บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ โดยแยกเป็นหัวข้อดังนี้

1. หลักการเบื้องต้นของการสื่อสาร
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
3. วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ
4. ประสิทธิภาพ
5. ความหมายของรถตัดหญ้า
6. ชนิดของรถตัดหญ้า
7. ระบบขับเคลื่อนและการบังคับเลี้ยว
8. หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ
9. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถตัดหญ้า
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการเบื้องต้นของการสื่อสาร

การสื่อสารรูปแบบใดก็ตามต้องประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักเบื้องต้น คือ ภาคเครื่องส่ง ตัวกลางหรือช่องสัญญาณ และภาคเครื่องรับ สิ่งที่สำคัญในการสื่อสารจะเป็นตัวกลางที่ใช้เพื่อนำข้อมูลจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ที่เป็นลักษณะพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูลแบบต่าง ๆ ตัวกลางหรือช่องรับสัญญาณมีส่วนสำคัญมากที่จะให้การสื่อสารมีความสมบูรณ์ ส่วนเครื่องส่งหรือแหล่งกำเนิดจะเป็นตัวที่สร้างข่าวสารเพื่อการส่งข่าวสารผ่านตัวกลางไปยังเครื่องรับซึ่งเป็นจุดหมายปลายทาง ส่วนประกอบทั้งสามเป็นส่วนประกอบสำหรับโครงสร้างที่เล็กของระบบสื่อสาร ถ้าขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไปการสื่อสารจะเกิดขึ้นไม่ได้ (สุชาติ กังวาสจิตต์, 2532) แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ระบบการสื่อสารเบื้องต้น

การสื่อสารจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อข่าวสารที่ส่งจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับที่ผ่านตัวกลางนั้นมีความสมบูรณ์ ในบางครั้งข่าวสารที่ส่งมาตามตัวกลางอาจถูกรบกวนทำให้คุณสมบัติของข่าวสารผิดไปจากเดิม ระบบสื่อสารที่ดีจะต้องสามารถตรวจสอบข่าวสารที่รับมาได้ว่ามีสิ่งรบกวนจนข่าวสารผิดไปจากเดิมจึงต้องมีการแก้ไขความผิดพลาดให้ถูกต้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่วนใหญ่ที่ออกแบบแล้ว นำมาประกอบเป็นชุดประกอบ (assembly) หรือนำเอาชุดประกอบหลาย ๆ ชุดมาประกอบรวมกันเป็นเครื่องจักรกล เช่น เครื่องกลึง เครื่องใส ได้อย่างเหมาะเจาะพอดี (optimum) การจะออกแบบชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกลที่ใช้งาน ได้ดีนั้น ประการแรกจะต้องมีการรวบรวมวิธีแก้ปัญหาในการออกแบบได้หลายรูปแบบ มีประสบการณ์มากพอสมควร มีพื้นฐานทางวิศวกรรมลึกซึ้งรวมทั้งการมีจินตนาการ ความคิดริเริ่ม สร้างสรรค์ที่ดี และมีความรู้เกี่ยวกับวิศวกรรมคุณค่า (value engineering) ด้วย (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, 2540)

การออกแบบเครื่องจักรกล นอกจากจะต้องคิดถึงความเป็นไปได้เชิงวิศวกรรม ความสะดวกในการใช้งานและง่ายต่อการบำรุงรักษาแล้วยังต้องคำนึงถึงความแข็งแรงทนทานอีกด้วย เครื่องจักรกลจะแข็งแรงทนทานมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของชิ้นส่วนประกอบ ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณชิ้นส่วนประกอบให้มีความแข็งแรงพอเพียงกับขนาดและภาระของเครื่อง และจะต้องออกแบบให้ถูกต้องเหมาะสมสะดวกแก่การถอดประกอบและเปลี่ยนแทนได้เมื่อเกิดการชำรุดเสียหาย หรือหมดอายุการใช้งาน (บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์, 2530)

1. หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนในทางวิศวกรรม วิธีการดำเนินการออกแบบเครื่องจักรกล หรือชิ้นส่วนจะต้องประกอบไปด้วยหลักการ และขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 การวางแผน เน้นการเลือกงานที่จะออกแบบ

1.2 แนวคิด เน้นการแจงรูปแบบของการออกแบบ การแบ่งแยกของระบบทำงานรวมไปเป็นระบบการทำงานย่อย (subsystem) การรวมแนวการออกแบบเพื่อให้เกิดเป็นระบบทำงานรวม การประเมินคุณค่าแนวการออกแบบในเชิงวิศวกรรม และเชิงเศรษฐศาสตร์

1.3 การออกแบบร่าง เป็นการออกแบบร่างอย่างเป็นมาตราส่วน โดยจะต้องมีการประเมินคุณค่าการออกแบบร่างเชิงวิศวกรรม และเชิงเศรษฐศาสตร์ และการปรับปรุงออกแบบร่างให้ดีขึ้นด้วยการออกแบบรูปร่างโซนต่าง ๆ ให้ดูเหมาะสมมากขึ้น

1.4 การออกแบบรายละเอียด เป็นการออกแบบชิ้นส่วนย่อยให้มีความเหมาะสม การเขียนรายละเอียด การเขียนแบบ การเลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน เช่น สกรู สลัก โซ่ สายพาน ฯลฯ ตารางรายการวัสดุ วิธีการผลิต การประกอบ การขนส่ง และการเก็บรักษา การตรวจสอบต้นทุนการผลิต การสร้างชุดต้นแบบ (prototype) หรือโมเดล (model) และการตัดสินใจเพื่อการผลิต

2. การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกลและการออกแบบเครื่องกล หมายถึง การออกแบบสิ่งต่าง ๆ ระบบต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ โครงสร้าง อุปกรณ์ และเครื่องต่าง ๆ สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล ส่วนใหญ่แล้วจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์วัสดุและวิทยาศาสตร์ทางวิศวกรรมเครื่องกล

การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดจำแนกชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ ตั้งแต่การคำนวณจากข้อมูลที่ทราบ เช่น งานที่ทำได้กำลังงานที่ใช้แล้วคำนวณหาแรงในแต่ละส่วน ตามลำดับหน้าที่การทำงานของเครื่อง โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ แล้วทำการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ ตามหน้าที่โดยไม่พังหรือเสียหาย

เราจำเป็นจะต้องใช้หลักการความแข็งแรงของวัสดุนำมาช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรมีความถูกต้องเหมาะสม ในวิธีการนั้น ผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น (stress) เพื่อตัดสินใจที่จะให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ สามารถรับความเค้นสูงสุด (maximum stress) แต่ละชนิดได้ (อนันต์ วงศ์กระจ่าง, 2533)

ข้อที่ผู้วิจัยต้องพิจารณาในการออกแบบ สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือ ความแข็งแรง (strength) ซึ่งจัดเป็น องค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่ง และสิ่งอื่น ๆ อีกหลายอย่าง ที่จะต้องพิจารณา ซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้มีผลกระทบกระเทือนต่อการออกแบบชิ้นส่วน หรือต่อทุกระบบ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ซึ่งนั่นก็หมายถึงชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกลหรือระบบที่ได้ออกแบบมีความเสียหาย ไม่สามารถใช้งานได้หรือใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นในการออกแบบดังกล่าว จะเป็นแนวทางในการกำหนดชนิดวัสดุ ขบวนการทำและการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้มีความถูกต้องและเหมาะสมกับรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

วัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่าง ๆ มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะสร้าง เป็นการยากที่จะกำหนดถึงชนิดของวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งให้แน่นอนลงไปได้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ การกำหนดวัสดุในการออกแบบควรจะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานของวัสดุชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่คุณสมบัติ ชนิดและมาตรฐาน ขนาดมาตรฐาน ที่ผลิตออกจำหน่าย ตลอดจนกรรมวิธีทางความร้อนที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ

1. คุณสมบัติทางกลของวัสดุ หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุในการตอบสนองต่อแรงทางกล (mechanical force) ที่มากระทำไม่ว่าจะเป็นลักษณะใดก็ตาม

คุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถช่วยให้เราตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของวัสดุตามความต้องการในการออกแบบได้ถูกต้อง คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบดังนี้

1.1 ความแข็งแรง เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัสดุ ก็จะเกิดแรงต้านภายในวัสดุขึ้นเพื่อต้านแรงที่มากระทำนั้น ถ้าแรงที่มากระทำมีค่ามากกว่าแรงภายในวัสดุที่จะต้านได้ วัสดุนั้นจะเสียรูป ขาดหรือแตกหักไป ความสามารถในการต้านทานแรงของวัสดุนี้คือความแข็งแรง

1.2 ความเค้น เป็นผลมาจากแรงภายนอกมากระทำกับชิ้นส่วน โดยคิดกระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่รับแรง ค่าของความเค้นนี้จะเป็นสิ่งชี้บอกว่า ขณะนั้นชิ้นส่วนอยู่ภายใต้แรงเท่าใดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ทำชิ้นส่วนนั้น

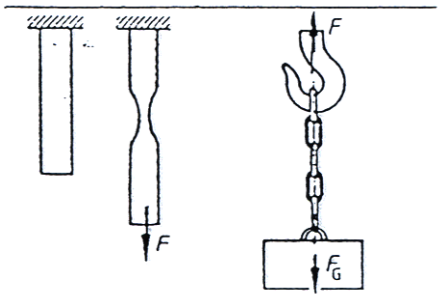
1.3 ความเครียด คือ อัตราการยืดหรือหดตัวของวัสดุ เมื่ออยู่ภายใต้แรงกระทำต่อความยาวเดิม วัสดุที่มีความเหนียวสูงจะยืดตัวได้มากจะมีค่าความเครียดสูง วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงและมีความแข็งแรงจะมีความเครียดต่ำ (อนันต์ วงศ์กระจ่าง, 2533)

2. ภาระและความเค้น การรับภาระของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะเกิดจากการที่มีแรงมากระทำต่อชิ้นส่วนตามทิศทางที่แรงมากระทำ โดยจะมีแรงดึง แรงอัด แรงเฉือย แรงดัด และแรงบิด ดังรูปที่ 2.2 สำหรับแรงกดนั้น จะรวมการกดโก่งและแรงกดตามพื้นที่ การกดโก่งนั้นแรงกดโก่งจะทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรโก่งงอ ส่วนแรงกดตามพื้นที่นั้นจะเกิดการสัมผัสของชิ้นส่วนสองชิ้น เช่น แรงกดของเพลาในรองเพลา

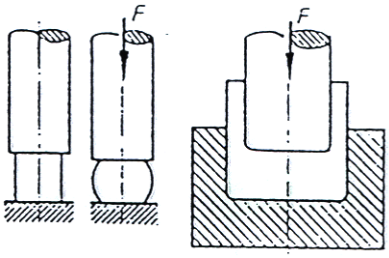
ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ตัวอย่างเช่น เพลาของกระปุกเกียร์ที่มีการรับแรงดัดและแรงหมุนบิดในเวลาเดียวกัน ในกรณีเช่นนี้จะเรียกว่า **การรับภาระร่วม** การที่มีแรงกระทำต่อชิ้นงาน

จะทำให้เกิดความเค้นในชิ้นงาน ความเค้นนี้จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของขนาดแรงและรูปร่างขนาดภาคตัดขวางของชิ้นงานที่รับแรงดัด แรงหมุนบิดและแรงกดโก่ง โดยจะกำหนดเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ, 2544)

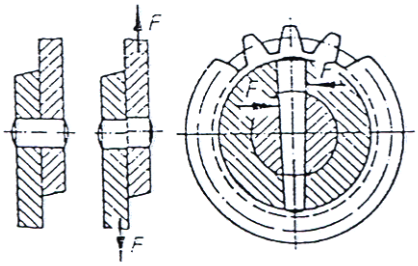
ชิ้นงานวัสดุที่รับแรงดึงจนแตกหักขาดจะเรียกว่า **ความเค้นแรงดึง** (tensile strength) หากเป็นการรับแรงอัด จะเรียกว่า **ความเค้นอัด** (compressive strength) หรือถ้ารับแรงเฉือนจะเรียกว่า **ความเค้นเฉือน** (shear strength) ดังรูปที่ 2.2



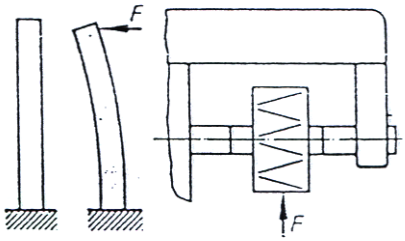
ก. การรับแรงดึงของชิ้นงาน



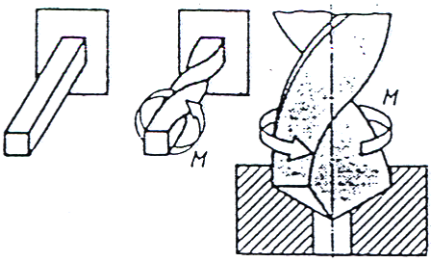
ข. การรับแรงอัดของชิ้นงาน



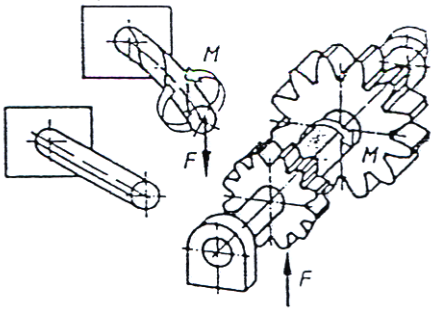
ค. การรับแรงเฉือนของชิ้นงาน



ง. การรับแรงดัดของชิ้นงาน



จ. การรับแรงหมุนบิดของชิ้นส่วน



ฉ. การรับแรงหลายลักษณะรวมกัน

รูปที่ 2.2 แสดงภาระและความเค้น
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ, 2536, หน้า 1-2)

3. ประเภทของภาระ แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในระยะเวลานาน สามารถแบ่งได้ดังนี้

3.1 ภาระสถิตย์ (statics load) เป็นลักษณะที่ภาระหรือแรงกระทำต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ความเค้นจะเริ่มจากศูนย์ไปถึงค่าสูงสุดแล้วอยู่คงที่ ดังรูปที่ 2.3 ก.

ตัวอย่าง การหมุนของเพลาขับของพัดลม ความเค้นบิดจะเกิดการที่เพลาเริ่มหมุน (ศูนย์) ไปจนถึงความเร็วรอบที่ (ค่าความเค้นบิดจะอยู่สูงสุดคงที่)

3.2 ภาระพลวัต (dynamics load) จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดพิกัดหรือทิศทางของความเค้นไปตลอด ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้ดังนี้

ก. ภาระพลวัตขึ้นลง (fluctuating load หรือ varying load) ความเค้นจะขึ้นลงระหว่างศูนย์ถึงค่าสูงสุด รูปที่ 2.3 ข.

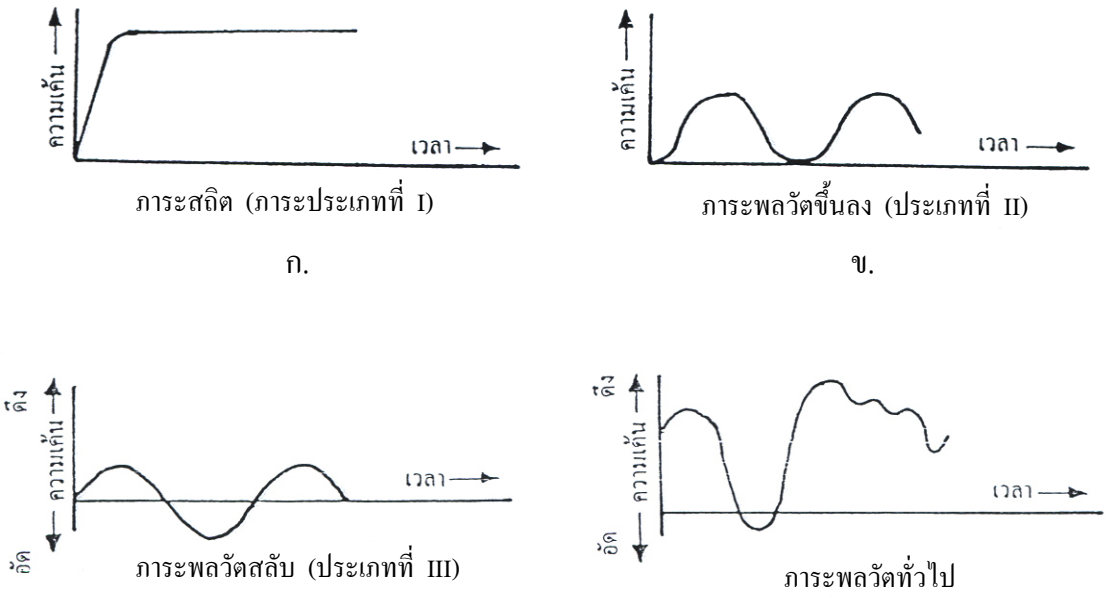
ตัวอย่าง การรับภาระดัดของกระเดื่องกดลิ้นไอดีหรือไอเสียในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ข. ภาระพลวัตสลับ (alternating load) ความเค้นจะสลับขึ้นลงตลอดระหว่างค่าความเค้นบวกและค่าความเค้นลบ รูปที่ 2.3 ค.

ตัวอย่าง เพลาที่หมุนขับในทิศทางตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา เพลาจะรับภาระดัดหรือบิดหรือภาระทั้งสองรวมกัน

ค. ภาระพลวัตทั่วไป (general dynamic load) ความเค้นจะมีค่าระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด และค่าต่ำสุดโดยอิสระ รูปที่ 2.3 ง.

ตัวอย่าง การหมุนบิดของเพลากัดสปินเดิลในขณะกัดนอนชิ้นงานที่รับภาระพลวัตหรือมีร่องบาก จะเกิดแตกหักหรือขาดเนื่องจากการล้าของเนื้อวัสดุได้ง่ายหรือเร็วกว่าชิ้นงานที่รับภาระสถิตย์



รูปที่ 2.3 ประเภทของภาระ
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ, 2536, หน้า 3)

4. การบิด โมเมนต์ที่กระทำต่อชิ้นส่วนในลักษณะที่ทำให้เกิดการบิดเรียกว่าโมเมนต์บิด (torsional moment or torques) โมเมนต์นี้เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้วัสดุเกิดการเสียหายได้ ถ้าหากโมเมนต์ที่กระทำกับวัสดุมากเกินไป ฉะนั้นในการออกแบบชิ้นส่วนให้รับโมเมนต์บิดจึงต้องพิจารณาไม่ให้โมเมนต์บิดมากเกินไปในการกระทำกับชิ้นวัสดุนั้น (กิตติ อินทรานนท์, 2539) ดังรูปที่ 2.4

4.1 แรงบิด (torsional loaded) หมายถึงส่วนของโครงสร้างที่รับแรงหรือโมเมนต์ที่พยายามบิดส่วนของโครงสร้างนั้นไปจากตำแหน่งเดิม

4.2 โมเมนต์บิด (torsional momentor torauces) คือ โมเมนต์ที่พยายามบิดท่อนวัสดุให้เปลี่ยนไปจากตำแหน่งเดิม มีค่าเท่ากับผลรวมทางพีชคณิตของโมเมนต์ของแรงต่าง ๆ รอบแกนของท่อนวัสดุนั้น

เพลาตัน เพลากวง

รูปที่ 2.4 การบิดตัวของเพลากลม
ที่มา (กิตติ อินทรานนท์, 2539, หน้า 37)

เพลากลมส่วนมากเมื่อถูกบิดก็จะถูกอิทธิพลของการดัด (bending) ด้วยเหมือนกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเค้น เนื่องจากการบิดต้องรวมเอาความเค้นในการดัดไปคิดด้วย

ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพตามพจนานุกรมไทย ฉบับปรับปรุงใหม่พิมพ์ครั้งที่ 15, 2538 ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

ประสิทธิภาพ (ประ-สิต-ทิ-พาบ) หมายถึง ความคล่องแคล่วในการปฏิบัติงานให้สำเร็จ

1. สำหรับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ดังนั้นความสามารถของเครื่องยนต์ จึงเป็นเครื่องบอกให้ทราบถึง คุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องยนต์นั้น ๆ อันสามารถนำมาใช้เป็นข้อพิจารณาในการเลือกและใช้เครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ นอกจากนั้นการศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยละเอียดแล้วยังสามารถนำมาใช้ปรับปรุงการทำงานของเครื่องยนต์ให้ดีขึ้นได้อีกด้วย ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประสิทธิภาพเชิงกล และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ประณต กุลประสูตร, 2533)

2. ประสิทธิภาพเชิงกล คือ เปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างกำลังเบรกกับกำลังอินดิเคตหรือระหว่างกำลังม้าเบรกหรือกำลังม้าล้อช่วยแรง กับกำลังม้าอินดิเคตเสมอ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากกำลังหรือกำลังม้าส่วนหนึ่ง จะสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยทั่วไปจะสูญเสียไปประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของกำลังหรือกำลังม้าอินดิเคต

ประสิทธิภาพเชิงกล สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_m = \frac{P_b}{P_i}$$

ตารางที่ 2.1 กำลังของประสิทธิภาพเชิงกล

ระบบ	P_b (กำลังเบรก)	P_i (กำลังอินดิเคต)	E_m (ประสิทธิภาพเชิงกล)
FPS	ft-lbf/min (ฟุต-ปอนด์ต่อนาที) หรือ ft-lbf/s (ฟุต-ปอนด์ต่อวินาที)	ft-lbf/min (ฟุต-ปอนด์ต่อนาที) หรือ ft-lbf/s (ฟุต-ปอนด์ต่อวินาที)	จุดทศนิยม
SI	W (วัตต์) หรือ kW (กิโลวัตต์)	W (วัตต์) หรือ kW (กิโลวัตต์)	จุดทศนิยม

ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 108)

$$E_m = \frac{bhp}{ihp}$$

เมื่อ E_m = ประสิทธิภาพเชิงกล

bhp = กำลังม้า, กำลังเบรก (hp)

ihp = กำลังม้าอินดิเคต, กำลังม้า (hp)

หรือ

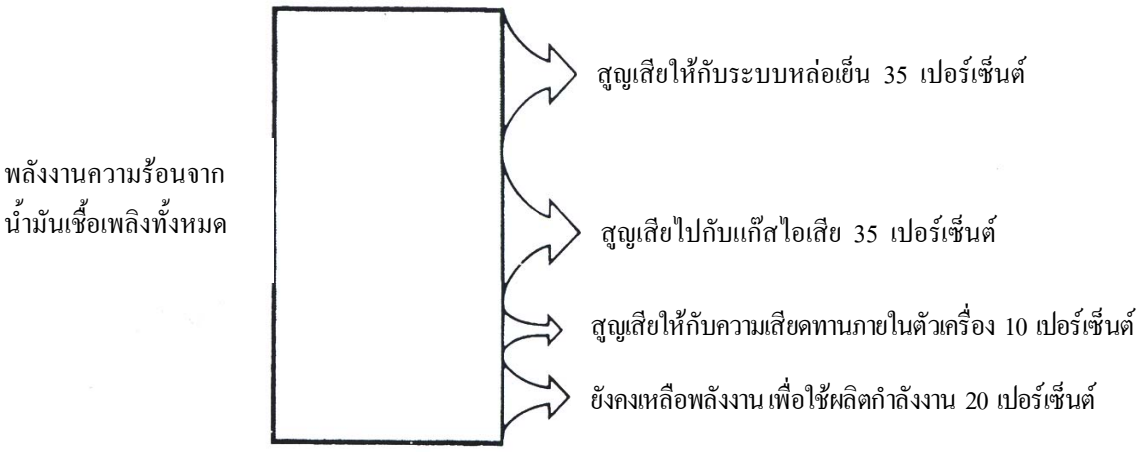
$$E_m = \frac{bmep}{imep}$$

ตารางที่ 2.2 ค่าความดันเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงกล

ระบบ	bmep (ค่าความดันเฉลี่ยเบรก)	imep (ค่าความดันเฉลี่ยอินดิเคต)	E_m (ประสิทธิภาพเชิงกล)
FPS	lb/in^2 (ปอนด์ต่อตร.นิ้ว)	lb/in^2 (ปอนด์ต่อตร.นิ้ว)	จุดทศนิยม
SI	N/m^2 (นิวตันต่อตร.เมตร หรือ bar (บาร์)	N/m^2 (นิวตันต่อตร.เมตร หรือ bar (บาร์)	จุดทศนิยม

ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 107)

3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่นิยมวัดกันเป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (brake thermal efficiency) เป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างกำลังหรือกำลังม้าเบรกหรือที่กำลังที่เครื่องยนต์ผลิตออกมา กับพลังงานในน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้เพื่อที่จะผลิตกำลังงานออกมา เครื่องยนต์โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่เครื่องยนต์ทำงานความร้อนส่วนใหญ่ จะถูกถ่ายเทไปให้กับระบบระบายความร้อน ระบบหล่อลื่น และแก๊สไอเสีย ดังรูปที่ 2.5 ส่วนที่เหลือบางส่วนจะสูญเสียไปกับการแผ่กระจายความร้อน และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพเชิงความร้อน จะขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องและการใช้งานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.5 พลังงานที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 107)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{bt} = \frac{P_b}{P_{fe}}$$

ส่วนประสิทธิภาพรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ จะเป็นความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ที่ตัดหญ้าได้ไม่น้อยกว่า 100 ตารางวาต่อ 1 ชั่วโมง ควบคุมได้ในรัศมี 50 เมตร ที่ความเร็ว 29.20 เมตรต่อนาที จึงเป็นเครื่องบอกให้ทราบถึงคุณลักษณะเฉพาะของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อพิจารณาในการเลือกและใช้เครื่องยนต์และวิทยุบังคับ ได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์

ความหมายของรถตัดหญ้า

รถตัดหญ้า หมายถึง เครื่องยนต์หรือเครื่องมือกลที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้ เป็นหนึ่งในเครื่องต้นกำลังที่สำคัญสามารถจัดส่งกำลังให้กับส่วนประกอบและอุปกรณ์เครื่องทุ่นแรงต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนใบมีดด้วยความเร็วโดยใช้ส่วนที่มีความคมของใบมีดเป็นตัวตัดหญ้า รถตัดหญ้าเป็นเครื่องยนต์เล็กเนื่องมาจากตัวเครื่องยนต์มีขนาดเล็กโดยทั่วไปจะมีจำนวนสูบ 1 สูบ 4 จังหวะ ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ระบายความร้อนด้วยอากาศ ทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการใช้งาน

ในต่างประเทศได้มีการนำเอาเครื่องยนต์เล็กมาใช้กับงานด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม ส่วนในประเทศไทยเครื่องยนต์เล็กเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะวงการเกษตร เนื่องจากสามารถใช้เป็นแรงงานทดแทนได้

ปัจจุบันประเทศไทยเครื่องยนต์เล็กกำลังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเกือบทุกวงการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงการเกษตรได้มีการนำเครื่องยนต์เล็กไปใช้งานต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากเพิ่มผลผลิตได้เป็นอย่างดี ความยากลำบากในการทำงานก็ลดลง จึงเป็นการช่วยเพิ่มความดึงดูดในการทำงานให้มากขึ้น ทั้งยังสามารถใช้เป็นแรงงานทดแทนในกรณีแรงงานจากแหล่งอื่นเกิดการขาดแคลนได้อีกด้วย (ประณต กุลประสูตร, 2542) ตัวอย่างของการนำเอาเครื่องยนต์เล็กไปใช้กับงานต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6

ก. เครื่องสูบน้ำ

ข. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค. เครื่องอัดอากาศ

ง. รถตัดหญ้าแบบเดินตาม

รูปที่ 2.6 การนำเอาเครื่องยนต์เล็กไปใช้กับงานต่าง ๆ
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 6)

ชนิดของรถตัดหญ้า

รถตัดหญ้าโดยทั่วไปจะแบ่งออกตามการใช้งานได้ 2 ชนิด

1. รถแทรกเตอร์ขนาดเล็กพ่วงเครื่องตัดหญ้า
2. รถตัดหญ้าที่ใช้เครื่องยนต์เล็ก

ในที่นี้จะกล่าวถึงรถตัดหญ้าที่ใช้เครื่องยนต์เล็กแบบเดินตาม เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับการนำรถมาใช้ในการพัฒนา จึงต้องใช้เครื่องยนต์เล็กประกอบและติดตั้งเข้ากับโครงรถตามที่แต่ละบริษัทผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ โดยทั่ว ๆ ไปจะมีจำนวนกระบอกสูบ 1 สูบ มีทั้งเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะ เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ระบายความร้อนด้วยอากาศมีจำนวนแรงม้า 3 – 5.5 แรงม้า มีหลายยี่ห้อ เช่น ยี่ห้อฮอนด้า ซูซูกิ ยามาฮ่า คูโบต้า มิตซูบิชิและยี่ห้อ บริกส์แอนด์ สแตรทตัน เป็นต้น พร้อมกันนี้มีความจุของถังน้ำมันเชื้อเพลิงตั้งแต่ 600 – 4,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิตที่จะต้องการให้เครื่องยนต์มีเวลาใช้งานมากหรือน้อยจึงจะมีการดับเครื่องเพื่อเติมน้ำมันอีกครั้งรถตัดหญ้าแบบนี้จะมีทั้งแบบจำนวนล้อ 3 และ 4 ล้อ

รถตัดหญ้าแบบจำนวนล้อ 3 ล้อ เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีมีจำนวนกระบอกสูบ 1 สูบ จัดวางกระบอกสูบเป็นแบบตั้ง เป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ใช้ล้อรถแบบรถจักรยานจำนวน 2 ล้อ อีก 1 ล้อ เป็นล้อที่มีขนาดเล็กสามารถปรับระดับได้ไม่มากมีความสูงจากพื้นถึงโครงรถ 25 เซนติเมตร สูงจากพื้นถึงระดับใบมีดตัดหญ้า 8 เซนติเมตร ส่งกำลังโดยใช้สายพานรับแรงจากมูลเลย์ของเครื่องยนต์ไปยังมูลเลย์ของเพลาใบมีดเพื่อขับเพลาใบมีดให้หมุนทำการตัดหญ้าและจะตัดหญ้าที่มีความสูงขนาด 8 – 30 เซนติเมตร ใช้กับสนามหญ้าบริเวณบ้านหรือสนามฟุตบอล ความสามารถในการตัดหญ้าต่อพื้นที่คือ เวลา 1 ชั่วโมงสามารถตัดหญ้าได้ประมาณ 100 ตารางวา ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 1 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของหญ้ามากหรือน้อยและความสามารถของผู้ควบคุมรถตัดหญ้า

รถตัดหญ้าแบบมีจำนวน 4 ล้อ ใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีนมีจำนวนกระบอกสูบ 1 สูบ มีการจัดวางกระบอกสูบเป็นแบบสูบนอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อ 17 เซนติเมตร ปรับระดับความสูงต่ำได้ 2 ถึง 9 ระดับ มีความสูงจากพื้นถึงโครงรถที่ปรับระดับได้ตั้งแต่ 3 ถึง 8 เซนติเมตร และสูงจากระดับพื้นถึงระดับใบมีด 3.5 เซนติเมตร การใช้งานของรถตัดหญ้าแบบนี้จะใช้ตัดหญ้าที่มีความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ใช้กับสนามหญ้าบริเวณบ้าน สนามฟุตบอลและสนามหญ้าตามสวนสาธารณะ มีความสามารถในการตัดหญ้าเวลาต่อพื้นที่คือในเวลา 1 ชั่วโมง สามารถตัดหญ้าได้ประมาณ 100 ตารางวา ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 1 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของหญ้ามากหรือน้อย และความสามารถของผู้ควบคุมรถตัดหญ้า ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 รถตัดหญ้าแบบเดินตาม
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2538, หน้า 3)

ผู้วิจัยเลือกใช้รถตัดหญ้าที่มีจำนวนล้อ 4 ล้อ ใช้เครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีนเป็นตัวต้นกำลัง จัดวางกระบอกสูบแบบนอนมีจังหวะการทำงานแบบ 4 จังหวะจำนวนสูบ 1 สูบ ขนาดแรงม้า 3.5 แรงม้า ความจุของถังน้ำมันเชื้อเพลิง 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงและระบายความร้อนด้วยอากาศ ยี่ห้อ บริกส์ แอนด์ สแตรทตัน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อ 17 เซนติเมตร โดยมีความสูงจากพื้นถึงโครงรถ 3 เซนติเมตร และสูงจากพื้นถึงใบมีดตัดหญ้า 3.5 เซนติเมตร ความสามารถในการตัดหญ้า เวลาต่อพื้นที่คือเวลา 1 ชั่วโมง สามารถตัดหญ้าได้ประมาณ 100 ตารางวา ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 1 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของหญ้ามากหรือน้อยและความสามารถของผู้ควบคุมรถตัดหญ้า

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบรถตัดหญ้า

รถตัดหญ้ามีผู้ควบคุมเดินตาม	รถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ
1. มีผู้ควบคุมรถตัดหญ้าจำนวน 1 คน 2. ผู้ควบคุมรถตัดหญ้าต้องเดินเข็นตามรถขณะทำการตัดหญ้าทำให้เกิดการเมื่อยล้าจึงจะทำให้สนามหญ้าสวยงาม 3. อันตรายมีสูงเนื่องจากขณะทำการตัดหญ้าใบมีดไปกระทบกับวัสดุที่มีความแข็ง 4. ผู้ควบคุมรถตัดหญ้าส่วนมากจะเป็นคนที่มีร่างกายแข็งแรงและเคยทำงานลักษณะนี้มาก่อน	1. มีผู้ควบคุมรถตัดหญ้าจำนวน 1 คน 2. ผู้ควบคุมรถตัดหญ้าใช้การควบคุมด้วยวิทยุจึงไม่ต้องเดินตามรถขณะทำการตัดหญ้า 3. อันตรายจากการตัดหญ้ามีน้อยมากเนื่องจากผู้ควบคุมอยู่ห่างจากตัวรถ 4. ผู้ควบคุมรถตัดหญ้าเป็นสุภาพบุรุษ สุภาพสตรี หรือเด็ก สามารถควบคุมรถได้เนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานเหมือนกับรถบังคับวิทยุทั่ว ๆ ไป

ระบบขับเคลื่อนและการบังคับเลี้ยว

การขับเคลื่อนใช้มอเตอร์กระแสไฟตรงแรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวลต์ มีกระแส 10 แอมป์ ติดตั้งและจับยึดกับโครงรถเป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนล้อให้หมุนซึ่งจะมีชุดรับสัญญาณอีกชุดหนึ่งเป็นตัวควบคุมมอเตอร์และการบังคับเลี้ยวซ้ายมีการดำเนินการใช้ควบคุมด้วยวิทยุรับส่งยี่ห้อ Futaba รุ่น T2ER มีคลื่นความถี่ 27 เมกะเฮิรตซ์ เป็นตัวควบคุมการทำงานของรถตัดหญ้าโดยใช้เอ็กคลูซีฟออร์เกตเป็นตัวแปลงสัญญาณจากภาครับให้เป็นลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของรถตัดหญ้า โดยสั่งงานมอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านทางไอซีเนอร์ ULN 2003 และรีเลย์ในการเลี้ยว รีเลย์จะทำให้มอเตอร์หมุนทวนหรือตามเข็มนาฬิกา เพื่อส่งแรงให้กับคันชักคันส่งที่เป็นแขนต่อจากมอเตอร์ เพื่อเป็นการควบคุมการบังคับเลี้ยวไปตามทิศทางที่ต้องการของผู้ควบคุมรถตัดหญ้าและสามารถควบคุมได้ในรัศมี 50 เมตร ที่ความเร็ว 29.20 เมตรต่อนาที

1. วงจรการทำงานของรีเลย์

จากภาคเครื่องรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (tr1 – tr4) จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.5 – 6 โวล์ ซึ่งไม่พอที่จะขับมอเตอร์ตัวที่ 1 (M_1) และมอเตอร์ตัวที่ 2 (M_2) ได้ เนื่องจากมอเตอร์ทั้งสองตัวเป็นมอเตอร์กระแสตรง 24 โวล์ จึงนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.5 – 6 โวล์ที่ได้ไปจ่ายให้กับรีเลย์ตัวที่ 1 ถึงรีเลย์ตัวที่ 4 (ry1 – ry4) ขนาด 6 โวล์ก่อนรีเลย์

ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (ry1 – ry4) เป็นรีเลย์ขนาดเล็กกินกระแสไฟเพียงไม่กี่มิลลิแอมป์ ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวล์ ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (tr1 – tr4) จึงสามารถที่จะขับรีเลย์ของแต่ละตัวได้ แต่มีข้อเสียรีเลย์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (ry1 – ry4) คือตัวยิ่งเล็กหน้าสัมผัสที่จะต่อไปใช้งานกับวงจรอื่นก็เล็กตามลงไปด้วย ดังนั้นหน้าสัมผัสของรีเลย์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (ry1 – ry4) ซึ่งจะเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (NO) ไปต่อให้กับวงจรรีเลย์ตัวที่ 5 ถึงตัวที่ 8 (RY5 – RY8) ก่อน

RY5 – RY8 เป็นรีเลย์ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ หน้าสัมผัสของรีเลย์ RY5 – RY8 มีขนาดของกระแสประมาณ 5 แอมป์ ซึ่งพอที่จะไปขับมอเตอร์ทั้งสองตัวได้ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ ที่จะนำไปขับมอเตอร์และวงจรรีเลย์ RY5 – RY8 ได้มาจากการนำแบตเตอรี่ 12 โวล์มาต่ออนุกรมกับขั้วบวก (+) จะไปต่อที่หน้าสัมผัสของรีเลย์ที่เปิดของรีเลย์ตัวที่ 1 ถึงรีเลย์ตัวที่ 4 (ry1 – ry4) และรีเลย์ตัวที่ 5 ถึงตัวที่ 8 (RY5 – RY8) ทุกตัวดังรูปที่ 2.9 (วงจรที่ 2) ขั้วลบ (-) จะไปต่อกับคอยล์ (Coil) ของรีเลย์ RY5 – RY8 ทั้งขั้วลบ (-) ของรีเลย์และต่อไปยังหน้าสัมผัสของรีเลย์ที่เปิดอยู่ของ RY5 – RY8

รีเลย์ตัวที่ 5 และตัวที่ 6 (RY5 – RY6) จะเป็นรีเลย์ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวล์ จะมีหน้าสัมผัสของวงจรสวิตซ์อยู่ 4 จุด (4P) เป็นรีเลย์หนึ่งตัวจะมีหน้าสัมผัสที่จะต่อใช้งานกับวงจรอื่น ๆ 4 ชุด ส่วน RY7 – RY8 เป็นรีเลย์ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวล์ 2P หรือ 2N คือจะมีหน้าสัมผัส 2 ชุด แรงขับเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ ที่ใช้เลี้ยววงจรภาครับและรีเลย์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (ry1 – ry4) ได้มาจาก การย่อขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ลดลงเหลือ 6 โวล์ โดยใช้ไอซีเรคกูเรเตอร์ AN7806 ตามรูปที่ 2.8 (วงจรที่ 1)

รูปที่ 2.8 วงจรที่ 1 การทำงานของรีเลย์

รูปที่ 2.9 วงจรที่ 2 วงจรการบังคับเลี้ยวและการเดินหน้า ถอยหลัง

LS1 และ LS2 คือลิมิตสวิตซ์มีทั้งหน้าสัมผัสปกติปิด (NC) และปกติเปิด (NO) หน้าสัมผัสปกติปิดและหน้าสัมผัสปกติเปิดในความหมายของลิมิตรสวิตซ์และรีเลย์คือหน้าสัมผัสปกติเปิด เปรียบได้กับเราได้กดสวิตซ์ปิดหลอดไฟ คำว่าเปิดคือการเปิดวงจรออกเพื่อไม่ให้ครบวงจร วงจรจะไม่ทำงานแต่ถ้าแรงจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้คอยล์ของรีเลย์หน้าสัมผัสปกติเปิดจะเปลี่ยนเป็นปิด (NC)

LS1 และ LS2 จะใช้หน้าสัมผัสปกติปิดหรือ (NC) เพื่อจะต่อวงจรเลี้ยวให้กับมอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) เพราะเมื่อมอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) บังคับเลี้ยวมาถึงตำแหน่งของลิมิตสวิตซ์ตัวใดตัวหนึ่ง ลิมิตสวิตซ์ตัวนั้นก็จะทำการเปิดวงจรออกมอเตอร์ก็จะหยุดการหมุนเพื่อไม่ให้มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) หมุนเลี้ยวเกินระยะที่กำหนด

2. การบังคับเลี้ยว

การเลี้ยวขวารีเลย์ตัวที่ 1 (ry1) เมื่อภาครับส่งแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง 6 โวล์มาจ่ายให้ตัวใดตัวหนึ่ง ถ้าจ่ายกระแสไฟมาที่รีเลย์ 1 (ry1) หน้าสัมผัสของรีเลย์ 1 (ry1) จะเปลี่ยนเป็นการเปิด (NO) เพื่อจะต่อวงจรให้กับรีเลย์ 5 (RY5) แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้า +24 โวล์ ที่ผ่านหน้าสัมผัสเปิด (NO) ของรีเลย์ 1 (ry1) จะต่อผ่านลิมิตสวิตซ์ (LS1) ก่อน เพื่อจะใช้เป็นตัวเปิดวงจรรีเลย์ 5 (RY5) ในขณะที่มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) หมุนเลี้ยวเกินระยะที่กำหนดจากนั้น

แรงเคลื่อนไฟฟ้า +24 โวล์จะวิ่งต่อมาที่หน้าสัมผัสชุดที่ 3 ของรีเลย์ 6 (RY6) เป็นแบบปิด (NC) หน้าสัมผัสชุดที่ 3 ของรีเลย์ 6 (RY6) เป็นการต่อไว้เพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ 5 (RY5) และรีเลย์ 6 (RY6) ทำงานพร้อมกัน หากรีเลย์ 5 (RY5) และรีเลย์ 6 (RY6) ทำงานพร้อมกัน แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงบวก (+) ลบ (-) 24 โวล์ ทางด้านหน้าสัมผัสทั้งสองตัวจะเกิดการลัดวงจรได้ เนื่องจากได้ต่อกลับขั้วมอเตอร์ + และ - ไว้ เพื่อทำการเปลี่ยนทิศทางการหมุน (กับทางเลี้ยว) มอเตอร์ทางด้านหน้าสัมผัส จากนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ จะส่งต่อมาที่ขั้ว + และ - ของรีเลย์ 5 (RY5) จึงจะครบวงจร ดังรูปที่ 2.9

เมื่อรีเลย์ตัวที่ 5 (RY5) ครบวงจรหน้าสัมผัสชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ของรีเลย์ 5 (RY5) จะเปลี่ยนจากหน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดเป็นหน้าสัมผัสรีเลย์ปิดต่อให้วงจรกับมอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) เมื่อทำให้การเลี้ยวขวา มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) ทำการเลี้ยวขวาจนถึงระดับของลิมิตสวิตซ์ตัวที่ 1 จะทำการตัดวงจรของรีเลย์ 5 (RY5) ทันที (ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น) เมื่อรีเลย์ 5 (RY5) หยุดทำงานหน้าสัมผัสของรีเลย์ 5 (RY5) ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 จะกับสู่สภาพปกติเปิดของหน้าสัมผัสรีเลย์คือการปิดวงจรของมอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) มอเตอร์จะไม่หมุนเลี้ยวขวาต่อไป มอเตอร์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อภาครับสั่งให้เลี้ยวซ้าย ในส่วนของหน้าสัมผัสชุดที่ 3 ของรีเลย์ 5 (RY5) เมื่อรีเลย์ 5 (RY5) ทำงานหน้าสัมผัสของรีเลย์ 5 จะเปลี่ยนจากหน้าสัมผัสของรีเลย์ปิดเป็นเปิด เพื่อตัดการทำงานของรีเลย์ 6 (RY6) ไม่ให้รีเลย์ทั้งสองตัวทำงานพร้อมกัน (ตามที่กล่าวมาข้างต้น) รีเลย์ 5 และ รีเลย์ 6 จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อทั้งสองอยู่ในสภาวะปกติ ดังรูปที่ 2.9

ส่วนการเลี้ยวซ้ายนั้นจะทำงานตามวงจรเลี้ยวขวาทุกประการ เพียงแต่ภาครับจะเปลี่ยนจาก 1 เป็น 2 แทน การทำงานจะอยู่ในชุดของ ry2, LS2, RY6

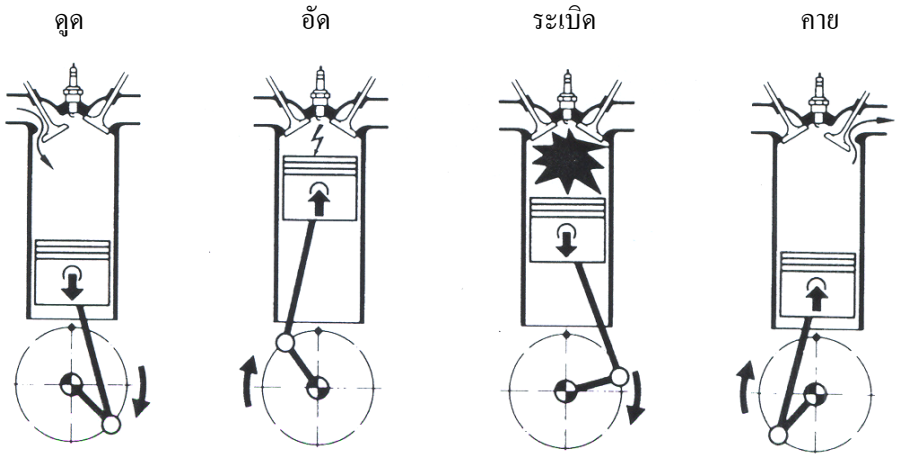
3. วงจรเดินหน้าและถอยหลัง

ภาครับสั่งให้รถเดินหน้าทรานซิสเตอร์ 3 (tr3) จะทำการปล่อยแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง 6 โวล์ มาให้รีเลย์ 3 (ry3) เมื่อรีเลย์ 3 ทำงานหน้าสัมผัสจะเปิดของรีเลย์ 3 จะเปลี่ยนเป็นปิด ต่อวงจรให้รีเลย์ 7 (RY7) การที่หน้าสัมผัสของรีเลย์ 3 จ่ายไฟ +24 โวล์ ให้รีเลย์ 7 โดยไม่ผ่านลิมิตสวิตซ์อย่างวงจรเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาเพราะการเดินหน้าและถอยหลังไม่มีระยะที่ต้องกำหนดขึ้นอยู่กับผู้บังคับรถทางภาคเครื่องส่งจึงไม่ต้องมีลิมิตสวิตซ์มาตัดวงจร และที่ไม่ต้องมีหน้าสัมผัสชุดที่ 3 ทั้งสองตัว (RY7 – RY8) เพราะในวงจรภาครับได้ป้องกันส่วนนี้ไว้แล้ว ดังรูปที่ 2.9

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ทุกชนิด วัตถุประสงค์และหลักการของผู้สร้างมีความต้องการที่จะให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จะแตกต่างก็ตรงที่ลักษณะของการใช้งาน และวิธีการจุดเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบเครื่องยนต์ (ประณต กุลประสูตร, 2542)

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ จะมีลักษณะในการทำงานดังต่อไปนี้คือ ใน 1 รอบหรือ 1 วัฏจักรของการทำงาน ลูกสูบจะต้องเคลื่อนที่ขึ้น-ลง 4 ครั้ง คือ เคลื่อนที่ขึ้น 2 ครั้ง เคลื่อนที่ลง 2 ครั้ง หรือกล่าวได้ว่าเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ จะได้งาน 1 ครั้ง จังหวะการทำงานจะหมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไปจนกว่าเครื่องยนต์จะหยุดทำงานและมีจังหวะในการทำงานดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 48)

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด (Intake Stroke)

ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบน (top dead center) ลงสู่ศูนย์ตายล่าง (bottom dead center) ลิ้นไอดีเปิด ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน หรือส่วนผสมของแก๊สเหลวกับอากาศสำหรับเครื่องยนต์แก๊สเหลว จะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบโดยผ่านทางลิ้นไอดี จังหวะนี้จะมีติดต่อกันไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างจึงจะหมดจังหวะดูด ขณะนี้ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศหรือส่วนผสมของแก๊สเหลวกับอากาศ จะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่เต็มภายในกระบอกสูบ

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด (Compression Stroke)

จังหวะนี้จะต่อเนื่องมาจากจังหวะดูดคือ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างแล้ว จะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ขณะนี้ทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศหรือแก๊สเหลวกับอากาศภายในกระบอกสูบ จะถูกอัดตัวขึ้นไปเรื่อย ๆ ตามการเคลื่อนตัวของลูกสูบ จังหวะนี้จะสิ้นสุดลงก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเพียงเล็กน้อย

จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด (Expansion Stroke)

จังหวะนี้ บางทีเรียกว่าจังหวะงาน (power stroke) จังหวะนี้จะเกิดในตอนปลายจังหวะอัดโดยส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ หรือแก๊สเหลวกับอากาศจะถูกจุดด้วยประกายไฟจากหัวเทียนจึงทำให้เกิดการเผาไหม้และการระเบิดอย่างรุนแรง ผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เราจะได้งานจากจังหวะนี้

จังหวะที่ 4 จังหวะคาย (Exhaust Stroke)

หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงอันเนื่องมาจากแรงระเบิดจนถึงศูนย์ตายล่างแล้ว ลิ้นไอเสียจะเปิดปล่อยให้ไอเสียอันเกิดจากการเผาไหม้ออกไปจากกระบอกสูบ และยังจะคงเปิดอยู่จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบในจังหวะนี้ จะเป็นการช่วยในการขับไล่ไอเสียออกอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงเริ่มเข้าหาจังหวะดูดอีก และจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่

ตามที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นอย่างชัดเจนแล้วว่าเครื่องยนต์จะทำงานด้วยจังหวะดูด-อัด-ระเบิด-คาย หมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไป

ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ โดยมีแรงม้า 3.5 แรงม้าจำนวน 1 สูบ ซึ่งเท่ากับเป็นการใช้แรงม้าของเครื่องยนต์น้อย จึงเป็นการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงไปในตัว สามารถเร่งเครื่องและเบาเครื่องยนต์ได้ตามภาระที่เครื่องยนต์ได้รับ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

เครื่องยนต์แต่ละเครื่องจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ มากมาย ชิ้นส่วนเหล่านี้แต่ละชิ้นก็จะมีรูปร่างลักษณะ ขนาด และวัตถุประสงค์ในการใช้งานแตกต่างกันออกไป ตามความจำเป็นของเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง สำหรับชิ้นส่วนที่สำคัญอันเป็นชิ้นส่วนหลักของเครื่องยนต์ จะจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน (ประณต กุลประสูตร, 2538) คือ

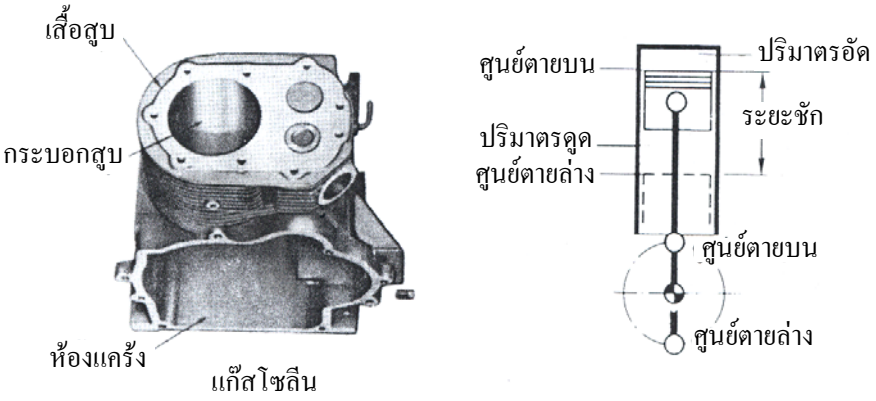
1. ชิ้นส่วนที่อยู่กับที่ (stationary parts)
2. ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว (moving parts)

1. ชิ้นส่วนที่อยู่กับที่

ชิ้นส่วนที่อยู่กับที่ของเครื่องยนต์โดยทั่วไป จะประกอบด้วย

1.1 กระบอกสูบ กระบอกสูบดังรูปที่ 2.11 เป็นช่องทางสำหรับลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น – ลง ทำจากเหล็กหล่อคุณภาพสูงที่มีคุณสมบัติในการขจัดความเสียดทานและการสั่นสะเทือนได้ดี บางแบบอาจจะทำจากโลหะผสมอลูมิเนียม แมกนีเซียม หรือเหล็กนิกเกิลก็ได้ ซึ่งจะทำให้มีน้ำหนักเบา และระบายความร้อนได้ดี ผนังด้านในของกระบอกสูบส่วนใหญ่ จะชุบเคลือบไว้ด้วยโครเมียม สำหรับกระบอกสูบของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็กส่วนใหญ่จะหล่อเป็นชิ้นเดียวกันกับเสื้อสูบ

ภายในกระบอกสูบจะมีตำแหน่งที่สำคัญอยู่ 2 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ตำแหน่งศูนย์ตายบน (top dead center) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นสูงสุด กับตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (bottom dead center) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงต่ำสุด ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงกระบอกสูบ เสื้อสูบของเครื่องยนต์เล็กสูบเดียว
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 22)

1.2 เสื้อสูบ เสื้อสูบดังรูปที่ 2.11 เป็นส่วนที่หุ้มห่อกระบอกสูบ หรือปลอกสูบ ภายในเสื้อสูบจะประกอบด้วยกระบอกสูบหรือปลอกสูบ ร่องลิ้นและช่องทางของน้ำหล่อเย็น เสื้อสูบของเครื่องยนต์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะทำเป็นครีบ เพื่อให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เสื้อสูบของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะทำจากโลหะผสมอลูมิเนียม ในขณะที่เสื้อสูบของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กจะทำจากเหล็กหล่อ

ในเครื่องยนต์หลายกระบอกสูบ กระบอกสูบหรือปลอกสูบ ตลอดจนร่องลิ้นและช่องทางน้ำหล่อเย็นจะถูกบรรจุอยู่ในเรือนสูบ (cylinder block) แทนที่จะบรรจุอยู่ในเสื้อสูบเหมือนกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

1.3 ฝาสูบ ฝาสูบดังรูปที่ 2.12 เป็นส่วนที่ปิดทางด้านบนของกระบอกสูบ โดยมีปะเก็นรองรับระหว่างฝาสูบกับเสื้อสูบหรือระหว่างฝาสูบกับเรือนสูบ และยึดติดเข้าด้วยกันอย่างแข็งแรงด้วยสลักเกลียว การมีปะเก็นคั่นระหว่างฝาสูบกับเสื้อสูบหรือระหว่างฝาสูบกับเรือนสูบ ก็เพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊สภายในห้องเผาไหม้ ฝาสูบจะเป็นส่วนหนึ่งของห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์บางแบบภายในฝาสูบจะมีช่องทางของน้ำหล่อเย็นช่องไอดีไอเสีย ช่องสำหรับติดตั้งหัวเทียน หัวเผา หรือหัวฉีด นอกจากนั้นยังเป็นที่สำหรับติดตั้งลิ้นและกลไกประกอบลิ้น เช่น ในเครื่องยนต์ชนิดลิ้นบนฝาสูบ ดังนั้นฝาสูบจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับความดันต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ความดันจากการระเบิดของไอดีภายในห้องเผาไหม้ และจะต้องมีการระบายความร้อนได้ดี เพื่อป้องกันการบิดหรือโก่งตัว

ระบายความร้อนด้วยอากาศ

รูปที่ 2.12 ฝาสูบแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์เล็ก
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2538, หน้า 24)

ฝาสูบของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ทำจากโลหะผสมอลูมิเนียม ส่วนฝาสูบของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กจะทำจากเหล็กหล่อ ฝาสูบของเครื่องยนต์ชนิดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ จะทำเป็นครีบ เพื่อเพิ่มเนื้อที่ในการกระจายความร้อนให้ออกไปจากฝาสูบ

2. ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว

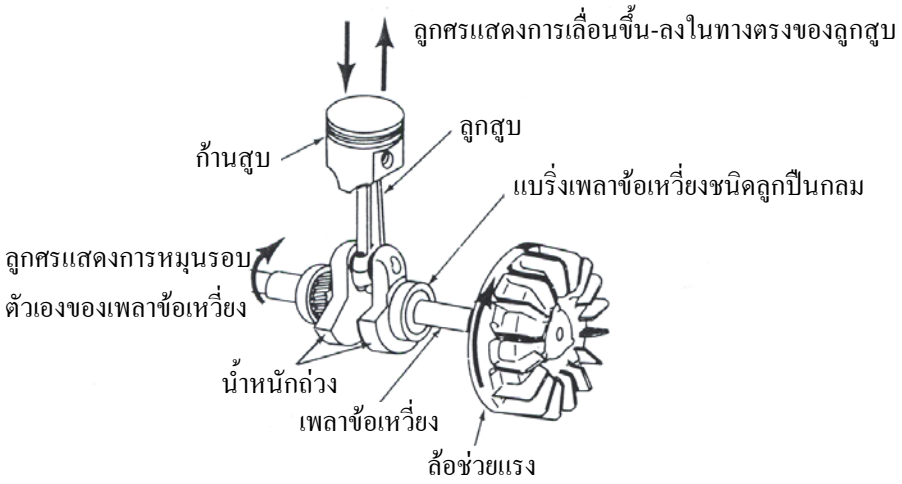
ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว ได้แก่ ชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานกล จะมีทั้งที่เคลื่อนไหวในทางตรง หมุนรอบตัวเอง หรือเคลื่อนไหวทั้งในทางตรงและหมุนรอบตัวเองรวมกันก็ได้ ชิ้นส่วนเหล่านี้ ได้แก่

2.1 ลูกสูบ ลูกสูบดังรูปที่ 2.13 เป็นต้นกำลังอันหนึ่งของเครื่องยนต์ ทำงานเลื่อนขึ้น – ลง ภายในกระบอกสูบไปตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ ลูกสูบจะเป็นตัวรับถ่ายทอดกำลังงานที่เกิดจากการระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ส่งผ่านก้านสูบไปยังเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เนื่องจากลูกสูบต้องทำงานภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง ดังนั้นลูกสูบจึงต้องออกแบบสร้างอย่างแข็งแรง สามารถเคลื่อนไหวได้คล่องตัว (free movable) ภายในกระบอกสูบและสามารถป้องกันแก๊สรั่วได้ นอกจากนั้นยังต้องมีคุณสมบัติในการทนต่อความร้อนและอุณหภูมิได้สูง เนื่องจากต้องได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ และเสียดสีกับผนังกระบอกสูบอยู่ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตจะจัดให้มีช่องว่างระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ ระหว่าง 0.003 ถึง 0.004 นิ้ว (0.08 ถึง 0.10 มิลลิเมตร)

รูปที่ 2.13 แสดงส่วนสำคัญของลูกสูบ
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2533, หน้า 24)

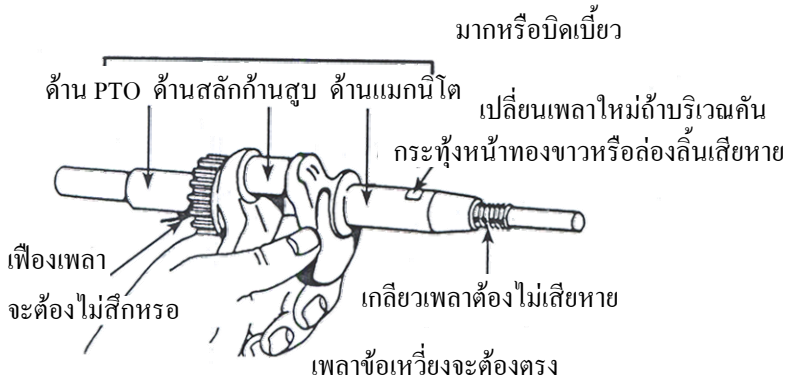
2.2 ก้านสูบ ก้านสูบดังรูปที่ 2.14 เป็นก้านต่อระหว่างลูกสูบกับเพลาข้อเหวี่ยง ทำหน้าที่รับถ่ายทอดความดันที่ลูกสูบได้รับให้กับเพลาข้อเหวี่ยง ปลายบน (small end) จะยึดติดกับลูกสูบด้วยสลักลูกสูบ ปลายล่าง (big end) ส่วนใหญ่จะทำเป็นแบริ่งชนิดหน้าเรียบ (plain bearing) แบบฝาประกบสวมกับข้อเหวี่ยงของเพลาข้อเหวี่ยง สำหรับก้านสูบที่ใช้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็กส่วนใหญ่จะหล่อจากโลหะผสมอลูมิเนียม ส่วนในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะทำจากเหล็กเหนียว หน้าตัดของก้านสูบส่วนใหญ่จะทำเป็นรูปตัวไอ (I-shape) ก้านสูบหลายแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนักหรือเครื่องยนต์ที่มีราคาแพง แบริ่งก้านสูบจะเป็นชนิดที่ถอด

เปลี่ยนได้ ส่วนในเครื่องยนต์ขนาดเล็กหรือเครื่องยนต์ราคาถูก แบริ่งจะหล่อติดกับปลายล่างของก้านสูบดังรูปที่ 2.14



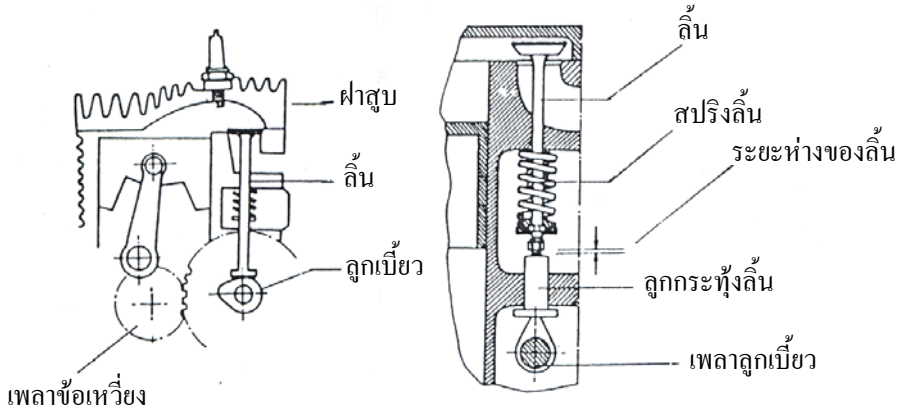
รูปที่ 2.14 แสดงก้านสูบจับยึดระหว่างลูกสูบกับเพลาข้อเหวี่ยง
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2533, หน้า 28)

2.3 เพลาข้อเหวี่ยง เพลาข้อเหวี่ยงดังรูปที่ 2.15 เป็นเพลาที่เปลี่ยนจากอาการที่เลื่อนขึ้น – ลง ในทางตรงของลูกสูบมาเป็นอาการในทางหมุนรอบตัวเอง เพลาข้อเหวี่ยง ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบันทำจากเหล็กเหนียวหล่อ และชุบแข็งในส่วนที่จะต้องสัมผัสกับแบริ่ง ลักษณะการสร้างจะประกอบด้วยข้อเหวี่ยง (crank pin) ของสูบต่าง ๆ และส่วนที่วางอยู่ในเมนแบริ่ง (journal) ทั้งหมดประกอบอยู่ในเพลาเดียวกัน เครื่องยนต์โดยทั่วไป ปลายด้านหนึ่งของเพลาข้อเหวี่ยงจะเป็นที่ติดตั้งของล้อช่วยแรง (flywheel) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่ง จะเป็นที่ติดตั้งของเฟืองที่ใช้ขับเฟืองเพลาราวลิ้น สำหรับวิธีการขับอาจจะขับด้วยสายพาน โซ่ หรือเฟืองโดยตรง เฟืองตัวนี้จะมีจำนวนฟันน้อยกว่าเฟืองเพลาราวลิ้นถึงเท่าตัว จึงทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุนสัมพันธ์กับเพลาราวลิ้นในอัตรา 2:1 เสมอ สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ปลายเพลาข้อเหวี่ยงทางด้านนี้จะเป็นด้านที่ถูกนำไปใช้งาน เพลาข้อเหวี่ยงที่ใช้ในเครื่องยนต์เล็กบางแบบ เป็นชนิดที่ถอดแยกออกจากกันได้ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เพลาข้อเหวี่ยง
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 29)

2.4 ลิ้นและกลไกประกอบลิ้น ลิ้นของเครื่องยนต์ 4 จังหวะทั่ว ๆ ไป จะมี 2 ลิ้น คือ ลิ้นไอดี (inlet valve) กับลิ้นไอเสีย (exhaust valve) โดยลิ้นไอดีจะทำหน้าที่เปิดให้ไอดีมาบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบ ส่วนลิ้นไอเสียจะทำหน้าที่เปิดให้ไอเสียออกไปจากกระบอกสูบ ลิ้นส่วนมากเป็นลิ้นแบบดอกเห็ด (poppet valve) ในการทำงาน หน้าลิ้น (valve face) จะถูกดึงให้แนบสนิทกับบ่าลิ้น (valve seat) ด้วยสปริงลิ้น (valve spring) ลิ้นจะเปิดได้ก็ต่อเมื่อก้านลิ้น (valve stem) ถูกดันขึ้นหรือกดลง ชนะกับแรงต้านของสปริงด้วยการกระแทกจากลูกเบี้ยว (cam) ของเพลาราวลิ้น (camshaft) ส่งผ่านลูกกระทุ้งลิ้น (valve lifter) โดยตรงเช่นในเครื่องยนต์ชนิดลิ้นอยู่ข้างเสื้อสูบ ดังรูปที่ 2.16 หรือส่งผ่านลูกกระทุ้งลิ้น ก้านส่งลิ้น (push rod) และกระเดื่องกดลิ้น (rocker arm) ตามลำดับเช่น ในเครื่องยนต์ชนิดลิ้นอยู่บนฝาสูบ

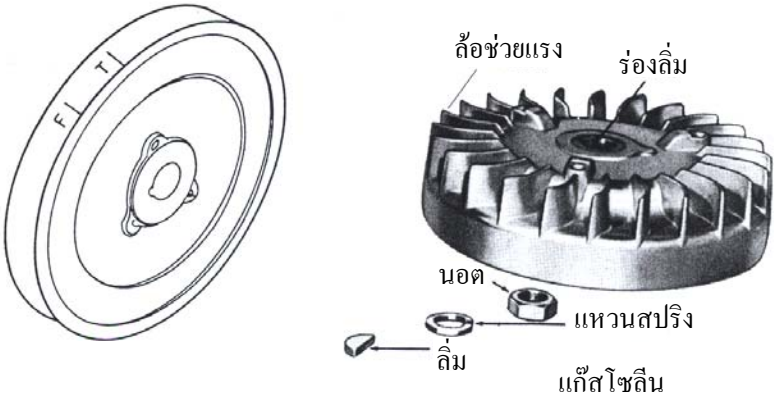


รูปที่ 2.16 การทำงานของลิ้นและกลไกประกอบลิ้น ชนิดลิ้นอยู่ข้างเสื้อสูบ
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2543, หน้า 32)

ลิ้นไอเสียเป็นลิ้นที่ต้องทำงานในอุณหภูมิที่สูงมาก ถึงประมาณ 4,500 องศาฟาเรนไฮต์ นอกจากนั้นยังเป็นช่องทางให้ไอเสียที่มีความร้อนสูงมากไหลผ่านในขณะที่ลิ้นเปิด การระบายความร้อนจะเกิดขึ้นในขณะที่หน้าลิ้นสัมผัสกับบ่าลิ้นเท่านั้น และเนื่องจากพื้นที่สัมผัสเล็กมาก และเวลาในการสัมผัสก็น้อยมาก จึงทำให้การระบายความร้อนเป็นไปได้ยาก ลิ้นไอเสียจึงต้องออกแบบสร้างให้มีความแข็งแรงและความทนทานเป็นพิเศษ ส่วนใหญ่จะทำจากเหล็กเหนียวผสมซิลิโครม เหล็กเหนียวผสมโครเมียมหรือนิกเกิล ซึ่งให้ทั้งความแข็งแรงและสามารถทนอุณหภูมิได้สูง ลิ้นไอเสียบางแบบจะทำข้างในให้กลวงและบรรจุโลหะโซเดียม (metallic sodium) ซึ่งจะละลายที่จุดเดือดของน้ำเข้าไป เพื่อช่วยให้ระบายความร้อนได้ดีขึ้น

สำหรับลิ้นไอดี เนื่องจากจะได้รับการระบายความร้อนทุกครั้งที่ไอดีไหลผ่าน จึงทำให้ลิ้นไอดีทำงานในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าลิ้นไอเสีย ดังนั้นลิ้นไอดีส่วนใหญ่จึงถูกออกแบบสร้างให้บอบบางกว่าลิ้นไอเสียและเนื่องจากความต้องการที่จะบรรจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบได้มาก ลิ้นไอดีโดยทั่วไปจึงมีขนาดใหญ่กว่าลิ้นไอเสีย

2.5 ล้อช่วยแรง ล้อช่วยแรงดังรูปที่ 2.17 จะติดตั้งอยู่ทางตอนปลายของเพลาข้อเหวี่ยงทางด้านซ้าย ใช้ทำหน้าที่สะสมแรงเฉื่อย ทำให้เครื่องยนต์หมุนได้รอบสม่ำเสมอ ล้อช่วยแรงที่ใช้กับเครื่องยนต์เล็กจะทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบระบายความร้อน เช่น ในเครื่องยนต์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ เพราะแผ่นครีบที่หล่อติดกับล้อช่วยแรง จะทำหน้าที่เป็นพัดลมเป่าอากาศเข้าไประบายความร้อนให้กับเครื่องยนต์ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบจุดระเบิด เช่น เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดด้วยแมกนีโต เพราะเป็นส่วนที่แม่เหล็กถาวรประกอบติดอยู่ ล้อช่วยแรงโดยทั่วไปทำจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวหล่อ (บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2541)



รูปที่ 2.17 ล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์เล็ก
ที่มา (ยูไนเต็ดมอเตอร์เวิกส์, 2533, หน้า 12)

2.6 โซ่ส่งกำลัง โซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิด (หมุน) สูงมากโดยให้เป็นชุดส่งกำลังมีขนาดเล็กได้ เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและที่รองเพลาจะรับภาระน้อยมาก ไม่มีการให้ลื่นไถลในขณะส่งกำลัง ข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทานลื่น (sliding friction) จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอ โซ่ส่งกำลังจะมีใช้งานในที่รับภาระดึงมาก ๆ ในที่รับอุณหภูมิสูง โรงงานเคมี ไอน้ำมัน ความชื้น เป็นที่ซึ่งสายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังรูปที่ 2.18

ข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับสายพานแบนและสายพานร่อง

1. ส่งถ่ายกำลังได้สูงโดยที่ไม่มีการลื่นที่ระยะห่างระหว่างเพลาน้อยและให้อัตราทดสูง
2. เปลืองเนื้อที่น้อย
3. ไม่ต้องมีการตึงให้แน่นมาก และรองเพลารับภาระน้อย

ข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบกับสายพานและสายพานแบบร่อง

1. มีอัตราทดเบี่ยงเบน เนื่องจากมุมข้อต่อของโซ่
2. รับภาระกระแทกและการสั่นสะเทือนได้น้อย
3. ไม่สามารถวางเพลาไขว้กันได้
4. มีราคาสูงกว่า
5. ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามากกว่า

ข้อดีเมื่อเทียบกับเฟือง

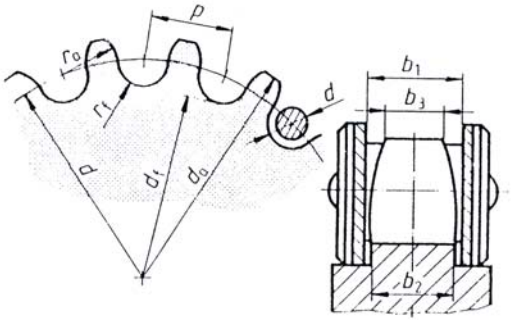
1. แก้ปัญหาระยะห่างระหว่างเพลาที่ห่างกันมาก ๆ ได้
2. มีความไวต่อสิ่งสกปรกน้อยกว่า

ข้อเสียเมื่อเทียบกับเฟือง

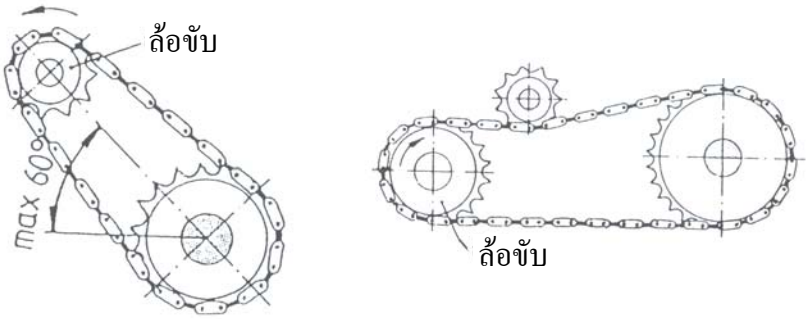
1. มีความเร็วรอบน้อยกว่า (เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์)
2. ที่ความเร็วรอบสูงจะต้องใช้ตัวประกบกันการสั่นของโซ่
3. เพลาต้องวางให้ขนานกันและส่วนใหญ่ต้องวางในแนวนอน

โซ่สามารถส่งกำลังได้ถึง 3,700 กิโลวัตต์ และให้ความเร็วรอบถึง 30 เมตรต่อวินาที มีอัตราทดได้ถึง = 10 มีประสิทธิภาพ 95....99 เปอร์เซ็นต์

2.7 ล้อโซ่ ตามปกติล้อโซ่จะทำจากเหล็กหล่อ เหล็กกล้าหล่อ หรือเหล็กกล้า ส่วนการจัดให้ขับส่งกำลังด้วยโซ่ที่ถูกต้องได้ดังรูปที่ 2.18



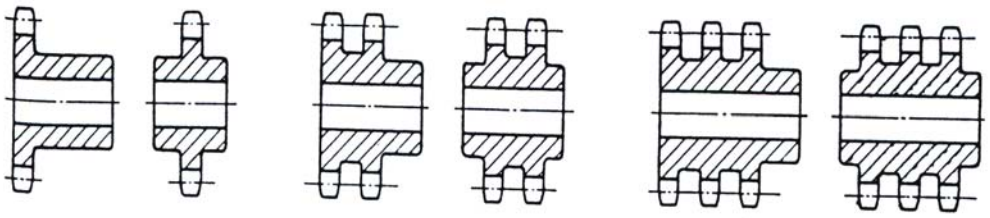
ก. ขนาดล้อโซ่ และขนาดโซ่



ข. การจัดให้โซ่ส่งกำลังได้ถูกต้อง

รูปที่ 2.18 ขนาดของล้อโซ่และการจัดให้โซ่ส่งกำลังได้ถูกต้อง
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ, 2544, หน้า 99)

2.7.1 ลักษณะรูปร่างของล้อโซ่ ล้อโซ่จะมีขนาดเล็กและโตแตกต่างกันโดยจะสัมพันธ์กับภาระที่ใช้งาน ดังนั้น ล้อโซ่จึงสามารถผลิตจากวัสดุและวิธีการต่างกัน เช่น ล้อโซ่ขนาดเล็กจะผลิตโดยการกลึงเหล็กกล้ารีดขึ้นรูป ส่วนล้อโซ่ขนาดโต ๆ จะขึ้นรูปด้วยการหล่อขึ้นรูป



ก. ล้อโซ่เส้นเดียว ข. ล้อโซ่สองเส้น ค. ล้อโซ่สามเส้น

รูปที่ 2.19 ล้อโซ่สำหรับโซ่เส้นเดียวและหลายเส้น
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ, 2544, หน้า 99)

2.7.2 จำนวนฟันโซ่และความเร็วโซ่ที่ใช้งาน โดยปกติฟันล้อโซ่จะเป็นจำนวนเลขคี่ สำหรับงานส่งกำลังด้วยโซ่จะมีเกณฑ์กำหนดสำหรับล้อโซ่ดังนี้

ล้อโซ่ตัวเล็ก :

z_1 = 9….11 ใช้กับความเร็วโซ่ (v) ต่ำกว่า 4 เมตรต่อวินาที

z_1 = 11….13 ใช้กับความเร็วโซ่ (v) ถึง 4 เมตรต่อวินาที เป็นโซ่ที่มีระยะพิตช์ ถึง 20 มิลลิเมตร และมีความยาวโซ่เกินกว่า 40 ข้อ ใช้งานในที่ไม่รับภาระมากนักและอายุการใช้งานน้อยกว่า 10,000 ชั่วโมง

z_1 = 14….16 ใช้กับความเร็วโซ่ (v) ถึง 7 เมตรต่อวินาที และรับภาระปานกลาง

z_1 = 17….25 ใช้กับความเร็วโซ่ (v) ถึง 24 เมตรต่อวินาที และรับภาระมาก

ล้อโซ่ตัวใหญ่ :

z_1 = 30….80 มีใช้งานทั่วไป

z_1 = …..120 เป็นล้อโซ่ที่มีจำนวนฟันมากสูงสุด

z_1 = …..150 ใช้งานในกรณีพิเศษ แต่ถ้าเป็นไปได้ให้หลีกเลี่ยง มิฉะนั้นจะเกิดการสึกหรอมากเมื่อมีอัตราทดมากขึ้น

โดยทั่วไปจะกำหนดให้อัตราทดของระบบโซ่ส่งกำลัง $i < 7$ หรือ $i = 10$ แต่ต้องใช้งานที่ความเร็วโซ่ต่ำ ส่วนจำนวนฟันล้อโซ่มาตรฐานที่นิยมใช้งานมีดังนี้

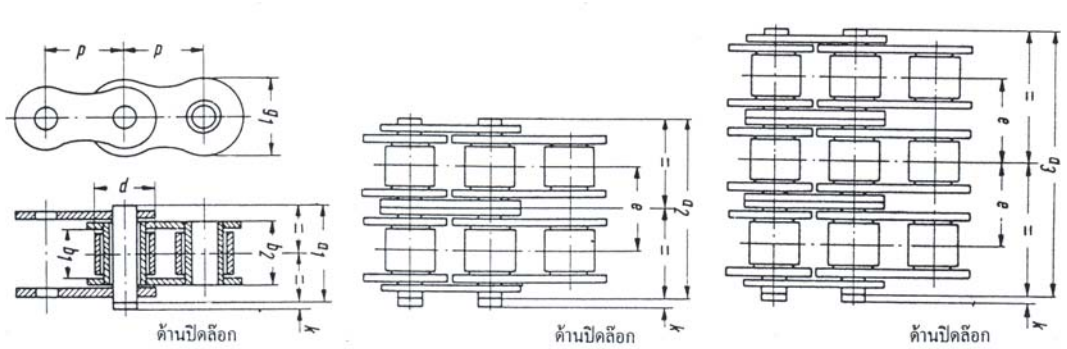
สำหรับล้อโซ่ขนาดเล็ก (13) (15) 17 19 21 23 25

สำหรับล้อโซ่ขนาดโต 38 57 76 95 114

จำนวนฟันที่อยู่ใน ( ) ถ้าเป็นไปได้ให้หลีกเลี่ยง

ข้อควรระวัง : การทดรอบส่งกำลังด้วยโซ่ให้เร็วขึ้นไม่เป็นการเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ควรหลีกเลี่ยง

ตารางที่ 2.4 ขนาดพิกัดของโซ่ลูกกลิ้ง ตามมาตรฐาน DIN 8187



นัมเบอร์โซ่ แถว 1	2	p	b_1 min.	b_2 max.	d_1 max.	e	g_1 max.	k max.	โซ่ลูกกลิ้งเส้นเดียว (1) a_1 max.	แรงโซ่ขาด N min.	พื้นที่ข้อต่อ cm^2	น้ำหนัก kg/m ≈	โซ่ลูกกลิ้ง 2 เส้น (2) a_2 max.	แรงโซ่ขาด N min.	พื้นที่ข้อต่อ cm^2	น้ำหนัก kg/m ≈	โซ่ลูกกลิ้ง 3 เส้น (3) a_3 max.	แรงโซ่ขาด N min.	พื้นที่ข้อต่อ cm^2	น้ำหนัก kg/m ≈
	03	5	2,5	4,15	3,2	-	4,1	2,5	7,4	2 000	0,06	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-
	04	6	2,8	4,1	4	-	5	2,9	7,4	3 000	0,07	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-
05 B		8	3	4,77	5	5,64	7,11	3,1	8,6	4 600	0,11	0,18	14,3	8 000	0,22	0,36	19,9	11 400	0,33	0,54
06 B		9,525	5,72	8,53	6,35	10,24	8,26	3,3	13,5	9 100	0,28	0,41	23,8	17 300	0,55	0,78	34	25 400	0,83	1,18
08 B		12,7	7,75	11,3	8,51	13,92	11,81	3,9	17	18 200	0,50	0,70	31	31 800	1,00	1,35	44,9	45 400	1,50	2,0
10 B		15,875	9,65	13,28	10,16	16,59	14,73	4,1	19,6	22 700	0,67	0,95	36,2	45 400	1,34	1,85	52,8	68 100	2,02	2,8
12 B		19,05	11,68	15,62	12,07	19,16	16,13	4,6	22,7	29 500	0,89	1,25	42,2	59 000	1,78	2,5	61,7	88 500	2,68	3,8
	16 B	25,4	17,02	25,45	15,88	31,88	21,08	5,4	36,1	58 000	2,10	2,7	68	110 000	4,21	5,4	99,9	165 000	6,32	8
	20 B	31,75	19,56	29,01	19,05	36,45	26,42	6,1	43,2	95 000	2,95	3,6	79,7	180 000	5,91	7,2	116,1	270 000	8,86	11
	24 B	38,1	25,4	37,92	25,4	48,36	33,4	6,6	53,4	170 000	5,54	6,7	101,8	324 000	11,09	13,5	150,2	485 000	16,64	21
	28 B	44,45	30,99	46,58	27,94	59,56	37,08	7,4	65,1	200 000	7,40	8,3	124,7	381 000	14,81	16,6	184,3	571 000	22,21	25
	32 B	50,8	30,99	45,57	29,21	58,55	42,29	7,9	67,4	260 000	8,11	10,5	126	495 000	16,23	21	184,5	743 000	24,34	32
	40 B	63,5	38,1	55,75	39,37	72,29	52,96	10,2	82,6	360 000	12,76	16	154,9	680 000	25,52	32	227,2	1 000 000	38,28	48
	48 B	76,2	45,72	70,56	48,26	91,21	63,88	10,5	99,1	560 000	20,63	25	190,4	1 000 000	41,26	50	281,6	1 600 000	61,89	75
	56 B	88,9	53,34	81,33	53,98	106,6	77,85	11,7	114,6	850 000	27,91	35	221,2	1 600 000	55,82	70	330	2 350 000	83,73	105
	64 B	101,6	60,96	92,02	63,5	119,98	90,17	13	130,9	1 100 000	36,25	60	250,8	2 100 000	72,5	120	370,7	3 100 000	108,75	180
	72 B	114,3	68,58	103,81	72,39	136,27	103,63	14,3	147,4	1 400 000	46,17	80	283,7	2 700 000	92,34	160	420	4 000 000	138,5	240

ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แสงห้าว และสุทิน จิตร์เจริญ, 2544, หน้า 108)

สัญลักษณ์ย่อของโซ่ลูกกลิ้งแบบเส้นเดียวตาม DIN 8187 นัมเบอร์ 16 B มี 92 ชิ้นว่า : โซ่ลูกกลิ้ง DIN 8187-16B-1 × 92

สัญลักษณ์ย่อของโซ่ลูกกลิ้งแบบสองเส้นตาม DIN 8187 นัมเบอร์ 08 B มี 120 ชิ้นว่า : โซ่ลูกกลิ้ง DIN 8187-08B-2-120

ผู้วิจัยเลือกใช้จำนวนฟันโซ่ของล้อโซ่ตัวเล็ก จำนวน 11 ฟัน ซึ่งใช้กับความเร็วโซ่ต่ำกว่า 4 เมตรต่อวินาที และจำนวนฟันโซ่ของล้อโซ่ตัวใหญ่ จำนวน 30 ฟัน ซึ่งมีใช้งานทั่ว ๆ ไป

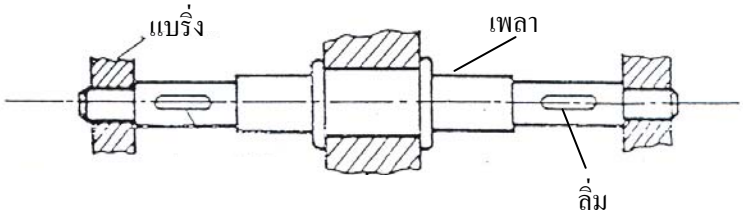
2.8 เพลา เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่หมุนได้เพลาจะรับโมเมนต์บิดที่ถ่ายภาระมาจากล้อเฟือง ล้อสายพานหรือคลัตช์ เพลาจึงสามารถรับภาระบิดและภาระดัดจึงมีการแบ่งเพลาออกเป็นแบบเกร็ง แบบข้อต่อและแบบตัดได้ (บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์, 2530)

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่หมุนหรือไม่หมุน ซึ่งลักษณะทั่ว ๆ ไปจะมีหน้าตัดกลมบนเพลาจะมีส่วนอื่น ๆ ประกอบอยู่เช่น เฟือง ล้อสายพาน มูเล่ ข้อเหวี่ยง จานโซ่ และชิ้นส่วนสำหรับการส่งกำลังอื่น ๆ เพลาอาจจะต้องรองรับภาระต่าง ๆ ได้แก่ ภาระในการดัด ภาระในการดึง ภาระในการอัด หรือภาระในการบิด ซึ่งภาระเหล่านี้อาจจะกระทำเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว หรือกระทำพร้อม ๆ กัน ในขณะเดียวกัน ในการออกแบบเพลาสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือความแข็งแรงสถิตย์ และความแข็งแรงทางด้านความล้า และเพลาอันหนึ่งอาจจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่คงที่ ความเค้นแบบสลับในเวลาเดียวกันได้

ในการออกแบบเพลาจะต้องรักษาระยะโก่งของเพลาให้อยู่ในตัวของเขตที่กำหนด ในการให้ขนาดเพลานั้นจะพิจารณาถึงระยะโก่งก่อน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้น เหตุผลก็เพราะว่าถ้าเพลาที่ทำมามีความแข็งแกร่ง พอที่จะไม่ให้เกิดระยะโก่งมากแล้ว ความเค้นที่เกิดขึ้นก็จะอยู่ในช่วงที่มีความปลอดภัยแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าผู้ออกแบบจะสมมติว่ามีความปลอดภัยแล้วเสมอไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการคำนวณตรวจสอบเพื่อให้รู้ว่าการออกแบบนั้นมีความถูกต้องอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้จริง ๆ

เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องมือกล ที่มีความสำคัญของระบบการส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลาอยู่ในรูปของโมเมนต์ แรงบิด (torque) ในการส่งผ่านกำลังระหว่างเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่ง จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น เฟือง โซ่ สายพาน ฯลฯ ดังนั้นจึงเกิดแรงเนื่องจากการขบกันของเฟือง แรงเนื่องจากแรงฉุดของโซ่หรือแรงดึงของสายพานมากระทำต่อเพลาอันเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ดัด (bending moments) ขึ้นบนเพลาและบางกรณีอาจมีแรงกระทำตามแนวแกนของเพลาด้วย ดังนั้นขณะที่เพลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลัง เพลาจะรับทั้งโมเมนต์ดัดพร้อม ๆ กัน ดังรูปที่ 2.20

ผู้วิจัยเลือกใช้เพลาที่ทำจากเหล็ก St 37 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 700 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเหล็กราคาถูกหาซื้อได้ง่ายมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรับภาระ



รูปที่ 2.20 แสดงรูปร่างลักษณะของเพลา
ที่มา (บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์, 2530, หน้า 156)

โดยปกติทั่วไป รูปหน้าตัดของเพลาจะเป็นวงกลม ขนาดไม่เท่ากัน แต่จะตกบ่าเป็นขั้น ๆ บางตำแหน่งจะมีร่องลิ่ม เพื่อใช้ในการติดตั้งมู่เลย์ เฟือง แบริ่ง หรือชิ้นส่วนอื่น ๆ เพลาที่ใช้โดยทั่วไปจะมีทั้งเพลากลวง และเพลาตัน

สำหรับวัสดุที่ใช้ทำเพลาส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กเหนียว (steel) เช่น St 50, St 60 หรือ St 70 ในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงสูง ๆ และคงทนต่อการใช้งานมาก ๆ อาจใช้พวกเหล็กผสม (alloy steel)

การออกแบบคำนวณหาขนาดของเพลา

ในการออกแบบหาขนาดของเพลา จะต้องพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ คือ

1. กำลังงานและภาระที่ใช้เพลาส่งกำลัง

2. ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา รวมทั้งรูปร่าง ขนาด วัสดุ และผิวงานสำเร็จ ซึ่งจะเป็นสาเหตุในการเกิด stress concentration ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลา

3. ความแกร่ง หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพลาเมื่อได้รับภาระ

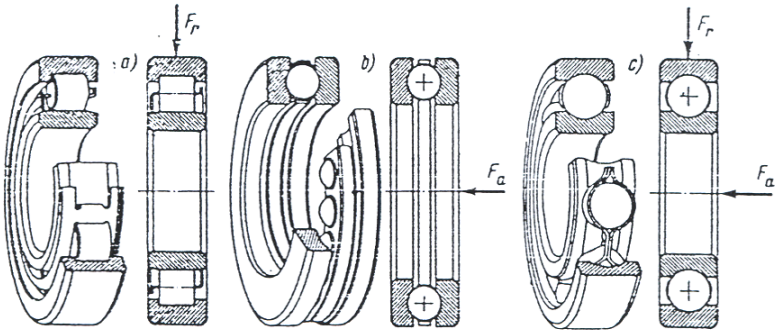
4. ความเร็วรอบวิกฤต หมายถึง การสั่นตัวของเพลา อันเป็นผลต่อเนื่องมาจากการแอ่นตัว

ในการออกแบบขนาดของเพลา สำหรับงานปกติทั่วไป จะพิจารณาเฉพาะกำลังงาน ภาระ และคำนวณตรวจความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยเพียงพอ สำหรับงานพิเศษในบางกรณี จึงจะพิจารณาถึงความแกร่ง และการสั่นตัวของเพลา

2.9 แบริ่งลูกปืน ใช้สำหรับรองรับเพลา โครงสร้างของแบริ่งประกอบด้วยแหวนนอก แหวนในและจะมีลูกปืนเป็นตัวลดความเสียดทานลักษณะเป็นลูกทรงกลม หรือทรงกระบอก ลูกปืนจะวิ่งอยู่บนทางวิ่งของแหวนนอกและแหวนใน โดยมีกรอบบังคับระยะห่างระหว่างลูกปืนแต่ละลูกความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับแบริ่ง ลูกปืนจะเป็นแบบ Rolling Friction จึงมีความเสียดทาน

น้อยกว่าแบริ่งปลอกประมาณ 25 – 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้กำลังงานสูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานน้อย นอกจากนี้การเยื้องศูนย์ของเพลาและตัวแบริ่งมีน้อย เนื่องจากมีระยะคลอนน้อย การบำรุงรักษาและการหล่อลื่นทำได้ง่าย การผลิตแบริ่งลูกปืนจะเป็นมาตรฐานเหมือน ๆ กัน ดังนั้นการถอดเปลี่ยนอะไหล่จึงทำได้ทุกเวลาและสถานที่

สำหรับข้อเสียของแบริ่งลูกปืนก็คือ ทนต่อแรงกระแทกไม่ดี ขณะใช้งานจะมีเสียงดังกว่าแบริ่งปลอก และยังจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนไว้ใช้ยึดจับตัวแบริ่ง การถอดประกอบจึงยุ่งยาก



ก. ข. ค.

รูป ก. Cylindrical Roller bearing ใช้รับแรงในแนวรัศมี

รูป ข. Ball Thrust bearing ใช้รับแรงในแนวแกน

รูป ค. Deep Groove ball bearing ใช้รับแรงในแนวแกน และแรงในแนวรัศมี

รูปที่ 2.21 แบริ่งลูกปืนสำหรับแรงในแนวต่าง ๆ
ที่มา (บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์, 2530, หน้า 218)

ประสิทธิภาพในการรับภาระและอายุการใช้งานของแบริ่งลูกปืน

จากรูปที่ 2.21 แรง Fr หมายถึงแรงที่กระทำต่อแบริ่งในแนวรัศมี หรือแนวแกนอย่างเดียวบางตัวอาจใช้รับแรงทั้งสองพร้อมกัน ในการคำนวณจะใช้แรงเปรียบเทียบ F (equivalent load) ค่าแรงเปรียบเทียบ F จะถือว่ากระทำในแนวรัศมี และแรงเปรียบเทียบ F นี้ ต้องมีผลการกระทำเช่นเดียวกับแรงในแกนและแนวรัศมีมากระทำต่อแบริ่ง ในขณะที่แบริ่งลูกใช้งานภาระที่เกิดขึ้นจะเป็น 2 ชนิด คือ ภาระสถิตย์ ซึ่งมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้นได้ และภาระพลวัต เกิดขึ้นขณะที่หมุนซึ่งมีผลให้วัสดุเกิดการล้าตัว

องค์ประกอบอื่นที่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบริ่ง

อายุการใช้งานประเมินของแบริ่งลูกกลิ้ง ขึ้นอยู่กับสภาพการประยุกต์ใช้งาน เช่น การหล่อลื่นที่เหมาะสม การเยื้องแนวมีน้อยที่สุด และการพิจารณาถึงระยะเผื่อระหว่างแบริ่งกับเพลา พึงระลึกไว้เสมอว่า อายุการใช้งานของแบริ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก หากว่าระบบการหล่อลื่นแบริ่งอยู่ในขั้นดีมาก

ตารางที่ 2.5 เบอร์แบริ่งลูกปืน

ที่มา (NSK Ltd, 1996, p. B8)

ตารางที่ 2.6 อายุการใช้งานของแบริ่ง

ลักษณะงาน	จำนวนชั่วโมง	ลักษณะงาน	จำนวนชั่วโมง
อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน	1,000 – 2,000	แบริ่งเพลาเรือ	80,000
พัดลมขนาดเล็ก	2,000 – 4,000	แบริ่งเฟืองส่งกำลังในเรือ	20,000 – 30,000
มอเตอร์ขนาดเล็กถึง 4 kw	8,000 – 10,000	แบริ่งเครื่องกลการเกษตร	3,000 – 6,000
มอเตอร์ขนาดกลาง	10,000 – 15,000	เครื่องยกของเล็ก	5,000 – 10,000
มอเตอร์ขนาดใหญ่ติดตั้งอยู่กับที่	20,000 – 30,000	ชุดเฟืองทด	8,000 – 15,000
มอเตอร์ขนาดใหญ่	50,000 ขึ้นไป	ชุดเฟืองเครื่องมือกล	20,000
มอเตอร์ขนาดเล็ก	600 – 1200	เครื่องช่วยงานผลิต	7,500 – 15,000
รถยนต์, รถบรรทุกเล็ก	1,500 – 2,500	เครื่องรีดขนาดใหญ่	8,000 – 10,000
รถบรรทุกใหญ่, รถบัส	2,000 – 5,000	เครื่องเลื่อย	1,000 – 15,000
เพลารถรางขนวัสดุ	5,000	เครื่องเจาะหิน (ในเหมือง)	4,000 – 10,000
เพลารถรางโดยสาร	2,000 – 25,000	พัดลมขนาดใหญ่ ๆ	40,000 – 50,000
เพลารถไฟโดยสาร	25,000	รอกสำหรับงานหนัก	40000 – 60000
เพลารถไฟขนสินค้า	35,000	เครื่องทำกระดาษ	50,000 – 80,000
ตัวรถจักร	20,000 – 40,000		หรือมากกว่า
งานสร้างเรือ	3,000 – 5,000	เครื่องย่อยหิน	20,000 – 30,000
เรือกลไฟใช้ใบจักร	15,000 – 25,000	เครื่องทำอิฐ	20,000 – 30,000

ที่มา (บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์, 2530, หน้า 137)

ตารางที่ 2.7 ค่าความเร็วคงที่ของลูกปืนชนิดต่าง ๆ

ชนิดของลูกปืน		N รอบ / นาที
Deep groove ball bearing	แถวเดียว	500,000
	แถวเดียว (มีแผ่นกันรั่ว)	360,000
	สองแถว	300,000
Angular contact bearing	(แหวนใดแหวนหนึ่งมีบ่าข้างเดียว)	500,000
Angular contact bearing	**แถวเดียว**	500,000
	แถวเดียว ประกอบเป็นคู่	400,000
	สองแถว	360,000
Duplex bearing		400,000
Self aligning ball bearing		500,000

ตารางที่ 2.7 ค่าความเร็วคงที่ของลูกปืนชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

ชนิดของลูกปืน		N รอบ / นาที
Self aligning ball bearing	(แหวนในกว้าง)	250,000
Cylindied roller bearing	แถวเดียว	500,000
	สองแถว	300,000
Needle bearing	แถวเดียว	200,000
	สองแถว	300,000
Taper Roller bearing		220,000
Tonne bearing		220,000
Self aligning Roller bearing	อนุกรมที่ 2.13	220,000
	อนุกรมที่ 222, 223	320,000
	อื่น ๆ	250,000

ที่มา (บรรเลง ศรนิล และกิตติ นิงสานนท์, 2530, หน้า 239)

ผู้วิจัยเลือกใช้แบริ่งลูกปืนเบอร์ 6002 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร มีอายุการใช้งานลักษณะงานมอเตอร์ขนาดเล็ก มีจำนวนชั่วโมง 8,000 – 10,000 ชั่วโมง ชนิดลูกปืน Deep groove ball bearing แถวเดียว 500,000 รอบต่อนาที

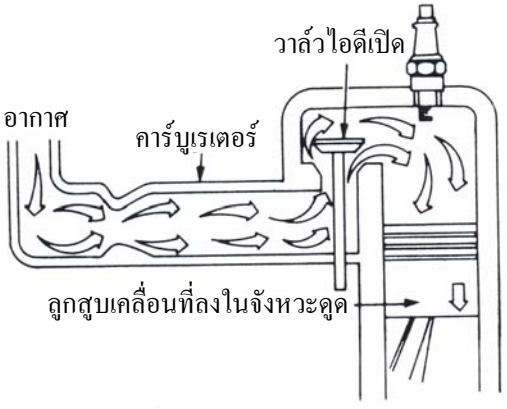
2.10 คาร์บูเรเตอร์ ในการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน น้ำมันเชื้อเพลิงแต่เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถที่จะทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ จำเป็นจะต้องมีออกซิเจนจากอากาศ เป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ นั่นก็คือจะต้องจัดให้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ผสมกับอากาศเสียก่อน ที่จะถูกส่งเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ การผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ จะต้องคลุกเคล้ากันอย่างทั่วถึง อัตราส่วนผสมจะต้องเป็นไปอย่างถูกต้องพอเหมาะกับความเร็วและภาระที่เปลี่ยนแปลงไปของเครื่องยนต์ นอกจากนั้นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศดังกล่าว จะต้องถูกทำให้เป็นฝอยละเอียดเสียก่อน เพื่อง่ายต่อการเผาไหม้ ก่อนที่จะถูกส่งเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ (ประณต กุลประสูตร, 2533)

จากเหตุผลดังกล่าวจึงจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว ซึ่งเรียกว่า คาร์บูเรเตอร์ ดังรูปที่ 2.22 ดังนั้นจึงพอที่จะสรุปได้ว่าคาร์บูเรเตอร์ก็คือ อุปกรณ์ที่ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศให้ได้สัดส่วนที่พอเหมาะ ก่อนที่ส่วนผสมนี้ จะถูกส่งเข้าไปทำการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.10.1 หลักการของคาร์บูเรเตอร์ คาร์บูเรเตอร์จะทำงานโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อคาร์บูเรเตอร์ในขณะที่อากาศเคลื่อนตัวผ่าน อันจะทำให้เกิดการดูดน้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องลูกลอยเข้าผสมกับอากาศก่อนที่จะถูกส่งเข้าไปทำการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ จากการออกแบบท่อคาร์บูเรเตอร์ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงบริเวณปลายท่อน้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องลูกลอย จะมีผลทำให้อากาศที่เคลื่อนตัวผ่านบริเวณดังกล่าวมีความดันลดลง (ความเร็วของกระแสอากาศเพิ่มขึ้น) อย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดสูญญากาศหรือแรงดูด ดูดเอาน้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องลูกลอยเข้ามาผสมกับอากาศแล้วส่งเข้าเครื่อง แต่ผลจากการทดลองปรากฏว่า การกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกดูดออกมายังไม่ดีพอ ทำให้การผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ทั่วถึง จึงเป็นผลทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกดูดออกมา มีการกระจายตัวดีขึ้น จึงได้มีการเจาะช่องอากาศ (air bleed) บริเวณคอคอด เข้ากับท่อน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อให้อากาศอีกส่วนหนึ่งเข้าไปผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อ มีผลทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกดูดออกทางปลายท่อ มีการกระจายตัวดีขึ้นจึงทำให้การผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศดีขึ้น และการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

ในจังหวะดูดของเครื่องยนต์ ลูกสูบเคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็วและวาล์วไอดีเปิดออก การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วนี้ก่อให้เกิดสูญญากาศขึ้นภายในกระบอกสูบ และสิ่งนี้ทำให้ไอดีถูกดูดเข้ากระบอกสูบ

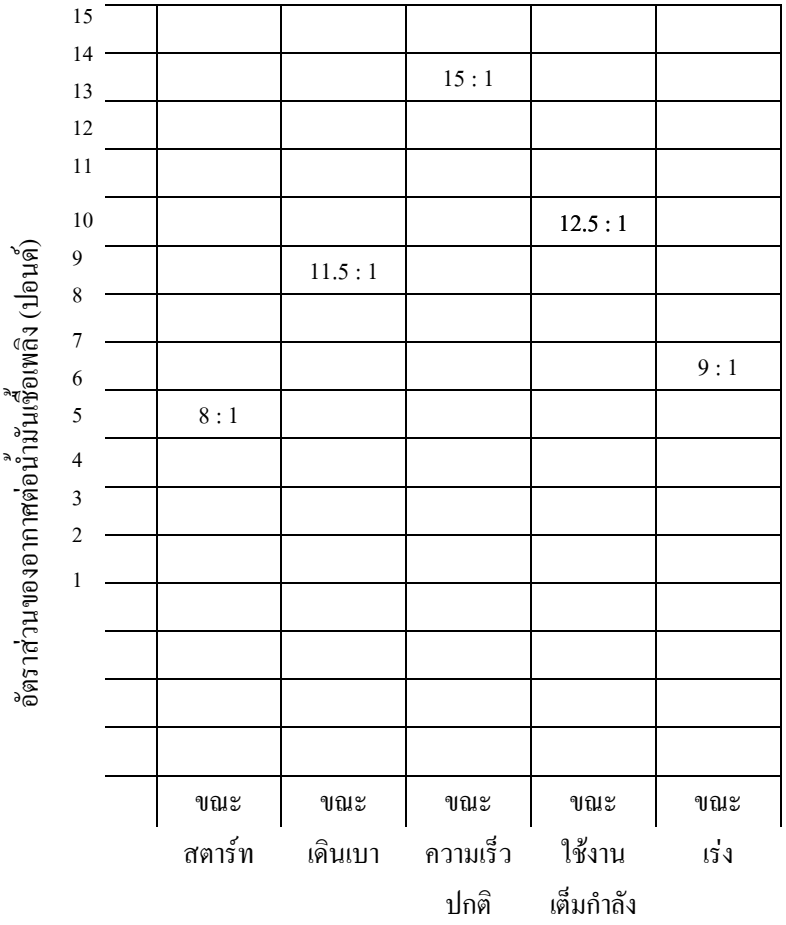
คาร์บูเรเตอร์จะทำหน้าที่ผสมอากาศเข้ากับน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่เหมาะสมก่อนถูกดูดเข้ากระบอกสูบ คาร์บูเรเตอร์ติดตั้งอยู่กับเครื่องยนต์ใกล้วาล์วไอดี และมีลักษณะคล้ายกับท่อตามแสดงในรูปที่ 2.22 ปลายข้างหนึ่งของท่อนี้เปิดออก เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงในจังหวะดูด อากาศจะถูกดูดเข้าท่อตรงปลายเปิด และไหลเข้ากระบอกสูบโดยผ่านทางวาล์วไอดี



รูปที่ 2.22 คาร์บูเรเตอร์

ที่มา (เจย์ เวยสเตอร์ และธีรยุทธ สุวรรณประทีป, 2541, หน้า 111)

2.10.2 อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทั่วไปอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ จะมีค่าระหว่าง 8 : 1 ถึง 15 : 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความหมายว่าจะต้องใช้อากาศ 8 ถึง 15 ปอนด์ต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ปอนด์ หรืออากาศ 8 ถึง 15 กิโลกรัมต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ดังรูปที่ 2.23 หรือถ้าคิดเทียบเป็นปริมาตรก็จะได้อากาศประมาณตั้งแต่ 4,800 ถึง 9,000 ลูกบาศก์ฟุต ต่อน้ำมันเชื้อเพลิงเพียง 1 ลูกบาศก์ฟุต หรืออากาศ 4,800 ถึง 9,000 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นคาร์บูเรเตอร์จึงจำเป็นที่จะต้องมีส่วนประกอบมากมาย และระบบต่าง ๆ ที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก เพื่อที่จะสามารถทำงานได้บรรลุตามเป้าหมาย และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียด จึงต้องการการปรับแต่งอย่างประณีต และการบำรุงรักษาอย่างใกล้ชิด



รูปที่ 2.23 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 131)

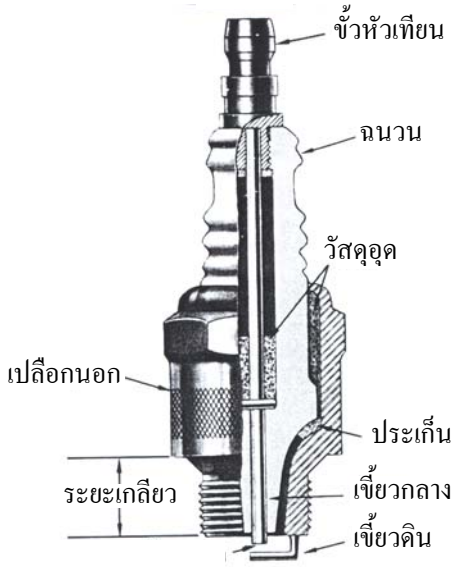
คาร์บูเรเตอร์ที่นำมาใช้กับรถตัดหญ้าเครื่องนี้เป็นคาร์บูเรเตอร์แบบลูกลอย และเป็นคาร์บูเรเตอร์ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์นั่นเอง

2.11 หัวเทียน หัวเทียนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบจุดระเบิด ใช้ทำหน้าที่จุดส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การใช้หัวเทียนที่ถูกต้อง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ได้อย่างมหาศาล ทำให้เกิดการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้ด้วย (ประณต กุลประสูตร, 2542)

2.11.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ หัวเทียนจะประกอบด้วย ตัวนำไฟฟ้า 2 ตัวที่เรียกว่า เขี้ยวหัวเทียน (electrodes) เขี้ยวกลาง (center electrode) ของหัวเทียนมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมี่ยม แมงกานีสและซิลิคอน สำหรับหัวเทียนแบบพิเศษ เขี้ยวกลางจะมีทั้งชนิดที่ทำด้วยเงิน (silver) และทองคำขาว (platinum) เขี้ยวกลางที่ทำจากโลหะทั้งสองชนิดนี้ จะมีคุณสมบัติในการนำความร้อน และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าแบบแรกมาก เขี้ยวกลางจะหุ้มด้วยฉนวน ซึ่งส่วนใหญ่จะทำจากกระเบื้องชนิดทนความร้อนสูง จากนั้นเปลือกนอก (outer shell) จะหุ้มห่อด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ระหว่างฉนวนกับเปลือกนอก จะถูกคั่นไว้ด้วยปะเก็น (gasket) เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการระบายความร้อนจากเขี้ยวของหัวเทียน ไปสู่ระบบระบายความร้อน หัวเทียนบางแบบไม่ใช้ปะเก็น ดังนั้นระหว่างเขี้ยวกับฉนวนและระหว่างฉนวนกับเปลือกนอก จะถูกทำให้ติดแน่นด้วยกาว เปลือกนอกของหัวเทียนจะทำด้วยโลหะ ส่วนบนทำเป็นหกเหลี่ยมสำหรับใช้ประแจขัน ส่วนล่างจะทำเป็นเกลียวสำหรับขันเข้าไปในรูของหัวเทียนที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ เขี้ยวดิน (ground electrode) จะต่อยื่นออกจากเปลือกส่วนล่าง และโค้งเข้าหาเขี้ยวกลางโดยมีช่องว่างระหว่างกัน เขี้ยวดินส่วนใหญ่ จะทำจากโลหะผสมนิกเกิลกับโครเมี่ยม ปลายด้านบนของเขี้ยวกลางจะต่อเข้ากับสกรูที่ขันเกลียวเข้ากับส่วนบนของฉนวน ปลายขั้วด้านนี้จะต่อเข้ากับสายไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด

หัวเทียนจะรับไฟฟ้าแรงดันสูงจากแมกนีโต และทำหน้าที่ให้ประกายไฟฟ้าเพื่อจุดระเบิดเผาไหม้ไอดี ส่วนประกอบภายนอกของหัวเทียนแสดงตามรูปที่ 2.24 ส่วนบนของหัวเทียนจะมีขั้วต่อสำหรับต่อกับสายหัวเทียน และขั้วต่อของหัวเทียนจะต่อกับขั้วกลาง ซึ่งเป็นแกนกลางของหัวเทียน

ไฟฟ้าแรงดันสูงต้องไม่มีการรั่วไหล ดังนั้นจึงต้องใช้ฉนวนหุ้มโดยรอบบริเวณขั้วกลางของหัวเทียน ส่วนล่างของหัวเทียนเป็นโลหะ เรียกว่าเปลือกส่วนปลายของเปลือกมีเกลียวสำหรับขันเข้าไปในฝาสูบ เปลือกส่วนบนมีลักษณะเป็นหกเหลี่ยมสำหรับใช้ประแจขันและคลายหัวเทียน



รูปที่ 2.24 หัวเทียน
ที่มา (บุญธรรม ภัทราจารุกุล และประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2541, หน้า 145)

2.11.2 คุณสมบัติของหัวเทียน

หัวเทียนที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) ต้องรับความดันได้สูง 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

2) ต้องทนอุณหภูมิได้สูง 2,500 องศาเซลเซียส (4,500 องศาฟาเรนไฮต์)

3) ต้องสามารถทนทานต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง ๆ ได้

4) ต้องสามารถทนต่อการสั่นสะเทือนจากชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ได้ดี

5) ต้องสามารถปรับสภาพให้รับกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันได้เป็นอย่างดี

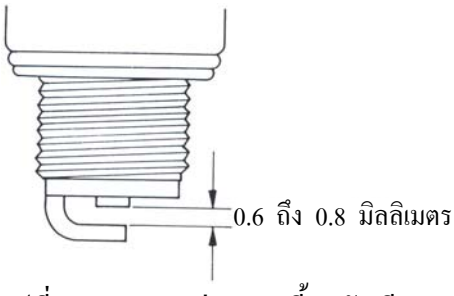
6) ต้องทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี

7) ต้องมีการจุดประกายไฟที่แน่นอนในทุกสภาวะของการทำงานของเครื่องยนต์

8) ต้องป้องกันการรั่วไหลภายใต้ความกดดันสูง ๆ ได้

9) ต้องให้ค่าความร้อนที่ถูกต้อง

10) ต้องมีอายุการใช้งานยาวนาน

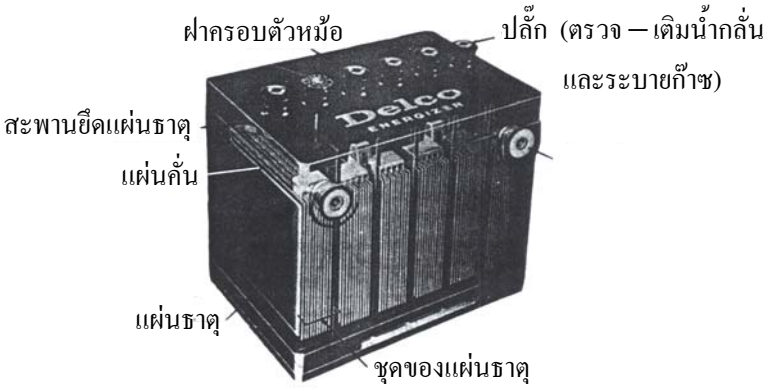


รูปที่ 2.25 ระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน
ที่มา (บุญธรรม ภัทราจารุกุล และประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2541, หน้า 152)

ผู้วิจัยเลือกใช้หัวเทียนยี่ห้อ Champion J&C เป็นแบบเกลียวสั้น ซึ่งมีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ขนาด 3.5 แรงม้า

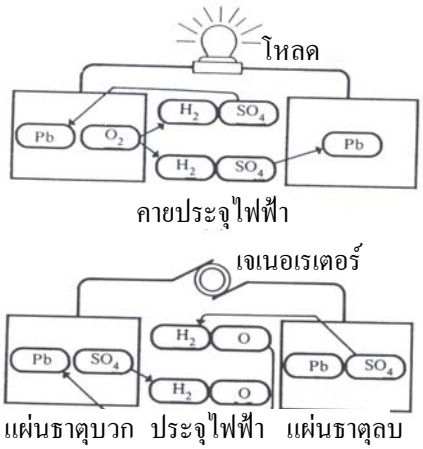
2.12 แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สะสมพลังงานและจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในรถยนต์ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากที่สุดในรถยนต์ เพราะว่าถ้าไม่มีแบตเตอรี่รถยนต์ก็ไม่สามารถที่จะวิ่งได้ หรือแบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ ก็จะทำให้รถยนต์คันนั้น ๆ ไม่อยู่ในสภาพที่จะใช้งานได้อย่างสะดวกสบายและมีประสิทธิภาพ เพราะฉะนั้นการบำรุงรักษาและดูแลแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์จึงต้องกระทำอย่างถูกวิธี แบตเตอรี่จึงจะมีอายุการใช้งานได้ยาวนาน (ประณต กุลประสูตร, 2538)

แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์จะเป็นแบตเตอรี่แบบเปียก ประเภทตะกั่ว-กรด คือ เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานไปจนไฟหมดก็จะสามารถนำมาทำการประจุไฟเข้าใหม่ได้ แล้วนำมาใช้จ่ายพลังงานได้อีกจนกว่าแผ่นธาตุจะหมดอายุการใช้งาน ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แบตเตอรี่
ที่มา (บุญธรรม ภัทราจารุกุล และประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2541, หน้า 155)

$$PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4 \rightarrow PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb$$



รูปที่ 2.27 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่
ที่มา (บุญธรรม ภัทราจารุกุล และประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2541, หน้า 59)

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์ละ 2.1 โวล์เท่านั้น แต่กระแสไฟฟ้าหรือความจุจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นธาตุในเซลล์นั้น ๆ ก็คือ ถ้ามีจำนวนแผ่นธาตุมากและขนาดใหญ่ ก็จะได้กระแสไฟฟ้าหรือความจุมากแบตเตอรี่ก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย

ความจุของแบตเตอรี่ (battery ratings) คือ จำนวนปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปได้ในระยะเวลาที่กำหนดไว้แน่นอน

การวัดความจุของแบตเตอรี่โดยทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 3 วิธีคือ

1. วิธีการ Cranking โดยการให้แบตเตอรี่ได้จ่ายกระแสไฟฟ้าจำนวนมากออกมาในขีดที่จำกัดเป็นเวลา 30 วินาที ภายใต้การควบคุมการทดสอบว่าแบตเตอรี่จะเหลือความจุเท่าไร (ใช้ทดสอบกับการหมุนมอเตอร์สตาร์ทเครื่องยนต์)

2. อัตรา 20 ชั่วโมง โดยการให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟออกมาในจำนวนแอมแปร์ที่แน่นอนเป็นเวลา 20 ชั่วโมง จนกระทั่งแรงเคลื่อนที่วัดได้ตกลงถึง 10.5 โวล์ อัตราความจุจะเป็นแอมแปร์ – ชั่วโมง

3. อัตราความจุสำรองของแบตเตอรี่ โดยการดูว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟไปได้ตามปกติติดต่อกันยาวนานเพียงไร ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของรถยนต์ เมื่อระบบไฟชาร์จเกิดบกพร่องไม่สามารถประจุไฟหรือชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ได้

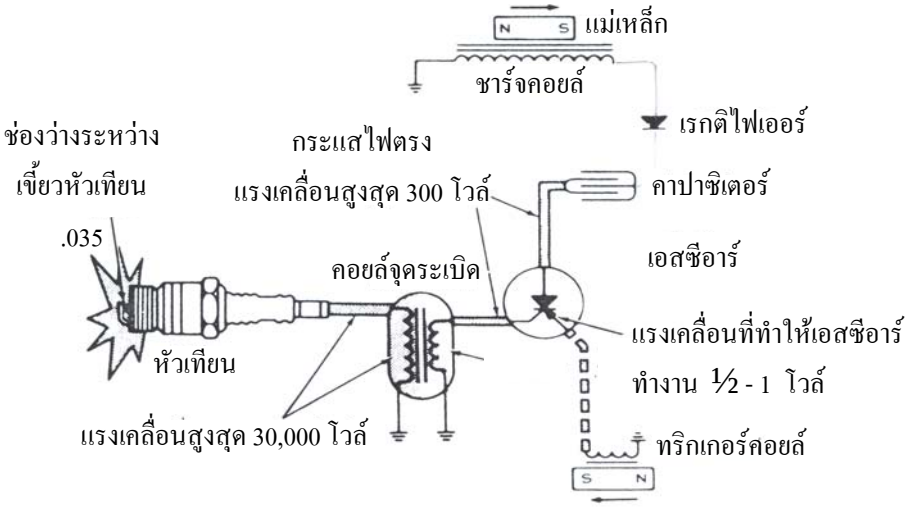
ผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวล์ มีกระแสไฟ 5 แอมป์ จำนวน 2 ลูก

2.13 ระบบจุดระเบิด เครื่องยนต์ให้กำลังออกมาได้เนื่องจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ แล้วดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไอดีเริ่มมีการเผาไหม้เมื่อเกิดประกายไฟ ซึ่งมาจากระบบหนึ่งในเครื่องยนต์ที่เรียกว่า ระบบจุดระเบิด

การทำงานของระบบจุดระเบิดแบบซีดีไอ

จังหวะในการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบนี้ จำแนกออกได้เป็น 2 จังหวะคือ จังหวะประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่คาปาซิเตอร์ กับจังหวะที่คาปาซิเตอร์จ่ายกระแสไฟให้กับคอยล์จุดระเบิด อันจะเป็นผลทำให้เกิดไฟแรงสูงในคอยล์จุดระเบิด (ประณต กุลประสูตร, 2542)

จังหวะการประจุกระแสไฟเข้าสู่คาปาซิเตอร์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ แม่เหล็กถาวรที่ฝังอยู่กับล้อช่วยแรงเคลื่อนที่ผ่านชาร์จคอยล์ ดังรูปที่ 2.28 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กชุดนี้ จะตัดเข้ากับเส้นลวดตัวนำของชาร์จคอยล์ ทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำไหลขึ้นภายในขดลวดนี้ กระแสที่เกิดขึ้นดังกล่าวเป็นกระแสไฟสลับ แต่เมื่อผ่านเข้าไปในชุดไดโอดเรกติไฟเออร์แล้ว จะถูกเรียงให้เป็นกระแสไฟตรง จากนั้นจึงประจุเข้าไปในคาปาซิเตอร์ และเนื่องจากชุดไดโอดเรกติไฟเออร์จะยอมให้กระแสไหลผ่านทางเดียว ดังนั้นคาปาซิเตอร์จึงไม่สามารถคลายประจุ ปล่อยให้กระแสไหลย้อนกลับทางได้ในขณะเดียวกันเอสซีอาร์ก็จะปิดกั้นทางเดิน มิให้กระแสจากคาปาซิเตอร์ไหลเข้าสู่คอยล์จุดระเบิดได้ ดังนั้นในจังหวะนี้ จึงยังไม่มีไฟแรงสูงเกิดขึ้นภายในคอยล์จุดระเบิดของเครื่องยนต์



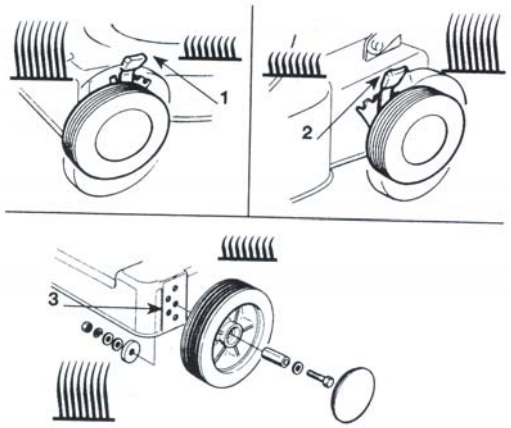
รูปที่ 2.28 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบซีดีไอ
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 214 – 215)

จังหวะต่อไปนี้จะสืบเนื่องมาจากจังหวะแรก เมื่อแม่เหล็กถาวรชุดดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านทริกเกอร์คอยล์ ดังรูปที่ 2.28 ก็จะทำให้เกิดกระแสไหลในเส้นลวดตัวนำของทริกเกรอ์คอยล์ด้วยเช่นเดียวกัน กระแสดังกล่าวนี้ จะถูกส่งผ่านตัวต้านทานเข้าสู่เอสซีอาร์ กระตุ้นให้เอสซีอาร์เปิดทางให้กระแสจากคาปาซิเตอร์ไหลผ่านเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดลงดินครบวงจร จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดดังกล่าว สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะตัดกับขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดไฟแรงสูงขึ้นภายในขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด ส่งไปยังหัวเทียน ทำให้เกิดประกายไฟระหว่างเขี้ยวหัวเทียน จุดส่วนผสมให้เกิดการเผาไหม้ต่อไป

2.14 ล้อขับเคลื่อน ล้อขับเคลื่อนเป็นชิ้นส่วนที่รองรับน้ำหนักของรถตัดหญ้าทั้งหมดและยึดติดอยู่กับเพลาล้อ ทำการหมุนขับเคลื่อนเพื่อให้รถตัดหญ้าเคลื่อนที่ตามความต้องการของผู้ควบคุม โดยได้รับกำลังมาจากมอเตอร์ส่งผ่านโซ่ และล้อโซ่ แล้วนำมาขับเคลื่อนเพลาอีกทีหนึ่ง

โครงสร้างของล้อ (wheel construction) ล้อประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ สองส่วน คือ ส่วนที่เป็นขอบ (rim) และส่วนตรงกลาง (center member) ส่วนตรงกลางนี้เรียกว่าจาน (disc) หรือสไปเดอร์ (spider) ขอบล้อทำหน้าที่รองรับยางและจานหรือสไปเดอร์ ทำหน้าที่ต่อรถกับขอบล้อ

ตามปกติล้อจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบตรงกลางต่ำ (drop center) กับแบบตรงกลางกึ่งต่ำ (semidrop center) แบบตรงกลางต่ำนิยมใช้กับรถเกือบทุกชนิด และรถบรรทุกขนาดกลาง ส่วนแบบตรงกลางกึ่งต่ำ มีใช้ในวงจำกัดเช่นรถบรรทุกขนาดหนัก ล้อแบบนี้มีวงแหวนทางด้านนอก ซึ่งถอดได้เพื่อความสะดวกในการติดตั้งและบรรจุแรงดันลมในยางได้สูง ยางที่มีผ้าใบเกิน 6 ชั้น ตรงขอบยาง (bead) จะมีความแข็งมาก และยากในการยึดติดตั้งกับล้อที่ทำเป็นชิ้นเดียวโดยไม่ทำให้ขอบยางชำรุด



รูปที่ 2.29 ล้อที่จับยึดเข้ากับเพลา

การยึดล้อเข้ากับดุมล้อ ล้ออาจจะยึดติดกับดุมล้อโดยสลัก (lug bolts) ซึ่งสอดผ่านรูที่ล้อและขันเข้ากับดุมล้อ หรือโดยสตัด (studs) ที่ยื่นออกมาจากดุมล้อแล้วใช้นัตหมุนเข้าไปในสตัด

รถบางแบบใช้เกลียวซ้าย (นัตหรือสลักหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อขันแน่น) ทางล้อซ้าย และใช้เกลียวขวา (หมุนตามเข็มนาฬิกาเพื่อขันแน่น) ทางล้อขวา รถส่วนมากใช้เกลียวขวาทั้งสองด้าน

ข้อควรระวัง เมื่อใส่ล้อและยางกลับเข้าที่ (หลังจากถอดล้อออก) ต้องขันนัตหรือสลักให้แน่นเพื่อป้องกันล้อหลุดในขณะใช้งาน

2.15 ใบมีดตัดหญ้า ใบมีดตัดหญ้าดังรูปที่ 2.30 เป็นใบมีดที่ทำจากเหล็กกล้าเป็นแผ่นบางทำให้มีความคม และยึดติดกับปลายเพลาข้อเหวี่ยงด้วยนัต ทางส่วนล่างของเครื่องยนต์ การทำงานของเครื่องยนต์จะอยู่ระหว่าง 600 – 3,000 รอบต่อนาที ขึ้นอยู่กับภาระของใบมีดที่ได้รับหรือตามอัตราการเร่งเครื่องยนต์ของผู้ควบคุมการตัดหญ้า การหมุนด้วยความเร็วเพื่อใช้ความเร็วและความคมของใบมีด ไปตัดหญ้านั่นเอง (มานพ ตันตระบัณฑิตย์ และสำลี แสงห้าว, 2537)

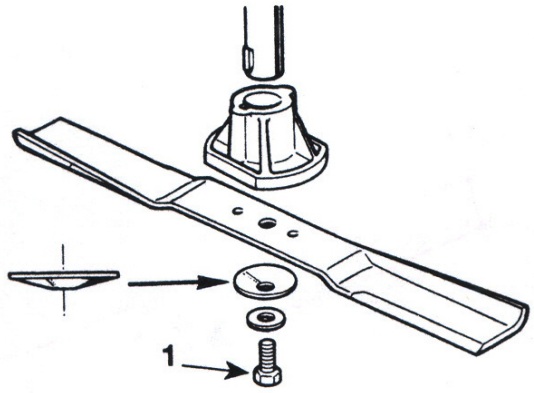
2.15.1 เหล็กกล้าเครื่องมือ จะนำมาใช้ประโยชน์ในการขึ้นรูปโลหะอื่นด้วยการปาดผิวหรือไม่ต้องปาดผิว (non cutting) โดยแบ่งแยกตามส่วนเจือเป็นเหล็กเครื่องมือ – ไม่เจือ – เจือ – เจือต่ำ – เจือสูง เหล็กกล้าเครื่องมือไม่เจือจะมีปริมาณฟอสฟอรัสและกำมะถันต่ำกว่า 0.035 เปอร์เซนต์ เหล็กกล้าเครื่องมือที่รับแรงกระแทกต้องมีความเหนียวและแข็งโดยจะมีคาร์บอนอยู่ราว 0.9 เปอร์เซนต์ ในการชุบแข็งจะใช้สารมัณชิมที่เป็นน้ำ น้ำมัน และอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานว่าอยู่ในอุณหภูมิการทำงานสูงต่ำเพียงใด เหล็กกล้าเครื่องมือมีความบริสุทธิ์ จึงจัดเป็นเหล็กกล้าคุณภาพพิเศษ (fine steel) เช่นกัน จึงต้องระมัดระวังในการจะนำไปปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อน

2.15.2 เหล็กกล้าเครื่องมือใช้กับงานสภาพเย็น จะใช้ขึ้นรูปวัสดุต่าง ๆ ด้วยการปาดผิวหรือไม่ปาดผิวได้ เช่น ใบมีดตัดหญ้า มีดกลึง มีดไส ดอกสว่าน ดอกกัด เครื่องมือตัดเกลียว และเครื่องมือตัดหรือขึ้นรูปชนิดอื่น

2.15.3 เหล็กกล้าเครื่องมือไม่เจือ จะมีคาร์บอนประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ถึง 1.4 เปอร์เซ็นต์ เหล็กนี้ชุบให้แข็งที่ 760-850 องศาเซลเซียส แล้วแต่การใช้งาน จะอบคืนตัวที่ 200-350 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง สัญลักษณ์เหล็กกล้าเครื่องมือคือ C 150 W 1 จะแข็งกว่าเหล็กกล้าเจือสูง แต่ที่อุณหภูมิการทำงานที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ความแข็งของเหล็กนี้ลดหายไป เหล็กนี้จะทุบขึ้นรูปได้ที่ 1,000 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส เหล็กกล้าที่นำมาทำใบมีดจะมีค่า C 45 W 3

C 45 หมายถึง เหล็กกล้าอบชุบไม่เจือมี 0.45 เปอร์เซ็นต์ C ผ่านการอบชุบไม่เจือ

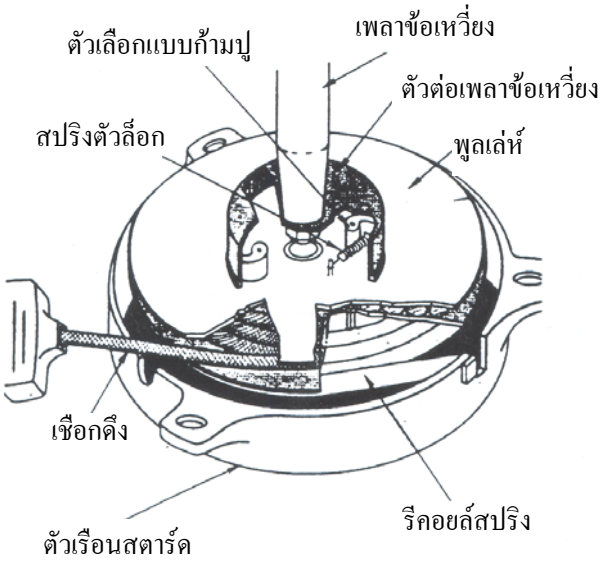
W 3 หมายถึง เหล็กกล้าเครื่องมือไม่เจือมีความบริสุทธิ์และทนความร้อนได้



รูปที่ 2.30 ใบมีดตัดหญ้าที่ทำจากเหล็กกล้า

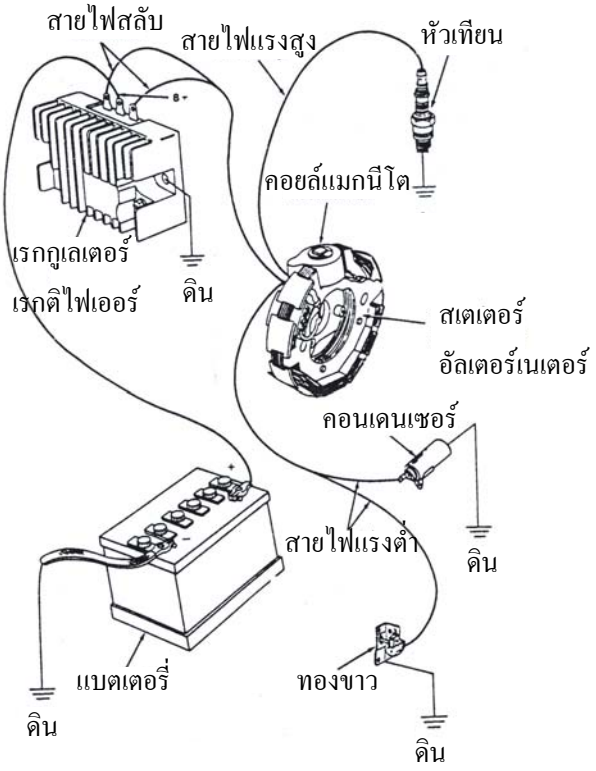
ผู้วิจัยเลือกใช้ใบมีดที่ทำจากเหล็กกล้า มีขนาดของใบมีด (กว้าง x ยาว x หนา) 58 x 455 x 4.5 มิลลิเมตร ยึดติดกับปลายและข้อเหวี่ยง

2.16 ระบบสตาร์ท เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในโดยทั่วไป จะไม่สามารถสตาร์ทติดเครื่องได้เอง ถ้าปราศจากระบบสตาร์ท ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์เริ่มหมุน เพื่อที่จะดูดเอาไอดีหรือส่วนผสมเข้าสู่กระบอกสูบ และอัดไอดีหรือส่วนผสมให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นพอเหมาะต่อการเผาไหม้เมื่อถูกจุดด้วยประกายไฟ ทำให้เกิดการเผาไหม้และเกิดการระเบิด เป็นผลทำให้เครื่องยนต์หมุนทำงานต่อไปได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระบบสตาร์ทก็เป็นอีกระบบหนึ่ง ที่จำเป็นต่อการเริ่มทำงานของเครื่องยนต์ การสตาร์ทติดเครื่องแบบทำงานด้วยมือ การสตาร์ทติดเครื่องแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากกับเครื่องยนต์เล็กโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นแบบที่ง่าย ๆ ไม่มีกลไกยุ่งยาก ราคาถูกและไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จึงทำให้สะดวกต่อการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 อุปกรณ์การสตาร์ทติดเครื่องแบบที่ใช้เชือกดึงชนิดม้วนกลับ
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 262)

2.17 ระบบประจุไฟ จะทำหน้าที่ประจุกระแสไฟเข้าแบตเตอรี่ และจ่ายกระแสไฟให้กับวงจรจุดระเบิดและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน และจะมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แมกนีโต-เจนเนอร์เรเตอร์ (magneto-generator) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากกับเครื่องยนต์เล็กในปัจจุบัน เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ หรือที่นิยมเรียกกันว่า ฟลายวีลอัลเตอร์เนเตอร์ (flywheel alternator) ดังรูปที่ 2.32 จะทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟเข้าประจุแบตเตอรี่ และจัดส่งกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ไฟแสงสว่างเหมือนกับ อัลเตอร์เนเตอร์ที่ใช้ในรถยนต์ด้วยเช่นกัน แต่ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดก็คือ แทนที่แมกนีโต-เจนเนอร์เรเตอร์ จะสร้างแยกออกต่างหากเช่นเดียวกันกับอัลเตอร์เนเตอร์ที่ใช้ในรถยนต์ กลับสร้างรวมอยู่ในตัวเดียวกันกับชุดของแมกนีโตที่ใช้ในระบบจุดระเบิด และจะอาศัยประโยชน์จากชุดของแม่เหล็กถาวรที่ล้อช่วยแรงในการผลิตกระแสไฟ เพียงแต่ชุดของขดลวดตัวนำหรือคอยล์เท่านั้นที่แยกออกจากกัน ดังนั้นแมกนีโต-เจนเนอร์เรเตอร์ จึงมีคอยล์ถึง 2 ชุด คือชุดของแมกนีโตและชุดของเจนเนอร์เรเตอร์



รูปที่ 2.32 แมกนีโต-เจนเนอร์เรเตอร์ และส่วนประกอบภายในวงจร
ที่มา (ประณต กุลประสูตร, 2542, หน้า 287)

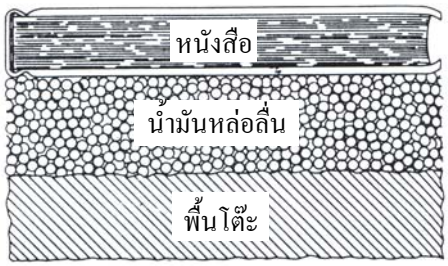
ในการทำงาน ดังรูปที่ 2.32 เมื่อแม่เหล็กถาวรที่ล้อช่วยแรง หมุนตัดขดลวดตัวนำที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นภายในขดลวดตัวนำดังกล่าว กระแสที่เกิดขึ้นเป็นกระแสไฟสลับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดกระแสดังกล่าว ไหลผ่านไดโอดเรกติไฟเออร์เสียก่อน เพื่อเรียงให้เป็นกระแสไฟตรง ก่อนที่จะเข้าประจุแบตเตอรี่ ส่วนโวลต์เต็จเรกกูเลเตอร์ก็จะทำหน้าที่ควบคุมแรงเคลื่อน และกระแสที่อัลเตอร์เนเตอร์ผลิตออกได้

2.18 ระบบหล่อลื่น เครื่องยนต์จำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นในการหล่อเลี้ยงชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนเหล่านั้นสัมผัสกันโดยตรง ทำให้ลดการสึกหรอได้มากและยังช่วยลดแรงเสียดทานอีกด้วย นอกจากนี้น้ำมันหล่อลื่นยังช่วยระบายความร้อนและทำความสะอาดชิ้นส่วนต่าง ๆ ตลอดจนช่วยอุดรอยรั่วระหว่างแหวนลูกสูบกับกระบอกสูบเป็นการป้องกันความดันรั่วไหลออกจากห้องเผาไหม้ ระบบหล่อลื่นทำหน้าที่ป้อนน้ำมันหล่อลื่นไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ (บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2541)

ความเสียดทานเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นระหว่างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ด้วยเหตุผลหลายประการ คือ ความเสียดทานทำให้เสียกำลังไปบางส่วน ความเสียดทานระหว่าง

ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ยิ่งน้อย กำลังเครื่องยนต์ที่นำไปใช้งานยิ่งมากขึ้น ความเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่สองชิ้นทำให้เกิดความร้อนและการสึกหรอ เราสามารถทดสอบได้ว่าความเสียดทานทำให้เกิดความร้อนได้โดยถูมือทั้งสองของท่านอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความเสียดทานระหว่างผิวหนังบนมือทั้งสองของท่าน

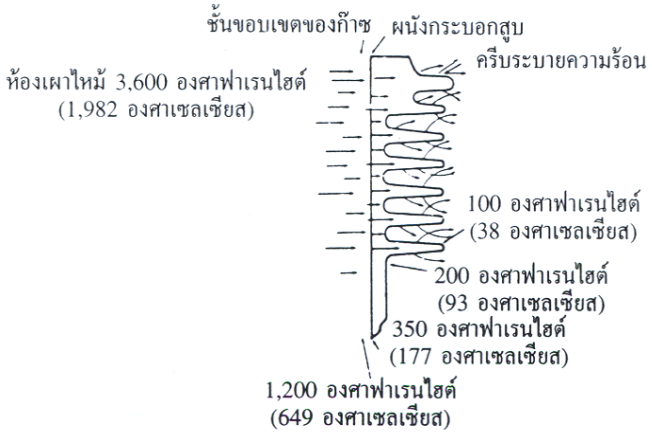
จุดประสงค์ของการหล่อลื่นก็คือ เพื่อลดความเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ความเสียดทานไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้อย่างสมบูรณ์ แต่มันสามารถลดลงได้จนถึงจุดจุดหนึ่งซึ่งทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ยาวนาน สมมติว่าใช้น้ำมันหล่อลื่นทาไว้บนโต๊ะ ดังรูปที่ 2.33 หนังสือก็จะสามารถลื่นไถลไปบนโต๊ะได้อย่างง่ายดายด้วยแรงเสียดทานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากความเสียดทานระหว่างหนังสือและโต๊ะลดลง หนังสือจะไม่สัมผัสกับพื้นโต๊ะโดยตรง แต่จะมีฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นคั่นกลาง ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นจึงมีประโยชน์ช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่เคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 น้ำมันหล่อลื่นช่วยลดความเสียดทานระหว่างหนังสือกับพื้นโต๊ะ
ที่มา (เวบสเตอร์ เจช และธีรยุทธ สุวรรณประทีป, 2541, หน้า 130)

2.19 ระบบระบายความร้อน ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในโดยทั่ว ๆ ไปอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของส่วนผสม ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้จะสูงเกินกว่า 3,600 องศาฟาเรนไฮต์ (1,982 องศาเซลเซียส) ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกขับออกไปกับแก๊สไอเสีย อีกส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทไปยังชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เช่น ผนังกระบอกสูบ ฝาสูบ ลูกสูบ หรือลิ้น เป็นต้น ซึ่งความร้อนดังกล่าวนี้ สูงพอที่จะทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้เกิดความเสียหายได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดความบกพร่องในระบบการหล่อลื่น อันเป็นผลมาจากน้ำมันหล่อลื่นสลายตัว และหมดสภาพของการเป็นน้ำมัน นอกจากนั้น ยังทำให้เกิดการน็อกอันเนื่องมาจากการจุดระเบิดก่อนกำหนด ลิ้นไหม้หรือลูกสูบไหม้ได้ จึงเป็นอันตรายอย่างใหญ่หลวงกับเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมี

ระบบระบายความร้อน เพื่อรักษาเครื่องยนต์ให้อยู่ในอุณหภูมิทำงานและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 การถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิจากการเผาไหม้
ที่มา (ประณต กุลประยูร, 2532, หน้า 238)

โดยทั่วไป เครื่องยนต์จะทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิทำงานประมาณ 176 ถึง 194 องศาฟาเรนไฮต์ (80 ถึง 90 องศาเซลเซียส) แต่การระบายความร้อนออกจากผนังกระบอกสูบ และฝาสูบมากเกินไป ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ลดต่ำลง นอกจากนั้น การระบายความร้อนให้ออกไปจากเครื่องยนต์มากเกินไป ยังมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น ทั้งยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำ ทำให้เกิดยางเหนียวหรือโคลน (sludge) ขึ้นภายในอ่างน้ำมันเครื่อง ดังนั้นระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพจะต้องทำให้เครื่องยนต์ร้อนถึงอุณหภูมิทำงานเร็วกว่าปกติเมื่อเริ่มเดินเครื่อง และจะระบายความร้อนออกไปจากเครื่องยนต์ เมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิทำงาน ระบบระบายความร้อนที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องสามารถขจัดความร้อนได้ประมาณ 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนทั้งหมด ที่ได้รับจากการเผาไหม้ของเชื้อระเบิด ภายในห้องเผาไหม้ขอเครื่องยนต์ (บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2541)

ระบบระบายความร้อนที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน จำแนกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

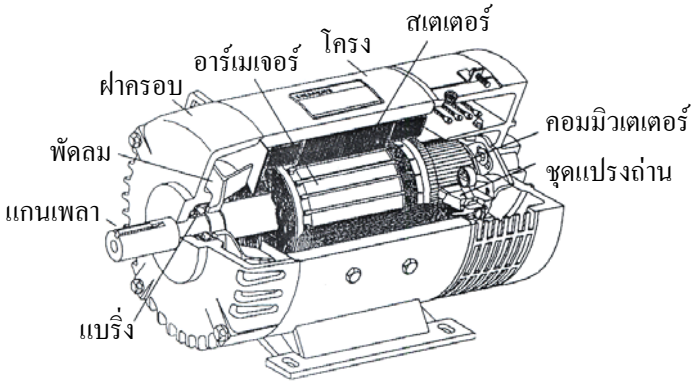
1. ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (air cooling system)
2. ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว (liquid cooling system)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องกับการระบายความร้อนของรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

ระบบระบายความร้อนแบบนี้ ที่เสื้อสูบและฝาสูบจะทำเป็นครีบ เพื่อเพิ่มเนื้อที่ในการระบายความร้อนให้ออกไปจากเครื่องยนต์ นอกจากนั้นในเครื่องยนต์บางแบบยังมีพัดลมเป่าอากาศ ซึ่งแยกออกต่างหากหรือหล่อติดกับล้อช่วยแรง มีกระบังลมและท่อลม เพื่อช่วยควบคุมทิศทางการไหลของกระแสอากาศ ให้ผ่านจุดที่ต้องการระบายความร้อน เพื่อขจัดความร้อนให้ออกไปจากตัวเครื่อง ระบบระบายความร้อนแบบนี้นิยมใช้กับ รถจักรยานยนต์, รถตัดหญ้า และเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

2.20 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในงานอุตสาหกรรมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ยังคงเป็นเครื่องจักรต้นกำลังที่มีความสำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการขับเคลื่อนในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถให้แรงบิดออกตัว (starting torque) ที่สูง และนอกจากนั้นมันยังสามารถควบคุมอัตราเร็วในย่านที่กว้างอีกด้วย วิธีการควบคุมอัตราเร็วก็เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายและมีต้นทุนต่ำกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ อย่างไรก็ตามมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงอาจจะไม่เหมาะกับการใช้งานที่อัตราเร็วสูงมาก ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากต้องมีการดูแลและบำรุงรักษาที่มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2547)



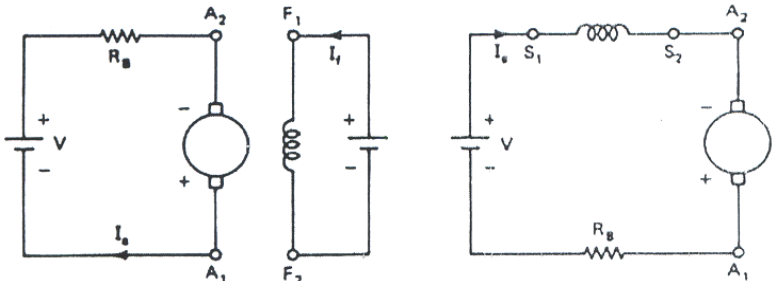
รูปที่ 2.35 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ที่มา (พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2547, หน้า 21)

ในปัจจุบันการพัฒนาการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เทคนิคการควบคุมรวมไปถึงระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแนวโน้มในอนาคตจะมีการใช้การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ

ก็ตาม แต่สำหรับในปัจจุบันแล้วการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็ยังคงมีใช้งานกันอยู่ในหลาย ๆ อุตสาหกรรม

2.20.1 ประเภทและคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จากโครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.35 ที่มีส่วนประกอบหลักสองส่วน คือ สเตเตอร์ และโรเตอร์ หรือส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่หมุน ดังที่เราทราบกันเป็นอย่างดีอยู่แล้วว่าการเคลื่อนที่หรือการหมุนของมอเตอร์นั้น เกิดจากการดูดและผลักกันของขั้วแม่เหล็กของส่วนประกอบดังกล่าว ดังนั้นถ้าจะกล่าวไปแล้วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอาจมีการใช้ขั้วแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กไฟฟ้าก็สามารถที่จะกระทำได้ อย่างเช่น หากใช้แม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่โดยทั่วไปจะเรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่า “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร (permanent magnet dc motor)” และหากใช้แม่เหล็กถาวรในส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ก็เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่า “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor)” แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่แล้วมอเตอร์ที่มีการใช้แม่เหล็กถาวรมักจะมีขนาดกำลังที่ไม่สูงหรือเป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก สาเหตุก็เนื่องมาจากมีขีดจำกัดในเรื่องของโครงสร้าง ขนาดของแม่เหล็ก และต้นทุน

2.20.2 การเบรกแบบกลับทิศทางการหมุน การเบรกด้วยวิธีนี้อาจเรียกชื่อได้อีกอย่างหนึ่งว่า “การเบรกแบบกลับกระแส (counter current braking)” การเบรกแบบกลับทิศทางการหมุนทันทีทันใดนี้จะนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการการหยุดอย่างรวดเร็ว และหรือต้องการการกลับทิศทางการหมุนในช่วงเวลาสั้น ๆ หลักการเบรกก็คือ หากจุดต่อของอาร์เมเจอร์หรือขั้วของแหล่งจ่ายของมอเตอร์แยกกระตุ้นหรือชั้นมอเตอร์ในขณะทำงานถูกกลับขั้วอย่างทันทีทันใด แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายและแรงดันไฟฟ้าด้านกลับจะมีขั้วในทิศทางเดียวกันแต่กระแสจะกลับทิศทางสร้างแรงบิดในการเบรก ในกรณีของมอเตอร์อนุกรมจะต้องมีการสลับขั้วของอาร์เมเจอร์หรือฟิลด์อย่างใดอย่างหนึ่งเพราะหากกลับขั้วทั้งสองมอเตอร์จะยังคงทำงานในสภาพปกติ



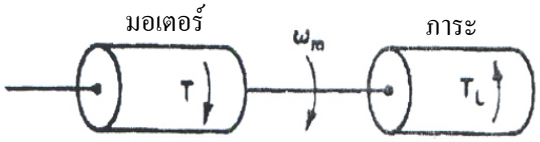
ก มอเตอร์แยกกระตุ้น ข มอเตอร์อนุกรม

รูปที่ 2.36 การเบรกแบบกลับทิศทางการหมุน

ที่มา (พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2547, หน้า 38)

เมื่อมอเตอร์ทำงานที่อัตราเร็วพิกัด แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย V ดังนั้นในขณะที่เริ่มทำการเบรกแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดในวงจรอาร์เมเจอร์จะมีค่าใกล้เคียงกับ 2 × V (หรือ V+E) ค่าความต้านทาน (R_B) ที่ใช้เพื่อจำกัดกระแสเพื่อให้อยู่ในย่านที่ปลอดภัย จึงควรมีค่าเท่ากับสองเท่าของความต้านทานขณะเริ่มออกตัว

2.20.3 พื้นฐานของสมการแรงบิด การขับเคลื่อนภาระของมอเตอร์โดยทั่วไปจะกระทำด้วยระบบการส่งผ่านการเคลื่อนที่ ในขณะที่มอเตอร์มีการหมุนภาระจะมีการหมุนตามหรือมีการเคลื่อนที่ภายใต้การส่งผ่านกำลัง โดยทั้งนี้อัตราเร็วของภาระอาจจะแตกต่างจากมอเตอร์หากประกอบไปด้วยกลไกหลายส่วน หรือหากมีการส่งผ่านการเคลื่อนที่ ที่เป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามการนำเสนอภาระและมอเตอร์ด้วยระบบการหมุนแบบเทียบเคียง (equivalent rotational system) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.37 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.37 การขับเคลื่อนภาระของมอเตอร์
ที่มา (พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2547, หน้า 4)

ระบบภาระและมอเตอร์ใด ๆ ที่ต่อร่วมกันสามารถอธิบายได้ด้วยสมการแรงบิดพื้นฐานดังต่อไปนี้

$$T = TL + J(d\omega_m/dt)$$

โดยที่

	T	=	แรงบิดของมอเตอร์ (Nm)
	T_L	=	ภาระแรงบิด (Nm)
	J	=	โมเมนต์แรงเฉื่อยของมอเตอร์ (kgm^2)
	ωm	=	อัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (rad/sec)

2.20.4 ลักษณะงานที่นิยมใช้มอเตอร์ไฟตรง ลักษณะงานที่นิยมใช้มอเตอร์ไฟตรงเป็นต้นกำลังขับ ได้แก่

1. งานที่ต้องใช้ค่าความเร็วรอบต่ำสุดและสูงสุดที่แตกต่างกันได้มาก และไม่เป็นชั้นความเร็วรอบแต่อย่างใด หรือพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่า งานที่ต้องใช้พิสัย (Range) ความเร็วรอบกว้าง และสามารถปรับค่าความเร็วรอบได้ตามต้องการโดยไม่เป็นขั้นความเร็วเลย

2. งานที่ต้องการโมเมนต์บิด (torques) ขับด้วยปริมาณโมเมนต์บิดคงที่หรือปรับค่าได้ หรือกระทำได้ทั้งสองอย่างพร้อมกัน

3. งานที่ต้องการเร่งหรือลดความเร็วรอบได้เร็ว หรือกลับทางหมุนได้เร็ว เช่น รอกยกน้ำหนัก รถเครนที่แล่นตามราง ใบพัด และเครื่องรีดโลหะ

4. งานที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบได้ละเอียดใกล้ความต้องการได้มากที่สุดและเร็วที่สุด เช่น ล้อดึงลวดด้วยแรงดึงที่สม่ำเสมอ

5. งานที่ต้องการรักษาความเร็วรอบสัมพันธ์ ณ จุดสองจุดหรือมากกว่านั้นในเส้นทางสายงานให้สัมพันธ์ต่อกันด้วยความสม่ำเสมอ

6. งานที่ต้องการแรงบิดของภาระสูง ๆ และงานที่ต้องการแรงบิดห้ามล้อ

ผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ ใช้กระแส 10 แอมป์ และจำนวนแรงม้า 0.25 แรงม้า ซึ่งจะมีการหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ ณ ทุกสภาวะของภาระ จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ขับเคลื่อนรถตัดหญ้าควบคุมด้วยวิทยุบังคับ

2.21 มอเตอร์ปัดน้ำฝน ระบบบังคับเลี้ยวไปในทิศทางที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.38 เป็นมอเตอร์ปัดน้ำฝนที่ใช้กับรถยนต์ทั่ว ๆ ไป เป็นตัวควบคุมการเลี้ยว มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวล์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดเฟืองทดสอบสำหรับเปลี่ยนทิศทางหมุนและสวิตซ์ควบคุมตำแหน่งใบปัดน้ำฝน การหมุนของเพลามอเตอร์ปัดน้ำฝนจะอาศัยการผลักของกระแสแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กถาวรที่อยู่รอบขดลวด ในหลักการเบื้องต้นของมอเตอร์ปัดน้ำฝนจะใช้ขดลวดเพียงขดเดียวแต่ในทางปฏิบัติขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีหลายขดเพื่อให้ได้แรงบิดมากขึ้นและหมุนได้อย่างราบเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งได้อธิบายในวงจรบังคับเลี้ยวหน้า 22

ผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ปัดน้ำฝนที่ใช้กับรถยนต์ทั่ว ๆ ไป เป็นตัวควบคุมการเลี้ยว มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวล์ หาซื้อได้จากร้านขายอะไหล่รถยนต์ทั่วไป

รูปที่ 2.38 โครงสร้างมอเตอร์ปัดน้ำฝน

3. การหาความเร็วรอบของเพลาและปริมาตรดูดของเครื่องยนต์

สูตร $$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Z_1 คือ จำนวนฟันโซ่ตัวขับ = 11 ฟัน

Z_2 คือ จำนวนฟันโซ่ตัวตาม = 30 ฟัน

N_1 คือ ความเร็วรอบของเพลามอเตอร์ตัวขับ = 160 รอบต่อนาที

N_2 คือ ความเร็วรอบของเพลาที่ต้องหา

จากสูตร $$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$N_2 = \frac{N_1 Z_1}{Z_2} = \frac{160 \times 11}{30} = 58.7 \text{ รอบต่อนาที}$$

$\therefore$ ความเร็วรอบของเพลาตาม (N_2) $\sim$ 58 รอบต่อนาที

หาปริมาตรดูดของเครื่องยนต์ (V_s)

สูตร $V_s = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$

เครื่องยนต์ขนาด 5.12×4.20 เซนติเมตร สูบเดียว

D = 5.21 เซนติเมตร

L = 4.20 เซนติเมตร

จากสูตร $V_s = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = \frac{\pi \times 5.21^2 \times 4.20}{4} = 89.169$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

$\therefore$ ปริมาตรดูด (V_s) = 89.169 ลูกบาศก์เซนติเมตร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรนาถ ศรีลาดเลา และสุรศักดิ์ ผ่องศิริ (2546) ได้ออกแบบและจัดสร้างรถตัดหญ้าบังคับวิทยุ ใช้มอเตอร์แรงเคลื่อนไฟตรง 24 โวล์ ในการตัดหญ้าแทนเครื่องยนต์ ซึ่งมีสวิตซ์เปิดปิดอยู่ที่ตัวรถ ส่วนการบังคับเลี้ยวและการขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ปัดน้ำฝนจำนวน 2 ตัว ควบคุมด้วยวิทยุรับส่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของรถตัดหญ้า โดยใช้เอ็กคลูซีฟออร์เกตุเป็นตัวแปลงสัญญาณจากภาครับให้เป็นลอจิกเพื่อควบคุมทิศทางของรถตัดหญ้าโดยสั่งงานมอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านไอซีและรีเลย์ ในส่วนการเลี้ยวจะกำหนดให้มอเตอร์ด้านใดด้านหนึ่งหมุนทวนเข็มนาฬิกาและอีกด้านหนึ่งหมุนตามเข็มนาฬิกา ผลการดำเนินงาน เมื่อได้ทดสอบร่วมกับรถบังคับวิทยุขนาดเล็กจะเห็นว่าสามารถควบคุมได้ในระยะที่ใกล้ โดยสามารถควบคุมได้ในระยะไม่เกิน 7 เมตร ส่วนของการตัดหญ้าสามารถตัดหญ้าในสนามได้จริง ซึ่งความสูงของหญ้าไม่เกิน 4 นิ้ว (10.16 เซนติเมตร) แต่มีความผิดพลาดจากระยะทางในการควบคุมและมีความร้อนเกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์

ทรงธรรม ไชยพงษ์ (2546) ได้ศึกษาการออกแบบเครื่องปอกเปลือกอ้อย ต้นแบบประกอบด้วย ชุดลูกกลิ้งใบมีด ชุดแปรงปัดทำความสะอาด ชุดลูกกลิ้งประคองอ้อย เกลียวปรับระยะห่างของชุดลูกกลิ้งใบมีด และมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง โดยใช้คนปฏิบัติงาน 1 คน เป็นผู้ควบคุมเครื่องป้อนอ้อยเข้าด้านหน้าเครื่อง สวนทิศทางการหมุนของชุดลูกกลิ้งใบมีด ในการทดสอบมี

ความเร็วรอบชุดลูกกลิ้งใบมีด 1,380 รอบต่อนาที ใช้แรงในการป้อนท่อนอ้อยน้อย อัตราการปลอกเปลือก 43.86 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การสูญเสียรวม 2.59 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 0.45 บาทต่อกิโลกรัม

ประสาทพร วงษ์คำช้าง (2544) ออกแบบแขนกลที่มีโครงสร้างเป็นแบบขนาน คือ มีโครงสร้างเป็นแบบปิด โดยรูปแบบของโครงสร้างนั้นเรียกว่า “โครงสร้างแบบสจ๊อต” การออกแบบนั้นจะคำนึงถึงการกระจายความหน่วงโดยการคำนวณหา Inertia Effispsoid จากโครงสร้างที่มีรูปร่างต่างกัน

จากการทดสอบโครงสร้างที่สร้างขึ้นนี้ ได้ทำการทดสอบ โดยใช้จุดกึ่งกลางของส่วนที่เคลื่อนที่ (Moving frame) เป็นตำแหน่งที่พิจารณาโดยกำหนดการเคลื่อนที่ของตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งต่าง ๆ 4 ตำแหน่งแล้วบันทึกค่าความยาวของตัวขับแต่ละตัว นำค่าที่ได้นี้มาคำนวณโดย Forward Kinematics จะได้ค่าตำแหน่ง (position) และการเรียงตัว (Orientation) ในช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ ผลการคำนวณคือ ส่วนที่เคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนตัวด้วยความเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที และการเคลื่อนที่แบบหมุนด้วยความเร็วสูงสุดเท่ากับ 20 องศาต่อวินาทีได้ โดยมีความผิดพลาดของระยะการเคลื่อนที่ไม่เกิน 3.86 มิลลิเมตร ในระยะการเคลื่อนที่ 100 มิลลิเมตร และความผิดพลาดเชิงมุมสูงสุดไม่เกิน 1 องศา การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่มีความเร็วค่อนข้างสูง และค่าความผิดพลาดดังกล่าวนี้เป็นค่าความผิดพลาดรวม ซึ่งส่วนหนึ่งก็ขึ้นอยู่กับการประมาณค่าในส่วนของ Forward Kinematics โดยใช้การประมาณค่าของนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson Method) ซึ่งในวิจัยต่อไปจะปรับปรุงส่วนของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ข้อตัวขับเคลื่อนให้ดียิ่งขึ้นและการปรับปรุงการหา Forward Kinematics และจากผลการทดลอง พิจารณาจากความเร็ว และความผิดพลาดของการเคลื่อนที่นี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ประทีป คงคา (2539) ได้ศึกษาออกแบบรถกวาดขยะ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับรุ่นเดิมแล้ว คือ อยู่ในขั้นการใช้งานได้ดี ถ้าเปรียบเทียบการออกแบบและการลดต้นทุนการผลิตแล้ว รถกวาดขยะคันนี้มีความซับซ้อนและต้นทุนการผลิตสูงกว่าพอสมควร ในการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ จะออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต แต่ประสิทธิภาพของรถกวาดถนนไม่ได้ลดลงไปเลย จากการออกแบบและสร้างรถกวาดขยะ คณะผู้จัดทำได้ทราบถึงปัญหาต่าง ๆ คือ

1. ในการจัดซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องใช้เวลาในการเลือกซื้อให้ได้ขนาดตามต้องการจึงทำให้เกิดความล่าช้า

2. ในการสร้างรถกวาดขยะ ชิ้นส่วนบางอย่างไม่สามารถจัดหามาได้ จึงต้องทำการดัดแปลงเพื่อให้รถกวาดขยะมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงเป็นอีกปัญหาที่ทำให้รถกวาดขยะเสร็จช้า

จากการศึกษางานวิจัย ผู้วิจัยพบว่ามีการศึกษาหรือกล่าวถึงรถตัดหญ้าที่ควบคุมด้วยวิทยุบังคับ เช่น สุรนาถ ศรีลาดเลา และสุรศักดิ์ ผ่องศิริ ได้ออกแบบและจัดสร้าง รถตัดหญ้าบังคับวิทยุโดยใช้มอเตอร์ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 24 โวล์ เป็นตัวขับเคลื่อนใบมีดตัดหญ้า ส่วนการบังคับเลี้ยวใช้มอเตอร์ปัดน้ำฝนของรถยนต์ สามารถตัดหญ้าภาคสนามที่ความสูงไม่เกิน 4 นิ้ว (10.16 เซนติเมตร) และสามารถควบคุมรถตัดหญ้าในระยะไม่เกิน 7 เมตร ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ประทีป คงคา ได้ออกแบบสร้างรถกวาดขยะ โดยออกแบบให้ง่ายต่อการผลิตและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ส่วน ประสาทพร วงษ์คำช้าง ได้ออกแบบการควบคุมแขนกลที่มีโครงสร้างแบบสจ๊วต การหาคำตอบของสมการเคลื่อนที่แบบผกผัน (Inverse Kinematics) ได้จากกระบวนการในรูปแบบปิด จากผลการทดลองพิจารณาจากความเร็วและความผิดพลาดของการเคลื่อนที่นี้จะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ หรือทรงธรรม โชยพงษ์ ได้ออกแบบเครื่องปลอกอ้อยเพื่อการผลิตน้ำอ้อย ในการทดสอบที่ความเร็วรอบชุดลูกกลิ้งใบมีด 1,380 รอบต่อนาที อัตราป้อน 43.83 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 0.45 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อทำงานปีละ 300 วัน มีเวลาคืนทุนที่ 2.85 ปี จุดคุ้มทุนที่ 47,500 กิโลกรัมต่อปี