บทที่ 2

ทฤษฎี

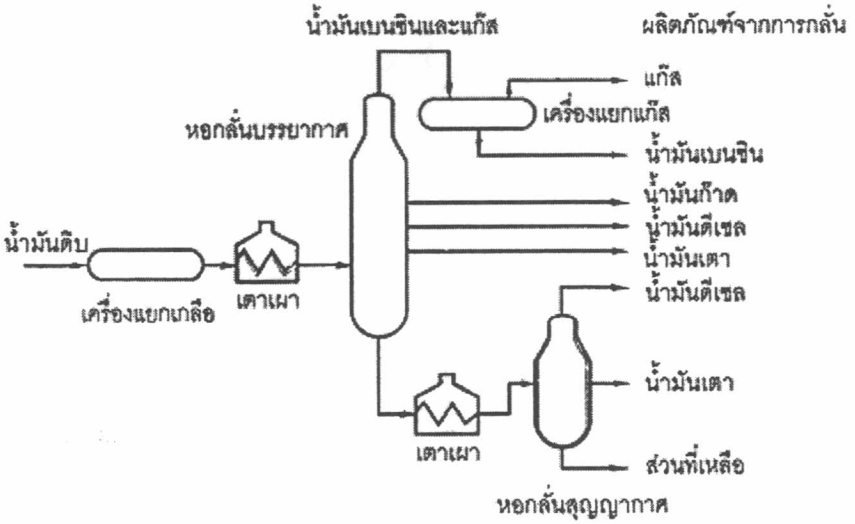
2.1 สารหล่อลื่น

สารหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่มากมาย ซึ่งถ้าแบ่งตามสถานะจะแบ่งออกได้เป็นสี่ชนิด คือ ก๊าซ ของเหลว สารกึ่งแข็ง (semi - solid) และ ของแข็ง ในจำนวนของสารหล่อลื่นทั้งหมดที่ใช้ สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด และรองลงมาคือ สารกึ่งแข็งได้แก่จาระบี การที่สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนิยมใช้กันแพร่หลายมากนั้น เพราะสามารถแยกผิววัตถุทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถรับแรงที่กระทำได้มาก ของเหลวที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นมี น้ำ สารละลายกับน้ำ (aqueous solution) น้ำมันแร่ (mineral oil) น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และน้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oil) ในบรรดาสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนี้ น้ำจะมี การใช้งานค่อนข้างจำกัด เช่น ใช้ในการหล่อลื่นแบริงไม้ หรือแบริงยางของกังหันวิดน้ำ หรือเครื่องสูบน้ำบางประเภท ส่วนสารละลายกับน้ำจะใช้เฉพาะในการหล่อลื่นชิ้นงานของเครื่องกลึง เครื่องเจียระไนและเครื่องไสเป็นหลัก สำหรับ สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวที่ใช้กันมากก็คือ น้ำมันหล่อลื่นซึ่งจะมีอยู่สองชนิดคือ น้ำมันแร่และน้ำมันสังเคราะห์ ส่วน น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ไม่เป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากมีราคาแพง

2.1.1 น้ำมันแร่

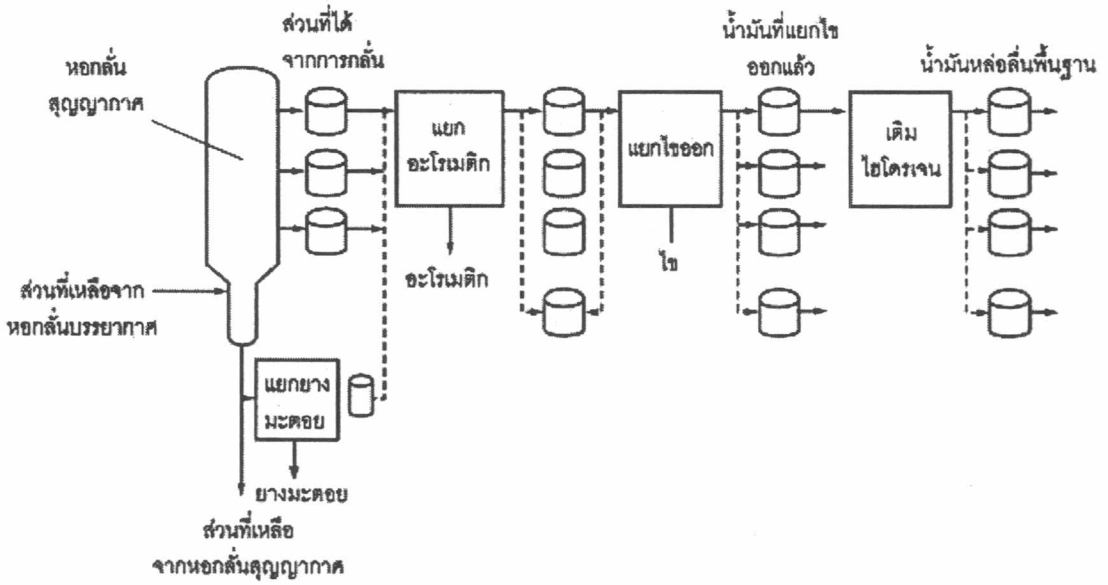
น้ำมันแร่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ (crude oil) โดยได้มาจากส่วนที่หนัก ของน้ำมันดิบที่หลังจากการกลั่นแยกส่วนที่เบา ได้แก่ ก๊าซ น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ออกไปโดยหอกลั่น บรรยากาศ (atmospheric tower) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันดิบเริ่มต้นจากการนำเอา ส่วนหนักที่แยกได้จากหอกลั่นบรรยากาศเข้าไปกลั่นอีกครั้งหนึ่งในหอกลั่นสุญญากาศ (vacuum tower) เพื่อแยกส่วนที่เหลือออกเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีจุดเดือด (boiling point) เหมือนกัน โดยความดันในหอกลั่นสุญญากาศจะ มีค่าต่ำกว่าหนึ่งส่วนสิบของความดันบรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการแยกสลาย (cracking) ที่อุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่ สำคัญที่ถูกควบคุมโดยการกลั่นสุญญากาศก็คือความหนืด

(viscosity) จุดวาบไฟ (flash point) และกากคาร์บอน (carbon resildue) ซึ่งก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่าง ๆ กันออกมา หลังจากที่ออกจากหอกลั่นสุญญากาศแล้วก็จะนำไปผ่าน กระบวนการต่าง ๆ เพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกให้เหลือผลิตภัณฑ์หรือน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ตัวอย่าง ของกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ กระบวนการแยกยางมะตอยออกโดยใช้โพรเพนเป็นสารละลาย (propane deasphalting) กระบวนการแยกสารประกอบพวกอะโรเมติก (aromatic compounds) ออกจากพวกที่ไม่ใช่อะโรเมติก (nonaromztic compound) ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น ได้แก่ การเพิ่มเสถียรภาพในด้านความร้อนและการรวมตัวกับออกซิเจน และเพิ่มดัชนีความหนืด (viscosity index) กระบวนการถัดไปคือ กระบวนการแยกไขออก (dewaxing) เพื่อลดจุดไหลเทให้ต่ำลง ให้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ กระบวนการสุดท้ายคือ การเติมไฮโดรเจน (hydro - finishing) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลของสารที่ทำให้เกิดสีและสารที่ไม่เสถียรทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสีจางลง และช่วยเพิ่มคุณสมบัติบางประการ กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 กลั่นน้ำมันดิบ

น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการผลิตตามกระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้นเรียกว่า มันหล่อลื่นพื้นฐาน (lube base stock) ซึ่งโดยทั่วไปยังไม่สามารถนำไปใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลได้ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นฐานเสียก่อน วิธีที่นิยมใช้กันก็คือการเติมสารเพิ่มคุณภาพ (additives)



รูปที่ 2.2 ขบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น

2.1.2 น้ำมันสังเคราะห์

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบนั้น แม้ว่าจะผ่านกระบวนการมากมายที่ใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป แต่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ ยังคงเป็นของผสมของสารประกอบหลายตัว ซึ่งไม่สามารถที่จะเลือกเฉพาะสารที่มีคุณสมบัติดีที่สุดได้ หรือถ้ามีก็จะได้ผลผลิตต่ำให้การผลิตไม่คุ้มค่า ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่จึงมีคุณสมบัติเฉลี่ยของของ ผสมซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่เหมาะสมมากที่สุดและน้อยที่สุด เป็นผลให้น้ำมันแร่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันสังเคราะห์ขึ้นมา น้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากกระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นการรวมตัวของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดเพียงพอที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่น โดยสารประกอบเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตน้ำมันสังเคราะห์มักจะได้มาจากผลิตภัณฑ์ ปิโตรเลี่ยม และเนื่องจากน้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันที่ได้จากกระบวนการเคมี จึงสามารถควบคุมให้มีโครงสร้าง โมเลกุลตามที่ต้องการ และมีคุณสมบัติตามที่คาดหวังไว้ได้ ข้อได้เปรียบที่สำคัญของน้ำมันสังเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือ สามารถนำไปใช้งานในช่วง อุณหภูมิที่กว้างกว่าน้ำมันแร่ คือ ใช้ได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสูงกว่าของน้ำมันแร่ นอกจากนี้น้ำมันสังเคราะห์บางประเภท ยังให้คุณสมบัติเฉพาะ เช่น ผสมเข้ากันกับน้ำได้ และไม่ติดไฟ เป็นต้น

2.1.3 สารเพิ่มคุณภาพ

สารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยทั่วไปเป็นสารประกอบทางเคมี ปัจจุบันมีใช้อยู่หลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเฉพาะอย่าง โดยสามารถแบ่งตามผลที่มีต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกได้เป็นสามประเภท คือ ประเภทที่ 1 เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ให้คุณสมบัติใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ประเภทที่ 2 เป็นสารเพิ่มคุณภาพ ที่ปรับปรุงคุณสมบัติที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น และประเภทที่ 3 เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ทำหน้าที่ในการลดการเปลี่ยนแปลงที่ ไม่ต้องการซึ่งเกิดในช่วงการทำงานลง การที่จะเติมสารเพิ่มคุณภาพตัวใดและจำนวนเท่าใดลงไปในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะ ของการนำไปใช้งาน โดยจะต้องคำนึงถึงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพบางตัวแม้ว่าจะทำให้ คุณสมบัติประการใดประการหนึ่งดีขึ้น แต่ก็อาจจะทำให้คุณสมบัติอื่นเสื่อมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใส่ไปมากเกินไป หรือถ้าสารเพิ่มคุณภาพนั้นไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัว จึงต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้น้ำมันหล่อลื่นทำงานได้อย่างดีที่สุด และจะต้องมีการทดสอบให้แน่ใจว่าจะไม่มีผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น (ซึ่งในกรณีทั่ว ๆ ไปจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปอีก) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเมื่อเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปแล้วเรียกว่าน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ซึ่งบริษัท ผู้ผลิตแต่ละรายมักจะตั้งชื่อเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ สำหรับสารเพิ่มสารคุณภาพที่นิยมใช้กันมี ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 สารลดจุดไหลเท

สารลดจุดไหลเท (pour point depressants) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดผลึกไขที่ ป้องกันไม่ให้น้ำมันไหลที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นสารนี้จึงช่วยให้จุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นต่ำลง ทำให้สามารถ ใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ได้ สารที่ใช้ลดจุดไหลเทจะเป็นพวกโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งที่ใช้กันอยู่มีสองชนิด คือ อัลคิลอะโรเมติกโพลิเมอร์ (alkylaromatic polymers) ทำหน้าที่ในการดูดกลืนผลึกของไขเมื่อเกิดขึ้นเพื่อป้องกัน ไม่ให้ผลึกเติบโตและยึดติดกันชนิดที่สอง คือ โพลิเมทาคริเลต (polymethacrylates) ทำหน้าที่ตกผลึกร่วมกับไขเพื่อ ป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโต สำหรับอุณหภูมิของจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเติมสารนี้เข้าไปแล้ว โดยทั่วไปจะลด ลงประมาณ 11 ถึง 17 องศาเซลเซียส

2.1.3.2 สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด

สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (viscosity index improvers) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ช่วยไม่ให้ความหนืดของ น้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดจะเป็นพวกโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นลูกโซ่ยาว (long chain) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเพิ่มความหนืดสัมพัทธ์ของน้ำมัน หล่อลื่นที่อุณหภูมิสูงมากกว่าการเพิ่มความหนืดสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โพลิเมอร์ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลจะยืดออกและมีปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุล ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดมีหลายตัว เช่น เมทาคริเลตโพลิเมอร์ (methacrylate polymers) , โอเลฟินโพลิเมอร์ (olefin polymers) และอะคริเลตโพลิเมอร์ (acrylate polymers) เป็นต้น

2.1.3.3 สารป้องกันการเกิดฟอง

สารป้องกันการเกิดฟอง (defoamants) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศที่ผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อ น้ำมันถูกหมุนเวียนใช้ในระบบ สารนี้จะทำหน้าที่โดยโมเลกุลของสารจะเข้าไปติดกับฟองอากาศทำให้ฟองอากาศ เล็ก ๆ รวมตัวกันเป็นฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้น ลอยขึ้นผิวและแตกออกในที่สุด สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารป้องกัน การเกิดฟอง คือ ซิลิโคนโพลิเมอร์ (silicone polymer) และพวกโพลิเมอร์อินทรีย์ (organic polymer)

2.1.3.4 สารป้องกันออกซิเดชัน

สารป้องกันออกซิเดชัน (oxidation inhibitors) เมื่อน้ำมันหล่อลื่นร้อนและสัมผัสกับอากาศจะเกิด ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหล่อลื่นและออกซิเจนในอากาศที่เรียกว่าออกซิเดชันขึ้น ผลของการเกิดออกซิเดชันจะทำให้ ความหนืดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดวาร์นิช และตะกอน สารป้องกันออกซิเดชันก็คือ สังกะสีไดทิโอฟอสเฟต (zinc dithiophosphate)

2.1.3.5 สารป้องกันการกัดกร่อน

สารป้องกันการกัดกร่อน (corrosion inhibitors) การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อลื่น นั้นมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดมีสองชนิดก็คือ การกัดกร่อนซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในตัวของน้ำมันเอง และ การกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารปนเปื้อนที่ถูกนำและพาไปโดยน้ำมัน สำหรับสารป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้กันทั่วไป เป็นสารตัวเดียวกับสารป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งก็คือสังกะสีไดทิโอฟอสเฟต แต่สารที่มีซัลเฟอร์และฟอสฟอรัสก็ถูกนำ มาใช้ด้วย

2.1.3.6 สารป้องกันสนิม

สารป้องกันสนิม (rust inhibitor) ใช้เพื่อป้องกันสนิมที่อาจเกิดขึ้นผิวของชิ้นส่วนโลหะที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน สารที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบที่มีการยึดติดกับผิวของโลหะได้ดี โดยสารป้องกันสนิมจะทำปฏิกิริยากับผิวโลหะเกิดเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิวเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าถึงผิวโลหะ สารที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ อะไมน์ซักซิเนต (amine succinates) และอัลคาไลเอิร์ทซัลโฟเนต (alkaline earth sulfonates)

2.1.3.7 สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก

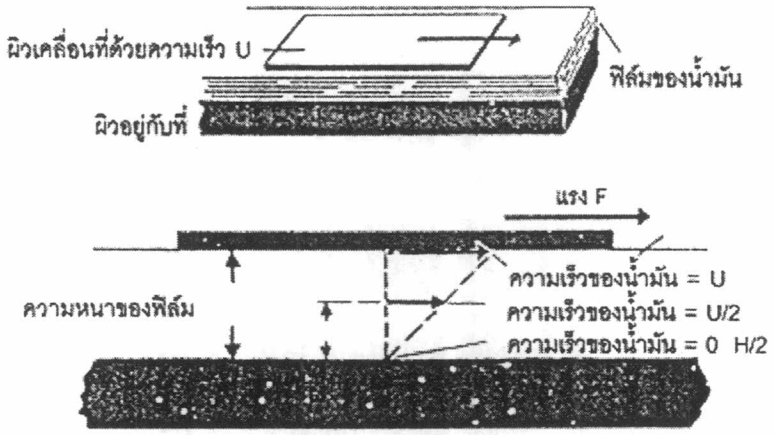
สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (detergents and dispersants) ใช้เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวของ ชิ้นส่วน และกระจายมิให้รวมตัวกันเป็นโคลนหรือตะกอน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เผาไหม้ ภายใน ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล โคลนหรือตะกอนที่เกิดขึ้นจะอุดช่องทางน้ำมันหล่อลื่น และ จะไปรวมกันอยู่ด้านหลังของแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจทำให้แหวนติดตายได้สารชะล้างจะทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้ เกิดโคลนหรือตะกอน สารที่เป็นตัวชะล้างที่ใช้กันในปัจจุบันได้แก่ สบู่อินทรีย์ (organic soaps) และบาเรียม (barium), แคลเซียมและแมกนีเซียมซัลโฟเนต (magnesium sulfonates) เป็นต้น ส่วนสารกระจายสิ่งสกปรกจะทำ หน้าที่ในการกระจายหรือทำให้สารที่จะรวมตัวกันเป็นโคลนแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน สารที่เป็นตัวกระจายที่ใช้กัน ได้แก่ โพลิเมอริกซักซินิไมด์ (polymeric succimimides) และ เบนซิลาไมด์ (benzylamides) เป็นต้น

2.1.3.8 สารป้องกันการสึกหรอ

สารป้องกันการสึกหรอ (antiwear additives) เป็นสารที่ช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอ ภายใต้ สภาวะการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (boundary lubrication) ซึ่งก็คือในสภาวะที่ฟิล์มของน้ำมันที่จะแยกผิวสัมผัสได้ อย่างสมบูรณ์ไม่สามารถคงอยู่ได้ สารป้องกันการสึกหรอที่ใช้กันแบ่งออกเป็นสองประเภทตามความต้องการของการ ใช้งาน ประเภทแรกเป็นสารที่ใช้ลดความเสียดทานและการสึกหรอสำหรับสภาวะการทำงานเบา สารนี้บางครั้ง เรียกว่าสารเพิ่มคุณภาพสำหรับการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (boundary lubrication additives) ได้แก่ กรดไขมัน (fatty acids) และน้ำมันไขมัน (fatty oils) ประเภทที่สองเป็นสารที่ใช้ลดความเสียดทานและการสึกหรอภายใต้ สภาวะความดันสูงมาก เรียกว่า Extreme Pressure Additive (EP) ซึ่งจะทำหน้าที่โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ โดยจะเกิดเป็นฟิล์มเคลือบที่ผิวโลหะป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผิวโลหะ สาร EP โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบ ของซัลเฟอร์ คลอรีน หรือฟอสฟอรัส ตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวรวมกัน

2.2 ความหนืด

ความหนืด (viscosity) ถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิด ฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัส และมีผลต่อการเกิดความร้อนขึ้นในระหว่างผิวสัมผัสที่มีการหล่อลื่นด้วย น้ำมัน ความหนืด หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทาน ในการไหล หลักการของความหนืดตามที่แสดงในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วยแผ่นวัตถุถูกดึงไปบนฟิล์มของน้ำมันด้วยความเร็ว สม่ำเสมอ ฟิล์มของน้ำมันติดอยู่กันทั่วผิววัตถุที่เคลื่อนที่และที่อยู่กับที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาให้น้ำมันประกอบขึ้นด้วยชั้นน้ำมันหลายๆ ชั้น ชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่เคลื่อนที่ก็เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเดียวกับผิวที่เคลื่อนที่ (U) ส่วนชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่อยู่ กับที่ก็จะมีความเร็วเป็นศูนย์ชั้นน้ำมันที่อยู่ระหว่างชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดก็จะถูกดึงไปด้วยชั้นน้ำมันที่อยู่ด้านบน ถัดไปให้มีความเร็วส่วนหนึ่งของความเร็ว U



รูปที่ 2.3 หลักการของความหนืด

ซึ่งความเร็วของแต่ละชั้นของน้ำมันดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ระยะจากผิววัตถุที่อยู่กับที่ แรง (F) ที่ต้องใช้ในการดึงให้ผิววัตถุอันบนเคลื่อนที่ไปนี้ก็คือ แรงที่ต้องเอาชนะความ เสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นน้ำมันนั่นเอง และเนื่องจากแรงนี้เป็นผลมาจากความหนืด โดยแรงจะเป็นสัดส่วนโดย ตรงกับความหนืด ดังนั้นความหนืดก็สามารถได้จากการวัดแรงที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานของน้ำมัน ความหนืดที่หาได้ในที่นี้เรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) หรือความหนืดเชิงพลศาสตร์ (dynamic viscosity) หน่วยความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่นิยมใช้กันคือ หน่วยเป็น Poise (P) ซึ่งเป็นหน่วนในระบบ CGS (Centimetre Gram Second) โดย

1 poise = 1 dyne s / cm^2 = 1 g / cm.s

1 centipoise (cP) = 1 x 10^2 poise (P)

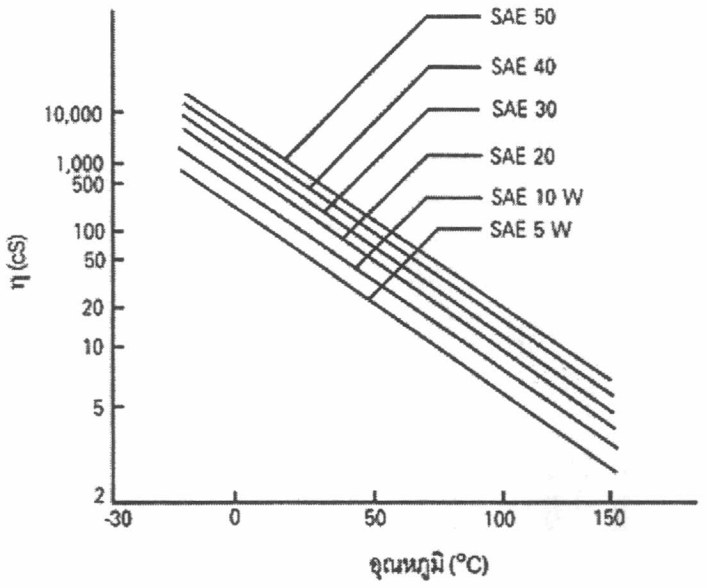
แต่ค่าของความหนืดเชิงพลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่นค่อนข้างกว้าง คือมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 400 cP และ โดยทั่วไปเครื่องมือวัดความหนืดจะไม่สามารถวัดค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้โดยตรง ดังนี้ จึงได้มีการกำหนด ค่าความหนืดในอีกรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า ความหนืดเชิงจลศาสตร์ (kinematic viscoscity) โดยให้ความหนืดเชิง จลนศาสตร์ เท่ากับความหนืดเชิงพลศาสตร์ หารด้วยความหนาแน่นของน้ำมันหรือของไหลนั้น ๆ หน่วยความหนืดเชิงจลศาสตร์ที่นิยมใช้กันก็คือ หน่วย Stoke (St) ซึ่งเป็นหนึ่งในระบบ CGS เช่นเดียวกัน โดย

1 stoke (St) = 1 cm^2/s

1 centistoke (cSP) = 1 x 10^2 ptoke (St)

นอกจากหน่วยของความหนืดที่ใช้กันข้างต้นแล้วยังมีการวัดความหนืดในหน่วยอื่นอีกได้แก่ Saybolt Universal Seconds (SUS), Saybol furlo Seconds (SFS), Redwood Seconds และ Engler Degree ซึ่งความหนืดใน หน่วยเหล่านี้กำหนดขึ้นตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด

(viscometer) และสภาวะการทดสอบ (อุณหภูมิ ของการทดสอบ) แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนืดในหน่วยต่าง ๆ ข้างต้นก็สามารถที่จะแปลงเป็นค่าในหน่วยความหนืด เชิงจลศาสตร์ได้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาวะการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแปรผัน กับอุณหภูมิและความดันในการใช้งาน ในด้านของอุณหภูมิความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งเมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของเหลวจะขยายตัว โมเลกุลของน้ำมันจะเคลื่อนออกห่างกัน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ลดลง และเป็นผลให้ความหนืดลดลงด้วย รูปที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ ของน้ำมันหล่อลื่น และเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับอุณหภูมิที่มีต่อความหนืด เชิงจลศาสตร์ได้ด้วย

2.3 ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์

ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ มาจากศัพท์ภาษาอังกฤษ 2 คำ คือคำว่า "Hydrocarbon" และคำว่า "Solvent" จะขอกล่าวถึงความหมายของแต่ละคำเสียก่อนโดยได้แปลความหมายของคำทั้ง 2 จากหนังสืออ้างอิง "Condensed Chemical Dictionary" Eleventh Edition By N.Irving Sax, Richard J.Lewis, Sr. ดังนี้

2.3.1 ไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) หมายถึง สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุเฉพาะ คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เท่านั้น แหล่งกำเนิดของไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่จะได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียม, น้ำมันที่ได้จากถ่านหินในขบวนการ Hydrogenation ภายใต้ความดัน นอกจากนั้นยังได้จากแหล่งกำเนิดจากพืช ไฮโดรคาร์บอนจะมีโครงสร้างแตกต่างกันไป สามารถจำแนกตามลักษณะโครงสร้างได้ดังนี้

2.3.1.1 อะลิฟาติกส์ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) หมายถึง ไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง (Straight-chain) หรือมีกิ่งก้านสาขา (Branched-chain) และภายในโครงสร้างมีการจัดเรียงตัวของคาร์บอนและไฮโดรเจนแตกต่างกัน มีชื่อเรียกต่างกันดังนี้

พาราฟินส์ หรืออัลเคนส์ (Paraffins or Alkanes) มีการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจน อะตอมแบบพันธะเดี่ยว (Single bond)

โอเลฟินส์ หรืออัลคีนส์ (Olefins or Alkenes) มีการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมแบบพันธะคู่ (Double bond)

อะเซทีลีน หรือ อัลคายส์ (Acetylenes or Alkynes) มีการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมแบบพันธะสาม (Triple bond)

อะไซคลิกเทอร์พีน (Acyclic terpenes) ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเป็นโพลิเมอร์ของไอโซพรีน (polymer of isoprene)

2.3.1.2 ไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (Cyclic Hydrocarbon) หมายถึง ไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะโครงสร้างต่อกันเป็นวง และภายในโครงสร้างมีการจัดเรียงตัวของคาร์บอนและไฮโดรเจนแตกต่างกันดังนี้

- ไซโคลพาราฟินส์หรือแนพทีนส์ (Cycloparaffins or Naphthenes) หมายถึง การจัดเรียงตัวของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นพันธะเดียวกันต่อกันเป็นวง

- ไซโคลโอเลฟินส์ (Cycloolefins) หมายถึง การจัดเรียงตัวของคาร์บอนและไฮโดรเจนด้วยพันธะคู่อย่างน้อย 2 คู่ต่อกันเป็นวง

- ไซโคลอะเซทีลีน(Cycloacetylenes or Cyclynes) หมายถึง การจัดเรียงตัวของคาร์บอนและไฮโดรเจนด้วยพันธะสามต่อกันเป็นวง

- อะโรมาติกส์ (Aromatics) โครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นวงเป็นรูป 6 เหลี่ยม (Hexagonal ring structure) มีพันธะคู่ 3 คู่สลับกับพันธะเดี่ยว ในโครงสร้างของกลุ่มอะโรเมติกส์ไฮโดรคาร์บอนอาจจะประกอบด้วย Hexagonal ring หลายๆวงก็ได้

- ไซคลิกเทอร์พีน (Cyclic Terpenes) หมายถึง โพลิเมอร์ของไอโซพรีนที่ต่อกันเป็นวง

2.3.2 โซลเว้นท์

โซเว้นท์ (Solvent) หมายถึงสารใดๆ ที่มีความสามารถในการละลายสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือหลายสิ่งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน ภาษาไทยอาจจะใช้ว่า "ตัวทำละลาย" ดังนั้นโซลเว้นท์จึงเป็นคำที่ให้ความหมายกว้างมาก เพราะมีสารอยู่มากมายที่ใช้เป็นตัวทำละลายและการเลือกใช้โซลเว้นท์จะต้องเหมาะสมกับงานที่ต้องการ ประเภทของโซลเว้นท์พอจะจำแนกได้ตามโครงสร้างทางเคมีของสารต่างๆ ดังนี้

- น้ำ (Water)
- ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ (Hydrocarbon Solvent)
- แอลกอฮอล์ (Alcohols)
- เอสเทอร์ (Esters)
- อีเทอร์ (Ethers)
- คีโตนส์ (Ketones)
- เอมีนส์ (Amines)
- ไนเตรเตดไฮโดรคาร์บอน (Nitrated hydrocarbons)
- คลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated hydrocarbons)

2.3.3 ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ (Hydrocarbon Solvent)

เมื่อทราบความหมายของคำว่า ไฮโดรคาร์บอนและโซลเว้นท์แล้ว จะสามารถตอบนิยามคำว่าไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ได้คือ สารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้นและมีความสามารถในการละลายสิ่งใดสิ่งหนึ่ง หรือหลายสิ่งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อกล่าวถึงไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ก็จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและการจัดเรียงตัวแบบต่างๆ ตัวอย่างของไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์กลุ่มใหญ่ๆ ที่นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย ได้แก่

2.3.3.1 กลุ่มอะลิฟาติกส์ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ มีทั้งที่เป็นเคมีภัณฑ์และเป็นของผสมช่วงการกลั่นแคบ (Narrow cut) และช่วงการกลั่นกว้าง (Wide cut) ได้แก่

- เพนเทน (Pentane)
- เฮกเซน (Hexane)
- เฮปเทน (Heptane)
- รับเบอร์โซลเวนท์ (Rubber Solvent)
- ไวท์สปิริต (White Spirit) หรือ Mineral Spirit
- Special Boiling Point (SBP)
- ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ethers)
- ปิโตรเลียมโซลเว้นท์ (Petroleum solvent)
- ปิโตรเลียมสปิริต (Petroleum spirit)
- อะลิฟาติกส์ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์อื่นๆ ที่ใช้ชื่อการค้าแตกต่างกันไป

2.3.3.2 กลุ่มอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ มีทั้งที่เป็นเคมีภัณฑ์ และเป็นของผสมช่วงการกลั่นแคบ (Narrow cut) และช่วงการกลั่นกว้าง (Wide cut) ตัวอย่างเช่น

- เบนซีน (Benzene)
- โทลูอีน (Toluene)
- ไซลีน (Xylene)
- อะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นอื่นๆ ที่ใช้ชื่อการค้าแตกต่างกันไป

การนำไฮโดรคาร์บอนโซลเว้นท์ไปใช้ในงานต่างๆ ดังนี้

ผลิตภัณฑ์	ประเภทอุตสาหกรรม
- เฮกเซน (Hexane)	- อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืช - กาวและเทป

ผลิตภัณฑ์	ประเภทอุตสาหกรรม

- เฮกเซน (Hexane)	- ตัวทำปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติก
- เพนเทน (Pentane)	- อุตสาหกรรมโฟม
- โทลูอีน (Toluene)	- แลกเกอร์, ทินเนอร์, หมึกพิมพ์
	- สีและเรซิน
	- ยางสังเคราะห์
	- ผลิตผงซักฟอก
- ไซลีน (Xylene)	- ยาฆ่าแมลง
	- สีอุตสาหกรรม
- ไวท์สปิริต (White Spirit)	- สีและวาร์นิช
	- สารชำระล้าง (ซักแห้ง)
	- พิมพ์ย้อมผ้า
- รับเบอร์โซลเว้นท์	- อุตสาหกรรมทำยางรถยนต์ และผลิตภัณฑ์ยางอื่นๆ ยางสังเคราะห์, ยางธรรมชาติ
	- สารชำระล้าง
	- กาวและเทป

2.4 น้ำมันเกียร์ (Gear oil)

คำว่า "เกียร์" เป็นภาษาอังกฤษ ซึ่งหมายถึงเฟืองต่างๆ ของเครื่องจักร เครื่องยนต์ หน้าที่ของเกียร์ มีดังนี้

1. เป็นตัวส่งถ่ายกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
2. เป็นตัวเพิ่มหรือลดความเร็ว
3. เปลี่ยนทิศทางการหมุน

ดังนั้น "เกียร์" ที่มีใช้ในรถยนต์หมายถึง กระปุกเกียร์ เฟืองท้าย เฟืองพวงมาลัย เป็นต้น น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในระบบเฟืองจึงต้องทำหน้าที่ต่อไปนี้

1. จะต้องลดเสียงดังอันเนื่องจากการขบกันของเฟืองให้น้อยที่สุด
2. จะต้องลดการสั่นสะเทือนหรือแรงกระแทกของเฟืองให้น้อยลง

3. จะต้องลดการสึกหรอของเฟืองให้น้อยที่สุด
4. จะต้องรักษาให้เฟืองมีสภาพและกำลังแข็งแรงคงที่ตลอดเวลา

น้ำมันเกียร์จะต้องเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูงเพื่อให้เหมาะสมกับฟันเฟืองของยานพาหนะ เมื่อความร้อนสูงขึ้นหรือลดลงน้ำมันนี้ก็ยังรักษาความหนืดไว้ได้ โดยความหนืดเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก นอกจากนี้มีการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เพื่อป้องกันมิให้เกิดฟองในน้ำมัน (Antifoam) เพราะเฟืองหมุนเร็วมาก โอกาสที่น้ำมันจะแตกกระจายเป็นฟองจึงมีมาก

เกียร์และเฟืองท้ายเป็นชิ้นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนรถยนต์ ซึ่งทำงานหนักพอๆ กับเครื่องยนต์ เจ้าของรถยนต์ส่วนมากมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นในห้องเกียร์ และเฟืองท้ายเสมอ ปัญหาที่เกิดขึ้น คือการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบเกียร์เฟืองท้าย ของรถยนต์นั้น เกียร์ที่ใช้กับรถยนต์มีมากมายหลายชนิด แต่สถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute) (API) ได้แบ่งชนิดของเกียร์การทำงาน และคุณสมบัติของน้ำมันที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้อักษร GL= GEARLUBRICANT กำกับการแยกประเภทของน้ำมันเกียร์

น้ำมันเกียร์และน้ำมันเฟืองท้ายสำหรับรถยนต์ ก็มีการแยกประเภทตามมาตรฐานความหนืด และสภาพการใช้งาน ทำนองเดียวกับน้ำมันเครื่อง

2.4.1 มาตรฐานการแยกน้ำมันเกียร์ตามความหนืด

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานกำหนดความหนืดของน้ำมันเกียร์

เบอร์ SAE	ความหนืด CSt ที่ 100 ซ
75 W	ไม่น้อยกว่า 4.1
80 W	ไม่น้อยกว่า 7.0
85 W	ไม่น้อยกว่า 11.0
90	13.5-24.0
140	24.0-41.0
250	41.0 ขึ้นไป

2.4.2 มาตรฐานการแยกประเภทน้ำมันเกียร์ตามการใช้งาน API

API แบ่งได้ดังนี้

GL-1 ใช้สำหรับงานของเกียร์ประเภทเฟืองเดือยหมู เฟืองหนอน ในสภาพงานเบา โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มสารเพิ่มคุณภาพ

GL-2 ใช้สำหรับงานของเกียร์ประเภทเฟืองหนอน เพลาล้อ ซึ่งเป็นงานหนักกว่าประเภท GL-1 น้ำมันที่ใช้ควรมีสารเพิ่มคุณภาพเพื่อป้องกันการสึกหรอ

GL-3 ใช้สำหรับงานของเฟืองเกียร์ประเภทเดือยเฟืองหมูและกระปุกเกียร์ที่มีสภาพความเร็วและการรับแรงขนาดปานกลาง ใช้น้ำมันที่มีสารเพิ่มคุณภาพแรงกดขนาดสูงปานกลาง

GL-4 ใช้สำหรับงานของเฟืองเกียร์ประเภทไฮปอยด์ (Hypoil) ที่ทำงานหนักกว่าปานกลาง มีคุณลักษณะของการทำงานขั้น MIL-L-2105

GL-5 ใช้สำหรับงานของเฟืองเกียร์ประเภทไฮปอยด์ (Hypoil) ที่ทำงานหนักมากและมีลักษณะของงานขั้น MIL-L-2105 B,C หรือใกล้เคียงกับ MOT CS 3000B (มาตรฐานของอังกฤษ)

GL-6 ใช้สำหรับงานของเฟืองเกียร์ประเภทไฮปอยด์ (Hypoil) ที่มีแนวเยื้องศูนย์มากกว่า 2.0 นิ้ว และประมาณ 25 เปอร์เซ็นของเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวใหญ่ที่มีความเร็วสูง

ส่วนประเภทน้ำมันเกียร์ตามมาตรฐานทางการของสหรัฐอเมริกาขณะนี้มีอยู่อย่างเดียวคือ MIL-L-2105C ซึ่งมีคุณภาพสูงกว่า MIL-L-2105 ในด้านที่ว่าสามารถรับแรงกดได้สูงกว่า มีอายุใช้งานนานมาก น้ำมันเกียร์ MIL-L-2105 เป็นน้ำมันหล่อลื่นอเนกประสงค์ใช้กับเฟืองยานยนต์ทั่วไปที่ต้องรับแรงกดสูง มีแรงกระแทกและอัตราความเร็วสูง MIL-L-2105 ถึงแม้จะยกเลิกเป็นทางการแล้ว แต่ในวงการอุตสาหกรรมก็ยังอ้างอยู่

เฟืองท้ายในรถยนต์ในปัจจุบัน ซึ่งส่วนมากเป็นระบบไฮปอยด์เกือบทั้งหมด ยกเว้นบางชนิดที่ใช้เฟืองท้ายแบบลิมิเต็ดสลิป หรือระบบอื่นๆ เฟืองท้ายแบบไฮปอยด์ต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำมา ถ้าใช้ผิดชนิดจะทำให้เฟืองท้ายสึกหรอเร็ว และจะมีเสียงดังหรือที่นักขับรถเรียกว่า เฟืองท้ายหอน ส่วนเฟืองท้ายแบบลิมิเต็ดสลิปนั้น ต้องเลือกใช้น้ำมันชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติเกี่ยวกับความฝืดช่วยให้คลัชไม่ลื่นขณะทำงาน ถ้าใช้น้ำมันเกียร์ธรรมดาจะทำให้คลัชลื่น มีเสียงดัง เมื่อรถวิ่งเลี้ยว ซ้าย-ขวา

การเลือกใช้น้ำมันเกียร์ให้ถูกต้องและมีคุณภาพดีที่สุดสามารถศึกษาได้จากคำแนะนำการใช้น้ำมันเกียร์จากหนังสือคู่มือรถ

2.5 การหาค่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของเหลวสองชนิดจากค่าความหนืดรวม

จากสมการในโปรแกรม เอ็มเอส-ดอส ควิกเบสิก ของบริษัทไมโครซอฟ ปีคริสศักราชที่ 1998 – 1992 แสดงเป็นสมการคำนวณค่าค่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของเหลวสองชนิดจากค่าความหนืดรวม ที่อุณหภูมิคงที่

$$Y_A = \text{Log}(\text{Log}(V_A + 0.8)) \quad (2.1)$$

$$Y_B = \text{Log}(\text{Log}(V_B + 0.8)) \quad (2.2)$$

$$Y_M = \text{Log}(\text{Log}(V_M + 0.8)) \quad (2.3)$$

$$F_A = (Y_3 - Y_2)/(Y_2 - Y_1) \quad (2.4)$$

$$F_B = 1 - F_A$$

$$P_{A1} = F_A * 100$$

$$P_{B1} = F_B * 100$$

สมการที่ 2.1 พัฒนามาจากสมการที่ 1.1 ใน ASTM D341 มีรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิสำหรับสารพวกไฮโดรคาร์บอน ที่ได้มาโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยสร้างสมการเส้นตรง(Journal of Materials, Vol 4, No. 1, 1969, pp. 19-27)เนื่องจากใช้ที่อุณหภูมิคงที่จึงยุบเทอมของอุณหภูมิลงได้

$$\text{Log}(\text{Log}(V_A + 0.8)) = A - B \text{ Log } T \quad (1.1)$$