

บทที่ 2

วรรณคดีวิจารณ์

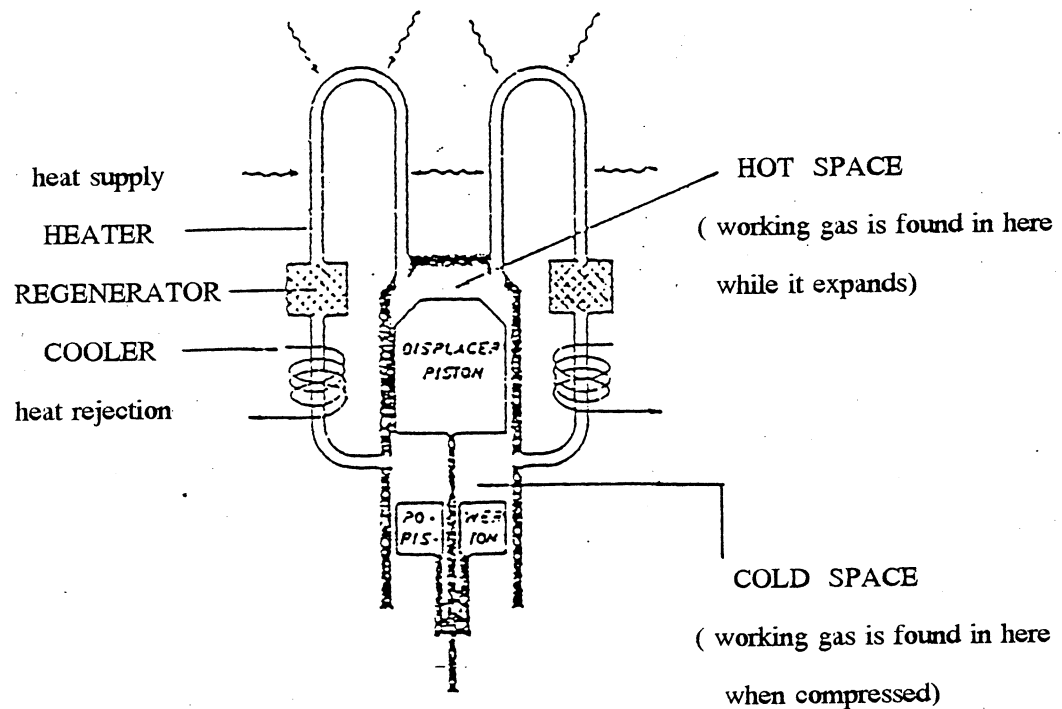
2.1 บทนำ

เครื่องยนต์ลูกสูบเหลวเป็นเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องใช้ลูกสูบที่เป็นโลหะ จึงไม่จำเป็นต้องมีการหล่อลื่น ใช้หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงลูกสูบเหลว (Liquid piston stirling engine) ซึ่งทำงานได้โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบด้านร้อนและด้านเย็น ทำให้ลูกสูบที่เป็นของเหลวภายในกระบอกสูบอยู่ในสภาวะไม่เสถียรเกิดการแกว่ง (oscillation) เครื่องยนต์ลูกสูบเหลวนี้นี้มีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อน ตัวลูกสูบเป็นของเหลวจึงไม่มีปัญหาเรื่องการสึกหรอเหมือนเครื่องยนต์ชนิดอื่น พลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์อาจใช้พลังงานเกรดต่ำ เช่น ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ความร้อนจากเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ ความร้อนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการ หรืออาจประยุกต์ใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์ก็ได้ เครื่องยนต์ชนิดนี้ในประเทศไทยยังไม่มีผู้ใดศึกษาอย่างจริงจัง ดังนั้นในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้จะนำไปสู่การพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต เนื่องจากเครื่องยนต์ลูกสูบเหลวใช้หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ในการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์หรือเครื่องยนต์ลูกสูบเหลวให้มีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ นั้น ควรจะต้องศึกษาหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้เข้าใจเสียก่อน ดังนั้นก่อนที่จะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเบื้องต้น จากนั้นจึงจะอธิบายการทำงานของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ต่อไป

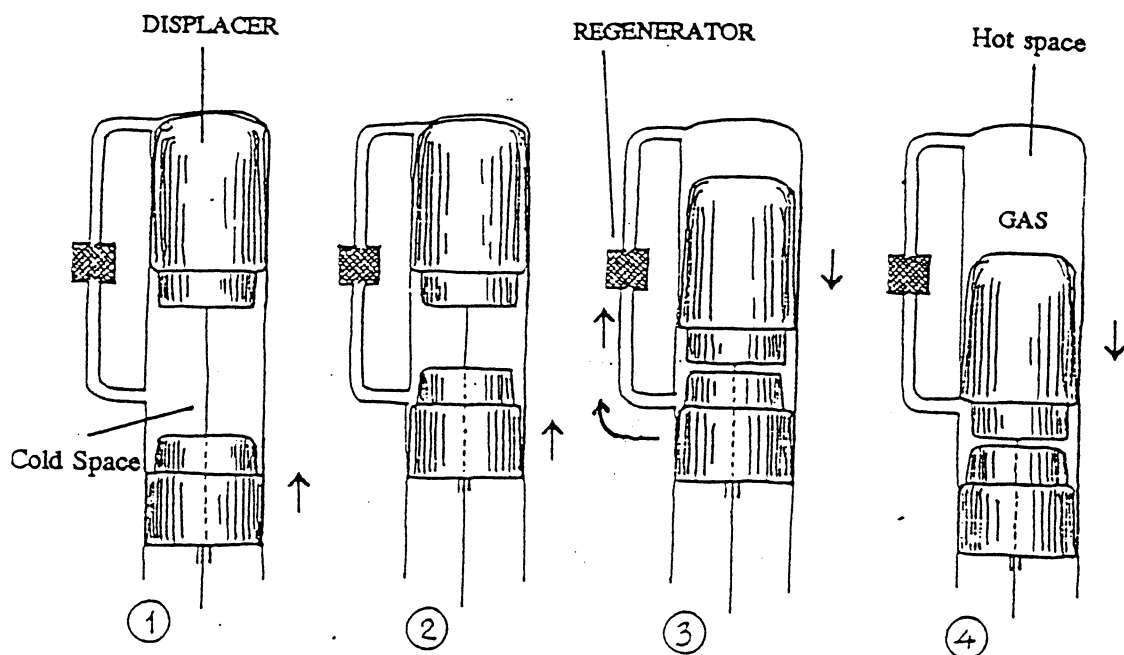
2.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกค้นพบโดย นายโรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling) ในปีค.ศ. 1816 (G.Walker 1980) แต่ในระยะแรกๆนั้นเครื่องยนต์ยังทำงานได้ไม่ดี จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้จึงได้มีการพัฒนาขึ้นมาโดย Phillips Reserch Laboratory ในเมืองไอนด์โฮเวน (Eindhoven) ประเทศฮอลแลนด์ (R.M.E.Diamant, 1970) ซึ่งได้พัฒนาจนกระทั่งเครื่องยนต์มีกำลังม้าสูงถึง 400 แรงม้า (300 Kw) จากลูกสูบเดี่ยวมาเป็นลูกสูบหลายตัว ทำงานได้โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิของแก๊สที่อยู่ภายในกระบอกสูบ เนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิของแก๊สทำให้มีการแบ่งพื้นที่ทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือด้านร้อนและด้านเย็นซึ่งจะมีลูกสูบดิสเพรสเซอร์เคลื่อนที่ไปมาระหว่างทั้งสองด้านนี้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ด้านร้อนและด้านเย็นมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ทางด้านร้อน

รับความร้อนจากฮีตเตอร์ทางด้านเย็นก็จะระบายความร้อนออกด้วยน้ำ ระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นติดตั้งรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนระหว่างที่ก๊าซร้อนเคลื่อนที่จากด้านร้อนมาด้านเย็น แหล่งพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์สามารถใช้ได้จากหลายๆด้านเช่น จากก๊าซชีวภาพ พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือจากแหล่งอื่นๆที่สามารถหามาได้ การเคลื่อนที่ของลูกสูบแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง(Phillips, Eindhoven.)



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของลูกสูบในเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

(R.M.E. Diamant 1970)

ขั้นตอนที่ 1 ลูกสูบกำลังอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ลูกสูบดิสเพลสเซอร์อยู่ที่ศูนย์ตายบน แก๊สทั้งหมดยังอยู่ในด้านเย็น

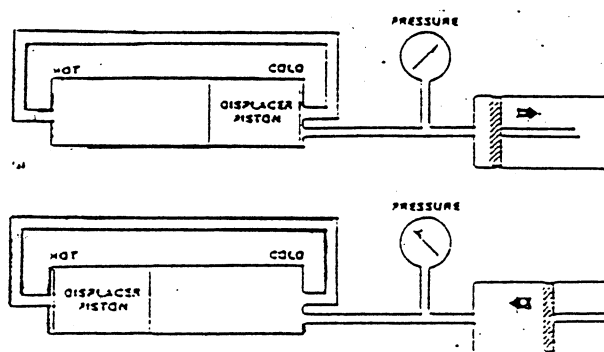
ขั้นตอนที่ 2 ขณะที่ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ยังอยู่ที่ศูนย์ตายบน ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นมาอัดแก๊สภายในระบบที่อุณหภูมิต่ำ

ขั้นตอนที่ 3 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์จะไล่ให้แก๊สเคลื่อนที่จากด้านเย็นผ่านรีเจนเนอเรเตอร์, ขดลวดความร้อนเข้าไปยังด้านร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สสูงขึ้นแก๊สเกิดการขยายตัว

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อแก๊สได้รับความร้อนมากขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สจะสูงขึ้นจะเกิดการขยายตัวดันลูกสูบดิสเพลสเซอร์ให้เคลื่อนที่ลงและดันให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่กลับ เมื่อแก๊สเกิดการขยายตัวแล้วความดันจะลดลง ลูกสูบดิสเพลสเซอร์จะเคลื่อนที่ขึ้นดันให้แก๊สเคลื่อนที่กลับจากด้านร้อนมายังด้านเย็น และเริ่มขั้นตอนที่ 1 อีกครั้งหนึ่ง

ตามรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันของแก๊ส ลูกสูบดิสเพลสเซอร์เกิดการเคลื่อนที่แล้วจะสามารถนำไปขับเคลื่อนลูกสูบอีกลูกหนึ่งเพื่อนำไปใช้งานได้ โดยการต่อกระบอกสูบและลูกสูบชุดที่สองเข้ากับกระบอกสูบชุดแรก ซึ่งจะเรียกว่ากระบอกสูบขยายตัวและลูกสูบกำลัง เมื่อความดันของแก๊สสูงขึ้น ลูกสูบดิสเพลสเซอร์อยู่ทางปลายด้านเย็นแก๊สอยู่ทางปลายด้านร้อน) ตามรูป 2.3 ก ลูกสูบจะเคลื่อนตัวไปทางด้านปลายเปิดของกระบอกสูบขยายตัวทำ

ให้เกิดงานขึ้น และสามารถนำไปต่อเข้ากับคันโยกของเครื่องสูบน้ำหรือนำไปต่อหมุนเพลาค้อเหวี่ยงได้ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับมาทางด้านร้อนก๊าซจะมาอยู่ทางด้านเย็น ความดันของก๊าซจะลดลงลูกสูบกำลังจะเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเดิม ตามรูป 2.3 ข

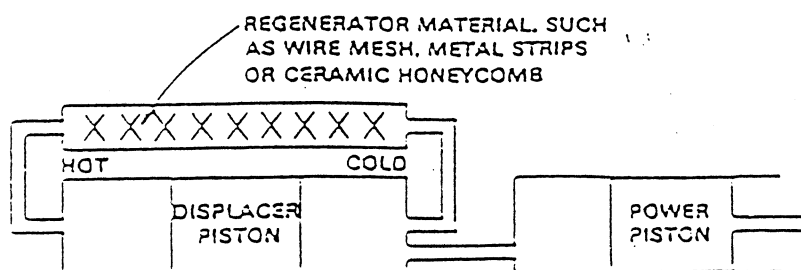


ก

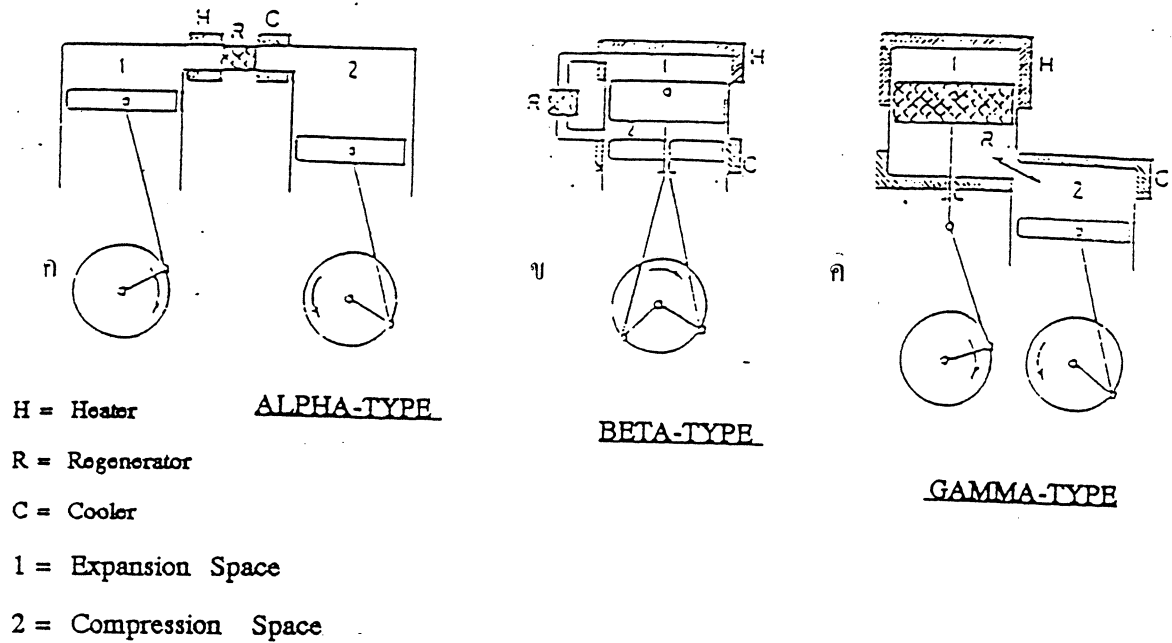
ข

รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดงานขึ้นเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ (C.D. West 1983)

ก่อนที่จะกล่าวถึงหน้าที่ของรีเจนเนอเรเตอร์นั้นจะมาพิจารณาก่อนว่าเมื่อไม่มีอุปกรณ์ตัวนี้แล้วจะเกิดอะไรขึ้น ตามรูปที่ 2.4 ขณะที่ลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่จากด้านเย็นมาด้านร้อน ก๊าซร้อนจะถูกดันให้ไปอยู่ทางด้านเย็นและถูกดูดความร้อนออกไปด้วยกระบวนการหล่อเย็นโดยอาศัยน้ำหรืออากาศ ดังนั้นความร้อนส่วนนี้จึงสูญเสียไป ความร้อนส่วนที่สูญเสียไปนี้มีส่วนทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง เมื่อติดตั้งรีเจนเนอเรเตอร์ไว้ขณะที่ก๊าซไหลผ่านอุณหภูมิของก๊าซจะค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอตามความยาวของรีเจนเนอเรเตอร์ เนื่องจากว่าการระบายความร้อนให้กับรีเจนเนอเรเตอร์จึงไม่มีการสูญเสียความร้อนไป เมื่อก๊าซเคลื่อนที่กลับจากด้านเย็นมาด้านร้อนอุณหภูมิของก๊าซจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเพราะได้รับความเอวร้อนจากรีเจนเนอเรเตอร์ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่ารีเจนเนอเรเตอร์นั้นทำงานเป็นอุปกรณ์นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่นั้นเอง

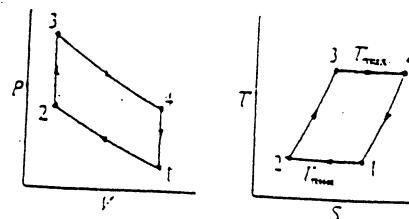
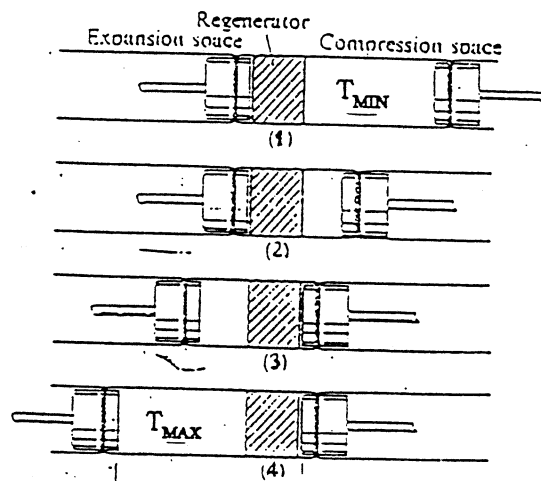


รูปที่ 2.4 รีเจนเนอเรเตอร์ (C.D. West , 1983)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างหลักของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (สุทธิชัย, อดิศักดิ์ 2537)

โครงสร้างหลักของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมี 3 แบบดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 คือ แบบอัลฟา แบบเบต้า และแบบแกมมา



รูปที่ 2.6 แผนภาพ P-V และ T-S ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (G.Walker, 1980)

รูปที่ 2.6 แสดงวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยแผนภาพ P-V และ T-S โดยมีลำดับการทำงานดังนี้ (G.Walker, 1980)

กระบวนการ 1-2 แก๊สทั้งหมดจะอยู่ในพื้นที่การอัด (Compression space) ปริมาตรจะมากที่สุด ส่วนความดันและอุณหภูมิจะต่ำ กระบวนการเริ่มขึ้นเมื่อลูกสูบ (Compression piston) หรือ P_c เคลื่อนที่เข้าไปยังพื้นที่การอัด แก๊สทำงานจะถูกอัดตัวความดันจะเพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิเท่าเดิมเพราะมีการระบายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม

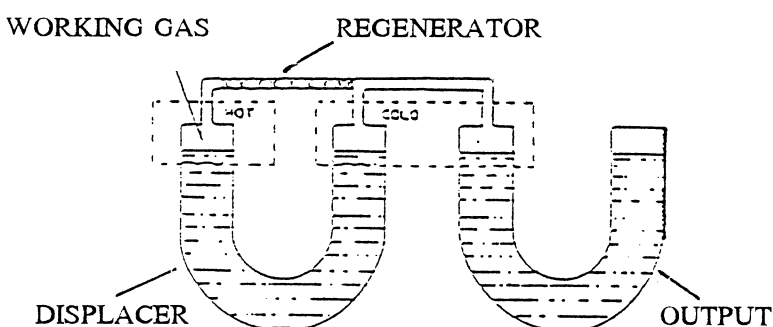
กระบวนการ 2-3 ลูกสูบ P_c ยังคงเคลื่อนที่เข้าไปยังรีเจนเนอเรเตอร์ในขณะที่ลูกสูบขยายตัว (Expansion piston) หรือ P_e เคลื่อนที่ออกจากรีเจนเนอเรเตอร์ แก๊สทำงานจะไหลผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ปริมาตรคงที่ ความดันสูงขึ้น

กระบวนการ 3-4 ลูกสูบ P_c เคลื่อนที่เข้ามาชิดกับรีเจนเนอเรเตอร์ในขณะที่ลูกสูบ P_e ยังคงเคลื่อนที่ออกจากรีเจนเนอเรเตอร์ ความดันของแก๊สลดลงแต่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการขยายตัวอุณหภูมิคงที่เพราะมีการรับเอาความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนเข้ามาในระบบ

กระบวนการ 4-1 ลูกสูบ P_e เคลื่อนที่กลับเข้าหารีเจนเนอเรเตอร์ แก๊สทำงานจะเคลื่อนที่กลับไปยังพื้นที่การอัดผ่านรีเจนเนอเรเตอร์มีการระบายความร้อนออกให้กับรีเจนเนอเรเตอร์ ความดันและอุณหภูมิของแก๊สลดลง เริ่มเข้าสู่กระบวนการ 1-2 ใหม่หมุนเวียนตลอดการทำงาน

2.3 เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ (Fluidyne Engine)

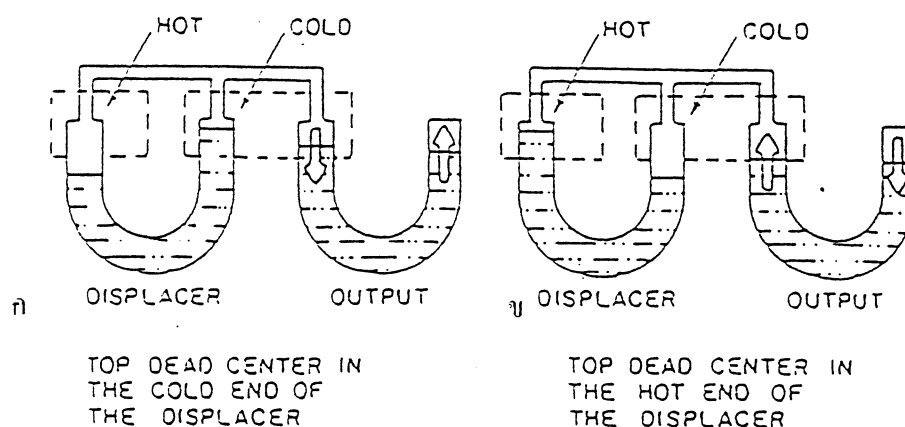
หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์หรือเครื่องยนต์ลูกสูบเหลว



รูปที่ 2.7 เครื่องยนต์ลูกสูบเหลว (After West ,1970)

เครื่องยนต์ลูกสูบเหลวอย่างง่าย ๆ มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัว U 2 ตัว ด้านบนเชื่อมต่อกันด้วยท่อขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่ลดแรงดันของอากาศด้วย ภายในหลอดแก้วบรรจุของเหลวซึ่งส่วนมากแล้วจะเป็นน้ำเหนือน้ำเป็นอากาศ หลอดแก้วตัว U ทางซ้ายมือเรียกว่าท่อดิสเพลสเซอร์ ของเหลวที่อยู่ภายในท่อดิสเพลสเซอร์เรียกว่าลูกสูบดิสเพลสเซอร์

ส่วนหลอดแก้วตัว B ทางด้านขวามือเรียกว่าท่อเอาต์พุท ปลายด้านหนึ่งของท่อเอาต์พุทจะเปิดสู่บรรยากาศ ทางด้านหนึ่งของท่อดิสเพรสเซอร์จะถูกให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาเรียกว่าท่อด้านร้อน ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำลงโดยการระบายความร้อนออกเรียกว่าท่อด้านเย็น ของเหลวที่อยู่ในท่อดิสเพรสเซอร์จะทำหน้าที่เสมือนลูกสูบของเครื่องยนต์ การเคลื่อนที่ของก๊าซที่อยู่ภายในระบบจะไปขับเคลื่อนให้ของเหลวในท่อดิสเพรสเซอร์และท่อเอาต์พุทเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยอาศัยความดันแตกต่างภายในระบบกับความดันบรรยากาศ ของเหลวที่อยู่ในท่อเอาต์พุทนั้นทำหน้าที่เสมือนลูกสูบกำลังของเครื่องยนต์ ถ้าสมมติว่าของเหลวที่อยู่ภายในกระบอกสูบท่อดิสเพรสเซอร์เกิดการแกว่งสลับไปมาจากด้านร้อนไปด้านเย็น เมื่อของเหลวอยู่ที่ศูนย์ตายบนของด้านเย็น ของเหลวด้านร้อนก็จะอยู่ที่ศูนย์ตายล่างดังแสดงในรูปที่ 2.8ก ขณะนั้นอากาศส่วนมากจะเคลื่อนที่มายู่ทางด้านร้อนทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศสูงขึ้น จะไปดันให้ของเหลวที่อยู่ในท่อเอาต์พุทเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ในช่วงครึ่งหลังของการแกว่งของเหลวในท่อดิสเพรสเซอร์มีการเคลื่อนที่กลับ ระดับของเหลวด้านเย็นกลับมาอยู่ที่ศูนย์ตายล่างดังแสดงในรูปที่ 2.8ข อากาศส่วนมากเคลื่อนที่มายู่ทางด้านเย็นและมีการระบายความร้อนออกไป ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศลดลงความดันลดลง เกิดการดูดของเหลวในท่อเอาต์พุทให้เคลื่อนที่จากขวามาซ้าย ความยาวของท่อเอาต์พุทจะต้องปรับให้มีความยาวที่พอเหมาะ เพื่อให้ความถี่การทำงานของเครื่องยนต์เท่ากับความเร็วธรรมชาติ



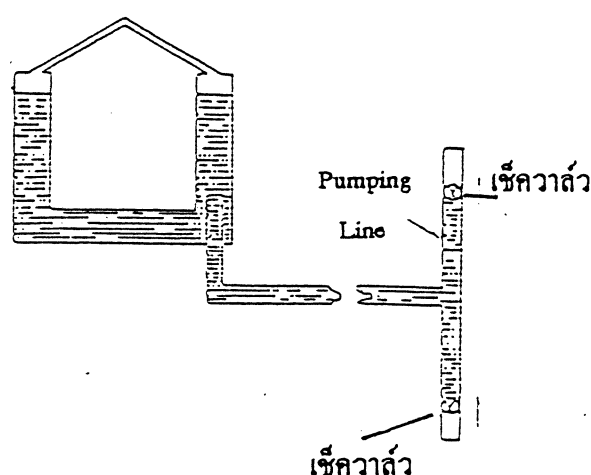
รูปที่ 2.8 การทำงานของเครื่องยนต์ลูกสูบเหลว (C.D.West,1983)

2.4 การต่อปั๊มเข้ากับเครื่องยนต์ลูกสูบเหลว

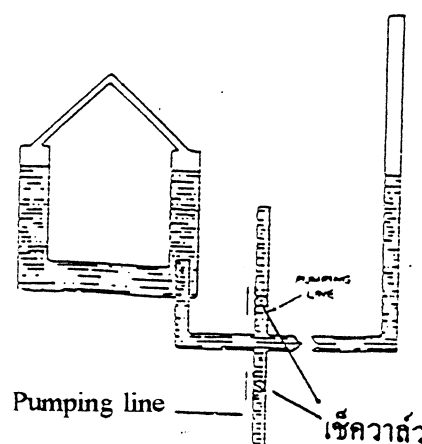
จากการทำงานของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ คือการทำให้ของเหลวในท่อด้านร้อน,ด้านเย็น และท่อเอาต์พุทเกิดการแกว่งสลับไปมา จะเกิดงานขึ้นงานส่วนนี้นำมาประยุกต์ใช้งานเหมือนเครื่องสูบน้ำได้ โดยการต่อปั๊มเข้ากับเครื่องยนต์ การต่อมีอยู่ 3 วิธีคือ (C.D. West,1983)

1.การต่อแบบอนุกรม (Series coupling) ตามรูปที่ 2.9 เป็นการต่อท่อปั๊มให้อยู่ในแนวเดียวกันกับท่อเอาต์พุตพร้อมทั้งติดตั้งเช็ควาล์ว 2 ตัว ช่วงชักเข้าจะเกิดขึ้นเมื่อความดันของอากาศในเครื่องยนต์มีค่าต่ำของเหลวจะถูกดูดขึ้นมาผ่านเช็ควาล์วตัวล่าง ส่วนช่วงชักออกจะเกิดขึ้นเมื่อความดันของอากาศภายในระบบมีค่าสูงขึ้นมากกว่าความดันบรรยากาศของเหลวจะถูกดันผ่านเช็ควาล์วตัวบนออกไป ปริมาตรของของเหลวที่ได้รับจะเท่ากับปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงภายในเครื่องยนต์

2.การต่อแบบขนาน (Parallal coupling)ตามรูปที่ 2.10 เป็นการต่อปั๊มใกล้กับท่อคิสเพรสเซอร์ด้านร้อนขนานกับท่อเอาต์พุต ปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านปั๊มจะน้อยกว่าปริมาตรของของเหลวที่เคลื่อนที่ในเครื่องยนต์

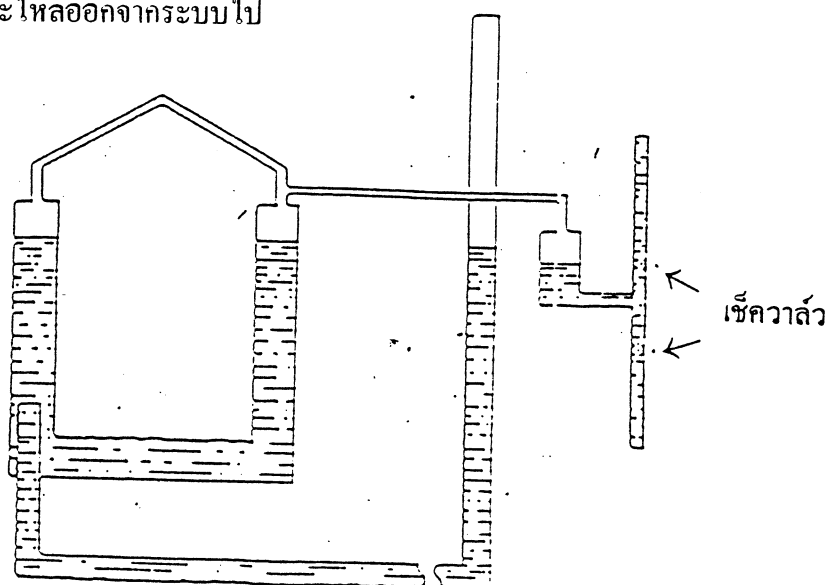


รูปที่ 2.9 การต่อปั๊มแบบอนุกรม (C.D. West, 1983)



รูปที่ 2.10 การต่อปั๊มแบบขนาน (C.D. West, 1983)

3.การต่อปั๊มแบบก๊าซคลีปปลิง (Gas coupling) ตามรูปที่ 2.11 การต่อปั๊มโดยวิธีนี้จะใช้การเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซทำงานโดยตรงไม่ผ่านทางท่อเอาท์พุท เมื่อความดันของก๊าซต่ำของเหลวจะถูกดูดผ่านเช็ควาล์วตัวล่าง แล้วไหลเข้าไปในปั๊มปั๊มอาร์ม (Pumping arm) เมื่อความดันของก๊าซเพิ่มมากขึ้น ของเหลวที่อยู่ในปั๊มปั๊มอาร์มจะไปดันเช็ควาล์วตัวบนให้เปิดออก ของเหลวส่วนนี้ก็จะไหลออกจากระบบไป



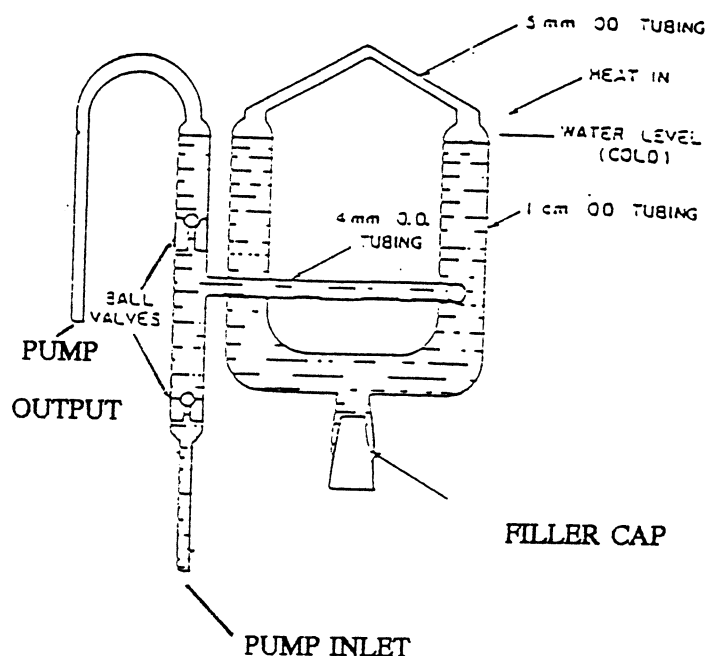
รูปที่ 2.11 การต่อปั๊มแบบก๊าซคลีปปลิง (C.D. West, 1983)

2.5 ตัวอย่างของปั๊มเครื่องยนต์ลูกสูบเหลว

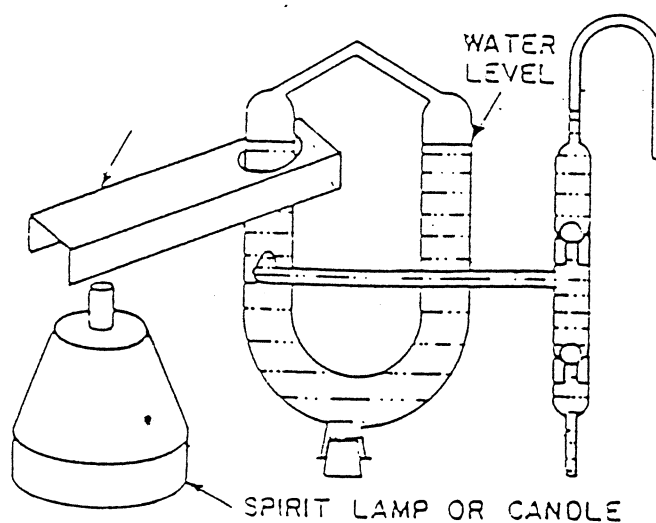
ปั๊มน้ำที่ใช้เครื่องยนต์ลูกสูบเหลว ได้มีการสร้างปรับปรุงและพัฒนากันมาบ้างแล้วในต่างประเทศ มีตั้งแต่ขนาดเล็กที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการไปจนถึงขนาดใหญ่ พอที่จะสรุปได้ดังนี้

1.ปั๊มฟลูอิดไดน์ขนาดเล็กของ David Harbert ทำจากหลอดแก้วทนไฟ (Pyrex glass) ใช้ผลึกควอตซ์ฮาโลเจน (Quartz Halogen) เป็นตัวรวมพลังงานจากอุปกรณ์ให้แสงสว่างขนาด 16 w ไปยังกระบอกสูบด้านร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.12

2.ปั๊มนขนาดเล็กที่สร้างโดย John Geisow ทำจากหลอดแก้วทนไฟ ทำงานได้โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์หรือจากเทียนไข ส่งผ่านความร้อนผ่านวัสดุตัวกลางเช่น เหล็กหรืออลูมิเนียมไปยังกระบอกสูบด้านร้อน ทางด้านเย็นจะระบายความร้อนโดยใช้อากาศตามธรรมชาติ มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.13

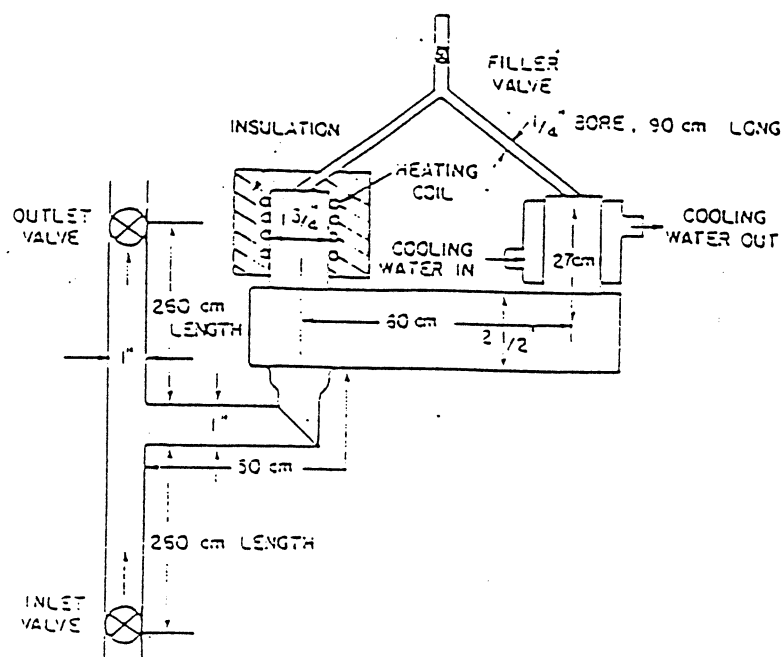


รูปที่ 2.12 ปัมของ David Harbert (C.D. West, 1983)

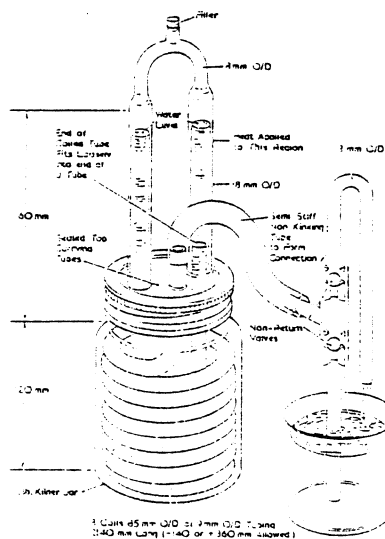


รูปที่ 2.13 ปัมของ John Geisow (C.D. West, 1983)

3. ปัมฟลูอิดไดน์ที่สร้างขึ้นโดย West (C.D. West, 1971) ใช้ท่อทองแดงและท่อทองเหลือง ประกอบเข้าด้วยกัน ให้กำลังงานความร้อนโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อให้ความร้อน 250 วัตต์ สามารถสูบน้ำได้ 370 ลิตร/ชั่วโมง ที่ความสูงไม่มากนัก เมื่อเพิ่มกำลังงาน เป็น 530 วัตต์ สามารถสูบน้ำได้ 370 ลิตร/ชั่วโมง ที่ความสูง 1.6 เมตร ประสิทธิภาพ 0.35% มี ขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ป้อนของ C.D. West (C.D. West, 1983)

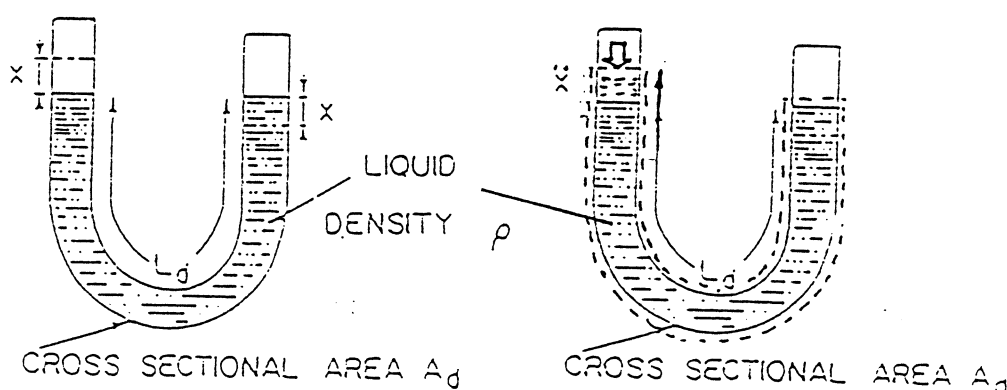


รูปที่ 2.15 ป้อนแบบขวดโหลของ Mosby (C.D. West, 1983)

4. ป้อนแบบขวดโหลสร้างโดย Mosby, 1987 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 ประกอบด้วยหลอดแก้วทนไฟตั้งอยู่บนฐานที่ทำจากขวดโหล (Fruit jar) เชื่อมต่อกันกับส่วนของป้อนด้วยท่อที่ดัดขึ้นรูป ใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์เป็นตัวให้ความร้อน หรือใช้ความร้อนจากเครื่องเป่าลม สามารถสูบน้ำได้ 5 U.S. gal/hr.

2.6 หลักการออกแบบเบื้องต้น

ในขั้นแรกจะกล่าวถึงเครื่องยนต์ลูกสูบเหลวอย่างง่ายรูปตัว U โดยที่ยังไม่ได้ต่อกับท่อเอาท์พุทหรือท่อจูนนิ่งดังแสดงในรูปที่ 2.16 ต่อมาจึงได้กล่าวถึงเครื่องยนต์ลูกสูบเหลวเมื่อต่อกับท่อจูนนิ่งแล้วดังแสดงในรูปที่ 2.17 การทำงานของเครื่องยนต์นั้นจะให้กำลังงานสูงสุดเมื่อความถี่ธรรมชาติของการแกว่งของของเหลวในท่อดิสเพรสเซอร์และท่อจูนนิ่งเท่ากันและเสริมกันพอดี ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนวณหาความถี่ธรรมชาติก่อนดังนี้



รูปที่ 2.16 เครื่องยนต์ลูกสูบเหลวอย่างง่าย

ตามรูปที่ 2.16 แสดงท่อดิสเพรสเซอร์รูปตัว U ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันหมด ภายในท่อรูปตัว U บรรจุของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ เอาไว้มีความยาวของของเหลวตามความยาวท่อเท่ากับ L_d ปลายทั้ง 2 ข้างเปิดสู่บรรยากาศ

เมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงาน ผิวของของเหลวด้านหนึ่ง (ตามรูปเป็นด้านซ้าย) ถูกยกตัวสูงขึ้นจากระดับสมดุลเป็นระยะทาง x ของเหลวที่อยู่ทางด้านขวาก็จะลดต่ำลงเป็นระยะ x ด้วย ของเหลวด้านซ้ายจะมีมวลมากกว่าของเหลวด้านขวาเท่ากับ $2xA_d\rho$ ความดันที่เกิดขึ้นเป็น $2x\rho g$ เมื่อ g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก แรงกระทำที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ $2xA_d\rho g$ มวลของลำของเหลวภายในท่อดิสเพรสเซอร์คือ $A_d\rho L_d$

พิจารณามวลควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2.16b มวลควบคุมมีมวลเท่ากับ $A_d\rho L_d$ มีแรงกระทำเนื่องจากมวลของของเหลวด้านซ้ายที่ยกตัวสูงขึ้นเท่ากับ $2xA_d\rho g$ ทำให้เกิดความเร่ง x มีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของลำของเหลว เมื่อสมมุติว่าไม่มีการสูญเสียใดๆในระบบ

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\Sigma F = ma \quad 1$$

$$(2X) A_d \rho g = - (A_d \rho L_D) \ddot{X}$$

$$A_d \rho L_D \ddot{X} + 2 A_d \rho g X = 0$$

$$\ddot{X} + \frac{2g}{L_D} X = 0 \quad 2$$

$$\ddot{X} + \omega^2 X = 0 \quad 3$$

จากสมการที่ 2 และ 3 จะได้ว่า

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{L_D}} \quad \text{rad/s}$$

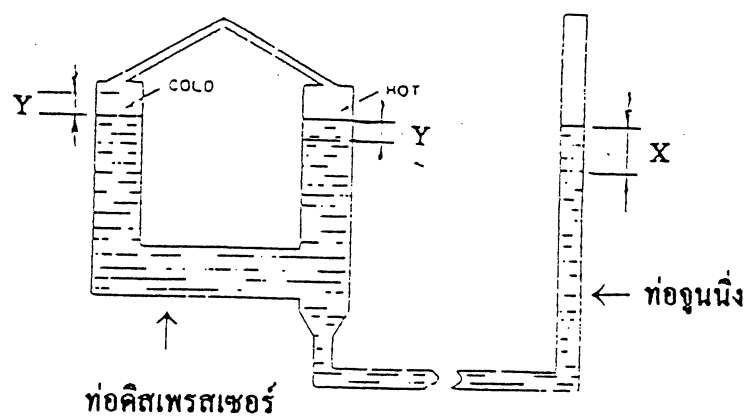
เมื่อ ω คือความถี่เชิงมุมของการแกว่ง

$$f \text{ คือความถี่ธรรมชาติ} = \omega/2\pi$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L_D}} \quad \text{Hz}$$

ถ้า L_D ควรจะอยู่ระหว่าง 0.3-3 เมตร จะทำให้ค่าความถี่อยู่ระหว่าง 0.4-1.3 Hz

(West, 1983)



รูปที่ 2.17 เครื่องยนต์ลูกสูบเหลวเมื่อต่อเข้ากับท้อจูนนิ่ง

เมื่อมีการต่อท่อจูนนิ่งเข้ากับระบบตามรูปที่ 2.17 การคำนวณหาความถี่ธรรมชาติทำได้ดังนี้

สมมติให้กระบอกสูบดิสเพรสเซอร์มีพื้นที่เท่ากับ A_d ใหญ่กว่าพื้นที่ท่อจูนนิ่ง (A_t) 2 เท่า เมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงานเกิดการแกว่งของเหลวด้านร้อนจะลดลงให้เท่ากับ Y ทำให้ของเหลวด้านเย็นสูงขึ้น Y และมีความแตกต่างกัน $2Y$ ของเหลวในท่อจูนนิ่งลดลง X ดังนั้นจะได้ว่า

$$2YA_d = XA_t$$

$$Y = \frac{XA_t}{2A_d}$$

เมื่อเครื่องยนต์ยังไม่เริ่มทำงานสมมติให้

$$\text{ปริมาตรของแก๊สที่อยู่ในพื้นที่ทำงาน} = V_m$$

$$\text{ความดันเริ่มต้นของแก๊ส} = P_m$$

เมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงานจะทำให้เกิด

1.แรงดันของแก๊สจะเพิ่มขึ้นเป็น $P_m + p$ เมื่อ p คือความดันที่เพิ่มขึ้น

2.ปริมาตรของแก๊สภายในพื้นที่ทำงานลดลงไปเท่ากับ $A_t X$

$$\therefore \text{ปริมาตรของแก๊สจะเหลือ} = V_m - A_t X$$

ถ้าสมมติให้ 1.แก๊สที่อยู่ภายในระบบเป็น Ideal Gas

2. Gas space เป็น Isothermal

จากสมการของ Ideal Gas จะได้ว่า

$$PV = mRT$$

$$P_1 V_1 = P_m V_m = mRT_1 \quad 4$$

$$P_2 V_2 = (P_m + p)(V_m - A_t X) = mRT_2 \quad 5$$

$$\begin{aligned} 4 = 5 \quad \therefore P_m V_m &= (P_m + p)(V_m - A_t X) \\ &= P_m V_m - P_m A_t X + V_m p - p A_t X \\ V_m p &= A_t X (P_m + p) \quad 6 \end{aligned}$$

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ชนิดอื่นแล้วมีค่าอัตราส่วนการอัดต่ำ

ดังนั้นจึงถือว่า p มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ P_m (C.D. West, 1983)

∴ จากสมการที่ 6 จะได้ว่า

$$p = \frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{X}$$

ให้ ΔP = ความดันเนื่องจากการอัดตัวของก๊าซ + ความดันเนื่องจากของเหลวในท่อ
จูนนิ่งลดต่ำลง + ความดันเนื่องจากระดับของเหลวในท่อดิสเพรสเซอร์
เพิ่มขึ้น

$$\begin{aligned} \therefore \Delta P &= \frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{X} + \rho_g X + \rho_g Y \\ &= \frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{X} + \rho_g X + \rho_g X \frac{A_t}{2A_d} \\ &= X \left[\frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{X} + \rho_g + \rho_g \frac{A_t}{2A_d} \right] \end{aligned}$$

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\Sigma F = ma$$

$$-A_t \left[\frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{X} + \rho_g + \rho_g \frac{A_t}{2A_d} \right] X = \rho A_t L_t \ddot{X}$$

$$\ddot{X} = - \left[\frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{L_t} \frac{X}{\rho} + (1 + A_t X_g / 2A_d) / L_t \right]$$

$$X + \left[\frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{L_t} \frac{1}{\rho} + \frac{1 + A_t / 2A_d}{L_t} g \right] X = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{L_t} \frac{1}{\rho} + \frac{1 + A_t/2A_d}{L_t} g}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_m}{V_m} \frac{A_t}{L_t} \frac{1}{\rho} + \frac{1 + A_t/2A_d}{L_t} g}$$

กำลังงานโดยประมาณของเครื่องยนต์ (C.D. West, 1983)

$$W_o = 0.3 P_m V_o f \frac{\pi}{4} \frac{V_o}{V_m} (T_H - T_C)(T_H + T_C)$$