บทที่ 1
หลักการระบบไฮดรอลิคอากาศยาน

ระบบไฮดรอลิคเป็นกลศาสตร์ของไหล ประกอบไปด้วยกระบวนการส่งถ่ายไฮดรอลิคใต้ความดันไปตามท่อทางแล้วแปลงความดันนั้นให้ออกมาเป็นงานกล ตัวอย่างเช่นเครื่องกลไกไฮดรอลิคต่าง ๆ ระบบไฮดรอลิคในรถขุด รถตักดิน เป็นต้น

สำหรับระบบไฮดรอลิคอากาศยานนั้น มีพื้นฐานของกระบวนการส่งถ่ายความดันแล้วแปลงเป็นงานกลเช่นเดียวกับเครื่องกไฮดรอลิคทั่วไป แต่จะมีอุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นมาหลายชนิดหลายแบบด้วยกัน เพื่อเสริมให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ปลอดภัย และสะดวกในการใช้งาน สภาวะของของไหลในระบบ ของไหล (ไฮดรอลิค) ในระบบจะถูกกระทำให้เกิดสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

ความดัน (PRESSSURE) คือจำนวนของแรงที่กระทำต่อพื้นที่ผิวหน้าตัดของของไหลต่อหนึ่งตารางหน่วย ความดันจะเกิดขึ้นกับของไหลต่อเมื่อ การไหลถูกขัดขวาง หรือถูกจำกัด ถ้าให้ “P” แทนความดัน , “F” แทนแรงที่กระทำ “A” แทนพื้นที่หน้าตัดของของเหวที่ถูกแรงกระทำ จะได้สูตรของความดัน P=F/A มีหน่วยเป็นปอนด์ / ตารางนิ้ว

ความเร็วของการไหล (VELOCITY) คือระยะทางที่ของไหลเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในหนึ่งหน่วยเวลา ถ้าให้ “V” แทนความเร็วของการไหล , “Q” แทนปริมาณของของไหล , และ “A” แทนพื้นที่หน้าตัดของของไหล จะได้สูตรความเร็วของการไหล V=Q./.A มีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที

อัตราการไหล (FLOW RATE) คือปริมาณของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้ภายในหนึ่งหน่วยเวลา ถ้าให้ “Q” แทนอัตราการไหล (ปริมาณของของไหล) , “V” แทนความเร็วของการไหล , และ “A” แทนพื้นที่หน้าตัดของของไหล จะได้สูตรอัตราการไหล Q=A.V มีหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที หรือ 0.13368 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

เมื่อพิจารณาความเร็วของการไหลจากสูตร V=Q/A จะเห็นได้ว่า ถ้าอัตราการไหลเพิ่มขึ้น ความเร็วของการไหลจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อ A คงที่ หรือถ้า A ลดลง ความเร็วของการไหลจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เช่นการไหลผ่านช่องแคบ (ORIFICE) ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎีของ“เบอร์นูลลี่” ที่ว่า“เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความดันจะลดลง”

กฎทางฟิสิกส์อีกกฎหนึ่งที่มีผลต่อของไหลในระบบคือกฎของ “ปาสกาล” ที่กล่าวว่า “เมื่อมีแรงกระทำต่อของเหลวที่อยู่ในจำกัดของเหลวนั้นจะส่งความดันออกไปทุกทิศทุกทางเท่ากันทันที” แต่กฎนี้มีข้อจำกัดคือ จะมีผลขณะที่ของเหลวอยู่นิ่ง (STATIC) เท่านั้น จะไม่มีผลต่อของเหลวที่กำลังเคลื่อนไหว (DYNAMIC)

ข้อดีในการใช้ของไหล เช่น น้ำมันไฮดรอลิคเป็นตัวกลางถ่ายทอดพลังงาน คือ ให้แรงเชิงความหนาแน่นมาก (ไฮดรอลิคไม่ยุบตัว) , ให้ความเที่ยงตรงดี , การปรับแต่งทำได้ง่าย (ปรับความเร็ว และความดัน), ทิศทางการขับเคลื่อน เป็นได้ทั้งแนวตรงและแนวหมุน , สภาพทางเดินของการถ่ายทอดอ่อนตัวได้ทุกที่ และให้ความดันปลอดภัยสูง (มีวาล์วนิรภัยจำกัดความดัน,น้ำมันไฮดรอลิคติดไฟยาก)

ส่วนข้อดีของการใช้ระบบไฮดรอลิคมีดังนี้

1. มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงาน (EFFIENCY) ได้เต็มที่ เนื่องจากกลไกต่อโยงการถ่ายทอดมีน้อยชิ้น
2. ทำงานได้เที่ยงตรง (DEPENDIBILIY) ทนทาน
3. มีความรวดเร็วในการทำงานมาก (SENSITIVELY)
4. มีขนาดกะทัดรัด (COMPACK SIZE) จึงทำให้มีน้ำหนักเบา
5. ระบบมีความอ่อนตัวสามารถเข้าถึงทุกที่ (FLEXIBILITY)
6. การบำรุงรักษาทำได้สะดวก

ข้อเสียของระบบไฮดรอลิค มีดังนี้

1. ปนเปื้อนต่อสิ่งสกปรกได้ง่าย
2. มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงได้ง่าย
3. หากประกอบข้อต่อ ท่อทางไม่ถูกต้องอาจเกิดการรั่วซึมทำให้ประสิทธิภาพลดลง
4. ท่อทางอาจเกิดการชำรุดได้ ถ้าไม่ได้รับการตรวจตามระยะเวลา
5. ราคาแพง

1. **หน่วยต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิค** ระบบไฮดรอลิคจะประกอบไปด้วย หน่วยที่ทำให้เกิดพลังงาน และหน่วยที่ทำให้เกิดงานกล โดยการนำอุปกรณ์ของหน่วยเหล่านี้มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

(1) ตัวพลังงาน ได้แก่ เครื่องยนต์ หรือมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับขับปั้ม

(2) ตัวกำเนิดพลังงาน ได้แก่ สูบกำลัง หรือ ปั้ม (POWER PUMP)

(3) ตัวถ่ายทอดพลังงาน ได้แก่ น้ำมันไฮดรอลิค

(4) ตัวส่งถ่ายพลังงาน ได้แก่ ท่อทาง (ท่อโลหะ และท่อยาง)

(5) ตัวบังคับและควบคุม ได้แก่ วาล์วควบคุมการไหล และวาล์วควบคุมความดัน

(6) ตัวเปลี่ยนพลังงาน ได้แก่ สูบงานไฮดรอลิค (แนวตรง) , มอเตอร์ไฮดรอลิค (แนวหมุน)

2. **อุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานระบบไฮดรอลิคอากาศยาน** โครงสร้างพื้นฐานระบบไฮดรอลิคอากาศยาน จะต้องมีอุปกรณ์หลักที่จำเป็น 5 ชนิดด้วยกันประกอบกันเป็นวงจรอยู่ในระบบ คือ

(1) ถังเก็บน้ำมัน (RESERVOIR)

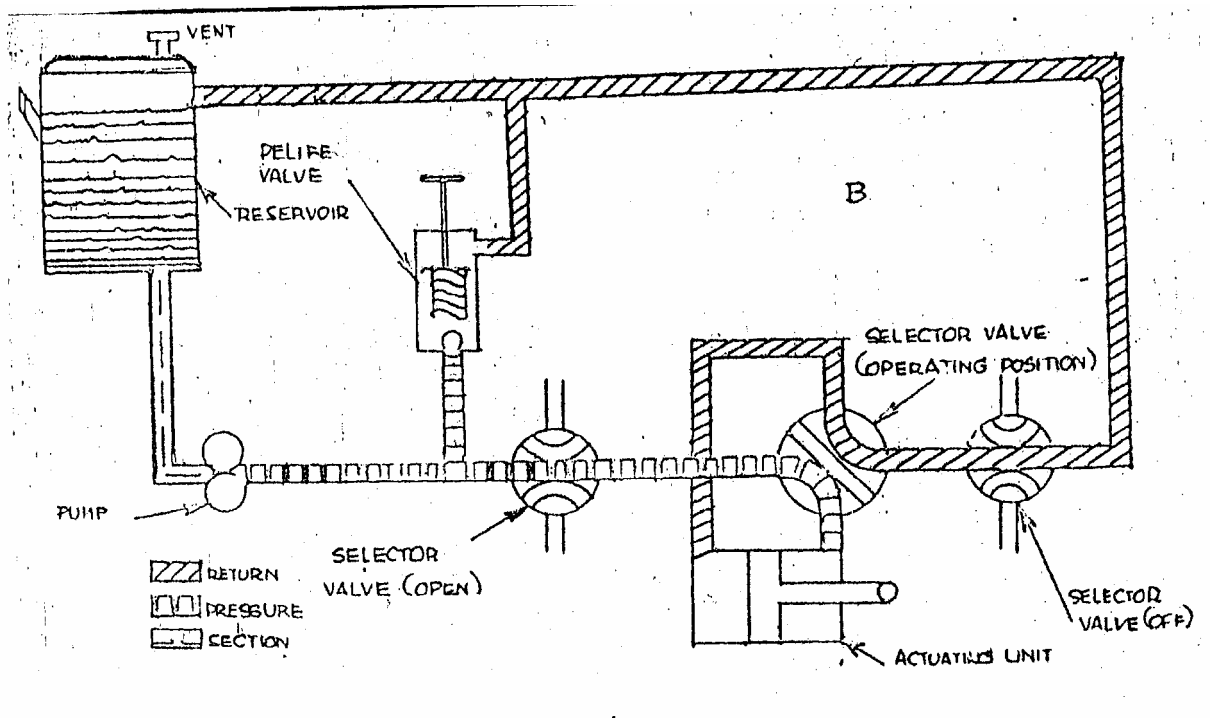
(2) สูบกำลัง หรือ ปั้มที่ขับด้วยเครื่องยนต์ของอากาศยาน หรือขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (POWER PUMP)

(3) วาล์วระบายความดัน (RELIEF VALVE)

(4) วาล์วเปลี่ยนทาง (SELECTOR VALVE)

(5) สูบงานหรือกระบอกสูบไฮดรอลิค (ACTUATOR CYLINDER)

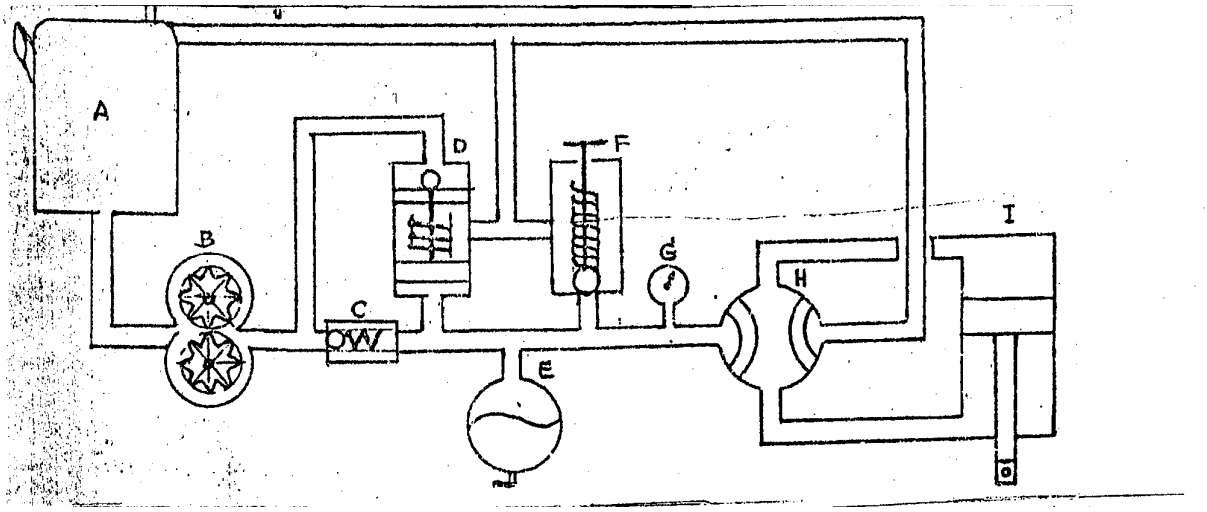
ถึงแม้ว่าระบบไฮดรอลิคที่ใช้กับอากาศยานปัจจุบันจะมีอุปกรณ์ มากมายหลายแบบหลายชนิดด้วยกันเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเที่ยงตรงและสะดวกสบายในการใช้งานยิ่งขึ้นก็ตามแต่อุปกรณ์หลักจำเป็น 5 ชนิดที่กล่าวมาแล้วจะยังต้องมีประกอบอยู่ในระบบเสมอ ตามรูปที่ 1.1 แสดงวงจรโครงสร้างพื้นฐานที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 5 ชนิด และท่อทางที่เป็นทางเดินของไฮดรอลิค



รูปที่ 1.1

วงจรโครงสร้างพื้นฐานระบบไฮดรอลิคที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 5 ชนิด

ส่วนในรูปที่ 1.2 เป็นโครงสร้างที่มีอุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นมานอกเหนือจากโครงสร้างพื้นฐานในรูปที่ 1.1 คือ PRESSURE REGULATOR , วาล์วกันกลับ (ONE WAY CHECK VALVE) และ ถังสะสมความดัน (ACCUMULATOR) เพื่อให้ระบบทำงานได้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดภายหลัง



A. RESERVIOR
B. POWER PUMP
C. ONEWAY CHECK VALVE
D. PRESSURE REGULATOR
E. ACCUMULATOR
F. RELIEF VALVE
G. PRESSURE GAGE
H. SELECTOR VALVE
I. ACTUATING GVLINDER

รูปที่ 1.2

วงจรโครงสร้างระบบไฮดรอลิคที่มีอุปกรณ์เติมจากโครงสร้างพื้นฐาน

3. การทำงานของระบบไฮดรอลิค ระบบไฮดรอลิคอากาศยานจะแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือส่วนต้นกำลัง “POWER SECTION” และ ส่วนให้งานกล “ACTUATING SECTION”

3.1 ส่วนต้นกำลัง (POWER SECTION) เป็นส่วนที่ประกอบด้วยอุปกรณ์เพื่อทำให้ไฮดรอลิคมีความดันและควบคุมความดันให้ใช้งานได้เมื่อต้องการ อุปกรณ์ในส่วนนี้จะอยู่ก่อน วาล์วเปลี่ยนทาง เช่น ถังเก็บน้ำมัน (RESERVOIR), สูบกำลังหรือปั้ม (POWER PUMP), วาล์วระบายความดัน (PRESSURE RELIEF VALVE) ส่วน POWER SECTION นี้จะมีวิธีการทำงานแยกออกเป็นสองระบบด้วยกันคือ ระบบ “เปิด” (OPEN CENTER) และ ระบบ “ปิด” (CLOSE CENTER)

3.1.1 ระบบ “เปิด” (OPEN CENTER) เช่นในรูปที่ 1.1 ส่วนต้นกำลังแบบนี้ขณะที่ยังไม่ใช้งาน (วาล์วเปลี่ยนทาง “SELECTOR VALVE” ทุกตัวอยู่ตำแหน่งกลาง “NEUTRAL”) ไฮดรอลิคจากปั้มจะไหลผ่านวาล์วเปลี่ยนทางทุกตัวกลับถังหมด เพราะที่วาล์ว SELECTOR VALVE จะมาช่องเปิดให้ไฮดรอลิคไหลกลับถังได้เมื่อวาล์วอยู่ตำแหน่ง กลาง “NEUTRAL” และวาล์วเปลี่ยนทางทุกวาล์วต่อเป็นอันดับกันอยู่ ความดันในระบบจึงยังไม่เกิดขึ้น ทำให้ไม่มีความดันย้อนกลับไปเป็น “โหลด” กับปั้ม หรือความดันในระบบจะเท่ากับความดันในถังเก็บ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วเปลี่ยนทาง “SELECTOR VALVE” จากตำแหน่งกลาง “NEUTRAL” เพื่อนำไฮดรอลิคไปใช้งานที่สูบงาน ไฮดรอลิคจะไม่ไหลกับถึงหรือไหลกลับได้น้อยลง ความดันในระบบจึงเกิดขึ้นจนกระทั่งสูบงานยืดออกหรือหดเข้าสุดระยะแล้วความดันจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ปรับตั้งวาล์วระบาย (RELIEF VALVE) ไว้ วาล์วระบายจะระบายความดันส่วนที่เกินออกกลับถังเพื่อรักษาไม่ให้

ความดันขึ้นสูงจนถึงจุดที่ทำให้อุปกรณ์และท่อทางชำรุดเสียหายได้ จึงเห็นได้ว่าส่วนต้นกำลังแบบ “เปิด” (OPEN CENTER) นี้ ความดันในระบบจะถูกควบคุมด้วย วาล์วเปลี่ยนทาง “SELECTOR VALVE” และถูกจำกัดโดย วาล์วระบาย “RELEEF VALVE” ส่วนต้นกำลัง “OPEN CENTER” มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี	ข้อเสีย
(1) สร้างง่าย ราคาถูก	(1) ไม่สามารถทำงานได้ในทันทีทันใดได้ เนื่องจากไม่มีความดันกักไว้ในระบบ
(2) ไม่ต้องใช้วาล์วลดโหลดปั้ม (UNLOADDING PUMP) เพราะวาล์วเปลี่ยนทางที่เปิดกลางจะลดโหลดให้ปั้มเอง	(2) ทำงานได้ทีละหน่วย ไม่สามารถให้ทุกหน่วยทำงานพร้อม ๆ กันได้
(3) มีอุปกรณ์น้อยชิ้น ทำให้น้ำหนักเบา	

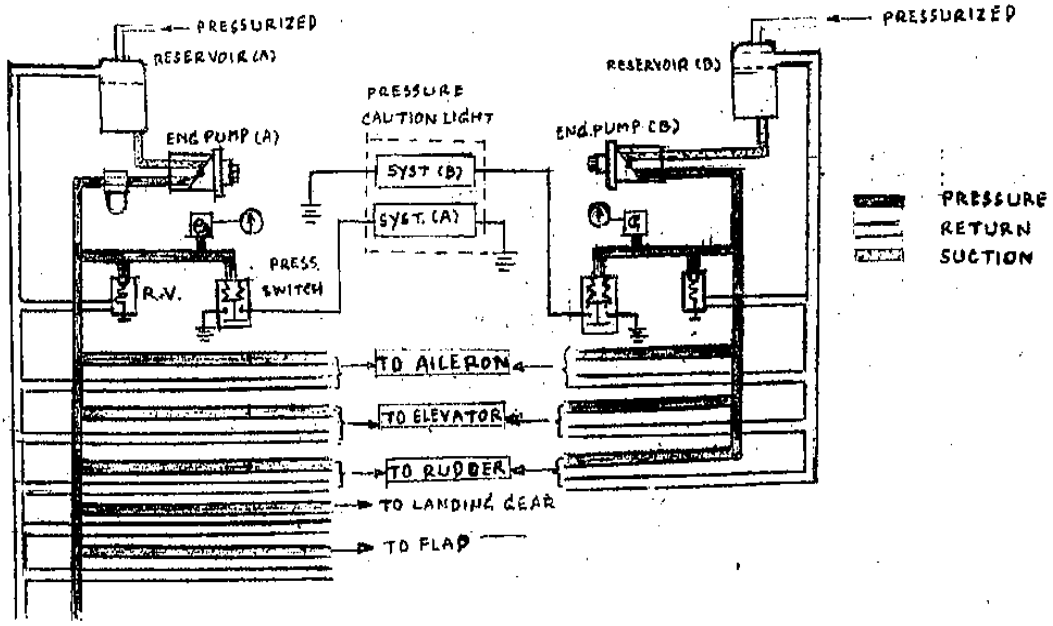
3.1.2 ระบบ ”ปิด” (CLOSE CENTER) รูปที่ 1.2 ในส่วนต้นกำลังของระบบนี้วาล์วเปลี่ยนทาง (SELECTOR VALVE) ไม่มีช่องเหปิดให้ไฮดรอลิคไหลผ่านกลับถัง ดังนั้นขณะที่อยู่ตำแหน่ง NEUTRAL ไฮดรอิคจากปั้มจะถูกกักไว้ในระบบตลอดเวลา ความดันจึงเกิดขึ้นจนถึงค่าที่ปรับตั้งวาล์วระบายความดัน (RELIEF VALVE) ไววาล์วระบายจะระบายความดันส่วนที่เกินเกณฑ์กลับถัง ดังนั้นส่วนต้นกำลัง ระบบ “ปิด” CLOSE CENTER จึงมีความดันกักไว้ให้พร้อมใช้งานได้ทันทีตลอดเวลา การต่อวาล์วของแต่ละวาล์วต่อแบบขนานกันได้จึงสามารถทำงานพร้อมกันได้ทุกหน่วย ระบบ CLOSE CENTER มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี	ข้อเสีย
(1) ทำงานได้ทันที่เนื่องจากมีความดันกักไว้ตลอดเวลา	(1) จะต้องมีวาล์วลดโหลด (UNLOADING VALVE) ถ้าใช้ปั้มประเภท จ่ายปริมาตรคงที่ CONSTANT VOLUME เพื่อไม่ให้ความดันที่กักไว้ย้อนกลับไปเป็นโหลดกับปั้ม
(2) สามารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้ทุกหน่วย เนื่องจาก วาล์วเปลี่ยนทางต่อกันแบบขนาน	(2) ระบบค่อนข้างยุ่งยาก และราคาแพง

อากาศยานในปัจจุบันจะใช้ส่วนต้นกำลังระบบ “ปิด” (CLOSE CENTER) ทั้งนั้น

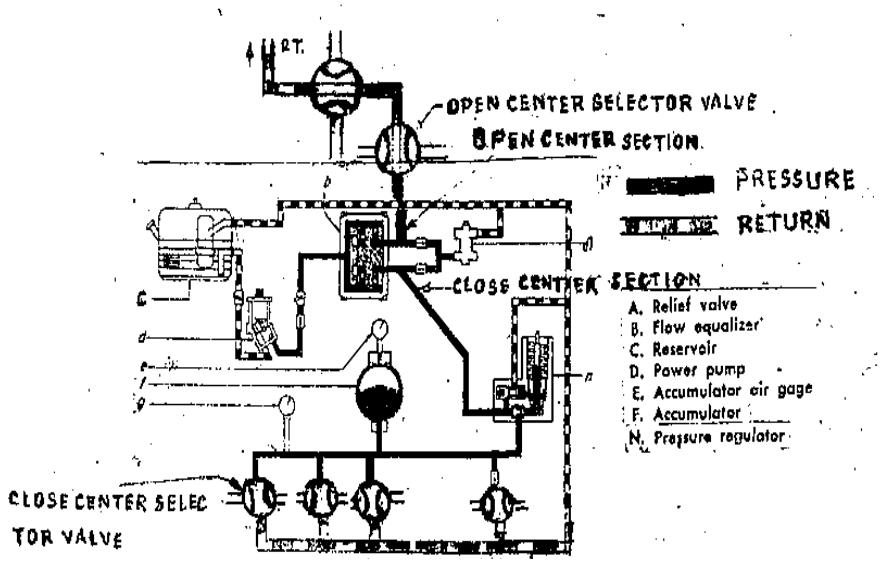
อนึ่งในปัจจุบันอากาศยานบางแบบชุดอุปกรณ์เกือบทั้งหมดของส่วนต้นกำลัง “POWER SECTION” (ยกเว้นปั้ม) จะประกอบรวมกันอยู่ในส่วนเดียวกันสามารถถอดประกอบยกชุดได้ เรียกว่า “POWER MODULE” หรือ “POWER PACKAGE” (รูปที่ 1.7 ข.)

3.1.3 ระบบผสม (Combination) เป็น Power Section ที่รวมทั้งระบบเปิด และ ปิด มาอยู่ในระบบเดียวกัน ใช้ปั้มร่วมกันโดยมีไฟล์อีควอลไลเซอร์ “Flow Equalizer” (รายละเอียดในบทที่4 ข้อ 2.5) แยกทางออกจากปั้มให้มีอัตราไหลเท่ากันเป็นสองทางไปเข้าแต่ละระบบ ปัจจุบันระบบนี้ไม่นิยมใช้กัน (รูปที่ 1.3 ก)



รูปที่ 1.3ก

วงจรส่วนต้นกำลังขั้นพื้นฐาน “BASIC POWER SECTION” ระบบผสม



(วงจรส่วนต้นกำลังสองระบบร่วมกันไฮดรอลิกไปทำงานที่ FLIGT CONTROL พร้อมกัน)

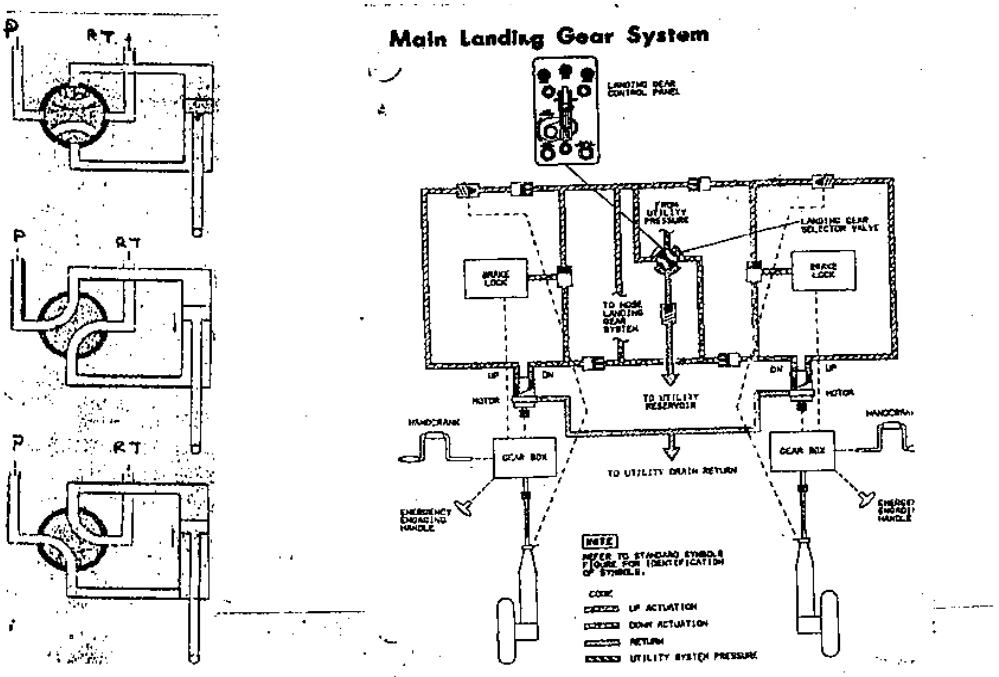
รูปที่ 1.3 ข

วงจรส่วนต้นกำลังขั้นใช้งานกับอากาศยาน “AIRCRAFT POWER SECTION”

(แบบสองระบบรวมกัน “COMBINATION”)

3.2 ส่วนให้งานกล (ACTUATING SECTION) เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่นำความดันไฮดรอลิคไปเปลี่ยนเป็นงานกลและควบคุมให้การใช้งานเป็นไปตามความต้องการ เริ่มจากวาล์วเปลี่ยนทาง หรือวาล์วบังคับตำแหน่ง (SELECTOR OR CONTROL VALVE) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมระหว่าง ส่วนต้นกำลังกับ ส่วนให้งานกล, สูบงานและมอเตอร์ไฮดรอลิค ตลอดจน วาล์วควบคุมการไหลต่าง ๆ (FLOW COTROL VALVES) การควบคุมการใช้งานของส่วนให้งานกลแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ แบบ ไม่มีการบังคับตำแหน่งหยุดหรือค้างระหว่างทาง (NONAUTOMATIC OR NONCONTROL SYSTEM) กับ แบบหยุดหรือค้างตำแหน่งระหว่างทางได้ทุกตำแหน่งตลอดช่วงการทำงาน (AUTOMATIC OR POSITION CONTROL) โดยใช้กลไก “FOLLOW UP” หรือ “ELECTRO HYDRAULIC” บังคับ SERVO VALVE ซึ่งวิธีหลังนี้เป็นต้นแบบของระบบ “FLY BY WIRE”

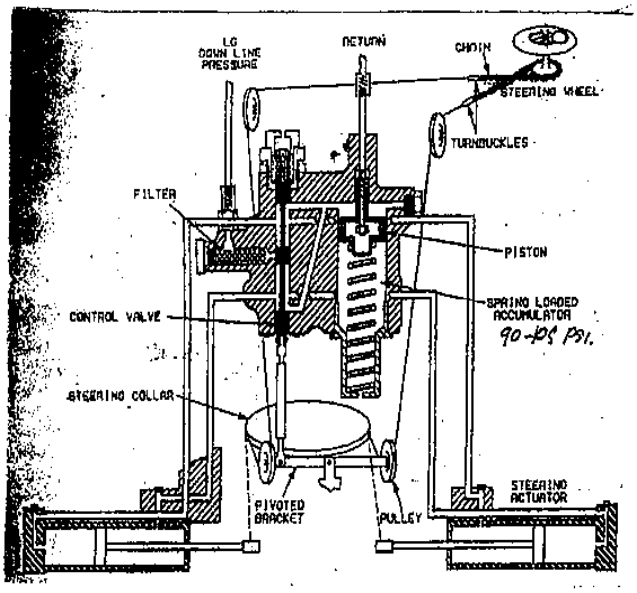
3.2.1 แบบไม่มีการบังคับตำแหน่งหยุดหรือค้างระหว่างทาง “NONAUTOMATIC OR NONCONTROL SYSTEM” แบบนี้จะใช้กับงานที่ทำงานจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดสุดท้ายรวดเดียวโดยไม่มีความจำเป็นต้องหยุด หรือ ค้าง ระหว่างทาง เช่น การกางฐาน พับฐาน เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วเปลี่ยนทาง “SELECTOR VALVE” จากตำแหน่งกลาง “NEUTRAL” เพื่อให้ฐานกางหรือพับ ฐานจะกางหรือพับไปจนสุดระยะแล้วจึงทำให้ SELECTOR VALVE กลับมาอยู่ตำแหน่ง NEUTRAL เพื่อปิดกั้นไม่ให้ไฮดรอลิคไหลเข้าออกสูบฐาน แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีความประสงค์ จะให้การทำงานหยุด หรือค้างระหว่างทางก็สามารถทำได้โดยการบังคับ SELECTOR VALVE ให้กลับมาอยู่ NEUTRAL ก่อนที่งานนั้นจะสุดระยะ



รูปที่ 1.3 ค

(วงจรส่วนให้งานกล “ACTUATING SECTION”) แบบไม่มีการบังคับตำแหน่งให้หยุดระหว่างทาง

3.2.2 แบบบังคับให้หยุดหรือค้างระหว่างทางได้ทุกตำแหน่ง (AUTOMATIC OR POSITION CONTROL) ส่วนให้งานกลแบบนี้สามารถบังคับให้หยุดหรือค้างการทำงานได้ทุกที่ระหว่างช่วงจากจุดเริ่มต้นไปจนจุดสุดท้าย เช่น ระบบพวงมาลัยเพาเว่อร์ของรถยนต์ เมื่อหยุดหมุนพวงมาลัยเมื่อไหร่ วาล์วเปลี่ยนทางของระบบเพาเว่อร์จะปิดกั้นไม่ให้น้ำมันในระบบเพาเว่อร์เข้าและออกไปทำให้ล้อเลี้ยวอีกต่อไป ล้อก็จะค้างหรือหยุดเลี้ยวอยู่แค่นั้น ในอากาศยานส่วนให้งานกลแบบนี้จะใช้กับระบบบังคับเลี้ยวล้อหน้า "NOSE WHEEL STEERING CONTROL SYSTEM" ระบบบังคับท่าบิน "FLIGHT CONTROL SYSTEM" การที่จะทำให้เกิดการหยุดหรือค้างการทำงานได้นี้จะต้องมี ชุดกลไกเคลื่อนที่ตาม "FOLLOW UP MECHANISM" ต่อโยงการเคลื่อนที่ของงาน กับวาล์วเปลี่ยนทางเพื่อให้วาล์วเปลี่ยนทางอยู่ตำแหน่ง NEUTRAL ได้ทันที่เมื่อหยุดการบังคับ ซึ่งวิธีการทำงานของชุด FOLLOW UP มีสองวิธีด้วยกันคือ วิธีใช้เซ็นเตอร์ริ่งสปริง (CENTERING SPRING) ดึงให้ SELECTOR VALVE กลับมาตำแหน่ง NEUTRAL ที่เดิม (มี NEUTRAL ตำแหน่งเดียว) เรียกว่า "CONTROL VALVE" กับบังคับให้เกิดตำแหน่ง NEURAL ขึ้นใหม่ได้ทุกที่ ณ ตำแหน่ง ที่หยุดการบังคับ ("NEUTRAL"เกิดขึ้นได้หลายตำแหน่ง) เรียกว่า "SERVO VALVE"

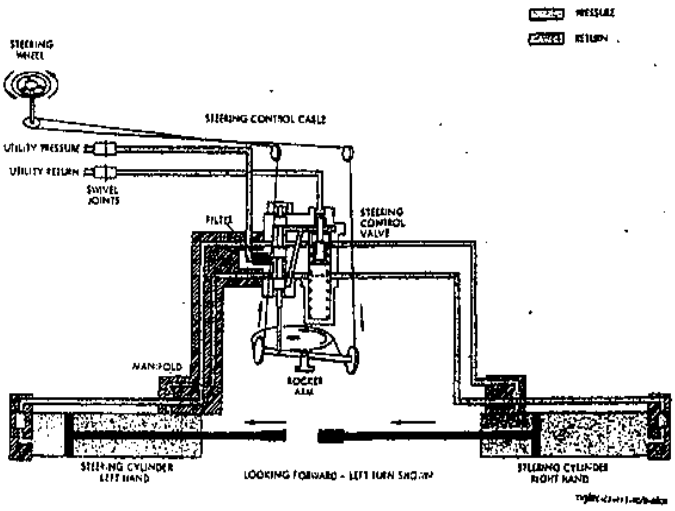


รูปที่ 1.3 **ง**

(ACTUATING SECTION ที่ใช้กลไก FOLLOW UP แบบ CENTERING SPRING ขณะอยู่ "NEUTRAL")

3.2.2.1 การทำงานของชุด FOLLOW UP ที่บังคับให้ตำแหน่ง "NEUTRAL" กลับไปที่เดิม ตำแหน่งเดียวตามรูปที่ 1.3 ง.CONTROL VALVE หรือ SELECTOR VALVE จะต่ออยู่กับ PIVOTE BRACKET หรือ ROCKER ARM โดยมีกระบอกสปริงต่อโยงระหว่าง แกน SPOOL ของ CONTROL VALVE กับ PIVOTE BRACKET เพื่อสมดุลย์แรงให้แกน SPOOL ของ CONTROL VALVE อยู่ตำแหน่ง "NEUTRAL" ตลอดเวลาถ้าไม่มีแรงมาทำให้แกน SPOOL เคลื่อนที่ ตามรูปมือหมุน (STEERIG WHEEL) ยังไม่ได้หมุน ความตึงของสายเคเบิลจึงมีไม่มากทำให้ สปริงในกระบอกที่ต่อโยงระหว่างแกน SPOOL ของ CONTROL

VALVE กับ PIVOTE BRACKET ทำหน้าที่ CENTERING SPRING CONTROL VALVE ให้อยู่ “NEUTRAL” ปิดกั้นไม่ให้ไฮดรอลิคเข้าออกที่ STEERING ACTUATOR การเลี้ยวจึงไม่เกิดขึ้น หรือเลี้ยว



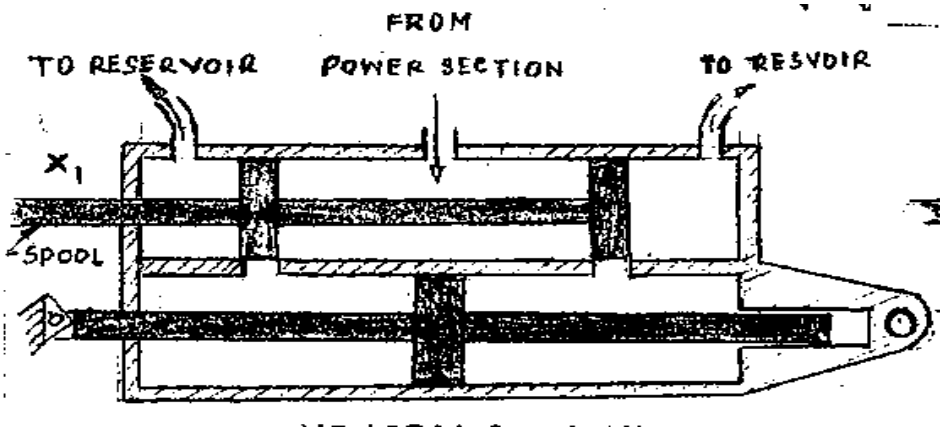
ค้างไปตามที่ค้างการหมุนมือหมุนไว้ และเมื่อต้องการคืนกลับแนวตรงก็หมุนมือหมุนกลับทาง หรือไม่ก็ปล่อยมือหมุน ให้มุมเอียงของสลักล้อ (KING PIN INCLINATION) ดึงล้อให้คืนกับแนวตรงเอง พร้อมกับพา STEERING COLLAR หมุนกลับด้วย การหมุนกลับของ STEERING COLLAR จะทำให้เคเบิลดึง PIVOTE BRACKET เริ่มกลับตำแหน่งเดิมและดึงแกน SPOOL เปิดให้ไฮดรอลิคเข้ามาช่วยดันให้ล้อหน้าเข้าแนวตรง แล้วแกน SPOOL จะมาอยู่ “NEUTRAL” อีก

รูปที่ 1.3 จ

(การทำงานของระบบ STEERING ขณะบังคับให้เลี้ยวซ้าย)

ตามรูปที่ 1.3จ มือหมุนถูกบังคับให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาเคเบิลจึงดึง ROCKER ARM (PIVOTE BRACKET) ขึ้นมาพร้อมกับรั้งแกน SPOOL ของ CONTROL VALVE ขึ้นตามไปด้วย จึงเปิดให้ไฮดรลิคจาก POWER SECTION ของระบบไฮดรอลิค UTILITY เข้าไปยัง STEERING CYLINDER ขวา ที่ห้องด้านลูกสูบ และเข้าไปที่ STEERING CYLINDER ซ้าย ที่ห้องด้านก้านสูบ STEERING CYLINDER ทั้งสองจึงช่วยกันดันและดึงให้ล้อหน้าเลี้ยวไปทางซ้าย ถ้าต้องการเลี้ยวขวาก็หมุนมือตามเข็มนาฬิกา ถ้าต้องการค้างการเลี้ยวไว้ตามองศาที่ต้องการก็หยุดหมุนมือหมุน เมื่อมือหมุนไม่หมุนต่อไปแต่ล้อหน้ายังคงหมุนไปอีกเล็กน้อยพร้อมกับ STEERING COLLAR จึงทำให้ความตึงของเคเบิลลดลงสปริงในกระบอกจึงบังคับให้แกน SPOOL กลับไปอยู่ตำแหน่ง “NEUTRAL” อีก ล้อหน้าจึงถูกล๊อกให้เลี้ยวค้างอยู่ ณ องศานั้น และถ้าต้องการเข้าแนวตรงก็หมุนมือหมุนคืน หรือไม่ก็ปล่อยมือหมุน ล้อหน้าจะกลับเข้าแนวตรงด้วยมุมเอียงของสลักล้อตามที่กล่าวแล้ว

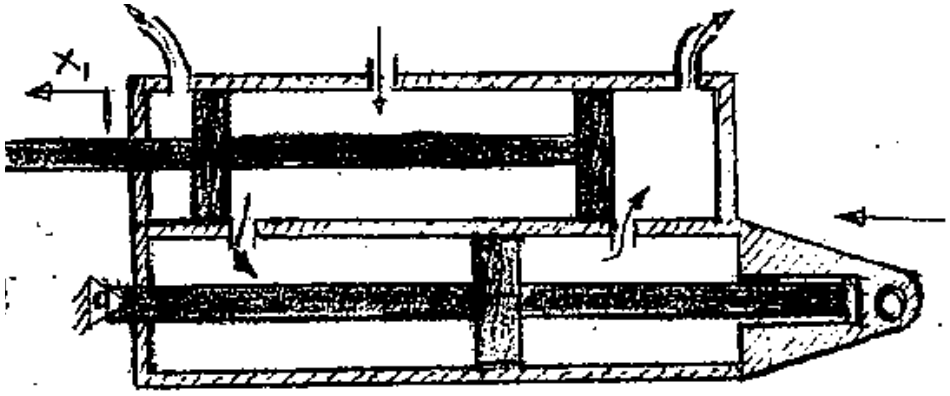
3.2.2.2 ชุด FOLLOW UP ที่บังคับให้เกิดตำแหน่ง “NEUTRAL” ได้ทุกที่ จะเชื่อมโยงให้ SELECTOR และ ACTUATOR เคลื่อนตัวตามไปด้วยกันตลอดการทำงาน โดย SELECTOR VALVE และ ACTUATOR จะอยู่เป็นอุปกรณ์เดียวกัน เช่นในรูปที่ 1.3 จ และ 1.3 ช ตัวเรือนของ SELECTOR VALVE ยึดอยู่กับ ACTUATOR (บางแบบยึดอยู่กับก้านของลูกสูบดูรูปที่ 1.3 ฎ) และแกน SPOOL (X1) ต่อโยงกับคันบังคับ (การทำงานลักษณะนี้ จึงเรียก SELECTOR VALVE ว่า เซอร์โซวาล์ว “SERVO VALVE”)
ส่วนก้านของลูกสูบด้านซ้ายยึดอยู่กับที่ เมื่อโยกคันบังคับให้ดึงแกน SPOOL ของ SELECTOR VALVE ไปทางซ้าย SPOOL จะเลื่อนตัวไปทางซ้ายเปิดให้ไฮดรอลิคจาก POWER SECTION ผ่านไปเข้าห้องด้านซ้าย และเนื่องจากลูกสูบถูกยึดให้อยู่กับที่ตัวกระบอกสูบจึงถูกไฮดรอลิคดันให้เคลื่อนตัวไปทางซ้ายส่วนไฮดรอลิคที่อยู่ในห้องด้านขวาจะถูดอัดให้ออกผ่านห้องด้านขวาสุดใน SELECTOR VALVE กลับถังระหว่างที่ตัวกระบอกสูบเคลื่อนตัวจะพาตัวเรือนของ SELECTOR VALVE เคลื่อนตัวตามไปด้วยเนื่องจากต่อกันเป็นตัวเรือนเดียวกันและจะเคลื่อนตัวตามแกน SPOOL ไปตลอดเวลา ถ้าแกน SPOOL ถูกบังคับให้หยุดเคลื่อนที่เมื่อไหร่ ตัวกระบอกสูบจะพาตัวเรือนของ SELECTOR VALVE มาปิดช่องทำให้เกิดตำแหน่ง NEURAL ขึ้นใหม่ ณ ตำแหน่งที่แกน SPOOL ของ SELECTOR VALVE หยุดอยู่ ณ ที่นั้น ส่วนชิ้นงานจะต่อกับหูยึดของ



กระบอกสูบทางด้านขวาสุด

NEUTRAL POSITION

รูปที่ 1.3 ฉ



(SERVO VALVE**ต่ออันดับกับคันบังคับ ที่ตำแหน่ง** “NEUTRAL”)

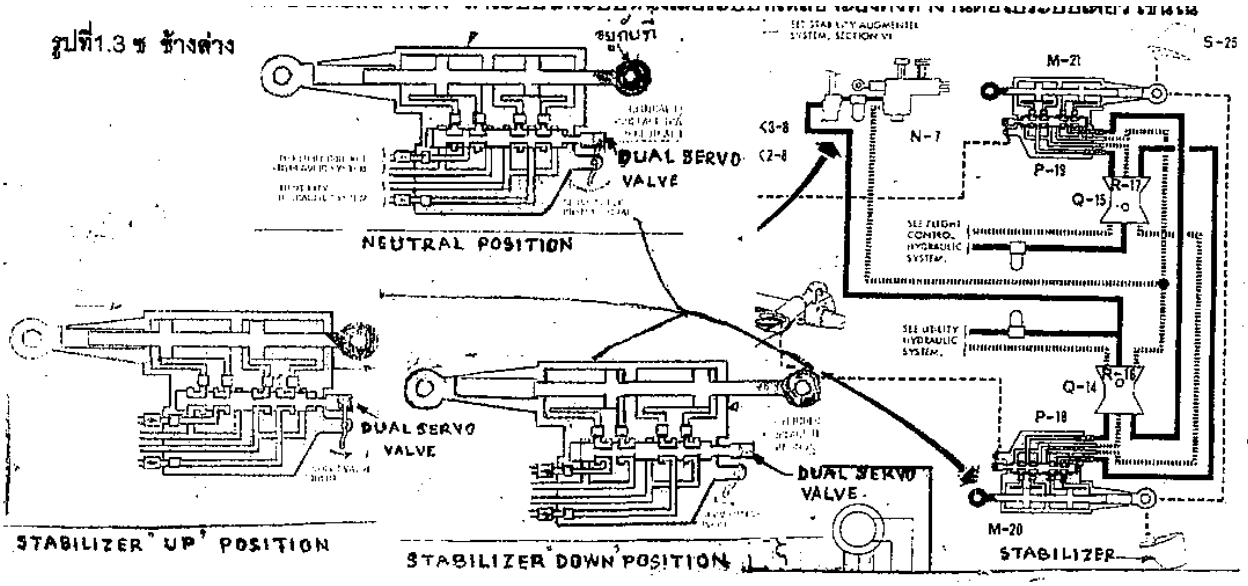
SPOOL SELECTOR VALVE PULLED TO LEFT

CYLINDER MOVE TO LEFT (PISTON STATIONARY)

รูปที่ 1.3 **ช**

(SERVO VALVE **ถูกบังคับให้ทำงานไปทางด้านซ้าย)**

การทำงานของ SERVO VALVE ตามตามรูปที่ 1.3 ฉ และ ช จะเห็นได้ว่าถ้าระบบไฮดรอลิคไม่มีความดันสูบงานหรือ ACTUATOR จะไม่สามารถทำงานได้เลย เพราะ คันบังคับ , SELECTOR VALVE และสูบงานต่อโยงกัน แบบอันดับ ดังนั้นจะต้องมีระบบไฮดรอลิคพร้อมกับ SERVO VALVE และชุดสูบงานที่เหมือนกันอีกอย่างน้อย 1 ระบบเข้าไปทำงานที่งานเดียวกันพร้อมกันเรียกว่าการ COMBINATION ถ้าระบบใดระบบหนึ่งเสียระบบที่เหลือจะยังคงทำงานต่อไประบบเดียว เช่นในรูปที่ 1.3 ซ ข้างล่าง

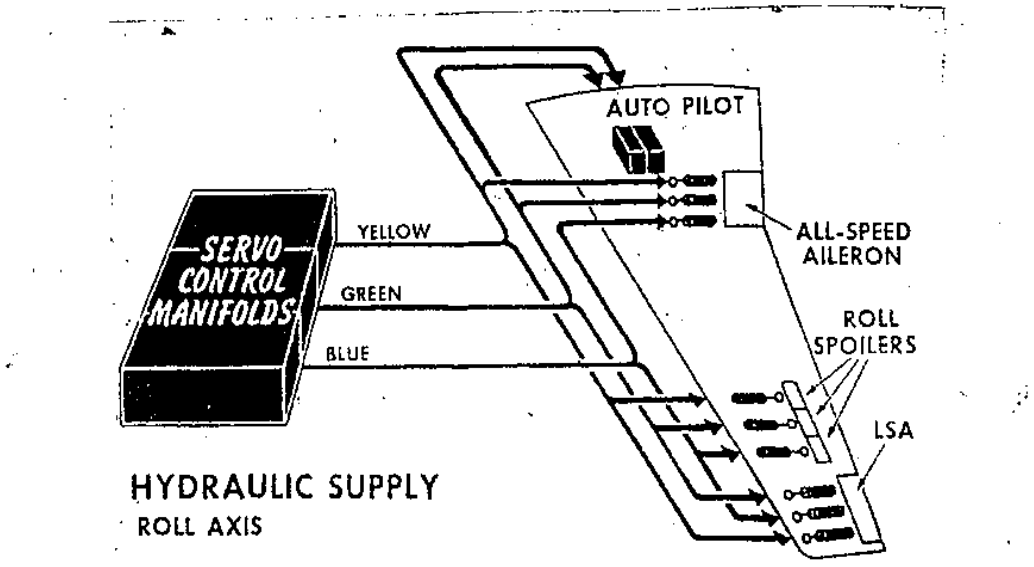


Dual Servo Valve **ใช้กับสูบงานชนิดแทนเด็ม** (TANDEM)

รูปที่ 1.3 **ช**

การต่อโยงคันบังคับ กับ Selector Valve และสูบงานใน Actuating Section แบบบังคับตำแหน่งระหว่างทางได้เป็นอันดับกันนั้นจะใช้กับระบบที่ใช้อีเลคโทรไฮดรอลิคแทนกลไก Follow Up และต้องเป็นระบบร่วมหรือมีระบบฉุกเฉินช่วย ส่วนกลไก Follow Up ที่ไม่ได้ใช้อีเลคโทรไฮดรอลิค คันบังคับ, Selector Valve และสูบงานจะต่อกันแบบขนาน เพื่อให้สูบงานสามารถทำงานได้ด้วยแรงที่ใช้บังคับคันบังคับโดยตรงในกรณี ฉุกเฉินถ้าไม่มีความดันไฮดรอลิค

ส่วนในรูปที่ 1.3 ฌ จะใช้ระบบไฮดรอลิคถึง 3 ระบบด้วยกันคือ YELLOW : GREEN : และ BLUE เข้าไปทำงานที่ ACTUATING SECTION ในระบบ บังคับท่าบิน “FLIGHT CONTROL” โดยมี SERVO CONTROL MANIFOLDS ควบคุมแต่ละระบบให้แยกไปเข้าสูบงาน ACTUATOR ทั้งสามที่ใช้บังคับแพนอากาศ (CONTROL SURFACE) อันเดียวกัน ถ้าหากระบบใดระบบหนึ่งไม่มีความดัน SERVO CONTROL MANIFOLD จะตัดระบบนั้นออก ส่วน SERVO VALVE ที่ควบคุมการทำงานของสูบงานแต่ละสูบจะอยู่ในชุดสูบงานและทำงานในทิศทางเดียวกันพร้อม ๆ กันทั้งสามสูบ (รูปที่ 1.3ฉ และ 1.3ช)



รูปที่ 1.3 **ฌ**

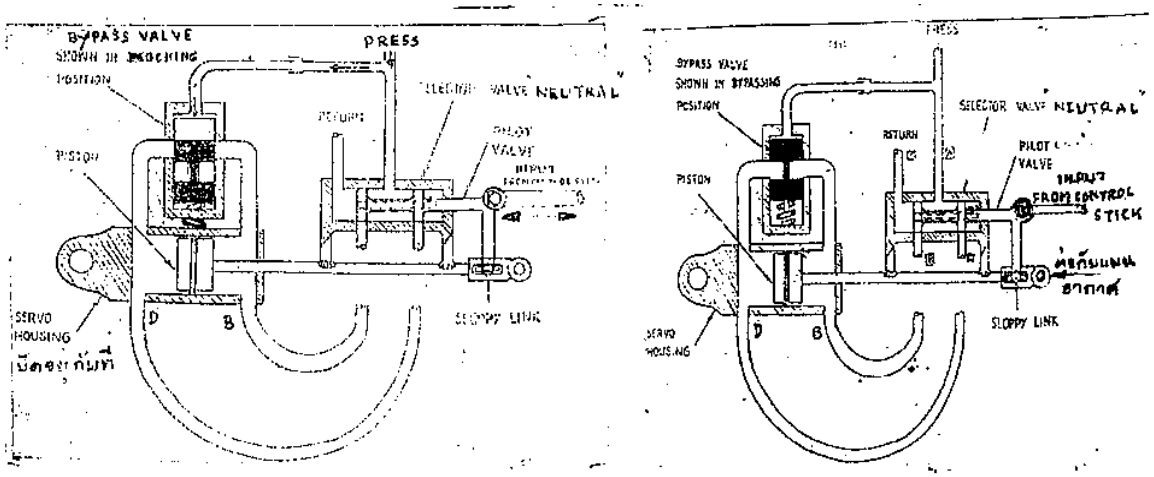
(การ COMBINTION **ระบบไฮดรอลิค** 3 **ระบบเข้าไปทำงานที่ระบบ** FLIGHT CONTROL)

สำหรับอากาศยานขนาดเล็กที่มีความเร็วไม่สูงมากนักระบบไฮดรอลิคของอากาศยานมักจะมีเพียงระบบเดียวความดันไฮดรอลิคที่นำไปใช้กับ SERVO VALVE จึงมีแหล่งเดียว SERVO VALVE จึงมีตัวเดียว ดังนั้นจึงต้องต่อโยง SERVO VALVE กับ คันบังคับ (CONTROL STICK) เป็น แบบขนาน คือต่อคันส่งจาก

คันบังคับกับแกน SPOOL ของ SELECTOR VALVE และ ต่อกับก้านของลูกสูบด้วย ตามรูปที่ 1.3 ฎ SERVO VALVE แบบต่อขนานกับคันบังคับนี้ ถ้าหากระบบไฮดรอลิคไม่มีความดันก็ยังสามารถบังคับให้สูบงานทำงานได้โดยใช้แรงกล้ามเนื้อดึงหรือดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่โดยตรงไม่ต้องอาศัยแรงดันไฮดรอลิกช่วย

การทำงานขณะมีความดันไฮดรอลิคจากระบบ เมื่อดันคันบังคับไปทางซ้าย คันส่งจากคันบังคับ จะดันแกน SPOOL ของ SELECTOR ไปทางซ้ายด้วย (รูป 1.3 ฎ ล่าง) ทำให้เปิดช่อง “A” กับ ช่อง “B” และช่อง “C” กับช่อง “D” ถึงกันไฮดรอลิคจาก POWER SECTION จากช่อง “A” จะผ่านช่อง “B” ไปเข้าห้องด้านขวาในกระบอกสูบและเนื่องจากกระบอกสูบยึดอยู่กับที่ ไฮดรอลิคจึงดันลูกสูบให้เคลื่อนไปทางซ้ายพร้อมกับพาตัวเรือนของ SELECTOR VALVE และชิ้นงานที่ต่ออยู่กับส่วนปลายสุดของก้านสูบเคลื่อนตามไปด้วย ส่วนไฮดรอลิคในห้องด้านซ้ายจะถูกดันให้ไหลผ่านช่อง “D” กลับถังทางช่อง “C” ถ้าหยุดคันบังคับเมื่อไหร่ แกน SPOOL จะหยุดด้วย แต่ลูกสูบจะเคลื่อนตัวไปอีกเล็กน้อยจนมาปิดช่องทั้งสี่ช่อง คือทำให้เกิดตำแหน่ง “NEUTRAL” ขึ้นใหม่นั่นเอง ลูกสูบจึงหยุดการเคลื่อนตัวและอยู่กับที่ ถ้าดึงคันบังคับไปทางขวาลูกสูบก็จะเคลื่อนไปทางขวาด้วยหลักการทำงานแบบเดียวกัน

ตำแหน่งของ By-Pass Valve



SELECTOR VALVE **อยู่ตำแหน่ง** NEUTRAL

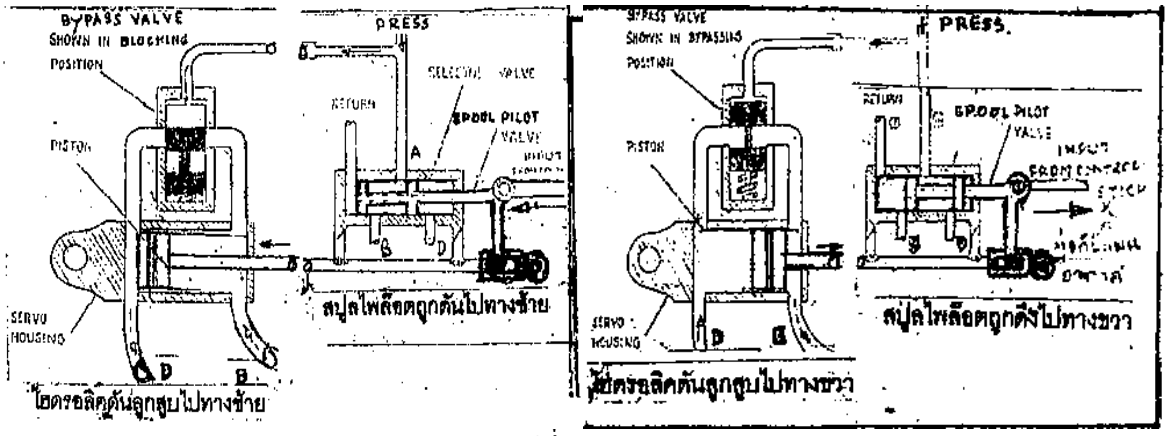
ขณะไฮดรอิคมีความดัน

(BYPASS VALVE จะถูกกดให้ปิดช่องด้านบนที่ต่อระหว่างห้องทั้งสองด้านของกระบอกสูบ)

ขณะไฮดรอลิคไม่มีความดัน

(BYPASS BALVE จะถูกสปริงดันให้เลื่อนขึ้นมาเปิดช่องด้านบนต่อให้ห้องทั้งสองของกระบอกสูบ

ถึงกัน)



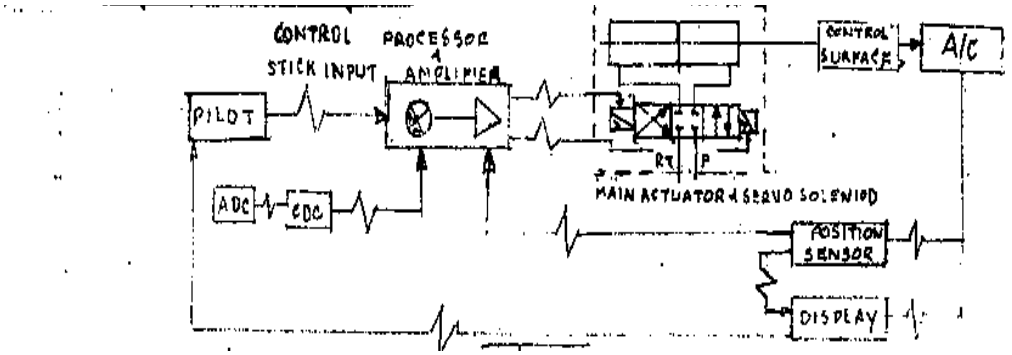
รูปที่ 1.3 ฎ

(SERVO VALVE แบบต่อขนานกับ CONROL STICK)

ส่วนการทำงานอง SERVO VALVE ที่ต่อขนานกับกระบอกสูบ ACTUATOR ขณะไม่มีความดันจากระบบไฮดรอลิคจะเป็นไปดังนี้ ถ้าระบบไฮดรอลิคไม่มีความดัน BYPASS BALVE จะถูกสปริงดันให้เลื่อนขึ้นด้านบนเปิดให้ห้องทั้งสองด้านของกระบอกสูบถึงกัน (รูปที่ 3.1 ฎ ขวา) การบังคับคันบังคับจะต้องออกแรงใช้กล้ามเนื้อดันหรือดึงคันบังคับแต่เพียงอย่างเดียว เช่นถ้าดันคันบังคับไปทางซ้าย แกน SPOOL พร้อมกับลูกสูบจะถูกจะถูกดันให้ไปทางซ้ายด้วยกันโดยไม่มีแรงดันไฮดรอลิคช่วย และชิ้นงานที่ยึดอยู่ที่ปลายของก้านสูบจะเคลื่อนที่ทำงานตามไปด้วย ไฮดรอลิคในห้องทั้งสองด้านของกระบอกสูบจะไหลถ่ายเทถึงกันผ่าน BYPASS VALVE ตลอดเวลาที่ลูกสูบเคลื่อนตัวเพื่อลดแรงด้านการไหลของไฮดรอลิคทำให้การบังคับเบาแรงลง และไม่ให้เกิด AIR LOCK ในกระบอกสูบ SERVO VALVE ที่ต่อขนานกับ ACTUATOR จะเหมาะสำหรับใช้บังคับท่าบินของอากาศยานขนาดเล็กที่ใช้ระบบไฮดรอลิคเพียงระบบเดียวช่วยบังคับ เช่น การบังคับระบบ MAIN ROTOR ของ เฮลิคอปเตอร์ อนึ่งในการบังคับระบบไฮดรอลิคให้ทำงานด้วย SERVO VALVE ระหว่างที่ไฮดรอลิคมีความดันจะใช้แรงเพียงเล็กน้อยเพื่อดึงหรือดันแกน SPOOL ของ SERVO VALVE เท่านั้น ดังนั้นจึงมีแรงต้านกลับน้อยมากทำให้ได้รับความรู้สึกตอบกลับว่าได้บังคับไปมากน้อยเท่าไหร่ไม่ถูกต้อง จึงต้องมีความรู้สึกเทียม (ARTIFICIAL FEEL) เป็นแรงตอบกลับ โดยใช้แรงสปริง ที่เรียกว่า “ARTIFICIAL FEEL SPRING” ไว้ต้านแรงที่ใช้บังคับ นอกจากนี้ยังช่วยดึงให้ SERVO VALVE คืนกลับตำแหน่ง “NEUTRAL” เดิมเมื่อเลิกการบังคับอีกด้วย

3.2.2.3 การใช้ระบบไฮดรอลิคและระบบอีเลคโทรนิคทำงานร่วมกัน PRORORTION CONTROL หรือ ELECTRO HYDRAULIC ทำงานแทนกลไก FOLLOW UP ที่ใช้กับระบบบังคับท่าบิน (FLIGHT CONTROL) การเปลี่ยนตำแหน่งของคันบังคับจะส่งเป็นสัญญาณอีเลคโทรนิค (CONTROL STICK INPUT) ไปเข้าที่ ชุดแปลงสัญญาณ “PROCESSOR” เพื่อ แปลงออกเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปบังคับ SOLENOID ของ SERVO VALVE เพื่อบังคับสูบงานให้แพนอากาศ (CONTROL SURFACE) เปลี่ยนท่าบินของอากาศยาน ขณะที่ท่าบินเปลี่ยนไป POSITION SENSOR จะตรวจสอบการเปลี่ยนท่าบินเป็นสัญญาณ

กลับไปเข้าชุด PROCESSOR เพื่อประมวลผลเปรียบเทียบกับสัญญาณ IN PUT จากคันบังคับ ให้ออกเป็นสัญญาณผลสัมฤทธิ์ไปควบคุม SERVO VALVE บังคับสูบงานให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำตามตำแหน่งที่บังคับคันบังคับ ชุดให้งานกล (ACTUATING SECTION) แบบนี้เป็นต้นแบบของระบบ “FLY BY WIRE” ที่ใช้กับอากาศยานรบในปัจจุบัน มีข้อดีคือตอบสนองการบังคับได้รวดเร็วแม่นยำ ลดกลไกคันชักคันส่ง , สายเคเบิลและรอกลงมากเพราะใช้สายไฟรับ – ส่งสัญญาณไปควบคุมแทน อนึ่งอากาศยานรุ่นใหม่จะใช้ระบบ เมกาทรอนิค “MECHATRONICS” บังคับ Servo Valve แทนกลไก Follow Up ซึ่งระบบ MECHARONICS เป็นระบบที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่เช่นที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์



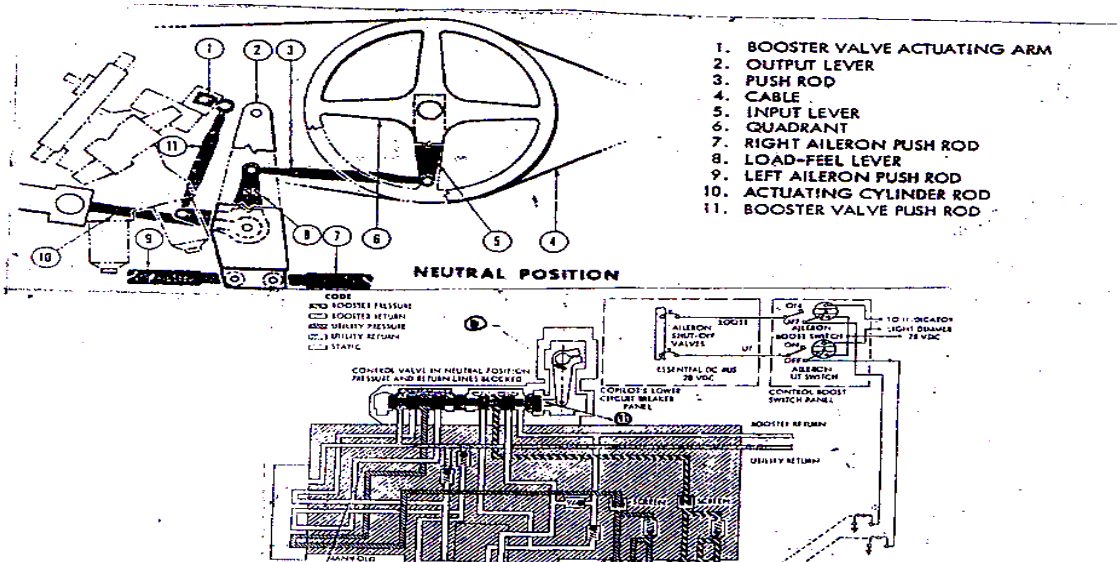
รูปที่ 1.3 ณ

PROPORTION CONTROL **หรือ** ELECTROHYDRAULIC

ต้นแบบระบบ “LY BY WIRE”

3.2.3 การทำงานของกลไก FOLLOW UP ที่ใช้กับ CONTROL VALVE และที่ใช้กับ SERVO VALVE กลไก FOLLOW UP หรือ FOLLOW UP LINKAGE เป็นกลไกที่ถ่ายทอดการเคลื่อนตัวจากคันบังคับ (CONTROL STICK) ให้มาเปลี่ยนตำแหน่งของ SELECTOR VALVE หรือ CONTROL VALVE หรือ SERVO VALVE (เรียก CONTROL VALVE เพราะมีกลไก FOLLOW UP ทำให้กลับมาอยู่ตำแหน่ง Neutral เดิมโดยอัตโนมัติ, เรียก SERVO VALVE เพราะมีกลไก FOLLOW UP ทำให้เกิดตำแหน่ง Neutral ได้ทุกที่เมื่อหยุดหรือค้างการบังคับ)

3.2.3.1 กลไก FOLLOW UP ที่ใช้กับ CONTROL VALVE

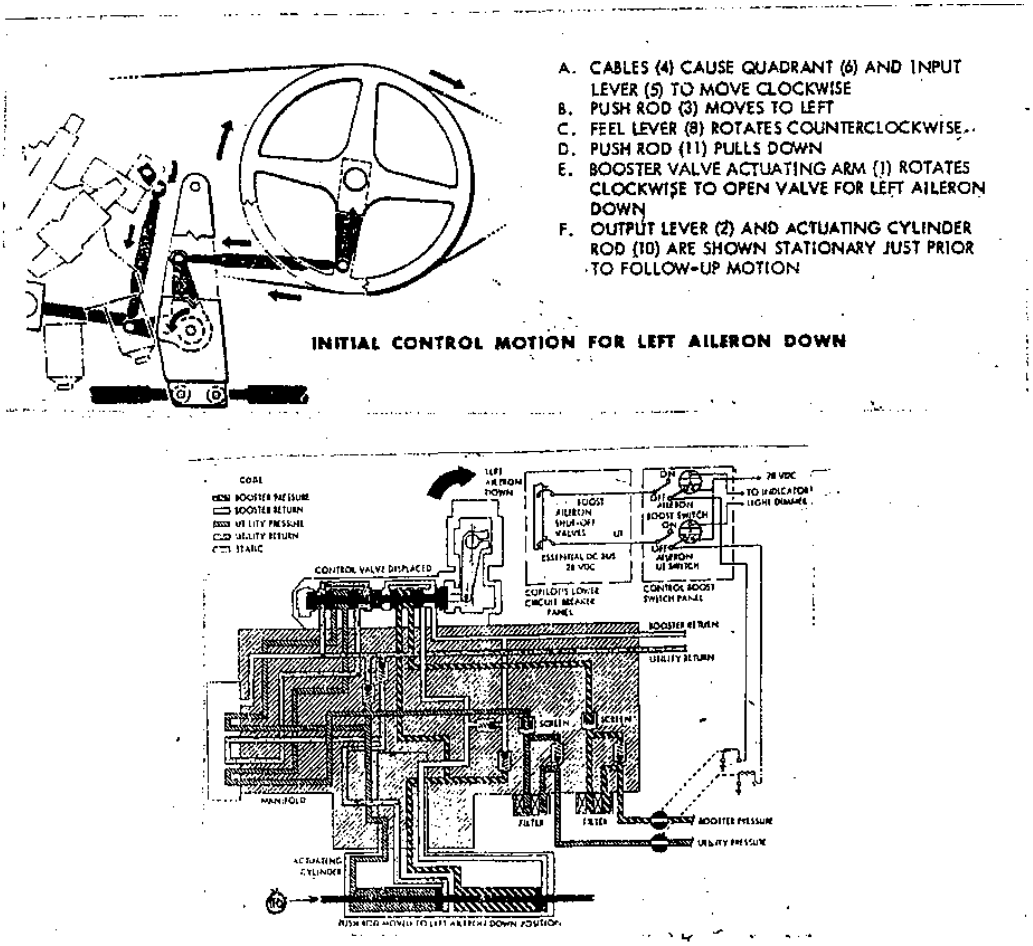


รูปที่ 1.3 ด

(กลไก FOLLOW UP ใช้กับ CONTROL VALVE)

การทำงานตามรูปที่ 1.3 ด รูปบน Quadrant (6) และ Cable (4) อยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนไหว จะบังคับให้ CONTROL VALVE รูปล่างกลับมาอยู่ตำแหน่ง “Neural” ที่เดิมซึ่งมีอยู่ที่เดียว สูบงาน (Tandem Actuator) จึงหยุดอยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนตัว

การทำงานตามรูปที่ 1.3 ต รูปบน เคเบิล (4) ที่มาจากคันบังคับดึง Quadrant (6) และ Input Lever (5) ให้หมุนตามเข็มนาฬิกา จะไปดัน Push Rod (3) ให้ไปทางซ้าย ดัน Feel Lever (8) ให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาและจะดึง Push Rod (11) ลงมาด้วย Push Rod (11) ให้หมุนตามเข็มนาฬิกา Control Valve รูปล่าง จึงเปิดให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าไปที่ห้องด้านซ้ายของสูบงานทั้งสองห้องดันลูกสูบให้เคลื่อนตัวไปทางขวา Actuating Cylinder Rod (10) จึงเคลื่อนตัวเข้า (Retract) พร้อมกับดึง Out Put Lever (2) ไปตามเข็มนาฬิกาและพา Aileron Rod (9) ไปด้วย ทำให้ Aileron ซ้ายเคลื่อนตัวลง (Down)

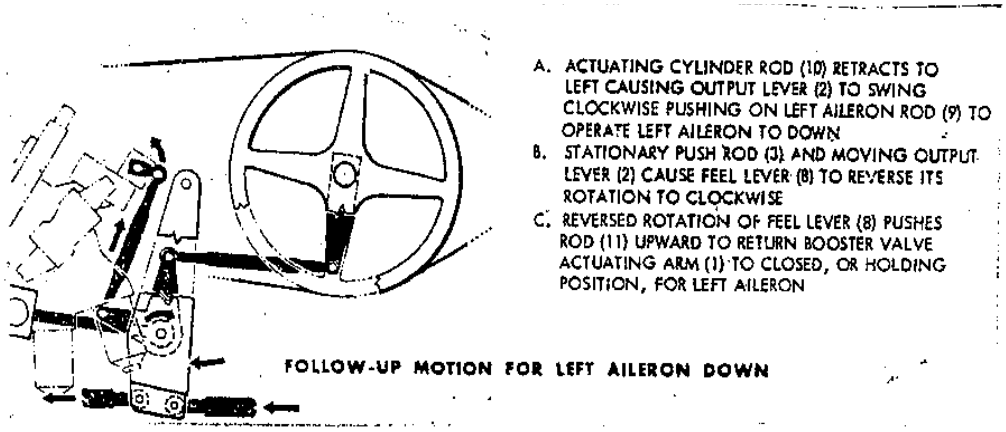


CONTROL VALVE เปิดส่งไฮดรอลิคเข้าไปดันลูกสูบทางห้องซ้ายทั้งสองห้อง

รูปที่ 1.3 ต

(กลไก FOLLOW UP บังคับ CONTROL VALVE ให้เปิดส่งไฮดรอลิคดันลูกสูบไปทางขวา)

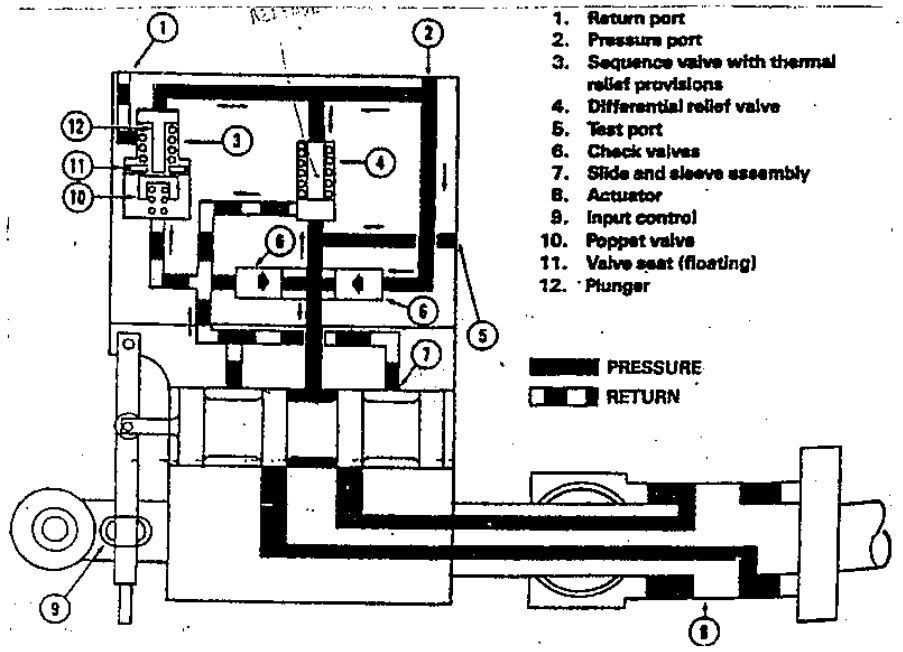
การหยุดการเคลื่อนที่ของ Push Rod (3) และการเคลื่อนที่ของ Out Put Lever (2) จะทำให้ Feel Lever (8) เคลื่อนตัวกลับทาง ซึ่งการเคลื่อนตัวกลับทางของ Feel Lever (8) จะทำให้ Push Rod (11) เคลื่อนขึ้นด้านบนทำให้ CONTROL VALVE กลับมาอยู่ตำแหน่ง Neutral ที่เดิม เพื่อให้ Aileron ค้างอยู่ตามตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ 1.3 ฉ

(กลไก Follow Up **บังคับ** Control Valve **(ให้กลับ** Neutral **ที่เดิมเมื่อหยุดหรือค้างการบังคับ))**

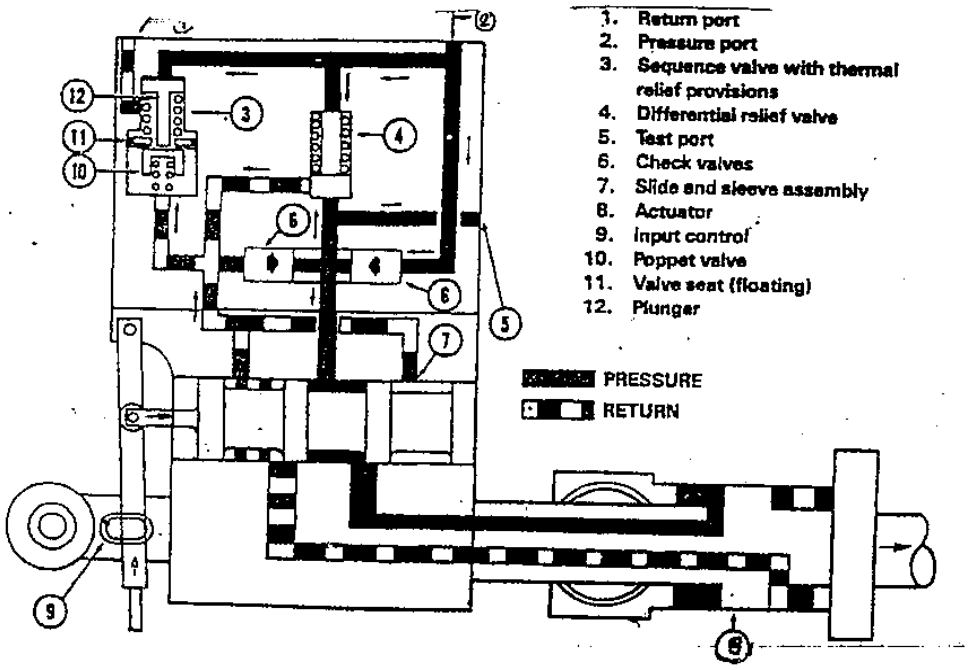
3.2.3.2 การทำงานของกลไก FOLLOW UP ที่ใช้กับ SERVO VALVE



รูปที่ 1.3 ท

(กลไก FOLLOW UP **ที่ใช้กับ** SERVO VALVE **ขณะอยู่ตำแหน่ง** “Neutyral”)

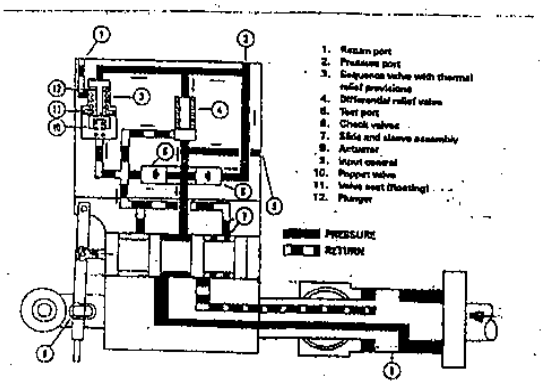
ตามรูปที่ 1.3 ท วาล์วเปลี่ยนทางแบบลูกสูบ Slide and sleeve assembly (7) ซึ่งอยู่ติดกันก้านสูบจะถูกกลไกจากคันบังคับ Input control (9) บังคับให้ปิดทางไฮดรอลิคภายใต้ความดันจาก Pressure port (2) ไม่ให้เข้าไปที่สูบงาน Actuator (8) เมื่อยู่ตำแหน่ง Neutral หรือบังคับค้างตำแหน่งไว้



รูปที่ 1.3 ธ

(กลไก FOLLOW UP **บังคับ** SERVO VALVE **ให้ส่งไฮดรอลิคเข้าไปดันลูกสูบไปทางขวา)**

การทำงานตามรูปที่ 1.3 ธ Control input (9) ถูกบังคับจากคันบังคับให้ไปทางขวาดัน Slide and sleeve assembly (7) เปิดทางให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าไปที่ห้องด้านซ้ายของสูบงาน Actuator (8) ดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ไปทางขวาและพา Slide and sleeve assembly (7) เคลื่อนไปทางขวาด้วยตลอดเวลาที่ Control input (9) ยังคงถูกดันไปทางขวาอย่างต่อเนื่องอยู่ แต่ถ้า Control input หยุดอยู่กับที่เมื่อไหร่ก้านลูกสูบของ Slide and sleeve assembly (8) จะหยุดด้วย แต่ตัวเรือนหรือตัวเสื้อ (Sleeve) จะเคลื่อนตามก้านสูบของ Actuator ไปจนช่องออกและช่องกลับถังที่ตัวเรือน ของ slide and sleeve assembly มาตรงกับ บ่าตรงกลางทั้งสองของ Slide ทำให้ SERVO VALVE เกิดตำแหน่ง Neutral ขึ้นใหม่ที่ไม่ใช่ที่เดิม



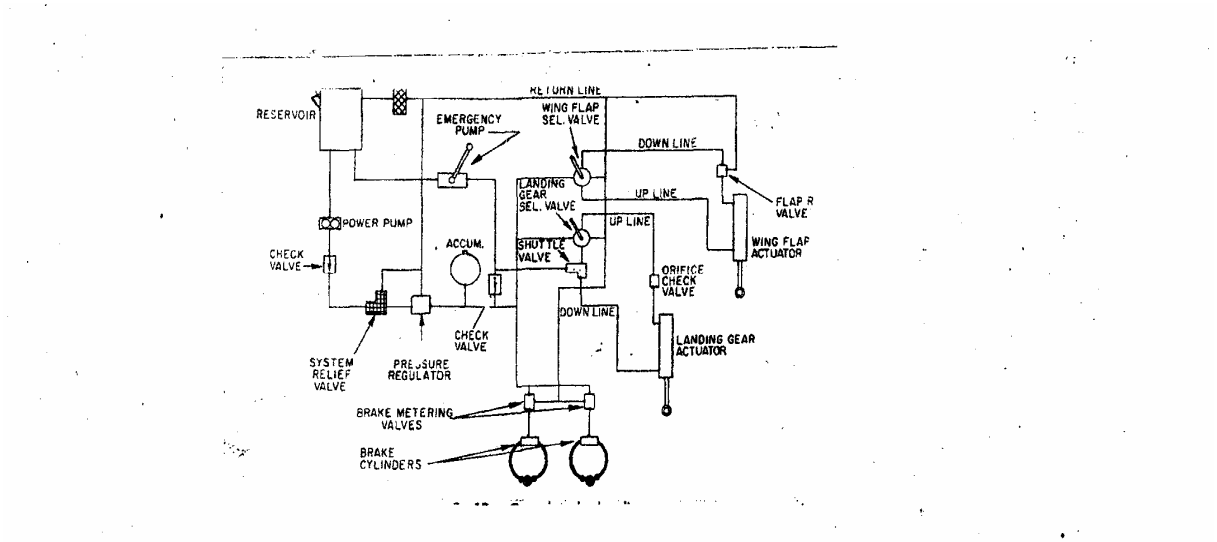
รูปที่ 1.3 ผ

(กลไก Follow Up **บังคับ** Servo Valve **ส่งไฮดรอลิคดันลูกสูบไปทางซ้าย)**

4. **วงจรและสัญญาณลักษณ์ของระบบไฮดรอลิค** วงจรที่ใช้แสดงการไหลและการทำงานของระบบ ไฮดรอลิคมีสองชนิดคือ “SCHEMATIC DEAGRAM หรือ FLOW DIAGRAM”กับ “BLOCK DIAGRAM” ส่วนสัญลักษณ์ที่จะใช้แทนอุปกรณ์ในระบบมีสองประเภทคือ ภาพเหมือนแบบกราฟฟิกที่ผ่าให้เห็นภายในโดยสังเขป กับ แบบเป็นสัญลักษณ์ (SYMBOL)

4.1 SCHEMATIC OR FLOW DIAGRAM เป็นวงจรที่แสดงการไหลและการทำงานในระบบลักษณะคล้ายกับผ่าระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ แบบกราฟฟิกในระบบออกมา หรือใช้สัญลักษณ์ให้เห็นการทำงานภายในโดยสังเขป และ แสดงการต่อเชื่อมถึงกันของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ SCHEMATIC หรือ FLOW DIAGRAM ของระบบไฮดรอลิคในอากาศยานที่มีความซับซ้อนจะแยกเป็นส่วนต้นกำลัง “POWER SECTION SCHEMATIC” และส่วนให้งานกล “ACTUATING SECTION SCHEMATIC” ไว้คนละตอนกัน SCHEMAIC หรือ FLOW DIAGRAM นี้มีประโยชน์สำหรับใช้ประกอบค้นหาข้อขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบ และการไหลของไฮดรอลิคทั้งระบบ

การพิจารณาการทำงานของวงจร “SCHEMATIC” ตามรูปที่ 1.4 เป็น SCHEMATIC DIAGRAM ที่แสดงทั้ง “POWER SECION” และ “ACTUATING SECTION” ไว้ในตอนเดียวกัน เส้นแสดงการไหลหรือเส้นที่ใช้แทนท่อทางแสดงไว้เป็นเส้นเดียว



รูปที่ 1.4

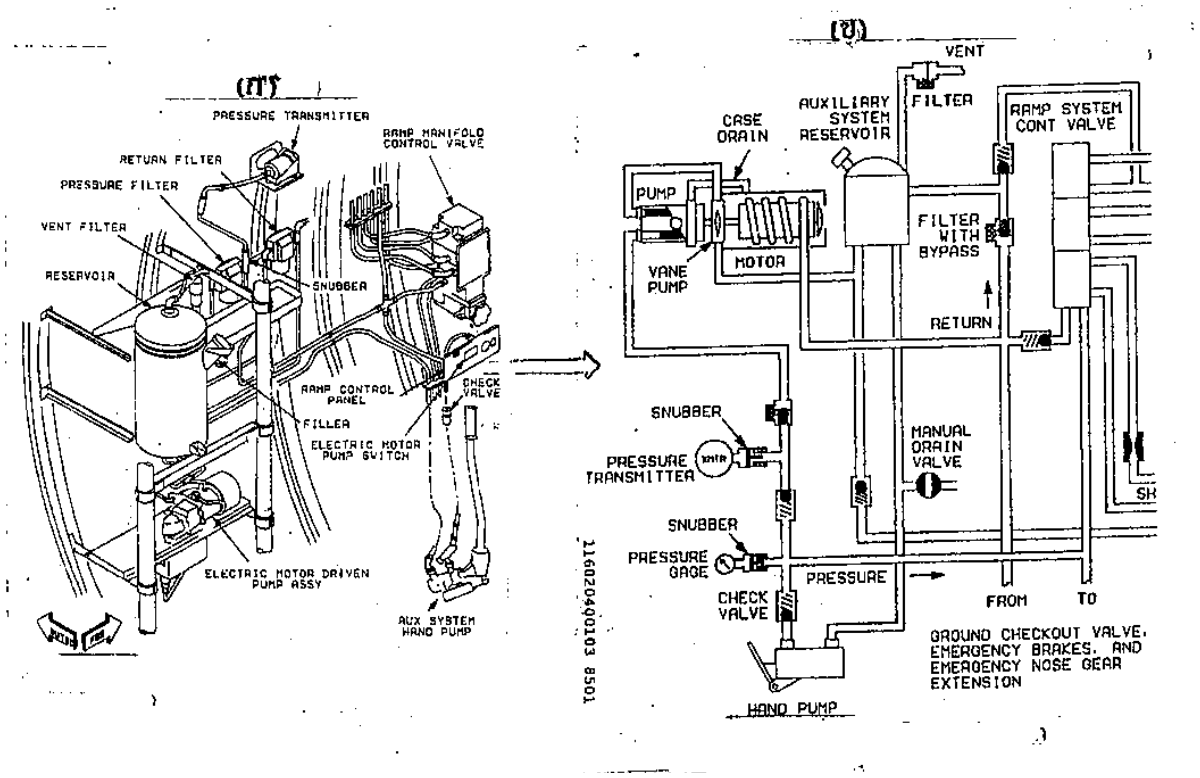
(SCHEMATIC DIAGRAM พื้นฐาน ที่รวม POWER SECTION และ ACTUATING SECTION ไว้ในวงจรเดียวกัน)

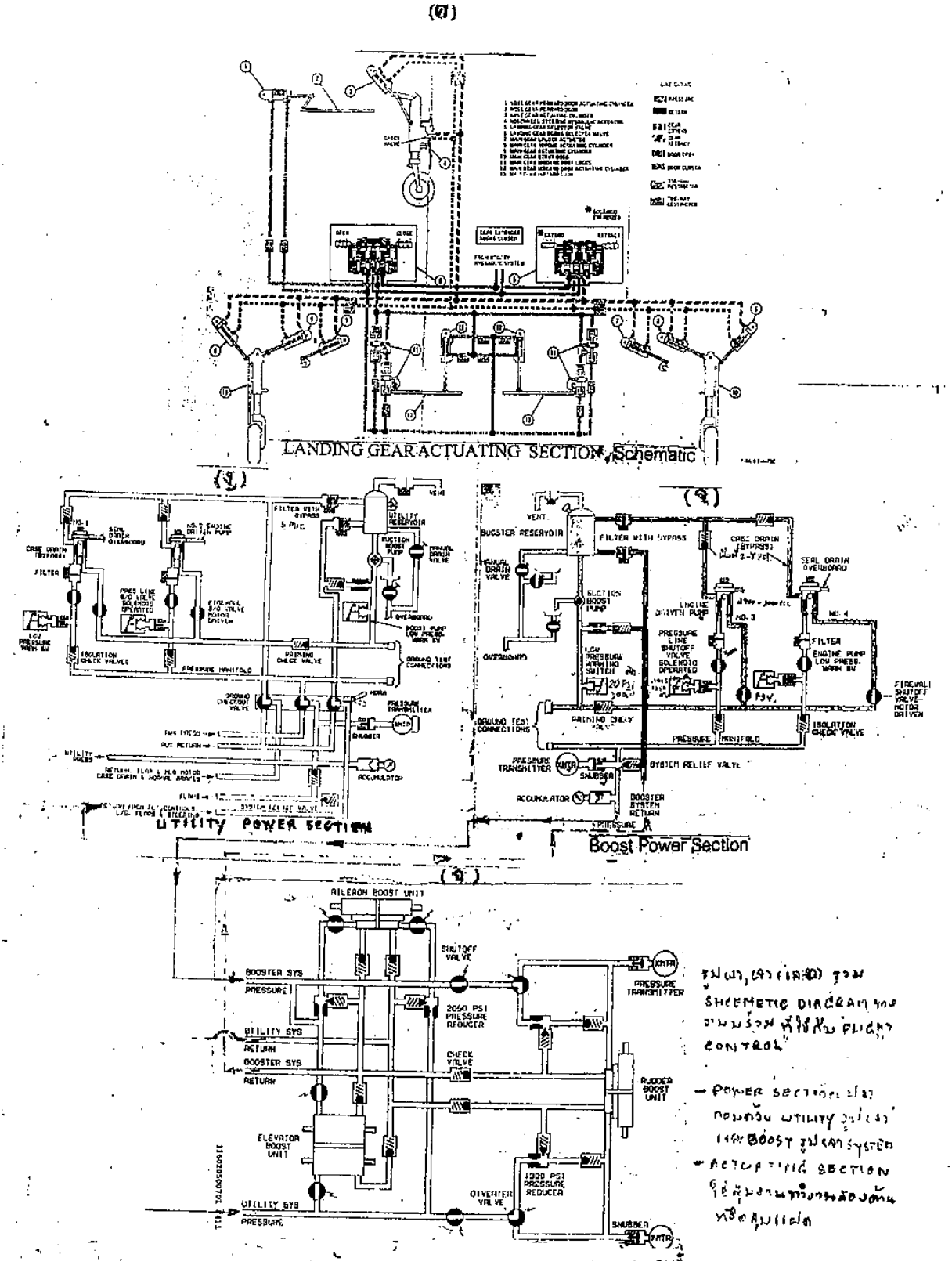
ในส่วนของ “POWER SECTION” POWER PUMP จะดูดไฮดรอลิคจากถังเก็บแล้วปั๊มจ่ายออกผ่าน CHECK VALVE ไปยัง SYSTEMR ELIEF VALVE เพื่อป้องกันไม่ให้ความดันในระบบขึ้นสูงจนเกิดอันตราย

ได้ จากนั้นไปเข้า PRESSURE REGULATOR เพื่อลดโหลดของปั้มจากความดันด้านกลับขณะความดันในระบบถูกกักไว้ (เนื่องจากปั้มเป็นประเภทจ่ายปริมาตรคงที่ (CONSTANT VOLUME) แล้วไปเข้า ACCUMULATOR เพื่อให้ช่วยเสริมความดันในระบบถ้าความดันลดลงอย่างรวดเร็ว แล้วจึงแยกไปเข้าส่วนให้งานกล “ACTUATING SECTION” คือ SELECTOR VALVE ของ WING FLAP : SELECTOR VALVE ของ LANDING GEAR และ BRAKE METERING VALVE ในระบบเบรก ตัวอย่างเช่นเมื่อต้องการกางฐานต้องเปลี่ยนตำแหน่ง SELECTOR VALVE ของฐาน มาตำแหน่ง DOWN ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจะไหลผ่าน SELECTOR VALVE ไปเข้าวาล์วจัดทาง (SHUTTLE VALVE) ซึ่งวาล์วนี้จะเปิดให้ไฮดรอลิคจากระบบปกติผ่านออกไปเข้าทาง DOWN LINE ของ LANDING GEAR ACTUATOR ดันให้ฐานกางลงมา ไฮดรอลิคทางด้าน UP LINE จะถูกดันให้ไหลกลับถังผ่าน ORIFICE CHECK VALVE เพื่อหน่วงให้ฐานกางช้าลงแล้วไปผ่าน SELECTOR VALVE กลับถังไปทาง RETURN LINE ส่วนสูบฉุกเฉิน (EMERGENCY PUMP) เป็นสูบโยกมือจะปั้มไฮดรอลิคจ่ายไปอีกด้านหนึ่งของ SHUTTLE VALVE ถ้าระบบปกติไม่มีความดัน SHUTLE VALVE จะปล่อยให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากสูบโยกมือผ่านไปเข้า LANDING GEAR ACUATOR ให้ฐานกางออกแทนความดันจากระบบปกติ ทำนองเดียวกันถ้าจะส่งให้ FLAP ต้องให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าไปที่ WING FLAP ACTUATOR หรือถ้าต้องการห้ามล้อก็เหยียบกระเดื่องห้ามล้อให้เปิด BRAKE METERING VALVE ส่งให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันไปเข้าที่ BRAKE CYLINDER

อุปกรณ์ของ Power Section **ที่ติดตั้งในระบบ** Schematic Diagram **ของ** Power Section

POWER SECTION SCHEMATIC

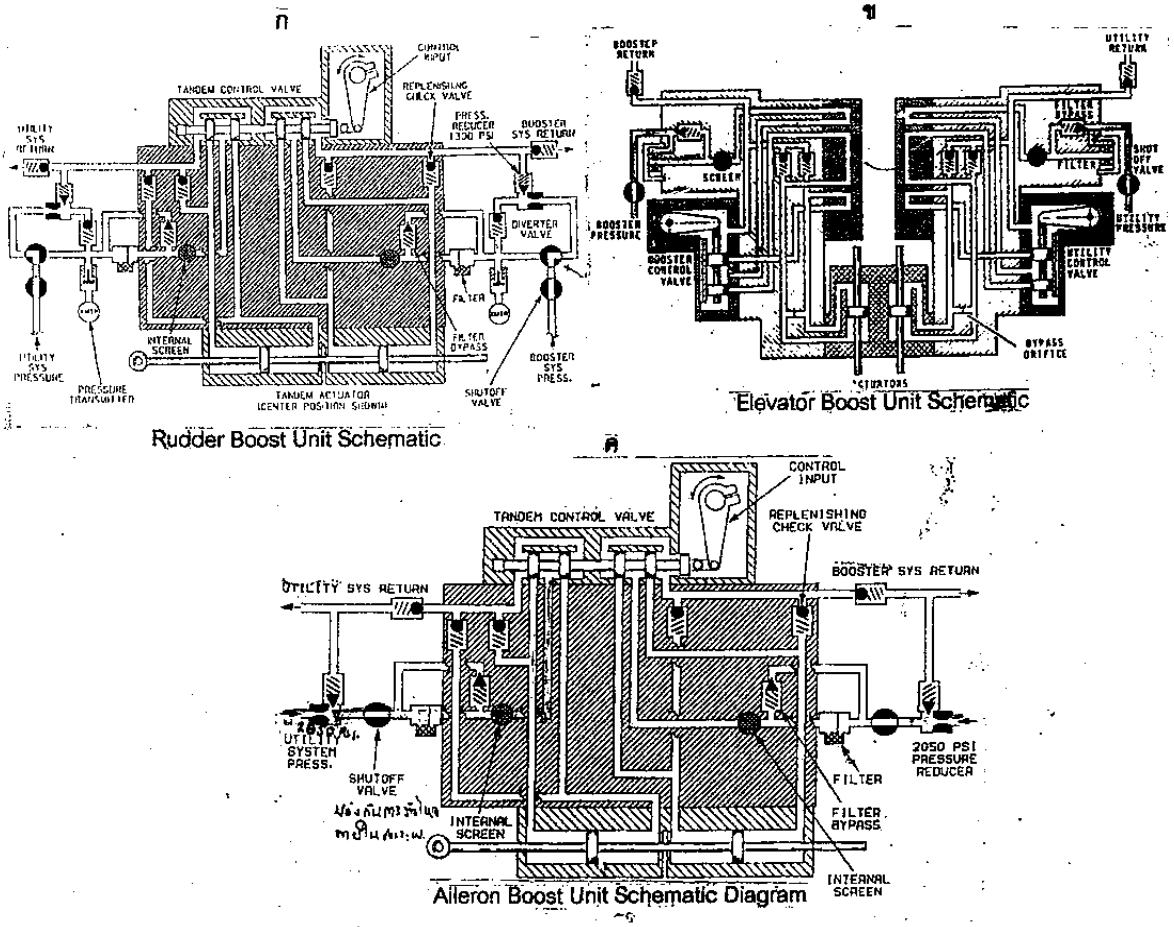




FLIGHT CONTROL ACTUATING SCHEMAIC

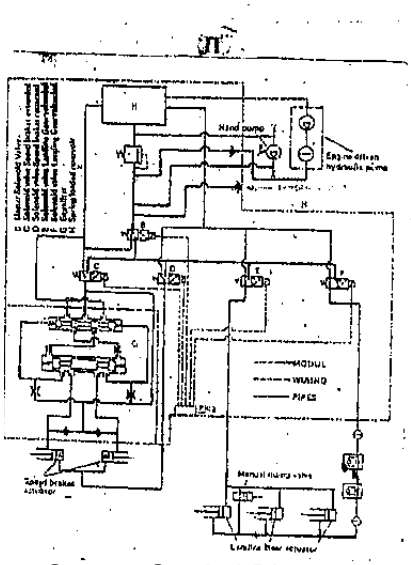
รูปที่ 1.5

POWER SECTION และ ACTUATING SECTION SCHEMATIC DIAGRAM

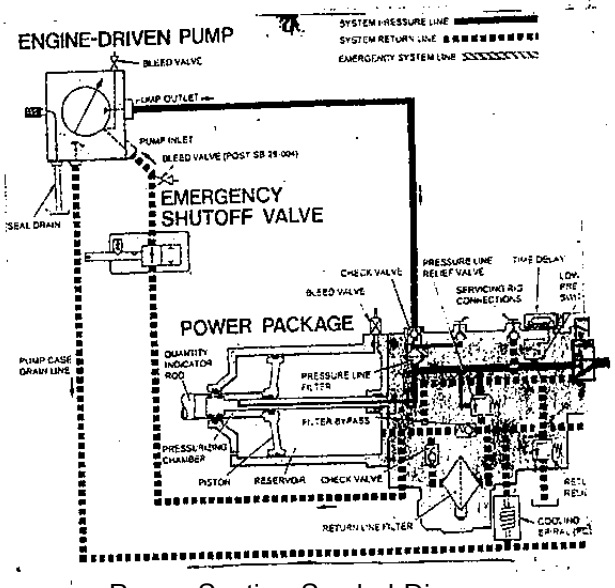


รูปที่ 1.6 SCHEMATIC DIAGRAM **ของอุปกรณ์**

4.2 วงจรแบบใช้สัญลักษณ์ (Symbol Diagram) วงจรนี้จะใช้สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ (หน้า23) เป็นวงจรในระบบ วงจรที่ทางเดินไฮดรอลิคแสดงไว้เป็นเส้นเดียวส่วนมากจะแสดงวงจรครบทั้งระบบ ซึ่ง Power และ Actuating Section จะอยู่ในวงจรเดียวกัน (รูปที่ 1.7 ก) ส่วนรูปที่ 1.7 ข เป็นวงจรเฉพาะ Power Section ที่เป็น Power package (ส่วนที่แลเงา) ทางเดินไฮดรอลิคแสดงด้วยเส้นคู่



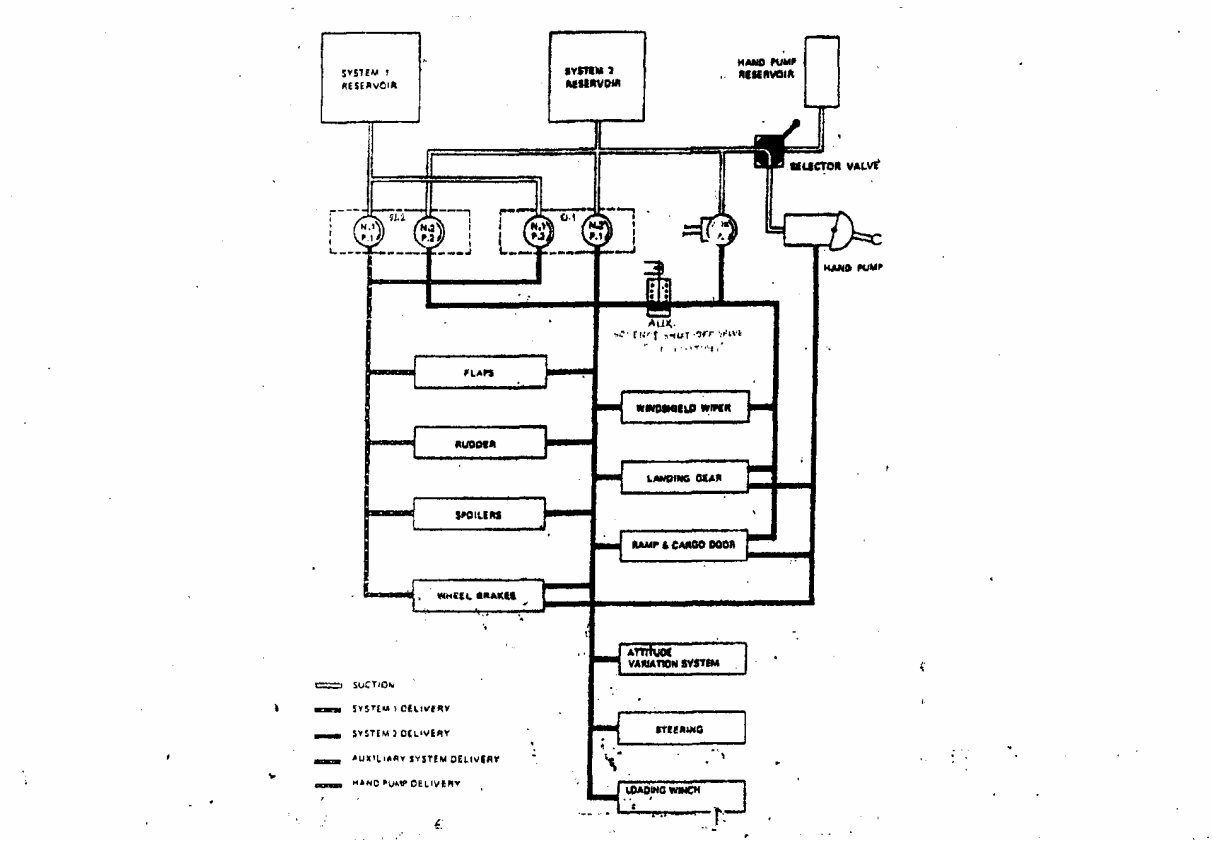
System Symbol Diagram



Power Section Symbol Diagram

รูปที่ 1.7

4.3 BLOCK DIAGRAM เป็นวงจรแสดงให้เห็นว่าระบบใดบ้างในอากาศยานที่ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิค และเชื่อมโยงการทำงานกับอุปกรณ์หลักในระบบไฮดรอลิคอย่างไร เช่น ถังเก็บน้ำมันปั้น , ปั้น เป็นต้น จะไม่แสดงอุปกรณ์ประกอบย่อยของระบบทั้งหมดเหมือน SCHEMAIC DIAGRAM ประโยชน์ของ BLOCK DIAGRAM เพื่อดูภาพรวมของระบบไฮดรอลิคในอากาศยานนั้นทั้งเครื่องว่าต่อโยงไปใช้กับระบบต่าง ๆ ของอากาศยานอย่างไรโดยสังเขป BLOCK DIAGRAM จะรวมทั้ง “POWER SECTION” และ ”ACTUATING SECTION” ไว้ตอนเดียวกัน



รูปที่ 1.8

(BLOCK DIAGRAM)

ตามรูปที่ 1.8 เป็นบล๊อคไดอะแกรมของระบบไฮดรอลิคในอากาศยานแบบ G 222 BLOCK DIAGRAM จะแสดงให้ทราบว่า ในการทำงานตามปกติจะใช้ระบบไฮดรอลิคสองระบบคือระบบ 1 และระบบ 2 ทำงาน โดยมีระบบช่วยที่ใช้ปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (AUXILIARY PUMP) ไว้เสริม และยังมีระบบสำรองใช้สูบโยกมือ (HAND PUMP) คือ

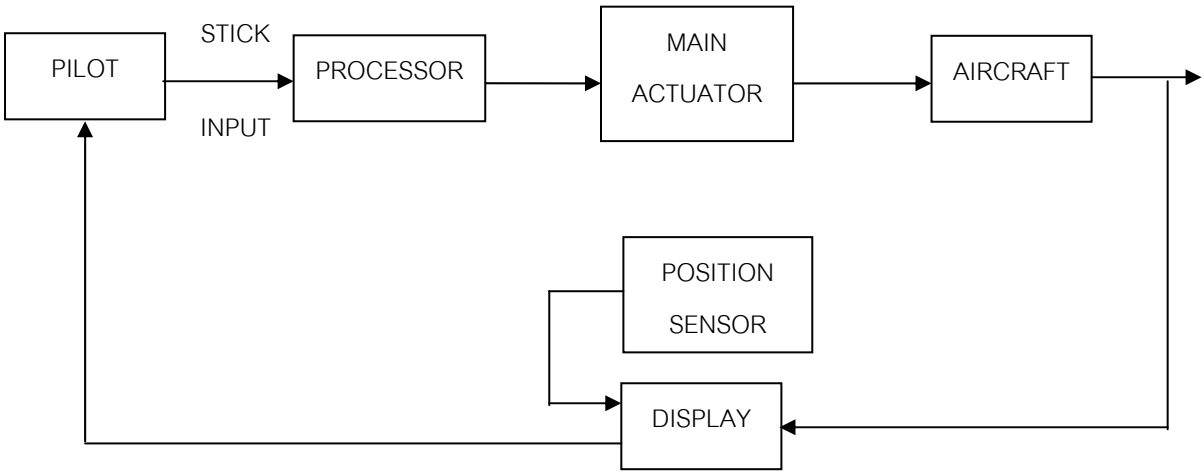
ระบบที่ 1 (SYSTEM 1) ตัวกำเนิดพลังงานคือ ปั้มสองปั้มขับด้วยเครื่องยนต์หมายเลข 1 และหมายเลข 2 จ่ายไฮดรอลิคออกไปทำงานกับ ระบบ FLAP , ระบบหางเสือเลี้ยว (RUDDER) , ระบบสปอยเล่อร์ (SPOILER) , และระบบห้ามล้อ (WHEEL BRAKE) โดยร่วมกับระบบที่ 2

ระบบที่ 2 (SYSTEM 2) ตัวกำเหนิดพลังงานคือปั้มสองปั้มขับด้วยเครื่องยนต์หมายเลข 1 และหมายเลข 2 เช่นเดียวกับระบบที่ 1 จ่ายไอดรอลิคออกไปทำงานกับ ระบบ FLAP ระบบหางเสือเลี้ยว (RUDDER) ระบบสปอยเล่อร์ (SPOILER) และระบบห้ามล้อ (WHELL BRAKE) โดยร่วมกับระบบที่ 1 , ระบบปัดน้ำฝน (WINDSHIELD WIPER) , ระบบฐาน (LANDING GEAR), ระบบปิด เปิดประตู (RAMP @ CARGO DOOR), ระบบ ATITUDE VARIATION SYSTEM, ระบบบังคับเลี้ยวล้อหน้า (STEERING) และระบบกว้านรอก (LOADING WINCH)

ระบบช่วย (AUXILIARY) ตัวกำเนิดพลังงานคือปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ถ้า SOLINOID SHUTOFF VALVE ปิด(ไม่มีไฟฟ้าเข้า)จะจ่ายไฮดรอลิคไปทำงานกับ ระบบปัดน้ำฝน (WINDSHIELD WIPER), ระบบฐาน (LANDING GEAR) และระบบ ปิด เปิดประตู (RAMP @ CARGO DOOR) ร่วมกับระบบที่ 2 แต่ถ้าเปิด SOLENOID VALVE (ไฟฟ้าเข้า)ในกรณีที่ระบบ 1 และระบบ 2 ไม่มีความดัน จะใช้ได้กับทุกระบบ

ระบบสำรอง ตัวกำเนิดพลังงานคือสูบโยกมือใช้ไฮดรอลิคจากถังระบบ 2 หรือ ถังของสูบโยกมือเอง ตามแต่จะเลือกจ่ายไฮดรอลิคไปทำงานที่ระบบฐาน (LANDING GEAR), ระบบปิดเปิดประตู (RAMP @ CARGO DOOR) และระบบเบรก (WHEEL BRAKE) ให้ทำงานที่พื้นโดยไม่ต้องติดเครื่องยนต์

อนึ่ง BLOCK DIAGRAM มักจะไม่แสดงท่อทางกลับถัง (RETURN LINE) ไว้ในไดอะแกรม



รูปที่ 1.9

(“ACTUATING SECTION” BLOCK DIAGRAM **ของ อีเลคโทรไฮดรอลิค หรือ** “FLY BY WIRE”)

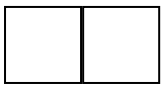
สัญญลักษณ์ของอุปกรณ์

ตามแบบ AMERICAN NATIONAL STANDARD INTITUTE

สัญญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เขียนแทนวาล์ว ในวงจรระบบลมอัดและระบบไฮดรอลิค ในปัจจุบันใช้แบบ ANSI SYMBOL (AMERICAN NATIONAL STANDARD INTITUTE) ซึ่งจะแสดงหน้าที่ และการทำงานของวาล์ว เป็นสัญญลักษณ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. วาล์วควบคุมทิศทาง (SELECTOR VALVE) มีสัญญลักษณ์แสดงตำแหน่งและท่อทางดังนี้

ตำแหน่งของวาล์ว เขียนแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยม



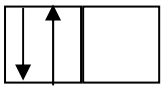
จำนวนช่องสี่เหลี่ยมจะเท่ากับจำนวนตำแหน่งของวาล์ว ที่เปลี่ยนได้

เส้นภายในช่องสี่เหลี่ยม หมายถึง ท่อทางภายในวาล์วที่ลมไหลผ่านได้
และลูกศรหมายถึง ทิศทางการไหล

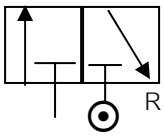
ท่อที่ถูกปิดภายในวาล์ว เป็นเส้นรูปตัว T

ท่อที่ต่อถึงกันภายในวาล์ว

ท่อภายในวาล์ว 2 ท่อ ไม่ต่อรวมกัน

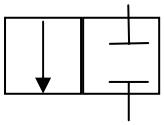


จุดต่อแสดงเพราะตำแหน่งปกติเท่านั้น จุดต่อจะขีดเป็นเส้นล้ำออกนอกกรอบ



สัญลักษณ์ ⊙ หมายถึง แหล่งจ่ายกำลัง (SOURCE)

1.1 การอ่านสัญลักษณ์ วาล์วควมคุมทิศทาง



ใช้โค้ด 2/2

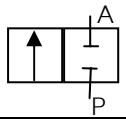
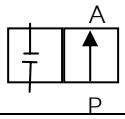
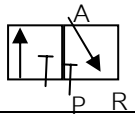
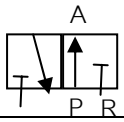
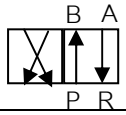
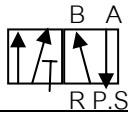
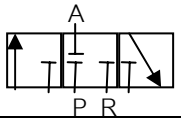
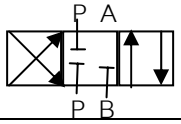
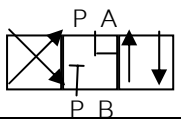
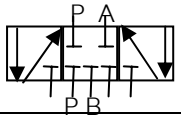
1.1.1 เลข 2 ตัวแรกหมายถึง จำนวน PORT ของ วาล์ว

1.1.2 เลข 2 ตัวหลังหมายถึง จำนวน (POSITION) ของวาล์ว

ดังนั้นวาล์วตัวนี้จึงเป็น 2 FORTS และ 2 POSITON หมายถึงว่า วาล์วนี้ทำงานได้เพียง 2 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งปกติ วาล์วจะปิดอยู่ (NORMAILY OIOSERS)

ตัวอย่าง การอ่านสัญญลักษณ์ ของวาล์วควบคุมทิศทาง

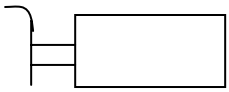
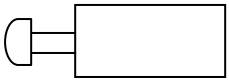
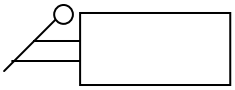
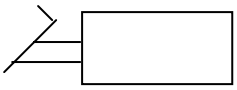
วาล์วควบคุมทิศทาง (DIRECTIONAL VALVES)

สัญลักษณ์	ชื่อ
	2/2 – WAY VALVE ตำแหน่งปกติ ปิด
	2/2 – WAY VALVE ตำแหน่งปกติ เปิด
	3/2 – WAY VALVE ตำแหน่งปกติ ปิด
	3/2 – WAY VALVE ตำแหน่งปกติ เปิด
	4/2 – WAY VALVE
	5/2 – WAY VALVE
	3/3 – WAY VALVE ตำแหน่งกลาง ปิด
	4/3 – WAY VALVE ตำแหน่งกลาง ปิด
	4/3 – WAY VALVE ตำแหน่งกลาง ลอย
	5/3 – WAY VALVE ตำแหน่งกลาง ปิด

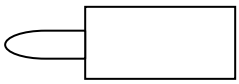
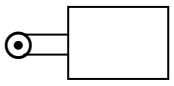
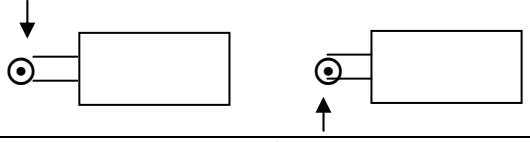
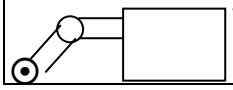
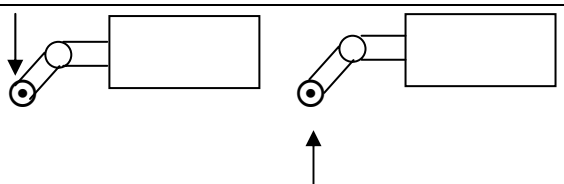
1.2 **<u>การเลื่อนวาล์วเปลี่ยนทาง</u>** สามารถให้เลื่อนได้หลายวิธี ส่วนวิธีการเลื่อนจะเป็นแบบใดนั้นดูได้จากสัญลักษณ์ เช่น เลื่อนด้วยวิธีใช้มือ , วิธีใช้กลไก , วิธีใช้ลม , วิธีใช้ไฟฟ้า และแบบผสม

<u>ตัวอย่าง</u> การเปลี่ยนวาล์ว และสัญลักษณ์

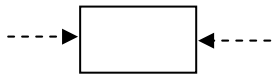
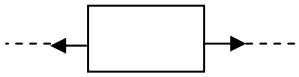
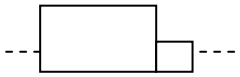
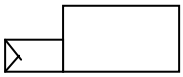
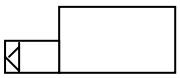
<u>การเลื่อนโดยใช้กล้ามเนื้อ</u> (MANUAL AOTUATION)

สัญลักษณ์	ความหมาย
 GENERA	สัญลักษณ์ทั่ว ๆ ไป ซึ่งใช้แทนการทำงานโดยใช้กล้ามเนื้อ
 PUSH BUTTON	ใช้มือกล
 LEVER	ใช้มือปิด หรือหมุน
 PEDAL	ใช้เท้าเหยียบ
DETENT	ใช้มือดึง หรือดัน

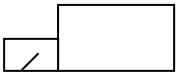
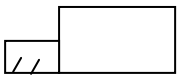
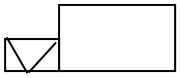
<u>การเลื่อนโดยใช้กลไก</u>

สัญลักษณ์	ความหมาย
 LUNGER	ใช้กลไกภายนอกเป็นตัวกด ทำงานได้สองทิศทาง
SPRING	สปริงเป็นตัวกับวาล์วให้กลับตำแหน่งปกติ ซึ่งโดยทั่วไปสปริงจะอยู่ภายในวาล์ว คอยดันอยู่ตลอดเวลา
 ROLLER LEVER	ใช้กลไกภายนอกเป็นตัวกด ซึ่งจะทำงานได้สองทิศทาง วาวทำงานทั้งสองทิศทาง 
 ROLLER LEVER WITH IDIE RETURN (ROLLER TRIP)	ใช้กลไกภายนอกเป็นตัวกด ซึ่งจะทำงานได้เพียงทิศทางเดียว วาล์วทำงาน วาล์วไม่ทำงาน 

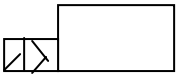
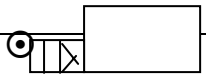
<u>การเลื่อนโดยไม่ใช้ลม</u> (PNEUMATIC ACTUATION OR PRESSURE ACTUATION)

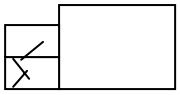
สัญลักษณ์	ความหมาย
 APPLY PRESSURE	ใช้ลมดันให้วาล์วเลื่อนโดยตรง
 RELEASE PRESSURE	ปล่อยลมให้วาล์วเลื่อนโดยตรง
 DIFFRENCE PRESSURE	เลื่อนด้วยความดันที่แตกต่างกัน
 PRESSURE APPLY TO PILOT VALVE	ใช้ลมไปดันวาล์วทางอ้อม (ต้องมีตัว ปิด –เปิด วาล์ว) ช่วย (PILOT VALVE) ภายในวาล์ว
 PRESSURE REMOVED FROM PILOT VALVE	ระบบลมจากวาล์วทางอ้อม

<u>การเลื่อนโดยใช้ไฟฟ้า</u> (ELECTRICAL ACTUATION)

สัญลักษณ์	ความหมาย
 SOLENOID	ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า มีขดลวด 1 ขด
 SOLENOID	ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า มีขดลวดหลายขด ทำงานในทิศทางเดียวกัน
 SOLENOID	ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า มีขดลวดหลายขด ทำงานในทิศทางตรงกันข้าม

<u>การเลื่อนโดยใช้แบบผสม</u> (COMBINED ACTUATION)

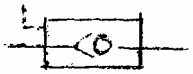
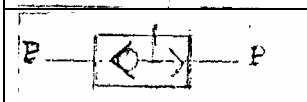
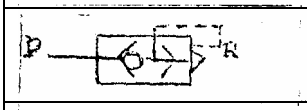
สัญลักษณ์	ความหมาย
 SOLENOLD AND PILOT VALVE	ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า มีขดลวด 1 ขด
 SOLENOLD AND PILOT VALVE SOLENOLD OR PILOT VALVE	ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า มีขดลวดหลายขด ทำงานใน

	ทิศทางเดียวกัน
	ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า มีขดลวดหลายขด ทำงานใน ทิศทางตรงกันข้าม

2. **<u>วาล์วควบคุมอัตราไหล</u>** (FLOW CONTROL VALVES)

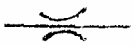
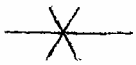
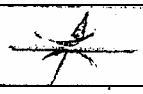
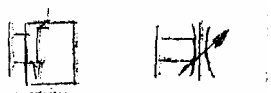
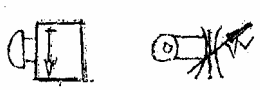
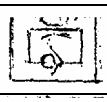
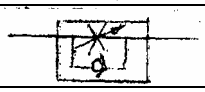
2.1 **วาล์วไหลทางเดียว** (NON RETURN OR CHECK VALVES)

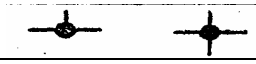
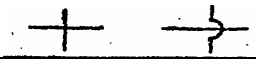
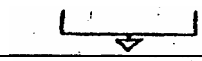
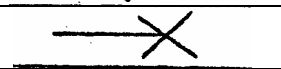
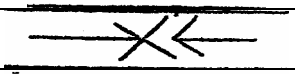
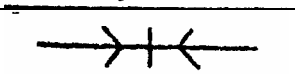
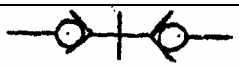
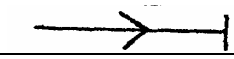
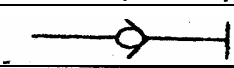
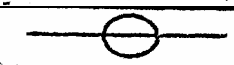
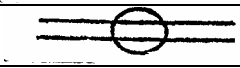
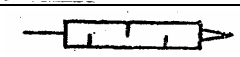
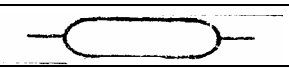
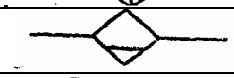
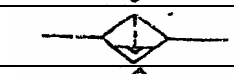
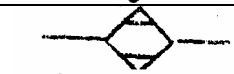
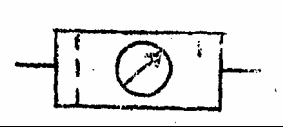
<u>วาล์วลมไหลทางเดียว</u> (NON – RETURN VALVES)

สัญลักษณ์	ชื่อ
	CHECK VALVE ไม่มีสปริงภายใน
	CHECK VALVE มีสปริงภายใน
	PILOT – CONTROLLED
	SHULE VALVE
	QUICK EXAUST VALVE
	TWO – PAESSURE VLVE

2.2 **<u>วาล์วควบคุมการไหล</u>** **(สองทาง)**

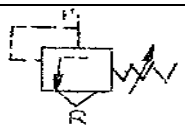
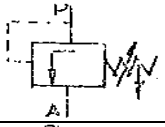
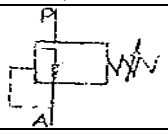
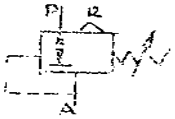
<u>วาล์วควบคุมการไหล</u> (PLOWCONTROL VALVES)

สัญลักษณ์	ชื่อ
	THROTTLE VALVE ชนิดปรับอัตราไหลไม่ได้
	DIAPHRAGM VALVE ชนิดปรับอัตราไหลไม่ได้
	THROTTLE VALVE ชนิดปรับอัตราไหลได้
	THROTTLE VALVE ชนิดปรับด้วยมือกล
	THROTLLE VALVE ชนิดปรับด้วยกลไก
	HROTTLE CHECK VALVE ADJUSTABLE
	DIAPHRAGM CHECK VALVE ADJUSTABLE

สัญลักษณ์	ชื่อ
	FLEXIBLE LINE
	LINE CONNECTION (FIXED)
	LINE CROSSING
	EXHAUST WITHOUT THREADED CONNECTION
	EXHAUST WITH THREADED CONNECTION
	AIR CONNECTION FOING, CLOSED
	AIR CONNECTION POINT WITH CONNECTED LINE
	QUICK RELEASE COUPLING, WIHOUT MECHANICALLY OPEN NON – REURN VALVES, COUPLED
	QUICK RELEASE COUPLING WIH MECHANICALLY OPENED NON – RETURN VALVES, COUPLING
	QUICK RELEASE COUPLING, DISCONNECTED LINE OPEN
	QUICK RELEASE COUPLING, DISCONNECTED LINE, CLOSE
	ROTARY CONNECTION WITH 1 PATH
	ROTARY CONNECTION WITH 2 PATH
	SILENCER
	PNEUMATIO CAPACITOR (ACCUMUAER)
	PILTER
	WATER SEPARATER, MANUALLY OPERATED
	WATER SEPARATER, WIE AUTOMATIO DRAIN
	PILTER WITH AUTOMATIC WATER SEPARATEH
	DRIER
	LUBRICATOR
	COOLER
	สัญลักษณ์แทนอย่างง่าย

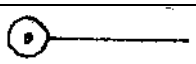
3. **<u>วาล์วควบคุมความดัน</u>** (PRESSURE CONTROL VALVES)

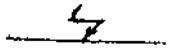
<u>วาล์วควบคุมความดัน</u> (PRESSURE CONTROL VALVES)

สัญลักษณ์	ชื่อ
	PRESSURE RELIET VALVE ชนิดปรับค่าได้
	SEQUENCE VALVE ชนิดปรับค่าได้ และมีหางระบายลมออก
	PRESSURE REGULATING VALVE ชนิดปรับค่าได้
	PRESSURE RNGULATING VALVE ชนิดปรับค่าได้ และมีทางระบายลมออก

4. **<u>อุปกรณ์ต้นกำลัง</u>** ได้แก่อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งผลิตพลังงาน เช่น ลมดันน้ำมัน , ท่อทาง , ข้อต่อ , หม้อสะสมความอัด , ตะแกรงกรอง เป็นต้น ดังมีลักษณ์แสดงต่อไปนี้

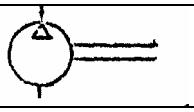
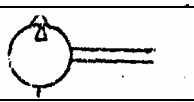
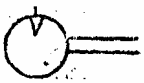
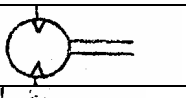
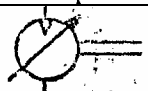
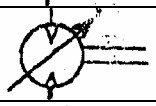
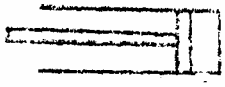
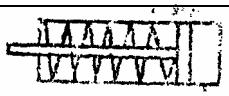
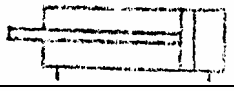
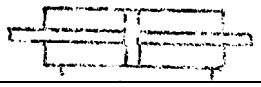
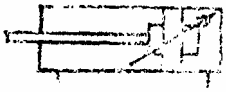
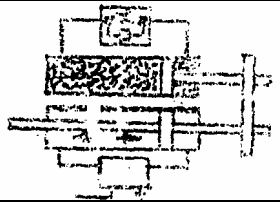
<u>อุปกรณ์ต้นกำลัง</u> (ENERGY TRANSMISSION)

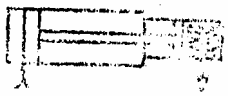
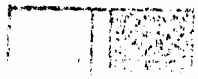
สัญลักษณ์	ชื่อ
	PRESSURE SORCE (MAIN SUPPLY PRESSURE)
	WORKING LINE
	CONTROL LINE
	EXHAUS LINE (DRAIN LINE)
	ASSEMBLY LINE

	EAECTRICAR LINE

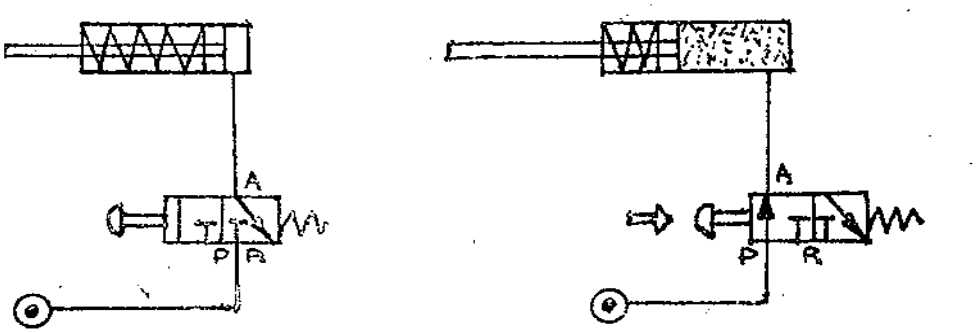
5. อุปกรณ์แปลงพลังงาน (ENERGY CONVERSION) ได้แก่อุปกรณ์ ที่เปลี่ยนความดัน ให้เป็น พลังงานกล

<u>อุปกรณ์แปลงพลังงาน</u> (ENERGY CONVERSION)

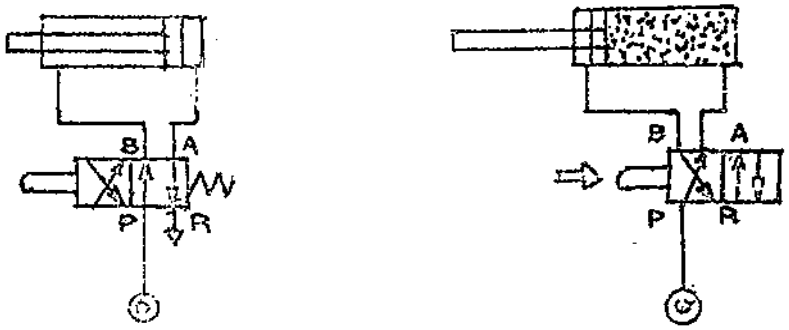
สัญลักษณ์	ชื่อ
	COMPRESSOR
	VACUUM PUMP
	PNEUMATIC MOTOR ชนิดหมุนทางเดียว ปรับความเร็วไม่ได้ (AIR MOTOR)
	PNEUMATIC MOTOR ชนิดหมุนสองทาง ปรับความเร็วไม่ได้
	PNEUMATIC MOTOR ชนิดหมุนทางเดียว ปรับความเร็วได้
	PNEUMATIC MOTOR ชนิดหมุนสองทาง ปรับความเร็วได้
	PNEUMATIC MOTOR ชนิดจำกัดมุมในการหมุน (OSCILLATING AIR MOTOR)
	SINGLE – ACTING CYLINDER จังหวะถอยกลับใช้แรงภายนอกหัน
	SINGLE – ACTING CYLINDER จังหวะถอยกลับใช้แรงสปริงภายใน
	DOUBLE ACTING CYLINDER
	DOUBLE ACTING CYLINDER ชนิดก้านสูบสองด้าน
	DOUBLE ACTING CYLINDER ชนิดมีเบาะลมปรับได้ทั้งสองด้าน
	RYERO – PNERMATIO ERU UNIT

	PREGSURE INENSINER
	PREGSURE COSVERTEG

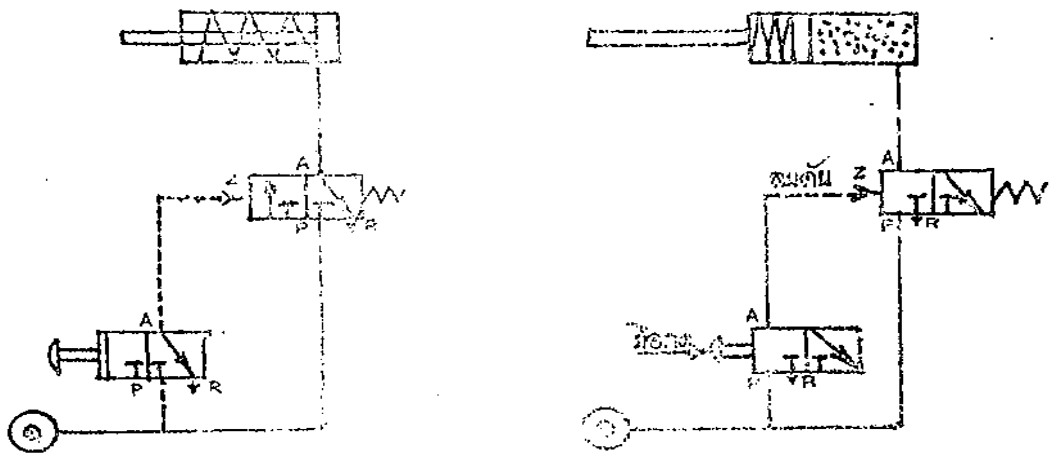
<u>ตัวอย่างที่ 1</u> วงจรชนิดวาล์ว 3/2 เลื่อนด้วยมือกด และลูกสูบชนิดทำงานทางเดียว



<u>ตัวอย่างที่ 2</u> วงจรชนิดใช้วาล์ว 4/2 เลื่อนโดยใช้กลไกกด และลูกสูบชนิดทำงานสองทาง

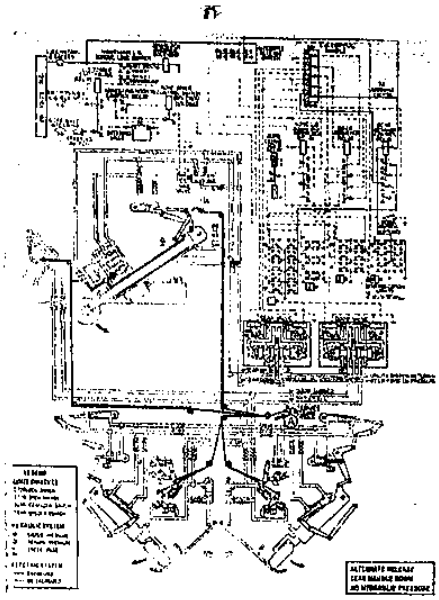


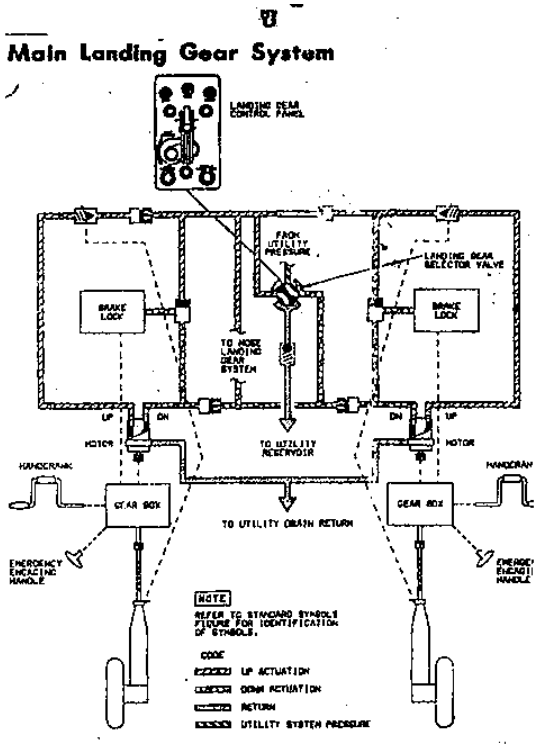
<u>ตัวอย่างที่ 3</u> วงจรชนิดใช้วาล์ว 1/2 เลื่อนด้วยมือ และวาล์ว 3/2 เลื่อนด้วยลมลูกสูบ ชนิดทำงานทางเดียว



5. ระบบไฮดรอลิคฉุกเฉิน (EMERGENCY HYDRAULIC SYSTEM) ระบบฉุกเฉินเป็นวิธีการที่ใช้ช่วยหรือทำงานแทนระบบปกติ (Normal Sysem) ถ้าระบบปกติเกิดขัดข้อง เช่นระบบฐาน , ระบบห้ามล้อ และระบบบังคับท่าบินจำเป็นต้องมีระบบฉุกเฉิน วิธีการของระบบฉุกเฉินมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ส่วนมากแล้วจะเป็นวิธีที่ใช้ช่วยหรือแทนส่วนต้นกำลัง (Power Secion) ของระบบปกติเพื่อให้ส่วนให้งานกล (Actuating Section) ทำงานถ้าส่วนต้นกำลังของระบบปกติเกิดขัดข้อง วิธีการต่าง ๆ ของระบบฉุกเฉินมีดังนี้

5.1 ใช้กลไกทำงานด้วยมือ (Manual Release Mechanism) วิธีนี้จะใช้กับระบบกางฐานฉุกเฉินโดยมีกลไกสำหรับปลด Up Lock ของประตูฐานและฐาน ทำงานโดยการดึงกลไกปลด Up Lock ของประตูและฐานออกประตูจะเปิดออกและฐานจะกางลงวด้วยน้ำหนักของประตูและฐานเองหรือมีแรงช่วยจากกระแสอากาศ (Air Load) เข้ามาเสริมด้วย วิธีนี้วาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) ของฐานและประตูต้องเป็นแบบตำแหน่งกลางลอย (บทที่ 4 รูปที่ 4.27) หรือแบบใช้มือหมุน (Hand Crank) กว้านสูบฐานแบบสกรูแจ๊ค





"Screw Jack Actuator" ที่ใช้มอเตอร์ไฮดรอลิคให้ฐานกางลงโดยตรง

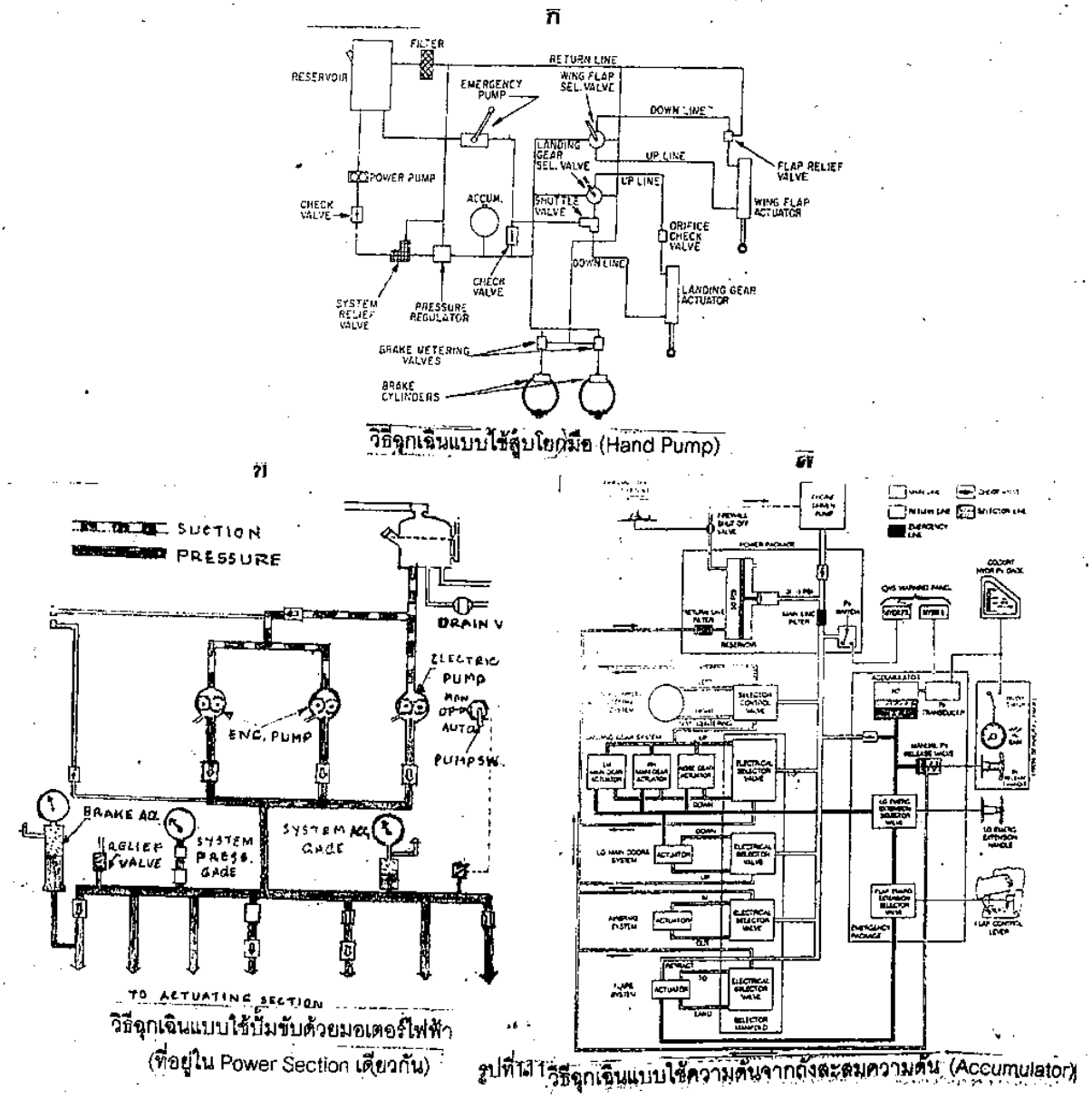
รูปที่ 10

(การกางฐานฉุกเฉินแบบกลไก)

การทำงานตามรูปที่ 1.10ก เมื่อดึงคันดึงฉุกเฉิน "Alrenae Release Handle" ออกมาจนสุดสายเคเบิลของกลไกปลด Up Lock ประตูกับฐานจะปลดล๊อคออก ประตูและฐานจะกางลงมาด้วยน้ำหนักและ

แรงช่วยจากกระแสอากาศ (Air Load) ส่วนรูปที่ 5.1ข เป็นการใช้มือหมุน (Hand Crank) กว้านให้สูบฐานแบบสกรูแจ๊ค “Screw Jack Actuator” กางออก

5.2 ใช้สูบโยกมือ หรือ ปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าติดตั้งเพิ่มเข้ามาในส่วนต้นกำลัง (Power Section) เดียวกันแทนปั้มปกติขับด้วยเครื่องยนต์ที่เกิดการขัดข้องขึ้น หรือใช้ความดันจากถึงสะสมความดัน



(Accumulator) ที่อยู่ใน Power Section ซึ่งวิธีนี้จะใช้ได้อย่างจำกัดครั้ง

(วิธีฉุกเฉินที่ใช้สูบโยกมือ, ปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า, ความดันจากถังสะสมความดัน ที่อยู่ใน Power Section เดียวกัน)

การทำงานตามรูปที่ 1.11ก เมื่อไม่มีความดันจากปั้มที่ขับด้วยเครื่องยนต์ จะใช้ Hand Pump จ่ายไฮดรอลิคภายใต้ความดันตัดตอนไปเข้าที่วาล์วจัดทาง (Shutle Valve) ของสูบฐานเพื่อกางฐานฉุกเฉิน และผ่าน

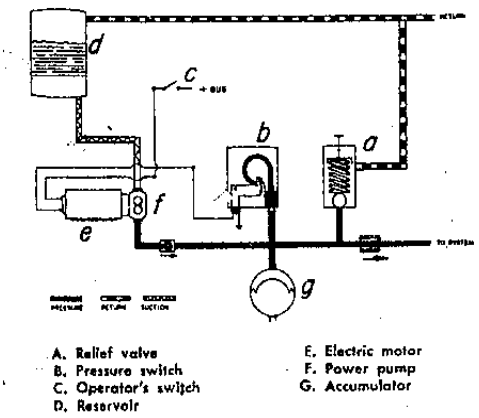
วาล์วทางเดียว (One Way Check Valve) ไปที่ทางออกของ Power Section เพื่อใช้ห้ามล้อฉุกเฉิน และกางแฟลบฉุกเฉิน

ตามรูปที่ 1.11ค เมื่อดึงคันกางฐานฉุกเฉิน (LG Emergency Extension) ออกมาจนสุดจะไปเปิดวาล์วเปลี่ยนทางฉุกเฉิน ของฐาน (LG Emergency Extension Selector Valve) ปล่อยไฮดรอลิคจากถังสะสมความดัน (Accumulator) เข้าไปกางฐานฉุกเฉิน ทำนองเดียวกันถ้าจะกางแฟลบฉุกเฉินก็กดคันกางแฟลบฉุกเฉินที่คับแฟลบ (Flap Control Lever) วาล์วเปลี่ยนทางฉุกเฉินองแฟลบจะไปเปิดให้ไฮดรอลิคจากถังสะสมความดันเข้าไปกางแฟลบฉุกเฉิน

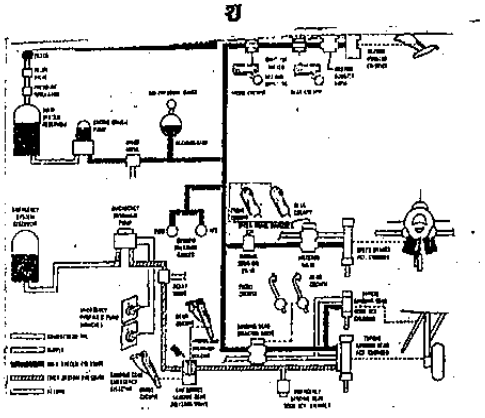
ส่วนรูปที่ 1.11ข จะมีปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเรียกว่าปั้มช่วยหรือปั้มฉุกเฉิน (Auxiliary or Emergency Pump) อยู่ใน Power Section เดียวกันกับปั้มที่ขับด้วยเครื่องยนต์ โดยมีสวิท 3 ตำแหน่งควบคุม คือ ตำแหน่ง “OFF” เป็นตำแหน่งที่ให้ปั้มหยุดการทำงาน , ตำแหน่ง “MANUAL” เป็นตำแหน่งที่ให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนขับปั้มตลอดเวลา(ความดันที่สูงเกินเกณฑ์จะถูกระบายออกทางวาล์วระบายของระบบ “Main Relief Valve”) และตำแหน่ง “AUTO” เป็นตำแหน่งที่ใช้ pressure Pressure Switch ไว้ Pressure Switch จะเชื่อมวงจรให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนขับปั้ม จนความดันถึงค่าสูงสุด Pressure Switch จะตัดวงจรไฟฟ้าให้มอเตอร์หยุดหมุนขับปั้ม เมื่อความดันต่ำกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้ปั้มจะถูกขับให้เริ่มต้นหมุนใหม่เป็นวัตรจักต่อเนื่องกันไปตลอดที่ยังไฟฟ้าเข้าอยู่ ทางดูดของปั้มฉุกเฉินจะต่อจากส่วนล่างสุดของถัง (ต่ำกว่าระดับท่อยืน “Stand Pipe”ในถัง)

5.3 มีส่วนต้นกำลังฉุกเฉิน “Power Section” ซึ่งปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Emergency) แยกจากส่วนต้นกำลังปกติที่ปั้มขับด้วยเครื่องยนต์ ถ้า Power Section ปกติเกิดขัดข้อง จะใช้ Power Section ฉุกเฉินจ่ายไฮดรอลิคไปใช้งานที่ส่วนให้งานกล “Actuating Section” แทน หรือเรียกระบบฉุกเฉิน

ก



ข



แบบ สับเปลี่ยน (Alternate)

วิธีฉุกเฉินแบบใช้ Power Section แยกต่างหากจากระบบปกติ

รูปที่ 1.12
(Power Section ฉุกเฉินปั๊มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า)

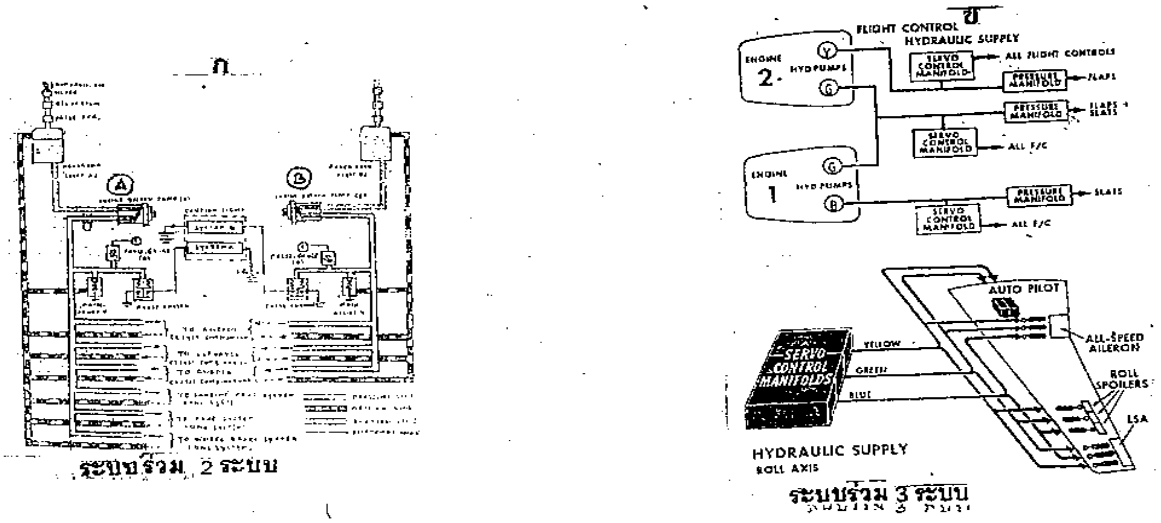
การทำงานตามรูปที่ 1.12ก เมื่อความดันในระบบต่ำกว่าปกติ Pressure Switch “b” จะต่อสายดินให้มอเตอร์ไฟฟ้ารอไว้เมื่อเชื่อมสนิท “c” ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าจึงผ่านมอเตอร์ไปลงดินได้แล้วหมุนขับปั๊มจ่ายไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าไปที่ Actuating Section แทน Power Section ปกติ ถ้าความดันขึ้นสูงถึงค่าปรับตั้ง Pressure Switch ไว้ให้ตัดสายดินออกมอเตอร์ไฟฟ้าจะหยุดขับปั๊ม จนความดันลดลงถึงค่าที่ปรับตั้งให้ Pressure Switch ต่อสายดินอีก มอเตอร์จะหมุนขับปั๊มจ่ายไฮดรอลิคออกไปใหม่ วิธีการทำงานฉุกเฉินแบบนี้จึงเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

การทำงานตามรูปที่ 1.12ข ถ้าความดันจากส่วนต้นกำลังปกติ (Normal Power Section) ใช้การไม่ได้หรือขัดข้อง จะต้องเปิดสวิทปั๊มฉุกเฉิน (Emergency Hydraulic Pump) ให้มอเตอร์หมุนขับปั๊ม และเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วกางฐานฉุกเฉิน (Emergency Landing Gear Selector Valve) เปิดทางให้ไฮดรอลิคจากปั๊มฉุกเฉินเข้าสูบเปิดประตูฉุกเฉิน (Emergency Landing Gear Door Act. Cylinder) และผ่านวาล์วจัดทาง (Shuttle Valve) เข้าไปกางฐานฉุกเฉิน ข้อสังเกตุระบบฉุกเฉินตามรูปนี้ไม่มีทางกลับถัง (Return Line) กลับมาเข้าถังฉุกเฉินของตัวเอง แต่จะใช้ทางกลับถังของ Power Section ดังนั้นจึงเป็นการฉุกเฉินได้อย่างจำกัดครั้ง

5.4 ใช้ระบบร่วมแทนระบบฉุกเฉิน (Combination System) อากาศยานบางแบบจะใช้ระบบไฮดรอลิคอิสระสองระบบ หรือมากกว่า (แต่ละระบบมี Power Section และ Actuating Section) ทำงานร่วมกันในเวลาเดียวกัน เช่น ระบบบังคับท่าบิน (Flight Control) ที่ใช้ไฮดรอลิคจากระบบยูติลิตี (Utility System) และจากระบบไฟลท์คอนโทล หรือระบบบู๊ส (Flight Control or Boost System) ทั้งสองระบบคู่กันไปบังคับแพนอากาศ (CONROL SURFACE) อันเดียวกันพร้อมกัน **วัตถุประสงค์ที่ใช้สองระบบพร้อมกันก็คือ ถ้าระบบใดระบบหนึ่งสูญเสียความดันไป ระบบที่เหลือจะยังคงทำงานต่อไปได้** อากาศยานพาณิชย์หรืออากาศยานลำเลียงขนาดใหญ่จะใช้ระบบร่วมถึง 3 ระบบ

Actuating Section ของระบบร่วมนี้จะใช้สูบงานแบบ แทนเด็ม (andem Actuator) หรือสูบงานแบบแฝด (Twin Actuator) เพราะสูบงานทั้งสองแบบนี้สามารถรับความดันไฮดรอลิคจากระบบอิสระพร้อมกันทั้งสองระบบเข้าไปทำงานในเวลาเดียวกันได้ (ลักษณะของสูบงานทั้งสองแบบนี้ดูได้ในบทที่ 3 ข้อ 2.2.4 และ 2.2.5)

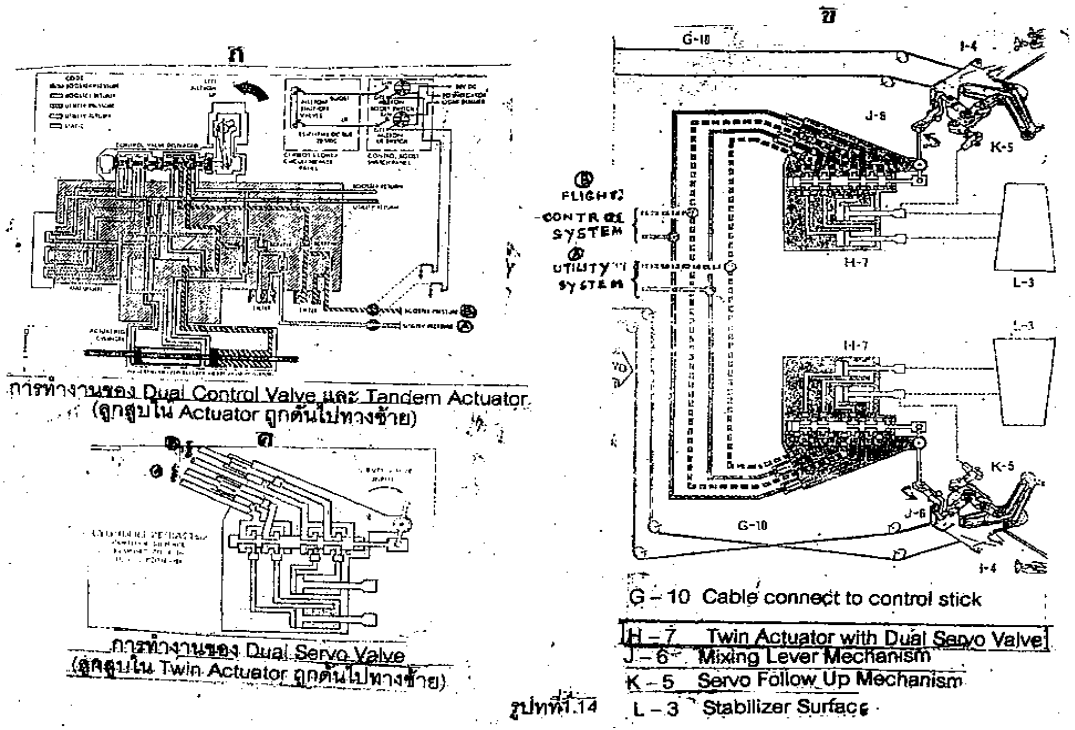
ส่วนการบังคับทิศทางต้องใช้วาล์วบังคับทิศทางเป็นแบบคู่ “Dual Control Valve” หรือ “Dual Servo” เพื่อบังคับทิศทางของไฮดรอลิคแต่ละระบบและจะอยู่เป็นอุปกรณ์เดียวกันกับสูบงาน การเปลี่ยนตำแหน่งของคันบังคับ (Control Stick) จะบังคับให้วาล์วทั้งคู่เปลี่ยนตำแหน่งไปในแนวเดียวกันพร้อมกัน



รูปที่ 1.13

(ส่วนต้นกำลัง “Power Section”**ของระบบร่วม)**

Power Section ของระบบ “A” และระบบ “B” ตามรูปที่ 1.13ก จะจ่ายไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าไปที่สูบงานของปีกเล็กแก้เอียง (Aileron) แพนหางขึ้นลง (Elevator) และหางเสือเลี้ยว (Rudder) พร้อมกัน เมื่อบังคับให้ระบบใดทำงานไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากทั้งสองระบบจะร่วมกันทำงานที่สูบงานในทิศทางเดียวกัน ส่วนในรูปที่ 1.13ข มีระบบร่วมถึง 3 ระบบคือ ระบบเหลือง (Y) ระบบเขียว (G) ระบบน้ำเงิน (B)



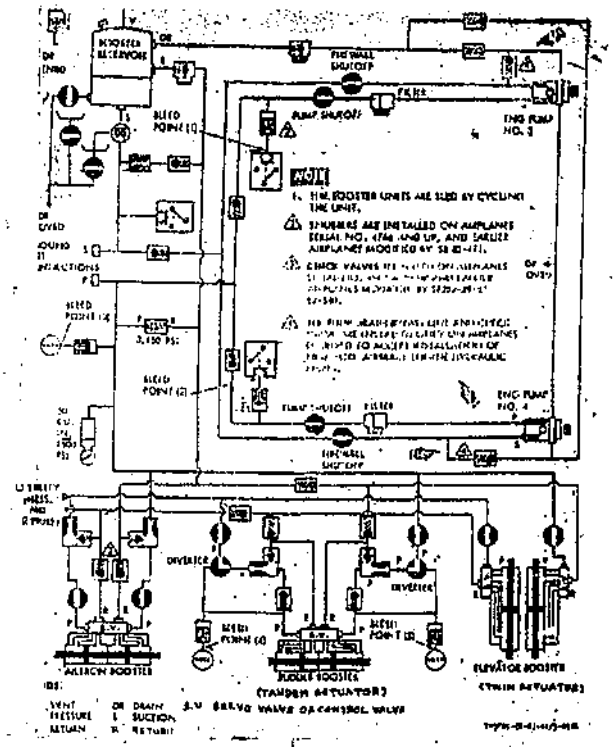
รูปที่ 1.14

รูปที่ 1.14

(Actuating Section ของระบบร่วม)

Actuating Section ของระบบร่วมตามรูปที่ 1.14ก วาล์วเปลี่ยนทางเป็นแบบคู่ “Dual Control Valve” แสดงตำแหน่งของ “Control Valve” ทั้งสองถูกดึงไปทางขวา ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจาก Power Section ของแต่ละระบบจะผ่านเข้าไปที่สูบงานทางห้องทั้งสองห้องของสูบงาน ดันลูกสูบให้เคลื่อนไปทางซ้ายด้วยกัน ส่วนรูปที่ 1.14ข วาล์วเปลี่ยนทางเป็นแบบ เซอร์โววาล์วคู่ “Dual Servo Valve” แสดงตำแหน่งเซอร์โวทั้งสองอยู่ Neutral รูปที่ 11.4ค แสดงตำแหน่งเซอร์โวทั้งสองถูกดันไปทางซ้าย ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจาก Power Section ของแต่ละระบบจะผ่านเข้าไปทางห้องด้านขวาทั้งสองของสูบงานทั้งสองดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยกัน (ความแตกต่างของการทำงานระหว่าง Control Valve กับ Servo Valve ดูในข้อ 3.2.2 บทที่ 1)

การทำงานของระบบร่วม (Combination) ตาที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า ถ้าระบบใดระบบหนึ่งขัดข้องระบบที่เหลือจะยังสามารถทำงานได้เพียงระบบเดียว โดยไม่ต้องเสียเวลาดึงดันฉุกเฉิน หรือกดปุ่ม

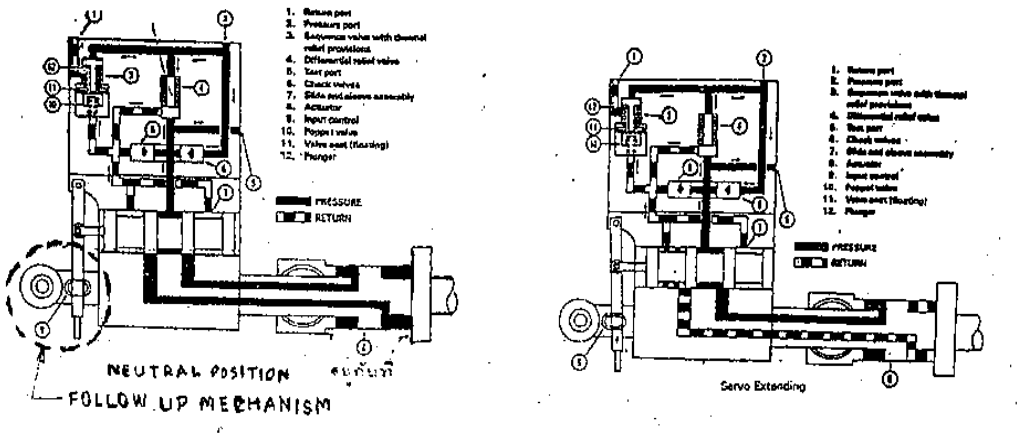


ฉุกเฉิน (จึงเหมาะสำหรับใช้กับระบบ Flight Control) แต่อย่างไรก็ตามการทำงานจะช้าลงกว่าปกติ

รูปที่ 1.15

Schematic Diagram ระบบร่วม Utility กับ Boost

5.5 ใช้ต่อโยง คันบังคับ กับ Selector Valve และสูบงานกันแบบขนาน ใน Actuating Section ที่กลไก Follow Up ไม่ได้ใช้ระบบอีเลคโทรไฮดรอลิคเพื่อให้สามารถบังคับสูบงานให้ทำงานโดยตรงได้ ขณะที่ไฮดรอลิคไม่มีความดัน



รูปที่ 1.16

(การต่อคันบังคับ Selector Valve **และสูบงานแบบขนาน)**

สรุปบทที่ 1

<u>หลักการระบบไฮดรอลิค</u>

ระบบไฮดรอลิค เป็นเครื่องกลที่ใช้พลังการไหและความดันทางกลศาสตร์ของของไหลไปใช้งาน

<u>สภาวะของของไหลในระบบ</u>

“เมื่อมีแรงกระทำต่อของไหลที่อยู่ในที่จำกัด ของไหลนั้นจะส่งความดันออกไปทุกทิศทุกทางเท่ากันทันที” เป็น กฎทางฟิสิกข์อง “ปาสกาล” กฎของปาสกามีข้อจำกัดคือจะใช้ได้เฉพาะของไหลที่อยู่กับที่ (Static) เท่านั้น

สูตรของความดัน P = F/A (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ความเร็วของการไหล (Flow Velocity) คือระยะทางที่ของไหลเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในหนึ่ง

หน่วยเวลา

สูตรของความเร็ว V = Q/A (ฟุตต่อนาที)

อัตราการไหล (Flow Rate) คือ ปริมาณของของไหที่ไหลผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้ภายในหนึ่งหน่วยเวลา

สูตรของอัตราการไหล Q = A.V. (แกอนต่อนาที)

การได้เปรียบเชิงกล ในระบบไฮดรอลิคการได้เปรียบเชิงกลคือการได้เปรียบเชิงแรง หรือ น้ำหนัก

สูตรได้เปรียบเชิงกล = แรงหรือน้ำหนักที่ออกมา / แรงหรือน้ำหนักที่ป้อนเข้า

<u>โครงสร้างระบบไฮดรอลิคอากาศยาน</u>

โครงสร้างระบบไฮดรอลิคอากาศยานพื้นฐาน (Basic Hydraulic System) ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 5 อย่างด้วยกันคือ

(1) ถังเก็บน้ำมัน (Resevoir)

(2) ปั้ม หรือ สูบกำลัง (Power Pump)

(3) วาล์วระบายความดัน (Relief Valve)

(4) วาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve)

(5) ตัวเปลี่ยนพลังงาน (Acuator)

การทำงานของระบบไฮดรอลิคแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน ด้วยกันคือ ส่วนต้นกำลัง “POWER SECTION” และส่วนให้งานกล “ACTUATING SECTION”

<u>ส่วนต้นกำลัง</u> <u>POWER SECTION</u> คือส่วนของอุปกรณ์ที่ทำให้ไฮดรอลิคเกิดความดันเพื่อส่งไปใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ

ก. ระบบเปิด (OPEN CENTER) วาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) เป็นแบบ เปิด กลาง
- ขณะวาล์วเปลี่ยนทางอยู่ตำแหน่ง “Neutral” ไฮดรอลิคจากปั๊มจะไหล่ผ่านวาล์วเปลี่ยนทางที่เปิดกลางไว้กลับถังตลอดเวลา จึงไม่มีความดันถูกกักไว้ในระบบและไม่จำเป็นต้องมีวาล์วลดภาระกรรมของปั๊ม (Unloadding Pump)
- ความดันจะมีค่าสูงสุดเมื่อสูบงานทำงานสุดระยะและวาล์วเปลี่ยนทางอยู่ Neutral
- วาล์วเปลี่ยนทางต้องต่อกันแบบอันดับ จึงทำงานได้ทีและอุปกรณ์

ปัจจุบัน POWER SECTION แบบ OPEN CENTER ไม่นิยมใช่ในอากาศยาน

ข. ระบบปิด (CLOSE CENTER) วาล์วเปลี่ยนทางไม่เปิดกลาง
- มีความดันถูกกักไว้พร้อมใช้งานทันทีตลอดเวลาที่วาล์วเปลี่ยนทางอยู่ Neutral
- ต้องมีวาล์วลดโหลดปั๊ม (Unloadding Pump) ถ้าใช้ปั๊มประเภทปรับปริมาตรไม่ได้ (Constant Volume Pump)
- วาล์วเปลี่ยนทางต่อกันแบบขนาน อุปกรณ์สามารถทำงานในเวลาเดียวกันได้

<u>ส่วนให้งานกล</u> (Actuating Section) คือ อุปกรณ์ที่นับจากวาล์วเปลี่ยนทางลงไป มีหน้าที่หลักคือเปลี่ยนความดัน ให้เป็นพลังงานกล มีวิธีทำงาน 2 แบบ

ก. แบบไม่มีการบังคับตำแหน่งให้ค้างหรือหยุดระหว่างทาง (Nonautomatic or Nonposition control) วาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) จะถูกเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดสุดท้ายรวดเร็วจากการบังคับโดยตรง

ข. แบบบังคับให้หยุดหรือค้างระหว่างทางโดยอัตโนมัติได้ (Automatic or Poition Control) สามารถบังคับอุปกรณ์ให้หยุดหรือค้างได้โดยอัตโนมัติทุกระยะตลอดช่วงเริ่มต้นไปจนถึงช่วงสุดท้าย โดยมีกลไก Follow Up ถ่ายทอดการบังคับไปเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) และให้วาล์วเปลี่ยนทางอยู่ตำแหน่ง Neutral ได้โดยอัตโนมัติในเมื่อต้องการหยุดหรือค้างการบังคับระหว่างทาง

วิธีการทำงานของกลไก Follow Up มี 2 แบบ

1) บังคับให้ Selector Valve กลับมาอยู่ Neutral ที่เดิมซึ่งมีที่เดียว โดยแกนสปูลของ Selelctor Valve เท่านั้นที่เคลื่อนตัวตามการบังคับ ส่วนตัวเรือนหรือ

เสื้อจะอยู่กับที่ และเรียก Selector Valve ที่ถูกกลไก Follow Up ควบคุม ลักษณะนี้ว่า “CONTROL VALVE”

2) ทำให้เกิด Neutral ใหม่ได้ทุกที่ตลอดช่วงการทำงาน โดยแกนสปูลและตัวเรือนหรือเสื้อ ของ Selector Valve จะเคลื่อนตัวตามไกับสูบงาน (Acuator) และเรียก Selector Valve ที่ถูกควบคุมลักษณะนี้ว่า “SERVO VALVE” หรือใช้ระบบอีเลคโทรไฮดรอลิค “ELECTRO HYDRAULIC” ควบคุมแทนกลไก Follow Up เช่นที่ใช้กับระบบบังคับท่าบิน (Flight Control) เรียกว่า FLY BY WIRE หรือใช้ระบบ MECHATRONICS แทนกลไก Follow Up ซึ่งใช้กับอากาศยานรุ่นใหม่

<u>วงจรและสัญลักษณ์ของระบบไฮดรอลิค</u>

- Schematic Diagram หรือ Flow Diagram เป็นวงจรแบบผ่าระบบให้เห็นการไหลและการทำงานของอุปกรณ์ด้วยภาพกราฟฟิคหรือสัญลักษณ์โดยสังเขป เพื่อประกอบการแก้ไขข้อขัดข้อง
- Block Diagram เป็นวงจรที่แสดงผังของระบบไฮดรอลิคทั้งเครื่อง

<u>ระบบไฮดรอลิคฉุกเฉิน (Emergency Hydraulic System)</u>

ระบบฉุกเฉินคือวิธีการที่ใช้ช่วย หรือทำงานแทนระบบปกติเมื่อระบบปกติเกิดขัดข้องขึ้นเท่านั้น ระบบฉุกเฉินมาทำได้หลายวิธี

- ใช้มือดึงกลไกปลดล๊อก (Manual Release) เช่นปลด Uplock ของฐานเพื่อกางฐานฉุกเฉิน
- ใช้สูบโยกมือ (Hand Pump) หรือปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือใช้ความดันจากถังสะสมความดัน (Accumulator) ที่อยู่ใน Power Section เดียวกัน
- ใช้ Power Section อีก Power Section หนึ่งที่ปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเป็น Power Section ฉุกเฉิน ทำงานโดยอัตโนมัติ หรือด้วยมือเมื่อระบบปกติขัดข้อง มีวาล์วจัดทาง (Shuttle Valve) สำหรับจัดให้ระบบปกติ หรือ ระบบฉุกเฉินเข้าสูบงาน
- ใช้ระบบร่วม (Combination) มีระบบไฮดรอลิคอิสระที่มี Power Section และ Actuating Section 2 ระบบ ทำงานร่วมกันที่งานเดียวกัน ถ้าระบบใดขัดข้องระบบที่เหลือจะทำงานต่อไป ระบบร่วมนี้จะใช้กับระบบบังคับท่าบิน (Flight Control) เพราะถ้าระบบใดขัดข้องจะเหลืออีกระบบหนึ่งทำงานต่อเนื่องตามปกติโดยไม่ต้องเสียจังหวะการทำงานที่ต้องเปลี่ยนไปใช้ระบบฉุกเฉิน

- ใช้ต่อโยงคันบังคับ Selector และสูบงานให้ขนานกันใน Actuating Section แบบบังคับตำแหน่งระหว่างทางได้

บทที่ 2
วัสดุที่ใช้กับระบบไฮดรอลิคอากาศยาน

คำว่าวัสดุในที่นี้หมายถึง วัสดุภัณฑ์ หรือวัสดุสำเร็จรูปที่ใช้ในระบบไฮดรอลิค เช่น น้ำมันไฮดรอลิค , ข้อต่อท่อทาง, ประเก็น (SEAL) ไม่ได้หมายถึงอุปกรณ์ หรือวาล์ว (VALVE) ที่ใช้ควบคุมหรือบังคับความดันและการไหลของไฮดรอลิคในระบบ

1. **น้ำมันไฮดรอลิค** (HYDRAULIC FLUID) คำว่า "ไฮดรอลิค" มาจากรากศัพท์ในภาษากรีก "HYDRO" หมายถึงของไหล "LIC" มาจาก "AULIC" ซึ่งแปลว่า ท่อทาง ดังนี้น ไฮดรอลิค จึงหมายถึงของไหลที่ไหลไปตามท่อทาง

หน้าที่ของน้ำมันไฮดรอลิค

- เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลัง
- หล่อลื่น และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์
- เคลือบผิวเป็นฟิล์มให้มีการไหลซึมน้อยที่สุด
- ระบายความร้อนในระบบ

*คุณสมบัติของน้ำมันไฮดรอลิค

- ป้องกันการก่อสนิม และ การกัดกร่อนโลหะในระบบ
- หล่อลื่นป้องกันการสึกหรอ
- แยกตัวจากน้ำได้ดี
- ทนความร้อนได้สูง

- สามารถผ่านไส้กรองชนิดละเอียด (MICRONIC FILTER) ได้ดีโดยไม่อุดตัน
- ไม่กัดกร่อนปะเก็นยาง (SEAL)
- ความเหนือเปลี่ยนแปลงยาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

*จาก “ไฮดรอลิค” ของ รศ.อำพล ซื่อตรง

1.1 ชนิดของน้ำมันไฮดรอลิค (TYE OF HYDRAULIC FLUID) น้ำมันไฮดรอลิคที่ใช้กับอากาศยานในปัจจุบันมี 2 ชนิดคือ ไฮดรอลิคปิโตรเลียม หรือไฮดรอลิคน้ำมันแร่ (PEETROLIUM OR MINERL BASE) กับ ไฮดรอลิคสังเคราะห์

1.1.1 ไฮดรอลิคปิโตรเลียม หรือน้ำมันแร่ (PETROLIUM OR MINERAL BASE) ใช้ปิโตรเลียมเป็นสารหลักในการผลิตแบ่งออกออกเป็นเกรดต่าง ๆ ตามข้อกำหนด (SPECIFICATION) ดังนี้

(1) MIL-H-5606 ใช้กับระบบไฮดรอลิคในย่านอุณหภูมิ –53.9 องศาเซลเซียส (-65องศาฟาเรนไฮต์) ถึง 135 องศาเซลเซียส (275 องศาฟาเรนไฮต์) มีสีแดง

(2) MIL-H-6083 ใช้เป็นไฮดรอลิคแช่ป้องกันสนิม (PRESERVE) ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่ใช้ไฮดรอลิค MI-H5606 มีสีแดง

ข้อเสียของน้ำมันไฮดรอลิคทั้งสองเกรด คือยังติดไฟได้ (FLAMABLE)

1.1.2 ไฮดรอลิคสังเคราะห์ (SYNHEIC BASE) มีไฮโดรคาบอนด์ (SYNTHETIC HYDROCABOND) หรือฟอสเฟตเอสเตอร์ (PHOSPHAE ESER BASE) เป็นสารหลัก แบ่งออกเป็นเกรดต่างๆ ตามข้อกำหนดดังนี้

(1) MIL-H-83282 ผลิตจากไฮโดรคาบอนด์ใช้งานในย่านอุณหภูมิ-4.4 องศาเซลเซียส (-40 องศาฟาห์เรนไฮท์) ถึง 135 องศาเซลเซียส (275 องศาฟาเรนห์ไฮท์) มีสีตามตัวเติมเพิ่มคุณภาพ (ADDITIVE) สังเกตุจากตัวอักษรที่ต่อท้ายข้อกำหนด เช่น MIL-H-83282 B จะมีสีแดง ปัจจุบันกำลังนำมาใช้แทน MIL-H-5606 เพราะติดไฟได้ยากกว่า

(2) MIL-H-46170 ใช้เป็นน้ำมันสำหรับแช่ป้องกันสนิม (PRESERVE) ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ไฮดรอลิคที่ใช้น้ำมันไฮดรอลิค MIL-H-83282

(3) BOING MAERIAL SPECIFICATION : BMS 3-11 TYPE IV ผลิตจากฟอสเฟตเอสเตอร์ (PHOSPHATEESTER) ซึ่งทางการค้า “SKYDROL” หรือ “HYJET” ไม่ติดไฟ มีสีขุ่นขาว ห้ามใช้แทนหรือสับเปลี่ยนกับ MIL-H-5606 และ MIL-H-83282 เนื่องจากใช้ปะเก็น (SEAL) คนละชนิด MIL-H-5606 และ MIL-H-83282 ใช้ปะเก็นยางสังเคราะห์อาไครโลไน”ทรล์บิวทาไดน์ และยางฟลูออโร (ACRYLONITRILEBUTADIEN @ FLUORO RUBBER) เช่น บิวนา-เอ็น (BUNA-N) และไวตอน (VITON) เป็นต้น ส่วน “SKYDROL” หรือ “HYJET” ใช้ปะเก็นยางไฮโดรคาบอนด์ เช่น บิวทิล (BUTYL) เท่านั้น

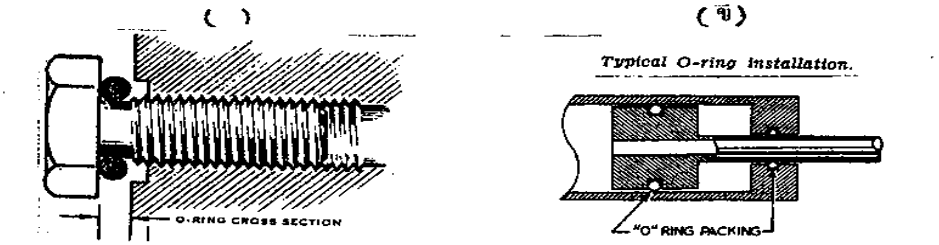
2. ปะเก็นยางกันรั่ว (PACKING OR SEALS) ปะเก็นหรือ ซีล ใช้สำหรับป้องกันและใช้กักของไหลไม่ให้รั่วซึมออกมาได้ปะเก็นกันรั่วจะมีชิ้นเดียว เช่น ปะเก็นวงแหวน “O RING” หรือมีหลายชิ้น เช่นปะเก็น “O RING” ที่มีวงแหวนปะกับด้านเดียวหรือทั้งสองด้านก็ได้

2.1 ชนิดของปะเก็นแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานออกเป็น 3 ชนิดคือ

(1) ปะเก็นชนิดอยู่กับที่ (GASKET) ใช้กันการรั่วซึมระหว่างชิ้นส่วนอุปกรณีสองชิ้นที่ประกบยึดติดกันอยู่กับที่ เช่น ปะเก็นฝาสูบ (ตามรูปที่ 2.1ก) หรือจะเรียกว่าเป็น “STATIC SEAL” ก็ได้

(2) ปะเก็นชนิดเคลื่อนที่ (PACKING) ใช้กันการรั่วซึมระหว่งชิ้นส่วนของอุปกรณีสองชิ้นที่เคลื่อนที่ขณะทำงาน เช่น ปะเก็นของลูกสูบ (ตามรูปที่ 2.1ข) หรือจะเรียกว่าเป็น “DYNAMIC SEAL” ก็ได้

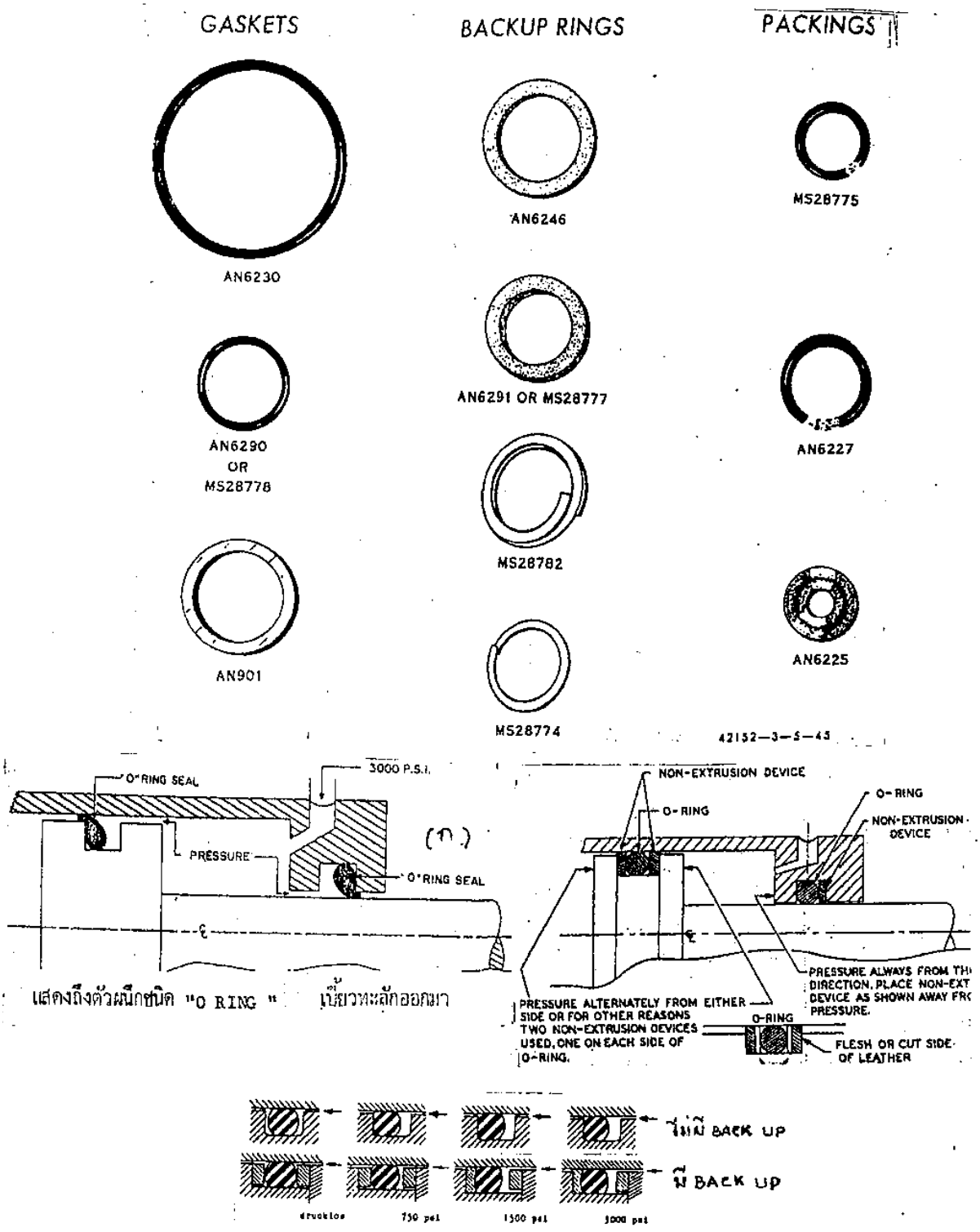
(3) ปะเก็นแหวนประกับ (BACK UP RING) จะใช้ร่วมกับ GASKET หรือ PACKING เพื่อเสริมความแข็งแรงป้องกันไม่ให้ GASKET หรือ PACKING เกิดการบิดตัวในกรณีที่อุปกรณ์นั้นใช้ความดัน



1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้วขึ้นไป (ตามรูปที่ 2.2) BACK UP RING นี้จะเรียกว่าเป็น “NON EXTRSION DEVIC”ก็ได้

รูปที่ 2.1

ตำแหน่งของ “GASKET” **และ** “PACKING”



รูปที่ 2.2

(BACK UP RING และประกอบใช้งานร่วมกับ PACKING และ GASKET)

2.2 การเลือกใช้ปะเก็นยาง (RUBBER SEAL) จะต้องเลือกใช้ปะเก็นยางให้ถูกต้องกับชนิดของน้ำมันไฮดรอลิคใช้อยู่โดยเลือกปะเก็นที่ผลิตจากยางที่ใช้ใช้กับไฮดรอลิคชนิดนั้น ๆ ได้ ปัจจุบันปะเก็นยางจะผลิตจากสังเคราะห์ (SYNTHETIC RUBBER) หลายชนิดด้วยกันคือ

(1) บิวนา-เอ็น (BUNA-N) เป็นยางอาไครโลไนไทรล์บิวทาไดน์ (ACRYLONIRILE BUTADIEN) สำหรับใช้กับน้ำมันไฮดรอลิคิโตรเลียม (PETROLIUM BASE) เช่น MIL-H-5606 และ น้ำมันไฮดรอลิคสังเคราะห์ (SYNHETIC BASE) MIL-H-83282 ปะเก็นยางชนิดนี้ไม่เกาะติดกับผิดโลหะ

(2) ไวคอน (VITON) เป็นยางฟลูออโร (FLUORO RUBBER) ใช้กับไฮดรอลิคปิโตรเลียม และ ไฮดรอลิคสังเคราะห์ เช่นเดียวกัน บิวนา-เอ็น ทนต่อสารเคมี และสารละลายต่าง ๆ ได้ดี

(3) บิวทิล (BUTYL) เป็นยางไฮโดรคาบอนด์ (HYDROCABOND RUBBER) สำหรับใช้กับน้ำมันไฮดรอลิคสังเคราะห์ชนิดฟอสเฟตเอสเตอร์เบส (PHOSPHATE ESTER BASE) เช่น “SKYDROL” หรือ “HYJET” เท่านั้น

(4) เทฟอน (TEFLON) เป็นยางทรีทะฟลูออโรเอตเทอลีน (TETRAFLUOROEHYLENE RESIN CORP) ส่วนมากจะใช้ทำเป็น BACK UP RING ใช้ไดกับน้ำมันไฮดรอลิคทุกชนิด

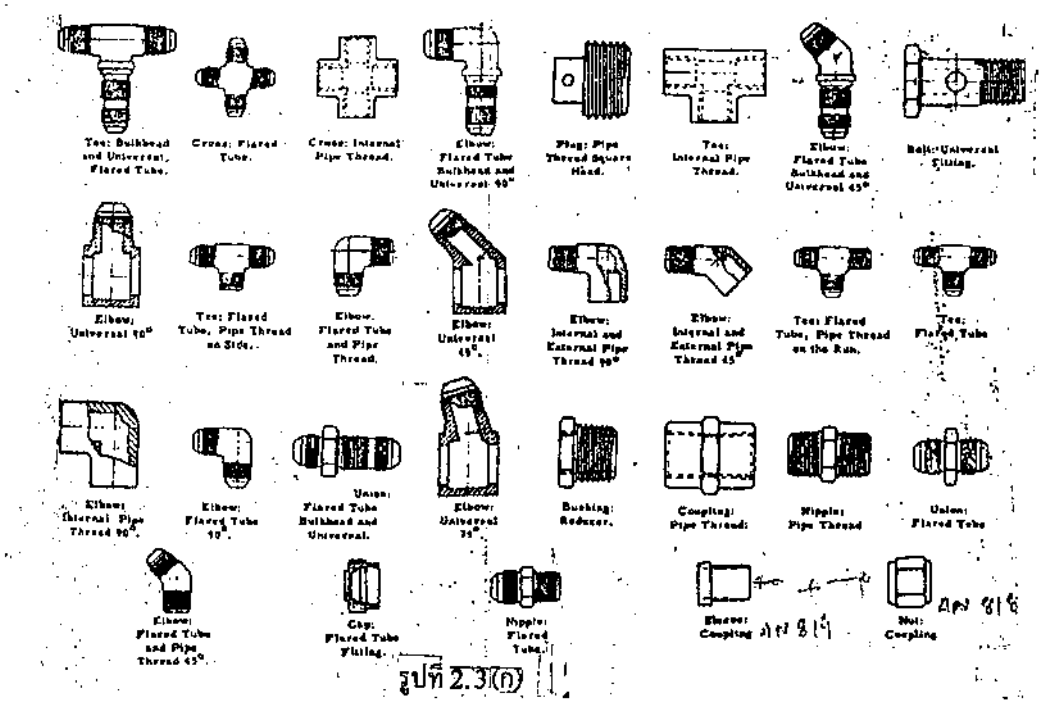
2.3 ข้อมูลเฉพาะของปะเก็นยาง (SEAL) ข้อมูลสำคัญคือชื่อและชนิดของปะเก็น, หลายเลขชิ้น (PART NOUMBER) ใช้สำหรับค้นหาปะเก็นใหม่ที่เป็นชนิดเดียวกันมาเปลี่ยนแทนปะเก็นเก่า, หมายเลขพัสดุ (STOCK NOUMBER), ใช้สำหรับเบิก, วันที่เก็บรักษา (CURE DATE) และวันที่หมดอายุ (EXPIRED DATE) ถ้าปะเก็นมีการควบคุมอายุเก็บ ข้อมูลเหล่านี้จะพิมพ์อยู่บนของที่บรรจุปะเก็น

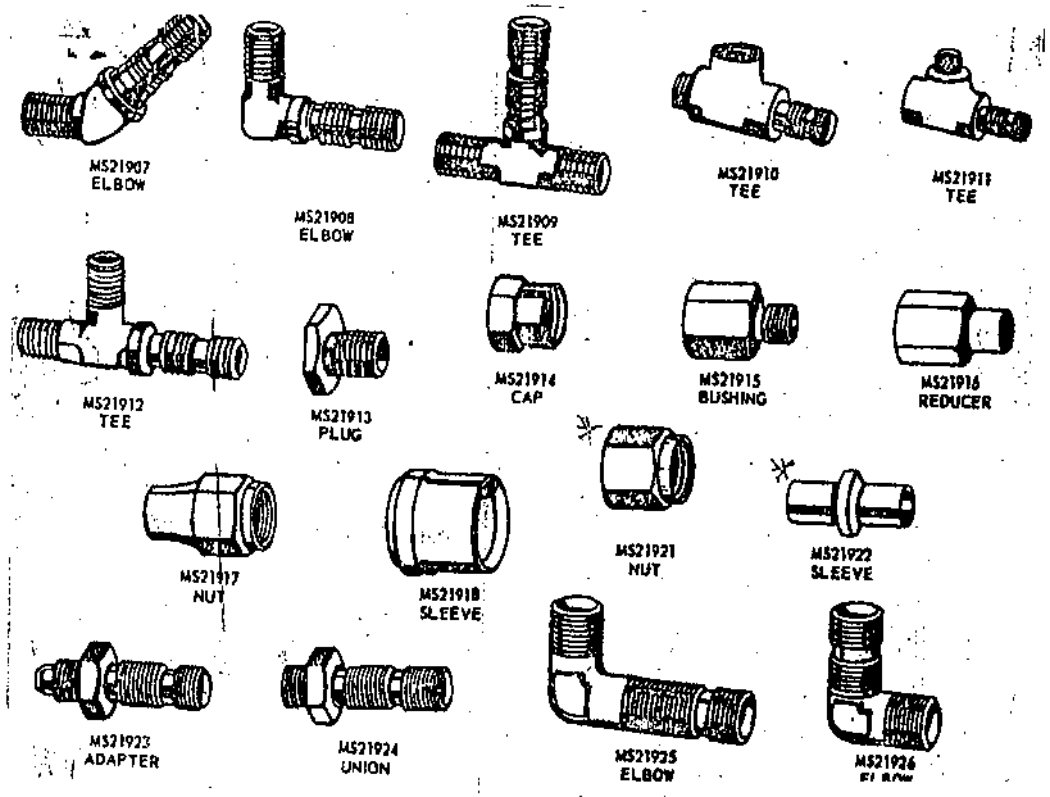
หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่สามารถทราบหมายเลขของปะเก็น (SEAL) เก่าเพื่อต้องการหาปะเก็นใหม่มาเปลี่ยนทดแทนให้ว่าความหนา (WIDTH) และ เส้นผ่าศูนย์กลางโตใน (NINSIDE DIAMETER) แล้วนำผลไปเปรียบเทียบในคู่มือ CROSS REFERENCE AND DIMENSION เพื่อหาหมายเลขชิ้น (PART NOUMBER) ได้

3. **ข้อต่อ (FITING OR CONNECTOR)** คือหัวต่อของอุปกรณ์หรือวาล์ว กับหัวต่อปลายท่อ ที่ใช้ต่อท่อทางกับท่อทางหรือท่อทางกับอุปกรณ์หรือวาล์วต่าง ๆ

3.1 ข้อต่อ (FITING OR CONNECTOR) สำหรับต่อท่อทางเข้ากับอุปกรณ์หรือวาล์วและท่อทางกับท่อทางมีลักษณะเป็นข้อต่อตรง (UNION), ข้อต่อนิปเปิ้ล (ELBOW), ข้อต่อสามทาง (EE FITING), ข้อต่อสี่ทาง (CROSS FITING), ข้อต่อลดขนาด (REDUCER), ขอต่อนิปเปิ้ล (NIPPLE) ที่มีปลายสองด้านแตกต่างกันทั้งขนาดเกลียวและรูปร่าง ส่วนข้อต่อยูนิเวอร์แซล (UNUVERSAL) คือข้อต่อ ตรง, ข้อต่องอ และข้อต่อสามทางที่มีทางหนึ่งเป็นเกลี่ยวสองชั้นพร้อมแป้นล๊อก ตามรูปที่ 2.3ก เป็นข้อต่อสำหรับท่อแบบ AN (ARMY NEVY) ส่วนในรูปที่ 2.3ข เป็นข้อต่อสำหรับท่อ MS (MILITARY STANDARD) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกัน จะแตกต่าง

กันตรงที่ส่วนปลายสุดของข้อต่อ โดย ข้อต่อ AN ตรงส่วนปลายสุดจะเอียงเป็นปลายตีบเข้าเล็กน้อย ส่วนข้อต่อ MS ส่วนปลายสุดของข้อต่อจะบานออกเล็กน้อย

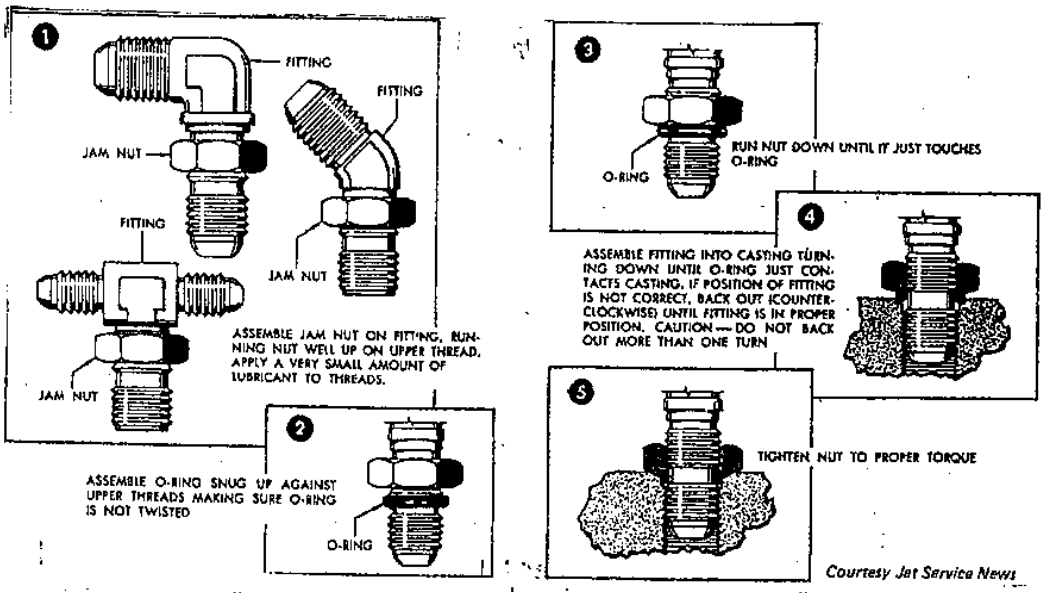




รูปที่ 2.3(ข)

(ข้อต่อที่ใช้ต่อท่อทางกับท่อทางหรือท่อทางกับอุปกรณ์และวาล์ว “CONNECTOR OR FITTING”)

การประกอบข้อต่อ UNIVERSAL เข้ากับอุปกรณ์หรือวาล์วจะต้องประกอบให้ถูกวิธีและเป็นไปตามขั้นตอน มิฉะนั้น ข้อต่ออาจคลายตัวออกมาได้ หรือหลุดออกจากเบ้าเกลียวได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายกับ



อากาศยานอย่างใหญ่หลวง ขั้นตอนของการประกอบข้อต่อ UNIVERSAL มี 5 ขั้นตอนตามรูปที่ 2.3ค. ดังนี้

รูปที่ 2.3ค

(ขั้นตอนการประกอบข้อต่อ “UNIVERSAL”)

ขั้นตอนการประกอบข้อต่อ UNIVERSAL เข้ากับอุปกรณ์ หรือ วาล์ว

(1) ประกอบ JAM NUT เข้ากับข้อต่อให้อยู่สุดปลายเกลียวชั้นบน (ใช้น้ำมันทาเกลียวเล็กน้อย)

(2) ประกอบ “O” RING เข้าไปที่ช่องว่างระหว่างเกลียวทั้งสองให้แนบกับตีนเกลียวชั้นบนระวังอย่าให้ “O” RING บิดตัว (ถ้าใช้ความดันเกิน 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้วต้องประกอบ แหวนรองเทฟลอนเหนือ “O” RING เข้าไปด้วย)

(3) ขัน JAM NUT ลงมาให้ติดกับ “O” RING

(4) ใส่ข้อต่อทั้งชุดลงไปในเบ้าเกลียวของอุปกรณ์แล้วขันเข้าไปด้วยมือจน “O” RING สัมผัสกับหน้าแปลนของเบ้าเกลียว ปรับทิศทางของข้อต่อให้ได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยให้คลายข้อต่อออกได้ไม่เกิน 1 รอบ

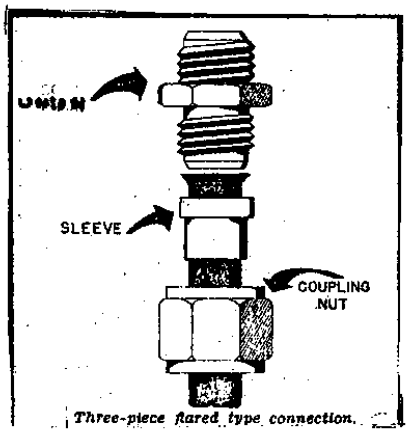
(5) ขันแน่น JAM NUT ลงไปตามค่าแรงบิด (TORQUE) ที่กำหนดให้ในคู่มือ

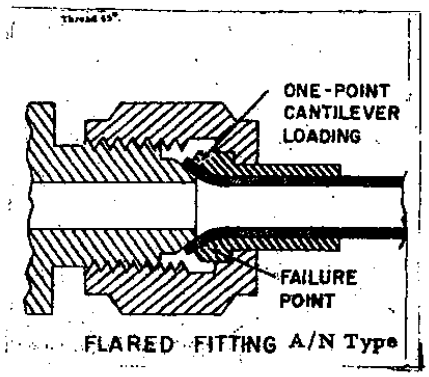
3.2 ข้อต่อปลายท่อ (END FITTING) ใช้ประกอบที่ปลายทั้งสองด้านของท่อทาง เพื่อสำหรับไปต่อกับข้อต่อต่าง ๆ ในข้อ 3.1 ที่กล่าวแล้ว แบ่งออกเป็นข้อต่อปลายท่อที่ใช้กับท่อโลหะ และข้อต่อปลายสายที่ใช้กับท่ออ่อนยาง (HOSE)

3.2.1 ข้อต่อปลายท่อของท่อโลหะ มีสองแบบคือ AN และ MS

3.2.1.1 แบบ AN ข้อต่อแบบนี้จะใช้กับท่อทางที่ต้องมีปลายบานปากแตร (FLARE) ชั้นเดียวหรือสองชั้นแล้วแต่จะเลือกใช้ ตัวข้อต่อประกอบด้วย ปลอกรอง (SLEEVE) และ แป้นนัต ("B" NUT) สวมกับท่ออยู่ทางด้านล่างของปากแตรเมื่อันแน่นแป้นจัตเข้าไปในข้อต่อตรง, ข้อต่องอหรือ, ข้อต่อสามทาง ปลอกจะถูกดึงให้เข้าไปรองรับรอบฐานของปากแตร เพื่อรองรับปากแตรไม่ให้สั่นสะเทือนมาก และกระจายแรงเฉือน (SHEARING) ที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ปากแตร ดูรูปที่ 2.5

หมายเหตุ ท่อที่ประกอบข้อต่อปลายท่อแบบ AN จะเรียกว่าท่อเอ เอ็น (AN TUBING) ขณะที่ยังไม่ได้ขันแน่นแป้นนัต (COUPLING NUT) เข้ากับข้อต่อ CONNECTOR แป้นนัตและปอกกรองจะลอตัว





เลื่อนไปมาอยู่ในท่อได้

รูปที่ 2.4

(ข้อต่อปลายท่อแบบ AN)

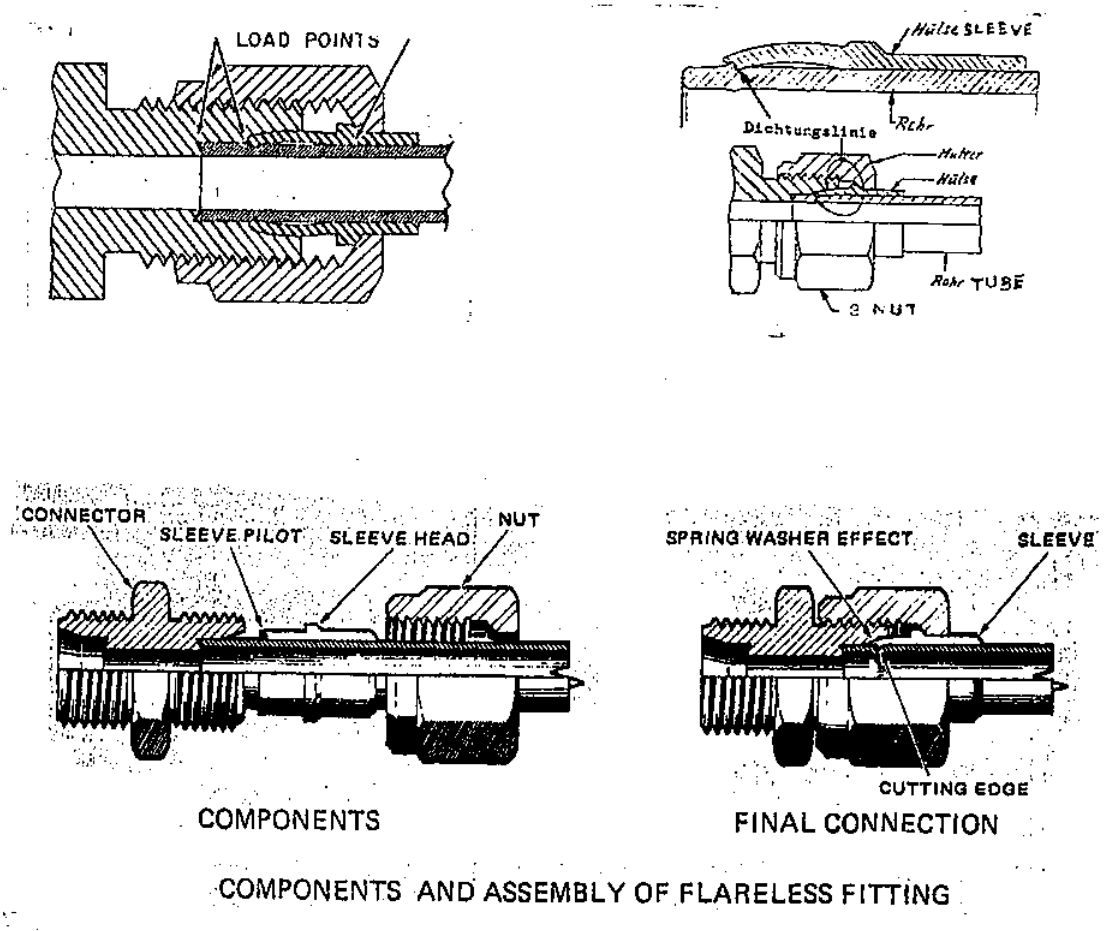
วิธีประกอบท่อ AN เข้ากับระบบหรืออุปกรณ์

(1) ห้ามทาน้ำมันหรือไขที่บริเวณผิวหน้าของปากแตรและที่บริเวณปลายสุดของข้อต่อ CONNECTOR เพราะจำทำให้ปากแตรกับปลายสุดของข้อต่อสัมผัสกันได้ไม่สนิท (DESTROY METAL TO MEAL CONTACK)

(2) จัดปากแตรของท่อให้นั่งแท่น หรือให้เข้าแนวกับข้อต่อ CONNECTOR แล้วจึงใช้มือขันแป้นนัต (COUPLING NUT) เข้ากับข้อต่อจนสุด แล้วจึงใช้ประแจขันแน่นด้วยแรงบิดตามเกณฑ์ อย่าขันแน่นจนเกินค่าแรงบิด (OVER TORQUE) เพราะปากแตรจะแตกหรือเสียรูป ทำให้เกิดการรั่วไหลได้

(3) ใช้เข็มขัดรัดท่อกับโครงสร้างที่อยู่กับที่ตามระยะที่กำหนดให้ในคู่มือ

3.2.1.2 ข้อต่อปลายท่อแบบ MS ข้อต่อแบบนี้จะใช้กับท่อปลายตรง (FLARELESS TUBING) ตัวข้อต่อจะมีสองชิ้นเช่นเดียวกับข้อต่อ AN คือแป้นนัต (NUT) และปลอกปลายจิก (CUTTING SLEEVE) ก่อนนำท่อไปใช้งานจะต้องประกอบปลอกรองปลายจิกให้จิกลงไปในเนื้อท่อรอบปลายท่อก่อน ซึ่งเรียกว่า การ PRESETTING ดังนั้นขณะยังไม่ได้ขันแป้นนัตเข้ากับข้อต่อ MS CONNECTOR (ลักษณะเป็นข้อต่อตัวเมีย) ปลอกรองจะติดอยู่กับปลายท่อ และยอมให้หมุนรอบท่อได้ แต่จะเคลื่อนตัวตามแนวตรงไม่ได้ ท่อทางที่ประกอบด้วยข้อต่อปลายท่อแบบนี้ เรียกว่า ท่อเอ็ม เอส (MS TUBING OR FLARELESS TUBIMG) MS TUBING จะมีจุดสัมผัสอยู่ถึงสามจุดด้วยกัน (ตามรูปที่2.5ก) จึงป้องกันการรั่วไหลได้ดีกว่าท่อ แบบ AN TUBING



รูปที่ 2.5

(ข้อต่อปลายท่อแบบ MS UBING **หรือ** FLARELESS TUBING)

วิธีการประกอบท่อ MS TUBING เข้ากับระบบหรืออุปกรณ์

(1) สอดปลายท่อเขาไปใน MS CONNECTOR ให้สุดแล้วขันนัตเข้ากับข้อต่อด้วยมือจนรู้สึกแน่น แต่ถ้าไม่สามารถใช้มือขันแน่นก่อนได้ให้ใช้ประแจขันจนรู้สึกแน่น ระวังอย่านจนปลายของนัตไปสัมผัสกับแป้นของข้อต่อ

(2) ใช้ประแจกวดต่อให้แน่นด้วยค่าแรงบิดที่กำหนดให้ แต่ถ้าไม่ทราบค่าแรงบิดให้ขันแน่นต่อเข้าไปอีก 1/6 รอบ (หนึ่งเหลี่ยมของแป้นนัต) แล้วทดลองกับความดันในระบบ ถ้าเกิดการรั่วไหลให้ขันนัตเพิ่มขึ้นอีก 1/6 รอบ (เมื่อรวมกับครั้งแรก แรงขันแน่นสูงสุดจะเท่ากับ 1/3 รอบ หรือ สองเหลี่ยม (FLAT) ของแป้นนัต) ถ้าหากยังมีการรั่วไหลอยู่ต้องเปลี่ยนท่อใหม่พร้อมกับตรวจดูการแตกร้าวและร่องรอยการชำรุดของข้อต่อ MS CONNECTOR แล้วรัดเข็มขัดรัดเช่นเดียวกับท่อ AN

ข้อควรระวัง อย่างขันแน่นแป้นนัตเกินค่าแรงบิดที่กำหนดให้ (OVER TORQUE) เพราะปลอกปลายจิก (CUTTIN SLEEVE) จะจิกลึกเข้าไปในเนื้อท่อจนท่อขาดได้

การประกอบปลอกปลายจิก (CUTTINT SLEEVE) และแป้นนัตเข้ากับท่อ (การ"PRESETING")

- ใช้กระดาษทรายขัดปลายท่อทั้งด้านในและด้านนอกให้เรียบ
- สวมปลอกปลายจิกให้ด้านที่มีคมสำหรับจิกอยู่ด้านปลายสุดของท่อ แล้วสวมแป้นนัตตามลงไป
- ทาน้ำมันไฮดรอลิคที่เกลียวของ MS CONNECTOR และที่เกลียวของ แป้นนัต
- ยึด MS CONNECTOR ด้วยปากกา แล้วสอดปลายท่อเข้าไปจนสุด จึงขันแป้นนัตเข้าไปจนปลายจิกเริ่มจิกลงไปในเนื้อท่อ สังเกตุจากการหมุนท่อเข้าออกช้า ๆ ขณะขันแป้นนัต ถ้าท่อไม่หมุนเข้าออกตามแสดงว่าปลอกจิกเข้าไปในผิวท่อแล้ว
- ขันแน่นครั้งสุดท้ายตามค่าแรงบิดที่กำหนดให้

<u>การตรวจสอบหลังการ PRESETTING</u>

- ปลายท่อจะต้องยื่นออกมาจากปอกรองปลายจิกประมาณ 3/32 ถึง 1/8 นิ้ว
- ปลอกรองปลายจิกจะต้องมีระยะจากผิวท่อขึ้นมา 0.005 นิ้ว สำหรับท่ออลูมิเนียม และ 0.015 นิ้วสำหรับท่อเหล็ก
- ปลอกรองปลายจิกจะเลื่อนเข้า ออกในแนวตรงไม่ได้ แต่ให้หมุนรอบท่อได้

3.2.2 ข้อต่อปลายสายของท่ออ่อนยาง (FLEXIBLE HOSE) มีสองแบบคือข้อต่อที่ใช้กับท่อความดันปานกลาง (MEDIUM RESSURE HOSE) และที่ใช้กับท่อความดันสูง (HIGHT PRESSURE HOUSE)

3.2.2.1 ข้อต่อปลายสายของท่ออ่อนยางความดันปานกลาง (MEDIUM PRESSURE HOSE) ตามรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยปลอกรองยาวมีเกลียวนอกอยู่ระหว่างหยักที่สอง กับส่วนที่เป็น TAER เรียกว่า นิปเปิ้ล (NIPPLE) แป้นนัต ("B"NUT) และ ซ๊อคเก็ต (SOCKET) ซึ่งจะมีแท่นเกลียวในที่ส่วนหัวสำหรับรับ

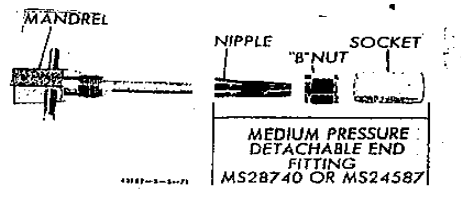
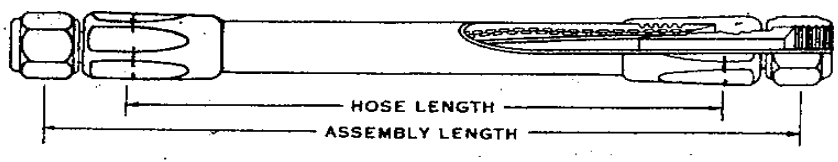


Figure 169. Mandrel and medium-pressure end-fitting.



กับเกลียวที่นิปเปิ้ลและต่อจากทแท่นเกลียวออกมาจะเป็นเกลียวหยาบ รอบผิวด้านในของซ๊อคเก็ตเพื่อสำหรับใส่ท่อให้กินเกลียวเข้ามาจนสุด

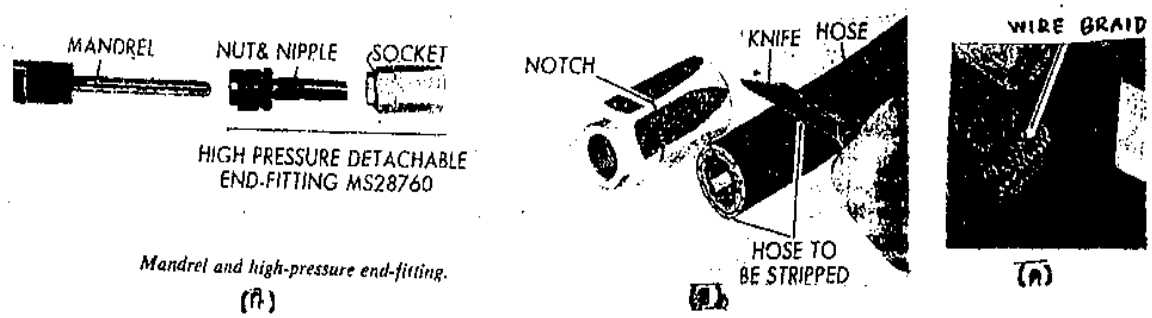
รูปที่ 2.6

(ข้อต่อปลายสายของท่ออ่อนยางความดันปานกลางและเครื่องมือประกอบข้อต่อ "MANDREL")

วิธีการประกอบข้อต่อปลายสายเข้ากับท่ออ่อนยางความดันปานกลาง

- ใส่ NIPPLE และ "B" NUT เข้าไปใน เครื่องมือ MANDREL ขัน "B" NUT เข้ากับ MANDREL ให้แน่น
- หมุนท่ออ่อนยางตามความมาวที่ต้องการเข้าไปใน SOCKET จนสุด
- ยึด SOCKET ให้แน่น นำ MANDREL ที่ประกอบ NIPPLE และ "B" NUT แล้วใส่เข้าไปใน SOCKET
- หมุน MANDREL เข้าไปจนเหลือระยะห่างระหว่าง "B" NUT กับ SOCKET ตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ทดสอบการรั่วไหลด้วยความดันที่คู่มือกำหนด

3.2.2.2 ข้อต่อปลายสายของท่ออ่อนยางความดันสูง (HIGHT PRESSURE HOSE) ตามรูป 2.7 ข้อต่อปลายสายแบบนี้ต่างกับแบบความดันปานกลางคือ "B" NUT และ NIPPLE จะอยู่ด้วยกัน มีแป้นนัตเป็นชิ้นเดียวกัน NIPLE เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัว (สำหรับจับไม่ให้ท่อบิดตัวขณะประกอบท่อเข้ากับระบบ) นอกนั้นจะเหมือนกันหมด รวมทั้งวิธีการประกอบข้อต่อเข้ากับท่ออ่อนด้วยยกเว้นต้องปอกขั้นนอกสุดของท่อออก ตามรูปที่ 2.7 ข และ ค



รูปที่ 2.7

(ข้อต่อปลายสายของท่ออ่อนยางความดันสูง HIGHT PRESSURE HOSE)

4. **ท่อทาง** (PLUMBING) ท่อทางในระบบจะต่อกันไว้เป็นตอน ๆ เพื่อสะดวกในการถอดเปลี่ยนท่อทางหรืออุปกรณ์ ท่อทางที่ใช้ในระบบมีสองชนิด คือ ท่อแข็ง (RIGID TUBE) ซึ่งเป็นท่อโลหะ และ ท่ออ่อนยาง (FLEXIBLE HOSE)

4.1 ท่อแข็งหรือท่อโลหะ (RIGID TUBE) ต้องเป็นท่อไร้ตะเข็บ “SEAMLESS” เช่น ท่ออลูมินัม (ALUMINUM ALLOY) ; ท่อเหล็กกล้าปลอดสนิม (STAINLESS STEEL) หรือท่อไททาเนียม (TITANIUM) ขนาดของโลหะจะบอกเป็นโตนอก (OUTSIDE DIAMETER) มีหน่วยเป็น เศษส่วน 16 ของนิ้ว เช่นท่อขนาด 6 คือท่อที่ขนาดของความโตนอก (OUTSIDE DIAMETER) เท่ากับ 6/16 นิ้ว หรือ 3/4 นิ้ว

4.2 ท่ออ่อนยาง (FLEXIBLE HOSE) จะใช้ในบริเวณที่มีการสั่นสะเทือน (VIBRATION) หรือใช้กับอุปกรณ์ที่มีการขยับตัวหรือเคลื่อนที่ขณะทำงาน เช่นสูบฐานที่เคลื่อนตัวขณะกำลังพับฐานเป็นต้น ท่ออ่อนยางจะแบ่งเป็นประเภทตามค่าความดันที่ใช้ คือ

(1) ท่อความดันต่ำ (LOW PRESSURE) ความดันไม่เกิน 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว

(2) ท่อความดันปานกลาง (MEDIUM PRESSURE) ความดันไม่เกิน 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว

(3) ท่อความดันสูง (HIGHT RESSURE) ความดันไม่เกิน 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว

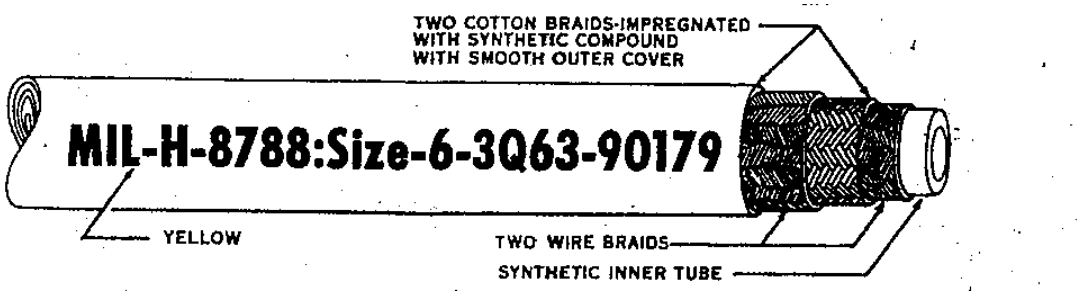
4.2.1 โครงสร้างของท่ออ่อนยาง โครงสร้างของท่อจะหุ้มกันเป็นชั้น ๆ จากขั้นในออกมาเพื่อเสริมความแข็งแรงตามค่าความดันที่ใช้ เช่นท่อความดันต่ำจะมีท่อชั้นในเพียง ท่อเดียว ท่อชั้นในนี้ผลิตจากยางสังเคราะห์ (SYNTHETIC RUBBER) พวกบิวนา เอ็น (BUNA N), นีโอปรีน (NEOPRENE) ,ไวตอน (VITON) สำหรับใช้กับน้ำมันไฮดรอลิคสังเคราะห์ และไฮดรอลิคน้ำมันแร่ (ห้ามนำไปใช้กับน้ำมันไฮดรอลิคสังเคราะห์พวกฟอสเฟตเอสเตอร์ “PHOSPHATE” เช่น “SKYDROL”) และผลิตจาก เทฟลอน (TEFLON) ซึ่งใช้ได้กับน้ำมันไฮดรอลิคทุกชนิด

4.2.1.1 โครงสร้างท่ออ่อนยางความดันปานกลาง (MEDIUM PRESSURE HOSE) ตามรูปที่ 2.8 ชั้นที่ต่อจากชั้นในสุดออกมาจะเป็นผ้าฝ้ายถักเป็นลายขัดอาบด้วยสารสังเคราะห์ไฮโดรคาบอนด์ ชั้นที่สามเป็น ลวดสานปลอดสนิม และชั้นที่สี่ชั้นสุดท้ายเช่นเดียวกับชั้นที่สอง

รูปที่ 2.8

(โครงสร้างของท่ออ่อนยางความดันปานกลาง “MEDIUM PRESSURE HOSE”)

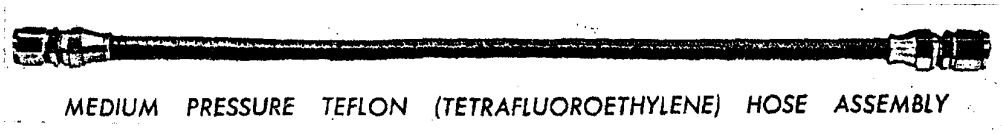
4.2.1.2 โครงสร้างท่ออ่อนยางความดันสูง ตามรูปที่ 2.9 จะมี 5 ชั้นด้วยกัน โดยเพิ่มชั้นที่เป็นลวดสานปอดสินมขึ้นมาอีกหนึ่งชั้น เป็นชั้นที่สองอยู่ระหว่างชั้นในสุดกับชั้นที่สามที่เป็นผ้าฝ้ายลายขัดอาบสารสังเคราะห์ไฮโดรคาบอนด์ ส่วนชั้นสุดท้ายเป็นผ้าฝ้ายผิวเรียบอาบสารสังเคราะห์ไฮโดรคาบอนด์



รูปที่ 2.9

(โครงสร้างของท่ออ่อนยางความดันสูง “HIGHT PRESSURE HOSE”)

4.2.1.3 โครงสร้างของท่ออ่อนเทฟลอน (TEFLON HOSE) เป็นท่อสองชั้นประกอบด้วยท่อชั้นใน (INNER TUBE) ที่ผลิตจากยางสังเคราะห์ ทีทระฟลู”อโรเอททีลีน (TETRAFLUOROETHYLENE) ชั้นนอกเป็นลวดลายปลอดสนิม (WIRE BRAID) ใช้ได้กับความดันปานกลาง ***มีข้อดีคือ ไม่มีการควบคุมอายุใช้งานตามสภาพ ใช้งานตามสภาพ***



รูปที่ 2.10

(ท่ออ่อนยางเทฟลอน “TEFLON HOSE”)

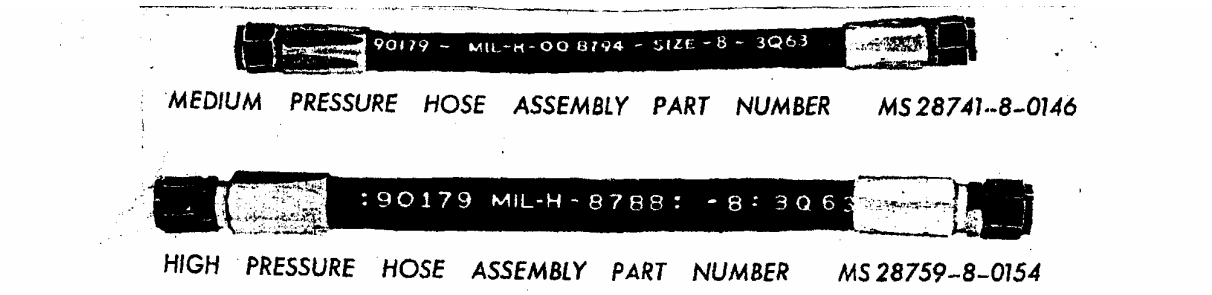
4.1.2.4 ข้อมูลของท่ออ่อนยาง (HOSE SPECIFICATION) จะพิมพ์เป็นกลุ่มของตัวอักษรและตัวเลขเป็นช่วงอยู่บนผิวท่อตลอดแนวความยาวของท่อ ซึ่งจะบอกรายละเอียดของท่อดังนี้

MIL	เป็นข้อมูลเริ่มต้น แทน MILITARY
- H	แทน HOSE
- 8788 หรือ 8794	8788 เป็นท่อความดันสูง 8794 เป็นท่อความดันสูงปานกลาง
- SIZE-6,SIZE-8	บอกขนาดของท่อปัจจุบัน อักษร SIZE จะตัดออกไปแล้วเหลือแต่-นำตัวเลข เช่น-6 คือท่ออ่อนยางที่มีความโตใน

(INSIDE DIAMETER) เท่ากับ 6/16 นิ้ว

- 3Q63 เป็นกลุ่มบอก ไตรมาสของเดือน (Q) และปีที่ผลิตท่อ ในที่นี้แสดงว่าท่อผลิตในไตรมมาสที่ 3 ของปี 63

- 90179 เป็นตัวเลขกลุ่มสุดท้าย เป็นรหัสของบริษัทผู้ผลิตท่อ



รูปที่ 2.11

(แสดงข้อมูลที่พิมพ์อยู่บนผิวของท่ออ่อนยาง)

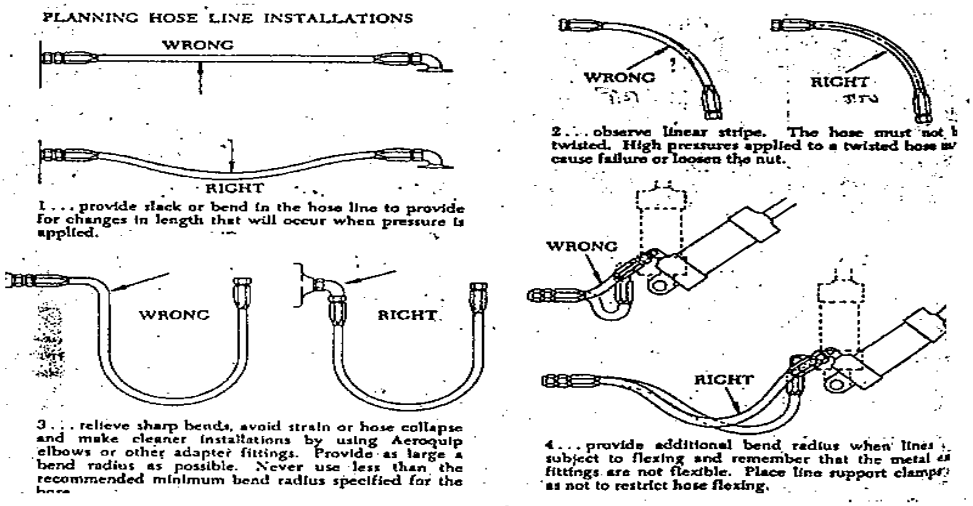
หมายเหตุ ข้อมูลของท่ออ่อนยางเทฟอนจะเขียนด้วยปากกาไฟฟ้าที่แผ่นรัดมากับท่อ

4.2.2 อายุการเก็บ อายุการใช้งานของท่ออ่อนยาง (SHELFLIFF & SERVICE LIFT)

4.2.2.1 อายุการเก็บรักษา (SHELFLIFE) คือกำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษาท่ออ่อนยางที่ยังไม่ได้ใช้งาน โดยต้องเก็บไว้ในห้องที่มืด อากาศเย็น และถ่ายเทได้สะดวก การนับอายุการเก็บจะนับจากกลุ่มของเดือนและปีที่ผลิตท่อที่เป็นข้อมูลพิมพ์อยู่บนผิวท่อ เช่นถ้ากลุ่มของเดือนและปีที่พิมพ์ไว้เป็น “3Q63” ท่อถูกกำหนดให้มีระยะเวลาในการเก็บได้ไม่เกิน 5 ปี ถ้าเลยไตรมาสที่ 3 ของปี 68 ไปแล้ว ท่อจะหมดอายุเก็บนำไปใช้กับอากาศยานไม่ได้ (ระยะในการเก็บรักษาดูจากคู่มือตามสเปคของท่อ)

4.2.2.2 อายุการใช้งาน (SERVICE LIFE) คือกำหนดระยะเวลาในการใช้งานของท่ออ่อนยางที่นำไปประกอบกับอากาศยาน การนับอายุการใช้งานจะเริ่มนับจากงวันที่นำไปประกอบกับอากาศยานไปจนถึงวันที่กำหนดให้หมดอายุการใช้งานอายุการใช้งานจะกำหนดโดยคู่มือ (TO=TECHNICAL ORDER) ของอากาศยานแต่ละแบบ เช่นอากาศยานแบบหนึ่งกำหนดให้ท่ออ่อนยาง (FLEXIBLE HOSE) มีอายุการใช้งาน 10 ปี ถ้าประกอบท่อนี้เข้ากับอากาศยานเมื่อ 3 Q 63 พอถึง 3 Q 73 จะต้องถอดเปลี่ยนท่อนี้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าพบท่อชำรุดก่อนครบอายุการใช้งานจะต้องถอดเปลี่ยนทันที

การประกอบท่ออ่อนยาง (FLEXJBLE HOSE) เข้ากับระบบหรืออุปกรณ์ ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12

(การประกอบท่ออ่อนยาง FLEXIBLE HOSE)

(1) ท่อที่ต่อแนวตรง ต้องให้ท่อมีการหย่อนตัว (SI ACK REND) ประมาณ 5% ถึง 8% ของความยาวท่อหรือใช้ท่อที่มีความยาวมากกว่ารยะที่จะต่อ 11/2 นิ้ว เพื่อให้ท่อขยับตัวผ่อนแรงเนื่องจากความดันในท่อได้ (รูปที่ 2.12ก)

(2) ท่อต้องไม่บิดตัวโดยสังเกตจากเส้นศูนย์กลางที่ยาวขนานไปกับท่อ หากท่อบิดตัวเมื่อมีความดันสูง ๆ ท่อจะบิดตัวคืนซึ่งอาจทำให้ข้อต่อปลายท่อคายตัวหรือหลุดได้ (รูปที่ 2.12ข)

(3) อย่าให้ท่อโค้งงอเป็นมุมแคบเกินไป (SHARP BEND) หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ต้องใช้ข้อต่อปลายท่อแบบงอ (ELBOW) ตามรูปที่ 2.12ค

(4) ให้การโค้งงอของท่อมีเพียงพุดสำหรับท่อที่มีการค่อนตัวขณะทำงาน (รูปที่ 2.12ง)

(5) รัดเข็มขัดรัดท่อระยะ 25 นิ้ว

4.3 การตรวจท่อทาง ท่อทางจะต้องได้รับการตรวจทุกครั้งที่อากาศยานเข้าตรวจซ่อมตามระยะเวลา

4.3.1 กาตรวจท่อโลหะที่ใช้ข้อต่อปลายท่อแบบปากแตร AN TUBING

(1) ความโตของปากแตร (FLARE DIAMETER) ได้ตามเกณฑ์ในคู่มือ

(2) ปากแตร (FLARE) ต้องไม่มีร่องรอยการสึกหรออย่างรุนแรง ร่องรอยการขีดข่วน ร่องรอยการถูกเสียดสี (CHAHING) รอยตัด (BURR) และปากแตรต้องไม่เสียรูป

(3) ความหนาของปากแตร (FLARE) 50% ของความหนาของท่อ

(4) ปลอกรอง (SLEEVE) ต้องรองรอบโคนปากแตรได้อย่างแนบสนิท

(5) รอยบุน (DENT) ที่เกิดขึ้นบนผิวท่อต้องโตไม่เกิน 20% ของความโต (OUTSIDE DIAMETER) ของท่อ และรอยเจาะ (NICK) ต้องไม่เกิน 15% ของความหนาของท่อ

(6) ต้องไม่มีรูพรุนตามด (PITTING) เกิดขึ้นตามผิวของท่อ

4.3.2 การตรวจท่อโลหะที่ใช้ข้อต่อปลายท่อแบบปลายตรง MS TUBING

(1) ปลายของปลอกรองปลายจิก (CUTTING SLEEVE) จะต้องมีระยะเหลือห่างจากผิวท่อ 0.005 นิ้วสำหรับท่อ อะลูมินัม และ 0.051 นิ้วสำหรับท่อเหล็ก หลังจากจิกลงไปในท่อแล้ว หรือ รอยนูนรอบความโตในที่เกิดจากปลอก

(2) ทดสอบการรั่วไหลโดยใช้ความดันเป็นสองเท่าของความดันปกติ

(3) หากพบการรั่วไหลและไม่สามารถหาค่าแรงบิด (TORQUE) ที่ใช้ขันแน่นข้อต่อไม่ได้ให้คลายท่อออกแล้วขันแน่นเข้าไปใหม่ไม่เกิน 1/3 รอบ

4.3.3 การตรวจท่ออ่อนยาง (FLEXBLE HOSE)

(1) ท่อต้องไม่มีการบิดตัวตลอดแนวความยาวของท่อ

(2) ไม่มีร่องรอยเสียดสี , รอยตัด และรอยเฉือนที่ผิวท่อ

(3) ท่อต้องไม่ตึงให้มีการหย่อนตัว (SLACK) 5%-8% ของความยาวที่ หรือให้ท่อยาวกว่าระยะที่ใช้ 11/2 นิ้ว

(4) รัศมีการโค้งงอต้องไม่เกินตามที่คู่มือกำหนด

(5) ผิวชั้นนอกต้องไม่หลุดลอก , ฉีกขาด ลวดสานเสริมความแข็งแรงต้องไม่ขาดแทงทะลุผิวนอกออกมา

(6) ท่อต้องไม่แข็ง (ต้องหยุ่นตัวได้)

(7) ตรวจอายุการใช้งานของท่อ (SERVICE LIFE) ตามคู่มือของอากาศยานนั้น ๆ ว่าครบกำหนดเปลี่ยนหรือไม่

(8) ไม่มีการรั่วซึมที่ข้อต่อหรือที่ผิวนอกท่อ (หากมีการรั่วซึมบ้างต้องไม่เกิน 1 หยด ใน 1 ชั่วโมง)

(9) ต้องมีฉนวนกันความร้อนหุ้มท่อที่อยู่ในในบริเวณที่มีความร้อนสูงเช่น บริเวณ HOT SECTION ของเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์

(10) ท่อต้องอยู่ใต้สายไฟห่างประมาณ 6 นิ้ว หรือถ้าจำเป็นให้ห่างอย่างน้อยที่สุดได้ไม่เกิน 11/2 นิ้ว

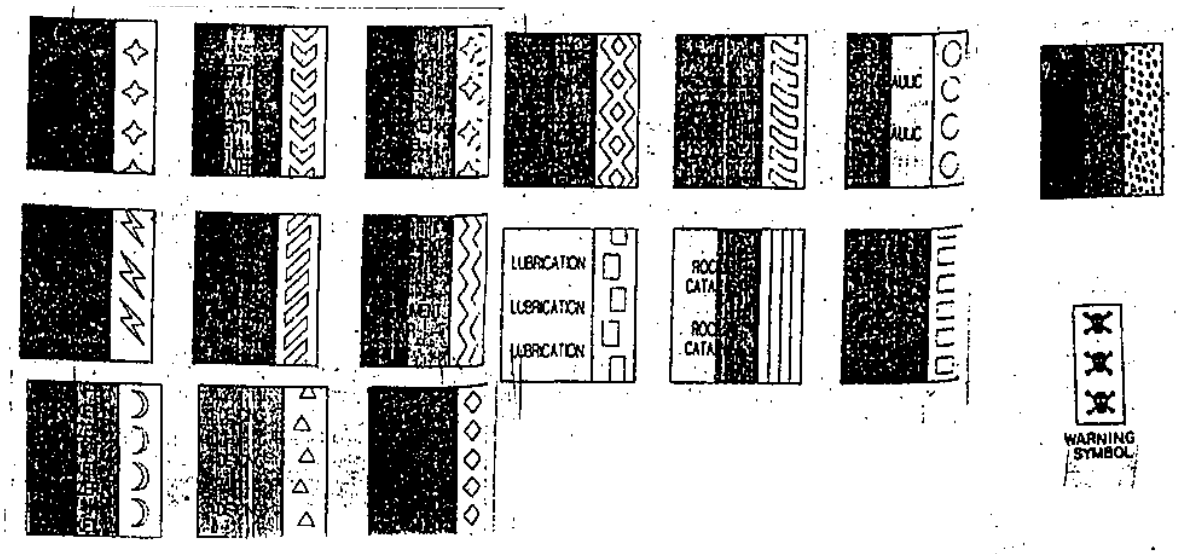
(11) ต้องใช้เข็มขัดรัดท่อ (CIAMP) กับโครงสร้างที่อยู่กับที่ทุกระยะ 24 นิ้ว

4.4 แถบกาวสีใช้คาดรอบท่อ (STICKER) ท่อทางของระบบต่าง ๆ ในอากาศยานจะมีแถบกาวสีคาดไว้รอบท่อ เพื่อเป็นสัญญลักษณ์บอกให้ทราบว่าท่อนั้น ๆ ใช้กับระบบอะไร แถบสีที่ใช้แทนระบบต่าง ๆ ดังนี้

(1) แถบสีน้ำเงินอ่อน, สีเหลือง, สีน้ำเงินอ่อน (LIGHBLUE,YELLOW,LIHGTBLUE) หรือแถบสีน้ำเงิน กับสีเหลืองใช้แทนระบบไฮดรอลิค

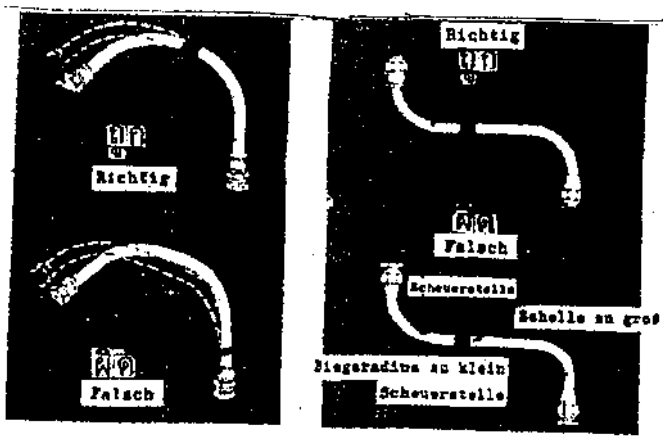
(2) แถบสีแดง (RED) สีเดียว แทนระบบเชื้อเพลิง (FUEL)

(3) แถบสีเหลือง (YELLOW) สีเดียว แทนระบบหล่อลื่น (LUBRICATING SYSTEM)

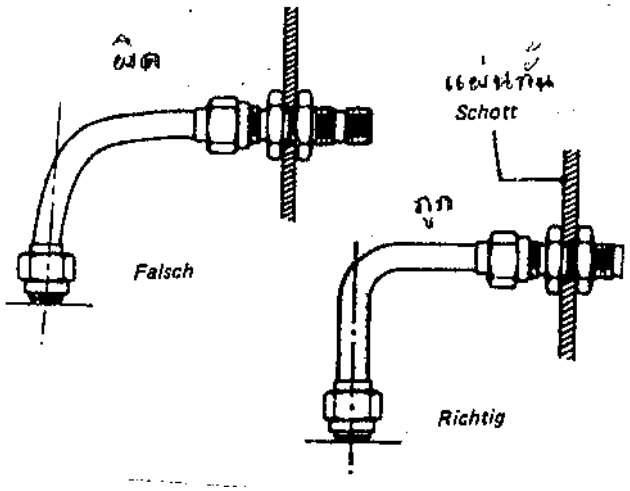


รูปที่ 2.13

(แถบสีลาดรอบท่อ “STICKER”)



แนวโค้งในการประกอบท่อ Hose **และใช้เข็มขัด** (Clamp) **รัด**



แนวโค้งของการประกอบท่อโลหะ

รูปที่ 2.14

สรุปบทที่ 2

น้ำมันไฮดรอลิค มี 2 ชนิด คือ

ไฮดรอลิคปิโตรเลียม หรือไฮดรอลิคน้ำมันแร่ (PETROLIUM OR MINERAL BASE)

- MIL-H-5606 ใช้ในย่านอุณหภูมิ –53.9 C (-65 F) ถึง 135 C (275F) สีแดง
- MIL-H-6083 ใช้แช่ป้องกันสนิม (PRESERVE) ระบบหรืออุปกรณ์ที่ใช้ MIL-H-5606

ไฮดรอลิคสังเคราะห์ (SYNTHETIC BASE)

- MIL-H-83282 ใช้ในย่านอุณหภูมิ –40 C (40F) ถึง –135 C (275F)
- MIL-H-46170 ใช้แช่ป้องกันสนิม ระบบหรืออุปกรณ์ที่ใช้ MIL-H-8328
- BOING MATERIAL SPECIFICATION (BMS3-11-TYPE11 ("SKYDRAK"OR"HYJET")

ประเก็นกันรั่ว (SEAL)

- ประเก็นสถิตย์ (GASKET) ใช้กันการรั่วซึมชิ้นส่วนที่อยู่กับที่
- ประเก็นไดนามิค (PACKING) ใช้กันการรั่วซึมชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่
- แหวนประกับ (BACK UP RING) ใช้รอง GASKET หรือ PACKING ใช้ความดันเกิน 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไป เพื่อป้องกันการบิดตัวของ GASKET และ PACKING

การเลือกประเก็น (SEAL) ใช้กับชนิดของน้ำมันไฮดรอลิค

- ประเก็นยางสังเคราะห์ (SYNTHETIC RUBBER) พวก บิวนา-เอ็น (BUNA-N);,

ไวตอน (VITON) และ นีโอปรีน (NEOPRENE) ใช้กับ ไฮดรอลิคปิโตรเลียม MIL-H-5606

และ ไฮดรอลิคสังเคราะห์ไฮโดรคาบอนด์ MIL-H-83282

- ประเก็นยางสังเคราะห์ (SYNTHETIC RUBBER) บิวทิล (BUTYL) ใช้กับไฮดรอลิคสังเคราะห์ฟอสเฟตเอเตอร์เบส เช่น “SKYDRAL” หรือ “HYJET”
- ประเก็นเทฟลอน (TEFLON SEAL) ใช้ได้กับไฮดรอลิคทุกชนิด

ข้อต่อ (CONNECTIOR)

- ข้อต่อระหว่างท่อ หรือระหว่างอุปกรณ์กับท่อ เช่น ข้อต่อตรง (UNION): ข้อต่องอ (ELBOW; ข้อต่อสามทาง (TEE FITTING) มีสองแบบ แบบ AN ริมตรงรอบ ๆ ปลายสุดจะตีบเข้าเป็นรูปกรวยปลายตีบ แบบ MS ริมปลายสุดจะบานออกเล็กน้อย
- ข้อต่อปลายท่อ (END FITTING) ใช้เป็นหัวท่อของท่อโลหะและท่ออ่อนยาง ท่อโลหะที่ใช้

ต่อกับข้อต่อระหว่างท่อ (CONNECTOR) แบบ AN ข้อต่อปลายท่อจะเป็นแบบ AN (ใช้กับท่อปลายบาน “FLARE TUBING”) ถ้าใช้ต่อกับข้อต่อระหว่างท่อแบบ MS ข้อต่อปลายท่อจะเป็นแบบ MS (ใช้กับท่อปลายตรง “FLARELESS TUBING”)

ท่อทาง (PLUMBING)

- ท่อโลหะ (RIGID TUBE) AN TUBING ใช้ข้อต่อปลายท่อแบบ AN ส่วน MS TUBBING ใช้ข้อต่อ ปลายท่อ แบบ MS
- ท่ออ่อนยาง (FLEXIBLE HOSE) มีการควบคุมอายุการเก็บรักษา (SHELFLIVE) และอายุการใช้งาน (SERVICELIFE) ท่อที่ใช้กับความดันปานกลาง (ไม่เกิน 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว) มีลวดสานเสริมความแข็งแรงหนึ่งชั้น ผิวชั้นนอกไม่เรียบ และที่ใช้กับความสูง (ไม่เกิน 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว) มีลวดสานเสริมความแข็งแรงสองชั้น ผิวชั้นนอกเรียบ
- ท่อเทฟอน (TEFLN HOSE) ไม่มีการควบคุมอายุ ใช้งานตามสภาพ (ON CONDITION)

การติดตั้งท่ออ่อนยาง (Flexible hose) เข้ากับระบบไฮดรอลิคในอากาศยาน

- ถ้าท่อมีอายุการใช้งาน (Service Life) ต้องบันทึก วัน เดือน ปี ที่ติดตั้งลงในแบบพิมพ์กำหนดการเปลี่ยนอุปกรณ์
- อย่าให้ท่อตึงเกินไปให้มีการหย่อนตัว (Slack) ประมาณ 5-8% ของความยาวท่อ หรือให้ท่อมีความยาวกว่าระยะที่จะติดตั้งท่อ 1½ นิ้ว

- ท่อต้องอยู่ใต้สายไฟห่างประมาณ 6 นิ้ว แต่ถ้าจำเป็นให้ห่างได้ไม่น้อยกว่า 1½ นิ้ว

หมายเหตุ ผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีต่อน้ำมันไฮดรอลิค

อุณหภูมิสูง ความหนืดจะลดลง

- การรั่วซึมของไฮดรอลิคภายในจะเกิดขึ้นมาก
- การหล่อลื่นจะลดประสิทธิภาพลง

อุณหภูมิต่ำ ความหนืดจะเพิ่มขึ้น

- มีแรงเสียดทานมากขึ้น
- เกิดโพรงอากาศได้ง่าย
- ปั้มทำงานมีเสียงดัง
- อุปกรณ์ในระบบเกิดการสึกหรอเร็ว

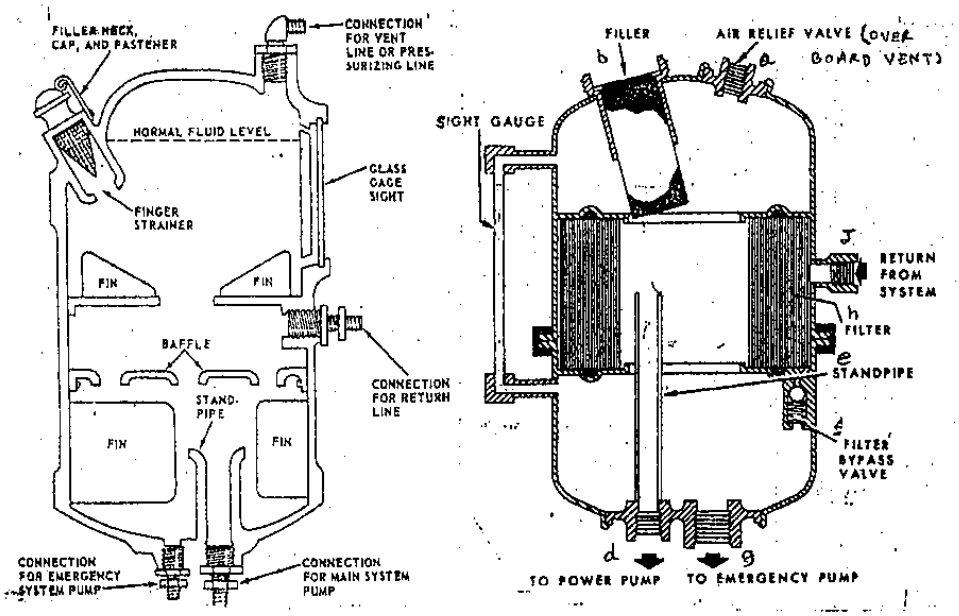
บทที่ 3

อุปกรณ์ประกอบหลักในระบบไฮดรอลิค

เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับระบบไฮดรอลิค เช่น ถังเก็บน้ำมัน (RESERVOIR) , ปั้มหรือสูบกำลัง (POWER PUMP) , เครื่องกรอง (FILTER), ถังสะสมความดัน (ACCUMULATOR), สูบงาน (ACTUATOR) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่าทำหน้าที่คนละอย่างกับวาล์ว

1. **ถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิค** (HYDRAULIC RESERVOIR) สำรับเก็บและสำรองน้ำมันไฮดรอลิคไว้ใช้ในระบบ มีสองประเภทคือ ประเภทธรรมดาไม่มีการอัดความดันเข้าไปในถัง (CONVENTIONAL OR NON-PRESSURIZE REAERVOIR) และ ประเภทมีการอัดความดันเข้าไปในถัง (PRESSURIZED RESERVOIR)

1.1 **ถังธรรมดาไม่มีการปรับความดัน** (CONVENTIONAL OR NON-PRESSURIZE RESERVOIR) ความดันภายในถังจะเปลี่ยนไปตามความดันบรรยากาศตามระยะสูง ใช้กับอากาศยานที่มีเพดานบินต่ำ ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1

(ถังเก็บน้ำมันประเภทธรรมดา ไม่มีการอัดความดัน "NON-PRESSURIZE RESERVOIR")

(a) เป็นช่องว่างเปิดสู่บรรยากาศ (Overboard vent) มีวาล์วกันกลับ (Check Valve) ไม่ให้ไฮดรอลิคไหลออกเมื่อบินผาดแผลง (Acrobatic) เช่นบินหงายท้องเป็นต้น

(b) ช่องสำหรับเติมไฮดรอลิคและตะแกรงกรอง (Screen)

(c) ช่องดูระดับน้ำมันไฮดรอลิคในถัง (Sight Gage) มีเกณฑ์กำหนดระดับที่ต้องเติมไฮดรอลิคเพิ่ม และระดับที่เหลือไฮดรอลิคน้ำยเกินไปจนอาจจะเป็นอันตราย

(d) ช่องต่อเข้ากับทางดูดปั้มหลัก พร้อมท่อยืน (Main Power pump Suction With Stand Pipe) ท่อยืนจะให้ไฮดรอลิคที่อยู่ระดับเหนือท่อยืนไหลเข้าปั้มหลัก ถ้าระบบไฮดรอลิคเกิดการรั่วไหลจนระดับไฮดรอลิคในถังต่ำกว่าท่อยืน จะไม่มีไฮดรอลิคเข้าทางดูดของปั้มหลักทั้งนี้เพื่อสำรองไฮดรอลิคไว้ใช้กับปั้มฉุกเฉิน (Emergency Pump)

(e) ช่องสำหรับต่อเข้าทางดูดของปั้มฉุกเฉิน (Emergency) อยู่ก้นถังสุด

(f) ช่องให้ไฮดรอลิคจากระบบไหลกลับถัง (Return Line)

(g) ตะแกรงกรอง (Filter) กรองเศษผงต่าง ๆ ที่ติดมากับไฮดรอลิคก่อนกลับเข้าถัง

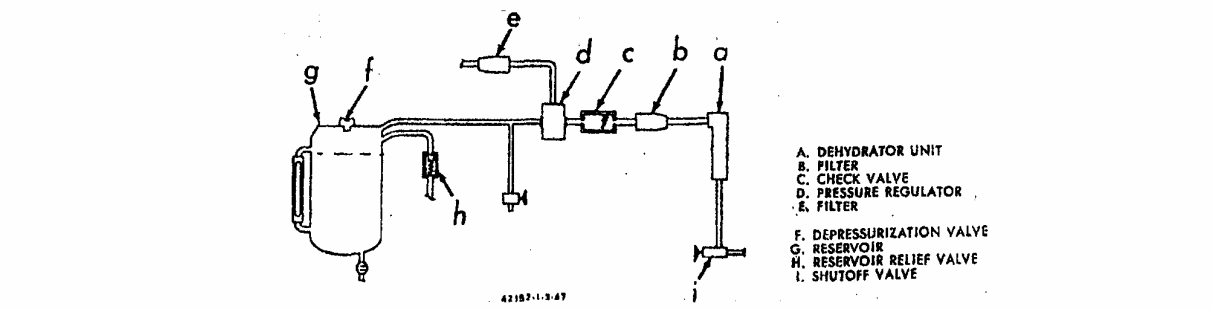
(h) วาล์วลัดทาง (By-Pass Valve) สำหรับให้ไฮดรอลิคไหลกลับถังได้เมื่อตะแกรงกรองตัน

ส่วน FIN ในรูปซ้ายมือ จะช่วยไม่ให้ไฮดรอลิคในถังกระฉอก และ BAFFLE จะให้ไฮดรลิคที่ไหลกลับเข้าถังเกิดการอลวนเพื่อทำลายฟองอากาศและอยู่กันถังก่อนถูกดูดเข้าปั้ม

1.2 **ถังประเภทปรับความดัน** (PRESSURIZE RESERVOIR) ถังประเภทนี้จะใช้กับอากาศยานที่มีเพดานบินสูง ๆ โดยการนำอากาศอัดจากเครื่องยนต์ , จากระบบปรับความดันอากาศภายในอากาศยาน , จาความดันของระบบไฮดรอลิค , จากถังสะสมความดัน (ACCUMULATOR) ที่ติดตั้งไว้ในถังเก็บ เข้าไปกดดันไฮดรอลิคในถังด้วยความดันที่คงที่ค่าหนึ่ง เพื่อรักษาความกดดันในถังเก็บให้มีคงที่ทุกระยะสูงเพื่อช่วยป้องกันไม่ให้ฟองอากาศเกิดขึ้นได้มากเมื่อระยะสูงเพิ่มขึ้นความดันบรรยากาศลดลงและกดดันให้ไฮดรอลิคไหลเข้าปั้มได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการขาดตอนไม่ว่าถังเก็บจะอยู่ต่ำกว่าปั้มหรือไม่ ซึ่งแยกถังปรับความดันนี้ออกเป็นสองแบบด้วยกันคือ แบบใช้ความดันลม (AIR TYPE RESERVOIR) และระบบไม่ใช้ความดันลม (AIRLESS TYPE RESERVOIR)

1.2.1 แบบใช้ความดันลมหรือไนโตรเจน (AIR TYPE RESERVOIR) ใช้ลมดัดจากเครื่องยนต์หรือจากถังสะสมความดัน (ACCUMULATOR) ที่เป็นส่วนหนึ่งของถังเก็บน้ำมัน

(1) แบบใช้ลมอัดจากเครื่องยนต์ โดยการนำอากาศอัดจากชุดอัดอากาศ (COMPRESSOR AIR BLEED) ของเครื่องยนต์เข้าไปกดดันไฮดรอลิคในถังโดยตรง ตามรูปที่ 3.2



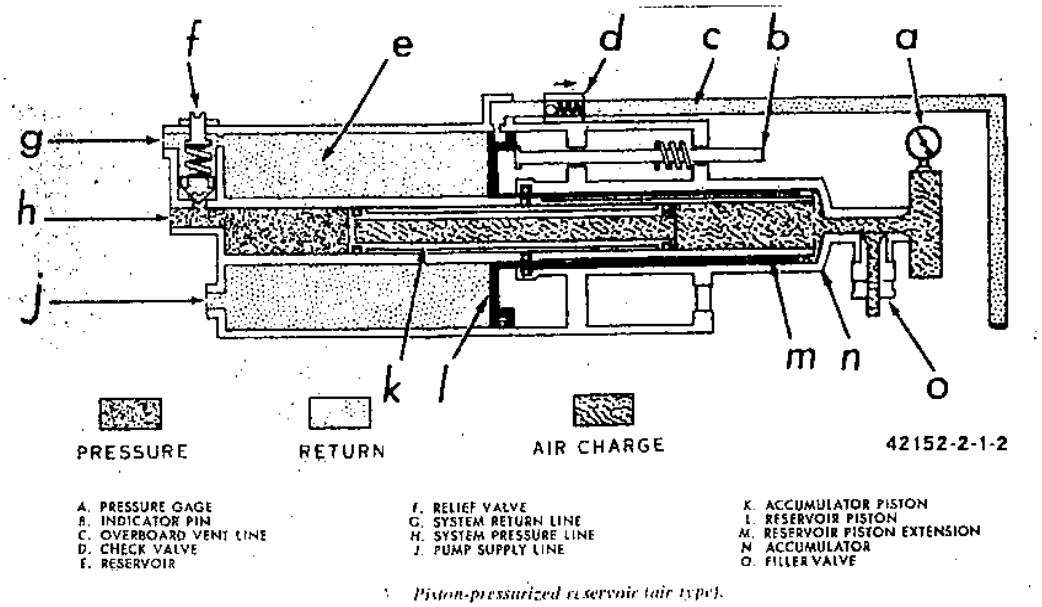
รูปที่ 3.2

(ถังปรับความดันแบบใช้ลมอัดจากเครื่องยนต์)

อากาศอัดจะผ่านวาล์วปิด-เปิด (Shut off Valve)"I" ไปเข้าชุดแยกความชื้น (Dehydrator) "a" ไปผ่านตะแกรงกรอง "b" ผ่านวาล์วกันกลับ "c" เข้าไปยังชุดควบคุมความดัน (Pressure Regulator) "d" ซึ่งจะควบคุมความดันลมอัดในถังให้มีแรงอัดประมาณ 4-35 ปอนด์/ตารางนิ้วเหนือความดันบรรยากาศแล้วแต่การออกแบบของระบบให้คงที่ทุกระยะสูง ท่อหายใจ (Vent) "e" จะเปิดให้ความดันบรรยากาศเข้าไปในถังขณะยังไม่มีการอัดความดันเข้าถัง วาล์วระบาย (RelleValve) หรือ วาล์วนิรภัย (Safety Valve) "h" จะระยายความดันที่สูงเกินเกณฑ์ออกจากถังถ้าวาล์วควบคุมความดัน "d" ไม่สามารถควบคุมความดันได้ ส่วนวาล์วถ่ายความดันทิ้ง (Depressurization Valve) "f" มีไว้สำหรับถ่ายความดันที่ค้างอยู่ในถังออกด้วยมือ (Manual release) เมื่อต้องการเปิดฝาถังเพื่อเติมไฮดรอลิค หรือซ่อมบำรุงถัง

หมายเหตุ ในอากาศยานโดยสารขนาดใหญ่ที่มีระบบปรับสภาพความดันภายในห้องโดยสาร (Cabin Air Pressurized) และถังเก็บไฮดรอลิคติดตั้งไว้ในห้องโดยสารไม่จำเป็นต้องมีระบบปรับความดันในถัง เพราะใช้ความดันมากระบบปรับสภาพอากาศในห้องโดยสารเข้าในถังแทนได้

(2) แบบใช้ถังสะสมความดัน (Accumulator) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของถังอยู่ถังเก็บให้ดันลูกสูบของถังเก็บไปกดดันไฮดรอลคิในถังอีกทอดหนึ่ง หรือเรียกถังแบบนี้ว่า (Piston Pressurized Reservoir Airless Type) ดูรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3

(ถังปรับความดันใช้ “Accumulator”)

ตามรูปที่ 3.3 ลูกสูบของถัง (Reservoir Piston) “l” แสงไว้ด้วยเส้นดำทึบมีก้านสูบ “m” เป็นแกนกลางอยู่ระหว่างชั้นนอกกับชั้นในของถังสะสมความดันทางขวา ความดันลมหรือไนโตรเจนอัดที่เติมเข้าทางวาล์วเดิม “o” จะเข้าไปในห้องเก็บลมอัดและไปกดดันพื้นที่วงแหวนส่วนปลายของก้านสูบ “m” เครื่องวัดความดัน “a” จะแสดงค่าความดันของถังสะสมความดัน ตัวอย่างของการทำงานเช่น ถ้าเติมลมอัดหรือไนโตรเจนเข้าถังสะสมความดันที่ถังเก็บน้ำมัน หรือเรียกว่าการปรีโหลด (Preload) 2,000 ปอนด์/ตารางนิ้วแรงดันในถังสะสมความดันที่เติมเข้าไปนี้จะดันพื้นที่วงแหวนรอบก้านสูบ “m” ให้เคลื่อนตัวมาทางซ้ายพร้อมกับพาลูกสูบ “l” มาทางซ้ายด้วย ลูกสูบ “l” จะกดดันไฮดรอลิคในถัง “e” ให้มีแรงดันประมาณ 60 ปอนด์/ตารางนิ้ว ออกไปเข้าทางดูดของปั๊มที่ช่อง “j” เมื่อระบบไฮดรอลิคมีความดันเกิน 2,000 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไปไฮดรอลิคในถังจะถูกดันให้มีความดันเพิ่มขึ้นสูงกว่า 60 ปอนด์/ตารางนิ้วไปเรื่อย ๆ เช่น ถ้าความดันของระบบไฮดรอลิคเป็น 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ไฮดรอลิคในถังจะถูกกดดันให้มีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 90 ปอนด์/ตารางนิ้ว ทั้งนี้เพราะไฮดรอลิคในระบบจะถูกต่อให้มาเข้าถังทางช่อง “h” เพื่อกดดันลูกสูบของถังสะสมความดัน “k” ให้ไปกดดันลมอัดหรือไนโตรเจนที่ PRELOAD ไว้ทำให้มีความดันเพิ่มขึ้นเท่ากับความดันของระบบคือ 3,000

ปอนด์/ตารางนิ้ว แล้วส่งผลให้ลูกสูบของถังเก็บ “l” เคลื่อนตัวมาทางซ้ายมากขึ้นจึงกดดันไฮดรอลิคในถังให้มีความดันไปเข้าทางดูดของปั้มมากขึ้น

สำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ เช่นวาล์วระบาย “f” สำหรับปรับตั้งความดันไฮดรอลิคจากระบบเข้าถังสะสมความดันตามค่าความดันที่ต้องการ ,“g” เป็นช่องทางกลับของไฮดรอลิคจากระบบ (Return Line) , “j” เป็นช่องทางดูดของปั้ม , “d” วาล์ว กันกลับไม่ให้ไฮดรอลิคที่รั่วซึมเข้ามาลูกสูบของถังเก็บแล้วถูกถ่ายทิ้งออกทางท่อถ่ายทิ้ง “c” ไหลย้อนกลับมาได้ และ “b” เป็นก้านและแสดงปริมาณของไฮดรอลิคที่มีอยู่ภายในถัง การเติมไฮดรอลิคเข้าถังจะต้องใช้วิธีอัดไฮดรอลิคเข้าด้วยปั้มหรือสูบมือทางช่อง “g” แต่ก่อนจะเปิดฝาถังเพื่อเติมไฮดรอลิคต้องแน่ใจว่าไม่มีความดันเหลือค้างอยู่ในถังสะสมความดันโดยสังเกตุที่เครื่องวัด “a” ขณะที่ปริมาณไฮดรอลิคในถังเพิ่มขึ้นลูกสูบ “l” จะถูกดันไปทางขวาชนก้านวัดระดับ “b” ยืดออกมาเรื่อย ๆ จนถึงระยะที่กำหนดว่าปริมาณไฮดรอลิคได้ตามเกณฑ์แล้ว ถ้าเติมมากเกินเกณฑ์ลูกสูบ “l” จะเคลื่อนมาทางขวาจนเปิดท่อทิ้ง “c” กับห้อง “e” ให้ถึงก้นไฮดรอลิคจะถูกระบายทิ้งทางท่อ “c” ถ้าปริมาณไฮดรอลิคในถังลดลงลูกสูบของถังจะถูกลมอัดหรือไนโตรเจนดันให้เคลื่อนตัวไปทางซ้าย และสปริงที่ก้านวัดปริมาณน้ำมันจะคืนตัวดันก้านวัดให้หดเข้าไปทางซ้ายด้วย

ข้อควรระวัง แม้ว่าระบบไฮดรอลิคจะไม่มีความดันแล้วก็ตาม แต่ลมอัดหรือไนโตรเจนที่ PRELOAD ไว้ในถังสะสมความดันยังมีอยู่ตามเกณฑ์ ให้ระวังอุปกรณ์ไฮดรอลิคจะทำงาน ด้วยความเผลอเรอที่ไปเปลี่ยนตำแหน่งของชุดควบคุมโดยไม่ตั้งใจ

1.2.2 แบบไม่ใช้ความดันลม (Airless Type Reservoir) การปรับความดันของถังแบบนี้จะใช้ความดันจากระบบไฮดรอลิคกดดันลูกสูบองถังเก็บโดยตรง (ไม่ต้องผ่านถังสะสมความดัน “Accumulator”) ดูรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4

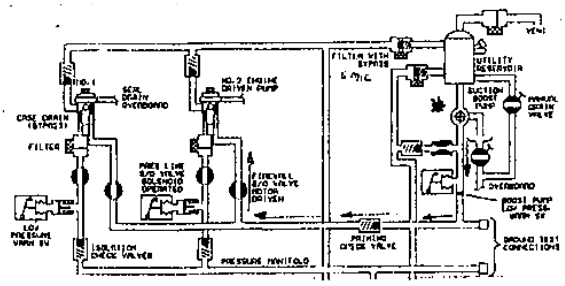
(ถังปรับความดันแบบไม่ใช้ลมหรือไนโตรเจนอัด “Airless Type Reservoir”)

การปรับความดันของถังตามรูปที่ 3.4 ลูกสูบของถัง จะมีสองลูกสูบอยู่ที่ปลายทั้งสองของก้านสูบเดียวกัน ลูกสูบ “d” จะมีขนาดเกือบเท่ากับความโตในของถังเก็บ (Barrel “c”) อยู่ด้านขวา ส่วนลูกสูบ “l” เป็นลูกสูบขนดเล็กอยู่ด้านซ้ายของก้านสูบและเข้าไปในแท่นกระบอกสูบ (Head) “f” ขณะที่ระบบไฮดรอลิคยังไม่มีความดัน และปริมาณไฮดรอลิคในถังมีเต็มสปริง “e” จะยืดตัวดันลูกสูบ “d” ให้เคลื่อนตัวไปทางขวากดดันไฮดรอลิคที่อยู่ทางด้านขวาให้มีความดันออกไปเข้าทางดูดของปั้มที่ช่อง “n” ตามขนาดของสปริงที่ใช้ เมื่อระบบไฮดรอลิคมีความดันและส่งความดันเข้ามาทางช่อง “h” ลูกสูบเล็กจะถูกความดันนี้กด

ให้เคลื่อนไปทางขวาพร้อมกับดันลูกสูบใหญ่ “d” ให้ไปทางขวาด้วยทำให้ไฮดรอลิคทางด้านขวาถูกกดดันเพิ่มขึ้นอีก ความดันที่ออกไปเข้าช่องดูดของปั้มที่ช่อง “n” จึงเพิ่มขึ้นตาม เช่น ถ้าลูกสูบใหญ่มีพื้นที่ 100 ตารางนิ้ว, ลูกสูบเล็กมีพื้นที่พื้นที่ 1 ตารางนิ้ว และไฮดรอลิคจากระบบที่เข้ามาดันลูกสูบเล็กทางช่อง “h” มีความดัน 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ไฮดรอลิคจะถูกกดดันให้มีความดันเป็น 30 ปอนด์/ตารางนิ้วออกไปเข้าช่องดูดของปั้มทางช่อง “n”

ส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ช่อง “m” เป็นช่องถ่ายทิ้งไฮดรอลิคที่รั่วซึมผ่าน SEAL ของลูกสูบใหญ่และลูกสูบเล็ก, วาล์วระบาย “j” จะระบายไฮดรอลิคทางด้านขวาของลูกสูบใหญ่ออกไปทางช่อง “k” ถ้าความดันไฮดรอลิคในถังสูงเกินไป ช่อง “o” เป็นช่องที่ไฮดรอลิคไหลกลับจากระบบ การเติมไฮดรอลิคเข้าถังต้องใช้การอัดไฮดรอลิคเข้าไปเช่นเดียวกันแบบใช้ถังสะสมความดันในถัง และเช่นเดียวกันกับถังเก็บปรับความดันทั่ว ๆ ไปก่อนเปิดฝาถังจะต้องแน่ใจว่าไม่มีความดันเหลือค้างอยู่ในถัง, “g” เป็นก้านแสดงปริมาณไฮดรอลิคในถังถ้าปริมาณไฮดรอลิคมีมากลูกสูบใหญ่จะดันก้านวัดให้ยื่นออกมา ถ้ามีน้อยสปริง “e” ของลูกสูบใหญ่จะดันลูกสูบให้เคลื่อนไปทางขสาทำให้สปริงที่ก้านวัดยืดตัวดึงก้านวัดเข้าไป

“อนึ่ง” ในอากาศยานที่ถังเก็บน้ำมันไฮดริอลิคและมีเพดานบินไม่สูงมาก จะไม่ใช้การปรับความดันในถังเก็บ แต่จะใช้ปั้มช่วยดูด (BOOST PUMP) ซึ่งเป็นปั้มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เร่งอัตราการไหลของไฮดรอลิคให้ไหลเข้าทางดูดของปั้มอย่างต่อเนื่องเป็นการป้องกันการไหลขาดตอน (CAVITATION) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโพรงอากาศที่ทางดูดของปั้มได้ เช่นในเครื่องบินแบบ C-130 ตามรูปที่ 3.5

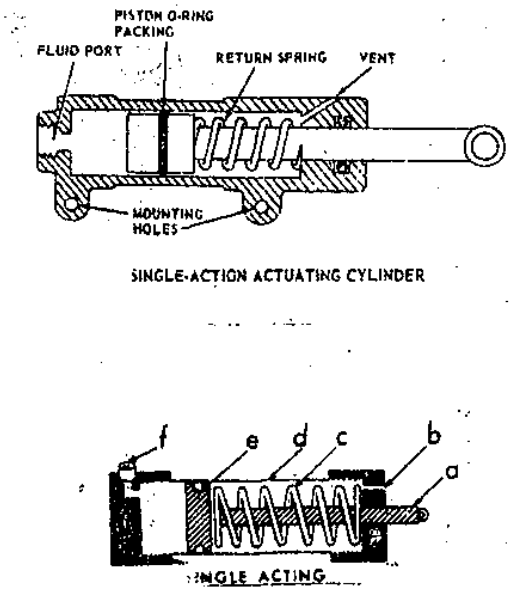


รูปที่ 3.5

(การใช้ “BOOSTER PUMP” **ที่ทางดูดของปั้มกับถังเก็บ)**

2. **สูบงานหรือกระบอกสูบไฮดรอลิค** (ACTUATOR) ปั้มหรือสูบกำลังเป็นตัวทำให้ไฮดรอลิคเกิดพลังการไหลเมื่อการไหลถูกจำกัดหรือถูกขัดขวางจะเกิดความดันขึ้นกับไฮดรอลิค เมื่อไฮดรอลิคภายใต้ความดันถูกส่งไปเข้าสูบงานหรือกระบอกสูบไฮดรอลิค (ACTUATOR) ลูกสูบจะถูกดันให้เคลื่อนที่ในแนวตรง มีหลายแบบตามชนิดของงานกลที่ใช้ดังนี้

2.1 สูบงานทำงานด้านเดียว (Single Action Actuator) มีช่องทาง และห้องไฮดรอลิคเข้า - ออกอยู่ทางด้านหน้าของลูกสูบเพียงด้านเดียว ตามรูปที่ 3.6



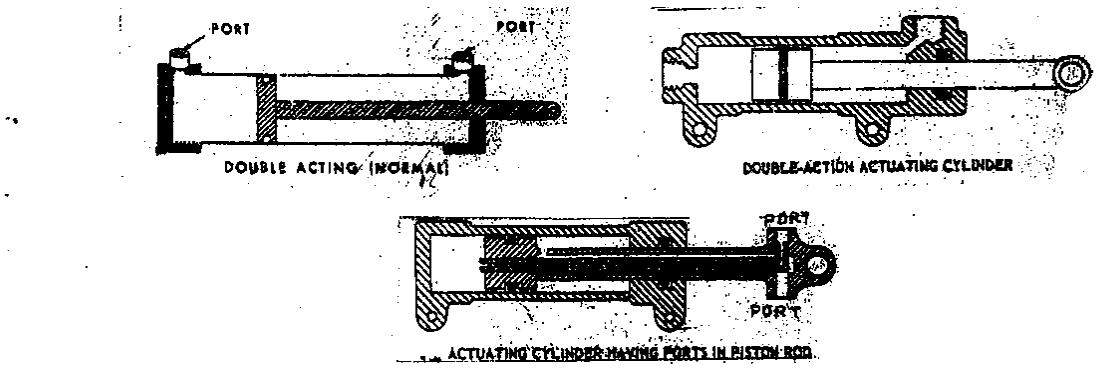
รูปที่ 3.6

(สูบงานทำงานด้านเดียว "Single Action Actuator")

เมื่อไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามาทางช่อง "f" โดยที่เสื้อสูบหรือเรือนสูบ "d" ถูกยึดให้อยู่กับที่ ลูกสูบ "e" จะถูกดันให้เคลื่อนไปทางขวาพร้อมกดสปริง "c" ให้หดตัว ถ้าปล่อยไฮดรอลิคที่ช่อง "f" ให้กลับ ถังความดันของไฮดรอลิคจะลดลงจนสปริง "c" ยืดตัวออกดันลูกสูบให้กลับมาทางซ้ายจนสุดได้ ตัวอย่างการใช้งานของสูบแบบนี้เช่น แม่ปั๊มเบรค , งานที่บังคับให้ทำงานด้านเดียวตอนเลิกใช้ให้กลับที่เดิมเอง เป็นต้น

2.2 สูบงานทำงานสองด้าน (Double Action Actuator) มีช่องไฮดรอลิคเข้า-ออก 2 ช่องอยู่ทางด้านหน้าของลูกสูบ และทางด้านก้านสูบ เมื่อไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามาทางด้านหนึ่งลูกสูบจะดันไฮดรอลิคด้านตรงข้ามออกกลับถังสูบงานทำงานสองด้านแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันดังนี้

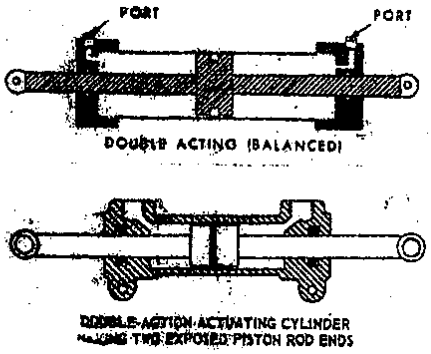
2.2.1 ชนิดลูกสูบเดียวก้านสูบเดียว (Normal or Unbalance Actuator) สูบงานชนิดนี้ความเร็วในการเคลื่อนตัวของแต่ละด้านจะไม่เท่ากัน (ความเร็วที่ก้านสูบเคลื่อนที่ออกจะช้ากว่า ความเร็วที่ก้านสูบเคลื่อนที่เข้า เพราะอัตราการไหล ออกทางห้องด้านก้านสูบ "อัตราการไหลออก = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ X ปริมาตรจุของห้องที่ไหลออก") สูบชนิดนี้ใช้งานกันในระบบไฮดรอลิคทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 3.7

(สูบงานทำงานสองด้านก้านสูบเดียว “Normal or Unbalance Actuator”)

2.2.2 ชนิดลูกสูบเดียวสองก้านสูบ (Balance Actuator) สูบงานชนิดนี้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแต่ละด้านจะเท่ากันเหมาะสำหรับใช้กับงานที่ต้องการให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ทั้งสองด้านเท่ากัน เช่น

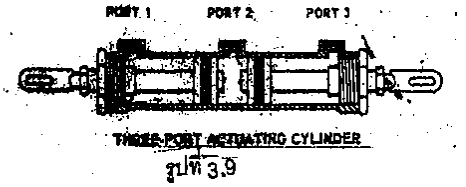


ใช้กับปีกเล็กแก้เอียง (AILERON) ในระบบบังคับท่าบิน (Flight Control)

รูปที่ 3.8

(สูบงานทำงานสองด้านลูกสูบเดียวสองก้านสูบ “Normal or Balance Actuator”)

2.2.3 ชนิดสองลูกสูบสองด้านสูบ (Three Port) สูบงานชนิดนี้จะมีช่องให้ไฮดรอลิคเข้า-ออกที่เสื้อสูบ 3 ช่อง มีห้องให้ไฮดรอลิคเข้า –ออก 3 ห้อง จะใช้กับงานที่แยกกันแต่ต้องการให้ทำงานในเวลาเดียวกัน เช่น แฟลบที่แยกเป็นสองตอน

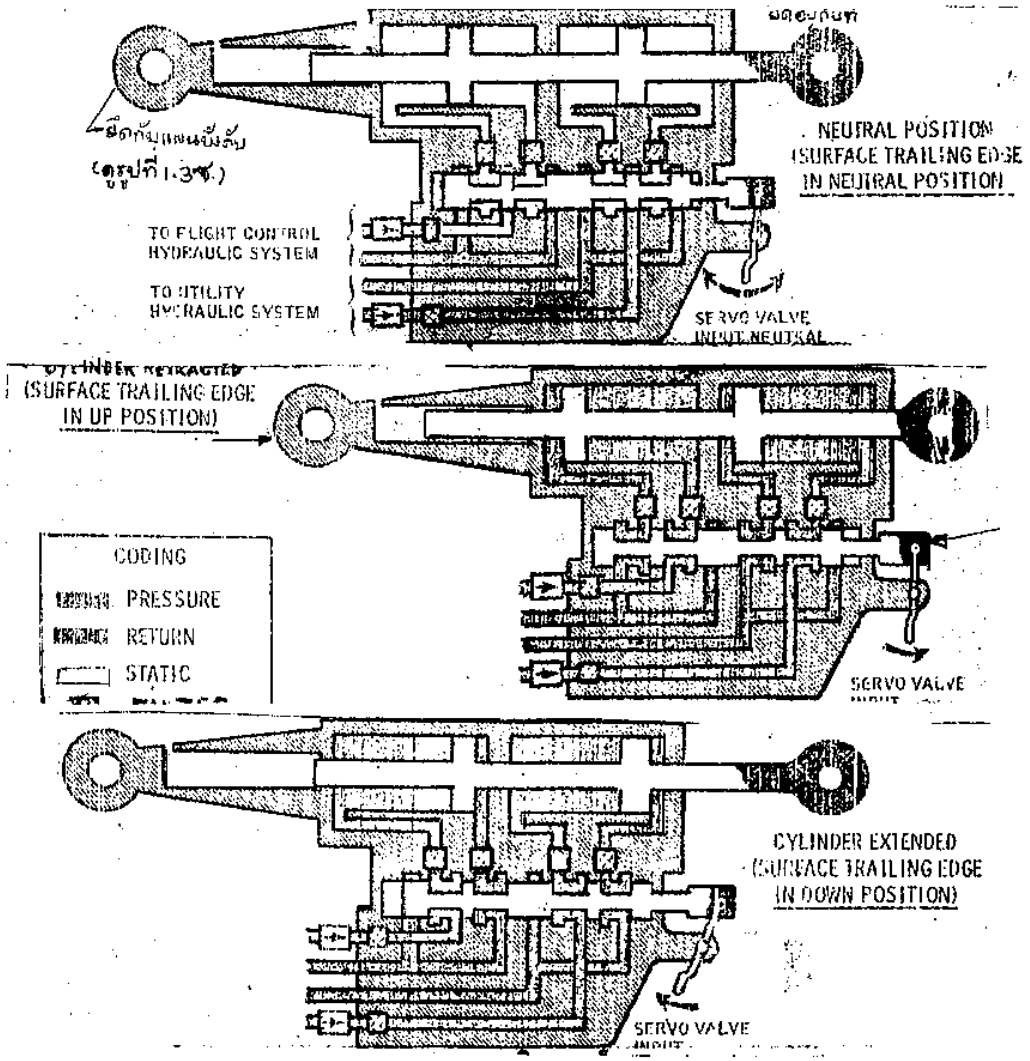


รูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9

2.2.4 ชนิดแทนเด็ม (Tandem Actuator) สูบงานชนิดนี้จะเป็นสูบงานชนิดสูบเดียวสองก้านสูบ (Balance Actuator) สองชุด มาสร้างให้เป็นชุดเดียวกันโดยต่อเสื้อสูบและก้านสูบเข้าด้วยกันแบบอันดับ สูบงาน

แทนเด็มจะให้แรงมากเท่ากับสูบงานที่มีขนาดใหญ่เป็นสองเท่าของสูบงานสูบเดียว แต่ใช้พื้นที่ติดตั้งในแนวขวางน้อยกว่า สูบงานแทนเด็มจะต้องใช้ความดันจากระบบไฮดรอลิคอิสระสองระบบเข้าไปทำงานพร้อมกัน (COMBINATION) แต่ถ้าหากระบบใดระบบหนึ่งไม่มีความดันระบบที่เหลือเพียงระบบเดียวจะทำงานต่อไป

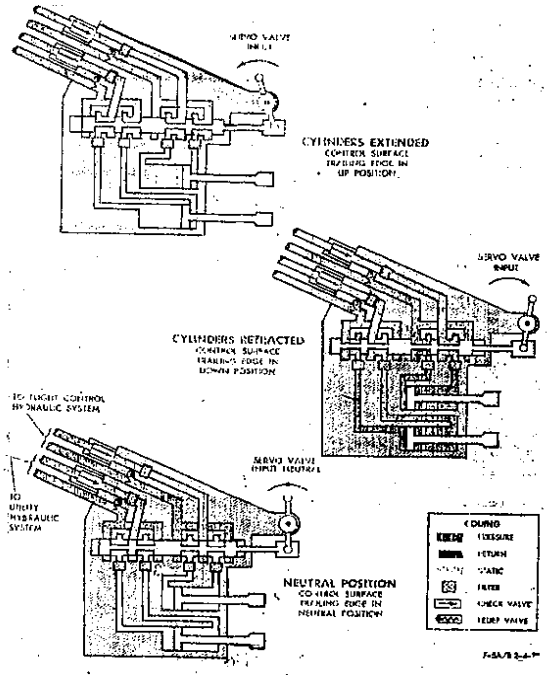


ได้ สูบงานชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้กับระบบ บังคับท่าบิน (Flight Control) เพราะถ้าระบบหนึ่งไม่ทำงานจะยังมีระบบที่เหลือทำงานได้โดยไม่ต้องมีระบบฉุกเฉิน

รูปที่ 3.10

(สูบงานชนิดแทนเด็ม “Tandem Actuator”)

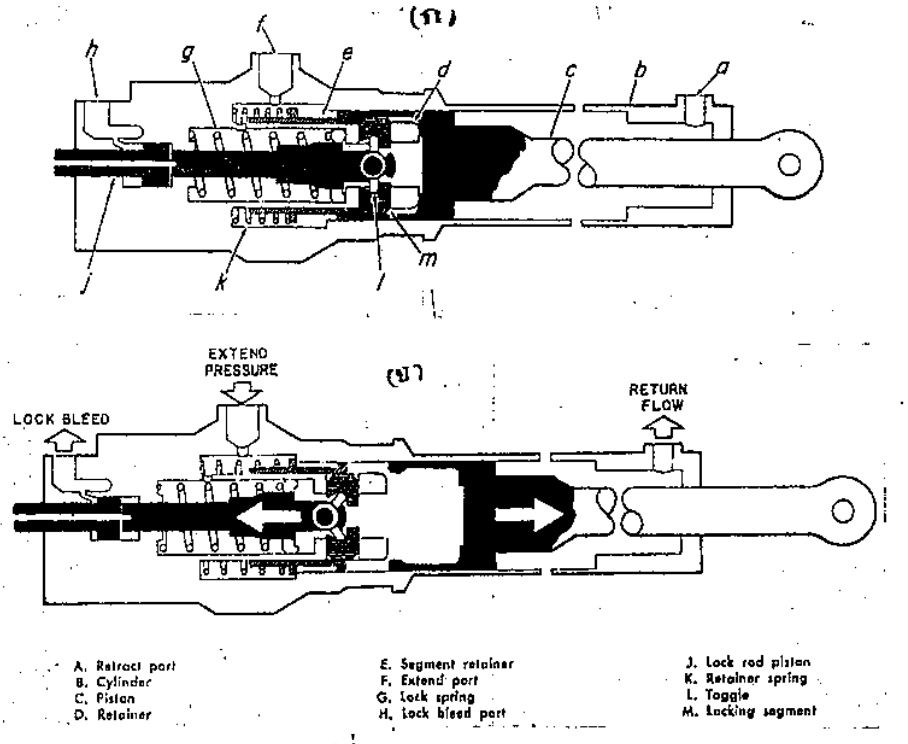
2.2.5 ชนิดสูบแฝด (Twin Actuator) สูบงานชนิดนี้ เป็นสูบงานชนิดลูกสูบเดียวก้านสูบเดียว (Normal or Unbalance) สองชิดมาสร้างให้เป็นชุดเดียวกันคล้ายกับชนิดแทนเด็ม แต่จะต่อกันเฉพาะเสื้อสูบเท่านั้น ก้านสูบไม่ต่อกันใช้ความดันจากระบบไฮดรอลิคอิสระสองระบบและการใช้งานก็เช่นเดียวกับชนิดแทนเด็ม ยกเว้นความเร็วในการเคลื่อนตัวเข้า-ออกของลูกสูบจะไม่เท่ากันเหมือนกับชนิดแทนเด็ม



รูปที่ 3.11

(สูบงานชนิดแฝด “Twin Actuator”)

2.2.6 ชนิดมีล๊อกในตัว (Internal-lock-type Actuator) สูบงานชนิดนี้จะมีกลไกล๊อกลูกสูบเมื่อเคลื่อนสุดระยะที่ด้านใดด้านหนึ่งอยู่ในตัวเพียงด้านเดียว จึงไม่ต้องอาศัยกลไกภายนอกล๊อกที่ชิ้นงาน เช่น ล๊อกฐานของอากาศยานขนาดเล็กระหว่างที่พับอยู่ เป็นต้น



รูปที่ 3.12

(สูบงานชนิดมีกลไกล๊อกภายใน "Internal-lock-type Actuator")

ตามรูปที่ 3.12ก ถ้าให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามาทางช่อง "a" ลูกสูบ "c" จะถูกดันให้หดตัวเคลื่อนเข้ามาทางซ้ายสุดและดัน Retainer "e" ไปทางซ้ายพร้อมกดสปริงไปด้วยจน Retainer พ้นจาก Locking Segment "m" เพื่อให้ Locking Segment "m" เข้าไปในปากที่เว้าของลูกสูบ "c" ได้พร้อมกันนั้นสปริง "g" จะยืดตัวออกดันให้ขา Toggle. "l" ถ่างออก ส่งให้ Locking Segment เข้าไปล๊อกอยู่ระหว่างขอบนูนรอบปากลูกสูบ กับ Retainer "d"

ตามรูปที่ 3.12ข เป็นการปลอดล๊อกเพื่อให้ลูกสูบยืดออก ให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าทางช่อง "f" ไฮดรอลิคจะผ่านช่องภายในเข้าไปที่ลูกสูบ "c" และ ลูกสูบของก้านล๊อก (Lock Rod Piston) "j" แต่ลูกสูบ "c" ยังเคลื่อนที่ไม่ได้เพราะติดล๊อกอยู่ ลูกสูบของก้านล๊อค "j" จึงถูกดันให้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายก่อนและดึงสปริง "g" มาด้วยทำให้ขา Toggle "l" พร้อมที่จะหุบลงเมื่อไฮดรอลิคดันลูกสูบ "c" ให้เคลื่อนตัวออกไปทางขวาลูกสูบ "c" จึงกด Locking Segment "m" ลงไปได้พร้อมกับเคลื่อนตัวมาทางขวาได้ และ Retainer Spring "k" จะยืดตัวเคลื่อนตามออกมาทางขวาเข้าไปกด Locking Segment "m" ไว้ตลอดเวลาที่ลูกสูบยืดออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการขวางทางเวลาลูกสูบหดตัวเข้า

อนึ่ง เพื่อเป็นการป้องกันการทำงานผิดพลาดถ้าล๊อกไม่ปลดขณะให้ลูกสูบยืดออก หรือต้องการให้ลูกสูบยืดออกขณะไม่มีความดันไฮดรอลิค จะมีสาย CABLE ประกอบเข้ากับ Locking Rod Piston ไว้ให้ดึงด้วยมือเพื่อปลดล๊อกส่วนช่องไล่ไฮดรอลิค (Bleed Port) "h" มีไว้สำหรับไล่ไฮดรอลิคที่รั่วข้ามซีล (Seal) ของลูกสูบออกไป เพื่อไม่ให้เกิดแรงต้านขณะ Rocking Rod Piston "j" เคลื่อนมาทางซ้ายเพื่อปลอดล๊อก

3. **ถังสะสมความดัน** (ACCUMULATOR) เป็นที่สำรองไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากระบบเพื่อ

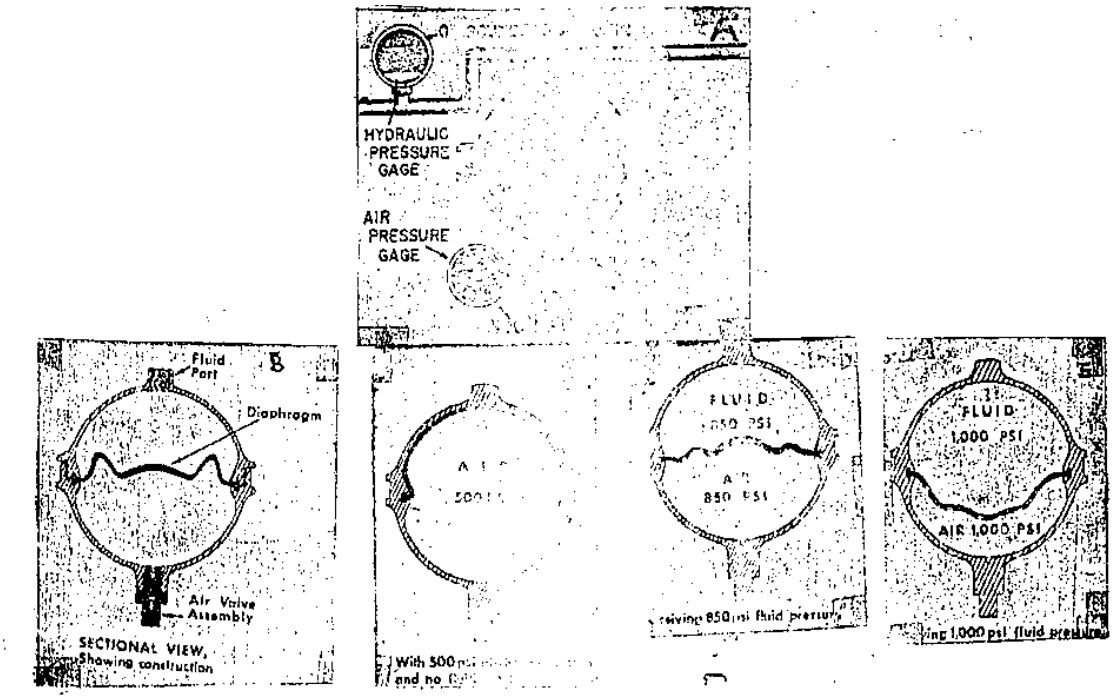
(1) เสริมความดันช่วยปั้ม ในกรณีที่ความดันในระบบ ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการใช้อุปกรณ์ทำงานพร้อม ๆ กันหลายงาน

(2) จ่ายไฮดรอลิคภายใต้ความดันทนปั้มได้อย่างจำกัดครั้ง ถ้าปั้มเกิดขัดข้อง

(3) ลดการกระโชกของไฮดรอลิคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันกะทันหัน

ถังสะสมความดัน มีหลายแบบแบ่งตามลักษณะโครงสร้างที่ประกอบถังได้ดังนี้

3.1 แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Type) ใช้แผ่นไดอะแฟรมยางสังเคราะห์กั้นถังอกเป็นสองห้อง ตามรูปที่ 3.13

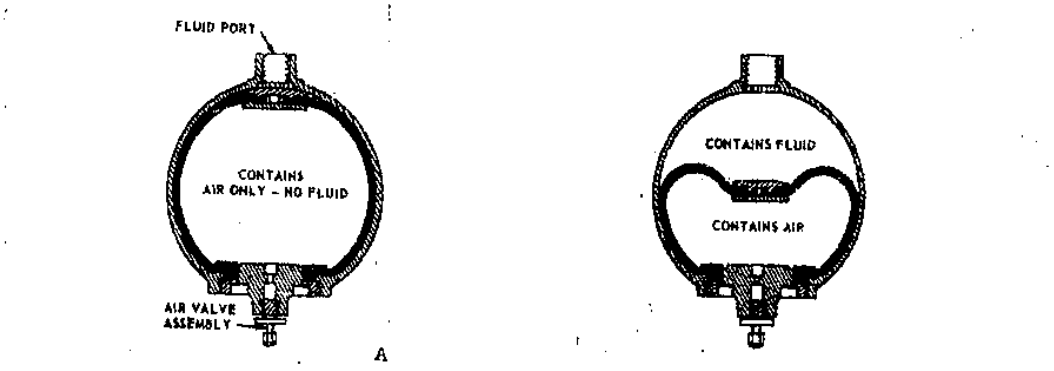


รูปที่ 3.13

(ถังสะสมความดันแบบใช้แผ่นไดอะแฟรมยาง)

รูปบน A แสดงการติดตั้งถังสะสมความดัน เข้ากับระบบไฮดรอลิคในอากาศยานพร้อมเครื่องวัดความดันของถัง ส่วนแถวล่างแสดงการสะสมความดันหรือการชาร์จถังสะสมความดัน รูป B ขณะยังไม่เติมลมหรือก๊าซไนโตรเจนอัดเข้าถังและระบบไฮดรอลิคก็ยังไม่มีความดันเข้าทางห้องด้านบน , รูป C เมื่อเติมลมหรือไนโตรเจนอัดเข้าไปทางห้องด้านล่าง 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว (หรือเรียกว่าการปรีโหลด “PRELOAD”) แผ่นไดอะแฟรมจะถูกดันขึ้นไปด้านบนสุดและเครื่องวัดความดันของถังสะสมจะชี้ 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว , รูป D เมื่อระบบไฮดรอลิคมีความดัน 850 ปอนด์/ตารางนิ้ว เข้าทางห้องด้านบนอากาศหรือไนโตรเจนอัดที่ปรีโหลดไว้จะถูกกดอัดให้มีความดันเป็น 850 ปอนด์/ตารางนิ้ว ด้วยและเครื่องวัดความดันของถังสะสมก็จะชี้ 850 ปอนด์/ตารางนิ้ว , รูป E ความดันระบบไฮดรอลิคเพิ่มเป็น 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว (สมมุติให้เป็นความดันสูงสุดของระบบไฮดรอลิคที่ใช้เป็นตัวอย่างในที่นี้) อากาศหรือไนโตรเจนจะถูกกดดันให้เพิ่มความดันเป็น 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว เครื่องวัดความดันจะชี้ 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ทำให้ห้องบนมีปริมาตรสะสมไฮดรอลิคได้มากที่สุด เมื่อใดที่ความดันของระบบไฮดรอลิคที่เข้าห้องด้านบนลดลงต่ำกว่า 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ความดันลมหรือก๊าซไนโตรเจนที่ห้องล่างจะดันแผ่นไดอะแฟรมขึ้นด้านบนและดันไฮดรอลิคให้ออกไปเสริมความดันในระบบที่ลดลง เมื่อปั๊มจ่ายไฮดรอลิคออกมาจนความดันในระบบสูงกว่า 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถังจะเริ่มสะสมความดันใหม่ จะเห็นได้ว่าขณะที่ถังสะสมความดันไว้เต็มที่แล้วปั๊มไม่จำเป็นต้องจ่ายไฮดรอลิค ออกมาอย่างเต็มที่ตลอดเวลาจึงเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ขับปั๊มได้อีกด้วย

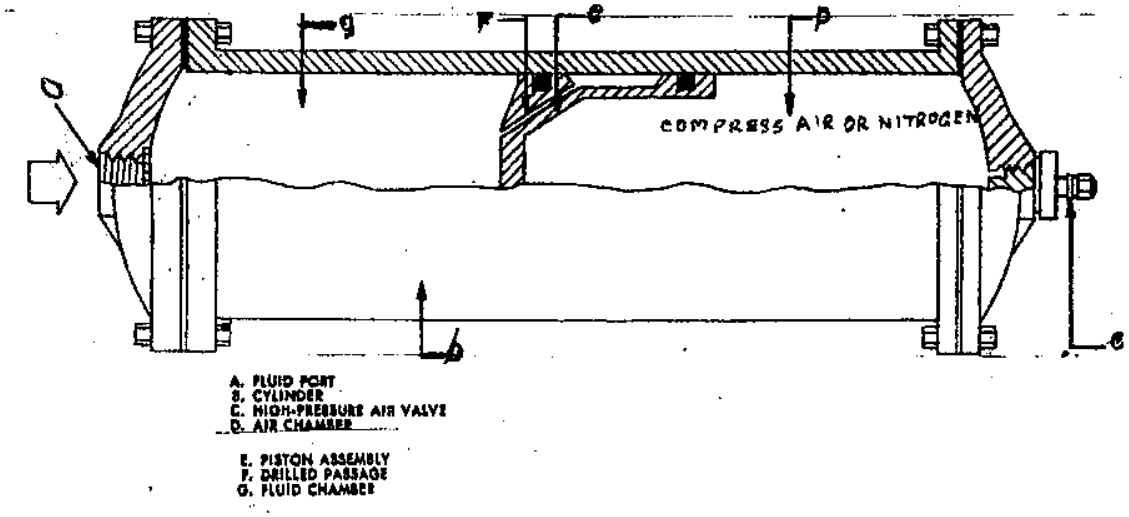
3.2 แบบลูกโป่ง (Bladder Type) จะใช้ลูกโป่งยางสังเคราะห์บรรจุอยู่ในถัง ลมหรือไนโตรเจนอัดจะถูกปรีโหลด (preload) เข้าไปภายในลูกโป่ง ไฮดรอลิคจากระบบจะเข้ามากดดันลมหรือไนโตรเจนอัดทางด้านนอกของลูกโป่ง ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14

(ถังสะสมความดัน “Accumulator” **แบบลูกโป่ง)**

3.3 แบบลูกสูบ (Piston Type) หลักการทำงานเป็นเช่นเดียวกันกับสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ยกเว้นโครงสร้างเป็นรูปกระบอกสูบ และใช้ลูกสูบเป็นโลหะแยกห้องลมหรือไนโตรเจนอัดกับห้องรับไฮดรอลิคแทนไดอะแฟรมยาง ดูรูปที่ 3.15 ปัจจุบันอากาศยานจะใช้ถังสะสมความดันแบบนี้ทั้งสิ้น



รูปที่ 3.15

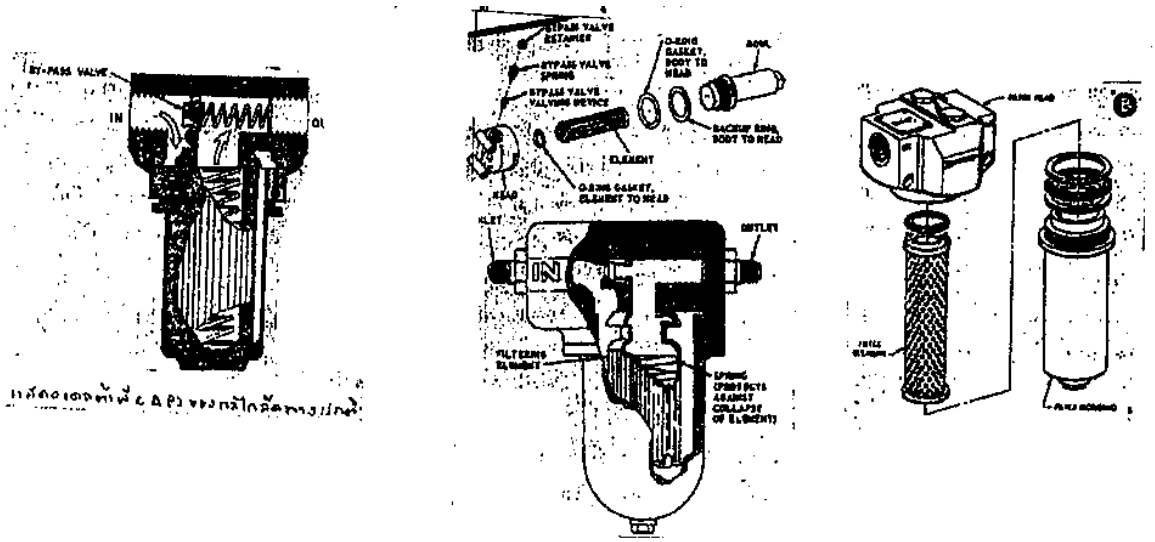
(ถังสะสมความดัน “Accumulator” **แบบลูกสูบ)**

การบำรุงรักษาถังสะสมความดัน (Accumulator)

- การเติมลมหรือไนโตรเจนอัด (Preload) จะต้องเติมขณะที่ระบบไฮดรอลิคไม่มีความดัน (เครื่องวัดความดันของระบบไฮดรอลิคชี้ “o”)
- การตรวจการรั่วไหลของถังสะสมความดัน จะต้องปล่อยลมหรือไนโตรเจนอัดออกจนเครื่องวัดความดันที่ถังสะสมชี้ “o” แล้วให้ไฮดรอลิคความดัน 11/2 เท่าของความดันของระบบไฮดรอลิคเข้าทางห้องไฮดรอลิคจึงตรวจการรั่วซึมของไฮดรอลิคที่วาล์วเติมลม (Air Valve)
- การสังเกตุว่าความดันที่ Preload ไว้ถูกต้องหรือไม่จากเครื่องวัดความดันระบบไฮดรอลิคบนแผงเครื่องวัด ทำได้โดยหลังจากที่ปั้มหยุดทำงานแล้ว (หรือดับเครื่องยนต์แล้ว) ให้ลดความดันที่ค้างอยู่ลงด้วยการเปิดให้ระบบใดระบบหนึ่งทำงาน (ยกเว้นระบบฐาน) แล้วสังเกตุที่เครื่องวัดความดันของระบบไฮดรอลิคตรงจุดที่ความดัน

เริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว ความดันที่จุดนี้จะแสดงถึงค่าความดันที่ Preload ไว้ในถังสะสมความดัน

4. **เครื่องกรองไฮดรอลิค** (Hydraulic Filter) เครื่องกรองในระบบไฮดรอลิคอากาศยานต้องเป็นประเภทที่กรองให้สะอาดหรือกรองอย่างละเอียด (Filter) สามารถกรองสิ่งต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำมันไฮดรอลิคที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น มีขนาดของรูไส้กรองตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป (1 ไมครอน = 0.001 มิลลิเมตร วัตถุที่มีขนาดตั้งแต่ 42 ไมครอนขึ้นไปจึงจะมองเห็นด้วยตาเปล่าได้) เครื่องกรองในระบบไฮดรอลิคอากาศยานระบบหนึ่ง ๆ จะมีหลายที่ เช่น ที่ท่อดูด (Suction Line), ท่อความดัน (Pressure Line), ท่อไหลกลับ (Return Line) และที่อยู่ภายในของอุปกรณ์ โดยมีขนาดต่างกันออกไป



รูปที่ 3.16

(เครื่องกรองไฮดรอลิค "Hydraulic Filter")

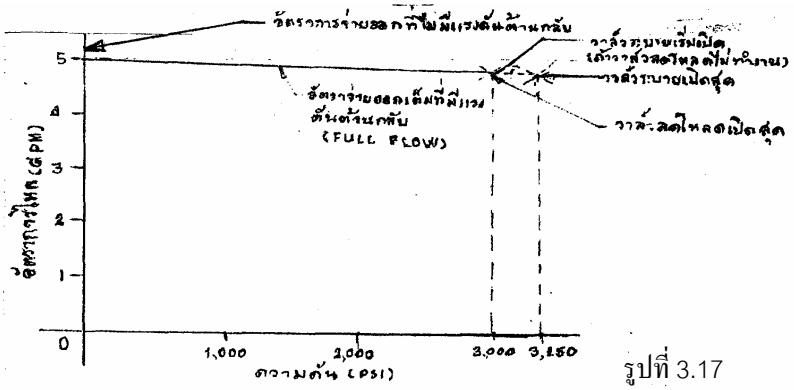
การทำงานของเครื่องกรองตามรูปที่ 3.16 รูปบนซ้ายไฮดรอลิคจะเข้ามาทางช่อง "Inlet" แล้วซึมผ่านรอบนอกของไส้กรองเข้าไปออกทางช่อง "Outlet" ส่วนรูปบนขวาไฮดรอลิคไหลผ่านวาล์วทาง (Bypass Valve) ออกไปโดยไม่ผ่านไส้กรองเนื่องจากไส้กรองตัน ด้วยหลักของความดันแตกต่างที่ทางเข้ากับทางออก (Delta "P") ถ้าไส้กรองอุดตันไฮดรอลิครอบนอกไส้กรองจะมีความดันเพิ่มสูงขึ้นจนชนะแรงดันของสปริงที่วาล์วลัดทาง (Bypass Valve) ดันให้ลูกบอลล์ในวาล์วเปิดไฮดรอลิคจึงไหลข้ามไส้กรองออกไปโดยไม่ผ่านการกรอง

ไส้กรองมีหลายชนิดตามวัสดุที่ใช้ทำ เช่นไส้กรองชนิดกระดาษ (Paper Type) มักจะใช้กรองที่ท่อไหลกลับซึ่งไม่มีการทำความสะอาดแล้วนำกลับไปใช้ใหม่ต้องถอดเปลี่ยนเมื่ออุดตันหรือครบอายุ, ชนิดไวร์เมช (Wire mesh) หรือไมโครนิคทำด้วยใยโลหะให้ทำความสะอาดด้วยวิธี อุลตราโซนิค (ULTRASONIC) แล้วนำกลับไปใช้ใหม่ได้

5. **ปั้มไฮดรอลิค หรือสูบกำลัง** (POWER PUMP) ปั้มทำให้ของไหลเกิดพลังการไหล โดยดูดของไหลเข้ามาแล้วกดดันเป็นอัตราการไหลออกไปเข้าระบบ เมื่อการไหลถูกขัดขวางหรือถูกจำกัดจะเกิดความดันขึ้นกับของไหลนั้น ลักษณะของปั้มมีสองลักษณะด้วยกันคือ ปั้มแบบดูดเหวี่ยง (Centrifugal Pump) ช่องดูดกับช่องออกถึงกันได้ เช่นปั้มหอยโข่ง และปั้มแบบดูดอัด (Positive Displacement Pump) ช่องดูดกับช่องออกแยกกันคนละส่วนไม่ต่อถึงกัน เช่นปั้มแบบลูกสูบ หรือปั้มแบบเฟืองเป็นต้น ระบบไฮดรอลิคในอากาศยานปัจจุบันจะใช้ปั้มดูดอัดแบบลูกสูบ (Positive Displacement Piston Type Pump) ทั้งสิ้น จึงขอกล่าวเฉพาะปั้มแบบลูกสูบเท่านั้น ซึ่งมีสองประเภทด้วยกันคือ ประเภทปริมาตรจ่ายออกคงที่หรือมาตรจ่ายออกเปลี่ยนแปลงไม่ได้ (Constant Volume Pump) และปริมาตรจ่ายออกเปลี่ยนแปลงได้ (Variable Volume Pump)

5.1 ประเภทปริมาตรจ่ายออกคงที่ (Constant Volume) มีหลักการทำงาน และโครงสร้าง ดังนี้

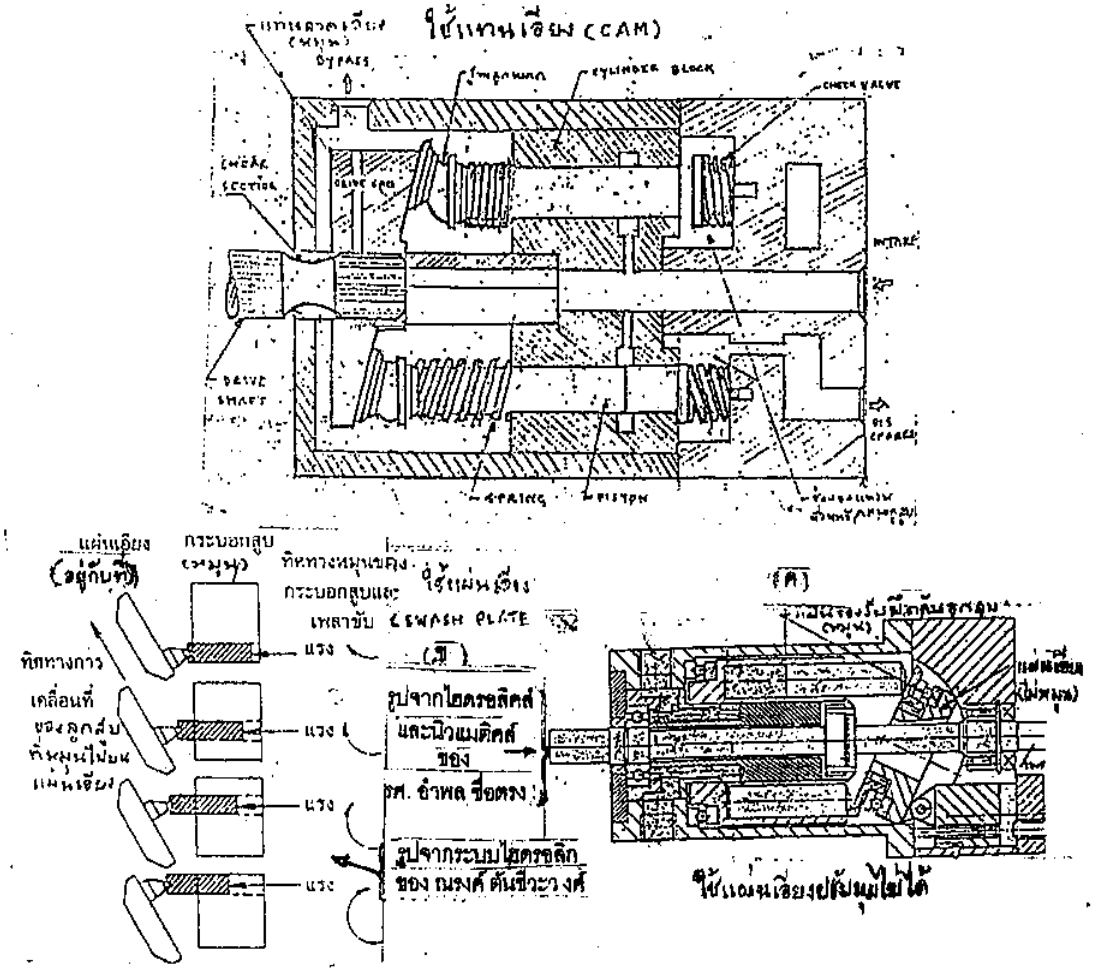
5.1.1 หลักการทำงาน ปั้มประเภทนี้จะจ่ายปริมาตรออกเต็มที่ (Full Flow) และคงที่ตามรอบที่หมุนตลอดเวลาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการจ่ายไม่ว่าความดันในระบบจะสูงถึงค่าสูงสุดแล้วหรือไม่ก็ตาม ค่าความดันสูงสุดของระบบจะถูกกำหนดโดย **วาล์วลดโหลด** (Unloading Pump) ของปั้มที่ปรับตั้งไว้ ซึ่งปั้มจ่ายปริมาตรคงที่นี้จำเป็นต้องมี ดูกร๊าฟรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17

5.1.2 โครงสร้าง เป็นแบบลูกสูบแถววางแนวตรงกับเพลาขับ (In Line Piston Pump) และแบบลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับ (Bent Axial Piston Pump)

5.1.2.1 แบบลูกสูบแถววางแนวตรงกับเพลา (In Line Piston Pump) ชุดลูกสูบและแท่งกระบอกสูบจะวางอยู่ในแนวเดียวกับเพลาขับ โดยมีแท่นลาดเอียง (Cam) สรวมอยู่กับเพลาขับเป็นฐานรับลูกสูบที่ถูกสปริงซึ่งสรวมอยู่กับลูกสูบแต่ละลูกดันให้มาสัมผัส (ไม่ยึดติดกัน) ดังนั้นเมื่อเพลาขับหมุนแท่นลาดเอียงเท่านั้นที่หมุนตามเพลาขับ ดูรูป 3.18 รูปล่าง ความลาดเอียงของแท่น หรือการเอียงทำมุมกับเพลาขับของแผ่นเอียงทำให้เกิดการต่างระยะของแท่งกระบอกสูบเมื่อแท่นลาดเอียง (Cam) หรือแท่งกระบอกสูบหมุนการต่างระยะจะเปลี่ยนแปลงจึงเกิดช่วงชักดูดและอัดขึ้น



รูปที่ 3.18

(โครงสร้างปั๊มลูกสูบจ่ายปริมาตรคงที่แบบลูกสูบแถววางแนวเดียวกับเพลาขับ)

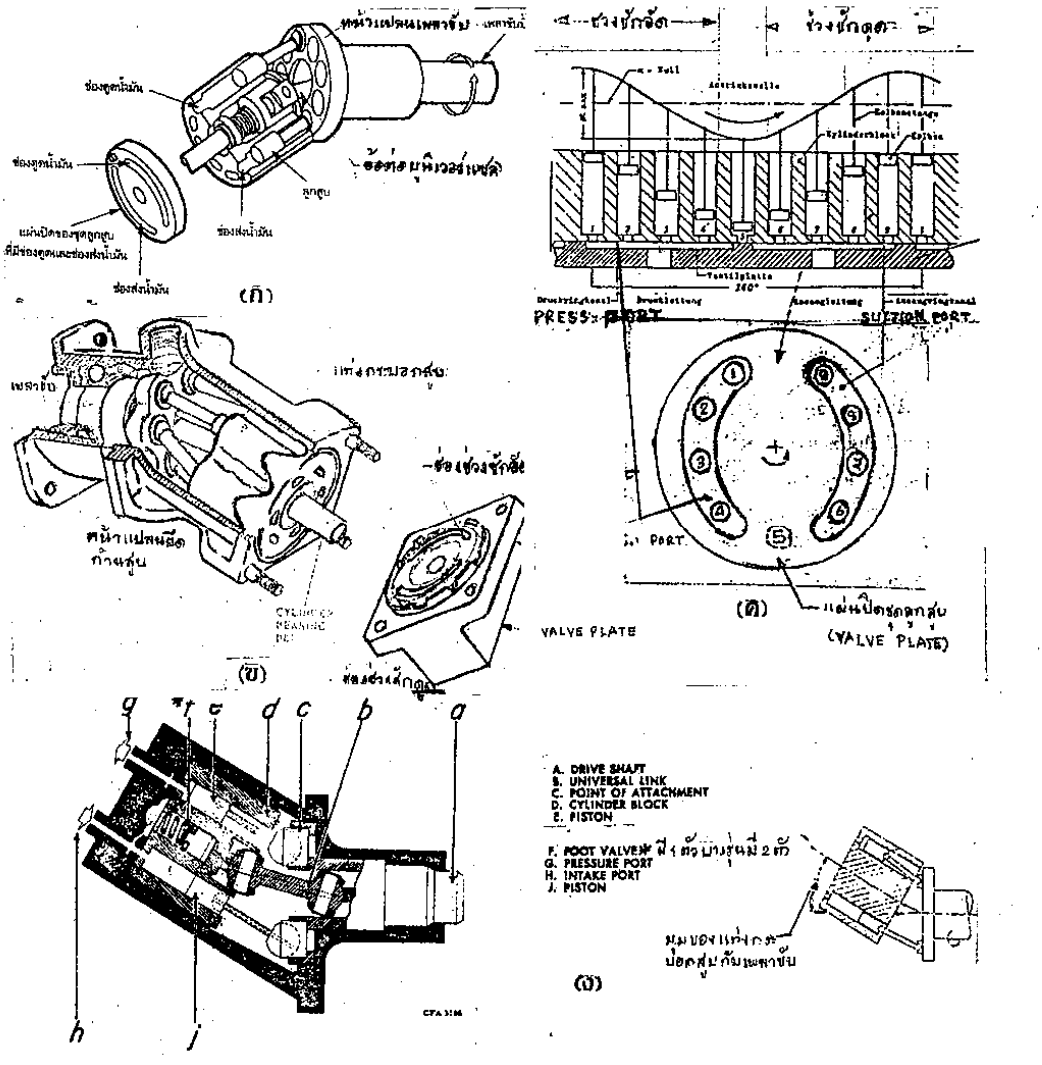
ช่วงชักดูด เริ่มจากระยะที่แท่นลาดเอียงหรือแผ่นเอียงห่างจากแท่งกระบอกสูบน้อยที่สุดไปจนถึงระยะที่ห่างมากที่สุดและเริ่มเกิดช่วงชักอัดต่อจากระยะที่ห่างมากที่สุดไปจนถึงระยะที่ห่างน้อยที่สุด

การทำงานตามรูปที่ 3.18 รูปบน เมื่อเพลาขับหมุน แท่นลาดเอียง (Cam) จะหมุนตาม แท่งกระบอกสูบจะอยู่กับที่และลูกสูบไม่หมุน แต่ลูกสูบละลูกจะวิ่งเข้าออกอยู่ในกระบอกสูบตามความลาดเอียงของแท่นลาดเอียงที่หมุนไป ลูกสูบที่สัมผัสอยู่กับส่วนที่หนาที่สุดของแท่นลาดเอียงจขะอยู่ศูนย์ตายบนเมื่อแท่นลาดเอียง

หมุนส่วนที่หนาที่สุดจะเริ่มลดลงลูกสูบจึงเริ่มเคลื่อนจากศูนย์ตายบนถอยต่อระยะออกมาเรื่อย ๆ ตามความลาดเอียงที่ลดลงด้วยแรงดันของสปริง จนส่วนที่บางที่สุดของแท่นหมุนมาสัมผัสกับลูกสูบ ลูกสูบจะมาอยู่ศูนย์ตายล่าง จึงเกิดช่วงชักดูดขึ้นในช่วงนี้ ซึ่งลูกสูบจะเริ่มดูดน้ำมันเข้ามาตั้งแต่เริ่มเคลื่อนจากศูนย์ตายบนออกมาเป็นลำดับจนเต็มกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ศูนย์ตายล่าง จากจุดนี้ความลาดเอียงของแท่นส่วนที่เริ่มหนาขึ้นจะหมุนเข้ามาสัมผัสกับลูกสูบเป็นลำดับลูกสูบจะเริ่มเคลื่อนจากศูนย์ตายล่างเข้าไปหาศูนย์ตายบน ช่วงนี้จึงเป็นช่วงชักอัดกดดันน้ำมันออกไปเป็นลำดับลูกโซ่น้ำมันจึงไหลเข้าช่องดูดและถูกกดดันให้ออกทางช่องออกตลอดเวลาที่เพลาขับปั้มหมุน จะเห็นได้ว่าช่วงชักดูดช่วงชักอัดเกิดขึ้นโดยที่กระบอกสูบและลูกสูบอยู่ที่เดิม ไม่ได้หมุนเปลี่ยนตำแหน่งไป ดังนั้นถ้าให้ปั้มแบบนี้หมุนกลับทางจะทำงานได้ตามปกติโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนส่วนใด ๆ ของปั้มเลย อนึ่งปั้มแบบแท่นลาดเอียง (Cam Type Pump) นี้บางทีจะเรียกกันว่า “สตาโตรเพาเวอปั้ม (Stratopower Pump)” ตามชื่อของบริษัทดั้งเดิมที่ผลิตปั้มแบบนี้

ส่วนการทำงานของปั้มที่ใช้แผ่นเอียงตามรูปที่ 3.18 รูปล่าง เมื่อเพลาขับหมุนแท่งกระบอกสูบซึ่งต่ออยู่กับแกนเพลาขับจะหมุนตามพร้อมกับพาลูกสูบและแผ่นรองรับที่ยึดลูกสูบหมุนไปด้วย โดยแผ่นรองรับจะหมุนลอยตัวอยู่ในเบ้าบนแผ่นเอียง (แท่งกระบอกสูบ, ลูกสูบ และแผ่นยึดลูกสูบจะหมุนตามเพลาขับ ส่วนแผ่นเอียงอยู่กับที่) ช่วงชักดูดช่วงชักอัดเกิดขึ้นจากการต่างระยะของลูกสูบที่หมุนไปตามความเอียงที่มากหรือน้อยของแผ่นเอียง

5.1.2.2 แบบลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับ (Bent Axial Piston Pump) ปั้มแบบนี้



รูปที่ 3.19

(โครงสร้างปั๊มจ่ายปริมาตรคงที่แบบลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับ)

ถ้านำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.19ค ซึ่งเป็นรูปที่ผ่านแท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบมาแผ่ออกในแนวราบ ตำแหน่งของกระบอกสูบและลูกสูบล่างในรูปที่ 3.19ก คือกระบอกสูบและลูกสูบหมายเลข 5 ที่อยู่ที่ศูนย์ตายบน (ลูกสูบหดสุด) เพราะมีระยะห่างจากหน้าแปลนสั้นที่สุด ซึ่งได้ขับน้ำมันออกไปหมดแล้วและอยู่ตรงพื้นที่ทึบ ที่ปิดกั้นช่องดูดกับช่องส่งออกไม่ให้ถึงก้นของแผ่นช่องเข้าออก (Valve Plate) ที่ปิดหัวกระบอกสูบอยู่ เมื่อเพลาขับหมุนกระบอกสูบและลูกสูบลูกนี้จะหมุนเข้ามาแทนที่กระบอกสูบและลูกสูบหมายเลข 6 , 7 , 8 และ 9 เป็นลำดับไปซึ่งทุกลูกในช่วงนี้จะอยู่ในช่วงชักดูดเพราะ ระยะห่างจำหน้าแปลนเพลาขับมากขึ้นเป็นลำดับ และจะอยู่ในช่องดูดของแผ่นช่องเข้าออกที่ปิดหัวกระบอกสูบพร้อมกับดูดน้ำมันเข้ามาด้วย ขณะที่หมุนมาแทนที่ถึงลูกที่ 9 ปั๊มจะหมุนมาได้ครึ่งรอบพอดี ซึ่งลูกสูบจะอยู่ศูนย์ตายล่างสุดและดูดน้ำมันเข้ามาจนเต็มกระบอกสูบ ดังนั้นช่วงนี้จึงเป็นช่วงชักดูดของกระบอกสูบหมายเลข 5 ขณะที่กระบอกสูบและลูกสูบหมายเลข 5 เข้าไปแทนที่ลูกอื่น ๆ นั้น ลูกที่อยู่ถัดไปจะหมุนเข้ามาแทนที่กันเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง เมื่อกระบอกสูบและลูกสูบหมุนต่อไปหลังจากที่หมุนมาได้ครึ่งรอบแล้วจะเข้าไปแทนที่กระบอกสูบและลูกสูบหมายเลข 1,2,3 และ 4 เป็นลำดับไปซึ่งทุกลูกในช่วงนี้จะอยู่ในช่วงชักอัดเพราะระยะห่างจากหน้าแปลนเพลาขับสั้นลงเป็นลำดับและจะอยู่ในช่องส่งออกของแผ่นช่องเข้าออกที่ปิดหัวกระบอกสูบพร้อมกับส่งน้ำมันออกไปด้วย ขณะที่หมุนมาแทนที่ถึงลูกที่ 4 นั้นจะหมุนครบหนึ่งรอบพอดีลูกสูบจะอยู่ศูนย์ตายบนสุดและส่งน้ำมันออกไปจนหมด ดังนั้นกระบอกสูบและลูกสูบจะแทนที่กันจนครบทุกลูกเมื่อปั๊มหมุนครบหนึ่งรอบ

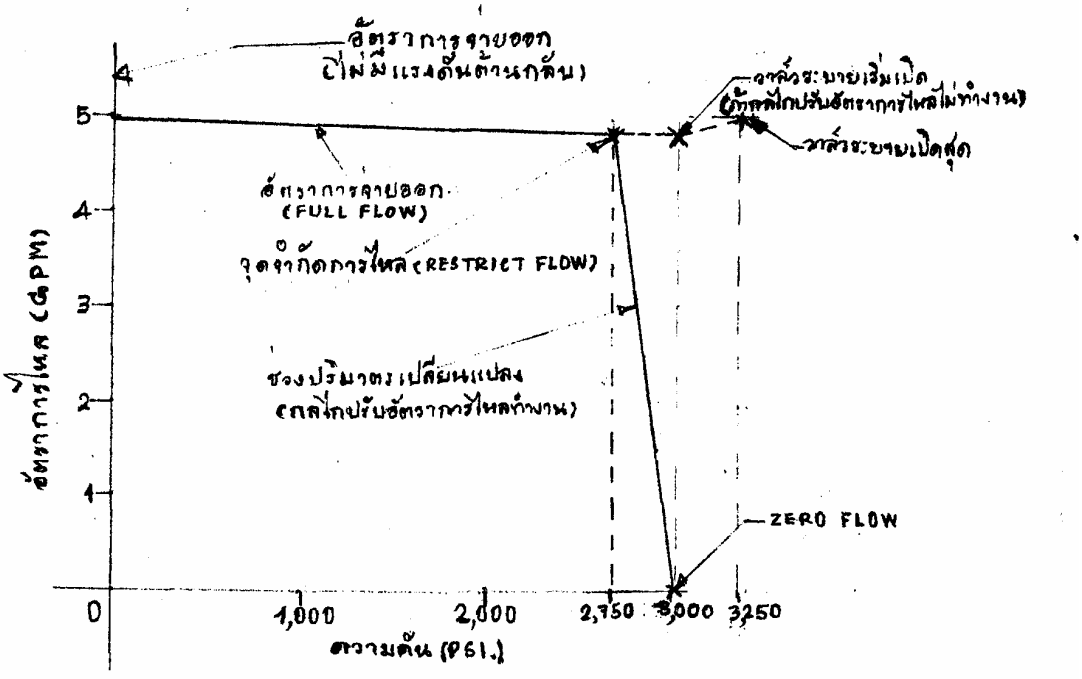
อนึ่งตำแหน่งที่กระบอกสูบอยู่ตรงพื้นที่ทึบที่ปิดกั้นช่องดูดกับช่องส่งออกหลังศูนย์ตายบนนั้น (ลูกที่ 5 รูป 3.19ค)ลูกสูบจะไม่มีการดูดหรืออัด เหมือนกับลูกสูบอยู่ในตำแหน่งพัก (Rest) ถ้าแท่งกระบอกสูบมีกระบอกสูบเป็นจำนวนคี่จะมีเพียงตำแหน่งเดียว แต่ถ้ามีเป็นจำนวนคู่จะเกิดขึ้นอีกตำแหน่งหนึ่งที่หลังศูนย์ตายล่าง เพราะช่องดูดกับช่องส่งออกจะต้องครอบคลุมจำนนกระบอกสูบไว้ช่องละเท่า ๆ กัน จำนวนกระบอกสูบและลูกสูบที่เป็นจำนวนคู่ประสิทธิภาพของปั๊มจะไม่คุ้มกับต้นพลังงานที่ใช้ขับปั๊ม ดังนั้นปั๊มแบบลูกสูบส่วนมากจึงมีจำนวนกระบอกสูบและลูกสูบเป็นจำนวนคี่

5.2 ประเภทปริมาตรจ่ายออกเปลี่ยนแปลงได้ (Variable Volume Pump) ปั๊มประเภทนี้จะมีกลไกภายในปั๊มปรับอัตราไหลออกของปั๊มให้เปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติตามความดันที่ปรับตั้งให้ไว้กลไกปรับอัตราการไหลนี้ทำงาน (Built – in pressure compensator control)

5.2.1 หลักการทำงาน ปริมาตรหรืออัตราการจ่ายออกจะเปลี่ยนแปลงจากจ่ายปริมาตรเต็มที่ (Full Flow) ที่คงที่ได้เมื่ออัตราการจ่ายออกของปั๊มทำให้ความดันในระบบถึงค่าความดันจำกัดการไหล “Restrict Flow” ที่ปรับตั้งกลไกปรับปริมาตรภายในปั๊มไว้ให้ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจ่ายออก ข้อสังเกตุการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะถูกปรับตั้งให้เกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ ใกล้กับค่าความดันสูงสุดของระบบไปจน

ระบบมีความดันสูงสุดแล้วกลไกปรับปริมาตรจะบังคับไม่ให้จ่ายน้ำมันออกมาเรียกว่า “Zero Flow” ซึ่งปั้มจะหมุนตัวเปล่าไปโดยไม่มีการดูดอัดน้ำมัน จึงไม่มีโหลดต่อต้านการหมุนของปั้ม ดังนั้นปั้มที่ปริมาตรจ่ายออกเปลี่ยนแปลงได้จึงไม่จำเป็นต้องมีวาล์วลดโหลด (Unloading Valve) ถ้าความดันลดลงจากค่าความดันสูงสุดกลไกปรับปริมาตรจะควบคุมให้ปั้มเริ่มจ่ายน้ำมันออกมาชดเชยความดันที่ลดลงไป แต่ถ้าลดลงไปต่ำกว่าค่าที่ปรับตั้งให้กลไกปรับปริมาตรทำงาน (Restrict Flow) กลไกปรับปริมาตรจะไม่ทำงานปล่อยให้ปั้มจ่ายอัตราการไหลเต็มที่ (Full Flow) และคงที่ วัตรจักรแการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการไหลของปั้มจึงเป็นดังนี้ ในช่วงความดันขาขึ้น Full Flow - Restrict Flow - Zero Flow : ช่วงความดันขาลง Zero Flow - Restrict Flow - Full Flow

การทำงานตามกราฟในรูปที่ 3.20 กำหนดให้อัตราการจ่ายออกเต็มที่ “Full Flow” ของปั้ม เท่ากับ 5 แกลลอนต่อนาที, ความดันที่ปรับตั้งให้กลไกปรับปริมาตรทำงาน “Restric Flow” อยู่ที่ 2,750 ปอนด์/ตารางนิ้ว, และความดันสูงสุดของระบบ 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว เมื่อปั้มหมุนตามรอบสูงสุดของปั้มจะจ่ายน้ำมันออกเต็มที่ 5 แกลลอน/นาที อย่างคงที่ไปตลอด (จะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากความดันต้านกลับ) จนความดันในระบบสูงกว่าค่าความดัน “Restrict Flow” ที่ปรับตั้งไว้ (2,750 ปตน.)ขึ้นไปกลไกปรับอัตราการไหลจะทำงานควบคุมการจ่ายออกให้เริ่มลดจาก 5 แกลลอนต่อนาทีลงไปเรื่อย ๆ โดยผกผันกับความดันที่เพิ่มขึ้นจนความดันของระบบถึงค่าสูงสุด 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว อัตราการจ่ายออกจะลดลงจนเป็น 0 “Zero Flow” ปั้มจะหยุดตัวเปล่าไปโดยไม่มีการดูดอัดน้ำมัน (ไม่มีโหลด) แต่ถ้าความดันลดลงต่ำกว่า 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ลงไปแต่ไม่เกินค่า “Restric Flow” (2,750 ปตน.)กลไกปรับปริมาตรจะควบคุมให้ปั้มดูดอัดน้ำมันจ่ายออกมาแปรผันโดยตรงกับความดันที่ลดลง ระหว่างความดัน 2,750 กับ 3,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถ้าหากความดันลดลงต่ำไปกว่านี้กลไกปรับอัตราการไหลจะไม่ทำงานปล่อยให้ปั้มจ่ายปริมาตรออกอย่างเต็มที่ (Full Flow) และคงที่ใหม่ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะเกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ ที่ความดันห่างกันเพียง 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว ก่อนถึงค่าความดันสูงสุดของระบบเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะต้องการให้มีความดันเพียงพอสำหรับใช้งานก่อนที่จะให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพื่อต้องการลดโหลด



รูปที่ 3.20

(กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลออกของปั๊มปรับปริมาตรได้)

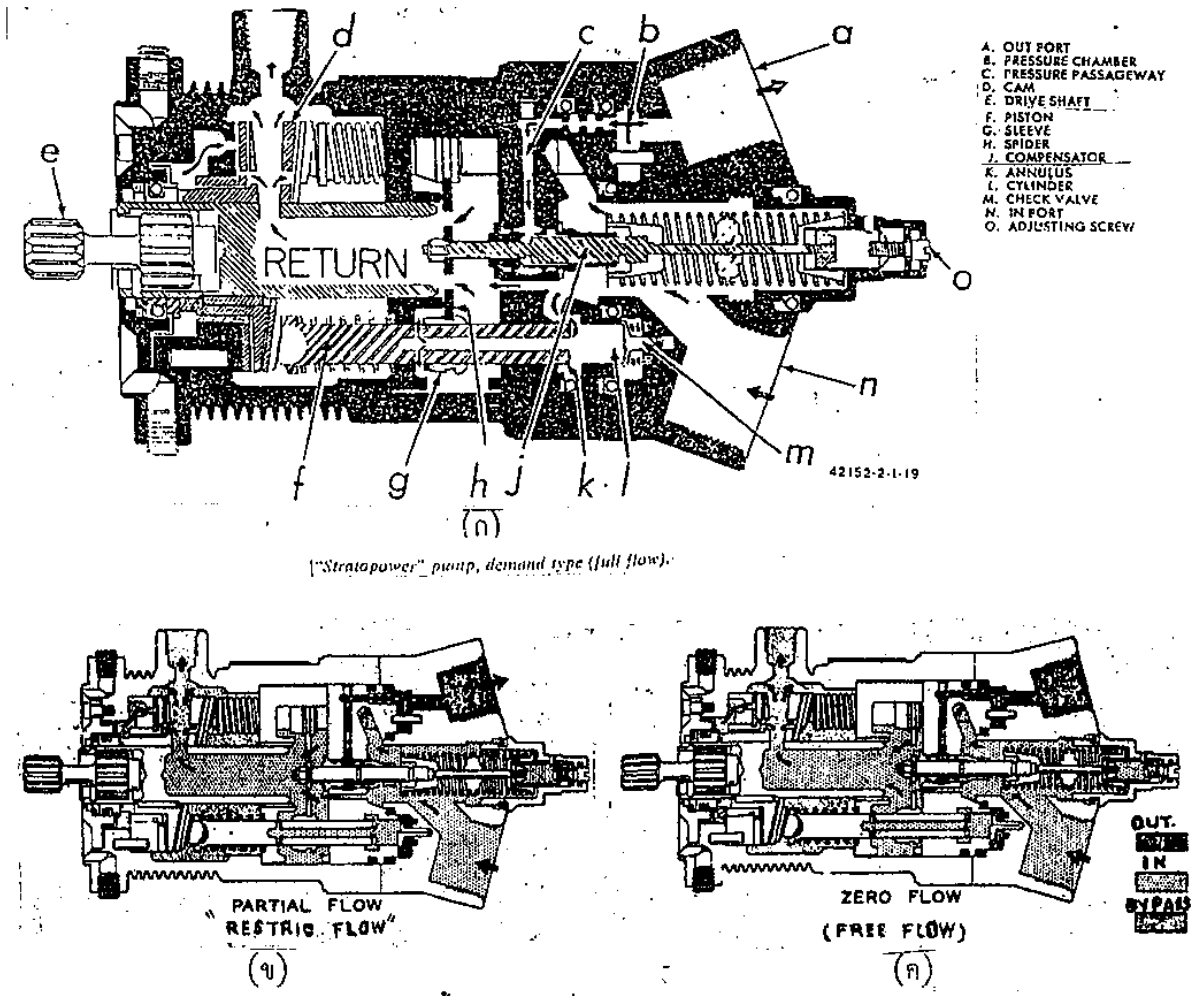
5.2.2 โครงสร้างหลัก คล้ายกับปริมาตรเปลี่ยนแปลงไม่ได้ คือมีทั้งแบบลูกสูบแถววางแนวตรงกับเพลาขับและลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับ แต่แตกต่างกันตรงที่ปั๊มที่ปริมาตรเปลี่ยนแปลงได้นี้จะมีกลไกปรับอัตราการไหลอยู่ภายใน

5.2.2.1 แบบลูกสูบแถววางแนวตรงกับเพลาขับ มีทั้งแบบใช้แท่นลาดเอียง (Cam) และแบบใช้แผ่นเอียงปรับมุมได้ (Swash Plate)

(1) แบบใช้แท่นลาดเอียง (Cam Type) หรือ Stratopower Pump การดูดและการอัดส่งน้ำมันออกเช่นเดียวกับปั๊มที่ปรับปริมาตรไม่ได้ ส่วนชุดกลไกภายในปั๊มสำหรับทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลงมีสองแบบ คือ แบบอุปสงค์ใช้ปลอกครอบปิด – เปิด ช่องในลูกสูบ (Sleeve) กับแบบจำกัดการไหลเข้าที่ช่องดูด (Intake Starvation)

ก. แบบอุปสงค์ (Pressure Demand) แบบนี้กลไกปรับปริมาตรภายในประกอบด้วยปลอก (Sleeve) ครอบลูกสูบแต่ละลูก, แผ่นสไปเดอร์พร้อมอับก้านยึด Sleeve, ลูกสูบชดเชย (Compensatory) และสปริงด้านการทำงานตามรูปที่ 3.21ก ขณะที่ยังไม่มีความดันเข้ามาที่ลูกสูบชดเชยความดัน J สปริงจะดันให้ลูกสูบชดเชยและแผ่นสไปเดอร์เคลื่อนมาทางซ้ายพร้อมกับพา Sleeve G มาทางซ้ายด้วยทำให้ Sleeve เปิดช่องในลูกสูบทุกลูกที่อยู่ในช่วงชักดูดให้เปิดถึงกับช่องดูดน้ำมันของปั๊ม และจะปิดช่องในลูกสูบทุกลูกที่อยู่ในช่วงชักอัด เมื่อเพลาขับหมุนแท่นลาดเอียง (Cam) D จะหมุนไปกับเพลาขับและเกิดการดูดน้ำมันเข้ากระบอกสูบทางช่องแนวขวางของลูกสูบทุกลูกที่อยู่ในจังหวะดูด เมื่อด้านหนาของ Cam หมุนมากดลูกสูบไปทางขวาให้เกิดช่วงชักอัด ช่องแนวขวางในลูกสูบทุกลูกจะเข้าไปใน Sleeve ช่องแนวขวางจึงถูกปิดด้วย Sleeve ขณะอยู่ในช่วงชักอัดและส่งน้ำมันออกไปเข้าระบบได้ จนความดันในระบบถึงค่าความดันที่ปรับตั้งกลไกปรับปริมาตรไว้ Restric Flow หรือ “Partial Flow” ความดันที่เข้าไปดันลูกสูบชดเชยจะชนะแรงต้านของสปริงเริ่มดึงแผ่นสไปเดอร์และ Sleeve ให้เคลื่อนตัวมาทางขวาด้วย ช่องแนวขวางในลูกสูบที่อยู่ในช่วงชัดอัดจึงเริ่มพ้นจากการปิดของ Sleeve ออกมาเรื่อย ๆ พร้อมกับปล่อยน้ำมันบางส่วนในกระบอกสูบที่อยู่ในช่วงชักอัดไหลกลับเข้ามาวนเวียนภายในปั๊ม (รูปที่ 3.21ข) จนความดันของระบบถึงค่าสูงสุดช่องในลูกสูบทุกลูกจะพ้นจากการปิดของ Sleeve จนหมดและปล่อยน้ำมันในกระบอกสูบที่อยู่ในช่วงชักกลับเข้าภายในปั๊มหมด การจ่ายออกจึงเป็น “O” (Zero Flow) ปั๊มจะหมุนและยังคงดูดน้ำมันเข้ามา แต่จะไม่มีโหลดในการอัดน้ำมัน เพราะน้ำมันจะไหลกลับเข้าภายในปั๊มทางชองในลูกสูบที่เปิดกว้างสุดหมด (รูปที่ 3.21ค) เมื่อความดันลดลงจากค่าความดันสูงสุด ความดันที่เข้าไปดันลูกสูบชดเชยจะลดลงตามจนถูกแรงดันของสปริงดันให้เคลื่อนตัวกลับมาทางซ้ายพร้อมกับพาแผ่นสไปเดอร์และ Sleeve มาทางซ้าย

ด้วย Sleeve จะเริ่มปิดช่องในลูกสูบอีก ปั้มจึงเริ่มจ่ายน้ำมันออกมา สภาพการเป็น Zero Flow จึงหมดไป ถ้าความดันลดลงไปต่ำกว่าค่าที่ Restric Flow ลูกสูบชดเชยจะถูกสปริงดันให้มาทางซ้ายสุดพา สไปเดอร์พร้อม Sleeve มาด้วย ช่องในลูกสูบทุกลูกจะถูกปิดสนิทเพื่อให้เกิดช่วงชักอัดจ่ายน้ำมันออกได้เต็มที่ "Full Flow" ใหม่ อนึ่งถ้าต้องการให้ระบบมีความดันสุงสุดเพิ่มขึ้นต้องปรับค่าแรงดันสปริงเพิ่มขึ้นที่สกรูปรับ "O" (Adjusting Screw) แต่ถ้าต้องการให้ระบบมีความดันสูงสุดลดลงต้องปรับค่าแรงดันสปริงให้ลดลง

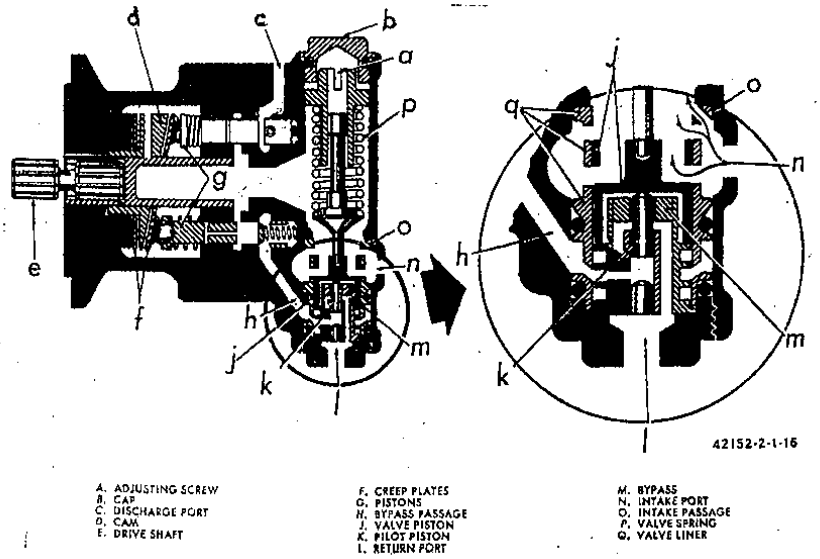


รูปที่ 3.21

(ปั้มปริมาตรเปลี่ยนแปลงได้แบบอุปสงค์ "Pressure Demand")

(ข) แบบจำกัดการไหลเข้าที่ช่องดูด (Intake Starvation) ปั้ม Stratopower หรือแบบใช้แท่นลาดเอียง (Cam) ที่ปริมาตรเปลี่ยนแปลงได้แบบนี้ กลไกปรับปริมาตรภายในจะควบคุมปริมาณการไหลเข้าที่ช่องดูดน้ำมันเข้า (Intake Port) ให้เปลี่ยนแปลงเมื่อความดันในระบบถึงค่า Restrict Flow ที่ปรับตั้งไว้โดยการใช้ดันไฮดรอลิคที่ปั้มจ่ายออกให้ระบบและแรงดันของสปริงทำให้ลูกสูบของวาล์วชดเชยเคลื่อนที่ เพื่อปรับขนาดของช่องดูดน้ำมันเข้า ให้กว้างสุด, หรี่ลดความกว้างลง และจนกระทั่งปิดสุด

การทำงานตามรูปที่ 3.22ก ขณะความดันยังไม่ถึงค่าความดันที่จำกัดการไหล “Restrict Flow” ลูกสูบของวาล์วชดเชย (Valve Piston) J จะถูกสปริง (Valve Spring) P กดให้ลงมาอยู่ด้านล่างสุดทำให้ช่องที่ผนังของวาล์วดูดเปิดกว้างสุด และช่อง Bypass H จะถูกปิด ด้วยลูกสูบ k ปั้มจึงดูดแล้วจ่ายน้ำมันออกได้อย่างเต็มที่

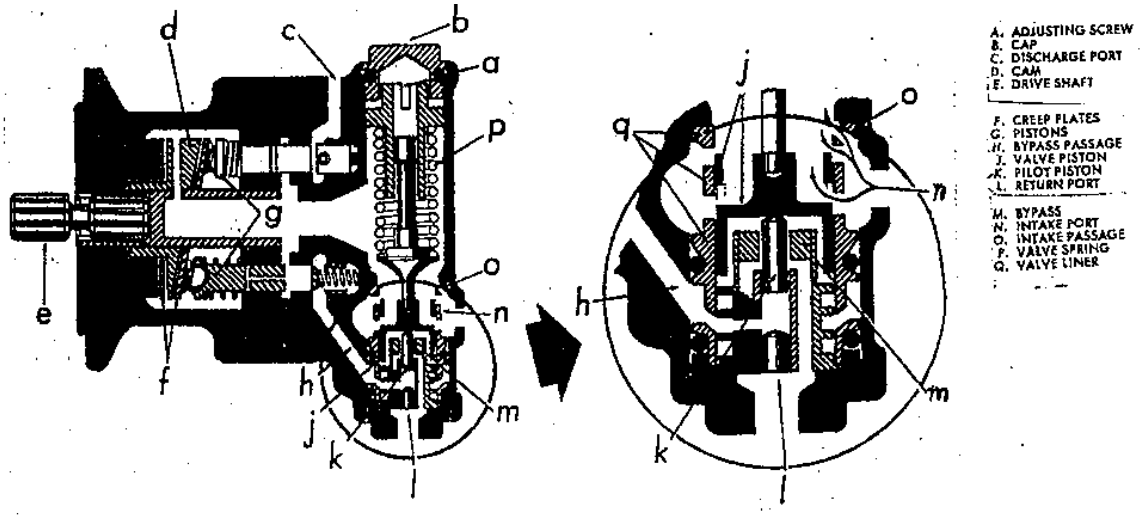


“Full Flow”

รูปที่ 3.22ก

(“Sratopower Pump” ปรับปริมาตรได้แบบจำกัดการไหลเข้าที่ช่องดูดตำแหน่ง Full Flow)

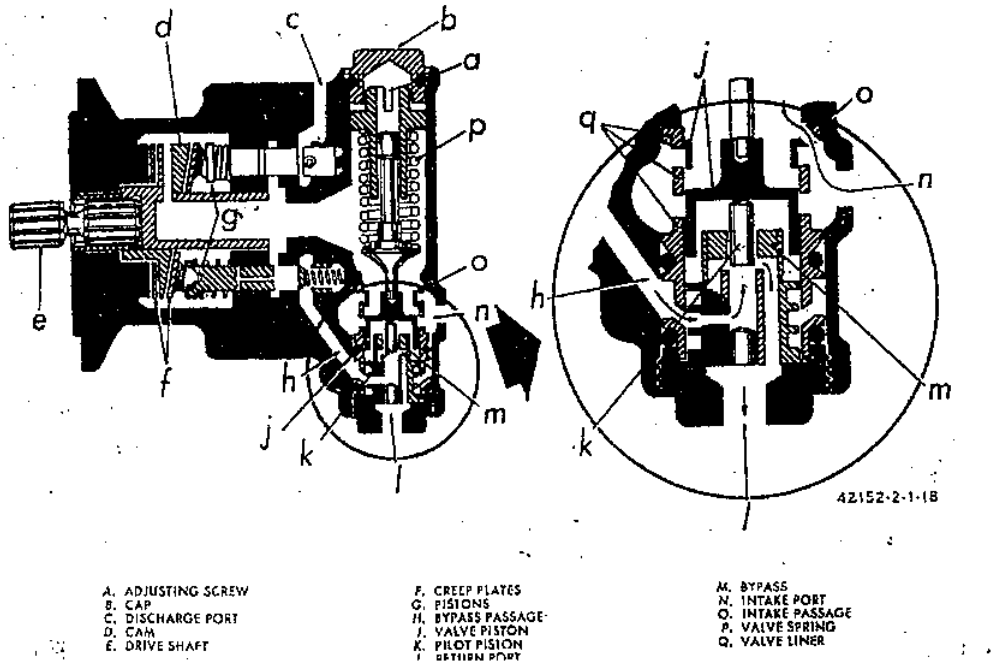
ในรูปที่ 3.22ข เมื่อความดันสูงกว่าค่าความดัน Restrict Flow ลูกสูบไพล็อต K จะถูกคามดันจากทางไหลออกของปั้มที่ต่อเข้ามาทางช่อง H ดันให้เคลื่อนที่ขึ้นไปดันลูกสูบ J จนชนะแรงต้านของสปริง P เคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ช่องที่ผนังลูกสูบ J จะเคลื่อนตามขึ้นไปเหลื่อมกับช่องที่ผนังของเสื้อวาล์ว Q ทำให้ช่องไหลเข้า N มีขนาดเล็กลงและจะเล็กลงไปเป็นลำดับตามการเคลื่อนมีเพิ่มขึ้นของลูกสูบ J ตาความดันที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการดูดน้ำมันเข้าจึงน้อยลง อัตราการจ่ายออกจึงลดลงตามไปด้วย (Restric Flow)



รูปที่ 3.22**ข**

(“Stratopower Pump”**ปรับปริมาตรได้ แบบจำกัดการไหลเข้าที่ช่องดูดตำแหน่ง** Restrict Flow)

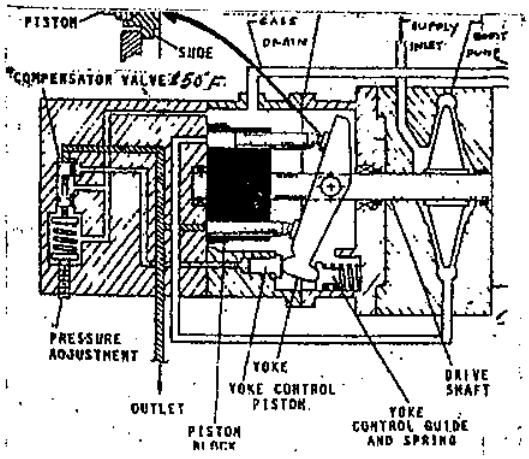
ในรูปที่ 3.22ค เมื่อความดันในระบบถึงค่าสูงสุดแล้ว ลูกสูบไพล๊อต K จะถูกดันให้ขึ้นไปจนสุดพร้อมกับเปิดช่อง Bypass H ให้ต่อกับช่องไหล กลับถัง L และจะดันลูกสูบ J ขึ้นไปจนผนังของลูกสูบปิดช่องที่ผนังของเสื้อวาล์ว Q เกือบทั้งหมดเหลือไว้เพียงช่อง O สำหรับให้ดูดน้ำมันเข้าไปหล่อลื่นและระบายความร้อนภายในปั้มเท่านั้น น้ำมันที่ลูกสูบดูดเข้าทางช่อง O จะไหลซึมเข้าช่องรูเข็มในลูกสูบออกไประบายความร้อนและหล่อลื่นภายในปั้มเท่านั้น เมื่อลูกสูบเปลี่ยนเป็นช่วงชักอัดจะไม่มีแรงอัดดันให้จ่ายน้ำมันออกมาได้ เนื่องจากเมื่อถูกอัดน้ำมันจะไหลผ่นช่อง Bypass H กลับถังทางช่อง L หมด ดังนั้นอัตราการไหลออกจากปั้มจึงไม่มี หรือเป็น Zero Flow และจะอยู่ในสภาวะ Zero Flow ไปตลอดที่ความดันสูงสุดในระบบยังไม่ลดลง ปั้มยังคงหมุนต่อไปและจะดูดน้ำมันจากช่อง O เข้ามา แต่ในช่วงชักอัดจะไม่เกิดแรงอัดขึ้นเพราะทางออกเปิดกลับถังได้หมดทำให้ปั้มไม่มีโหลด เมื่อความดันสูงสุดลดลงวัตรจักรการจ่ายออกจะกลับไปเป็น Zero Flow – Restrict Flow ถ้าความดันลดลงไปจนต่ำกว่าค่าความดันที่ Restrict Flow ปั้มจะเริ่มจ่ายออกโดยเต็มที่ Full Flow และคงที่ใหม่

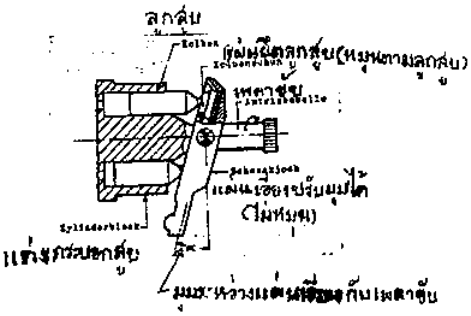


รูปที่ 3.22**ค**

(“Stratopower Pump” **ปรับปริมาตรได้แบบจำกัดการไหลเข้าที่ช่องดูดตำแหน่ง** Zero Flow)

(2) แบบใช้แผ่นเอียงปรับมุมได้ (Swash Plate or Tilt Plate) มีโครงสร้างและการดูดอัดคล้ายกับแบบปรับปริมาตรไม่ได้ที่ใช้แผ่นเอียง แต่จะต่างกันตรงที่แผ่นเอียงสามารถปรับมุมเอียงได้ด้วยลูกสูบชดเชย (Compensating or Control Piston) การเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของแผ่นเอียงที่ลดลงจากมุมเอียงปกติทำให้ช่วงชักลดลง ปริมาตรจึงลดลงตาม “Stroke Reduction”





รูปที่ 3.23

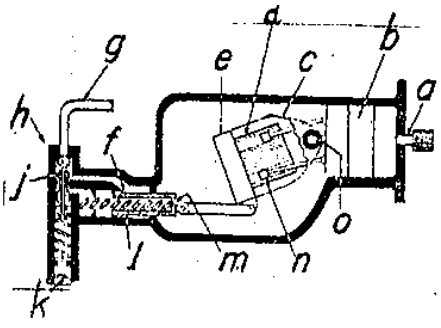
(ปั๊มปรับปริมาตรได้แบบใช้แผ่นเอียงปรับมุม “Stroke Reduction”)

การทำงานตามรูปที่ 3.23ก แผ่นเอียง Yoke (หรือ Swash Plate) ที่ส่วนล่างสุดจะถูกสปริงดันให้เอียงไปด้านซ้ายสุดเพราะยังไม่มีความดันต้านจากลูกสูบควบคุมมุมเอียง “Yoke Control Piston” (หรือลูกสูบชดเชย) แผ่นเอียงจึงเอียงทำมุมสูงสุดกับเพลาขับ เมื่อเพลาขับหมุนแท่งกระบอกสูบ “Piston Block” ลูกสูบและแผ่นยึดรองรับด้านลูกสูบ “Piston Shoe” จะหมุนตามเพลาขับ Yoke ไม่หมุนตามลูกสูบล่างสุดที่อยู่ศูนย์ตายบนสุด (เพราะมีระยะห่างจากแท่งกระบอกสูบน้อยที่สุด) จะถูกแผ่นรองรับก้านลูกสูบที่หมุนอยู่บนแผ่นเอียงดึงให้เลื่อนออกต่อระยะกันไปหาศูนย์ตายล่างตามระดับมุมเอียงที่เอียงมากขึ้น จึงเป็นช่วงชักดูดดูดน้ำมันเข้ามาจนเต็มกระบอกสูบเมื่อหมุนขึ้นมาอยู่ระยะที่ห่างจากแท่งกระบอกสูบมากที่สุด (ลูกสูบอยู่ศูนย์ตายล่างสุด) เมื่อหมุนต่อไปลูกสูบและกระบอกสูบจะหมุนไปตามระดับที่มุมเอียงลดลงลูกสูบจึงถูกบีบระยะให้เลื่อนเข้าต่อกันไปหาศูนย์ตายบนเป็นลำดับ จึงเป็นช่วงชักอัดและจะอัดน้ำมันออกไปจนหมดกระบอกสูบเมื่อหมุนมาอยู่ที่ส่วนล่างสุดของแผ่นเอียงที่มีระยะห่างจากแท่งกระบอกสูบน้อยที่สุดใหม่ ขณะที่ลูกสูบและกระบอกสูบชุดใดเคลื่อนที่ ชุดถัดไปจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่อย่างต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ปั๊มจึงจ่ายน้ำมันออกได้อย่างเต็มที่และคงที่ “Full Flow” จนความดันที่จ่ายออกให้ระบบถึงค่า จำกัดการไหล “Restric Flow” วาล์วชดเชยความดัน “Compensator Vaive” จะถูกดันลงชนะแรงดันสปริงที่ปรับตั้งค่า Restric Flow ไว้เปิดให้ความดันจากระบบเข้าไปดันลูกสูบควบคุมมุมของแผ่นเอียง “Yoke Control Piston” ดันแผ่นเอียงไปทางขวาชนะแรงดันสปริงที่ดันแผ่นเอียงไปทางซ้าย มุมของแผ่นเอียงจึงถูกดันให้ลดลงเรื่อย ๆ ผกผันกับ

ความดันที่เพิ่มขึ้น ช่วงชักดูดช่วงชักอัดจึงลดลงตาม จนความดันในระบบ (หรือความดันน้ำมันที่ไหลออกจากปั้ม) ถึงค่าสูงสุด จะดันลูกสูบควบคุมมุมเอียงของแผ่นเอียงดันให้แผ่นเอียงตั้งฉากกับเพลาขับ ระยะห่างของลูกสูบกับแท่งกระบอกสูบจะเท่ากันหมดจึงไม่เกิดช่วงชักดูดและช่วงชักอัดการจ่ายออกจึงไม่มี “Zero Flow” ปั้มจะหมุนตัวเปล่าไป (ปั้มแบบลดช่วงชักนี้หมุนตัวเปล่าได้เพราะขณะอยู่ในสภาวะ Zero Flow จะไม่มีการดูดอัดน้ำมันเกิดขึ้น) ถ้าหากความดันสูงสุดลดลง Yoke Spring ที่ถูกอัดตัวต้านลูกสูบลควบคุมมุมเอียงของแผ่นเอียงอยู่จะเริ่มชนะแรงดันของลูกสูบดันแผ่นเอียงให้เริ่มเอียงทำมุมกับเพลาขับใหม่มากน้อยตามความดันที่ลดลง และถ้าความดันลดลงไปจนต่ำกว่าค่า “Restric Flow” แผ่นเอียงจะถูกสปริงดันให้เอียงทำมุมเต็มที่การจ่ายน้ำมันออกจึงเป็น “Full Flow” อีก

5.2.2.2 แบบลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับ (Bent Axial Piston Pump) โครงสร้างและหลักการทำงานคล้ายกันกับแบบปริมาตรเปลี่ยนแปลงไม่ได้ แต่ต่างกันตรงที่มุมระหว่งแท่งกระบอกสูบกับเพลาขับจะเปลี่ยนแปลงได้ Stroke reduction โดยกลไกปรับอัตราการไหลภายในปั้มที่ถูกควบคุมด้วยความดันที่ทางออกของปั้ม หรือความดันในระบบนั้นเองทำให้อัตราการไหลออกเปลี่ยนแปลงเป็นวัตรจักร Full Flow – Restric Flow – Zero Flow ในช่วงสร้างความดันให้ระบบ และ Zero Flow – Restric Flow – Full Flow ในช่วงที่ความดันในระบบลดลง

การทำงานตามรูปที่ 3.24ก แท่นโย๊ค (Yoke) “c” ซึ่งมีจุดหมุนอยู่ที่จุด “o” จะถูกดึงให้เอียงลงมาทำมุมกับเพลาขับอยู่ทางด้านล่างสุดด้วยลูกสูบควบความดัน (Pressure Control Piston) “l” ที่ถูกดันออกมาทางขวาสุดด้วยแรงสปริงด้านหลังลูกสูบ แท่งกระบอกสูบและลูกสูบที่อยู่ในแท่นโย๊คจึงถูกดึงลงมาด้วยทำให้มุมระหว่างแท่งกระบอกสูบกับเพลาขับเกิดขึ้นสูงสุดช่วงชัดดูดช่วงชักอัดจึงเกิดขึ้นมากด้วย เมื่อเพลาขับหมุน แท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบจะหมุนตามอยู่ในแท่นโอ๊ด “c” (แท่นโย๊คไม่หมุนตาม) จึงเกิดวัตรจักร “Full Flow” จ่ายอัตราการไหลออกเต็มที่

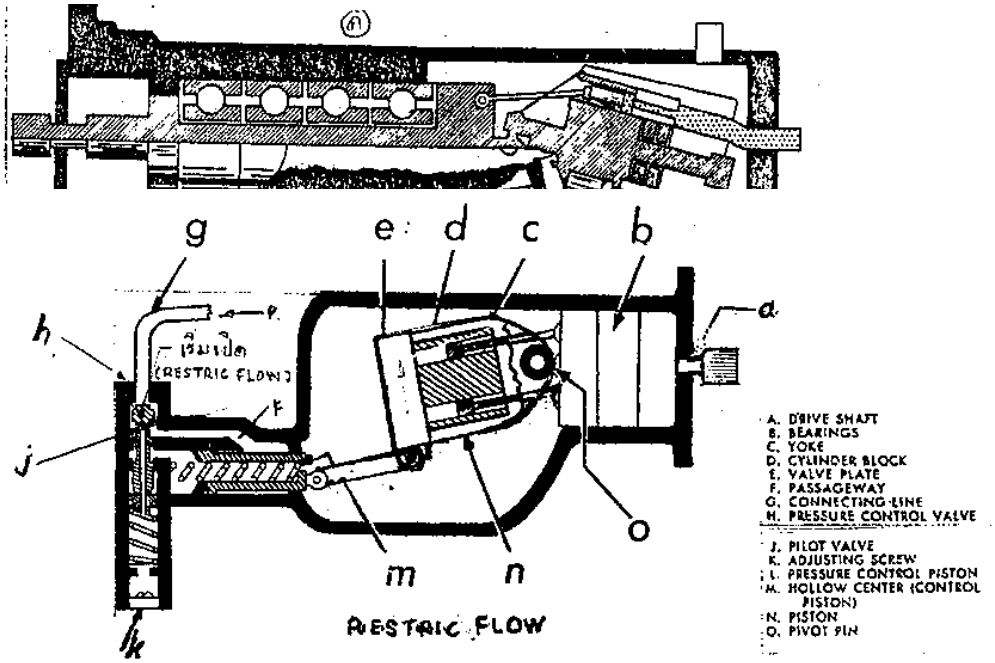


A. DRIVE SHAFT.
B. BEARINGS
C. YOKE
D. CYLINDER BLOCK
E. VALVE PLATE
F. PASSAGEWAY
G. CONNECTING LINE
H. PRESSURE CONTROL VALVE
J. PILOT VALVE
K. ADJUSTING SCREW
L. PRESSURE CONTROL PISTON
M. HOLLOW CENTER (CONTROL PISTON)
N. PISTON
O. PIVOT PIN

รูปที่ 3.24ก

(ปั้มปรับปริมาตรได้แบบลูกสูบแถววางทำมุมกับเพลาขับ ขณะอยู่ในวัตรจักร “Full Flow”)

ตามรูปที่ 3.24ข เมื่อความดันที่ทางออกของปั้ม (ความดันในระบบ) เหนือค่า “Restric Flow” วาล์วความดัน (Pressure Control Valve) “h” จะเปิดให้ความดันที่ทางออกของปั้มนี้เข้ามาทางช่อง “g” ผ่านช่อง “f” เข้าไปดันลูกสูบ “l” ด้านขวาชนะแรงดันต้านของสปริงเคลื่อนตัวมาทางซ้ายฉุดแขนที่ต่ออยู่กับแท่นโย๊ค



ให้เริ่มดันแท่นโย๊คและแท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบในแท่นโย๊คขึ้นด้านบนเป็นลำดับทำให้ช่วงชักลดลงผกผันกับความดันที่สูงขึ้น (ความดันยิ่งสูงช่วงชักจะยิ่งลดลง) จึงเกิดเป็นวัตรจักร “Restrict Flow” อัตราการจ่ายออกจะเริ่มลดลง

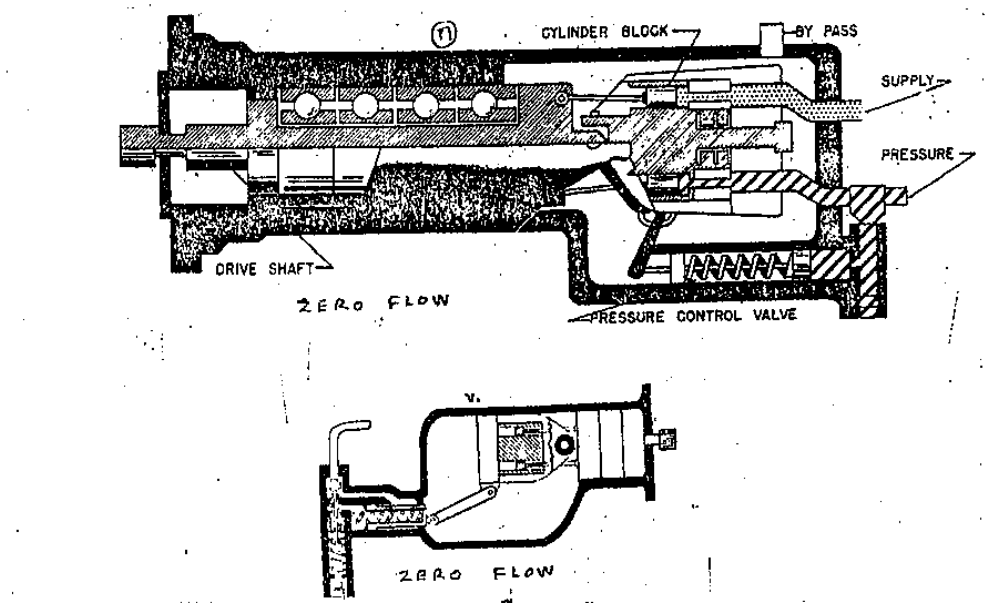
รูปที่ 3.24ข

(ปั้มปรับปริมาตรได้แบบลูกสูบแถววางทำมุมกับเพลาขับ ขณะอยู่ในวัตรจักร “Restrict Flow”)

ส่วนการทำงานตามรูปที่ 3.24ค เมื่อความดันที่ทางออกของปั้ม (ความดันในระบบ) เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความดันสูงสุด ลูกสูบควบคุม “l” จะถูกดันมาอยู่ทางซ้ายสุดคันแท่นโย๊ค และแท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบพร้อมลูกสูบซึ่งอยู่ในแท่นโย๊คกระดกขึ้นมาจนอยู่แนวเดียวกับเพลาขับจึงไม่มีช่วงชักดูดช่วงชักอัดเกิดขึ้นปั้มจุอยู่ในวัตรจักร “Zero Flow หรือ Free Flow” ไม่มีการจ่ายไฮดรอลิคออกมา ปั้มจะหมุนตัวเปล่าไปโดยไม่มีโหลดเกิดขึ้นกับปั้ม

ถ้าความดันลดลงจากความดันสูงสุดแรงของสปริงที่ถูกลูกสูบ “l” กดอยู่จะคลายตัวออกดันลูกสูบ “l” ให้เลื่อนออกมาดันแขนที่ต่อกับแท่นโย๊คให้ดึงแท่นโย๊คและแท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบลงมาทำมุมกับ

เพลาขับเพิ่มช่วงชักขึ้นเป็นลำดับโดยตรงกับความดันที่ลดลงเพื่อเสริมความดันให้กับระบบ ถ้าหากความดันลดลงไปจนต่ำกว่าค่าความดันที่ “Restrict Flow” ปั้มจะเริ่มวัตรจักร “Full Flow” ใหม่ การเปลี่ยนแปลงมุมระหว่างแท่งกระบอกสูบในแท่นโย๊คกับเพลาขับที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงชักขึ้นด้วยนี้เรียกว่า การปรับปริมาตรแบบลดช่วงชัก “Stroke Reduction”



รูปที่ 3.24ค

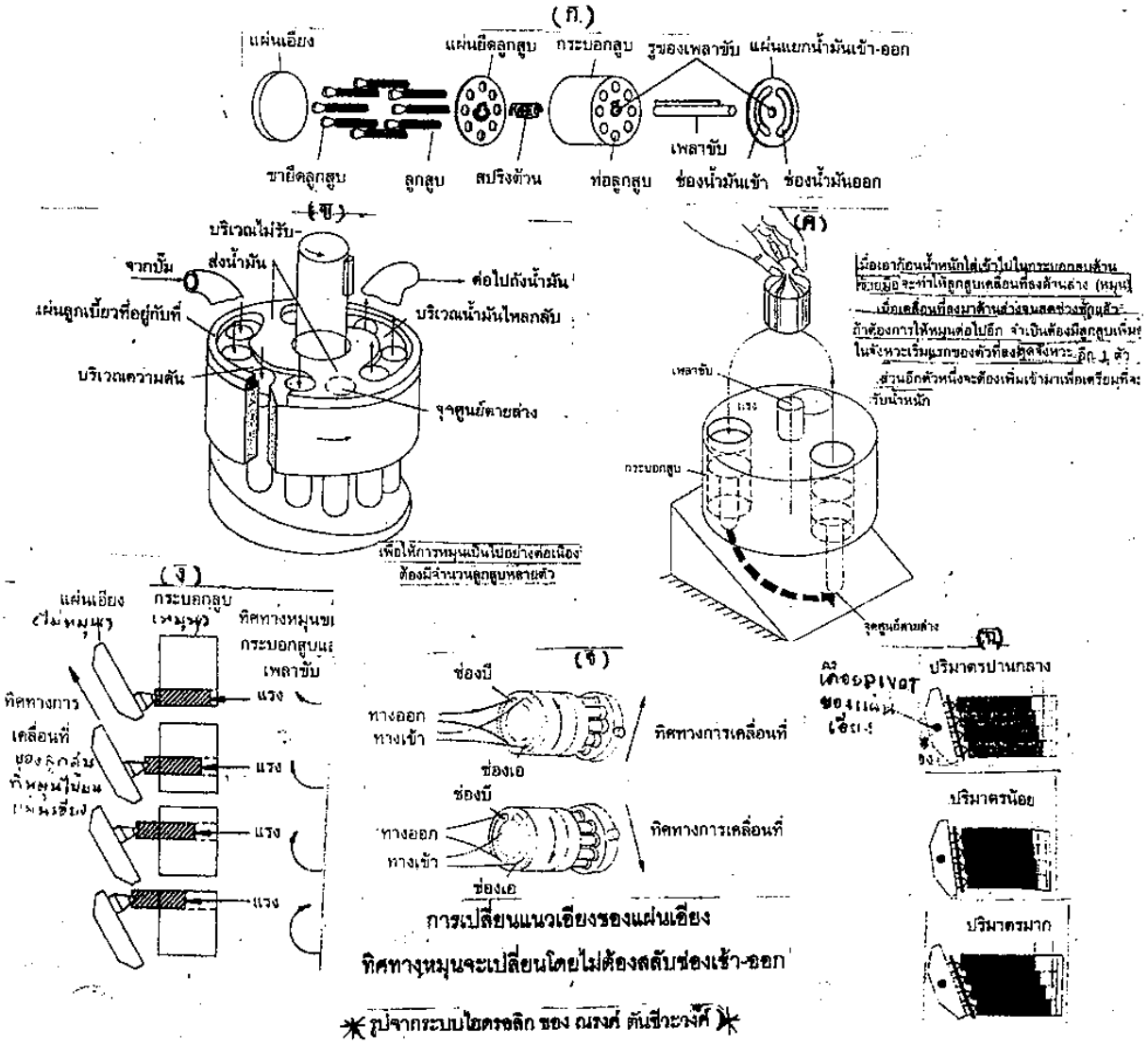
(ปั้มปรับปริมาตรได้แบบลูกสูบแถววางทำมุมกับเพลาขับ ขณะอยู่ในวัตรจักร “Zero Flow”)

6. **มอเตอร์ไฮดรอลิค** คืออุปกรณ์ทีเปลี่ยนพลังงานการไหลของของไหลภายใต้ความดันเป็นงานกลทางหมุน (ตรงข้ามกับปั้มที่เปลี่ยนงานกลทางหมุนให้เป็นพลังงานการไหล) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะมอเตอร์ไฮดรอลิคแบบลูกสูบ (Piston Type Hydraulic Motor) ซึ่งมีโครงสร้าคล้ายกับปั้มไฮดรอลิคแบบลูกสูบ มอเตอร์ไฮดรอลิคเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยแรงม้าต่อแรงม้าแล้ว มอเตอร์ไฮดรอลิคจะมีขนาดเล็กกว่า

6.1 หลักการทำงาน เมื่อป้อนอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิคความดันสูงเข้าไปในกระบอกสูบที่อยู่ในส่วนรับน้ำมันของมอเตอร์ไฮดรอลิคลูกสูบจะถูกกดดันให้เคลื่อนที่ออก แล้วน้ำมันจะถูกขับออกเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าในส่วนส่งน้ำมันออกของมอเตอร์ไฮดรอลิค

การทำงานตามรูปที่ 3.25 น้ำมันถูกป้อนเข้ามากดดันลูกสูบซึ่งอยู่ที่ส่วนล่างสุดให้ออกไปยันกับแผ่นเอียงที่อยู่กับที่ ลูกสูบจึงเลื่อนตัวไถลไปตามแนวเอียงของแผ่นเอียงขึ้นไป จึงเกิดแรงบิดพาแท่งกระบอกสูบให้หมุนตามลูกสูบที่เลื่อนขึ้นไปและเพลาขับโหลดที่ยึดอยู่กับแท่งกระบอกสูบจะหมุนตามไปด้วย เมื่อลูกสูบล่างสุดหมุนเลื่อนขึ้นมาอยู่ด้านบนสุดจะพาแท่ง กระบอกสูบหมุนมาได้ครึ่งรอบพอดีและขณะที่ลูกสูบลูกใดเลื่อนขึ้นไปลูกสูบลูกถัดๆ จะเลื่อนขึ้นมาแทนที่เป็นลำดับลูกโซ่ ต่อจากด้านบนสุดลูกสูบจะหมุนเลื่อนตัว

ลงมาด้านล่างเข้าไปในส่วนของช่องขับน้ำมันออกและจะขับน้ำมันออกไป จนลงมาอยู่ด้านล่างสุดอีกน้ำมันจะถูกขับออกไปจนหมดสูบและพาแท่งกระบอกสูบหมุนมาครบหนึ่งรอบพอดีเพื่อตั้งต้นเริ่มรอบใหม่ ส่วนของช่องรับน้ำมันเข้า และช่องขับน้ำมันออกดูได้จากรูปที่ 3.25ข การเปลี่ยนทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิคทำได้โดยสลับช่องรับน้ำมันป้อนเข้า กับ ช่องน้ำมันออก หรือเปลี่ยนแนวเอียงของแผ่นเอียงให้ตรงข้ามกับแนวเอียงเดิม ตามรูปที่ 3.25ค



รูปที่ 3.25

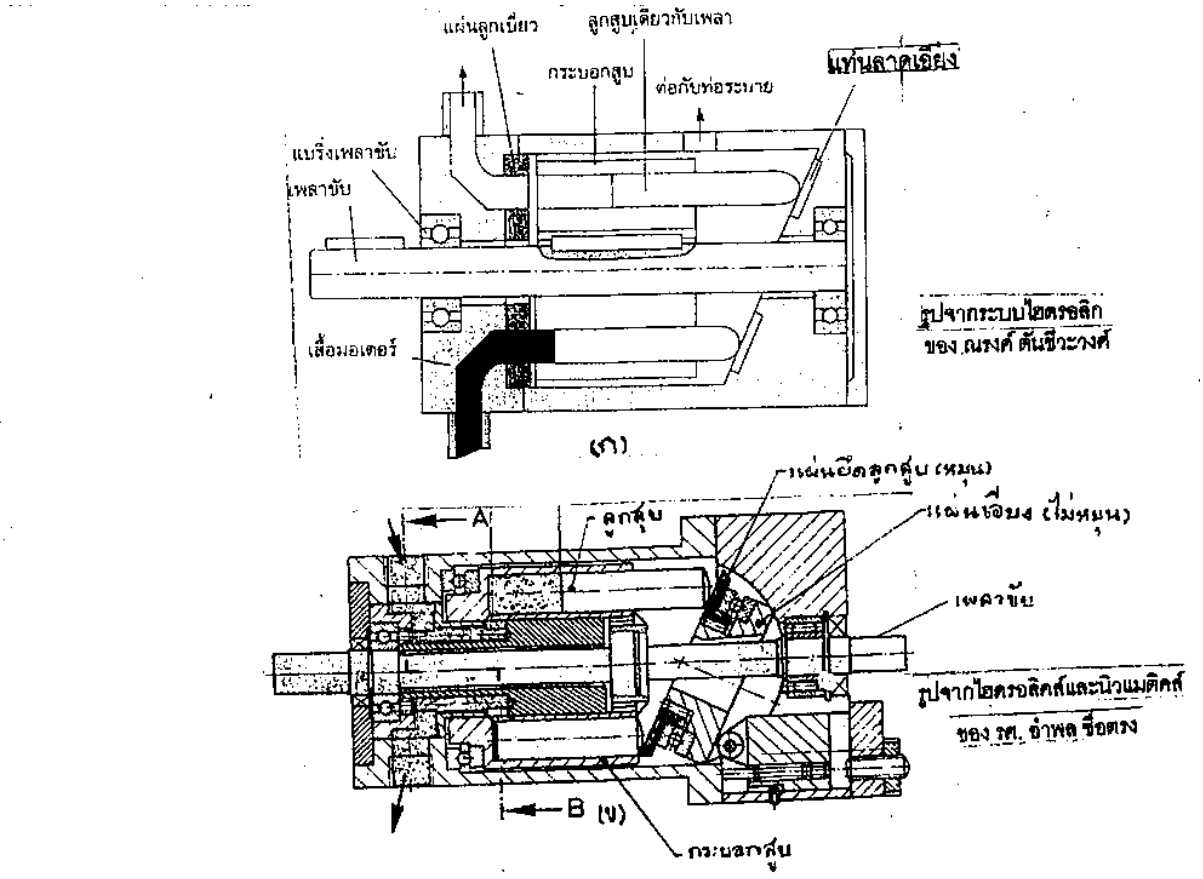
(แรงบิดที่ทำให้มอเตอร์ไฮดรอลิคหมุน)

***รูปจากระบบไฮดรอลิค ณรงค์ตันชีวะวงค์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย – ญี่ปุ่น**

6.2 ประเภทของมอเตอร์ไฮดรอลิค มีสองประเภทคือ ประเภทปรับความเร็วรอบไม่ได้ (รอบไม่คงที่ "Variable Displacement Type") และประเภทปรับความเร็วรอบได้ (รอบคงที่ "Constant Displace Type") ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิคจะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งน้ำมันความกดดันสูงจากปั๊ม / ปริมารณน้ำมันที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ดังนั้นถ้าอัตราการส่งน้ำมันจากปั๊มและปริมาณน้ำมันที่ป้อนเข้ามอเตอร์คงที่ แต่โหลดที่มอเตอร์ขับเพิ่มขึ้นรอบของมอเตอร์จะลดลง ถ้าโหลดลดลงรอบจะเพิ่มขึ้น ลักษณะเช่นนี้คือมอเตอร์ไฮดรอลิคประเภทปรับรอบไม่ได้ ส่วนมอเตอร์ไฮดรอลิคที่มีกลไกควบคุมรอบให้คงที่ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร คือมอเตอร์ไฮดรอลิคประเภทปรับรอบได้

6.3 โครงสร้างของมอเตอร์ไฮดรอลิค ลักษณะโคตรงสร้างคล้ายกับปั๊มไฮดรอลิคคือ

6.3.1 แบบลูกสูบแถววางแนวเดียวกับเพลาขับ (Inline Piston Type Hydraulic Motor) มีสองแบบ คล้ายปั๊มแบบใช้แท่นลาดเอียง (Cam) และแผ่นเอียงปรับมุมไม่ได้ (รูปที่ 3.26ก และ ข) การทำงานเป็นไปตามที่ได้กล่าวแล้วในข้อ 6.1 มอเตอร์ไฮดรอลิคที่ใช้แท่นลาดเอียงหรือแผ่นเอลียงปรับมุมไม่ได้นี้จะเป็นมอเตอร์ไฮดรอลิคแบบปรับรอบไม่ได้

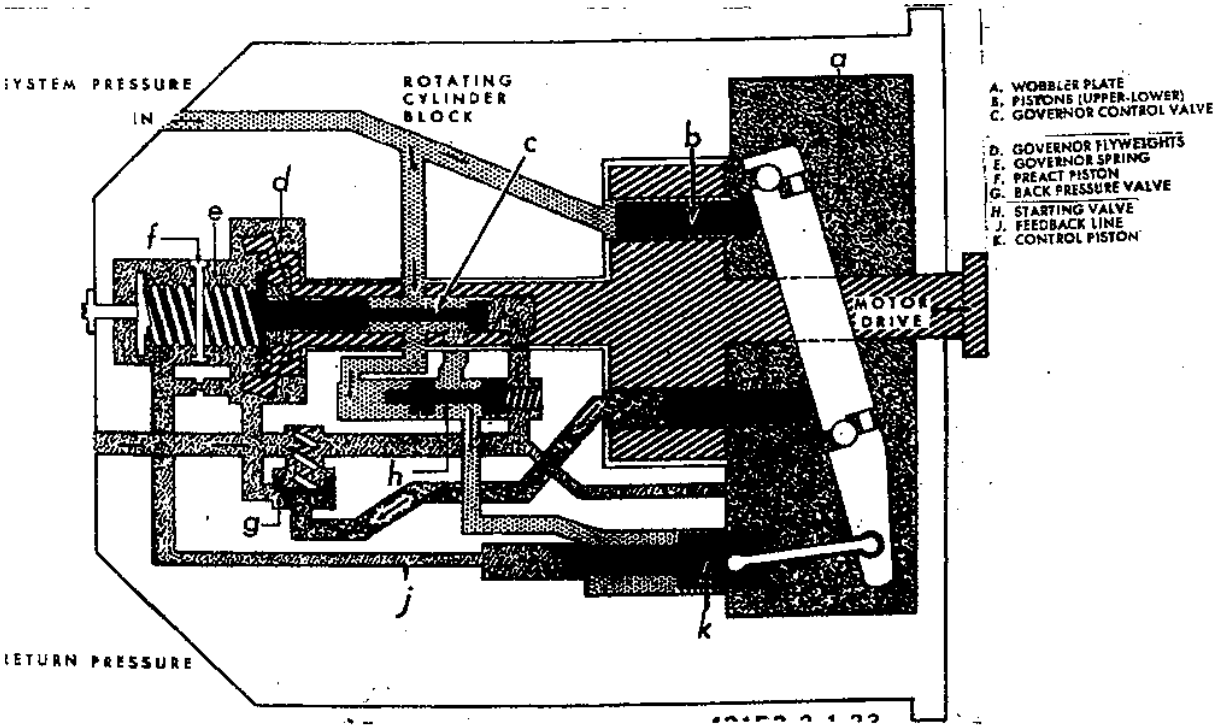


รูปที่ 3.26

(มอเตอร์ไฮดรอลิคแบบใช้แท่นลาดเอียง “Cam” และแบบใช้แผ่นเอียงปรับมุมไม่ได้)

ส่วนแบบใช้แผ่นเอียงปรับมุมเอียงได้ (Swash Plate OR Wobble Plate) เพื่อให้รอบของมอเตอร์ไฮดรอลิคคงที่ตลอดไม่ว่าโลหดจะเปลี่ยนไปอย่างไร จึงเป็นมอเตอร์ไฮดรอลิคแบบปรับรอบได้ ตามรูปที่ 3.27

การทำงานของมอเตอร์โดยสังเขปตามรูปที่ 3.27 เมื่อเริ่มป้อนไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าที่ช่องรับ (IN) ไฮดรอลิคจะเข้าไปดันลูกสูบ b และผ่านช่องที่ลูกสูบ c เข้าไปดันลูกสูบของสตาร์ทติ้งวาล์ว h ทาง



ด้านหน้าให้เลื่อนไปทางขวาเปิดทางให้ไฮดรอลิคจากวาล์ว c เข้าไปดันลูกสูบ k ที่ควบคุมมุมของแผ่นเอียง a ดันแผ่นเอียงส่วนล่างสุดให้เอียงไปทางขวาทำให้ลูกสูบ b ซึ่งอยู่ที่ศูนย์ตายบนดันแผ่นเอียงเพื่อออกไปหาศูนย์ตายล่างเป็นลำดับลงไปตามความเอียงของแผ่นเอียง จึงเกิดแรงบิดพาแท่งกระบอกสูบให้หมุนได้ และเพลาขับซึ่งต่อเป็นชิ้นเดียวกับแท่งกระบอกสูบจะหมุนไปด้วย (ลูกสูบที่แท่งกระบอกสูบลูกล่างสุดอยู่ตำแหน่งที่เริ่มจากศูนย์ล่างไปหาศูนย์ตายบนและเริ่มขับไฮดรอลิคออกจากมอเตอร์) ลูกสูบด้านทางแผ่นเอียงจะยึดอยู่กับแผ่นรองรับลูกสูบที่หมุนตามลูกสูบอยู่บนแผ่นเอียง (แผ่นเอียงไม่หมุนเพียงแค่ปรับมุมได้)

รูปที่ 3.27

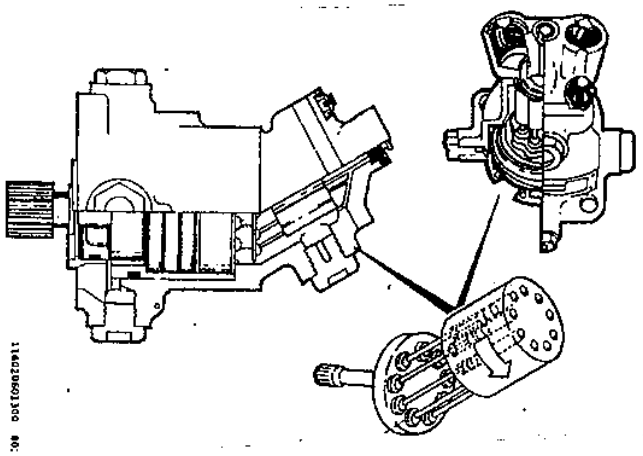
(มอเตอร์ไฮดรอลิคแบบใช้แผ่นเอียง “Swash Plate OR Wobble Plate”**)ปรับมุมเอียงได้**

เมื่อความดันที่ป้อนเข้าเพิ่มขึ้นรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ตุ้มน้ำหนัก (Flyweight) d จะหมุนถ่างออก พาลูกสูบควบคุมกัฟเวอเนอร์ c เลื่อนไปทางซ้ายลูกสูบทางด้านขวาสุดจึงเริ่มจำกัดช่องที่ให้ไฮดรอลิคไหล

ไปเข้าลูกสูบควบคุมมุมเอียง k ให้มีขนาดเล็กลงไปเรื่อย ๆ จนถึง “ปิด” ไม่ให้ไฮดรอลิคไหลเข้าลูกสูบ k มุมของแผ่นเอียงจึงไม่เพิ่มขึ้นอีกรอบของเมอเตอร์ก็จะไม่เพิ่มขึ้นด้วย หรือเรียกว่ามอเตอร์หมุนอยู่ที่รอบ “ON SPEEED” และจะหมุนคงที่อยู่ที่รอบนี้ตลอดเวลาถ้าโหลดที่มอเตอร์ขับไม่เปลี่ยนแปลง

แต่ถ้าโหลดที่มอเตอร์ขับเกิดลดลงรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นไปอีก ตุ้มน้ำหนักจะหมุนพาลูกสูบ c เลื่อนไปทางซ้ายอีกเล็กน้อย ทำให้เปิดช่องให้ไฮดรอลิคทางด้านหน้าของลูกสูบควบคุมแผ่นเอียง k ไหลไปยังทางกลับถัง (Return Line) ได้ และเนื่องจากว่าความดันที่เข้าไปดันลูกสูบ b สูงกว่าความดันทาง Line ที่ลูกสูบ k ต่อถึงกันอยู่ แผ่นเอียงทางส่วนบนจึงถูกดันให้ทางขวา มุมของแผ่นเอียงจึงลดลง ปริมาณไฮดรอลิคที่ป้อนเข้ามอเตอร์จึงลดลงตาม แรงบิดและรอบของมอเตอร์จึงลดลง เมื่อโหลดเริ่มเพิ่มขึ้นรอบจะลดลงสปริงกัฟเวอเนอร์ e จะดันลูกสูบ c มาทางขวาเริ่มเปิดไฮดรอลิคให้เข้าไปที่ลูกสูบควบคุมมุมแผ่นเอียง k ใหม่ ดังนั้นมอเตอร์แบบนี้จึงสามารถปรับรอบให้คงที่ได้ แม้ว่าโหลดจะเปลี่ยนไป

6.3.2 แบบลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับ รูปที่ 3.28 แท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบจะวางทำมุมกับเพลาขับอยู่รอบเพลาขับ เมื่อมีการป้อนปริมาณไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้าไปในส่วนรับน้ำมันของมอเตอร์ไฮดรอลิค ลูกสูบที่อยู่ในส่วนรับน้ำมันจะถูกกดดันให้เลื่อนออกไปเป็นลำดับเกิดแรงบิดทำให้หมุนและพาแท่งกระบอกสูบหมุนไปด้วย เพลาขับที่หน้าแปลนยึดกับก้านของลูกสูบจึงหมุนไปด้วยกัน เมื่อลูกสูบแต่ละลูกในส่วนรับน้ำมันหมุนมาสุดระยะช่วงชักรับน้ำมันแล้ว จะหมุนเริ่มช่วงชักน้ำมันออกในส่วนขับน้ำมันออกกลับถังเป็นลำดับกันไปแต่ละลูกจนหมดสูบเมื่อหมุนมาสุดระยะขับน้ำมันออก และจะเริ่มช่วงรับน้ำมันในส่วนรับน้ำมันใหม่ การควบคุมรอบของมอเตอร์แบบนี้จะใช้วาล์วควบคุมอยู่ภายนอกมอเตอร์ เช่น โฟล์คอนโทรลวาล์ว (Flow Control Valve) หรือ วาล์วปรับอัตราการไหล (Flow Regulator Valve) ติดตั้งไว้ก่อนไฮดรอลิคเข้ามอเตอร์ หรือ หลังไฮดรอลิคที่ออกจากมอเตอร์กลับถังการติดตั้งวาล์วควบคุมการไหลไว้หลังมอเตอรีไฮดรอลิคจะควบคุมรอบของมอเตอรีได้แน่นอนกว่าการทำงานของวาล์วควบคุมรอบอาศัยหลักที่ว่า เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นถ้าจะรักษารอบให้คงเดิมจะต้องป้อนปริมาณไฮดรอลิคภายใต้ความดันเพิ่มขึ้น ถ้าโหลดลดลงจะต้องลดปริมาณไฮดรอลิคที่ป้อนเข้าให้น้อยลง ซึ่งจะใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล หรือวาล์วปรับอัตราการไหล (Flow Control Valve หรือ Flow Regulator Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลดังกล่าว

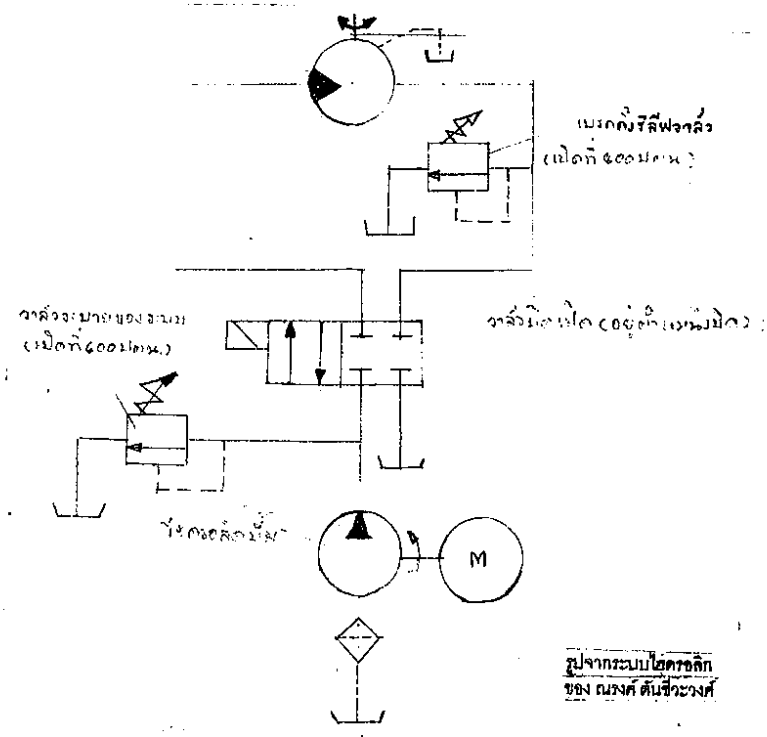


รูปที่ 3.28

(มอเตอร์ไฮดรอลิคแบบลูกสูบแถววางทำมุมกับเพลาขับ)

6.4 การควบคุมมอเตอรีไฮดรอลิคให้หยุดหมุน มอเตอร์ไฮดรอลิคที่ใช้ขับโหลดมาก ๆ การบังคับให้มอเตอร์หยุดหมุนโดยเร็ว (ใช้เวลาน้อยที่สุด) ทำได้ยากเพราะแรงเฉื่อยของโหลดจะพยายามฉุดมอเตอร์ให้หมุนต่อไปชั่วขณะ (ซึ่งจะทำให้มอเตอร์เป็นเหมือนปั้มไฮดรอลิคจ่ายไฮดรอลิคออกมาจากทางเข้า) ดังนั้นจึงต้องใช้วาล์วหรือกลไกช่วยให้มอเตอร์ไฮดรอลิคหยุดหมุนได้โดยเร็วที่สุด ดังต่อไปนี้

6.4.1 ใช้เบรกกิ้งรีลีฟวาล์ว (Braking Relief Valve) คือการใช้วาล์วระบายความดัน (Relief Valve) ติดตั้งไว้ที่ทางขับน้ำมันออกระหว่างมอเตอร์กับวาล์วปิด เปิด โดยปรับตั้งวาล์วระบายนี้ให้ระบายความดันน้ำมันที่มอเตอร์ขับออกไว้สูงกว่าวาล์วระบายของระบบ (Main System Relief Valve) ตามรูปที่ 3.29 ดังนั้น



รูปจากระบบไฮดรอลิก
ของ ณรงค์ ตันชีวะวงศ์

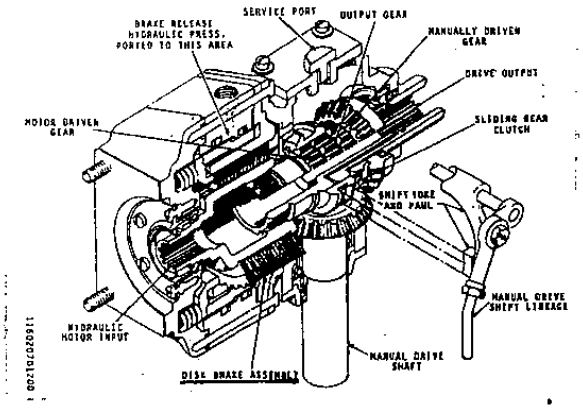
เมื่อปิดวาล์วให้มอเตอร์หยุดหมุนถ้าไฮดรอลิคที่มอเตอร์ขับออกมีความดันน้อยกว่าค่าที่ปรับตั้ง Braking Valve ไว้ความดันที่ทางออกนี้จะถูกกักไว้เป็นความดันย้อนกลับไปต้านการหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิคที่เกิดจากแรงเฉื่อยของโหลด มอเตอร์จึงหยุดหมุนได้โดยรวดเร็ว

รูปที่ 3.29

(วงจรการใช้ Braking Valve **ช่วยการหยุดหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิค)**

*รูปจากระบบไฮดรอลิค ณรงค์ ตันชีวะวงค์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

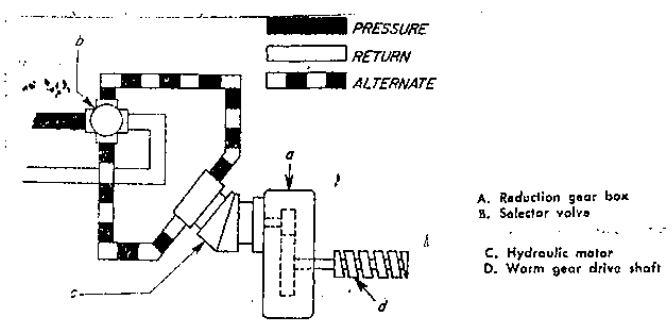
6.4.2 ใช้ชุดเบรก เบรกที่เพลาขับของมอเตอร์โดยตรง จะติดตั้งแผ่นเบรกไว้ที่เพลาขับของมอเตอร์ไฮดรอลิค ขณะปิดวาล์วไม่ให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามอเตอร์ แรงดันของสปริงในชุดเบรกจะกดแผ่นเบรกให้อัดกับเพลาขับของมอเตอร์ตลิดเวลาเพื่อช่วยเบรกมอเตอร์ให้หยุดหมุน ถ้าเปิดวาล์วให้ไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามอเตอร์เมื่อไหร่ ความดันของไฮดรอลิคจะเข้าไปปลดแผ่นเบรกออกจากเพลาขับดูรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30

(การใช้ชุดเบรกที่เพลาขับของมอเตอร์ไฮดรอลิคในชุดเฟืองทด “Gear Box”)

6.5 การติดตั้งมอเตอร์ไฮดรอลิคขับอุปกรณ์ ในการใช้มอเตอร์ไฮดรอลิคขับอุปกรณ์เช่นการกางฐาน ,



พับฐาน , แพนอากาศเพิ่มแรงยก (Flap) , จะต้องมีชุดเฟืองทดรอบ (Reduction Gear Box) หรือ สกรูแจ๊ค (Screw Jack) ทดรอบจากมอเตอร์ไปขับอุปกรณ์อีกทอดหนึ่ง (ตามรูปที่ 3.31) ถ้าต้องการกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิคให้สลับท่อทางเข้าออกที่มอเตอร์

รูปที่ 3.31

(การติดตั้งมอเตอรีไฮดรอลิคผ่านชุดเฟืองทดสอบ "Gear Box" **ไปขับอุปกรณ์)**

สรุปบทที่ 3

1. **ถังเก็บน้ำมัน** (Reservoir) มีสองประเภท
   1.1 ประเภทไม่มีการอัดความดันในถังเก็บ (Conventional OR Nonpressurze Reservoir) มีท่อหายใจ (Vent) เปิดสู่บรรยากาศภายนอก
   1.2 ประเภทอัดความดันในถังเก็บ (Pressurized Reservoir) เพื่อกดดันไฮดรอลิคไม่ให้เกิดโพรงอากาศ (Cavitation) ขณะที่ไหลเข้าทางดูดของปั้ม วิธีอัดความดันเข้าถังมีสองแบบคือ
      (1) แบบ Air Type ใช้ลมอัดจากเครื่องยนต์ของอากาศยาน หรือลมอัดจากถังสะสม ในถังเก็บ (Reservoir Accumulator)
      (2) แบบ Airless Type ใช้ความดันที่ต่อมาจากระบบไฮดรอลิคของอากาศยานเข้าไปกดดันลูกสูบของถังเก็บ

   หมายเหตุ ถ้าถังเก็บไฮดรอลิคอยู่ในห้องที่มีการปรับความดันไม่จำเป็นต้องอัดความดันเข้าถังเก็บ
2. **สูบงานหรือกระบอกสูบไฮดรอลิค** (Actuator Cylinder) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานการไหลภายใต้ความดันให้เป็นงานกลทางแนวตรง แบ่งออกเป็นสองแบบใหญ่ ๆ ดังนี้
   2.1 สูบทำงานเดียว (Single Action Actuator) ทำงานด้วยความดันไฮดรอลิคด้านเดียว เลื่อนกลับด้วยแรงสปริง มีช่องให้ไฮดรอลิคเข้า – ออกช่องเดียวกันอยู่ทางด้านลูกสูบ
   2.2 สูบทำงานสองด้าน (Double Action Actuator) ทำงานด้วยไฮดรอลิคทั้งสองด้าน มีช่องให้ไฮดรอลิคเข้า – ออกสองช่องที่ทางด้านหน้าของลูกสูบและทางด้านก้านของลูกสูบ มีหลายชนิดชนิดดังนี้

(1) ชนิดลูกสูบเดียวก้านสูบเดียว (Normal OR Unbalance Actuator)

(2) ชนิดลูกสูบเดียวสองก้านสูบ (Balance Actuator)

(3) ชนิดสองลูกสูบ สองก้านสูบ (Three Port)

(4) ชนิดแทนเด็ม (Tandem Actuator) คือสูบงานสูบเดียวสองก้านสูบสองชุด ที่นำมาต่อเป็นชุดเดียวกันโดยต่อเสื้อสูบและก้านสูบเรียงกันเป็นชุดเดียวกัน สำหรับให้ระบบไฮดรอลิคสองระบบเข้าไปทำงานพร้อมกัน

(5) ชนิดสูบแฝด (Twin Actuator) คือการนำสูบลูกสูบเดียวสองก้านสูบสองสูบต่อกันโดยต่อเสื้อสูบให้ติดกัน แต่ก้านสูบไม่ต่อติดกันสำหรับใช้งานเช่นเดียวกันชนิดแทนเด็ม

(6) ชนิดมีล๊อคในตัว (Internal Lock Type Actuator) จะมีกลไกสำหรับล๊อคลูกสูบอยู่ภายในะรบอกสูบเมื่อลูกสูบเคลื่อนไปสุดระยะที่ด้านใดด้านหนึ่ง

3. **ถังสะสมความดัน** (ฤแแทีสฟะนพ) สำหรับสำรองไฮดรอลิคภายใต้ความดันไว้เพื่อ

- เสริมความดันช่วยปั้มในกรณีที่ความดันในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว
- จ่ายไฮดรอลิคภายใต้ความดันที่สะสมไว้แทนปั้มได้อย่างจำกัดครั้ง ถ้าปั้มเกิดขัดข้อง
- ลดการกระโชกของไฮดรอลิคในระบบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างกะทันหัน

3.1 แบบของถังสะสมความดัน (Accumulator Type)

(1) แบบไดอะแฟรม (Diaphragm)

(2) แบบลูกโป่งยาว (Bladder Type)

(3) แบบลูกสูบ (Piston Type) ปัจจุบันนิยมใช้กันมาก

3.2 การบำรุงรักษา

- ต้องเติมลมหรือไนโตรเจนอัด (Preload) ในขณะที่ระบบไม่มีความดัน (เครื่องวัดความดันของระบบชี้ “O”)
- ต้องตรวจความดันของลมหรือไนโตรเจนที่ ปรีโหลด (Preload) ไว้ให้ได้ตามเกณฑ์เสมอ โดยการตรวจดูที่เครื่องวัดความดันของถังสะสมโดยตรง หรือดูที่เครื่องวัดความดันของระบบไฮดรอลิคตรงจุดที่ความดันเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากที่ปั้มหยุดหมุนแล้ว

4. **เครื่องกรองไฮดรอลิค** (Filter) ไส้กรองต้องเป็นแบบไส้กรองละเอียด (Micronic Filter)

- ไส้กรอง Micronic แบบใช้กระดาษเซลลูโลสต้องเปลี่ยนใหม่เมื่อครบอายุ
- ไส้กรอง Micronic แบบใช้ใยโลหะสาน ทำความสะอาดได้ด้วยกรรมวิธี อุลตราโซนิค (Ultrasonic)

“Bypass Valve” ในเครื่องกรองจะปล่อยไฮดรอลิคลัดทางไม่ผ่านไส้กรองเข้าระบบโดยตรง ถ้าไส้กรองอุดตันด้วยความดันแตกต่าง (Delta “P”) ที่ทางเข้ากับทางออกของเครื่องกรอง

5. ปั้มไฮดรอลิค หรือสูบกำลัง (Power Pump) ปั้มที่ใช้ในระบบไฮดรอลิคอากาศยานจะเป็นปั้มลูกสูบแบบดูดอัด “Positive Displacement Pump” (ช่องดูดกับช่องอัดไม่ต่อถึงกัน)

5.1 ประเภทของปั้ม

(1) ปริมาตรจ่ายออกคงที่ หรือปรับปริมาตรไม่ได้ (Costant Volume Pump) ต้องมีวาล์วลดโหลด (Unloadding Valve) สำหรับลดโหลดของปั้มขณะความดันในระบบถูกกักไว้เนื่องจากยังไม่ได้ปล่อยไปใช้งาน (ยกเว้นส่วนต้นกำลังที่เป็นระบบเปิด “Open Center”) ไม่ต้องมีเพราะวาล์วเปลี่ยนทาง “Selector Valve” ลดโหลดให้ความดันสูงสุดของระบบกำหนดโดยการปรับตั้งวาล์วลดโหลด

(2) ปริมาตรจ่ายออกเปลี่ยนแปลงได้หรือปรับปริมาตรได้ (Variable Volume Pump) มีกลไกภายในปั้มทำงานด้วยความดันชดเชยจากระบบ Built-in Pressure Compensatrol ปรับอัตราการจ่ายออกให้เปลี่นแปลงเป็นวัตรจักร Full flow – RestricFlow – Zero flow ระบบต้องการความดันสูงสุด และ Zero Flow – Restric Flow – Full Flow ในช่วงที่ความดันในระบบลดลง ปั้มประเภทนี้ไม่ต้องใช้วาล์วลดโหลด เพราะขณะอยู่ในวัตรจักร “Zero - Flow” ปั้มจะหมุนตัวเปล่าไปโดยไม่มีโหลด

5.2 โครงสร้างของปั้ม

5.2.1 แบบลูกสูบแถววางแนวเดียวกับเพลาขับ

(1) ใช้แท่นลาดเอียง (Cam Type) หรือสตาดตรเพาเวอร์ปั้ม เมื่อเพลาขับหมุน Cam เท่านั้นที่หมุนตามเพลาขับ สามารถเปลี่ยนทิศทางหมุนได้ทันที โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ใด ๆ

(2) ใช้แผ่นเอียงปรับมุมเอียงไม่ได้ และแผ่นเอียงปรับมุมได้ (Swash Plate OR Wobble Plate) เมื่อเพลาขับหมุนแท่งกระบอกสูบพร้อมลูกสูบและแผ่นยึดลูกสูบหมุนตามเพลาขับ แผ่นยึดลูกสูบจะหมุนตามลูกสูบอยู่บนหน้าแปลนของแผ่นเอียง ส่วนแผ่นเอียงที่ปรับมุมได้โดยความดันชดเชยจากระบบทำให้ Stroke reduction ปั้มจึงปรับปริมาตรจ่ายออกได้

5.2.2 แบบลูกสูบแถววางทำมุมกับเพลาขับ

(1) ลูกสูบแถววางทำมุมตายตัวกับเพลาขับ เมื่อเพลาขับหมุนแท่งกระบอกสูบและลูกสูบจะหมุนตามเพลาขับ ปั้มจะจ่ายปริมาตรออกคงที่ตลอดเวลาจึงเป็นปั้มปรับปริมาตรไม่ได้

(2) ลูกสูบแถววางทำมุมเปลี่ยนแปลงกับเพลาขับได้ เมื่อเพลาขับหมุนแท่งกระบอกสูบ ลูกสูบซึ่งอยู่ในแท่นโย๊คจะหมุนตามเพลาขับเช่นเดียวกับข้อ (1) แท่นโย๊คไม่หมุนแต่จะทำให้มุมระหว่างลูกสูบแถวกับเพลาขับเปลี่ยนแปลงได้ด้วยลูกสูบชดเชยความดันที่ทำงานโดย

ความดันชดเชยจากระบบ การเปลี่ยนแปลงมุมระหว่างลูกสูบแถวกับเพลาขับทำให้ปั้มปรับปริมาตรจ่ายออกได้

6. **มอเตอร์ไฮดรอลิค** (Hydraulic Motor) เปลี่ยนพลังงานการไหลภายใต้ความดันให้เป็นงานกลทางหมุน ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิคจะขึ้นอยู่กับ อัตราการส่งน้ำม้นความกดดันสูงจากปั้ม / ปริมาณน้ำมัน ที่ป้อนเข้ามอเตอร์ไฮดรอลิค

6.1 ประเภทของมอเตอร์ไฮดรอลิค แบ่งเป็น 2 ประเภท

(1) ปรับความเร็วรอบไม่ได้ หรือรอบไม่คงที่ (Variable Displacement Type) รอบจะเปลี่ยนแปลงไปตามโหลดที่มอเตอร์ขับ โหลดเพิ่มขึ้นรอบจะลดลง โหลดลดลงรอบจะเพิ่มขึ้น

(2) ปรับรอบให้คงที่ได้ (Constant Displacement Type) มีกลไกภายในควบคุมรอบให้คงที่ ไม่ว่าโหลดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

6.2 โครงสร้าง คล้ายกับปั้มไฮดรอลิคคือมีชนิดลูกสูบแถววางแนวเดียวกับเพลาขับ แบบแท่นลาดเอียง (Cam) , แบบแผ่นเอียงปรับมุมไม่ได้กับประเภทปรับความเร็วรอบไม่ได้ , แบบแผ่นเอียงปรับมุมได้ (Swash OR Wobble Plate) ใช้กับประเภทปรับรอบให้คงที่ได้ , ชนิดลูกสูบแถววางทำมุมรอบเพลาขับแบบปรับมุมไม่ได้ใช้กับประเภทปรับความเร็วรอบไม่ได้ และแบบลูกสูบแถววางทำมุมกับเพลาขับปรับมุมได้ใช้กับประเภทปรับรอบให้คงที่ได้

6.3 หลักการทำงาน เมื่อป้อนอัตราการไหลของไฮดรอลิคความดันสูงเข้าไปอยู่ในส่วนรับน้ำมันของมอเตอร์ไฮดรอลิคลูกสูบจะถูกกดดันให้เคลื่อนที่ออกไปตามแนวเอียงของแท่นลาดเอียง (Cam) หรือแผ่นเอียง หรือมุมเอียงของลูกสูบที่กระทำอยู่กับเพลาขับ ทำให้เกิดแรงบิดพาแท่งกระบอกสูบและเพลาขับให้หมุนตาม

6.4 หลักการทำงาน เมื่อป้อนอัตราการไหลของไฮดรอลิคความดันสูงเข้าไป สูบที่อยู่ในส่วนรับน้ำมันของมอเตอร์ไฮดรอลิลูกสูบจะถูกกดดันให้เคลื่อนที่ออกไปตามแนวเอียงของแท่นลาดเอียง (Cam) หรือแผ่นเอียง หรือมุมเอียงของลูกสูบที่กระทำอยู่กับเพลาขับ ทำให้เกิดแรงบิดพาแท่งกระบอกสูบและเพลาขับให้หมุนตาม

บทที่ 4

วาล์วและอุปกรณ์ควบคุมความดัน และการไหล

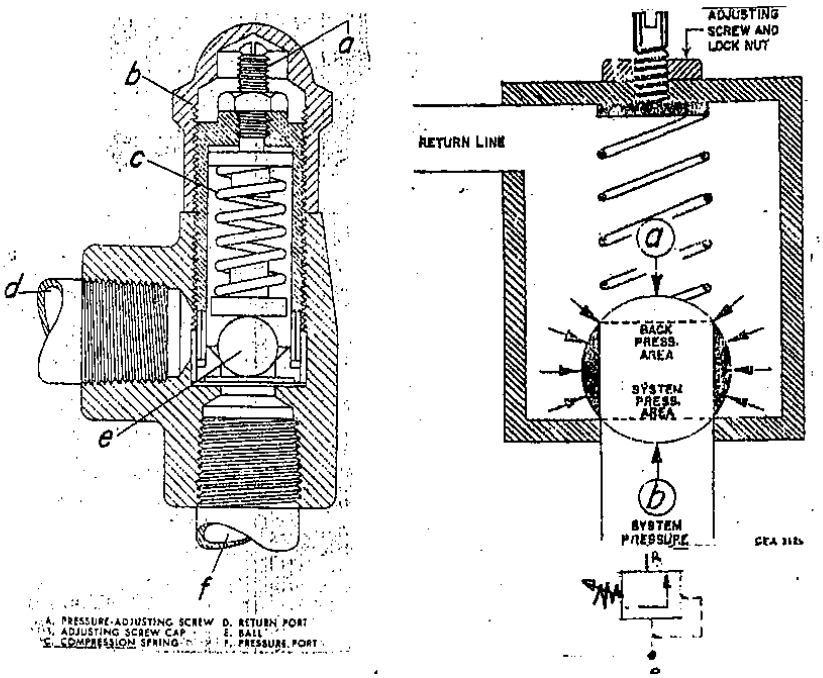
ระบบไฮดรอลิคสามารถถ่ายทอดกำลังได้มากจากอุปกรณ์ขนาดเล็ก (มีขนาดกะทัดรัด) และทำงานได้นิ่มนวล แม่นยำ ทั้งนี้เพราะวาล์วและอุปกรณ์ ควบคุมทั้งความดัน และการไหลให้ระบบทำงานได้ตามที่ต้องการ

1. **วาล์วควบคุมความดัน (Pressure Control)** มีหน้าที่ควบคุมความดันของระบบให้คงที่ ควบคุมความดันไม่ให้สูงจนถึงขีดอันตราย เพิ่มหรือลดความดัน จัดลำดับความดันออกไปใช้งานตามค่าความดัน (Priority) วาล์วควบคุมความดันจะใช้ควบคุมความดันต่าง ๆ ในระบบดังนี้

1.1 วาล์วระบายความดัน (Relief Valve) เป็นอุปกรณ์หลักหรือวาล์วหลักอย่างหนึ่งที่ระบบไฮดรอลิคจำเป็นต้องมีเพื่อให้ระบายความดันที่สูงจนอาจเกิดอันตรายกับระบบกลับถังเก็บจนความดันลดลงถึงขีดปลอดภัย ติดตั้งอยู่ในส่วนต้นกำลัง (Power Section) ของระบบระหว่างท่อทางความดัน (Pressure Line) กับท่อทางกลับถัง (Return Line) ระบบหนึ่งอาจมีวาล์วระบายหลัก (Main Or System Relief) เพียงตัวเดียว

หรือมีวาล์วระบายย่อย (Line Relief Valve), วาล์วระบายความดันที่เกิดจากไฮดรอลิค ได้รับความร้อนสูง เพิ่มเติมอีกก็ได้ การทำงานของวาล์วระบายต่าง ๆ ที่กล่าวมีดังนี้

1.1.1 วาล์วระบายหลัก (Main Or System Relief Valve) เป็นวาล์วระบายความดันของระบบทั้งระบบ

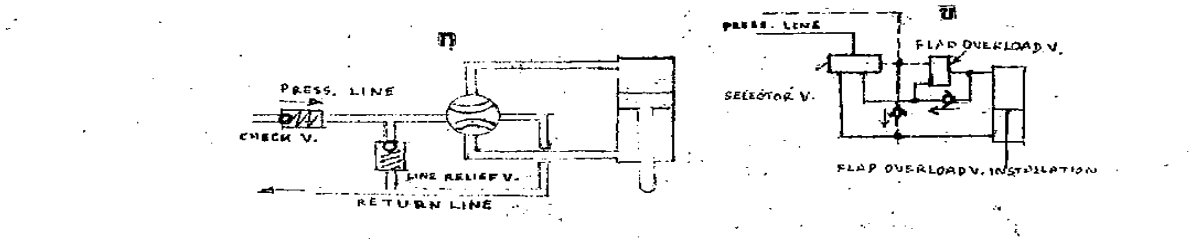


รูปที่ 4.1

(**วาล์วระบายหลัก** "Main Or System Relief Valve")

การทำงานตามรูปที่4.1 ไฮดรอลิคภายใต้ความดันในระบบจะไหลเข้าที่ช่อง f พยามดันลูกบอลล์ eขึ้น ถ้าความดันไฮดรอลิคมากกว่าแรงกดของสปริง c ลูกบอลล์จะถูกดันให้เผยอขึ้น ความดันที่ดันให้ลูกบอลล์เผยอขึ้นนี้เรียกว่า ความดันที่เริ่มระบาย “Cracking pressurer” ไฮดรอลิคจะไหลผ่านขึ้นไปออกทางช่อง d กลับถังเก็บได้ และความดันนี้จะกดดันด้านหลังของลูกบอลล์รวมกับแรงกดของสปริงเป็นความดันย้อนกลับ “Back Pressure” ที่พยายามกดลูกบอลล์ให้ลงมาปิดช่อง f เมื่อลูกบอลล์ถูกไฮดรอลิคด้านล่างดันให้เผยอขึ้นจนสุดระบบจะระบายไฮดรอลิคที่ความดันเกินเกณฑ์ออกเต็มที่ “Full Flow” จนความดันในระบบเป็นปกติตามเกณฑ์ที่ปรับตั้งวาล์วไว้ (ปรับแรงกดของสปริงที่วาล์ว๗ ลูกบอลล์จะกลับมานั่งแท่นใหม่ “reseating” ในการปรับตั้งค่าความดันของวาล์วระบายให้เปิดระบายไฮดรอลิคที่มีความดันเกินปกติกลับถังเก็บจะต้องปรับในขณะที่ระบบมีความดัน โดยจะต้องนำค่าความดันที่ทางออกของวาล์ว “Return Port” มาบวกกับค่าความดันปกติของระบบ ตัวอย่างเช่นความดันปกติของระบบ 2,000 ปอนด์/ตารางนิ้วดันลูกบอลล์อยู่ทางด้านล่างเมื่อลูกบอล์เผยอขึ้นไฮดรอลิคที่ไหลออกมีความดัน 150 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ดังนั้นวาล์วระบายจะเปิดระบายไฮดรอลิคออกเต็มทีเมื่อระบบมีความดัน 2,150 ปอนด์ / ตารางนิ้ว

1.1.2 วาล์วระบายความดันย่อย (Line Relief Valve) ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ชำรุดจากความดันสูงที่เกิดขึ้นจากแรงต้านของโหลด โดยจะระบายความดันสูงที่เกิดขึ้นจากแรงต้านของโหลดกลับถัง วาล์วระบายนี้จะติดตั้งอยู่ (รูปที่ 4.2ก) ระหว่าง Pressure Line กับ Return line ก่อนวาล์วเปลี่ยนทางของงานย่อยนั้น และจะต้องมีวาล์วกันกลับ “One Way Check Valve” ติดตั้งไว้ที่ท่อความดันก่อนเข้าวาล์วระบายนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ความดันสูงที่เกิดขึ้นย้อนเข้าไปในส่วนต้นกำลัง (power Section) รูปที่ 4.2ข เป็นวาล์วระบายความดันย่อยที่ติดตั้งกับระบบแฟลต (Flap) หรือเรียกอีกอย่างนึ่งว่าแฟลตโอเว่อร์โหลด รีลีฟวาล์ว (Flap Over Load Relief Valve) การทำงานของวาล์ว เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วเปลี่ยนทางของแฟลต (Flap Selector Valve) ขณะที่อากาศยานกำลังบินด้วยความเร็วสูงไฮดรอลิคภายใต้ความดันจะเข้าไปที่ห้องด้านบนของสูบแฟลต (Flap Acturator) ลูกสูบจะดันให้แฟลตกางออกมาต่อสู้กับความเร็วของกระแสอากาศ (Air Load) ซึ่งพยายามต้านให้แลตกลับเข้าที่เดิมจึงทำให้ไฮดรอลิคในห้องบนถูกกดดันจนความดันสูงขึ้นเกินค่าความดันที่ปรับตั้งวาล์วระบบย่อยไว้วาล์วระบายย่อยจะระบายไฮดรอลิคในสูงแฟลตห้องบนกลับถัง แฟลตจึงถูกกระแสอากาศต้านให้กลับเข้าที่เดิม เพราะถ้าปล่อยให้แฟลตกางออกมาขณะที่กระแสอากาศมีความเร็ว



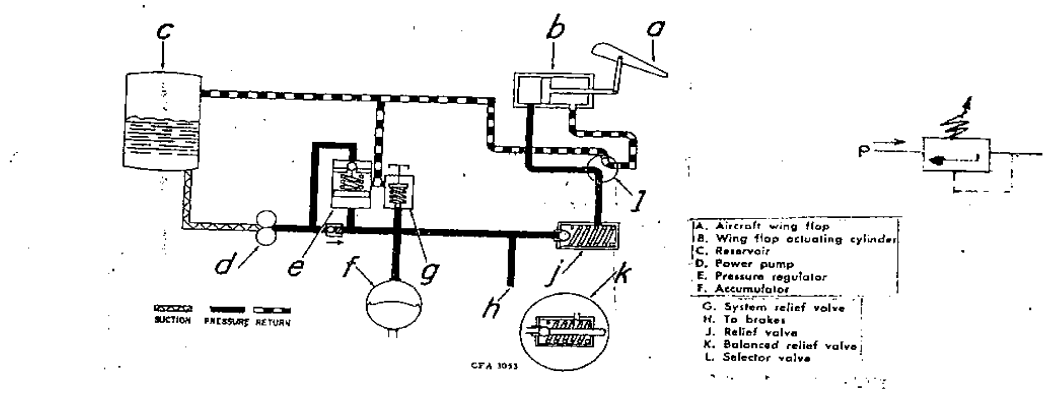
สูง แฟลตอาจชำรุดได้

รูปที่ 4.2

(วาล์วระบายความดันย่อยที่ใช้กับแฟลต หรือ “Flap Over Load Valve”)

1.1.3 วาล์วระบายความดันที่เกิดจากความร้อน (Thermal Relief Valve) เป็นวาล์วระบายความดันที่เกิดจากไฮดรอลิคจำนวนหนึ่งที่ถูกกักไว้ในอุปกรณ์บางส่วนได้รับความร้อนแล้วขยายตัวทำให้เกิดความดันขึ้นถ้าไม่มีการระบายความดันนี้ออกไปจะทำให้มีแรงดันสูงพอที่จะทำให้อุปกรณ์นั้นขยับตัวได้ทั้งๆ ที่อยู่ในตำแหน่งปิด วาล์วนี้จะติดตั้งอยู่ในส่วนให้งานกล (Actuating Section) ระหว่างวาล์วเปลี่ยนทางกับสูบงานมีโครงสร้างคล้ายกับวาล์วระบายทั่ว ๆ ไปแต่มีขนาดเล็กเพราะจะระบายความดันจากไฮดรอลิคที่ถูกกักไว้ในอุปกรณ์มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนค่าความดันที่ปรับตั้งให้วาล์วระบาย Thermal Relief Valve เปิดจะต้องสูงกว่าววาล์วระบายในระบบ ทั้งหมด ข้อสังเกตที่ตัวเรือนของวาล์วจะมีอักษร “TERV S”

1.1.4 วาล์วลำดับค่าความดัน (Priority Valve หรือ Balance Or Selective Valve) วาล์วระบายชนิดนี้ถูกออกแบบกำจัดไม่ให้ไฮดรอลิคที่ผ่านวาล์วเพื่อกลับถังไปกดที่ด้านหลังลูกบอลล์ (Back Pressure) เป็นแรงไปเพิ่มแรงปิดของวาล์วตามที่กล่าวมาแล้วในข้อ 1.1.1 โดยการต่อก้านที่มีพื้นที่เท่ากับ พื้นที่หน้าตัดด้านหลังของลูกบอลล์ให้ยาวเลยออกไปพ้นตัวเรือนของวาล์วจึงไม่มีพื้นที่ให้ไฮดรอลิคที่ไหลเข้ามากดด้านหลังลูกบอลล์ได้ วาล์วนี้จะใช้กักค่าความดันที่ต่ำกว่าค่าความดันก่อนวาล์วเปิดเพื่อให้ระบบหนึ่งทำงานได้ก่อนที่วาล์วจะเปิดให้ความดันที่ปรับตั้งไว้เข้าไปให้อีกระบบหนึ่งทำงาน ถ้าทั้งสองระบบนี้ใช้ความดันจากที่เดียวกัน ตัวอย่างตามรูปที่ 4.3 ระบบเบรกกับระบบแฟลพทำงานโดยใช้ความดันมาจากที่เดียวกัน ขณะอากาศยานลงสู่พื้นจะต้องเก็บแฟลพโดยเร็วที่สุด ดังนั้นถ้าจะใช้เบรกไปด้วยการเบรกจะมามีผล เพราะไฮดรอลิคจำนวนมากจะถูกนไปใช้กับการเก็บแฟลพ (เนื่องจากสูบแฟลพต้องการปริมาณไฮดรอลิคเข้าไปทำงานมากกว่าที่ใช้ในระบบเบรก) ดังนั้นถ้าจะให้การเบรกได้ผลจะต้องติดตั้งวาล์วที่กักและลำดับค่าความดันได้เช่น Priority Valve หรือ Balance Relief Valve หรือ Selective Valve ไว้หน้าวาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) ของระบบแฟลพ เพื่อให้มีความดันที่ทางเข้าของวาล์วไปใช้กับระเบรกก่อนที่วาล์วจะเปิดให้ความดันที่ปรับตั้งไว้ผ่านออกไปใช้งานที่สูบแฟลพดังนั้น

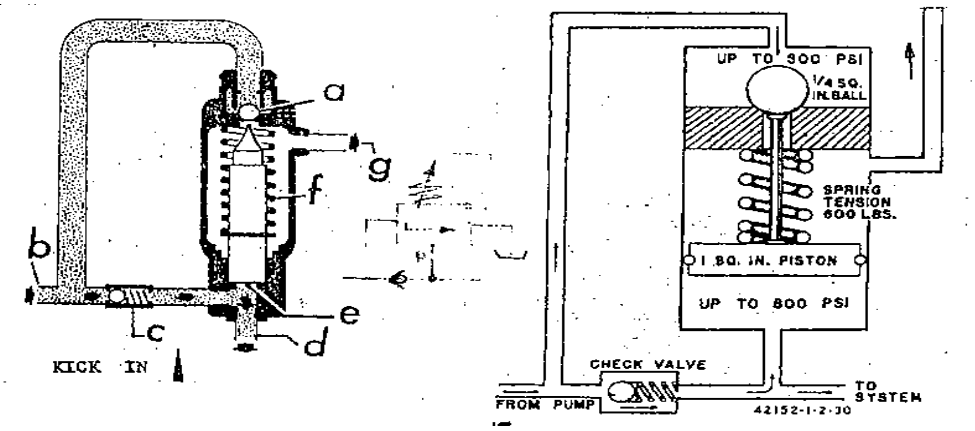


รูปที่ 4.3

(วงจรวาล์วลำดับค่าความดัน “Priority Valve OR Balance Relief Valve OR Selective Valve”)

จึงมีความดันจำนวนหนึ่งสำหรับใช้ในการเบรกได้ตลอดเวลาในระหว่างที่กำลังเก็บแฟลพอยู่ แต่อย่างไรก็ตาม จะใช้วาล์วระบายความดันปกติ (Conventional) ที่ไม่มีการกำจัดความดันย้อนกลับ (Back Pressure) มาลำดับค่าความดันไม่ได้เช่นในรูปที่ 4.3 วาล์ว “j” เป็นวาล์วระบายความดันปกติ โดยที่ Pressure Regulator”e” ส่งความดันเข้าระบบสูงสุด 1,000 ปตน. วาล์วระบาย “j” ปรับตั้งไว้ให้เปิดที่ 600 ปตน และสูบแฟลพ “b” ต้องการความดัน 500 ปตน. เพื่อเคลื่อนตัวทำงานเมื่อเปลี่ยน Selector Valve ของแฟลพให้แฟลพทำงานดังในรูปวาล์วระบายๆ จะเปิด (ถ้าความดันที่ทางเข้าเกิน 600 ปตน) เพื่อให้ความความดัน 500 ปตน. เข้าไปให้สูงแฟลพทำงานจึงมีความดันย้อนกลับ (Back Pressure) 500 ปตน. ด้านการเปิดของวาล์ว เมื่อรวมกับความดัน 600 ปตน. ที่ปรับตั้งไว้ให้วาล์วเปิดดังนั้นวาล์วนี้จะเปิดได้ต้องมีความดันที่ทางเข้าถึง 1,100 ปตน. แต่ระบบมีความดันสูงสุดเพียง 1,000 ปตน. เท่านั้น วาล์วจึงไม่สามารถเปิดให้แฟลพทำงานได้ ถ้าจะแก้ไขโดยปรับ Pressure Regulator และวาล์วระบายหลัก (System Relief Valve) ให้ความดันของระบบเพื่อขึ้น ความดันอาจจะเกินค่าความดันจำกัดของระบบ ทำให้เป็นอันตรายกับท่อทางและอุปกรณ์ในระบบได้ จึงต้องใช้วาล์วลำดับค่าความดัน (Priority Valve หรือ Balance Relief Valve หรือ Selective Valve) “k” ดังในรูปแทนวาล์วระบายปกติ “j” ถ้าความดันของระบบลดลงต่ำกว่าค่าที่ปรับตั้งวาล์วลำดับควมดันนี้ไว้ในขณะที่แฟลพกำลังทำงาน สปริงจะดันลูกบอลล์ในวาล์วให้ปิด ทำให้มีความดันที่ทางเข้าของวาล์วถูกกักไว้สำหรับใช้กับระบบเบรกได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวาล์วลำดับการทำงาน “Sequencing Valve” ก่อนหลังระหว่างอุปกรณ์สองอุปกรณ์ได้ เช่น ฐาน กับ ประตูปิดเปิดช่องฐาน

1.2 วาล์วโหลดหรือวาล์วปลดภาระปั้ม (Unloadding Valve) มีหน้าที่สำหรับลดโหลดหรือปลดภาระกรรมของปั้มประเภทปรับปริมาตรไม่ได้ หรือจ่ายปริมาตรคงที่ (Constant Volume Pump) ขณะที่ความดันในระบบถึงค่าสูงสุดและยังไม่ได้ไปใช้งาน เพื่อไม่ให้ปั้มสูญเสียกำลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ วาล์วลดโหลดปั้มมีหลายชนิดด้วยกัน รวมทั้ง “เพรสเซอร์เรกุเรเตอร์ (Pressure Regulator) ซึ่งนอกจากจะลดโหลดของปั้มแล้วยังทำหน้าที่กำหนดความดันในระบบอีกด้วย จึงขอกล่าวถึงการทำงานเฉพาะ Pressure Regulator เท่านั้น

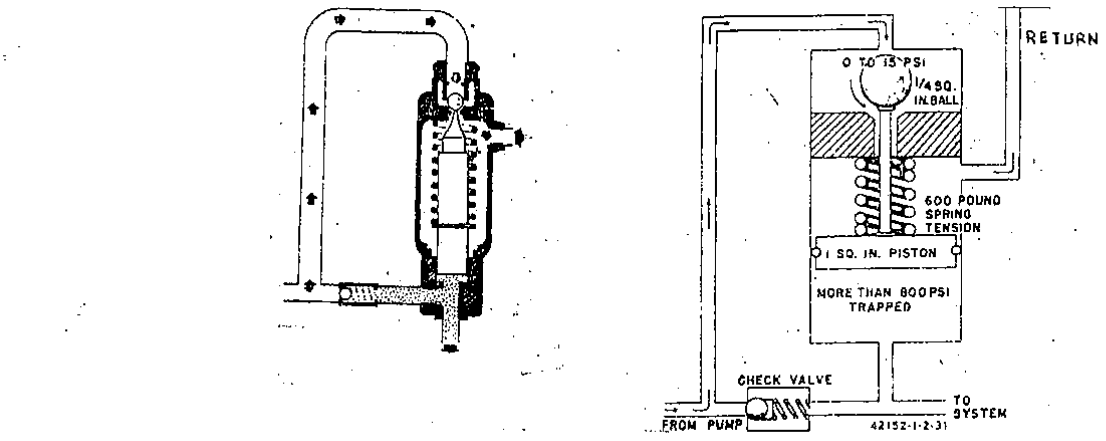


รูปที่ 4.4

(การทำงานของ Pressure Regulator **ในจังหวะ** “Kick In”)

การทำงานของ Pressure Regulator แยกออกเป็นสองจังหวะการทำงาน คือจังหวะส่งเข้า “Kick In” และจังหวะส่งออก “Kick Out” ในรูปที่ 4.4 แสดงการทำงานของ Pressure Regulator ในจังหวะส่งเข้า “Kick In” คือจังหวะที่ Pressure Regulator ส่งไฮดรอลิคจากปั้มเข้าระบบ โดยไฮดรอลิคจากปั้มจะไหลเข้าทางช่อง b ส่วนหนึ่งจะแยกขึ้นเข้าไปกดลูกบอลล์ a ที่ยึดกับลูกสูบ e ทางด้านบนของ Pressure Regulator ให้ปิดทางที่จะไหลออกไปทางช่อง g ดั้งนั้นไฮดรอลิคจากปั้มจึงไหลผ่าน Check valve “c” ออกไปได้ทางเดียวแล้วแยกเข้าไปดันลูกสูบ e ทีส่วนล่างของ Pressure Regulator และไปเข้าระบบทางช่อง d ถ้า Selector Valve อยู่ที่ตำแหน่ง “Neutral” ความดันของไฮดรอลิคจะขึ้นถึงค่าสูงสุดตามที่ปรับตั้ง Pressure Regulator ไว้แล้ว Pressure Regulator จะเปลี่ยนไปอยู่ในจังหวะส่งออก “Kick Out”

ในรูปที่ 4.5 แสดงการทำงานที่อยู่ในจังหวะส่งออก “Kick Out” คือจังหวะที่ Pressure Regulator เปิดให้ไฮดรอลิคจากปั้มทั้งหมดไหลกลับถัง จังหวะนี้เกิดขึ้นเมื่อไฮดรอลิคที่เข้าไปดันลูกสูบ e มีความดันสูงสุดตามความดันที่เกิดขึ้นในระบบชนะแรงดันของสปริงและแรงกดของไฮดรอลิคที่กดลูกบอลล์ a อยู่ที่ด้านหลังจึงดันลูกสูบ e ขึ้นไป ลูกบอลล์ a จึงเปิดให้ไฮดรอลิคด้านบนไหลออกผ่านช่อง g กลับถังได้ปั้มจะหมุนจ่ายอัตราการไหลออกมาตามปกติ (ไม่ได้หมุนตัวเปล่าเหมือนปั้มปรับปริมาตรได้) แต่ไม่มีความดันเกิดขึ้นเพราะการไหลไม่ถูกขัดขวางดังนั้นจึงไม่มีดโหลดเกิดขึ้นกับปั้ม และความดันทางด้านหน้าของ Check Valve จะไม่มีด้วย Check Valve จะกักความดันทางด้านหลังซึ่งเป็นความดันของระบบไว้ให้คงที่ตลอดเวลาที่



ความดันยังไม่ถูกใช้งาน

รูปที่ 4.5

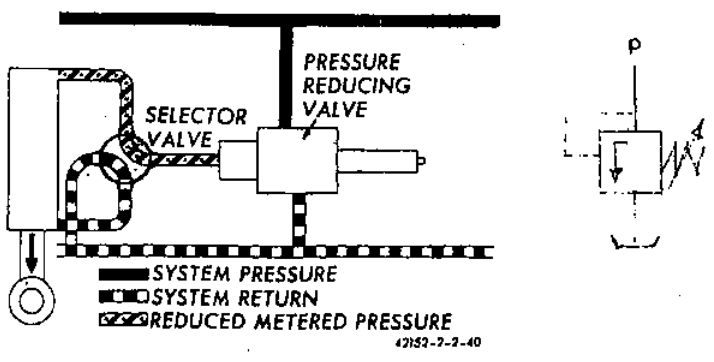
(การทำงานของ Pressure Regulator **ในจังหวะ** “Kick Out”)

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เสริมความดันคือ ถังสะสมความดัน (Accumulator) รักษาความดันให้คงที่เพื่อช่วยไม่ให้ Pressure Regulator เกิด “Kick Out” สลับกันถี่ขึ้น เมื่อความดันในระบบลดลงความดันที่เข้าไปดันลูกสูบ e จะลดลงตามจนแรงดันของสปริงและแรงกดขอบไฮดรอลิคที่กดลูกบอลล์อยู่ด้านบนขณะแรงดันของไฮดรอลิคที่ดันลูกสูบขึ้น ลูกสูบจะถูกันให้เลื่อนลงมาทางด้านล่างพร้อมกับพาลูกบอลล์ลงมาปิดช่องไม่ให้ไฮดรอลิคออกไปที่ช่อง g ใหม่ Pressure Regulator จะเปลี่ยนไปอยู่ในจังหวะส่งเข้า “Kick In” การเปลี่ยนแปลงจังหวะ “Kick In กับ “Kick Out” สลับกับเป็นวงรอบตามความดันของระบบที่เปลี่ยนแปลงเรียกว่า “Pressure Regulator Cycling” โดยกำหนดเวลาจากความดัน 0 ไปจนถึงความดันสูงสุดที่ Pressure Regulator เปลี่ยนไปอยู่จังหวะ “Kick Out” ว่าใช้เวลาเท่าไหร่ ถ้าใช้เวลานานกว่าที่กำหนดแสดงว่าเกิดการรั่วไหลที่ Pressure Regulator หรือที่อุปกรณ์ในระบบ

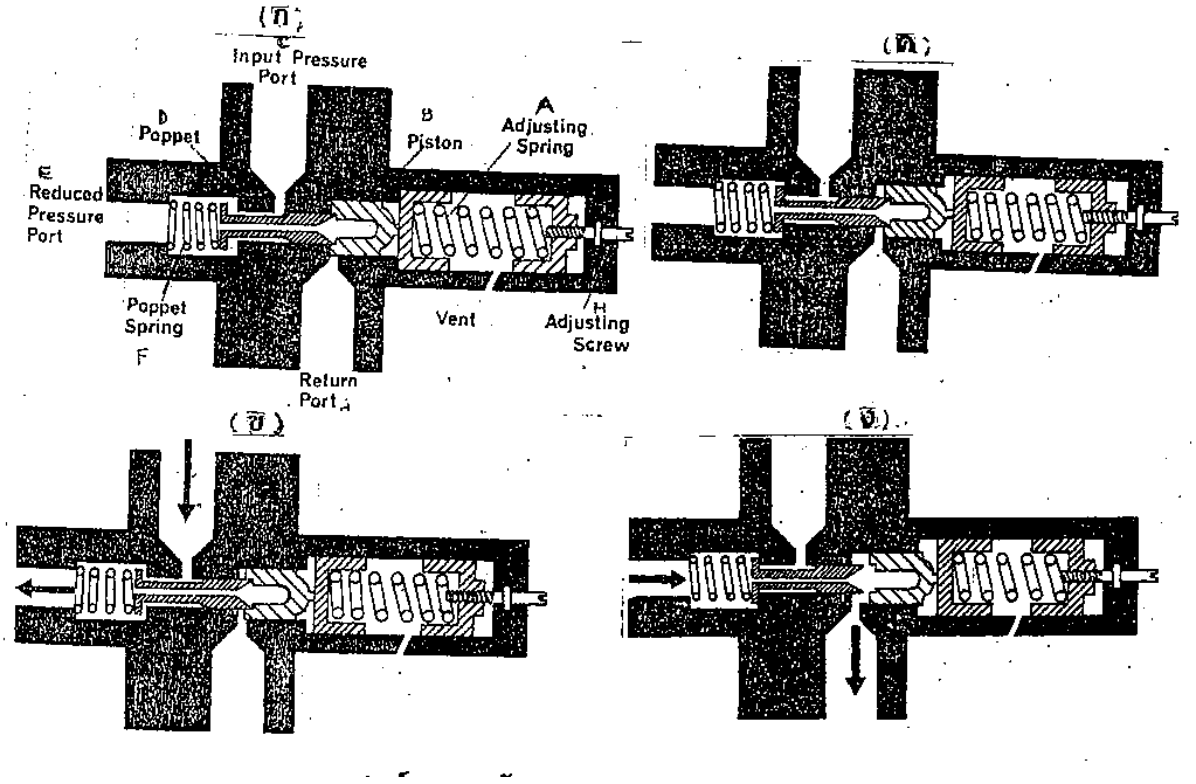
อย่างไรก็ตามแม้ว่า Pressure Regulator จะควบคุมความดันในระบบให้คงที่ด้วย แต่ก็ยังต้องมีวาล์วระบายของระบบ (System Relief Valve) ติดตั้งอยู่ด้วยเพื่อป้องกันอันตรายจากการความดันที่สูงเกินปกติหาก Pressure Regulator เกิดการชำรุด เช่น ค้างอยู่ในจังหวะ “Kick In” ตลอดเวลาทำให้เกิดความดันสูงเกินค่าปกติที่ปรับตั้ง Pressure Regulator ไว้ให้ “Kick Out” วาล์วระบายจะได้ระบายความดันที่สูงเกินปกติออกไป ดังนั้นจึงต้องปรับตั้งค่าความดันที่วาล์วระบายให้สูงกว่าค่าความดันที่ปรับตั้ง Pressure Regulator ไว้ ถ้าปรับตั้งค่าความดันที่วาล์วระบายไว้ต่ำกว่า Pressure Regulator จะทำให้ Pressure Regulator ไม่มีจังหวะ “Kick Out” เกิดขึ้น

อนึ่งระบบไฮดรอลิคในอากาศยานปัจจุบันจะไม่ใช้ Pressure Regulator กันแล้ว เพราะใช้ปั๊มไฮดรอลิคประเภทปรับปริมาตรได้ (Variable Volume Pump) ซึ่งลดโหลดได้ในตัวเอง จึงไม่จำเป็นต้องใช้ Pressure Regulator

1.3 วาล์วลดความร้อน (Pressure Reducting Valve) การทำงานในบางส่วนของระบบไฮดรอลิคจะใช้ความดันที่ต่ำกว่าความดันของระบบ จึงต้องมีวาล์วสำหรับลดความดัน (Pressure Reductin Valve) ของระบบที่จะนำไปใช้กับส่วนนี้ลงนอกจากนี้ในวาล์วลดความดันบางชนิดยังมีวาล์วระบายความดันย่อยเพื่อระบายความดันสูงที่เกิดจากไฮดรอลิคได้รับอุณหภูมิสูงอยู่ในตัววาล์วอีกด้วย



Typical installation of a pressure-reducing valve.



รูปที่ 4.6

(วาล์วลดความดัน ‘Pressure Reducing Valve”)

การทำงานตามรูปที่ 4.6 วาล์วลดความดันจะติดตั้งไว้ก่อน วาล์วเปลี่ยนทาง (Selectoe Valve) ของอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ความดันต่ำกว่าความดันของระบบ (รูปบนซ้ายมือ) ตัววาล์วจะมีช่องทาง 3 ช่องด้วยกัน แต่ละช่องจะต่อเข้ากับทางความดันของระบบ, ทางกลับถัง และทางที่จะนำไปใช้งาน

รูปที่ 4.6 ก แสดงสภาพของวาล์วลดความดัน ขณะยังไม่มีไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามาทางช่อง C (Input Pressure Port) สปริง A จะยืดออกมาดันลูกสูบรูปตัวยู B ให้ไปดัน Poppet D ชนะแรงดันสปริง F เคลื่อนตัวมาทางซ้ายจนสุดระยะทำให้ช่องระหว่างช่องออก E (Reduce Pressure Port) กับช่องเข้า C (Input pressure Port) เปิดกว้างสุดตามขนาดที่ปรับตั้งวาล์วไว้ (แต่ให้มีขนาดเล็กกว่าช่องเข้า)

รูปที่ 4.6 ข. วาล์วกำลังลดความดันจากระบบส่งออกไปใช้งาน เมื่อไฮดรอลิคภายใต้ความดันเข้ามาทางช่อง C แล้วผ่านช่องว่างระหว่างช่อง C กับช่อง E ออกไปความดันจะลดลงเนื่องจากปริมาณไฮดรอลิคน้อยกว่าทางเข้าเพราะช่องออกมีขนาดเล็กกว่า ถ้าความดันที่ช่องออก E นี้สูงขึ้นจนความดันที่เข้าไปที่ช่อง

กลวงตรงกลางของ Poppet D ชนะแรงดันองสปริง A จะดันลูกสูบรูปตัวยู B ให้เคลื่อนมาทางขวา พร้อมกันนั้นแรงดันของ Poppet สปริง F รวมกับแรงดันไฮดรอลิคที่กระทำบนหน้าแปลนของ Poppet D ทางด้านซ้ายจะดันให้ Poppet D เลื่อนตัวไปทางขวาเป็นลำดับตามความดันที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ช่องระหว่างช่องเข้า C กับช่องออก E ลดขนาดลงเป็นลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องนี้จะทำให้ความดันที่ช่องออก E คงที่ตลอดขณะลดความดันส่งไปใช้งานไม่ว่าแรงต้านจากโหลดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

รูปที่ 4.6 ค แสดงสภาพวาล์วลดความดันหลังจากปิดวาล์วเปลี่ยนทางหยุดการทำงานของอุปกรณ์เมื่อปิดวาล์วเปลี่ยนทางหรือให้วาล์วเปลี่ยนทางอยู่ Neutral แล้ว ไฮดรอลิคภายใต้ความดันที่เข้ามาทางช่อง C จะออกไปที่ช่อง E ไม่ได้จึงเกิดความดันเพิ่มสูงขึ้นจนดันให้ Poppet D เคลื่อนมาปิดช่องระหว่างช่อง C กับช่อง C กับช่อง E กักไฮดรอลิคระหว่างวาล์วเปลี่ยนทางกับวาล์วลดความดันไว้ไม่ให้วาล์วลดความดันเปิดระหว่างที่ไม่ใช้งาน

รูปที่ 4.6 ง แสดง Thermal Relief Valve ภายในวาล์วลดความดันกำลังอยู่ในตำแหน่งเปิด เพื่อระบายความดันสูงเกินปกติที่เกิดจากไฮดรอลิคที่กักไว้ระหว่างวาล์วเปลี่ยนทางกับวาล์วลดความดันขยายตัวเนื่องจากได้รับอุณหภูมิสูง โดยไฮดรอลิคที่เกิดความดันสูงจะดันลูกสูบรูปตัวยู B ชนะแรงดันสปริง A แยกตัวจาก Poppet D ออกไปทางขวาเปิดช่องให้ไฮดรอลิคไหลกลับถังทางช่อง Return Port ได้

วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve) สามารถจะปรับตั้งค่าความดันที่ต้องการจะลดได้โดยปรับที่สกรู H (Adjusting Screw) เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันของสปริง A ที่กระทำกับลูกสูบรูปตัวยู B

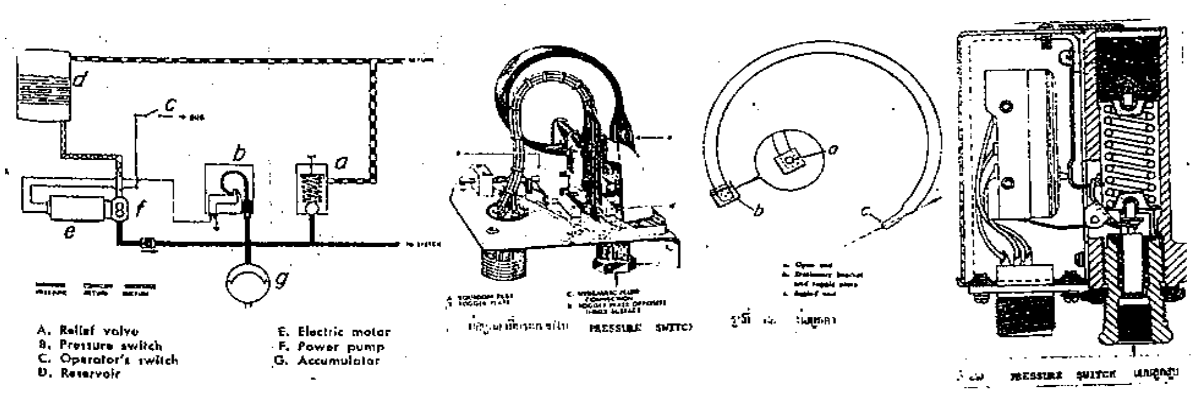
1.4 เครื่องวัดความดัน (Pressure Gage) ใช้วัดความดันในระบบเพื่อแสดงให้ทราบว่าระบบเพื่อแสดงให้ทราบว่าระบบมีความดันมากน้อยเท่าไหร่แบ่งออกเป็นสอบแบบคือ แบบอ่านตรง (Direct Reading) กับแบบส่งทอด (Remote Reading)

1.4.1 แบบอ่านตรง (Direct Reading) เป็นเครื่องวัดที่อ่านความดันจากระบบโดยตรง โดยการต่อความดันจากจุดใดจุดหนึ่งในส่วนต้นกำลัง (Power Section) ของระบบมาเข้าเครื่องวัดโดยตรง โครงสร้างของเครื่องวัดจะเป็นแบบท่อ บูดอง (Bourdon Type) มี Orifice หรือ Snupper Valve ลดการกระโชกของความดันที่เข้าเครื่องวัดเพื่อช่วยทำให้เข็มชี้ไม่เกิดอาการสั่น (Fluctuated) เครื่องวัดอ่านตรงนี้ไม่นิยมติดตั้งกับอากาศยาน เพราะมีความดันไฮดรอลิคสูงเข้าไปที่เครื่องวัดในห้องนักบิน หากท่อแตกนะเป็นอันตรายกับนักบินได้

1.4.2 แบบส่งทอด (Remote Reading) แบบนี้จะมีตัวถ่ายทอดความดัน “Transmitter” ติดตั้งอยู่ภายนอกห้องนักบินความดันจากส่วนต้นกำลัง (Power Section) ของระบบจะต่อมาเข้ามาที่นี่ แล้วถ่ายทอดออกเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปเข้าที่เครื่องวัดความดันในห้องนักบิน ปัจจุบันอากาศยานจะใช้เครื่องวัดความดันไฮดรอลิคแบบนี้ เพราะไม่มีท่อไฮดรอลิคความดันสูงเข้าไปในห้องนักบิน

1.5 สวิทซ์ความดัน (Pressure Switch) คือสวิทซ์ปิด เปิดวงจรไฟฟ้าที่ทำงานด้วยความดัน เช่น ระบบไฮดรอลิคที่ใช้ปั๊มขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า Pressure Switch จะปิด เปิดวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ตามค่า

ความดันที่ตั้งไว้ หรือใช้กับระบบเตือน เช่นถ้าความดันต่ำถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้จะเชื่อวงจรให้ไฟเตือนความดันต่ำติด



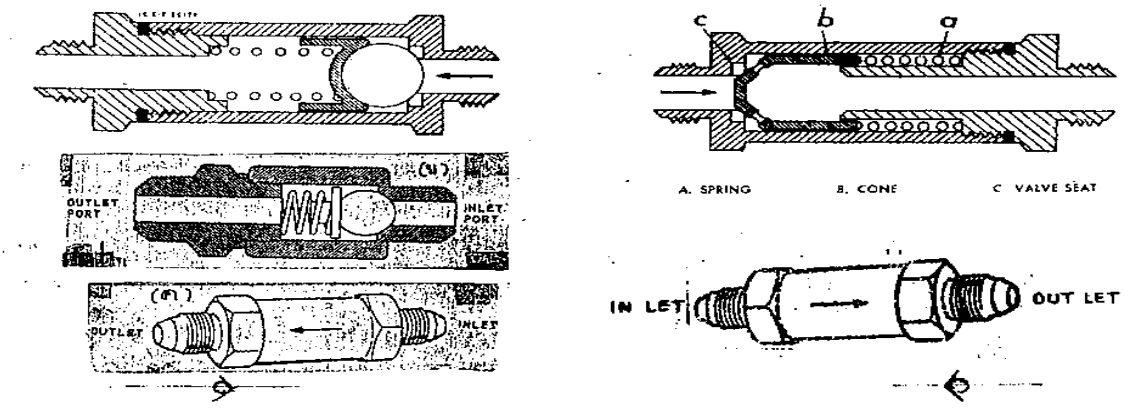
รูปที่ 4.7

(การทำงานของ Pressure Switch)

ตามรูปที่ 4.7 Pressure Switch เป็นแบบท่อบูดอง ติดตั้งไว้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับปั้มไฮดรอลิค ท่อบูดองจะทำให้หน้าสัมผัส “Contack” ส่วนที่ต่อสายมาจากมอเตอร์และติดอยู่กับท่องบูดอง สัมผัสกับอีกส่วนหนึ่งที่เป็นสาย Ground ตลอดเวลาขณะที่ระบบไม่มีความดัน หรือความดันยังไม่สูงถึงค่าที่ปรับตั้งไว้ เมื่อเชื่อมสวิทซ์ ”c” ไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์จึงครบวงจรหมุมอเตอร์ขับปั้มจ่ายไฮดรอลิคออกมาจนความดันในระบบสูงถึงค่าที่ปรับตั้งไว้ ท่อบูดองจะถูกความดันดันให้ยืดออกหน้าสัมผัสจึงจากกันวงจรไฟฟ้าเข้ามอเตอร์จึงเปิดมอเตอร์จึงหยุดหมุน ระหว่างนี้ถ้าความดันลดลง Pressure Switch จะเชื่อมวงจรให้มอเตอร์หมุนขับปั้มใหม่ ค่าความดันที่ปรับตั้งใหม่มอเตอร์หยุดับปั้มจะต้องต่ำกว่าค่าความดันที่ปรับตั้งให้วาล์วระบา “a” เปิด เพราะถ้าหาก Pressure Switch ไม่ตัดวงจรความดันที่สูงเกินเกณฑ์จะได้ระบายออกทางวาล์วระบายนี้

2. **วาล์วควบคุมการไหล** (Flow or Directional Control Valve) ใช้สำหรับควบคุมการไหลให้คงที่ ลดอัตราการไหล ให้ไหลทางเดียว และเปลี่ยนทิศทางการไหล

2.1 วาล์วกันกลับ หรือวาล์วทางเดียว (One Way Check Valve) จะยอมให้ไฮดรอลิคไหลผ่านได้ทางเดียว ไหลย้อนกลับไม่ได้มีประโยชน์เพื่อใช้กักความดันด้านที่ไหลผ่านได้ไว้โดยไม่ให้ความดันย้อนกลับมา เช่น วาล์วกันกลับที่ติดตั้งไว้ที่ทางออกของปั๊มไฮดรอลิค อนึ่งวาล์วนี้จะเรียกสั้น ๆ ว่า เช็ควาล์ว (Check Valve)

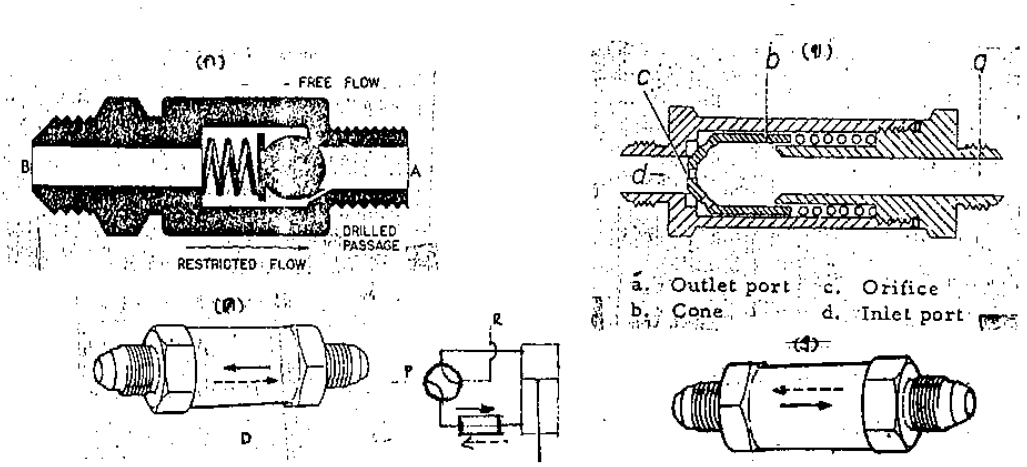


รูปที่ 4.8

(โครงสร้างของวาล์วทางเดียว “One Way Check”)

ตามรูปที่ 4.8 โครงสร้างของวาล์วประกอบด้วยลูกบอลล์ หรือ กรวยอยู่ภายในตัวเรื่อนและมีสปริงคอยดันให้ลูกบอลล์หรือกรวยปิดปิดช่องทางเข้าตลอดเวลาที่ยังไม่มีความดันมาเข้า เมื่อความดันเข้ามาทางช่องเข้า (Inlet Port) จะดันลูกบอลล์ให้เคลื่อนไปทางซ้าย (รูปบนด้านขวา) หรือดันกรวยให้ไปทางขวา (รูปซ้าย) เปิดทางให้ไฮดรอลิคไหลผ่านออกไปทางช่องออก (Out Let Port) แรงดันของสปริงมีแค่เพียงดันลูกบอลล์หรือกรวยให้ปิดช่องทางเข้าขณะไม่มีความดัน หรือขณะที่กักความดันไว้ทางด้านออกเท่านั้นจึงมีแรงกดลูกบอลล์หรือกรวยน้อยมาก ไฮดรอลิคที่ไหลผ่านไปแล้วจะไหลย้อนกลับไม่ได้เพราะแรงดันขงสปริงรวมกับความดันไฮดรอลิคที่กักไว้ที่ทางออกจะดันลูกบอลล์หรือกรวยให้ปิดตลอดเวลาที่ความดันที่ทางเข้าน้อยกว่าที่ทางออก ถ้าติดตั้งวาล์วกันกลับทางระบบจะไม่ทำงาน ดังนั้นจึงต้องติดตั้งวาล์วกันกลับให้ไฮดรอลิค ออกไปตามทิศทางของหัวลูกศรที่ตัววาล์ว

2.2 วาล์วทางเดียวมีช่องแคบไหลกลับ (Orifice Check Valve) เป็นวาล์วทางเดียวที่มีช่อแคบจำกัดน้ำมันให้ไหลย้อนกลับได้น้อยกว่าไหลออก เพื่อใช้ติดตั้งกับท่อทางที่ไหลสลับเข้าออก (Alternate Line) ของอุปกรณ์หรือสูบงาน ให้ทำงานตามปกติทางหนึ่ง อีกทางหนึ่งหน่วงให้ทำงานช้าลง เช่น การทำงานของระบบแฟลพ (Flap) ถ้าไม่ต้องให้แฟลพปิดโดยทันทีทันใดเนื่องจากมีแรงจากกระแสอากาศช่วย ซึ่งการปิดโดยทันทีนั้นแรงกระแทกอาจทำให้โครงสร้างชำรุดได้ จะต้องติดตั้ง Orifice Check Valve ไว้ที่ท่อทางด้าน UP ของแฟลพ



รูปที่ 4.9

(วาล์วทางเดียวมีช่องแคบไหลกลับ "Orifice Check Valve")

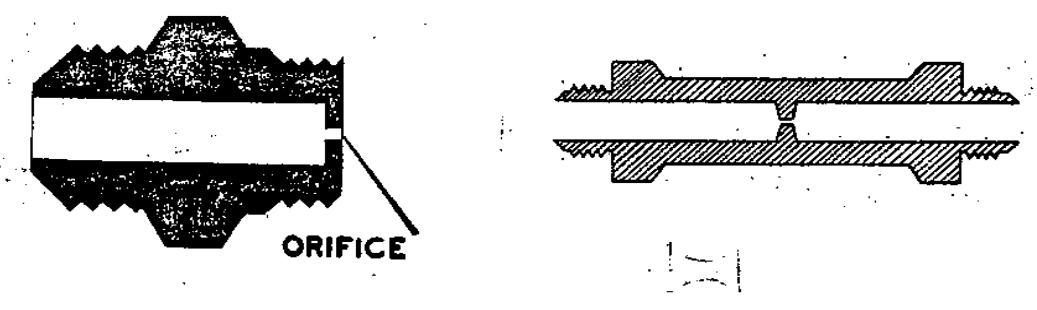
การติดตั้ง Orifice Check Valve ต้องให้ทางออกปกติ a (รูป 4.9ก, ข) ต่อเข้าสูบแฟลพ คือให้หัวลูกศรเส้นทึบไปทางสูบแฟลพ หัวลูกศรเส้นประไปทางทางเข้าของไฮดรอลิค (รูปที่ 4.9ค) ซึ่งเครื่องหมายลูกศรนี้จะแส่ดงไว้ที่ตัวเรือนของวาล์ว การทำงานเมื่อกางแฟลพไฮดรอลิคจะไหลผ่านวาล์วออกไปเข้าสูบแฟลพให้แฟลพกางตามปกติ เมื่อปิดแฟลพไฮดรอลิคด้านที่ถูกขับออกจากสูบแฟลพให้กลับถังจะไหลผ่านกลับถังทางช่องแคบ (Orifice) เท่านั้น จึงหน่วงการปิดของแฟลพให้ช้าลงได้

2.3 วาล์วช่องแคบ (Orifice Valve) คือคอคอดที่ใช้จำกัดอัตราการไหลให้ไหลช้าลง ถ้าเปรียบเทียบกับแถวทหารตอนเรียงปดที่จะต้องข้ามสะพานซึ่งกว้างแค่ให้แถวตอนเรียงสี่เท่านั้นผ่านได้ จะต้องแปรแถวจากตอนเรียงแปดเป็นตอนเรียงสี่ ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการข้ามสะพานมากขึ้น (ข้ามสะพานได้ช้า) อัตราการไหลของไฮดรอลิคที่ผ่านคอคอดจะขึ้นอยู่กับ

- ขนาดของช่องแคบ สร้างค่าคามดันแตกต่างทีทางเข้ากับทางออกของคอคอด
- ความดันแตกต่างระหว่างทางเข้ากับทางออก ความดันแตกต่างมากการไหลเร็วขั้น
- อุณหภูมิของไฮดรอลิค อุณหภูมิสูงความหนืดลดลงการไหลเร็วขึ้น

วาล์วคอคอด มีทั้งแบบคอคดเหนือช่องแคบตายตัวปรับขนาดไม่ได้ (Fixed Orifice) และปรับขนาดคอคอดได้ (Variable Orifice)

2.3.1 วาล์วช่องแคบปรับขนาดไม่ได้ (Fixed Orifice) ขนาดช่องแคบจะมีขนาดตายตัวตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดซึ่งไม่ควรแก่ไขหรือเปลี่ยนแปลงทำได้เพียงทำความสะอาดเท่านั้น การไหลเข้าและการ

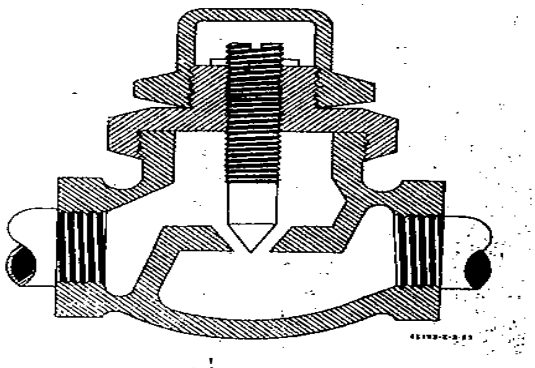


ไหลออกจะมีอัตราการไหลเท่ากันทั้งสองด้าน ดูรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10

(วาล์วช่องแคบปรับขนาดไม่ได้ "Fixed Orifice")

2.3.2 วาล์วช่องแคบปรับขนาดได้ (Variable Orifice) มีหน้าที่และการทำงานเช่นเดียวกับแบบช่องแคบตายตัว (Fixed Orifice) แต่ช่องแคบสามารถปรับตั้งขนาดได้ โดยการปรับวาล์วเข็ม (Needle Valve) เข้า-ออกช่องแคบจะเปลี่ยนขนาดไปตามต้องการ (ตามรูปที่ 4.11)

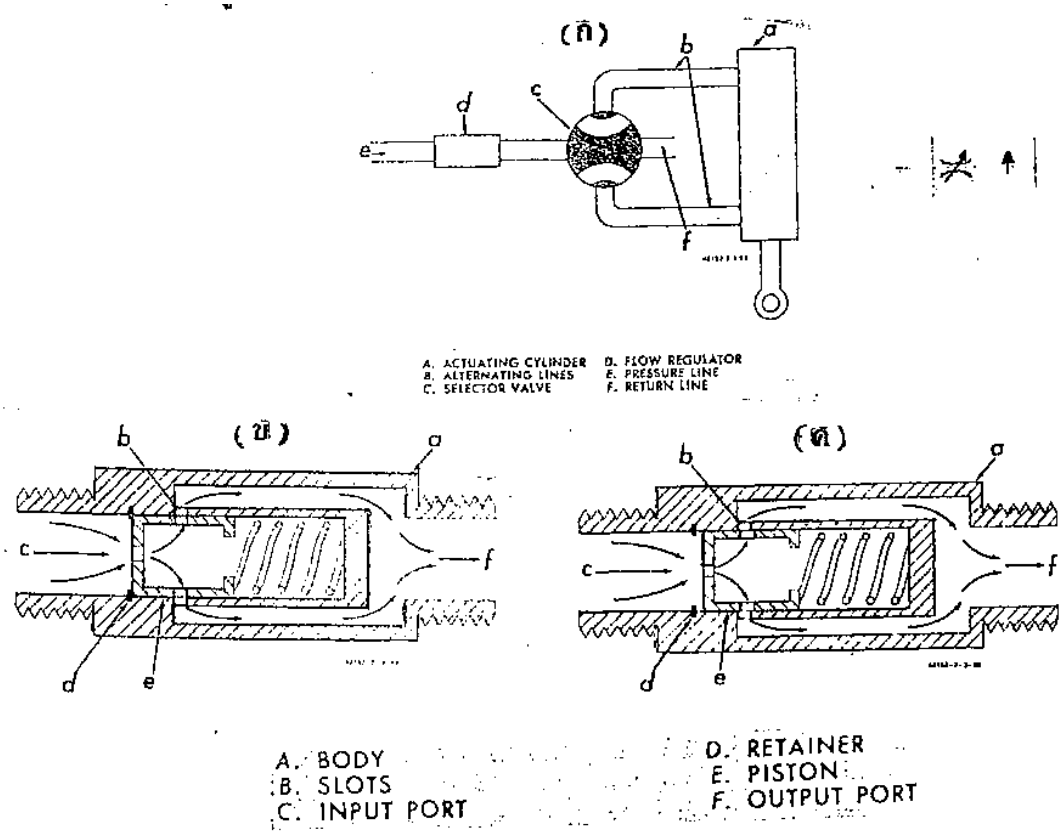


รูปที่ 4.11

(วาล์วช่องแคบปรับขนาดได้ "Variable Orifice")

ถ้าปรับวาล์วเข็มให้คลายออก ขนาดของช่องแคบจะกว้างขึ้น อัตราการไหลออกจะมากขึ้น การทำงานจะเร็วขึ้นตรงกันข้ามถ้าปรับวาล์วเข็มเข้า ขนาดช่องแคบจะเล็กลง อัตราการไหลออกจะน้อยลงการทำงานจะช้าลง

2.4 วาล์วปรับอัตราการไหล (Flow Regulator) เนื่องจากวาล์วช่องแคบทั้งปรับขนาดไม่ได้ และปรับขนาดได้ตามที่กล่าวแล้ว ไม่สามารถจะปรบการไหลเข้า ออกโดยอัตโนมัติเพื่อควบคุมความเร็ว (Speed) ของสูบงาน



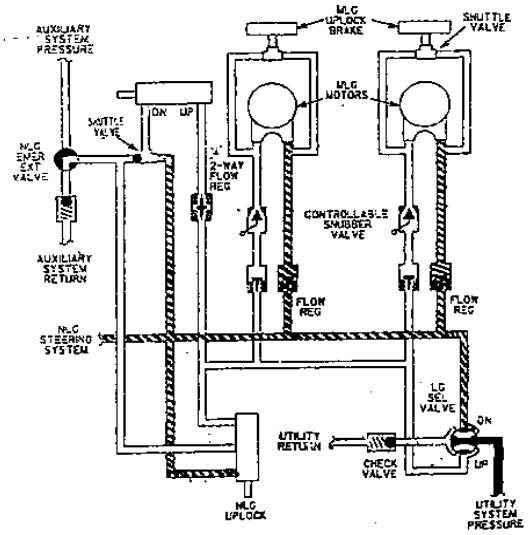
ได้ ถ้าหากความดันองระบบหรือโหลดเพิ่มขึ้นหรือลดลง จึงต้องใช้วาล์วปรับอัตราการไหล (Flow Regulator) ปรับการไหลเออกเพื่อควบคุมความเร็ว (Speed) ของสูบงาน ไม่ว่าความดันของระบบหรือโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร วาล์วที่ปรับอัตราการไหลออกได้เพียงด้านเดียว (One Way Flow Regulator) จะมีลูกศรที่ตัวเรือนวาล์วชี้บอกทิศทางด้านที่ปรับอัตราการไหลออกไปใช้งาน

รูปที่ 4.12

(วงจร "Flow Regulator Valve" **ปรับการไหลด้านเดียวติดตั้งหน้าวาล์วเปลี่ยนทาง)**

การทำงานตามรูปที่ 4.12ค ซึ่งเป็นวาล์วปรับอัตราการไหลด้านเดียวจากซ้ายไปขวา ถ้าไฮดรอลิคที่ทางเข้า c ไหลผ่านช่องแคบที่หัวลูกสูบ e ด้วยอัตราการไหลสูงขึ้น (เพราะเปิดวาล์วเปลี่ยนทางให้ไฮดรอลิคไหลเข้าสูบงาน) จะทำให้ความดันแตกต่างระหว่างไฮดรอลิคที่จะผ่านช่อแคบกับที่ทางออกจากช่องแคบมากขึ้นด้วยลูกสูบ e จึงถูกดันให้เลื่อนตัวกดสปริงไปทางขวา เมื่อลูกสูบ e เลื่อนมาทางขวาช่องด้านข้างของลูกสูบจึงเยื้องกับช่อง b ในตัวเรือนของวาล์ว ไฮดรอลิคที่จะไหลออกไปจึงถูกจำกัดให้ไหลช้าลง (แต่อย่างไรก็ตามลูกสูบจะไม่ถูกนให้เลื่อนมาถึงกับปิดช่อง b จนสนิท เพราะว่าความดันไฮดรอลิคด้านหลังลูกสูบกับแรงต้านของสปริงจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความดันที่ด้านหน้าทำให้ลูกสูบ e ไม่สามารถเลื่อนมาปิดช่อง b จนสนิทได้) เมื่อความดันยิ่งสูงช่องออกที่ช่อง b จะยิ่งเล็กลง จึงเป็นการจึงเป็นการลดอัตราการไหลที่ออกไปเข้าสูบงานลง หรือถ้าแรงต้านการเคลื่อนเคลื่อนที่ของลูกสูบงานลดลง อัตราการไหลออกจากช่อง f จะเริ่มเร็วขึ้นความดันด้านหลังลูกสูบจะลดลง ทำให้ลูกสูบเลื่อนตัวไปทางขวาเช่นกัน เพิ่มการเยื้องระหว่างช่องด้านข้างของลูกสูบกับ กับช่อง b มากขึ้นอัตราการไหลที่จะไหลออกไปทางช่อง f จะน้อยลง ดังนั้นวาล์วปรับอัตราการไหล "Flow Regulator Valve" จะรักษาอัตราการไหลให้สูบงานทำงานด้วยความเร็วปกติถ้าความดันของระบบหรือแรงต้านการเคลื่อนที่ของสูบงาน (Load) เปลี่ยนแปลง การทำงานของวาล์วปรับอัตรากรไหลด้านเดียว d ที่ติดตั้งไว้หน้าวาล์วเปลี่ยนทาง c ตามรูปที่ 4.12ก จะปรับอัตรากรไหลเฉพาะไฮดรอลิคที่ป้อนเข้าไปให้สูบงานยืดออกหรือหดเข้าเท่านั้น ส่วนที่ถูกขับออกกลับถังจะไม่มีการปรับอัตราการไหล ดังนั้นถ้าโหลดทั้งสองด้านของสูบงานต่างกันจะต้องใช้ วาล์วปรับอัตราการไหลด้านเดียวติดตั้งไว้ที่ทางไหลสลับเข้าออก (Altmate Line) ของสูบงานด้านละตัวเช่นในระบบกางฐาน พับฐานของฐาน Main ตามรูปที่ 4.13 เมื่อพับฐาน Flow Regulator ด้านกางฐาน (Down Line) จะปรับอัตราการไหลออกจากไฮดรอลิคมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของการพับฐาน เมื่อกางฐาน Flow Regulator ด้านพับฐาน (Up Line) จะปรับอัตราการไหลที่ออกจากไฮดรอลิคมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของการกางฐานเช่นเดียวกัน

ส่วนวาล์วปรับอัตราการไหลสองทาง “2 way Flow Regulator” ที่ติดตั้งไว้ที่ด้านพับฐาน (Up Line) ของฐาน Nose จะปรับอัตราการไหลเพื่อควบคุมความเร็วทั้งการพับและการงของฐาน Nose โดยการปรับอัตราการไหลขณะเข้าไปพับฐานและปรับอัตราการไหลที่ออกจากสูบฐานขณะกางฐาน ไม่มีการปับอัตราการไหลที่ป้อนเข้าไปกางฐาน (เพื่อให้ไหลเข้าไปกางฐานได้อย่างเต็มที่) การติดตั้ง Two way Flow Regulator ลักษณะนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดโพรงอากาศ (Cavitation) ที่เกิดขึ้นจากฐานกางลงเร็วเกินไปเนื่องจาก

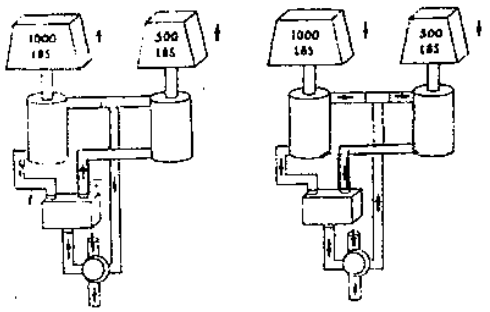


น้ำหนักของฐาน และแรงจากกระแสอากาศ (Air Load) อีกด้วย

รูปที่ 4.13

(การติดตั้งวาล์วปรับอัตราการไหลทางเดียว และทั้งสองทางหลังวาล์วเปลี่ยนทาง)

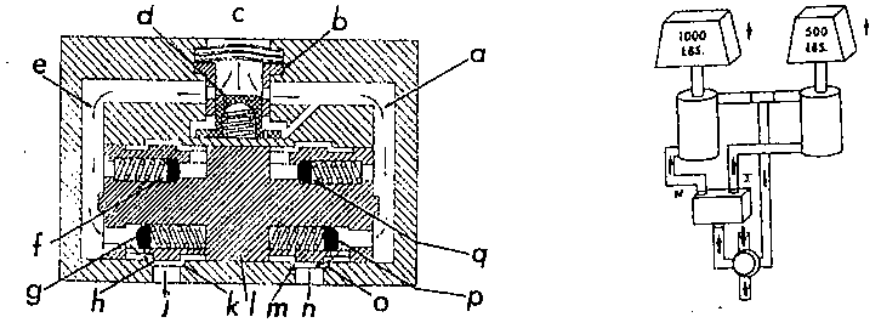
2.5 โฟล์อีควอลไลเซอร์วาล์ว (Flow Equalizer Valve) ใช้สำหรับปรับอัตราการไหลให้สูบงาน 2 สูบงานที่มีโหลดต่างกันใช้ความดันจากทางเดียวกัน ทำงานได้พร้อมกัน เช่นตามรูปที่ 4.14 สูบงานที่มีโหลด 1,000 ปอนด์ กับสูบงานที่มีโหลด 500 ปอนด์ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วเปลี่ยนทางให้ความดันเข้าไปที่สูบงานทั้งสอง สูบงานทั้งสองจะทำงานด้วยความเร็วเท่ากันและเสร็จพร้อมกันทั้งการเคลื่อนที่ออกและเคลื่อนที่เข้า



รูปที่ 4.14

(ตำแหน่งที่ติดตั้ง Flow Equalizer Valve)

ตามรูปที่ 4.14 “Flow Equalizer Valve” ติดตั้งอยู่ระหว่างวาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) กับสูบงานทั้งสองที่มีโหลดต่างกันทางด้านที่ทำให้ลูกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ออก ในการเคลื่อนที่ออกไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากวาล์วเปลี่ยนทางออกมาเข้า Flow Equalizer Valve ทางเดียวแล้ว Flow Equalizer Valve จะแยกออกเป็นอิสระสองทางไปเข้าสูบงานแต่ละสูบงาน (รูปที่ 4.14ก) ส่วนการเคลื่อนที่เข้าไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากวาล์วเปลี่ยนทาง จะมาเข้าทางด้านบนของสูบงานแต่ละสูบงานโดยตรงโดยไม่ผ่าน Flow Equalizer Valve ส่วนไฮดรอลิคที่ถูกขับออกจากด้านล่างของสูบงานแต่ละสูบงานจะไหลมากเข้า Flow Equalizer Valve แล้วรวมเป็นทางเดียวกันไหลออกกลับถัง (รูปที่ 4.14ข) Flow Equalizer Valve จึงควบคุมลูกสูบของสูบงานทั้งสองให้เคลื่อนออกและเคลื่อนเข้าได้พร้อมกัน

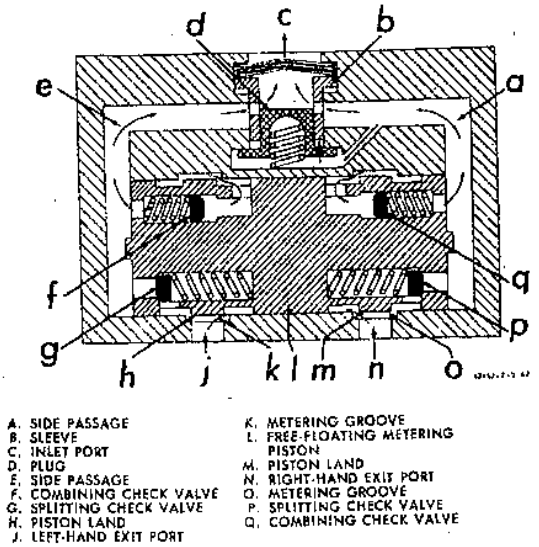


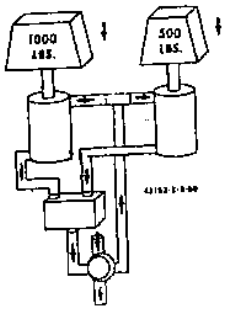
รูปที่ 4.15 (**การทำงานของ** Flow Equalizer Valve)

การทำงานของ Flow Equalizer Valve ขณะแยกความดันเป็นสองทางให้สูบงานทั้งสองเคลื่อนที่ออกตามรูปที่ 4.15ก เมื่อไฮดรอลิคภายใต้ความดันจาก วาล์วเปลี่ยนทางเข้ามาทางช่อง c จะกดปลั๊ก d ลงไปทำให้ข่องวงแหวนที่ Sleeve b เปิดกว้างสุด ไฮดรอลิคจะไหลผ่านแยกไปเข้ายังช่อง b และช่อง a ผ่านวาล์วกันกลับ (Check Valve) g และ p ออกไปที่ช่องออกและ n เพื่อไปเข้าสูบงานแต่ละสูบงาน ความแตกต่างของอัตราการไหลที่ไหลไปเข้าสูบงานทั้งสอง ทำให้ความดันที่ช่องออกทั้งสองแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้ลูกสูบลอย (Free Floating Metring Piston) ที่ลอยตัวอยู่ในวาล์วเลื่อนตัวไปทางขวาและทาซ้ายได้ตามความดันที่แตกต่างกัน

การเลื่อนตัวของลูกสูบลอย l จะเปลี่ยนแปลงขนาดช่อง j และ n ดังนี้ ถ้าให้สูบงานที่เคลื่อนตัวได้ง่าย (มีโหลดน้อย) ต่ออยู่กับทางที่ช่อง j ไฮดรอลิคจะไหลออกเร็วกว่าที่ช่องออก n ซึ่งต่ออยู่กับสูบงานที่มีโหลดมากกว่า การไหลในช่อง e ภายในวาล์วจะเร็วตาม ส่วนการไหลภายในช่อง a ก็จะช้าตามการไหลออกที่ช่อง n ทำให้ความดันภายในช่อง a สูงกว่าความดันภายในช่อง b จึงดันลูกสูบลอย l ให้เลื่อนไปทางซ้าย บ่า h

ของลูกสูบ I จะไปบังบางส่วนของช่อง j ทำให้ช่อง j ลดขนาดลง การไหลออกจากช่อง j จึงช้าลงสูบงานจึงเคลื่อนตัวช้าลงตามจนเท่ากับการเคลื่อนตัวของสูบที่ต่ออยู่กับช่อง n





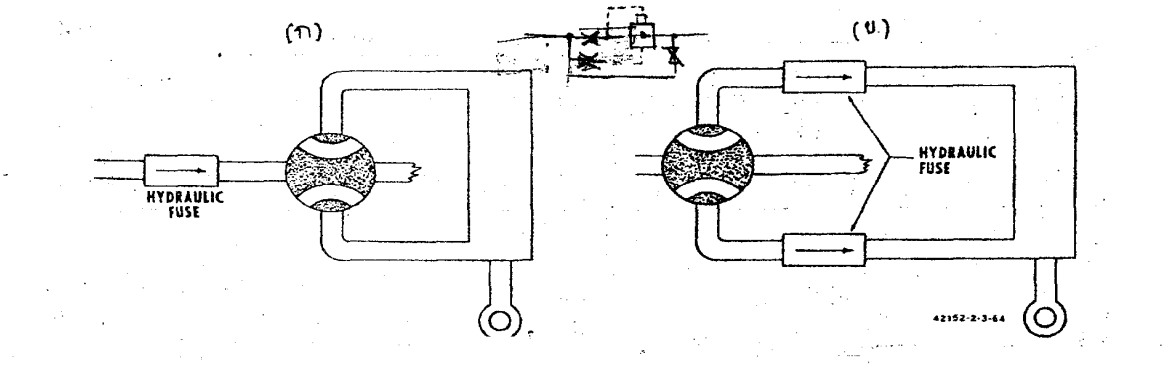
รูปที่ 4.15 **ข**

(Flow Equalizer Valve ขณะรวมไฮดรอลิคออกจากสูบงานกลับถัง)

ส่วนการทำงานของ Flow Equalizer Valve ขณะลูกสูบของสูบงานทั้งสองเคลื่อนตัวเข้าโดยการรวมการไหลออกของไฮดรอลิคที่ถูกขับออกจากสูบงานทั้งสองกลับถังเป็นทางเดียวกัน ตามรูปที่ 4.15ข เมื่อไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากวาล์วเปลี่ยนทางมาเข้าทางด้านบนจองสูบงานทั้งสองโดยตรงลูกสูบทั้งสองจะถูกกดให้เคลื่อนตัวเข้า ไฮดรอลิคที่ถูกขับออกทางด้านล่างของสูบงานแต่ละสูบจะไหลเข้า Flow Equalizer Valve ทางช่อง j และช่อง n แล้วรวมกันเป็นทางเดียวไหลออกทางช่อง c ผ่านวาล์วเปลี่ยนทางกลับถัง Flow Equalizer Valve จะควบคุมให้สูบงานทั้งสองเคลื่อนตัวเข้าด้วยความเร็วที่เทากันดังนี้ไฮดรอลิคที่ผ่านช่อง j และช่อง n เข้ามาในวาล์ว จะผ่านวาล์วกันกลับ g และ p ไม่ได้จึงไหลไปออกที่วาล์วกันกลับ f และ q ทางด้านบน ผ่านไปออกที่ช่องวงแหวนของ Sleeve b ซึ่งในช่วงนี้ Sleeve b จะถูกสปริงและความดันจากไฮดรอลิคทางช่อง a ดันให้ขึ้นไปด่านบนสุดทำให้ ช่องวงแหวนที่ Sleeve b มีขนาดเล็กลง เช่นเดียวกันไฮดรอลิคที่ไหลกลับมาทางช่อง j จะไหลกลับได้เร็วกว่าทาช่อง n (เพราะมีโหลดน้อยกว่า) แต่ที่ช่องวงแหวนของ Sleeve b ซึ่งขณะนี้มีขนาดเล็กลง ความเร็วในการไหลจะกระจุกตัวไหลเข้าลงทำให้ความดันที่ช่อง e สูงขึ้นและดันลูกสูบลอย I ไปทางขวาส่งผลให้ขนาดของช่อง j ลดลง เพราะบ่าของลูกสูบลอย Iเลื่อนมาบังบางส่วนของช่อง j ไว้ ไฮดรอลิคที่ไหลผ่านช่อง j จึงถูกจำกัดให้ไหลช้าลง เพื่อให้สูบงานทั้งสองเคลื่อนตัวด้วยความเร็วเท่ากัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า Flow Equalizer Valve จะควบคุมให้สูบงานสองสูบที่มีโหลดไม่เท่ากันทำงานพร้อมกันได้ โดยการปรับการไหลที่แยกออกไปสูบงานแต่ละสูบ และปรับการไหลที่ออกจาก

สูบงานด้านที่ผ่านวาล์วแต่ละสูบมารวมเป็นทางเดียวกันกลับถัง จึงติดตั้ง Flow Equalizer Valve ไว้ที่ทางไหลสับเข้า-ออกสูบงาน (Alternate Line) ด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว

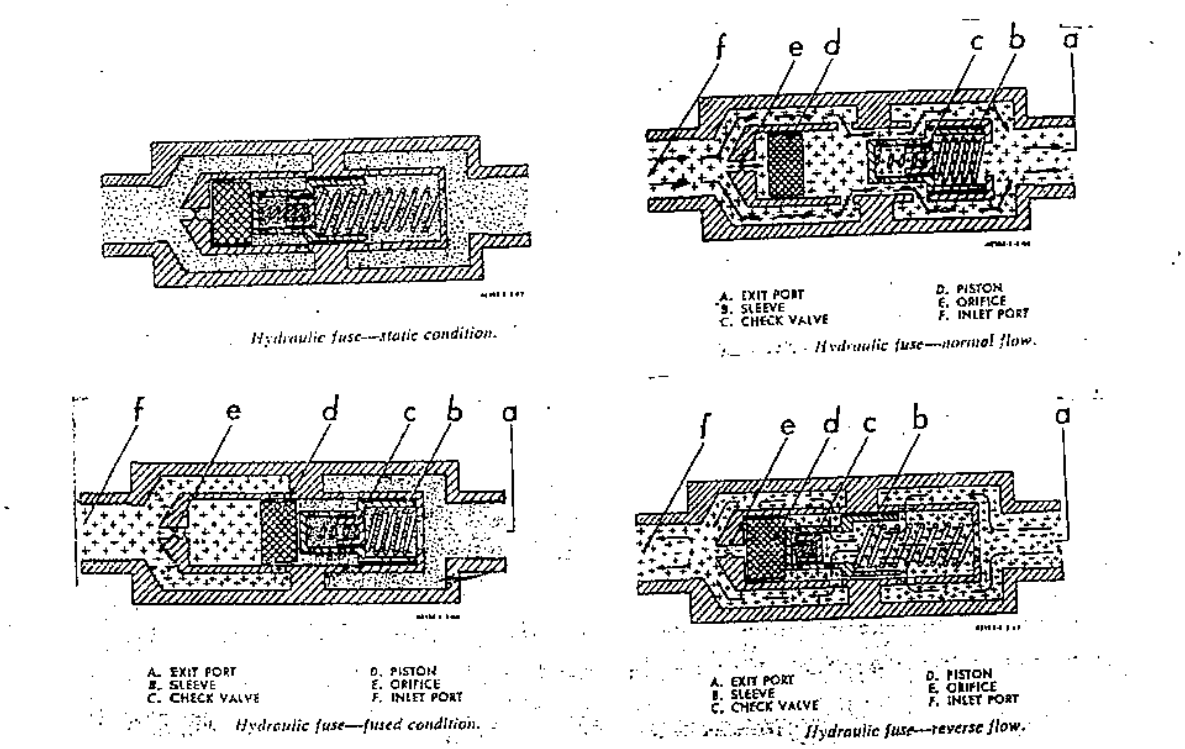
2.6 ไฮดรอลิคฟิวส์ (Hydraulic Fuse) ใช้สำหรับตัดตอนการไหลของไฮดรอลิคไม่ให้ผ่านไปยังบริเวณที่เกิดการรั่วไหลขึ้นหลังไฮดรอลิคฟิวส์ เพื่อรักษาไฮดรอลิคไม่ให้ร่วไหลออกไปจนหมด ขนาดของไฮดรอลิคฟิวส์จะบอกเป็นปริมาณความจุมีหน่วยเป็นลูกบาศก์นิ้ว เช่นไฮดรอลิคฟิวส์ที่มีขนาด 100 ลูกบาศก์นิ้วจะตัดตอนหรือปิดไม่ให้ไฮดรอลิคไหลผ่านออกไปถ้าปริมาณการรั่วไหลเกิดขึ้นหลังไฮดรอลิคฟิวส์ถึง 100 ลูกบาศก์นิ้ว งานในส่วนที่เกิดการรั่วไหลจะไม่มีไฮดรอลิคเข้าไปทำงานไฮดรอลิคฟิวส์จะติดตังอยู่แถวบริเวณที่อุปกรณ์หรือท่อทางของระบบมีโอกาสที่จะถูกวัสดุแปลกปลอดทำความเสียหายให้ได้ง่าย เช่น ท่อทางของระบบเบรกหรือของระบบฐานที่ยึดอยู่กับฐาน ที่ตัวเรือนไฮดรอลิคฟิวส์จะมีตัวอักษรและตัวเลขบอกขนาดความจุ ของฟิวส์พร้อมทั้งมีลูกศรแสดงทิศทางไฮดรอลิคที่ไหลออกจากไฮดรอบิคฟิวส์ด้านที่จะถูกตัดตอนการไหลเมื่อเกิดรั่วไหลขึ้นที่ด้านนี้ ไฮดรอลิคฟิวส์จะติดตั้งไว้ที่ทางท่อทางความดัน (Pressure Line) ก่อนวาล์วเปลี่ยนทาง ตามรูปที่ 4.16 ก หรือติดตั้งไว้ที่ ทางไหลสลับเข้าออกของสูบงาน ตามรูปที่ 4.16ข ก็ได้แล้วแต่ความต้องการที่จะตัดตอนการไหลที่บริเวณไหน



รูปที่ 4.16

(ตำแหน่งของ ไฮดรอลิคฟิวส์ “Hydraulic Fuse” **ในระบบ)**

การทำงานของไฮดรอลิคฟิวส์จะมีอยู่สี่ตำแหน่ง (Condition) ด้วยกันคือ Static Condition ; Normal Flow ; Fuse Condition และ Reverse Flow การทำงานในแต่ละขั้นตอนจะเป็นตามรูปที่ 4.17 ดังนี้



รูปที่ 4.17

(ขั้นตอนการ ทำงานของไฮดรอลิคฟิวส์ “Hydraulic Fuse Condition”)

ตามรูปที่ 4.17ก ไฮดรอลิคฟิวส์อยู่ตำแหน่งที่ไม่มีการไหลของไฮดรอลิคเข้าออก “Static Condition” เกิดขึ้นเมื่อวาล์วเปลี่ยนทางอยู่ในตำแหน่งNeutral สปริงของ Sleeve b จะดันให้ Sleeve b เคลื่อนมาทางซ้ายสุด ปิดช่องออกวงแหวนหลังเสื้อสูบ d กับช่องออกวงแหวนรอบ Sleeve b และดันลูกสูบ d ไปจนสุดทางที่ช่อง Orifice

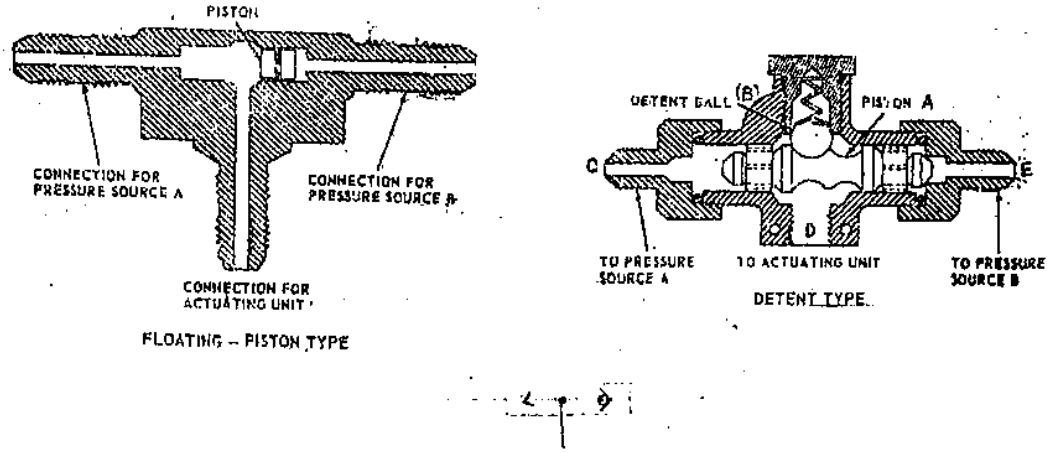
ตามรูปที่ 4.17ข ไฮดรอลิคฟิวส์อยู่ตำแหน่งที่เปิดให้ไฮดรอลิคผ่านออกไปทำงานตามปกติหรือเรียกว่าตำแหน่ง “Half Fuse” เกิดขึ้นเมื่อเปิดวาล์วเปลี่ยนทาง ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจะเข้ามาทางช่อง f แล้วจะแยกเป็นสองทาง ทางหนึ่งไหลไปตามช่องวงแหวนรอบเสื้อสูบของลูกสูบ d ภายในไฮดรอลิคฟิวส์ออกไปดัน Sleeve b ให้เลื่อนไปทางขวาเพื่อเปิดช่องให้ไฮดรอลิคไหลผ่านออกไปยังช่องวงแหวนรอบ Sleeve b ออกไปทางช่อง a เข้าสูบงาน ในขณะเดียวกันอีกทางหนึ่งจะไหลผ่านช่องแคบ “Orifice” e ด้านหน้าของเสื้อลูกสูบ d เข้าไปดันลูกสูบ d ให้เริ่มเลื่อนทางขวา (เพราะว่าการไหลที่ด้านหลังของลูกสูบ d ไหลได้เร็วกว่าทางด้านหน้าความดันทางด้านหลังจึงน้อยกว่า) ไฮดรอลิคที่ไหลจากช่องวงแหวนรอบ Sleeve b จะไหลออกทางช่อง a ไปทำงานตามปกติ ด้วยปริมาณที่กำหนดมาให้เพียงพอกับความต้องการของสูบงานในการ

ทำงานจนสุดทาง โดยที่ลูกสูบ d จะไม่เคลื่อนตัวมาปิดช่องออกวงแหวนหลังเสื้อสูบก่อนที่สูบงานจะทำงานสุดทาง ตัวอย่างเช่นในการกางฐานสูบฐานต้องการปริมาณไฮดรอลิค 50 ลูกบาศก์นิ้วเพื่อใช้ในการกางฐานจนสุด จะต้องใช้ไฮดรอลิคฟิวส์ที่สามารถปล่อยไฮดรอลิคออกมาได้มากกว่า 50 ลูกบาศก์นิ้วก่าอนที่ไฮดรอลิคฟิวส์จะตัดตอน เช่นใช้ไฮดรอลิคฟิวส์ทีมีความจุ 100 ลูกบาศก์นิ้วจะปล่อยไฮดรอลิคออกไปตามปกติ 50 ลูกบาศก์นิ้วขณะอยู่ในตำแหน่ง “Half Fuse” แต่ถ้าเกิดการรั่วไหลขึ้นหลังทางออกจนไฮดรอลิคที่ไหลออกมีปริมาณถึง 100 ลูกบาศก์นิ้วไฮดรอลิคฟิวส์จะตัดตอน (Fused) ไม่ให้ไฮดรอลิคไหลออกไป (ตามรูป 4.17 ค) ดังนั้นปริมาณหรือความจุของไฮดรอลิคฟิวส์ที่ปล่อยให้ไฮดรอลิคไหลออกไปก่อนจะถูกตัดตอน จึงขึ้นอยู่กับเวลาในการเคลื่อนตัวไปปิดช่องออกวงแหวนทางด้านหลังของเสื้อสูบลูกสูบ d ถ้าช่อง Orifice กว้าง ลูกสูบจะเคลื่อนที่ได้เร็วปริมาณก่อนถูกตัดตอนจะน้อย ถ้าช่อง Orifice แคบลูกสูบจะเคลื่อนที่ช้าปริมาณก่อนถูกตัดตอนจะมาก หรือกล่าวได้ว่าขนาด ช่อง Orifice ในไฮดรอลิคฟิวส์เป็นตัวกำหนดความจุของไฮดรอลิคฟิวส์

ตามรูปที่ 4.17ค ไฮดรอลิคฟิวส์อยู่ตำแหน่งปิด หรือเรียกว่าตำแหน่ง “Fused Condition” เกิดขึ้นขณะเกิดการรั่วไหลหลังทางออกมีปริมาณถึงความจุของไฮดรอลิคฟิวส์ ไฮดรอลิคฟิวส์จะตัดตอนไม่ให้ไฮดรอลิคไหลผ่านออกไป โดยลูกสูบ d จะถูกดันให้เลื่อนมาจนปิดช่องงแหวนหลังเสื้อสูบลูกสูบ d (เพราะการรั่วไหลจะทำให้การไหลออกยิ่งเร็วขึ้นความดันหลังลูกสูบจึงยิ่งน้อยลง) งานหรือสูบงานที่อยู่ในบริเวณที่เกิดการรั่วไหลนี้จะไม่มีไฮดรอลิคไหลเข้าไปทำงาน

ตามรูปที่ 4.17ง ไฮดรอลิคฟิวส์อยู่ตำแหน่งไหลกลับหรือเรียกว่าตำแหน่ง “Reverse Flow” ไฮดรอลิคฟิวส์ที่ติดตั้งอยู่หน้าวาล์วเปลี่ยนทาง (รูปที่ 4.16ก) หลังจากเกิดการ Fused ไม่ให้ไฮดรอลิคไหลออกไปแล้วถ้าจะให้กลับมาทำงานใหม่ “reset” ต้องใช้ความดันย้อนเข้าไปดัน Sleeve b และวาล์วทางเดียว c เคลื่อนตัวไปดันลูกสูบ d ให้เปิดช่องที่ปิดไว้หลังเสื้อสูบลูกสูบ d ไปด้านหน้าสุด แต่ไฮดรอลิคฟิวส์ที่ติดตั้งอยู่กับทางไหลสลับเข้าออก (Altenate Line) ของสูบงานหลังวาล์วเปลี่ยนทาง (ตามรูปที่ 4.16ข) การ Reset ทำได้โดยเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วเปลี่ยนทางให้สูบงานทำงานสลับกันจะมีความดันจกไฮดรอลิคที่ถูกขับออกจากสูบงานไปดันให้ลูกสูบ d เปิดเช่นที่กล่าวมาแล้ว อนึ่งให้สังเกตตำแหน่ง Static กับ ตำแหน่ง Reverse Flow จะแตกต่างกันตรงที่ตำแหน่ง Reverse Flow วาล์วทางเดียวจะถูกไฮดรอบิคที่ย้อนกลับดันให้เปิดขอ่งให้ไฮดรอลิคไหลย้อนออกไปทางช่องเข้า f ได้

2.7 วาล์วจัดทาง (Shuttle Valve) วาล์วนี้จะเป็นกระสวยใช้แยกการนำระบบปกติ หรือระบบฉุกเฉินไปใช้งานแล้วแต่กรณีเช่น การทำงานตามปกติจะนำความดันจากระบบปกติ (Normal System) ให้เข้าไปใช้งาน แต่ถ้าความดันจากระบบปกติไม่มีหรือมีไม่พอ จะเปลี่ยนทางนำความดันจากระบบฉุกเฉิน (Emergency System) เข้าไปทำงานแทน วาล์วจึงทำงานกลับไปกลับมาตามชื่อ Shuttle Valve



รูปที่ 4.18

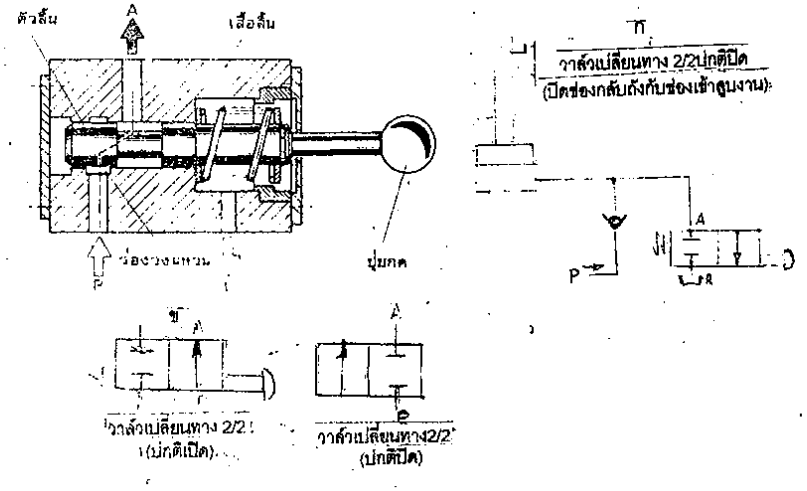
(วาล์วจัดทาง “Shuttle Valve)

การทำงานของวาล์วจัดทางตามรูปที่ 4.18 ที่ตัววาล์วมีช่องทางไฮดรอลิคเข้าออกสามช่อง ช่อง c ต่อกับความดันของระบบปกติ (Pressure Source “A”) ส่วนช่อง e ต่อกับความดันองระบบฉุกเฉิน (Pressure Source “B”) และช่อง d เป็นทางให้ระบบปกติหรือระบบฉุกเฉินที่วาล์วจัดทางเลือกให้เข้าไปทำงาน รูปที่ 4.18ก วาล์วจัดทางเลือกให้ความดันระบบปกติเข้าไปทานทางช่อง d โดยลูกสูบหรือกระสวยในวาล์วจะถูกความดันจากระบบปกติดันให้ปิดทางระบบฉุกเฉินไว้ ถ้าความดันระบบปกติเกิดไม่มีหรือมีไม่พอ ความดันฉุกเฉินมีมากกว่าจะดันลูกสูบหรือกระสวยไปทางซ้ายปิดทางความดันปกติ เปิดให้ความดันฉุกเฉินเข้าไปงานแทน รูปที 4.18ข เป็นวาล์วจัดทาง “Shuttle Valve” ที่มีร่องและลูกบอลส์สำหรับล็อกวาล์ว (Detent) ขณะที่เปิดระบบปกติ หรือระบบฉุกเฉินอยู่ปกติ การล๊อกจะถูกปลดด้วยความดัน ถ้าด้านด้านหนึ่งมีความดันมากกว่าอีกด้านหนึ่ง

2.8 วาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) ใช้สำหรับบังคับทิศทาไหลของไฮดรอลิคเพื่อให้การทำงานเป็นไปตามที่ต้องการเป็นวาล์วที่ต่อคั่นอยู่ระหว่างส่วนต้นกำลัง (Power Section) กับส่วนให้งานกล (Actuating Section) และจะต่ออยู่ระหว่างท่อทางด้านความดัน (Pressure Line) กับท่อทางกลับถัง (Return Line) การบังคับวาล์วมีทั้งแบบปกติ และแบบอัตโนมัติ ชื่อของวาล์วเปลี่ยนทางมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น Control Valve, Metering Valve และเซอร์โววาล์ว “Servo valve” เป็นต้น

2.8.1 แบบของวาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve Type) จะแบ่งเป็นแบบตามจำนวนช่องที่ต่อระหว่างทางเข้ากับทางออกของวาล์ว และจำนวนตำแหน่งที่บังคับทิศทางการทำงานของอุปกรณ์ เช่นวาล์วเปลี่ยนทางแบบ 2/2 แบบ 3/2 และ4/3 เป็นต้น โดยตัวเลขตัวแรกเป็นจำนวนช่องที่ต่อระหว่างทางเข้ากับ

ทางออกของวาล์ว ตัวเลขหลังเป็นจำนวนตำแหน่งของวาล์ว ส่วนมากแล้วระบบไฮดรอลิคอากาศยานจะใช้วาล์วเปลี่ยนทางแบบ 4/3 แทบทั้งสิ้น



รูปที่ 4.19

(วาล์วเปลี่ยนทางแบบ 2/2)

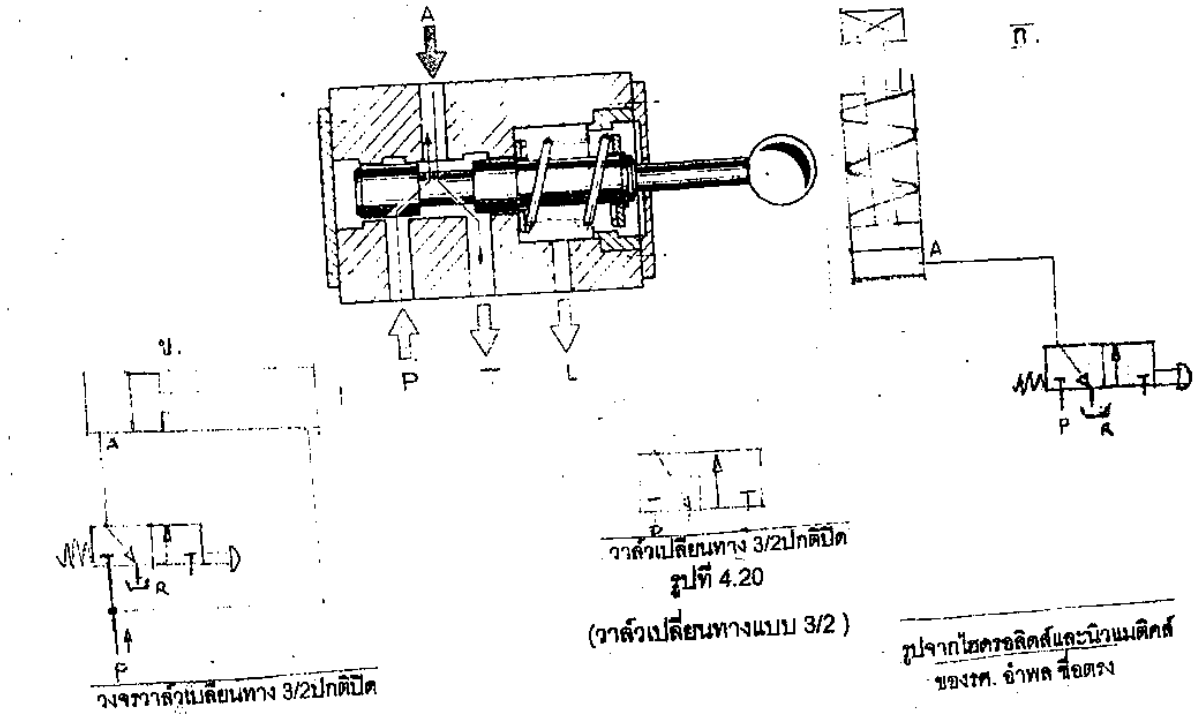
***รูปจาก ไฮดรอลิคและนิวแมติคส์ ของ รศ.อำพ ซื่อตรง**

2.8.1.1 วาล์วเปลี่ยนทางแบบ 2/2 จะใช้กับสูบงานแบบทำงานด้านเดียว (Single Action Actuator) ช่องที่ต่อระหว่างทางเข้ากับทางออกของวาล์วมี 2 ช่อง ตำแหน่งของวาล์วมี 2 ตำแหน่งบังคับทิศทางสูบงานได้ 2 ทาง ไม่มีตำแหน่งกลางหรือตำแหน่งพัก (Neutral) จำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก แบบ 2/2 ปกติ ปิด ตามรูปที่ 4.19ก ขณะที่วาล์วอยู่ตำแหน่งปกติ (วาล์วยังไม่ถูกเลื่อน) จะปิดช่องความดัน P กับช่องกลับถัง R ไม่ให้ต่อถึงกัน ดังนั้นเมื่อเปิดปั๊ม ไฮดรอลิคภายใต้ความดันและไหลผ่านวาล์วกันกลับเข้าไปในสูบงานด้านล่างโดยตรงทีนที และดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนยกโหลดให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ (หากความดันสูงขึ้นเกินค่าที่ตั้งค่าวาล์วระบายไว้ วาล์วระบายจะระบายความดันที่เกินกลับถัง) ถ้าต้องการยกโหลดให้ค้างไว้ที่ระยะใด ต้องปิดปั๊มไม่ให้จ่ายไฮดรอลิคออกมา ลูกสูบจะยกโหลดให้ค้างอยู่ได้เมื่อความดันจากปั๊มต่ำกว่าความดันที่เข้าไปดันลูกสูบ เพราะวาล์วกันกลับจะกักไฮดรอลิคให้หยุดไหล เมื่อต้องการให้โหลดเคลื่อนที่ลงต้องปิดปั๊มแล้วเลื่อนวาล์วเปลี่ยนทางไปทางซ้ายค้างไว้ เพื่อให้ช่องP กับ R ต่อถึงกันไฮดรอลิคจากสูบงานจะไหลกลับถังโหลดจึงกดลูกสูบให้เคลื่อนตัวลงด้านล่างได้ ถ้าต้องการให้โหลดเคลื่อนลงค้างอยู่ตามระยะที่ต้องกา ต้องปล่อยวาล์วให้เลื่อนกลับมาอยู่ตำแหน่งปกติ ข้อสังเกตตำแหน่งปกติปิดของวาล์วคือตำแหน่งที่ไม่มีความดันไหลผ่านวาล์วไปเข้าสูบงาน

ข แบบ 2/2 ปกติเปิดตามรูปที่ 4.19ข ขณะที่วาล์วอยู่ตำแหน่งปกติจะทำให้ช่องความดัน P กับช่องเข้าสูบงาน A ต่อถึงกัน ถ้าเลื่อนวาล์วไปทางซ้ายทั้งสองช่องนี้จะถูกปิดไม่ให้ต่อถึงกัน วาล์วเปลี่ยนทางแบบนี้จึงใช้เป็นเหมือนก๊อกปิด-เปิดการไหลเท่านั้น

2.8.1.2 วาล์วเปลี่ยนทางแบบ 3/2 ใช้กับสูบงานทั้งแบบทานด้านเดียว (Single Action) และแบบทำงานสองด้าน (Double Action Actuator) จำนวนช่องที่ต่อระหว่างทางเข้ากับทางออกของวาล์วมี



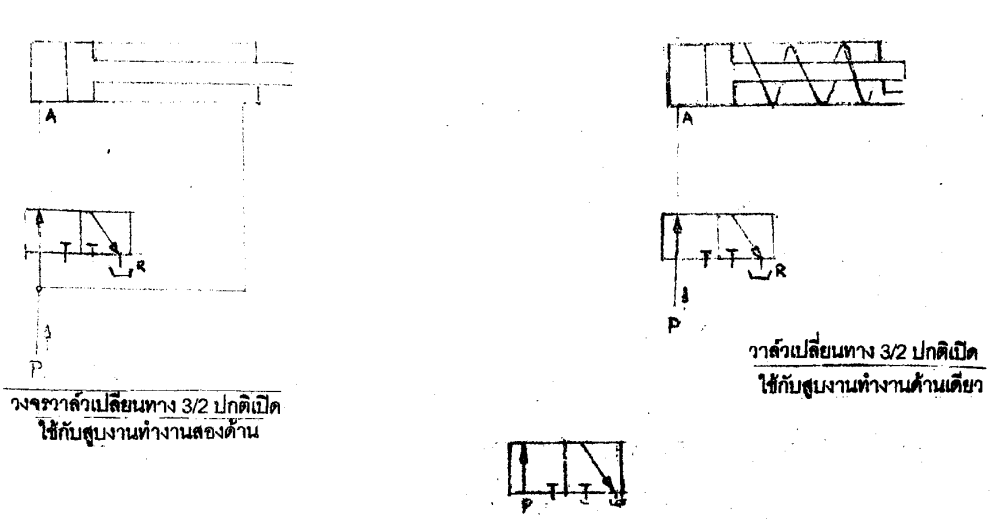
3 ช่องตำแหน่งของวาล์วมี 2 ตำแหน่งบังคับทิศทางสูบงานได้ 2 ทาง ไม่มีตำแหน่งกลางหรือพัก (Neutral) จำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก.ชนิด 3/2 ปกติ ปิดตามรูปที่ 4.2ก ใช้กับสูบงานแบบทำงานทางเดียว ขณะวาล์วอยู่ตำแหน่งปกติ (ยังไม่ถูกเลื่อน) จะปิดช่องความดัน P ไม่ให้ต่อถึงกับช่องเข้าสูบงาน A แต่จะให้ไฮดรอลิคจากช่อง A ไหลผ่านออกไปทางช่อง R กลับถังได้ ดังนั้นที่ตำแหน่งปกติปิดนี้ โหลดที่สูบงานจึงกดดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ลง จะต้องเลื่อนวาล์วไปทางซ้ายพร้อมกับปิดปั้มไม่ให้จ่ายไฮดรอลิคออกมา แต่ถ้าต้องการให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นให้เลื่อนวาล์วมาทางซ้ายอย่างเดียวไม่ต้องปิดปั๊มลูกสูบจะเคลื่อนขึ้นจนสุดระยะ ถ้าจะให้ค้างระหว่างที่เคลื่อนที่ขึ้นต้องปิดปั้มไม่ให้จ่ายไฮดรอลิคออกมา

ส่วนการทำงานตามรูปที่ 4.20ข ใช้กับสูบงานแบบทาน 2 ทาง ขณะที่วาล์วอยู่ตำแหน่งปกติ ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากปั้มจะเข้าไปที่สูบงานด้านก้านสูบโดยตรง (ไม่ผ่านวาล์ว) ลูกสูบจะถูกดันให้เลื่อนไปทางซ้ายจนสุดทางไฮดรอลิคที่ถูกขับออกทางด้านหัวลูกสูบจะไหลผ่านระหว่างช่อง A กับช่อง B กลับถัง ถ้าต้องการให้ค้างระหว่างที่เลื่อนมาทางซ้ายนี้ต้องเลื่อนวาล์วไปทางซ้ายพร้อมกับ ปิดปั้ม เมื่อต้องการให้ลูกสูบเลื่อนกับมาทางขวาต้องเลื่อนกับมาทางซ้ายทำให้ช่อง P ถึงกับช่อง A ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจาก

ปั้มจะพ่านไปเข้าสูบงานทางด้านหัวลูกสูบ ซึ่งแม้ว่าความดันห้องทั้งสองจะเท่ากันลูกสูบก็เคลื่อนที่ไปทางขวาได้ เนื่องจากที่ที่หัวลูกสูบมีมากกว่าพื้นที่ด้านหลังลูกสูบซึ่งเสียพื้นที่ไปเพราะมี ก้านสูบอยู่ ลูกสูบจะเคลื่อนที่มาทางขวาด้วยการไหลวน ของไฮดรอลิคจากห้องด้านก้านสูบมาด้านห้องหัวลูกสูบ ถ้าต้องการค้างตำแหน่งให้ปิดปั้ม

ข.ชนิด3/2ปกติ เปิด ตามรูปที่4.21 จะคล้ายกับชนิด3/2ปกติปิด ยกเว้นที่ตำแหน่งปกติของวาล์วชนิดปกติเปิด จะเปิดให้ชดองความดันP ต่อถึงกับช่อง A นั้นถึงมีไฮดรอลิคไหลผ่านระหว่างช่องทั้งสองไปเข้าสูบงานด้านหัวลูกสูบดันลูกสูบให้เคลื่อนไปทางขวาตลอดเวลา ถ้าต้องการให้ไปทางซ้ายต้องเลื่อนวาล์วไปทางซ้ายเพื่อให้ช่อง A ต่อถึงกับช่อง R



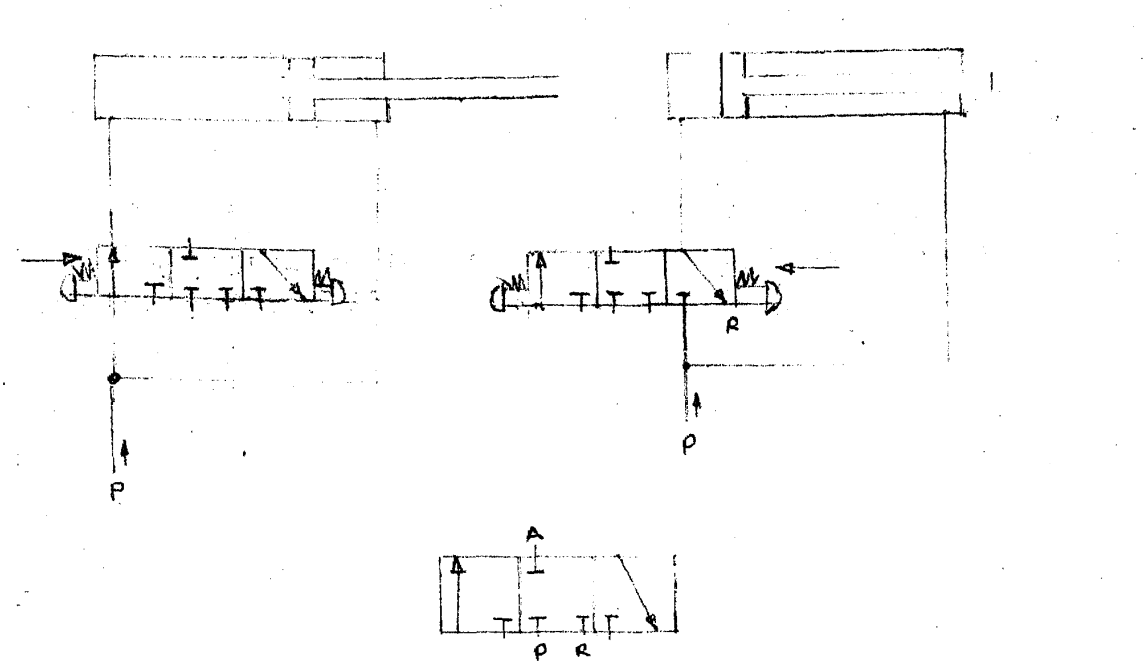
รูปที่4.21

(วาล์วเปลี่ยนทาง3/2ชนิดปกติ เปิด)

2.8.1.3 วาล์วเปลี่ยนทางแบบมีตำแหน่งกลาง หรือตำแหน่งพัก (Neutral Position) วาล์วเปลี่ยนทางแบบนี้จะมี 3 ตำแหน่ง สังเกตจากตัวเลขหลัง / จะเป็นเลข 3 และจะใช้กับสูบงานแบบทำงานสองด้าน จะเห็นได้ว่าวาล์วเปลี่ยนทาง 2/2 และ3/2 ที่กล่าวมาแล้ว ถ้าต้องการให้สูบงานค้างอยู่ตามตำแหน่งที่ต้องการในระหว่างเคลื่อนที่ จะต้องปิดปั้มหรือปิดไฮดรอลิคภายใต้ความดันไม่ให้ไหลผ่านวาล์ว จึงต้องใช้ปั้มที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพราะสะดวกต่อการปิด เปิดการทำงานของปั้ม แต่อย่างไรก็ตามตำแหน่งที่ค้างอาจจะเลยไปหรือไม่ถึงตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ เพราะความดันไฮดรอลิคจะทำให้มีการเลื่อนที่ก่อนที่จะค้างอีกเล็กน้อย ระบบไฮดรอลิคที่ปั้มขับด้วยเครื่องยนต์จึงต้องใช้วาล์วเปลี่ยนทางที่มีตำแหน่ง กลาง หรือตำแหน่งพัก (Neutral Position) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่หยุดการทำงานหรือให้การทำงานค้างอยู่ตามตำแหน่งที่ต้องการ ตำแหน่งกลาง (Neutral Position) ของวาล์วมีทั้งตำแหส่งกลางแบบ เปิด ดังนี้

ก).วาล์วเปลี่ยนทางแบบ3/2 ตำแหน่งกลางปิด ตามรูปที่4.22 แหนงกลาง

(Neutral Postion) ของวาล์วเปลี่ยนทาง ซึ่งเป็นตำแหน่งปกติของวาล์วด้วย จะปิดกั้นไม่ให้ไฮดรอลิคในสูบงานทั้งสองด้านไหลเข้า ออก ดังนั้น

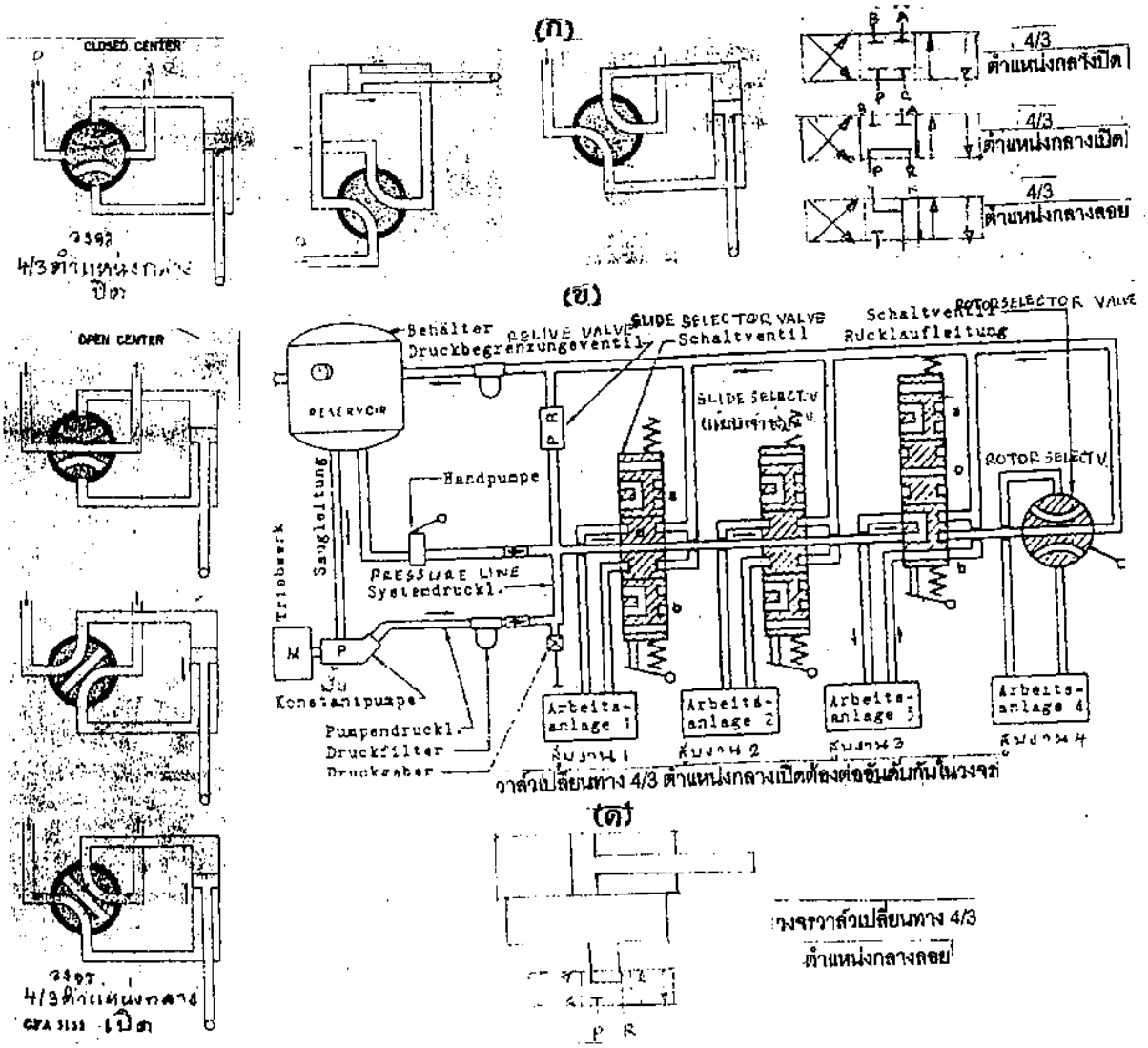


รูปที่4.22
(วาล์วเปลี่ยนทางแบบ3/3)

เมื่อเลื่อนวาล์วมาที่ตำแหน่งนี้การทำงานจะหยุดหรือค้างในพริบตาและลูกสูบจะถูกล๊อกให้อยู่กับที่ เพราะไฮดรอลิคทั้งสองด้านล๊อกไว้ เมื่อเลื่อนวาล์วไปทางขวาจะเปิดช่อง P ให้ต่อถึงกับช่อง A ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจะไหลผ่านเข้าไปดันลูกสูบให้เคลื่อนตัวไปทางขวา ไฮดรอลิคด้านก้านสูบจะไหลวนทำนองเดียวกันกับแบบ3/2 ที่กล่าวมาแล้ว ถ้าเลื่อนวาล์วไปทางซ้ายจะเปิดช่องRกับช่อง A ให้ต่อถึงกัน ไหลกับถึงได้ ไฮดรอลิคภายใต้ความดันที่เข้ามาทางด้านก้านสูบโดยตรง(ไม่ผ่านวาล์วเปลี่ยนทาง) จะดันให้ลูกสูบเคลื่อนตัวไปทางซ้าย ถ้าต้องการหยุดหรือค้างการทำงานในขณะที่ลูกสูบกำลังเคลื่อนตัวให้เลื่อนวาล์วเปลี่ยนทางมาตำแหน่งกลาง(Neutral Possition)

ข) วาล์วเปลี่ยนทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิด ตามรูปที่4.23 ตำแหน่งกลางซึ่งเป็นตำแหน่งปกติของวาล์วจะปิดกั้นไม่ให้ไฮดรอลิคในสูบงานทั้งสองด้านไหลเข้า ออก ลูกสูบจะถูกล๊อกให้อยู่กับที่ เช่นเดียวกับแบบ 3/3 เมื่อเลื่อนวาล์วไปทางขวาจะเปิดช่อง P ให้ต่อถึงกับช่อง A และช่อง B ให้ต่อถึงกับช่อง R ไฮดรอลิคภายใต้ความดันจะไหลผ่านระหว่างช่อง P กับช่อง Aเข้าไปดันลูกสูบให้เลื่อนตัวไปทาขวาขับไฮดรอลิคทางด้านก้านสูบให้ไหลผ่านระหว่างช่อง B กับช่อง R กับช่อง B เข้าไปดันลูกสูบให้เคลื่อนตัวไปทางซ้าย ขับไฮดรอลิคในห้องด้านหัวลูกสูบกลับถัง เช่นเดียวกันถ้าต้องการหยุดหรือค้างการทำงานในขณะที่

ลูกสูบกำลังเคลื่อนตัว ให้เลื่อนวาล์วเปลี่ยนทางมาตำแหน่งกลาง (Neutral Position) ระบบไฮดรอลิคอากาศยานจะใช้วาล์วเปลี่ยนทางแบบ4/3 ตำแหน่งกลาง ปิด เกือบทั้งสิ้น



รูปที่4.23

(วาล์วเปลี่ยนทาง4/3แบบต่างๆ)

ค.) วาล์วเปลี่ยนทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางเปิดลอยตามรูปที่ 4/23ค การทำงานเช่นเดียวกับแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิด แตกต่างกันตรงที่ตำแหน่งกลางจะเปิดให้ไฮดรอลิคทั้งสองด้านของลูกสูบไหลรวมกันกลับถังได้ ดังนั้นที่ตำแหน่งกลางนี้ลูกสูบจึงลอยตัวไม่ถูกล๊อกให้อยู่กับที่

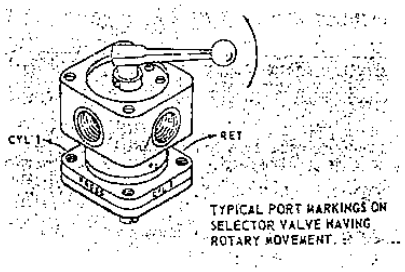
ง.) วาล์วเปลี่ยนทาง 4/3 ตำแหน่งกลางเปิดไหลกลับวาล์วเปลี่ยนทางแบบนี้จะใช้กับระบบไฮดรอลิคที่มีส่วนต้นกำลัง (Power Section) เป็นแบบเปิด (Open Center System) การทำงาน

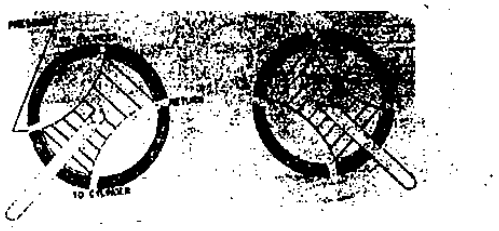
เช่นเดียวกันแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิดแตกต่างกันตรงที่ตำแหน่งกลางจะเปิดให้ไฮดครอลิคไหลภายใต้ความดันจากนั้นไหลผ่านระหว่างช่อง P กับช่อง R กลับถังเพื่อลดโหลดของปั้ม

นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วยังมีวาล์วเปลี่ยนทางอีกหลายแบบ เช่น 5/3 เป็นต้นแต่จะไม่นิยมใช้ในระบบไฮดรอลิคของอากาศยานจึงไม่ขอกล่าวถึง

2.8.2 โครงสร้างของวาล์วเปลี่ยนทาง จะกล่าวเฉพาะโครงสร้างแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิดเท่านั้นเพราะเป็นวาล์วเปลี่ยนทางที่นิยมใช้ในระบบไฮดรอลิคของอากาศยานเป็นส่วนมาก ซึ่งมีโครงสร้างโดยทั่วไปอยู่สองแบบคือ

2.8.2.1 แบบแผ่นหมุนหรือแบบโรเตอร์ (Roter Type Selector Valve) ตามรูปที่ 4.24 ตัวเสื้อวาล์วจะเป็นทรงสี่เหลี่ยมลบมุม (หรือบางแบบจะเป็นทรงกระบอก) ตัวหมุนเปิดให้ไฮดรอลิคไหลผ่านเข้าไปทำงาน จะเป็นแผ่นหมุนหรือแท่งหมุนเจาะข่องภายในให้ไฮดรอลิคไหลผ่านเข้าออกสูบงานตามทิศทางที่ต้องการ หรือตัวหมุนเป็นแคมลูกเบี้ยวตันให้ภายในวาล์วปิด หรือเปิดช่องให้ไฮดรอลิคไหลเข้าออกตามรูปที่





4.24

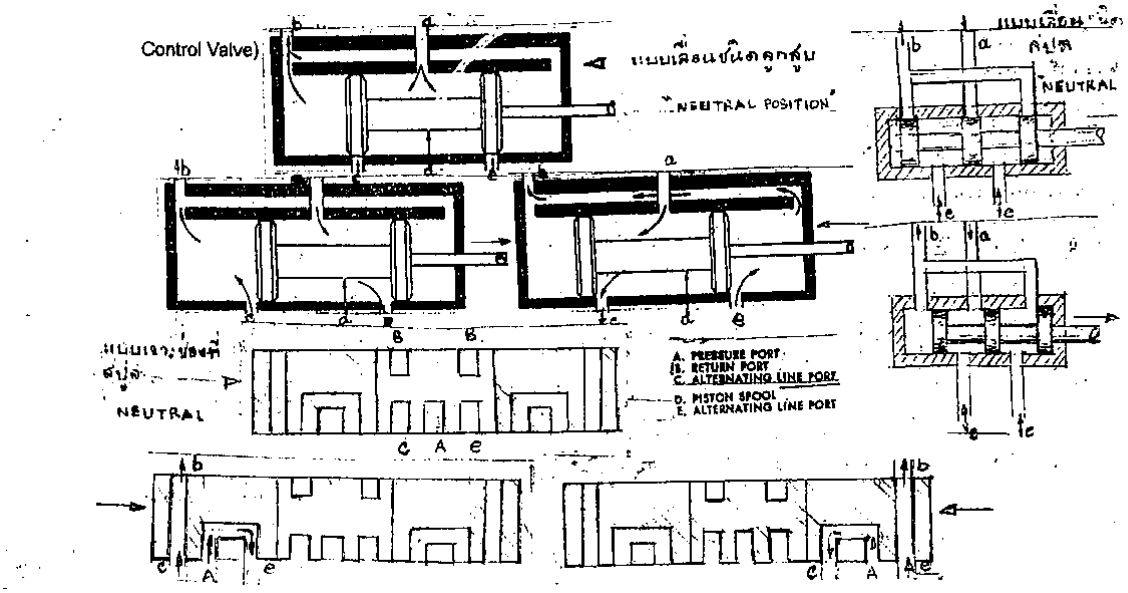
รูปที่ 4.24

(โครงสร้างของวาล์วเปลี่ยนทางแบบหมุน “Rotor Type Selector Valve”)

การทำงานของวาล์วเปลี่ยนทางแบบหมุน หรือแบบโรเตอร์ตามรูปที่ 4.24ก ขณะที่วาล์วเปลี่ยนทางยังไม่เปิด (อยู่ตำแหน่ง”Neutral”) แคมลูกเบี้ยวจะอยู่ในแนวทแยงด้านทั้งสี่ของลูกเบี้ยวจึงไม่สัมผัสกับป๊อบเป็ตทั้งสี่ สปริงในป๊อบเป๊ตจะดันป๊อบเป็ตทั้งสี่ออกมาปิดช่องทั้งสี่ b,h,f และ d ไม่ให้ถึงกัน เมื่อหมุนแคมลูกเบี้ยวในวาล์วทวนหรือตามเข็มนาฬิกาจนแคมลูกเบี้ยวด้านยาวไปดันป๊อบเป็ต a และป๊อบเป๊ต e เข้าไป จะเปิดช่อง b กับช่อง h ไปใช้สูบงาน และไฮดรอลิคที่ถูกขับออกจากด้านหนึ่งของสูบงานจะไหลผ่านระหว่างช่อง d กับช่อง f กลับถังรูปที่ 4.24ข

ถ้าจะเปลี่ยนทิศทางการทำงาน ก็หมุนแคมลูกเบี้ยวให้ตรงข้ามกับทางเดิมแคมลูกเบี้ยวด้านยาวจะไปดันป๊อบเป็ต c และป๊อบเป็ต g ให้เปิดช่อง b ต่อถึงกับช่อง d และช่อง h ต่อถึงกับช่อง f ไฮดรอลิคจะไหลผ่านระหว่างช่องที่ต่อถึงกันเข้าออกสูบงาน เมื่อลูกสูบในสูบงานเคลื่อนตัวไปจนสุดระยะแล้วจึงเปลี่ยนตำแหน่งให้วาล์วเปลี่ยนทางกลับมาอยู่ตำแหน่งกลาง (Neutral) รูปที่ 4.24ค

2.8.2.2 แบบลูกสูบหรือแบบเลื่อน (Piston or Slide Type Selector Valve) โครงสร้างของวาล์วแบบนี้ออกแบบให้วาล์วเลื่อนเป็นระยะสั้น ๆ และใช้แรงในการเลื่อนไม่มากก็สามารถให้ไฮดรอลิคไหลผ่านวาล์วเข้าออกให้สูบงานทำงานได้ ข้อดีของวาล์วเปลี่ยนทางแบบเลื่อนนี้อีกอย่างหนึ่งคือ สามารถควบคุมให้ปริมาณไฮดรอลิคที่จะผ่านเข้าออกวาล์วไปยังสูบงานให้เพิ่มหรือลดลงอย่างช้าๆ ได้ การทำงานจึงเป็นไปอย่างเร็วหรือช้าได้ จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Metering Valve” เหมาะสำหรับการบังคับตำแหน่งวาล์วโดยอ้อมด้วยวิธีกลไก ใช้ระบบไฟฟ้าหรือระบบอีเลคโทรนิค และแบบ เซอร์โว (Survo Control Valve)



รูปที่ 4.25

(โครงสร้างของวาล์วเปลี่ยนทาง แบบลูกสูบหรือแบบเลื่อน)

2.8.3 วิธีที่ใช้ในการบังคับวาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve Control Method) การบังคับให้วาล์วเปลี่ยนทางเปลี่ยนตำแหน่งมีวิธีใช้การบังคับหลายวิธีด้วยกันคือ

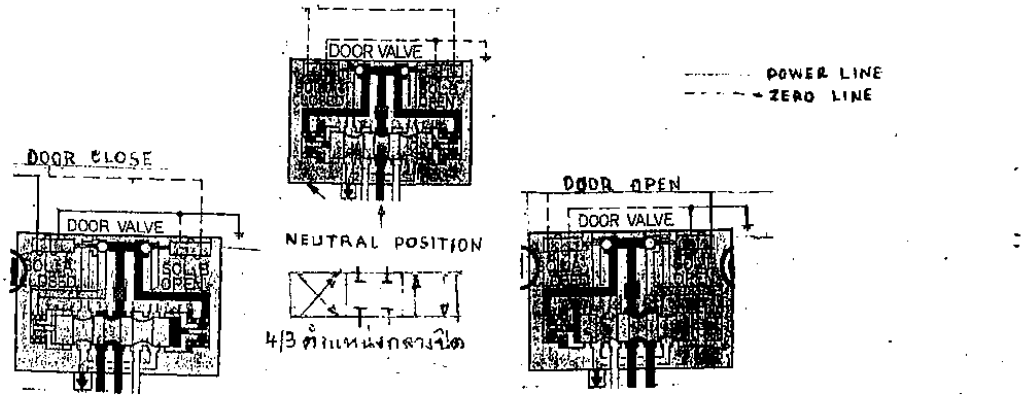
2.8.3.1 ใช้กล้ามเนื้อ (Manual Control) วิธีนี้ใช้ออกแรงบังคับที่ตัววาล์วโดยตรง เช่นวาล์วแบบมีปุ่มกด มีมือหมุนและแบบใช้เท้าเหยียบ

2.8.3.2 ใช้กลไก (Mechanical Control) ถ้าบังคับตำแหน่งระหว่างทางได้จะมีกลไก “Follow Up Mechanism” บังคับให้ Selector Valve อยู่ Neutral ได้โดยอัตโนมัติเมื่อหยุดหรือค้างการบังคับมีทั้งที่บังคับให้กลับมาอยู่ตำแหน่ง Neutral ที่เดิมได้ที่เดียวเรียกว่า “Control Valve” และทำให้เกิดตำแหน่ง Neutral ขึ้นใหม่ได้ทุกที่เรียกว่า “Servo Valve” ตามข้อ 3.2.2.2 ในบทที่ 1

2.8.3.3 .ใช้ความดัน (Pressurizing Control) บังคับด้วยความดันจากระบบไฮดรอลิคในตัวเองหรือใช้ความดันจากที่อื่น เช่น จากถังเก็บลมอัด

2.8.3.4 ใช้ระบบไฟฟ้า (Electric Control Hydraulic Operated) จะใช้กับวาล์วเปลี่ยนทางที่โครงสร้างเป็นแบบลูกสูบหรือแบบเลื่อน (Piston or Slide Type Selector Valve) โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า หรือโซลินนอยด์ไฟฟ้า บังคับโดยตรงหรือโดยอ้อม ถ้าใช้โซลินอยด์บังคับจะใช้โซลินนอยด์กระแสตรง เพราะการเคลื่อนที่ของแกนของลินอยด์จะเป็นไปอย่างนุ่มนวล (ถ้าใช้กระแสสลับ การเคลื่อนที่ของแกนจะถูกกระชากอย่างรุนแรง) ตามรูปที่ 4.26 เป็นวาล์วเปลี่ยนทางที่ใช้โซลินอยด์ไฟฟ้าบังคับให้แกนของวาล์วเปลี่ยนทาง เลื่อนโดยอ้อม แกนหรือสปูลลูกสูบของวาล์วจะเป็นแกนคอคอด 3 ตอนอยู่ในวาล์ว

การทำงานตามรูปที่ 4.26 เป็นตำแหน่งปกติของวาล์ว (Neutral Position) ที่ปิดไม่ใช้ไฮดรอลิคไหลผ่านเข้าออก เนื่องจากโซลินอยด์ทั้งสองด้านของวาล์วไม่มีไฟฟ้าเข้า แกนของโซลินอยด์ทั้งสองจึงเลื่อนห่างจากลูกบอลล์ออกไปทางขวาและซ้ายสุด ทำให้สปริงระหว่างลูกบอลล์ทั้งสองและไฮดรอลิคภายใต้ความดันจากสวนต้นกำลังที่ผ่านแกนคอคอดของสปูลลูกสูบเข้ามาดันลูกบอลล์ออกไปเปิดช่องไฮดรอลิคภายใต้



ความดันเข้าไปที่ห้องด้านขวากแลด้านซ้ายของเสื้อสปูลลูกสูบทั้งสองข้างจึงทำให้สปูลลูกสูบลอยตัวอยู่ในตำแหน่งที่ บ่าด้านในของสปูลลูกสูบทั้งสองบ่าปิดไม่ให้ข่องความดันจากส่วนต้นกำลังผ่านเข้าไปที่สูบงานและผ่านออกจากสูบงานกลับถังได้วาล์วเปลี่ยนทางจึงอยู่ในตำแหน่งกลาง “Neutral”

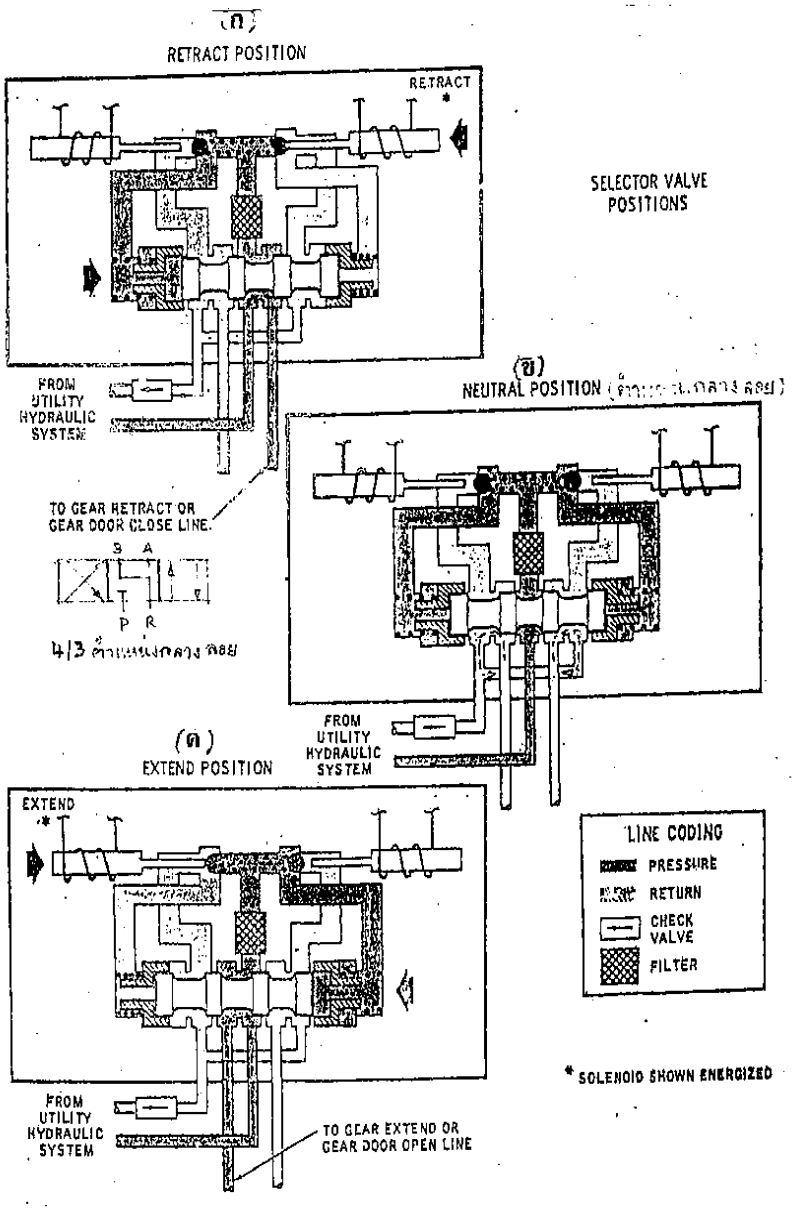
รูปที่ 4.26

(วาล์วเปลี่ยนทางที่ควบคุมด้วยโซลินอยด์ไฟฟ้าตำแหน่งกลางปิด “Neutral Position)

การทำงานตามรูปที่ 4.27ก เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าที่โซลินอยด์ด้านขวา โซลินอยด์จะทำงาน (Energized) ให้แกนของโซลินอยด์เลื่อนออกไปดันลูกบอลล์ด้านขวาออกปิดช่องไฮดรอลิคที่จะเข้าไปห้องด้านขวาของเสื้อสปูลลูกสูบจึงทำให้ความดันไฮดรอลิคของห้องด้านซ้ายของเสื้อสปูลลูกสูบสูงกว่าความดันที่ห้องด้านขวาสปูลลูกสูบจึงถูกดันให้เลื่อนมาทางขวาพร้อมกับกดสปริงและปลอกรองสปริงไปทางขวาด้วย แกนคอคอดของสปูลลูกสูบจึงคร่อมระหว่างช่องความดันจากส่วนต้นกำลังกับช่องเข้าสูบงานด้านขวา และคร่อมช่องด้านซ้ายของสูบงานกับช่องกลับถัง ไฮดรอลิคที่ถูกขับออกจากสูบงานจึงไหลกลับถังได้ สูบงานจึงทำงานไปทางด้านขวา

การทำงานตามรูปที่ 4.27ข เป็นตำแหน่งปกติของวาล์ว (Neutral Position) ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าโซลินอยด์เช่นเดียวกับการทำงานในรูป 4.26 แต่ตำแหน่งปกติหรือตำแหน่งกลาง (Neutral Position) จะเปิดให้ไฮดรอลิคจากสูบงานทั้งสองด้านไหลกลับถังได้ โดยแกนคอคอดของสปูลลูกสูบด้านซ้ายและขวาค่อมอยู่ระหว่างของเข้า ออกของสูบงานทั้งสองด้าน วาล์วเปลี่ยนทางตำแหน่งปกติเปิดแบบนี้เหมาะสำหรับใช้กับระบบกางฐานฉุกเฉิน เพราะเมื่อปลดล๊อกฐานที่พับอยู่ออกฐานสามารถกางออกด้วยน้ำหนักของฐานเองได้

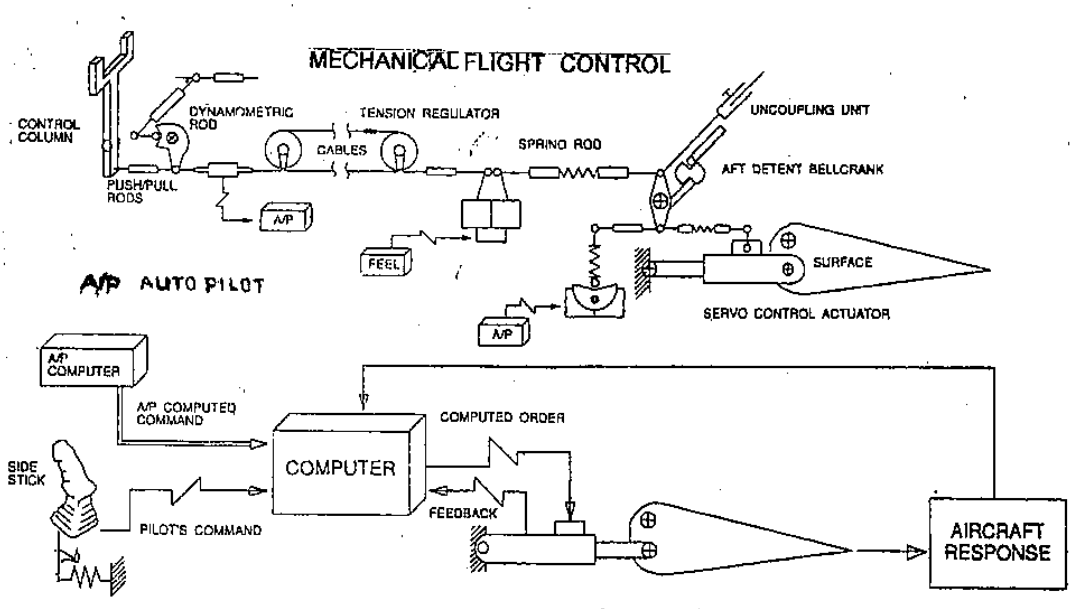
การทำงานตามรูปที่ 4.27ค เป็นการทำงานเช่นเดียวกับรูปที่ 4.27ก แต่เป็นการทำงานที่คนละด้านกันเพราะให้กระแสไฟฟ้าเข้าที่โซลินอยด์ด้านซ้ายของแกนคอคอดสปูลลูกสูบจะคร่อมอยู่ระหว่างช่องความดันจากส่วนต้นกำลังกับช่องเข้าสูบงานด้านซ้าย และคร่อมช่องด้านขวาของสูบงาน กับช่องกลับถังสูบงานจึงทำงานไปทางด้านซ้าย



รูปที่ 4.27

(วาล์วเปลี่ยนทางควบคุมด้วยโซลินอยด์ไฟฟ้าตำแหน่งกลาง Neutral ลอยให้ไฮดรอลิคจากสูบงานทั้งสองด้านกลับถังได้)

2.8.3.5 ใช้ระบบอีเลคทรอนิคหรือเรียกว่าระบบอีเลคโทรไฮดรอลิค (Electric Hydraulic System) โดยแปลงการเคลื่อนไหวของกลไกบังคับเป็นสัญญาณอีเลคโทรนิคไปบังคับ Servo Valve โดยมี (SENSOR) ตรวจจับการทำงานของอุปกรณ์ป้อนกลับชุดควบคุมสัญญาณ (E.C.U.) เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ Input แล้วประมวลผลออกมาเป็นสัญญาณผลสัมฤทธิ์ไปบังคับตำแหน่งระหว่างทาง (Automatic Control) ของ Servo Valve แทนกลไก Follow up (บทที่ 1 ข้อ 3.2.3)



รูปแสดงระบบ “FLY BY WIRE (FBW) ใช้สายไฟรับส่งสัญญาณบังคับท่าบินที่เปลี่ยนจากการบังคับด้วยกลไกมาเป็นสัญญาณอีเลคทรอนิคไปควบคุม SERVO CONTROL ACUTATOR **แทน**

สรุปบทที่ 4
(วาล์วและอุปกรณ์ควบคุมความดันและการไหล)

1. วาล์วควบคุมความดัน (Pressure Control Valve) เป็นวาล์วที่ใช้ควบคุมความดันในระบบให้คงที่, จำกัดความดันใน ระบบไม่ให้สูงเกินเกณฑ์ เพิ่ม-ลดความดันและลำดับค่าความดันไปใช้ตามความต้องการ

   1.1 วาล์วระบายความดัน (Pressure Relief Valve)

   1.1.1 วาล์วระบายความดันหลัก (Main or System Relief Valve) ติดตั้งอยู่ใน Power Section ระหว่าง Pressure Line กับ Return Line ของระบบสำหรับระบายความดันที่สูงกว่าปกติในระบบเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ของระบบเสียหายจากความดันที่สูงเกินต้องการ

   1.1.2 วาล์วระบายความดันย่อย (Line Relief Valve) ติดตั้งอยู่ใน Actuating Section โดยมีวาล์วกันกลับติดตั้งไว้ก่อนทางเข้าวาล์ว ค่าความดันที่ตั้งค่าให้ระบายจะสูงกว่าที่ตั้งค่าไว้ที่วาล์วระบายหลักใช้สำหรับระบายความดันที่เกิดขึ้นสูงจากแรงต้านของโหลดเพื่อให้โหลดทำงานหรือให้โหลดเก็บเข้าที่เดิมถ้าแรงต้านเกิดขึ้นมาก เช่น แฟลพโอเวอร์โหลดวาล์ว (Flap Over Load Valve)

   1.1.3 เทอร์มอลรีลีฟวาล์ว (Thermal Relief Valve) ติดตั้งอยู่ใน Actuating Section เช่นเดียวกับวาล์วระบายย่อยใช้สำหรับระบายความดันที่เกิดจากไฮดรอลิคในบริเวณ ที่ถูกกักไว้ได้รับความร้อนสูง Thermal Relief Valve จะมีขนาดเล็กที่สุดในจำพวกวาล์วระบายความดัน แต่การตั้งค่าให้ระบายความดันจะสูงที่สุด เพราะจะระบายความดันที่เกิดจากความร้อนสูงเฉพาะบริเวณที่ถูกกักไว้เท่านั้น

   1.1.4 วาล์วระบายที่ใช้สำหรับค่าความดัน (Priority or Balance Relief Valve) ติดตั้งอยู่ระหว่าง Power Section กับ Actuating Section โครงสร้างภายในตะกำจัดความดันย้อนกลับ (Back

Pressure) ไม่ให้มีผลต่อการเปิด-ปิดของวาล์ว ความดันที่ระบายออกจากวาล์วจะต่อไปใช้งาน (ไม่ต่อกลับถัง) ใช้สำหรับกักไฮดรอลิคก่อนเข้าวาล์วไม่ให้ผ่านวาล์วออกไปถ้าความดันยังไม่สูงถึงค่าที่ปรับตั้งวาล์วไว้ เพื่อลำดับให้อุปกรณ์หนึ่งทำงานก่อนอีกอุปกรณ์หนึ่งด้วยค่าความดันที่กักไว้ จึงมีชื่อเรียกอีกหนึ่งว่า “Selective Valve”

1.2 วาล์วลดโหลดปั๊ม (Unloading Valve) ติดตั้งอยู่คู่กับปั๊มใน Power Section สำหรับลดโหลดปั๊มประเภทจ่ายปริมาตรคงที่ (ปรับปริมาตรไม่ได้ “Constant Volume Pump”) บางแบบนอกจากลดโหลดปั๊มแล้วยังควบคุมความดันในระบบให้คงที่ด้วย เช่น ชุดกำหนดความดัน (Pressure Regulator) ซึ่งมีจังหวะการทำงาน (Pressure Cycle) สองจังหวะคือ “KICK IN และ “KICK OUT”

- จังหวะ “Kick In” จะปิดไม่ให้ไฮดรอลิคไหลผ่านกลับถัง เพื่อจ่ายไฮดรอลิคเข้าระบบ
- จังหวะ “Kick Out” จะเปิดให้ไฮดรอลิคไหลผ่านกลับถัง เพื่อลดโหลดปั๊มหลังจากความดันในระบบได้ตามเกณฑ์แล้ว ทำให้ความดันที่ออกจากปั๊มลดลงเกือบถึง 0 แต่ปริมาณการจ่ายออกยังคงเท่าเดิม (ปั๊มไม่ได้หมุนตัวเปล่า)

1.3 วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve) สำหรับลดความดันเพื่อนำไปใช้กับระบบย่อย (Sub System) ที่ต้องการความดันต่ำกว่าความดันในระบบหลัก Main System ติดตั้งในส่วนให้งานกล (Actuating Section) ก่อนวาล์วเปลี่ยนทางของระบบย่อยที่ต้องการลดความดัน

1.4 เครื่องวัดความดัน (Pressure Gage) ใช้วัดความดันในระบบมี 2แบบ

1.4.1 แบบอ่านตรง (Direct Reading) ต่อท่อทางความดันจากระบบเข้ามาอ่านที่ตัวเรือนเครื่องวัดโดยตรง

1.4.2 แบบส่งทอด (Remote Reafing) มีตัวส่งทอด “Transmitter” แยกต่างหากจากตัวเรือนเครื่องวัด (ซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายนอกห้องนักบิน) ท่อความดันจากระบบจะต่อมาเข้าที่ Transmitter จะแปลงค่าความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปอ่านที่เครื่องวัดในห้องนักบิน

1.5 สวิทช์ความดัน (Pressure Switch) ใช้ปิดเปิดวงจรไฟฟ้าในระบบไฮดรอลิค ทำงานเมื่อเกิดการเพิ่มหรือลดความดันที่สวิทช์ติดตั้งอยู่

2. วาล์วควบคุมการไหล (Flow or Directional Control Valve) ใช้สำหรับควบคุมการไหลคงที่, ลดอัตราการ

ไหล, บังคับทิศทางการไหล หรือเปลี่ยนทางการไหล

2.1 วาล์วกันกลับ หรือวาล์วทางเดียว (Check Valve or One Way Check Valve) ไอดรอลิคไหลผ่านได้ทางเดียว ไหลย้อนทางกลับไม่ได้ หัวลูกศรที่ตัววาล์วจะบอกทิศทางที่ให้ไหลผ่าน จะใช้สำหรับกักความดันทางด้านที่ออกไม่ให้ไหลย้อนกลับมาทางด้านที่เข้า

2.2 วาล์วทางเดียวมีของแคบให้ไหลย่อนกลับได้ (Orifice Check Valve) ไฮดรอลิคไหลย้อนกลับ

ทางช่องแคบได้เล็กน้อย ใช้งานกับงานที่ต้องการให้ความเร็วด้านหนึ่งช้ากว่าอีก้านหนึ่ง

2.3 วาล์วช่องแคบ (Orifice Valve) ใช้สำหรับลดอัตราการไหลทั้งไปและกลับเพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน

ช้าลงทำงานช้าลงทั้งสองด้าน ช่องแคบมีทั้งช่องแคบคงที่ และช่องแคบปรับขนาดได้ (Fixed Orifice & Variable Orifice)

2.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Regulator) ใช้สำหรับปรับอัตราการไหลที่เข้าสูบงานให้สูบงาน

ทำงานด้วยความเร็วคงที่ไม่ว่าโหลดของงานจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ถ้าโหลดของงานเพิ่มขึ้นวาล์วจะปรับขนาดของทางออกให้กว้างขึ้น ถ้าโหลดลดลงวาล์วจะหรี่ทางออกให้เล็กลงโดยอัตโนมัติ วาล์วนี้จะเรียกว่า “Constant Flow Valve หรือ “Flow Control Valve” ก็ได้

2.5 โฟล์อีควอลไลเซอวาล์ว (Flow Equalizer Valve) เป็นวาล์วสำหรับบังคับให้สูบงานสองสูบงานที่มีโหลดไม่เท่ากันทำงานได้พร้อมกัน ติดตั้งอยู่ใน Actuating Section ระหว่าง วาล์วเปลี่ยนทางกับสูบงานที่ต้องการให้ทำงานพร้อมกันทั้งสอง

2.6 ไฮดรอลิคฟิวส์ (Hydraulic Fuse) ใช้สำหรับตัดตอนการไหลของไฮดรอลิคไม่ให้ไหลออกไปยัง

จุดที่มีการรั่วไหลที่เกิดขึ้นหลังไฮดรอลิคฟิวส์เพื่อให้มีไฮดรอลิคเก็บไว้ใช้กับระบบอื่นที่ไม่เกิดการรั่วไหล ติดตั้งอยู่ใน Actuating Section บริเวณที่เสี่ยงต่อการถูกวัสดุแปลกปลอม (F.O.D.) เช่น ไฮดรอลิคฟิวส์ของระบบฐานหรือ ระบบเบรก จะติดตั้งอยู่ที่ท่อทางที่ยึดกับฐาน

2.7 วาล์วจัดทาง (Shuttle Valve) สำหรับแยกระบบปกติ กับระบบฉุกเฉิน ให้เข้าไปทงานตามที่เลือกใช้คือ โดยปกติแล้วจะจัดทางให้ระบบปกติเข้าไปทงาน ถ้าความดันของระบบปกติสูญเสียไปจนไม่สามารถทำงานได้ วาล์วจะจัดทางให้ความด้นจากระบบฉุกเฉินเข้าไปทำงานแทนอัตโนมัติ

2.8 วาล์วเปลี่ยนทาง (Selector Valve) สำหรับนำไฮดรอลิคให้ไหลไปทำงานตามทิศทางที่ต้องการ หรือกล่าวได้อย่างหนึ่งก็คือ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงพลังงานความดัน (หรือพลังงานการไหล) เป็นงานกลให้เครื่องกลไฮดรอลิคทำงานตามทิศทางที่ต้องการ

2.8.1 โครงสร้างของวาล์วเปลี่ยนทางและวิธีควบคุมวาล์ว โครงสร้างหลักและวิธีควบคุมมีสองแบบ

- แบบแผ่นหมุนหรือแบบโรเตอร์ (Rotor Type Selector Valve) วิธีบังคับวาล์วบังคับด้วยโดยตรงด้วยมือ
- แบบลูกสูบหรือแบบเลื่อน (Piston or Slide Type Selector Valve) วิธีบังคับวาล์วบังคับโดยตรงด้วยมือ หรือบังคับโดยอ้อมแบบด้วยกลไก, ระบบไฟฟ้า และระบบอิเลคโทรนิค มีข้อดีคือสามารถควบคุมปริมาณการไหลเข้า ออกผ่านวาล์วให้เพิ่มขึ้นหรือ

ลดลงได้เหมาะสำหรับใช้กับ Actuating Section ที่บังคับตำแหน่งระหว่างทางได้ เช่น เซอร์โววาล์ว (Servo Valve)

หมายเหตุ การบังคับตำแหน่งระหว่างทางโดยอัตโนมัติ คือวาล์วเปลี่ยนทางที่มีกลไกบังคับให้อยู่ตำแหน่ง “ปิด” (Neutral Position) ได้เองในทันทีที่หยุดการบังคับวาล์ว กลไกบังคับให้วาล์วเปลี่ยนทางอยู่ตำแหน่ง “ปิด” โดยอัตโนมัติมีสามแบบคือ

(1) กลไกบังคับให้วาล์วกลับมาอยู่ตำแหน่ง ปิด “Neutral” (Follow Up Mechanism) ที่เดิมเมื่อหยุดบังคับวาล์วเปลี่ยนทาง (วาล์วเปลี่ยนทางมีตำแหน่ง Neutral ที่เดียว)

(2) แบบวาล์วเปลี่ยนทางกับสูบงานเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งมีกลไกบังคับให้วาล์วเปลี่ยนทางเคลื่อนที่ตามสูบงานไปอย่างกระชั้นชิด เมื่อหยุดบังคับวาล์วเปลี่ยนทางให้สูบงานค้างอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ตามวาล์วเปลี่ยนทางจะเกิดตำแหน่งปิด “Neutral “ ขึ้นใหม่ในพริบตา ณ ตำแหน่งที่ค้างอยู่นั้น (ตำแหน่ง Neutral เกิดขึ้นได้ทุกที่เมื่อหยุดบังคับวาล์วเปลี่ยนทาง) ซึ่งแบบนี้เรียกว่า วาล์วเปลี่ยนทางแบบ เซอร์โววาล์ว “Servo Valve”

(3) วาล์วเปลี่ยนทาแบบ เซอร์โวบังคับด้วยระบบอีเลคโทรนิค ใช้ระบบอีเลคโทรนิคร่วมกับกลไกบังคับวาล์วเปบี่ยนทางนิยมใช้ในระบบบังคับท่าบิน (Fight Control) ที่เรียกว่า ฟลายบายไวร์ (Fly By Wire “FBW”) ดังกล่าวในบทที่ 1