ย่อยโลกข้อมูลข่าวสารวิทยาศาสตร์เพื่อคุณ

สาระวิทย์

สวทช.
NSTDA

TIGERS-X เมื่อคนไทยส่ง “ห้องแล็บของไหล” ขึ้นไปอวกาศ

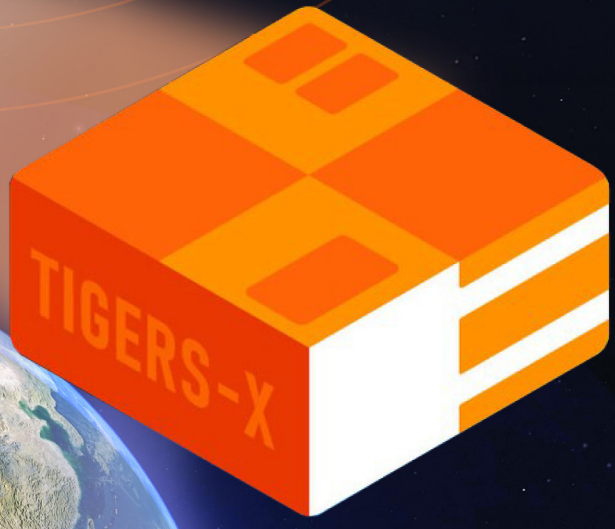




12
แพ็กแบตเตอรี่และวัสดุสำหรับผลิตดาวเทียมไทย

16
น้ำท่วมวิทยา 101 และการพยากรณ์อากาศฉบับชาวบ้าน

52
โครโมโซมจิ๋ว : มรดกจีโนมโบราณที่บางสายวิวัฒนาการยังคงเก็บไว้





Free e-magazine
ISSN 2286-9298
ISSUE 163
ตุลาคม 2569



สถิตในดวงใจตราบนิจนิรันดร์

น้อมสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณล้นเกล้าล้นกระหม่อมอันหาที่สุดมิได้

พิรุณ ไหลหลั่งริน
รดสู่ดิน หยดเป็นสาย
เปรียบหยาด น้ำตาพราย
ชนทั้งหลาย ในธรา
พสก สะอื้นไห้
ด้วยอาลัย พระปิ่นฟ้า
ธ เสด็จ สวรรค์นครา
พระมาตา ประชาไทย
น้อมกราบ ทาบพระบาท
สิรินาถ ด้วยใจใฝ่
ส่งเสด็จ สวรรคาลัย
ธ สถิตใน ใจนิรันดร์

ข้าพระพุทธเจ้า ผู้บริหารและบุคลากร
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ประพันธ์โดย นายธนภัทร ศรีโมรา



สถิตในดวงใจตราบนิรันดร์

น้อมสำนึกในพระกรุณาธิคุณอย่างหาที่สุดมิได้

ข้าพระพุทธเจ้า คณะผู้บริหารและบุคลากร
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

สวทช NSTDA

สารบัญ

5 Cover Story

12 แกะกล่องงานวิจัย

16 Sci Variety

26 จับกระแสวิทย์ Sci-Trend

29 Sci News

32 Sci Infographic

35 ร้อยพันวิทยา

39 สภากาแฟ

43 ห้องภาพสัตว์ป่าไทย

44 Project...ไม่Proเจ็บ (ก็ได้นะ)

52 สาระสัตว์

57 สาระวิทย์ในศิลป์

62 สถานี AGRITEC

66 เรื่องเล่าเราโลก

70 อ๋อ มันเป็นอย่างนี้นี่เอง

72 พรรณไม้ถิ่นเดียวของไทย Endemic to Thailand

73 ปั้นน้ำเป็นปลา

77 Write It Right? ศัพท์วิทย์สะกิดใจ

78 Sci เข้าหู

79 คำคมนักวิทย์

80 Sci Gallery

สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง
สวรรคตเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม พุทธศักราช 2568 นำมาซึ่งความเศร้าโศกของปวงชนชาวไทย
ทีมงานนิตยสารสาระวิทย์ขอร่วมแสดงความอาลัย
ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณอันหาที่สุดมิได้

Editor's Note

เมื่อนวัตกรรมอวกาศไทยทะยานพ้นขอบฟ้า สู่พรมแดนใหม่

นิตยสารสาระวิทย์ ฉบับที่ 163 ประจำเดือนตุลาคม 2569 ต้อนรับทุกท่านด้วยเรื่องราวสุดตื่นตาตื่นใจของ "เทคโนโลยีอวกาศ" พาสำรวจความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมฝีมือคนไทยที่ทะยานขึ้นไปสร้างชื่อบนเวทีระดับสากลครับ

ประเดิมด้วย Cover Story กับบทความ " TIGERS-X เมื่อคนไทยส่ง "ห้องแล็บของไหล" ขึ้นไปอวกาศ" ผลงานนวัตกรรมทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์ของไหลชิ้นแรกของไทย ที่นำส่งขึ้นสู่วงโคจรด้วยยาน Dragon ในภารกิจ CRS-34 และเข้าติดตั้งบนสถานีอวกาศนานาชาติ (ISS) ได้สำเร็จ ผลงานชิ้นนี้เกิดจากการร่วมมือของทีมนักวิจัยไทยในการออกแบบห้องปฏิบัติการขนาดจิ๋วบนชิป (lab-on-a-chip) ซึ่งผ่านการพิสูจน์มาตรฐานความปลอดภัยระดับอวกาศ และยังเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาระบบผลิตยาเฉพาะบุคคล ตลอดจนการเตรียมอาหารและยาล่วงหน้าสำหรับการตั้งถิ่นฐานบนดวงจันทร์และดาวอังคารในอนาคต

นอกจากบทความ Cover Story แล้ว ในฉบับนี้ยังอัดแน่นไปด้วยเนื้อหาเทคโนโลยีอวกาศที่น่าสนใจอีกหลากหลายคอลัมน์ เริ่มจากคอลัมน์เรื่องเล่าเราโลก ในบทความ "หมู่บ้านแห่งใหม่บนดวงจันทร์" ที่พาไปสำรวจแนวคิดการสร้างฐานที่อยู่อาศัย (Lunar Habitat) ด้วยนวัตกรรมคอนกรีตจากดินดวงจันทร์เทียมผสมมันฝรั่งขึ้นรูปผ่านเครื่องพิมพ์ 3 มิติ คอลัมน์แกะกล่องงานวิจัย ในบทความ "แพ็กแบตเตอรี่และวัสดุสำหรับผลิตดาวเทียมไทย" เจาะเบื้องหลังการทำงานของนักวิจัย สวทช. ในภาคีความร่วมมืออวกาศไทย ที่ร่วมพัฒนาต้นแบบแบตเตอรี่อวกาศทนสภาพแวดล้อมสุดขั้ว พร้อมคัดเลือกวัสดุโครงสร้างน้ำหนักเบาสำหรับดาวเทียม TSC-1 และ TSC-2 และคอลัมน์สภากาแฟ ในบทความ "ดวงจันทร์ อะมีบา เอนเซลาดัส และขีดจำกัดแห่งชีวิต...ที่คงต้องคิดนิยามใหม่"

ไม่เพียงแค่เรื่องอวกาศเท่านั้น ยังมีเรื่องราววิทยาศาสตร์ใกล้ตัวที่น่าสนใจ ทั้งคอลัมน์ Sci Variety ในบทความ "น้ำท่วม วิทยา 101 และการพยากรณ์อากาศฉบับชาวบ้าน" ที่สรุปประเภทของน้ำท่วมแบบเข้าใจง่าย พร้อมสอนวิธีอ่านแผนที่อากาศภาพเรดาร์ และแอปพลิเคชัน Windy เพื่อประเมินความเสี่ยงด้วยตนเอง และคอลัมน์ จับกระแสวิทย์ (Sci-Trend) ในบทความ "เจาะเส้นทางลับ 'ไวรัสทางเดินหายใจ' ติดเชื้อ-แพร่เชื้อได้อย่างไร ?" ที่พาไปเจาะลึก 3 ขั้นตอนการแพร่กระจายของไวรัสผ่านกลไกทางชีววิทยาและฟิสิกส์ของละอองลอย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า นิตยสารสาระวิทย์ ฉบับที่ 163 จะมอบทั้งความรู้ แรงบันดาลใจ และเปิดมุมมองใหม่ ๆ ให้แก่ทุกท่าน มาร่วมออกเดินทางท่องโลกวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกันได้เลยครับ 🙂

ปริทัศน์ เทียนทอง

The Minds Behind Crafting Science and Stories

ที่ปรึกษา
ชูกิจ ลิมปิจำนงค์
จุมพล เหมะคีรินทร์

บรรณาธิการผู้พิมพ์โฆษณา
วรวรงค์ รักเรืองเดช

บรรณาธิการอำนวยการ
นำชัย ชีววิวรรธน์

บรรณาธิการบริหาร
ปริทัศน์ เทียนทอง

บรรณาธิการจัดการ
รักฉัตร เวทีวุฒาจารย์

กองบรรณาธิการ
วีณา ยศวังใจ
วัชราภรณ์ สนทนา
ภัทรา สัปปินันทน์
ศศิธร เทศน์อรรถภาคย์
อาทิตย์ ลมูลปลั่ง

นักเขียนประจำ
ชวลิต วิทยานนท์
ประทีป ด้วงแค
รวิศ ทัศคร
ป่วย อุ่นใจ
วริศา ใจดี
ทีม AGRITEC
AGB Research Unit Team
ปราโมทย์ ไตรบุญ
คณะอาจารย์วิทยาศาสตร์-พื้นพิภพ มก.
อนันต์ จงแก้ววัฒนา
สุธีระ ประเสริฐสรรพ์

บรรณาธิการศิลปกรรม
จุฬารัตน์ นิ่มนวล

ศิลปกรรม
เกิดศิริ ขันติกิตติกุล
ฉิทกา โกมารกุล ณ นคร

ผู้ผลิต
ฝ่ายสร้างสรรค์สื่อและผลิตภัณฑ์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง
อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0 2564 7000 ต่อ 1177
โทรสาร 0 2564 7016
เว็บไซต์ http://www.nstda.or.th/sci2pub/
facebook นิตยสารสาระวิทย์

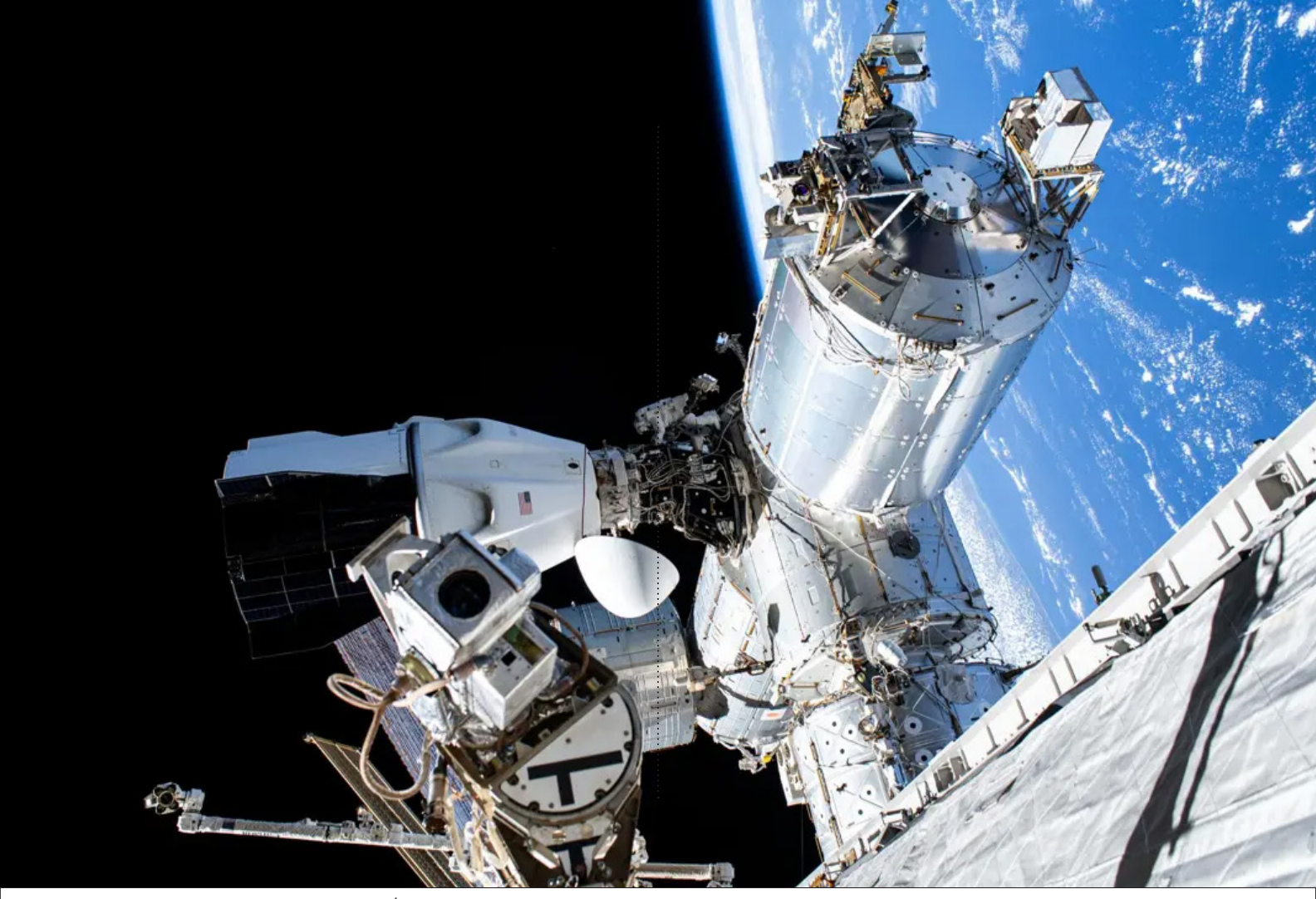
ติดต่อกองบรรณาธิการ
โทรศัพท์ 0 2564 7000 ต่อ 1177
อีเมล sarawit@nstda.or.th



ผศ. ดร.วเรศ จันทร์เจริญ
คณะแพทยศาสตร์ศรีสวางควัฒน
ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์

TIGERS-X เมื่อคนไทยส่ง “ห้องแล็บของไหล” ขึ้นไปอวกาศ

จรวด Falcon 9 ของบริษัท SpaceX ทะยานขึ้นจากฐานปล่อย SLC-40
ที่มาภาพ : Panyapiwat Institute of Management



ยาน Dragon เชื่อมต่อเข้ากับสถานีอวกาศนานาชาติ พร้อมกับการทดลอง TIGERS-X ของประเทศไทย
ที่มาภาพ : NASA

เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 เวลา 05:05 น. ตามเวลาในประเทศไทย จรวด Falcon 9 ของบริษัท SpaceX ได้ทะยานขึ้นจากฐานปล่อย Space Launch Complex 40 (SLC-40) ณ ฐานทัพอวกาศคานาเวอรัล รัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา นำส่งยานขนส่งอวกาศ Dragon (ดรากอน) ในภารกิจ CRS-34 สู่วงโคจร ภายในยานลำดังกล่าวบรรจุสัมภาระการทดลองทางวิทยาศาสตร์และเสบียงรวมกว่า 2,900 กิโลกรัม แต่นี่ไม่ใช่เพียงเที่ยวบินขนส่งเสบียงธรรมดา เพราะหนึ่งในอุปกรณ์ชิ้นสำคัญที่ส่งขึ้นไป คือ TIGERS-X (Thailand Innovative G-force Varied Emulsification Research for Space Exploration) จากคณะแพทยศาสตร์ศรีสวางควัฒน ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ ซึ่งเป็นชุดการทดลองทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์ของไหลชิ้นแรกของประเทศไทยที่ออกแบบมาเพื่อปฏิบัติงานบนสถานีอวกาศนานาชาติ (ISS)

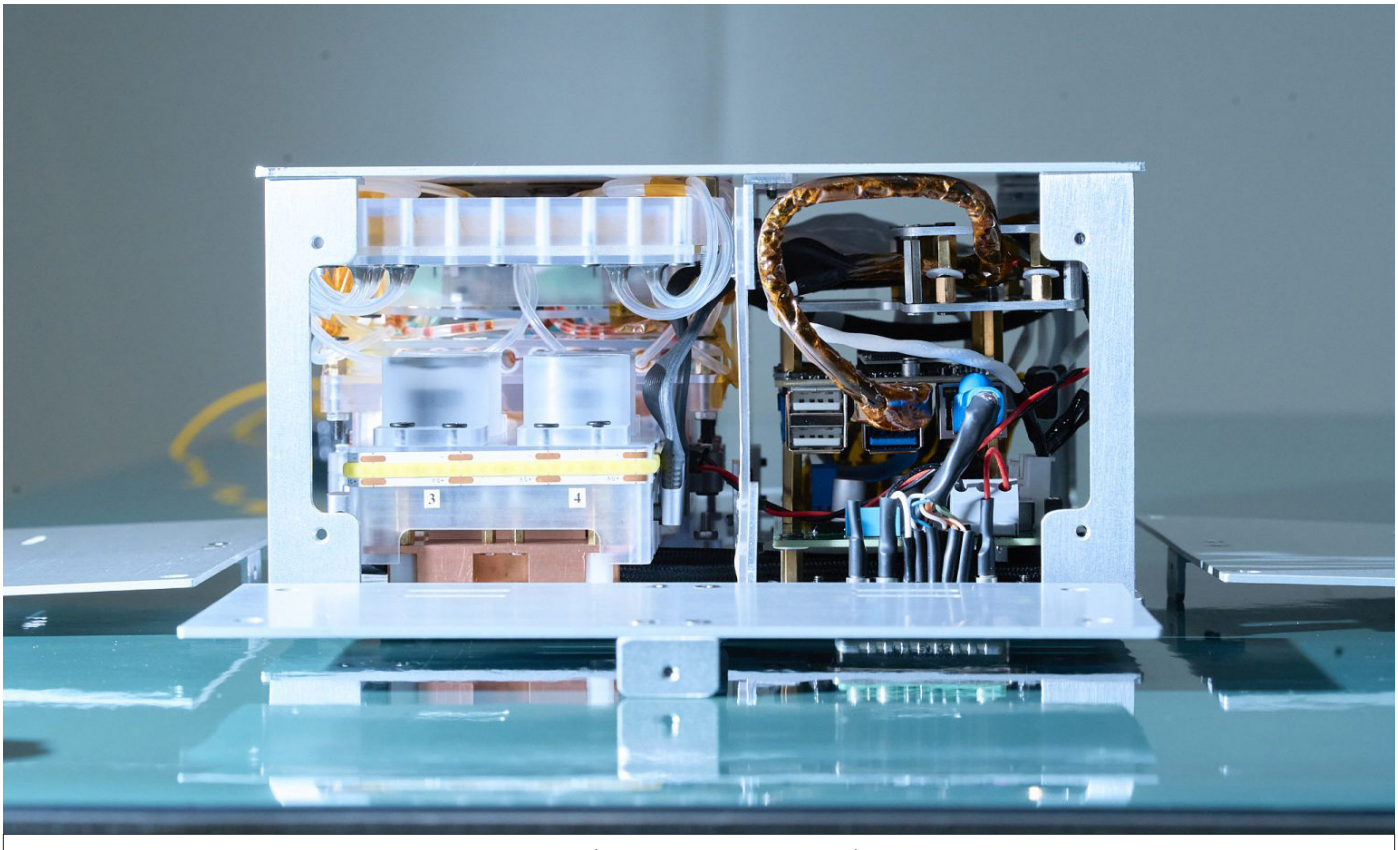
ยานขนส่งอวกาศ Dragon ได้เดินทางเข้าสู่วงโคจรและเชื่อมต่อกับช่องทางโมดูล Harmony ของสถานีอวกาศนานาชาติ ณ ความสูง 400 กิโลเมตรเหนือพื้นโลกอย่างสมบูรณ์ในวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 ต่อมาในคืนวันที่ 26 พฤษภาคม เวลา 22:10 น. นักบินอวกาศ โซฟี อาเดโนต์ (Sophie Adenot) ขององค์การอวกาศยุโรป (ESA) ได้ติดตั้งชุดการทดลอง TIGERS-X เข้ากับแพลตฟอร์ม ICE Cubes Facility (ICF) ภายในโมดูลห้องปฏิบัติการโคลัมบัส (Columbus laboratory module) และในเวลา 23:38 น. ทีมวิจัยภาคพื้นดินในประเทศไทยสื่อสารและรับส่งสัญญาณกับชุดการทดลองได้สำเร็จเป็นครั้งแรก



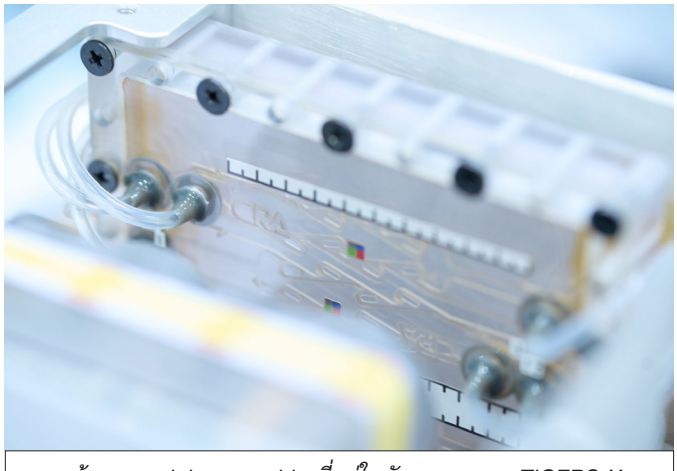
Talaya มาสคอต TIGERS-X โดย Jirasin Aswakool/spaceth

มิติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ทดลองในสภาวะแรงโน้มถ่วงต่ำด้วย Lab-on-a-Chip

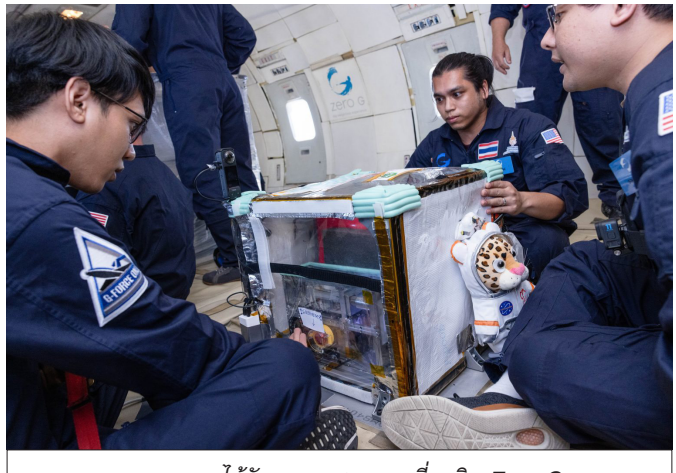
รากฐานของชุดการทดลอง TIGERS-X เริ่มต้นจากองค์ความรู้ของกลุ่มนักวิจัยไทย (ทีม KEETA) ที่เคยร่วมแข่งขันในโครงการ NASA Deep Space Food Challenge นำองค์ความรู้มาพัฒนาต่อยอดจากด้านอาหารมาสู่ด้านฟิสิกส์ของไหลเพื่อทำทดสอบสมมติฐานบนเที่ยวบินสภาวะไร้น้ำหนักแบบพาราโบลา (Zero-G parabolic flight) ณ สหรัฐอเมริกา และนำไปสู่การพัฒนาห้องปฏิบัติการขนาดจิ๋วขึ้นสู่อวกาศจริง



ด้านซ้ายจะเห็นระบบกล้องถ่ายภาพที่มองไปยัง lab-on-a-chip ที่เป็นหัวใจสำคัญของการทดลอง

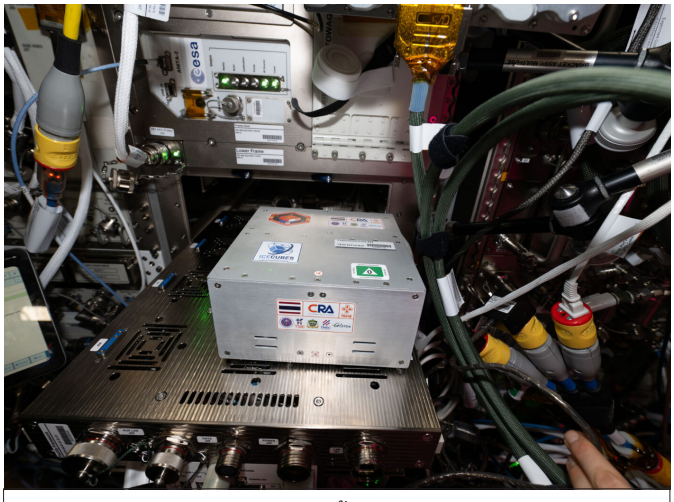


หน้าตาของ lab-on-a-chip ที่อยู่ในตัวการทดลอง TIGERS-X จะเห็นช่องทางการไหลของของเหลว และไม้บรรทัด รวมถึงตัวเทียบสี สำหรับการบันทึกวิดีโอ



การทดลองได้รับการทดสอบบนเที่ยวบิน Zero-G เพื่อศึกษาพฤติกรรมของไหลในสภาวะไร้น้ำหนัก

โจทย์วิทยาศาสตร์ : การผสมอิมัลชันในสภาวะแรงโน้มถ่วงต่ำ



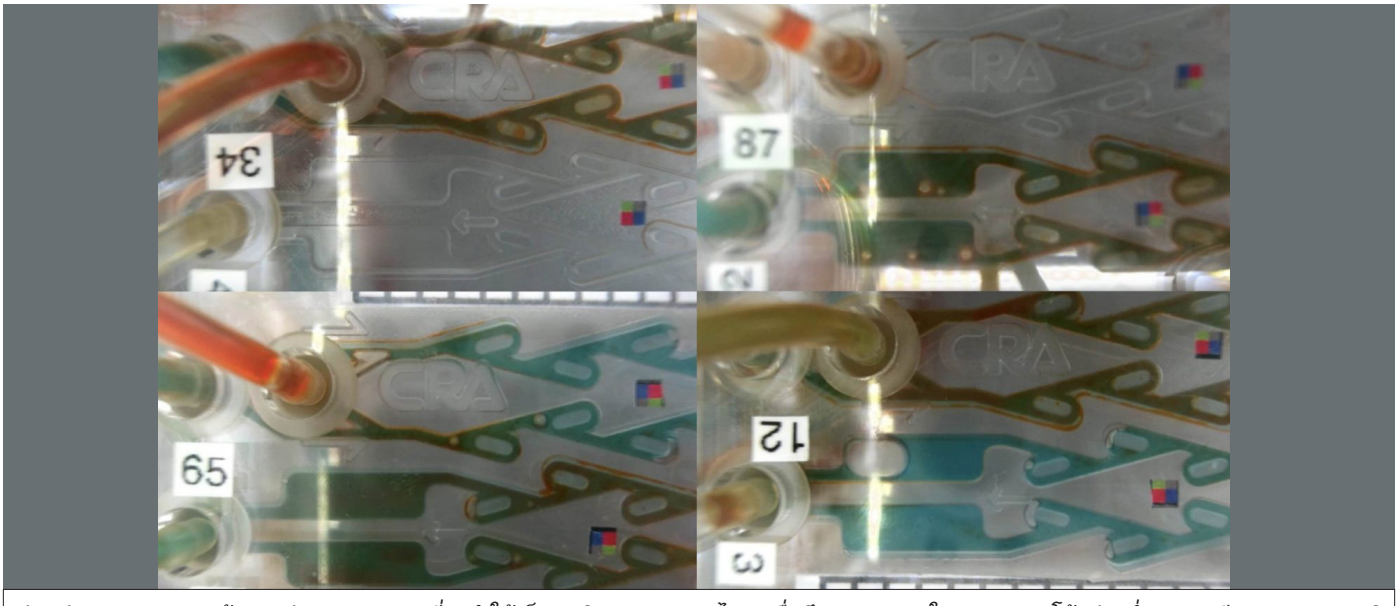
การทดลอง TIGERS-X ติดตั้งเข้ากับ Ice Cube Facility บนสถานีอวกาศนานาชาติฝั่งยุโรป
ที่มาภาพ : NASA/ESA/Sophie Adenot



ชุดการทดลอง TIGERS-X ขณะลอยตัวอยู่ในสภาวะแรงโน้มถ่วงต่ำ ภายในโมดูลโคลัมบัสของยุโรปบนสถานีอวกาศนานาชาติ (ISS) ก่อนที่จะติดตั้งเข้ากับระบบ ICE Cubes Facility (ICF) และเริ่มต้นการปฏิบัติงาน
ที่มาภาพ : NASA/ESA/Sophie Adenot

การผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่เข้ากันอย่าง “น้ำ” กับ “น้ำมัน” บนพื้นโลกจำเป็นต้องอาศัยแรงกลในการกวนหรือคน และต้องใช้สารลดแรงตึงผิว (emulsifier) เพื่อป้องกันการแยกชั้น เนื่องจากแรงโน้มถ่วง แต่ในสภาวะแรงโน้มถ่วงต่ำ (microgravity) ปัจจัยรบกวนทางฟิสิกส์อย่างการตกตะกอนและการลอยตัวตามความหนาแน่นจะหายไป เปิดโอกาสให้นักวิจัยศึกษากระบวนการผสมได้โดยง่าย โดยเป้าหมายของการศึกษาคือการผสมแบบ static mixing ซึ่งปล่อยให้สารละลายผสมเข้ากันเองผ่านทางเดินของเหลวรูปทรงเรขาคณิตเฉพาะ

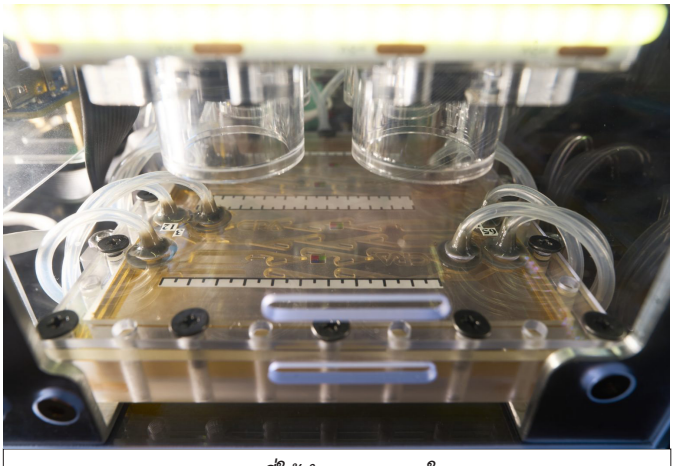
สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้คือ total parenteral nutrition (TPN) หรือโภชนาการทางหลอดเลือดดำ ซึ่งเป็นสารอาหารจำเป็นสำหรับผู้ป่วยที่ไม่สามารถรับประทานอาหารเองได้ ประกอบด้วยสารละลายซับซ้อนทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ หากเทคโนโลยีของ TIGERS-X จัดการกระบวนการผสม TPN ในอวกาศได้สำเร็จ จะเป็นการวางรากฐานสำคัญสู่การพัฒนาระบบผลิตยาเฉพาะบุคคลบนโลก ระบบช่วยพยุงชีพ และการเตรียมยาและอาหารอวกาศสำหรับการตั้งถิ่นฐานห้วงลึกบนดวงจันทร์และดาวอังคารในอนาคต



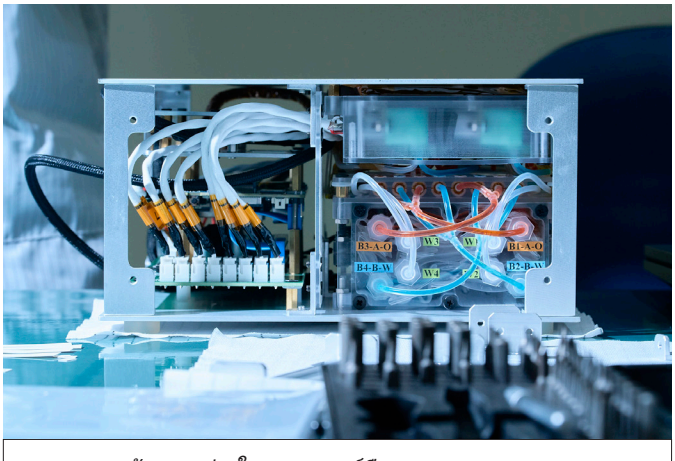
ตัวอย่างภาพจากจากกล้องบนตัว TIGERS-X ที่จะทำให้เห็นพฤติกรรมของของไหล เพื่อศึกษาการผสมในสภาวะแรงโน้มถ่วงต่ำบนสถานีอวกาศนานาชาติ

นวัตกรรมวิศวกรรม : Tesla Valve บน Lab-on-a-Chip ขนาด 4U

ชุดการทดลอง TIGERS-X ถูกบีบอัดภายใต้ข้อจำกัดด้านมิติ ขนาดกะทัดรัดเพียง 4 ยูนิต (2U x 2U) หรือกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร และหนักเพียง 2.5 กิโลกรัม หัวใจสำคัญคือ ห้องปฏิบัติการของไหลขนาดเล็กหรือที่เรียกว่า lab-on-a-chip ซึ่งทีมวิจัยได้ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) สวทช. ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยให้เส้นทางไหลของของเหลวภายในเป็นวาล์วเทสลา (Tesla valve) ที่ทำให้ของเหลวผสมกันเองได้โดยไม่ต้องใช้ใบพัดหรือชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทางกล นอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานแล้ว ยังทำให้ระบบคงสภาพเป็นระบบปิด (closed-loop system) ร้อยเปอร์เซ็นต์ ช่วยลดมุมอับสะสมเชื้อโรค และป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียและเชื้อรา



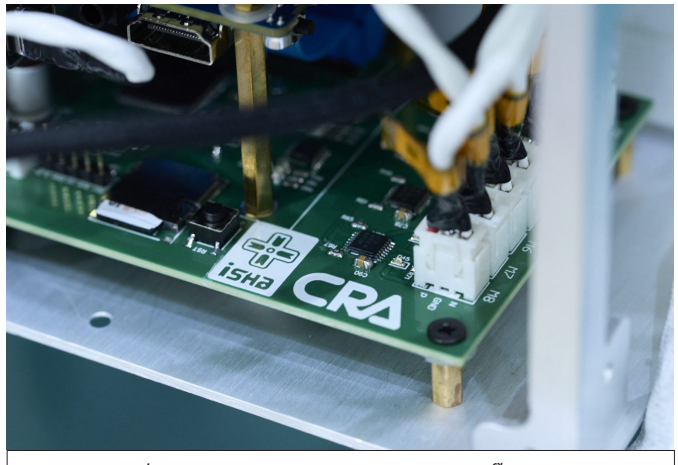
lab-on-a-chip ที่ใช้ทำการทดลองใน TIGERS-X



ด้านขวาล่างในชุดอุปกรณ์คือถุงบรรจุของเหลว ที่จะถูกดูดเข้าสู่การทดลองด้วยปั๊ม (ด้านบน)

มาตรฐาน Space-Grade และบอร์ด PCB ฝีมือคนไทย

ฮาร์ดแวร์ของ TIGERS-X แสดงถึงศักยภาพของวิศวกรไทยในการนำชิ้นส่วนสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์มาประยุกต์ใช้ โดยแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (printed circuit board, PCB) ทั้งหมดออกแบบและผลิตขึ้นภายในประเทศไทย และได้รับการทดสอบความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าและการรบกวนสัญญาณ (EMI/EMC) ตามมาตรฐานการทหาร MIL-STD-461G ณ ศูนย์ทดสอบ PTEC สวทช. จนผ่านเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยที่เข้มงวดของทั้ง NASA และ ESA ได้สำเร็จ

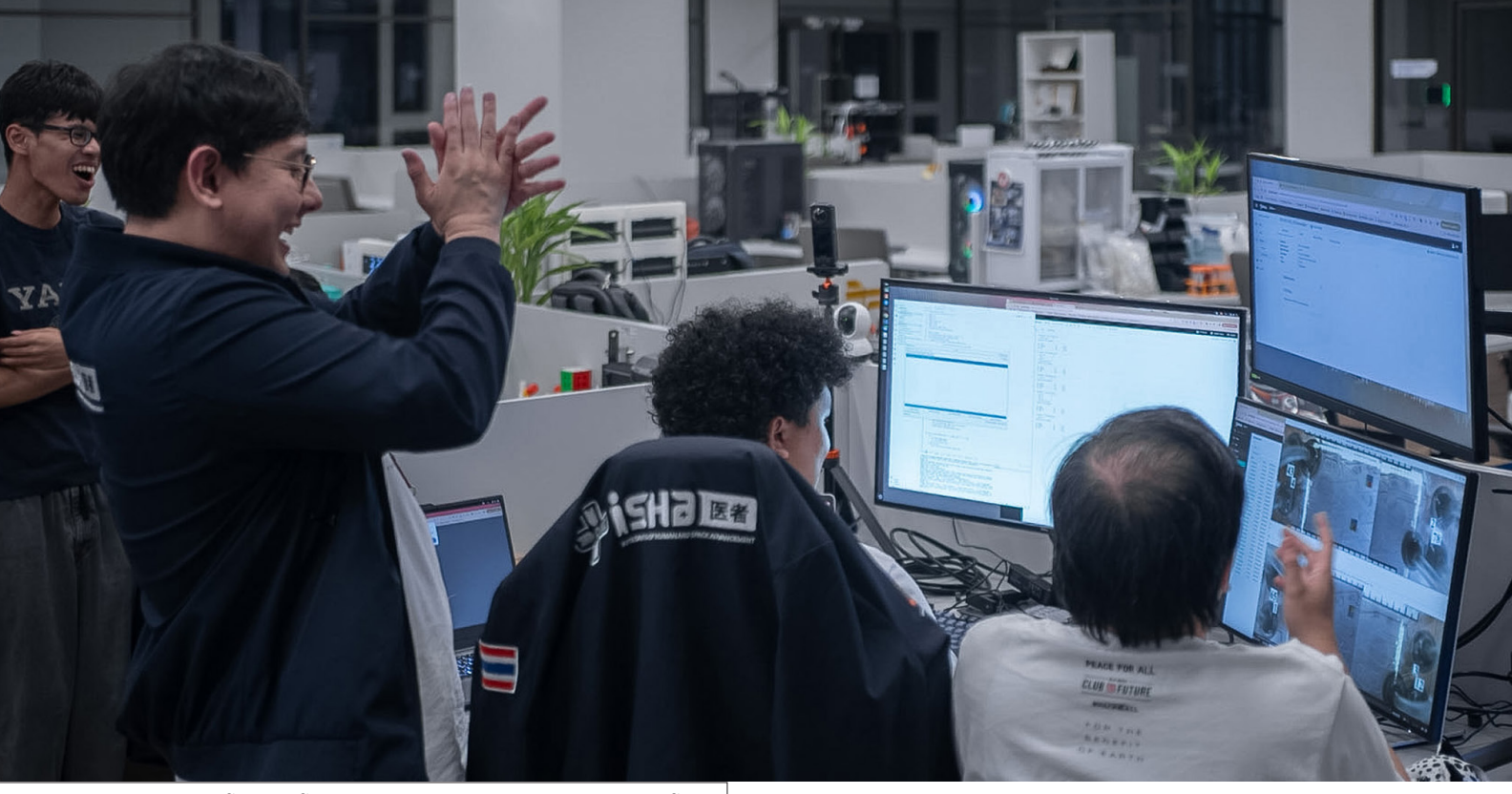


บอร์ดที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบปั๊มของเหลว เข้าสู่การทดลอง

10 วันแห่งความท้าทายในวงโคจร : สัญญาณ ฟองอากาศ และฟิสิกส์เหนือความคาดหมาย

นับตั้งแต่เปิดระบบในวันที่ 26 พฤษภาคม จนถึงวันปิดระบบปฏิบัติการในวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2569 รวมระยะเวลาปฏิบัติภารกิจทางวิทยาศาสตร์บน ISS ทั้งสิ้น 9 วัน 14 ชั่วโมง 57 นาที 23 วินาที ทีมวิจัยต้องเผชิญกับความท้าทายมากมายภายในห้องควบคุมภารกิจ ณ คณะแพทยศาสตร์ศรีสวางควัฒน ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์

TIGERS-X เป็นชุดการทดลองแบบอัตโนมัติที่สั่งการตรงจากแผ่นดินไทยโดยไม่ต้องรบกวนเวลานักบินอวกาศหลังจากการติดตั้ง ทีมงานเชื่อมต่อกับระบบอวกาศผ่านช่องทางอินเทอร์เน็ตความปลอดภัยสูง (dedicated secure LAN/IP) สู่ ICE Cubes Facility การปฏิบัติงานได้รับวางแผนอย่างรัดกุมตามช่วงเวลาที่สถานีอวกาศนานาชาติเคลื่อนผ่านจุดรับสัญญาณ (acquisition of



ทีมวิจัยขณะโหลดวิดีโอชุดแรกจากตัว TIGERS-X กลับลงมายังโลก

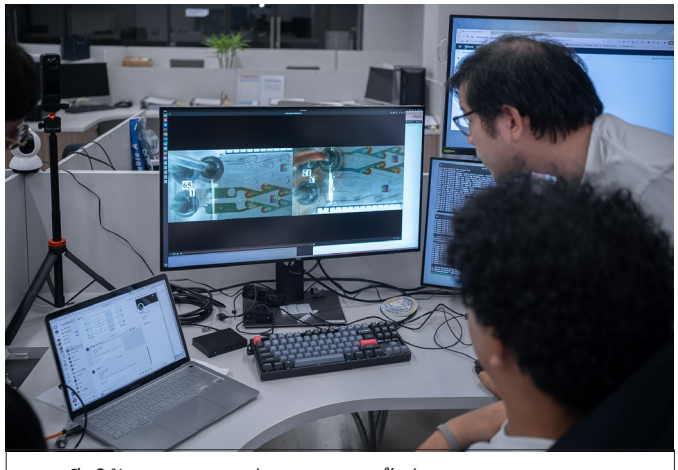
signal, AOS) ซึ่งทีมงานจะส่งคำสั่งผ่านระบบเทอร์มินัล (terminal command) และติดตามค่าการทำงาน (telemetry) แบบเรียลไทม์ เมื่อเข้าสู่ช่วงขาดสัญญาณ (loss of signal, LOS) ระบบจะปรับเข้าสู่สถานะปลอดภัยอัตโนมัติ

ในวันที่สองของการทดลอง ทีมงานตรวจพบการเกิดฟอง-อากาศและการไหลย้อนกลับ (backflow) ภายในช่องการทดลอง Microchannel 1 นำไปสู่การตั้งสมมติฐานและสืบสวนหาต้นตออย่างเข้มข้น ทั้งประเด็นความแตกต่างของความดันบรรยากาศภายในโมดูลโคลัมบัส การรั่วซึมของถุงขยะ และผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนเชิงกลขณะปล่อยจรวดต่อแผ่นไดอะเฟรมของวาล์วกันกลับ (check valve)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลอย่างถี่ถ้วน ทีมวิจัยพบคำตอบที่สร้างความประหลาดใจอย่างยิ่งว่า “ไม่มีการรั่วซึมของระบบ” แต่ปริมาณฟองอากาศที่มากกว่าบนโลกเกิดจากกลไกธรรมชาติของของไหลในสภาวะแรงโน้มถ่วงต่ำ เนื่องจากบนอวกาศไม่มีแรง-ลอยตัว (buoyancy) คอยดันให้ฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ประกอบกับสารละลาย TPN มีโมเลกุลของโปรตีนและกรดอะมิโนซึ่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์ทางเคมีเชิงฟิสิกส์ที่เรียกว่าความต่างศักย์ซีตา (zeta potential) เกิดประจุไฟฟ้าสะสมบริเวณผิวสัมผัสระหว่างแก๊สกับของเหลว สร้างแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างฟองอากาศ ส่งผลให้ฟองอากาศไม่รวมตัวกัน ไม่แตกตัว และแขวนลอยอยู่ในระบบของไหลปิดเป็นเวลานานกว่าบนโลก



แดชบอร์ดที่ทุกคนรับชมการทำงานของตัว TIGERS-X แบบสด ๆ ได้



ทีมวิจัยขณะทดสอบจ่ายของเหลวเข้าสู่ระบบ lab-on-a-chip ภายในตัวการทดลอง



คณะวิจัย TIGERS-X ภายในห้องประกอบดาวเทียม ณ ศูนย์ประกอบดาวเทียม GISTDA อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ก้าวต่อไปเพื่ออนาคตของประเทศไทย

ภายหลังเสร็จสิ้นภารกิจในอวกาศ ชุดการทดลอง TIGERS-X ถูกปลดการเชื่อมต่อและบรรจุกลับเข้าสู่ยาน Dragon CRS-34 เพื่อออกเดินทางออกจากสถานีอวกาศนานาชาติในวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2569 และลงจอดแตะผิวมหาสมุทรแปซิฟิกนอกชายฝั่งแคลิฟอร์เนียอย่างปลอดภัยในวันที่ 17 มิถุนายน เวลา 19:11 น. (ตามเวลาประเทศไทย) ก่อนที่เรือ MV Shannon ของ SpaceX จะมาเก็บกู้ไป รวมเวลาที่ TIGERS-X อยู่ในอวกาศทั้งสิ้น 32 วัน 2 ชั่วโมง

ผลลัพธ์ที่ได้จาก TIGERS-X จะนำไปขยายผลใน 3 มิติหลัก มิติแรกคือ ด้านวิทยาศาสตร์ จะนำข้อมูลภาพและวิดีโอความละเอียดสูงไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับชุดทดลองคู่ขนานบนโลก (ground control) เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิชาการระดับสากล

มิติที่สองคือ ด้านวิศวกรรม จะมีการสร้างมรดกทางวิศวกรรมที่ผ่านการใช้งานจริงในอวกาศ (space heritage) ซึ่งเป็นการยืนยันความเสถียรของแพลตฟอร์มที่ออกแบบให้ปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมส่วนประกอบได้ (modular) และชิ้นส่วนสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ฝีมือคนไทย เพื่อรองรับภารกิจอวกาศขั้นสูง รวมถึงภารกิจการสำรวจดวงจันทร์ (lunar mission) ในอนาคต

มิติสุดท้ายคือ ด้านเศรษฐกิจและทรัพยากรบุคคล จะมีการยกระดับอุตสาหกรรมเทคโนโลยีระดับกลาง (mid-tech industry) ในห่วงโซ่อุปทานของไทยสู่อุตสาหกรรมขั้นสูง (high & frontier technology) เป็นการพิสูจน์ว่าอุตสาหกรรมไทยพร้อมสำหรับเศรษฐกิจอวกาศใหม่ (new space economy) พร้อมทั้งสร้างแรงบันดาลใจให้แก่เยาวชนไทย ดังเช่นการต้อนรับเยาวชนจากโครงการ Asian Try ZeroG-2025 ของ สวทช. เข้าเยี่ยมชมห้องควบคุมภารกิจระหว่างการทดลองจริง

ความสำเร็จครั้งประวัติศาสตร์ของภารกิจ TIGERS-X จะเกิดขึ้นไม่ได้เลยหากปราศจากการประสานพลังร่วมมือจากหน่วยงานพันธมิตรทั้งในและต่างประเทศ สิ่งนี้เป็นเครื่องพิสูจน์ว่า เมื่อคนไทยร่วมมือกันนวัตกรรมและวิทยาศาสตร์ไทยก็พร้อมที่จะทะยานพ้นขอบฟ้าไปสร้างชื่อเสียงบนเวทีอวกาศโลกได้อย่างเต็มภาคภูมิ





ภัทรา สัปปินันทน์

แพ็กแบตเตอรี่และวัสดุ
สำหรับผลิตดาวเทียมไทย

“ดาวเทียม” คือ หนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยให้ประชากรโลกเข้าถึงข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เช่น ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ข้อมูลระบบนำทาง ข้อมูลรับมือภัยพิบัติธรรมชาติ รวมไปถึงการสื่อสารผ่านดาวเทียมในพื้นที่ห่างไกล

• • •



ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (เอ็นเทค) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ร่วมเป็นส่วนหนึ่งในภาคีความร่วมมืออวกาศไทยหรือ Thai Space Consortium (TSC)[1]

ในการวิจัยและพัฒนาดาวเทียมสัญชาติไทย สร้างองค์ความรู้และพัฒนาบุคลากร เพื่อรองรับการเติบโตอุตสาหกรรมอวกาศไทยในอนาคต



เอ็นเทคจับมือเนคเทค พัฒนาแบตเตอรี่ดาวเทียม

ดาวเทียมที่ภาคี TSC กำลังพัฒนามี 2 ดวง คือ **"TSC-1" ดาวเทียมสำรวจเก็บข้อมูลภาพโลก**เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้านการเกษตร ป่าไม้ และทรัพยากรธรรมชาติ อีกดวงหนึ่ง คือ **"TSC-2" ดาวเทียมสำรวจดวงจันทร์** เพื่อการวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ



ดร.จิราวรรณ มงคลธนทรรศ

ดร.จิราวรรณ มงคลธนทรรศ หัวหน้าทีมวิจัยเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงาน เอ็นเทค สวทช. เล่าถึงการเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งของ TSC ว่า ทีมวิจัยได้**พัฒนาต้นแบบแพ็กแบตเตอรี่เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักของดาวเทียมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์** โดยแพ็กแบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานขณะดาวเทียมโคจรเข้าสู่พื้นที่ที่ไม่สามารถรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ได้ ความท้าทายในการพัฒนา คือ การออกแบบให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีเสถียรภาพ และระบบมีความน่าเชื่อถือสูง ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สลับระหว่างร้อนจัดกับเย็นจัดตั้งแต่ประมาณ -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

ทีมวิจัยให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับการออกแบบการจัดเรียงและการเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่อย่างเหมาะสม ควบคู่กับการพัฒนาระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (battery management system, BMS) โดยดำเนินงานร่วมกับ **ภัทรกร รัตนวรรณ์** วิศวกรอาวุโส ทีมวิจัยเทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์ (TRT) เนคเทค สวทช. และทีมวิจัยจาก NARIT

ดร.จิราวรรณอธิบายว่า ระบบ BMS ที่พัฒนาขึ้นทำหน้าที่ควบคุม ตรวจวัด และป้องกันความผิดปกติของแบตเตอรี่ รวมถึงการติดตามสถานะและสั่งการจากระยะไกล เพื่อให้แพ็กแบตเตอรี่ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง และรองรับการใช้งานในภารกิจอวกาศได้อย่างมีเสถียรภาพและเชื่อถือได้

"ทีมวิจัยได้เลือกใช้เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ผ่านการทดสอบการใช้งานในสภาวะอวกาศจากองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบ พร้อมทั้งพัฒนากระบวนการผลิตแพ็กแบตเตอรี่ที่ถ่ายทอดสู่ภาคเอกชนได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังออกแบบการใช้งานแบตเตอรี่ให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตลอดอายุภารกิจ 2 ปี โดยจำกัดช่วงการใช้งานไว้ที่ประมาณร้อยละ 20–30 ของความจุทั้งหมด เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานและรับมือการเสื่อมสภาพในระยะยาว เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่มีการแปรผันของอุณหภูมิระหว่างร้อนจัดกับเย็นจัดส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการกักเก็บพลังงานและเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่"

[1] TSC เป็นการดำเนินงานภายใต้การนำของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ NARIT, สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISTDA และหน่วยงานภายใต้กระทรวง อว. โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากหน่วยบริหารจัดการทุนด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมแห่งอนาคต (บพค.)





การพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ ประกอบด้วยแพ็กแบตเตอรี่ระดับอวกาศและโครงสร้างดาวเทียม ที่ออกแบบให้แข็งแรง น้ำหนักเบา และทนต่อสภาพแวดล้อมรุนแรง

ปัจจุบันการวิจัยและพัฒนาแพ็กแบตเตอรี่อยู่ในระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีระดับ 4 หรือการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โดยต้นแบบได้ผ่านการทดสอบในสภาวะควบคุมแล้ว และอยู่ระหว่างการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงการใช้งานจริง นั่นคือ สภาวะสุญญากาศและสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง

เอ็มเทคกับการวิจัยวัสดุดาวเทียมและแบบจำลอง

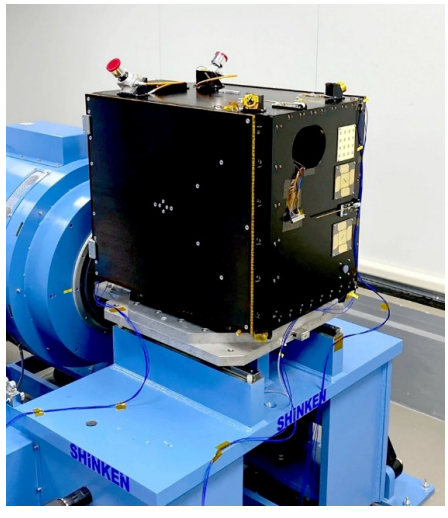
อีกหนึ่งบทบาทสำคัญที่นักวิจัย สวทช. เข้าไปมีส่วนร่วมในโพรเจกต์นี้ **คือ การทำวิจัยเพื่อสนับสนุนการคัดเลือกวัสดุเพื่อใช้ผลิตดาวเทียม** เนื่องจากวัสดุจะต้องมีน้ำหนักเบาและต้องทนทานต่อสภาพแวดล้อมสุดท้าทายด้วย



ดร.ชินะ เพ็ญชาติ

ดร.ชินะ เพ็ญชาติ นักวิจัยทีมวิจัยวิศวกรรมน้ำหนักเบา เอ็มเทค สวทช. เล่าว่า ทีมวิจัยได้คัดเลือกวัสดุจากปัจจัยด้านความแข็งแรง น้ำหนัก และความทนทาน ตัวอย่างกลุ่มวัสดุที่สนใจเป็นพิเศษ ได้แก่ วัสดุโครงสร้างแบบแซนด์วิชซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นวัสดุสองชิ้นประกบกันและมีโครงสร้างภายในน้ำหนักเบา ทำหน้าที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

“แม้ปัจจุบันประเทศไทยยังขาดความพร้อมในการผลิตวัสดุลักษณะนี้ตามข้อกำหนดที่ต้องการ แต่องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นจากการวิจัยครั้งนี้ต่อยอดไปสู่การยกระดับขีดความสามารถเทคโนโลยีการผลิตของผู้ประกอบการไทยในอนาคต รวมไปถึงการสนับสนุนทีมวิจัยจาก NARIT ในการทดสอบคัดกรองคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุประเภทต่าง ๆ เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการออกแบบใช้งานในระบบระบายความร้อนภายในดาวเทียม”



นอกจากการทำวิจัยเพื่อสนับสนุนการคัดเลือกวัสดุ ทีมวิจัยจากเอ็มเทคยังนำความเชี่ยวชาญเรื่องการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (computer simulation) มาใช้สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาภายใต้ภาคีฯ ในการใช้งานซอฟต์แวร์ต่าง ๆ สร้างแบบจำลองวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การกระจายอุณหภูมิ และความแข็งแรงของโครงสร้างดาวเทียมภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ รวมถึงการจำลองกลไกการทำงานของระบบดาวเทียม เช่น การกางแผงโซลาร์เซลล์เพื่อประเมินการทำงานเบื้องต้น ก่อนนำอุปกรณ์ที่ผลิตไปทดสอบสภาวะจริงในห้องสุญญากาศและห้องทดสอบอุณหภูมิ

"ในระยะต่อไปของการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตดาวเทียมสัญชาติไทย ทีมคาดว่าจะสนับสนุนการวิจัยเพิ่มในเรื่องการออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ภายในยาน เช่น ตำแหน่งของแบตเตอรี่ และการจัดเรียงอุปกรณ์ในส่วนบรรทุก (payload) ซึ่งต้องคำนึงถึงทั้งการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่า การควบคุมอุณหภูมิ และการป้องกันการชำรุดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกิดจากแรงกระทำภายนอก ตั้งแต่ขั้นตอนการปล่อยยานอวกาศขึ้นไป จนถึงการปฏิบัติงานในวงโคจร"

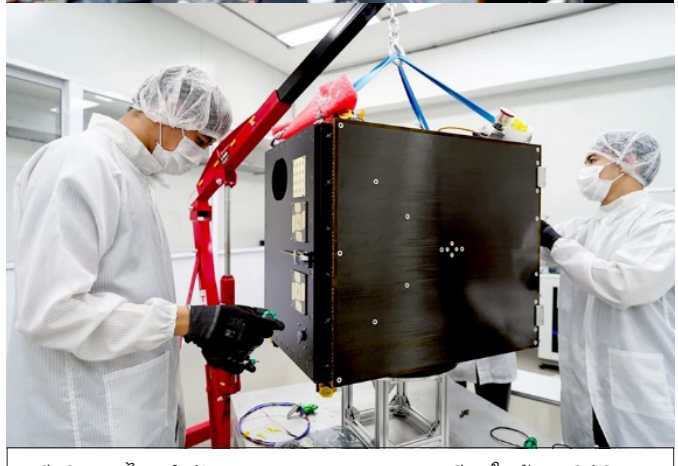
จากการวิจัยเทคโนโลยีอวกาศ สู่การยกระดับเทคโนโลยีภาคพื้น

การวิจัยและพัฒนาแพ็กแบตเตอรี่และวัสดุสำหรับผลิตดาวเทียมภายใต้ความท้าทายทั้งการออกแบบให้แข็งแรงทนทานสูงและใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพภายใต้สภาพแวดล้อมแบบสุดขั้ว คือองค์ความรู้สำคัญที่จะนำไปต่อยอดสู่การพัฒนาเทคโนโลยีภาคพื้นได้หลากหลาย

ดร.จิราวรรณกล่าวเพิ่มเติมว่า *"องค์ความรู้จากการพัฒนาแพ็กแบตเตอรี่สำหรับดาวเทียมนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านความมั่นคง รวมถึงอุตสาหกรรมเฉพาะทางได้เป็นอย่างดี เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้งานในกลุ่มนี้ต้องทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่รุนแรง และต้องมีความปลอดภัยระดับสูง ส่วนองค์ความรู้ด้านการคัดเลือกวัสดุและการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม นำไปใช้พัฒนาวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงทนทานสูงสำหรับอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างและอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นแต่ยังคงตอบโจทย์มาตรฐานความปลอดภัยสากลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้"*

องค์ความรู้ทั้งสองส่วนที่ทีมวิจัย สวทช. ร่วมกันพัฒนาจึงไม่ได้เป็นเพียงหนึ่งในรากฐานที่สำคัญของอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศไทย แต่ยังต่อยอดสู่การยกระดับขีดความสามารถทางการแข่งขันในระยะยาว โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงานและอุตสาหกรรมวัสดุ รวมไปถึงการต่อยอดใช้งานในอุตสาหกรรม S-Curve และ New S-Curve ของไทยซึ่งจะนำไปสู่การสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจมูลค่าสูงของประเทศในอนาคต





ทีมวิศวกรไทยกำลังประกอบและทดสอบดาวเทียมในห้องปฏิบัติการ

ผู้ที่สนใจติดตามความคืบหน้าของโครงการนี้ได้ที่ www.narit.or.th และติดต่อสอบถามเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่พัฒนาโดย สวทช. ได้ที่

นันท์ชญาน์ ชำนิ
งานพัฒนาธุรกิจดิจิทัลและเครือข่ายความร่วมมือ สวทช.
อีเมล nunchaya.chu@nstda.or.th



สมาธิ ธรรมศร

น้ำท่วมวิทยา 101
และการพยากรณ์อากาศฉบับชาวบ้าน

วันที่ 22 ถึง 28 กันยายน พ.ศ. 2569 หลายพื้นที่ของประเทศไทยเกิดฝนตกและมีน้ำท่วม ซึ่งผู้เขียนก็เป็นผู้ประสบภัยเช่นกัน ระหว่างที่กำลังติดเกาะ ผู้เขียนพบว่ามีคนจำนวนมากที่อยากทราบว่าควรติดตามการพยากรณ์อากาศอย่างไร และกังวลว่าบ้านของตนจะถูกน้ำท่วมหรือไม่ บทความนี้จึงเขียนขึ้นด้วยภาษาง่าย ๆ เพื่อตอบคำถามเหล่านั้นครับ

• • •



ความหมายและประเภทของน้ำท่วม

น้ำท่วม (flood) คือ ปรากฏการณ์ที่บริเวณหนึ่งซึ่งปกติแล้วจะแห้ง กลับมีน้ำมากกว่าปกติ และน้ำดังกล่าวอาจคงอยู่เป็นเวลานาน หรือบางกรณีสรุปอย่างง่ายว่า ถ้าปริมาณน้ำไหลเข้ามากกว่าปริมาณน้ำไหลออก พื้นที่นั้นจะถูกน้ำท่วม

น้ำท่วมแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามเกณฑ์ที่ใช้พิจารณา เช่น

1. สาเหตุของน้ำท่วม แบ่งออกเป็นน้ำท่วมตามธรรมชาติ และน้ำท่วมจากกิจกรรมของมนุษย์
2. บริเวณที่ถูกน้ำท่วม เช่น น้ำท่วมบนภูเขา น้ำท่วมที่ราบ น้ำท่วมชายฝั่ง น้ำท่วมเมือง
3. ขนาดของบริเวณที่ถูกน้ำท่วม แบ่งออกเป็นน้ำท่วมพื้นที่กว้าง และน้ำท่วมท้องถิ่น
4. ระดับความลึกของน้ำท่วม แบ่งออกเป็นน้ำท่วมสูง น้ำท่วมปานกลาง และน้ำท่วมต่ำ
5. ระยะเวลาที่เกิดน้ำท่วม แบ่งออกเป็นน้ำท่วมฉับพลัน และน้ำท่วมขัง
6. ความถี่ของการเกิดน้ำท่วม เช่น น้ำท่วมซ้ำซาก น้ำท่วมตามฤดูกาล น้ำท่วมที่มีคาบการเกิดวนซ้ำ
7. กระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำท่วม เช่น น้ำท่วมจากฝนตก (pluvial flood) น้ำท่วมจากน้ำล้นตลิ่ง (fluvial flood) น้ำท่วมจากระดับน้ำบาดาลสูง (groundwater flood) น้ำท่วมจากน้ำทะเลหนุน (tidal flood) น้ำท่วมจากการพังทลายของทะเลสาบธารน้ำแข็ง (glacial lake outburst flood) น้ำท่วมจากท่อระบายน้ำ (sewer flood) น้ำท่วมจากการวิบัติของเขื่อน (dam failure flood)

สำหรับคนไทย ผู้เขียนคิดว่าควรรู้จักเฉพาะประเภทของน้ำท่วมที่เกิดบ่อยในบ้านเรา ได้แก่ น้ำท่วมจากฝนตก น้ำล้นตลิ่ง น้ำหลากบนผิวดิน น้ำทะเลหนุน และน้ำท่วมจากโครงสร้างทางวิศวกรรมเสียหาย ก็พอครับ

การอ่านข้อมูลพยากรณ์อากาศด้วยตนเอง

นักอุตุนิยมวิทยามีแบบจำลองการพยากรณ์อากาศ (weather forecast model) ให้เลือกใช้มากมาย เช่น แบบจำลองของ ECMWF จากยุโรป, GFS ของประเทศสหรัฐอเมริกา, ICON ของประเทศเยอรมนี, ACCESS ของประเทศออสเตรเลีย และอื่น ๆ ซึ่งแบบจำลองแต่ละอันมีจุดเด่นต่างกัน

สำหรับคนทั่วไปเราไม่จำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการทำงานเบื้องหลังของแบบจำลองเหล่านี้ เพราะปัจจุบันมีเว็บไซต์และแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลลมฟ้าอากาศสำเร็จรูป ทั้งแบบตามเวลาจริง (real-time) และแบบพยากรณ์ล่วงหน้า (forecast) ให้เลือกใช้มากมาย

ผู้เขียนจะเริ่มจากการสอนอ่านแผนที่อากาศผิวพื้น (synoptic chart) ขั้นพื้นฐานก่อน



น้ำล้นตลิ่งคลอง



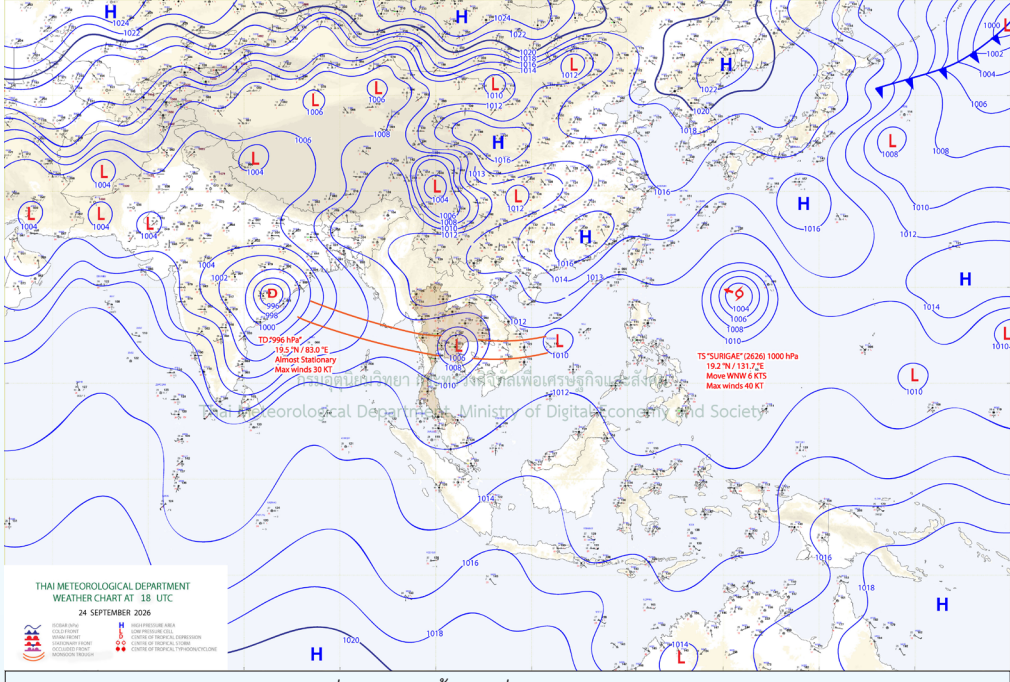
น้ำหลากผ่านทุ่ง

จากภาพจะเห็นหย่อมความกดอากาศต่ำ (สัญลักษณ์ L) วางทับอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศไทย พฤติกรรมของหย่อมความกดอากาศต่ำ คือ อากาศและไอน้ำจะไหลเข้าหามัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดลมหมุนและเมฆฝน

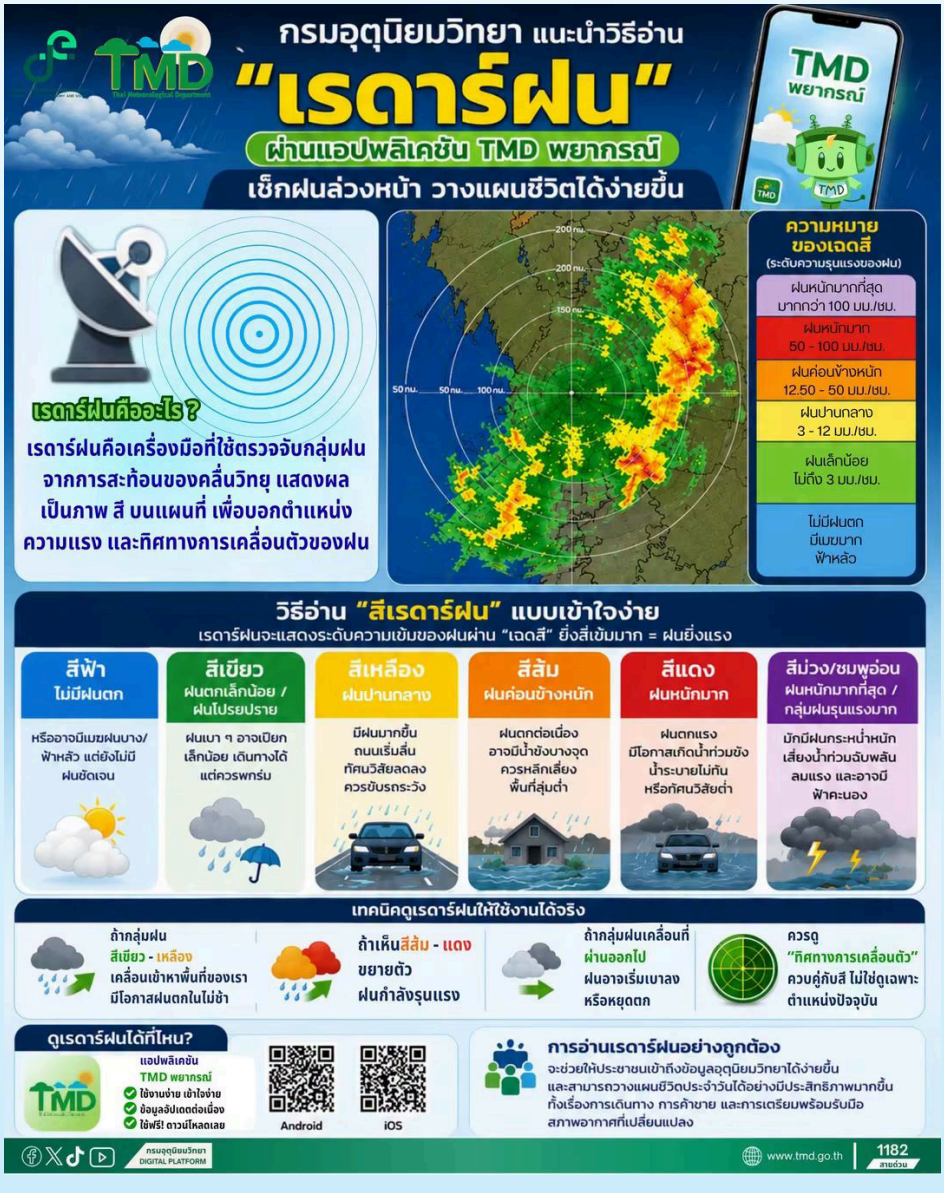
เมื่อหย่อมความกดอากาศต่ำเคลื่อนที่ผ่านทะเลหรือบริเวณที่มีความชื้นสูง มันอาจมีพลังงานมากขึ้น แล้วกลายเป็นดีเปรสชัน (สัญลักษณ์ D) พายุโซนร้อน (tropical storm) และไต้ฝุ่น (typhoon) ตามลำดับ

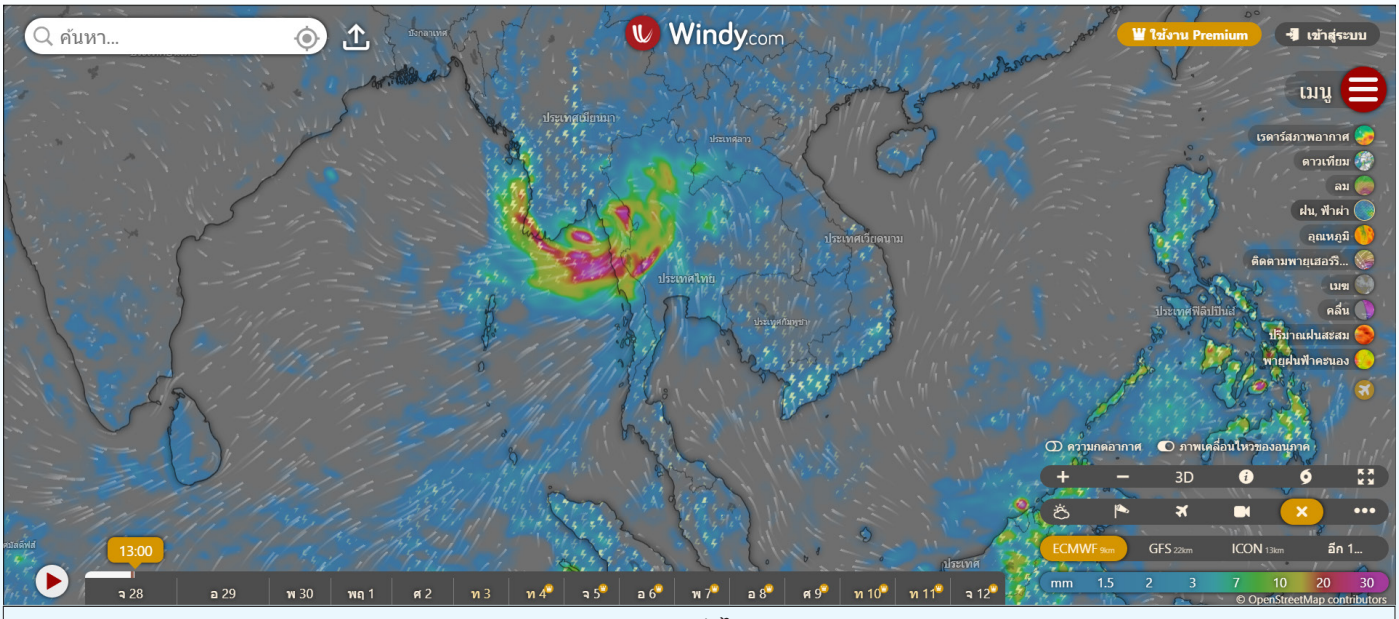
สรุปอย่างง่ายว่าถ้าหย่อมความกดอากาศต่ำหรือญาติพี่น้องของมันกำลังลอยอยู่เหนือบริเวณใด พื้นที่แถวนั้นอาจมีเมฆสีเทาแผ่นใหญ่ปกคลุมท้องฟ้าและเกิดฝนตก

ลำดับต่อไปเราจะมาแปลความหมายภาพจากเรดาร์ตรวจลมฟ้าอากาศ (weather radar) ซึ่งกรมอุตุนิยมวิทยาได้อธิบายแบบเข้าใจง่ายไว้ในอินโฟกราฟิกดังนี้



แผนที่อากาศผิวพื้น วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2569
ที่มาภาพ : https://www.tmd.go.th/supportData/synopticCharts





ลักษณะของเว็บไซต์ Windy

ที่มาภาพ : https://www.windy.com/?13.859,100.477,5

แผนที่อากาศผิวพื้นและภาพจากเรดาร์ตรวจลมฟ้าอากาศเป็นการแสดงข้อมูลลมฟ้าอากาศใกล้เวลาปัจจุบัน ต่อไปเราจะอ่านข้อมูลการพยากรณ์อากาศล่วงหน้า โดยอาศัยเว็บไซต์และแอปพลิเคชันยอดนิยมที่ชื่อ Windy

เมื่อเปิด Windy ขึ้นมา เราจะพบแผนที่หน้าตาคล้ายภาพจากเรดาร์ตรวจลมฟ้าอากาศ โดยทางขวาจะมีแถบเมนูให้เลือกว่าต้องการดูข้อมูลลมฟ้าอากาศชนิดใด และดูข้อมูลจากแบบจำลองใด ส่วนแถบด้านล่าง เมื่อกดปุ่ม Play จะแสดงการพยากรณ์อากาศล่วงหน้าภายในช่วงเวลาที่กำหนด

ขอแถมเกร็ดความรู้ว่า การที่กลุ่มฝนหลายก้อนก่อตัวขึ้นในบริเวณเดิมและเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่เดิมซ้ำ ๆ เรียกว่า เทรนนิง (training)

บ้านฉันน้ำจะท่วมไหม ประเมินได้อย่างไร

ฝนที่ตกลงมาสู่พื้นผิวโลกเป็นรูปแบบหนึ่งของปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นดินกับบรรยากาศ (land-atmosphere interaction) แต่ฝนตกจะทำให้เกิดน้ำท่วมหรือไม่ และความรุนแรงของน้ำท่วมจะน้อยหรือมากเพียงใด เราต้องนำปัจจัยอื่นมาวิเคราะห์ร่วมด้วย ดังนี้

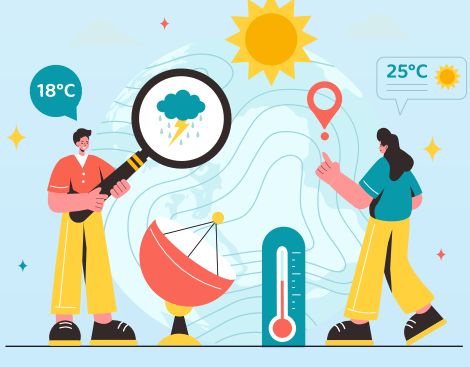
ลักษณะทางธรณีวิทยา เช่น เมื่อฝนตกหนัก บริเวณเชิงเขาจะเสี่ยงต่อน้ำป่าไหลหลาก พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำจะเสี่ยงต่อน้ำล้นตลิ่ง พื้นที่ริมทะเลอาจระบายน้ำได้ยากหากเกิดน้ำทะเลหนุน

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เช่น บริเวณที่ป่าไม้ถูกทำลาย เมื่อฝนตกลงมา พื้นดินอาจซึมซับน้ำและอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงการเกิดน้ำป่าไหลหลากและดินถล่ม ส่วนพื้นที่บริเวณรอบเขื่อนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำแบบไม่ทันตั้งตัว

ผังเมืองและโครงสร้างพื้นฐาน เช่น เมืองที่ตั้งอยู่บนที่ลุ่มต่ำ มีความแออัดสูง มีพื้นที่รับน้ำน้อย มีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางน้ำจำนวนมาก ระบบระบายน้ำไม่ดี ถนนถูกยกสูงกว่าบ้านเรือน มีคอนกรีตปกคลุมดินเยอะเกินไป ปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้เกิดน้ำท่วมได้ง่าย

ลักษณะของที่อยู่อาศัย เช่น บ้านใต้ถุนสูงหรือบ้านสองชั้นจะมีโอกาสได้รับความเสียหายจากน้ำท่วมน้อยกว่าบ้านชั้นเดียว

ประสิทธิภาพการรับมือน้ำท่วม หมายถึง การพยากรณ์อากาศ การประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วม ความรวดเร็วและความชัดเจนในการสื่อสารระหว่างภาครัฐกับประชาชน การเตรียมพร้อมในทางปฏิบัติของภาครัฐ และความตระหนักของภาคประชาชน ถ้าการทำงานของทุกภาคส่วนเป็นไปด้วยดี เราจะป้องกันหรือลดความรุนแรงของน้ำท่วมได้มาก

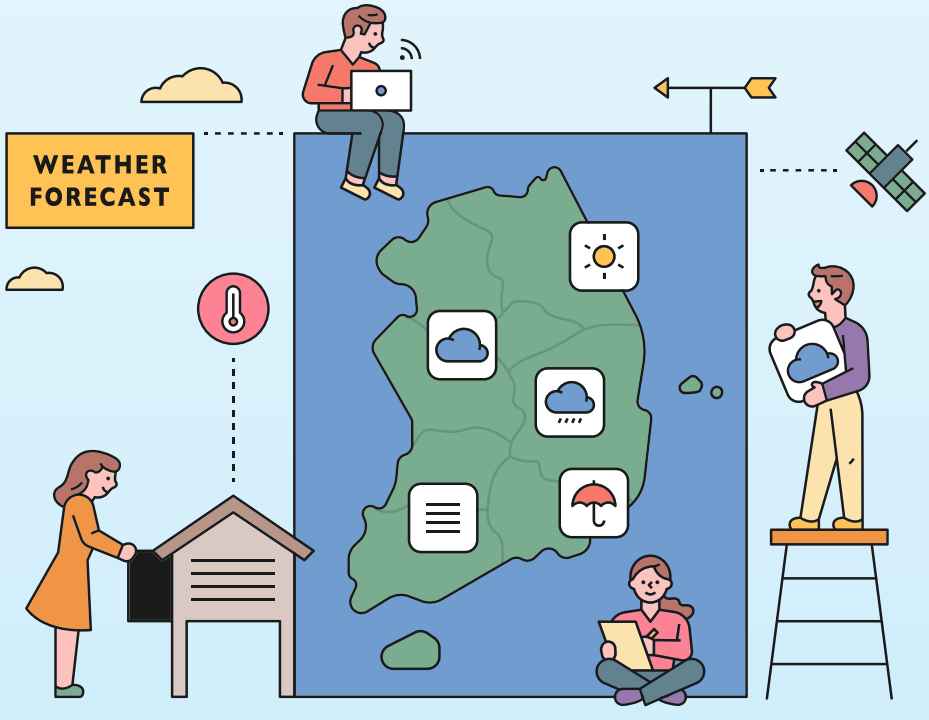




น้ำท่วมขังภายในชุมชนที่มีการระบายน้ำไม่ดี

สิ่งที่ควรรู้ คือ การพยากรณ์ว่าพื้นที่ใดจะเกิดน้ำท่วมมักมีความไม่แน่นอนมากกว่าการพยากรณ์ฝนเพียงอย่างเดียว เพราะต้องนำข้อมูลฝนมารวมกับข้อมูลของปัจจัยบนพื้นดิน ดังนั้นหน่วยงานท้องถิ่นและผู้อยู่อาศัยจึงต้องทราบด้วยว่าพื้นที่ของตนเปราะบางต่อน้ำท่วมแค่ไหน

ผู้เขียนขอทิ้งท้ายว่า **การแจ้งเตือนน้ำท่วม (หรือภัยพิบัติอื่น ๆ) จะต้องตั้งอยู่บนข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์** ส่วนระดับการเตรียมรับมือควรสอดคล้องกับความรุนแรงและความไม่แน่นอนของน้ำท่วมที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เพราะหากการแจ้งเตือนเบาไปประชาชนอาจประมาทจนเกิดการสูญเสีย แต่ถ้าการแจ้งเตือนเกินเลยจากความเป็นจริงไปมาก ประชาชนอาจตื่นตระหนกและเกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจโดยไม่จำเป็น



แหล่งข้อมูลอ้างอิง

สมาธิ ธรรมศร. (2558). รู้วิทย์ พิชิตภัยพิบัติ.

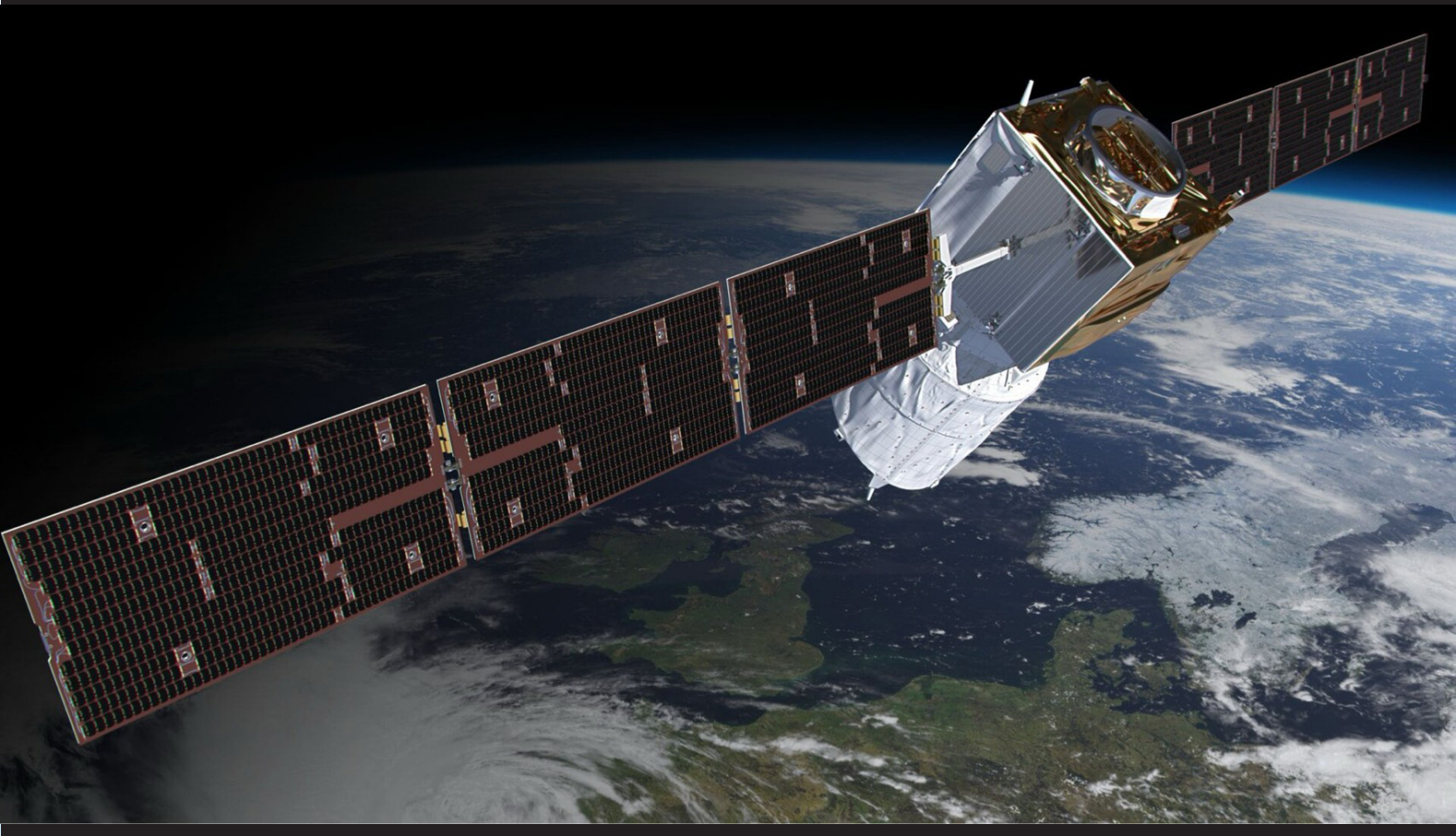
Watson, D., & Adams, M. (2010). Design for flooding: Architecture, landscape, and urban design for resilience to climate change. John Wiley & Sons.

https://www.tmd.go.th/



เรื่อง (ภาษาอังกฤษ) โดย เจตริน ชูสกุลธนะชัย
แปลและเรียบเรียงโดย ดร.นำชัย ชีววิวรรธน์

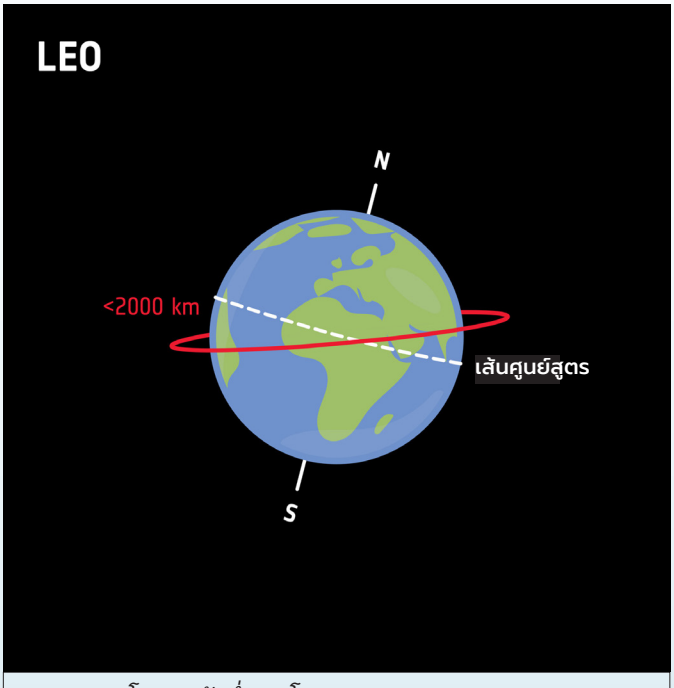
วีลีโอ (VLEO) : การเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างผืนฟ้ากับอวกาศ



ภาพเรนเดอร์ของดาวเทียมเอโอลัส (Aeolus satellite) โดยองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency, ESA) ซึ่งเคยโคจรที่ระดับความสูง 320 กิโลเมตร และได้ปฏิบัติภารกิจกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศแบบได้รับการช่วยเหลือโดยการลดจุดโคจรใกล้ที่สุด (Perigee) ลงมาที่ระดับ 120 กิโลเมตร

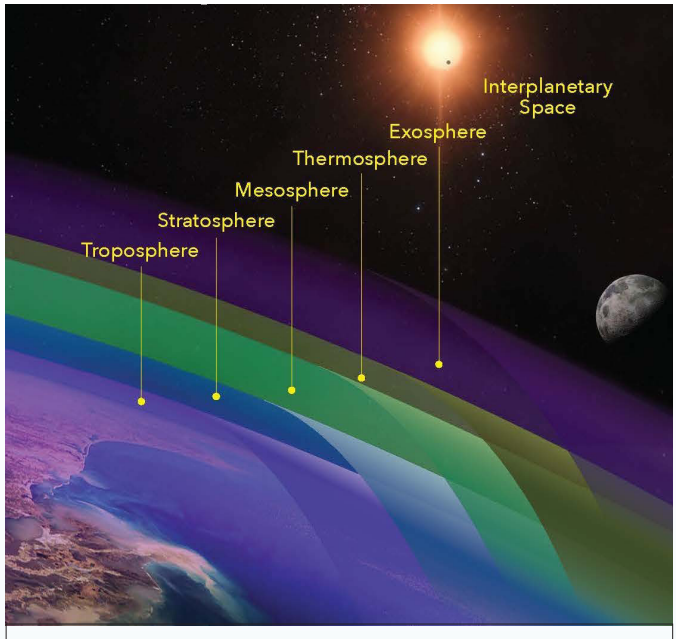
ที่มาภาพ ESA/ATG medialab, CC BY-SA 3.0 IGO

วงโคจรระดับต่ำของโลก (LEO, low earth orbit) ซึ่งครอบคลุมระยะตั้งแต่ราว 160 ถึง 2,000 กิโลเมตร ถือเป็นหนึ่งในอาณาเขตวงโคจรยอดนิยมอย่างยิ่ง โดยมีสาเหตุหลักมาจากความต้องการค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็ว (delta-v) ที่ค่อนข้างต่ำ ประกอบกับข้อได้เปรียบทางธรรมชาติในการถ่ายภาพและการส่งสัญญาณ ข้อได้เปรียบทั้งสองประการนี้ล้วนเกิดจากการที่วงโคจรอยู่ใกล้กับพื้นผิวโลก[1] อย่างไรก็ตาม ดาวเทียมแบบ LEO ส่วนใหญ่กลับถูกจัดวางตำแหน่งไว้ที่ระดับความสูงประมาณ 500 กิโลเมตร ซึ่งนำไปสู่คำถามที่ว่า เหตุใดจึงไม่วางตำแหน่งดาวเทียมไว้ในระดับที่ต่ำกว่านี้ ? แม้การโคจรจะยิ่งสะดวกมากขึ้นหากระดับความสูงลดลง แต่ก็มีปัญหาสำคัญประการหนึ่งคือ เรื่องของชั้นบรรยากาศ (atmosphere)



วงโคจรระดับต่ำของโลก (LEO, Low Earth Orbit)
ที่มาภาพ : ESA–L. Boldt-Christmas

[1] การดึงภาพหรือซูมภาพเข้าใช้การไม่ได้เพราะว่า สิ่งที่เล็กที่สุดที่เราเห็นได้จำกัดโดยสองอย่างที่แยกขาดจากกันคือ ขนาดของพิกเซล (pixel) ภาพพื้นดิน และข้อจำกัดการเลี้ยวเบน (diffraction) อย่างแรกนั้นส่งผลกระทบกับความยาวโฟกัส และอย่างหลังส่งผลกับเส้นผ่านศูนย์กลางช่องรับแสง (aperture diameter) ในอุดมคตินั้น อุปกรณ์ถ่ายภาพของดาวเทียมจะต้องตั้งค่าให้ค่าทั้งสองนี้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และการปรับให้ค่าหนึ่งดีขึ้นโดยไม่ปรับอีกค่าก็ไม่มีประโยชน์อะไรมากนัก นี่ย่อมหมายความว่าหากต้องการซูมภาพขณะที่ดาวเทียมไม่ได้เคลื่อนที่ เราจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของช่องรับแสดงให้มากขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดจากการเลี้ยวเบน และต้องมีค่าใช้จ่ายทั้งขนาดและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนำไปสู่ความจำเป็นที่ต้องเพิ่มการใช้เชื้อเพลิงของจรวดเป็นอย่างมาก ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทความก่อนหน้านี้



บรรยากาศของโลกทั้ง 5 ชั้น ได้แก่ โทรโพสเฟียร์ สแตรโทสเฟียร์ เมโซสเฟียร์ เทอร์โมสเฟียร์ และเอกโซสเฟียร์
ที่มาภาพ : NASA GSFC/Mary Pat Hrybyk-Keith

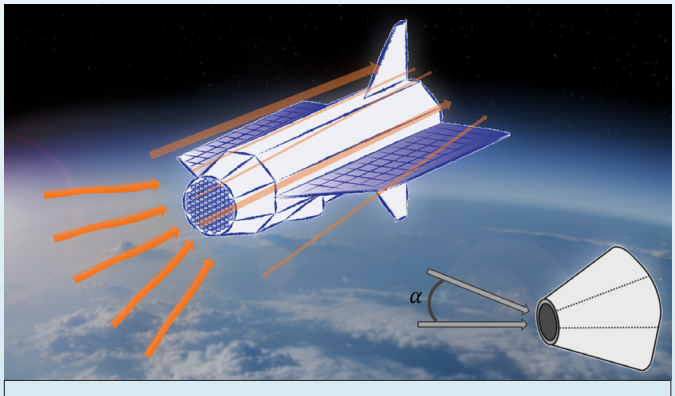
คนส่วนใหญ่มักคิดว่าท้องฟ้าเป็นบริเวณที่มีอากาศ แต่อวกาศปราศจากอากาศ อย่างไรก็ตามชั้นบรรยากาศกลับแผ่ออกไปไกลกว่าเส้นคาร์แมน (Kármán line) มาก อันที่จริงแม้แต่ดาวเทียมใน LEO ทั่วไปก็ยังได้รับผลกระทบจากแรงต้านอากาศ และต้องคอยบังคับทิศทางเพื่อแก้ไขวงโคจรอยู่เป็นประจำ ในวงโคจรระดับต่ำมากของโลก (VLEO, very low earth orbit) แรงต้านอากาศจะส่งผลกระทบต่อดาวเทียมในระดับที่แตกต่างออกไปอย่างสิ้นเชิง ณ ระดับความสูงต่ำกว่า 350 กิโลเมตร วงโคจรของดาวเทียมแบบดั้งเดิมจะเสื่อมถอยลงอย่างรวดเร็วหากปราศจากแรงต้านทาน เนื่องจากปริมาณอนุภาคจำนวนมหาศาลที่พุ่งชนตัวดาวเทียม

อนุภาคเหล่านี้ไม่ได้เหมือนกับอากาศทั่วไปที่เราคุ้นเคยในชีวิตประจำวัน เพราะในชั้นบรรยากาศบริเวณนี้ แสงอาทิตย์จะแยกโมเลกุลแก๊สออกซิเจน (O_2) ออกเป็นออกซิเจนแบบที่เรียกว่าออกซิเจนอะตอม (AO, atomic oxygen) ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่หรืออาจเกือบทั้งหมดในชั้นบรรยากาศของ VLEO และ LEO การที่ออกซิเจนอะตอมถือเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizer) อย่างแรง จึงส่งผลทางเคมีต่อพอลิเมอร์ (polymers) ต่าง ๆ ที่มักใช้ในการสร้างดาวเทียม และยังส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงต้านอากาศของดาวเทียม (จะกล่าวรายละเอียดในภายหลัง) การจะทำงานในอาณาเขตวงโคจรนี้ได้ จำเป็นต้องลดผลกระทบจากแรงต้านอากาศ หรือหาวิธีรับมืออย่างใดอย่างหนึ่ง บทความ

นี้จะอธิบายกลไกการทำงานของแรงต้านอากาศในวงโคจรระดับ VLEO พร้อมเสนอแนวคิดในการลดผลกระทบดังกล่าว

การจะลดแรงต้านอากาศได้นั้น อันดับแรกเราต้องเข้าใจเสียก่อนว่าแรงต้านอากาศในวงโคจรระดับ VLEO เกิดขึ้นได้อย่างไร แรงต้านในบริเวณนี้คำนวณได้จากสูตรกลศาสตร์คลาสสิก คือ $(\frac{1}{2}\rho C_d v^2 A)^2$ จึงขึ้นอยู่กับตัวแปรชุดเดียวกัน อย่างไรก็ดี สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_d) ดังกล่าวมักแฝงไปด้วยหลักฟิสิกส์ขั้นสูงจำนวนมาก เมื่อเราพูดถึงแรงต้านบนพื้นโลก ส่วนใหญ่แล้วเรามักนึกถึงการที่อากาศเปลี่ยนความเร็วหรือเปลี่ยนความดันอันเนื่องมาจากถูกผลักไปตามรูปทรงของวัตถุ และ/หรือความขรุขระบนพื้นผิววัตถุ เมื่อเราเปลี่ยนความเร็วหรือความดันของกระแสไหล เรากำลังทำงานกับกระแสการไหลนั้น (เช่น ใช้พลังงานไปกับมัน) เรารู้ดีว่าไม่อาจเนรมิตพลังงานขึ้นมาใหม่หรือทำให้มันสูญสลายไปได้ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการทำงานนี้จึงต้องมาจากแหล่งใดแหล่งหนึ่ง เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ พลังงานจึงมาจากพลังงานจลน์ (kinetic energy) ของวัตถุ ส่งผลให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลงในที่สุด[2]

อย่างไรก็ตามกระแสการไหลจะเปลี่ยนความดันและความเร็วได้ก็ต่อเมื่ออนุภาคต่าง ๆ พุ่งชนกันเองได้เท่านั้น ของไหลสภาวะต่อเนื่องแบบดั้งเดิม (traditional continuum fluid) ทำงานผ่านการที่อนุภาคหนึ่งพุ่งชนอีกอนุภาคหนึ่ง แล้วส่งแรงพุ่งชนต่อไปเรื่อย ๆ เรื่องนี้เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคแทบจะไม่สามารถเดินทางได้โดยไม่พุ่งชนอนุภาคอื่น



การพิสูจน์แนวคิดสำหรับเซนเซอร์วัดทิศทางการไหลเชิงอากาศพลศาสตร์แบบใหม่สำหรับวงโคจรระดับต่ำมากของโลก
ที่มาภาพ : ESA/University of Manchester

ณ ระดับน้ำทะเล ระยะทางเฉลี่ยที่อนุภาคเดินทางก่อนพุ่งชนอีกอนุภาคหนึ่งหรือระยะอิสระเฉลี่ย (mean free path) อยู่ที่ประมาณ 70 นาโนเมตร (nanometers, nm) ขณะที่ระดับความสูง 300 กิโลเมตรนั้น ค่านี้จะสูงถึงประมาณ 2,600 เมตร[3] สมมติว่าดาวเทียมยาว 1 เมตร อนุภาคเฉลี่ยจะเดินทางเป็นระยะทางมากกว่า 2,500 เท่าของความยาวตัวดาวเทียมก่อนที่จะเริ่มมีปฏิสัมพันธ์กับอนุภาคอื่น[4] ผลจากข้อเท็จจริงนี้ทำให้ในวงโคจรระดับ VLEO เราไม่สามารถคำนึงถึงแรงต้าน (drag) และแรงยก (lift) ในรูปแบบเดียวกับบนพื้นโลกได้ หากพิจารณาแบบขั้นต้นโดยใช้ฟิสิกส์ของนิวตัน (Newtonian physics) อนุภาคจะพุ่งชนดาวเทียมแล้วกระดอนออกไป โดยยังคงความเร็วทั้งหมดไว้ได้ เพียงแต่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนโมเมนตัม (momentum transfer) เท่ากับ $2mv\cos^2(\theta)$ ดาวเทียม โดยที่เทตา (θ) คือมุมระหว่างทิศทางอนุภาคกับเส้นตั้งฉากพื้นผิว (surface normal) เช่น ในการชนประสานงาตรง ๆ เราจะได้ค่าโมเมนตัม $2mv$ ขณะที่การชนแบบเฉเฉียด การถ่ายโอนโมเมนตัมจะเข้าใกล้ 0 ซึ่งแบบจำลองนี้คงจะใช้ได้ผล หากไม่มีออกซิเจนอะตอมเข้ามาเกี่ยวข้อง

เนื่องจากออกซิเจนอะตอมมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง จึงมีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยากับสิ่งต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออนุภาคออกซิเจนอะตอมพุ่งชนพื้นผิวโลหะของยานอวกาศในตำแหน่งและมุมที่เหมาะสม เรียกว่า ตำแหน่งแอกทิฟ (active site) ทำให้เกิดพันธะเคมีแบบชั่วคราวขึ้น ส่งผลให้อนุภาคออกซิเจนอะตอมยึดติดกับพื้นผิว เมื่อเกิดพันธะขึ้น อนุภาคออกซิเจนอะตอมจะถ่ายโอนโมเมนตัมขาเข้าทั้งหมดไปยังดาวเทียม ผลักดาวเทียมให้ถอยหลังเล็กน้อย และเกิดกระบวนการเข้าสู่สมดุลความร้อน (thermalization) ซึ่งหมายถึงอนุภาคสูญเสียความเร็วไปอย่างมากจนเหลือพลังงานเท่ากับอุณหภูมิของผนัง (อนึ่ง อุณหภูมิคือการกระจายตัวของความเร็วที่แตกต่างกัน ดังนั้นอนุภาคจึงหลุดออกไปด้วยความเร็วที่มีการกระจายตัวเช่นกัน) ต่อจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง (ระดับวินาที) อนุภาคจะสลัดตัวเองหลุดออกจากผนังในทิศทางสุ่ม โดยหลุดออกไปด้วยพลังงานจลน์ที่น้อยลงกว่าเดิมอย่างมากเมื่อเทียบกับตอนขาเข้า และผลักดาวเทียมไปในทิศทางแบบสุ่ม[5]

[2] นี่ถือเป็นเพียงหนึ่งในวิธีการที่แตกต่างกันมากมายในการพิจารณาแรงต้านบนโลกเท่านั้น

[3] เป็นค่ามาตรฐานบรรยากาศสหรัฐอเมริกา (ค.ศ. 1976)

[4] สัดส่วนดังกล่าวรู้จักกันในชื่อ จำนวนคนุดเซน (Knudsen number) สิ่งแวดล้อมที่มีค่าจำนวนคนุดเซนเกินกว่า 10 โดยทั่วไปถือว่ามีค่าการไหลของโมเลกุลแบบอิสระ (FMF, free molecular flow) ส่วนค่าระหว่าง 0.1-10 ถือว่ามีค่าอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่าน และที่มีค่าน้อยกว่า 0.1 ถือว่ามีค่าแบบต่อเนื่อง

[5] อันที่จริงไม่ถือว่าเป็นแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่เป็นไปตามการกระจายแบบโคไซน์ (cosine distribution)

การที่อนุภาคหลุดออกไปในทิศทางแบบสุ่มเรียกว่า การสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) ซึ่งตรงข้ามกับการสะท้อนแบบตรง (specular reflection) ที่อนุภาคจะกระดอนออกจากพื้นผิวเหมือนแสงตกกระทบกระจกเงา สัดส่วนการสะท้อนทั้งหมดที่เป็นแบบกระจายเรียกว่า สัมประสิทธิ์การปรับสภาพตามแบบแมกซ์เวลล์ (Maxwell accommodation coefficient)[6] สำหรับวัสดุส่วนใหญ่ในวงโคจรระดับ VLEO ค่านี้มักกำหนดให้เท่ากับประมาณ 1 โปรดจำประเด็นนี้ไว้ เนื่องจากจะมีความสำคัญเมื่อเรากล่าวถึงการออกแบบช่องนำเข้าอากาศ (intake design) ในฉบับถัดไป

ผลของการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการสร้างการสะท้อนแบบกระจายเท่านั้น ผลการจำลองแบบ[7] พบว่า วัตถุทรงกลมที่ระดับความสูง 200 กิโลเมตร ได้รับแรงต้านจากการดูดซับและการคายคิดเป็น 12.7 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับความสูง 500 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับสภาวะของดวงอาทิตย์ ผู้สังเกตการณ์ที่ถี่ถ้วนอาจสังเกตเห็นว่า เมื่อเทียบกับอนุภาคที่พุ่งชนตรง ๆ ซึ่งส่งถ่ายโมเมนตัม $2mv$ การชนภายใต้การดูดซับและการคายอนุภาคจะผลักดาวเทียมไปข้างหลังเพียง mv บวกกับส่วนเล็กน้อยจากการคายเท่านั้น ผลจากความแตกต่างนี้ทำให้การดูดซับสร้างแรงต้านน้อยกว่า ดังนั้นเราจึงอาจต้องการส่งเสริมให้เกิดพันธะระหว่างออกซิเจนอะตอมกับพื้นผิว และค้นหาวิธีเพิ่มสัมประสิทธิ์การปรับสภาพดังกล่าว ซึ่งแนวคิดนี้ถูกต้องอย่างยิ่ง แบบจำลองแสดงให้เห็นว่า พื้นผิวด้านหน้าที่เกิดการดูดซับทั้งหมดลดแรงต้านลงได้เกือบ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่า 70 เปอร์เซ็นต์ของพื้นผิวที่มีการสะท้อนแบบกระจก[8] อย่างไรก็ดีท่านที่สามารถสังเกตได้อย่างถี่ถ้วนยิ่งขึ้นไปอีก อาจตระหนักได้ว่าการวิเคราะห์นี้พิจารณาเฉพาะด้านหน้าของดาวเทียมเท่านั้น

การดูดซับยังเกิดขึ้นได้เมื่อออกซิเจนอะตอมตกกระทบวัสดุด้วยมุมเฉียด ไม่ใช่เฉพาะการชนตรง ๆ เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างการดูดซับกับแรงต้านจะใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ ในกรณีการดูดซับ เรายังคงได้รับการถ่ายโอนโมเมนตัมประมาณ mv แต่เรากำลังเปรียบเทียบกับค่าฐานของอนุภาคที่ตกกระทบด้วยมุมเฉียดซึ่งแทบไม่สูญเสียโมเมนตัมเลย เมื่อเกิดการดูดซับ โมเมนตัมจะยังคงเปลี่ยนจาก $2mv\cos^2(\theta)$ ไปเป็น mv แต่เมื่อเซตา (θ) มีค่าสูง การดูดซับจะกลับกลายเป็นการเพิ่มการถ่ายโอนโมเมนตัมมากขึ้นแทน

งานวิจัยเดียวกันนี้ถือว่าพื้นผิวด้านข้างที่ขนานกับกระแสไหลเป็นพื้นเรียบ เพื่อลดอัตราการดูดซับและการคายของออกซิเจนอะตอม[9] พวกเขาพบว่าการทำให้พื้นผิวเรียบช่วยลดแรงต้านจากด้านข้างเหล่านี้ได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าในปัจจุบันจะยังไม่พบวัสดุที่สามารถรักษาสัมประสิทธิ์การปรับสภาพที่ระดับ 0.3 ได้ในระยะยาวก็ตาม (ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) นั่นคือสิ่งที่เกิดขึ้นกับอนุภาคเดี่ยวที่พุ่งชนผนัง แล้วถ้าเป็นอนุภาคจำนวนมหาศาลที่พุ่งชนดาวเทียมทุก ๆ วินาทีในวงโคจรล่ะ ?

เมื่อดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรระดับ VLEO ปริมาณของออกซิเจนอะตอมและการดูดซับเกิดขึ้นมากเสียจนเกิดชั้นของออกซิเจนอะตอมที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของดาวเทียม สัดส่วนการปกคลุมบนพื้นผิวของดาวเทียมโดยออกซิเจนอะตอมนี้ เรียกว่า ค่าการปกคลุมของออกซิเจนอะตอมบนพื้นผิว (AO surface coverage) แบบจำลองแสดงให้เห็นว่า ค่านี้อยู่ระหว่าง 60 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออนุภาคพุ่งชนตรง ๆ ที่ระดับความสูง 200 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับสภาวะของดวงอาทิตย์ และค่าการปกคลุมพื้นผิวอาจลดลงเหลือราว 40 เปอร์เซ็นต์ ได้[10] ขึ้นกับค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก เหตุผลที่สัดส่วนนี้ไม่ไต่ขึ้นสู่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์อย่างรวดเร็วเป็นเพราะอนุภาคเกิดการคายอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน จนนำไปสู่การชักเย่อกันระหว่างออกซิเจนอะตอมขาเข้าที่พยายามยึดติดกับพื้นผิวกับออกซิเจนอะตอมเดิมที่พยายามหลุดออกไป คล้ายกันมากกับสมดุลพลวัต (dynamic equilibrium) ในทางเคมีทั่วไป

เมื่ออนุภาคออกซิเจนอะตอมขาเข้าต้องการสร้างพันธะในตำแหน่งที่เต็มแล้วก็จะไม่อาจถูกดูดซับไว้ได้ แต่มักจะกระดอนออกอยู่ราวสองสามครั้งก่อนที่จะเข้าสู่สมดุลความร้อนและสะท้อน

---

[6] อย่าไปสับสนกับค่าสัมประสิทธิ์การปรับสภาพพลังงาน ซึ่งวัดว่าอนุภาคมีอุณหภูมิสูงเท่าใด (เป็นค่าสัดส่วนระหว่างพลังงานที่อนุภาคใดก็ตามสูญเสียไปจริงจากการสะท้อนกับพลังงานที่อนุภาคใดก็ตามจะเสียไป หากว่าพวกมันปลดปล่อยออกมาด้วยค่าพลังงานเท่ากับอุณหภูมิของผนัง) ส่วนใหญ่แล้วมักสมมุติให้ค่าเหล่านี้ใกล้เคียงกันมาก และอนุภาคทุกชนิดที่สะท้อนกระจายออกล้วนมีอุณหภูมิ แต่งานวิจัยบางชิ้นเมื่อเร็ว ๆ ไม่เป็นไปตามนี้ ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในหมายเหตุ 12

[7] งานวิจัยของ Huh *et al.*

[8] งานวิจัยของ Jiang *et al.*

[9] งานวิจัยของ Jiang *et al.* นี้อันที่จริงแล้วไม่ได้เป็นการจำลองทางเคมี และแทนที่จะเปลี่ยนให้ค่าสัมประสิทธิ์การปรับสภาพด้านข้างของดาวเทียมเท่ากับ 0.3 (แบบเดียวกับผิวด้านหน้าที่ราบเรียบ) ในงานวิจัยนี้สมมุติอนุภาคความร้อนสะท้อนแบบกระจายทั้งหมด จึงมีลักษณะเป็นตัวแทนการดูดซับมากกว่า

[10] ค่าการปกคลุมพื้นผิวที่แท้จริงคือ 0.413 = 41.3% ในบทความนี้อ้างอิงค่า 60 และ 75 เปอร์เซ็นต์จากแผนภาพของพวกเขา ซึ่งได้จากค่าที่ระดับความสูงแตกต่างกันเล็กน้อย (คือ 198 กิโลเมตรและ 192 กิโลเมตร สำหรับค่ากิจกรรมน้อยที่สุดและมากที่สุดของดวงอาทิตย์ ตามลำดับ) ค่าดังกล่าวนี้ได้จากงานวิจัยของ Huh *et al.*

ออกไปแบบกระจายราวกับโดนดูดซับไว้[11] เช่นเดียวกับที่เคยถูกดูดซับ ความแตกต่างก็คือ วัสดุที่ออกแบบมาเป็นพิเศษให้มีสัมประสิทธิ์การปรับสภาพต่ำจะถูกเติมเต็มด้วยออกซิเจนอะตอมที่ถูกดูดซับอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การปรับสภาพของวัสดุเพิ่มสูงขึ้นเกือบเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้หมดความสามารถในการลดแรงต้านไป การเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การปรับสภาพจากการปกคลุมของออกซิเจนอะตอมยังทำให้เกิดข้อเสียในการทำลายการออกแบบช่องนำเข้าอากาศบางประเภทที่พึ่งพาการสะท้อนแบบกระจกของอนุภาค เมื่อประสิทธิภาพของการนำเข้าอากาศลดลง ประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนก็จะลดลงตามไปด้วย นำไปสู่การชดเชยแรงต้านที่ลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปนานพอ ดาวเทียมก็จะเผาไหม้ไปในชั้นบรรยากาศ

อ่านบทความภาษาอังกฤษได้ที่

https://www.nstda.or.th/sci2pub/very-low-earth-orbit/

[11] ข้อมูลวงโคจรชี้ว่า อันที่จริงแล้วอนุภาคต่าง ๆ ปล่อยทิ้งความร้อนไว้ เมื่อกระทบกับผิวหน้าที่มีอะตอมออกซิเจนปกคลุมอยู่ อย่างไรก็ตาม การทดลองบางอย่างในห้องปฏิบัติการก็ชี้ว่า อนุภาคส่วนหนึ่งอาจพุ่งกระจายออกด้วยความเร็วที่สูงกว่าอุณหภูมิของผนังอย่างมีนัยสำคัญ เรื่องนี้ไม่เกี่ยวข้องอะไรกันระหว่างสัมประสิทธิ์การปรับสภาพกับสัมประสิทธิ์พลังงาน ตามที่กล่าวถึงไปก่อนหน้านี้ในหมายเหตุ 7 ดูเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยของ Xu *et al*.

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

Huh, S., Moon, G., & Jun, E. (2025). Drag analysis incorporating atomic oxygen adsorption in very-low-Earth-orbit. *Aerospace Science and Technology, 158*, Article 109900. https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.109900

Jiang, Y., Zhang, J., Tian, P., Liang, T., Li, Z., & Wen, D. (2023). Aerodynamic drag analysis and reduction strategy for satellites in very low Earth orbit. *Aerospace Science and Technology, 132*, Article 108077. https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.108077

Xu, C., Caracciolo, A., Jorge, P. D. C., Gouzman, I., Pilinski, M. D., & Minton, T. K. (2026). Inelastic scattering dynamics of hyperthermal O atoms on engineering surfaces relevant to satellites in low Earth orbit. *CEAS Space Journal, 18*(3), 541–558. https://doi.org/10.1007/s12567-025-00628-5

เอกสารอ่านเพิ่มเติม

Crisp, N. H., Roberts, P. C. E., Livadiotti, S., et al. (2020). The benefits of very low Earth orbit for Earth observation missions. *Progress in Aerospace Sciences, 117*, Article 100619. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2020.100619

Welle, R. P., Venturini, C. C., Hinkley, D. A., & Gangestad, J. W. (2021). The DiskSat: A two-dimensional containerized satellite. In *Proceedings of the 35th Annual Small Satellite Conference* (Paper SSC21-XIII-12). https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2021/all2021/227/

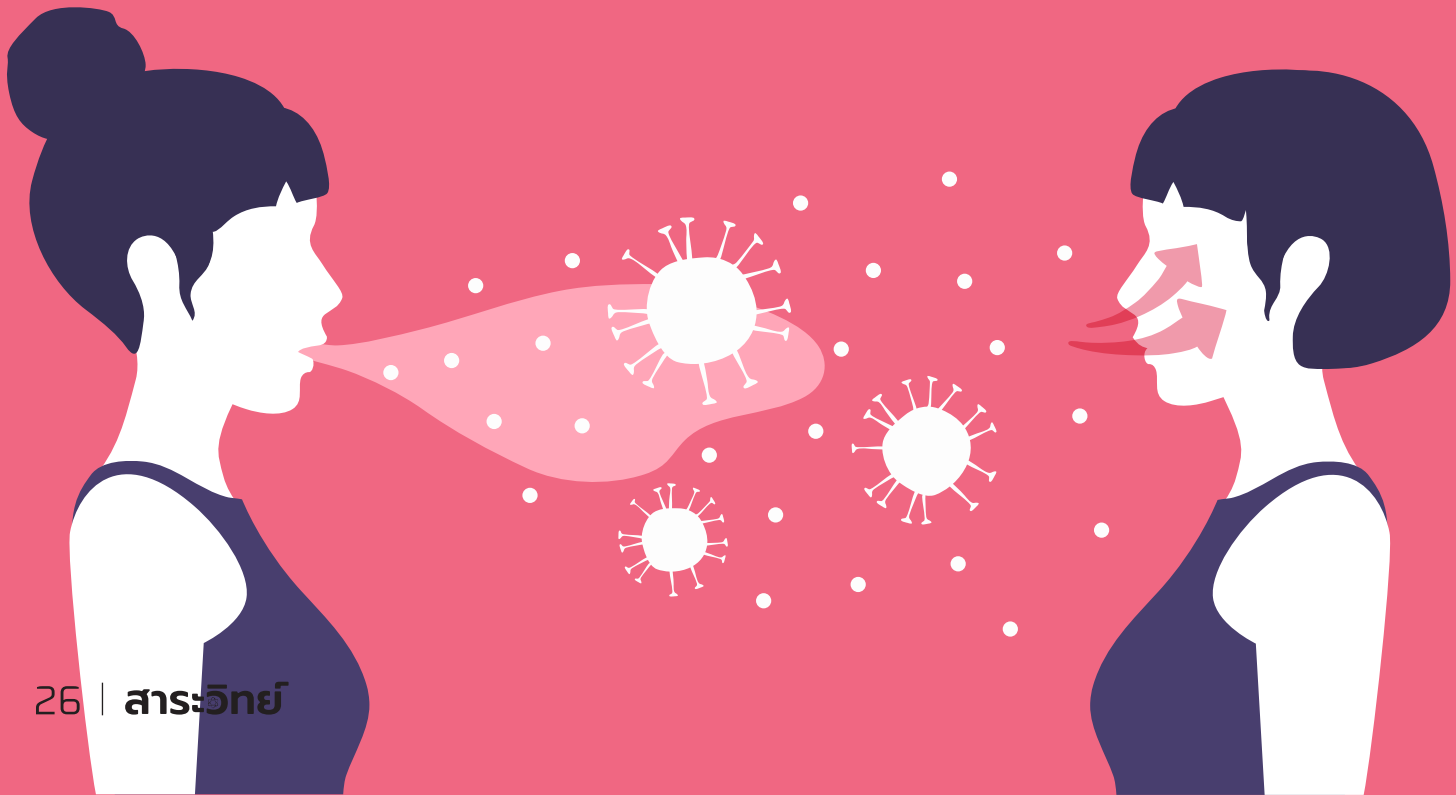


ดร.อนันต์ จงแก้ววัฒนา

เจาะเส้นทางลับ ไวรัสทางเดินหายใจ ติดเชื้อ-แพร่เชื้อได้อย่างไร ?

โรคติดเชื้อระบบทางเดินหายใจไม่ว่าจะเป็นไข้หวัดใหญ่, โควิด 19, RSV หรือแม้แต่ไวรัสสายพันธุ์ใหม่ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ล้วนเป็นความท้าทายสำคัญต่อทั้งระบบสาธารณสุขและเศรษฐกิจ บทความปริทัศน์ที่ตีพิมพ์ในวารสาร *Journal of Virology* เมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2569 ได้นำเสนอการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับกลไกการแพร่กระจายของไวรัสทางเดินหายใจ โดยผสานองค์ความรู้จากหลายสาขา ทั้งไวรัสวิทยา ภูมิคุ้มกัน-วิทยา และฟิสิกส์ของละอองลอย เพื่ออธิบายภาพรวมของการแพร่เชื้ออย่างเป็นระบบ

• • •

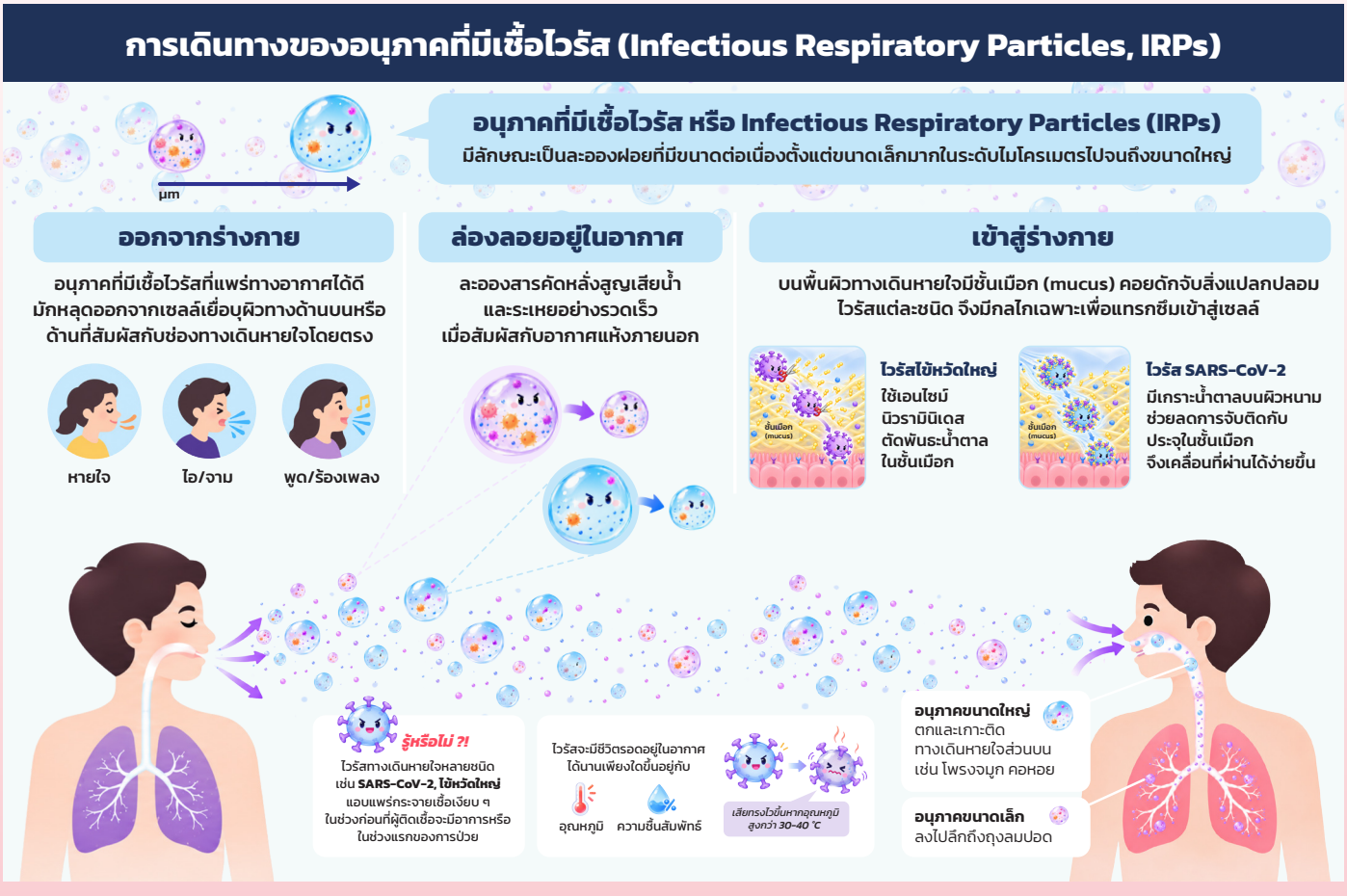


บทความระบุถึงกระบวนการแพร่เชื้อผ่าน 3 ขั้นตอนสำคัญที่เชื่อมโยงกันอย่างแยกไม่ออก ได้แก่ **จังหวะการสูดหายใจเข้า การหายใจออกเพื่อปล่อยเชื้อ และการล่องลอยของอนุภาคในอากาศ** ในแต่ละขั้นตอน คุณสมบัติของไวรัสจะมีปฏิสัมพันธ์กับกลไกทางสรีรวิทยาของร่างกายและสภาพแวดล้อมรอบตัวอย่างซับซ้อน ความเข้าใจในกระบวนการเหล่านี้จึงช่วยให้เราเห็นภาพได้ชัดเจนขึ้นว่า ไวรัสเข้าสู่ร่างกาย หลบหลีกด่านป้องกัน ถูกขับออกมา และแพร่จากคนหนึ่งไปสู่อีกคนหนึ่งได้อย่างไร

เมื่อพิจารณาในขั้นตอนของการสูดหายใจเข้า การเดินทางของอนุภาคที่มีเชื้อไวรัสหรือ infectious respiratory particles (IRPs) ไม่ได้แบ่งแยกเป็นเพียงละอองฝอยขนาดใหญ่หรือละอองลอยขนาดเล็กแบบตายตัว แต่มีลักษณะเป็นขนาดต่อเนื่องตั้งแต่ขนาดเล็กมากในระดับไมโครเมตรไปจนถึงขนาดใหญ่ อนุภาคขนาดใหญ่ส่วนใหญ่จะตกลงและเกาะติดบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน เช่น โพรงจมูก คอหอย ขณะที่อนุภาคขนาดเล็กมากล่องลอยตามกระแสลมหายใจเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนลึก และอาจเดินทางไปถึงบริเวณถุงลมปอดได้

เมื่ออนุภาคเหล่านี้สัมผัสกับพื้นผิวทางเดินหายใจ ด่านแรกที่ต้องเจอ คือ ชั้นเมือก (mucus) ซึ่งทำหน้าที่เสมือนตาข่ายเหนียวข้นคอยดักจับสิ่งแปลกปลอม ไวรัสแต่ละชนิดจึงต้องมีกลไกเฉพาะในการหลบหลีก เช่น ไวรัสไข้หวัดใหญ่ใช้เอนไซม์นิวรามินิเดส (neuraminidase) ช่วยตัดพันธะน้ำตาลเพื่อไม่ให้ติดค้างอยู่ในชั้นเมือก ในขณะที่ SARS-CoV-2 อาศัยโครงสร้างโมเลกุลน้ำตาลบนพื้นผิวโปรตีนหนามเพื่อทำให้ผิวไวรัสมีสภาพทางไฟฟ้าที่ไม่เหนี่ยวนำหรือเกาะติดกับเมือกทางเดินหายใจ (ซึ่งมีประจุลบ) เพื่อแทรกซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย นอกจากนี้ อุณหภูมิและเอนไซม์ในแต่ละบริเวณของร่างกายยังมีผลต่อความสำเร็จในการติดเชื้อ โดย SARS-CoV-2 จับกับตัวรับและแบ่งตัวได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 33 องศาเซลเซียสในโพรงจมูก ขณะเดียวกันการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันด่านหน้า เช่น สารกลุ่มอินเตอร์เฟียรอน (interferon) ก็มีบทบาทอย่างมากในการจำกัดไม่ให้ไวรัสลุกลาม

ดังนั้นการติดเชื้อจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับเพียงว่า “ไวรัสเข้าสู่ร่างกายได้หรือไม่” แต่เป็นการแข่งขันกันระหว่างความสามารถของไวรัสในการเดินทาง หลบหลีกด่านป้องกัน และเข้าสู่เซลล์ กับความสามารถของร่างกายในการตรวจจับและกำจัดเชื้อตั้งแต่วินาทีแรกที่ไวรัสเข้าสู่ทางเดินหายใจ



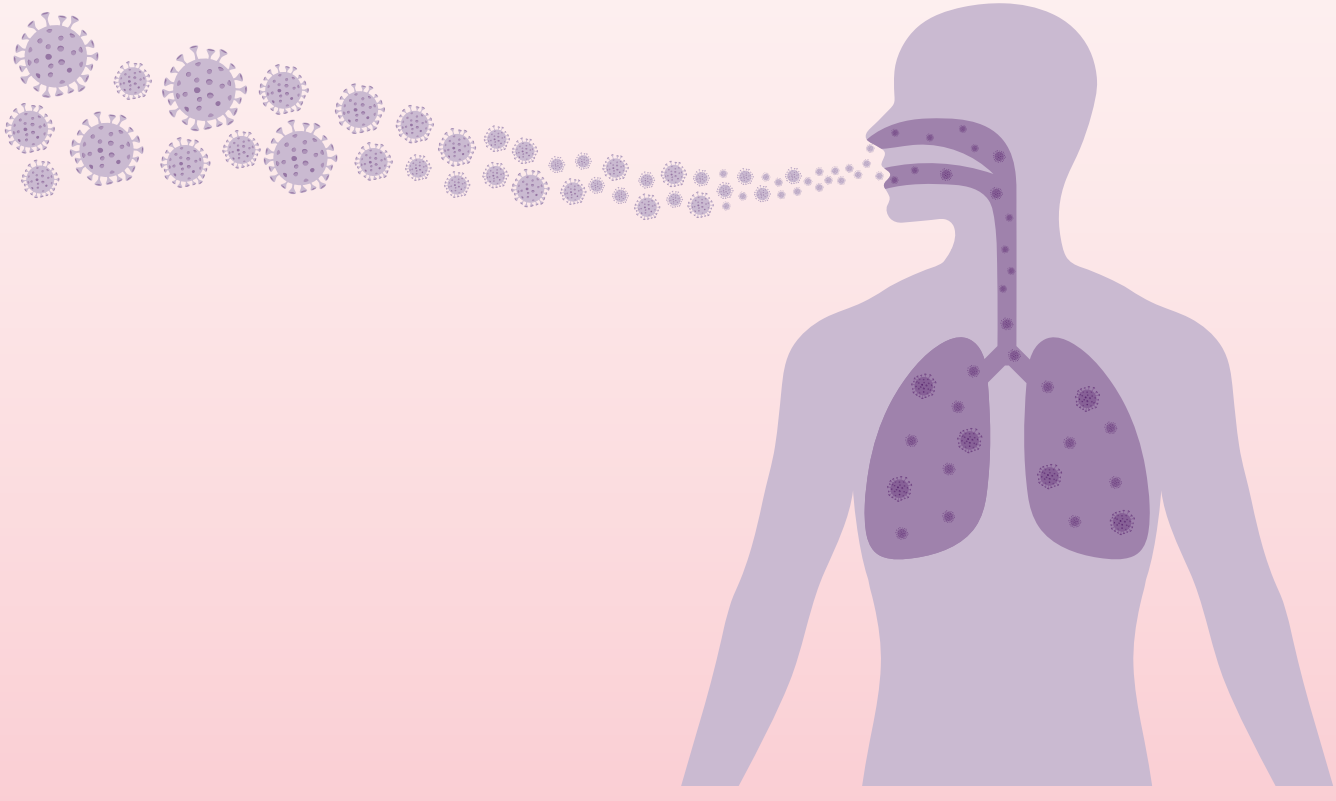
ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาขั้นตอนของการหายใจออก การที่ไวรัสจะถูกขับออกจากร่างกายผู้ติดเชื้อและแพร่สู่ผู้อื่นได้นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางการหลุดออกจากเซลล์เป็นสำคัญ ไวรัสที่ก่อให้เกิดการแพร่เชื้อทางอากาศได้ดีมักเป็นไวรัสที่หลุดออกจากเซลล์เยื่อบุผิวด้านที่สัมผัสกับช่องทางเดินหายใจ (apical surface) โดยตรง และการเพิ่มจำนวนของไวรัสในทางเดินหายใจส่วนบนถือเป็นหัวใจหลักของการขับเชื้อสู่อากาศ

ที่น่าสนใจคือ กิจวัตรในชีวิตประจำวันอย่างการหายใจตามปกติทำให้เกิดอนุภาคขนาดเล็กจากการแตกตัวของฟิล์มของเหลวในปอดส่วนลึก การพูดหรือการร้องเพลงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเส้นเสียงจนเกิดละอองขนาดเล็ก ในขณะที่การไอและการจามจะพ่นละอองสารคัดหลั่งที่มีขนาดหลากหลายออกมาด้วยความเร็วสูง และที่สำคัญคือ ไวรัสทางเดินหายใจหลายชนิด เช่น SARS-CoV-2, ไข้หวัดใหญ่ มักมีปริมาณการปล่อยเชื้อสูงสุดในช่วงก่อนเริ่มมีอาการหรือช่วงที่เริ่มมีอาการในระยะแรก ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายแบบเงียบโดยที่ผู้ติดเชื้อยังไม่รู้ตัว

เมื่ออนุภาคเหล่านี้ถูกพ่นออกมาล่องลอยอยู่ในบรรยากาศ สภาพแวดล้อมภายนอกจะเข้ามามีบทบาททันที ละอองสารคัดหลั่งที่เคยอยู่ในความชื้นสัมพัทธ์สูงภายในร่างกายจะสูญเสียน้ำและระเหยอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศแห้งภายนอก การระเหยทำให้ขนาดของอนุภาคเล็กลงและลอยอยู่ในอากาศได้นานขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้ความเข้มข้นของเกลือและสารเคมีในละอองเปลี่ยนไปซึ่งอาจส่งผลเสียต่อโครงสร้างของไวรัส แต่โปรตีนและเมือกที่ปะปนออกมาสามารถทำหน้าที่เป็นเกราะกำบังช่วยรักษาเสถียรภาพของไวรัสได้ ปัจจัยอย่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดว่า ไวรัสจะมีชีวิตรอดอยู่ในอากาศได้นานเพียงใด โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 30 ถึง 40 องศาเซลเซียสจะเร่งให้อนุภาคไวรัสสูญเสียสภาพเร็วขึ้น

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การทำความเข้าใจการแพร่ระบาดของโรคทางเดินหายใจจำเป็นต้องก้าวข้ามการมองเฉพาะในเชิงระบาดวิทยาแบบเดิมไปสู่การทำความเข้าใจกลไกทางชีววิทยาและฟิสิกส์ร่วมกัน ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาว่าเชื้อไวรัสเปลี่ยนผ่านจากเซลล์เยื่อบุออกมาสู่ละอองอากาศได้อย่างไร หรือเหตุใดไวรัสบางชนิดจึงแพร่กระจายทางอากาศได้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

ความเข้าใจเชิงกลไกที่รอบด้านเช่นนี้จะช่วยให้เรากำหนดมาตรการป้องกันที่ตรงจุด เช่น การปรับปรุงระบบระบายอากาศ การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจ ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการเตรียมพร้อมรับมือกับการระบาดใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน



“Traffy Fondue ซ่อม สร้าง สู้น้ำท่วม” เปิดช่องทางกลาง รับแจ้งซ่อม ช่วยประชาชนหลังน้ำลด



กระทรวง อว. โดย สวทช. ผนึกกำลัง 4 กระทรวง และกรุงเทพมหานคร เปิดระบบ “Traffy Fondue ซ่อม สร้าง สู้น้ำท่วม” เพื่อเป็นช่องทางกลางรับแจ้งความเสียหายและประสานความช่วยเหลือประชาชนหลังน้ำท่วม โดยเชื่อมต่อกับเครือข่ายทีมช่างจากหน่วยงานรัฐ สถาบันการศึกษา อาชีวศึกษา และภาคส่วนต่าง ๆ เพื่อเร่งฟื้นฟูบ้านเรือนและทรัพย์สินของประชาชนอย่างเป็นระบบ

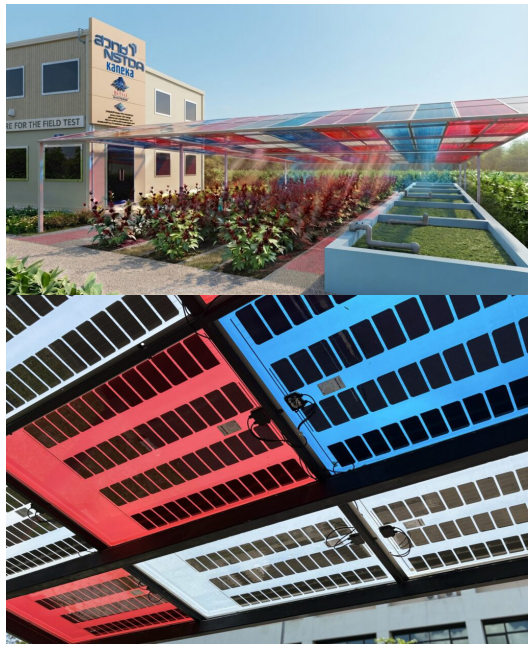
ประชาชนแจ้งขอความช่วยเหลือผ่าน LINE @TraffyFondue เลือกเมนู “ซ่อม สร้าง สู้ น้ำท่วม” ระบุประเภทความเสียหาย แนบภาพถ่าย และแชร์ตำแหน่งที่ต้องการให้เข้าช่วยเหลือ จากนั้นระบบจะส่งต่อเรื่องไปยังหน่วยงานหรือทีมช่างที่เหมาะสม พร้อมให้ประชาชนติดตามสถานะการดำเนินงานได้จนกว่างานจะแล้วเสร็จ โดยการช่วยเหลือครอบคลุมตั้งแต่การซ่อมที่พักอาศัย เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบไฟ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ การทำความสะอาด ศูนย์พักพิง อาหารและเครื่องดื่ม รวมถึงบริการทางการแพทย์ เบื้องต้นเปิดจุดบริการนำร่องใน 7 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพฯ ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการ สมุทรสาคร นครปฐม และกาญจนบุรี มุ่งให้ประชาชน “แจ้งง่าย ส่งถึงหน่วยที่ช่วยได้ และติดตามได้จนจบงาน” เพื่อเร่งฟื้นฟูความเสียหายและช่วยให้ประชาชนกลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติโดยเร็ว

ที่มาและรายละเอียดเพิ่มเติม : สวทช.
https://www.nstda.or.th/home/news_post/traffy-fondue-flood-20261002/

“Colored PV” นวัตกรรมโซลาร์เซลล์หลากสี พร้อมต่อยอดสู่การใช้งานในอาคารและการเกษตร

เนคเทค สวทช. ร่วมกับพันธมิตรพัฒนา “Colored PV” แผงโซลาร์เซลล์ชนิดสีสันสวยงามที่เลือกช่วงคลื่นแสงและควบคุมแสงที่ส่องผ่านได้ โดยมีจุดเด่นคือ น้ำหนักเบา ทนทาน ขนย้ายติดตั้งได้สะดวก และเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงถึง 330 วัตต์ต่อแผง นำไปประยุกต์ใช้ได้กับอาคารตามแนวคิด BIPV (building-integrated photovoltaic) โดยติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของผนัง หน้าต่าง หรือองค์ประกอบอาคาร ช่วยเพิ่มพื้นที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมสนับสนุนการพัฒนาอาคารประหยัดพลังงานและอาคารคาร์บอนต่ำ

ขณะเดียวกัน Colored PV ยังมีศักยภาพสำหรับภาคการเกษตรในรูปแบบอะกริโวลเทอิก (agrivoltaic) โดยแผงควบคุมปริมาณและช่วงคลื่นแสงที่ผ่านลงสู่พืช ทำให้ออกแบบให้เหมาะกับความต้องการของพืชแต่ละชนิด ช่วยลดความร้อนและการระเหยของน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ให้ผลิตไฟฟ้าและอาหารได้พร้อมกัน นับเป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมที่มีศักยภาพในการสนับสนุนเกษตรอัจฉริยะ การใช้พลังงานสะอาด และการลดการปล่อยคาร์บอนของประเทศไทย



ที่มาและรายละเอียดเพิ่มเติม : สวทช.
https://www.nstda.or.th/home/news_post/colored-pv-bipv-agrivoltaics-innovation-20260930/

“CottonPro” นวัตกรรมเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ลดสารเคมีผลิตสำลี 60% คว้ารางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ



สวทช. คว้ารางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ ประจำปี 2569 รางวัลชนะเลิศด้านสิ่งแวดล้อม จากผลงาน “CottonPro” นวัตกรรมเอนไซม์จากจุลินทรีย์สำหรับกระบวนการผลิตสำลีที่พัฒนาโดยทีมวิจัยเทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ ไบโอเทค สวทช. เพื่อใช้ทดแทนสารเคมีอันตรายในขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวสำลี

จุดเด่นของ CottonPro คือ ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ช่วยลดการใช้สารเคมีได้สูงสุดถึงร้อยละ 60 พร้อมทั้งลดการใช้น้ำ พลังงาน และระยะเวลาในกระบวนการผลิตสำลี โดยนำไปใช้ร่วมกับเครื่องจักรเดิมและกระบวนการผลิตเดิมได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนระบบ ทำให้ได้สำลีคุณภาพสูงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ยกระดับภาคอุตสาหกรรมให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตอบโจทย์อุตสาหกรรมคาร์บอนต่ำ และสร้างมูลค่าเชิงพาณิชย์กว่า 250 ล้านบาท

ที่มาและรายละเอียดเพิ่มเติม : สวทช.
https://www.nstda.or.th/home/news_post/nstda-wins-2-national-innovation-awards-2026-20261003/

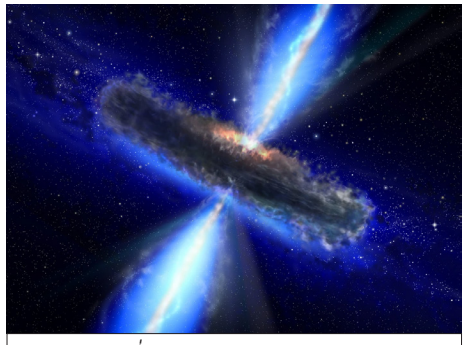
“DAPBot” หนุนเกษตรกรใช้ชีวภัณฑ์ ลดสารเคมี คว้ารางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ

ทีมวิจัยเทคโนโลยีการควบคุมทางชีวภาพ ไบโอเทค สวทช. พัฒนา DAPBot (แดปบอต) แพลตฟอร์มสนับสนุนการจำแนกศัตรูพืชและการเข้าถึงชีวภัณฑ์การเกษตร เพื่อเป็นผู้ช่วยดิจิทัลบนแอปพลิเคชัน LINE สำหรับเกษตรกรในการวินิจฉัยและจำแนกศัตรูพืชได้อย่างถูกต้อง เชื่อมโยงช่องทางให้เกษตรกรเข้าถึงชีวภัณฑ์คุณภาพได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงนำข้อมูลสภาพอากาศมาประกอบการแนะนำแนวทางการใช้ชีวภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดการใช้สารเคมีอันตราย และยกระดับสู่เกษตรปลอดภัยอย่างยั่งยืน ล่าสุดผลงาน DAPBot ได้รับรางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ ประจำปี 2569 รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 ด้านสังคม สะท้อนศักยภาพของงานวิจัยไทยในการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาสนับสนุนภาคการเกษตรและสร้างประโยชน์ให้เกิดขึ้นจริงแก่เกษตรกร



ที่มาและรายละเอียดเพิ่มเติม : สวทช.
https://www.nstda.or.th/home/news_post/nstda-wins-2-national-innovation-awards-2026-20261003/

กล้องโทรทรรศน์เจมส์ เว็บบ์ เผยปริศนา กำเนิดดาวเคราะห์อาจเป็น “การแข่งขันกับเวลา”



ที่มาภาพ : ESA/NASA, the AVO project and Paolo Padovani

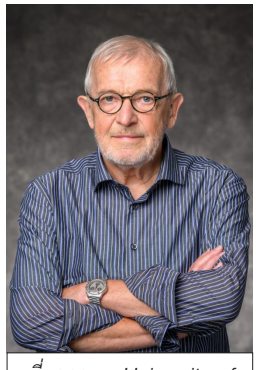
ทีมนักดาราศาสตร์นำโดย นามัน บาจาจ (Naman Bajaj) จากมหาวิทยาลัยแอริโซนา สหรัฐอเมริกา ใช้อุปกรณ์วัดอินฟราเรดช่วงกลาง (mid-infrared instrument, MIRI) ของกล้องโทรทรรศน์อวกาศเจมส์ เว็บบ์ ศึกษาจานดาวเคราะห์ก่อนเกิดรอบดาวฤกษ์อายุน้อยคล้ายดวงอาทิตย์ 72 ระบบ พบว่า แก๊สและฝุ่นซึ่งเป็นวัตถุดิบสร้างดาวเคราะห์ถูกพัดออกจากระบบอย่างรวดเร็ว ทำให้ดาวเคราะห์ โดยเฉพาะดาวเคราะห์แก๊สยักษ์ ต้องเร่งก่อตัวภายในช่วงเวลาเพียงไม่กี่ล้านปีแรก

นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการสูญเสียแก๊สของจานดาวเคราะห์ก่อนเกิดจะเปลี่ยนไปตามช่วงอายุของระบบดาว โดยในระบบดาวอายุน้อย แก๊สส่วนใหญ่ยังไหลเข้าสู่ดาวฤกษ์และถูกสนามแม่เหล็กขับออกไปด้วยความเร็วสูง พัดพามวลสารออกจากจานดาวเคราะห์ แต่เมื่อระบบมีอายุมากขึ้น การไหลของแก๊สจะลดลง รังสีอัลตราไวโอเลตและรังสีเอกซ์จากดาวฤกษ์เข้าถึงจานดาวเคราะห์ได้มากขึ้น จนเกิดความร้อนที่ทำให้แก๊สหลุดออกจากระบบผ่านกระบวนการ “การระเหยด้วยแสง” ส่งผลให้วัตถุดิบสำหรับการก่อตัวของดาวเคราะห์ค่อย ๆ ลดลง

ผลการค้นพบช่วยให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจว่า เหตุใดดาวเคราะห์แก๊สยักษ์อย่างดาวพฤหัสบดีและดาวเสาร์จึงต้องเร่งสะสมมวลสารในช่วงแรกของการก่อตัว และยังเป็นกุญแจสำคัญในการอธิบายความหลากหลายของระบบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ

ที่มาและรายละเอียดเพิ่มเติม : University of Arizona
https://news.arizona.edu/news/planet-formation-race-against-time-according-new-u-research

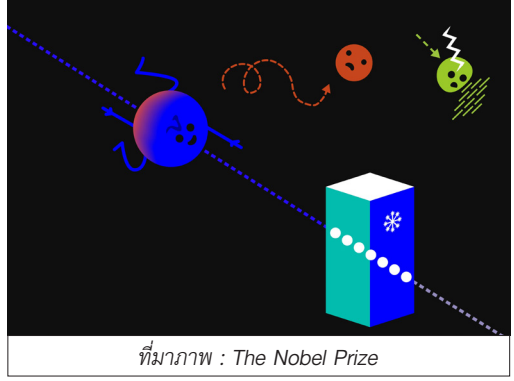
“ฟรานซิส ฮาลเซน” คว้าโนเบลฟิสิกส์ 2026 จากผลงานค้นพบนิวตริโนพลังงานสูงจากอวกาศ



ที่มาภาพ : University of Wisconsin–Madison

ราชบัณฑิตยสภาวิทยาศาสตร์แห่งสวีเดนมอบรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี ค.ศ. 2026 แก่ ศาสตราจารย์ฟรานซิส ฮาลเซน (Francis Halzen) นักฟิสิกส์จากมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน–แมดิสัน สหรัฐอเมริกา จากการมีส่วนสำคัญในการพัฒนาหอดูดาวนิวตริโนไอซ์คิวบ์ (IceCube Neutrino Observatory) และการค้นพบนิวตริโนพลังงานสูงที่มีต้นกำเนิดจากวัตถุท้องฟ้าในห้วงอวกาศลึก

IceCube เป็นหอดูดาวขนาดใหญ่ที่ฝังเครื่องตรวจจับไว้ในน้ำแข็งใต้พื้นผิวบริเวณขั้วโลกใต้ เพื่อจับแสงวาบที่เกิดขึ้นเมื่อนิวตริโนพุ่งชนนิวเคลียสของอะตอมในน้ำแข็ง นิวตริโนเป็นอนุภาคที่มีปฏิสัมพันธ์กับสสารน้อยมากจึงเดินทางจากห้วงอวกาศมายังโลกและนำข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดพลังงานสูงในเอกภพมาสู่นักวิทยาศาสตร์ได้



ที่มาภาพ : The Nobel Prize

การทำงานของหอดูดาวนิวตริโนไอซ์คิวบ์ นำไปสู่การค้นพบนิวตริโนพลังงานสูงนอกระบบสุริยะได้เป็นครั้งแรก ช่วยให้นักดาราศาสตร์ระบุพิกัดของแหล่งกำเนิดพลังงานมหาศาล เช่น หลุมดำมวลยิ่งยวด อีกทั้งยังช่วยขยายความเข้าใจเกี่ยวกับสภาวะสุดขั้วในจักรวาล และเปิดโอกาสสู่การค้นพบปรากฏการณ์อวกาศใหม่ ๆ ที่ยังไม่เคยรู้จักมาก่อนในอนาคต

ที่มาและรายละเอียดเพิ่มเติม : The Nobel Prize
https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2026/press-release/

โรคฉี่หนู (Leptospirosis)



สาเหตุของโรคฉี่หนู "เกิดจากการติดเชื้อเบคทีเรีย"

การสัมผัสเลือด เนื้อเยื่อ จากการถูกสัตว์ที่ติดเชื้อกัด

เช่น หนู โค กระบือ แพะ แกะ สุนัข สุกร เป็นต้น

อาการ



- คัดจมูก มีน้ำมูก
- ปวดเมื่อยตามตัว
- ไอ เจ็บคอ
- ไข้ ปวดศีรษะ
- ปวดบ่องรุนแรง
- ตัวเหลือง ตาเหลือง



<u>วิธีการรักษา</u> คือ รักษาตามอาการ ภายใต้การดูแลของแพทย์ หรือหากมีอาการปวด ให้กินยาแก้ปวด เช่น พาราเซตามอล (Paracetamol)



หากมีอาการข้างต้นควรรีบพบแพทย์

การป้องกัน



หากต้องสัมผัสน้ำที่ท่วมขัง ควรสวมรองเท้าบูท ถุงมือ



หลีกเลี่ยงไม่ไปสัมผัสปัสสาวะสัตว์



กินอาหารสุกใหม่ และควรล้างมือก่อนรับประทานอาหาร



กำจัดขยะให้ถูกต้อง ไม่ให้เป็นแหล่งอาหารของหนูได้

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา Food and Drug Administration

ผลิตโดยกองพัฒนาศักยภาพผู้บริโภค LINE@ /FDATHAI





ควรเตรียมอาหารอะไรบ้าง ในกระเป๋าฉุกเฉิน

กระทรวงสาธารณสุข MINISTRY OF PUBLIC HEALTH

1. ผลิตภัณฑ์อาหาร



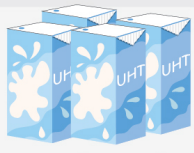
อาหารกระป๋อง



บิสกิต แครกเกอร์



ช็อกโกแลต



นม (UHT)

เก็บไว้ได้นาน รับประทานง่าย และให้พลังงานสูง

2. ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม



เครื่องดื่มเกลือแร่



น้ำดื่มสะอาด
อย่างน้อย 3 ลิตรต่อคนต่อวัน (สำหรับ 3 วัน)



แนวทางในการจัดเตรียมอาหารในกระเป๋าฉุกเฉิน

- ตรวจสอบวันหมดอายุของอาหารอย่างสม่ำเสมอ
- จัดเก็บในอุณหภูมิที่เหมาะสม
- ก่อนการบริโภคอาหารควรตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ สี กลิ่น รส ของอาหารก่อนบริโภค

ข้อควรระวัง !

อาหารที่เตรียมในกระเป๋าฉุกเฉินควรมีการแยกส่วนชัดเจน ต้องไม่ปะปนกับผลิตภัณฑ์อื่น เพราะอาจเกิดการปนเปื้อน และเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้



สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา Food and Drug Administration

ข้อมูล ณ วันที่ 25/08/69
ผลิตโดย กองพัฒนาศักยภาพผู้บริโภค

/FDATHAI

สาระวิทย์

คู่มือความปลอดภัยและการเคลื่อนย้าย รถยนต์ไฟฟ้าหลังโดนน้ำท่วม



การประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น

บันทึกหลักฐาน และ ติดต่อบริษัท ประกันภัย



ประเมินความเสี่ยงตามระดับน้ำที่ท่วมขัง

เสี่ยงน้อย

ต่ำกว่าใต้ท้องรถ





ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และช่วงล่างเสียหาย

เสี่ยงสูง

สูงกว่าพื้นรถ





แพ็กแบตเตอรี่ มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์เสียหาย

⚠ อาจมีไฟรั่วบริเวณรอบรถ

เสี่ยงสูงมาก

สูงกว่ากระจกข้าง หรือมิดหลังคา





ระบบไฟฟ้าทั้งหมด เบาะ และคอนโซลเสียหาย

⚠ อาจมีไฟรั่วบริเวณรอบรถ

ข้อปฏิบัติและการเคลื่อนย้ายอย่างปลอดภัย



ห้ามสตาร์ต ห้ามกดปุ่ม ON



ห้ามชาร์จ



ห้ามลากหรือเข็น ให้ล้อหมุน



ห้ามจับสายไฟสีส้ม โดยตรง

การเคลื่อนย้ายกรณีเสี่ยงน้อย



- ถอดขั้วแบตเตอรี่ขั้วลบ 12V
- ล็อกล้อไม่ให้หมุน
- ใช้รถยกสไลด์เท่านั้น
- ควรมีผ้าคลุมกันไฟและอุปกรณ์ดับเพลิง

การรับมือกรณีเสี่ยงสูงถึงสูงมาก



รอน้ำลดต่ำกว่าใต้ท้องรถ ทิ้งรถให้แห้งอย่างน้อย 24 ชม.



เคลียร์วัตถุไวไฟที่อยู่รอบรถในระยะ 15 เมตร พร้อมอุปกรณ์ดับเพลิง



เคลื่อนย้ายตามขั้นตอนเสี่ยงน้อย โดยผู้เชี่ยวชาญ EV เท่านั้น

ที่มา : ศูนย์ความเป็นเลิศด้านยานยนต์ไฟฟ้าประเทศไทย (TECE) สกว.



รวิศ ทัศคร
เคยเป็นกรรมการบริหารและสมาชิกทีมบรรณาธิการวารสารทางช้างเผือก สมาคมดาราศาสตร์ไทย
เคยทำงานเป็นนักเขียนประจำนิตยสาร UpDATE นิตยสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของบริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น (มหาชน) จำกัด
ปัจจุบันรับราชการเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ทำไมเรายังไม่วาร์ป !??
ตอนที่ 1

หลายคนคงจะเคยเห็นการทำงานของเครื่องยนต์วอร์ป (warp drive) หรือที่คนไทยเรียกกันติดปากว่า วาร์ป ซึ่งเป็นที่รู้จักคุ้นตากันดีจากฉากการเดินทางด้วยความเร็วเหนือแสงในภาพยนตร์ไซไฟฟอร์มยักษ์ต่าง ๆ กัปตันออกคำสั่งเพียงประโยคเดียว ยานก็พุ่งทะยานข้ามระยะทางระหว่างดาว แน่นอนว่าเรายังไม่เห็นสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมเกี่ยวกับการเดินทางแบบนี้ขึ้นมาในปัจจุบัน และหากมันจะเป็นจริงได้ก็คงจะต้องใช้เวลาอีกนานในอนาคต

• • •

แต่ท่ามกลางภาพจำที่อยู่ในจินตนาการนั้น มีคนเริ่มพิจารณาถึงพัฒนาทฤษฎีของการเดินทางชนิดนี้ขึ้นในโลกแห่งความจริงบ้างแล้ว ถ้าถามนักฟิสิกส์ว่าเราจะสร้างเครื่องยนต์แบบวาร์ปนั้นได้อย่างไร คำตอบกลับเริ่มต้นด้วยโจทย์ที่แปลกกว่าการหาเชื้อเพลิงเสียอีกครับ

เราต้องทำให้ระยะทางและเวลารอบยานมีโครงสร้างต่างไปจากเดิม แล้วหาว่าธรรมชาติมีสสารชนิดใดที่รองรับโครงสร้างนั้นได้ เพราะในปัจจุบันการคำนวณบอกเราได้ว่าเรขาคณิตบางชนิดจะทำให้ผู้สังเกตที่อยู่ไกล ๆ เห็นฟองปริภูมิเวลาเคลื่อนด้วยอัตราเหนือแสงได้ โดยผู้โดยสารยังไม่แซงแสงในกรอบเฉพาะที่ แต่ราคาที่ต้องจ่ายในการเดินทางจะอยู่ในรูปพลังงานลบ ความเค้นแอนไอโซทรอปิก ขอบฟ้าเชิงเหตุผล และผลควอนตัมที่ยังไม่มีวิธีควบคุม

นี่คือหัวใจของเครื่องยนต์วาร์ปที่ศึกษากันในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป เราเขียนแบบจำลองการเดินทางเช่นนี้ได้แล้ว แต่ยังไม่มีวิธีสร้างฟองวาร์ปสำหรับขนส่งยานจริง ตอนนี้มีผลงานตีพิมพ์รุ่นใหม่ ๆ มาช่วยคลี่คลายข้อจำกัดบางข้อ โดยเฉพาะเรื่องพลังงานบวกในกรณีต่ำกว่าแสง ส่วนการเดินทางเหนือแสงยังมีปัญหาใหญ่ทั้งการสร้าง การควบคุม และความเสถียร

แนวคิดของระบบขับเคลื่อนวาร์ปเริ่มต้นจากการกลับลำดับโจทย์ตามปกติของสัมพัทธภาพทั่วไป แทนที่จะกำหนดสสารแล้วถามว่าสสารทำให้ปริภูมิเวลาโค้งอย่างไร เราก็กำหนดเรขาคณิตที่ต้องการก่อน แล้วใช้สมการสนามไอน์สไตน์คำนวณย้อนกลับว่าเทนเซอร์พลังงาน–โมเมนตัม (tensor energy–momentum, stress-energy tensor) ชนิดใดจึงจะรองรับเรขาคณิตนั้นได้



แนวคิดฟองวาร์ปของอัลคูบิเอร์เรที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1994

ในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป อวกาศสามมิติกับเวลารวมกันเป็นกาลอวกาศ (spacetime) หรือที่เรียกว่า ปริภูมิเวลา สสารและพลังงานสัมพันธ์กับความโค้งของกาลอวกาศ และรูปทรงของกาลอวกาศก็มีผลต่อเส้นทางของวัตถุและแสง สิ่งที่ใช้ระบุว่าระยะทางและช่วงเวลาวัดอย่างไรในแต่ละบริเวณ เรียกว่า เมตริก (metric) เมตริกจึงเป็นคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ของกาลอวกาศ ไม่ใช่หมายถึงตัวเครื่องยนต์หรือวัสดุชนิดหนึ่งชนิดใดครับ

ในปี ค.ศ. 1994 มิเกล อัลคูบิเอร์เร (Miguel Alcubierre) เสนอเมตริกที่มีบริเวณภายในเกือบเป็นแนวราบล้อมรอบยานและมีบริเวณเปลี่ยนผ่านซึ่งเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน เราเรียกโครงสร้างนี้ว่า ฟองวาร์ป (warp bubble) ส่วน “ผนังฟอง” หมายถึง บริเวณที่มีการเปลี่ยนผ่านของเรขาคณิตจากภายในไปสู่ภายนอก ไม่ได้หมายความว่ามีผนังแข็ง ๆ เหมือนลำตัวยาน หรือโล่พลังเรืองแสงแบบในภาพยนตร์แต่อย่างใด



ความหนาแน่นของพลังงานรอบ ๆ ฟองวาร์ปแบบอัลคูบิเอร์เร

ถ้าใครติดตามบทความที่กล่าวถึงเรื่องนี้ในช่วงสี่ห้าปีที่ผ่านมาก็จะคุ้นเคยกับคำอธิบายเกี่ยวกับการที่อวกาศหดตัวด้านหน้ายานและขยายตัวด้านหลัง ภาพนี้ช่วยให้คนทั่วไปเข้าใจเมตริกของอัลคูบิเอร์เรได้บางส่วน แต่สิ่งที่เราเข้าใจกันอยู่นี้ก็ไม่ใช่นิยามของวาร์ปทุกแบบ ตัวอย่างเช่น ยังมีแบบจำลองการวาร์ปอีกแบบชื่อว่าแบบจำลองของนาตารีอู (Natário) ทำให้ปริมาตรเล็ก ๆ ที่ติดตามไปกับผู้สังเกตชุดหนึ่งไม่อาจขยายหรือหดตัวได้แม้ยังมีโครงสร้างวาร์ปอยู่ การเปลี่ยนรูปทรงของกาลอวกาศจึงมีรายละเอียดมากกว่าภาพ “บีบหน้า ยืดหลัง” ที่บทความต่าง ๆ นำเสนอกันจนเป็นภาพจำทั่วไปในปัจจุบัน

อาจมีคำถามว่า แล้วทำไมผู้สังเกตยานจากระยะไกลจึงเห็นยานเคลื่อนที่วิ่งด้วยความเร็วเหนือแสง แต่ไม่ได้เร็วเหนือแสงถ้าเราวัดความเร็วใกล้ ๆ ยาน

สำหรับการอธิบายแบบง่ายของเรื่องนี้ให้สมมติว่าต้นทางกับปลายทางอยู่ห่างกันเป็นระยะ D ในกาลอวกาศพื้นหลังที่เกือบราบและใช้นาฬิกาซึ่งกำหนดให้เดินตรงกันในกรอบนั้น แสงจะใช้เวลา D/c โดย c คือ อัตราเร็วแสงในสุญญากาศ การเดินทางแบบวาร์ป

ที่เรียกว่าเหนือแสงมุ่งให้ไปถึงปลายทางในเวลาสั้นกว่าค่านี้โดยเปลี่ยนกาลอวกาศที่ใช้เดินทาง การเปรียบเทียบนี้ไม่ได้หมายความว่ายานแซงลำแสงที่วิ่งอยู่ข้าง ๆ ยานในกาลอวกาศเดียวกัน

ในเมตริกอัลกูบิเอร์เร ความเร็วเชิงพิกัดของศูนย์กลางฟองอาจมากกว่า c ได้ ขณะที่เส้นทางของผู้โดยสารในกาลอวกาศยังเป็นเส้นโลกแบบไทม์ไลก์ (timelike worldline) ซึ่งเป็นชนิดของเส้นทางที่วัตถุมีมวลเดินตามได้ อย่างไรก็ตามความเร็วเชิงพิกัดมากกว่า c เพียงอย่างเดียวไม่ใช่หลักฐานของการเดินทางเหนือแสงที่มีความหมายทางกายภาพ ต้องตรวจว่าการเปรียบเทียบระหว่างต้นทางกับปลายทางเปลี่ยนไปจริง ไม่ใช่เพียงผลของการเลือกพิกัด

ความน่าสนใจของงานวาร์ปอยู่ที่วิธีตั้งโจทย์ด้วยครับ ตามปกติเราอาจเริ่มจากสสารก้อนหนึ่ง แล้วคำนวณว่ามันทำให้กาล-อวกาศโค้งอย่างไร แต่งานพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับการวาร์ปจำนวนมาก เริ่มจากกำหนดกาลอวกาศที่อยากได้ หรือกำหนดเมตริกที่ให้การเดินทางตามต้องการ แล้วค่อยใช้สมการของไอน์สไตน์คำนวณย้อนกลับว่าสสารและพลังงานต้องมีลักษณะแบบไหน

อธิบายเปรียบเทียบก็คล้ายกับการที่เราออกแบบสะพานให้มีรูปร่างที่ต้องการก่อน แล้วค่อยคำนวณว่าแต่ละตำแหน่งต้องรับแรงเท่าไร หากคำตอบต้องการวัสดุที่ยังไม่มีอยู่ การคำนวณสะพานก็ยังมีประโยชน์ แต่ยังสั่งผู้รับเหมาให้ลงมือสร้างไม่ได้

ฟองวาร์ปอยู่ในสถานการณ์คล้ายกัน เรามีคำอธิบายรูปทรง แต่ยังต้องหาแหล่งกำเนิดที่ทำให้รูปทรงนั้นเกิดขึ้นได้จริง

สมการที่เชื่อมทั้งสองด้านคือ

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

ทางซ้ายของสมการประกอบด้วยเทนเซอร์ไอน์สไตน์ $G_{\mu\nu}$ ซึ่งสร้างจากความโค้ง และพจน์ค่าคงที่จักรวาล $\Lambda g_{\mu\nu}$ ส่วนทางขวาคือเทนเซอร์พลังงาน–โมเมนตัม $T_{\mu\nu}$ คูณด้วยตัวประกอบที่มีค่าคงที่ความโน้มถ่วง G และอัตราเร็วแสง c แม้สัญลักษณ์ G จะปรากฏทั้งสองแห่ง แต่ $G_{\mu\nu}$ กับค่าคงที่ G เป็นคนละปริมาณ

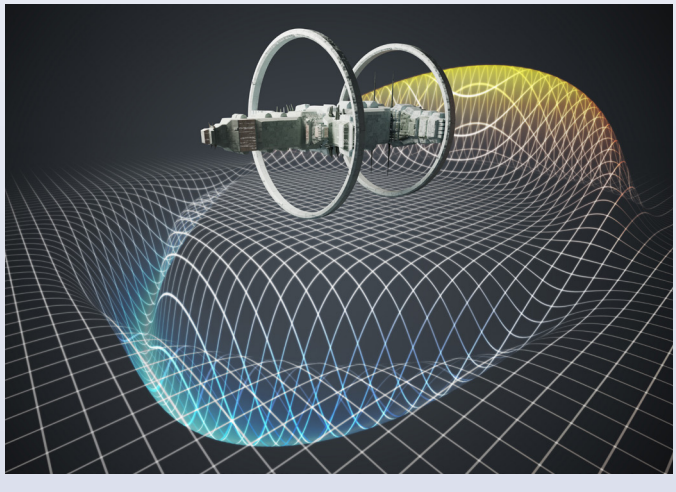
สิ่งที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับคือ เทอมของเทนเซอร์พลังงาน–โมเมนตัมมองอย่างง่ายได้ว่าเป็นสิ่งที่บอกทั้งพลังงานต่อปริมาตร การไหลของพลังงาน และแรงดันหรือความเค้นในทิศต่าง ๆ การสร้างฟองจึงต้องจัดทุกส่วนให้เข้ากัน การเติมพลังงานให้มากพอเพียงอย่างเดียวไม่ตอบโจทย์

ดังนั้นคำถามว่า “ต้องใช้พลังงานเท่าไรในการสร้างฟองวาร์ป” จึงยังไม่ครบ ต้องถามด้วยว่าพลังงานและความเค้นต้องกระจายอยู่ที่ใด (ของฟองวาร์ป) มีเครื่องหมายอย่างไร และเปลี่ยนไปตามเวลาอย่างไร

พอเราคำนวณ $T_{\mu\nu}$ ย้อนจากเมตริกได้แล้ว เรายังต้องหาว่ามีสสารหรือสนามทางกายภาพแบบใดบ้างที่ให้เทนเซอร์แบบนั้นได้จริงหรือไม่ รวมถึงต้องตรวจสมการการเคลื่อนที่ของสสาร เงื่อนไขขอบเขต และความเสถียร การได้คำตอบทางเรขาคณิตจึงเป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการศึกษาความเป็นไปได้ของการสร้างเครื่องยนต์แบบนี้ขึ้นมา ไม่ใช่แบบประกอบเครื่องยนต์สำเร็จรูปที่พร้อมนำไปสร้างได้แบบในหนัง

แม้ภายในฟองจะเกือบราบ แต่บริเวณผนังต้องเชื่อมกาล-อวกาศภายในเข้ากับภายนอก การเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันรูปร่างจึงทำให้ความโค้งและองค์ประกอบของ $T_{\mu\nu}$ มีค่ามากในบริเวณนี้ การทำผนังให้บางลงไม่ได้ลดภาระเสมอไป เพราะค่าของฟังก์ชันต้องเปลี่ยนภายในระยะสั้นลง ทำให้อนุพันธ์เชิงพื้นที่มีขนาดสูงขึ้น

ความโค้งทำให้ส่วนต่าง ๆ ของยานมีความเร่งสัมพัทธ์ไม่เท่ากัน เกิดการยืดหรือบีบที่เรียกว่า แรงไทดัล (tidal forces) แม้ศูนย์กลางยานจะตกอย่างอิสระก็ตาม แต่ความรุนแรงที่ยานได้รับขึ้นกับตำแหน่งและขนาดของยานเมื่อเทียบกับบริเวณภายในที่เกือบราบ หากยานอยู่ห่างจากผนังมากก็ไม่ควรนำค่าความโค้งสูงสุดบนผนังมาเท่ากับแรงที่ผู้โดยสารได้รับทันที



การวัดความโค้งด้วยตัวเลขเพียงค่าเดียวอาจทำให้เข้าใจผิด เช่น ริชชีสเกลาร์ (Ricci scalar) อาจเป็นศูนย์ทั้งที่กาลอวกาศยังโค้ง

นักวิจัยจึงศึกษาปริมาณที่คำนวณจากเทนเซอร์ความโค้งและมีค่าไม่เปลี่ยนเมื่อเปลี่ยนพิกัด เรียกว่า อินแวเรียนต์ของความโค้ง (curvature invariant) หลายตัวร่วมกัน รวมถึงส่วนที่สร้างจากเทนเซอร์ริชชีและเทนเซอร์ไวล์ (Weyl tensor) ซึ่งส่วนหลังเกี่ยวข้องกับความโค้งที่ไม่ได้ถูกกำหนดโดยสสารเฉพาะจุดเพียงอย่างเดียว

ภายในสงบแต่ผนังฟองซับซ้อน

หากผู้โดยสารอยู่ในบริเวณเกือบราบ ทำไมฟองจึงยังอันตรายได้ จุดสำคัญอยู่ที่การเชื่อมภายในกับภายนอกครับ ผนังฟองต้องรองรับการเปลี่ยนแปลงของเรขาคณิต หากบังคับให้เปลี่ยนภายในระยะที่สั้นลง ความชันของการเปลี่ยนแปลงอาจสูงขึ้น การทำผนังบางจึงไม่ได้แปลว่าประหยัดพลังงานหรือสร้างง่ายขึ้นเสมอไป

ความโค้งยังทำให้วัตถุใกล้กันมีความเร่งต่างกันจนเกิดการยืดหรือบีบ อย่างไรก็ตามเราไม่ควรเอาความโค้งสูงสุดที่ผนังไปสรุปว่าผู้โดยสารจะถูกฉีกทันที ต้องดูว่ายานมีขนาดเท่าไร อยู่ห่างผนังแค่ไหน และบริเวณภายในเกือบราบกว้างพอหรือไม่

โฮเซ โรดัล (Jose Rodal) นักวิจัยและวิศวกรชาวอเมริกันขยายภาพบริเวณนี้ด้วยการตรวจปริมาณความโค้งหลายชนิด เขาวิเคราะห์เมตริกอัลกูบิเอร์เรและพบโครงสร้างหลายชั้นรอบผนัง ซึ่งสัมพันธ์กับเทนเซอร์พลังงาน–โมเมนตัมที่มีสมบัติความเค้นแตกต่างตามทิศทาง (anisotropic) ผลนี้เตือนว่า แหล่งกำเนิดฟองซับซ้อนกว่าการวางมวลบวกเป็นเปลือกชั้นเดียวแบบการหุ้มยานด้วยเปลือกสสารง่าย ๆ

ส่วนการศึกษาเมตริกนาตารีอูรายงานแอมพลิจูดของปริมาณความโค้งที่นำมาเปรียบเทียบสูงกว่าแบบอัลกูบิเอร์เรราว 35 เท่า ในกรณีที่ใช้ความเร็ว v = c รัศมีฟอง 5 เมตร และพารามิเตอร์ความชัน $\sigma = 4$ เมตร$^{-1}$ เท่ากัน ตัวเลขนี้เป็นผลของกรณีเปรียบเทียบดังกล่าวเท่านั้น ไม่ใช่อัตราส่วนตายตัวของวาร์ปทั้งสองชนิด และตัวเลขนี้ก็ไม่ได้หมายความว่ายานนาตารีอูทุกแบบมีแรงกระทำต่อผู้โดยสารมากกว่า 35 เท่า

การสร้างฟองวาร์ปในสมการเป็นเพียงจุดเริ่มต้น แต่ในโลกจริงเราจะสร้างมันขึ้นมาได้อย่างไร ติดตามต่อในตอนที่ 2 ฉบับหน้าครับ

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

Abellán, G., Bolivar, N., & Vasilev, I. (2023). Alcubierre warp drive in spherical coordinates with some matter configurations. *The European Physical Journal C, 83*(1), 7. https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-11091-5

Alcubierre, M. (1994). The warp drive: Hyper-fast travel within general relativity. *Classical and Quantum Gravity, 11*(5), L73–L77. https://doi.org/10.1088/0264-9381/11/5/001

Bobrick, A., & Martire, G. (2021). Introducing physical warp drives. *Classical and Quantum Gravity, 38*(10), 105009. https://doi.org/10.1088/1361-6382/abdf6e

Fil'chenkov, M., & Laptev, Y. (2017). Galaxy travel via Alcubierre's warp drive. *Acta Astronautica, 139*, 254–257. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.07.011

Finazzi, S., Liberati, S., & Barceló, C. (2009). Semiclassical instability of dynamical warp drives. *Physical Review D, 79*(12), 124017. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.79.124017

Fuchs, J., Helmerich, C., Bobrick, A., Sellers, L., Melcher, B., & Martire, G. (2024). Constant velocity physical warp drive solution. *Classical and Quantum Gravity, 41*(9), 095013. https://doi.org/10.1088/1361-6382/ad26aa

Garattini, R., & Zatrimaylov, K. (2024). Black holes, warp drives, and energy conditions. *Physics Letters B, 856*, 138910. https://doi.org/10.1016/j.physletb.2024.138910

Gonzalez-Diaz, P. F. (2007). Superluminal warp drive and dark energy. *Physics Letters B, 657*(1–3), 15–19. https://doi.org/10.1016/j.physletb.2007.09.041

McMonigal, B., Lewis, G. F., & O'Byrne, P. (2012). Alcubierre warp drive: On the matter of matter. *Physical Review D, 85*(6), 064024. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.85.064024

Natário, J. (2002). Warp drive with zero expansion. *Classical and Quantum Gravity, 19*(6), 1157–1165. https://doi.org/10.1088/0264-9381/19/6/308

Pfenning, M. J., & Ford, L. H. (1997). The unphysical nature of warp drive. *Classical and Quantum Gravity, 14*(7), 1743–1751. https://doi.org/10.1088/0264-9381/14/7/011

Rodal, J. (2023). Visualization and analysis of the curvature invariants in the Alcubierre warp-drive spacetime. *General Relativity and Gravitation, 55*(11), 134. https://doi.org/10.1007/s10714-023-03182-9

Rodal, J. (2024). A closer look at Natário's zero-expansion warp drive. *International Journal of Theoretical Physics, 63*(7), 168. https://doi.org/10.1007/s10773-024-05700-0

Santos-Pereira, O. L., Abreu, E. M., & Ribeiro, M. B. (2026). Shift vector sign reversal in the Alcubierre warp drive spacetime geometry and nonlinear Burgers-type dynamics. *The European Physical Journal Plus, 141*(8), 921. https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-026-08079-5

Santiago, J., Schuster, S., & Visser, M. (2022). Generic warp drives violate the null energy condition. *Physical Review D, 105*(6), 064038. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.064038

Seryakov, D. (2025). Parabolic and hyperbolic shift geometries in warp-drive metrics: Mathematical foundations and causality-regularized models. *The European Physical Journal Plus, 140*(12), 1240. https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-025-07187-y.



ผศ. ดร.ป๋วย อุ่นใจ | http://www.ounjailab.com
นักวิจัยชีวฟิสิกส์ อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา และหัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศด้านพาหะและโรคติดเชื้อด้วยพาหะ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นักสื่อสารวิทยาศาสตร์ นักเขียน ศิลปินภาพสามมิติ และผู้ประดิษฐ์ฟอนต์ไทย มีความสนใจทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี งานศิลปะและบทกวี แอดมินและผู้ร่วมก่อตั้งเพจ FB: ToxicAnt เพราะทุกสิ่งล้วนเป็นพิษ

ดวงจันทร์ อะมีบา เอนเซลาดัส
และขีดจำกัดแห่งชีวิต...ที่คงต้องคิดนิยามใหม่

มาอีกแล้ว ธีมอวกาศ...

มาทีไรมึนทุกที ถามว่าเพราะอะไร ก็เพราะงานวิจัยอวกาศส่วนใหญ่ต้องใช้จินตนาการสูง

• • •

อย่างการส่งผ้าหรือมอสไปในอวกาศ...

ซึ่งก็อาจจะมืดมิด

หรือจริง ๆ อาจจะไม่มืดเท่าไร

เพราะในความเป็นจริง ถ้าไม่ได้อยู่ใต้เงาของดาวหรืออะไรสักอย่าง ก็น่าจะได้แสงจากดาวฤกษ์อย่างดวงอาทิตย์อยู่บ้าง ถ้าภาชนะบรรทุกหรือเพย์โหลด (payload) เปิดให้แสงผ่าน ไม่มีอะไรบัง

บางทีอาจจะได้รับแสงมากกว่าบนผิวโลกด้วยซ้ำ เพราะไม่มีชั้นบรรยากาศมาดูดกลืนและแสงกระเจิงหายไปบางส่วน

แต่มีแสงก็ไม่ได้หมายความว่าจะอยู่ได้

คำถามคือ ถ้าปล่อยพืชออกไปบนดาวสักดวงจะเป็นสปีชีส์ผู้บุกเบิกที่ช่วย terraforming หรือปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของดาวให้เหมาะกับคนได้ไหม

แล้วพวกมันจะมีโอกาสรอดหรือเปล่า หรือที่จริงอาจจะตายหยังเขียดกันหมด พอเจอกับสภาพแวดล้อมอันโหดร้ายของดาวดวงอื่น ๆ

ถ้าเอาไปปล่อยบนพื้นผิวดวงจันทร์แบบไม่มีอะไรปกป้องก็น่าจะไม่รอด เอาเป็นว่าด้วยสภาพแวดล้อมที่แย่จนเกินกว่าคำว่าทุรกันดาร ทั้งความดัน น้ำ อุณหภูมิ รังสี จิปาถะ ถ้าพวกสิ่งมีชีวิตที่เอาขึ้นไปหลุดออกไปก็ไม่น่าจะอยู่กันได้

ผ้า... ไม่น่ารอด

มอส... ไม่น่าจะเติบโตได้

ส่วนคน... ไม่ต้องพูดถึง ไม่รอดแน่นอน และนั่นคือสาเหตุที่คนต้องใส่ชุดอวกาศ

เพราะสภาพแวดล้อมบนพื้นผิวดวงจันทร์นั้นไม่สามารถรองรับการใช้ชีวิตตามปกติของพวกเราได้

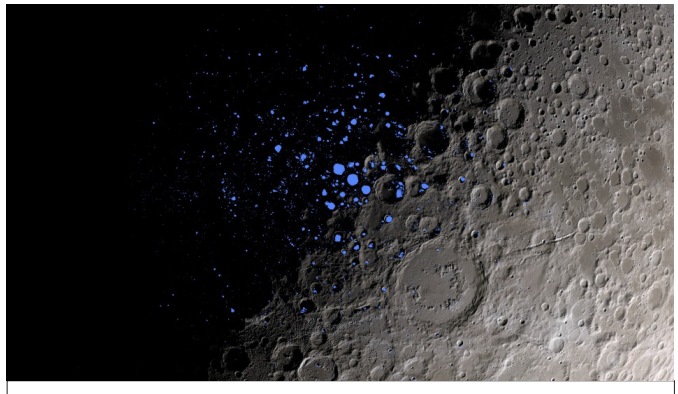
แต่ถ้าจะบอกว่าไม่มีชีวิตใดรอดได้เลย นั่นอาจจะไม่จริงเสมอไป

แม้ว่าสภาพแวดล้อมบนดวงจันทร์โดยส่วนใหญ่นั้นจะแย่ ทั้งรังสียูวี รังสีอื่น ๆ อีกสารพัด อุณหภูมิพื้นผิวก็เหวี่ยงแบบที่สุดร้อนก็ร้อนระอุจนแผดเผา เย็นก็ยะเยือกหนาวเหน็บขนาดที่ว่าถ้าอยู่บนโลก อุณหภูมิขนาดนี้ น้ำที่สาดออกไปยังแทบจะฟรีซเป็นน้ำแข็งในทันที แต่ก็ใช่ว่าดวงจันทร์จะไม่มีโอกาสมีชีวิตอยู่

เพราะในเขตขั้วดวงจันทร์ (lunar pole) เรื่องของแสงและอุณหภูมินั้นมีรายละเอียดต่างออกไป ทั้งนี้เพราะแกนหมุนของดวงจันทร์เอียงจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เพียงประมาณ 1.5 องศา ดวงอาทิตย์จึงอยู่ต่ำใกล้ขอบฟ้าในบริเวณขั้ว แค่ภูเขา ขอบหลุม หรือเนินบางแห่งก็อาจบังแสงให้พื้นที่ด้านหลังได้เป็นเวลานาน ขณะที่พื้นที่สูงบางแห่งกลับได้รับแสงเกือบตลอด

ที่น่าสนใจคือ บนดวงจันทร์ยังมีพื้นที่ที่แสงอาทิตย์ส่องไม่ถึง เรียกว่า พื้นที่เงาถาวร หรือ PSRs (permanently shadowed regions) ซึ่งมักอยู่ตามก้นหลุมหรือพื้นที่ต่ำใกล้ขั้วดวงจันทร์

ใน PSRs จะมีอุณหภูมิต่ำมากและไม่มีวัฏจักรร้อนกลางวันเย็นกลางคืนแบบพื้นที่รับแสงทั่วไป จึงเป็นกับดักความเย็นที่เก็บน้ำแข็งไว้ได้ เพราะยืนยันความมีอยู่ของน้ำแข็งในพื้นที่เงาถาวรในบางแห่งแล้วด้วย



ภาพตำแหน่งพื้นที่เงาถาวรบริเวณขั้วใต้ดวงจันทร์ จุดสีฟ้าแสดงพื้นที่คาดการณ์ที่มีน้ำแข็งสะสมอยู่ ที่มาภาพ : NASA's Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

บริเวณเหล่านี้เองที่ทำให้ทีมวิจัยนำโดย พราบาล แซกเซนา (Prabal Saxena) นักวิทยาศาสตร์จากศูนย์การบินอวกาศกอดดาร์ดของนาซา (NASA Goddard Space Flight Center) สนใจ

ด้วยสภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นผิวดวงจันทร์ คงไม่ง่ายที่จะมีตัวอะไรรอด แม้แต่จุลินทรีย์ที่ขึ้นชื่อว่าทนร้อนทนเย็นก็อาจไม่ไหว

ที่จริงเคยมีทีมวิจัยนำโดย แอนดรูว์ ซี. ชูเออร์เกอร์ (Andrew C. Schuerger) จากมหาวิทยาลัยฟลอริดา พัฒนาแบบจำลองการรอดชีวิตของจุลินทรีย์บนดวงจันทร์ หรือ Lunar Microbial Survival Model ขึ้นมาในปี ค.ศ. 2019 เพื่อประเมินการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ที่ติดไปกับยาน

แบบจำลองซึ่งใช้ข้อมูลความทนทานของสปอร์แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ทำนายว่า สปอร์บนพื้นผิวภายนอกยานในแถบศูนย์สูตรที่ไม่มีอะไรปกป้อง ไม่น่าจะยังมีชีวิตหลังผ่านไปหนึ่งรอบกลางวันกลางคืนของดวงจันทร์หรือประมาณหนึ่งเดือนบนโลก

แต่นั่นก็ไม่ได้หมายความว่าจุลินทรีย์ที่อยู่บนนั้นจะตายหมดทุกซอกทุกมุม เพราะในซอกหลืบที่อยู่ลึกภายในยานไม่โดนแสงและไม่ร้อนก็อาจคงอยู่ได้นานกว่ามาก

อุปสรรคสำคัญจึงเป็นรังสียูวีและความร้อนที่สูง โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพสุญญากาศ ไม่ใช่เพียงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมาเท่านั้น

พราบาลจึงตั้งคำถาม *"แล้วถ้าจุลินทรีย์อยู่ใน PSRs ที่ไม่โดนแสงอาทิตย์โดยตรงล่ะ หรือถ้ามีที่หลบอื่น ๆ ล่ะ แบบนี้จะมีโอกาสที่จะรอดไหม และเป็นไปได้ไหมที่บางแห่งบนดวงจันทร์อาจมีพื้นที่ให้ชีวิตอยู่รอดได้ ?"*

พวกเขาเลือกที่จะวิเคราะห์ใหม่ โดยดูจากข้อมูลอุณหภูมิภูมิประเทศ และการได้รับแสงในแถบขั้วดวงจันทร์ แล้วเทียบกับโปรไฟล์ความอึด ถึก ทน ของจุลินทรีย์จากแบคทีเรียสามกลุ่ม และราอีกสองกลุ่มซึ่งมีโอกาสติดไปกับการสำรวจอวกาศ

ผลการวิเคราะห์ออกมาน่าตื่นเต้น

ทำไมน่ะหรือ เพราะบางพื้นที่แถบขั้วดวงจันทร์อาจเอื้อให้จุลินทรีย์เหล่านี้รอดได้ แม้แต่รอยประทับจากรองเท้าบูทหรือรอยล้อของหุ่นโรเวอร์ก็อาจสร้างแอ่งเงาขนาดเล็กที่ช่วยหลบแสงยูวีได้ หากอยู่ในตำแหน่งและมีรูปทรงที่เหมาะสม

แต่อยู่รอดได้ก็ไม่ได้หมายความว่าจะโตได้นะ บางทีอาจจะแค่พักตัว เหมือนถูกแช่แข็งและทำให้แห้ง รอเวลาที่สภาพแวดล้อมจะเหมาะสมถึงจะเริ่มกลับมาเติบโตใหม่ได้

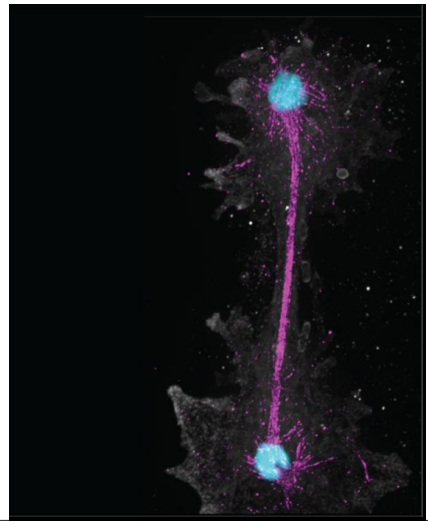
แค่นั้นก็เพียงพอแล้วที่จะทำให้เราต้องคิดว่า เราจะพาชีวิตอะไรบ้างไปทิ้งไว้บนดวงจันทร์ และการปนเปื้อนเหล่านั้นจะรบกวนการตรวจหาสารอินทรีย์หรือร่องรอยทางชีวภาพมากแค่ไหน จะมีโอกาสไหมที่เราจะตื่นเต้นว่าเจออะไรบางอย่างจากดวงจันทร์ ทั้งที่จริงแล้วเรานี่แหละเป็นคนเอาติดไปเอง

เมื่อโครงการอาร์เทมิสจะพาคนไปสำรวจแถบขั้วใต้ดวงจันทร์ เราคงต้องคิดกันให้จงหนักว่าจะพาอะไรขึ้นไปปนเปื้อนบนนั้นบ้าง และนั่นจะส่งผลกระทบต่อการประเมินครั้งต่อไปหรือไม่

ในขณะที่บนโลกก็มีการค้นพบอะมีบาชนิดใหม่จากแหล่งน้ำร้อนธรรมชาติ นั่นคือ *Incendiamoeba cascadensis* เป็นการสร้างอะมีบาทนร้อนที่แบ่งเซลล์ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 63 องศาเซลเซียส และยังเคลื่อนที่ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 64 องศาเซลเซียส อุณหภูมิระดับนี้ร้อนเกินกว่าที่พวกยูคาริโอตจะทนได้ และเป็นสถิติอุณหภูมิสูงสุดใหม่ที่มีรายงานว่ายูคาริโอตยังเพิ่มจำนวนได้

การค้นพบนี้น่าตื่นเต้น เพราะมันช่วยกระทุ้งให้เห็นว่าโลกนี้มีอะไรที่เรายังไม่รู้และยังไม่เจออีกมาก พลังแห่งวิวัฒนาการนั้นน่าอัศจรรย์ และอีกทั้งยังอาจช่วยไขปริศนาให้เราเข้าใจระบบนิเวศร้อนสุดขั้วมากขึ้นอีกด้วย

แม้ว่าความสามารถของอะมีบาตัวใหม่นี้... จะยังห่างไกลนักจากการอยู่รอดบนดวงจันทร์ แต่การค้นพบมันก็น่าตื่นเต้นแล้ว เพราะช่วยบ่งชี้ว่าขีดจำกัดด้านอุณหภูมิของยูคาริโอตนั้นมีอะไรมากกว่าที่เราเคยรู้มากนัก



อะมีบาทนร้อน Incendiamoeba cascadensis
กำลังแบ่งเซลล์ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส
ที่มาภาพ : Felix Mikus, CC BY-SA 4.0 via EurekAlert!

และใครจะรู้ บางทีการศึกษาว่ามันรักษาโปรตีน ดีเอ็นเอ และระบบต่าง ๆ ของเซลล์ให้ทำงานท่ามกลางอุณหภูมิร้อนระอุได้อย่างไร อาจให้แนวคิดใหม่ ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพก็เป็นได้

ส่วนจะเอามาช่วยมนุษย์ต่อกรกับโลกที่ค่อย ๆ ร้อนระอุและสภาพอากาศที่รวนเรปรวนแปรแบบทุกวันนี้ได้อย่างไรนั้น ยังเป็นคำถามสำหรับอนาคตที่ยังต้องติดตามกันต่อไป

แต่ที่พีกยิ่งกว่าคืองานวิจัยของทีมวิลเลียม ออร์ซี (William Orsi) จากมหาวิทยาลัยลุดวิกมักซีมีเลียนแห่งมิวนิก (Ludwig-Maximilians-Universität München) ในประเทศเยอรมนี ที่ลงในวารสาร *Science Advances*

งานนี้จำลองเงื่อนไขทางเคมีบางส่วนที่คาดว่าจะพบในมหาสมุทรใต้เปลือกน้ำแข็งของเอนเซลาดัส (Enceladus) ดวงจันทร์ของดาวเสาร์ขึ้นมาในแล็บ แล้วเอาอาร์เคียทนร้อน *Methanothermococcus okinawensis* มาทดลองเลี้ยง หรือจะเรียกว่าลองทรมานพวกมันดูก็ได้ เพราะเงื่อนไขในการเพาะเลี้ยงนั้นแย่จริง ๆ

แต่ต้องย้ำว่าเป็นการจำลองสภาพเคมีบางส่วน ไม่ใช่ย่อเอนเซลาดัสทั้งดวงมาใส่ขวด

ผลปรากฏว่าอาร์เคียพวกนี้ทนกว่าที่คิด พวกมันเติบโตในสารละลายจำลองได้แม้สภาพด่างสูง (pH 11) ขณะที่อาหารเลี้ยงเชื้อแบบปกติที่ pH เดียวกันกลับไม่พบการเติบโตแต่อย่างใด

อาร์เคียเอาไฮโดรเจนไปใช้เป็นแหล่งอิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นมีเทน ในกระบวนการที่เรียกว่าเมทาโนเจเนซิส (methanogenesis) ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจาก



ภาพพวยไอน้ำที่พุ่งจากพื้นผิวดวงจันทร์เอนเซลาดัส ซึ่งถ่ายโดยยานอวกาศแคสสินี (Cassini) ของนาซา เป็นหลักฐานหนึ่งที่แสดงว่ามีมหาสมุทรอยู่ข้างใต้ ที่มาภาพ : NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

ปฏิกิริยาระหว่างแร่ในหินดวงจันทร์ (regolith) กับน้ำในสภาวะที่เป็นด่างช่วยหล่อเลี้ยงเมแทบอลิซึมของพวกมัน

ที่น่าสนใจคือ สารละลายอาจมีคาร์บอนอนินทรีย์ละลายอยู่มาก แต่เมื่อเป็นด่างสูง คาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต เหลือคาร์บอนไดออกไซด์อยู่เพียงน้อยนิด เซลล์จึงต้องรับมือกับภาวะ “คาร์บอนเยอะ แต่คาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ได้มีน้อย” ไปพร้อมกัน

ข้อมูลทรานสคริปโตมเผยว่า ในสภาวะเช่นนี้ที่คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ เซลล์จะเพิ่มการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนผ่านวิถี reductive acetyl-CoA หรือวิถีวูด–ยุงดาห์ล (Wood–Ljungdahl pathway)

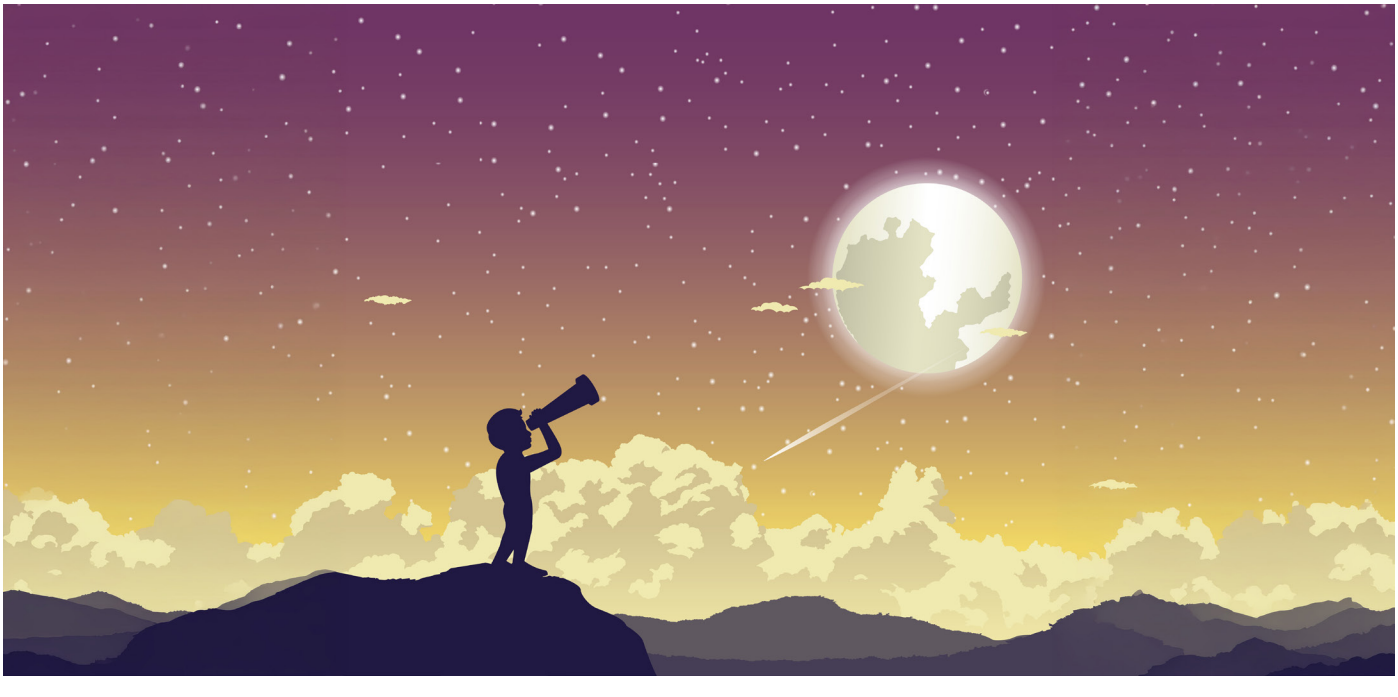
วิถีนี้ช่วยนำคาร์บอนมาสร้างโมเลกุลสำคัญชื่อ acetyl-CoA ซึ่งเซลล์นำไปใช้สร้างสารชีวโมเลกุลต่อได้

ผลที่ได้ออกมาน่าตื่นเต้นมาก พอให้มีลุ้น ไม่แน่ว่าภายใต้เปลือกน้ำแข็งที่หนาวเหน็บอาจมีสภาพเคมีและแหล่งพลังงานโดยเฉพาะบริเวณที่น้ำทำปฏิกิริยากับหิน ซึ่งช่วยหล่อเลี้ยงชีวิตบางแบบได้จริง ๆ

อย่างไรก็ตามงานของทีมวิลเลียมเป็นการทดลองกับจุลชีพบนโลกในแล็บ ไม่ใช่หลักฐานว่ามีสิ่งมีชีวิตบนเอนเซลาดัส และไม่ได้พิสูจน์ว่าจุลชีพชนิดนี้จะอยู่ได้ทุกบริเวณในมหาสมุทรของมัน

แต่กระนั้นผลการทดลองนี้ก็เสนอว่า สภาพเคมีบางอย่างที่คาดว่าจะมีบนเอนเซลาดัสอาจช่วยเกื้อหนุนเมแทบอลิซึมของชีวิตได้จริง และนั่นก็เป็นเหตุผลที่ดีที่จะออกไปสำรวจต่อ

ในการสำรวจครั้งหน้า เราอาจพบอะไรน่าตื่นเต้นก็เป็นไปได้ บางทีเราอาจประเมินขีดจำกัดของชีวิตและพลังแห่งวิวัฒนาการต่ำไปเยอะเลย ใครจะรู้ ของแบบนี้ดูถูกไม่ได้นะ



รศ. ดร.ประทีป ด้วงแค
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระเต็นปักหลัก
Ceryle rudis



เป็นนกขนาดเล็ก ออกหากินปลาตามแหล่งน้ำ
มีพฤติกรรมการหาอาหารซึ่งเป็นที่มาของชื่อ
คือจะบินวนอยู่เหนือผิวน้ำ
เมื่อเจอเหยื่อแล้วจะบินอยู่กับที่
โดยยกปีกให้สูงขึ้นและกระพืออย่างรวดเร็ว
ปากชี้ลงไปด้านล่าง ปีกแนบชิดลำตัว
ขาเหยียดไปทางด้านหลัง
แล้วทิ้งตัวดิ่งลงไปในน้ำทั้งตัว
และใช้ปากงับเหยื่ออย่างรวดเร็ว
เมื่อจับเหยื่อได้แล้วจะบินไปเกาะตามกิ่งไม้
แล้วค่อยกลืนกินเหยื่อทั้งตัว



รศ. ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ์
อดีตอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อดีตผู้บริหารสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และหัวหน้าโครงการเพาะพันธุ์ปัญญา
ผู้พันตนเองมาขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงการสอนโครงงานวิทยาศาสตร์และสะเต็มด้วยมุมมองวิศวกรรมศาสตร์ในการศึกษาขั้นพื้นฐาน

กรองความคิดด้วย โครงงานสะเต็มเครื่องกรองน้ำ

โครงงานสะเต็มไม่ใช่การคิดทำไปก่อนได้ผลอย่างไรค่อยเอามาดูกัน ไม่ชอบก็ค่อยแก้ไขปรับปรุง ถ้าเราเริ่มด้วยความเข้าใจอย่างนี้และไม่สามารถสอนให้นักเรียนวิเคราะห์ผลเพื่อปรับปรุงเหตุได้ ประสบการณ์และความรู้ที่เรียนมาจะมีประโยชน์อะไร ?

• • •



ผมเห็นบทความสอนโครงงานสะเต็มเรื่องหนึ่งที่ให้นักเรียนทำเครื่องกรองน้ำขุ่นให้ใสด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น ถ่านไม้ ขุยมะพร้าว ทรายขนาดต่าง ๆ กรวดขนาดต่าง ๆ ผ้าชนิดต่าง ๆ สำลี และฟองน้ำ น้ำขุ่นเพราะมีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ การกรองคือการ “ดักจับ” ให้สารแขวนลอยมาติดกับวัสดุกรอง โดยมีตารางการออกแบบให้นักเรียน 3 ตาราง เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบร่างเครื่องกรองน้ำ 3 รูปแบบ เพื่อใช้ประเมินความคิดคล่อง แล้วให้นักเรียนนำเสนอแบบร่างเครื่องกรองน้ำ พร้อมบอกเหตุผลการเลือกใช้วัสดุในแต่ละชั้น จากนั้นร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุกรอง

ภาพที่อยู่ในบทความซึ่งระบุว่าเป็น 3 รูปแบบที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบเครื่องกรองน้ำนั้นดูแปลกมาก กล่าวคือ เอาถ่านไม้อยู่เหนือขุยมะพร้าว เอาทรายละเอียดอยู่เหนือทรายหยาบ ดูเหมือนไม่ได้ปูความคิดการทำหน้าที่ของวัสดุต่าง ๆ เลย จึงให้ความรู้สึกว่าเป็นโครงงานสะเต็มที่ทำแบบ “ใส่ตามลำดับที่คิดเองไปก่อน แล้วค่อยมาดูผลกัน”

ถามว่าทำได้ไหม คำตอบคือ “ก็พอได้เหมือนกัน” แต่ต้องไม่จบลงอย่างที่เห็น คือ นักเรียนบอกเพียงผลที่ได้ (เรียงแบบไหนให้น้ำใสกว่า) ไม่ได้รับการสอนให้คิดวิเคราะห์ย้อนกลับไปเข้าใจเหตุ

หากนักเรียนบอกว่าผลต่างกันเพราะ “เหตุ” วางชั้นวัสดุไม่เหมือนกัน แค่นี้เป็นเพียงรู้ what การทำโครงงานสะเต็มต้องอธิบาย why ของ what ได้ กล่าวคือ ต้องให้นักเรียนเข้าใจฟังก์ชันการกรองที่ขึ้นกับขนาดวัสดุ

หลักคิดของวิทยาศาสตร์คือ “ผลเกิดจากเหตุ” หลักคิดของสะเต็มคือ “ต้องการผลให้สร้างเหตุ” ดังนั้นการทำไปก่อนโดยไม่เอาผลมาวิเคราะห์ต่อเนื่องให้รู้ why จึงไม่เป็นทั้งวิทยาศาสตร์และสะเต็ม วิทยาศาสตร์ช่วยให้เราเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผล ส่วนสะเต็มคือใช้ความเข้าใจนั้นออกแบบหรือสร้างเงื่อนไขเพื่อให้เกิดผลตามความต้องการ การสอนสะเต็มจึงไม่ควรข้าม “ความเข้าใจเหตุ” ไปสู่ “สร้างชิ้นงาน” ทันที เพราะมันเป็นวิธีคิดที่ทำให้แยกความรู้ออกจากโครงงานงานที่ทำ

สะเต็มที่ถูกต้องคือการสอนให้ดึงความรู้ออกจากตัวมาใช้งาน (แก้ปัญหา) จึงต้องสอนอีกแบบ ขอเอาโครงงานเครื่องกรองน้ำมาเป็นตัวอย่างอธิบายในบทความนี้

ความผิดปกติประการแรกของบทความที่กล่าวถึงข้างต้น คือ การใช้ขุยมะพร้าวและวางถ่านไม้อยู่ชั้นบน ขุยมะพร้าวเป็นอินทรียวัตถุซึ่งไม่เพียงเป็นอาหารของแบคทีเรียที่ทำให้น้ำเสียมีกลิ่นเท่านั้น แต่ยังมีแทนนินที่ละลายได้สีน้ำตาลเข้มและรสฝาด ถ่านไม้มีหน้าที่กำจัดกลิ่น มีโครงงานถ่านไม้กำจัดกลิ่นมากมาย อย่างน้อยเชื่อว่าทุกคนเคยเห็นโครงงานถ่านไม้กำจัดกลิ่นในตู้เย็นมาก่อน การเอาถ่านเป็นชั้นก่อนขุยมะพร้าวจึงเป็นการทำให้น้ำที่กำจัดกลิ่นออกแล้วกลายเป็นน้ำที่มีกลิ่น

การสอนให้รู้เรื่องนี้ไม่ยากอะไร ให้นักเรียนเอาบีกเกอร์ 2 ใบ แช่ขุยมะพร้าวกับทรายแยกกันอย่างละใบ สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นสัก 3 วันก็รู้เรื่องว่าควรใช้ขุยมะพร้าวหรือไม่ จากนั้นอธิบายเรื่องอินทรียสาร จุลินทรีย์ แทนนิน การสอนอย่างนี้เรียกว่าให้ “รู้” จากประสบการณ์ก่อนแล้วค่อยเอาความรู้เข้าไปอธิบายให้เกิดการ “เรียนรู้”

จากนั้นให้นักเรียนอ่านโครงงานถ่านดูดกลิ่นตู้เย็นเพื่อรู้หน้าที่ของถ่าน พร้อมตั้งคำถามชวนคิดว่าถ่านควรอยู่ชั้นบนสุดหรือล่างสุด (ดูดกลิ่นก่อนกรองหรือหลังกรอง) ให้อภิปรายให้เหตุผลต่อกัน แล้วค่อยให้พบกับหลักฐานคือ เครื่องกรองน้ำที่มีชุดคาร์บอนอยู่หลังสุด



เครื่องกรองน้ำที่มีคาร์บอนเป็นท่อสุดท้าย (วางด้านบน) ก่อนออกเป็นน้ำดื่ม

เครื่องกรองน้ำขุ่นให้ใสโดยน้ำไหลผ่านชั้นวัสดุต่าง ๆ เพื่อดักสารแขวนลอยในน้ำ การจัดลำดับชั้นมีวัตถุประสงค์ให้เครื่องกรองน้ำทำหน้าที่ดีที่สุด ไม่ใช่จัดอย่างไรก็ได้แบบ “ลองผิดลองถูก” อย่างที่เห็นในโครงงานจำนวนมาก

การใช้ทรายละเอียดเหนือทรายหยาบผิดปกติอย่างไร ? จะเขียนประเด็นขนาดวัสดุและการจัดลำดับชั้นให้เป็นโครงงาน 3 ระดับเรียนรู้จากง่ายไปยาก จากประถมศึกษาตอนปลายถึงมัธยมศึกษาตอนปลาย ครูควรอ่านให้เข้าใจเพื่อออกจากวังวนการทำเครื่องกรองน้ำแบบเดิมเสียที

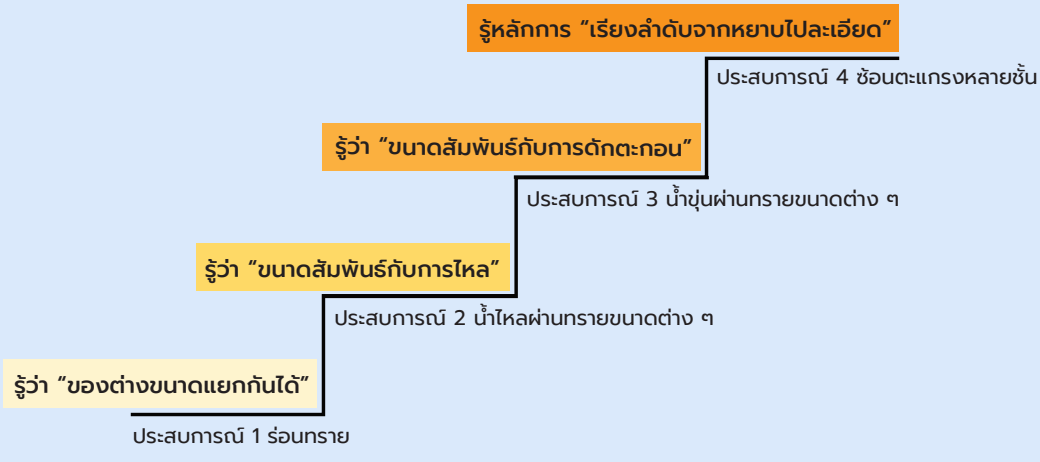
ระดับที่ 1 ค้นพบหลักการ (เรียนรู้การทำหน้าที่กรองของวัสดุขนาดต่างกัน)

น้ำขุ่นไหลออกมาเป็นน้ำใสเป็นประสบการณ์ที่ตื่นเต้นของนักเรียน ในคอนเซปต์คณิตศาสตร์ น้ำขุ่น คือ น้ำใส + ตะกอน และน้ำใส คือ น้ำขุ่น - ตะกอน ในคอนเซปต์วิทยาศาสตร์ คือ การแยกสาร (separation science) ในหลักการย้ายมวล อาศัยกฎการอนุรักษ์มวล เราจะได้โครงงานประถมปลายที่วิทยาศาสตร์อยู่ร่วมกับคณิตศาสตร์อย่างสวยงาม การเรียนรู้ตามระดับที่ 1 ควรทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เอาทรายที่คละขนาดและตะแกรงร่อน 3 ขนาดมาให้นักเรียนแยกทราย สังเกตขั้นตอนการทำงานของนักเรียน ให้นักเรียนถอดความรู้จากการลองทำผิด ๆ ถูก ๆ จนสำเร็จออกมาเป็นหลักการแยกของต่างขนาดด้วยตะแกรงร่อนว่ามีกี่วิธี และแต่ละวิธีมีกี่ขั้นตอน
2. ให้ดูคลิปเครื่องคัดมะนาวว่าใช้หลักการเดียวกันหรือไม่

วิดีโอคลิปเครื่องคัดมะนาว
https://www.youtube.com/shorts/0rdHakqYV0g

3. เอาทรายแห้งแต่ละขนาดตามขั้นตอน 1 กรอกใส่ท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว ยาว 2.5 ฟุต ที่มีผ้าขาวบางรัดปิดก้น โดยใส่เพียงระดับ 1 ฟุต ชั่งน้ำหนัก
4. กรอกน้ำจากขวด 1.5 ลิตร ลงแต่ละท่อ จับเวลาที่น้ำไหลออกได้ 1 ลิตร (ไม่ต้องรอจนหมด)
5. พล็อตกราฟระหว่างขนาดเม็ดทรายกับน้ำหนักและเวลา (จากข้อ 3 และ 4) และกราฟน้ำหนักกับเวลา ครูโคชจนอธิบายความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ได้ (คิดวิเคราะห์เชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่รู้กับสาระวิชา)
6. เอาดินโคลนละลายน้ำ แบ่งเป็น 3 ขวด เทใส่ 3 กระบอก (ทราย 3 ขนาด) รอจนน้ำหมดหยดสุดท้าย วัดความขุ่นของน้ำที่ออกมา อบกระบอกและทรายให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก
7. พล็อตกราฟระหว่างขนาดทรายกับน้ำหนักที่เพิ่ม (น้ำหนักข้อ 6 ลบน้ำหนักข้อ 3) หาคำอธิบายว่าทำไมน้ำหนักเพิ่มต่างกัน (น้ำโคลนควรค่อนข้างข้น) และน้ำหนักเพิ่มที่ต่างกันสัมพันธ์กับความใสของน้ำที่ออกมาอย่างไร เพราะอะไร
8. ครูโคชให้คิดวิเคราะห์เชื่อมโยงประสบการณ์ที่ผ่านมา จนนักเรียนอธิบายปรากฏการณ์ได้ครบถ้วน (why ของ what)
9. สมมติว่าความละเอียดของทรายคือความสะอาดของน้ำ (ยิ่งละเอียดมาก ยิ่งสะอาด) ตั้งโจทย์สถานการณ์ หากเอาตะแกรง 3 ขนาดมาซ้อนกันแบบปิ่นโต โดยนับจากชั้นบน แบบที่ 1 ละเอียดไปหยาบ แบบที่ 2 หยาบไปละเอียด เททรายที่มีขนาดปนกัน (ทรายชุดเดียวกัน) แล้วเขย่า ให้นักเรียน “คาดว่า” แบบใดจะได้ทรายละเอียดออกมามากกว่ากันและเร็วกว่ากัน สิ่งที่ตกค้างใน ตะแกรงชั้นล่างและชั้นกลางต่างกันไหม เพราะอะไร แล้วจึงค่อยทดลองจริง
10. สรุปผลการสังเกตจากข้อ 9 เป็นหลักการว่า วัสดุกรองที่ครูให้มา (ทราย 3 ขนาด กรวด หิน) ควรเรียงลำดับอย่างไร แล้วจึงทำเครื่องกรองน้ำ



ขั้นตอนการเรียนรู้จากประสบการณ์แบบขึ้นนั่งร้าน

ทั้ง 10 ขั้นตอน ออกแบบโดยต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้ว่าวัสดุกรองที่มีขนาดต่างกัน มีผลต่ออัตราการไหลอย่างไร มีความสามารถในการดักจับตะกอนอย่างไร และหาปริมาณตะกอนที่ค้างอยู่ในวัสดุอย่างไร จนในที่สุดความรู้นี้อธิบายว่าทำไมควรเรียงวัสดุกรองจากหยาบไปละเอียด เป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์พาขึ้นนั่งร้าน โดยระหว่างทางนักเรียนใช้ข้อมูลจากการชั่งน้ำหนักและจับเวลาเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์อธิบายสมรรถนะการกรองของทรายขนาดต่าง ๆ

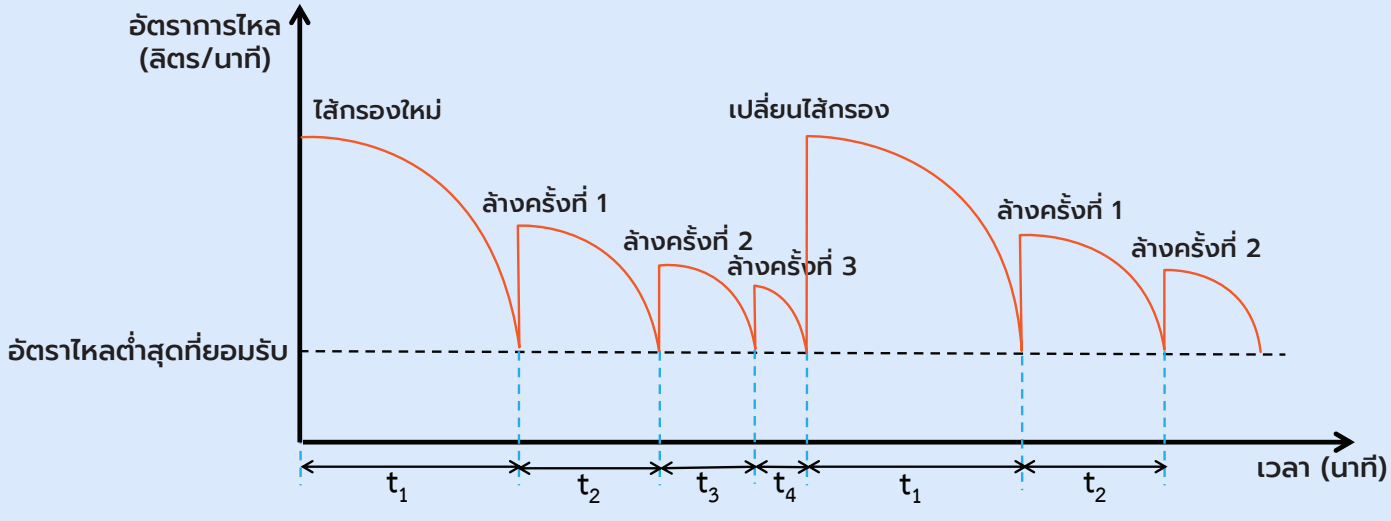
กระบวนการนี้เรียกการเรียนรู้จากการให้เหตุผลอุปนัย (inductive reasoning) ทั้ง 10 ข้อ คือ ขั้นตอนการออกแบบการเรียนรู้แบบเสริมต่อการเรียนรู้ (scaffolding experiential learning) คือ ให้นักเรียนมีประสบการณ์รู้ what จากการทดลองจากง่ายไปยากจนมีประสบการณ์มากพอที่จะตกผลึกเป็นหลักการ “การกรองของที่มีขนาดต่าง ๆ ปนกัน เราต้องใช้ตะแกรงหยาบนำหน้าตะแกรงละเอียด” ทำให้หลุดพ้นจาก “ใส่ตามลำดับที่คิดเองไปก่อน แล้วค่อยมาดูผลกัน”

ระดับที่ 2 เข้าใจระบบและตัดสินใจ (เห็นความเป็นพลวัตไปสู่การตัดสินใจ)

เมื่อรู้จากขั้นตอนที่ 4 ในระดับที่ 1 ว่าอัตราการไหลแปรตามขนาดทราย (ไหลเร็วเมื่อทรายหยาบ) ให้นักเรียนทำเครื่องกรองน้ำโดยเรียงลำดับชั้นขนาดวัสดุตามที่ตกผลึกได้ในระดับที่ 1 (หยาบที่ชั้นบนละเอียดชั้นล่าง) จากนั้นให้นักเรียนมีประสบการณ์กับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตามอายุใช้งาน (วันที่ 5 มีอัตราการไหลน้อยกว่าวันที่ 1 เป็นต้น เพราะเมื่อเวลาผ่านไปตะกอนสะสมตามชั้นต่าง ๆ มากขึ้น การอุดตันทำให้น้ำไหลช้าลง) นักเรียนควรเรียนสะเต็มจากโลกความเป็นจริงของการใช้งานว่า เราต้องล้างไส้กรองโดยการสวนน้ำไหลย้อนกลับ (backwashing) แต่การล้างสวนไม่สามารถกำจัดตะกอนได้หมด ทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงดังภาพกราฟด้านล่างนี้

ไส้กรองใหม่มีอัตราการไหลสูงสุดแล้วค่อย ๆ ลดลงเพราะอุดตัน เมื่ออัตราการไหลลดลงจนถึง “จุดต่ำสุดที่ยอมรับได้” ผู้ใช้ต้องล้างไส้กรองโดยไหลสวน หลังการล้างครั้งแรกจะได้อัตราการไหลน้อยกว่าไส้กรองใหม่ (เพราะล้างสวนออกไม่หมด) ไส้กรองจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่าไส้กรองใหม่ (t_2 น้อยกว่า t_1) และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงล้างครั้งที่ 3 อายุใช้งาน t_4 สั้นมากจึงตัดสินใจเปลี่ยนไส้กรองใหม่ทั้งชุด แสดงว่าไส้กรองแต่ละชุดมีอายุใช้งาน $t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ โดยต้องล้างสวน 3 ครั้ง

การตัดสินใจเปลี่ยนไส้กรองเป็นผลได้เสียจากการเปลี่ยนแปลง (trade-off) ระหว่าง “สิ่งที่ได้” คือ การเพิ่มอายุใช้งานและลดน้ำที่ใช้ล้างกับ “สิ่งที่เสีย” คือ ค่าใช้จ่ายวัสดุกรองชุดใหม่ การตัดสินใจในสภาวะได้อย่างเสียอย่าง คือ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ (critical thinking) ในชีวิตจริง การหาอัตราการไหลในภาพกราฟที่นำไปสู่การตัดสินใจใช้งาน ทำให้เป็นโครงงานสะเต็มมากกว่าการทำโครงงานหาความรู้ 10 ขั้นตามระดับที่ 1



อัตราการไหลแปรตามเวลาและผลการล้างสวนทำความสะอาด

ระดับที่ 3 สร้างแบบจำลองเพื่อออกแบบ (หาแก่นความรู้เพื่อเข้าใจทั้งหมด)

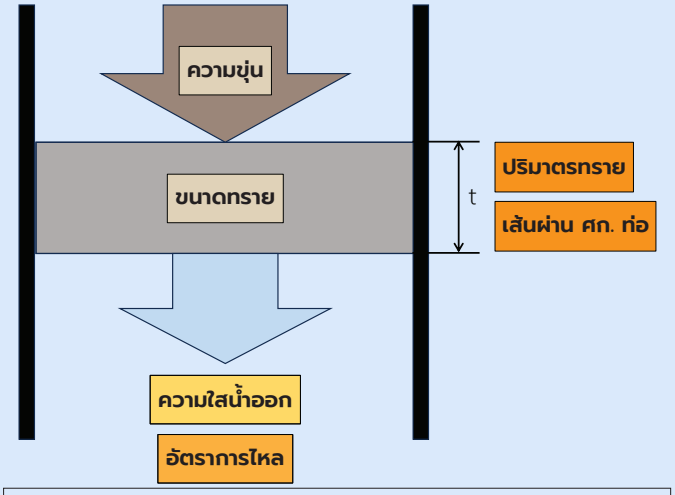
"แก่นความรู้" หมายถึง ความรู้ที่ไม่ขึ้นกับบริบท เอาไปประยุกต์ได้ในหลายสถานการณ์ จึงใช้ทำนายผลในสถานการณ์ใหม่ได้

ไส้กรองที่ดีควรให้น้ำไหลผ่านชั้นต่าง ๆ ได้ในอัตราเดียวกัน หมายถึง มีการไหลที่สมดุล ไม่มีน้ำเอ่อรอที่ชั้นใดหรือแห้งขาดที่ชั้นใด เพื่อความเข้าใจ สมมติมี 3 ชั้นแบบปิ่นโต หากชั้นบนไหลที่อัตรา 2 ลิตรต่อนาที ชั้นกลางไหลที่อัตรา 3 ลิตรต่อนาที และชั้นล่างไหลที่อัตรา 1 ลิตรต่อนาที เมื่อเทน้ำลงไป อัตราการไหลของเครื่องจะถูกจำกัดด้วยชั้นล่าง คือ 1 ลิตรต่อนาที หากเราต้องการอัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที หมายความว่าเราต้องเพิ่มความหนาทรายชั้นกลางและลดความหนาทรายละเอียดชั้นล่าง เพื่อทำให้ทั้ง 3 ชั้นมีอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาทีเท่ากัน จะเป็นเครื่องกรองที่มีการไหลสมดุลทุกชั้น และไม่มีวัสดุชั้นใดมากเกินจำเป็นหรือน้อยจนไม่เพียงพอ

การหาปริมาตรวัสดุแต่ละชั้นที่ทำให้การไหลสมดุลทุกชั้นจึงน่าสนใจมาก เป็นการทำโครงงานหา "แก่นความรู้" ที่ซับซ้อน เพราะในสภาพจริงน้ำที่ไหลเข้าแต่ละชั้นมีความขุ่นไม่เท่ากัน น้ำที่เข้าชั้นบนที่ยังไม่ผ่านอะไรเลยจะขุ่นมากที่สุด และน้ำที่เข้าสู่ชั้นล่างจะขุ่นน้อยที่สุด นักเรียนต้องทำโครงงาน 2 ตัวแปร คืออัตราการไหล $\dot{Q}$ เป็นตัวแปรตามที่ขึ้นกับความหนาของชั้นวัสดุ (t) และความขุ่น (Tb) ดังสมการ $\dot{Q} = f(t, Tb)$

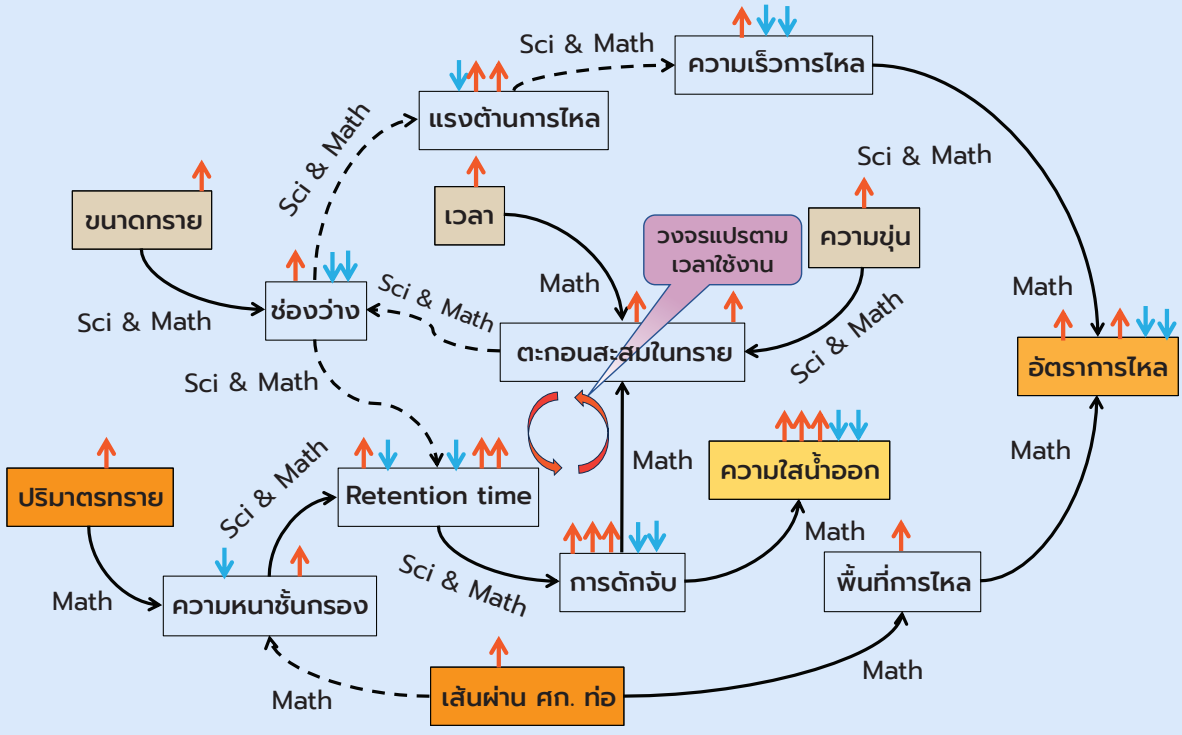
ลักษณะกราฟจะเป็น 2 มิติ ซึ่งนักเรียนควรใช้คณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือกำหนดปริมาตรวัสดุแต่ละชั้นที่เกิดการไหลสมดุล

แต่ความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเมื่อแต่ละชั้นมีพฤติกรรมทั้ง "อัตราการไหล" และ "ความขุ่นน้ำขาออก" ลดลงตามเวลาด้วย (เวลาผ่านไปเกิดการอุดตัน น้ำไหลช้าแต่จะใสขึ้นดังภาพ) พฤติกรรมที่เปลี่ยนตามเวลานี้กระทบเป็นลูกโซ่ไปยังชั้นที่อยู่ข้างล่างต่อจากมัน อัตราการไหลของแต่ละชั้นจึงมีเวลาเป็นตัวแปรที่ 3



ขอบเขตการพิจารณาการทดลองความสามารถกรองของวัสดุต่าง ๆ

นอกจากนั้นหากเวลาที่น้ำคงอยู่ในชั้นวัสดุ (retention time) มีผลต่อการกรอง การแปรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละชั้นก็เป็นเรื่องน่าสนใจ ท่อขนาดแคบที่น้ำมีเวลาที่คงอยู่นานอาจเหมาะกับทรายหยาบก็ได้ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อกับปริมาตรทรายเป็นตัวแปรที่ 4 และ 5



ตัวแปรที่แสดงความเป็นเหตุเป็นผลต่อน้ำที่ออกจากชั้นทราย (เส้นทึบ = เหตุและผลแปรตามกัน เส้นประ = เหตุและผลแปรผกผันกัน)

เมื่อพิจารณาชั้นวัสดุเป็นขอบเขตการทดลอง มีน้ำไหลเข้าขอบเขตและไหลออกจากขอบเขต ความซับซ้อนที่เป็นเหตุเป็นผลต่อกันแสดงในภาพหน้า 48 โดยมีเวลา ความขุ่น ขนาดทราย ปริมาตรทราย และขนาดท่อเป็นตัวแปรต้น และความใสน้ำออกกับอัตราการไหลเป็นตัวแปรตาม

เมื่อเหตุทั้ง 5 เพิ่มค่าขึ้น ความเป็นเหตุเป็นผลของวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์จะส่งผลต่อกันเป็นลูกโซ่ไปถึงผลปลายทาง ที่ทำให้อัตราการไหลเพิ่ม 2 เส้นทาง และลด 2 เส้นทาง ในขณะที่ความใสเพิ่ม 3 เส้นทาง และลด 2 เส้นทาง แสดงว่าผลปลายทางทั้ง 2 มีค่า optimum หรือเส้นกราฟโค้ง นักเรียนอธิบายพฤติกรรมน้ำที่ออกจากชั้นกรองได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และใช้ผังนี้เขียนบรรยาย (หรือนำเสนอ) แสดงความเข้าใจทั้งหมดที่มีสาระวิชาประกอบ ตัวอย่างเช่น อธิบายอัตราการไหลได้ว่า *“เวลาและความขุ่นทำให้ตะกอนสะสมในวัสดุกรองจนเกิดการอุดตัน จึงเพิ่มแรงต้านการไหลทำให้ความเร็วลดลงซึ่งส่งผลไปยังอัตราการไหลที่ลดลง แต่หากเพิ่มขนาดทรายจะทำให้แรงต้านการไหลลดลงเนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมากขึ้น และหากขนาดท่อเพิ่มขึ้น พื้นที่การไหลจะเพิ่มตาม การเพิ่มของขนาดเม็ดทรายและขนาดท่อจึงทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น”*

หากสังเกตเห็นวงจร (loop) “การดักจับ” “ตะกอนสะสมในทราย” “ช่องว่าง” “เวลาที่คงอยู่” (retention time) นักเรียนจะเข้าใจว่าทั้ง “ความใส” และ “อัตราการไหล” แปรเปลี่ยนตามเวลาเพราะอะไร

การทำโครงงานในระดับที่ 3 นักเรียนจะได้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ทำให้รู้พฤติกรรมการกรองของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อน้ำความขุ่นต่าง ๆ ความรู้นี้นำไปใช้ออกแบบการสร้างเครื่องกรองที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยทำนายพฤติกรรมพลวัตของภาพ “กราฟอัตราการไหลแปรตามเวลาและผลการล้างสวนทำความสะอาด” ได้ด้วย การสร้างเครื่องกรองน้ำจากแก่นความรู้เช่นนี้จึงเป็นสะเต็มขั้นสูง เพราะเป็นระดับการเรียนรู้ที่ก้าวจากการ “รู้หลักการ” ไปสู่การ “สร้างความรู้เชิงแบบจำลอง” เพื่อใช้ในการออกแบบ

การทำโครงงานเครื่องกรองน้ำที่ยกมาเป็นตัวอย่างนี้แบ่งงานออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งสรุปได้ดังนี้



ระดับ 1 ต่ำ
(วิจัยอย่างง่าย)
ทำแล้วบอกได้ว่าเกิดอะไร (what) ได้ความรู้ why ยังไม่ได้นวัตกรรม



ระดับ 2 สูง
(ใช้ผลวิจัยระดับ 1)
ได้นวัตกรรมบนฐานความรู้เข้าใจพฤติกรรมที่นำไปสู่การควบคุมและตัดสินใจ



ระดับ 3 สูงมาก
(วิจัยขั้นสูงเพื่อสร้างนวัตกรรม)
ได้แก่นความรู้ที่ประยุกต์สร้างนวัตกรรมในสถานการณ์ใหม่ได้

แทนที่จะมองหาโครงงานใหม่ เราเอาโครงงานที่เห็นทั่วไปมาออกแบบให้นักเรียนค่อย ๆ เปลี่ยนประสบการณ์เป็นรู้ why ของ what แล้วใช้ความรู้นั้นออกแบบงานใหม่ที่ก้าวหน้าขึ้น จากตัวอย่างโครงงานเครื่องกรองน้ำนี้จะเห็นว่าการสอนโครงงานจากระดับที่ 1-3 คือ การออกแบบเส้นทางการเรียนรู้แบบต่อนั่งร้าน (scaffolding experiential learning) ใช้สอนประถมศึกษาตอนปลาย มัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายได้ตามลำดับ

ทำอย่างไรไม่ให้ Project เป็น Proเจ็บ



เลิกคิดแบบเดิม
ครูต้องเข้าใจหลักการการกรอง การทำหน้าที่เชิงฟังก์ชันของวัสดุต่าง ๆ



เข้าใจหลักการเรียนรู้จากประสบการณ์แบบต่อนั่งร้าน
เพื่อออกแบบให้นักเรียนเรียนรู้จากประสบการณ์จนตกผลึกเป็น "หลักการ" และประยุกต์หลักการได้เอง (โครงงานระดับที่ 1)



เข้าใจประสบการณ์จริง
จนเอามาออกแบบการเรียนรู้เพื่อการตัดสินใจในสถานการณ์จริง (โครงงานระดับ 2)



เห็นแก่นความรู้
เพื่อสอนให้นักเรียนหาแก่นความรู้ที่ประยุกต์ได้กับทุกสถานการณ์ (สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่รวมตัวแปรทั้งหมด โครงงานระดับ 3)



รู้จักพิจารณาตนเองจากการสะท้อนคิด
อยากให้ครูอ่านให้เข้าใจและสะท้อนคิดเตือนใจตนเองว่า "โครงงานที่ฉันให้นักเรียนทำ ได้พานักเรียนค้นพบความรู้อะไรหรือไม่ และเมื่อค้นพบแล้ว พวกเขาได้นำความรู้นั้นไปประยุกต์ใช้ไหม ?"





THAILAND SPACE EXPO 2026

DISCOVER. CONNECT. CREATE VALUE.

28-31 OCTOBER 2026

ICONSIAM, 7TH FLOOR
BANGKOK, THAILAND

TSX.GISTDA.OR.TH

HOSTED BY

GISTDA

Co-Host & Pavillion

EGAT ICEYE GULF SPACE TECHNOLOGY

CP JSF Japan Space Forum Sweden Sverige

Supported by

AIRBUS MINOSPACE 微纳星空 NARA SPACE ZOS ORBIT JAMSS Synspective

LH Fund Vantor LANDSPACE 蓝箭航天 SPACEMAP TRUS MDA SPACE GOMSPACE LONGDO Map

Plug in CHC NAVTECH THAILAND ROHDE & SCHWARZ sodern ariane GROUP AXELSPACE

CADFEM ASSET PLUS VAST KAIROSPACE tme SURREY cosmo bee



คณะอาจารย์ นักวิจัย และนิสิตจากหน่วยวิจัยด้านจีโนมิกส์และทรัพยากรชีวภาพสัตว์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่นอกจากหลงรักการเรียน การสอน และการวิจัยด้านจีโนมิกส์ในสัตว์แล้ว ยังโปรดปรานการนำวิชาความรู้ด้านจีโนมิกส์มาไขปริศนาเรื่องจ้อจี้ของสัตว์โลกอีกด้วย

โครโมโซมจิ๋ว : มรดกจีโนมโบราณ ที่บางสายวิวัฒนาการยังคงเก็บไว้

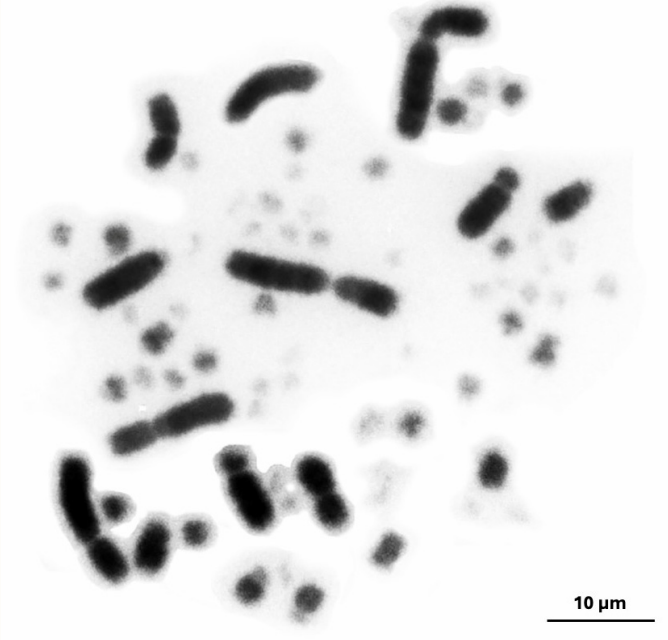
หากนำโครโมโซมของมนุษย์กับไก่มาวางเรียงเปรียบเทียบกัน ภาพที่เห็นจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน โครโมโซมของมนุษย์แม้จะมีขนาดแตกต่างกัน แต่โดยรวมยังอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างต่อเนื่อง ขณะที่แคริโอไทป์ของนกจำนวนมากกลับดูราวกับมี "สองโลก" อยู่ในเซลล์เดียวกัน คือ แมโครโครโมโซม (macrochromosome) ซึ่งเป็นโครโมโซมขนาดใหญ่เพียงไม่กี่คู่ และไมโครโครโมโซม (microchromosome) ซึ่งเป็นโครโมโซมขนาดเล็กมากอีกหลายคู่ บางแท่งเล็กมากจนเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์อาจเห็นเป็นเพียงจุดเล็ก ๆ ท่ามกลางโครโมโซมแท่งใหญ่



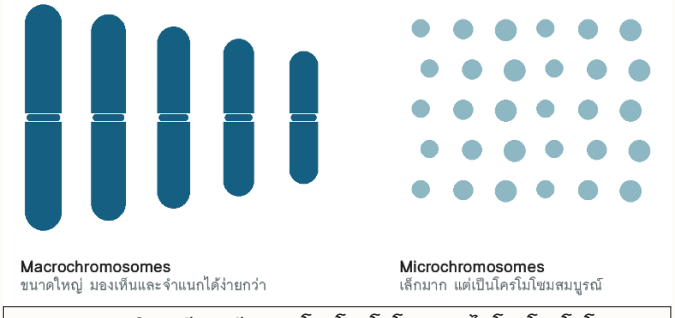
คณะผู้เขียน :
ดร.วรพงศ์ สิงห์ชาติ, ดร.ฐิติพงศ์ พันทุม และ ศ. ดร.ศรศร ศรีกุลนาถ

แต่ไมโครโครโมโซมไม่ได้เป็นเอกลักษณ์ของนกเท่านั้น โครโมโซมขนาดเล็กเช่นนี้พบกระจายอยู่ในสัตว์มีกระดูกสันหลังหลายสายวิวัฒนาการ ตั้งแต่ปลา สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ไปจนถึงสัตว์เลื้อยคลานหลายกลุ่ม เช่น เต่า กิ้งก่า งู ขณะที่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอย่างมนุษย์กลับไม่มีชุดไมโครโครโมโซมที่แยกออกมาอย่างเด่นชัดเหมือนในสัตว์เหล่านั้น

ความแตกต่างนี้นำไปสู่คำถามที่ดูเหมือนเรียบง่าย แต่ซ่อนประวัติศาสตร์วิวัฒนาการของจีโนมไว้หลายร้อยล้านปีว่า เหตุใดสัตว์บางสายวิวัฒนาการจึงยังคงมี “โครโมโซมจิ๋ว” จำนวนมาก ขณะที่ในสัตว์อีกหลายสาย โครโมโซมเหล่านี้กลับไม่ปรากฏให้เห็นอีกแล้ว ? คำถามที่ว่า “ทำไมสัตว์เหล่านั้นจึงมีไมโครโครโมโซม ?” จึงอาจจะไม่น่าสนใจเท่า “แล้วไมโครโครโมโซมของบรรพบุรุษเราหายไปไหน ?”



โครโมโซมจากเซลล์ระยะเมทาเฟสของไก่ (Gallus gallus; 2n = 78) แสดงในรูปแบบภาพย้อม DAPI แบบกลับสี (inverted DAPI) โดยพบโครโมโซมขนาดใหญ่เพียงไม่กี่คู่ร่วมกับโครโมโซมขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งบางแท่งมีขนาดเล็กมากจนมองเห็นเป็นเพียงจุดเล็ก ๆ



ภาพแนวคิดเปรียบเทียบแมโครโครโมโซมและไมโครโครโมโซม ซึ่งอยู่ร่วมกันในจีโนมเดียวกันได้

ใครมีไมโครโครโมโซมบ้าง ?

หากมองข้ามเส้นแบ่งระหว่างชนิด เราจะพบว่าไมโครโครโมโซมไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะในนก แต่พบกระจายอยู่ในสัตว์มีกระดูกสันหลังหลายกลุ่ม ทั้งสัตว์เลื้อยคลาน เช่น งู กิ้งก่า และเต่า รวมถึงปลาและสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกบางชนิด จำนวนของไมโครโครโมโซมแตกต่างกันมากในแต่ละกลุ่ม ตั้งแต่เพียงไม่กี่คู่ไปจนถึงหลายสิบคู่ ความแปรผันนี้ทำให้ไมโครโครโมโซมกลายเป็นหน้าต่างสำคัญสำหรับศึกษาว่าโครงสร้างของจีโนมสัตว์มีกระดูกสันหลังได้รับการอนุรักษ์ แตกออก และรวมตัวใหม่อย่างไรตลอดประวัติศาสตร์วิวัฒนาการ



การกระจายของไมโครโครโมโซมในสัตว์มีกระดูกสันหลังมีความหลากหลายมาก ตั้งแต่ไม่มีเป็นชุดแยกเด่นชัดไปจนถึงมีมากกว่า 40 คู่ ในบางสายวิวัฒนาการ

เล็กแต่แน่นไปด้วยยีน

ชื่อไมโครโครโมโซมอาจทำให้รู้สึกว่าโครโมโซมขนาดเล็กเหล่านี้คงมีข้อมูลทางพันธุกรรมน้อยตามขนาด แต่สิ่งที่น่าสนใจคือ แม้จะมีดีเอ็นเอน้อยกว่าโครโมโซมแท่งใหญ่ แต่ไมโครโครโมโซมหลายแท่งกลับเป็นบริเวณที่มียีนหนาแน่น มีสัดส่วน GC (guanine (กัวนีน), cytosine (ไซโทซีน)) สูง มีดีเอ็นเอที่มีลำดับเบสซ้ำกัน (repetitive DNA) และชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่เคลื่อนที่ได้ (transposable elements) ต่ำกว่าโดยเฉลี่ย และมีอัตราการเกิดรีคอมบิเนชัน (recombination) ต่อหน่วยความยาวของดีเอ็นเอสูงกว่าแมโครโครโมโซมคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ไมโครโครโมโซมไม่ได้เป็นเพียง “โครโมโซมเล็ก” แต่มีลักษณะทางจีโนมที่แตกต่างจากโครโมโซมขนาดใหญ่ค่อนข้างชัดเจน

ความแตกต่างนี้เห็นได้ชัดมากในไก่ซึ่งมีไมโครโครโมโซมรวมกันประมาณร้อยละ 23 ของจีโนม แต่กลับเป็นบริเวณที่อุดมด้วยยีน และมีอย่างน้อยประมาณครึ่งหนึ่งของยีนทั้งหมดอยู่บนโครโมโซมกลุ่มนี้ กล่าวอีกแบบหนึ่งคือ แม้ไมโครโครโมโซมจะมีขนาดเล็ก แต่พื้นที่หนึ่งเมกะเบสบนโครโมโซมเหล่านี้โดยเฉลี่ยจะมียีนหนาแน่นกว่าแมโครโครโมโซมมาก

ความพิเศษของไมโครโครโมโซมจึงไม่ได้อยู่ที่ “ความเล็ก” เพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงวิธีที่ยีนถูกบรรจุ การแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม และองค์ประกอบของดีเอ็นเอภายในโครโมโซมเหล่านี้ด้วย

ไมโครโครโมโซมเกิดขึ้นจากไหน ?

ที่มาของไมโครโครโมโซมเป็นคำถามที่นักพันธุศาสตร์ถกเถียงกันมานาน แนวคิดหนึ่งเสนอว่าโครโมโซมขนาดเล็กเหล่านี้อาจเกิดจากการแตกแยก (fission) ของโครโมโซมขนาดใหญ่ในบรรพบุรุษ ขณะที่อีกแนวคิดมองในทิศทางตรงกันข้ามว่าไมโครโครโมโซมหลายแท่งอาจเป็น**หน่วยโครโมโซมดั้งเดิม**ที่มีอยู่มาตั้งแต่บรรพบุรุษ และเก็บรักษาไว้ในสัตว์บางสายวิวัฒนาการขณะที่ในสัตว์อีกหลายสาย หน่วยเหล่านี้ค่อย ๆ หลอมรวมเข้าด้วยกันหรือรวมเข้ากับโครโมโซมขนาดใหญ่จนไม่ปรากฏเป็นไมโครโครโมโซมอีกต่อไป

หลักฐานจากจีโนมระดับโครโมโซมในช่วงหลังสนับสนุนภาพหลังมากขึ้น มีงานวิจัยของวอเทอส์และคณะ เปรียบเทียบจีโนมของนก สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และพบว่าไมโครโครโมโซมจำนวนมากมีการคงอยู่ร่วมกันของกลุ่มยีนในโครโมโซมเดียวกัน (conserved synteny) อย่างน่าประหลาดใจ แม้สัตว์เหล่านี้จะแยกสายวิวัฒนาการจากกันมานานมากก็ตาม

หลักฐานที่น่าสนใจยิ่งกว่านั้นมาจากการเปรียบเทียบกับแอมฟิออกซัส (amphioxus) หรือแลนเซเลต (lancelet) ซึ่งเป็นสัตว์กลุ่มคอร์เดต (chordate) ที่แยกสายวิวัฒนาการออกจากสายที่นำไปสู่สัตว์มีกระดูกสันหลังมานานราว 684 ล้านปี แอมฟิออกซัสมีจีโนมขนาดเล็กที่แบ่งออกเป็นโครโมโซมขนาดเล็กหลายแท่ง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับจีโนมของนก พบว่าไมโครโครโมโซมของนกหลายแท่งยังคงมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมเหล่านี้อย่างชัดเจน

ผลดังกล่าวทำให้ภาพของไมโครโครโมโซมเปลี่ยนไปอย่างมาก เพราะมันชี้ว่าไมโครโครโมโซมบางส่วน**ไม่ได้เป็น “ของใหม่” ที่เพิ่งเกิดขึ้นในนกหรือสัตว์เลื้อยคลาน** แต่เป็นร่องรอยของหน่วยโครโมโซมโบราณที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษร่วมของคอร์เดตในอดีตอันไกลโพ้น

ดังนั้นเมื่อเรามองไมโครโครโมโซมของไก่ในวันนี้ เราอาจไม่ได้กำลังมองเพียงโครโมโซมขนาดเล็ก แต่กำลังมองเห็นชิ้นส่วนของสถาปัตยกรรมจีโนมที่มีรากย้อนกลับไปหลายร้อยล้านปี ไมโครโครโมโซมจึงอาจไม่ใช่โครโมโซมที่ “ผิดปกติ” ของนกและสัตว์เลื้อยคลาน แต่ในทางกลับกันไมโครโครโมโซมอย่างน้อยบางส่วนอาจเป็นหน่วยโครโมโซมดั้งเดิมของจีโนมสัตว์ ที่สายวิวัฒนาการเหล่านี้ยังคงเก็บรักษาไว้จนถึงปัจจุบัน

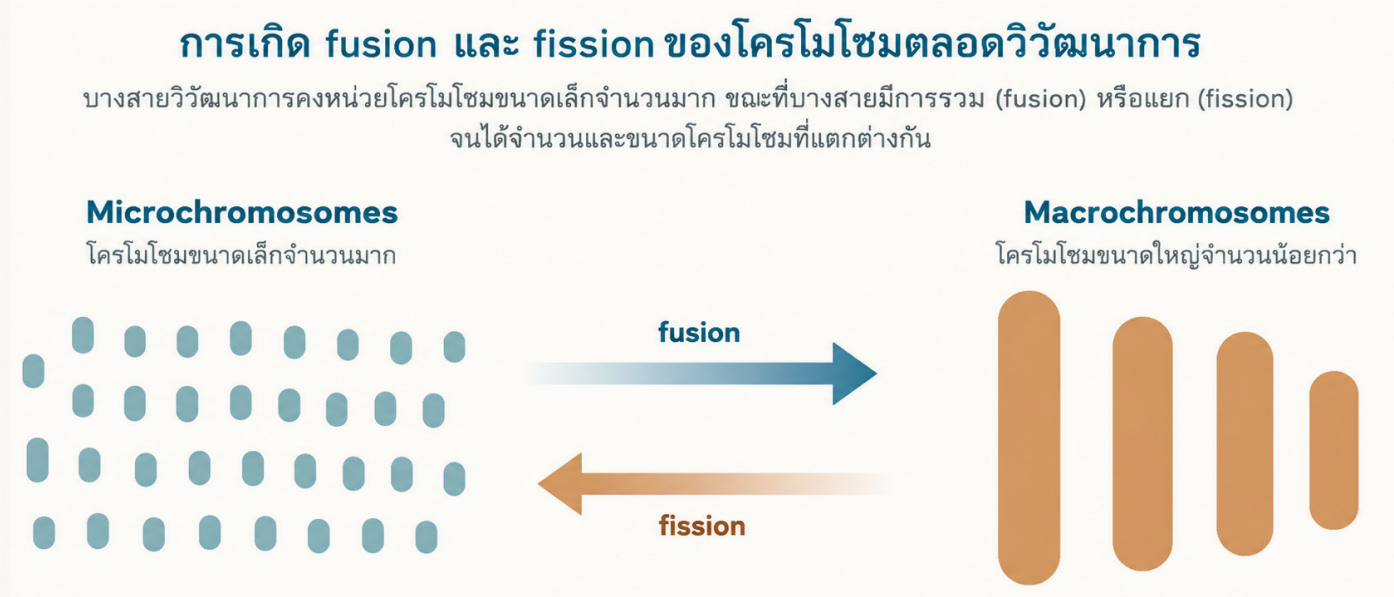
ทำไมบางกลุ่มยังมี แต่บางกลุ่มไม่มี?

นี่คือคำถามสำคัญที่สุดของเรื่องนี้ ปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานที่อธิบายว่าทำไมสัตว์บางกลุ่มจึงมีไมโครโครโมโซมจำนวนมาก ขณะที่บางกลุ่มไม่มี แต่สิ่งที่หลักฐานบอกได้ชัดเจนคือ การมีหรือไม่มีไมโครโครโมโซมในสัตว์แต่ละกลุ่มเป็นผลสะสมจากประวัติการจัดเรียงโครโมโซมใหม่ (chromosome rearrangement) ที่แตกต่างกันไปในแต่ละสายวิวัฒนาการ โดยเฉพาะกระบวนการรวมตัว (fusion) และการแตกตัว (fission)

เมื่อไมโครโครโมโซมสองแท่งหลอมรวมเข้าด้วยกัน หรือไมโครโครโมโซมรวมเข้ากับแมโครโครโมโซม จำนวนโครโมโซมขนาดเล็กที่มองเห็นเป็นแท่งแยกก็จะลดลง แต่ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเหล่านั้นไม่ได้หายไปพร้อมกับการหลอมรวม แต่ยังคงอยู่โดยกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การเปรียบเทียบจีโนมระหว่างสัตว์หลายกลุ่มพบร่องรอยของเหตุการณ์ลักษณะนี้ในหลายสายวิวัฒนาการ รวมถึงเต่า งู และกิ้งก่าหลายกลุ่ม

ในทางกลับกัน กระบวนการฟิชชันหรือการแตกของโครโมโซมขนาดใหญ่ก็ทำให้เกิดโครโมโซมขนาดเล็กขึ้นใหม่ได้เช่นกัน มีตัวอย่างจากสัตว์บางสายวิวัฒนาการที่ไมโครโครโมโซมบางแท่งไม่ได้สืบทอดมาในรูปเดิมจากบรรพบุรุษอันเก่าแก่ แต่เกิดขึ้นภายหลังจากการแตกและจัดเรียงโครโมโซมใหม่

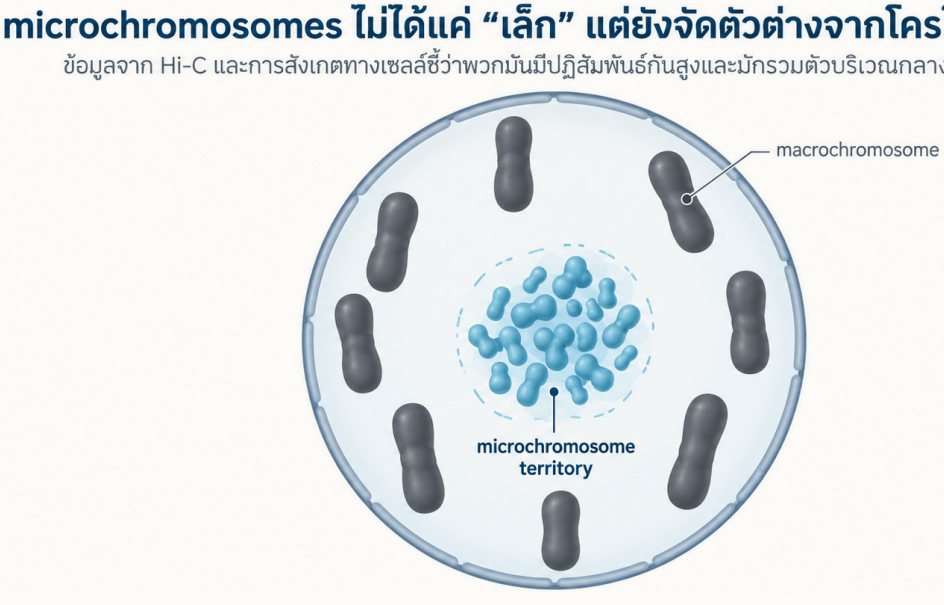
ดังนั้นคำว่า ไมโครโครโมโซมจึงบอกเราเพียงว่าโครโมโซมนั้นมีขนาดเล็ก แต่ไม่ได้บอกว่าโครโมโซมทุกแท่งมีต้นกำเนิดหรืออายุทางวิวัฒนาการเหมือนกัน บางแท่งอาจเป็นหน่วยโครโมโซมโบราณที่ถูกเก็บรักษามาหลายร้อยล้านปี ขณะที่บางแท่งอาจเกิดขึ้นใหม่ในภายหลังจากการจัดเรียงโครโมโซมใหม่



ความแตกต่างระหว่างสายวิวัฒนาการอาจเกิดจากการรวมตัว (fusion) ของไมโครโครโมโซมหรือการแตกตัว (fission) ของโครโมโซมใหญ่ กระบวนการทั้งสองเปลี่ยนจำนวนไมโครโครโมโซมได้โดยไม่จำเป็นต้องสูญเสียยีนทั้งหมด

สิ่งที่เราเห็นในแคริโอไทป์ของสัตว์ปัจจุบันจึงเปรียบเสมือนผลลัพธ์ปลายทางของประวัติการ “แยก–รวม–จัดเรียงใหม่” ของโครโมโซมที่ดำเนินมาอย่างต่อเนื่องตลอดวิวัฒนาการ

ความพิเศษของไมโครโครโมโซมไม่ได้หยุดอยู่เพียงที่ลำดับดีเอ็นเอหรือจำนวนยีน เพราะเมื่อศึกษาการจัดระเบียบจีโนมในสามมิติ นักวิทยาศาสตร์พบว่าโครโมโซมขนาดเล็กเหล่านี้ยังมีรูปแบบการวางตัวในนิวเคลียสที่แตกต่างจากแมโครโครโมโซมด้วย



แบบจำลองเชิงแนวคิดของการจัดตัวในนิวเคลียส ไมโครโครโมโซมมีปฏิสัมพันธ์กันสูงและมีแนวโน้มรวมตัวบริเวณส่วนกลาง ขณะที่แมโครโครโมโซมแยกเป็นพื้นที่เฉพาะตัวชัดกว่า
ที่มาภาพ : สรุปแนวคิดจาก Perry et al., 2021; Waters et al., 2021

ถ้าอย่างนั้น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม “ทำไมโครโครโมโซมหายไป” หรือไม่?

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในปัจจุบันไม่ได้รักษาชุดไมโครโครโมโซมบรรพบุรุษ ไว้เป็นแท่งแยกอย่างเด่นชัดเหมือนที่พบในนกและสัตว์เลื้อยคลานหลายกลุ่ม แต่ไม่ได้หมายความว่ายีนหรือชิ้นส่วนของหน่วยโครโมโซมโบราณเหล่านั้นหายไปจากจีโนมทั้งหมด การเปรียบเทียบลำดับจีโนมพบว่า บริเวณต่าง ๆ บนโครโมโซมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยังเชื่อมโยงย้อนกลับไปยังไมโครโครโมโซมของนกและสัตว์เลื้อยคลานได้ เพียงแต่หน่วยเดิมเหล่านั้นผ่านการรวมตัวและเรียงตัวใหม่ซ้ำหลายครั้งจนไม่เหลือรูปร่างเป็นไมโครโครโมโซมแยกอิสระเหมือนเดิม

กล่าวอีกแบบหนึ่งคือ **ไมโครโครโมโซมอาจไม่ได้หายไปจากจีโนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่ “ประกอบขึ้นใหม่”** หน่วยโครโมโซมขนาดเล็กในบรรพบุรุษค่อย ๆ ถูกนำมารวม แยก และจัดเรียงใหม่ จนกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครโมโซมขนาดใหญ่ที่พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมปัจจุบัน ในมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกลุ่มเทอเรียน (therian) ร่องรอยเหล่านี้ยิ่งถูกแบ่งและกระจายออกไปจากการจัดเรียงจีโนมซ้ำหลายครั้งตลอดวิวัฒนาการ

จาก “จุดเล็ก ๆ” สู่ประวัติศาสตร์ของจีโนม

หากย้อนกลับไปยังคำถามว่า “ทำไมสัตว์บางกลุ่มจึงมีไมโครโครโมโซม ?” คำตอบที่เหมาะสมที่สุดในปัจจุบันไม่ใช่เพราะว่าสัตว์เหล่านั้นจำเป็นต้องสร้างโครโมโซมขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่เป็นเพราะจีโนมของพวกมันมีประวัติวิวัฒนาการของโครโมโซมที่แตกต่างกัน บางสายยังคงรักษาหน่วยโครโมโซมขนาดเล็กโบราณไว้เป็นแท่งแยก ขณะที่ในอีกหลายสายหน่วยเหล่านั้นผ่านการรวมตัวและเรียงใหม่จนกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

และยิ่งเรามีจีโนมระดับโครโมโซมจากสัตว์หลากหลายชนิดมากขึ้น ภาพก็ยิ่งชัดว่าไมโครโครโมโซมจำนวนมากไม่ใช่เพียง “โครโมโซมเล็ก” แต่เป็นหน่วยของจีโนมที่มีประวัติยาวนาน มียีนหนาแน่น มีอัตรารีคอมบิเนชันสูง มีรูปแบบการจัดตัวในนิวเคลียสที่โดดเด่น และในบางกรณีสามารถคงความเป็นหน่วยเดิมผ่านช่วงเวลาวิวัฒนาการนับร้อยล้านปี

โครโมโซมที่เล็กที่สุดบางแท่งจึงอาจกำลังเก็บเรื่องราวที่เก่าแก่ที่สุดของจีโนมเอาไว้



แหล่งข้อมูลอ้างอิง

Griffin, D. K., Kretschmer, R., Srikulnath, K., Singchat, W., O’Connor, R. E., & Romanov, M. N. (2024). Insights into avian molecular cytogenetics—with reptilian comparisons. *Molecular Cytogenetics, 17,* 24. https://doi.org/10.1186/s13039-024-00696-y

O’Connor, R. E., Kiazim, L., Skinner, B., Fonseka, G., Joseph, S., Jennings, R., Larkin, D. M., & Griffin, D. K. (2019). Patterns of microchromosome organization remain highly conserved throughout avian evolution. *Chromosoma, 128,* 21–29. https://doi.org/10.1007/s00412-018-0685-6

Perry, B. W., Schield, D. R., Adams, R. H., & Castoe, T. A. (2021). Microchromosomes exhibit distinct features of vertebrate chromosome structure and function with underappreciated ramifications for genome evolution. *Molecular Biology and Evolution,* 38, 904–910. https://doi.org/10.1093/molbev/msaa253

Srikulnath, K., Ahmad, S. F., Singchat, W., & Panthum, T. (2021). Why do some vertebrates have microchromosomes? *Cells, 10,* 2182. https://doi.org/10.3390/cells10092182

Waters, P. D., Patel, H. R., Ruiz-Herrera, A., Álvarez-González, L., Lister, N. C., Simakov, O., et al. (2021). Microchromosomes are building blocks of bird, reptile, and mammal chromosomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 118, e2112494118. https://doi.org/10.1073/pnas.2112494118

 เรื่องและภาพโดย ไอซี วริศา ใจดี (ไอซี)



เด็กสายวิทย์ที่งศิลป์ ชอบเรียนฟิสิกส์ดาราศาสตร์ เวลาว่างชอบวาดการ์ตูน กำลังค้นหาความลับของจักรวาล
Facebook : *I-see Warisa Jaidee*

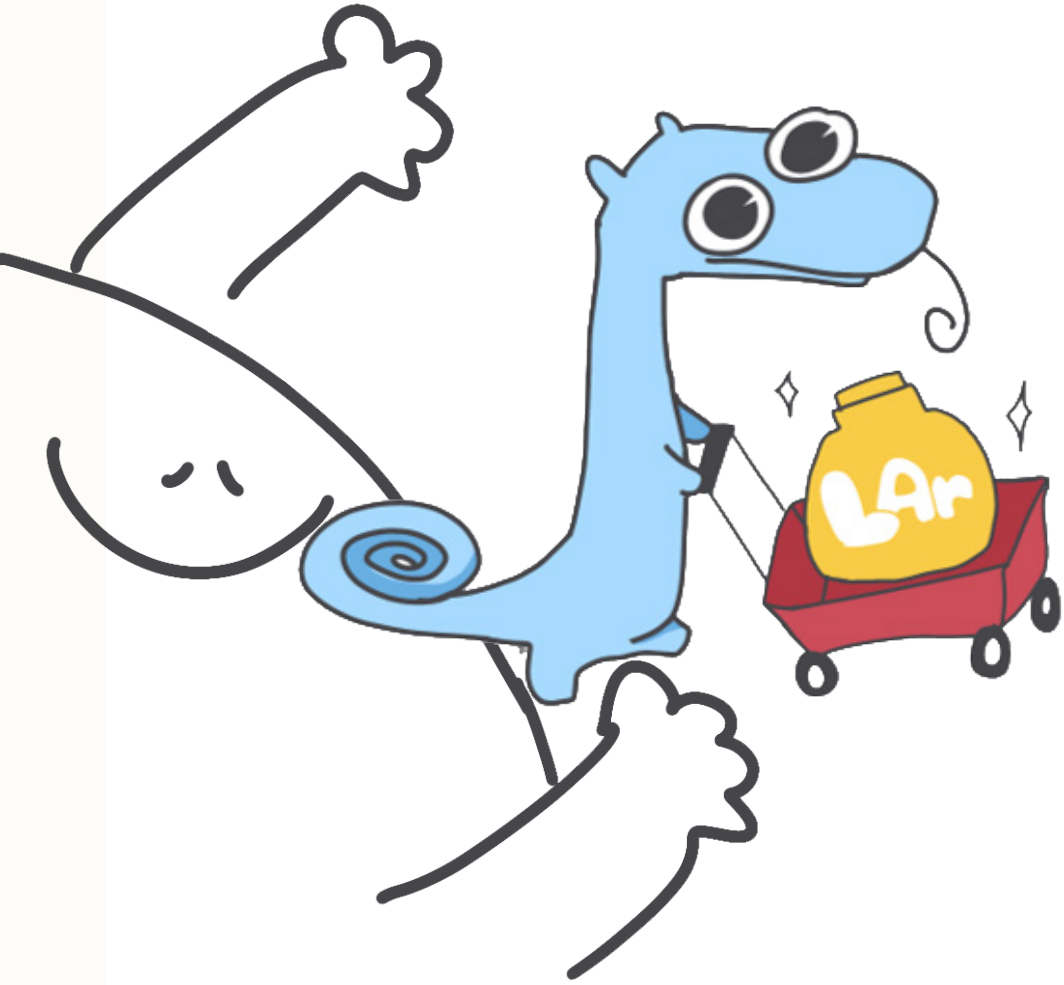


My Beginner's Guide to Physics Grad School :

คู่มือเริ่มต้นสู่บัณฑิตวิทยาลัยสายฟิสิกส์ของฉัน

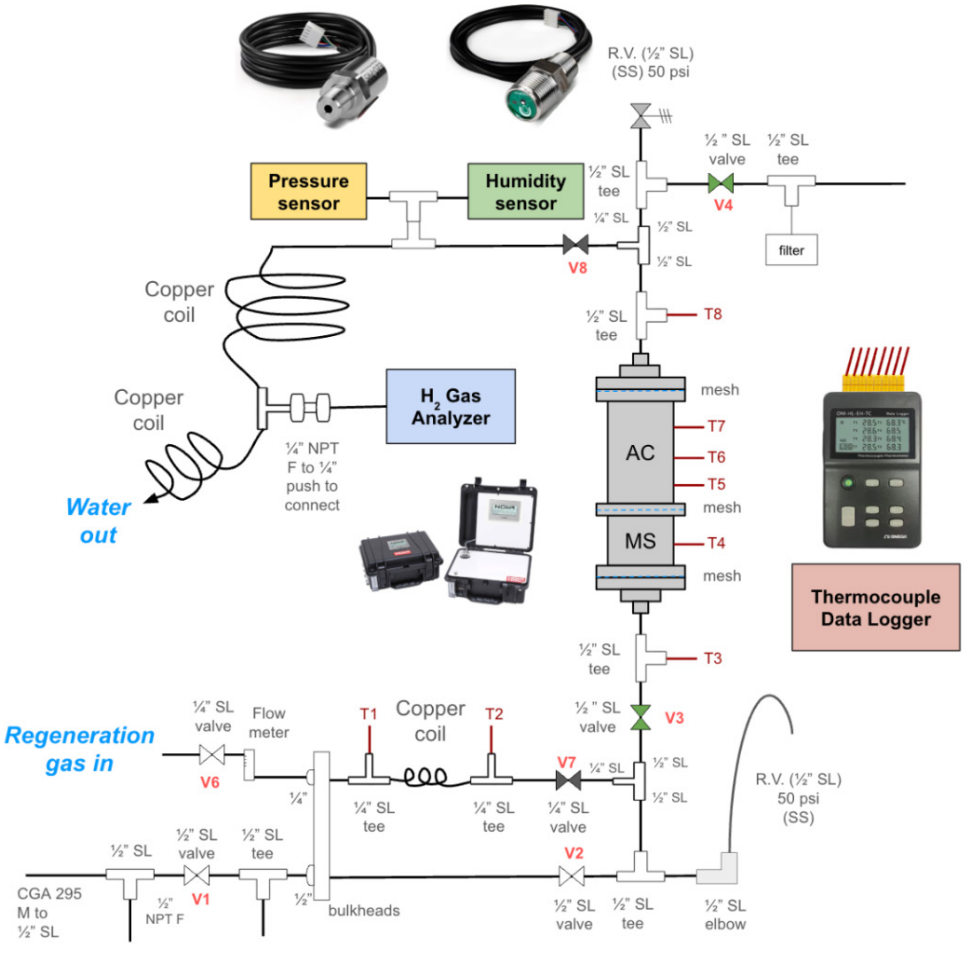
ตอนที่ 14

หลังจากใช้เวลาทั้งปิดเทอมฤดูร้อนสร้างระบบกรองอาร์กอนเหลวขึ้นมา ขั้นตอนที่ฉันว่าสนุกไม่แพ้การสร้างชุดทดลองเลยก็คือ การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล เพราะเป็นช่วงเวลาสำคัญที่จะได้รู้กันว่าเครื่องมือที่เราสร้างขึ้นมาทำงานได้ตามที่เราต้องการหรือเปล่า แต่ก่อนจะไปดูว่าสิ่งที่เราสร้างขึ้นมาทำงานได้ดีแค่ไหน เราต้องวางแผนกันก่อนว่าจะเก็บข้อมูลจากการทดลองอย่างไร รวมทั้งจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาจัดการและวิเคราะห์ต่ออย่างไร



การทำความสะอาดวัสดุกรอง (regeneration) การกรองอาร์กอนเหลว (purification) และการตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของผลลัพธ์ที่ได้ (purity monitoring) ล้วนเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาและต้องมีการติดตามผลอยู่ตลอดเพื่อไม่ให้มีความผิดพลาด ระบบทั้งหมดนี้เป็นระบบปิดอย่างที่ฉันได้เล่าไป เราจึงต้องมีวิธีที่ช่วยให้รู้ว่ากระบวนการต่าง ๆ กำลังดำเนินไปด้วยดีและเป็นไปตามคาดหวัง เช่น ในระบบของเราต้องมีการตรวจวัดอุณหภูมิและความดันในท่อไม่ให้สูงเกินจนอาจเกิดอันตรายได้ โดยค่าความชื้นที่เป็นตัวบ่งชี้ของไอน้ำที่เป็นผลลัพธ์ของปฏิกิริยาเคมีในเม็ดทองแดงกัมมันต์ที่ตรวจวัดได้จะช่วยบอกได้ว่าควรดำเนินการทดลองไปได้อีกนานเท่าไหร่ เพราะระยะของกระบวนการทำความสะอาดวัสดุกรองขึ้นอยู่กับระยะที่เราใช้งานเครื่องกรอง ถ้าไส้กรองสกปรกมากก็ต้องใช้เวลานานในการทำความสะอาด นอกจากนี้เมื่อส่งอาร์กอนเหลวที่กรองแล้วเข้าสู่เครื่องตรวจวัดคุณภาพ เราก็ต้องเก็บข้อมูลต่ออีกเพื่อนำมาวิเคราะห์ตามการคำนวณอัตราส่วนสิ่งเจือปนอย่างที่ฉันได้เล่าไว้ในฉบับก่อนหน้านี้

เรียกได้ว่าเราต้องเก็บข้อมูลและติดตามสถานะอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน หรือที่เรียกว่า slow control ในระยะแรกที่ต้องการติดตามข้อมูลอุณหภูมิของเครื่องกรอง เรามีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิติดตั้งตามตำแหน่งต่าง ๆ ของท่อ ค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งจะช่วยให้เรารู้ว่าอาร์กอนเหลวเดินทางไปถึงตรงไหนแล้วในระบบที่ปิดมิดชิดนี้ เป้าหมายคือ ต้องควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส ในช่วงท่อที่มีทองแดงกัมมันต์อาศัยอยู่, ต้องวัดค่าความชื้นและปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เป็นผลลัพธ์จากกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ว่าเราต้องปล่อยให้ระบบทำงานต่ออีกนานแค่ไหนไส้กรองถึงสะอาดพอพร้อมทำงานต่อ ฉันได้ติดตั้งเซนเซอร์เหล่านี้ซึ่งต้องเชื่อมเข้ากับคอมพิวเตอร์ มีการบัดกรีเข้ากับวงจรที่เป็นอะแดปเตอร์ให้แปลงสัญญาณสื่อสารกันได้แบบอนุกรม (serial communication)

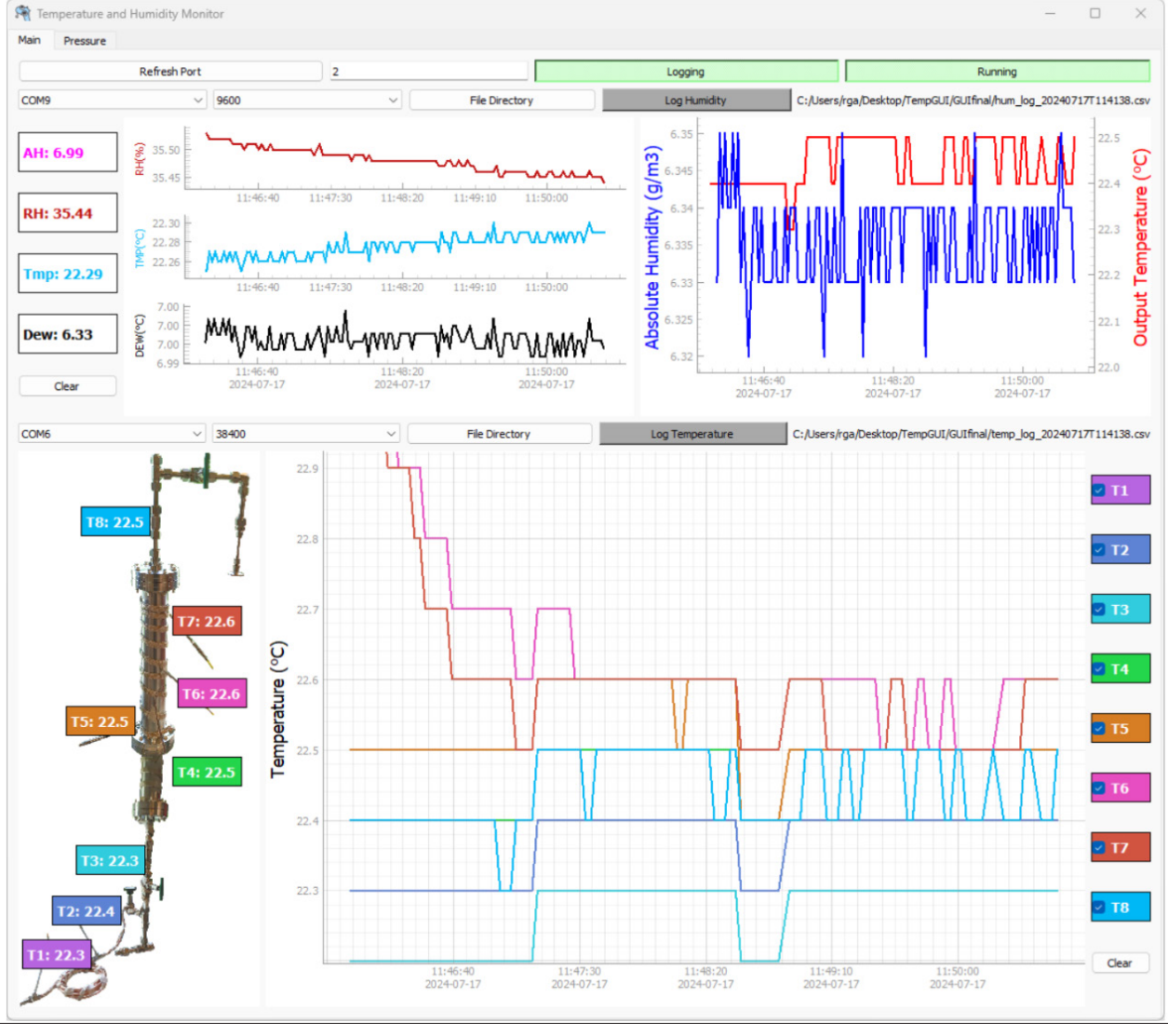


แผนภาพของเครื่องกรองและตำแหน่งของเซนเซอร์ที่เราติดตั้ง จะเห็นได้ว่าเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (thermocouple) เองก็มีหน้าจออ่านค่าแต่ถ้าแต่ละเครื่องต้องมาดูแยกกันก็จะลำบากนิดหน่อย เราเลยอยากเอามารวมกันไว้ในหน้าจอเดียวนั่นเอง

และเพื่อให้ดูดีขึ้นไปอีก ฉันก็ได้ใช้ PyQt5 ในการพัฒนาระบบอ่านและแสดงผลนี้ขึ้นมา ก่อนมาทำงานนี้ ฉันเคยเรียนเขียนโคดไพทอน (Python) แค่เพื่อพล็อตกราฟข้อมูล แต่ไม่เคยทำส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (graphical user interface, GUI) รวมถึงระบบสื่อสารแบบอนุกรมมาก่อน ฉันเลยได้มาฝึกฝนและหาข้อมูลเพื่อเรียนรู้ทักษะใหม่นี้ ฉันสนุกมากกับการได้นั่งคิดออกแบบให้ออกมาสวยงามและใช้งานได้ดีจนลงเอยออกมาเป็นอย่างที่เห็นนี่ละ

การใช้งานก็ไม่ยาก แทนที่จะต้องมากดโคดเริ่มของแต่ละเซนเซอร์ เราก็แค่ตั้งชื่อไฟล์ข้อมูลและกดปุ่มเริ่มได้เลย ระบบจะเก็บข้อมูลจากทุกเซนเซอร์มารวมกันอย่างมีระเบียบเอง ช่วยลดขั้นตอนไปได้เยอะและช่วยให้การทำงานของเราเสถียรยิ่งขึ้น

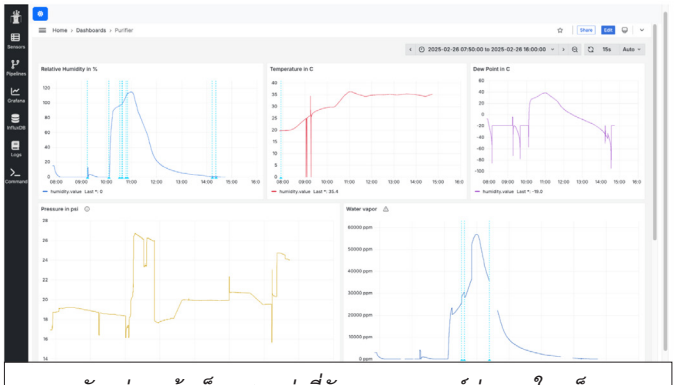
อย่างไรก็ตาม GUI ที่ฉันออกแบบนี้ใช้งานได้แค่ในคอมพิวเตอร์ของแล็บและต้องคอยจดบันทึกข้อมูลอยู่เรื่อย ๆ เพราะมันต้องเชื่อมต่อกับระบบเซนเซอร์ทั้งหลายโดยตรง นั่นหมายถึง เมื่อเริ่มการทดลองฉันต้องคอยเฝ้าดูอยู่ในแล็บจนกว่าการทดลองจะเสร็จ ฉันปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อหาแนวทางเลือกอื่นที่ดีกว่าเดิมเสมอ ได้ข้อสรุปออกมาว่าควรจะพัฒนาระบบเก็บข้อมูลที่รวมทุกเซนเซอร์เข้าด้วยกันเพื่อให้ติดตามการทดลองจากระยะไกลได้อย่างสะดวกและเป็นระบบมากขึ้น ระบบที่ทำงานในลักษณะสองฟังก์ชันนี้ก็เรียกว่า remote monitoring and slow control ที่ช่วยให้ฉันกดปุ่มเริ่มการทดลอง กลับหอมากินข้าว และเฝ้าดูผลได้ง่าย ๆ โดยไม่ต้องไปอยู่ในแล็บทั้งคืน



ภาพ GUI ที่ฉันออกแบบ ด้านบนแสดงค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นที่ประกอบด้วยค่าความชื้นสัมพัทธ์ จุดน้ำค้าง ความดัน และอุณหภูมิที่นำมาคำนวณรวมกันเพื่อให้ได้ความชื้นสัมบูรณ์ และด้านล่างเป็นส่วนของอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องกรอง ฉันได้ออกแบบให้แสดงผลบนรูปภาพเพื่อความเข้าใจง่าย

ฉันได้รับหน้าที่ให้มาติดตั้งระบบนี้ โดยพบว่าซอฟต์แวร์ชื่อ Doberman (Detector OBservation and Error Reporting Multiadaptive ApplicatioN) ที่พัฒนาโดยกลุ่ม Astroparticle Physics แห่ง University of Freiburg เป็นโครงสร้างที่ช่วยให้เราจัดแจงเซนเซอร์แต่ละตัว เช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดความชื้น วัดความดัน มาเชื่อมเข้าสู่เครือข่ายให้อ่านค่าและจัดเก็บลงในฐานข้อมูลออนไลน์อย่างเป็นระเบียบและมีความเสถียร ในขั้นตอนการติดตั้งก็ต้องเข้าไปแก้ไขในโคดตัวอย่างให้เข้ากับระบบของเรา ต้องกำหนดว่าเซนเซอร์แต่ละตัวเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ใด และกำหนด local IP address ที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อผ่านอีเทอร์เน็ต (Ethernet) การตั้งค่าและเชื่อมต่อแบบนี้เรานำไปใช้เมื่อต้องเพิ่มอุปกรณ์และเซนเซอร์ใหม่ในอนาคตได้

ในแล็บของเราประกอบด้วยอุปกรณ์และเซนเซอร์หลายชนิด เซนเซอร์ทั้งหมดใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS485 และ RS232 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม เราส่งคำสั่งเฉพาะไปยังเซนเซอร์เพื่อขอค่าการวัดหนึ่งค่า และจากนั้นถอดรหัสข้อมูลที่เซนเซอร์ส่งกลับมาเข้าสู่ฐานข้อมูลได้ เซนเซอร์เหล่านี้เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายผ่านอะแดปเตอร์ของ Waveshare เพื่อสื่อสารกับฐานข้อมูล การสื่อสารแบบอนุกรม จำเป็นต้องมีคำสั่งอ่านค่า (readout command) หรือโคดเสริม (plug-in code) ที่กำหนดไว้ในระบบ Doberman ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของคำสั่งที่ส่งไปยังอุปกรณ์ เช่น จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของข้อความ ที่เราต้องมาถอดรหัสและแจง (parse) ข้อมูลตามรูปแบบค่าที่เซนเซอร์แต่ละชนิดส่งออกมาด้วย เช่น เซนเซอร์ ความชื้นและความดันปกติจะส่งค่าต่อเนื่องตลอดเวลาทุกหนึ่งวินาที แต่เราปิดโหมดนี้แล้วเปลี่ยนเป็นการส่งคำสั่ง ASCII เพื่อขอค่าครั้งละหนึ่งค่าได้ตามที่กำหนดไว้ในคู่มือของเซนเซอร์



ตัวอย่างหน้าเว็บแสดงค่าที่วัดจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ในแล็บที่เราติดตามผลได้จากนอกห้องแล็บ

เมื่อระบบเริ่มทำงาน ข้อมูลที่บันทึกจะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล และดึงออกมาได้ผ่าน Structured Query Language หรือ SQL ซึ่งเป็นภาษาสำหรับค้นหาและจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล เราใช้ส่วนหน้าเว็บไซต์ (web front-end) ที่พัฒนาด้วย NodeJS เพื่อแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ ภายในหน้าเว็บมี Grafana ซึ่งเป็นเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟ เราปรับแต่งฐานข้อมูลให้จัดกลุ่มค่าการวัดตามประเภท เซนเซอร์ และอุปกรณ์ และนำกราฟข้อมูลแบบเรียลไทม์หลายชุดมาแสดงบนหน้าแสดงผลเดียวกัน ข้อดีก็คือทำให้ใช้งานได้ง่าย สะดวกต่อทุกคนในแล็บที่ต้องเข้ามาดูผลจากหน้าเว็บนี้ โดยไม่ต้องไปแตะโคด แค่กดผ่านจอในหน้าเว็บ (interactive display) ก็จะได้ค่าที่ต้องการ เรื่องนี้อาจดูเป็นปัญหาเล็ก ๆ แต่เมื่อการทดลองของเรามีเซนเซอร์มากขึ้นและการจัดเก็บข้อมูลซับซ้อนยิ่งขึ้น ระบบนี้จึงนับว่ามีประโยชน์มากสำหรับการติดตามการทดลองแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลออกจากหน้าเว็บได้โดยตรง

ฉันได้ร่วมออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดความบริสุทธิ์ของอาร์กอนเหลว (liquid argon purification system) ซึ่งประกอบด้วยระบบกรอง (purifier) และเครื่องตรวจวัดความบริสุทธิ์ (purity monitor) และยังได้พัฒนา GUI ด้วย PyQt5 สำหรับระบบตรวจติดตามผลการทดลองแบบ slow control ที่ต่อมาเราได้เปลี่ยนมาใช้ระบบ Doberman ที่ช่วยให้ติดตามทางไกล นอกจากนี้ก็ยังมีส่วนในการตั้งค่าและดูแลการสื่อสารกับเซนเซอร์เพื่อแสดงผลบนหน้าเว็บของฐานข้อมูลที่ยังคงใช้งานอยู่ในทุกวันนี้

ฉันสนุกสนานกับการเข้าห้องปฏิบัติการตัดแผ่นเหล็กมาทำเป็นกล่องใส่วงจร การบัดกรีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผงไฟฟ้า ไปจนถึงการเขียนโคดเพื่อสื่อสารกับเซนเซอร์ ทำให้ได้ฝึกทักษะคอมพิวเตอร์ ส่วนการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน (user interface) พ่วงมากับการเรียนในคณะฟิสิกส์ซึ่งนำไปต่อยอดและประยุกต์ใช้กับการทำงานในสาขาอื่นได้ และแน่นอนว่าภาพการ์ตูนที่ใช้เป็นโลโกของหน้าเว็บ ฉันก็เป็นคนออกแบบด้วย นับว่าเป็นปิดเทอมภาคฤดูร้อนที่ได้ทดลองทำอะไรที่หลากหลายจริง ๆ

ปรากฏการณ์ครั้งสำคัญของประเทศไทย

เปิดประตูสู่ยุค "เศรษฐกิจอวกาศ"

รวม 3 มหกรรมอวกาศระดับโลก แห่งปี 2026

THAILAND SPACE EXPO 2026

มหกรรมด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอวกาศ
28-31 ตุลาคม 2569
ณ ชั้น 7 ไอคอนสยาม ฮอลล์ ไอคอนสยาม กรุงเทพฯ

32ND APRSAF
ASIA-PACIFIC REGIONAL SPACE AGENCY FORUM THAILAND

26-28 ตุลาคม 2569
ณ โรงแรมรอยัล ออคิด เชอราตัน ริเวอร์ไซด์ กรุงเทพฯ

29-30 ตุลาคม 2569
ณ ชั้น 7 ไอคอนสยาม ฮอลล์ ไอคอนสยาม กรุงเทพฯ

MOON VILLAGE ASSOCIATION

26-27 ตุลาคม 2569
ณ ชั้น 7 ไอคอนสยาม ฮอลล์ ไอคอนสยาม กรุงเทพฯ

"อวกาศ...เริ่มต้นที่นี่"

THAILAND SPACE EXPO 2026:
SPONSOR & EXHIBITION CONTACT: 02-1414593
EMAIL: EXHIBITION@GISTDA.OR.TH

APRSAF:
EMAIL: APRSAF32@APRSAF.ORG

MVA:
CONTACT: 033-046307

ปิยพร เศรษฐศิริไพบูลย์
สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (สท.)

เมื่อ “ศูนย์ดินปุ๋ยชุมชน” ยกระดับมันสำปะหลังอินทรีย์ด้วย “ชุดวิเคราะห์ดินแบบพกพา”

“ดินเป็นสิ่งสำคัญที่สุดของการทำเกษตร ตรวจดินทำให้รู้ว่าดินขาดอะไร ต้องใส่ปุ๋ยแค่ไหน ทำให้ลดต้นทุนค่าปุ๋ยได้” วินัย กระฉอดนอก ประธานศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชนบ้านร่องคันแยง ตำบลสำโรง อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี สะท้อนความสำคัญของการตรวจดินที่สัมพันธ์กับต้นทุนการใช้ปุ๋ย ไม่ต่างจาก **หนูนา หลวงไชย์** ประธานศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชนนาคาย ตำบลนาคาย อำเภอตาลสุม จังหวัดอุบลราชธานี ที่เล่าถึงความเปลี่ยนแปลงของชาวบ้านในพื้นที่ว่า ***“ชาวบ้านสนใจตรวจดินมากขึ้น เพราะเห็นแล้วว่าได้ผลผลิตเยอะ ใช้ปุ๋ยน้อยลง จากที่ใส่ปุ๋ยตาม ๆ กัน ก็รู้แล้วว่าต้องใส่เท่าที่พืชต้องการ ไม่ต้องลงทุนเยอะ”***



การจัดการดินและปุ๋ยอินทรีย์อย่างเหมาะสมเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์[1]ได้รับการถ่ายทอดความรู้ผ่านแปลงต้นแบบการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งให้ผลผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อไร่[2] เมื่อบวกกับราคารับซื้อที่สูงกว่ามันสำปะหลังเคมี จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรให้ความสำคัญกับการจัดการดินและปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น

“แต่ก่อนตรวจดินต้องส่งไปไกล กว่าจะรู้ผลก็นาน พอมี ศดปช.[3] ชาวบ้านเอาดินมาส่งตรวจ ก็รู้ผลได้เลย ก่อนมาทำมันสำปะหลังอินทรีย์ เราก็ตรวจดินกันอยู่แล้ว จะได้ใส่ปุ๋ยได้เหมาะหรือใส่น้อยลง ช่วยลดต้นทุนค่าปุ๋ยได้ เพราะปุ๋ยเคมีแพง” วินัยเล่าถึงประสบการณ์ของเขาและสมาชิกกับการตรวจดิน หลังจากมีการจัดตั้ง “ศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชนบ้านร่องคันแยง” ในช่วงปี พ.ศ. 2557 โดยได้รับการสนับสนุนองค์ความรู้และเครื่องมือการตรวจวิเคราะห์ดินจากหน่วยงานเกษตรในพื้นที่ และมีกิจกรรมให้ความรู้การเก็บตัวอย่างดินและตรวจวิเคราะห์ดินมาอย่างต่อเนื่อง ด้วยสมาชิกทั้ง 33 คนต่างเห็นความสำคัญของการตรวจดิน

“แต่ละปีดินไม่เหมือนกัน ดินที่เคยปรับปรุงแล้วให้ผลผลิตดีขึ้น ใช้ปุ๋ยน้อยลงก็ต้องเอากลับมาตรวจอีก เพราะธาตุอาหารถูกพืชดูดไป เราก็ต้องเติมปุ๋ยกลับเข้าไปเติมอะไรเติมเท่าไหร่ เราก็ต้องเอาดินมาตรวจ”

ขณะที่ “ศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชนนาคาย” จัดตั้งขึ้นได้ราว 5 ปี และกลับมามีบทบาทอีกครั้งหลังจาก สท. สวทช. ส่งเสริมให้เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ “ใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน” โดยหนูนาเป็นแกนนำหลักที่ได้เรียนรู้วิธีการตรวจดินและทำหน้าที่ตรวจวิเคราะห์ดินให้สมาชิก 30 คนของศูนย์ฯ

การมีอยู่และกลับมามีบทบาทอีกครั้งของ “ศูนย์จัดการดินและปุ๋ยชุมชน” เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์ในระดับชุมชนเข้าถึงองค์ความรู้และเทคโนโลยีการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ตามค่าวิเคราะห์ดินได้ และเกิดการขยายผลการใช้เทคโนโลยี **“ชุดวิเคราะห์ดินแบบพกพา SOMNPK Soil Test Kit”** และการแนะนำอัตราปุ๋ยอินทรีย์ด้วย **“แอปพลิเคชัน C_Stock”**

ด้วยประสบการณ์การใช้ชุดตรวจวิเคราะห์ดินมากว่า 10 ปี การเปิดรับเทคโนโลยีใหม่จึงไม่เป็นเรื่องยากสำหรับวินัยและสมาชิก



วินัย กระฉอดนอก



หนูนา หลวงไชย์

1 “โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์ด้วยกลไกตลาดนำการผลิต” ดำเนินงานภายใต้ความร่วมมือระหว่าง สวทช. โดยสถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (สท.) บริษัทอุบล ไบโอ เอทานอล จำกัด (มหาชน) กรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร

2 จากการดำเนินงานโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังในระบบอินทรีย์ด้วยกลไกตลาดนำการผลิตปีที่ 1 พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยแปลงต้นแบบที่ปรับใช้เทคโนโลยีปุ๋ยอินทรีย์ตามค่าวิเคราะห์ดินมีผลผลิตเฉลี่ย 4.8 ตันต่อไร่ (เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1 ตันต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบแปลงที่ไม่ได้ปรับใช้เทคโนโลยี) ราคามันสำปะหลังอินทรีย์ 3.65 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่มันสำปะหลังเคมี มีราคารับซื้อช่วงเวลาเดียวกันที่ 3 บาท ต่อกิโลกรัม

3 กรมส่งเสริมการเกษตรจัดตั้งศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชน หรือ ศดปช. ในตำบล/อำเภอ เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านดินและปุ๋ย รวมถึงบริการตรวจวิเคราะห์ดิน บริหารจัดการโดยกลุ่มเกษตรกรและมีเจ้าหน้าที่เกษตรเป็นพี่เลี้ยง







“ในแง่ของอุปกรณ์ตรวจดินไม่ต่างมากจากที่เคยทำกัน มีน้ำยาและแผ่นเทียบสี แต่มีเครื่องอ่านค่าแถบสีด้วย ทำให้อ่านค่าสีได้ง่ายขึ้น แม่นยำกว่าดูด้วยสายตา สมาชิกสนใจอยากใช้และอยากทำเป็นก็พากันมาเรียนรู้ แรก ๆ มี 3-4 คน ที่ทำหน้าที่ตรวจ ตอนนี้มี 14 คน เวลาตรวจดินก็วางคนตามขั้นตอนตั้งแต่ร่อนดิน ผสมน้ำยา เขย่า เทียบสี วางเป็นสายการผลิต จะได้ไม่วุ่นวายและสลับหน้าที่กัน ทุกคนจะได้มีความชำนาญในทุกขั้นตอน เวลาใครไม่อยู่ก็ทำแทนได้ เราทำกันเป็นกลุ่ม สร้างความสามัคคี ถ้าทำอยู่ไม่กี่คน การทำงานของกลุ่มก็จบ ไม่มีความผูกพันกัน”

กิจกรรม (อาสา) ตรวจวิเคราะห์ดินของวินัยและสมาชิกใช้เวลาร่วมวันกับตัวอย่างดิน 50 ถุง โดยผลวิเคราะห์ดินและคำแนะนำการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากแอป-พลิเคชัน C_Stock จะส่งให้เจ้าของดินเพื่อเป็นข้อมูลสั่งปุ๋ยอินทรีย์กับบริษัท อุบล ไบโอ เอทานอล จำกัด (มหาชน) นอกจากให้บริการตรวจวิเคราะห์ดินในหมู่บ้านแล้ว ยังได้เริ่มขยายบริการให้เกษตรกรต่างหมู่บ้านโดยคิดค่าใช้จ่าย 50 บาทต่อตัวอย่างดิน ซึ่งรายได้ส่วนนี้จะนำไปใช้บริหารจัดการกิจกรรมของศูนย์ฯ

ด้านหนูนาบอกว่า ชุดวิเคราะห์ดินแบบพกพา SOMNPK Test Kit ใช้งานง่าย หยอดน้ำยาลงหลอดแล้วเทียบสี ยิ่งมีเครื่องอ่านค่าแถบสีด้วย ทำให้ดูง่ายและแม่นยำ มีสมาชิกสนใจที่จะเรียนรู้การใช้งานและจะได้ช่วยกันตรวจดินให้คนอื่น ๆ

“อยากให้คนในพื้นที่ตรวจวิเคราะห์ดินของตัวเองแล้วใช้ปุ๋ยได้เหมาะสม ต้นทุนไม่สูง และได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น พอมีแปลงทดสอบที่ใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ก็ทำให้สมาชิกเชื่อว่าทำแล้วได้ผล เขาก็อยากเอาดินมาตรวจ เราส่งผลวิเคราะห์







ดินให้ทางไลน์เพื่อให้เขาตัดสินใจว่าจะสั่งปุ๋ยอินทรีย์เท่าไหร่ เขาก็พอใจได้รู้ค่าดินตัวเอง ได้รู้ว่าต้องใช้ปุ๋ยแค่ไหน”

การจัดการดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสมในการผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์ ไม่เพียงอาศัยองค์ความรู้และเทคโนโลยีการตรวจวิเคราะห์ดิน หากความพร้อมและความเข้มแข็งของการรวมกลุ่มในระดับชุมชนมีส่วนสำคัญไม่แพ้กันที่จะสนับสนุนให้เกษตรกรเกิดการปรับเปลี่ยนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เกิดผลผลิตคุณภาพได้ตามที่ตลาดต้องการและนำมาสู่รายได้ที่มากขึ้นให้เกษตรกร

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร. (2569). วิทย์พลิกชีวิต: เปลี่ยนวิธีคิด ปรับวิธีทำ สู่นวัตกรรมเกษตรยั่งยืน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.



ดร.ศริญญา ไพศาลสมบัติ

สาระโลก สาระเรา เรื่องเล่าจากปลายปากกาคณะอาจารย์วิทยาศาสตร์พื้นพิภพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้เชี่ยวชาญดิน หิน แร่ น้ำ ท้องฟ้า อากาศ ธรณีพิบัติภัย ศึกษาความเปลี่ยนแปลง เรียนรู้จักอิทธิพลที่โลกมีต่อเรา

หมู่บ้านแห่งใหม่ บนดวงจันทร์

ถ้าพูดถึงวงการอวกาศในช่วงนี้ก็คงไม่พ้นการเดินทางไปดวงจันทร์ มีหน่วยงานอวกาศทั่วโลกที่มุ่งสู่เป้าหมายเดียวกันนี้ แล้วทำไมต้องดวงจันทร์ ? นั่นเป็นเพราะดวงจันทร์มีทรัพยากรที่สำคัญซึ่งมนุษย์นำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นน้ำ แร่ธาตุต่าง ๆ โลหะมีค่าหรือธาตุหายาก แต่นอกจากทรัพยากรแล้ว ดวงจันทร์ยังเป็นวัตถุนอกโลกที่เหมือนกับพี่น้องของเรา เป็นดาวเคราะห์หนึ่งที่อยู่ใกล้โลกที่สุด อยู่ห่างกันประมาณ 384,000 กิโลเมตร เท่านั้น !

• • •



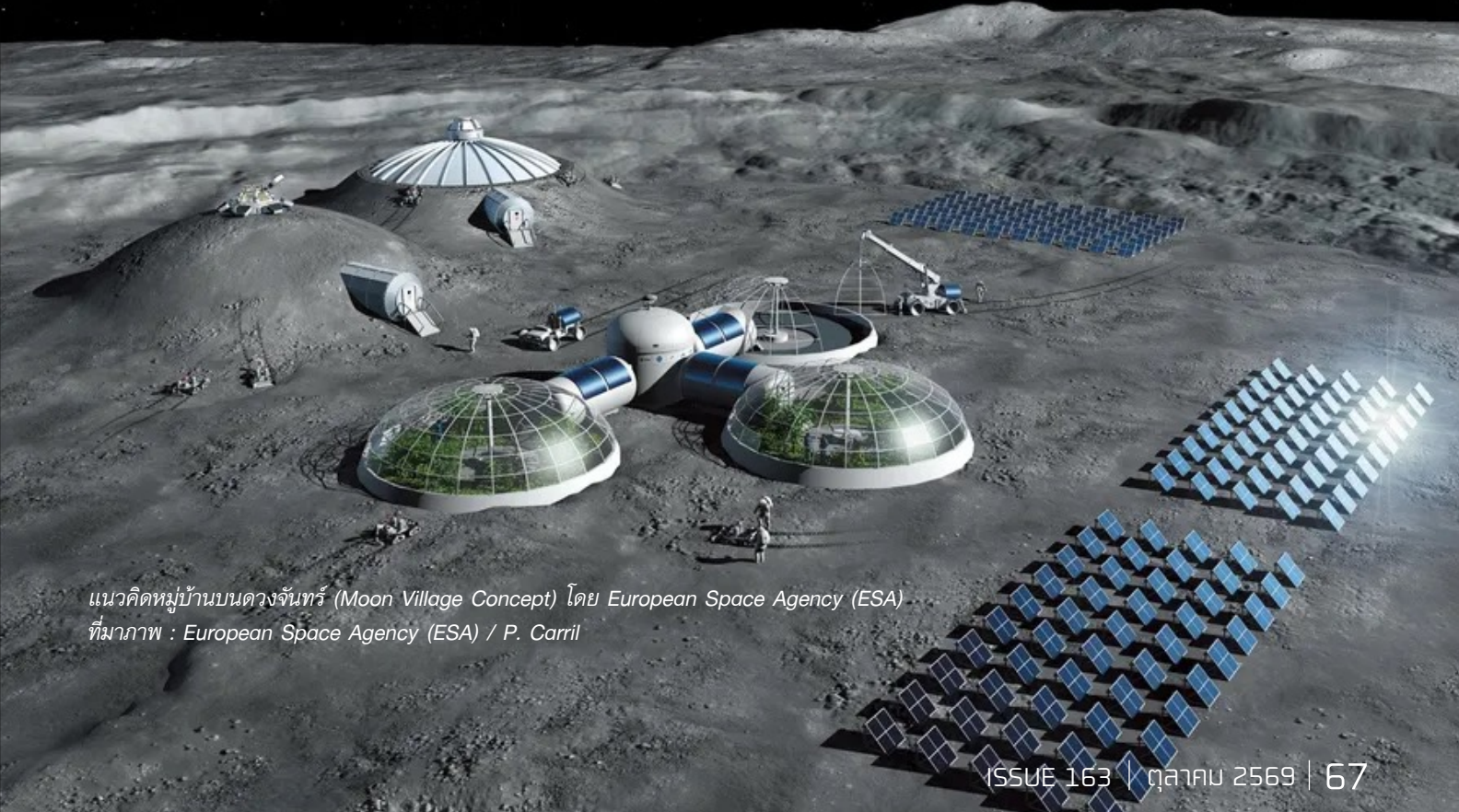
Wอเห็นเลขนี้หลายคนอาจจะมีคำถามว่านี่ใกล้แล้วหรอ จริง ๆ แล้วระยะทางนี้ใช้เวลาเดินทางจากโลกไปดวงจันทร์เฉลี่ย 3 วัน แต่อาจจะช้าหรือเร็วกว่านี้ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและเส้นทางที่เราจะใช้นั่นเอง คำถามต่อมา... เราจะไปดวงจันทร์ทำไม ? และไปทำอะไร ?

เมื่อ 50 ปีที่แล้ว เราได้รู้เรื่องราวมากมายเกี่ยวกับดวงจันทร์จากที่ไม่เคยเข้าใจมาก่อนเลย ต้องขอบคุณโครงการสำรวจดวงจันทร์ที่ผ่านมาหลายทศวรรษ ไม่ว่าจะเป็นภารกิจอะพอลโล (Apollo) ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) และภารกิจลูนา (Luna) ของสหภาพโซเวียต ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้ตัวอย่างจากดวงจันทร์กลับมาศึกษา หรือจะเป็นภารกิจที่ทำให้เราได้ภาพความละเอียดสูงจากดวงจันทร์อย่างภารกิจลูนาร์รีคอนเนสเซนซ์ออร์บิเตอร์ (Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO) ของนาซา ภารกิจเซเลเน (SELENE) หรือคางูยะ ขององค์การสำรวจอวกาศญี่ปุ่น (JAXA) ภารกิจจันทรายาน (Chandrayaan) ขององค์การวิจัยอวกาศอินเดีย (ISRO) และภารกิจสำรวจดวงจันทร์อีกมากมาย แต่ถึงแม้ว่าเราจะมีข้อมูลของดวงจันทร์อยู่พอสมควร ก็ยังมีอีกหลายพื้นที่บนดวงจันทร์ที่มนุษย์ยังไม่เคยได้ไปสัมผัสหรือไม่แม้แต่จะได้เห็นภาพของพื้นที่นั้นด้วยซ้ำ

ดวงจันทร์ได้บันทึกเรื่องราวต่าง ๆ ของระบบสุริยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องราวในช่วงแรกของการเกิดระบบสุริยะ เพราะนับตั้งแต่เกิด ดวงจันทร์ยังคงเก็บร่องรอยเหล่านั้นไว้อย่างดีที่สุด ในขณะที่ร่องรอยเหล่านี้ถูกลบไปจากโลกของเรามาหลายพันล้านปีแล้วจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นกับโลก นอกจากนี้ดวงจันทร์เคยเป็นส่วนหนึ่งของโลกมาก่อน และยังมีหลายสิ่งที่ใกล้เคียงกับโลกมาก ดังนั้นอะไรก็ตามที่เคยเกิดบนโลกของเราย่อมที่จะเคยเกิดบนดวงจันทร์มาก่อนเช่นกัน และบันทึกของหลักฐานเหล่านั้นก็อยู่บนเพื่อนบ้านของเรานี่เอง และนี่คือหนึ่งในเหตุผลที่ทำไมเราถึงต้องไปดวงจันทร์

นอกจากดวงจันทร์จะบันทึกเรื่องราวต่าง ๆ มากมายแล้ว ดวงจันทร์ยังมีแรงโน้มถ่วงน้อยกว่าโลกถึง 6 เท่า การเคลื่อนที่เอาชนะแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์ในเที่ยวบินขาออกจากดวงจันทร์หรือการตั้งรับกับแรงดึงดูดเข้าสู่พื้นผิวของดวงจันทร์สำหรับเที่ยวบินขาเข้านั้นทำได้ไม่ยาก เมื่อเปรียบเทียบกับเที่ยวบินขาเข้า-ขาออกจากโลกของเรา สิ่งนี้เองที่อาจจะช่วยให้การเดินทางต่อไปยังดาวอังคารใช้เวลาสั้นลงก็เป็นได้

การที่เราจะศึกษาประวัติศาสตร์อันยาวนานของระบบสุริยะและดาวเคราะห์อื่น ๆ รวมถึงโลกจากบนดวงจันทร์นั้น ถ้ามีเพียงการเดินทางไป-กลับจากโลกไปดวงจันทร์ก็คงไม่ต่างอะไรกับที่พวกเราทำกันอยู่ในทุกวันนี้ ถ้าเราต้องการข้อมูลที่มากขึ้น ต้องการสร้างฐานสำหรับการเดินทางไปยังดาวอังคารหรือเป้าหมายที่ไกลกว่านั้น ก็ต้องคิดไปให้ไกลกว่าการทำอย่างไรให้เดินทางไปถึงดวงจันทร์ได้เร็วขึ้น หรือจะใช้ทรัพยากรจากบนดวงจันทร์อย่างไร สิ่งที่ต้องมองไปให้ถึงคือ การสร้างฐานที่ตั้งหรือโครงสร้างที่อยู่อาศัย หรือที่เรียกว่า lunar habitat ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จะทำให้มนุษย์อยู่บนดวงจันทร์ได้นานขึ้นนั่นเอง



แนวคิดหมู่บ้านบนดวงจันทร์ (Moon Village Concept) โดย European Space Agency (ESA)
ที่มาภาพ : European Space Agency (ESA) / P. Carril

การจะสร้างสิ่งปลูกสร้างสักที่บนโลก ไม่ว่าจะเป็นศาลาพักผ่อนธรรมดา ๆ บ้าน โรงเรียน ที่ทำงาน หรือแม้แต่คฤหาสน์หลังโต ไม่ใช่เรื่องยากเลย เพราะเรามีวัตถุดิบสำหรับทำโครงสร้างมากมาย ทั้งเหล็ก ปูน พลาสติก สี และอื่น ๆ อีกมากมาย แต่สิ่งที่ฟังดูง่ายนี้กลับกลายเป็นความท้าทายและเป็นเรื่องที่ยากมาก ๆ สำหรับบนดวงจันทร์

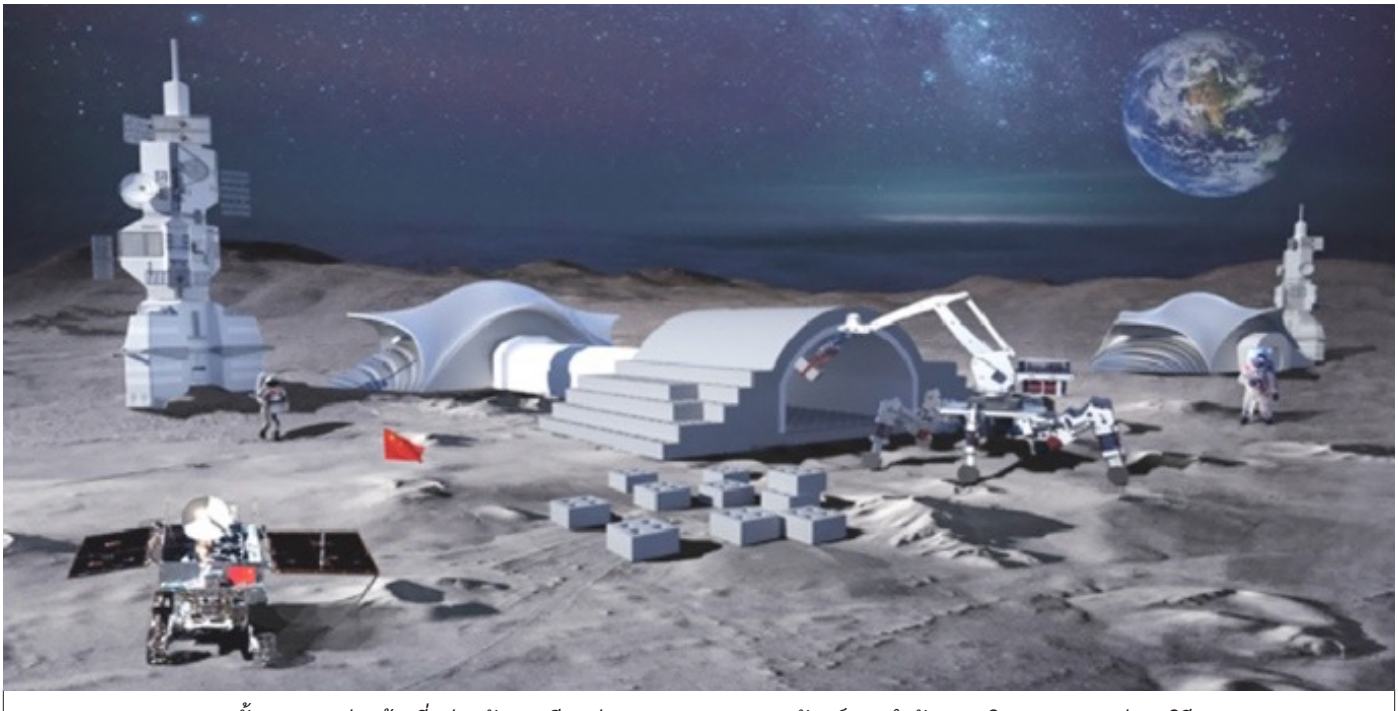
ประการแรก ดวงจันทร์เป็นดาวบริวารของโลกที่มีแรงโน้มถ่วงน้อยกว่าโลกมากซึ่งอาจเป็นข้อดี แต่แรงโน้มถ่วงที่น้อยนั้นทำให้การสร้างอะไรสักอย่างที่ยึดติดกับดาว เช่น การลงเสาเข็ม การวางฐานราก หรือแม้แต่การเทคอนกรีตปูพื้น ไม่ใช่เรื่องง่าย เราไม่สามารถก่อปูน โบกปูนแบบปกติได้ หลายหน่วยงานคำนึงถึงเรื่องนี้และได้ออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติสำหรับสร้างงานโครงสร้างขนาดใหญ่ที่เหมาะกับสภาพแวดล้อมบนดวงจันทร์ได้เหมือนกับที่เราสร้างชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์สามมิติขนาดเล็กบนโลกของเรานั่นแหละ

ได้วิธีการก่อตัวโครงสร้างแล้ว ว่าแต่จะเอาวัสดุอะไรไปใส่ในเครื่องพิมพ์สามมิติดี ? คำถามนี้ก็เกิดขึ้น จึงมีการพัฒนาวัสดุหรือกระบวนการจัดการวัตถุดิบที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างใหม่ โดยอิงจากการผสมคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุหลัก อันประกอบด้วยปูนซีเมนต์ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ทรายทำให้เนื้อคอนกรีตแน่น หินเป็นโครงสร้างหลัก น้ำทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตค่อย ๆ แข็งตัว และสารเคมีที่ใส่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต

แล้วเราจะใช้วัตถุดิบเหล่านี้บนดวงจันทร์ได้อย่างไร ในเมื่อบนนั้นไม่มีปูนซีเมนต์และมีปริมาณน้ำจำกัด ? นักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มพยายามพัฒนาแนวคิดในการขึ้นรูปคอนกรีตโดยใช้ดินดวงจันทร์เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ รวมถึงทีมวิจัยจากภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ของพวกเราด้วย

งานวิจัยชิ้นหนึ่งของพวกเรา คือ การพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้ทรัพยากรอย่างจำกัดที่สุด และได้เลือกใช้ “Thailand Lunar Simulant (TLS-01A)” ซึ่งเป็นดินดวงจันทร์เทียมที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยของประเทศไทย ทำจากหินบนโลก มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางดินที่ใกล้เคียงกับดินดวงจันทร์มากที่สุด มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ทราย และ หิน และเลือกใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาร่วมในการผลิตด้วย

มาถึงตรงนี้หลายท่านอาจจะกำลังสงสัยว่า... วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับดวงจันทร์เกี่ยวกันอย่างไร ? คำตอบก็คือ ไม่ว่ามนุษย์จะอยู่ที่ไหนก็ตาม อาหารถือเป็นปัจจัยหลัก และถ้าเราคิดว่าจะตั้งฐานบนดวงจันทร์ แนวคิดที่จะปลูกพืชบนดวงจันทร์คงไม่ใช่เรื่องไกลตัว หนึ่งในพืชที่หลายประเทศรับประทานเป็นแหล่งของพลังงานหลักก็คือ มันฝรั่ง การนำวัสดุเหลือใช้จากมันฝรั่ง



แผนภาพแสดงขั้นตอนการก่อสร้างที่อยู่อาศัย “เสวียนอู่ (Xuanwu)” บนดวงจันทร์ของสำนักงานบริหารอวกาศแห่งชาติจีน (CNSA)
ที่มาภาพ : Zhou, C. et al. (2019)

ไม่ว่าจะเป็นเปลือก ลำต้น หรือใบ มาแปรรูปและนำไปผสมเป็นวัตถุดิบหลักอีกชนิดในการผลิต “คอนกรีตจากดินดวงจันทร์เทียม” จึงเป็นเรื่องที่เป็นไปได้และสมเหตุสมผล

โจทย์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของทีมวิจัยเราคือ ข้อจำกัดในเรื่องของสารเคมีที่จะไม่นำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตของเราเลย เพราะการขนส่งสารเคมีจากโลกไปยังอวกาศเป็นเรื่องที่แค่คิดก็ขนลุกแล้ว... เราจึงเลือกที่จะผลิตคอนกรีตโดยไม่ใช้สารเคมีและใช้น้ำในปริมาณจำกัด

นอกจากเรื่องของวัตถุดิบแล้ว สภาพภูมิอากาศบนดวงจันทร์ก็แตกต่างจากโลกมาก อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวดวงจันทร์อยู่ที่ประมาณ -23 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลดต่ำลงไปได้มากถึง -123 องศาเซลเซียส ในเวลากลางคืน และ 121 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวัน เนื่องจากดวงจันทร์ไม่มีชั้นบรรยากาศทำให้อุณหภูมิกลางคืนกลางวันต่างกันมาก แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ส่วนใหญ่ของดวงจันทร์จะมีอุณหภูมิต่ำ จากเหตุผลนี้เองเราจึงเลือกเงื่อนไขในการผลิตคอนกรีตโดยมีความคิดว่า อุณหภูมิแรกที่คอนกรีตจะได้สัมผัสหลังจากการขึ้นรูปแล้วคือ ประมาณ -120 องศาเซลเซียส ในการทดลองเราจึงเลือกใช้ไนโตรเจนเหลวเพื่อสร้างบรรยากาศให้เหมือนกับดวงจันทร์อีกขั้นหนึ่ง

อ่านมาถึงตรงนี้ เหมือนว่าน่าจะได้คอนกรีตออกมาแล้ว แต่จริง ๆ การที่เราจะทำให้ดิน เส้นใยจากมันฝรั่ง และน้ำมาเชื่อมติดกันแบบแข็งแรงโดยที่ไม่พึ่งพาสารเคมีเพิ่มประสิทธิภาพใด ๆ นั้นเป็นเรื่องที่ท้าทายมาก เราตั้งใจลองผิดลองถูกอย่างมีเหตุผลจนได้สัดส่วนและวิธีการที่เหมาะสมในการสร้าง “คอนกรีตจากดินดวงจันทร์เทียม” ขึ้น ต่อจากนี้ไปจะเป็นเรื่องของการศึกษาสัดส่วนที่ทำให้ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติได้แบบไหลลื่น และการป้องกันมนุษย์จากรังสีแกมมาและอันตรายจากอุกกาบาตขนาดเล็กที่มีโอกาสพุ่งชนอยู่ตลอดเวลานั่นเอง



การออกแบบที่อยู่อาศัยบนดวงจันทร์ตามแนวคิดองค์การอวกาศยุโรป (ESA) โดยการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ
ที่มาภาพ : Foster & Partners



คอนกรีตจากดินดวงจันทร์เทียม



ดินดวงจันทร์เทียม TLS-01A

ไอเดียความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่จะทำให้มนุษย์เราสร้างฐานบนดวงจันทร์ได้นั้น ไม่ได้หยุดเพียงแค่นี้ แต่กำลังดำเนินต่อไปอย่างรวดเร็วกว่าที่คิด เชื่อว่าวันหนึ่งมนุษย์โลกจะมีฐานสำรวจบนดวงจันทร์ได้อย่างแน่นอน และประเทศไทยก็อาจจะเป็นประเทศหนึ่งที่ได้นำนวัตกรรมที่ผลิตขึ้นเองไปเป็นส่วนหนึ่ง แม้จะเป็นส่วนเล็ก ๆ ของความสำเร็จของมวลมนุษยชาติก็ตาม

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

Zhou, C., Chen, R., Xu, J., Ding, L., Luo, H., Fan, J., Chen, E. J., Cai, L., & Tang, B. (2019). In-situ construction method for lunar habitation: Chinese Super Mason. *Automation in Construction, 104,* 66–79.

อ๋อ
มันเป็นอย่างนี้นี่เอง



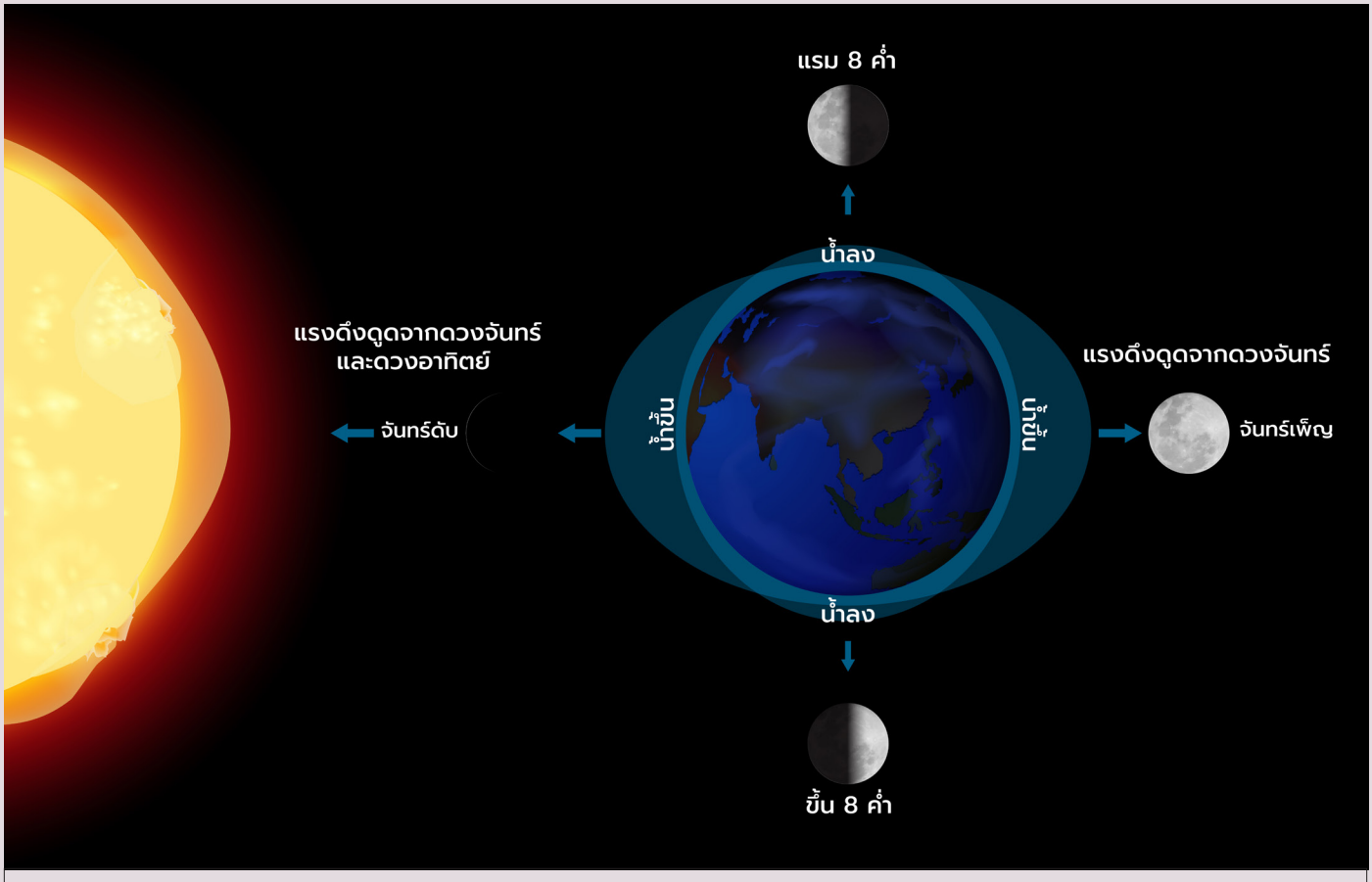
by อาจารย์เจษฎ์
https://www.facebook.com/OhISeebyAjarnJess/

ทำไม “ดวงจันทร์” ถึงทำให้ระบายน้ำท่วมในกรุงเทพฯ ยากขึ้น

กรุงเทพมหานครกำลังเผชิญปัญหาน้ำท่วมอย่างหนักจากปริมาณน้ำฝนสะสม แต่ปัจจัยสำคัญอีกประการที่ขัดขวางการระบายน้ำลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาและอ่าวไทยคือ “ดวงจันทร์” ซึ่งส่งแรงโน้มถ่วงมายังโลก แรงดึงดูดที่ไม่เท่ากันในแต่ละจุดของพื้นผิวโลกก่อให้เกิด “แรงไทดัล” (tidal force) ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลงในมหาสมุทรเป็นประจำเกือบวันละ 2 ครั้งครับ

• • •





ปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง

แรงไทดัลไม่ได้มาจากดวงจันทร์เพียงอย่างเดียวแต่ยังมีแรงจากดวงอาทิตย์ร่วมด้วย โดยผลรวมของแรงทั้งสองจะส่งเสริมกันมากที่สุดในช่วงจันทร์เพ็ญและจันทร์ดับ ทำให้เกิดระดับน้ำขึ้น-น้ำลงแตกต่างกันมากที่สุด เรียกว่า “น้ำเกิด” (spring tide) ส่วนในช่วงข้างขึ้น-ข้างแรม 8 ค่ำ แรงจะหักล้างกันทำให้ความต่างของระดับน้ำมีน้อยเรียกว่า “น้ำตาย” (neap tide)

เนื่องจากกรุงเทพฯ เป็นที่ราบลุ่มสูงกว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยเพียง 1.5 เมตร ช่วงน้ำขึ้นสูงหรือช่วงน้ำเกิด โดยเฉพาะในคืนจันทร์เพ็ญวันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2569 ที่ผ่านมา ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่หนุนสูงจึงกลายเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการระบายน้ำ อย่างไรก็ดีเมื่อดวงจันทร์เข้าสู่ช่วงน้ำตายในวันที่ 4 ตุลาคม ระดับน้ำทะเลจะลดอุปสรรคลง ช่วยให้การระบายน้ำตาธรรมชาติทำได้ง่ายขึ้น สะท้อนให้เห็นว่าปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ส่งผลต่อชีวิตบนโลกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

น้ำท่วมรอบนี้นอกจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาจากฟ้าแล้ว สิ่งหนึ่งที่คนแทบไม่ค่อยได้พูดกันก่อนหน้านั้น คือ การดู “ระดับน้ำทะเล” ว่าจะหนุนสูงแค่ไหน และส่งผลกระทบที่ทำให้ระบายน้ำออกไปสู่แม่น้ำเจ้าพระยาได้ยากขึ้น

เรื่องระดับน้ำทะเลหนุนนั้นก็เป็นผลสะท้อนมาจากแรงดึงดูดที่ดวงจันทร์กระทำต่อโลก จะเห็นว่าอวกาศมีผลต่อชีวิตของพวกเรามากกว่าที่คิดครับ

อุทธาหรณ์ครั้งนี้คือการเน้นย้ำว่า หน่วยงานส่วนท้องถิ่นที่ต้องดูแลเรื่องการเตือนภัยและระบายน้ำนั้นจะสนใจแต่ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาอย่างเดียวไม่พอ แต่ต้องอัปเดตข้อมูลอื่น ๆ อีกหลายอย่างประกอบกันด้วย

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

ดร.มติพล ตั้งมติธรรม สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ดร.ปราโมทย์ ไตรบุญ
ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ

เทียนปีกผีเสื้อ :

Impatiens patula Craib





พรรณไม้ที่พบบริเวณภูเขาหินปูนหัวโล้นสึกกร่อน ที่ค่อนข้างโล่ง แสงแดดจัดและมีความชื้นสูง จัดเป็นพรรณไม้ค่อนข้างหายาก จัดอยู่ในวงศ์เทียน (Balsaminaceae)

ลักษณะเป็นไม้ล้มลุกปีเดียว ลำต้นสูงได้ถึง 50 เซนติเมตร แตกกิ่งแขนงโปร่ง ลำต้นและกิ่งสีเขียวอมแดง ใบเดี่ยว เรียงเวียนกระจายทั่วลำต้น แผ่นใบรูปรีหรือรูปใบหอกแกมรูปรี ดอกออกเดี่ยวหรือเป็นช่อกระจุกสั้น 2-3 ดอก ออกตามซอกใบใกล้ปลายกิ่ง ดอกสีชมพู สีม่วงอ่อน หรือสีม่วงอมชมพูอ่อน พบน้อยที่เป็นสีขาว บริเวณโคนมีแถบสีม่วงอมแดงเข้มและแต้มสีเหลืองขนาดเล็ก กลีบเลี้ยง 5 กลีบ แยกอิสระเป็นกลีบข้าง 4 กลีบ เรียงเป็น 2 คู่ กลีบเลี้ยงอีก 1 กลีบอยู่ด้านล่าง คล้ายรูปถ้วย ส่วนใกล้โคนกลีบค่อย ๆ แคบลงเป็นรยางค์คอดยาวและโค้ง กลีบดอก 5 กลีบ กลีบบนแยกเดี่ยว รูปหัวใจ อีก 4 กลีบโคนเชื่อมติดกัน เกสรเพศผู้ 5 เกสร ก้านชูอับเรณูเรียวเล็กและค่อนข้างสั้น อับเรณูสีม่วงอ่อน คลุมยอดเกสรเพศเมีย เกสรเพศเมียติดอยู่ตรงกลาง ผลแบบผลแห้งแตก ฉ่ำน้ำ ผลแตกและดีดเมล็ดออกขณะที่ผลยังสด

เทียนปีกผีเสื้อพบได้เฉพาะบริเวณพื้นที่ลานโล่งตามนิเวศภูเขาหินปูนทางภาคเหนือและภาคตะวันตกเฉียงใต้

ตัวอย่างต้นแบบของ *Impatiens patula* คือ A.F.G. Kerr 6128 เก็บจากดอยหัวหมด จังหวัดตาก (แต่เดิมระบุเป็นพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร)

อ้างอิง :
Craib, W. G. 1926. Contributions to the Flora of Siam, Additamentum XVIII. Bulletin of Miscellanaeus Information Royal Botanic Gardens, Kew 1926 (4): 154-174.



ดร.ชวลิต วิทยานนท์



กระเพาะปลาจวด ทองคำกลิ่นคาว

ปัจจุบันปลาจวดชนิดที่มีขนาดใหญ่ ประมาณ 70 เซนติเมตรขึ้นไป ถูกจับจนเกินขนาดเพื่อเอากระเพาะลมมาแปรรูปเป็นกระเพาะปลา จนหลายชนิดมีความเสี่ยงสูญพันธุ์และเข้าไปอยู่ในบัญชีแดงขององค์การระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ หรือ IUCN Red List แล้ว

• • •



ที่กระเพาะของปลาจวดได้รับความนิยมก็เนื่องมาจากผิวกระเพาะมีลักษณะหนา เนื้อแน่นหนึบเด้งสู้ฟัน จัดเป็นหนึ่งในกระเพาะปลาคุณภาพดีที่นิยมนำมาทำเมนูตุ๋นหรือต้มซุป นอกจากนี้ยังมีความเชื่อกันในวงการตำรับยาจีนว่าเป็นของดี ทำให้กระเพาะปลาจวดกลายเป็นทองคำกลิ่นคาวที่เคยว่ายน้ำได้ นำไปสู่การจับอย่างบ้าคลั่งจากทุกน่านน้ำเขตร้อนและอบอุ่น โดยมีเป้าหมายเดียวกันคือ ส่งไปขายยังประเทศจีนซึ่งชาวจีนที่มีฐานะนิยมนำไปเป็นเครื่องยาจีนหรืออาหารบำรุง รวมทั้งเอาไปเป็นวัตถุมงคลสะสมไว้อวดบารมีกัน

ตัวที่เป็นระดับทอปเลยคือ กระเพาะปลากิมจี้หรือปลาเมี้ยนทอง (*Bahaba taipingensis*) มีราคาสูงที่สุดในโลกถึงหลักล้านหรือสิบล้านบาทต่อกิโลกรัมเลย สาเหตุที่มีราคาแพงเนื่องจากความหายากและความเชื่อที่ส่งต่อกันมา ปลาเมี้ยนทองเป็นปลาทะเลในเขตทะเลจีนใต้และจีนตะวันออกที่หาตัวจับยาก ปัจจุบันจำนวนลดลงและได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย ส่วนตัวกระเพาะปลายิ่งเก็บไว้นานสีจะเปลี่ยนเป็นเหลืองเข้มซึ่งคนเชื่อว่ามีความเก่าและมีสรรพคุณทางยาชั้นเลิศตามตำราจีน แถมกระเพาะปลาจาก “เพศผู้” จะมีราคาสูงกว่าเพศเมียแม้จะมีลักษณะเหมือนกัน นอกจากนี้ก็ยังมีการซื้อขายไปสะสมเพื่อการลงทุนและเก็งกำไรในตลาดจีนและกลุ่มนักสะสมอีกด้วย



เมี้ยนจีน, จวดหน้าทอง
Bahaba taipingensis
ที่มาภาพ : Cheng Tai-sing via The University of Hong Kong



จวดเม็กซิกัน หรือ totoaba
Totoaba macdonaldi
ที่มาภาพ : Public Domain via NOA



เมี้ยนไทย
Bahaba chaptis
จากปากแม่น้ำในทะเลอันดามันและปากน้ำคงคา

นอกจากเจ้าปลาเมี้ยนทองแล้วยังมีปลาจวดหลายชนิดที่ถูกตามล่าจับจนใกล้สูญพันธุ์ เช่น จวดเม็กซิกัน (totoaba) แห่งคาบสมุทรบาฮากาลิฟอร์เนียที่ถูกตามล่า จนโลมาแคระวากีตา (vaquita: *Phocoena sinus*) ที่มีถิ่นอาศัยอยู่ละแวกเดียวกันพลอยติดร่างแหไปด้วยจนเหลือไม่ถึง 30 ตัวในโลก ส่วนของไทยเรามีปลาเมี้ยน ปลาหางกิ่ว และปลาม้าที่ถูกตามล่าจนเกือบหมดไปจากแม่น้ำบางปะกงด้วยวัตถุประสงค์เดียวกัน



โลมาแคระวากีตา

ตัวอย่างพรรณปลาจวดขนาดใหญ่



ม้า
Boesemania microlepis



หางกิ่ว
Boesemania polykladiskos



จวดลาย เมี้ยนดำ
Megalonibea diacanthus



จวดเทียนยักษ์
Otolithoides pama



จวดเขี้ยวจุด
Pterotolithus maculatus



กระเพาะปลาจวดมีผนังหนา หนึบ

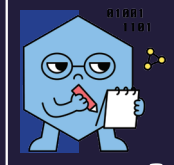


กระเพาะปลาหางกิ่ว ปลาม้าสดที่ทำความสะอาดและผึ่งลมให้แห้ง

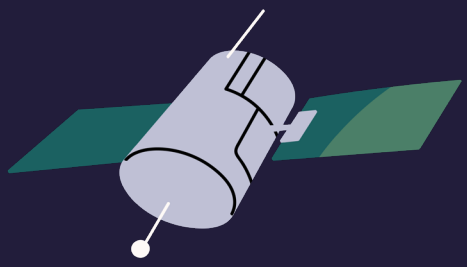


กระเพาะปลาจวดแห้งชนิดต่าง ๆ และปลาในตลาด
ที่มาภาพ : Simon Hew





กองบรรณาธิการ



Micro- หรือ Zero Gravity

การที่เรายืนเท้าติดดิน แต่นักบินอวกาศลอยอยู่ในสถานีอวกาศนั้น หลายคนอาจเข้าใจว่าเป็นเพราะโลกมีแรงโน้มถ่วง (gravity) ส่วนในอวกาศนั้นไม่มีแรงโน้มถ่วง เลยเรียกสภาวะนี้ว่า **zero gravity**

ขณะที่ข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์บอกว่า แม้อยู่ในอวกาศ นักบินอวกาศ สิ่งของต่าง ๆ รวมถึงตัวสถานีอวกาศก็ยังได้รับแรงโน้มถ่วงของโลกอยู่ เพียงแต่นักบินอวกาศและสิ่งของต่าง ๆ กำลังตกอย่างอิสระ (free fall) ไปพร้อมกับสถานีอวกาศ ทำให้เกิด**สภาวะไร้น้ำหนัก (weightlessness)** จึงดูเหมือนว่าทุกอย่างลอยอยู่

ดังนั้น “ไร้น้ำหนัก” จึงไม่เท่ากับ “ไร้แรงโน้มถ่วง” นักวิทยาศาสตร์จึงใช้คำว่า **microgravity** แทน zero gravity โดย micro- แปลว่า เล็กมาก หรือน้อยมาก เพื่อสื่อถึงสภาวะที่ยังมีแรงโน้มถ่วงอยู่ ไม่ได้ไร้ ไม่ได้เป็นศูนย์

ส่วนในภาษาไทยยังไม่มีศัพท์บัญญัติ ก็เรียกกันอีนุงตุงนังหน่อย มีทั้ง **ไร้แรงโน้มถ่วง ไร้น้ำหนัก แรงโน้มถ่วงเป็นศูนย์ แรงโน้มถ่วงต่ำ สภาวะเกือบไร้แรงโน้มถ่วง** มีข้อสังเกตว่าหน่วยงานด้านอวกาศและคนในแวดวงอวกาศมักเลือกใช้คำว่า แรงโน้มถ่วงต่ำ

โน้ตความรู้ฉบับย่อจากการพูดคุยกับแขกรับเชิญใน Podcast รายการ Sci เข้าหู ของนิตยสารสาระวิทย์
ซึ่งเป็นรายการที่รวบรวมผู้คนในแวดวงวิทยาศาสตร์มาร่วมพูดคุยและให้ความรู้ในประเด็นที่น่าสนใจ
เกาะติดกระแสวิทยาศาสตร์ไทยและวิทยาศาสตร์โลกไปพร้อมกัน ทุกวันอังคารที่ 2 และ 4 ของเดือน ทางเฟซบุ๊กเพจนิตยสารสาระวิทย์ หรือติดตามย้อนหลังที่ https://www.nstda.or.th/sci2pub/podcast-sci-in-ear/

ดาวเทียมจิ๋วอย่าง CUSAT-1 จะช่วยเฝ้าระวังไฟป่าและติดตามทรัพยากรน้ำของไทยได้อย่างไร ?

การตัดสินใจเลือกภารกิจการถ่ายภาพโลกเพื่อติดตามทรัพยากรน้ำและปัญหาไฟป่าของดาวเทียม CUSAT-1 เกิดจากการตกผลึกแนวคิดในการแก้ไขปัญหาจริงของประเทศไทย ภายใต้ข้อจำกัดทางเทคนิคของดาวเทียมขนาดจิ๋วประเภท CubeSat ขนาด 1 ยูนิต (1U) เนื่องจากพื้นที่ภายในดาวเทียมมีจำกัดมาก ทำให้ไม่สามารถติดตั้งเลนส์หรืออุปกรณ์ถ่ายภาพที่มีกำลังขยายสูงได้ ส่งผลให้ภาพถ่ายที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างต่ำ ทีมงานจึงนำข้อจำกัดนี้มาจับคู่กับภารกิจที่เหมาะสม โดยพบว่าปัญหาไฟป่า การเผาตอซังไร่ และการบริหารจัดการน้ำล้วนเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่ระดับมหภาคเป็นบริเวณกว้าง ระดับความละเอียดของภาพถ่ายจากดาวเทียม 1U จึงเพียงพอและสอดคล้องอย่างลงตัวกับการนำไปใช้วิเคราะห์และติดตามสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศจากสถานีอวกาศนานาชาติ ที่ระดับความสูงประมาณ 400 กิโลเมตร ซึ่งเป็นเงื่อนไขหลักของโครงการ KiboCUBE โดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานกิจการอวกาศส่วนนอกแห่งสหประชาชาติ (UNOOSA) และองค์กรสำรวจอวกาศแห่งญี่ปุ่น (JAXA) นับว่ามีข้อดีและจุดเด่นที่แตกต่างจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงอื่นอย่างชัดเจน โดยปกติดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติทั่วไปที่ประเทศไทยใช้งาน เช่น ดาวเทียมตระกูล THEOS มักจะอยู่ในวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ที่โคจรผ่านจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นเดิมเสมอ แต่การอยู่ในวงโคจรของสถานีอวกาศที่ระดับความสูง 400 กิโลเมตร ทำให้ดาวเทียมมีระนาบวงโคจรที่เคลื่อนตัวผ่านประเทศไทยด้วยความถี่ที่สูงกว่ามาก

ผลจากการโคจรผ่านประเทศไทยถี่กว่าดาวเทียมดวงอื่น ทำให้ทีมงานมีโอกาสในการส่งคำสั่งบันทึกภาพและจัดเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรน้ำรวมถึงพื้นที่เสี่ยงไฟป่าได้อย่างต่อเนื่องและบ่อยครั้งขึ้น แม้ว่าการโคจรในรูปแบบนี้จะมีข้อแลกเปลี่ยนในเรื่องสภาพแสงบนพื้นดินที่ไม่คงที่ในแต่ละรอบเนื่องจากทิศทางของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ แต่ความถี่ในการเก็บข้อมูลเชิงเวลาที่เพิ่มมากขึ้นถือเป็นข้อได้เปรียบสำคัญที่ช่วยให้การเฝ้าระวังภัยธรรมชาติและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศทำได้ทันท่วงทียิ่งขึ้น



รายการ Sci เข้าหู EP. 101
จากฝันเล็ก ๆ ในรั้วจามจุรี
สู่ดาวเทียมไทยที่ UN และ JAXA
เลือกไปอวกาศ

ชมรมเทคโนโลยีดาวเทียมและอวกาศ
จุฬาฯ (CUSAT)

รับชมคลิปสัมภาษณ์ https://youtu.be/XoSuVj1dSFY



คำคมนักวิทย์

ดร.นำชัย ชีววิวรรธน์

จักรวาลอยู่ภายในตัวเรา เราสร้างขึ้นจากเนื้อแท้แห่งดวงดาว เราคือวิธีการหนึ่งที่เอกภพใช้ทำความเข้าใจตนเอง

- คาร์ล เซแกน -

The cosmos is within us. We are made of star-stuff. We are a way for the universe to know itself.

- Carl Sagan -



ที่มาภาพ : NASA/JPL-Caltech, Public Domian

คาร์ล เซแกน

(9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2477 – 20 ธันวาคม พ.ศ. 2539)

นักดาราศาสตร์ชาวอเมริกัน สำเร็จปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัยชิคาโก และได้เป็นศาสตราจารย์ทางดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์อวกาศ และผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการการศึกษาเกี่ยวกับดาวเคราะห์ที่มหาวิทยาลัยคอร์เนลล์ รายการสารคดีวิทยาศาสตร์ซีรีส์อันโด่งดังทางโทรทัศน์ที่เซแกนเป็นผู้จัดทำ มีชื่อว่า Cosmos มีผู้ชมถึง 500 ล้านคน จาก 60 ประเทศทั่วโลก และหนังสือในชื่อ Cosmos เช่นกันที่ได้กลายเป็นหนังสือขายดีติดอันดับ Bestseller ของ New York Times เป็นเวลาถึง 7 สัปดาห์

เซแกนได้ชื่อว่าเป็นนักเขียนหนังสือวิทยาศาสตร์สำหรับประชาชนทั่วไป ด้วยสำนวนที่สละสลวยน่าอ่านราวกับบทกวี และเป็นผู้ประพันธ์นิยายวิทยาศาสตร์เรื่อง Contact ที่กลายเป็นภาพยนตร์ไซไฟเรื่องหนึ่งที่ได้รับการยกย่องในเรื่องความสมจริงของข้อมูลเป็นอย่างมาก

สมัครสมาชิก สาระวิทย์ โดยสแกน QR Code





https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/ebook/sarawit/sarawit-issue-160/



https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/ebook/sarawit-pdf/Sarawit-issue161.pdf



https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/ebook/sarawit/sarawit-issue-162/

ติดต่อกองบรรณาธิการสาระวิทย์ :
ฝ่ายสร้างสรรค์สื่อและผลิตภัณฑ์ (MPC)
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
อีเมล sarawit@nstda.or.th

สาระวิทย์เป็นนิตยสารอิเล็กทรอนิกส์ (e-magazine) รายเดือน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารและความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งของไทยและต่างประเทศให้แก่กลุ่มผู้อ่านที่เป็นเยาวชนและประชาชนทั่วไปที่สนใจในเรื่องดังกล่าว โดยดาวน์โหลดได้ฟรีที่ www.nstda.or.th/sci2pub/ หรือบอกรับเป็นสมาชิกได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ
จัดทำโดย ฝ่ายสร้างสรรค์สื่อและผลิตภัณฑ์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

ข้อความต่าง ๆ ที่ปรากฏในนิตยสารอิเล็กทรอนิกส์ฉบับนี้เป็นความเห็นโดยอิสระของผู้เขียน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วย
ภาพประกอบที่ใช้ในเล่มอยู่ภายใต้สิทธิ์ใช้งานจาก Shutterstock.com และ Freepik



จุดฟ้าจาง
Pale Blue Dot

จุดเล็ก ๆ สีฟ้าจางขนาดไม่ถึง 1 พิกเซลที่ปรากฏอยู่กลางห้วงอวกาศอันกว้างใหญ่นี้คือ
ภาพของโลกที่ยานวอยเอเจอร์ 1 (Voyager 1) บันทึกไว้ขณะอยู่ห่างจากโลก
กว่า 6,400 ล้านกิโลเมตร