \text{ (in}^3\text{ / rev)}}$$

$$= \frac{75.4 * T \text{ (lb.ft)}}{V_m \text{ (in}^3\text{ / rev)}}$$

$$P \text{ (kg / cm}^2\text{)} = \frac{2\pi * 100 * T \text{ (kg.m)}}{V_m \text{ (cm}^3\text{ / rev)}}$$

$$= \frac{628 * T \text{ (kg.m)}}{V_m \text{ (cm}^3\text{ / rev)}}$$

$$P \text{ (bar)} = \frac{2\pi * 10 * T \text{ (N.m)}}{V_m \text{ (cm}^3\text{ / rev)}}$$

$$= \frac{62.8 * T \text{ (lb.in)}}{V_m \text{ (cm}^3\text{ / rev)}}$$

3. ขนาดของอุปกรณ์การทำงาน (Actuator size)

- ขนาดกระบอกสูบที่ใช้งาน :

$$A \text{ (in}^2\text{)} = \frac{F \text{ (lb)}}{P \text{ (lb/ in}^2\text{)}}$$

$$D \text{ (in)} = \frac{F \text{ (lb)} / P \text{ (lb/ in}^2\text{)}}{0.7854}$$

$$A \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{F \text{ (kg)}}{P \text{ (kg/ cm}^2\text{)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D (\text{in}) = \frac{F (\text{kg}) / P (\text{kg} / \text{cm}^2)}{0.7854}$$

- ขนาดมอเตอร์ไฮดรอลิกที่ใช้งาน

$$V_m (\text{in}^3 / \text{rev}) = \frac{2\pi * T (\text{lb.in})}{P (\text{lb} / \text{in}^2)}$$

$$= \frac{6.28 * T (\text{lb.in})}{P (\text{lb} / \text{in}^2)}$$

$$V_m (\text{in}^3 / \text{rev}) = \frac{2\pi * 12 * T (\text{lb.ft})}{P (\text{lb} / \text{in}^2)}$$

$$= \frac{75.4 * T (\text{lb.ft})}{P (\text{lb} / \text{in}^2)}$$

$$V_m (\text{cm}^3 / \text{rev}) = \frac{2\pi * 100 * T (\text{kg.m})}{P (\text{kg} / \text{cm}^2)}$$

$$= \frac{628 * T (\text{kg.m})}{P (\text{kg} / \text{cm}^2)}$$

$$V_m (\text{cm}^3 / \text{rev}) = \frac{2\pi * 10 * T (\text{N.m})}{P (\text{bar})}$$

$$= \frac{62.8 * T (\text{lb.in})}{P (\text{bar})}$$

4. แรงดันที่ได้จากกระบอกสูบ (Cylinder Force)

$$F (\text{lb}) = P (\text{lb} / \text{in}^2) * A (\text{in}^2)$$

$$F (\text{kg}) = P (\text{kg} / \text{cm}^2) * A (\text{cm}^2)$$

$$F (\text{N}) = 100000 * P (\text{bar}) * A (\text{m}^2)$$

5. แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motor Force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T (\text{lb.in}) = \frac{P (\text{lb/ in}^2) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{2\pi}$$

$$= \frac{P (\text{lb/ in}^2) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{6.28}$$

$$T (\text{lb.ft}) = \frac{P (\text{lb/ in}^2) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{2\pi * 12}$$

$$= \frac{P (\text{lb/ in}^2) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{75.4}$$

$$T (\text{kg.cm}) = \frac{P (\text{kg/ cm}^2) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{2\pi * 100}$$

$$= \frac{P (\text{kg/ cm}^2) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{628}$$

$$T (\text{N.m}) = \frac{P (\text{bar}) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{2\pi * 10}$$

$$= \frac{P (\text{bar}) * V_m (\text{in}^3 / \text{rev})}{62.8}$$

6. อัตราการจ่ายน้ำมันของปั๊ม (Flow Rate From Pump)

$$\text{GPM} = \frac{V_p (\text{in}^3 / \text{rev}) * \text{RPM} * \eta_v}{231}$$

$$\text{LPM} = \frac{V_p (\text{cc} / \text{rev}) * \text{RPM} * \eta_v}{1000}$$

7. ความเร็วของอุปกรณ์การทำงาน (Actuator Speed)

- ความเร็วของกระบอกสูบ :

$$V (\text{in} / \text{min}) = \frac{231 * \text{GPM}}{A (\text{in}^2)}$$

$$V (\text{in} / \text{sec}) = \frac{3.85 * \text{GPM}}{A (\text{in}^2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V \text{ (ft / sec)} = \frac{0.3208 * \text{GPM}}{A \text{ (in }^2 \text{)}}$$

$$V \text{ (ft / sec)} = \frac{0.409 * \text{GPM}}{D^2 \text{ (in }^2 \text{)}}$$

$$V \text{ (m / sec)} = \frac{\text{LPM}}{6 * A \text{ (cm }^2 \text{)}}$$

$$V \text{ (cm / sec)} = \frac{16.66 * \text{LPM}}{A \text{ (cm }^2 \text{)}}$$

- ความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิก :

$$\text{RPM} = \frac{231 * \text{GPM} * \eta_v}{V_m \text{ (in }^3 \text{ / rev)}}$$

$$\text{RPM} = \frac{1000 * \text{LPM} * \eta_v}{V_m \text{ (cc / rev)}}$$

- เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ (Cylinder time)

$$t \text{ (sec)} = \frac{0.2597 * V_c \text{ (in }^3 \text{)}}{\text{GPM}}$$

$$t \text{ (sec)} = \frac{0.06 * V_c \text{ (cm }^3 \text{)}}{\text{LPM}}$$

โดย V_c เป็นปริมาตรความจุของกระบอกสูบ

3. ความเร็วที่น้ำมันไหลผ่านท่อทาง (Velocity of flow through pipes)

$$V \text{ (ft / sec)} = \frac{0.3208 * \text{GPM}}{A \text{ (in }^2 \text{)}}$$

$$V \text{ (ft / sec)} = \frac{0.409 * \text{GPM}}{ID^2 \text{ (in }^2 \text{)}}$$

$$V \text{ (m / sec)} = \frac{\text{LPM}}{6 * A \text{ (cm }^2 \text{)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย V = ความเร็วของน้ำมันที่ไหลในท่อ
 A = พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ
 ID = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix C

ตารางข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ

1. ตารางแสดงรายละเอียดของกระบอกสูบขนาดต่าง ๆ เพื่อพิจารณาเลือกใช้ (ความดันสูงสุดในการทำงาน 2000 psi)

ขนาด กระบอกสูบ	ขนาดของท่อ		OO กิโลกรัม	พื้นที่ผิว (นิ้ว ²)			อัตรา ความดัน พื้นที่ผิว ของท่อ ต่อพื้นที่ผิว ของท่อ	แรงกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm ²)							
	เหล็ก N.P.T.	เหล็ก ขนาด		2 ด้าน ของ ท่อ	2 ด้าน ของ ท่อ	2 ด้าน ของ ท่อ		2000 PSI		1500 PSI		1000 PSI		500 PSI	
								นิ้ว	นิ้ว	นิ้ว	นิ้ว	นิ้ว	นิ้ว	นิ้ว	นิ้ว
1A	1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	3/4" STD.	1.767	1.488	.289	1.21/1.00	364	732	1307	1488	2641	2798	3534	3789
			3/4" HVY.		.982	.783	1.20/1.00		491	982	1488	2641	1473	2534	1764
2	1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1" STD.	2.142	2.307	.165	1.22/1.00	1271	1174	3142	2307	4713	2625	4384	4714
			1" HVY.		1.647	1.485	1.16/1.00		828	3142	1488	4713	2483	4384	3214
2A	1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1" STD.		4.124	.703	1.19/1.00		284		6134		4124		5248
			1" STD. (1.75-1.75 THD.)	4.989	2.484	1.485	1.43/1.00	2458	1712	4713	3524	7284	3124	6818	6848
3	3/4"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1" STD.		6.811	1.485	1.22/1.00		388		6811		6811		13622
			1" STD. (1.75-1.75 THD.)	8.794	3.891	2.485	1.41/1.00	4148	3948	6811	12444	6811	14884	14884	14884
3A	3/4"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1" STD.		7.156	2.142	1.41/1.00		1271		3142		3142		7028
			1" HVY.		3.884	1.485	1.16/1.00		1282		3142		3142		3142
4	1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.	11.366	10.841	2.485	1.26/1.00	4283	3889	10161	10161	12241	12241	12241	12241
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	11.366	9.434	2.142	1.23/1.00	4283	4713	12241	10161	10161	14124	23122	18848
5	3/4"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.		7.488	4.989	1.64/1.00		2833		7884		11889		15222
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	11.366	14.483	3.142	1.19/1.00		4246	10161	14884	24732	32794	32794	32794
6	1"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.	17.625	14.728	4.989	1.23/1.00	6818	7267	19628	14728	34433	22102	37274	24074
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	17.625	10.814	1.621	1.16/1.00		3027	10814	10814	10814	10814	10814	10814
6A	1"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.		13.374	4.989	1.21/1.00		1467		23274		23274		46748
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	17.625	15.653	1.621	1.32/1.00	14122	7267	20274	18622	42411	27497	34348	37274
7	1 1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.		13.709	12.366	1.30/1.00		7824		15708		23642		31414
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	17.625	21.414	7.087	1.23/1.00		12708	21414	21414	4713	4713	4713	4713
7A	1 1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.	31.483	25.179	12.366	1.46/1.00	17342	12708	34483	12708	37274	36874	74974	51828
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	31.483	16.889	11.421	2.04/1.00		14422	18889	18889	18889	18889	18889	18889
8	1 1/2"	3/4" FUSE OD (1.75-1.75 THD.)	1 1/2" STD.	38.263	24.341	13.984	1.46/1.00	23122	17188	28884	24341	72374	31341	108839	64722
			1 1/2" STD. (1.75-1.75 THD.)	38.263	23.739	1.98/1.00		12822		24887		27748		27748	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตารางแสดงรายละเอียดของกระบอกสูบขนาดต่าง ๆ เพื่อพิจารณาเลือกใช้ (ความดันสูงถึง 5000 psi)

BORE	AREA	ROD	SIZE	50	100	250	500	1000	1500	2000	3000	5000
1½	PUSH	—	1½	88	177	443	885	1,770	2,655	3,540	5,310	8,850
	PULL	STD		73	146	363	730	1,460	2,190	2,920	4,380	7,300
2	PULL	2:1	1	49	98	245	490	980	1,470	1,960	2,940	4,900
	PUSH	—	1½	157	314	785	1,570	3,140	4,710	6,280	9,420	15,700
	PULL	STD		118	236	590	1,180	2,360	3,540	4,720	7,080	11,800
	PULL	2:1	1	83	166	415	830	1,660	2,490	3,320	4,980	8,300
2½	PUSH	—	1¾	246	491	1,228	2,455	4,910	7,365	9,820	14,730	24,550
	PULL	STD		206	412	1,030	2,060	4,120	6,180	8,240	12,360	20,600
	PULL	2:1	1¼	125	250	625	1,250	2,500	3,750	5,000	7,500	12,500
	PUSH	—	2	415	830	2,075	4,150	8,300	12,450	16,600	24,900	41,500
	PULL	STD		341	681	1,703	3,405	6,810	10,215	13,620	20,430	34,050
	PULL	2:1	1½	258	515	1,288	2,575	5,150	7,725	10,300	15,450	25,750
4	PUSH	—	2½	628	1,257	3,143	6,285	12,570	18,855	25,140	37,710	62,850
	PULL	STD		508	1,016	2,540	5,080	10,160	15,240	20,320	30,480	50,800
	PULL	2:1	2	383	766	1,915	3,830	7,660	11,490	15,320	22,980	38,300
	PUSH	—	3½	982	1,964	4,910	9,820	19,640	29,460	39,280	58,920	98,200
5	PULL	STD		825	1,649	4,123	8,245	16,490	24,735	32,980	49,470	82,450
	PULL	2:1	2½	500	1,001	2,503	5,005	10,010	15,015	20,020	30,030	50,050
6	PUSH	—	4	1,413	2,827	7,068	14,135	28,270	42,405	56,540	84,810	141,350
	PULL	STD		1,168	2,336	5,840	11,680	23,360	35,040	46,720	70,080	116,800
	PULL	2:1	3	786	1,571	3,928	7,855	15,710	23,565	31,420	47,130	78,550
	PUSH	—	5	1,924	3,849	9,623	19,245	38,490	57,735	76,980	115,470	192,450
7	PULL	STD		1,571	3,142	7,855	15,710	31,420	47,130	62,840	94,260	157,100
	PULL	2:1	3½	942	1,885	4,713	9,425	18,850	28,275	37,700	56,500	94,250
8	PUSH	—	5½	2,514	5,027	12,568	25,135	50,270	75,405	100,540	150,810	251,350
	PULL	STD		2,032	4,064	10,160	20,320	40,640	60,960	81,280	121,920	203,200
	PULL	2:1	4½	1,326	2,651	6,628	13,255	26,510	39,765	53,020	79,530	132,550
	PUSH	—	7	3,927	7,854	19,635	39,270	78,540	117,810	157,080	235,620	392,700
10	PULL	STD		3,132	6,264	15,660	31,320	62,640	93,960	125,280	187,920	313,200
	PULL	2:1		2,003	4,006	10,015	20,030	40,060	60,090	80,120	120,180	200,300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตารางแสดงการประมาณหากำลังม้าของมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ที่ใช้ปั๊มอย่างคร่าว ๆ
 “ ที่อัตราการไหล 1 GPM ความดัน 1500 lb / in² ต้องใช้กำลังขับเคลื่อน 1 H.P. “

GPM	500 PSI	750 PSI	1000 PSI	1250 PSI	1500 PSI	1750 PSI	2000 PSI	2500 PSI	3000 PSI	5000 PSI
3	1.03	1.54	2.06	2.57	3.09	3.60	4.12	5.15	6.18	10.3
5	1.72	2.57	3.43	4.29	5.15	6.00	6.86	8.58	10.3	17.2
8	2.75	4.12	5.49	6.86	8.24	9.61	11.0	13.7	16.5	27.5
10	3.43	5.15	6.86	8.58	10.3	12.0	13.7	17.2	20.6	34.3
12	4.12	6.18	8.24	10.3	12.4	14.4	16.5	20.6	24.7	41.2
15	5.15	7.72	10.3	12.9	15.4	18.0	20.6	25.7	30.9	51.5
20	6.86	10.3	13.7	17.2	20.6	24.0	27.5	34.3	41.2	68.6
25	8.58	12.9	17.2	21.4	25.7	30.0	34.3	42.9	51.5	85.8
30	10.3	15.4	20.6	25.7	30.9	36.0	41.2	51.5	61.8	103
40	13.7	20.6	27.5	34.3	41.2	48.0	54.9	68.6	82.4	137
50	17.2	25.7	34.3	42.9	51.5	60.0	68.6	85.8	103	172
60	20.6	30.9	41.2	51.5	61.8	72.1	82.4	103	124	206
70	24.0	36.0	48.0	60.0	72.1	84.1	96.1	120	144	240
80	27.5	41.2	54.9	68.6	82.4	96.1	110	137	165	275
100	34.3	51.5	68.6	85.8	103	120	137	172	206	343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตารางแสดงขนาดของรูปร่างที่เหมาะสมกับอัตราไหลปกติ

ช่องต่อวาล์วขนาดท่อทาง (in)	ขนาดวาล์ว อัตราการไหลปกติ (gpm)
$\frac{1}{6}$	สูงกว่า 2
$\frac{1}{4}$ และ $\frac{3}{8}$	สูงกว่า 8
$\frac{1}{2}$ และ $\frac{3}{4}$	สูงกว่า 20
$\frac{3}{4}$ และ 1	40
$1\frac{1}{4}$ และ $1\frac{1}{2}$	85
2	180
3	320

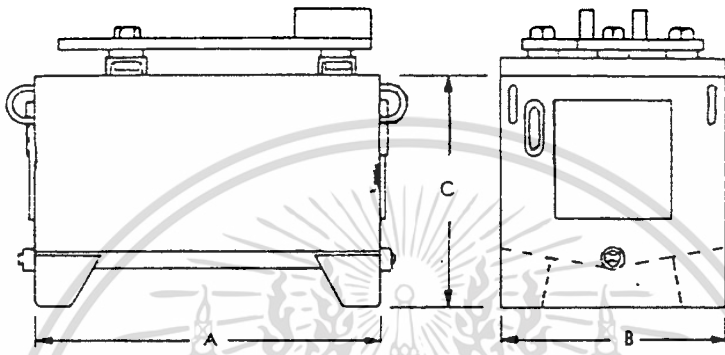
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตารางแสดงอัตราทนความดันของสายไฮดรอลิกตามมาตรฐาน SAE

สายไฮดรอลิก		ID (in)	OD (in)	พื้นที่ภายใน (in ²)	อัตราการไหล GPM @ 10 FPS	รัศมีสายไฮดรอลิก ได้น้อยที่สุด(in)	ความดัน (psi)	
ขนาด	SAE						ทำงาน	ระเบิด
3/16	100-R1	3/16	1/2	.0276	.866	4	3000	12000
3/16	100-R2A	3/16	5/8	.0276	.866	4	5000	20000
-4	100-R5	3/16	33/64	.0276	.866	3	3000	12000
1/4	100-R1	1/4	5/8	.0491	1.54	4	2750	11000
1/4	100-R2A	1/4	11/16	.0491	1.54	4	5000	20000
1/4	100-R3	1/4	9/16	.0491	1.54	3	1250	5000
-5	100-R5	1/4	37/64	.0491	1.54	3 3/4	2500	10000
5/16	100-R1	5/16	11/16	.0767	2.40	5	2500	10000
5/16	100-R2A	5/16	3/4	.0767	2.40	4 1/2	4250	17000
-6	100-R5	5/16	43/64	.0767	2.40	4	2250	9000
3/8	100-R1	3/8	25/32	.1104	3.46	5	2250	9000
3/8	100-R2A	3/8	27/32	.1104	3.46	5	4000	16000
3/8	100-R3	3/8	3/4	.1104	3.46	4	1125	4500
13/32	100-R1	13/32	13/16	.1296	4.06	5 1/2	2250	9000
-8	100-R5	13/32	49/64	.1296	4.06	4 1/2	2000	8000
1/2	100-R1	1/2	29/32	.1963	6.15	7	2000	8000
1/2	100-R2A	1/2	31/32	.1963	6.15	7	3500	14000
1/2	100-R3	1/2	15/16	.1963	6.15	5	1000	4000
-10	100-R5	1/2	59/64	.1963	6.15	5	1750	7000
5/8	100-R1	5/8	1 1/32	.3068	9.61	8	1500	6000
5/8	100-R2A	5/8	1 1/32	.3068	9.61	8	2750	11000
-12	100-R5	5/8	1 1/32	.3068	9.61	6 1/2	1500	6000
3/4	100-R1	3/4	1 1/16	.4418	13.8	9 1/2	1250	5000
3/4	100-R2A	3/4	1 1/8	.4418	13.8	9 1/2	2250	9000
3/4	100-R3	3/4	1 1/4	.4418	13.8	6	750	3000
3/4	100-R4	3/4	1 1/4	.4418	13.8	5	300	1200
7/8	100-R1	7/8	1 5/8	.6013	18.8	11	1125	4500
7/8	100-R2A	7/8	1 5/8	.6013	18.8	11	2000	8000
-16	100-R5	7/8	1 5/8	.6013	18.8	7 3/4	800	3200
1	100-R1	1	1 1/2	.7854	24.6	11	1000	4000
1	100-R2A	1	1 1/2	.7854	24.6	11	2000	8000
1	100-R3	1	1 1/2	.7854	24.6	8	550	2250
1	100-R4	1	1 1/2	.7854	24.6	6	250	1000
-20	100-R5	1 1/8	1 1/2	.9940	31.1	9	625	2500
1 1/4	100-R1	1 1/4	1 3/4	1.227	38.4	16	625	2500
1 1/4	100-R2A	1 1/4	2	1.227	38.4	16 1/2	1625	6500
1 1/4	100-R3	1 1/4	1 3/4	1.227	38.4	10	375	1500
1 1/4	100-R4	1 1/4	1	1.227	38.4	8	200	800
-24	100-R5	1 3/8	1 3/4	1.485	46.5	10 1/2	500	2000
1 1/2	100-R1	1 1/2	2 1/16	1.767	55.4	20	500	2000
1 1/2	100-R2A	1 1/2	2 1/8	1.767	55.4	20	1250	5000
1 1/2	100-R4	1 1/2	2 1/8	1.767	55.4	10	150	600
-32	100-R5	1 3/4	2 1/4	2.580	80.8	13 1/4	350	1400
2	100-R1	2	2 3/4	3.142	98.4	25	375	1500
2	100-R2A	2	2 3/4	3.142	98.4	22	1125	4500
2	100-R4	2	2 1/2	3.142	98.4	12	100	400
2 1/2	100-R4	2 1/2	3 1/8	4.909	154.	14	65	250
3	100-R4	3	3 1/2	7.069	221.	18	55	225
3 1/2	100-R4	3 1/2	4 1/8	9.621	301.	22	50	200
4	100-R4	4	4 3/4	12.566	394.	26	50	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รูปและตารางแสดงขนาดของถังพัก



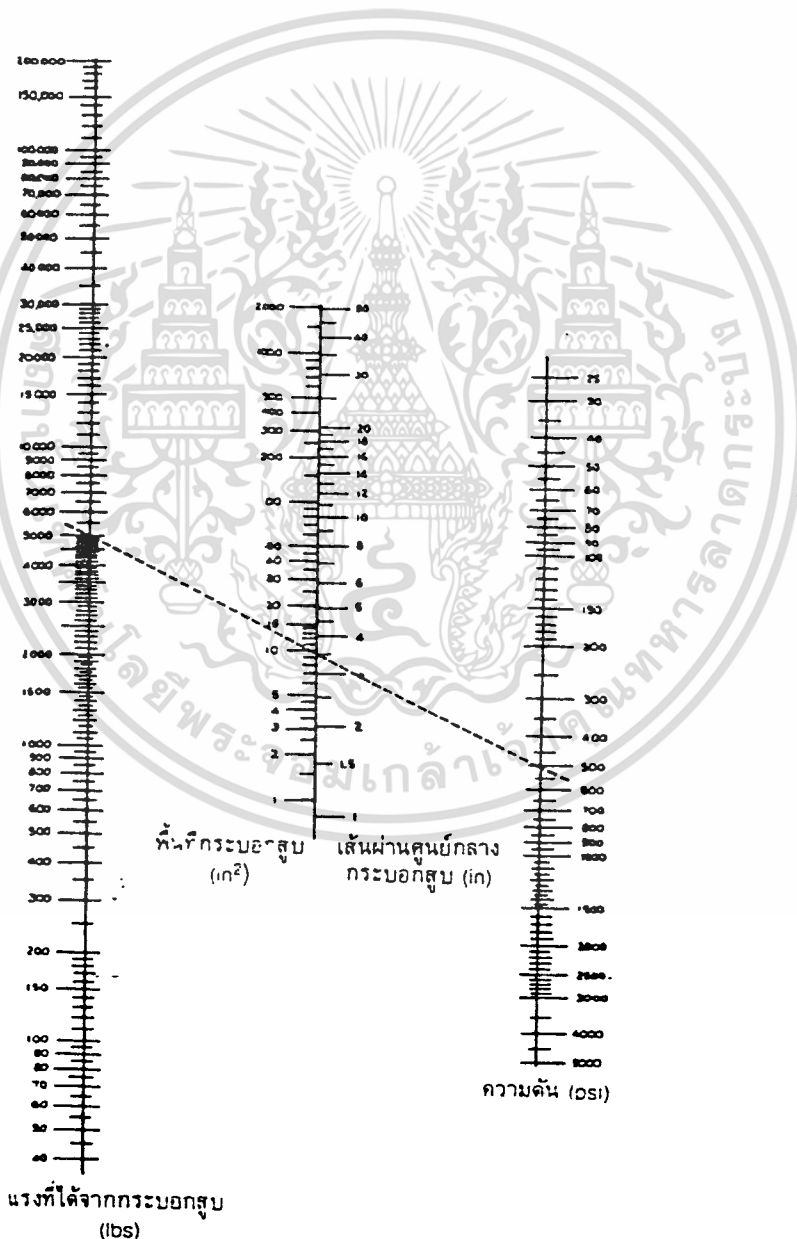
ปริมาณของ สารเคมี (kg)	15	30	45	60	100	150	200	350	500
A*	26	29	36	44½	54	60	64	72½	96
B*	17	24	24	27	30	32½	34	40½	40
C*	18	20	22	23½	25½	29	33	41½	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix D

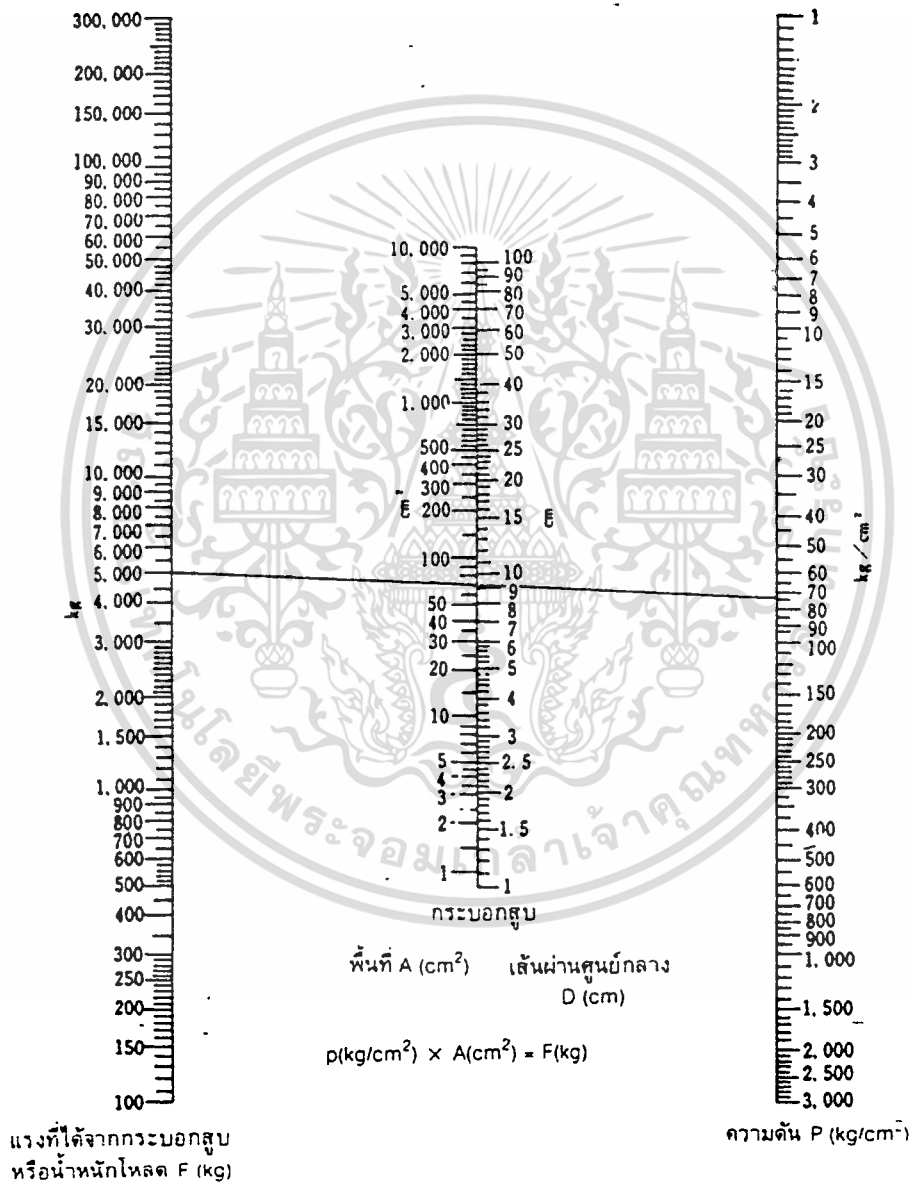
แผนภูมิหาค่าต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิก

1. แผนภูมิใช้หาค่าแรงที่ได้จากกระบอกสูบ ขนาดกระบอกสูบและความดันใช้งานในหน่วยอังกฤษ แผนภูมินี้ถ้าใช้หาขนาดกระบอกสูบที่จะใช้งานค่า F ในแผนภูมิจะหมายถึงน้ำหนักของไหลที่ได้

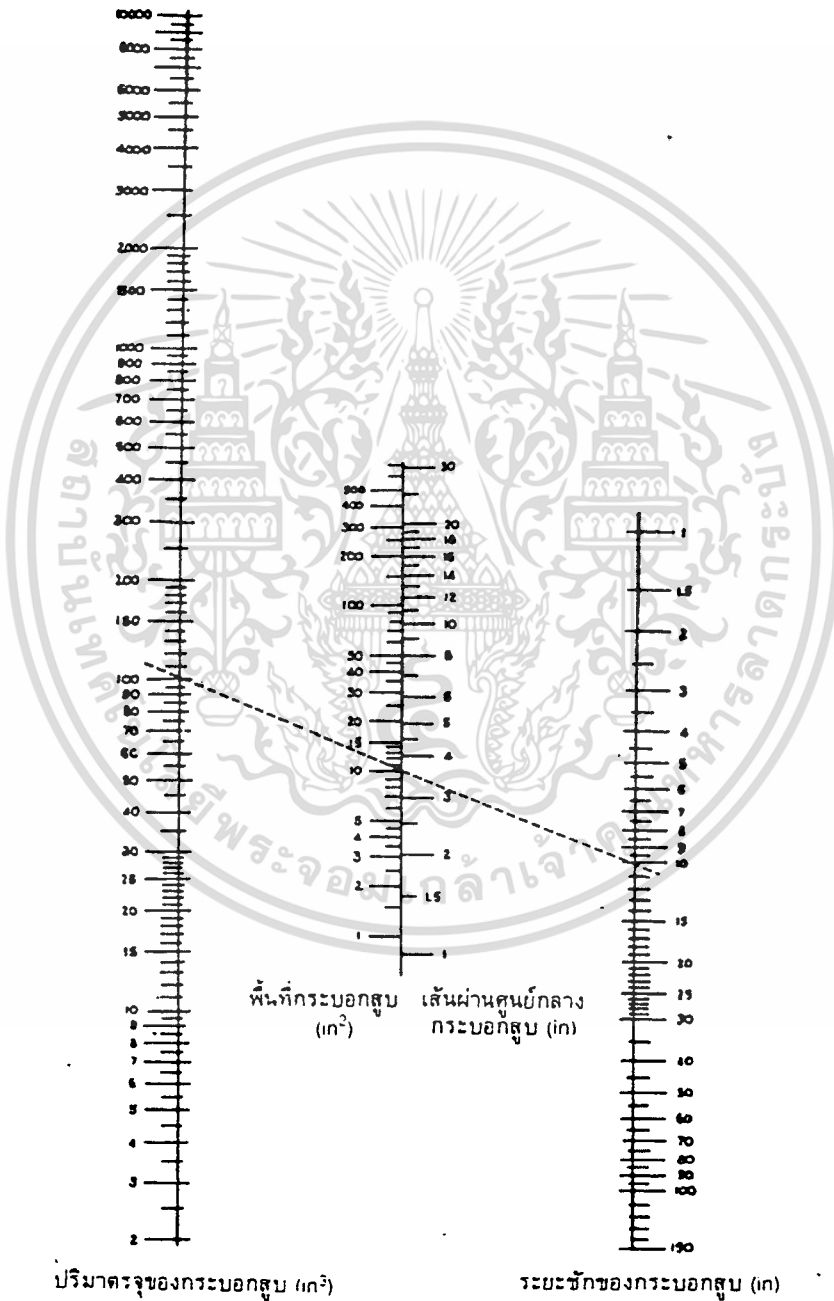


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แผนภูมิใช้หาค่าแรงที่ได้จากกระบอกสูบ ขนาดกระบอกสูบ และความดันใช้งานในหน่วยเมตริก

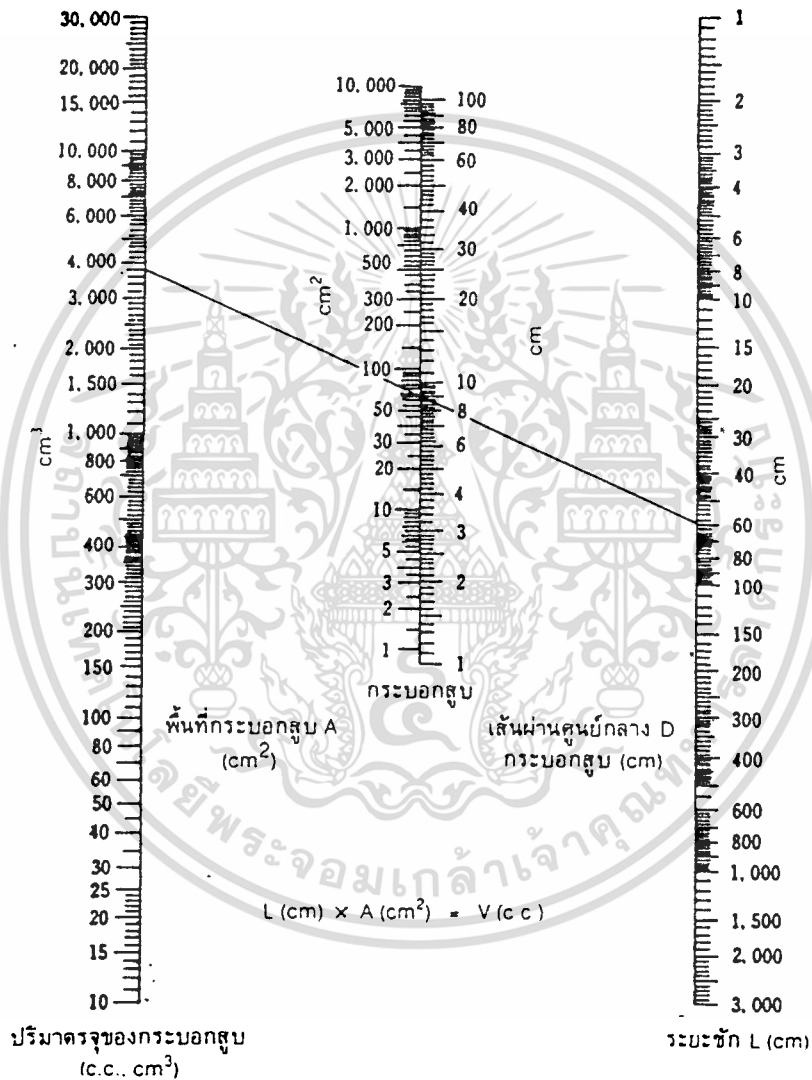


3. แผนภูมิใช้หาค่าปริมาตรของกระบอกสูบหรือปริมาณน้ำมันที่จะใช้กับกระบอกสูบ ในหน่วย
อังกฤษ



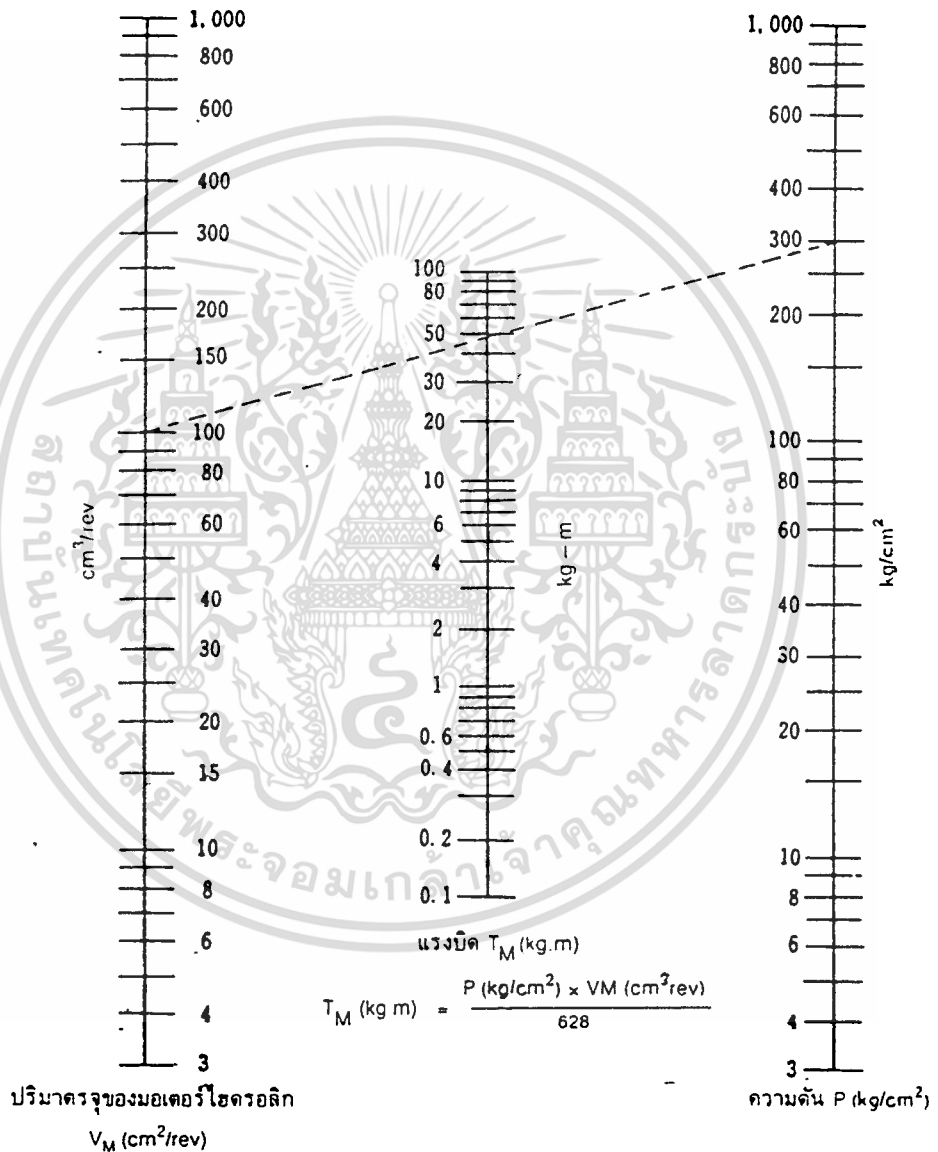
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แผนภูมิใช้หาค่าปริมาตรของกระบอกสูบหรือปริมาณน้ำมันที่จะใช้กับกระบอกสูบ ในหน่วยเมตริก



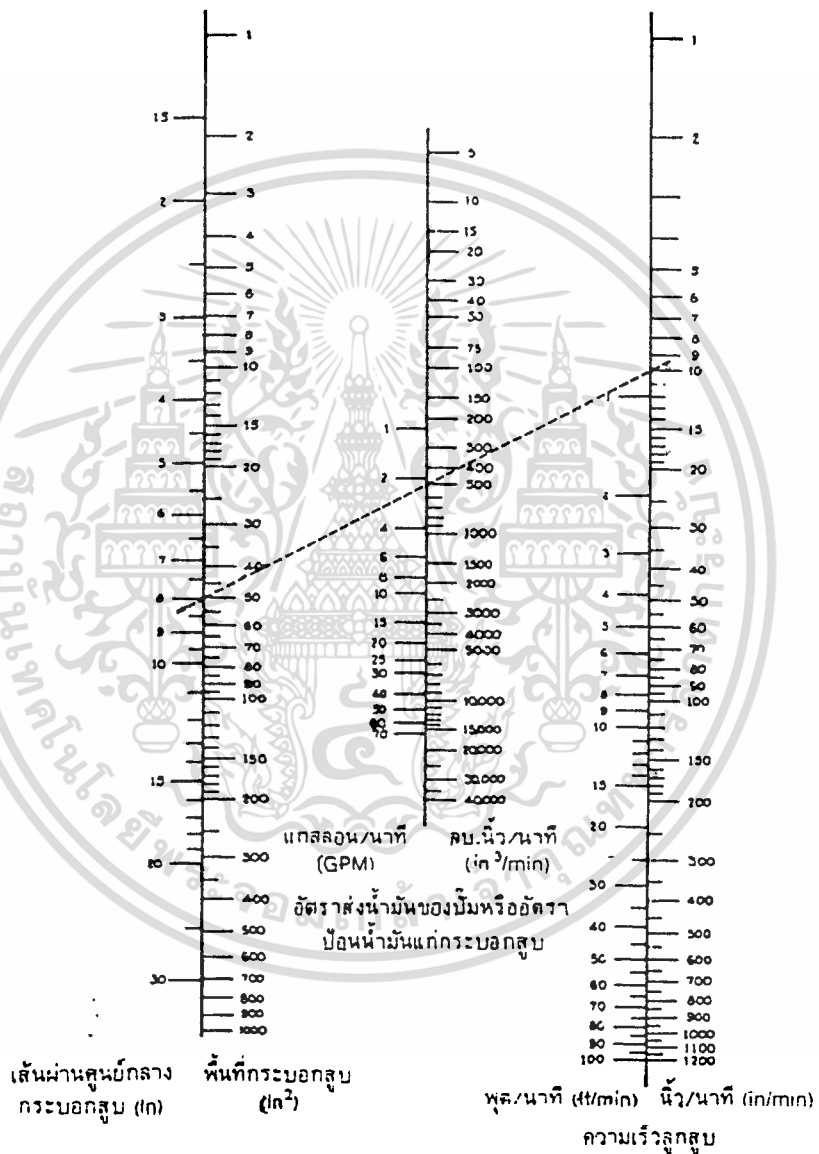
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แผนภูมิใช้หาปริมาตรหรือขนาดของมอเตอร์ไฮดรอลิก



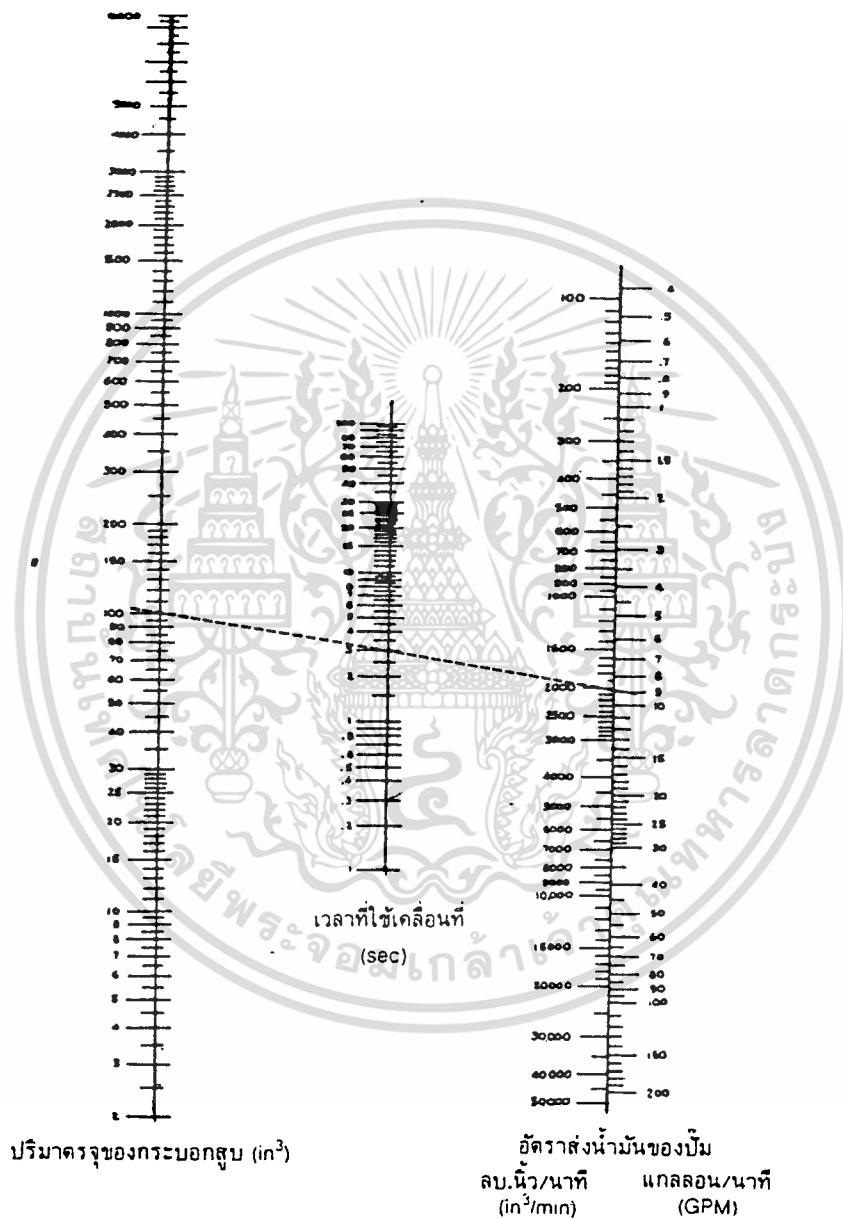
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แผนภูมิใช้หาอัตราปั๊มน้ำมันแก่กระบอกสูบหรืออัตราส่งน้ำมันของปั๊ม



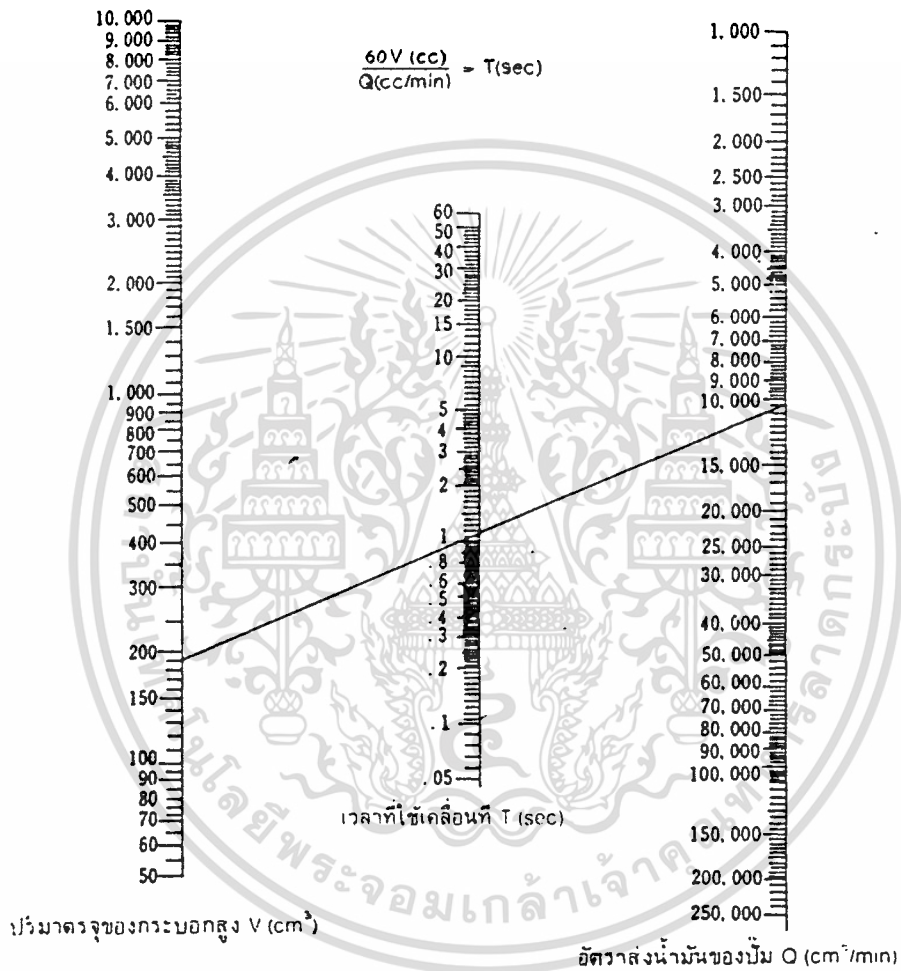
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แผนภูมิใช้เวลาที่ใช้เคลื่อนที่ของกระบอกสูบ ในหน่วยอังกฤษ



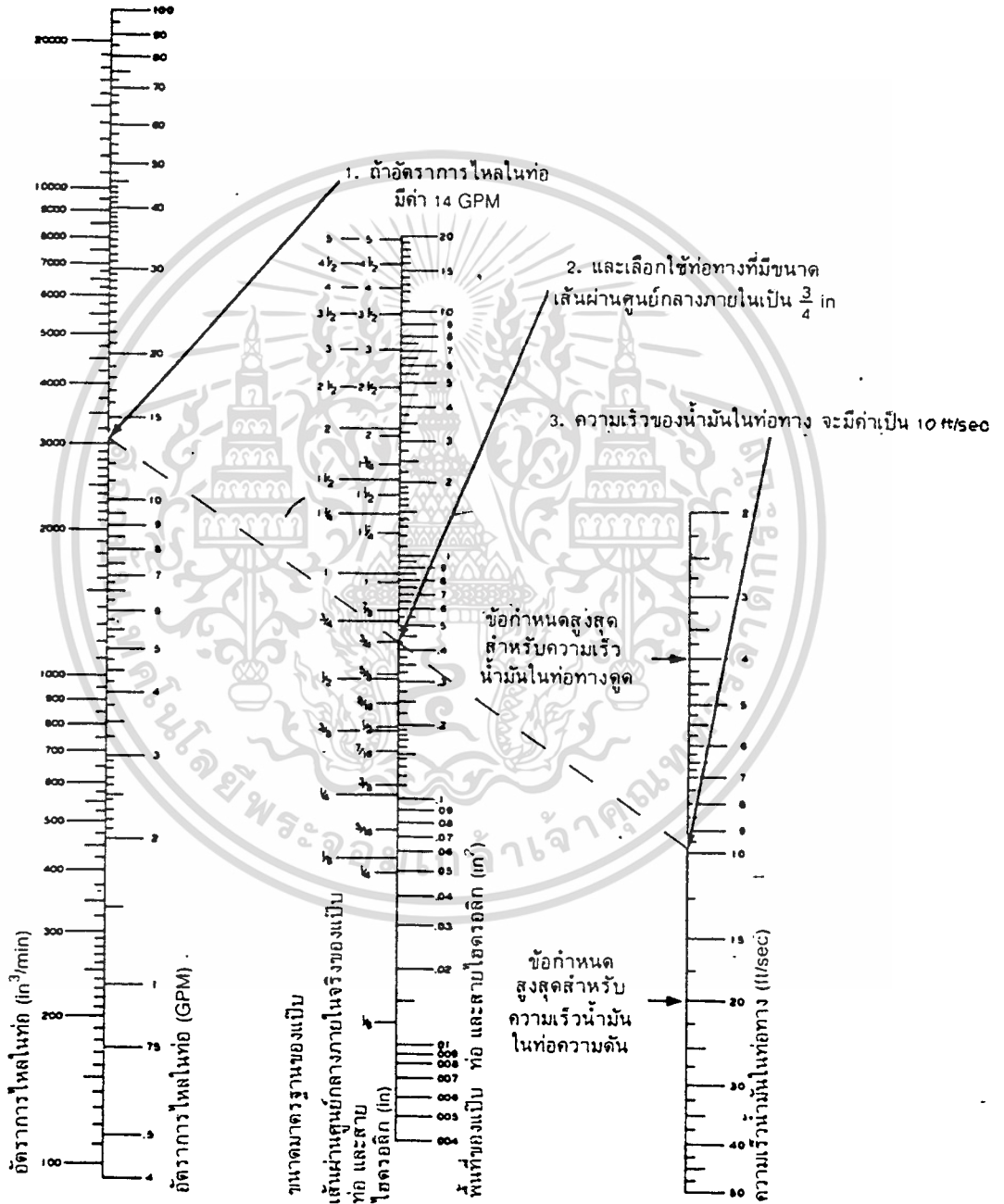
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. แผนภูมิหาเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ของกระบอกสูบ ในหน่วยเมตริก



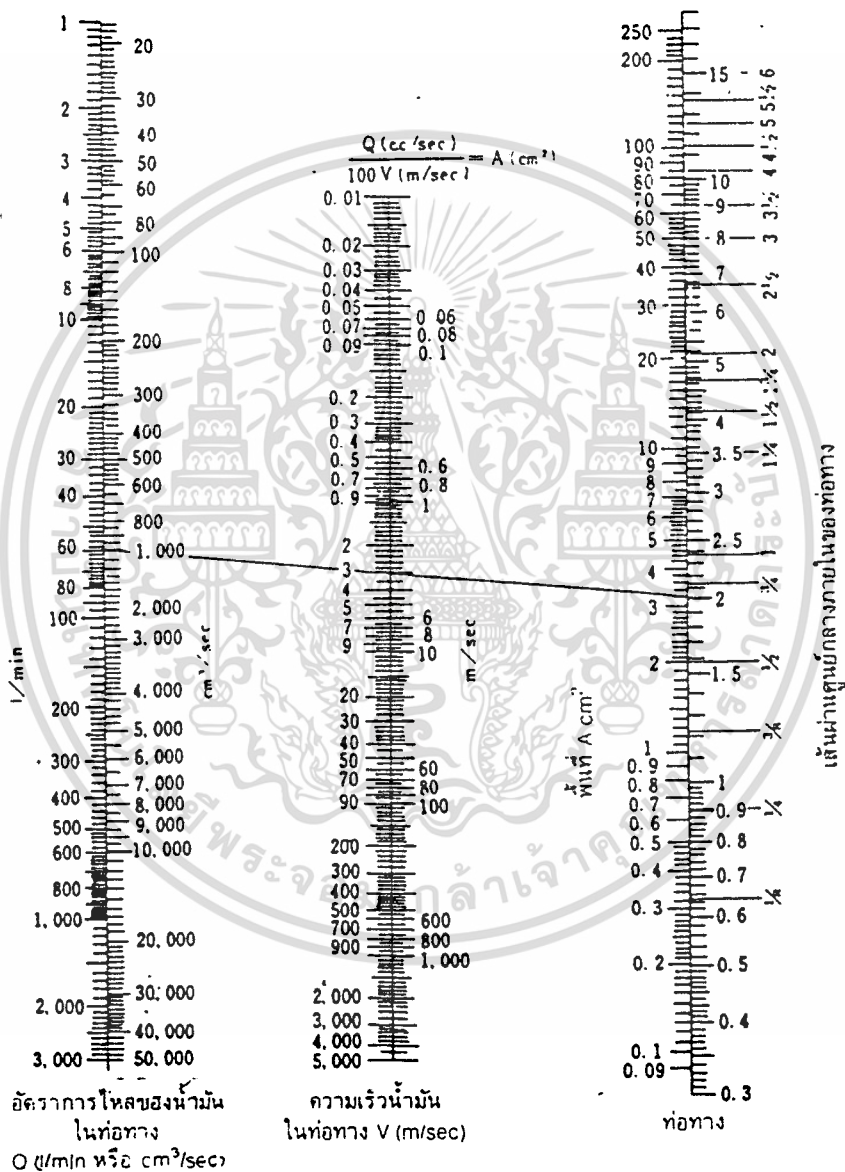
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. แผนภูมิใช้หาขนาดท่อทางที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก ในหน่วยอังกฤษ



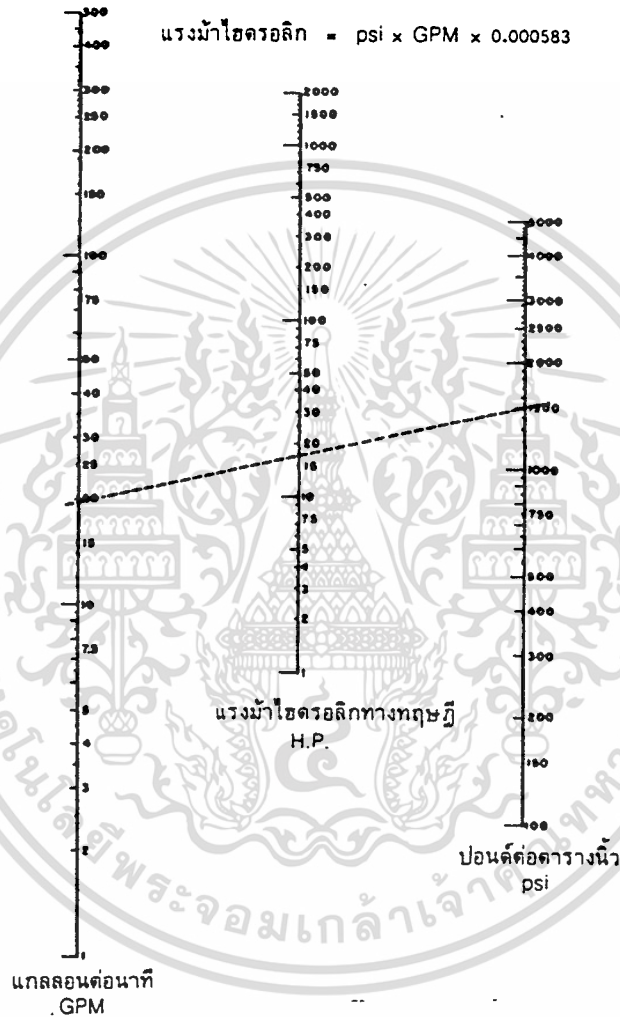
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. แผนภูมิใช้หาขนาดท่อทางที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก ในเมตริก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. แผนภูมิใช้หาแรงม้าไฮดรอลิกทางทฤษฎีในหน่วยอังกฤษ (กำหนดประสิทธิภาพเป็น 100 %)



แรงม้าที่ใช้ปั๊มจริง

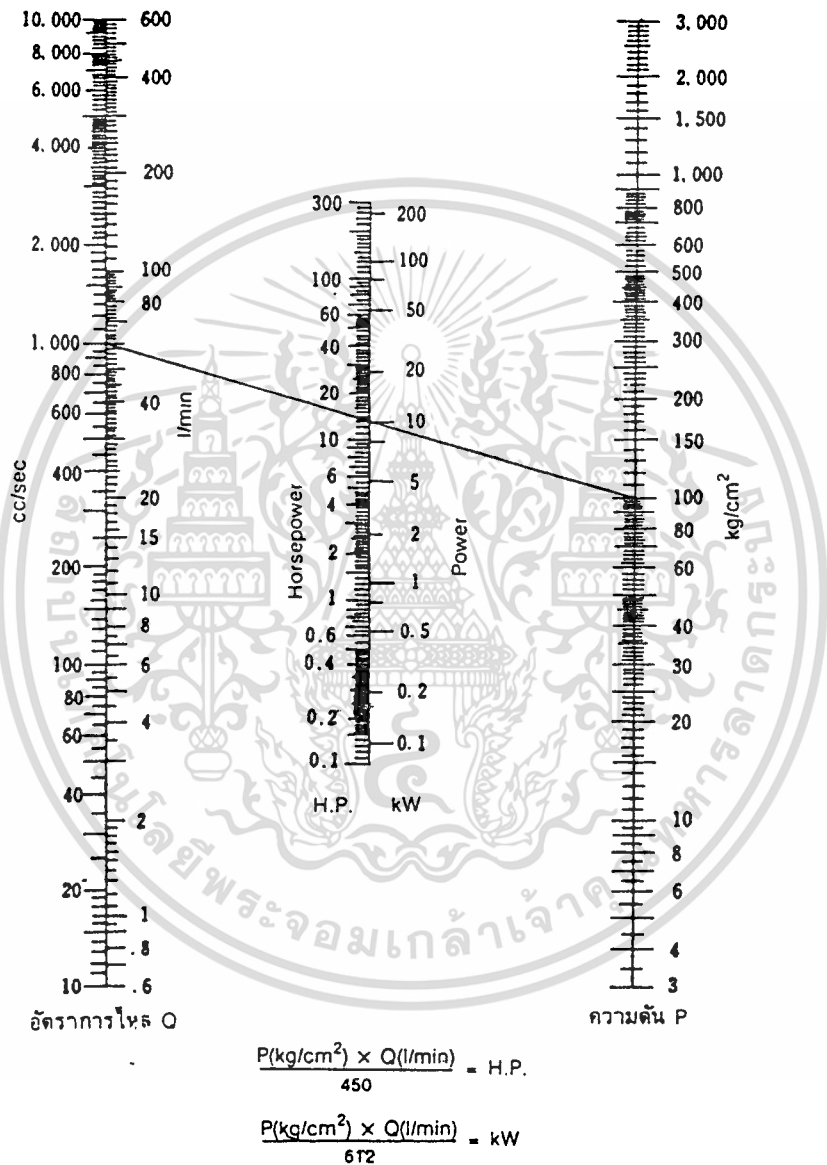
$$= \frac{\text{แรงม้าไฮดรอลิกทางทฤษฎี}}{\text{ประสิทธิภาพปั๊ม}}$$

แรงม้าที่ได้จากมอเตอร์ไฮดรอลิกจริง

$$= \text{แรงม้าไฮดรอลิกทางทฤษฎี} \times \text{ประสิทธิภาพมอเตอร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. แผนภูมิใช้หาแรงม้าไฮดรอลิกทางทฤษฎีในหน่วยเมตริก (กำหนดประสิทธิภาพเป็น 100 %)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX E

ชุดคำสั่งสำหรับควบคุม ไมโครคอลโทรลเลอร์ Z - 80

```

(2000) START  LD  A,MAX1      3E X1
                LD  BC,2512H    01 12 25
                LD  (BC),A      02
                LD  A,MAX2      3E X2
                LD  BC,2510H    01 10 25
                LD  (BC),A      02
                LD  A,MIN2      3E X3
                INC  BC          03
                LD  (BC),A      02
                LD  A,92H       3E 92
                OUT (23),A      D3 23
LOOP2:         LD  A,01H       3E 01
                OUT (22),A      D3 22
                CALL DELAY1     CD 00 28
                LD  A,00H       3E 00
                OUT (22),A      D3 22
                CALL DELAY2     CD 00 26
                LD  C,20H       0E 20
                IN  A,(C)       ED 78
                LD  HL,2500H    21 00 25
                LD  (HL),A      77
                LD  BC,2512H    01 12 25
                LD  A,(BC)      0A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	CPD	ED	A9
	JP Z,LOOP1	CA	3D 20
	JP P,LOOP1	F2	3D 20
	CALL SOUND	CD	00 27
	JP LOOP2	C3	14 20
LOOP5:	NOP		00
LOOP1:	LD HL,2513H	21	13 25
	LD BC,2500H	01	00 25
	LD A,(BC)		0A
	CPD	ED	A9
	JP Z,LOOP10	CA	52 20
	JP P,LOOP10	F2	52 20
	CALL SOUND	CD	00 29
	JP LOOP2	C3	14 20
(2052) LOOP10:	LD A,01H	3E	01
	OUT (22),A	D3	22
	CALL DELAY1	CD	00 28
	LD A,00H	3E	00
	OUT (22),A	D3	22
	CALL DELAY2	CD	00 26
	LD C,21H	0E	21
	IN A,(C)	ED	78
	LD HL,2511H	21	11 25
	LD BC,2501H	01	01 25
	LD (BC),A		02
	CPD	ED	A9
	JP Z,LOOP4	CA	84 20
	JP P,LOOP4	F2	84 20
	JP LOOP3	C3	76 20

```

(2076) LOOP3:  LD  A,02H      3E 02
                OUT (22),A      D3 22
                CALL DELAY2     CD 00 30
                LD  A,00H      3E 00
                OUT (22),A      D3 22
                JP  LOOP5       C3 3C 20

```

```

(2084) LOOP4:  LD  HL,2501H   21 01 25
                LD  BC,2510H   21 10 25
                LD  A,(BC)     0A
                CPD             ED A9
                JP  Z,LOOP6     CA A1 20
                JP  P,LOOP6     F2 A1 20
                LD  A,04H      3E 04
                OUT (22),A      D3 22
                CALL DELAY2     CD 00 30
                LD  A,00H      3E 00
                OUT (22),A      D3 22
                JP  LOOP5       C3 3C 20

```

```

(20A1) LOOP6:  NOP             00
                JP  START      C3 00 20

```

```

*****
SUBROUTINE      (DELAY1)      2800
                PUSH BC       C5
                LD  B,FFH     06 FF
                DJNZ E         10 EE
                POP  BC        C1
                RET            C9

```

```

*****
SUBROUTINE      (DELAY2)      2600

```

```

LD A,2AH      3E 15
JUMP          LD HL,3000H      21 00 30
LD DE,3000H   11 00 30
LD BC,OFFFH   01 FF 0F
LDIR          ED B0
DEC A         3D
JPNZ JUMP     C2 02 26
RET          C9

```

```

SUBROUTINE (SOUND) 2700 (HI)
LD A,80      3E 80
OUT (03),A   D3 03
LD A,FF      3E FF
OUT (00),A   D3 00
LD B,AA      06 AA
DJNZ        10 FE
LD A,00      3E 00
OUT (00),A   D3 00
LD B,AA      06 AA
DJNZ        10 FE
                25
JPNZ,2706    C2 06 27
RET          C9

```

```

SUBROUTINE (SOUND) 2900 (LOW)
LD A,80      3E 80
OUT (03),A   D3 03
LD A,FF      3E FF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OUT (00),A          D3 00
LD B,FF             06 FF
DJNZ                 10 FE
LD A,00             3E 00
OUT (00),A          D3 00
LD B,FF             06 FF
DJNZ                 10 FE

```

25

JPNZ,2906 C2 06 29

RET C9

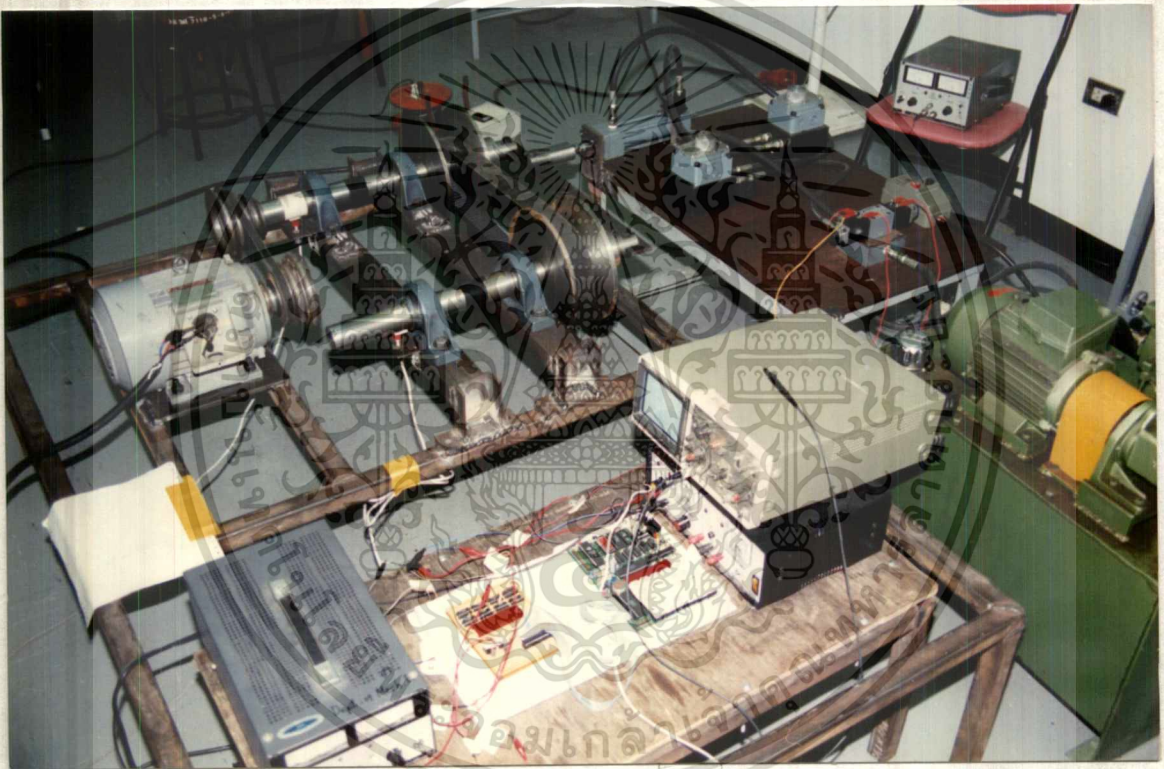
```

SUBROUTINE          3000 (DELAY HY)
LD A,01             3E 01
JUMP: LD HL,9000H   21 00 90
LD DE,9000H        11 00 90
LD BC,0FFFH        01 FF 0F
LDIR                ED B0
DEC A               3D
JPNZ JUMP           C2 02 30
RET                 C9

```

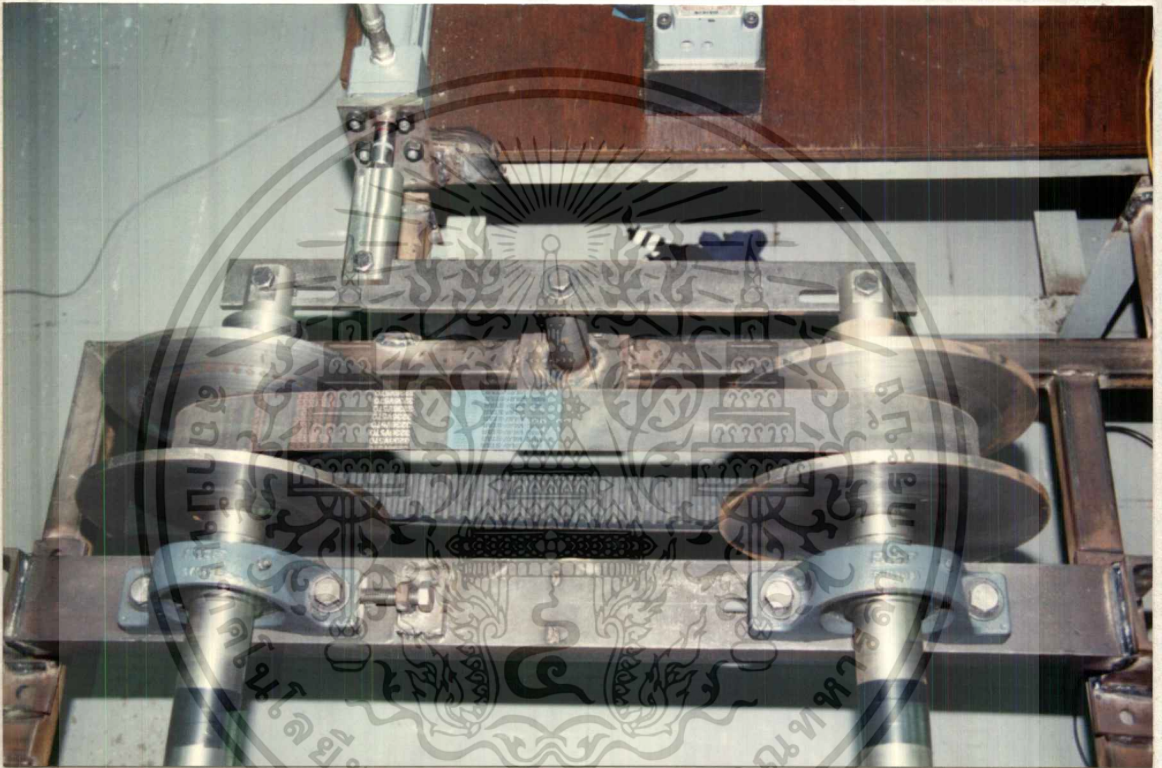
Appendix F

รูปภาพแสดงอุปกรณ์ส่วนต่างๆของชุด
Continuously Variable Transmission



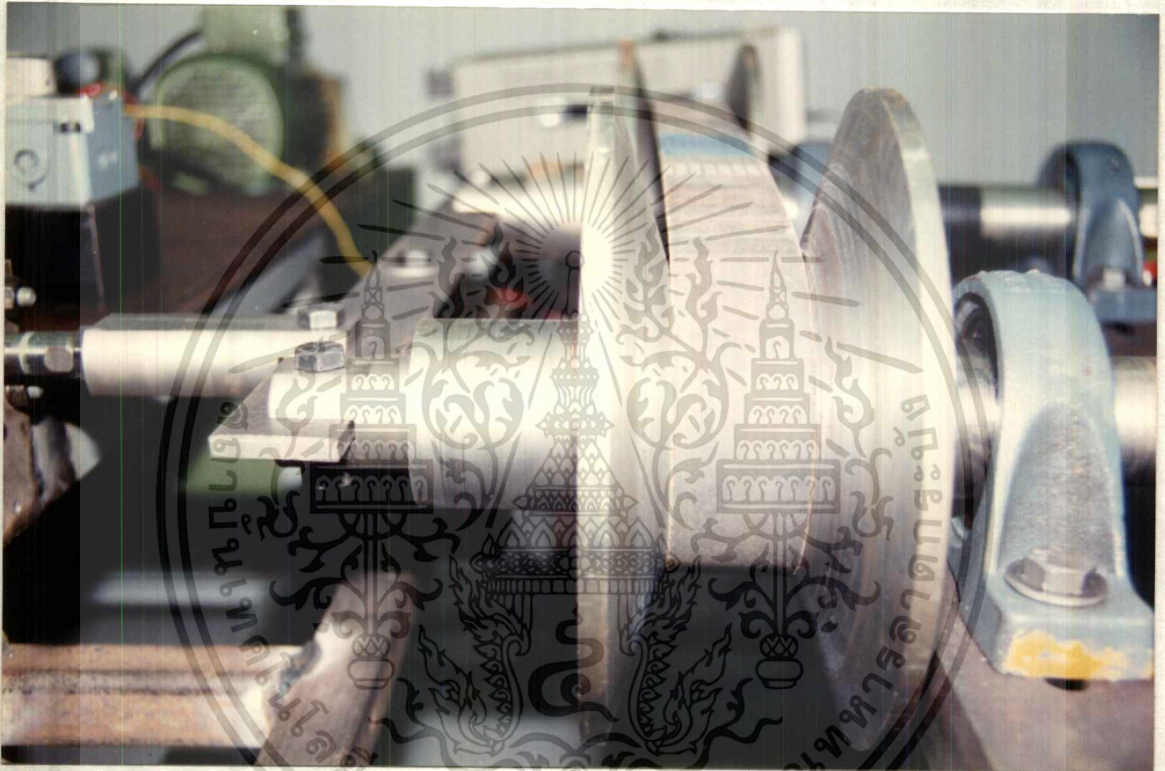
รูป F-1 ชุด Continuously Variable Transmission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



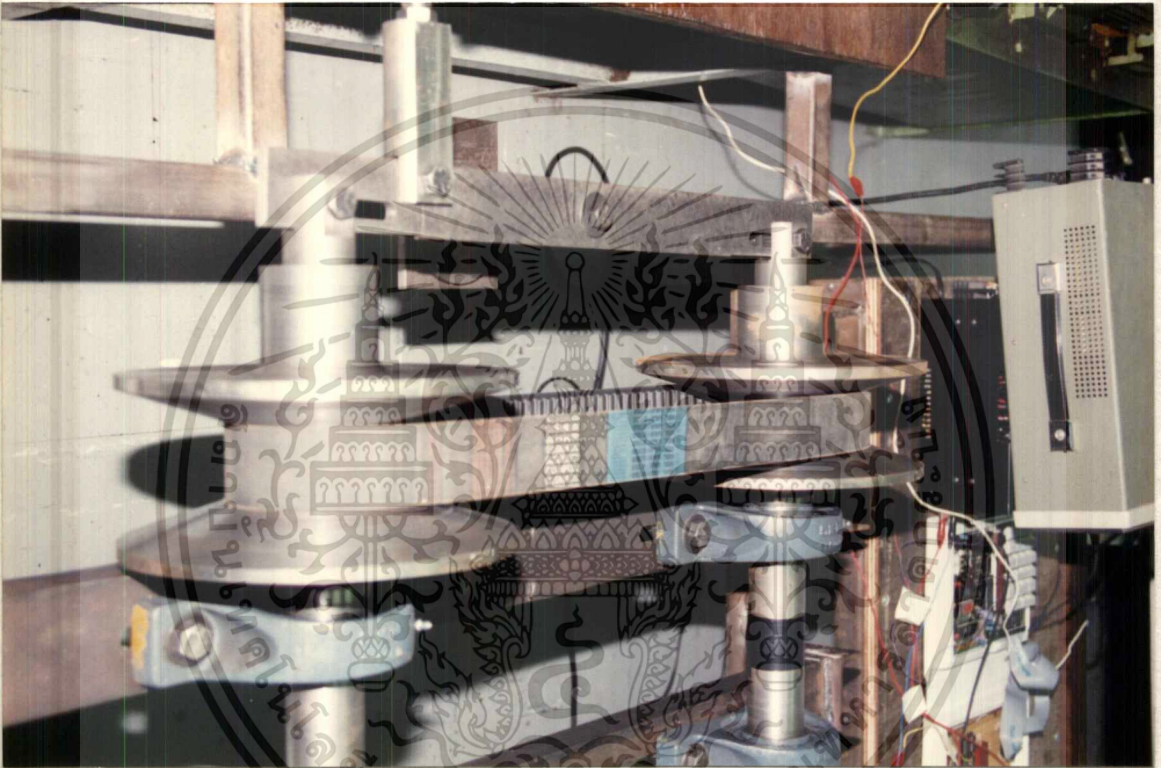
รูป F-2 ชุดล้อสายพานแบบปรับขนาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



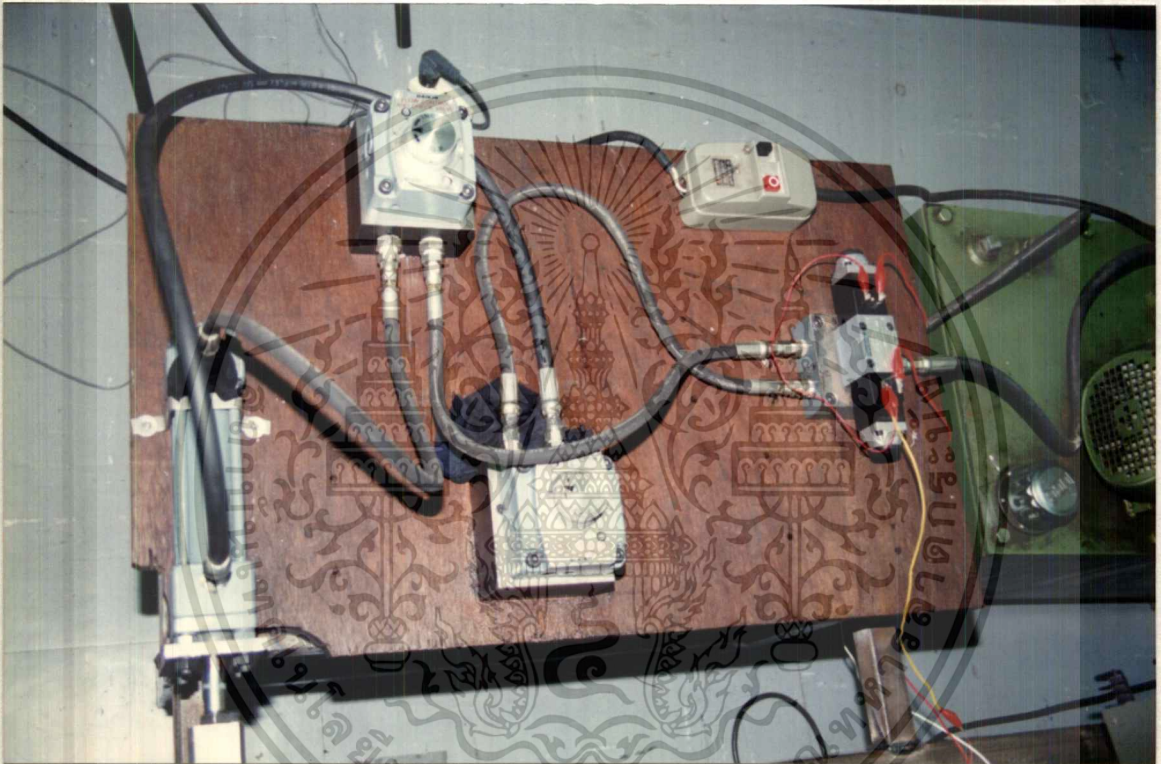
รูป F-3 งานล้อสายพานแบบปรับขนาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



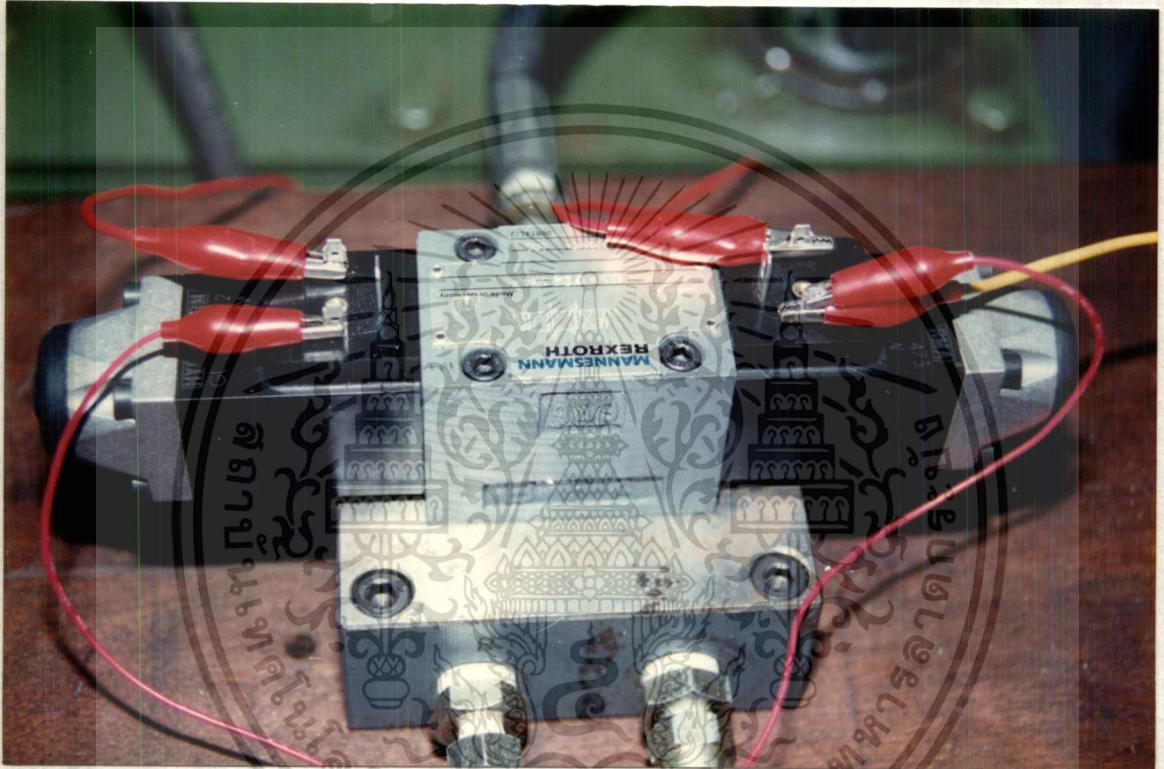
รูป F-4 คานเหล็กซึ่งเชื่อมระหว่างจานล้อสายพานทั้ง 2 จาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



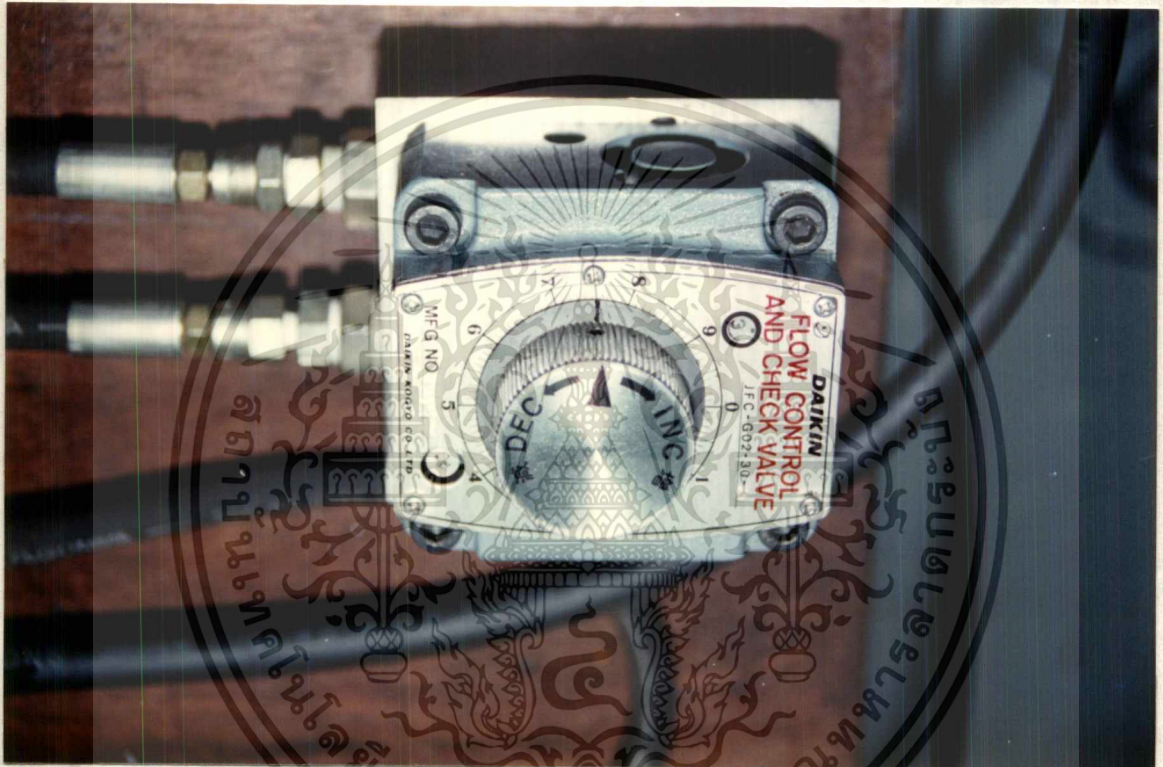
รูป F-5 ชุดควบคุมทางไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



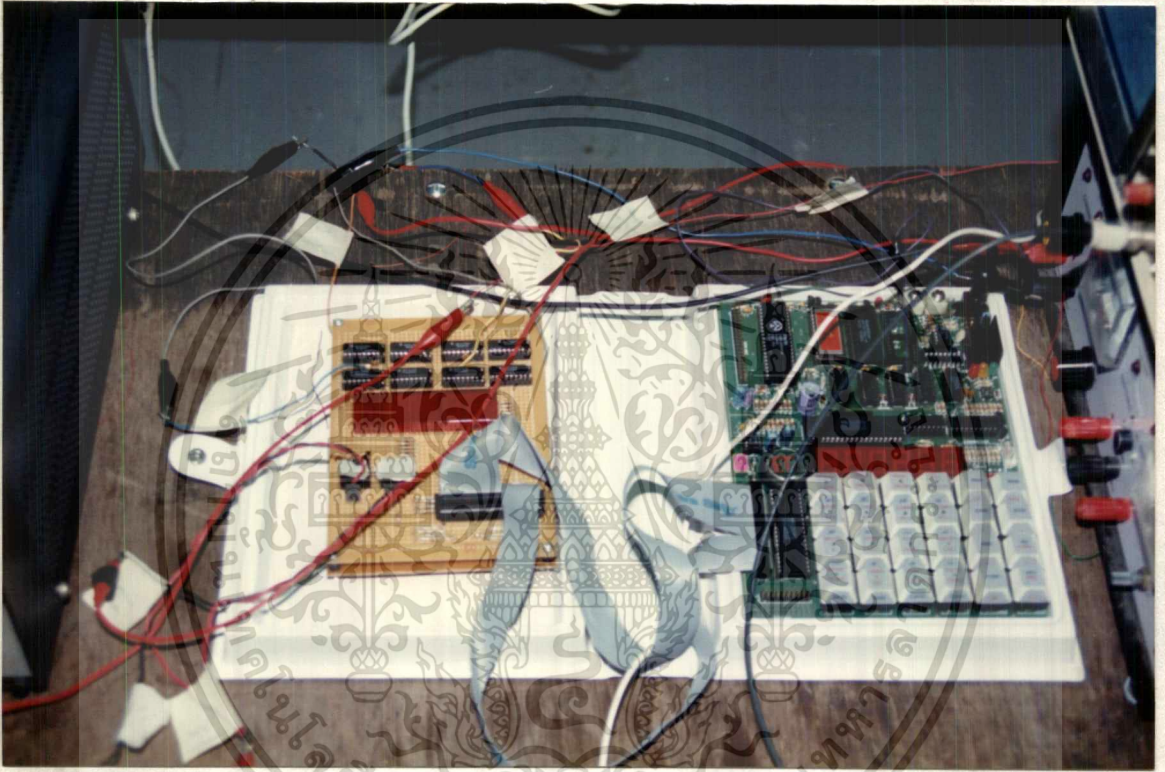
รูป F-6 วาล์วควบคุมทิศทางการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



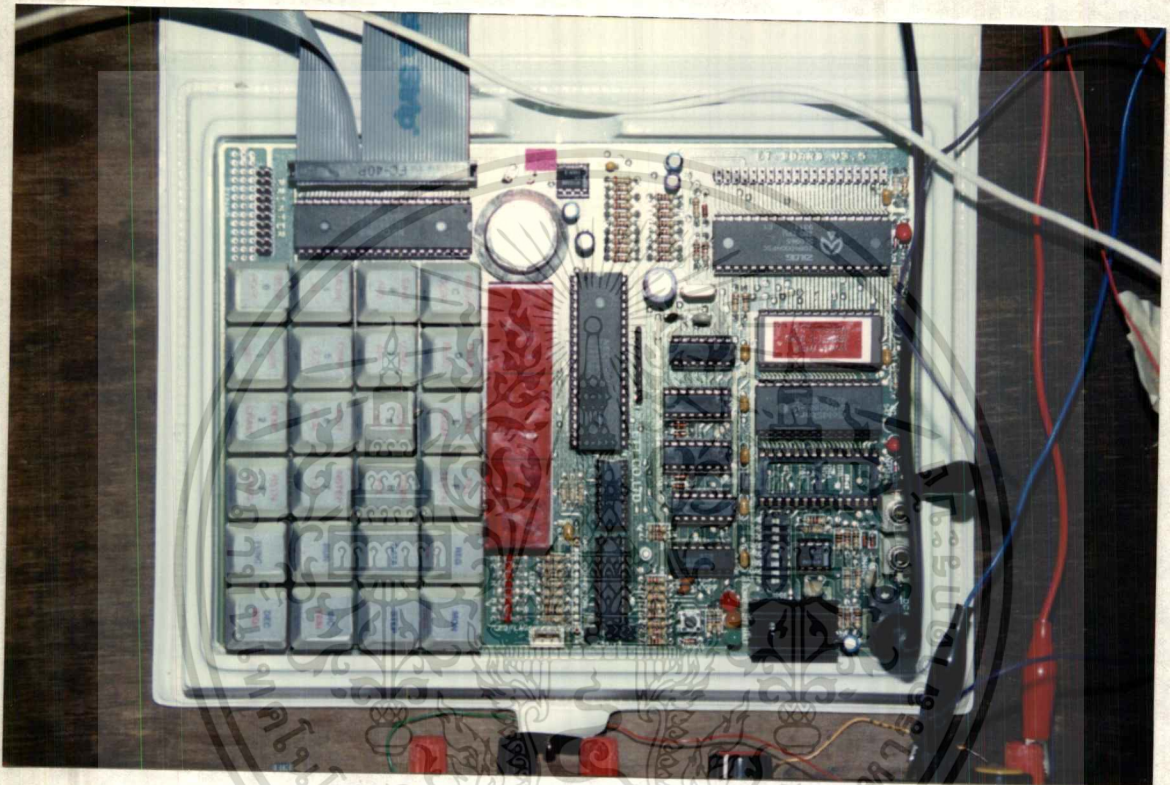
รูป F-7 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



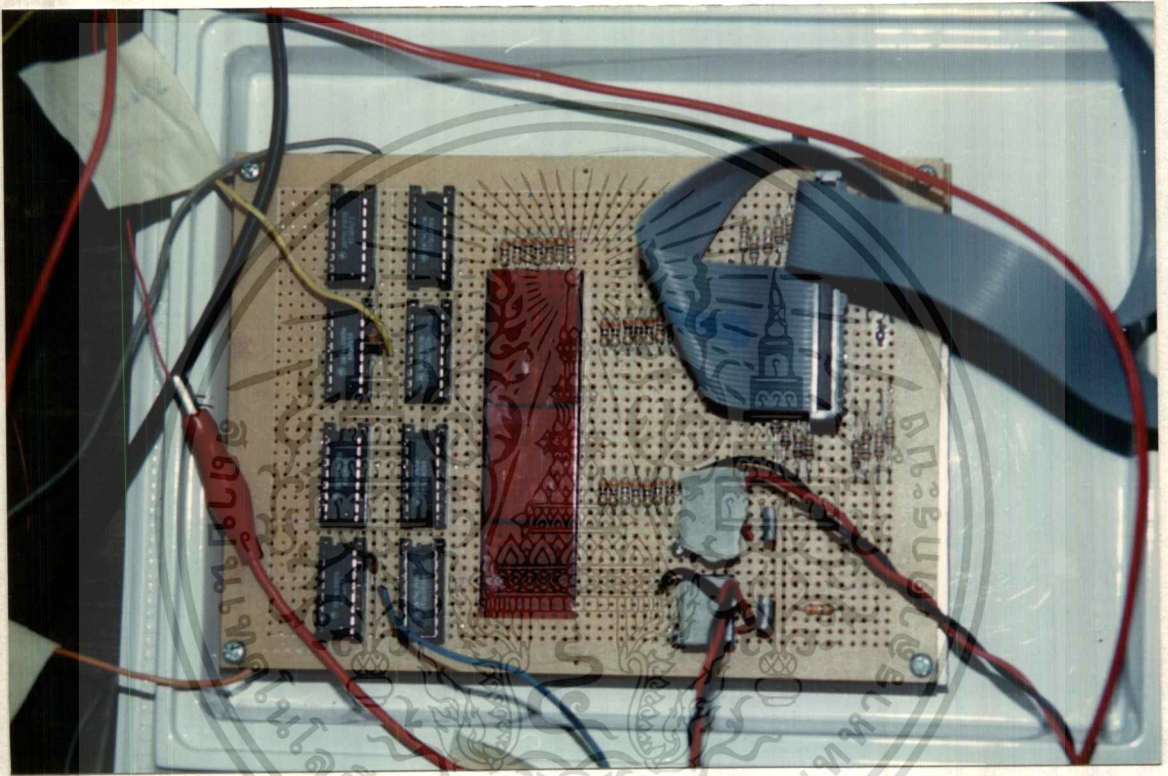
รูป F-8 ชุดควบคุมทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



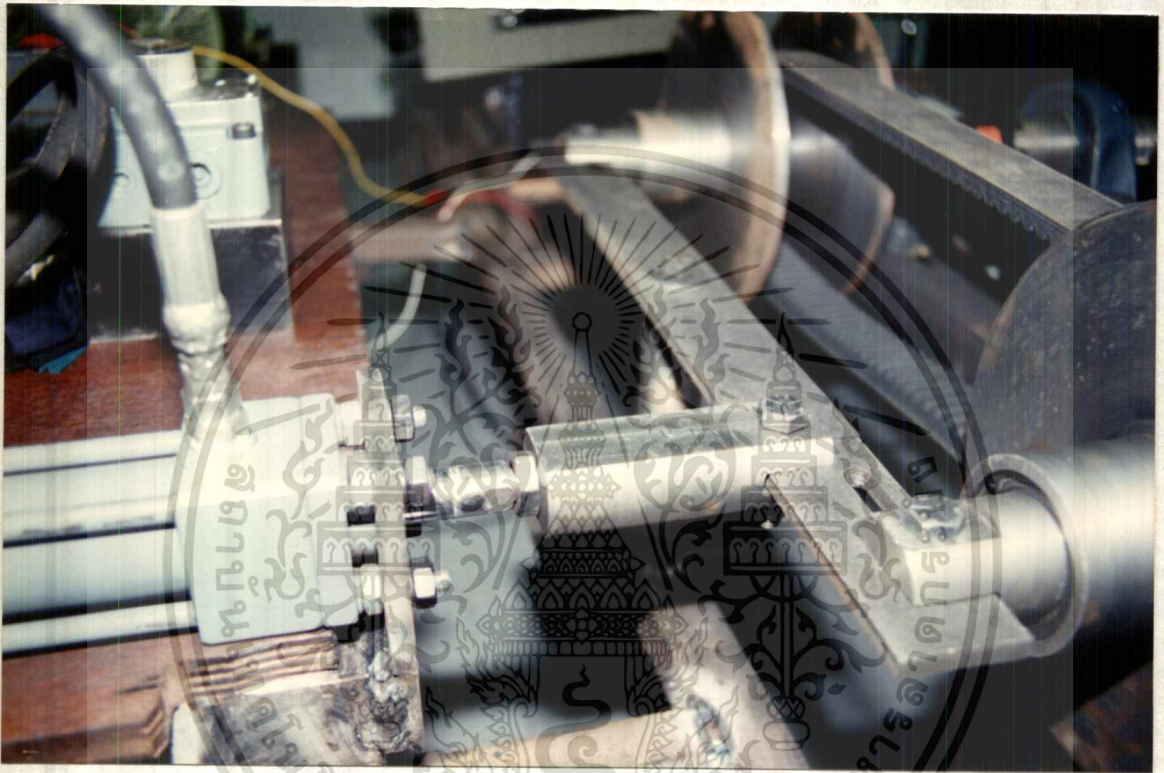
รูป F-9 ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



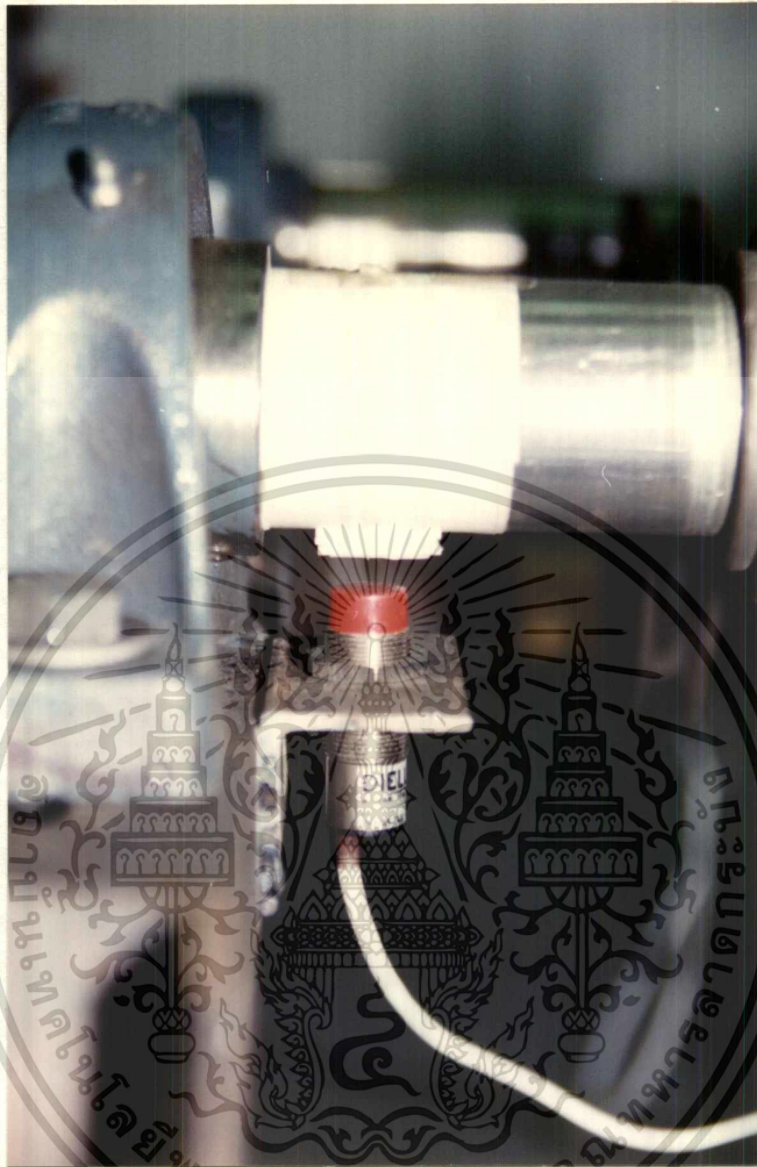
รูป F-10 วงจร Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป F-11 แสดงการยึดระหว่างชุดล้อสายพานกับชุดไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป F-12 แสดงการติดตั้ง Proximity Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป F-13 ขณะทำการทดลองและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป F-14 ขณะทำการทดลองและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ชาญชัย ลินทิพย์สมบูรณ์, ปานเพชร ชินินทร *ไฮดรอลิคอุตสาหกรรม*, บริษัท ซี เอ็ดดูเคชั่น จำกัด
- ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ : *ไฮดรอลิค* ,สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, 2533
- ศ.ดร.ไพรัช รัชพงษ์ *ทฤษฎีและการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอมพิวเตอร์* , บริษัท ซี เอ็ดดูเคชั่น จำกัด
- ดร.วริทธิ์ อึ้งภากร และ ชาญ ถนัดงาน *การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1-2* ,บริษัท ซี เอ็ดดูเคชั่น จำกัด
- สุเจียร เกียรติสุนทร *พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม เล่ม 1* ,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น) , 2537
- Aaron D. Deutschman, Walter J. Michels and Charles E Wilson : *Machine Design. :Theory and Practice* , Macmillan Publishing Co., Inc., 1975
- D.N. Reshetov : *Machine Design* , Mir Pulishers, Moscow , 1978
- Joseph Edward Shigley : *Mechanical Engineering Design*, 1st Metric Edition, McGraw - Hill, Inc., 1986
- Katsuhiko Ogata : *Modern Control Engineering* , 2nd Edition, Prentice-Hall International ,Inc. , 1990
- Michael J. Pinches ,John G. Ashby : *Power Hydraulics* , Prentice - Hall International ,Inc
- N.Chernov : *Machine Tools* , Mir Pulishers , Moscow

ปริญญานิพนธ์

- สุรเชษฐ์ นิตศนจากรุกุล , สุทธิชัย รัตนากรี และ พิเชษฐ์ หวังวีระ : *Stress Concentrations in Flat Plate with Circular Cutouts* , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2534

- วิชา จารุศักดิ์เสถียร, อุณนัต พิณโสภณ : การตอบสนองต่อความถี่ของระบบ
Servo Mechanism, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2534



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าหากปราศจากความเมตตาและเชื้อเพื่อจาก อาจารย์ ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับคำแนะนำและความใส่ใจช่วยเหลือ อาจารย์จำลอง ปราบแก้ว สำหรับคำแนะนำทางด้านไฮดรอลิกและความช่วยเหลือทุกๆด้าน อาจารย์จกกล งามวิวิทย์ สำหรับโปรแกรม Simulate CODAS คุณมณฑา เทียมเมือง สำหรับความช่วยเหลือทางด้านชิ้นงาน ขอขอบคุณอย่างมากสำหรับความช่วยเหลือทางการพิมพ์จาก น้องบ๊อม ภาคคอมฯ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกมาลือลือโลก

ขอบคุณเพื่อนๆภาคคอนโทรลที่แสนดีอันได้แก่ นายณัฐ (ประธานเชียร์) , นายยอดชาย , นายแว่นคง และนายพงษ์ สำหรับความรู้อย่างมากมายทางคอนโทรล

ขอบคุณเพื่อนๆภาคอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ นายอ้อ และนายเล็ก ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์ทุกอย่างทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ถ้าไม่มีพวกเขาพวกเราคงแย่แน่ๆเลย

ขอบคุณเพื่อนๆภาคเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือ และอยู่เป็นเพื่อนคลายเหงายามค่ำคืน ไม่ว่าจะป็นตี้ , โอห้ม , ต้อ , อ้อด , ไอ้ทส์ , มิ่งค์ , หมิง , หนุ่ย , กี้ , ตะ และอื่นๆอีกมากมาย

ขอบคุณน้องหนอยสำหรับ CD ROM อันแสนไพเราะ และความสดใสรำเริงที่เธอพามา รวมถึงข้าวม้อตึกที่แสนอร่อย

ขอบคุณพี่มณฑา (อีกครั้ง) และครอบครัว สำหรับอาหารเย็นที่แสนอร่อย

ขอบคุณ เธอ ผู้นำรักที่ทำให้ฟอร์ตมีแรงฮึดจนถึงเช้า

ขอบคุณ เธอเธอ ทั้งหลายที่ทำให้ซูลัสสนจนมีแรงมุงานขนาดนี้

ขอบคุณ เธอ ที่แสนดีที่ให้ความช่วยเหลือโชคทุกครั้ง

ขอบคุณประเทศไทยที่ยังคงอุ่นวยสม่าเสมอ

ขอบคุณดินฟ้าอากาศ สายลมแสงแดด ผืนน้ำและต้นไม้ ที่ทำให้โลกนี้ยังคงน่าอยู่

ขอบคุณที่อุตสาหกรรมให้ความกรุณาอ่านจนจบ

และสุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่เป็นอย่างสูง ที่ให้ชีวิตแก่พวกผม ให้พวกผมได้มาเรียนคณะนี้ และได้ทำโปรเจ็คชิ้นนี้ ขอขอบคุณมากครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้