เรื่องเล่าจากครูฟิสิกส์แก่ๆ ตอน 2

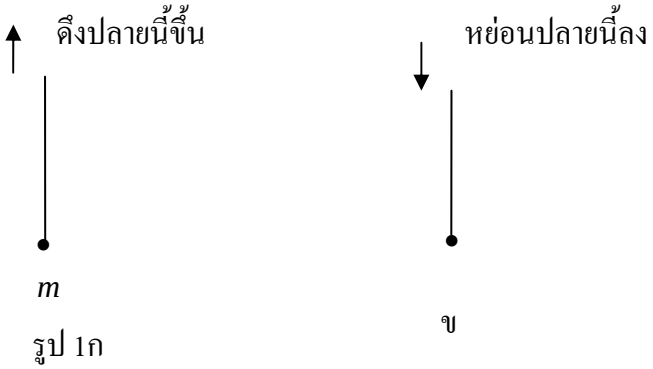
แรงตึงเชือก และแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุ

ผศ.ดร.ธีระพันธุ์ สันติเทวกุล 20 สิงหาคม 2555

ทั้งแรงตึงเชือกและแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุเป็นแรงที่เจอบ่อยๆในวิชากลศาสตร์ จึงควรให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแรงทั้งสองนี้ แรงตึงเชือกนั้นไม่ค่อยซับซ้อนแต่แรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุมีด้านที่ซับซ้อนกว่า

ทิศของแรงตึงเชือกและทิศของแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุ

แม้แรงตึงเชือกเป็นแรงที่ไม่ซับซ้อนแต่ไม่ได้หมายความว่าเด็กส่วนใหญ่จะเข้าใจได้โดยง่าย ผมมักทดสอบความเข้าใจของนักศึกษาด้วยการถามว่า ถ้าผูกเชือกเข้ากับวัตถุมวล m จับปลายเชือกด้านหนึ่งแล้วดึงเชือกขึ้นในแนวดิ่งดังรูป 1 ก ถามว่าทิศของแรงที่เชือกกระทำต่อมวล m มีทิศไปทางใด



รูป 1ก

เด็กทั้งหมดตอบถูกว่ามีทิศชี้ขึ้น

คราวนี้ผมถามใหม่ว่า ถ้าหย่อนเชือกลงดังรูป 1ข ทิศของแรงที่เชือกกระทำต่อมวล m มีมิศไปทางใด

คราวนี้เสียงเริ่มแตกแล้ว บางคนบอกว่าขึ้น บางคนบอกว่าลง

ตอนที่ผมเป็นครูใหม่ๆนั้นผมเองก็อึ้งไปเหมือนกัน ไม่รู้จะงัดตำราเล่มไหนมาอธิบายให้เด็กเข้าใจ ก็ได้แต่ใช้ปากอธิบายซึ่งเด็กที่ไม่เข้าใจก็คงจะยังไม่เข้าใจอยู่นั่นแหละ ต่อมาจึงคิดหาวิธีที่จะให้เด็กเข้าใจด้วยตัวเขาเองด้วยการให้เส้นด้ายแก่เด็กที่ตอบว่ามีทิศลง ให้เขาจับปลายหนึ่งไว้แล้วพยายามเอาอีกปลายหนึ่งดันหนังสือ ดูซิว่าหนังสือจะขยับไหม ลักษณะของเส้นด้ายเป็นดังรูป 2

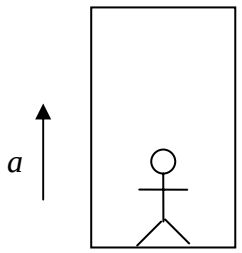
รูป 2

ซึ่งมันเป็นไปไม่ได้ที่หนังสือจะขยับ ผมจึงสอนว่าโดยธรรมชาติของเส้นเชือก(เชือกในอุดมคติ หรือก็คือเชือกเบา) นั้น มันออกแรงดันไม่เป็น เป็นแต่ออกแรงดึง และแนวของแรงจะอยู่ในแนวของเส้นเชือก แรงตึงเชือกเป็นแรงประเภทที่ต้องสัมผัส มันออกแรงกระทำต่อวัตถุขนาดเท่ากับแรงตึงเชือก ณ ตำแหน่งที่มันสัมผัส (แรงตึงเชือกอาจไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นเชือก)

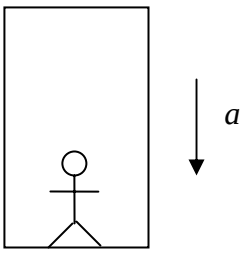
จากนั้นจึงย้อนกลับไปถามรูป 1ข ใหม่ คราวนี้เด็กๆจะตอบได้ว่ามีทิศชี้ขึ้น เพราะเชือกต้องออกแรงดึงเท่านั้น

อีกอย่างที่ผมเจอคือเด็กมักจำว่าเชือกเบาที่เป็นเชือกเส้นเดียวกันแรงตึงเชือกจะเท่ากันทั้งเส้น ซึ่งมันอาจจะไม่จริงถ้าเชือกเส้นนี้พาดผ่านผิวฝืด เพราะแรงเสียดทานระหว่างเชือกกับผิวฝืดทำให้แรงตึงเชือกที่ตำแหน่งต่างๆไม่เท่ากัน

การทดสอบความเข้าใจเรื่องทิศของแรงตึงเชือกในรูป 1 ผมมักทำคู่กับการทดสอบความเข้าใจทิศของแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุ โดยสมมติว่าคนยืนบนพื้นลิฟท์ ถ้าลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่งดังรูป 3 ก ถามว่าทิศของแรงที่พื้นลิฟท์กระทำต่อเท้าคนชี้ขึ้นหรือลง



รูป 3 ก



ข

เด็กทุกคนจะตอบได้ว่าทิศชี้ขึ้น แต่พอเป็นกรณีลิฟท์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่งจะมีบางคนตอบว่าแรงที่พื้นลิฟท์กระทำต่อเท้าคนมีทิศชี้ลง (ซึ่งผิด) ผมก็จะให้เขาใช้พื้นผิวของหนังสือพยายามดึงดูดอะไรสักอย่าง (ตรงข้ามกับกรณีของเชือก) ตัวอย่างเช่นดูดยางลบ ซึ่งมันเป็นไปไม่ได้ แต่ถ้าใช้วิธีผลักจะทำได้ คือผลักยางลบให้เคลื่อนที่ได้ ในรูป 3 ข นั้นถ้าทิศของแรงที่พื้นลิฟท์กระทำต่อเท้าคนมีทิศชี้ลงก็แปลว่าพื้นลิฟท์ดูดเท้าคนได้ ซึ่งไม่เป็นความจริง

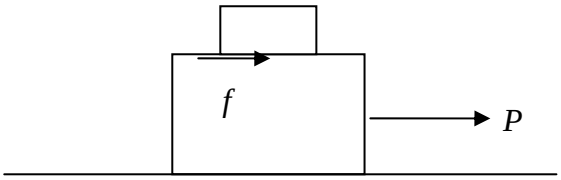
ธรรมชาติของเชือกนั้นมันดึงเป็นอย่างเดียว ดันไม่เป็น ส่วนธรรมชาติของพื้นผิวนั้นมันดันเป็นอย่างเดียว(อาจดันในแนวเฉียง ไม่ตั้งฉากกับพื้นผิว) ดึงไม่เป็น ไม่ว่าจะมีความเร่งหรือไม่ก็ตาม หรือมีความเร่งในทิศใดก็ตาม เชือกหรือพื้นผิวมันยังคงดึงอย่างเดียว หรือดันอย่างเดียว

เท็คนิคที่ผมเล่าให้ฟังนี้ เป็นเท็คนิคง่ายๆ แทบไม่ต้องเตรียมอะไรเลย

แรงเสียดทาน

แรงเสียดทานเป็นส่วนหนึ่งของแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุ(อีกส่วนหนึ่งคือแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ตัวอย่างเช่นแรงที่พื้นลิฟท์กระทำต่อเท้าคนในรูป 3) เป็นแรงที่เจอค่อนข้างบ่อย จึงควรอธิบายให้นักเรียนเข้าใจ

ปกติแล้วผมจะไม่ค่อยถามว่าสิ่งนั้นสิ่งนี้คืออะไร (แต่จะถามว่าเรานิยามมันขึ้นมาเพื่ออะไร หรือเราใช้ประโยชน์มันอย่างไร) เพราะเป็นคำถามที่ตอบยาก อยู่ที่ว่าผู้ถามต้องการคำตอบแบบไหน ตัวอย่างเช่นโมเมนตัมคืออะไร ทอร์กคืออะไร อุณหภูมิคืออะไร เป็นต้น แต่ในกรณีของแรงเสียดทานนั้นผมมักจะถาม และคำตอบที่ได้รับเกือบทั้งหมดจะเป็น “แรงเสียดทานเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่” คำตอบนี้มีส่วนถูกแต่ไม่ถูกทั้งหมด และคงไม่ใช่แต่เด็กไทยที่ตอบแบบนี้ ประเทศอื่นคงเป็นเช่นกันเพราะมีผู้เขียนลงในวารสาร (journal) ทางการศึกษาหลายครั้ง ตัวอย่างเช่น Salazar และคณะ เขียน Is the frictional force always opposed to the motion? ในวารสาร Physics Education Vol.25 (1990) หน้า 82-85 เขายกตัวอย่างดังรูป 4 คือมีกล่อง 2 กล่องซ้อนกัน ดึงกล่องใบล่างไปทางขวามือด้วยแรง P ให้มีความเร่ง แรงเสียดทาน f ที่กล่องใบล่างทำต่อใบบนทำให้กล่องใบบนเคลื่อนที่ไปทางขวามือ



รูป 4

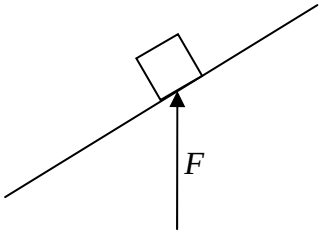
ก็คือทิศของแรงเสียดทานและทิศของการเคลื่อนที่เป็นทิศเดียวกัน ในกรณีนี้แรงเสียดทานไม่ได้ต้านการเคลื่อนที่แต่ทำให้กล่องใบบนเกิดการเคลื่อนที่

แล้วควรจะสอนเรื่องแรงเสียดทานอย่างไรจึงจะดี?

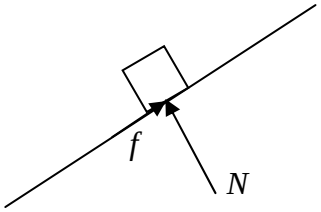
สำหรับตัวผมเองนั้นผมเลือกในแนวหนังสือของ Young* ซึ่งเขียนเป็นภาพเพื่อให้เห็นชัดเจน ได้ดังนี้

สมมติมีกล่องวางบนพื้นเอียงฝืดดังรูป 5 ก เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจสมมติว่ากล่องนี้อยู่นิ่ง

* University Physics โดย Young & Freedman



รูป 5 ก



ข

แรงที่พื้นเอียงทำต่อกล่องจริงๆแล้วมีแรงเดียวคือแรง F ในรูป 5 ก แต่เพื่อความเหมาะสมเราแตกแรงนี้เป็น 2 แรงอยู่ในแนวตั้งฉากกัน แรงหนึ่งตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงเรียกว่าแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก N อีกแรงหนึ่งอยู่ในแนวขนานกับผิวพื้นเอียงเรียกว่าแรงเสียดทาน f ดังในรูป 5ข ถ้าลองนึกดูจะเห็นว่าการที่เราเรียกแรงในแนวขนานกับผิวว่าแรงเสียดทานนี้ เป็นการเรียกที่สอดคล้องกับความเป็นจริง ถ้าเป็นวัตถุผิวลื่นจะไม่สามารถออกแรงในแนวขนานกับผิวได้

ดังนั้น ถ้าจะตอบว่าแรงเสียดทานเป็นแรงแบบใด คำตอบก็คือแรงเสียดทานเป็นแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุในแนวที่ขนานกับพื้นผิวนั้น

แรงเสียดทานในระดับมัธยมศึกษารวมทั้งปี 1 มหาวิทยาลัย แบ่งเป็น 2 ชนิด* คือแรงเสียดทานจลน์ f_k และแรงเสียดทานสถิต f_s โดย

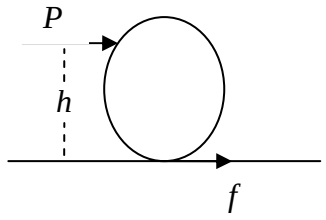
$f_k = \mu_k N$ และ $f_s \le \mu_s N$

แรงเสียดทานจลน์เกิดขึ้นเมื่อผิวทั้งสองในตำแหน่งที่แตะกันไม่อยู่นิ่งเทียบกับกัน (มีลูกศิษย์บางคนเขาใช้คำว่ามีการขูด ซึ่งก็ตรงความหมายดีเหมือนกัน) แรงเสียดทานสถิตเกิดขึ้นเมื่อผิวทั้งสองในตำแหน่งที่แตะกันอยู่นิ่งเทียบกับกัน (ไม่มีการขูด) แรงเสียดทานจลน์นั้นขนาดและทิศทางดูได้ง่าย โดยขนาดนั้นเท่ากับ $\mu_k N$ ส่วนทิศทางนั้นต้านการขูด ซึ่งเป็นทิศที่เห็นได้โดยง่าย แรงเสียดทานสถิตนั้นยากกว่าเพราะขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ $\mu_s N$ อีกทั้งทิศทางนั้นก็ดูได้ยากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการกลิ้งโดยไม่ไถลซึ่งเกี่ยวกับแรงเสียดทานสถิตนั้น ถ้าแค่พิจารณาอย่างเดียวอาจระบุทิศที่ผิด อาจต้องใช้การคำนวณช่วยจึงจะระบุทิศได้

---

* เพราะในระดับนี้เราถือว่าพื้นผิวที่สัมผัสกันนั้นแข็งมากไม่มีการผิดรูป เช่นกลิ้งทรงกระบอกบนพื้นราบ เราถือว่าทรงกระบอกกลมดิกแบบไม่มีการเบี้ยว พื้นก็ไม่มีการยุบเนื่องจากน้ำหนักของทรงกระบอก ในความเป็นจริงนั้นวัตถุมักมีการผิดรูปด้วย เช่นล้อยางจักรยานส่วนที่แตะพื้นจะไม่กลมหรือทรงกระบอกโลหะถึงแม้จะกลมแต่ถ้ากลิ้งบนทราย ทรายก็จะยุบ ผลก็คือมีแรงต้านเกิดขึ้นเราเรียกว่าแรงเสียดทานกลิ้ง (rolling froction)

ตัวอย่างเช่น* ทรงกระบอกตันรัศมี R อยู่บนพื้นราบ มีแรง P กระทำในแนวระดับที่ความสูง h จากพื้นราบ ดังรูป 6



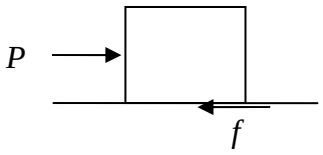
รูป 6

ถ้าทรงกระบอกนี้กลิ้งโดยไม่ไถล จะได้ว่า** แรงเสียดทาน $f = P\left(\frac{2h}{3R} - 1\right)$ ก็คือ ในช่วง $\frac{3}{2}R < h \le 2R$ ทิศของแรงเสียดทานไปทางขวา ในช่วง $0 \le h < \frac{3}{2}R$ ทิศของแรงเสียดทานไปทางซ้าย และที่ $h = \frac{3}{2}R$ แรงเสียดทานเป็นศูนย์

แรงเสียดทานต้องเร้าจึงจะเกิดโดยจะเกิดในทิศที่ต้านการเร้า

ได้กล่าวมาแล้วว่าเพื่อความเหมาะสมเรามองว่าแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุนั้นประกอบด้วยแรงปฏิกิริยาตั้งฉากและแรงเสียดทาน โดยธรรมชาติของพื้นผิวนั้นจะให้มันออกแรงกระทำต่อสิ่งอื่นเลยมันทำไม่ได้ สิ่งอื่นต้องออกแรงกระทำต่อมันก่อนมันจึงจะออกแรงโต้กลับ (เราจึงเรียกแรง N ในรูป 5 ข ว่าแรง*ปฏิกิริยา*ตั้งฉาก) หรือก็คือต้องมีการ"เร้า" ***มันก่อนมันจึงจะออกแรงโต้ขนาดเท่ากับแรงที่กระทำต่อมันแต่ทิศทางตรงกันข้ามตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สาม ธรรมชาติที่สำคัญอันนี้มักไม่ค่อยมีหนังสือกล่าวถึง จึงจะขอยกตัวอย่างประกอบ

รูป 7 ก



ข

---

* เอามาจาก Rolling cylinder on a horizontal plane โดย A Pinto และ M Fiolhais ใน Physics Edication V.36 No.3 (2001) หน้า 250-254

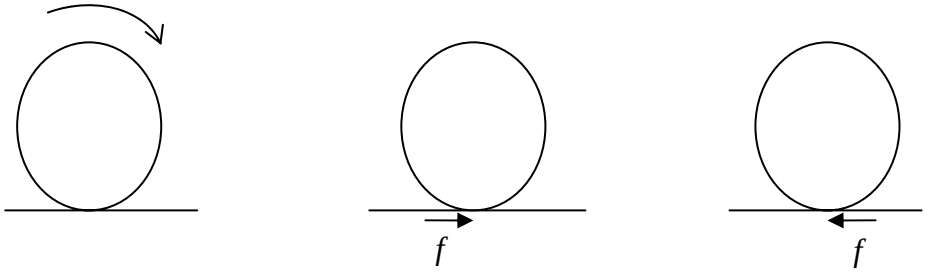
** การคำนวณทำได้ง่ายๆ โดยใช้ $\sum \vec{F} = m\vec{a}_{CM}$, $\tau = I\alpha$ และ $\vec{a}_{CM} = \alpha R$

*** ผมใช้คำว่า "เร้า" เลียนแบบชีววิทยาเรื่องการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของสิ่งมีชีวิต

รูป 7 ก แสดงกล่องวางนิ่งบนพื้นราบฝืด ถึงแม้เป็นพื้นฝืดแต่ในรูป 7 ก นี้แรงเสียดทานเป็นศูนย์เพราะไม่มีการเร้าในทิศที่ขนานกับผิวพื้นราบ

รูป 7 ข ออกแรง P กระทำต่อกล่อง ผิวของกล่องและพื้นพยายามจะไถลไปบนกันและกัน ซึ่งก็คือมีการเร้านั่นเอง ดังนั้นจึงมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น ในรูป 7 ข แสดงเฉพาะแรงเสียดทาน f ที่พื้นกระทำต่อกล่อง แต่ไม่ได้แสดงแรงเสียดทานที่กล่องทำต่อพื้นซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงกันข้าม

รูป 8 ก แสดงการกลิ้งของล้อ(ทรงกระบอก)โดยไม่ไถลไปตามพื้นราบ ถ้าล้อกลมจริงๆ และพื้นราบแข็งมากๆ ล้อจะกลิ้งไปเรื่อยๆด้วยความเร็วเท่าเดิม โดยไม่มีแรงเสียดทานเกิดขึ้น



รูป 8 ก ข ค

การกลิ้งโดยไม่มีแรงเสียดทานนี้ ดูเผินๆเหมือนไม่น่าเป็นไปได้ มีอยู่ครั้งหนึ่งในการอบรมครูฟิสิกส์ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร คุณครูท่านหนึ่งถามผมว่าในกรณีกลิ้งตามพื้นราบโดยไม่ไถลอย่างในรูป 8 ก นี้ ทิศของแรงเสียดทานไปทางซ้ายหรือทางขวากันแน่ ผมตอบไปว่าไม่มีทิศไหนหรอกเพราะแรงเสียดทานเป็นศูนย์ โดยได้สมมติให้ดูว่าถ้าแรงเสียดทานมีทิศไปทางขวาดังรูป 8 ข จาก $\sum \vec{F} = m\vec{a}_{CM}$ เมื่อมีแรงชี้ไปทางขวา ศูนย์กลางมวลก็ต้องมีความเร่งไปทางขวา คือล้อต้องเคลื่อนที่เร็วขึ้น ซึ่งขัดกับความเป็นจริงเพราะไม่มีหรอกที่ล้อจะกลิ้งเร็วขึ้นเอง หรือถ้าสมมติให้แรงเสียดทานชี้ไปทางซ้ายดังรูป 8 ค จาก $\tau = I\alpha$ เมื่อคิดทอร์กรอบแกนที่ผ่านศูนย์กลางมวลจะมีแต่ทอร์กของ f ซึ่งจะอยู่ในลักษณะที่ทำให้ล้อหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมมากขึ้นเรื่อยๆ หรือก็คือล้อจะกลิ้งเร็วขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งไม่จริง

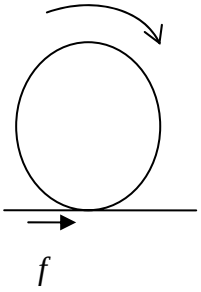
หรือถ้าดูในรูป 8 ข หรือ 8 ค รูปใดรูปหนึ่ง จะพบว่า $\sum \vec{F} = m\vec{a}_{CM}$ ขัดกับ $\tau = I\alpha$ ซึ่งมันเป็นไปไม่ได้ โดยสมการการทั้งสองจะไม่ขัดกันก็ต่อเมื่อแรงเสียดทานเป็นศูนย์

สิ่งหนึ่งที่ผมไม่ได้บอกคุณครูท่านนั้นคือ ที่ผมอธิบายนี้ไม่ใช่ผมคิดเองหรอกครับ ผมเคยอ่านเจอในหนังสือฝรั่งเล่มหนึ่งเขาอธิบายไว้สั้นๆ จำไม่ได้แล้วว่าใครเขียน อันที่จริงแล้วความรู้เกือบทั้งหมดของผมนั้นไม่ได้คิดเองหรอกครับ เอามาจากคนโน้นบ้าง คนนี้บ้าง เติมของคนอื่นนิดๆหน่อยๆบ้าง จะว่าไปแล้วครูมหาวิทยาลัยได้เปรียบครูโรงเรียนตรงที่มีโอกาสอ่านหนังสือและวารสารที่หลากหลายกว่า ซึ่งในสมัยนี้การเข้าถึงความรู้โดยใช้อินเทอร์เน็ตทำได้ง่ายแต่วารสาร

ส่วนใหญ่มักต้องจ่ายเงินจึงจะอ่านได้ กระทรวงศึกษาธิการน่าจะมีการอำนวยความสะดวกให้ครูได้อ่านวารสารทางการศึกษาของฝรั่งเพื่อให้ได้เห็นความคิดและมุมมองที่หลากหลาย จะได้เป็นทางหนึ่งในการพัฒนาครูไทยของเรา

ย้อนกลับมามองแรงเสียดทานจากมุมของการเร้า รูป 7 ข ถ้าพิจารณาดูให้ดีจะเห็นว่ากล่องพยายามดันพื้นไปทางขวา พื้นจึงออกแรงเสียดทานโต้ไปทางซ้าย คือกล่องมีการเร้าพื้น แต่ในรูป 8 ก นั้น จุดที่ล้อแตะพื้นเป็นการแตะแต่ไม่ได้เร้าให้เกิดแรงเสียดทาน คือแตะเฉยๆแต่ไม่ได้ดันไปทางซ้ายหรือขวา จึงไม่เกิดแรงเสียดทาน หรือในรูป 6 นั้น ถ้า h มีค่าน้อยๆ จินตนาการดูจะเห็นว่าทรงกระบอกมันพยายามจะดันพื้นไปทางขวา แรงเสียดทานจึงมีทิศไปทางซ้าย แต่ถ้า h มีค่ามาก ทรงกระบอกจะตะกุยพื้นไปทางซ้าย แรงเสียดทานจึงมีทิศไปทางขวา

ถ้าเราพิจารณารถยนต์ซึ่งจะมีกลไกต่อจากเครื่องยนต์ไปยังล้อซึ่งแตะอยู่กับถนน ดังรูป 9 ซึ่งแรงจากเครื่องยนต์นี่เองที่ทำให้ล้อเร้าถนนด้วยการตะกุยถนนไปทางซ้าย ถนนจึงออกแรงเสียดทานกระทำต่อล้อไปทางขวา ทำให้รถเคลื่อนที่ไปทางขวา จะเห็นว่าถ้าไม่มีเครื่องยนต์ก็ไม่มีการเร้าถนนซึ่งก็คือไม่มีแรงเสียดทานที่จะทำให้รถเคลื่อนที่



รูป 9

มาถึงตรงนี้คงพอมองเห็นแล้วว่าแรงเสียดทานนั้น<u>*ต้านการเร้า*</u> ไม่ใช่ต้านการเคลื่อนที่ บางคนอาจแย้งว่ามันก็คือต้านการเคลื่อนที่นั่นแหละ ก็แล้วแต่มุมมองครับ ส่วนตัวผมนั้นรู้สึกว่าถ้าใช้คำว่าเร้ามันตรงประเด็นกว่า