

Thai Journal of Physics

วารสาร

ฟิสิกส์ไทย

วารสารสำหรับผู้ที่ยรักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์ ISSN 0857-1449

<http://thip.org>



เตะให้เลี้ยวได้อย่างเบคแคม

Penitentes

เส้นโยนาโน

เทคโนโลยีเมมเบรนสำหรับน้ำดื่มชุมชน
ชีวกลศาสตร์ของการเตะลูกฟุตบอล

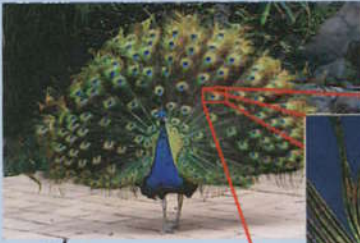


ปีที่ 23 ฉบับที่ 2

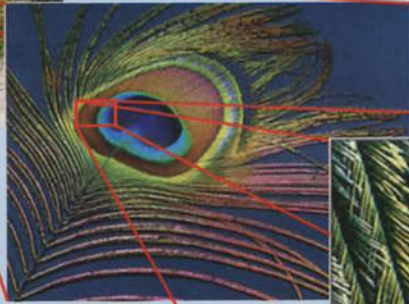
มิถุนายน - สิงหาคม 2549

นกยูงกับนาโนเทคโนโลยี

กานดา สิงห์รัตน์



รูปที่ 1



รูปที่ 2



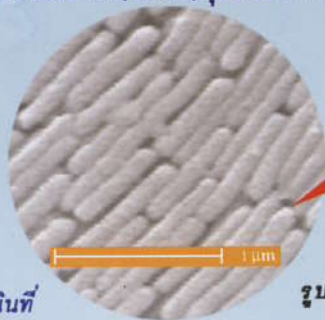
รูปที่ 3

มนุษย์สมัยนี้ชอบพูดกันนักเรื่อง **นาโนเทคโนโลยี** แต่ถ้านกยูงพูดได้ด้วยคงแอบนินทาว่า **“เด็ก ๆ”** เพราะนกยูงรู้จักใช้ประโยชน์จากนาโนเทคโนโลยีมานานมากแล้ว ใครได้เห็นก็ชอบกันทั้งนั้น ก็ต้องแปลว่านำมาใช้ได้เจียนนะสิ สีสดใสของหางนกยูงโดยเฉพาะตรง **ตาของหาง** (รูปที่ 2) ไม่ได้เกิดมาจากเม็ดสี(pigment) แต่เกิดจากการที่ขนมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นระเบียบแบบแผนเฉพาะ ที่มนุษย์ในยุคนี้เพิ่งสามารถทำขึ้นมาเองได้ โดยเรียกกันว่า **2D Photonic crystal** (รูปที่ 7) ซึ่งนำไปใช้เป็นอุปกรณ์กักเก็บแสงหรือทำเป็นท่อนำแสง(เฉพาะบางความยาวคลื่น) สำหรับเทคโนโลยีขั้นสูง

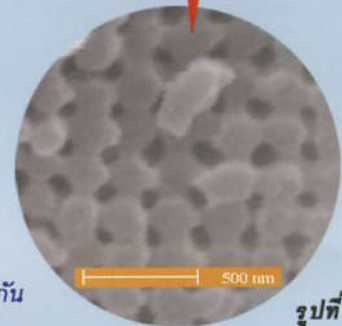
เมื่อนำขนผอยเส้นหนึ่งของรูปที่ 3 ไปถ่ายขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะเห็นรายละเอียดระดับหนึ่งดังในรูปที่ 4 นั่นคือเหมือนมีเปลือก(cortex)หุ้มแกนกลาง (medullar core) และเมื่อนำเฉพาะส่วนเปลือกไปผ่าตามยาวแล้วถ่ายภาพขยายเพิ่มขึ้นอีกก็จะเห็นภาพดังรูปที่ 5 ซึ่งส่วนเปลือกนั้นประกอบไปด้วย **แท่งเมลานิน** ยาวประมาณแท่งละ 0.7 ไมครอน เรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบห่อหุ้มและยึดไว้ด้วยกัน ด้วย **สารเคราติน** ซึ่งเมื่อผ่าตามขวางจะเห็นภาพดังรูปที่ 6 ที่เห็นเป็นสี่เหลี่ยมกว่าคือเมลานินที่ห่อหุ้มด้วยเคราติน และสี่เหลี่ยมกว่าคือช่องอากาศ ขนที่เราเห็นว่าเป็นคนละสี (ในรูปที่ 3) ก็เป็นเพราะว่าระยะห่างของแท่งเมลานินแต่ละชั้นมีค่าต่างกัน เช่นขนสีน้ำเงิน เขียว และเหลือง มีค่าประมาณ 140, 150 และ 165 นาโนเมตรตามลำดับ เรียงกันอยู่ตามแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส(ดังรูปที่ 6) เหมือนๆกัน แต่ของขนสีน้ำตาลจะเป็นคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดประมาณ 150x185 ตารางนาโนเมตร โดยจำนวนชั้นของแท่งเมลานินก็จะไม่เท่ากัน กล่าวคือ ของขนสีน้ำเงินและสีเขียวจะอยู่ที่ประมาณ 9-12 ชั้น ของขนสีเหลืองอยู่ที่ประมาณ 6 ชั้น และขนสีน้ำตาลอยู่ที่ประมาณ 4 ชั้น ซึ่งสเปกตรัมของแสงจากขนแต่ละสีมีลักษณะดังรูปที่ 8 จากการที่จำนวนชั้นของขนสีน้ำเงิน กับสีเขียว มีมากกว่าขนสีเหลืองและขนสีน้ำตาล ทำให้การสะท้อนแสงเกิดได้มากกว่า จึงได้สเปกตรัมที่เข้มกว่า.....ธรรมชาติช่างมหัศจรรย์จริงหนอ



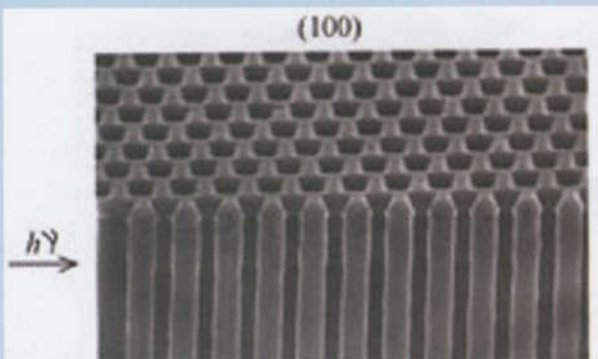
รูปที่ 4



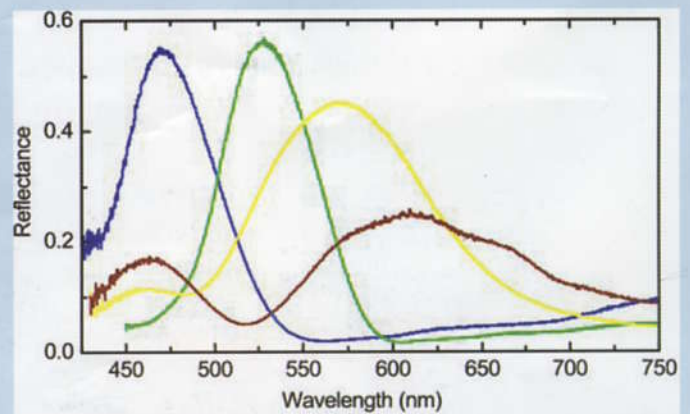
รูปที่ 5



รูปที่ 6



รูปที่ 7



รูปที่ 8

สารบัญ

สวัสดิ์

- 2 : นกยูงกับนาโนเทคโนโลยี
- 3 : สวัสดิ์
- 4 : สรุปข่าว
- 6 : เรื่องเด่นประจำฉบับ : ตะโพนเหล็กได้อย่างเบรคแฮม
- 9 : โลกชีวฟิสิกส์ : ชีวกลศาสตร์ของการเตะลูกฟุตบอล
- 12 : ขอแถมด้วยคน : ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการคลและการเปลี่ยนโมเมนตัม
- 14 : ประสิทธิภาพฟิสิกส์ : เทคโนโลยีเมมเบรนสำหรับน้ำดื่มชุมชน
- 16 : แก้อัปเดตผล
- 17 : เรียนเล่นฟิสิกส์ : การวัดอัตราเร็วเครื่องบิน
- 18 : กางตำราฟิสิกส์ : เวกเตอร์ II - การบวกเวกเตอร์และการประดับประดาอากาศ
- 23 : ฟิสิกส์ของวัสดุ : เส้นใยนาโน
- 25 : สรุปข่าว Siam Physics Congress 2006



กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ให้การสนับสนุน
ในการจัดพิมพ์วารสารฉบับนี้

ถ้าชีวิตที่ผ่านมาเครียดนัก ก็ต้องหาเรื่องคลายเครียดกันหน่อยแล้วละครับ โชคดีว่าไม่ต้องไปหาที่ไหนไกล ฟุตบอลโลกโผล่มาถูกจังหวะพอดี แต่ถ้ามัวแต่คร่ำครวญว่าดีแต่เป็นพวกรักสนุก ก็บอกไปเลยดีกว่า ไม่ได้ไร้สาระนะ กำลังศึกษาฟิสิกส์ในฟุตบอลอยู่ พร้อมกับขวารสารฟิสิกส์ไทยฉบับนี้ให้ดูเป็นหลักฐาน

วิชาฟิสิกส์นั้นมีความคล่องตัวสูง จะแสดงให้เห็น “หนูหนาน” ก็ได้ขำนิดเดียว ก็พาดันแหละตัวดี ประเภทไหนๆ ก็ต้องมีฟิสิกส์แทรกอยู่อย่างที่มีอุปกรณ์น้อยชิ้นมาก เช่น skateboard กลับมีฟิสิกส์แทรกอยู่เยอะมาก นักskaterทำท่า “Ollie” ดังภาพข้างล่างได้อย่างไร ทั้งๆที่พื้นก็เรียบและ skateboard กับเท้าก็ไม่ได้ถูกมัดติดกัน แต่อยู่ๆ skateboard ก็ลอยขึ้นมา เหมือนติดอยู่กับเท้าอย่างนั้นแหละ เป็นวิชากลศาสตร์ล้วนๆเลยใช้ไหมครับ เอาไปเป็นตัวอย่างสอนเด็กเรื่องกฎข้อที่สามของนิวตันได้เป็นอย่างดี คนเรียนก็ไม่เครียด เพราะก็พาอะไรก็สนุกทั้งนั้น ทั้งคนเล่นคนดู



พบกันใหม่ฉบับหน้า : กันยายน 2549

กองบรรณาธิการ ชาญกิจ กันฉ่อง, ขงยุทธ เหล่าศิริदार, รัตติกร ชัยนริญ, ศิรามาส โกมลจินดา, สมชาย เกียรติกรมลชัย, สุภาพ ชูพันธ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ สมสร สิงขรัตน์ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ กลชาญ อนันตสมบุญ, มานิต รุจิโรดม ฝ่ายภาพและออกแบบปก มิณซ์ เมธิ์สุวกุล, ราชนทร์ เจริญนุกูล เลขานุการกองบรรณาธิการ กฤติยา โอสถาพันธุ์ พิมพ์ที่ หน่วยพิมพ์เอกสาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ติดต่อกองบรรณาธิการ วารสารฟิสิกส์ไทย สมาคมฟิสิกส์ไทย ตู้ไปรษณีย์ 217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202 โทรศัพท์ : 053-942464, 943379 โทรสาร: 053-222776 วารสารฟิสิกส์ไทย เป็นวารสารราย 3 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่สาระข่าวสาร และเป็นสื่อสัมพันธ์ในมวลหมู่สมาชิกและผู้ที่เกี่ยวข้องในแวดวงฟิสิกส์ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์เกี่ยวกับฟิสิกส์ในวงกว้างที่สร้างสรรค์ โดยความคิดเห็นและทัศนะที่ปรากฏอยู่ในบทความต่างๆ เป็นเฉพาะของผู้เขียนแต่ละท่าน สมาคมฟิสิกส์ไทยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป Website = <http://thip.org>

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2548-2550 ที่ปรึกษา ดร.วิโรจน์ ดันตราภรณ์, รศ.ดร.วิจิตร เสงี่ยมพันธ์, ศ.ดร.วิรุฬห์ สายคณิต, ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน, ผศ.ดร.วชิรพันธ์ ปรัชญพฤตย์ นายกสมาคมฯ ศ.ดร.ธีรพัฒน์ วิลัยทอง อุปนายก รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ เลขานุการ ดร.คุณฉวี สุวรรณขจร รองเลขานุการ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวัน เจริญญิก ผศ.กานดา สิงขรัตน์ นายทะเบียน ผศ.ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ ประธานสภามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร.รัชฎาภย์ จิตต์อารี บรรณาธิการวารสารฟิสิกส์ไทย รศ.ดร.สมสร สิงขรัตน์ บรรณาธิการจดหมายข่าวฟิสิกส์ ผศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล กรรมการ ประธานสาขาฟิสิกส์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ (ผศ.ศิลปชัย บุรณพานิช), ศ.ดร.คณิศร เครืองาม, ผศ.ดร.ขจรยศ อยู่ดี, ดร.อิทธิ ฤทธาภรณ์, รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว, รศ.ดร.ชัยวิทย์ ศิลาวงษ์นาไนย, รศ.ดร.นิกร มั่งกรทอง, รศ.ดร.วีระพงษ์ แพสุวรรณ, ผศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง, รศ.ดร.พิบูล วัฒนวิชาติ, คุณจันทนา ชินพิทักษ์, คุณสุธี เพชรราชู, คุณเสรี เรืองดิษฐ์, ดร.นรินทร์ กาบบัวทอง, ผศ. สุรสิงห์ ไชยคุณ, คุณวัชร คิสสะมาน

Penitentes



ที่ผ่านมารูปฟอร์มไหน ๆ ของหิมะหรือน้ำแข็งก็สามารถทำขึ้นได้แล้วในห้องทดลอง จะมีเหลืออยู่ก็แค่กลุ่มแท่งหิมะแหลม (ดังแสดงในรูป) ที่เรียกกันว่า “Penitentes” (เพราะดูคล้ายกับหมวกแหลมสีขาวของพวกนักบวชบางลัทธิ) ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติคู่กับธารน้ำแข็งบนเทือกเขาแอนดิสในประเทศชิลีกับอาร์เจนตินา บางแท่งสูงถึง 4 เมตรก็มี ฟิสิกส์เบื้องหลังปรากฏการณ์นี้ก็คือ การระเหิดของหิมะกลายเป็นไอน้ำโดยลัดข้ามขั้นตอนของการหลอมเหลว ทั้งนี้จะเกิดขึ้นแบบสุ่มโดยเฉพาะตรงจุดที่ผิวหิมะเกิดขุบเป็นแอ่ง ที่กันแอ่งจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากกว่าบริเวณอื่น จึงเกิดการระเหิดหายลึกลงไปเรื่อยๆ เร็วกว่า

แต่ตอนนี้มีข่าวออกมาว่าสามารถสร้างขึ้นในห้องทดลองได้แล้วเช่นกัน ทั้งนี้เป็นผลงานของ Vance Bergeron และทีมนักฟิสิกส์จากวิทยาลัย Ecole Normale Supérieure ของประเทศฝรั่งเศส โดยทำการเลียนแบบธรรมชาติขึ้นในตู้แช่แวนอนที่มีฝ้าด้านบนเป็นแผ่นพลาสติกใส โดยทำอากาศให้เย็นด้วยไนโตรเจนเหลว และยังสามารถควบคุมระดับความชื้นได้ด้วย เมื่อส่องไฟสป๊อตไลท์ (ใช้แทนแสงอาทิตย์) ไปบนก้อนหิมะ (ผ่านแผ่นพลาสติกใส) พบว่าสามารถทำให้เกิดหมู่แท่งหิมะแหลมสูงระหว่าง 1 - 5 เซนติเมตรได้ภายใน 2 - 3 ชั่วโมง

นอกจากจะสามารถแสดงให้เห็นว่า Penitentes ก่อเกิดขึ้นได้อย่างไรแล้ว ยังอาจเกี่ยวข้องกับเรื่องของสภาวะโลกร้อน ทั้งนี้เพราะได้พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่า -4°C อัตราการก่อตัวของ Penitentes จะช้าลงมาก ดังนั้นจำนวนที่น้อยลงหรือขนาดที่เล็กลงจะโยงไปถึงการละลายของธารน้ำแข็งที่รวดเร็วขึ้นได้ การ

ดำรงอยู่ของพวกธารน้ำแข็งมีคุณูปการต่อภูมิอากาศของโลก เพราะทำให้อากาศเย็นลง

อีกแห่งหนึ่งนั้นอาจสามารถประยุกต์เอาไปใช้สร้างผิวของเซลล์สุริยะ เพื่อให้มีประสิทธิภาพดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น แต่ในกรณีนี้ต้องเปลี่ยนแสงสป๊อตไลท์ไปเป็นลำแสงเลเซอร์ [หาอ่านเพิ่มเติมได้จาก Physical Review Letter 96, 098502 (2006)]



การปรับปรุงทฤษฎีความโน้มถ่วงแบบไอน์สไตน์ ฉายแสงใหม่ให้กับ “ส่วนมืด” ของเอกภพ

ทฤษฎีความโน้มถ่วงแบบไอน์สไตน์อธิบายว่าความโน้มถ่วงไม่ใช่แรงที่กระทำกับวัตถุอย่างในทฤษฎีความโน้มถ่วงแบบนิวตัน แต่เป็นเรขาคณิตแบบโค้งของอวกาศ-เวลา โดยมีแหล่งกำเนิดจากสสาร-พลังงาน และกำหนดการเคลื่อนที่ของสสารและพลังงาน ซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ระดับสเกลใหญ่ในเอกภพได้อย่างดี เช่น การวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ การกำเนิดเอกภพ แต่ยังอธิบายบางปรากฏการณ์ที่ได้ค้นพบในปัจจุบันไม่ได้ เช่น การค้นพบว่าเอกภพขยายตัวอย่างเร่ง และ การหมุนรอบตัวเอง ตลอดจนวิวัฒนาการของกาแล็กซี

มี 2 แนวทางหลักในการอธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ คือ แนวทางแรก สมมุติว่า มีสสาร-พลังงานที่เรียกกันว่า พลังงานมืด ถมท่วมอยู่เต็มอวกาศไปทั่วทั้งเอกภพ เพื่ออธิบายการขยายตัวอย่างเร่ง และ สสารมืด สำหรับการอธิบายปรากฏการณ์เกี่ยวกับกาแล็กซี โดยสสาร-พลังงานทั้งสองแบบไม่มีอันตรกิริยากับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงทำให้ตรวจไม่พบในการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์

ส่วนแนวทางที่สองที่กำลังได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน คือ การปรับปรุงทฤษฎีความโน้มถ่วงของไอน์สไตน์ สมการสนามของความโน้มถ่วงที่เรียกว่า สมการไอน์สไตน์ ก็เช่นเดียวกับสมการการเคลื่อนที่อื่นๆ ในวิชาฟิสิกส์ที่เขียนได้ในรูปหลักการแปรผันของปริมาณแอคชันที่มีปริมาณลากรางเจียนเป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะ โดยปริมาณลากรางเจียนของสมการไอน์สไตน์อยู่ในรูป ปริมาณสเกลาร์ความโค้ง (curvature scalar) แต่ Philip Mannheim แห่งมหาวิทยาลัย Connecticut ได้ให้ข้อถกเถียงมานานแล้วว่า พฤติกรรมความโน้มถ่วงในระดับระยะทางไกลจากแหล่ง

สรุปข่าว

กำเนิดที่เป็นสสาร-พลังงาน เช่น ในระดับไกลกว่าระบบสุริยะ ไม่ได้เป็นอย่างที่เรารู้จากทฤษฎีไอน์สไตน์ โดยปรับปรุงลากรางเจียนของความโน้มถ่วงให้เป็นการคูณแบบสเกลาร์ของ เทนเซอร์ไวด์ (Weyl tensor) แทนที่จะเป็น สเกลาร์ความโค้ง

หงเจิง เจ้า แห่งมหาวิทยาลัย St Andrews สหราชอาณาจักร และ Benoit Famaey แห่ง Free University of Brussels ได้แนะนำว่า ควรปรับปรุงทฤษฎีไอน์สไตน์ที่ระยะทางไกลจาก พลศาสตร์นิวตันแบบปรับปรุง (modified Newtonian dynamics) ของ **Moti Milgrom** ซึ่ง **Jacob Bekenstein** ได้ตั้งทฤษฎีเชื่อมโยงกับสนามสเกลาร์ตัวหนึ่ง ที่ไม่มีในทฤษฎีไอน์สไตน์ ซึ่งทำให้คล้ายกับว่าได้บางอย่างที่มีพฤติกรรมคล้าย สสารมืด ตามแบบแนวทางแรก

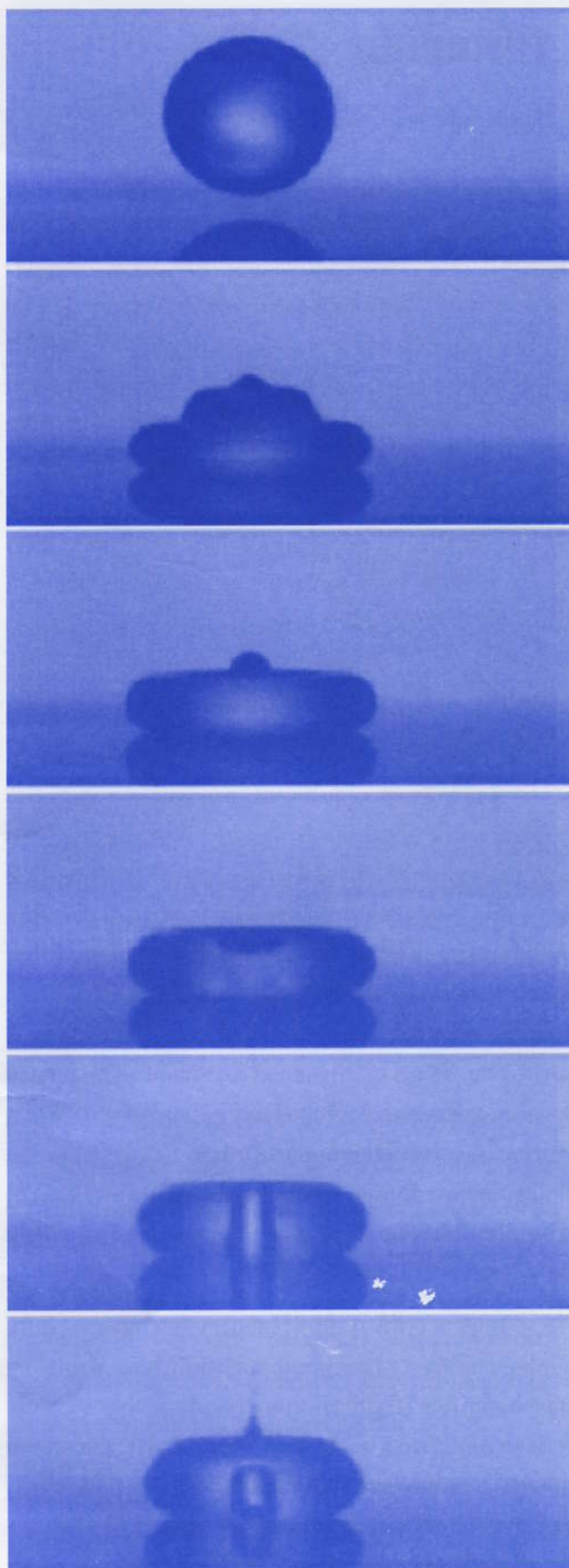
ในระหว่างนั้น **Olga Mena** กับ **José Santiago** แห่ง Fermilab และ **Jochen Weller** แห่ง University College London ได้ให้ข้อถกเถียงต่อการปรับปรุงลากรางเจียนความโน้มถ่วงโดยใช้ กำลังผกผันของสเกลาร์ความโค้ง ซึ่งน่าจะสามารถอธิบายการขยายตัวอย่างเร่งโดยไม่ต้องใช้ พลังงานมืด แม้ว่ายังจำเป็นต้องใช้ สสารมืด ในทฤษฎีนี้ก็ตาม ยังคงต้องรอดูต่อไปว่าจะมีแนวคิดใดยืนหยัดต่อการทดสอบของเวลา แต่การปรับปรุงทฤษฎีความโน้มถ่วงที่เป็นอาหารความคิดของนักทฤษฎียังคงดำเนินต่อไป



การชนของหยดของเหลว (ภาคสอง)

คณะนักฟิสิกส์ฝรั่งเศส นำโดย **Denis Bartolo** แห่ง Ecole Normale Supérieure ได้ใช้กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง บันทึกขั้นตอนการตกของหยดน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. จนกระทั่งชนพื้นที่เป็นประเภทไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังตัวอย่างในรูปขวามือ ซึ่งมีปรากฏการณ์น่าสนใจให้เห็นในเฟรมล่างสุด นั่นคือเกิดมีลำน้ำเล็กๆ พุ่งกระชูดขึ้นไปด้วยความเร็วไม่ต่ำกว่า 20 เมตร/วินาที ทั้งๆ ที่หยดน้ำเองมีความเร็วก่อนชนเพียง 0.5 เมตร/วินาที คณะผู้วิจัยสันนิษฐานว่า ลำน้ำนี้คงเกิดจากการยุบตัวอย่างรวดเร็วของฟองอากาศที่เกิดขึ้นตอนที่กระทบกับพื้น ทั้งนี้เพราะได้สังเกตเห็นว่า ถ้าหยดน้ำมีความเร็วก่อนชนสูงกว่า 0.7 เมตร/วินาที จะไม่เกิดมีลำน้ำดังกล่าว เพราะไม่เห็นว่ามีฟองอากาศเกิดขึ้น

ความรู้จากการค้นพบนี้จะมีประโยชน์ต่อสายงานด้านการพ่นเคลือบ เช่น การพ่นเคลือบสี การพ่นเคลือบยาฆ่าแมลง หรือการพิมพ์ด้วยระบบ ink-jet



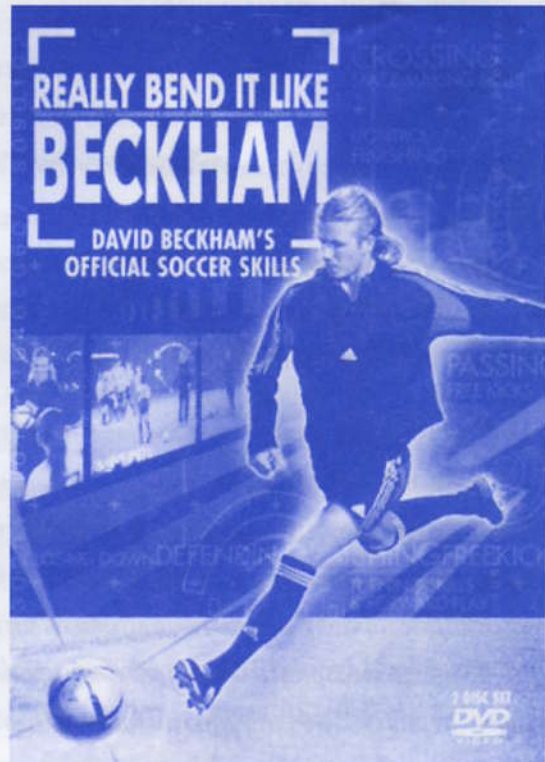
ฟุตบอลน่าจะเป็นเกมกีฬาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งรายการฟุตบอลโลกรอบสุดท้าย ซึ่งได้เวียนมาอีกวาระหนึ่งแล้วในปีนี้ โดยจะจัดขึ้นที่ประเทศเยอรมันนี นอกจากส่วนที่เกี่ยวข้องกับนักฟุตบอลแล้ว เราคงเริ่มเห็นความเคลื่อนไหวของส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มาเพิ่มสีสันและความตึงเครียดให้กับเกมนี้นับตั้งแต่การแข่งขันกันเพื่อให้ได้สิทธิในการถ่ายทอดการแข่งขันทางโทรทัศน์ ทำให้ช่วงเวลานี้เป็นโอกาสทองของผู้ผลิตและผู้ค้าแข้งกันจกเอา TV รุ่นต่างๆ ออกมาโฆษณา รายการ ลด แลก แจก แถม เพื่อทำยอดขายให้มากที่สุด นอกจากนี้ยังมีธุรกิจของที่ระลึก รายการทัวร์ไปเยอรมันนี ธุรกิจรับพนันและอื่น ๆ อีกมากมายล้วนได้รับอานิสงส์ไปด้วยหน้า ใคร ๆ เขาก็ใช้โอกาสนี้โกยเงินเข้ากระเป๋าเรา ๆ ท่าน ๆ ที่อยู่ในวงการฟิลิกส์น่าจะใช้องกาศนี้สอดแทรกความรู้ทางฟิลิกส์เข้าไปบ้าง แม้ว่าไม่ได้ดังอย่างเขาแต่อาจจะช่วยกระตุ้นให้เกิดความสนใจได้อีกแบบนะครับ

ฟุตบอลเป็นเกมที่อุดมไปด้วยความเคลื่อนไหว ความสวยงามของการเคลื่อนไหวคือความสวยงามของเกม พื้นฐานของวิชาฟิลิกส์คือความพยายามอธิบายการเคลื่อนไหว โดยเริ่มจากปรากฏการณ์ง่าย ๆ ที่มีแต่ในอุดมคติเท่านั้น ไปจนถึงปรากฏการณ์จริงที่ซับซ้อน ฟิลิกส์กับฟุตบอลจึงมีจุดที่จะคุยกันได้ ผมจะขอหยิบยกฟิลิกส์ของฟุตบอลมาเล่าสู่กันสักประเด็นหนึ่งนะครับ ประเด็นเด่นของฟิลิกส์ของฟุตบอลก็หนีไม่พ้นการเตะลูกกินเปล่าแบบที่เทียร์รี อองรี แห่งฝรั่งเศส โรแบร์โต คาร์ลอส แห่งบราซิล และ เดวิด เบคแคม แห่งอังกฤษเคยเตะมา ซึ่งเป็นลูกเตะเตะ ลูกบอลพุ่งข้ามกำแพงฝ่ายตรงข้ามไป คุณอาจจะพุ่งออกนอกกรอบประตู แต่แล้วจู่ ๆ ลูกบอลก็เปลี่ยนทิศลดระดับลงและเลี้ยวเข้ากรอบประตูไปจุดตาข่าย ทำเอาผู้รักษาประตูได้แต่ยืนตาค้าง ลูกเตะเช่นนี้เป็นลูกฟลิคหรือสิ่งที่ฝึกฝนได้ เราจะมาคุยกันในแง่มุมของฟิลิกส์

เบคแคม (รูปที่ 1) เป็นที่รู้จักของคนก่อนโลก จากการเป็นนักฟุตบอลที่มีทักษะสูง ลูกเตะของเบคแคมนั้นไม่ค่อยทำให้ลูกทีมและกองเชียร์ผิดหวัง (รูปที่ 2) แน่แน่นอนว่าเขาต้องฝึกฝนมาอย่างหนักกว่าจะควบคุมการเตะให้ได้อย่างนี้ เขาทำได้อย่างไรและอธิบายได้อย่างไร คนที่เตะบอลก็คงพอจะทราบ ว่า ถ้าเตะโดยให้แนวที่เท้ากระทบบอลนั้นผ่านบริเวณกลางๆ ลูกบอล (รูปที่ 3) ลูกบอลก็จะพุ่งออกไปตรง ๆ และไม่หมุน ภาษาฟิลิกส์เราอธิบายว่า การเตะ

เตะให้เลี้ยวได้อย่างเบคแคม

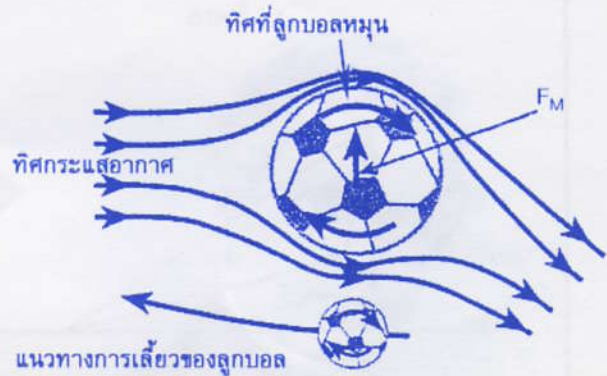
อำพล วงศ์อารี



รูปที่ 1



รูปที่ 2 การเตะลูกฟุตบอลให้เลี้ยวโค้งได้ของเบคแคมคือชื่องานมีคอนเามาตั้งเป็นชื่อภาพยนตร์



เช่นนั้นเป็นการให้แรงจากเท้ากระทำต่อลูกบอลในแนวที่ผ่านศูนย์กลางมวลของลูกบอล จึงไม่เกิดทอร์กหรือโมเมนต์ต่อลูกบอล มันจึงเคลื่อนที่ออกไปโดยไม่หมุน ลูกบอลที่ไม่หมุนจะไม่เปลี่ยนทิศเลี้ยวโค้ง(นอกจากจะมีลมกรรโชก) หากต้องการให้ลูกบอลพุ่งออกไปแล้วเปลี่ยนทิศเลี้ยวโค้งออกไปทางด้านข้างจนทำให้ผู้รักษาประตูได้เสียหน้าและผู้ชมได้ฮือฮาดูด้วยนั้น ต้องเตะให้ลูกบอลพุ่งออกไปพร้อม ๆ กับหมุนไปด้วย การเตะให้ลูกบอลหมุนนั้นทิศทางที่เท้ากระทบบอลต้องไม่ผ่านแนวกลางลูกบอล เช่นหากต้องการให้ลูกบอลหมุนทวนเข็มนาฬิกา ต้องให้เท้ากระทบบอลในทิศทางที่ทำมุมเฉียงออกไปทางขวาของแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของบอลเล็กน้อย (สำหรับผู้ถนัดเตะด้วยเท้าขวา) อย่างไรก็ดีตามบางครั้งอาจเตะให้ลูกบอลหมุนได้ แต่อาจจะไม่สามารถส่งให้ลูกบอลพุ่งไปในทิศที่ต้องการได้ เช่นดังกรณีรูปที่ 4 การปรับทิศทางและตำแหน่งที่เท้ากระทบบอลให้เหมาะสมจึงจะสามารถส่งให้ลูกบอลหมุนและพุ่งออกไปในทิศที่ต้องการได้ (รูปที่ 5)

เมื่อประมาณ 8 ปีมาแล้ว Takeshi Asai และคณะนักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Yamagata แห่งประเทศญี่ปุ่น (เป็นมหาวิทยาลัยที่มี Sports Science Lab. ที่มีชื่อเสียง) ได้ใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูงขนาด 4500 เฟรมต่อวินาทีและการคำนวณด้วยเทคนิคทาง finite-element analysis ศึกษาการกระทบของเท้าลงบนลูกบอลอย่างละเอียด ด้านไหนของเท้ากระทบส่วนใดของบอล ตำแหน่งและทิศทางการกระทบกันเป็นอย่างไร ทำให้ได้ข้อมูลสนับสนุนที่ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมไปถึงข้อมูลเกี่ยวกับแรงเสียดทานระหว่างหลังเท้ากับผิวลูกบอลซึ่งมีผลต่ออัตราเร็วของการหมุนของลูกบอลด้วย เหตุการณ์กระทบกันของเท้ากับลูกบอลเกิดขึ้นในเวลาสั้นมากในระดับมิลลิวินาที การเตะให้ได้ผลอย่างที่ต้องการนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย หากผู้ฝึกสอนได้นำผลการวิจัยมาใช้ให้เป็นประโยชน์ และนักกีฬามีความมุ่งมั่นและได้รับการฝึกฝนอย่างถูกต้อง ก็สามารถทำได้

รูปที่ 6 การหมุนของลูกบอลขณะที่เคลื่อนที่นั้นทำให้กระแสอากาศที่ผ่านด้านข้างของลูกบอลต่างกัน จึงเกิดแรงกระทำทางด้านข้างของลูกบอล เรียกว่า Magnus Force (F_M) ทิศการเคลื่อนที่ของลูกบอลเทียบกับอากาศจะเบี่ยงเบนไปดังรูปเล็ก

แต่อย่างไรก็ดีไปแล้วพอประมาณ ที่นี้มาดูกันต่อว่าลูกบอลเป็นอย่างไรต่อไป ลูกบอลที่พุ่งไปพร้อมกับหมุนไปนั้น เลี้ยวโค้งได้อย่างไร แสดงว่าต้องมีแรงที่มาทำให้ลูกบอลเลี้ยวหรือเบนไปทางด้านข้าง แรงนี้มาจากไหนขอให้พิจารณารูปที่ 6 ขณะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ผ่านอากาศในทิศทางขวาไปซ้าย จะทำให้มีกระแสโมเลกุลของอากาศเคลื่อนผ่านลูกบอลไปในทิศทางซ้ายไปขวา และขณะที่ลูกบอลหมุนตามเข็มนาฬิกาไปด้วยนั้น ผลของความหนืดจะทำให้มีชั้นของโมเลกุลอากาศบาง ๆ เคลื่อนที่ไปกับผิวลูกบอลด้วย การเคลื่อนที่ของชั้นโมเลกุลอากาศบาง ๆ ใกล้เคียงกับกระแสโมเลกุลอากาศที่ไหลผ่านลูกบอลด้านข้างทั้งสองจะทำให้เกิดผลรวมที่แตกต่างกัน ด้านหนึ่งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศจะเสริมกันอากาศจึงเคลื่อนผ่านด้านนี้เร็วกว่าอีกด้านหนึ่งว่าการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศจะหักล้างกัน ด้านที่อากาศเคลื่อนผ่านเร็วกว่าจะมีความดันอากาศต่ำกว่า ตามหลักของ Daniel Bernoulli (ค.ศ. 1700 – 1782) จึงมีแรงที่เกิดจากความต่างของความดันด้านข้างกระทำต่อลูกบอลในทิศทางด้านที่อากาศเคลื่อนที่ช้าไปสู่ด้านที่อากาศเคลื่อนที่เร็วกว่า ทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่เบนไปทางด้านข้าง เราเรียกการเบี่ยงเบนของทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเนื่องจากการหมุนนี้ว่า Magnus effect และเรียกแรงที่ทำให้เกิดการเบนนี้ว่า Magnus force เพื่อเป็นเกียรติแก่ Heinrich Gustav Magnus (รูปที่ 7) ที่ได้อธิบายปรากฏการณ์นี้ไว้เมื่อปี ค.ศ. 1852 การที่จะทำให้ลูกบอลเดินทางไปเล่นเอาเจ็ดเข้ากับผู้รักษาประตูฝ่ายตรงข้าม ได้นั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ครับ ทั้งนี้ก็ขึ้นกับความสามารถของนักเตะด้วยว่า จะเตะอย่างไรให้ได้อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ ทิศทางและอัตราเร็วของการหมุนของลูกบอลอย่างที่ต้องการ

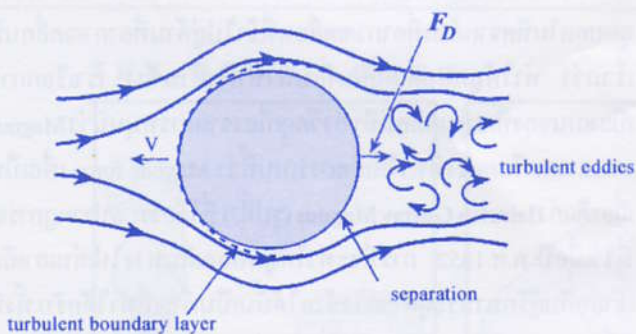


รูปที่ 7 Heinrich Gustav Magnus (คศ. 1802 – 1870) เป็นนักฟิสิกส์ นักเคมี และนักการศึกษาที่มีชื่อเสียงชาวเยอรมัน ศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิต เคยเล่าให้ฟังว่า การที่ชื่อของ Magnus เข้ามามีชื่อเกี่ยวกับเรื่องนี้ ก็เนื่องจากว่าท่านเป็นผู้ที่อธิบายว่าการที่ลูกปืน(สมัยก่อน) มักวิ่งเลออกจากเป้าก็เพราะลูกปืนหมุนด้วย

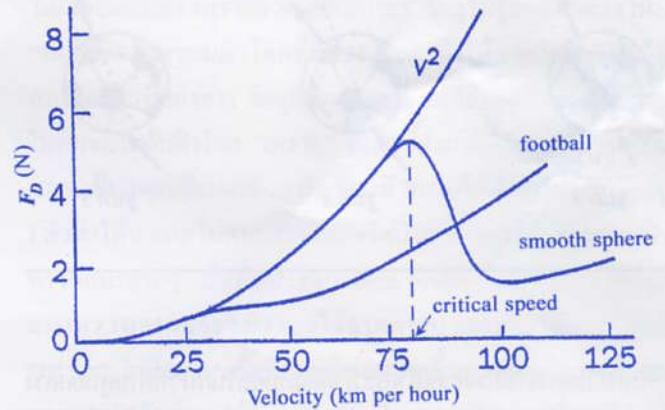
แรงที่มีบทบาทสำคัญอีกแรงหนึ่งในการเคลื่อนที่ของลูกบอลฝรั่งเขาเรียกว่า **drag force** คนไทยเรียกกันทั้งแรงต้านและแรงดูด เรียกกันตามสะดวกนะครับ เรามักจะพบสมการของแรงต้านในรูป

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2$$

เมื่อ F_D คือ แรงต้าน, C_D คือสัมประสิทธิ์ของแรงต้าน, ρ คือความหนาแน่นของอากาศ, A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกบอล และ v คืออัตราเร็วของลูกบอล สัมประสิทธิ์ของแรงต้านนี้ขึ้นกับลักษณะของผิวของลูกบอลด้วยเนื่องจากส่งผลถึงลักษณะการไหลของกระแสอากาศผ่านลูกบอล จากการศึกษาลูกบอลผิวเรียบพบว่าในช่วง



รูปที่ 8 ลักษณะความปั่นป่วน (turbulent) ของอากาศที่เกิดขึ้นทางด้านหลังของลูกบอล



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของแรงต้านกับอัตราเร็วในกรณีที่สัมประสิทธิ์ของแรงต้านคงที่นั่น แรงต้านจะขึ้นกับ v^2 เท่านั้น แต่จากการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์ของแรงต้านขึ้นกับความเร็วและความเรียบของผิวบอลด้วย ($1 \text{ km/hr} = 0.28 \text{ m/s}$)

อัตราเร็วต่ำกว่า 22 เมตร/วินาที(ประมาณ 75 กม./ชม.) อากาศด้านหลังลูกบอลจะไหลแบบปั่นป่วนเป็นบริเวณกว้าง (รูปที่ 8) ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านจะมีค่าสูง แต่เมื่ออัตราเร็วเพิ่มขึ้นบริเวณการไหลแบบปั่นป่วนหลังลูกบอลจะแคบลง ๆ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านจึงมีค่าลดลง ดังนั้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านและอัตราเร็วของลูกบอลจึงมีลักษณะดังรูปที่ 9 Wesson ได้ศึกษาแรงต้านทานกับความเร็วยของลูกฟุตบอลพบว่าได้ผลต่างไปจากบอลผิวเรียบ กล่าวคือแรงต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไม่มากเท่าบอลผิวเรียบและจะเกิดที่ความเร็วสูงกว่า ดังในกราฟ (และนี่คือเหตุผลว่า ทำไมลูกเทนนิสจึงต้องมีขน และลูกกอล์ฟจึงต้องมีรอยบุ๋ม) อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้ขึ้นกับความเรียบของผิวบอล ซึ่งได้รับการพัฒนาให้ผิวเรียบยิ่งขึ้นมาโดยตลอด ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงต้านกับความเร็วก็จะมีลักษณะไปใกล้เคียงกับบอลผิวเรียบยิ่งขึ้น ความสัมพันธ์ของแรงต้านกับอัตราเร็วของบอลนี้จะเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่สามารถสร้างปัญหาให้กับผู้รักษาประตูได้ ลองคิดดูนะครับ สมมติ เบคแฮมเตะลูกบอลออกไปในทิศทางมุมเข็มนาฬิกาขึ้นเหนือคานพอประมาณและลูกไม่ต้องหมุนก็ได้ โดยอัดแรง ๆ ให้มีความเร็วเกินอัตราเร็ววิกฤต (critical speed) ถ้ามองในมุมมองของผู้รักษาประตูอาจจะเห็นว่าลูกบอลพุ่งมาแรงและน่าจะข้ามคานแน่ ๆ แต่แล้ว ๆ ลูกบอลกลับลดความเร็วแบบพรวดพราดและตกโค้งลงเข้ามาในกรอบประตูได้ และยิ่งถ้าเป็นลูกหมุนด้วยละก็คุณคิดว่าจะเป็นอย่างไร โอลิเวอร์ คาห์น ก็โอลิเวอร์คาห์นและเสียฟอร์มแน่



ชีวกลศาสตร์ของการเตะลูกฟุตบอล

สมศร สิงขรัตน์



รูปที่ 1

เกิดเป็นคนไทยต้องมีทักษะในการดำเนินชีวิตสูงเป็นพิเศษ มีเรื่องให้ต้องเครียดอยู่เรื่อย ๆ มะนาวแพง น้ำตาลแพง น้ำมันแพง โรงเรียนเปิดเทอม คนเงินเดือนน้อยก็เครียดเป็นธรรมดา แต่ครั้งนั้นมีข่าวว่าชายคนหนึ่งได้เงินเยอะ (มากๆ) ก็อาจเครียดได้เหมือนกันนะเออ ทำเป็นเล่นไป อย่าลืมนะว่า “ที่นี่ประเทศไทย” อะไรก็เกิดขึ้นได้ทั้งนั้น ไม่เหมือนใครและไม่มีใครเหมือน แต่ชีวิต (ที่นี่) ก็เป็นอย่างนี้เอง (ถ้าอึดพอ) เดียวก็ต้องได้พบกับเรื่องคล้ายเครียดบ้าง เช่น กรณีของเทศกาลฟุตบอลโลกที่กำลังจะปะทุขึ้นต้นเดือนมิถุนายนนี้แล้ว เราจึงอยากชวนท่านผู้อ่านลิ้มเรื่องเครียด ๆ ที่ผ่านมาไว้ชั่วคราว

แล้วมาผ่อนคลายกับการจับตาคู่มือนักเตะแต่ละคน เมื่อผสมหลักการทางฟิสิกส์และชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เข้าไป อาจจะทำให้ได้ทรรศนะอีกแบบก็ได้

แฟนฟุตบอลทั้งหลาย ไม่มีใครไม่รู้จัก โรแบร์โต คาร์ลอส (รูปที่ 1) นักเตะทีมชาติบราซิล ปัจจุบันสังกัดทีมราชันย์ชุดขาว รีล มาดริด ในตำแหน่งฟูลแบ็คกึ่งปีกซ้าย ตะแคงมือซ้ายว่าเป็นนักเตะเท้าซ้ายพลังข้างถืบ ความเร็วสูงสุดของลูกบอลที่คาร์ลอสเคยเตะได้คือ 32 เมตร/วินาที (โดยเฉลี่ยแล้วความเร็วต้นของลูกบอล $\approx 1.23 \times$ ความเร็วของเท้า) ลูกที่เป็นตำนานให้กล่าวขานได้ไม่รู้จบ ก็คือการสำเร็จโทษทีมชาติฝรั่งเศส เมื่อปี ค.ศ. 1997 ด้วยลูกตั้งเตะห่าง





รูปที่ 2

จากฟาเบียง บาร์กเตซ (ยอดนักทวารของฝรั่งเศสเวลานั้น) ถึง 30 เมตร ปรากฏว่าลูกบอลพุ่งเฉียดเสาเข้าประตูไปอย่างมหัศจรรย์ ชนิดบาร์กเตซยังไม่ทันได้พุ่ง ทั้ง ๆ ที่มีแนวกำแพง 4 คน ยืนขวางอยู่ (เชิญแวะไปชมภาพเคลื่อนไหวซัดๆ ได้ที่ www.mpam.gr/~roberto_carlos_best_free_kick/)

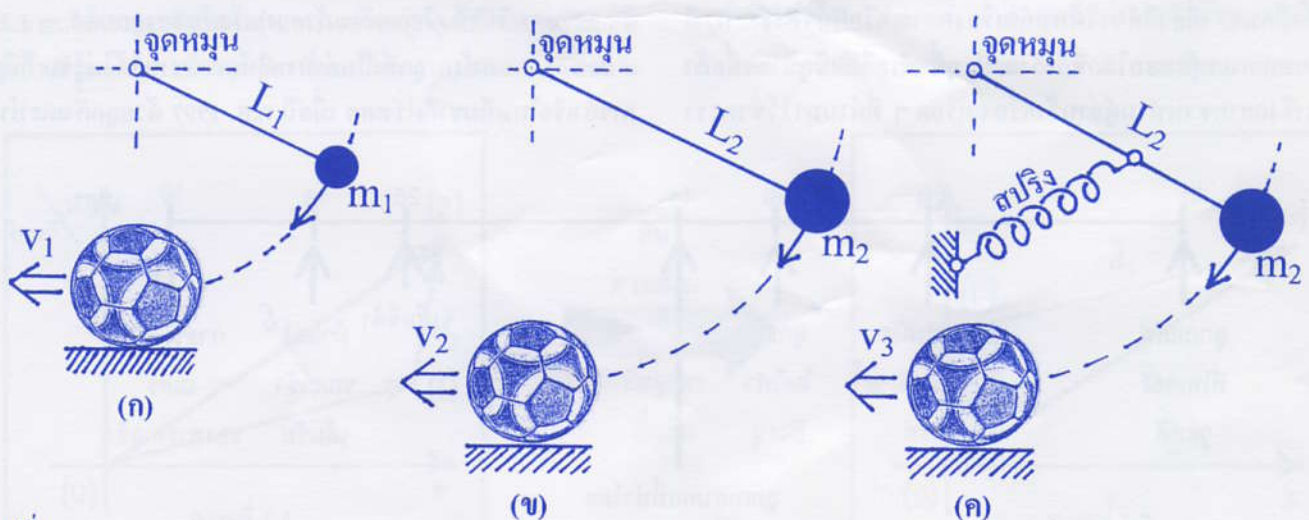
โดยหลักการพื้นฐานแล้ว การกระทบกันของเท้ากับลูกบอล (มวล ~ 450 กรัม, เส้นผ่าศูนย์กลาง ~ 24 ซม., ความดันภายใน ~ 1.1 เท่าของความดันบรรยากาศ) อาจถือได้ว่าเป็นการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collision) ดังนั้นย่อมมี conservation of linear momentum โมเมนตัมเชิงเส้นของขาต้องถ่ายโอนไปให้กับลูกบอล ขาที่มีมวลมากกว่าจึงย่อมจะทำให้ลูกบอลมีความเร็วได้สูงกว่าแต่คาร์ลอส ไม่ได้เปรียบใครตรงนี้ เพราะมีมวล 69 กก. ยังน้อยกว่าเดวิด เบคแคม ถึง 6 กก.

ไม่แต่เพียงเท่านั้น ถ้าวิเคราะห์ต่อไปว่าโมเมนตัมเชิงเส้นของวัตถุใด นอกจากจะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุนั้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเร็วเชิงเส้นของวัตถุนั้นด้วย แต่จากสมการ $v=r\omega$ ทำให้ตีความได้ว่านักฟุตบอลที่มีตัวสูงก็จะได้เปรียบนักฟุตบอลที่ตัวเตี้ย เพราะย่อมมีแขนยาวกว่า แต่คาร์ลอสนั้นจะเรียกว่าตัวสูงก็ไม่ได้ อีกนั้นแหละเพราะมีความสูงเพียง 168 ซม. เตี้ยกว่าเบคแคมถึง 15 ซม.

ตัวก็ทั้งไม่ใหญ่และสูง (รูปที่ 2) แล้วคาร์ลอสเตะแรงจนลือชื่อ ติดอันดับโลกได้อย่างไร แสดงว่าการเตะลูกบอลได้แรงๆ (ลูกบอลมีความเร็วต้นสูง) ต้องเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบอื่นด้วยที่สำคัญมากเช่นกัน

ในแง่ฟิสิกส์แล้ว การเตะลูกฟุตบอลเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotational motion) ซึ่งอาจวิเคราะห์แบบประมาณได้จากการพิจารณารูปที่ 3 โดยจากสองรูปแรก เราพออนุมานได้ว่า $v_2/v_1 \propto \frac{m_2}{m_1} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตที่กล่าวมาแล้ว ในย่อหน้าที่ 3 กับ 4 และได้รับการยืนยันว่าเป็นจริงจากกีฬากอล์ฟ กล่าวคือการ “ทือออฟ” (ตีลูกไปให้ไกลๆ) ก็ต้องใช้ไม้ที่มีหัวโตกว่า และก้านยาวกว่า (เช่น หัวไม้เบอร์ 1)

ส่วนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 3 (ข) กับ (ค) จะเห็นได้ว่า $v_3/v_2 \propto \sqrt{1 + \left(\frac{V_k}{m_2 g L_2} \right)}$ นั่นคือ v_3 จะมากกว่า v_2 เท่าใดก็ขึ้นอยู่กับพลังงานศักย์ของสปริง (V_k) ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่า n ของสปริง (k) ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสปริงเอง สปริงในแบบจำลองอย่างง่ายนี้ ก็คือกล้ามเนื้อขาของเราเอง



รูปที่ 3

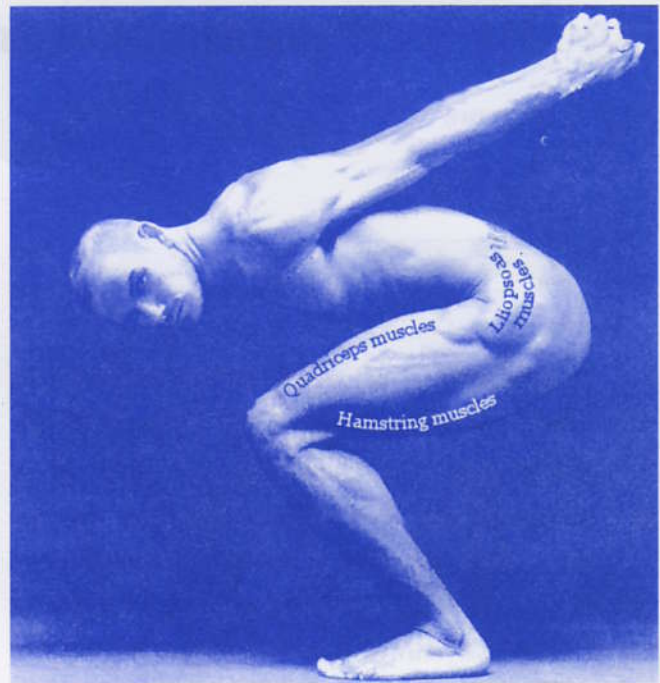
แต่หากคนจริง ๆ นั้น มีจุดหมุนสำคัญอยู่ 3 ตำแหน่งคือตรงข้อต่อตะโพก หัวเข่า และข้อเท้า โดยการเตะแรงจะขึ้นอยู่กับ 2 จุดแรกเป็นสำคัญ และกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับจุดหมุนทั้งสองนี้ ก็มีกล้ามเนื้อ 2 ชุดที่อยู่ช่วงบริเวณต้นขาหรือโคนขา (thigh) คือกลุ่ม hamstring ที่อยู่ทางด้านหลังและกลุ่ม quadriceps ที่อยู่ทางด้านหน้า กับกล้ามเนื้อ iliopsoas อีกชุดที่บริเวณตะโพก-เอว (รูปที่ 4)

กลุ่มกล้ามเนื้อ hamstring จะมีอยู่ 3 มัด คือ Semitendinosus, Semimembranosus และ Biceps Femoris ซึ่งจะยึดโยงระหว่างช่วงล่างด้านหลังของกระดูกเชิงกรานขนานผ่านด้านหลังของกระดูกต้นขา (femur) และด้านหลังของหัวเข่าไปยึดกับช่วงต้นของกระดูกหน้าแข้ง (tibia) การที่พยายามก้มลงเพื่อเอามือแตะปลายเท้าแล้วรู้สึกตึงที่บริเวณต้นขาด้านหลังก็เป็นการดึงของกลุ่มกล้ามเนื้อนี้นั่นเอง หน้าที่หลักของกล้ามเนื้อกลุ่มนี้คือใช้ในการงอเข่าและเหวี่ยงขาไปด้านหลัง การที่เมื่อเตะบอลสุดแรงเกิดแล้วยังคงต้องเหวี่ยงขาข้างเตะไปด้านหน้า (follow-through) ก็เพื่อเป็นการป้องกันการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ส่วนหนึ่ง กล้ามเนื้อ hamstring ที่แข็งแรงก็จะสามารถงอขาและแข็งได้ดีกว่าทำให้มีช่วงเหวี่ยงกลับกว้างกว่า

กลุ่มกล้ามเนื้อ quadriceps มีอยู่ 4 มัด คือ Vastus Medialis, Vastus Intermedius, Vastus Lateralis และ Rectus Femoris วางตัวขนานลงมาทางด้านหน้าของกระดูกต้นขา ปลายบนยึดอยู่กับส่วนต้นของกระดูกต้นขา ส่วนปลายล่างพาดผ่านด้านหน้าหัวเข่าไปยึดกับด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง หน้าที่หลักของกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ก็จะตรงข้ามกับกลุ่ม hamstring แต่มีความแข็งแรงมากกว่านั่นคือทำหน้าที่ยืดขาให้ตรงและดึงต้นขาเข้าหาลำตัว

ส่วนกล้ามเนื้อตะโพก-เอวจะมีอยู่ 2 มัดคือ Iliacus ซึ่งยึดส่วนบนของกระดูก femur กับส่วนบนของกระดูกเชิงกรานกับ Psoas Major ที่ยึดกระดูก femur กับส่วนล่างของกระดูกสันหลัง กล้ามเนื้อชุดนี้มีหน้าที่ดึงต้นขาเข้าหาลำตัว

ความเร็วของเท้าจึงขึ้นอยู่กับความแข็งแรง (strength) ของกล้ามเนื้อทั้ง 3 กลุ่มด้วย (โปรดสังเกตขนาดต้นขาของคาร์ลอส) แต่ถ้านักมวยที่มีมัดหนัก กลับปล่อยหมัดอัดอืดอาดก็ยากที่จะมีประโยชน์เท่าที่ควร การฝึกฝนให้กล้ามเนื้อแข็งแรง จึงต้องทำควบคู่ไปกับการฝึกฝนให้มีความสามารถที่จะบังคับให้กล้ามเนื้อหดตัว-ยืดตัวอย่างรวดเร็วด้วยเช่น ไม่แต่เพียงฝึกฝนยกน้ำหนักมาก ๆ เท่านั้น แต่ต้องฝึกฝนเคลื่อนไหวให้ได้รวดเร็วในขณะที่ยกน้ำหนักไปด้วย เป็นต้น โดยรวมแล้วก็อาจเรียกได้ว่าเป็นการฝึกฝนเพิ่มพูน “พลังกำลัง (athletic power)” นั่นเอง เพราะ $Power = (แรง \times ระยะทาง)$



รูปที่ 4

/ เวลา การเพิ่มพลังกำลังจึงสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของแรงที่ออก ซึ่งก็คือ การฝึกฝนเพิ่มความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อ และ/หรือ การเพิ่มระยะทางที่จะออกแรง โดยการฝึกฝนให้กล้ามเนื้อและข้อต่อมีความยืดหยุ่น (flexibility) สูง และ/หรือ การลดช่วงเวลาของการออกแรงด้วยการฝึกฝนซ้ำแล้วซ้ำอีกเพื่อให้เกิดความชำนาญสามารถเคลื่อนไหวได้คล่องแคล่วว่องไวและแม่นยำในการเล่นเฉพาะเท่านั้น ๆ เหมือนกับตอนที่ต้องใช้ในการแข่งขันจริง

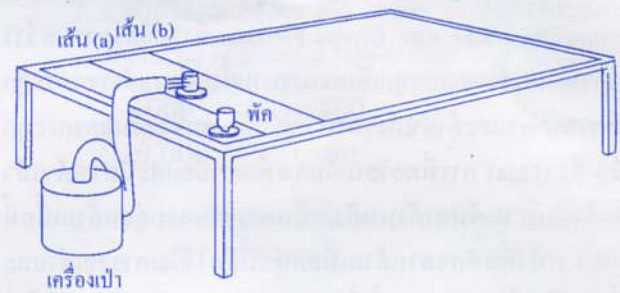
อย่างไรก็ตาม การเตะลูกโทษที่ประสบความสำเร็จ ไม่ใช่ขึ้นกับการเตะแรงเท่านั้น ยังต้องขึ้นกับการเตะแม่นยำด้วย ทั้งนี้จะต้องเกี่ยวข้องโดยตรงกับข้อเท้าและหลังเท้า ซึ่งเป็นส่วนที่สลับซับซ้อนมาก เพราะประกอบไปด้วยกระดูกย่อยๆ ถึง 30 ชิ้น นอกจากนั้นยังขึ้นกับการวางเท้าข้างที่ไม่ได้ใช้เตะ (เท้ายืน) ว่ามีความสมดุลและมั่นคงเพียงใด (พบว่าแรงกระทำของขาข้างนี้คือพื้นของนักฟุตบอลอาชีพจะสูงกว่าของนักฟุตบอลสมัครเล่น) อยู่ห่างจากลูกบอลเกินไปหรือไม่ (ไม่ควรเกินความกว้างของตะโพก) หมุนตัวรอบขาขึ้นพร้อมเอียงตัวในมุมและในจังหวะที่เหมาะสมหรือไม่ ฯลฯ จะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบมากมาย จึงมีเพียงบางคนเท่านั้นที่สามารถนำองค์ประกอบเหล่านี้มาผสมกันได้อย่างลงตัวและมีประสิทธิภาพ จนกลายเป็นนักฟุตบอลฝีเท้าระดับซูเปอร์สตาร์ลูกหนังโลก และเป็นเสน่ห์ของเกมสกีที่มีแฟน ๆ เฝ้าติดตามชมมากมาย ทำให้ฟุตบอลเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมทั่วโลกเหนือกว่ากีฬาใด ๆ

ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการคลและการเปลี่ยนโมเมนตัม

พรรัตน์ วัฒนกุลวิชัย

ฉบับนี้เพื่อต้อนรับการแข่งขันฟุตบอลโลก ขอเขียนถึงหลักการฟิสิกส์ที่ค่อนข้างจะเกี่ยวข้องกับการเล่นฟุตบอล ซึ่งก็คือหลักการคล (impulse) และการเปลี่ยนโมเมนตัม ในภาษาอังกฤษคำว่า *momentum* มาจาก *mass in motion* นั่นเอง ในช่วงกีฬาครั้งนี้มักจะใช้กล่าวถึงทีมหรือนักกีฬาที่เป็นฝ่ายรุกหรือกำลังได้เปรียบคู่แข่งอยู่ อย่างเช่น “Going into the last quarter, the LA Lakers still has the momentum.” ในทางกีฬาหลักการนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้จนกลายเป็นเทคนิคหนึ่งที่รู้จักกันดีในวงการชกมวย ที่เรียกกันว่า “riding the punch” หรือการที่นักมวยไหลหรือผ่อนไปตามหมัดชกของฝ่ายตรงข้ามเพื่อลดความแรงในการโดนหมัดเต็ม ๆ โดยที่เขาจะผ่อนคลายกล้ามเนื้อคอและปล่อยให้ศีรษะเคลื่อนไปด้านหลังเมื่อโดนค้อย ซึ่งตามหลักของการคลการที่ไหลไปตามหมัดชกของคู่ต่อสู้ก็เพื่อเพิ่มเวลาในการกระทบ ซึ่งจะส่งผลให้ผลกระทบจากแรงต่อขลดลง

นอกจากในด้านกีฬาแล้ว ในทางฟิสิกส์ศึกษาก็ให้ความสำคัญกับหลักการนี้ จากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าหลังจากการเรียนฟิสิกส์พื้นฐาน ผู้เรียนยังมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการคลและการเปลี่ยนโมเมนตัมอยู่ การวิจัยที่มีความสำคัญต่อวงการฟิสิกส์ศึกษาเกี่ยวกับหลักการนี้มากอันหนึ่ง ก็คือการวิจัยของกลุ่มฟิสิกส์ศึกษาที่ University of Washington ซึ่งได้สัมภาษณ์นักศึกษาที่ผ่านการเรียนฟิสิกส์พื้นฐานปกติโดยไม่มีแคลคูลัสและนักศึกษาที่ผ่านการเรียนฟิสิกส์พื้นฐานพิเศษ (honor) โดยให้นักศึกษาคูสาริตการเคลื่อนที่ของพัค (puck เป็นลูกยางที่ใช้ในการแข่งขันฮอกกี้น้ำแข็ง) แต่ในที่นี้เป็นพัคที่ทำมาจากทองเหลืองกับพลาสติก โดยพัคทั้งสองชนิดจะวางอยู่บนฐานที่ทำมาจากน้ำแข็งแห้งเพื่อลดแรงเสียดทานเมื่อเคลื่อนที่ไปบนพื้น โด๊ะที่ทำมาจากกระจก บนพื้นโด๊ะดังแสดงในรูปที่ 1 มีเส้นขนานสองเส้น เส้น (a) และ เส้น (b) ซึ่งทั้งสองเส้นห่างกัน 30 ซม. ในการสาธิตก่อนที่จะเริ่มการสัมภาษณ์พัคแต่ละอันจะวางไว้หลังเส้น (a) แล้วพัคจะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงลมที่เป่าออกมาอย่างสม่ำเสมอจากเครื่องเป่าแรงเป่าจะกระทำกับพัคเป็นเส้นตรงในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ระหว่างเส้น (a)-(b) หลังจาก



รูปที่ 1 : ชุดเครื่องมือสาธิตที่ใช้ประกอบการสัมภาษณ์

เส้น (b) จะปล่อยให้พัคเคลื่อนที่อย่างอิสระโดยไม่มีแรงกระทำจากการสังเกตการเคลื่อนที่ของพัคทั้งสองอันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า พักทองเหลืองเคลื่อนที่ช้ากว่าพัคพลาสติกมาก เพราะว่าพัคทองเหลืองมีมวลมากกว่าพัคพลาสติกหลายเท่า

หลังจากนักศึกษาได้สังเกตการเคลื่อนที่ของพัคทั้งสองแบบ ผู้วิจัยได้ถามนักศึกษาเกี่ยวกับ โมเมนตัมและพลังงานจลน์ของพัคดังนี้ โดยคำตอบที่ถูกต้องและมีเหตุผลที่เหมาะสมอยู่ในวงเล็บท้ายคำถาม

คำถามที่ 1: ให้เปรียบเทียบโมเมนตัมของพัคทองเหลืองและพัคพลาสติก เมื่อพัคเคลื่อนที่ผ่านเส้น (b) ซึ่งพัคจะเคลื่อนที่อย่างอิสระ

(คำตอบสำหรับคำถามที่ 1: โมเมนตัมของพัคทองเหลืองจะมีค่ามากกว่าเนื่องจากเครื่องเป่าลมอย่างสม่ำเสมอ แรงเป่าที่ทำให้พัคเคลื่อนที่จึงมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งแรงเป่านี้ก็คือแรงคลหรือแรงที่ทำให้เกิดการคลในระหว่างที่พัคเคลื่อนที่ภายในช่วง (a)-(b) นั่นเองและการคลนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนโมเมนตัม ดังสมการ $F_{avg} \Delta t = \Delta p$ ในเมื่อแรงเป่าที่กระทำกับพัคทั้งสองแบบเท่ากัน เวลาจึงเป็นตัวแปรเดียวที่มีผลต่อการคล ซึ่งพัคทองเหลืองเคลื่อนที่ช้ากว่า จึงใช้เวลามากกว่าระหว่างที่มีแรงเป่ากระทำ ทำให้การคลมากกว่าและส่งผลให้โมเมนตัมมากกว่าเมื่อพัคเคลื่อนที่อย่างอิสระ)

คำถามที่ 2: ให้เปรียบเทียบพลังงานจลน์ของพัคทองเหลืองและพัคพลาสติก เมื่อพัคเคลื่อนที่ผ่านเส้น (b) ซึ่งพัคจะเคลื่อนที่อย่างอิสระ

ขอแถมด้วยคน

(คำตอบสำหรับคำถามที่ 2: พลังงานจลน์ของพัคทั้งสองแบบจะเท่ากันเนื่องจากพัคจะเคลื่อนที่โดยมีแรงเสียดทานน้อยมาก ๆ และไม่มีการหมุน การเปลี่ยนพลังงานจลน์ของจุดศูนย์กลางมวลจึงเท่ากับงานที่กระทำกับพัค แรงเป่าที่กระทำต่อพัคระหว่างเส้น (a) และเส้น (b) มีค่าคงที่และพัคทั้งสองแบบเคลื่อนที่ด้วยระยะทางที่เท่ากัน ดังนั้นงานที่กระทำทั้งต่อพัคทองเหลืองและต่อพัคพลาสติกมีค่าเท่ากัน ทำให้การเปลี่ยนพลังงานจลน์ของพัคทั้งสองแบบมีค่าเท่ากันด้วย)

การสัมภาษณ์ได้ถูกบันทึกเสียง หลังจากนั้นเทพการสัมภาษณ์ถูกนำมาถอดและวิเคราะห์ถึงเหตุผลที่นักศึกษาใช้อธิบายคำตอบ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 1: เหตุผลที่นักศึกษาใช้ในการตอบคำถามที่ 1 โดยที่ P_B คือโมเมนตัมของพัคทองเหลือง P_P คือโมเมนตัมของพัคพลาสติก

คำตอบ	เหตุผลที่สนับสนุนคำตอบ	ฟิสิกส์พื้นฐานพิเศษ (N = 12)	ฟิสิกส์พื้นฐานปกติ (N = 16)
$P_B > P_P$	การดลที่พัคทองเหลืองได้รับมากกว่า ¹	25%	0
$P_B = P_P$	การชดเชยระหว่างมวลและความเร็ว	50%	44%
$P_B = P_P$	แรงเป่าที่พัคได้รับเท่ากัน	8%	6%
ไม่มีคำตอบที่แน่นอน	เหตุผลที่สับสน ไม่เฉพาะเจาะจง	17%	50%

¹ คำตอบที่ถูกคือ

สำหรับเหตุผลที่นักศึกษาส่วนใหญ่ใช้สำหรับคำตอบที่ไม่ถูกต้องนั้น หรือที่เรียกว่า เหตุผลการชดเชยระหว่างมวลและ

ความเร็ว นักศึกษาที่ใช้เหตุผลแบบนี้ มักอธิบายว่าพัคทั้งสองแบบมีโมเมนตัมที่เท่ากัน เพราะว่าโมเมนตัมก็คือมวลคูณด้วยความเร็ว ถึงแม้ว่าทองเหลืองจะมีมวลมากกว่าแต่ความเร็วน้อยกว่า ในขณะที่พลาสติกถึงจะมีมวลน้อยกว่าแต่ความเร็วมากกว่า ดังนั้นพัคทั้งสองแบบจะมีโมเมนตัมเท่ากัน

ตารางที่ 2: เหตุผลที่นักศึกษาใช้ในการตอบคำถามที่ 2 โดยที่ KE_B คือพลังงานจลน์ของพัคทองเหลือง KE_P คือพลังงานจลน์ของพัคพลาสติก

คำตอบ	เหตุผลที่สนับสนุนคำตอบ	ฟิสิกส์พื้นฐานพิเศษ (N = 12)	ฟิสิกส์พื้นฐานปกติ (N = 16)
$KE_B = KE_P$	งานที่กระทำต่อพัคทั้งสองเท่ากัน ¹	50%	0
$KE_P > KE_B$	การชดเชยระหว่างมวลและความเร็ว	33%	25%
$KE_B = KE_P$	แรงเป่าที่พัคได้รับเท่ากัน	0	19%
ไม่มีคำตอบที่แน่นอน	เหตุผลที่สับสน ไม่เฉพาะเจาะจง	17%	56%

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยของ University of Washington จะเห็นได้ว่าถึงแม้นักศึกษาจะเรียนรู้เกี่ยวกับหลักการดลและการเปลี่ยนโมเมนตัมงานและพลังงาน ในห้องบรรยาย จนสามารถจำสมการและแก้โจทย์ปัญหาในข้อสอบเกี่ยวกับหัวข้อเหล่านี้ได้ก็ตาม แต่นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะประยุกต์ใช้ความรู้ในเหตุการณ์จริงได้จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปออกข้อสอบปรนัยเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับหลักการดลและการเปลี่ยนโมเมนตัมได้ดังตัวอย่างนี้

- นักบินอวกาศสองคนกำลังสำรวจสภาพภายนอกของสถานีอวกาศ ถ้านักบินที่ หนึ่งมีมวล m และนักบินที่สองมีมวล $2m$ ถ้านักบินทั้งสองเปิดเครื่องไอพ่นที่ติดอยู่ด้านหลังของแต่ละคนเป็นเวลา 3 วินาที ด้วยความแรงระดับเดียวกัน เพื่อให้พวกเขาเคลื่อนที่ไปตรวจที่อีกจุดหนึ่งของสถานี นักบินที่ 1 จะมีโมเมนตัม _____ ของนักบินที่ 2
ก. 4 เท่า ข. 2 เท่า ค. เท่ากับ ง. 0.5 เท่า (ตอบ : ก)
- จากข้อที่ 1 นักบินที่ 1 จะมีพลังงานจลน์ _____ ของนักบินที่ 2
ก. มากกว่า ข. เท่ากับ ค. น้อยกว่า (ตอบ : ก)

เอกสารอ้างอิง

[1] "Student understanding of the work-energy and impulse-momentum," R. A. Lawson and L. C. McDermott, Am. J. Phys. 55(9), 811-817 (1987).

เทคโนโลยีเมมเบรนสำหรับน้ำดื่มชุมชน

พิศุฒ วณิชภิกขิต*

เป็นที่ประจักษ์ว่า วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศยังต้องการกำลังคนอีกมาก เพื่อช่วยพัฒนาให้สามารถยืนได้อย่างมั่นคงบนฐานของตัวเอง โดยเลือกใช้องค์ความรู้ที่เหมาะสม และเพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ในปัจจุบัน มีศาสตร์หลาย ๆ ด้านซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในระดับสากลแต่สังคมไทยยังรู้จักน้อย หรือบางครั้งเมื่อเรียนรู้แล้วก็ถูกละเลยไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจัง ทำให้สังคมไทยมองวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่ไกลตัวและสัมผัสยาก ในหลาย ๆ โอกาสที่การเรียนรู้ในชั้นเรียนกับชีวิตประจำวันยังไม่สัมพันธ์กัน หลายๆ ครั้งพบว่า นักวิทยาศาสตร์ทำวิจัยเพื่อหาคำตอบที่ **unknown** เพื่อประโยชน์ของมวลมนุษยชาติหรือเพื่องานในอนาคต ขณะเดียวกันหากมองปัญหารอบ ๆ ตัว ก็จะเห็นช่องว่างอีกมากที่สังคมรอคอยความช่วยเหลือจากผู้รู้วิทยาศาสตร์ การดึงความรู้ที่ **well-known** มาก่อนให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมใกล้ตัวในปัจจุบัน จะเป็นการช่วยลดช่องว่าง

ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของสังคมไทยได้ระดับหนึ่ง และความฝันที่ต้องการเห็นสังคมไทยเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ก็ไม่น่าจะไกลเกินเอื้อม

บทความนี้ ต้องการแนะนำเทคโนโลยีการแยกโดยใช้ **“เมมเบรน (membrane)”** ที่แปลว่าเยื่อหุ้มเซลล์ โดยธรรมชาติเยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่ที่เสมือนนายทวารคือ **“คัดเลือก”** สิ่งที่ต้องการและ **“ผลักไส”** สิ่งที่ไม่ใช่ประโยชน์ออกจากเซลล์ เป็นกลไกที่บูรณาการกระบวนการทางกลศาสตร์ ทางไฟฟ้าเคมีและทางชีววิทยาระดับโมเลกุลร่วมกัน โดยมีพืธอ อุณหภูมิ เอนไซม์ และฮอร์โมนเป็นตัวแปรสำคัญ ส่วนเมมเบรนที่เลียนแบบธรรมชาติทำจากวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เซรามิก โลหะ หรือวัสดุผสมอื่นๆ หากเยื่อมีรูพรุนจะใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนระบบ เมมเบรนจึงทำหน้าที่เป็น **“เยื่อกรอง”** หากเมมเบรนมีประจุจริง ลักษณะเยื่อจะแน่น ไม่มีรูพรุนจะใช้ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อน ในกรณีนี้เมมเบรนจึงทำหน้าที่เป็นเยื่อ



รูปที่ 1 แสดงระดับความดัน (ถูกตรึงที่ข้างขึ้น) ของระบบแยกระดับไมโคร (MF) อัลตรา (UF) นาโน (NF) และรีเวอร์ส ออสโมซิส (RO) ที่แปรผันกลับกับขนาดของรูเมมเบรน (ถูกตรึงที่ข้างลง) (1 bar = 100 kPa ~ 10' เท่าของความดันบรรยากาศ)

* รองศาสตราจารย์ (ดร.) หัวหน้าสถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

ประสบการณ์ฟิลิกส์

แลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange membrane) กระบวนการดังกล่าวจึงไม่ใช่กลไกแบบบูรณาการเหมือนที่ธรรมชาติสรรค์สร้าง แต่ก็ได้มีความพยายามพัฒนาระบบให้มีความใกล้เคียงเชื้อหุ้มเซลล์ยิ่งขึ้น

การแยกอย่างง่ายที่มีการพัฒนามากกว่าวิธีอื่น ๆ คือ กระบวนการแยกด้วยวิธีทางกลศาสตร์ที่ใช้ความดันขนาด kPa – MPa เป็นแรงขับเคลื่อน รูปที่ 1 แสดงการจัดกลุ่มเมมเบรนออกตามขนาดของอนุภาคที่ต้องการกรอง นิยมใช้แรงดันในทิศทางกับผิวของเมมเบรนเพื่อลดปัญหาการอุดตันและเมมเบรนไม่ควรทำปฏิกิริยากับสารละลาย ปัจจุบันนี้เมมเบรนสำเร็จรูปมีราคาลดลงทุกปีเนื่องจากตลาดขยายตัวมากขึ้น และต้นทุนของระบบกรองระดับไมโคร (MF) จะถูกกว่าระบบกรองแบบอาร์โอ (RO) มาก อย่างไรก็ตามวิธีการขายเครื่องกรองน้ำดื่มของพ่อค้าคนกลางมักใช้คำรวม ๆ ว่า “เครื่องกรองน้ำระบบอาร์โอ” ขวนให้ลูกค้าเกิดความรู้สึกว่าน้ำที่ได้มีคุณภาพสูง ระบบที่ขายจึงควรมีราคาแพง แต่ในความเป็นจริงการให้ความดันแก่ระบบเพื่อดันน้ำออกจากสารละลายก็คือกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis, RO) ทั้งสิ้น นักวิทยาศาสตร์จึงควรถามให้ชัดๆว่า เครื่องกรองนี้แยกอะไรออกจากน้ำได้บ้าง เวลาเติมน้ำแต่ละครั้ง จะได้ไม่ต้องฝึกกลิ่นความรู้สึกเจ็บใจไปพร้อมกัน เพราะเมมเบรนชนิดอาร์โอนั้นสามารถทำน้ำทะเลให้จืดได้ทีเดียว

คาบสมุทรมาลาโย นับตั้งแต่สุราษฎร์ธานีลงไปถึงนราธิวาส ทั้งฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยและฝั่งทะเลด้านอันดามัน มีการใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินอย่างต่อเนื่อง น้ำบ่อที่เคยจืดในวันนั้น มาวันนี้เริ่มมีรสกร่อยเนื่องจากการรุกของน้ำทะเล บางแห่งน้ำมีรสจืดและใสสนิท



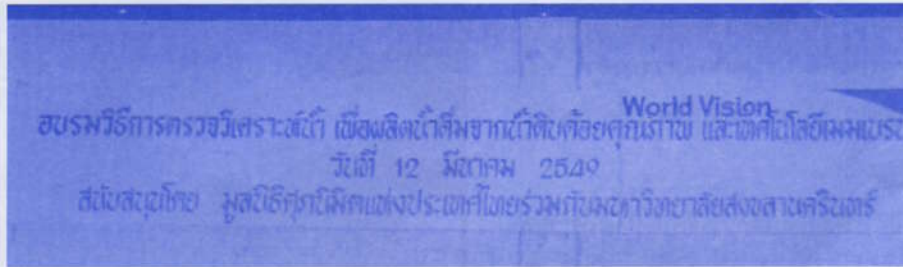
รูปที่ 3 การผลิตน้ำดื่มด้วยระบบนาโนฟิวเดรชัน เพื่อช่วยผู้ประสบภัยน้ำท่วมในเขตจังหวัดสงขลา เมื่อเดือนธันวาคม 2548



รูปที่ 2 ระบบนาโนฟิวเดรชันแบบเคลื่อนที่ได้ผลิตน้ำดื่มปลอดสารหนู ที่อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

แต่ดื่มไม่ได้ เนื่องจากมีสารพิษปนเปื้อนในปริมาณที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ เมื่อประมาณเกือบ 20 ปีที่แล้ว หลายคนคงเคยได้ยิน “โรคไขดำ” ซึ่งมีสารหนูในน้ำดื่มเป็นเหตุ หรือเคยได้ข่าวจากหนังสือพิมพ์เกี่ยวกับสารตะกั่วในแหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ภายหลังภัย “ซินามิ” พบว่าน้ำบ่อที่เคยใสสะอาดชาวบ้านเคยใช้ดื่มได้ กลับกลายเป็นสีชา เนื่องจากแทนนินในซากพืชที่ตายทับถมกันในบริเวณนั้น จึงเป็นเหตุผลว่าสารไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในน้ำดื่ม จะต้องถูกกำจัดออกให้เหลือในปริมาณน้อยตามเกณฑ์กำหนดขององค์การอนามัยโลก ดังนั้นคุณภาพน้ำดื่มจึงเป็นดัชนีชี้วัดสาธารณสุขมูลฐานและวัดความสามารถในการ “เข้าถึงวิทยาศาสตร์” ของคนไทยด้วย

เรื่องของ การได้มาซึ่งน้ำดื่มสะอาด เป็นที่ทราบกันดีว่าสังคมเมืองเป็นสังคมของผู้มีโอกาสดูสูง มีเครื่องผลิตน้ำดื่มระดับครัวเรือนให้เลือกหลายรูปแบบ หลายขนาดและหลายราคา แต่ในสังคมชนบทที่ระบบประปาเข้าไปไม่ถึง ก็มีความต้องการน้ำดื่ม



รูปที่ 4 การผลิตน้ำดื่มด้วยระบบอัลตราฟิวเตรชั่น ที่อำเภอกระบุรี จังหวัดพังงา ร่วมกับมูลนิธิศุภนิมิตแห่งประเทศไทย

สะอาด ไม่ต่างจากคนในสังคมเมือง เพียงแต่น้ำดื่มสะอาดถูกจัดให้มีความสำคัญในลำดับรองจากรายได้เพื่อยังชีพ โครงการให้ความช่วยเหลือเบื้องต้นที่ทำได้ไม่ยากคือ “เครื่องผลิตน้ำดื่มสะอาดแบบเคลื่อนที่ได้” (รูปที่ 2) เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตน้ำดื่มสะอาดไว้ใช้เอง ไม่ต้องซื้อ “น้ำขวด” (พลาสติก) จากพ่อค้าคนกลาง จะช่วยลดขยะในชุมชน และช่วยให้เงินหมุนเวียนจำนวนหนึ่งอยู่ในหมู่บ้านด้วย โครงการนี้สอนให้ชุมชนเรียนรู้การจัดการน้ำดื่มในราคาถูกสอนให้ซื้อสัปดาห์ต่อสัปดาห์ที่ให้น้ำฟรีๆ แก่คนในชุมชน สอนให้ผู้ที่มีโอกาสมากกว่าไม่ควรเอาเปรียบผู้ที่ด้อยโอกาสในสังคม เครื่องดังกล่าวมีราคาละหว่าง 50,000 – 200,000 บาท ผลิตน้ำดื่มได้ในอัตรา 200 – 2,000 ลิตร/ชั่วโมง ขึ้นกับคุณภาพน้ำดิบ และขนาดของชุมชน โครงการนี้นับว่าทำ योगค์การบริหารส่วนท้องถิ่นพอสมควร เพราะน้ำบริโภคเพื่อยังชีพประจำวันนั้น มีความสำคัญไม่แพ้การสร้างถนนคอนกรีตหรือการสร้างสะพานเข้าหมู่บ้าน และยังช่วยแก้ปัญหา

สาธารณสุขในชุมชนห่างไกลบางบางลงด้วย (รูปที่ 3)

เกิดคำถามว่าเหตุใดน้ำประปาประเทศไทยจึงดื่มโดยตรงไม่ได้คำตอบก็คือท่อประปาไม่สะอาดทำให้น้ำประปามีสารแขวนลอยที่ไม่พึงประสงค์ เช่น สนิมเหล็ก หรือจุลินทรีย์ และหลาย ๆ ครั้งน้ำมีกลิ่นคลอรีนสูง สำหรับชุมชนไกลเมื่อนั้นการประปาส่วนภูมิภาคมอบให้องค์การบริหารส่วนท้องถิ่นเป็นผู้จัดหา บางชุมชนจำเป็นต้องซื้อน้ำดื่มบรรจุขวด ขณะที่ราคาขวดแพงกว่าราคาน้ำหลายเท่าตัว

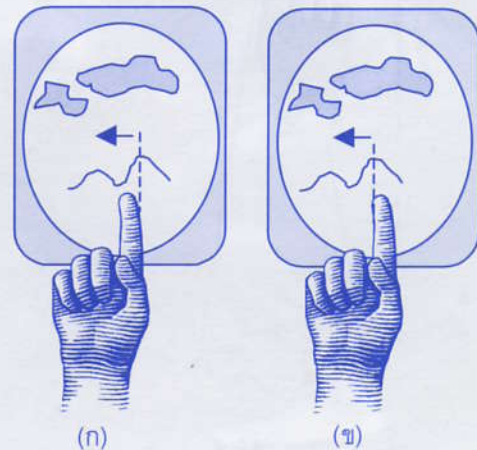
ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก <http://www.psu.ac.th/membrane> หรือโทรศัพท์ 074-288749 ในเวลาราชการ หรือทางอินเตอร์เน็ตที่ Rattikarn.m@psu.ac.th สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับการสร้างเครื่องผลิตน้ำดื่มชุมชนและการจัดฝึกอบรม (รูปที่ 4)

แก้ไขผิดพลาด

ฉบับที่แล้ว (ม.ค. - พ.ค. 2549) มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่หน้า 8 กล่าวคือ ตัวเลขปี ค.ศ. 1975 ที่มีอยู่ 4 แห่ง ในหน้านี้ ล้วนผิดครับที่ถูกจะต้องเป็น “ค.ศ. 1775” (หรืออาจจะ เป็น ค.ศ. 1750 ก็น่าจะได้ เช่นกันเพราะการปฏิวัติอุตสาหกรรมไม่ได้เกิดขึ้นแบบปุบปับคนละอย่างกับการปฏิวัติรัฐประหาร) เป็นความสะเพร่าของผู้เรียบเรียงเองครับ ต้องขออภัยท่านผู้อ่านมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณมิตรรักนักอ่านท่านที่กรุณาท้วงติงมา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความเมตตาเช่นนี้อีกในโอกาสหน้า

การวัดอัตราเร็วเครื่องบิน

สมชาย เกียรติภิมลชัย



รูปที่ 1 ขอดเขาเคลื่อนตัวจาก (ก) ขอบขวาของนิวส์ ไปยัง (ข) ขอบซ้ายของนิวส์

เรียน เล่น ฟิสิกส์ ฉบับนี้ได้แนวคิดมาจากคำถามพื้น ๆ ตอนที่ได้นั่งเครื่องบินไปจังหวัดขอนแก่น ซึ่งโดยปกติผมก็จะคิดโน่นคิดนี่ไปเรื่อยเรื่อย และคำถามที่เป็นที่มาของต้นฉบับคราวนี้ก็มีมานานแล้วเพียงแค่ผมไม่ได้เอาใจใส่มากนัก คำถามง่าย ๆ ก็คือว่า “เครื่องบินที่เรานั่งอยู่มีอัตราเร็วเท่าใด” มันคงมากลักร้อยกิโลเมตรต่อชั่วโมงแน่นอนแต่ไม่เกินไปหลักพันเพราะเป็นอัตราเร็วเสียงในอากาศ โดยปกติถ้าท่านผู้อ่านเคยนั่งเครื่องบินคงทราบว่ามันจอลภาพโปรเจกเตอร์หรือทีวีในเครื่องบิน เขาจะแสดงข้อมูลพื้นฐาน อาทิ อุณหภูมิภายนอก ระดับความสูง เวลาที่ใช้ในการเดินทาง อัตราเร็วลม และอัตราเร็วภาคพื้นดิน ซึ่งบังเอิญว่าเครื่องบิน A300-600 ลำที่ผมบินวันนั้นไม่ได้ฉายสิ่งใดบนจอภาพเลย คำถามเก่า ๆ เรื่องอัตราเร็วเครื่องบินก็เลยกลายเป็นโจทย์ที่ทำให้หาการเดินทางของผมวันนั้นไป ผมใช้เวลาบนเครื่องนั่งคิด หีบเสมกระดาษที่เขาไว้ให้เขียนติชมบริการของการบินไทยมาทดเลข ทดลองโน่น วัดนี้จนแอร์โฮสเตสและผู้โดยสารนั่งแถวหลังคงว่าผมแปลกหน่อย ๆ (หรือเยอะ...ผมก็ไม่แน่ใจ) ผมจะเล่าให้ฟังว่าผมทำอะไร.....

จุดเริ่มต้นของการวัดแน่นอนครับคือสิ่งที่เคลื่อนที่นอกเครื่องบินเท่าที่จะสังเกตได้ ช่วงที่ผมเดินทางเป็นตอนเช้า อากาศแจ่มใส สามารถมองเห็นพื้นดินผ่านช่องระหว่างกอนเมฆได้เป็นเวลานานพอสมควร ความคิดแรกก็คือถ้าเราเอาปลายปากกาไปแตะกระจกเข้าไปที่ขอดเขาหรือจุดใด ๆ บนพื้นดินแล้วจับเวลาว่าปลายปากกาเลื่อนไปเป็นระยะทางบนพื้นดินเท่าใด เราก็น่าจะคำนวณหาอัตราเร็วเครื่องบินได้เลย แต่ปัญหาก็คือมันยากมากที่จะกระชกทางบนพื้นดินด้วยสายตาโดยไม่มีอะไรเป็นตัวเปรียบเทียบ

เมื่อความคิดดี ๆ ของผมใช้ไม่ได้ผลก็จำเป็นต้องนึกให้ลึกซึ้งกว่าถ้าผมลองเอานิวส์และไว้บนกระจกหน้าต่างแล้วมองภาพพื้นดินที่เลื่อนผ่านนิ้วไปแล้วก็เกิดไอเดียอันหนึ่งขึ้นมาว่า ระยะทางที่ขอดเขาเคลื่อนไปเราไม่ทราบแต่ภาพที่ปรากฏบนหน้าต่างเรารู้ได้แน่นอน ดังนั้นเราก็จะวัดอัตราเร็วภาพแล้วคำนวณกลับเป็นอัตราเร็วของพื้นดินที่เลื่อนผ่านเครื่องบินไป ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของเครื่องบินเทียบกับพื้นดินนั่นเอง

ให้เราเริ่มต้นจากรูปที่ 1 โดยการเอานิวส์ไปทาบไว้กับหน้าต่างเครื่องบิน สมมติว่าเราเห็นขอดเขาจุดหนึ่งอยู่ที่ขอบขวาของนิวส์พอดี เราก็เริ่มจับเวลา (โชคดีที่นาฬิกาที่ผมใส่มีฟังก์ชันนาฬิกาจับเวลาด้วย) จนกระทั่งขอดเขาเคลื่อนไปอยู่ขอบซ้ายของนิวส์ ผมจับเวลาได้ 6 วินาทีกว่า ๆ ก็จะประมาณว่า 6 วินาทีแล้วกัน สิ่งที่ต้องทราบต่อมาคือความกว้างของนิวส์ผมกะราว ๆ ด้วยสายตาว่า 1.5 เซนติเมตร เพราะ 1 เซนติเมตรก็จะดูเล็กไปหรือ 2 เซนติเมตรผมก็ว่าจะมากไป แล้วก็มาถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผมนึกถึงสามเหลี่ยมคล้ายสองรูปที่ตำแหน่งของดาอยู่ที่ขอดแหลมของสามเหลี่ยม ความกว้างของนิ้วเป็นฐานของสามเหลี่ยมอันเล็ก ในขณะที่ระยะทางที่ขอดเขาเคลื่อนที่ไปได้เป็นฐานของสามเหลี่ยมอันใหญ่กว่า ดูรูปที่ 2 ประกอบครับ โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

D คือระยะทางที่ขอดเขาเคลื่อนที่ไป

H คือความสูงของเครื่องบินจากพื้นดิน

h คือระยะห่างของดาจากกระจกหน้าต่างเครื่องบิน

d คือความกว้างของนิวส์

จากรูปเราจะได้ความสัมพันธ์ง่าย ๆ ว่า

$$\frac{D}{d} = \frac{H}{h}$$



รูปที่ 2 ระยะต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณ

เราสามารถคำนวณหา D ได้จากสมการนี้เมื่อตัวแปรอื่น ๆ ทราบค่า และการคำนวณหาอัตราเร็วของเครื่องบินเทียบกับพื้นดินก็จะเท่ากับอัตราเร็วของยอดเขาเทียบกับผู้สังเกตบนเครื่องบินนั่นเอง ดังนั้นสิ่งที่เราต้องการก็คือ

$$v = \frac{D}{\Delta t} = \frac{d}{\Delta t} \frac{H}{h}$$

ขณะที่ผมกำลังเคาเรื่องความสูงของเครื่องบินจากพื้นดินอยู่นั้น นักบินก็ออกเสียงตามสายมายังผู้โดยสารเพื่อทักทายพร้อมกับบอกคำตอบที่ผมกำลังต้องการพอดีคือ 29,000 ฟุต ส่วนค่าตัวแปรอื่น ๆ ผมเคาเอาโดยเทียบกับระยะหนึ่ง คีบของผมว่ายาวพอ ๆ กับความยาวของไม้โปรแทรกเตอร์ซึ่งยาวประมาณ 15 เซนติเมตร (อันนี้ต้องจำได้เองครับ) ระยะห่างจากตาผมไปยังปลายนิ้วชี้ก็ประมาณ 25 เซนติเมตร (อันที่จริงถ้าจะประมาณน้อยกว่านี้ก็จะเป็นไปได้ไม่คอยได้เพราะระยะ 25 เซนติเมตรเป็นระยะใกล้สุดที่มองเห็นแล้วสบายตาครับ ถ้าน้อยกว่านี้จะรู้สึกปวดตาครับ) ดังนั้นผมก็ต้องคำนวณพจน์ต่อไปนี้นั่นเอง

$$v = \frac{1.5 \times 10^{-2}}{6} \frac{29000 \times 30}{25 \times 10^{-2} \times 100}$$

ความสนุกของการคำนวณจะอยู่ตรงนี้แหละครับ ตรงที่ผมไม่ได้พกเครื่องคิดเลขไปด้วย จะให้เปิดโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้เครื่อง

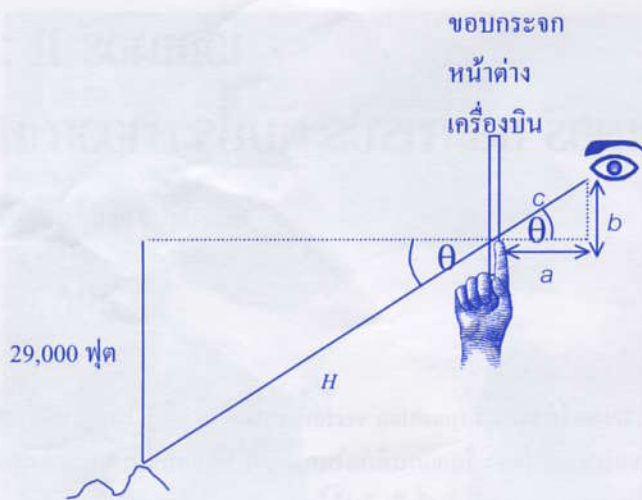
คิดเลขในโทรศัพท์มือถือก็ผิดกฎระเบียบ ศาสตร์ของการคำนวณจึงอยู่ที่การประมาณค่าให้เราคำนวณได้ง่ายที่สุดโดยที่ผิดพลาดไปจากเดิมน้อยที่สุด ผมไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวเช่นกันว่าต้องทำอะไรที่ผมทำเป็นลำดับก็คือ

1. แทน 1.5 ด้วยปริมาณ $\frac{3}{2}$
2. แทนปริมาณ 29,000 ด้วย 30,000 ซึ่งก็จะทำให้ปริมาณที่คำนวณได้มากเกินไปซักเกือบ ๆ 3 เปอร์เซ็นต์
($\frac{1000}{29,000} \times 100 \approx \frac{100}{30} \approx 3\%$)
3. หาร 100 ซึ่งเป็นเลขศูนย์สองตัวหลังของ 30,000 ด้วย 25 เหลือ 4
4. หาร 300 ที่เหลือจาก 30,000 ด้วย 100

หลังจากจัดรูปไปมาจะเห็นว่าปริมาณที่เหลือเป็นเลขจำนวนเต็มง่าย ๆ ชุดหนึ่งซึ่งให้คำตอบเป็น 90 เมตรต่อวินาที ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วในหน่วยเมตรต่อชั่วโมงคือ $90 \times 3600 = 324,000$ หรือ 324 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งมีค่าน้อยเกินไป (เทียบกับประสบการณ์การนั่งเครื่องบินหลาย ๆ เที่ยวบิน) ...แน่นอน..เราต้องย้อนกลับไปดูทฤษฎีที่ใช้และค่าประมาณต่าง ๆ ว่าสมเหตุสมผลเพียงใด หลังจากที่นั่งคิดอยู่พักหนึ่ง ผมก็นึกออกว่ารูปที่ 2 มันใช้ได้กับการมองในแนวตั้ง แต่ที่เรามองออกไปนอกหน้าต่างเรามองมุมเอียง ดังนั้นระยะ H จริง ๆ จึงควรมีค่ามากกว่า 29,000 ฟุต

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \times \frac{300 \times 100}{6 \times 25 \times 10^{-2} \times 100} \times 30 \\ &= \frac{3 \times 3 \times 4 \times 30}{2 \times 6} \\ &= 90 \text{ m/s} \end{aligned}$$

รูปที่ 3 หน้าตากระดาษทดเลข



รูปที่ 4 การมองวัตถุบนพื้นดิน

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า H ควรมีเพิ่มขึ้น $\frac{c}{a}$ เท่าของ 29,000 ฟุต และอัตราเร็วเครื่องบินก็ควรเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนนี้ด้วย จากการกะระยะคร่าว ๆ ว่าดวงตาจะอยู่สูงจากตำแหน่งที่นิ้วแตะกระจกอยู่ประมาณ 15 เซนติเมตร ($b = 15$ cm) และดวงตาห่างจากกระจกประมาณ 30 เซนติเมตร ($a = 30$ cm) สิ่งที่ต้องคำนวณคือ

$$\frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{a} = \frac{\sqrt{30^2 + 15^2}}{15}$$

ซึ่งก็ยุ่งยากพอสมควร วิธีที่ง่ายกว่าคือคิดแบบสัดส่วนโดยมองว่า a เป็น 2 เท่าของ b ดังนั้น $\sqrt{a^2 + b^2}$ จึงให้ผลลัพธ์เป็น $\sqrt{5}a$ และสัดส่วน $\frac{c}{a}$ จึงมีค่าเท่ากับ $\sqrt{5}$ หรือประมาณ 2.2 นั่นเอง (อันนี้ต้องท่องเองว่า $\sqrt{5} = 2.236$) ดังนั้นอัตราเร็วของเครื่องบินจึงมีค่าประมาณเท่ากับ 324×2.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผมเลือกที่จะคำนวณแบบรวดเร็วโดยไม่ต้องทดเลขให้วุ่นวายว่าถ้าเปลี่ยนเป็น 325×2.2 ก็จะง่ายขึ้นเพราะเศษ 25 เมื่อคูณ 2 แล้วได้ 50 และในขณะเดียวกันเราอาจมองว่า 0.2 มันคือ 10% ของ 2 ดังนั้น

เราก็ควรเอา 325 คูณด้วย 2 เสียก่อนซึ่งเท่ากับ 650 แล้วบวกเพิ่มอีก 10% ของ 650 ซึ่งเท่ากับ 65 เราก็จะได้คำตอบเป็น 715 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

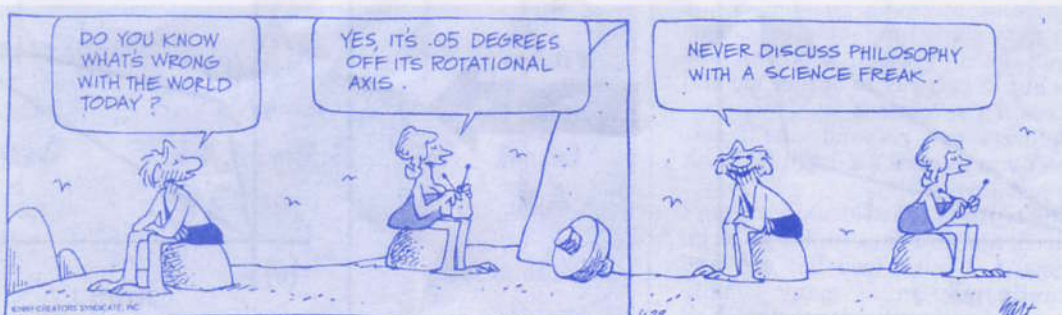
คำนี้ค่อนข้างมากอยู่ซักหน่อยเพราะว่าตอนขากลับเครื่องบินแบบเดียวกัน บนเครื่องได้แสดงข้อมูลให้ทราบว่ายัตราเร็วภาคพื้นดินที่ความสูงดังกล่าวเป็น 640 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจากข้อมูลในวารสาร Sawasdee ซึ่งมีอยู่บนเครื่องบิน ก็ได้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าระยะทางของเที่ยวบินดังกล่าวคือ 370 กิโลเมตรและใช้ระยะเวลาบินทั้งสิ้นประมาณ 45 นาที เนื่องจากเวลา 45 นาทีคิดเป็น $\frac{3}{4}$ ของหนึ่งชั่วโมงดังนั้นเราก็เอา 370 หารด้วย 3 เพื่อแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กันแล้วคูณด้วย 4 ผลเปลี่ยน 370 เป็น 360 เพื่อให้ 3 หารลงตัวแล้วเราก็จะได้ค่าประมาณอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ

$$370 \times \frac{4}{3} \approx 360 \times \frac{4}{3} = 120 \times 4 = 480 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้นอัตราเร็วของเครื่องบินขณะที่บินได้ระดับแล้วก็ควรจะอยู่ระหว่าง 480 และ 640 กิโลเมตรต่อชั่วโมงครับ

ศิลปะของการคำนวณแบบไม่ใช้เครื่องคิดเลขเป็นสิ่งที่น่าใส่ใจเพราะในหลายสถานการณ์เราไม่มีเครื่องคิดเลข หรือแม้แต่กระดาษกับปากกาที่จะช่วยทดเลข ท่านผู้อ่านหลาย ๆ ท่านคงเคยประทับใจกับการคิดราคาผักผลไม้ของแม่ค้าในตลาดสดว่าเก่งกว่าเราหลายเท่า ในขณะที่บางครั้งการคำนวณแบบกด ๆ จิ้ม ๆ เครื่องคิดเลขแทบเป็นแทบตายกลับให้ตัวเลขที่ไม่น่าจะเป็นไปได้ซึ่งก็มักจะเกิดจากความคิดพลาดของเราอยู่ดี ผมมีตัวอย่างหนึ่ง แบบขำ ๆ ครับว่าผมได้ยกตัวอย่างเป็นสถานการณ์ในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในลวดโลหะและให้นักเรียนช่วยคำนวณปริมาณอิเล็กตรอนในเส้นลวดโลหะนั้น ๆ ผมได้รับคำตอบเป็น 10^{-34} ตัว ! โปรดสังเกตนะครับว่ามันน้อยกว่า 1 ตัว ผลของเครื่องช่วยคำนวณที่เราได้มอบความไว้วางใจแต่ลืมไปว่ามันก็แค่ช่วยเรา ไม่ได้ทำแทนเราครับ...

B.C.



จาก นสว. Bangkok Post

เวกเตอร์ II : การบวกเวกเตอร์ และการประทับประตอวกาศ

ชาญกิจ กันน่อง

ทำไมต้องมีการบวกเวกเตอร์? เราจะรู้กันคำอธิบายตามลำดับดังนี้

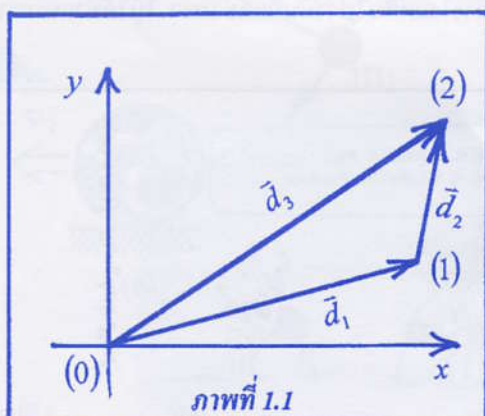
1. เวกเตอร์ในอวกาศ คุณสมบัติของสถานที่อยู่ในเอกภพคือ อวกาศและเวลา เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไปของปริมาณฟิสิกส์ที่อาศัยอยู่เปรียบเสมือนกับลักษณะของกล่องกำหนดลักษณะของสิ่งที่สามารถใส่ลงในกล่องได้เช่น อวกาศและเวลาแบบกาลิเลียน กำหนด สมบัติทั่วไปของปริมาณเวกเตอร์ คือ มีทิศ และไม่แปรเปลี่ยนในการแปลงอวกาศ (ดู เวกเตอร์ I, วารสารฟิสิกส์ไทย มี.ค.-พ.ค.2549) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเวกเตอร์แต่ละตัว ต่อไปจะศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไปอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับการบวกเวกเตอร์หลายๆ ตัว

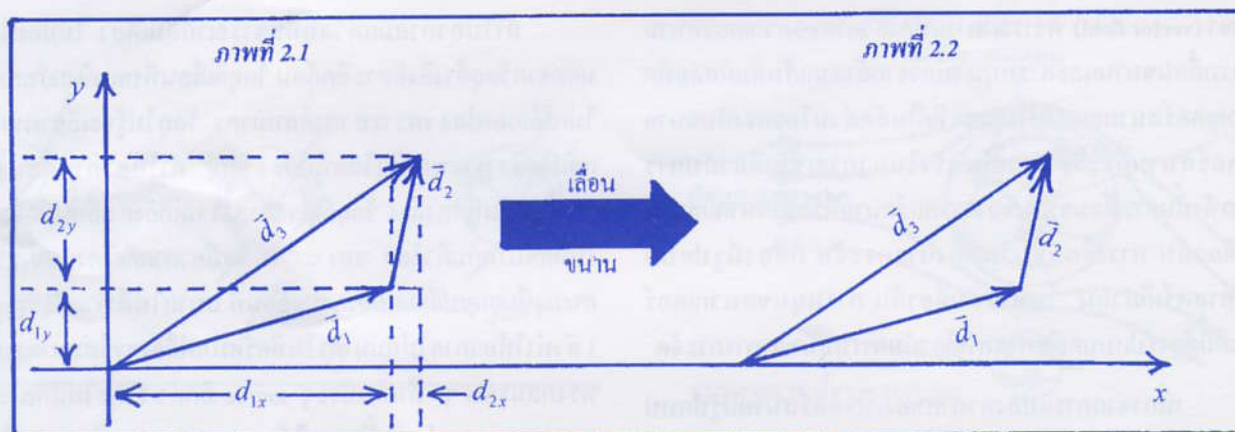
จากหลักการเดียวกัน คือ สมบัติของอาณาบริเวณในอวกาศเป็นตัวกำหนดลักษณะร่วมทั่วไปของปริมาณฟิสิกส์ที่บรรจุอยู่ในอาณาบริเวณนั้น เราจึงเริ่มศึกษาจากเวกเตอร์ที่แทนอาณาบริเวณชนิดหนึ่งในอวกาศเอง นั่นคือ การกระจัด

การกระจัด (displacement) คือ เวกเตอร์บอกตำแหน่งของจุดๆ หนึ่งหรือสิ่งที่อยู่ ณ จุดนั้นเทียบกับจุดอ้างอิงในอวกาศ (สำหรับกรอบเฉื่อย จุดอ้างอิงเป็นอนุภาคอิสระใดใด) โดยมีขนาดเป็นระยะห่างหรือความยาวของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุด 2 จุดดังกล่าวและมีทิศจากจุดที่ใช้เทียบไปยังจุดที่ต้องการบอกตำแหน่ง เราสามารถใช้การกระจัดแสดงตำแหน่งของจุดทุกจุดได้โดยการเทียบกับจุดอ้างอิงมาตรฐานเพียงจุดเดียว ซึ่งจะเรียกการกระจัดมาตรฐานนี้ว่า

เวกเตอร์ตำแหน่ง (position vector) แทนด้วย $\vec{x}$ ในการระบุทิศของเวกเตอร์ต้องเลือกแกนพิกัดในอวกาศที่ใช้เทียบขึ้นมาก่อน ดังนั้นมาตรฐานการบอกทิศที่เป็นไปได้อย่างเดียว คือ การเทียบกับกรอบพิกัดหนึ่งเดียวกันเท่านั้น แต่ถ้าเปรียบเทียบเวกเตอร์ที่เห็นจากกรอบพิกัดหนึ่งต่างๆ ที่หันทิศและมีจุดกำเนิดที่ต่างกันเทียบกับจุดอ้างอิง จะสามารถเห็นทิศของเวกเตอร์ต่างกันไปได้แต่เรายัง identify ว่าเป็นปริมาณเวกเตอร์เดียวกันที่มองจากแต่ละกรอบ กล่าวคือ ความเป็นเวกเตอร์เดียวกันเชื่อมโยงกันด้วยการแปลงกรอบการสังเกตหนึ่งโดยการเลื่อนขนานและการหมุน ซึ่งไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงตัวระบบฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง [หมายเหตุ: การเลื่อนขนาน (parallel transport) ของเวกเตอร์ คือ การเลื่อนกรอบการสังเกต หรือในมุมมองที่สมมูลกันคือการเลื่อนเวกเตอร์นี้ไปพร้อมกับระบบฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในอวกาศ ที่ทำให้ยังคงเห็นเวกเตอร์นั้นไม่เปลี่ยนขนาดและทิศทาง]

2. การบวกการกระจัด พิจารณาวัด ณ ตำแหน่ง (1) ที่มีการกระจัด $\vec{d}_1$ เทียบกับจุดอ้างอิง (0) เลื่อนวัตถุออกจากตำแหน่งนี้โดยการกระจัด $\vec{d}_2$ ไปยังตำแหน่ง (2) นิยามการกระจัดผลบวก $\vec{d}_3$ ว่าเป็นการกระจัดที่เชื่อมจุดอ้างอิง (0) กับตำแหน่ง (2) เขียนการดำเนินการนี้เป็นสมการ $\vec{d}_3 = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$ จะเห็นว่าการดำเนินการนี้เป็น การลากเส้นวงปิดรูปสามเหลี่ยม ดังภาพที่ 1.1 เรียกว่า





สามเหลี่ยมการบวก และเมื่อหันรูปสามเหลี่ยมนี้ไป π เรเดียน แต่จัดให้ทิศลูกศรของเวกเตอร์ยังคงเดิมดังภาพที่ 1.2 ก็จะเห็นว่า เป็นการดำเนินการกลับกัน ที่ยังคงได้ $\vec{d}_2 + \vec{d}_1 = \vec{d}_3 = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$ ดังเดิม มีข้อพิจารณาต่อไปนี้

2.1 เป็นการขยายนิยามการบวก ถ้านำการกระทำที่มี ทิศเดียวกันมาต่อกัน ขนาดของการกระทำผลบวก คือ การนำระยะ ทางมาบวกกันแบบจำนวนโดยตรง แต่สำหรับการกระทำที่ไม่ใช่ทิศ เดียวกัน การที่การกระทำสามารถเป็นด้านของสามเหลี่ยมรูปหนึ่ง จึงสามารถพิจารณาให้แต่ละการกระทำ $\vec{d}_1, \vec{d}_2$ และ $\vec{d}_3$ เป็นด้าน ตรงข้ามมุมฉากของสามเหลี่ยมมุมฉากรูปหนึ่งที่อยู่ในระนาบเดียวกับสามเหลี่ยม $o12$ โดยมีด้านประกอบมุมฉากเป็นการกระทำ ในทิศ $\hat{i}$ กับ $\hat{j}$ เดียวกันตามลำดับดังภาพที่ 2.1 เขียนการดำเนินการ บวกที่แสดงโดยรูปสามเหลี่ยมมุมฉากเหล่านี้ได้เป็น $\vec{d}_1 = d_{1x}\hat{i} + d_{1y}\hat{j}$, $\vec{d}_2 = d_{2x}\hat{i} + d_{2y}\hat{j}$, ... จะเห็นจากภาพที่ 2.1 ว่าด้านประกอบมุมฉาก ของการกระทำผลบวก $\vec{d}_3 = d_{3x}\hat{i} + d_{3y}\hat{j}$ คือการนำด้านประกอบ มุมฉากของ $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ มาต่อกันโดยตรงตามทิศ $\hat{i}$ กับ $\hat{j}$ นั่นก็คือ $\vec{d}_3 = (d_{1x} + d_{2x})\hat{i} + (d_{1y} + d_{2y})\hat{j}$ ทำให้มองได้ว่าการดำเนินการนี้เป็นการขยายนิยามการบวกจากการบวกระยะทาง ในมิติเดียวไปสู่การบวกเวกเตอร์ที่สามารถแสดงในรูปการบวก ขนาดของแต่ละเวกเตอร์องค์ประกอบที่มีทิศไปตามแกนพิกัดของ อวกาศ

2.2 สอดคล้องกับหลักสัมพัทธภาพ ถ้าพิจารณาเลื่อน ขนานเวกเตอร์ $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ โดยให้เวกเตอร์ทั้งสองไปต่อกันที่ จุดใหม่โดยที่ขนาดและทิศทางยังคงเดิม ซึ่งเป็นการเลื่อนขนานรูป สามเหลี่ยมการบวก $o12$ ไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปดังภาพที่ 2.2 นั่นเอง นั่นก็คือ จุดเริ่มต้นใหม่ของ $\vec{d}_1$ กับจุดปลายใหม่ของ $\vec{d}_2$ ก็ยัง

คงมีทิศทางและระยะห่างกันเท่าเดิม ทำให้ได้ $\vec{d}_3$ ใหม่มีขนาดและทิศ ทางดั้งเดิม จะเห็นว่าการเลื่อนขนาน $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ ก่อให้เกิดการเลื่อน ขนานของผลบวก $\vec{d}_3$ ไปด้วยกันและในรูปแบบเดียวกัน พิจารณา การแปลงอวกาศของรูปสามเหลี่ยมอีกแบบ คือ การหมุน จะเป็นการ หมุนของกรอบการสังเกตไปรอบ ๆ รูปสามเหลี่ยมนี้โดยยังคง identify ว่าเป็นรูปสามเหลี่ยมเดิม ดังนั้นการแปลงอวกาศของการ บวกเวกเตอร์การกระทำ คือ การเลื่อนขนานและการหมุน อาณาบริเวณรูปสามเหลี่ยมไปซึ่งไม่มีการเปลี่ยนรูปไปในอวกาศ สอดคล้องกับหลักสัมพัทธภาพ ที่ว่าปริมาณฟิสิกส์และการดำเนินการ ของมันในกฎฟิสิกส์ไม่แปรเปลี่ยนในการแปลงอวกาศ

2.3 ง่ายที่สุด มีการ "รวม" เวกเตอร์ในรูปแบบอื่น ๆ อีก หรือไม่ที่สอดคล้องกับหลักสัมพัทธภาพ? คำตอบคือ มี เช่น โดย กำหนด "ผลบวกการกระทำใหม่" ให้มีขนาดและทิศไม่ตรงกับด้าน ปิด $\vec{d}_3$ ของรูปสามเหลี่ยมข้างต้น ดังตัวอย่าง การนิยาม "ผลบวกใหม่" เป็น $\vec{d}_3' = \frac{1}{2}(\vec{d}_1 + \vec{d}_2)$ ที่มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของ $\vec{d}_3$ เดิม แต่ จะเห็นว่าความสัมพันธ์ลักษณะนี้ไม่ได้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด เนื่องจากผลบวก $\vec{d}_3'$ ที่ได้ไม่ชนกับจุดต้นและจุดปลายของ $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ พอดี จึงต้องมี ข้อมูลเกินกว่าที่ $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ มี เช่น ต้องคอยนิยาม ตัวประกอบ $\frac{1}{2}$ หรือ เวกเตอร์อื่น ๆ นอกเหนือจาก $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ ว่า จะส่งผลให้ผลบวก $\vec{d}_3'$ มีขนาดและทิศไม่ชนกับด้านปิดของ $\vec{d}_1$ และ $\vec{d}_2$ อย่างไร

3. การบวกเวกเตอร์สนาม มีเวกเตอร์ชนิดอื่นที่ไม่ได้กิน อาณาบริเวณเส้นทางในอวกาศอย่างการกระทำ เช่น เวกเตอร์สนาม ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่มีขนาดและทิศดำรงอยู่ ณ จุด ๆ หนึ่ง ในอวกาศ เท่านั้น โดยเรียกเซตของเวกเตอร์นี้จากทุก ๆ จุดในอวกาศว่า สนาม

เวกเตอร์ (vector field) พิจารณาการแปลงอวกาศของเวกเตอร์สนาม โดยการเลื่อนขนานและการหมุน เนื่องจากถ้าลากเส้นสัมผัสต่อทิศของเวกเตอร์สนามออกไปในระนาบที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดเวกเตอร์สนามก็จะได้แนวเส้นตรงในอวกาศเช่นเดียวกับการกระจัด ดังนั้นการเลื่อนขนานของเวกเตอร์สนามที่รักษามาตรและทิศเช่นเดียวกับการเลื่อนขนานของการกระจัด ก็ต้องมีรูปแบบคณิตศาสตร์เดียวกัน ในทำนองเดียวกัน การหมุนของเวกเตอร์สนามก็ต้องมีรูปแบบคณิตศาสตร์เดียวกันกับการหมุนของการกระจัด

เนื่องจากการแปลงอวกาศของเวกเตอร์สนามมีรูปแบบเดียวกับการกระจัด ทำให้การบวกเวกเตอร์สนาม (ต้องบวกด้วยปริมาณเวกเตอร์ชนิดเดียวกัน) ก็มีลักษณะไม่แปรเปลี่ยนในการแปลงอวกาศเช่นเดียวกับการบวกการกระจัด แตกต่างกับการบวกนี้สร้าง “รูปสามเหลี่ยมปิด” ที่ดำรงอยู่ ณ จุดหนึ่งๆ ในอวกาศเท่านั้น สมการการบวกเวกเตอร์สนามจึงเป็นสมการหนึ่งที่มีหลักสัมพัทธภาพ และสามารถเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณฟิสิกส์ภายในกฎฟิสิกส์ที่มีหลักสัมพัทธภาพได้

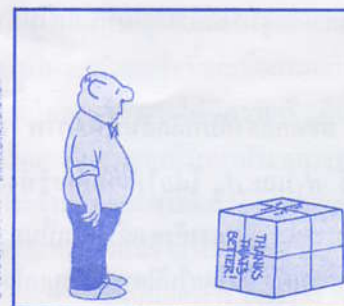
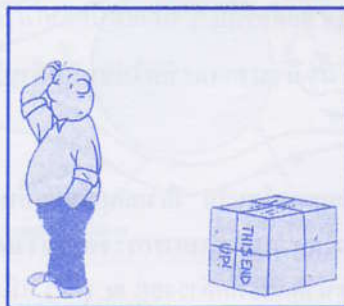
4. การประดับประดาอวกาศเราทราบแล้วว่า การบวกเวกเตอร์เป็นการดำเนินการง่ายที่สุดที่สามารถมีในกฎฟิสิกส์ที่มีหลักสัมพัทธภาพ ดังนั้นในกฎฟิสิกส์ เช่น ไฟฟ้าสถิตย์ ดังตัวอย่างสนามไฟฟ้ารวมของประจุ sources แบบสถิตย์ 2 ตัว ก็ควรเป็นสนามไฟฟ้าของประจุ source แต่ละตัวในกรณีที่อยู่อย่างโดดเดี่ยวมาบวกกันแบบเวกเตอร์ แต่ก็ยังคงน่าสงสัยว่าทำไมสนามไฟฟ้าของประจุแต่ละตัว จึงต่างคนต่างอยู่ ต่างคนต่างส่งผลของตนเอง ทำให้มีการรวมกันในรูปสามเหลี่ยมการบวกพอดิ? เช่น ทำไมการมีอยู่ของประจุอื่นไม่ทำให้สนามของแต่ละตัวเปลี่ยนไปจากกรณีประจุอิสระก่อนที่จะมาบวกกันแบบเวกเตอร์? ความจริงนี้เป็นหลักการสำคัญอันหนึ่งในฟิสิกส์ เรียกว่า หลักการซ้อนทับกัน (superposition principle) ของสนามของแรงในอวกาศ

ถ้าในอวกาศมีแต่วัตถุที่พิจารณาก่อนเดียว ไม่มีอะไรเลย นอกจากวัตถุอ้างอิงอิสระอีกก้อน วัตถุก็เลื่อนที่ (translate) อย่างเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง เพราะอวกาศสมมาตร วัตถุไม่รู้จะเลี้ยวตรงไหน แต่เมื่อพิจารณาบนผิวโลกที่มีแรง mg ทำให้อวกาศมีสนามไม่สมมาตรในทิศลงล่าง วัตถุก็เลี้ยวลงล่าง แต่ก็ยังคงเลื่อนที่อย่างเดิมในทิศขนานกับผิวโลก “เพราะ” ในทิศนี้อวกาศก็ยังคงสมมาตร **ไม่มี** สนามเป็นเหตุเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ สนามไฟฟ้าจากประจุ source 1 ตัวทำให้อวกาศไม่สมมาตรในทิศรัศมี แต่ก็ยังคงมีสมมาตรบนผิวทรงกลมรอบๆ ถ้าเพิ่มประจุ source อีกตัว (โดยไม่มีกลไกอื่น) สนามรวมจากประจุทั้งสองได้จากการบวกแบบเวกเตอร์พอดิ “เพราะ” **ไม่มี** สนามหรือข้อมูลเกินจากเงาขึ้นมาจากความสมมาตรของอวกาศอันว่างเปล่า สนามอันเป็นเหตุแห่งการเคลื่อนที่ต่างก็ซ้อนทับกัน มิได้กระทบกันเอง

ในฟิสิกส์มีความสัมพันธ์เชิงเหตุผลหลายชนิด เช่น แบบลำดับเวลา ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดที่เรียกว่า แบบกลไก คือ สาเหตุมีลักษณะเป็นตัวขับเคลื่อนหรือกระทำให้เกิดเหตุการณ์ที่พิจารณาเหมือนกับฟันเฟืองหนึ่งเกี้ยวให้อีกฟันเฟืองหนึ่งเคลื่อนที่ เช่น ในกฎนิวตัน แรง เป็นสาเหตุหรือปัจจัยขับเคลื่อนวัตถุให้เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ หลักการซ้อนทับกันทำให้เราสามารถลดทอนแยกส่วนศึกษาผลของสาเหตุแบบกลไกแต่ละตัวแล้วค่อยนำมารวมกันได้สะดวก เช่น การค้นพบกฎการตกของวัตถุบนผิวโลกของกาลิเลโอเป็นรากฐานแก่การค้นพบกฎการเคลื่อนที่โดยแรงอื่น ๆ อย่างทั่วไปในเวลาต่อมา หลักการซ้อนทับกัน เป็นรากฐานส่วนหนึ่งของการศึกษาธรรมชาติด้วยวิธีลดทอน (reductionism) อันทรงพลังในวิชาฟิสิกส์ เพราะสาเหตุแบบกลไกซ้อนทับกันได้ ต่างก็ส่งผลของตนเอง ประดับประดาความไม่สมมาตรให้แก่อวกาศอันว่างเปล่า



THE BORN LOSER



จาก นวนิยาย Bangkok Post

เส้นใยนาโน...

วิวัฒน์ นวลสิงห์* และ สันติ แม้นศิริ**

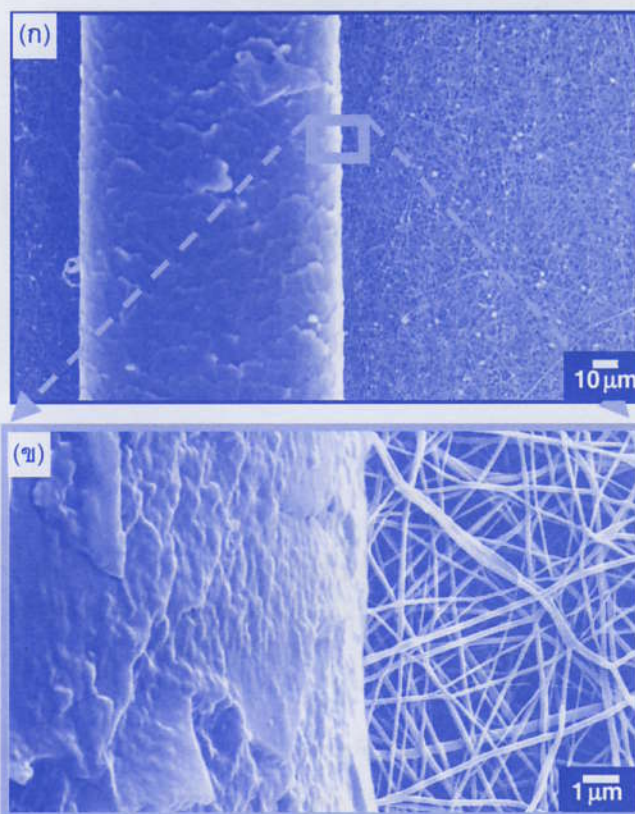
ตอนที่ 1 อิเล็กโตรสปินนิ่งและเส้นใยนาโน

เส้นใยเส้นเล็ก ๆ ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทั้งเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เชือก ค้าย และอีกมากมาย ซึ่งล้วนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มนุษย์ขาดมิได้ เส้นใยที่เราใช้ในชีวิตประจำวันเหล่านี้มีขนาดเล็กแต่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น เส้นใยจากรังไหมที่มีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผม คือประมาณ 100 ไมโครเมตร (micrometre, μm) แต่ถ้าหากมีกระบวนการซึ่งทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงมากจนกระทั่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าในระดับนาโนเมตร (nanometre, nm) จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มากเพียงใด

เส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรเรียกสั้นๆ ว่า “เส้นใยนาโน (nanofibre)” เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นาโนเมตร จะเล็กกว่าเส้นผมที่มีขนาด 100 ไมโครเมตรถึง 100,000 เท่า (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

ดังนั้นเส้นใยนาโนจึงมีสมบัติที่เด่นชัด คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก อีกทั้งมีขนาดของรูพรุน (pore size) ที่เล็กด้วย [1] ซึ่งส่งผลให้เส้นใยนาโนมีสมบัติพิเศษทั้งด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ทั้งนี้ขึ้นกับวิธีและสารที่นำมาใช้ประดิษฐ์ด้วยเหตุผลดังกล่าวในปัจจุบันเส้นใยนาโนจึงได้รับความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้ทาง การแพทย์และสุขภาพ สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์ และด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงานอย่างกว้างขวาง ดังตัวอย่างการประยุกต์ใช้แสดงในรูปที่ 2

อิเล็กโตรสปินนิ่ง (electrospinning) หรือการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เป็นวิธีประดิษฐ์เส้นใยนาโน ที่ได้รับความสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีความสามารถในการประดิษฐ์เส้นใยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่้นน้อยกว่า 3 นาโนเมตร ถึงมากกว่า 1 ไมโครเมตร [2] โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง สำหรับระบบพื้นฐานมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ



รูปที่ 1 (ก) เส้นผมขนาดประมาณ $100 \mu\text{m}$ วางทับบนเส้นใยนาโน TiO_2/PVP ขนาด $100\text{-}200 \text{ nm}$ ซึ่งเป็นงานวิจัยของกลุ่ม SSMG สำหรับทำเป็นเส้นใยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (ข) เปรียบเทียบขนาดเส้นใยนาโนประมาณ 100 nm ซึ่งเล็กกว่าเส้นผมถึง 1,000 เท่า

เพียง 3 ส่วน [3] ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) ซึ่งจะเห็นว่าเป็นระบบที่ไม่มี ความซับซ้อน ค่าใช้จ่ายน้อย และใช้งาน ได้สะดวก ทั้งนี้ในระบบที่พัฒนาให้ดีขึ้น สามารถเพิ่มอุปกรณ์สำหรับควบคุมการไหลของสารละลาย (syringe pump) และทำให้การประดิษฐ์เส้นใยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น กล่าวคือ สามารถควบคุมขนาด และปริมาณการเกิดเส้นใยได้ต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

* นักศึกษาปริญญาโทสาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) กลุ่มวิจัย Small & Strong Materials Group (SSMG) ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



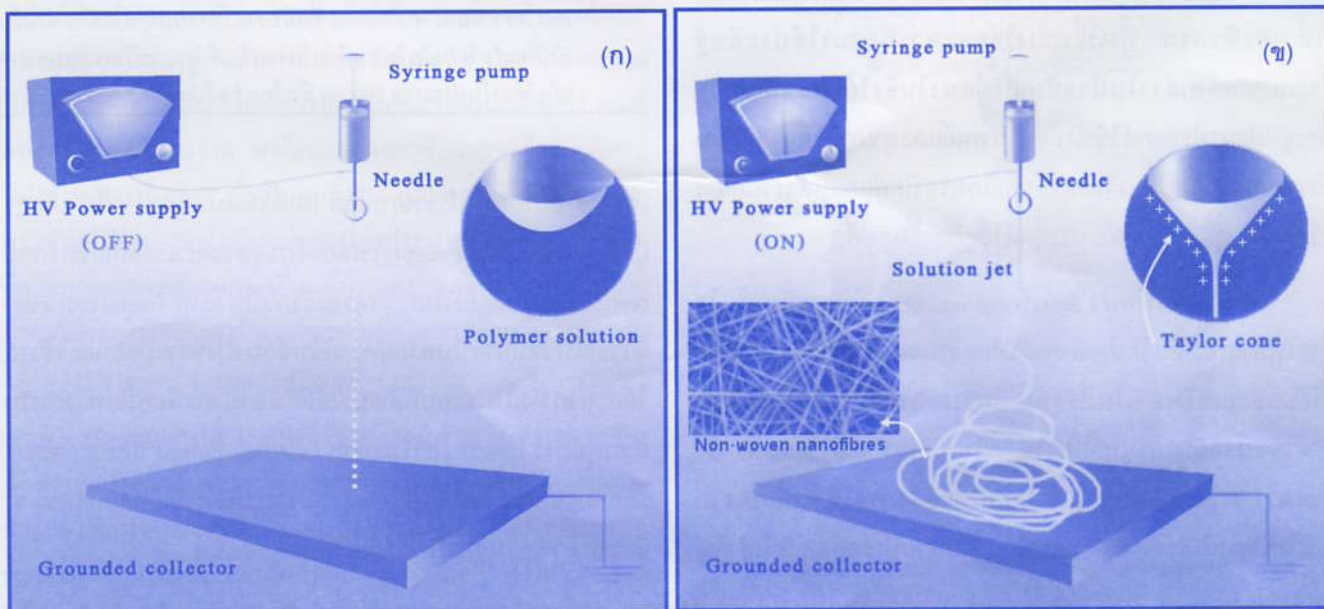
รูปที่ 2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน

พิจารณากระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ พบว่ามีสารละลายจำนวนหนึ่งรวมตัวกันเป็นหยดรูปร่างครึ่งทรงกลมที่บริเวณปลายเข็มโลหะ อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงตึงผิว (surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูงจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าครอบคลุมส่วนปลายของเข็มโลหะและมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลาย ด้วยกระบวนการดังกล่าวจึงมีแรงผลัทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) เกิดขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว[4] ดังนั้นหากสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลัมากกว่าแรงตึงผิว จะส่งผลให้รูปร่างครึ่ง

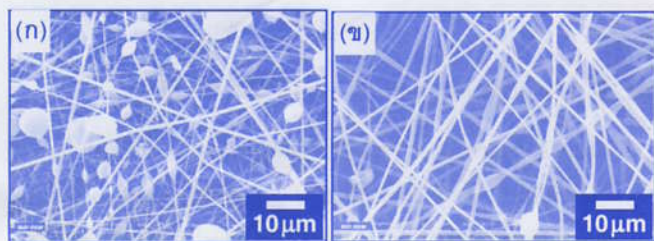
ทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มชี้ออกเป็นรูปร่างทรงกรวยที่เรียกว่า “กรวยของเทย์เลอร์” (Taylor's cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) ต่อมาลำของสารละลายนี้จะชี้ออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตร แล้วตกลงบนวัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven nanofibre)

การบิดโค้งที่ไม่มีเสถียรภาพ (bending instability) สามารถแสดงและอธิบายกระบวนการได้ชัดเจนขึ้น จากรูปขยายบริเวณที่ลำของสารละลายได้ชี้ออกมาห่างจากจุดเริ่มต้นระยะหนึ่งแล้วพบว่าสารละลายถูกเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ผิวของสารละลาย และด้วยสนามไฟฟ้าภายนอกที่เกิดเนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับที่เป็นตัวนำทั้งสอง จึงส่งผลให้เกิดลำของประจุขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงเกิดแรงที่ไม่สมดุล (unbalanced force) ทำให้ลำสารละลายชี้ออกในเส้นทางที่ซับซ้อน อันนำมาซึ่งเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงอย่างมาก และยังรอบของการบิดโค้งมีจำนวนมากขึ้นจะทำให้สารละลายชี้ออกเป็นเส้นที่เล็กลงรอบกับการระเหยออกของตัวทำละลาย ในที่สุดเกิดเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กในระดับนาโนเมตรได้ [2]

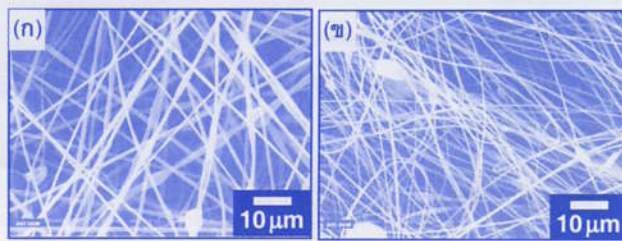
เส้นใยที่ประดิษฐ์ได้มีลักษณะหลายรูปแบบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดจนความต่อเนื่องของเส้นใยแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิด



รูปที่ 3 ส่วนประกอบและหลักการของวิธีอิเล็กโตรสปินนิ่ง (ก) ในช่วงก่อน และ (ข) ภายหลังการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงที่มีค่ามากพอแก่ระบบจนกระทั่งเกิดเส้นใยนาโนขึ้น



รูปที่ 4 เส้นใยนาโนของ Polyacrylonitrile (PAN) ละลายใน Dimethyl-formamide (DMF) (ก) ความเข้มข้น 6% และ (ข) 10% แสดงให้เห็นว่าปริมาณบีดส์ลดลงเมื่อสารละลายเข้มข้นสูงขึ้น

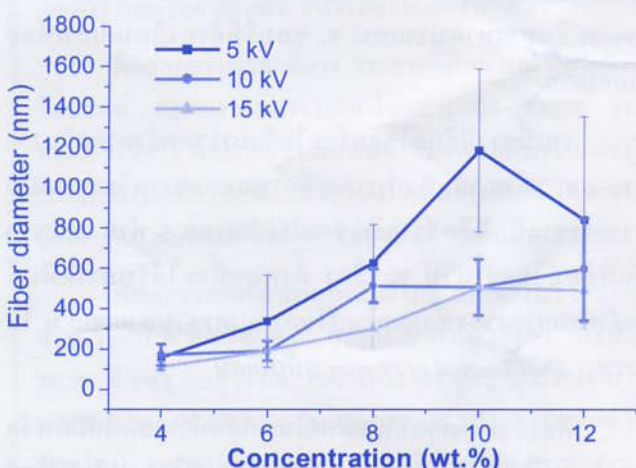


รูปที่ 5 เส้นใยนาโนที่สังเคราะห์จาก PAN/DMF ความเข้มข้น 10% โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ก) 5 kV และ (ข) 10 kV ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าขนาดเส้นใยลดลงเมื่อใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น

ผลกระทบต่อลักษณะเส้นใยได้ 3 กลุ่ม [5] คือ

1) ตัวแปรด้านสารละลาย สมบัติของสารละลายเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการประดิษฐ์เส้นใยนาโนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและรูปร่างของเส้นใย เช่น ความตึงผิวของสารละลายจะส่งผลต่อการเกิดบีดส์ (beads) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนทรงกลมหรือรีคล้ายลูกปัดอยู่บนเส้นใย หากความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงจะมีผลทำให้ปริมาณบีดส์ลดลง ดังตัวอย่างงานวิจัยการประดิษฐ์เส้นใยนาโนคาร์บอน ของกลุ่มวิจัย SSMG (รูปที่ 4 ประกอบ)

2) ตัวแปรในระบบ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากอีกกลุ่มหนึ่งประกอบด้วย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหลของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลาย ชนิดของวัสดุรองรับ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มโลหะ ตัวแปรเหล่านี้ล้วนมีผลต่อลักษณะของเส้นใย โดยเฉพาะความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่หากศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากจะส่งผลให้ขนาดของเส้นใยเล็กลง (รูปที่ 5 ประกอบ)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเส้นใยกับความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ PAN/DMF เมื่อใช้ความต่างศักย์ 5, 10 และ 15 kV

3) สภาพแวดล้อม ผลจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อสารละลายและทำให้ลักษณะของเส้นใยเปลี่ยนไป เช่น ในกรณีที่มีความชื้นในระบบสูงจะเกิดปรากฏการณ์คล้ายกับมีการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนผิวของเส้นใย ทำให้เกิดรูพรุนบนเส้นใยในปริมาณมากขึ้น

ตัวอย่างการประดิษฐ์เส้นใยนาโนจากสารละลาย PAN/DMF สำหรับนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมเส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofibre) และระบบกรองอย่างละเอียด (ultrafiltration) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับคุณลักษณะของเส้นใย เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเส้นใยกับความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์เมื่อใช้ความต่างศักย์ 5, 10 และ 15 kV (รูปที่ 6) ซึ่งให้ผลแตกต่างกัน ดังนั้นการนำวิธีอิเล็กโตรสปินนิงมาใช้ประดิษฐ์เส้นใยนาโนต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ซึ่งหากมีระบบที่ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ได้อย่างสะดวกและแม่นยำจะส่งผลให้การประดิษฐ์เส้นใยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ที่ผ่านมาได้นำเสนอความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเส้นใยนาโนและวิธีการประดิษฐ์เส้นใยนาโน รวมถึงผลจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบอิเล็กโตรสปินนิงต่อคุณลักษณะของเส้นใย ในตอนต่อไปคณะผู้เขียนจะนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานเส้นใยนาโน เพื่อประโยชน์ทางด้าน การแพทย์และสุขภาพ สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์ และวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้ที่สามารถพัฒนาให้เกิดขึ้นได้จริงจากศักยภาพและความร่วมมือของนักวิจัยภายในประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณชาตรี ไสยสมบัติ สำหรับรูปภาพ SEM และข้อมูลของเส้นใยนาโน Polyacrylonitrile (PAN) ฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับทุนวิจัยการพัฒนาระบบระบบอิเล็กโตรสปินนิงต้นแบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Frenot and I. S. Chronakis, *Curr. Opin. Coll. Interface Sci.* 8 (2003) 64.
- [2] D. H. Reneker et al. *J. Appl. Phys.* 87 (2000) 4531.
- [3] Z.-M. Huang et al. *Comp. Sci. Tech.* 63 (2003) 2223.
- [4] D. Li and Y. Xia, *Adv. Mater.* 16 (2004) 1151.
- [5] S. Ramakrishna, et al. "An Introduction to Electrospinning and Nanofiber", Toh Tuck Link, Singapore: World Scientific Publishing (2005).

SIAM PHYSICS CONGRESS 2006



ผ่านไปแล้วยังน่าประทับใจทั้งในความเข้มข้นศึกศึกทางวิชาการและความอบอุ่นกลมเกลียวเป็นน้ำหนึ่งใจเดียวกันของฟิสิกส์ไทยสำหรับงาน Siam Physics Congress 2006 ภายใต้หัวข้อ Frontier Research in Physics and Key Technologies for Development เมื่อวันที่ 23-25 มีนาคม 2549 โดยมีภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยบูรพาเป็นเจ้าภาพจัดขึ้น ณ โรงแรม The Tide Resort ริมชายหาดบางแสน จ.ชลบุรีที่ยังคงมีมนต์เสน่ห์อยู่เหมือนเดิม

งานนี้ชาวฟิสิกส์ไทยพร้อมใจกันมาร่วมพลังมากกว่า 150 ท่าน จาก 27 สถาบันทั่วประเทศ มีการเสนอผลงานวิชาการแบบบรรยายจากนักฟิสิกส์รับเชิญชาวต่างประเทศ 5 ท่าน และจากนักฟิสิกส์ไทยจำนวน 30 เรื่อง ทั้งหมดนี้จะได้รับการตีพิมพ์ (หลังผ่านการตรวจสอบและแก้ไขตามมาตรฐานสากลแล้ว) ในวารสาร *Thai Journal of Physics* ฉบับพิเศษ

ที่ประชุมได้ตกลงกันอย่างเป็นทางการว่าอยากให้มีการจัดการประชุมวิชาการในลักษณะนี้ต่อเนื่องกันทุกปี โดยภาควิชาฟิสิกส์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จะรับช่วงเป็นเจ้าภาพในปี 2007

(เชิญชมภาพหมู่ที่หน้า 28)

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(สวดช.) National Astronomical Research Institute(NARI)



วิสัยทัศน์ของสถาบันฯ

มุ่งเน้นการวิจัย การสร้างเครือข่ายความร่วมมือ
และการพัฒนาองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ของประเทศ
สู่ระดับสากล เพื่อสร้างวัฒนธรรมแห่งการเรียนรู้ทาง
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสังคมไทย

ความเป็นมา

ตามที่คณะรัฐมนตรี มีมติเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2547
เห็นชอบในหลักการแก่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ในการจัดตั้งสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติขึ้นในประเทศไทย
เพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว
ในโอกาสฉลอง 200 ปีแห่งการพระราชสมภพในปี พ.ศ. 2547
และพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชในวโรกาส
เจริญพระชนมายุครบปีพระราชสมภพ 80 พรรษาในปี พ.ศ. 2550



หอดูดาวแห่งชาติ ตั้งอยู่ ณ บริเวณยอดดอยอินทนนท์
ซึ่งเป็นที่ตั้งของกล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร พร้อมระบบฐาน
แบบอัลตรา-อาซิมุต และระบบขับเคลื่อนกล้องอัตโนมัติ



ศูนย์บริการข้อมูลสารสนเทศและฝึกอบรมดาราศาสตร์
ตั้งอยู่ ณ บริเวณที่ทำการอุทยานแห่งชาติ ดอยอินทนนท์
จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อใช้ในการให้บริการข้อมูลสารสนเทศ
และฝึกอบรมทางดาราศาสตร์แก่บุคคลทั่วไป



ภารกิจหลักอันหนึ่งของสถาบัน ฯ คือ
การสร้างหอดูดาวแห่งชาติและศูนย์ข้อมูลสารสนเทศ
และศูนย์ฝึกอบรมดาราศาสตร์ ซึ่งจะตั้งอยู่ ณ
บริเวณยอดดอยอินทนนท์ เพื่อให้บริการวิจัย
และบริการวิชาการแก่สถาบันการศึกษาในประเทศ
ตลอดจนให้บริการวิชาการแก่บุคคลที่สนใจ

ติดต่อ : เชียงใหม่(สำนักงานชั่วคราว)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0-5322-5569 โทรสาร 0-5322-5524

Website : <http://www.nari.or.th>

Email : info@nari.or.th



SIAM PHYSICS CONGRESS 2006

**Frontier Research in Physics
and Key Technologies for Development**

March 23-25, 2006 : The Tide resort, Bangsaen, Chonburi, Thailand

SPC2006
Bangsaen



สมาคมฟิสิกส์ไทย ◆ THAI PHYSICS SOCIETY
ตู้ ปณ. 217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่-50202
P.O. Box 217 Chiang Mai University, Chiang Mai-50202, THAILAND



สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
สมาคมฟิสิกส์ไทย