บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับต้นทุน

ต้นทุน(Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่จ่ายไปสำหรับปัจจัยทางการผลิตเพื่อให้เกิดผลผลิต ต้นทุนจึงเป็นส่วนสำหรับการนิยามอัตราผลิตภาพ (Productivity) ซึ่งเท่ากับผลผลิต (Output) หารด้วยปัจจัยนำเข้า(Input) ต้นทุนจึงเป็นข้อมูลที่วัดได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของทรัพยากรที่ใช้ และต้นทุนมีลักษณะที่ใช้จ่ายไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ถือเป็นทรัพย์สินได้ เช่น คงคลังของวัสดุ งานระหว่างทำ และสินค้าสำเร็จรูป

การคำนวณมูลค่าต้นทุนของสินค้าเกิดขึ้นเพราะต้องการวัดผลการดำเนินงานของกิจการ ถ้าเป็นกิจการที่ซื้อสินค้ามาเพื่อขายคำนวณต้นทุนสินค้าที่ขายจากราคาทุนที่ซื้อมา แต่ถ้าเป็นกิจการที่ผลิตสินค้าเพื่อขายจะคำนวณต้นทุนสินค้าจากต้นทุนการผลิต โดยคำนวณจากต้นทุนวัตถุดิบ ค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายการผลิตต่างๆ ซึ่งต้องมีวิธีการเก็บบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณต้นทุนสินค้าที่ผลิตและต้นทุนสินค้าที่ขาย ต้นทุนของสินค้าจะอำนวยประโยชน์ต่อฝ่ายบริหารในการนำไปใช้เพื่อการวางแผน การควบคุม และการตัดสินใจได้อีกด้วย

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการคำนวณต้นทุนสินค้า

ต้นทุนสินค้าที่ผลิตหรือต้นทุนการให้บริการมีวัตถุประสงค์สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อวัดผลการดำเนินงาน(Income determination) โดยการคำนวณต้นทุนขายแล้วนำไปเปรียบเทียบกับยอดขายเพื่อคำนวณหากำไรหรือขาดทุนสำหรับงวด
2. เพื่อคำนวณหรือตีราคาสินค้าคงเหลือ(Inventory valuation) โดยการรวบรวมข้อมูล ต้นทุนบันทึก แยกประเภท จัดสรร และสะสม ซึ่งจะนำไปใช้ในการตีราคาสินค้าคงเหลือได้แก่ วัตถุดิบ งานระหว่างทำ และสินค้าสำเร็จรูป
3. เพื่อวางแผนและควบคุม(Planning and Control) ในการบริหารของฝ่ายบริหารมักจะต้องมีการวางแผนล่วงหน้าโดยการจัดทำงบประมาณขึ้น ซึ่งจะต้องนำข้อมูลต้นทุนในอดีตมาใช้ในการประมาณต้นทุนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นภายใต้การทำงาน ณ ระดับปกติ มีการเก็บ

ข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง นำมาเปรียบเทียบกับงบประมาณที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะเกิดผลแตกต่างที่น่าพอใจ (Favorable variance) หากพบว่าผลแตกต่างนั้นเกิดจากข้อบกพร่องของการดำเนินงานในส่วนใด ฝ่ายบริหารจะแก้ได้ทันต่อเหตุการณ์

4. เพื่อใช้ในการตัดสินใจ(Decision making) เมื่อฝ่ายบริหารมีปัญหาที่ต้องตัดสินใจพิจารณาทางเลือกของปัญหาในเชิงปริมาณ จะต้องใช้ข้อมูลต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น โดยอาจจะต้องนำต้นทุนในอดีตมาพิจารณาปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับปัญหา เช่น การพิจารณาปัญหาการเพิ่มหรือลดสายผลิตภัณฑ์ การพิจารณาปัญหาการขยายโรงงาน เป็นต้น

2.1.2 การจำแนกต้นทุนการผลิต สามารถแยกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1. วัตถุดิบ(Material) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.1 วัตถุดิบทางตรง(Direct material) หมายถึง สิ่งของที่ถูกนำมาเปลี่ยนสภาพหรือประกอบขึ้นเป็นสินค้าสำเร็จรูป โดยมีลักษณะสำคัญสองประการ คือ ต้องเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสินค้าและ สามารถ คำนวณเป็นต้นทุนของสินค้าหน่วยหนึ่งหน่วยใดได้โดยตรง เช่น ผ้าที่ใช้ผลิตเสื้อ กระดาษที่ใช้ในการผลิตหนังสือ ไม้ที่นำมาใช้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

1.2 วัตถุดิบทางอ้อม(Indirect material) หมายถึง สิ่งของที่ต้องใช้ในการผลิตสินค้า แต่เป็นส่วนประกอบจำนวนน้อยและยากที่จะคำนวณเป็นต้นทุนของสินค้าหน่วยหนึ่งหน่วยใดได้โดยตรง เช่น ด้ายที่ใช้ผลิตเสื้อ กาวที่ใช้ในการผลิตหนังสือ ตะปูที่ใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ กิจการบางแห่งอาจเรียกวัตถุดิบทางอ้อมว่า วัสดุโรงงาน (Factory supplies) หรือ วัสดุสิ้นเปลือง (Supplies)

ในการพิจารณาว่าวัตถุดิบรายการใดเป็นวัตถุดิบทางตรงหรือวัตถุดิบทางอ้อมนั้นต้องพิจารณาจากลักษณะสำคัญทั้งสองประการของวัตถุดิบทางตรง กล่าวคือ จะต้องเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสินค้าและต้องสามารถคำนวณเป็นต้นทุนของสินค้าได้โดยตรงชัดเจน จะขาดลักษณะใดลักษณะหนึ่งไม่ได้ ถ้าหากพิจารณาแล้วลักษณะไม่ครบทั้งสองประการ จะถือว่าวัตถุดิบทางอ้อม ซึ่งจะถือเป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายการผลิต

2. ค่าแรงงาน(Labor) คือ จำนวนเงินที่กิจการต้องจ่ายเป็นค่าตอบแทนแก่คนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าหรือบริการ การจ่ายค่าแรงงานมีหลายลักษณะ เช่น ค่าแรงงานรายเดือน ค่าแรงงานรายชั่วโมง ค่าแรงงานรายหน่วยสินค้า ซึ่งปกติจะแยกค่าแรงงานเป็น 2 ประเภทดังนี้

   2.1 ค่าแรงงานทางตรง (Direct labor) หมายถึง ค่าแรงงานที่เกิดขึ้นเพื่อเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นสินค้าสำเร็จรูป ซึ่งต้องมีลักษณะสำคัญสองประการ คือ เป็นค่าแรงงานที่จ่ายให้คนงานที่ทำหน้าที่ผลิตสินค้าโดยตรง และสามารถคำนวณเป็นต้นทุนสินค้าหน่วยหนึ่งหน่วยใดได้โดยตรง ตัวอย่างเช่น ค่าแรงที่จ่ายให้ช่างเย็บเสื้อในกิจการผลิตเสื้อสำเร็จรูป ค่าแรงที่จ่ายให้ช่างไม้ในกิจการผลิตเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

   2.2 ค่าแรงงานทางอ้อม(Indirect labor) หมายถึง ค่าแรงงานที่กิจการจ่ายให้คนงานในโรงงานที่ไม่ได้ทำหน้าที่ผลิตสินค้าโดยตรง ซึ่งยากที่จะนำมาคำนวณเป็นต้นทุนของสินค้าหน่วยหนึ่งหน่วยใดได้แน่นอนและชัดเจน เช่น เงินเดือนผู้จัดการโรงงาน ค่าแรงหัวหน้าคนงาน ค่าแรงพนักงานทำความสะอาดโรงงาน เงินเดือนยามรักษาการณ์โรงงาน ในการพิจารณาต้นทุนสินค้า ค่าแรงงานทางอ้อมถูกจัดเป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายในการผลิต

3. ค่าโสหุ้ยการผลิต หรือค่าใช้จ่ายโรงงาน หรือค่าใช้จ่ายการผลิตทางอ้อม (Factory overhead หรือ Manufacturing overhead หรือ Indirect manufacturing costs) หมายถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าหรือบริการ ซึ่งไม่สามารถจัดเป็นวัตถุดิบทางตรงหรือค่าแรงทางตรงได้ อันเป็นการจ่ายเพื่อให้ผลิตเป็นไปได้ หรือเป็นไปด้วยความสะดวกขึ้น ดังนั้นภายใต้หัวข้อค่าใช้จ่ายการผลิตจึงประกอบด้วยรายการที่มีลักษณะเป็นต้นทุนทางอ้อมของสินค้า ซึ่งไม่สามารถจัดเป็นต้นทุนของสินค้าหน่วยใดหน่วยหนึ่งได้อย่างแน่นอนชัดเจน รายการที่จัดเป็นค่าโสหุ้ยการผลิต ได้แก่

   3.1 วัตถุดิบทางอ้อม วัสดุโรงงานหรือวัสดุสิ้นเปลือง

   3.2 ค่าแรงงานทางอ้อม เช่น เงินเดือนผู้จัดการโรงงาน เงินเดือนผู้ควบคุมงาน เงินเดือนยามรักษาการณ์ โรงงาน ฯลฯ

   3.3 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้สาธารณูปโภคในโรงงาน เช่น ค่าไฟฟ้า

3.4 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอาคารสถานที่และอุปกรณ์ในโรงงาน เช่น ค่าเสื่อมราคาอาคาร ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ ค่าซ่อมแซม และค่าบำรุงรักษาสินทรัพย์ เป็นต้น

3.5 ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด อื่นๆในโรงงาน

การวัดต้นทุนวัสดุทางตรงอาจกระทำได้ 2 ลักษณะ คือ การวัดปริมาณวัสดุที่ใช้ไปและการวัดจากราคาวัสดุต่อหน่วยที่ใช้ไป ปริมาณวัสดุที่ใช้ไปในการผลิตได้จากใบเบิกวัสดุ ส่วนการกำหนดราคาวัสดุอาจได้จากราคาต้นทุนในใบกำกับสินค้าหรือใบส่งสินค้า ซึ่งอาจจะบวกต้นทุนที่สัมพันธ์กับวัสดุเข้าไปด้วยก็ได้ เช่น ค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ค่าดอกเบี้ย ค่าเช่าคลังสินค้า และต้นทุนของแผนกจัดซื้อ เป็นต้น

การวัดต้นทุนแรงงานทางตรงมักจะมีปัญหาที่สำคัญ 2 ประการ คือ การวัดจำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตและการหาราคาต่อหน่วยของจำนวนแรงงาน ในการวัดจำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิต เช่น จำนวนชั่วโมงแรงงาน ที่ใช้ไป จะทำได้ง่ายกว่าเพราะตามปกติแล้วในระบบต้นทุนงานสั่งทำ จะมีใบบันทึกเวลาทำงานของคนงานแต่ละคน การวัดนี้จะแสดงถึงเวลาที่คนงานแต่ละคนใช้ไปในการทำงานแต่ละงานและการกำหนดราคาของแรงงานทางตรง อาจจ่ายเป็นอัตรารายวัน รายชั่วโมงหรืออาจจ่ายตามจำนวนงานที่ทำแล้วเสร็จ นอกจากนี้อาจกำหนดค่าแรงงานของคนงานในแต่ละคนตามความสามารถของคนงาน หรือกำหนดอัตราเฉลี่ยสำหรับคนงานทั้งหมดในแผนกผลิตก็ได้ ต้นทุนการผลิตดังกล่าวนี้จะไม่รวมถึงค่าใช้จ่ายในการขายสินค้า(Selling Expense) และค่าใช้จ่ายในการบริหาร (Administrative Expense) เนื่องจากค่าใช้จ่ายทั้ง 2 ประเภทนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตในโรงงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งสองนี้อาจเรียกรวมได้ว่า ค่าใช่จ่ายการค้า และถ้ารวมค่าใช้จ่ายการค้าเข้ากับต้นทุนการผลิต จะเรียกว่าต้นทุนสินค้าขาย(Cost of Goods sold)

2.1.3 การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรม เป็นส่วนงานที่มีความสำคัญต่อการบริหารการผลิต ซึ่งต้องดูแลด้านประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะด้านการลดต้นทุนการผลิต ภายใต้ภาวะ การแข่งขันทางการตลาดที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น การนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตจะเป็นการลงทุนซึ่งมีภาระค่าใช้จ่ายด้านดอกเบี้ย และเกิดเป็นส่วนของต้นทุนทางการเงินในต้นทุนการผลิต การวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างของต้นทุนการผลิต จะ

ช่วยให้สามารถกำหนดนโยบายทางการผลิตและทางการเงิน ทำให้กำหนดและควบคุมต้นทุนการผลิตได้

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุน เป็นกิจกรรมในระดับปฏิบัติการทางการผลิตและการขาย ปัจจัยทางการผลิตประกอบด้วย เครื่องจักร แรงงาน และวัสดุ เป็นหลัก ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตจึงเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนค่าแรงงาน ค่าวัสดุ และค่าใช้จ่ายในโรงงาน ในด้านต้นทุนการขายจะประกอบไปด้วยต้นทุนการขายและการบริหาร ต้นทุนการผลิตจะมีส่วนที่เป็นต้นทุนสินค้าขายและส่วนที่เป็นคงคลังของสินค้าสำเร็จรูปและงานระหว่างทำ ซึ่งเมื่อมีการขายสินค้าในราคาที่สูงกว่าต้นทุนสินค้าขายก็จะเกิดกำไรขั้นต้นจากการขาย และเมื่อหักค่าใช้จ่ายในการขาย ในการบริหาร ค่าดอกเบี้ย และค่าภาษีแล้ว ก็จะเป็นกำไรสุทธิของกิจการ เพื่อให้ได้ผลกำไรที่สูงขึ้นนอกเหนือจากการตั้งราคาสินค้าให้สูงขึ้น ซึ่งบ่อยครั้งทำไม่ได้เนื่องจากมีปัจจัยการแข่งขันการตลาด การควบคุมต้นทุนการผลิตเป็นอีกทางหนึ่งที่จะทำให้มีผลกำไรสูงขึ้น การวิเคราะห์ต้นทุนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมและลดต้นทุนในการผลิต ทำให้ผลผลิตของกิจการมีความสามารถในการแข่งขันมากขึ้นและมีส่วนทำให้ผลกำไรของธุรกิจสูงมากขึ้น

การวิเคราะห์ต้นทุน เป็นกระบวนการรวบรวม แจกแจง วิเคราะห์ และรายงานเกี่ยวกับการสะสมและจัดสรรค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นให้เป็นต้นทุนส่วนต่างๆ ของการผลิตซึ่งมีประโยชน์ ต่อการบริหารงาน ข้อมูลต้นทุนที่ได้จะมีประโยชน์ที่จะใช้ในการตัดสินใจดำเนินการต่างๆ ตั้งแต่การกำหนดราคาขาย การเสนอราคา การเพิ่ม-ลด-เลิกการผลิต การซื้อหรือทำเอง การเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรและการลงทุนอื่นๆ

การใช้การวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อการตัดสินใจ

การใช้การวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อการตัดสินใจนั้น มีกระบวนการวิเคราะห์ที่ใช้ คือ

- การประมาณการต้นทุน
- การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน
- การวิเคราะห์ต้นทุนแตกต่าง

การประมาณการต้นทุน(Cost Estimation) เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับผู้บริหารในการคาดคะเนพฤติกรรมของต้นทุนในอนาคต เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการดำเนินการได้ถูกต้องตามเงื่อนไขของต้นทุนที่ต่ำและผลกำไรที่สูง ต้นทุนอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามเงื่อนไขทางการผลิต การตลาด และการเงิน

การประมาณการต้นทุนจะเป็นการพยากรณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนจากผลกระทบของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององค์ประกอบการผลิต เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงด้านข้อกำหนดของวัสดุที่ใช้ เป็นผลให้ต้องเปลี่ยนแปลงคุณภาพและต้นทุนวัสดุ การใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตทดแทนการใช้แรงงาน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตและต้นทุนค่าแรงงาน ฯลฯ การประมาณการต้นทุนจะใช้ประโยชน์ได้ต่อเมื่อต้นทุนที่ประมาณการนั้นๆ ใกล้เคียงกับต้นทุนจริงมากที่สุด ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการบริหารทรัพยากรให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด ภายใต้เงื่อนไขที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต รวมทั้งกิจกรรมการประเมินผล วางแผนและควบคุมการดำเนินงาน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะและพฤติกรรมของต้นทุนที่ระดับการผลิตต่างๆซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจด้านการควบคุมต้นทุนและการวางแผนกำไร การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะไม่เพียงแต่ใช้ในการแสดงระดับรายได้เท่านั้น แต่ยังเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจด้านการผลิต การตลาด และการเงิน เช่น การกำหนดกำลังการผลิต การกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด การตั้งราคาขาย การลงทุนเลือกซื้อเครื่องจักร การตัดสินใจซื้อหรือผลิต ฯลฯ

ในการวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดราคาขาย การซื้อ หรือทำและการเพิ่ม-ลด-เลิกกิจกรรม เราจะใช้การเปรียบเทียบทางเลือกโดยพิจารณาจากต้นทุนหรือผลกำไร เราเรียกกระบวนการวิเคราะห์นี้ว่า การวิเคราะห์ความแตกต่าง(Differential Analysis) การตัดสินใจจะอิงต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น จึงต้องพิจารณาว่า ต้นทุนอะไรเป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไปถ้ามีการตัดสินใจระยะสั้น จะพิจารณาต้นทุนเปรผันเป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้อง แต่ถ้าต้องตัดสินใจระยะยาว ต้นทุนที่เกี่ยวข้อง จะรวมไปถึงต้นทุนคงที่ด้วย

2.1.4 ต้นทุนวัสดุ

เนื่องจากราคาวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงได้ ต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุที่ใช้จึงเปลี่ยนแปลงได้ด้วย คงคลังของวัสดุหรือสินค้าที่เหมือนกันก็อาจจะมีต้นทุนวัสดุที่แตกต่างกัน การคิดต้นทุนวัสดุจึงมีความยุ่งยากมากกว่ากรณีเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุ

การคิดต้นทุนวัสดุ มีได้หลายวิธี คือ

1. วิธีเข้าก่อน-ออกก่อน(First-in First-out Method, FIFO)
2. วิธีเข้าหลัง-ออกก่อน(Last–in First-out Method, LIFO)
3. วิธีราคาถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่(Moving Average Method)
4. วิธีราคาถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก(Weighted Average Method)
5. วิธีราคาถัวเฉลี่ย(Simple Average Method)

วิธีคิดต้นทุนวัสดุแบบเข้าก่อน-ออกก่อน เป็นการคิดต้นทุนวัสดุที่เบิกใช้ไปผลิต โดยคิดราคาซื้อก่อนหักก่อน ซึ่งจะถือหลักการว่าควรเบิกวัสดุที่ซื้อเข้ามาก่อนสุดหรือเป็นคงคลังหน่วยเก่าสุดไปใช้ก่อนตามลำดับการซื้อเข้ามาของวัสดุ วิธีนี้จะเหมาะสำหรับกรณีที่วัสดุที่มีขนาดใหญ่และ ราคาค่อนข้างสูง สามารถค้นหาและกำหนดระยะเวลาหรือรุ่นที่ซื้อเข้ามาได้ง่าย รวมทั้งกรณีที่มีการซื้อวัสดุไม่บ่อยครั้งจนเกินไป ข้อดีของการคิดต้นทุนวัสดุวิธีนี้คือ

- ทำให้ต้นทุนอิงราคาที่แท้จริงของหน่วยที่เบิกใช้
- ทำให้รู้สภาพของวัสดุคงคลังในขณะใดๆว่าเก่ามากน้อยเพียงใด
    - ช่วยให้สามารถวางนโยบายและการควบคุมการจัดซื้อวัสดุได้ตามความเป็นจริง
    - ถ้ามีการควบคุมการเบิกจ่ายให้เป็นไปตามระบบเข้าก่อน-ออกก่อน จะทำให้ความเสี่ยงต่อการเสียหายจากการล้าสมัยน้อยลง

วิธีคิดต้นทุนวัสดุแบบเข้าหลัง-ออกก่อน เป็นการคิดต้นทุนวัสดุที่เบิกใช้ไปผลิต โดยคิดราคาซื้อหลังหักก่อน ซึ่งจะให้หลักการที่ว่าราคาวัสดุที่ซื้อหลังสุดจะเป็นการเปรียบเทียบต้นทุนและรายได้ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงในปัจจุบันมากที่สุด วิธีนี้จะเหมาะกับกรณีที่ปริมาณการซื้อในแต่ละครั้งมากเพียงพอแก่การเบิกจ่าย เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในเวลาใกล้เคียงกัน มีต้นทุนที่แตกต่างกัน การคิดต้นทุนวิธีนี้จึงเป็นการใช้ราคาวัสดุใหม่สุดย้อนกลับไปตามลำดับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาขายผลกระทบต่อการดำเนินงานก็จะน้อยกว่า เช่น ถ้าราคาวัสดุมีแนวโน้มสูงขึ้น การใช้ราคาใหม่สุดจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น หรือราคาวัสดุมีแนวโน้มต่ำลง ต้นทุนการผลิตก็จะต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะการณ์

วิธีคิดต้นทุนแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ เป็นวิธีการใช้ราคาถัวเฉลี่ยของวัสดุที่มีอยู่เป็นหลัก เนื่องจากวัสดุที่เบิกไปใช้ไม่อาจจะกำหนดรู้ได้ว่าซื้อมาเมื่อใด ราคาเท่าใด ทุกครั้งที่มีการซื้อวัสดุเข้ามาจะต้องมีการถัวเฉลี่ยต้นทุนวัสดุขึ้นมาใหม่ และใช้ต้นทุนถัวเฉลี่ยนั้นเป็นต้นทุนของวัสดุที่เบิกจนกว่าจะมีการซื้อวัสดุเข้ามาใหม่ การคิดต้นทุนวัสดุคงคลังก็จะใช้ต้นทุนถัวเฉลี่ยด้วยในกรณีที่มีการส่งวัสดุคืนผู้ขาย หรือเมื่อมีการคืนวัสดุเหลือใช้หรือที่เบิกไปใช้แล้วไม่เอาต้นทุนวัสดุนั้นๆ จะใช้ต้นทุนถัวเฉลี่ยที่ใช้ในขณะนั้น ผลต่างของราคาจริงและต้นทุนถัวเฉลี่ยจะถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของต้นทุนโสหุ้ยการผลิต วิธีคิดต้นทุนถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่นี้ จะนิยมใช้และเหมาะสมกับกรณีที่วัสดุมีราคาน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของราคาบ่อย โดยมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตไม่ขึ้นลงหรือเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของราคาวัสดุมากนัก

วิธีคิดต้นทุนวัสดุแบบราคาถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก เป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาต้นทุนถัวเฉลี่ยของวัสดุด้วยการเอาต้นทุนรวมวัสดุที่มี หารด้วยจำนวนหน่วยวัสดุทั้งหมด การคิดต้นทุนวัสดุคงคลังจะใช้จำนวนวัสดุคงคลังปลายงวดคูณด้วยต้นทุนถัวเฉลี่ยต่อหน่วย วิธีนี้จะใช้ได้ผลต่อเมื่อมีการคำนวณวัสดุที่ซื้อตั้งแต่ต้นงวดจนถึงปลายงวด ดังนั้น เมื่อราคาวัสดุสูงขึ้น ต้นทุนถัวเฉลี่ยต่อหน่วย จะน้อยกว่าต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุในปัจจุบัน

วิธีคิดต้นทุนวัสดุแบบราคาถัวเฉลี่ย เป็นวิธีคำนวณหาราคาต้นทุนถัวเฉลี่ยต่อหน่วยของวัสดุโดยการนำเอาราคาต้นทุนต่อหน่วยของวัสดุต้นงวดและที่ซื้อมาทุกครั้ง มารวมถัวเฉลี่ยต้นทุนต่อหน่วยโดยไม่ได้นำเอาปริมาณวัสดุที่ซื้อแต่ละครั้งมาเกี่ยวข้องในการพิจารณาด้วย ทั้งๆที่ปริมาณวัสดุที่ซื้อมาแต่ละคราวมีผลกระทบต่อต้นทุนวัสดุที่ใช้ผลิตและต่อวัสดุคงคลังด้วย วิธีนี้จึงมีความบกพร่องในส่วนนี้แต่เป็นวิธีที่ง่ายเหมาะสำหรับกรณีปริมาณการสั่งซื้อไม่ต่างกันมากนัก

การคิดต้นทุนวัสดุคงคลัง การบันทึกต้นทุนวัสดุคงคลังทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีการบันทึกแบบต่อเนื่อง (Perpetual Inventory Method)
2. วิธีการบันทึกแบบสิ้นงวด (Periodic Inventory Method)

การบันทึกต้นทุนวัสดุคงคลังแบบต่อเนื่อง เป็นการบันทึกที่ต้องคิดคำนวณราคาวัสดุที่จ่ายออกไปทำการผลิตทุกครั้ง ส่วนที่เหลือจึงเป็นวัสดุคงคลัง

การบันทึกต้นทุนวัสดุคงคลังแบบสิ้นงวด เป็นการบันทึกที่คำนวณหาราคาวัสดุที่เบิกใช้ในการผลิตและวัสดุคงคลังเมื่อสิ้นงวดการเงินเท่านั้น โดยการตรวจสอบยอดวัสดุคงเหลือปลายงวด แล้วนำไปหักออกจากวัสดุที่มีไว้ดำเนินงานเป็นต้นทุนวัสดุที่เบิกใช้ ต้นทุนวัสดุดำเนินงาน คือ วัสดุต้นงวดที่ซื้อระหว่างงวด โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

วัสดุคงคลังต้นงวด + ซื้อระหว่างงวด - วัสดุคงคลังปลายงวด = ต้นทุนวัสดุที่เบิกใช้

2.1.5 ต้นทุนแรงงาน

แรงงานเป็นองค์ประกอบในการผลิตที่สำคัญนอกเหนือจากวัสดุ ดังนั้น ต้นทุนแรงงานจึงเป็นส่วนที่มีผลต่อต้นทุนของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการผลิตที่มีสัดส่วนของแรงงานในการผลิตสูงกว่าองค์ประกอบอื่นๆ อุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนของต้นทุนแรงงานสูง ได้แก่ โรงงานทอผ้า โรงงานแหอวน โรงงานปลาทูน่ากระป๋อง ฯลฯ โรงงานเหล่านี้จะต้องให้ความสนใจ ด้านการควบคุมต้นทุนแรงงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับค่าแรงจะมีผลต่อต้นทุนการผลิต

โดยทั่วไป ต้นทุนแรงงานก็เป็นเช่นเดียวกับต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการผลิต คือ ประกอบด้วยต้นทุนแรงงานทางตรงหรือต้นทุนแรงงานทางอ้อม ต้นทุนแรงงานทางตรงจะเป็นต้นทุนที่แปรผันตามปริมาณการผลิต และต้นทุนแรงงานส่วนที่ไม่ได้แปรผันไปตามปริมาณการผลิตจะถูกจัดเป็นค่าแรงงานทางอ้อมซึ่งถือว่าเป็นค่าโสหุ้ยการผลิต

ค่าแรงงาน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อแปรสภาพวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป แต่จะเป็นต้นทุนส่วนที่เป็นการบริการการผลิตมากกว่าจะเป็นส่วนของทรัพย์สินเหมือนกับต้นทุนวัสดุ การกำกับดูแลต้นทุนแรงงานจึงมีลักษณะที่แตกต่างจากการควบคุมต้นทุนวัสดุ ในการควบคุมต้นทุนแรงงาน เทคนิคการจัดการงานบุคคลโดยการใช้ระบบการให้เงินจูงใจ ระบบการปรับทัศนะคติของบุคลากรในองค์กร การใช้การศึกษาวิธีการทำงาน การวางแผนการผลิต การวางผังโรงงาน และกิจกรรมที่มีส่วนร่วมของพนักงาน เพื่อช่วยให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ลดความสูญเปล่าของการทำงาน ทำให้ต้นทุนแรงงานลดลง

2.1.6 ค่าโสหุ้ยการผลิต

ค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยการผลิต เป็นต้นทุนการผลิตที่มีความสำคัญอีกส่วนหนึ่ง นอกเหนือจากค่าวัสดุทางตรงและค่าแรงงานทางตรง ซึ่งใช้ในการแปรสภาพวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายบริหาร และการขายจะเป็นค่าโสหุ้ย แต่ก็ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการผลิตและไม่ถือเป็นต้นทุนโสหุ้ยการผลิต ธรรมชาติของต้นทุนโสหุ้ยการผลิต ส่วนมากจะเป็นต้นทุนคงที่ซึ่งไม่ได้แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มหรือลดลง แต่ต้นทุนคงที่จะมีต้นทุนต่อหน่วยเพิ่มขึ้นเมื่อผลผลิตลดลงและลดลงเมื่อผลผลิตสูงขึ้น ค่าโสหุ้ยมีลักษณะเป็นต้นทุนทางอ้อมที่ต้องมีการจัดสรรค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเข้าผลิตภัณฑ์ เข้าแผนกผลิต เข้าแผนกบริการใดๆ หรือเข้าสู่ศูนย์ต้นทุนต่างๆ การควบคุมต้นทุนจะใช้วิธีการควบคุมโดยงบประมาณ

การจำแนกประเภทต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิต

ต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตสามารถจำแนกได้ ดังต่อไปนี้

- จำแนกตามวัตถุประสงค์ของต้นทุน
- จำแนกเป็นค่าโสหุ้ยการผลิตทางตรงและทางอ้อม
- จำแนกตามค่าใช้จ่ายของโรงงานหรือของแผนกผลิต
- จำแนกเป็นค่าโสหุ้ยการผลิตคงที่และแปรผัน

วัตถุประสงค์ของต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตจะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ค่าวัสดุทางอ้อม ค่าแรงงานทางอ้อม และค่าใช้จ่ายทั่วไปของโรงงาน ค่าวัสดุทางอ้อม คือ วัสดุส่งเสริมการผลิตทั้งหลาย เช่น น้ำมันเครื่อง วัสดุทำความสะอาด และวัสดุใช้สอยที่จำเป็นต่อการผลิต ค่าแรงงานทางอ้อม เป็นต้นทุนของการบริหารต่างๆซึ่งไม่ได้ใช้โดยตรงกับการผลิต แต่เป็นงานที่จำเป็นจะต้องมีไว้เพื่อช่วยในการผลิต เช่น ค่าแรงงานของหัวหน้างาน คนงานแผนกคลังสินค้า และคนงานแผนกซ่อมบำรุงอาคารสถานที่ ค่าใช้จ่ายทั่วไปของโรงงานประกอบไปด้วย ต้นทุนค่าซ่อมบำรุง ค่าพลังงาน ค่าภาษีอากร ค่าสาธารณูปโภค ค่าประกันภัย ค่าเดินทาง ฯลฯ

ต้นทุนทางตรง(Direct Cost) คือ ต้นทุนที่สามารถจัดสรรเข้าผลิตภัณฑ์ แผนกผลิต แผนกบริการ หรือโรงงานได้โดยตรง ส่วนต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) เป็นต้นทุนที่ไม่สามารถจัดเข้าหน่วยงานหรือผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง โดยทั่วๆไป ต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตจะเป็นต้นทุนทางอ้อม แต่จะมีต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตที่สามารถจัดสรรเข้ากับแผนกผลิตได้โดยตรงเช่นกัน ค่าเงิน

เดือนหัวหน้าหน่วยงานจะเป็นต้นทุนที่จัดสรรเข้าแผนกผลิตได้โดยตรง แต่จะเป็นต้นทุนทางอ้อมในการจัดสรรเข้าสู่ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคาและเงินเดือนของผู้จัดการโรงงานเป็นต้นทุนทางตรงต่อโรงงาน แต่เป็นต้นทุนทางอ้อมต่อการผลิต

ต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิต อาจจะสัมพันธ์โดยตรงกับโรงงาน แผนกบริการ หรือแผนกผลิต ต้นทุนที่สัมพันธ์กับโรงงาน คือ ค่าใช้จ่ายดูแลสภาพแวดล้อมของโรงงาน รวมทั้งการดูแลรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงาน ต้นทุนที่สัมพันธ์กับแผนกบริการ คือ ต้นทุนการดำเนินงานของแผนกบริการ เช่น สำนักงานโรงงาน แผนกซ่อม และแผนกจัดซื้อ ต้นทุนเหล่านี้จะประกอบไปด้วย เงินเดือนของวิศวกร พนักงานบัญชีและแผนกจัดซื้อ ต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตสามารถจัดสรรให้กับแผนกผลิตและแผนกบริการ ขณะที่ต้นทุนค่าโสหุ้ยของแผนกบริการจะจัดสรรเข้าให้กับแผนกผลิตได้ด้วย ดังนั้น ต้นทุนค่าโสหุ้ยทางตรงของแผนกผลิตจึงประกอบไปด้วยค่าวัสดุทางอ้อม ค่าแรงงานทางอ้อม และค่าโสหุ้ยการผลิตที่สัมพันธ์โดยตรงกับแผนกผลิต ส่วนต้นทุนทางอ้อมของแผนกผลิตจะประกอบไปด้วยต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตจัดสรรให้แผนกผลิตและต้นทุนค่าโสหุ้ยจากแผนกบริการ โดยทั่วๆไปต้นทุนที่สัมพันธ์โดยตรงกับแผนกหรือกระบวนการผลิต จะเป็นต้นทุนที่ควบคุมได้ภายใต้การดูแลของหัวหน้าแผนกผลิต แต่ต้นทุนค่าโสหุ้ยทางอ้อมของแผนกผลิตจะไม่สามารถควบคุมได้โดยหัวหน้าแผนกผลิต เนื่องจากเป็นต้นทุนที่เกิดจากการกำกับดูแลของผู้บริหารระดับสูงกว่า หรืออาจจะอยู่ภายใต้การดูแลของหัวหน้าแผนกผลิตอื่นๆ เช่น แผนกซ่อมบำรุง แผนกบริการ แผนกอาคารสถานที่ ฯลฯ

ต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตที่จำแนกตามพฤติกรรมของต้นทุนที่แปรผันตามกิจกรรมการผลิตหรือบริการในแต่ละช่วงเวลา จะประกอบด้วย ต้นทุนแปรผัน(Variable Cost) ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป และต้นทุนคงที่(Fixed Cost) จะไม่เปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของกิจกรรม

พฤติกรรมของต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิต อาจจะอยู่ในลักษณะกึ่งแปรผันหรือกึ่งคงที่ก็ได้ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ไม่ได้แปรผันไปตามสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมจึงไม่สามารถจำแนกให้เป็นต้นทุนแปรผันหรือต้นทุนคงที่ได้ เช่น ค่าสาธารณูปโภคทั้งหลายมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผลิตมากขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นไปตามสัดส่วนและจะกำหนดเป็นต้นทุนแปรผันได้ยาก

2.2 ทฤษฎีโรงไฟฟ้าพลังเครื่องยนต์ดีเซล

โรงไฟฟ้าพลังเครื่องยนต์ดีเซลเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้การเผาไหม้ภายในหรือสันดาปภายใน โดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง สามารถเดินเครื่องได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูงในการใช้เป็นโรงไฟฟ้าสำรองสำหรับจ่ายโหลดเข้าเสริมระบบในขณะที่มีการใช้โหลดจำนวนมาก (Peak load) หรือเป็นโรงไฟฟ้าหลักในกรณีที่ศูนย์กลางโหลดห่างไกลจากแหล่งต้นกำลังชนิดอื่นๆ

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เป็นต้นกำลังในโรงไฟฟ้า ก็มีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องยนต์ของรถยนต์ทั่วๆไปคือ การสันดาปภายในที่ต้องใช้อากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง การสันดาปภายในของน้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ถูกอัดอากาศจนมีอุณหภูมิสูงที่เรียกว่า จังหวะอัด จะเกิดการเผาไหม้และความร้อน เกิดการระเบิดดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นลงไปหมุนเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งต่ออยู่กับเพลาของเครื่องยนต์และนำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดกะทัดรัด ติดตั้งง่าย สะดวกต่อการบำรุงรักษา

2.2.1 การแบ่งชนิดของเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลถูกจัดแบ่งตามลักษณะดังนี้

1. กลวัตรการทำงาน (Operating Cycle)
2. การทำงานของลูกสูบ (Piston Action)
3. การต่อของลูกสูบ (Piston Connection)
4. การจัดวางกระบอกสูบ (Cylinder Arrangement)
5. วิธีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Method of Fuel Injection)
6. ความเร็ว (Speed)

1) กลวัตรการทำงาน

กลวัตรการทำงานเครื่องยนต์ดีเซล อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามจำนวนระยะชักของลูกสูบใน 1 กลวัตร คืออาจจะเป็น 4 หรือ 2 ระยะชักต่อ 1 กลวัตร นั่นคือเครื่องยนต์ใดที่ลูกสูบจะต้องเคลื่อนที่ 4 ระยะชักจึงจะทำงานครบ 1 กลวัตร (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) เรียกสั้นๆว่าเป็นเครื่องยนต์ชนิด 4 จังหวะ และเครื่องยนต์ใดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ 2 ระยะชักจึงจะทำงานครบ 1 กลวัตร เรียกว่าเป็นเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

2) การทำงานของลูกสูบ

การทำงานของลูกสูบที่อยู่ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ แบ่งได้ดังนี้

- เครื่องยนต์แบบที่ลูกสูบทำงานทางเดียว (Single Acting) หัวลูกสูบทำหน้าที่อัดอากาศและรับแรงดันจากการขยายตัวของก๊าซในจังหวะทำงานหรือจังหวะกำลัง กำลังงานที่ได้จะเป็นจังหวะที่ลูกสูบเลื่อนลงจากศูนย์ตายบนเท่านั้น

- เครื่องยนต์แบบที่ลูกสูบทำงานสองทาง (Double Acting) เครื่องยนต์แบบนี้นอกจากปลายกระบอกสูบด้านบนจะทำงานเหมือนแบบที่ลูกสูบทำงานทางเดียวแล้ว ปลายกระบอกสูบด้านล่างก็ถูกปิดด้วย แต่เจาะรูไว้ตรงศูนย์กลางให้ก้านสูบเลื่อนกลับไป-มา ตรงๆเท่านั้น รูที่เจาะไว้สำหรับก้านสูบจะมีการผนึกไว้อย่างดีเพื่อป้องกันกำลังอัด ด้านล่างของลูกสูบจะถูกปิดตัน เพื่อให้ทำหน้าที่อัดอากาศและรับแรงระเบิดในกระบอกสูบด้านล่าง ในกระบอกสูบแต่ละกระบอกของเครื่องยนต์แบบนี้จะมีห้องเผาไหม้ 2 ห้อง (ด้านบน 1 ห้องและด้านล่าง 1 ห้อง) ปลายก้านสูบด้านล่างจะต่อกับหัวต่อ (Crosshead) มีรางเลื่อนทำหน้าที่บังคับให้ก้านสูบเลื่อนกลับไป-มา ตรงๆเท่านั้น จากหัวต่อจะมีก้านต่อมายังเพลาข้อเหวี่ยง เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องยนต์แบบนี้ค้อนข้างจะยุ่งยาก เครื่องที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานมักจะเป็นเครื่องขนาดใหญ่มีความเร็วรอบต่ำ โดยทั่วไปใช้กับเรือเดินสมุทร เพราะเป็นเครื่องยนต์ที่มีขนาดความสูงมากกว่า เครื่องยนต์ธรรมดา

- เครื่องยนต์แบบลูกสูบทำงานอยู่ตรงกันข้าม (Opposed Piston) เครื่องยนต์แบบนี้มีหลายสูบ แต่ละกระบอกสูบจะมีลูกสูบ 2 ลูก ซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์แบบนี้ อยู่ตรงกลางของกระบอกสูบระหว่างลูกสูบโดยเพลาข้อเหวี่ยงเพลาเดียวหรือสองเพลาแล้วแต่การออกแบบจะสังเกตได้ว่าลูกสูบแต่ละลูกทำงานแบบลูกสูบทำงานทางเดียว (Single Action) นั่นคือแรงดันของก๊าซจะกระทำต่อหัวลูกสูบทั้งสองเท่านั้น

3) การยึดต่อของลูกสูบ

การยึดต่อของลูกสูบ ลูกสูบอาจจะยึดกับปลายก้านสูบโดยตรง (Trunk- piston Type) หรือยึดกับปลายก้านสูบโดยผ่านหัวต่อ ในเครื่องยนต์แบบลูกสูบต่อโดยตรงกับก้าน

สูบ สลักลูกสูบจะยึดลูกสูบให้ติดกับปลายด้านเล็กของก้านสูบ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของก้านสูบ (ปลายด้านใหญ่) จะยึดกับเพลาข้อเหวี่ยง เครื่องยนต์ในปัจจุบันส่วนมากนิยมใช้การยึดต่อลูกสูบแบบนี้

สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้หัวต่อ ลูกสูบจะยึดกับปลายก้านสูบเช่นเดียวกัน แต่ปลายด้านล่างจะต่อกับหัวต่อซึ่งมีรางบังคับให้หัวต่อเลื่อนกลับไป-มาได้ตรงๆ มีก้านต่ออีกอันหนึ่งต่ออยู่ระหว่างหัวต่อกับเพลาข้อเหวี่ยง ก้านต่อจะทำหน้าที่รับ-ส่งแรงระหว่างก้านสูบกับเพลาข้อเหวี่ยง เครื่องยนต์แบบนี้เป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่และมีความเร็วรอบต่ำ เว้นแต่การทำงานของลูกสูบอาจจะทำงานแบบทางเดียวก็ได้

4) การจัดวางกระบอกสูบ

ลักษณะการจัดวางกระบอกสูบของเครื่องยนต์ แบ่งได้ดังนี้

- การจัดวางกระบอกสูบแบบแถวเรียงเดี่ยว (In-Line Type) เป็นการจัดวางที่ง่ายและธรรมดาที่สุด โดยทุกสูบจะอยู่ในลักษณะตั้งเรียงเป็นแถวเดียว เครื่องยนต์แบบนี้อาจจะสร้างให้มีถึง 12 สูบและบางทีก็สร้างเป็นแบบสูบนอน (Horizontal Cylinder) 1-2 สูบ ในบางกรณีอาจจะมี 3 สูบ

- การจัดวางกระบอกสูบแบบตัววี(V-Type) ในกรณีที่เครื่องยนต์มีเกิน 8 สูบจะทำให้เกิดความยุ่งยากเกี่ยวกับการสร้างโครงเครื่องและเพลาข้อเหวี่ยงให้แข็งแรงอย่างพอเพียง ถ้าจัดเป็นแถว เรียงเดี่ยว นอกจากนั้นยังทำให้เปลืองเนื้อที่ การจัดวางลูกสูบแบบตัววี โดยจัดให้ก้านสูบสองก้านอยู่ที่ข้อเหวี่ยง 1 ข้อ ทำให้ใช้เนื้อที่สั้นลงเกือบครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะช่วยให้เครื่องยนต์แข็งแรงขึ้น การจัดวางเครื่องแบบนี้มักใช้กับเครื่องยนต์ 8 สูบ, 12สูบและ16 สูบ กระบอกสูบของเครื่องยนต์แบบวีจะมี 2 แถว (Bank) โดยมีมุมระหว่างแถวตั้งแต่ 30° ถึง 120° แต่ที่นิยมสร้างกันมากได้แก่มุม 15-75°

- เครื่องยนต์แบบสูบวางราบ (Flat and Pancake Type) เป็นการจัดวางสูบคล้ายกับเครื่องยนต์วี แต่หากมุมระหว่างแถวเป็น 180° การจัดวางสูบแบบนี้ใช้ในที่ซึ่งมีส่วนสูงน้อย

- เครื่องยนต์แบบสูบดาว (Radial Type) โดยปลายกระบอกสูบด้านล่างทุกสูบชี้ไปที่จุดศูนย์กลางของวงกลมเดียวกัน ก้านสูบทุกด้านจะจับอยู่ที่ข้อเหวี่ยงอันเดียวกัน ซึ่งจะหมุนรอบจุดศูนย์กลางของวงกลมนั้น เครื่องยนต์ใช้เนื้อที่ในทางราบน้อย โดยการออกแบบอย่างดี เพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ขนาด 12 สูบจะมีข้อเหวี่ยงเพียงข้อเดียว

5) การแบ่งตามวิธีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์ดีเซลแบ่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น 2 แบบ

- แบบการฉีดด้วยอากาศอัด (Air Injection) น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกพ่นหรือฉีดเข้าไปในกระบอกสูบด้วยอากาศอัดที่มีกำลังดันสูงมาก
- แบบทางกลหรือแบบฉีดด้วยกำลังดันของน้ำมันเอง (Mechanical or Solid Injection) แบบนี้จะมีปั๊มทำหน้าที่อัดน้ำมันจนกระทั่งมีกำลังดันสูงพอที่จะฉีดน้ำมันออกเป็นฝอยละอองเมื่อผ่านหัวฉีด

6) การแบ่งตามความเร็ว

เครื่องยนต์ดีเซลอาจแบ่งออกตามความเร็วรอบได้ 3 ชนิดคือ

1. ความเร็วรอบต่ำ ไม่เกิน 350 รอบ/นาที
2. ความเร็วรอบปานกลาง ระหว่าง 350- 1,200 รอบ/นาที
3. ความเร็วรอบสูง ตั้งแต่ 1,200 รอบ/นาที ขึ้นไป

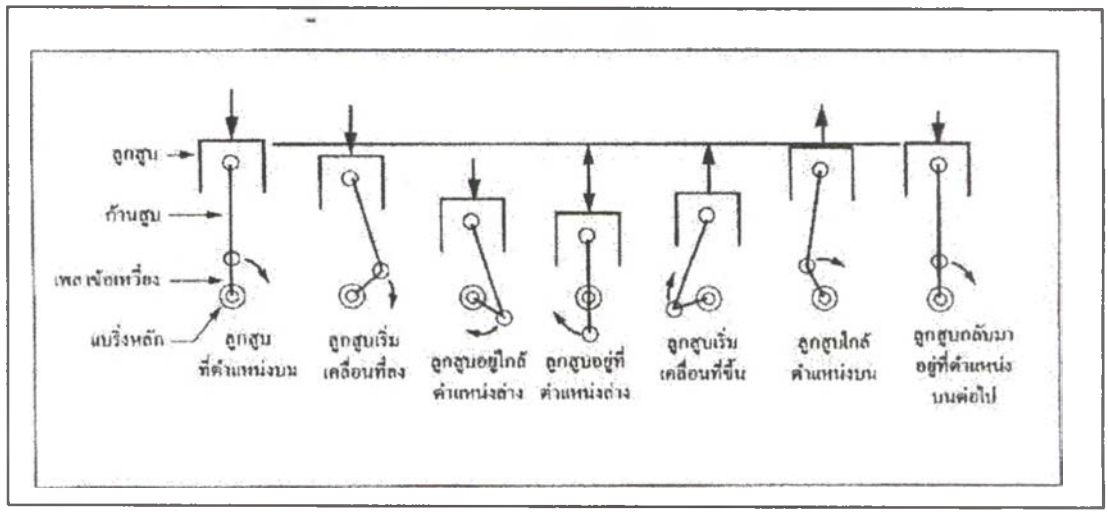
เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้กับรถยนต์ส่วนมากที่มีความเร็วรอบเกิน 1,000 รอบ/นาที ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีความเร็วรอบประมาณ 350-1,200 รอบ/นาที ซึ่งได้แก่ เครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบปานกลาง เครื่องยนต์ดีเซลที่เป็นต้นกำลังหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีความเร็วรอบประมาณ 1,500 รอบ/นาที

2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine Principle)

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมี (Chemical Energy) ของเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานทางกล (Mechanical Power) เชื้อเพลิงถูกจุดให้ลุกไหม้ด้วยความร้อนของอากาศที่ถูกอัดตัวให้มีกำลังดันสูง โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบภายในกระบอกสูบ

เครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่สำคัญๆ เพื่ออัดอากาศบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบอกสูบหรือห้องเผาไหม้และสร้างกำลังงานขึ้น ต้องมีกระบอกสูบและลูกสูบเลื่อนขึ้นลงในกระบอกสูบ ลูกสูบจะต้องต่อกับกลไกซึ่งควบคุมการขึ้นลง เพื่อความมุ่งหมายดังกล่าวลูกสูบจะต่อกับข้อเหวี่ยงของเพลาข้อเหวี่ยง โดยผ่านก้านสูบ (Connecting Rod) ที่ปลายทั้งสองข้างของก้านสูบจะมีแบริ่งรองรับอยู่ ข้อเหวี่ยงจะทำหน้าที่เปลี่ยนอาการเคลื่อนที่กลับไป-มาของลูกสูบ เป็นการเคลื่อนที่ทางหมุนรอบตัวของเพลาข้อเหวี่ยง กำลังที่ผลิตขึ้นโดยเครื่องยนต์ถูกส่งออกผ่านเพลาข้อเหวี่ยง

ชิ้นส่วนเบื้องต้นที่จำเป็นอื่นๆ เช่น ลิ้น หรือช่องพอร์ต (Port) มีไว้เพื่อให้อากาศเข้ามาในกระบอกสูบ และให้ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ให้กำลังงานแล้วออกไปจากกระบอกสูบ นอกจากนี้ยังต้องการหัวฉีดเชื้อเพลิง (Spray Nozzle or Fuel Injection) เพื่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นรูปฝอยละอองจึงจำเป็นต้องใช้เพลิงที่ต้องใช้กำลังดันสูง ซึ่งทำได้โดยใช้ปั๊มที่เรียกว่า ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของข้อเหวี่ยง

การทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (Four Stroked Cycle Event)

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ หมายถึงการทำงานของลูกสูบเลื่อนขึ้น-ลง 4 ครั้ง หรือเพลาข้อเหวี่ยงหมุนไปครบ 2 รอบ หรือ 720° เป็นการครบ 1 กลวัตร (Cycle)

ศูนย์ตาย (Dead Center) ตำแหน่งของลูกสูบที่สามารถเลื่อนในกระบอกสูบขึ้นไปสูงสุดเรียกว่า จุดศูนย์ตายบน (Top Dead Center or TDC) และถ้าเลื่อนลงมาต่ำสุดเรียกว่า จุดศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center or BDC) เหตุผลที่ต้องระบุชื่อดังกล่าวเพราะว่าที่ตำแหน่งทั้งสองนี้เส้นผ่าน

ศูนย์กลางของข้อเหวี่ยงอยู่ในระดับเดียวกันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักลูกสูบ (Piston Pin) ทำให้เจอร์นัลของเพลา (Shaft Journal) และลูกสูบไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ด้วยกำลังดันของก๊าซ แรงดันในการเคลื่อนที่ ต้องมาจากการหมุนของข้อเหวี่ยง ที่กระทำผ่านก้านสูบ

จังหวะของการทำงานของเครื่องยนต์ทั้ง 4 จังหวะคือ

1. จังหวะดูด(Intake or Suction Stroke) เริ่มจากลูกสูบอยู่ศูนย์ตายบนพร้อมที่จะดูดอากาศบริสุทธิ์เข้ามาในกระบอกสูบ ลิ้นไอดีถูกเปิด (ลิ้นไอเสียปิด) เพลาข้อเหวี่ยงถูกหมุนไปทางขวามือจะดึงก้านสูบซึ่งยึดอยู่กับลูกสูบ ทำให้ลูกสูบเลื่อนลงเกิดสุญญากาศขึ้นภายในกระบอกสูบอากาศบริสุทธิ์ถูกดูดผ่านลิ้นไอดีเข้ามาในกระบอกสูบจนกระทั่งลูกสูบเลื่อนลงมาที่ศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอดีจะปิดจังหวะนี้ลูกสูบเลื่อนลงจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง เพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป 180°

2. จังหวะอัด (Compression Stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนผ่านศูนย์ตายล่าง หรือเริ่มต้นจังหวะอัดลิ้นไอดีถูกเปิด ลิ้นไอเสียยังคงปิดอยู่ ลูกสูบถูกผลักให้เลื่อนขึ้นโดยข้อเหวี่ยงและก้านสูบ อากาศที่อยู่ในกระบอกสูบไม่สามารถหนีออกจากกระบอกสูบได้ อากาศจึงถูกอัดตัวมีกำลังดันและความร้อนสูงขึ้น เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นไปถึงศูนย์ตายบน อากาศถูกอัดตัวนี้จะอยู่ในปริมาตรเพียงประมาณ 1/16 ของปริมาตรเดิม และอุณหภูมิจะสูงขึ้นถึงปริมาณ 1,000°F จังหวะนี้ลูกสูบเลื่อนจากศูนย์ตายบนเพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป 180 °

3. จังหวะกำลังหรือจังหวะงาน (Power Stroke) ลิ้นทั้งสองยังคงปิดอยู่ (ขณะนี้อากาศในกระบอกสูบมีความร้อนสูงมากสามารถจุดเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ได้ ถ้าเชื้อเพลิงถูกฉีดเป็นฝอยละอองเข้าไปในอากาศที่ถูกอัดตัวนี้) หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยละอองเข้าไปในกระบอกสูบ ละอองเชื้อเพลิงจะคลุกเคล้ากับอากาศร้อนและเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว กรรมวิธีของการเผาไหม้ทำให้เกิดความร้อน ทำให้ส่วนผสมที่กำลังลุกไหม้ร้อนยิ่งขึ้น เนื่องจากก๊าซที่ร้อนนี้เกิดในพื้นที่เล็กๆระหว่างด้านบนของลูกสูบกับด้านบนของกระบอกสูบ กำลังดันของก๊าซจะเพิ่มขึ้นด้วย กำลังดันนี้กระทำบนหัวลูกสูบ ผลักดันให้ลูกสูบเลื่อนลงในจังหวะกำลัง กำลังดันที่กระทำบนหัวลูกสูบนี้จะส่งต่อผ่านก้านสูบไปยังข้อเหวี่ยง แรงดันบนข้อเหวี่ยงทำ

ให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป ในจังหวะนี้ลูกสูบเลื่อนลงจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง และเพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป 180°

4. จังหวะคาย (Exhaust Stroke) ลิ้นไอเสียจะถูกเปิดตอนใกล้จะสิ้นสุดจังหวะกำลัง ก๊าซเผาไหม้ให้กำลังงานแล้วในกระบอกสูบหนีออกไป ซึ่งเป็นการคายไอเสียที่ปริมาตรคงที่ (Constant Volume) จนกระทั่งกำลังดันของก๊าซตกลงเหลือสูงกว่ากำลังดันของบรรยากาศภายนอกเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในกระบอกสูบยังคงมีก๊าซซึ่งมีกำลังดันน้อยอยู่เต็ม ซึ่งจะต้องกำจัดออกจากกระบอกสูบให้หมดเพื่อเปิดทางให้อากาศบริสุทธิ์เข้ามาบรรจุได้เต็มที่ ดังนั้นการเลื่อนขึ้นของลูกสูบในจังหวะนี้จะผลักดันก๊าซที่ตกค้างนี้ให้ออกไปจากกระบอกสูบโดยผ่านทางลิ้นไอเสียซึ่งเปิดอยู่ เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้น ของลูกสูบจากศูนย์ตายบนก๊าซไอเสียจะถูกดันออกไปจากกระบอกจนหมด การเลื่อนขึ้นของลูกสูบจากศูนย์ตายล่างถึงศูนย์ตายบนเพื่อขับไล่ก๊าซไอเสียนี้เป็นการคายไอเสียที่กำลังดันคงที่ (Constant Pressure) เป็นการครบจังหวะคายไอเสีย ในจังหวะนี้ลูกสูบเลื่อนจากศูนย์ตายล่างไปยังศูนย์ตายบน และเพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป 180° การทำงานทั้ง 4 จังหวะนี้ครบ 1 กลวัตร จากนั้นลิ้นไอดีเริ่มเปิดอีกครั้ง และเครื่องยนต์กลับมาอยู่ในตำแหน่งเพื่อเริ่มกลวัตรใหม่ต่อไป จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ 4 จังหวะ เพลาข้อเหวี่ยงต้องหมุนไป 2 รอบหรือ 720° จึงจะได้กำลังหรือจังหวะงาน 1 ครั้ง

ล้อช่วยแรง (Fly Wheel) เป็นชิ้นส่วนเบื้องต้นที่จำเป็นอีกอันหนึ่งของเครื่องยนต์ดีเซล คือ ล้อช่วยแรง ซึ่งเป็นล้อขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจะยึดติดอยู่ทางด้านหลังของเพลาข้อเหวี่ยง ความมุ่งหมายในการใช้ล้อช่วยแรง ก็เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์หมุนได้เรียบสม่ำเสมอ

การอัด (Compression)

มีความมุ่งหมายอยู่สองประการในการอัดอากาศที่ถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบในจังหวะอัด ประการแรกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ โดยการเพิ่มความหนาแน่นของอากาศและได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ วิธีนี้ใช้กับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในทุกชนิด คือทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้ประกายไฟทำการจุดระเบิด และเครื่องยนต์ที่ใช้ความร้อนจากการอัดอากาศทำการจุดระเบิด ประการที่สอง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ถูกดูดเข้ามาให้สูงขึ้นมาก ซึ่งเมื่อมีเชื้อเพลิงที่เป็นฝอยละอองละเอียดถูกฉีดเข้ามาในอากาศอัดนี้ เชื้อเพลิงจะลุกไหม้และเริ่มต้น

ใหม่โดยไม่ต้องใช้แหล่งกำเนิดจากภายนอกมาทำการจุดระเบิดเช่น หัวเทียนที่ใช้งานกับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน

อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio or C.R.) คืออัตราส่วนของปริมาณที่ลูกสูบแทนที่ (Displacement or Swept or Vd) รวมกับปริมาตรของช่องว่างหรือปริมาตรของห้องเผาไหม้ (Clearance Volume or Vc) หารด้วยปริมาตรของช่องว่างหรือปริมาตรของห้องเผาไหม้ (Clearance Volume)

สูตร $$C.R. = \frac{Vd+Vc}{Vc}$$

ตามปกติอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 14 : 1 ถึง 23 : 1 ถ้าอัตราส่วนการอัดต่ำกว่า 14 : 1 อาจมีปัญหาในกรณีที่ว่า อุณหภูมิของอากาศอัดอาจจะไม่สูงพอที่จะจุดเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ได้ เมื่อทำการสตาร์ตเครื่องในบริเวณที่มีอากาศเย็น ในทางทฤษฎีถ้าเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์จะทำให้ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal Efficiency) เพิ่มขึ้น และลดความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงให้ต่ำลง อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราส่วนการอัดเป็นการทำให้กำลังดันของก๊าซและอุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นนั้น นอกจากจะทำให้เกิดความเค้น และกำลังดันในชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ความสูญเสียเนื่องจากความฝืดสูงขึ้นด้วย ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ก็ต้องสร้างให้มีความแข็งแรงขึ้นและขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนั้นกำลังดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นยังเพิ่มความสึกหรอของเครื่องยนต์ขึ้นด้วย ซึ่งเป็นการลดอายุการใช้งานให้สั้นลง ดังนั้นเครื่องยนต์แต่ละแบบจึงมีขีดจำกัดซึ่งไม่แนะนำให้เพิ่มอัตราส่วนการอัด

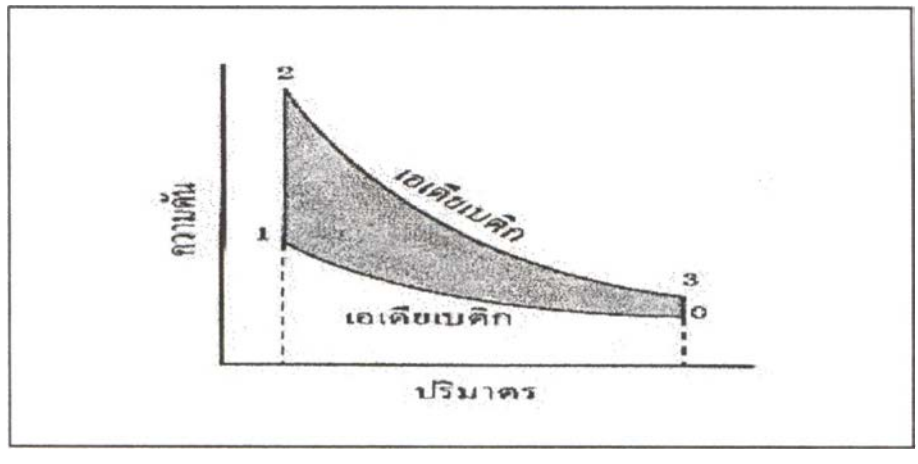
การเผาไหม้

การเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบอกสูบมี 2 วิธี คือ การเผาไหม้ที่ปริมาตรคงที่ (Constant Volume or Otto Cycle) และการเผาไหม้ที่กำลังดันคงที่ (Constant Pressure)

1. การเผาไหม้ที่ปริมาตรคงที่ หมายความว่าในระหว่างการเผาไหม้ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงและ พลังงานความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงเข้าไปอยู่ในก๊าซและเพิ่มกำลังดันกับอุณหภูมิของก๊าซ ในเครื่องยนต์หมายความว่าการเผาไหม้ดำเนินต่อไปที่อัตราสูงซึ่งลูกสูบไม่มีเวลาที่จะเคลื่อนที่ในระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นการเผาไหม้ได้รับเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน ข้อดีของการเผาไหม้วิธีนี้คือ ได้รับประสิทธิภาพทางความร้อนสูง แต่มีข้อเสียเช่นกัน กำลังดันเพิ่มขึ้นมากในทันทีทันใด เป็นผลทำให้เครื่องยนต์มีเสียงดังมาก

การเผาไหม้ดังกล่าวนี้เป็นการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้ประกายไฟฟ้าในการจุดระเบิด

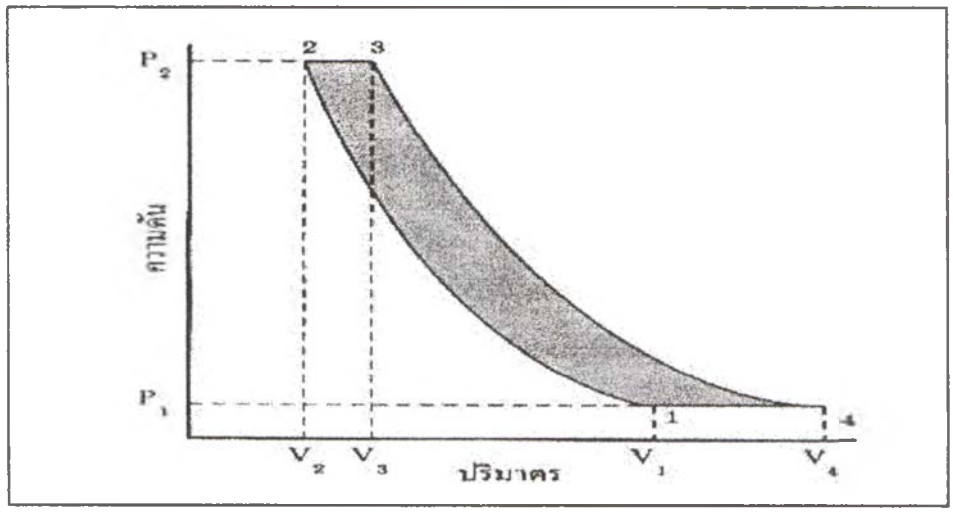
ไดอะแกรมแสดงปริมาตรกับกำลังดัน(Pressure-Volume Diagram) อากาศจำนวนหนึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกสูบที่กำลังดันและปริมาตรใช้แสดงโดยจุด 0 แล้วถูกอัดไปตามเส้น 01 โดยความร้อนไม่สูญเสียไปให้แก่กระบอกสูบ หรือเพิ่มขึ้นจากกระบอกสูบ กรรมวิธีดังกล่าวนี้เรียกว่า เอเดียเบติก (Adiabatic) อากาศที่มีกำลังดันสูงขึ้นแต่ปริมาตรเล็กลงซึ่งแทนโดยจุด 1 จากนั้นอากาศนี้จะได้รับปริมาณความร้อนที่แน่นอนจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะทำให้กำลังดันของมันสูงขึ้นทันทีทันใดถึงค่าที่ใช้แทนโดยจุด 2 แต่ยังมีปริมาตรเท่าเดิม (จึงเรียกว่ากลวัตรที่มีการเผาไหม้ที่ปริมาตรคงที่) จากนั้นมันจะขยายตัวทำงานตามเส้น 2-3 โดยมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่กำลังดันค่อยๆลดลงถึงจุด 3 หลังจากนั้นมันจะสละความร้อนทิ้งไปตามเส้นปริมาตรคงที่ 3-0 เพื่อเริ่มต้นสภาพในตอนแรกของมันที่จุด 0



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ปริมาตรกับกำลังดันของกลวัตรออตโต (Otto Cycle Pressure Volume Diagram)

2. การเผาไหม้ที่กำลังดันคงที่ หมายความว่าในระหว่างการเผาไหม้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตราที่ว่าผลการเพิ่มของกำลังดันเป็นเพียงเพื่อขัดขวางการเพิ่มของปริมาตรที่เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบและกำลังดันไม่เปลี่ยนแปลง พลังงานความร้อนที่เกิดจากเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งเข้าไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ และอีกส่วนหนึ่งเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานกลในเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ที่กำลังคงที่ เชื้อเพลิงถูกเผาอย่างช้าๆ ดังนั้นกำลังดันที่ได้ตอนปลายของจังหวะอัดจะคงที่ในระหว่างเกิดการเผาไหม้ทั้งหมด การเผาไหม้ดังกล่าวนี้

จะใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วต่ำที่ใช้การฉีดเชื้อเพลิงด้วยอากาศ ข้อดีก็คือ เครื่องยนต์ทำงานเรียบสม่ำเสมอให้แรงบิด(Torque) ได้มาก เพราะว่ากำลังดันจากการเผาไหม้ยืดยาวออกไปแต่ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ความเร็วสูง



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมแสดงกำลังดันคงที่ในทางทฤษฎี

(Constant Pressure Theoretical Diagram)

รูปแสดงกลวัตรในทางทฤษฎีซึ่งเทียบได้กับกลวัตรดีเซล ในกลวัตรนี้ปริมาณของอากาศจำนวนหนึ่งถูกสมมติให้บรรจุในกระบอกสูบซึ่งมีลูกสูบเลื่อนอยู่ภายในกระบอกสูบได้ แต่อากาศหนีออกจากกระบอกสูบโดยผ่านลูกสูบไม่ได้ ลำดับการทำงานจะเป็นดังนี้

1. อากาศถูกอัดอย่างเอเดียเบติก(โดยไม่ได้หรือเสียความร้อนจากหรือให้แก่ผนังกระบอกสูบ) การทำงานดังกล่าวนี้จะทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นถึงช่วงที่แน่นอนช่วงหนึ่ง
2. ความร้อนที่จ่ายให้จะเพิ่มเข้าไปในที่กำลังดันคงที่ตอนบน เป็นการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีก
3. จากนั้นเกิดการขยายตัวอย่างเอเดียเบติก ทั้งอุณหภูมิและกำลังดันของอากาศจะลดลงเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลง

4. ในขั้นตอนสุดท้ายที่กำลังดันต่ำลง ความร้อนที่ยังคงเหลืออยู่ในอากาศจะถูกขับไล่ออกจากกระบอกสูบทั้งอุณหภูมิและกำลังดันจะตกลงเหลือเท่ากับในตอนเริ่มแรก เพื่อเริ่มกลวัตรใหม่ต่อไป

ระบบการเริ่มเดินเครื่องยนต์โรงไฟฟ้าดีเซล

ระบบการเดินเครื่องยนต์ดีเซลทำได้หลายวิธีคือ

1. แบบอากาศอัด

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่โดยมากใช้อัดอากาศในการช่วยเริ่มเดินเครื่องยนต์ระหว่างช่วงแรกของการเริ่มเดินเครื่อง อากาศที่มีความดันสูงถูกปล่อยเข้าไปในกระบอกสูบหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งกำลังที่ได้ก็เหมือนกับแบบเครื่องจักรไอน้ำ เมื่อเครื่องเริ่มเดินแล้วเนื่องจากกำลังของอากาศ ก็ปิดช่องอากาศแล้วน้ำมันก็ถูกฉีดเข้าไปช่วยในการเดินเครื่องในขณะที่เครื่องเดินไปด้วยโมเมนตัม ทำให้เพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องหมุน

2. มอเตอร์ไฟฟ้า

สำหรับการเริ่มเดินเครื่องแบบใช้มอเตอร์นั้นทำได้โดยต่อมอเตอร์เข้ากับเพลาข้อเหวี่ยง ไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์อาจได้มาจากแบตเตอรี่ที่เก็บไว้ในโรงจักร โดยมากแบบนี้ใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็กๆ

3. ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน

การเริ่มเดินเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ทำได้โดยการถ่ายทอดพลังงานที่ได้มาจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ให้กับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานของเครื่องยนต์ดีเซล

2.2.3 ระบบหล่อเย็น

การทำงานของเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับความร้อนที่ออกมาจากกระบอกสูบ ลูกสูบ ลิ้น และชิ้นส่วนอื่นๆซึ่งจะต้องรักษาชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ให้มีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็น(Cooling system)

การหล่อเย็นด้วยของเหลว

การหล่อเย็น จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิของเครื่องให้อยู่ในอุณหภูมิที่เครื่องยนต์ต้องการ ถ้าหากอุณหภูมิต่ำหรือสูงไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์

ปริมาณของน้ำหล่อเย็น

จำนวนของน้ำหล่อเย็นที่ต้องการไปผ่านผนังกระบอกสูบขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ และอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น จำนวนของน้ำที่ต้องการคือ 3,536 – 4,243 kJ/hr.kW ในเครื่องยนต์ธรรมดา และ 2,828 – 3,536 kJ/hr.kWในเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จ

ค่าความร้อนของน้ำที่เสื้อสูบและที่ตัวระบายความร้อนของน้ำมันเครื่องยนต์(Oil cooler) หาได้จากเครื่องยนต์ ทำให้เราทราบจำนวนน้ำที่ต้องการได้

น้ำที่ไหลเวียนในระบบหล่อเย็นสามารถได้จากสูตร

$$Q = m*c*\Delta T$$

$$= m*c*(To - Ti)$$

$$= \frac{w}{g} * c * (To - Ti)$$

โดย Q = ปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ไหลเวียนในระบบ (kJ*hr)

Ti = อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่อง (K)

To = อุณหภูมิออกจากเครื่อง(K)

m = มวลของน้ำ

w = น้ำหนักของของเหลวหล่อเย็น(N)

c = ค่าความร้อนจำเพาะของสารหล่อเย็น(kJ/kg.K)

น้ำที่ไหลเวียนมากเกินไป จะมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำต่ำซึ่งไม่เป็นผลดี นอกจากจะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแล้วยังทำให้กำลังที่ได้ต่ำอีกด้วย

การหล่อเย็นโดยใช้น้ำมี 2 ชนิด

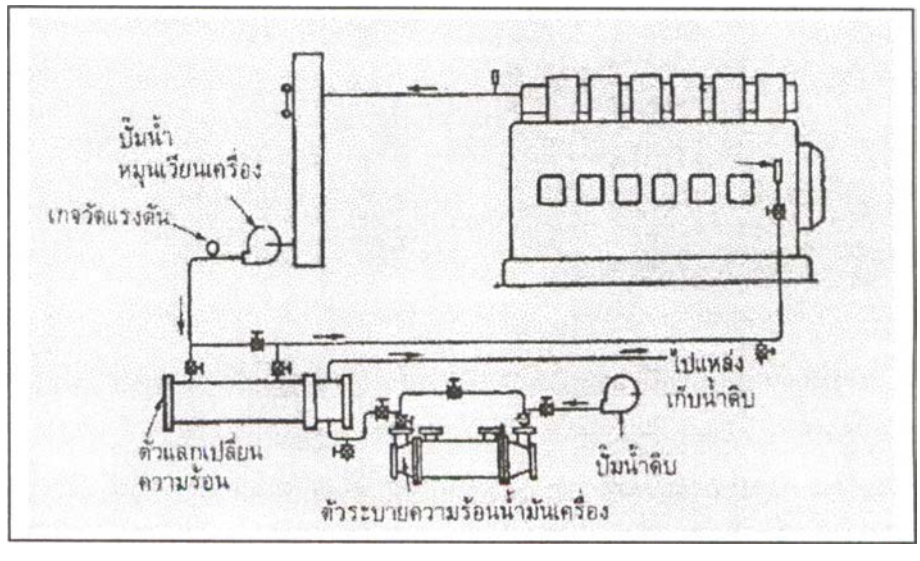
1. ระบบเปิด (Open system)
2. ระบบปิด (Close system)

ระบบหล่อเย็นแบบเปิด ในระบบนี้จะใช้ปั๊มดูดน้ำจากแหล่งน้ำ ได้แก่ แม่น้ำลำคลอง ถังเก็บน้ำ สระน้ำ โดยปั๊มจะส่งน้ำที่มาจากแหล่งน้ำนั้นเข้าไประบายความร้อนจากเสื้อสูบ แล้วปล่อยกลับมาที่เดิม ระบบนี้สะดวกและลงทุนน้อย แต่มีข้อเสียที่การเอาน้ำดิบมาหมุนเวียนในเสื้อสูบทำให้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องยนต์ต่ำมากจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการเอาน้ำจากแม่น้ำลำคลองมาหมุนเวียนจะทำให้เกิดตะกอนค้างในช่องระบายความร้อนของเสื้อสูบ เป็นผลเสียต่อระบบระบายความร้อน

ระบบหล่อเย็นแบบปิด การหล่อเย็นแบบปิดจะประกอบไปด้วยปั๊มน้ำ หม้อน้ำ หรือตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบนี้นิยมใช้มากเพราะมีข้อดีที่ท่อทางระบายความร้อนในเสื้อสูบไม่สกปรก ทำให้หล่อเย็นได้ทั่วถึงดี สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบแรก และเครื่องจะมีอุณหภูมิที่พอเหมาะขณะใช้งาน

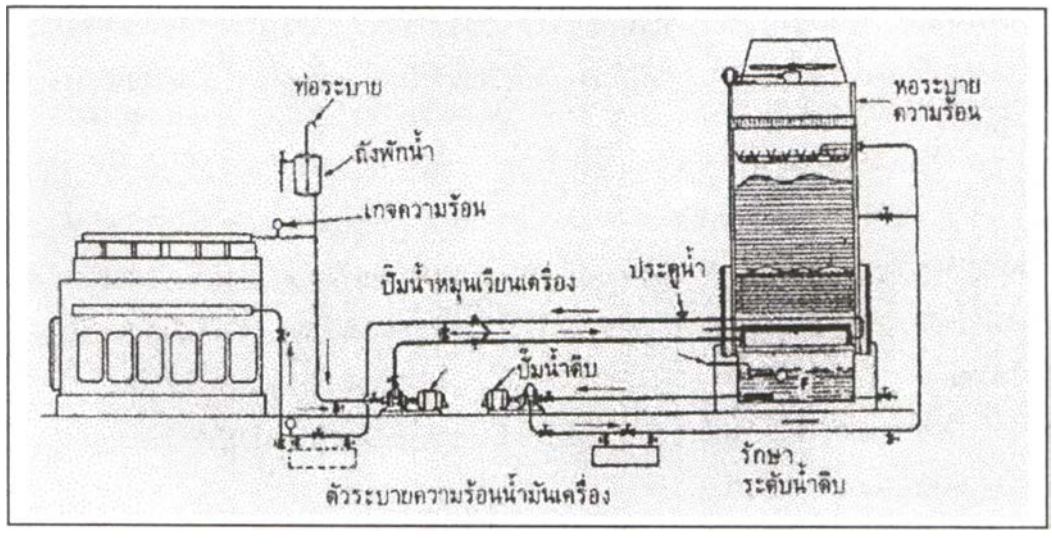
น้ำหล่อเย็นในเครื่องยนต์ ขนาดใหญ่ มักจะมีระบบระบายความร้อนโดยใช้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายลักษณะ ตัวอย่างเช่น

1. ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหลอดมีเปลือกใช้น้ำดิบผ่าน
2. ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไม่มีเปลือก ใช้น้ำดิบจากหอระบายความร้อน
3. ใช้หม้อระบายความร้อน



รูปที่ 2.4 ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีเปลือกใช้น้ำดิบผ่าน

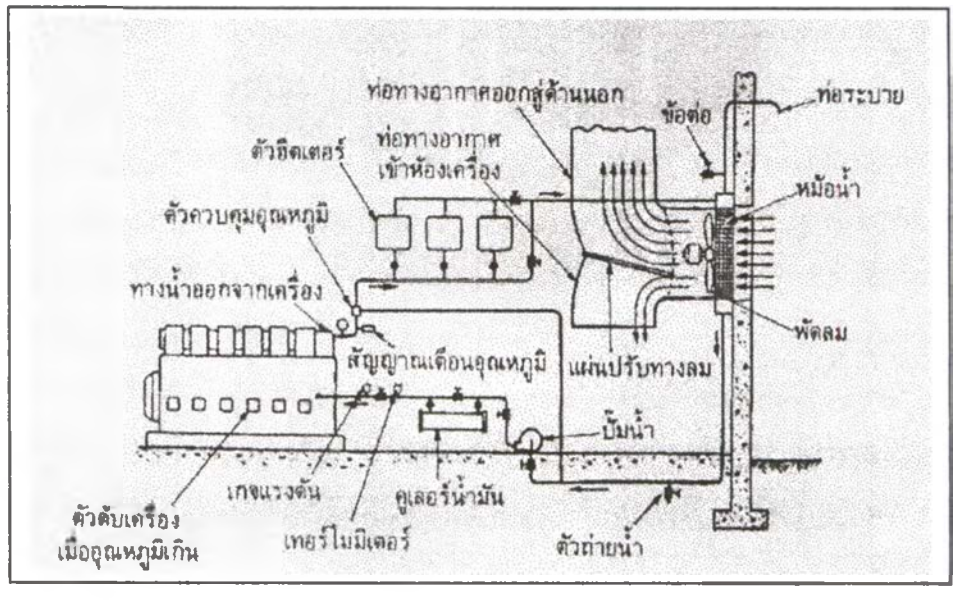
ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดมีเปลือกหุ้มดังรูปที่ 2.4 ปั๊มน้ำหมุนเวียนเครื่องจะปั๊มน้ำหมุนเวียนในเสื้อสูบ โดยน้ำที่ออกจากเครื่องซึ่งเป็นน้ำร้อนจะถูกส่งไปยังตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและถูกระบายความร้อนออกโดยน้ำดิบที่มาจากปั๊มน้ำดิบ(น้ำดิบที่มาถ่ายเทความร้อนนี้จะเดินนอกหลอด น้ำที่หมุนเวียนในเครื่องจะเดินในหลอด ซึ่งจะไม่ปะปนกันเพราะอยู่คนละส่วนกัน แต่จะถ่ายเทความร้อนให้กันได้) เมื่อน้ำร้อนจากเครื่องผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วน้ำจะเย็นลง จากนั้นจะไหลเข้าไปหล่อเย็นในเสื้อสูบ ส่วนน้ำดิบเมื่อไหลผ่านคูลเลอร์น้ำมันแล้วไหลผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและกลับไปยังแหล่งเก็บน้ำดิบ



รูปที่ 2.5 ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไม่มีเปลือกใช้กับหอระบายความร้อน

จากรูปที่ 2.5 ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนจะอยู่ในหอระบายความร้อน น้ำจะหมุนเวียนระบายความร้อนในเครื่องโดยปั๊มน้ำหมุนเวียนในเครื่อง ซึ่งจะปั๊มน้ำร้อนที่ออกจากเครื่อง ผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใต้หอระบายความร้อนแล้วกลับเข้าเครื่องไปออกด้านบนของเครื่อง เป็นวงจรน้ำหล่อเย็นของเครื่อง ส่วนปั๊มน้ำดิบจะทำหน้าที่ปั๊มน้ำดิบให้ไปฉีดเป็นละออง อยู่ด้านบนของหอระบายความร้อน แล้วตกลงมายังตัวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านล่าง น้ำที่ฉีดเป็นละอองจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ทำให้เย็นตัวลงแล้วตกลงไปที่ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำที่มาจากตัวเครื่องยนต์ ทำให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์ลดลง ขณะเดียวกันน้ำที่ตกลงมาถูกตัวแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกดูดขึ้นไปที่หอระบายความร้อนเป็นระบบระบายความร้อนที่ใช้งานได้ดี แต่สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการทำหอระบายความร้อน

การหล่อเย็นโดยใช้หม้อน้ำ เป็นระบบปิดที่นิยมใช้งานกันมาก เพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ สะดวกต่อการบำรุงรักษา การติดตั้งหม้อน้ำทำได้หลายลักษณะ ถ้าเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก การใช้หม้อน้ำก็จะใช้แบบธรรมดาที่ใช้ในรถยนต์ทั่วๆไป ถ้าเป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่มักจะมีอุปกรณ์อื่นๆ มาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิใช้งานได้ตามความต้องการของเครื่อง



รูปที่ 2.6 การระบายความร้อนแบบใช้หม้อน้ำและฮีตเตอร์

การบำรุงรักษาน้ำหล่อเย็น

การบำรุงรักษาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทางเดินน้ำหล่อเย็น ต้องรักษาสภาพของน้ำให้ดี ตะกอนต่างๆจะต้องไม่ขวางทางเดิน ด่างและสิ่งต่างๆอาจทำให้เกิดสนิมได้ เครื่องยนต์ส่วนมากจะบำรุงรักษาโดยการเติมอัลคาไลน์โครเมต (alkaline chromate) 22 – 28 เกรน/ลิตรของน้ำ (0.3 กิโลกรัม/100 ลิตร)

ค่า pH ของน้ำหล่อเย็นจะมีค่าประมาณ 8- 9.5 โครเมตจะช่วยรักษาค่า pH ไว้ และขณะเดียวกันก็จะป้องกันการเกิดสนิมที่โลหะด้วย

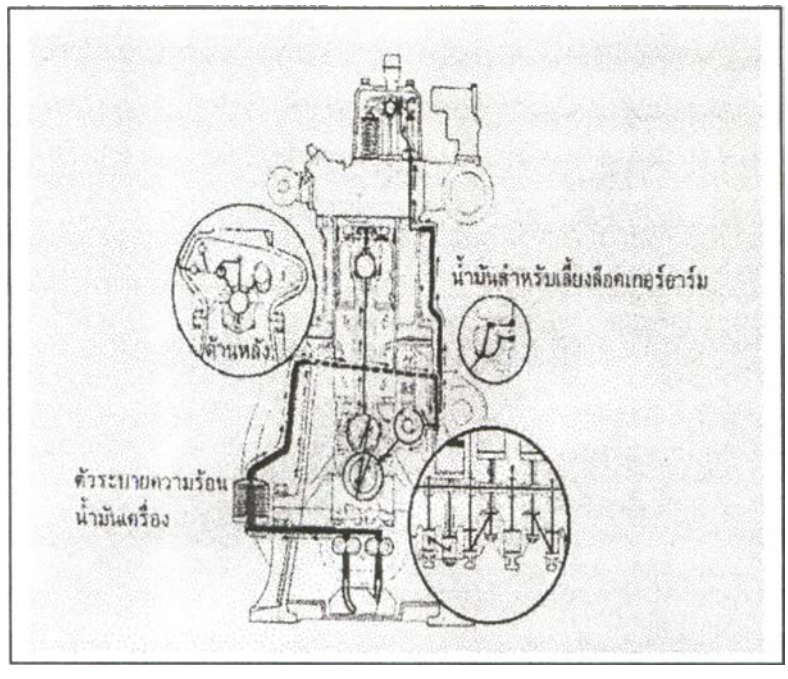
2.2.4 ระบบหล่อลื่น

การหล่อลื่นของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จะมีระบบหล่อลื่นโดยมีน้ำมันเครื่องเป็นตัวหล่อลื่น ซึ่งจะใช้ปั๊มน้ำมันเครื่องเป็นตัวสร้างแรงดันแล้วส่งไปเลี้ยงชิ้นส่วนต่างๆ เช่นที่เพลาข้อเหวี่ยงจะมีน้ำมันไหลเข้ามายังเพลาข้อเหวี่ยงและส่งต่อไปยังก้านสูบ ซึ่งที่ก้านสูบจะเจาะรูให้น้ำมันเครื่องไหลผ่านไปหล่อลื่นที่แบริ่งสลักลูกสูบ ที่ลูกสูบก็ต้องมีการหล่อลื่นเช่นกัน น้ำมันหล่อลื่นอีกส่วนหนึ่งจะไปหล่อลื่นช่องว่างระหว่างลูกสูบ โดยการฉีดน้ำมันออกที่รูบนก้านสูบไปโดยลูกสูบ ต่อจากนั้นน้ำมันหล่อลื่นก็จะตกลงสู่อ่างน้ำมันเครื่อง ในทำนองเดียวกันน้ำมันเครื่องก็จะไปหล่อลื่นที่แบริ่งตัวอื่นๆและชุดเฟืองกลไกยกลิ้น ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะที่ผนังกระบอกสูบและลูกสูบ จะต้องมีน้ำมันเครื่องมาฉาบที่ผิวทั้งสองโดยน้ำมันเครื่อง จะออกมาจากแบริ่งที่สลักลูกสูบ และออกมาจากการฉีดน้ำมันที่แบริ่งก้านสูบ

อ่างน้ำมันเครื่อง เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะที่มีความเร็วสูง เครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่มีความเร็วปานกลางและความเร็วต่ำ จะต้องมีอ่างน้ำมันเครื่องแยกไว้ต่างหากเพื่อการหล่อลื่น เรียกว่า “อ่างน้ำมันเครื่องแบบแห้ง”

ปั๊มน้ำมันเครื่องสำหรับหล่อลื่น เครื่องยนต์ส่วนมากในระบบหล่อลื่นจะมีปั๊มน้ำมันเครื่องที่มีแรงดันระหว่าง 1 – 15 บาร์ (15 – 75 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องยนต์ เมื่อในระบบหล่อลื่นมีแรงดันสูงผิดปรกติ ลิ้นกันกลับซึ่งติดไว้จะทำงานเพื่อให้น้ำมันเครื่องไหลผ่านช่องว่างระหว่างแบริ่งและส่วนอื่นๆได้ตลอดเวลา ปั๊มน้ำมันเครื่องก็สามารถจ่ายแรงดันได้ตามต้องการ



รูปที่ 2.7 แสดงการหล่อลื่นเครื่องยนต์

ความจุของปั๊ม ความจุของปั๊มที่ดีจะทำให้แรงดันของน้ำมันในระบบคงที่ตลอดเวลาหากมีน้อยไปก็จะทำให้แบริ่งเกิดการสึกหรอ ดังนั้นแรงดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ หากมีความเร็วสูงการหล่อลื่นของเครื่องยนต์ก็จะสูงตาม

เมื่อปั๊มหมุนน้ำมันเครื่องก็จะทำการหล่อลื่นและทำความสะอาดชิ้นส่วน ความจุของปั๊มน้ำมันเครื่องสามารถหาได้จากอัตราการไหลของน้ำมันเครื่องในระบบ มอเตอร์ขับปั๊มน้ำมันที่ผ่านการหล่อลื่นซึ่งสกปรกกลับสู่อ่างน้ำมันเครื่อง

การหล่อเย็นน้ำมันเครื่อง ระบบหล่อลื่นจะหมุนวนอยู่ในเครื่องยนต์ โดยน้ำมันเครื่องจะไปหล่อลื่นแบริ่ง เพื่อลดความร้อนและความฝืดต่างๆ ความร้อนที่ลูกสูบจะถูกหล่อเย็นด้วยน้ำมันเครื่อง ทำให้น้ำมันเครื่องมีอุณหภูมิสูงขึ้น และส่งมาถ่ายเทความร้อนให้แก่อ่างน้ำมันเครื่อง ซึ่งจะระบายความร้อนไปยังอากาศที่สัมผัสกับอ่างน้ำมันเครื่อง แต่เครื่องยนต์ที่ใช้งานหนัก เช่นเครื่องยนต์ขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ การระบายความร้อนโดยผ่านอ่างน้ำมันเครื่องจะระบายความร้อนไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง(Oil cooler) มาช่วยระบายความร้อน

2.2.5 การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel pump & Injection) มีวิธีการฉีดน้ำมันอยู่ 2 วิธีคือ

1. ระบบปั๊มฉีดแบบใช้อากาศช่วย (Air injection)
2. ระบบปั๊มฉีดแบบไม่ใช้อากาศช่วย(Airless injection) หรือระบบฉีดน้ำมันแบบใช้กำลังดันของน้ำมัน (hydraulic injection)

หน้าที่ของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ที่สำคัญมีอยู่ 5 ประการ ดังต่อไปนี้

1. การตวงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกต้องแน่นอน (accurate metering)
2. การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ถูกจังหวะ (proper timing)
3. การอัดฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอัตราที่เหมาะสม (suitable rate)
4. การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอย (atomization)
5. การแพร่กระจายของน้ำมันเชื้อเพลิงให้ทั่วถึงดีในห้องเผาไหม้ (good distribution in combustion space)

การตวงน้ำมันเชื้อเพลิง (Metering) ให้ถูกต้องแน่นอนหมายความว่าจำนวนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายออกไปทุกๆไซเกิล จะต้องเป็นไปตามโหลดภาระของเครื่องยนต์ คืองานหนักจะต้องจ่ายเชื้อเพลิงมาก งานเบาต้องจ่ายเชื้อเพลิงน้อย และจำนวนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายไปยังแต่ละสูบจะต้องเท่ากันจริงๆ เครื่องยนต์จะเดินด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอได้ดีด้วยการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงถูกต้องในลักษณะ ดังกล่าวข้างต้นเท่านั้น

จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Timing) ที่ถูกต้องหมายความว่า เมื่อถึงการเริ่มต้นฉีดในเวลาที่ต้องการจังหวะฉีดที่ถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเครื่องยนต์ เพื่อที่จะได้กำลังงานสูงสุดจากน้ำมันเชื้อเพลิงและเป็นผลดีในทางประหยัดและการเผาไหม้ที่หมดจด ถ้าการฉีดน้ำมันเร็วเกินไป การจุดระเบิดจะเกิดล่าช้าไปเพราะอุณหภูมิของอากาศในขณะนั้นยังไม่สูงพอ การจุดระเบิดที่ล่าช้ามากๆ จะทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ เกิดเสียงดัง และน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วนที่ยังไม่ได้เผาไหม้จะสูญเสียไปเนื่องจากการตกลงไปเปียกนองอยู่บนหัวลูกสูบและผนังกระบอกสูบ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมาก

ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดช้าเกินไป น้ำมันเชื้อเพลิงจะเผาไหม้ได้เพียงบางส่วน เพราะลูกสูบได้เลื่อนผ่านศูนย์ตายบนไปแล้ว จึงเกิดการเผาไหม้ได้เพียงเล็กน้อย และขณะนั้นลิ้นไอเสียจะเปิดเครื่องยนต์จึงไม่มีกำลัง ควันไอเสียจะมีสีดำมาก และสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูง

อัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Rate of Injection) หมายความถึงจำนวนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ ต่อระยะเวลาหน่วยหนึ่งหรือต่อองศาที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป

ถ้าอัตราการฉีดสูงหมายความว่า น้ำมันเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งจะถูกฉีดหมดลงในเวลาอันสั้นหรือในระยะองศาจำนวนน้อยที่เพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป ถ้าต้องการลดอัตราการฉีดให้น้อยลงจะต้องเปลี่ยนปลายหัวฉีดให้มีรูขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มระยะเวลาการฉีดให้นานขึ้น

อัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ คล้ายคลึงกับจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ถ้าอัตราการฉีดสูงเกินไปจะมีผลเช่นเดียวกับการฉีดน้ำมันก่อนจังหวะฉีดมากเกินไป ถ้าอัตราการฉีดต่ำเกินไปจะมีผลเช่นเดียวกับการฉีดน้ำมันหลังจังหวะฉีดมากเกินไป

การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอย(Atomization) คือการแตกตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่พุ่งออกมาให้เป็นฝอยละเอียดเหมือนละอองหมอก และเหมาะสมกับลักษณะของห้องเผาไหม้ ห้องเผาไหม้บางแบบต้องการฝอยน้ำมันที่ละเอียดมาก แต่บางแบบทำงานได้โดยฝอยน้ำมันไม่ต้องละเอียดมาก

การแพร่กระจายของน้ำมันเชื้อเพลิง(Distribution) น้ำมันเชื้อเพลิงจะต้องแพร่กระจายอย่างทั่วถึงไปยังทุกๆส่วนของห้องเผาไหม้ ณ ที่ซึ่งมีออกซิเจนสำหรับช่วยการเผาไหม้ ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงแพร่กระจายไม่ทั่วถึง ออกซิเจนที่มีอยู่บางส่วนจะไม่ได้ถูกใช้งานและกำลังของเครื่องยนต์ก็ย่อมจะตกต่ำลง

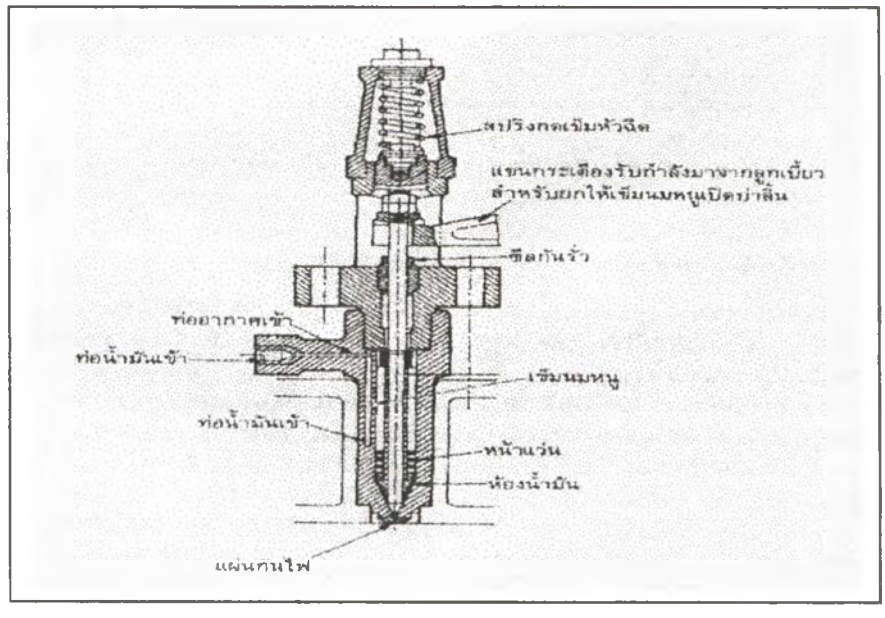
ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบใช้อากาศช่วย

ระบบการฉีดน้ำมันโดยใช้อากาศช่วย(Air Injection) เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาตั้งแต่เริ่มมีเครื่องยนต์ระยะแรกๆ ระบบการฉีดน้ำมันโดยการใช้อากาศช่วยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. ปั๊มอากาศ ซึ่งจะเป็นแบบอัด 2 ครั้ง(2 สเตจ) หรืออัด 3 ครั้ง(3 สเตจ) อัดอากาศเก็บไว้ในถังโดยควบคุมแรงดันระหว่าง 60- 80 บาร์ (6000 –8000 กิโลปาสคาล)
2. ปั๊มควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับปรับปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมส่งไปยังหัวฉีด
3. ลูกเบี้ยวสำหรับบังคับกลไกให้หัวฉีดทำงาน
4. หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Air fuel injection or Spray valve)

หลักการทำงานของหัวฉีดแบบใช้อากาศช่วย

เมื่อน้ำมันผ่านปั๊มควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วจะเข้ามาทางท่อน้ำมันเข้า และอากาศจะเข้ามาทางท่ออากาศเข้ามาอยู่ในห้องปลายหัวฉีดแต่จะไหลออกมาทางปลายหัวฉีดไม่ได้เพราะเข็มนมหนูยังปิดบ่าอยู่ในจังหวะฉีด กระเดื่องจะถูกยกขึ้นโดยการเตะของลูกเบี้ยว บ่าลิ้นจะเปิดทำให้น้ำมันกับอากาศที่มีแรงดันสูงอยู่ไหลผ่านหน้าจาน ทำให้น้ำมันกับอากาศในหัวฉีดผสมรวมตัวกันฉีดผ่านแผ่นกันไฟ เป็นฝอยละอองเข้าไปยังห้องเผาไหม้ รวมตัวกับอากาศที่ถูกอัดอยู่เหนือลูกสูบ ก็จะเกิดการลุกไหม้ขึ้น



รูปที่ 2.8 หัวฉีดแบบใช้อากาศช่วย

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบไม่ใช้อากาศช่วย

นิยมเรียกว่าการฉีดแบบใช้แรงดันน้ำมัน (Pressure injection) หรือการฉีดโดยไฮดรอลิกส์ แบ่งได้ดังนี้

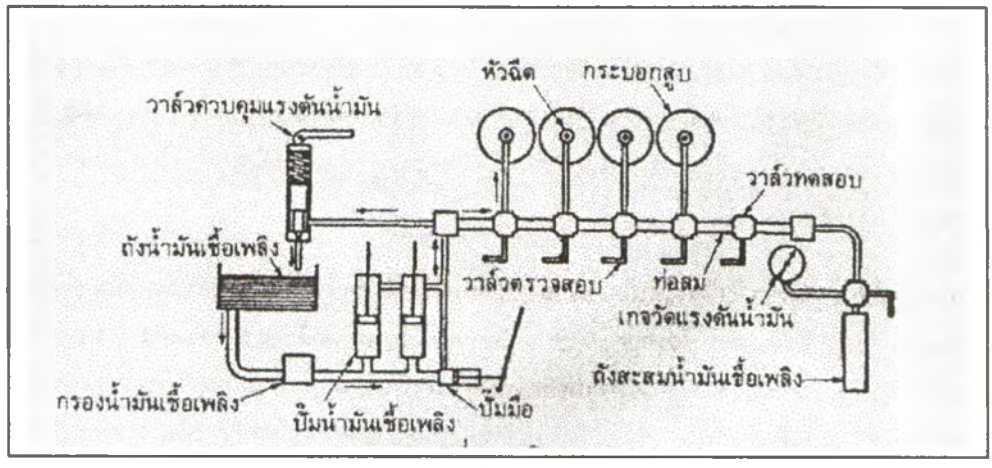
1. ระบบท่อรวม (Common- rail injection system)
2. ระบบควบคุมที่ปั๊ม (Pump controlled injection system) ได้แก่
   - ควบคุมโดยจำกัดน้ำมันกลับ(Controlled by-pass)
   - ควบคุมด้วยลิ้นดูดน้ำมัน (Controlled suction)
   - ควบคุมโดยการปรับเปลี่ยนขนาดรูน้ำมันไหลเข้า(Variable orifice)
   - ควบคุมการปรับเปลี่ยนระยะชักของลูกปั๊ม (Variable stroke)
   - ควบคุมโดยใช้ชองพอร์ตและร่องเอียง(Port and helix metering)

3. ระบบตวงน้ำมันด้วยปั๊มแรงดันต่ำ (Low-pressure metering pump) แล้วจ่ายให้ปั๊มแรงดันสูง ซึ่งใช้ระบบกลไกทำงานส่งให้กับหัวฉีดแต่ละสูบ

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะระบบท่อรวมซึ่งเป็นแบบที่ใช้กับโรงไฟฟ้าดีเซลของโรงงานตัวอย่าง เท่านั้น

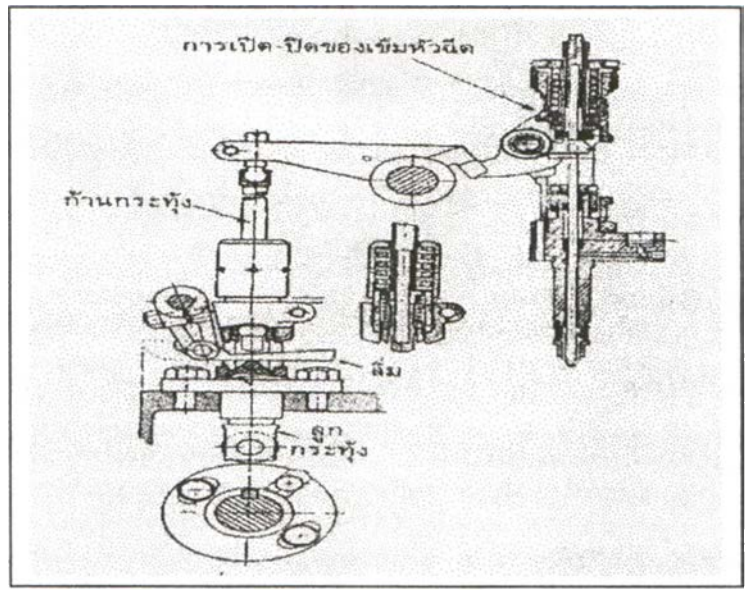
ระบบท่อรวม ระบบนี้จะประกอบไปด้วยหัวฉีดแบบกลไก คือใช้วิธียกเข็มหัวฉีดด้วยกลไกกระเดื่อง (Rocker arm) คล้ายกับวิธีที่ใช้อยู่ในหัวฉีดแบบใช้อากาศช่วย และปั๊มเชื้อเพลิงของระบบนี้จะต้องรักษากำลังดันน้ำมันไว้ประมาณ 345 บาร์ จากนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกส่งไปตามท่อรวมของทุกสูบด้วยกำลังดันคงที่ จากท่อรวมจะมีท่อแยกออกไปตามสูบแต่ละสูบ น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดูดจากถังน้ำมันผ่านการกรองไปเก็บไว้ยังถังสะสมด้วยปั๊มดูดกำลังดันต่ำ และจากกรองเชื้อเพลิงจะเข้าไปยังปั๊มกำลังดันสูง สำหรับลิ้นลดกำลังดันจะทำหน้าที่ปรับกำลังดันและรักษาให้กำลังดันภายในท่อน้ำมันเชื้อเพลิงและหัวฉีดคงที่ ถ้ากำลังดันเพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ลิ้นลดกำลังดันจะเปิดให้น้ำมันไหลกลับ (By-pass) ไปยังระบบ ระบบนี้จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างระบบความดันคงที่ (Constant pressure) ในปั๊มให้กำลังดันต่ำได้ใส่ลิ้นลดกำลังดันไว้ เพื่อทำหน้าที่เปิดให้น้ำมันไหลกลับถัง ส่วนลิ้นกันกลับที่ใส่ไว้เพื่อป้องกันน้ำมันดันกลับ ส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบได้แก่ ถังสะสม (Accumulator) ทำหน้าที่รับน้ำมันจากถังน้ำมันและช่วยให้น้ำมันจ่ายออกทุกสูบได้เรียบสม่ำเสมอ ถังน้ำมันจะต้องมีเกจวัดแรงดันประกอบติดไว้ด้วย

การทำงานของลิ้นในระบบฉีดเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับการทำงานของเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เพลาลูกเบี้ยวที่อยู่ในปั๊มจะเตะลูกกระทุ้ง(Tappet) ให้เลื่อนขึ้นไประยะทางตายตัวต่อไซเกิล และส่วนบนของลูกกระทุ้งจะส่งผลไปดันที่ลิ่มอีกทีหนึ่ง และส่วนปลายสุดของก้านกระทุ้ง (Push rod) และลูกกระทุ้งก็จะเคลื่อนที่ขึ้นและเปิดลิ้นน้ำมันจะฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้



รูปที่ 2.9 ปั๊มแบบท่อรวม

ลิ่มจะลอยตัวอยู่ระหว่างลูกกระทุ้งกับก้านกระทุ้ง และจะอยู่ส่วนซ้ายสุดของ กัฟเวอร์เนอร์ (Governor) เมื่อกัฟเวอร์เนอร์เคลื่อนที่ ลิ่มก็จะเลื่อนออกทางด้านซ้ายและขวา ทำให้มีผลต่อการปิดเปิดของหัวฉีด คือ บ่าลิ่มเลื่อนไปทางขวา ส่วนบางของลิ่มจะเลื่อนมาบังคับก้านกระทุ้งให้ยกเข็มหัวฉีดน้อย น้ำมันก็ฉีดออกจากหัวฉีดน้อย ถ้าลิ่มเลื่อนตัวมาทางซ้ายก็จะเอาส่วนหนาของลิ่มมาบังคับก้านกระทุ้งให้ยกเข็มหัวฉีดสูงและนานขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำมันก็จะฉีดออกจากหัวฉีดมาก เนื่องจากแรงดันของระบบนี้จะคงที่ตลอดเวลา จึงควบคุมปริมาณน้ำมันด้วยระยะเวลาการปิดเปิดของเข็มหัวฉีด



รูปที่ 2.10 การยกเข็มนมหนูด้วยกลไก

การควบคุมระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง

ระยะเวลาของการฉีดเชื้อเพลิง(Injection timing) เป็นสิ่งสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะต้องปรับหรือเร่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงล่วงหน้า (advance) หรือลดให้อ่อน (retard) ในทำนองเดียวกันกับการเร่งไฟจุดระเบิดในเครื่องยนต์เบนซิน นั่นคือระยะเวลาของการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงจะต้องให้แปรผันได้ตามความเร็วของเครื่องยนต์ ถ้าความเร็วเพิ่มขึ้น ตำแหน่งเริ่มฉีดเชื้อเพลิงก็ต้องเร็วขึ้นเรียกว่า มุมเร่ง (Advanced angle) เช่นอาจจะเปลี่ยนไปจาก 8°-10° เป็นต้น ปกติตำแหน่งเริ่มฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลแต่ละเครื่อง (รุ่น) จะกำหนดหรือออกแบบไว้ตามความเหมาะสม โดยเลือกตำแหน่งที่ทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ดีที่สุดได้กำลังงานสูงสุดและประหยัดเชื้อเพลิงด้วย ดังนั้นจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับปรับตำแหน่งเริ่มฉีดของปั๊มโดยอัตโนมัติ ซึ่งมีทั้งแบบกลไกและแบบไฮดรอลิกส์

2.2.6 กัฟเวอร์เนอร์ (Governor)

ความมุ่งหมายของกัฟเวอร์เนอร์เพื่อรักษาเครื่องยนต์ให้เดินด้วยความเร็วตามที่ต้องการ แม้ว่าโหลดของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนไปก็ตาม กัฟเวอร์เนอร์จะทำการควบคุมกำลังทั้งหมดของ

เครื่องยนต์ที่ผลิตได้ ซึ่งเรียกว่า " แรงม้าผลิต" (indicated horsepower) ส่วนหนึ่งของแรงม้าผลิตนี้ได้ถูกใช้ไปในความสูญเสียจากการเสียดทานต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย

1. ความเสียดทานระหว่างส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ
2. ความต้านทานของลมหรืออากาศที่เป็นแรงต้านส่วนเคลื่อนไหวเร็ว เช่น ลูกสูบ ก้านสูบ และล้อช่วยแรง (windage loss)
3. ความฝืดหรือความต้านทาน ของท่อทางที่ทำให้การไหลของอากาศเข้าหรือไอเสียออกไม่สะดวก (pumping loss)
4. พลังงานที่ต้องเอาไปใช้ในการขับเพลาลูกเบี้ยว เปิดลิ้น และขับปั๊มกลไกต่างๆ

ผลรวมของความสูญเสียทั้งหมดนี้เรียกว่าแรงม้าสูญเสีย(friction load) ของเครื่องยนต์ ใช้อักษรย่อ Nf แรงม้าที่ผลิต (Ni) ลบด้วยแรงม้าสูญเสีย (Nf) จะได้ผลลัพธ์เป็นแรงม้าเบรกหรือแรงม้าใช้งาน (brake horse power or useful out put of the engine)

$$Nb = Ni - Nf$$

Nb ต้องเท่ากับงานภายนอกที่ต่อกับเพลาข้อเหวี่ยง

ดังนั้นแรงม้าผลิตที่กัฟเวอร์เนอร์ต้องทำการควบคุมให้เท่ากับผลรวมของแรงม้าเบรกกับแรงม้าสูญเสียนั่นคือ

$$Ni = Nb + Nf$$

แรงม้าที่ผลิตขึ้นอยู่กับกำลังดันที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงและขึ้นอยู่กับกำลังดันผลิตเฉลี่ย (Mean indicated pressure หรือ mip) การเผาไหม้และกำลังผลิตเฉลี่ยขึ้นอยู่กับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นประการสำคัญ ถ้าสภาพอื่นๆเหมือนกันโดยไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลง ดังนั้นกัฟเวอร์เนอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลจึงต่อเข้าโดยตรงกับปั๊มอัดฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ปั๊มอัดฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลออกแบบและสร้างโดยมีหลักสำคัญที่จะทำให้จำนวนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาแต่ละครั้งเท่ากันเสมอ เมื่อตั้งคันบังคับน้ำมันไว้ในตำแหน่งคงที่ไม่ว่าความเร็วของเครื่องยนต์จะหมุนเร็วเท่าใด ปัญหาการควบคุมความเร็วเครื่องยนต์ที่มีโหลดภายนอกเปลี่ยนแปลง แต่ยังต้องการให้ความเร็วคงที่ สามารถแก้ได้โดยวิธีเปลี่ยนตำแหน่งคันบังคับน้ำมันเชื้อเพลิงให้ตรงตามโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อเครื่องยนต์ 2 เครื่องหรือหลายๆเครื่องทำงานขนานกันคือ ต่อเข้ากับโหลดอันเดียวกัน จะเป็นทางไฟฟ้าหรือทางกลก็ตาม ความเร็วของเครื่องยนต์ทั้งหมดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปโดย

อิสระได้ตัวอย่างของโหลดชนิดนี้คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ใช้พร้อมกันหลายๆชุด ในสภาพเช่นนี้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดให้เครื่องยนต์แต่ละเครื่องจะต้องปรับแต่งให้มีความละเอียดถูกต้องที่สุด เพื่อว่าโหลดทั้งหมดจะได้ถูกแบ่งเฉลี่ยออกไปถูกส่วน ในขณะที่ยังรักษาความเร็วสัมพันธ์ให้คงที่

คุณลักษณะของกัฟเวอร์เนอร์

กัฟเวอร์เนอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องมีลักษณะเฉพาะบางประการ เพื่อให้เหมาะสมกับโหลดที่เครื่องยนต์ขับ ลักษณะที่สำคัญๆ ซึ่งเป็นเครื่องชี้คุณภาพของกัฟเวอร์เนอร์ในการควบคุมเครื่องยนต์มีดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงความเร็ว(Speed drop) จากไม่มีโหลดจนมีโหลดเต็มที่ คิดเป็นรอบ/นาที หรือคิดเป็นเปอร์เซ็น ของความเร็วปกติหรือความเร็วเฉลี่ย
2. การรักษาความเร็วของเครื่องยนต์ให้คงที่ได้อย่างแท้จริงทุกๆโหลด(Isochronous governing) เป็นการควบคุมความเร็วที่ดีเยี่ยมโดยมีค่าความเร็วตกเป็นศูนย์
3. ความว่องไวของกัฟเวอร์เนอร์(Sensitivity) จะเกิดขึ้นก่อนที่กัฟเวอร์เนอร์ จะปรับคันบังคับน้ำมันเชื้อเพลิงให้เลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยทั่วไปจะบอกเป็นเปอร์เซ็นของความเร็วปกติหรือความเร็วเฉลี่ยของเครื่องยนต์
4. ความสามารถของกัฟเวอร์เนอร์ ในการรักษาความเร็วให้คงที่(Stability) โดยไม่มีอาการวืดวาดถึงแม้ว่าโหลดจะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม
5. อาการวืดวาด(Hunting) หรืออาการเปลี่ยนแปลงความเร็วขึ้นๆลงๆติดต่อกันจนผิดไปจากความเร็วที่ต้องการ แม้ว่าในขณะที่โหลดมิได้เปลี่ยน
6. ความรวดเร็วของการทำงานของกัฟเวอร์เนอร์ตามปกติ(Promptness) บอกเป็นจำนวนเวลา(วินาที) ที่กัฟเวอร์เนอร์ต้องการเลื่อนคันบังคับน้ำมันเชื้อเพลิงจากตำแหน่งไม่มีโหลดจนถึงมีโหลดเต็มที่
7. กำลังของกัฟเวอร์เนอร์(Power of governor) หรือแรงที่กัฟเวอร์เนอร์ มีอยู่เป็นคุณสมบัติสำหรับเอาชนะความต้านทานของกลไกในระบบคันบังคับน้ำมันเชื้อเพลิง

ในกรณีทั่วไปเราต้องการให้ค่าความเร็วตกมีน้อยที่สุด แต่ในบางกรณีเช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกัน และประกอบไปด้วยกัฟเวอร์เนอร์ชนิดกลไก เราต้องการค่าความเร็วตกที่มากขึ้น หรือประมาณ 4 เปอร์เซ็น ทั้งนี้เพื่อช่วยให้กัฟเวอร์เนอร์แต่ละตัวทำการแบ่งหรือเฉลี่ยโหลดในระหว่างเครื่องยนต์ทำงานร่วมกัน เครื่องยนต์หลายเครื่องที่ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำงานขนานกันหรือที่ต้องการความถี่ไฟสลับให้คงที่ จะต้องมี

อุปกรณ์หรือวิธีบางอย่างบังคับความเร็ว เช่น การเปลี่ยนกำลังดันของสปริงกัฟเวอร์เนอร์หรือเปลี่ยนตำแหน่งจุดหมุน หรือจุดกระเดื่องของคันกระเดื่องของกัฟเวอร์เนอร์

ความว่องไว ถ้าเครื่องยนต์กำลังเดินและกัฟเวอร์เนอร์อยู่ในภาวะสมดุล เมื่อโหลดเปลี่ยนเครื่องยนต์ก็จะเปลี่ยนความเร็วไปด้วย ก่อนที่กัฟเวอร์เนอร์จะเริ่มต้นทำงานและเริ่มต้นปรับจำนวนน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้พอเหมาะกับโหลดใหม่ อาการล่าช้าของกัฟเวอร์เนอร์ก่อนจะทำงานได้นี้เกิดจากความเสียดทานหรือความฝืดและการเคลื่อนไหวที่สูญหายไป(lost motion) คือระยะที่หดหายไปตามข้อต่อต่างๆของกลไกกัฟเวอร์เนอร์ ซึ่งเรียกว่าความว่องไวของกัฟเวอร์เนอร์

ความคงที่ คือความสามารถของกัฟเวอร์เนอร์ในการทรงตัวและรักษาตำแหน่งของความเร็วที่ต้องการ และสามารถจะกลับมาสู่ตำแหน่งที่สมดุลนี้อีกหลังจากถูกเลื่อนไปจากที่เดิม การทรงตัวจะเกิดขึ้นได้ก็โดยการใช้สปริงที่มีแรงดันเพิ่มได้เร็วกว่า แรงหมุนเหวี่ยง(centrifugal force) ของตุ้มน้ำหนักในกัฟเวอร์เนอร์ที่มีการทรงตัวดีย่อมไม่มีอาการเปลี่ยนแปลงหรือเคลื่อนไหวที่เกิดจากปฏิกิริยาจากกลไกบังคับน้ำมันเชื้อเพลิงเลย

ถ้ากัฟเวอร์เนอร์ขาดการทรงตัวอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง ถึงแม้โหลดของเครื่องยนต์จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด กัฟเวอร์เนอร์จะมีอาการส่ายวีดวาดหรือเร่ง และจะทำให้ความเร็วของเครื่องยนต์ไม่คงที่

อาการวีดวาด เกิดขึ้นเพราะความล่าช้าในการทำงานของกลไกบังคับ อาจเป็นด้วยกัฟเวอร์เนอร์ไวไม่พอหรือกำลังไม่พอ จะด้วยสาเหตุใดก็ตามจะทำให้เครื่องยนต์หมุนช้าเกินไปหรือเร็วเกินไปก่อนที่กัฟเวอร์เนอร์จะปรับน้ำมันได้ถูกต้อง เมื่อกลไกบังคับน้ำมันเริ่มต้นเคลื่อนที่ก็จะแก้ความเร็วที่ช้าหรือเร็วมากเกินไปนั้น โดยกัฟเวอร์เนอร์จะแก้ความเร็วกลับไปกลับมาจากมากไปน้อยจากน้อยไปมาก

กำลังของกัฟเวอร์เนอร์แบบกลไก จะต้องมีกำลังมากพอที่จะทำงานในการปรับน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ควบคุมความเร็วให้ได้ผลดีนั้นย่อมขึ้นอยู่กับกำลังนี้ กำลังของกัฟเวอร์เนอร์แบบกลไกอาจจะเพิ่มให้มากขึ้นได้โดยเพิ่มแรงเหวี่ยงของลูกตุ้ม ส่วนกัฟเวอร์เนอร์แบบไฮดรอลิกนั้นตามปกติจะมีกำลังเพียงพออยู่แล้ว และถ้าจำเป็นก็อาจเพิ่มกำลังให้มากขึ้นได้อีกโดยง่าย โดยการเพิ่มกำลังดันน้ำมันหล่อลื่นที่มีหน้าที่ดันลูกสูบของเซอร์โวมอเตอร์(servo motor) ไปมา

2.2.7 อุปกรณ์แยกน้ำมัน (Oil Separator)

หลักการและวิธีการทำงาน

อุปกรณ์แยกน้ำมันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกกากน้ำมัน(sludge) ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันที่นำมาใช้งาน อันได้แก่ เลนน้ำมัน รวมทั้งน้ำที่อาจเจือปนอยู่ในน้ำมันด้วย เพื่อที่ว่าน้ำมันที่ถูกนำไปใช้งานไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นน้ำมันเตาหรือน้ำมันหล่อลื่นก็ตาม สามารถถูกนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากคุณภาพน้ำมันที่ไม่ได้มาตรฐานและทำให้สามารถใช้งานเครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแยกน้ำมันเกิดขึ้นใน separator bowl ซึ่งถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านเฟืองตัวหนอน (worm gear transmission) โดยอาศัย friction coupling ช่วยให้การสตาร์ทและเร่งความเร็วรอบเป็นไปอย่างราบเรียบ รวมทั้งป้องกันการโอเวอร์โหลดที่ชุดมอเตอร์และเฟืองตัวหนอนด้วย การหมุนของ separator bowl ด้วยความเร็วรอบสูงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงและเป็นผลให้ sludge และน้ำสามารถแยกออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

น้ำมันจะถูกส่งเข้าทาง Oil Inlet(1) และน้ำมันสะอาดจะถูกจ่ายออกทาง Oil Outlet(4) ส่วนน้ำที่ถูกแยกออกมาจะส่งออกมาทาง Water Outlet(5) sludge ที่ถูกแยกออกจะสะสมอยู่ตามแนวเส้นรอบวงและถูกระบายออกเป็นช่วงๆออกมาทาง Sludge Discharge Outlet(6) การทำงานของอุปกรณ์แยกน้ำมันจะถูกสั่งงานจากระบบควบคุมภายนอกซึ่งถูกโปรแกรมการทำงานให้มีลำดับการแยกที่เหมาะสมและแสดงการทำงานของระบบการแยกทั้งหมด

น้ำมันจะถูกส่งเข้าไปใน bowl โดยผ่านท่อทางเข้า(V) และส่งต่อไปยัง Distributor(D) และ Distributor Cone(VV) ตรงไปยังเส้นรอบวงของ Bowl Disc เมื่อน้ำมันมาถึงช่องทางออกของ distributor จะย้อนขึ้นผ่านช่องเข้าไปและกระจายอยู่ใน Disc Stack(G) น้ำมันถูกแยกอย่างต่อเนื่องจากน้ำและ sludge ขณะที่ไหลเข้าสู่จุดศูนย์กลางของ bowl เมื่อน้ำมันสะอาดไหลผ่าน disc stack จะไหลขึ้นไปและไหลข้าม Level Ring(C) และผ่านเข้าสู่ Oil Paring Chamber(aa) จากจุดนี้น้ำมันสะอาดจะถูกผลักดันโดย Non Rotating Oil Paring Disc(U) ออกจาก bowl ทาง Outlet(4)

ในการทำให้บริสุทธิ์(purification) น้ำที่ถูกแยกออกมาจะถูกแรงส่งออกมาที่ช่องว่างนอก disc stack และไหลขึ้นไปตามด้านนอกของ Top Disc(E) ไหลข้าม Gravity Disc(AA) น้ำจะถูกผลักดันโดย Non Rotating Paring Disc(T) หลังจากนั้นก็จะไหลออกจาก bowl ทาง Outlet(5)

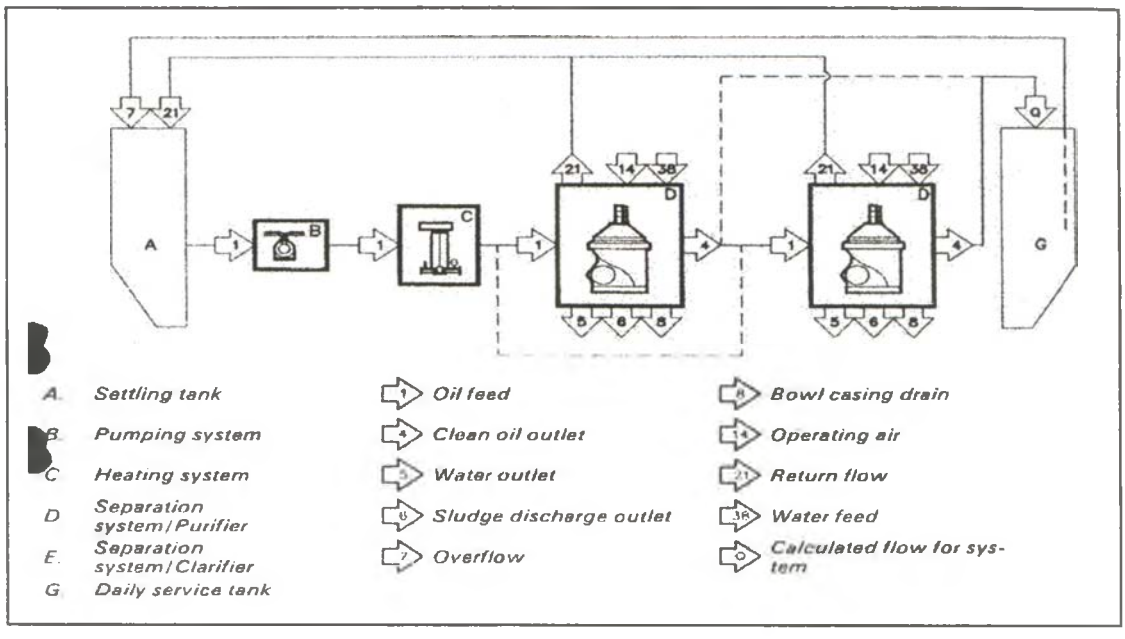
Sludge จะถูกเคลื่อนไปอยู่ตามแนวเส้นรอบวง สะสมอยู่ในที่ว่าง(ii) และถูกฉีดออกเป็นช่วงๆผ่านทาง Sludge Port(I)

เพื่อป้องกันน้ำมันไหลผ่านออกทางขอบของ Top Disc(E) และหนีออกมาทาง Water Outlet(5) น้ำ seal จะต้องมีอยู่ใน bowl โดยการเติมน้ำผ่านทาง Water Inlet(10) ก่อนที่จะส่งน้ำ

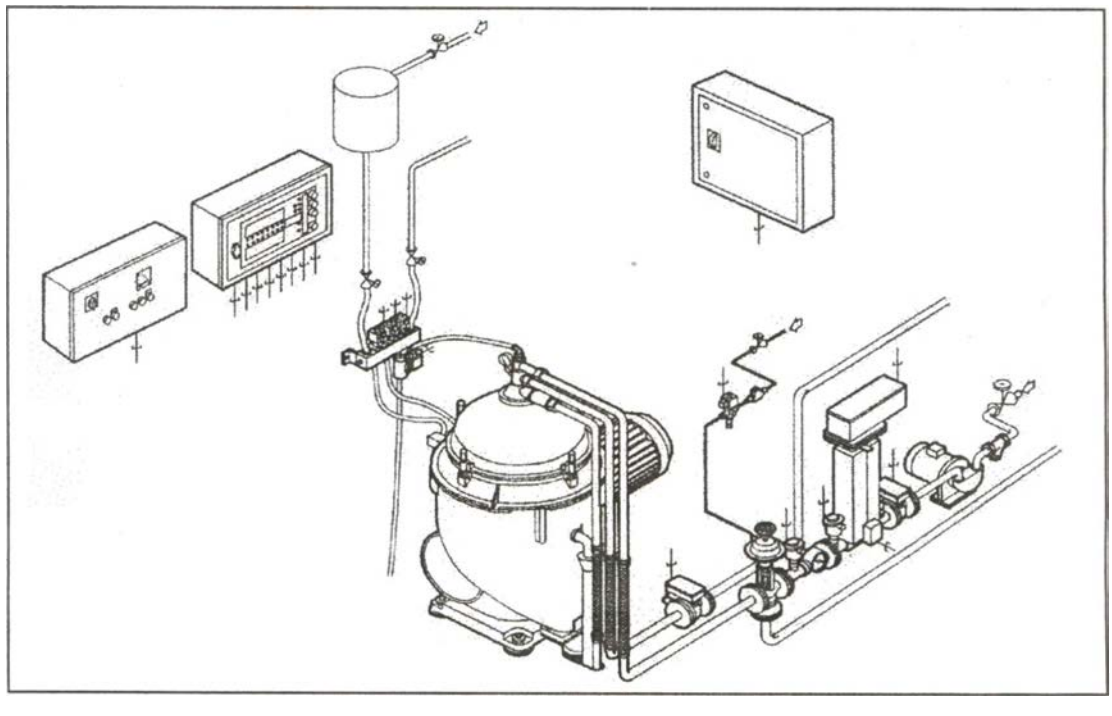
มันเข้าไป น้ำจะถูกเหวี่ยงให้ไปอยู่ตามแนวเส้นรอบวงและสร้างแนวระหว่างน้ำและน้ำมันโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ตำแหน่งของแนวนี้ถูกกำหนดโดย Gravity Disc(AA) และเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำมันในขณะฉีด sludge น้ำยกระดับจะถูกส่งเข้าไปใน Sludge Space (ii) ก่อนอื่นน้ำยกระดับจะถูกเติมเข้าไปทาง Water Inlet(10) น้ำนี้จะไปดันให้แนวระหว่างน้ำและน้ำมันยกระดับ ปริมาณน้ำใน bowl มีมากขึ้น เมื่อ sludge ถูกฉีดออกจาก bowl จนหมด น้ำ seal จะเข้ามาแทนที่ในทันที Gravity Disc(AA) จะเป็นตัวกำหนดความสูงระดับน้ำใน bowl และแนวระหว่างน้ำและน้ำมัน Level Ring(C) เป็นตัวกำหนดระดับน้ำมันใน bowl

อุปกรณ์แยกน้ำมันจะทำการฉีดน้ำและ sludge ออกจาก bowl จนหมด ช่วงระหว่างรอการฉีด Sludge Ports(I) จะถูกปิดด้วย Sliding Bowl Bottom(K) ซึ่งอยู่ภายในส่วนล่างของบริเวณทำการแยกของ bowl โดยปกติ Sliding Bowl Bottom จะถูกแรงดันยกขึ้นสัมผัสกับ Seal Ring(W) โดยแรงไฮดรอลิค(hydraulical force) ของน้ำที่กระทำอยู่ตอนล่าง น้ำใช้งาน(operating water) ที่กระทำต่อ Sliding Bowl Bottom จะถูกจ่ายผ่าน Control Paring Disc ซึ่งอยู่ข้างล่าง โดยส่งมาตามท่อ 2 ท่อที่สวมซ้อนกันอยู่ โดยท่อที่สวมภายในทำหน้าที่สั่งปิด และท่อนอกทำหน้าที่สั่งเปิด closing water จะถูกจ่ายในขณะที่อยู่ระหว่างลำดับการสตาร์ทและเป็นช่วงในระหว่างขั้นตอนการแยกโดยโซลินอยด์วาล์ว(solenoid valve) MV16 ในระหว่างขั้นตอนการแยกน้ำและ sludge น้ำจะถูกจ่ายเพื่อแทนที่น้ำที่อาจจะรั่วไหลไปและเติมเข้าไปเป็นครั้งคราว closing water จะถูกจ่ายลงมาจากถังพักที่อยู่ตอนบนของอุปกรณ์แยกน้ำมัน

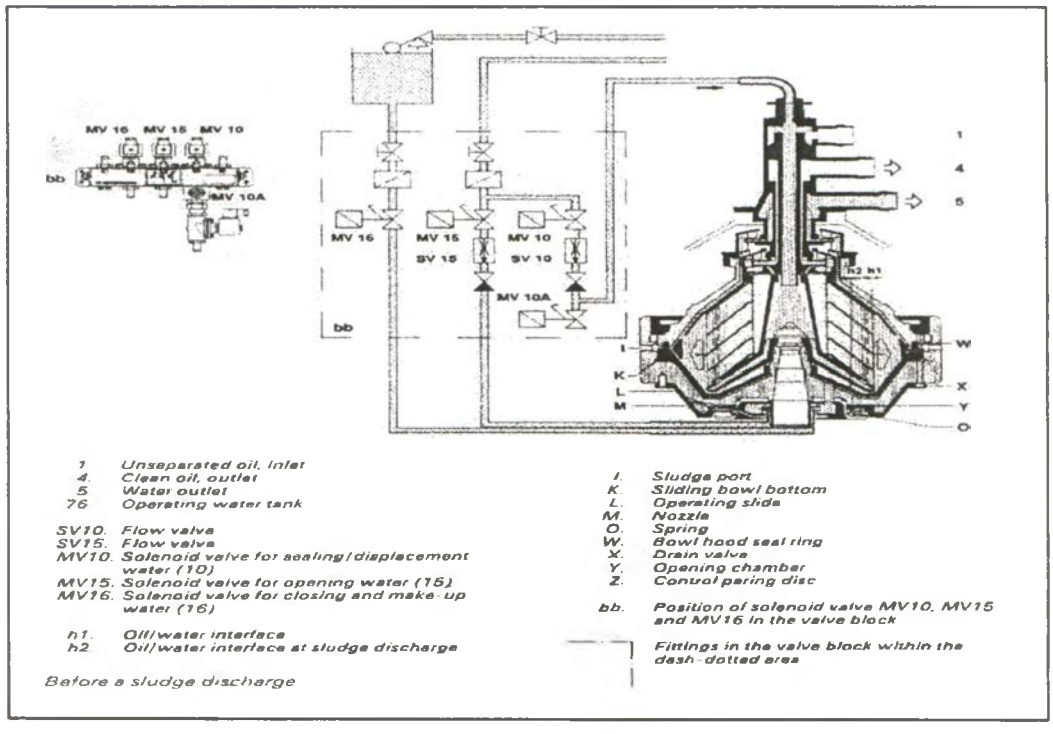
ในระหว่างวงจรการฉีด sludge น้ำมันที่จ่ายเข้ามาจะถูกสับเปลี่ยนเป็น recirculation และโซลินอยด์วาล์ว(solenoid valve) MV16 จะปิด โซลินอยด์วาล์ว MV10 เปิดออกจ่ายน้ำยกระดับเพื่อให้แนวระหว่างน้ำกับน้ำมันเลื่อนระดับขึ้น การฉีด sludge จะเริ่มเมื่อโซลินอยด์วาล์ว MV15 เปิดออก น้ำเข้าไปเต็มช่องเปิด(Y) ประมาณ 3 วินาที ตัว Operating Slide(L) จะเลื่อนลงมาทำให้ Drain Valve(X) เปิดออก และทำให้น้ำในช่องใต้ Sliding Bowl Bottom ไหลออก จึงไม่มีแรงดันเหลือ Sliding Bowl Bottom(K) จึงเลื่อนลงมาและเปิด Port(I) ให้ sludge และน้ำฉีดออกไป ในขณะเดียวกันช่องเปิด(Y) ถูกระบายออกอย่างต่อเนื่องผ่าน Nozzle(M) และเมื่อ MV15 ปิดลง สปริง(O) จะผลักให้ Operating Slide(L) ยกขึ้นและทำให้ Drain Valve(X) ปิด เมื่อ MV16 เปิด น้ำก็จะเริ่มเข้าไปเต็มส่วนล่างของ Sliding Bowl Bottom(K) ยกตัว Sliding Bowl Bottom(K) ปิดกลับตำแหน่งเดิม ภายหลังจากที่ sludge ถูกจ่ายออก น้ำ seal จะถูกจ่ายผ่านเข้า bowl ด้วย MV10 ประมาณ 20 วินาที หลังจากนั้นน้ำมันจึงจะถูกจ่ายเข้าไปทาง Oil Inlet(1) จนเกิดแนวระหว่างน้ำกับน้ำมัน โซลินอยด์วาล์ว MV16 ทำการเปิดและปิดเป็นคาบเวลา การแยกน้ำและ sludge ดำเนินต่อไป



รูปที่ 2.11 การไหลของน้ำมันในอุปกรณ์ชุดแยกน้ำมัน



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ชุดแยกน้ำมัน



รูปที่ 2.13 การทำงานของอุปกรณ์ชุดแยกน้ำมัน

2.2.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากกฎพื้นฐานทางไฟฟ้าในกรณีที่เส้นลวดตัดกับสนามแม่เหล็กหรือสนามแม่เหล็กวิ่งตัดขดลวดจะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดศักดาไฟฟ้า(voltage) ขึ้นที่ขดลวดนั้น จากหลักการนี้ถือเป็นหลักพื้นฐานของการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยอาจจะกำหนดให้ขดลวดอยู่กับที่แล้วสร้างสนามแม่เหล็กหมุนตัดขดลวด(ขดลวดเป็น stationary coil เรียกชุดขดลวดว่า อาร์มาเจอร์(armature) และสนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุน(rotor) ซึ่งอาจเป็นขั้วของแม่เหล็กถาวรหรือสนามกระตุ้น) หรืออาจเป็นกรณีที่ขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วขดลวดวิ่งหมุนตัดสนามแม่เหล็ก(ขั้วแม่เหล็กเป็นตัวอยู่กับที่ (stator) ซึ่งถ้าขั้วแม่เหล็กเกิดจากไฟฟ้าที่ได้จาก field coil ก็เรียก field winding ส่วนตัวหมุน (rotor) เป็นขดลวดหรือ armature coil) ซึ่งแล้วแต่จุดประสงค์ของการใช้งานและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟสลับชนิดที่มีความเร็วคงที่ (Synchronous Generator) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานในขณะที่ตัวหมุนมีความเร็วเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากอาร์มาเจอร์ และจะมีความเร็วคงที่เสมอโดยไม่คำนึงว่าโหลดที่ได้รับจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงไรก็ตาม ทั้งนี้จำนวนขั้วแม่เหล็กและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ เครื่องกำเนิดไฟสลับชนิดที่มีความเร็วคงที่นี้จะมีสนามกระตุ้นหรือ field winding อยู่บนตัวหมุน เพื่อความสะดวกในการนำไฟเข้าที่ตัวหมุนซึ่งเป็นปริมาณไฟที่มีจำนวนน้อยกว่าที่อาร์มาเจอร์ ส่วนขดลวดของอาร์มาเจอร์จะพันอยู่ที่ตัวอยู่กับที่(stator) เพื่อให้สามารถจ่ายไฟออกได้เป็นจำนวนมาก

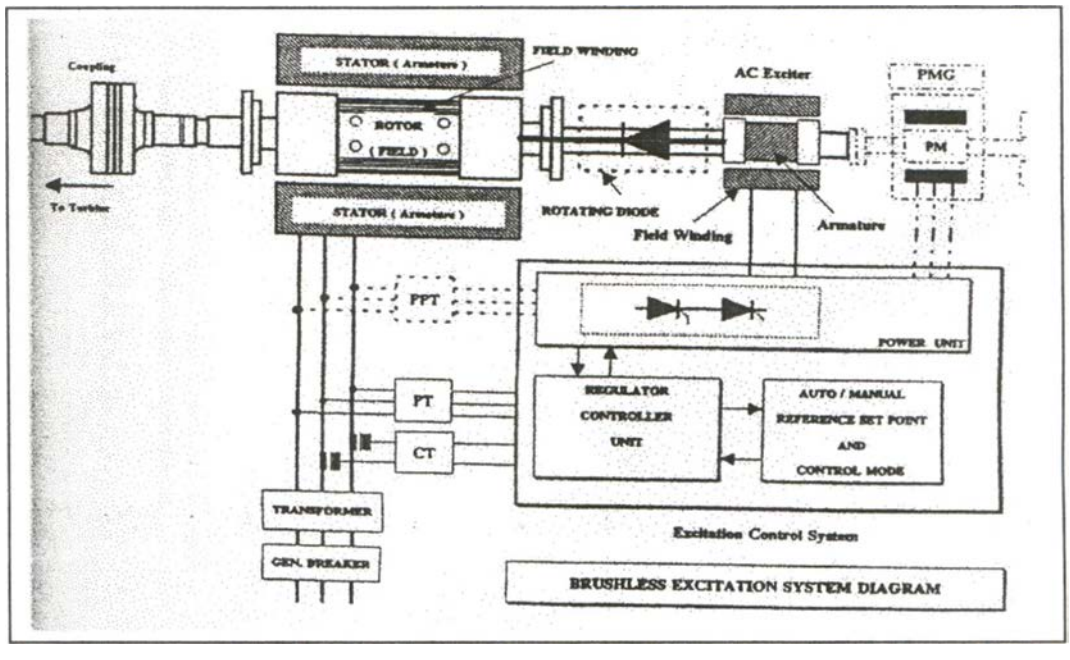
ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ ซิงโครนัส(Synchronous) เพื่อจ่ายให้กับภาระ สิ่งที่จำเป็นที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ความถี่(Frequency) และแรงดันไฟฟ้า(Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาต้องมีค่าคงที่ตามต้องการและมีความเชื่อถือได้ ทั้งนี้แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นมาจากความเข้มของสนามแม่เหล็กที่หมุนตัดกับขดลวดตัวนำ (Inductor coils) ที่ stator โดยปริมาณและความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟตรงที่จ่ายให้กับ Exciter Field Coil ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะควบคุมโดยวงจรกระตุ้นสนามแม่เหล็ก(Excitation Control Circuit)

Exciter เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสให้กับ field coil ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ปัจจุบัน Exciter System มีด้วยกันหลายชนิด แต่ชนิดที่โรงไฟฟ้าดีเซลใช้อยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นชนิดแบบที่เรียกว่า Alternator Rectifier Exciter System ซึ่งเป็นระบบ exciter แบบ rotating ใช้ AC. Generator เป็น exciter ผ่านชุด rectifier แปลงให้เป็นกระแสไฟตรงส่งให้ชุด field coil ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุด rectifier จะหมุนไปพร้อมกับอาร์มาเจอร์ของ AC. Generator ส่วน output ของ AC. Generator ถูกควบคุมโดยแหล่งจ่ายไฟภายนอก (external source) ที่ field ของ AC. Generator

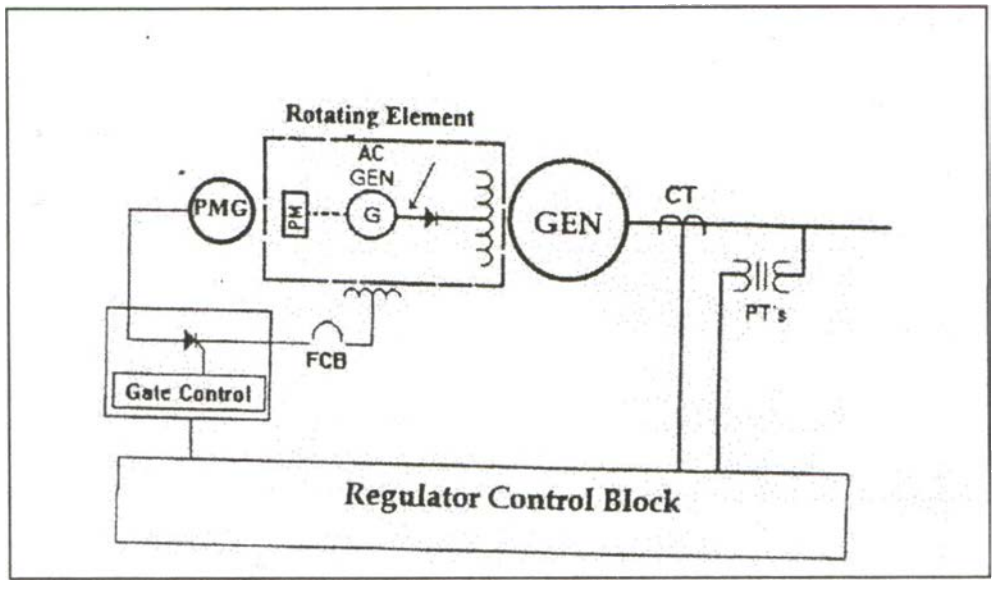
แหล่งจ่ายไฟ (power source) ที่จ่ายให้ field coil ของ AC. Generator ปกติมาจาก Permanent Magnet Generator (PMG) ซึ่งมีแท่งแม่เหล็กถาวรอยู่บนเพลา (shaft) เดียวกับตัวหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Rotor) ส่วนอาร์มาเจอร์ (Stator) จะต่อเข้ากับชุด Excitation Control ซึ่งลักษณะการต่อแบบนี้เรียกว่า Brushless Type คือชนิดที่ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ซึ่งในบางกรณีแหล่งจ่ายไฟสามารถนำมาจากหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer or Excitation Transformer) ก็ได้

ระบบที่ทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการคือ Regulator Control System มีหน้าที่ในการควบคุมระบบ exciter ให้เพิ่มหรือลดกระแสกระตุ้น (excitation current) โดยอัตโนมัติซึ่งเป็นการควบคุมแบบ close loop control เรียกส่วนควบคุมนี้ว่า Automatic Voltage Regulator (AVR) นอกจากนี้ระบบ AVR ยังสามารถควบคุมกำลังเสมือน (Reactive Power) ให้สามารถรับและจ่ายให้กับภาระได้ตามต้องการ

ระบบ AVR เป็นอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณที่จำเป็น นำมาคำนวณหาค่า excitation current ที่เหมาะสม และยังมีวงจรป้องกันไม่ให้ excitation current มากหรือน้อยเกินไปจนมีผลเสียต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.14 แสดง Alternator Rectifier Exciter System (Brushless Type)



รูปที่ 2.15 แสดงอุปกรณ์ควบคุมชุด Alternator Rectifier Exciter System

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าด้วยกัน (Synchronizing of Generators)

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าด้วยกันก็เนื่องมาจากเหตุผลที่ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วหรือสถานีต้นกำลัง (Power Station) ที่มีอยู่ไม่อาจจ่ายไฟได้เพียงพอ ทั้งนี้เพราะไฟที่ต้องจ่ายมีปริมาณมากเกินกว่าความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ปัจจุบัน ดังนั้นจึงต้องเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังไฟมากเกินพอที่จะจ่ายให้กับภาระในส่วนที่เพิ่มขึ้นมาในระบบ ซึ่งเรียกว่า Synchronize คือการทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะต่อเข้าไปใหม่ในระบบมีความพร้อมกันในทุกอย่างทางไฟฟ้ากับเครื่องที่เดินเครื่องอยู่เดิม โดยมีหลักการในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าด้วยกัน ดังนี้

1. ต้องให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะขนานเข้าไปใหม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันกับระบบที่เดินเครื่องอยู่ในขณะนั้น
2. ต้องให้มีความถี่ (Frequency) เท่ากัน โดยที่ความเร็วของตัวต้นกำลังไม่จำเป็นต้องเท่ากันก็ได้
3. ต้องให้มีลำดับของเฟสที่เหมือนกัน (The same phase sequence)

2.3 ทฤษฎีทางสถิติที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การกระจายแบบนอร์มอล (Normal Distribution)

การกระจายแบบนอร์มอลจะมีลักษณะรูปร่างของการกระจายทรงระฆังคว่ำ(Bell Shape) และมีฟังก์ชันของการกระจายเขียนได้ดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{1}{2}\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad ; \quad -\infty < x < \infty$$

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ σ^2 คือ ความแปรปรวน (Variance) ของประชากร (Population) ในงานทดลอง ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชัน f(x)

ในกรณีที่ $\mu = 0, \sigma = 1$ จะได้ลักษณะการกระจายเป็นแบบนอร์มอลมาตรฐาน (Standard Normal Distribution)

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad ; \quad -\infty < z < \infty$$

ถ้าต้องการจะเปลี่ยนการกระจายแบบนอร์มอลไปเป็นแบบนอร์มอลมาตรฐาน สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนอร์มอลไปเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนอร์มอลมาตรฐานโดยใช้สูตร

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

2.3.2 การทดสอบลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นของประชากร(Goodness of Fit Test)

ลักษณะสมมติฐาน

H_0 : ตัวอย่างมาจากประชากรที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบ.....

H_1 : ตัวอย่างไม่ได้มาจากประชากรที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบ.....

การทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานอื่นๆนี้ เรียกว่า Goodness of Fit Test หรือ GOF โดยในงานทางวิศวกรรมโดยปกตินิยมใช้การทดสอบแบบไคร์สแควร์มากกว่าแบบอื่นๆ และข้อควรจำประการหนึ่งคือการทดสอบ GOF ไม่ใช่วิธีการสำหรับเลือกลักษณะการกระจายที่ดีที่สุด เป็นเพียงวิธีการที่ใช้สำหรับการประเมินผลว่าลักษณะการกระจายที่เราเลือกใช้กับตัวอย่างนั้นๆเป็นลักษณะที่เหมาะสมทางสถิติเพียงใด

การทดสอบแบบไคร์สแควร์

สถิติสำหรับทดสอบคือ χ^2 ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

โดยที่ k = จำนวนข้อมูลที่มีค่าต่างกัน

O_i = ค่าความถี่ของข้อมูล(Observed Frequency)

E_i = ค่าความถี่ที่คาดหมายจากการกระจายของความน่าจะเป็นตามแบบที่ระบุ(Expected Frequency)

และ χ^2 มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบไคร์สแควร์ด้วยดีกรีของความอิสระ ν ซึ่งเท่ากับ $k-r-1$ เมื่อ r คือจำนวนพารามิเตอร์ของการกระจายของความน่าจะเป็นตามที่ระบุที่ต้องประมาณค่าจากตัวอย่าง

ถ้า $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha,k-r-1}$ ซึ่งได้จากตารางค่าของการกระจายของความน่าจะเป็นแบบ χ^2 ยอมรับ H_0

ถ้า $\chi^2 > \chi^2_{\alpha,k-r-1}$ ปฏิเสธ H_0

เนื่องจากการทดสอบแบบไคร์สแควร์ประมาณว่าการกระจายของความน่าจะเป็นของสถิติสำหรับทดสอบเป็นแบบ χ^2 ซึ่งการประมาณนี้จะใกล้เคียงความเป็นจริงก็ต่อเมื่อความถี่ที่ควรจะเป็นของข้อมูลแต่ละค่ามีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 5 ในกรณีที่ความถี่มีจำนวนน้อยกว่า 5 ต้องรวมข้อมูลนั้นๆเข้ากับข้อมูลข้างเคียงถัดไปจนได้ความถี่ไม่น้อยกว่า 5

2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ คือ ดัชนีที่ใช้แสดงขนาดของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยซึ่งก็คือฟังก์ชั่นในเทอมของตัวแปรอิสระ จึงอาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจก็คือขนาดของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แสดงโดยใช้ค่าสัดส่วนของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในตัวแปรตาม ดังนั้น R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 เช่น $R^2 = 0.1$ แสดงว่า 10% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ(สมการถดถอย) ส่วนอีก 90% ที่เหลือควรจะเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ

ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 เช่น $R^2 = 0.9$ แสดงว่า 90% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

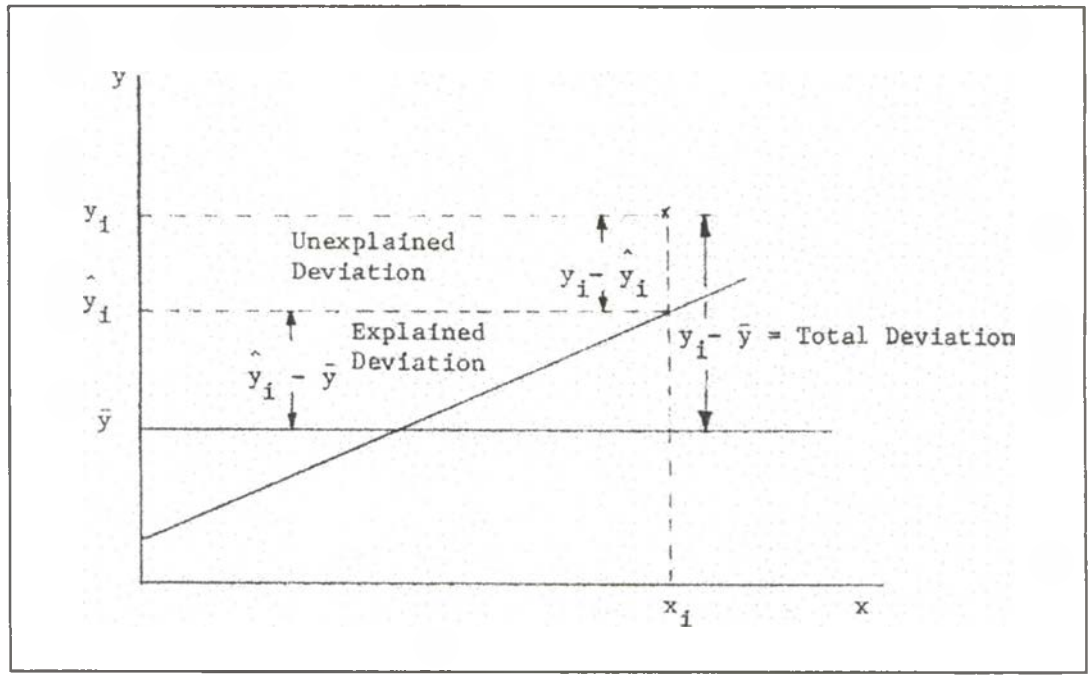
ถ้า R^2 เท่ากับ 0 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

ถ้า R^2 เท่ากับ 1 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

การคำนวณค่า R^2

ค่าของตัวแปรตาม(y_i) ที่ได้จากการทดลองหรือการเก็บข้อมูลใดๆจะมีค่าต่างๆกัน เมื่อนำค่าทั้งหมดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย(y) ความเบี่ยงเบนของค่าของตัวแปรตามแต่ละค่าจากค่าเฉลี่ยเรียกว่าความเบี่ยงเบนทั้งหมด(Total Deviation) โดยหลักการของการถดถอยเราเชื่อว่าค่าตัวแปรตามสามารถคำนวณหาได้โดยการใช้สมการถดถอยซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระที่ทราบค่า นั่นคือ ค่าของตัวแปรตามสามารถคำนวณหาได้จากค่าของตัวแปรอิสระ จากค่าของตัวแปร

อิสระโดยการใช้สมการถดถอยเราจะสามารถคำนวณค่าตัวแปรตามบนเส้นถดถอย(y_i) เป็นที่ยอมรับว่าค่าของตัวแปรตามบนเส้นถดถอยไม่จำเป็นต้องเท่ากับค่าของตัวแปรตาม ความเบี่ยงเบนระหว่างค่าของตัวแปรตามจากค่าของตัวแปรตามบนเส้นถดถอยก็คือ ความเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย(Unexplained Deviation) อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าตัวแปรตามบนเส้นถดถอยไปหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรตาม ความเบี่ยงเบนของค่าตัวแปรตามบนเส้นถดถอยจากค่าเฉลี่ยก็คือ ความเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย(Explained Deviation) รูปที่ 2.16 แสดงความเบี่ยงเบนที่กล่าวถึงทั้งสองลักษณะ



รูปที่ 2.16 ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตาม

ความเบี่ยงเบนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามก็คือ ผลรวมของความเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยและความเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย นั่นคือ

Total Deviation = Explained Deviation + Unexplained Deviation

Total Variance = $\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 \Big/ (n-1)$

Explained Variance = $\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2 \,/\, (k-1)$

Unexplained Variance = $\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \,/\, (n-k)$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูล และ k คือ จำนวนตัวแปร ในกรณีที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว k มีค่าเท่ากับ 2

$R^2 = \sum ExplainedDev.^2 \,/\, TotalDev.^2$

หรือ $R^2 = 1 - \sum Unexplained Dev.^2 \,/\, TotalDev.^2$