ต้นไม้ที่ไร้ค่า ทางเดินสู่เส้นชัย

บันทึกประสบการณ์

โครงงานวิทยาศาสตร์ดีเด่น "การแตกของฝักต้อยติ่ง"

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ

371.95 สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา
ส 691 บ **บันทึกประสบการณ์โครงงานวิทยาศาสตร์ดีเด่น “การแตกของฝักต้อยติ่ง”**
นิพนธ์ ศรีนฤมล และคณะ กรุงเทพฯ : สกศ. , 2550
132 หน้า
ISBN 978-974-559-951-2
1. โครงงานวิทยาศาสตร์ดีเด่น – บันทึกประสบการณ์
2. นิพนธ์ ศรีนฤมล และ คณะ 3. ชื่อเรื่อง

บันทึกประสบการณ์โครงงานวิทยาศาสตร์ดีเด่น “การแตกของฝักต้อยติ่ง”

สิ่งพิมพ์ สกศ. อันดับที่ 25 / 2550
ISBN 978-974-559-951-2
พิมพ์ครั้งที่ 1 มกราคม 2550
จำนวนพิมพ์ 1,000 เล่ม
พิมพ์เผยแพร่ สำนักมาตรฐานการศึกษาและพัฒนาการเรียนรู้
สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ
99/20 ถนนสุโขทัย เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
โทรศัพท์ : 0-2668-7123 ต่อ 2530
โทรสาร : 0-2243-1129 , 0-2668-7329
เว็บไซต์ : http://www.onec.go.th
ผู้พิมพ์ บริษัท ออฟเซ็ท เพรส จำกัด
78/162 ม.4 ถ.ประชาราษฎร์ ต.สวนใหญ่
อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทร. 0 2 943 8373-4
โทรสาร. 0 2 510 7753

คำนำ

การจัดกระบวนการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาเต็มตามศักยภาพของแต่ละบุคคล นับว่าเป็นหัวใจของการปฏิรูปการศึกษา โดยเฉพาะผู้เรียนที่มีความสามารถเหนือกว่าปกติทั่วไป ดังพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม(ฉบับที่ 2) พ.ศ.2545 ในมาตรา 10 วรรค 4 ที่ระบุว่า "การจัดการศึกษาสำหรับบุคคลซึ่งมีความสามารถพิเศษต้องจัดด้วยรูปแบบที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงความสามารถของบุคคลนั้น" ด้วยเหตุนี้ สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาจึงได้ดำเนินการวิจัยนำร่องเพื่อพัฒนารูปแบบและหลักสูตรการจัดการศึกษาสำหรับผู้มีความสามารถพิเศษในลักษณะเรียนร่วม ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานด้านต่างๆ อาทิ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ฯลฯ ทั้งในส่วนกลางและภูมิภาค ซึ่งโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาเป็นหนึ่งในสามสิบสี่โรงเรียนนำร่องของสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา ที่ตระหนักและเห็นความสำคัญในการพัฒนานักเรียนที่มีความสามารถพิเศษในทุกด้าน โดยได้มีการจัดทำหลักสูตร การปรับกระบวนการเรียนรู้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับธรรมชาติของผู้เรียนกลุ่มนี้อย่างจริงจังต่อเนื่อง มีการส่งเสริมกิจกรรมที่เน้นนักเรียนให้ฝึกปฏิบัติจริง ฝึกกระบวนการคิดอย่างมีระบบ มีความมุ่งมั่นในการคิดค้นจากแหล่งเรียนรู้ ตลอดจนได้รับการบ่มเพาะจากพี่เลี้ยงนักวิทยาศาสตร์ที่มีความสามารถสูง เป็นต้น จนเกิดผลสำเร็จสามารถพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนให้สูงขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมชัดเจน

รายงานเล่มนี้เป็นบันทึกประสบการณ์โครงงานวิทยาศาสตร์ดีเด่น เรื่อง "การแตกของฝักต้อยติ่ง" ที่ประสบความสำเร็จได้รับรางวัล Grand Awards ในงาน Intel International Science and Engineering Fair ปี 2006 ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นผลงานของครู

และนักเรียนโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ที่สมควรได้รับการบันทึกยกย่อง และเผยแพร่เป็นตัวอย่างที่สะท้อนถึงกระบวนการเรียนการสอนหรือรูปแบบของการจัดการศึกษาที่เหมาะสำหรับผู้มีความสามารถพิเศษ รวมถึงประสบการณ์ในแวดวงวิทยาศาสตร์ของต่างประเทศในมุมมองของทั้งครูและนักเรียนไทยที่น่าสนใจและให้ประโยชน์ได้อย่างดียิ่งต่อการพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของประเทศไทย

ในโอกาสนี้ สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาขอแสดงความชื่นชมและขอขอบคุณ นายนิพนธ์ ศรีนฤมล ครูที่ปรึกษา ผู้เขียนบันทึกประสบการณ์ฉบับนี้ร่วมกับนายสุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์ นายครองรัฐ สุวรรณศรี นายทนงศักร ชินอรุณชัย นักเรียนในโครงการพัฒนานักเรียนที่มีความสามารถพิเศษด้านวิทยาศาสตร์ รุ่นที่ 1 ผู้อำนวยการโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาและคณะครู หน่วยงานมหาวิทยาลัย สมาคม ผู้ปกครองนักเรียน ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือจนทำให้โครงงาน เรื่อง “การแตกของฝักต้อยติ่ง” ประสบความสำเร็จในที่สุดและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบันทึกประสบการณ์การพัฒนาโครงงานวิทยาศาสตร์เล่มนี้ จะช่วยจุดประกายและเป็นประโยชน์สำหรับเยาวชนและครูผู้สอน ตลอดจนท่านผู้สนใจด้านวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

(นายอำรุง จันทวานิช)
เลขาธิการสภาการศึกษา

กว่าจะถึง... ดวงดาว

ความสำเร็จครั้งนี้กล่าวได้ว่า นอกเหนือจากความรู้ความสามารถ ความคิด ความสนใจ ความช่างสังเกต ความช่างสงสัย ความมุ่งมั่นและความเพียรพยายามของตัวนักเรียนเองแล้ว ยังได้รับการส่งเสริมสนับสนุนเป็นอย่างดีจากอดีตท่านผู้อำนวยการพรรณี เพ็งเนตร ท่านผู้อำนวยการพิศวาส ยุติธรรมดำรง คณะครูโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สมาคมนักเรียนเก่าเตรียมอุดมศึกษาในพระบรมราชูปถัมภ์ สมาคมผู้ปกครองและครูเตรียมอุดมศึกษาและสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

ในโอกาสนี้เองผู้เขียนและนักเรียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สำอาง หิรัญบูรณะ ดร. รุ่งเรือง สุขาภิรมย์ อาจารย์บุญเทียม ศิริปัญญา สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา(สกศ.) อาจารย์พจนีย์ เจนพนัส สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ ดร. ชุมพล คุณวาสี ดร. มานิต คิดอยู่ อาจารย์สหัส จันทนา-อรพินท์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ดร. รัฐ พิชญางกูร ภาควิชาชีวเคมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุดมศิลป์ ปิ่นสุข ภาควิชาฟิสิกส์ ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินธร ชวศิริ ภาควิชาเคมี รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุพ ชัยวนิชศิริ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยา-ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. สมพร สวัสดิสรรพ์ ภาควิชาพยาธิสภาพช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ รองศาสตราจารย์ ดร. วชิราพร อัจฉริยโกศล คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นายแพทย์ดร.วิชัย เอก-ทักษิณ หน่วยวิจัยตับ คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร.วิชัย โฆสิตรัตน ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน อาจารย์พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์-วัฒนา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการโอลิมปิกสอวน. โครงการพัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์สำหรับเด็กและเยาวชน(JSTP) โครงการสร้างความเข้าใจวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมแก่สาธารณชน ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สวทช.) ผู้ปกครองนักเรียนทั้งสาม ผู้ปกครองและนายจารุพล สถิรพงษะสุทธิ และเพื่อนๆนักเรียน รวมทั้งสื่อมวลชนทุกแขนงที่กรุณาสละเวลามาช่วยสนับสนุนส่งเสริมให้คำแนะนำที่มีคุณค่า ตลอดจนประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ความสามารถของนักเรียนไทยของเราให้เป็นที่ประจักษ์ในเวทีโลกอีกครั้งหนึ่ง

นายนิพนธ์ ศรีนฤมล
ตำแหน่งครูคศ.4
ครูที่ปรึกษาโครงงานและผู้บันทึกประสบการณ์

สารบัญ

คำนำ	
กว่าจะถึง... ดวงดาว	
สารบัญ	
อารัมภบท	1
เทคนิคการเรียนรู้อย่างมีความสุขและประสบการณ์การทำโครงงานให้สำเร็จ	8
แบ่งปันประสบการณ์การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับโลก	27
บันทึกการเดินทางของนักเรียนเมื่อก้าวสู่...เวทีโลก ... ทนงศักร ชินอรุณชัย	31
ฝักต้อยติ่งเล่าประสบการณ์จากอเมริกา ประสบการณ์ครั้งนี้สอนอะไร ... ครองรัฐ สุวรรณศรี	47
สิ่งที่พวกเราได้รับเหนือกว่ารางวัล . .. สุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์	51
การสะท้อนความคิดเห็นต่อโครงงานวิทยาศาสตร์	61
ความสำเร็จที่ได้รับ	62
การเผยแพร่ผลงาน	64
บทส่งท้าย	71
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	75
◉ สิ่งสำคัญจากใจของนักเรียนทั้งสาม	76
◉ ตัวอย่างโครงงานวิทยาศาสตร์ เรื่อง “การแตกของฝักต้อยติ่ง”	77

Dehiscence & Dispersal of The Popping Pod
ELECTROBEANS
Bangkok Airways
TICKET
THAILAND
RUSSIA
MEXICO
UNIVERSITY
DED 1869
U.S. AIR FORCE
U.S. Air Force
Team Projects
ช่วงนี้ที่เมืองไทย
ชาร่า
MOSQUITO MAGNET
Friday
ดูแลตลาดรากหญ้าสู่ตลาดโลกในระดับสากล

อารัมภบท

เป็นที่ทราบกันดีว่าการศึกษาเป็นการสร้างคนให้เจริญงอกงามทุกมิติ จึงนับว่าเป็นงานที่ยาก **แต่ต้องทำ** โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาก็ประสบปัญหาเช่นเดียวกับโรงเรียนทั่วไป แม้ว่านักเรียนได้ผ่านการสอบคัดเลือก จนมีผู้กล่าวขานอยู่เนืองๆว่า “คัดแต่เด็กหัวกะทิมาแล้วทั้งสิ้น” แต่ทว่าความเป็นจริงนักเรียนเหล่านั้นมาจากทั่วสารทิศจึงมีพื้นฐานการศึกษา ความคิดอ่านแตกต่างกัน ยิ่งกว่านั้นนักเรียนที่เรียนดี มีสติปัญญาเฉลียวฉลาดย่อมมีความคิดเห็นเป็นของตัวเอง มีความเชื่อมั่นสูง กล้าคิด กล้าแสดงออก ไม่เชื่อหรือคล้อยตามอะไรง่ายๆ หากไม่มีหลักการและเหตุผลที่เพียงพอ

จากพระราชบัญญัติการศึกษา พ.ศ. 2542 มาตรา 22 ได้กำหนดให้การจัดการศึกษาต้องยึดหลักผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด ผนวกกับหลักสูตรแกนกลางของประเทศมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาผู้เรียนให้เป็นคนมีปัญญา มีคุณภาพชีวิตที่ดี มีความสามารถในการแข่งขัน โดยเฉพาะการเพิ่มศักยภาพให้สูงขึ้น สามารถดำรงชีวิตอย่างมีความสุขบนพื้นฐานของความเป็นไทยและความเป็นสากล เหตุนี้เองกระบวนการจัดการเรียนรู้จึงต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตนเองอย่างเป็นธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ

ในฐานะครูวิทยาศาสตร์ ผู้เขียนถือว่าเป็นภารกิจที่ยิ่งใหญ่และท้าทาย เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญจากกระบวนการจัดการเรียนรู้และวัฒนธรรมการเรียนรู้เดิมที่ครูคุ้นเคยกับการบอกความรู้และนักเรียนเคยชินกับการรับและจำความรู้ไปสู่กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนสำคัญที่สุด โดยเฉพาะนักเรียนที่มีความ

สามารถพิเศษด้านวิทยาศาสตร์ แม้มีจำนวนไม่มากนักและอาจลดลงได้ **หากไม่ได้รับการส่งเสริมอย่างเต็มที่และถูกวิธี** ดังนั้น การพัฒนานักเรียนเหล่านี้จึงจำเป็นต้องค้นหาวิธีการและรูปแบบที่หลากหลาย ยืดหยุ่นและเหมาะสมกับความถนัดของแต่ละบุคคลเพื่อให้ศักยภาพทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเหล่านี้เพิ่มพูนอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน รวมทั้งเกิดเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์อีกด้วย

นับเป็นโอกาสอันดีที่ในปีการศึกษา 2546 สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาได้เสนอแนวทางการจัดการศึกษาสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษ ลักษณะเรียนร่วมในโรงเรียนปกติ (School in School Program) ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานและเชื่อมต่อถึงระดับอุดมศึกษา (Advanced Placement Program) โดยการเสาะหาและคัดเลือกนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษด้านต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือที่หลากหลาย มีการพัฒนาบุคลากรครูให้มีความรู้ความเข้าใจในการจัดการศึกษา พัฒนาหลักสูตร ปรับกระบวนการเรียนการสอน การวัดและประเมินผล การบริหารจัดการและการจัดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการจัดการศึกษา สิ่งสำคัญในการจัดการศึกษารูปแบบนี้คือ การพัฒนาหลักสูตรสำหรับผู้มีความสามารถพิเศษแต่ละด้าน/สาขาโดยเฉพาะ ซึ่งประกอบด้วย 3 หลักสูตร ได้แก่

1) หลักสูตรลดระยะเวลาเรียน (Acceleration Program) เป็นโปรแกรมที่ให้นักเรียนศึกษาเนื้อหาสาระที่มีอยู่ในหลักสูตร แต่ใช้กลยุทธ์ทางการศึกษาที่ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้เร็ว เน้นการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง สามารถเรียนตามศักยภาพ ซึ่งนักเรียนเหล่านี้มีความสามารถพิเศษอยู่แล้วจึงสามารถเรียนจบหลักสูตรได้เร็วกว่านักเรียนปกติ

2) หลักสูตรเพิ่มพูนประสบการณ์ (Enrichment Program) เป็นโปรแกรมที่ยังเป็นเนื้อหาสาระที่มีอยู่ในหลักสูตรปกติ แต่จะเน้นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้กว้างยิ่งขึ้น เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงผลงานที่สนใจและถนัดได้มากขึ้น โดยเน้นคุณภาพของงาน

มากกว่าปริมาณ นักเรียนสามารถเรียนรู้เนื้อหาที่ลุ่มลึกและหลากหลายมิติมากกว่านักเรียนที่เรียนหลักสูตรปกติ

3) หลักสูตรขยายประสบการณ์ (Extension Program) เป็นโปรแกรมที่จัดเนื้อหาสาระที่สูงกว่าหลักสูตรปกติ เน้นเนื้อหาสาระที่ตอบสนองตามความสนใจและความพิเศษของนักเรียนเป็นรายบุคคล เป็นหลักสูตรที่ฝึกทักษะการวิเคราะห์ ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และพยายามให้นักเรียนนำความเป็นเลิศนั้นไปใช้ในสถานการณ์จริง

ท่านผู้อำนวยการพรรณี เพ็งเนตร อดีตผู้อำนวยการโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาเห็นด้วยในหลักการ จึงเข้าร่วมโครงการนี้กับสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาตั้งแต่ปีการศึกษา 2546 พร้อมทั้งสนับสนุนให้คณะครูวางแผนพัฒนาหลักสูตรให้เหมาะสมกับศักยภาพของนักเรียน ในปี 2549 ท่านผู้อำนวยการพิศวาส ยุติธรรมดำรง ได้สืบสานโครงการและส่งเสริมกิจกรรมของโครงการดังกล่าวในทุกด้าน ปัจจุบันโครงการพัฒนานักเรียนที่มีความสามารถพิเศษของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาประกอบด้วย 4 กลุ่มสาระวิชา ได้แก่ วิชาวิทยาศาสตร์ วิชาคณิตศาสตร์ วิชาภาษาไทย และวิชาภาษาอังกฤษ

ลักษณะของหลักสูตรที่จัดให้สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษด้านวิทยาศาสตร์โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษามีดังนี้

- จัดลำดับเนื้อหาให้สามารถเรียนรู้จนจบหลักสูตรภายใน 5 ภาคเรียน
- มีการเชื่อมโยงและบูรณาการในหลายกลุ่มสาระวิชา
- ให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการออกแบบกิจกรรมจัดการเรียนรู้
- จัดกระบวนการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับความสนใจและความถนัดของนักเรียน
- เน้นกระบวนการคิดระดับสูงและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

- มีกิจกรรมที่หลากหลายและท้าทายผู้เรียน
- มีเกณฑ์ที่วัดและประเมินผลในสภาพจริงที่ชัดเจน
- เน้นการมีคุณธรรมและจริยธรรม
- เน้นการพัฒนาสมองทั้งซีกซ้ายและซีกขวา
- เน้นให้นักเรียนได้สัมผัสโลกแห่งความเป็นจริงเพื่อจะได้มีความรู้ความเข้าใจและมีมุมมองในประเด็นปัญหาที่หลากหลายมิติ

ด้านผลสัมฤทธิ์การศึกษาต่อของนักเรียนในโครงการ ฯ รุ่นที่ 1 จำนวน 45 คน สามารถสอบเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาได้ทุกคน ดังนี้คือ คณะแพทยศาสตร์(24 คน) คณะทันตแพทยศาสตร์ (3 คน) คณะวิศวกรรมศาสตร์ (8 คน) คณะวิทยาศาสตร์ (2 คน) คณะบัญชีอินเตอร์ (1 คน) และได้รับทุนไปศึกษาต่อต่างประเทศ (7 คน)

โครงงานวิทยาศาสตร์คืออะไร ?

มีผู้ให้ความหมายของโครงงานไว้หลากหลาย ทั้งนักการศึกษาและสถาบันที่เกี่ยวข้องกับการจัดการศึกษา อาทิ

- สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้ความหมายว่า โครงงานหมายถึง การศึกษาค้นคว้าตามความสนใจ ความถนัด และความสามารถของผู้เรียนภายใต้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือผลงาน ซึ่งมีความสมบูรณ์ในตัว โดยนักเรียนเป็นผู้วางแผนการศึกษาค้นคว้าและดำเนินการศึกษาด้วยตนเอง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้และมีเจตคติที่ดีต่อกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยมีครูเป็นเพียงผู้ให้คำปรึกษาเท่านั้น
- กระทรวงศึกษาธิการ(2533) ให้ความหมายว่า โครงงานหมายถึง การทำกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าและลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ภายใต้การดูแลและให้คำปรึกษาของครู

ตั้งแต่การคิดชื่อของโครงงาน การวางแผนดำเนินงาน การออกแบบและลงมือปฏิบัติ รวมทั้งกำหนดแนวทางในการวัดและประเมินผล ประโยชน์และคุณค่าของโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมพัฒนาที่ส่งผลดี ต่อทั้งตัวนักเรียน ครูที่ปรึกษา โรงเรียนและชุมชน คือ

ด้านตัวนักเรียน ▶ นักเรียนจะได้รับความรู้และประสบการณ์ตรงนอกเหนือจากหลักสูตร มีการทำงานเป็นระบบ มีกระบวนการ มีความซื่อสัตย์ ซึ่งถือว่าเป็นการพัฒนาบุคลิกภาพของนักเรียนได้เป็นอย่างดี และยังผลให้นักเรียนรู้จักนำไปประยุกต์ใช้ในวิชาต่างๆ และที่สำคัญคือ ทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ และให้ความสนใจที่จะประกอบอาชีพด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการพัฒนาประเทศในอนาคต

ด้านครูที่ปรึกษา ▶ ทำให้ครูได้พัฒนาตนเอง มีเทคนิคใหม่ในการจัดการเรียนรู้ เห็นคุณค่า ภาคภูมิใจในความสามารถในวิชาชีพของตน ได้รับความรู้ความเข้าใจเพิ่มเติมในเรื่องที่เกี่ยวกับโครงงานนั้น ใจกว้าง มีเหตุผล ซึ่งมีผลต่อการเป็นต้นแบบให้กับนักเรียนได้เป็นอย่างดี และทำให้นักเรียนเกิดความเชื่อถือและศรัทธาครู

ด้านโรงเรียนและชุมชน ▶ เป็นการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างโรงเรียนกับชุมชน ส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักการแก้ปัญหาในท้องถิ่นหรือชุมชน และเป็นการสนองนโยบายที่มุ่งส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น ทำเป็น และแก้ปัญหาเป็นได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม

ส่วนสถาบันที่เกี่ยวข้องด้านการศึกษาในต่างประเทศ คือ The Bluck Institute for Education กล่าวว่า การเรียนรู้จากการทำโครงงานจะเป็นยุทธวิธีการเรียนการสอนที่ให้การทำโครงงานเป็นหัวใจของหลักสูตร นักเรียนได้มีโอกาสแสดงความรับผิดชอบต่อตนเอง ต่อเพื่อน และเรียนรู้ที่จะควบคุมตนเอง โดยนักเรียนได้

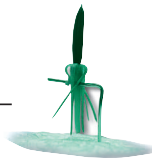
ร่วมกันทำงานที่มีความเชื่อมโยงกันระหว่างโลกในห้องเรียนกับโลกนอกห้องเรียนจากการทำงานตามสภาพจริง เกิดการเรียนรู้จากการถูกกระตุ้นด้วยประเด็นหรือคำถามที่ยั่วยุ ทำให้เกิดความสนใจที่จะสำรวจเรื่องที่สำคัญให้ลึกซึ้ง มีโอกาสเรียนรู้จากประสบการณ์ในการทำงาน ส่งผลต่อทักษะชีวิต ทักษะกระบวนการ และการเรียนรู้ในรายวิชาของนักเรียนอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ หากจำแนกตาม เนื้อหา กิจกรรม สภาพแวดล้อมและผลที่ได้รับ ลักษณะสำคัญของการเรียนรู้จากการทำโครงงาน จะพบว่า คุณภาพของผลงานแสดงถึงประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักเรียน นักเรียนสามารถเลือกวิธีที่แสดงถึงประสิทธิภาพของตนเองและมีส่วนร่วมในการประเมินผลงานของตนเอง จึงอาจสรุปได้ว่า โครงงานเป็นกิจกรรมที่เน้นกระบวนการซึ่งนักเรียนจะเป็นผู้คิดค้น วางแผน ลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ โดยอาศัยเครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ในการปฏิบัติเพื่อให้โครงงานสำเร็จ ภายใต้คำแนะนำการกระตุ้นความคิด/การทำงานจากครูและผู้เชี่ยวชาญ โดยครูมีบทบาทในการอำนวยความสะดวก แนะแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงาน ตลอดจนติดตามการวัดและประเมินผลโครงงานด้วย

จากต้นไม้อันไร้ค่า ที่เดินทางสู่เส้นชัย

ดอกม่วงงามเด่นแท้ งดงาม
ฝักแก่ดำมีนาม ติ่งต้อย
ฝนตกฝักแตกตาม ใจสั่ง
ฝักแพร่เมล็ดน้อย ใช่ด้อยไกลเอย

โดย ... **ครองรัฐ สุวรรณศรี**



เทคนิคการเรียนรู้อย่างมีความสุข และประสบการณ์ การทำโครงงานให้สำเร็จ

เรื่องการแตกของฝักต้อยติ่ง

จุดเริ่มต้น

ภาคเรียนที่ 2 กำลังจะผ่านไป หลังจากที่ว้าวุ่นกับกิจกรรมของหลักสูตรนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษที่ยังไม่ลงตัวดีนักสำหรับปีการศึกษาแรก ผู้เขียนในฐานะครูที่ปรึกษาได้เรียกนักเรียนที่อยู่ในความรับผิดชอบมาคุยถึงความคืบหน้าของโครงงาน ปรากฏว่าทั้งเฟิร์ส กอล์ฟ และพุต่างได้ชื่อเรื่องโครงงานแล้ว คือเรื่อง “แบคทีเรียผลิตกระแสไฟฟ้า” ที่จริงก็เป็นชื่อเรื่องเดิมที่เคยเสนอมาแล้ว แต่ถามถึงความคืบหน้า เด็กหนุ่มทั้งสามกลับทำหน้าเจื่อนๆและโทษกันไปโทษกันมา ผู้เขียนจึงใช้เวลาตลอดช่วงเย็นวันนั้นซักถามจนในที่สุดก็ได้คำตอบว่า โครงงานนี้มิได้เกิดจากความสงสัยใคร่รู้ของเขาอย่างแท้จริง จึงไม่เกิดความสนุกที่สานต่อ อีกทั้งแบคทีเรียก็มิใช่เป็นสิ่งมีชีวิตที่จะนำมาลองเล่นดูสนุกได้ดังใจ

ผู้เขียนจึงเปลี่ยนบรรยากาศ แนะให้เขาพูดถึงตนเองว่าชอบอะไร ถนัดอะไร สนใจอะไร เคยมีประสบการณ์อะไรเกี่ยวกับกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมา

เฟิร์ส : ผมชอบเล่น ชอบลอง ชอบวาดรูป ชอบร้องเพลง ตอนเด็กๆผมสามารถจ้องดูปลาว่ายไปมาได้เป็นชั่วโมงเลยครับ

พุ : ผมหรือครับ ผมเป็นเด็กเรียน ชอบอ่าน ชอบเรียน ชอบค้นคว้า โดยเฉพาะเรื่องราวทางวิทยาศาสตร์

กอล์ฟ : ผมชอบคิดเลขครับ ชอบทำโจทย์แปลกๆ มันลับสมองดี แต่อะไรที่ต้องท่องจำ ผมจะแย่มาก

ครู : เธอนี่ 3 คน 3 แบบ เลยนะ แต่ทำไมมารวมตัวกันได้ล่ะ

“ เพราะฮวงจุ้ยครับ ” *เฟร์ส*บอก

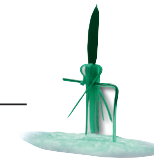
“ เรามาสายพร้อมกัน” พุเล่าพลางหัวเราะพลาง แล้วขยายความต่อว่า “ คือพวกเรา 3 คนมาจากต่างโรงเรียนกัน ชั่วโมงแรกบังเอิญเรามาช้ากว่าเพื่อน จึงไม่มีโต๊ะหน้าเหลือให้นั่ง เลยต้องไปนั่งหลังห้องใกล้ถังขยะ ซึ่งเหลือที่นั่ง 3 ที่พอดี คุณครูที่สอนชั่วโมงแรกบอกว่า ถ้าเป็นไปได้ ควรจับกลุ่มวางแผน คิดและทำโครงงานเสียเนิ่นๆ ตอนนั้นพวกเรายังไม่รู้จักกันเลย รวมทั้งคนอื่นด้วย พอจับกลุ่มตามตำแหน่งโต๊ะได้ 4 คน เพื่อนคนที่ 4 เรียนได้เทอมเดียว เขาได้รับทุนไปเรียนต่อที่ประเทศสิงคโปร์ ก็เลยเหลือ 3 คน ก็ถือว่าเป็นดวงหรือไม่ก็โชคชะตาที่ทำให้เราเจอกัน”

ครู : เอาล่ะ ครูเข้าใจปัญหาของเธอหมดแล้ว เพราะพวกเธอไปคิดทำเรื่องที่ไม่ได้สนใจอยากจะรู้จริงๆ และก็มิได้นำจุดเด่นของแต่ละคนมาหลอมให้เป็นหนึ่งเดียว อีกทั้งแต่ละคนจากต่างสถาบันพึ่งมารู้จักกันไม่นาน ครูว่าเธอน่าจะหาโอกาสไปเที่ยวด้วยกันดีมั๊ย

Forget the Past Start the New

1 เดือนต่อมา ผู้เขียนได้เรียกนักเรียนมาคุยความคืบหน้าของโครงงานอีก ได้ความว่าวันที่ฝนตก ต้นต้อยติ่งที่ขึ้นกระจัดกระจาย บางแห่งขึ้นเป็นดงในบริเวณโรงเรียน เมื่อถูกน้ำฝนฝักแก่ก็แตกจนเมล็ดกระเด็นมาใส่หน้าพวกเขา นั่นแหละ “โครงงานเรื่องการแตกตัวของฝักต้อยติ่ง” จึงเกิดขึ้นเหมือนนิยาย

“เป็นความประทับใจในวัยเด็กครับ คงเหมือนเด็กอีกหลายคนที่เคยเอาฝักต้อยติ่งหรือที่เรียกกันว่า เมล็ดเป๊าะแป๊ะ (ที่จริงไม่ใช่เมล็ด แต่เป็นผลที่มีลักษณะเป็นฝัก) มาใส่น้ำให้แตกเล่น ตอนนั้นแค่สงสัยว่ามันแตกได้อย่างไรเท่านั้น ยังไม่เคยศึกษาจริงจัง



พอเรามาเจอเหตุการณ์นี้อีก เลยเกิดความคิดว่า ทำไมฝักเล็กๆ เพียงแค่นี้ เหตุใดเวลาแตกใส่หน้าจะรู้สึกเจ็บ แสดงว่าในธรรมชาติเมล็ดเหล่านี้ต้องถูกดีดไปได้ไกลและแรงด้วยพลังงานอันมหาศาล จึงเกิดคำถามว่าพลังงานที่อยู่ในฝักแห้งๆ เล็กๆ แค่นี้มาจากไหน กลไกการแตกเป็นอย่างไร น้ำเข้าทางไหนและเข้าไปทำอะไร นอกจากน้ำแล้วยังมีสารอื่นๆที่ทำให้ฝักแตกได้หรือไม่ อะไรเหล่านี้ล้วนเป็นประเด็นปัญหาทั้งสิ้น” เฟิร์สเล่าถึงจุดเริ่มต้นของโครงงาน

ครู : ถึงตอนนี้ พอรู้หรือยังว่าจุดประสงค์ของโครงงานของพวกเราคืออะไร

นักเรียน : พยักหน้าพร้อมกัน

การตั้งคำถามที่ดีนั้นสำคัญกว่าการตอบคำถามนั้นเสียอีก

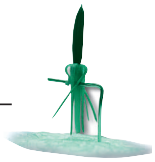
พระเอกของเรื่อง “ฉุณต้อยติ่ง”

ต้นต้อยติ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ruellia tuberose* L. ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Acanthaceae เป็นไม้ล้มลุก มีดอกสีม่วง ผลมีลักษณะเป็นฝัก ยาวรี ปลายฝักเรียวแหลม ตอนเป็นฝักอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่ขนาดของฝักจะใหญ่และมีสีเขียวเข้มขึ้น จนกระทั่งฝักแก่จัด ฝักจะแห้งลงจนมีสีน้ำตาลเข้ม หากฝักแก่ได้รับน้ำหรือความชื้นที่เหมาะสมฝักจะแตกออก ทำให้เมล็ดภายในฝักกระเด็นและกระจายตัวออกไป จากการสำรวจภายในโรงเรียนพบว่า ต้นต้อยติ่งกระจายตัวอยู่หลายบริเวณเช่น ริมทางเดิน ใต้ต้นไม้ใหญ่ พื้นที่ข้างตึก ริมรั้ว สนามฟุตบอล โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนจะมีมากเป็นพิเศษจนกลายเป็นวัชพืชในธรรมชาติ เป็นพืชที่ปรับตัวได้ดีทำให้วัชพืชนั้นเพิ่มประชากรได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรแก่การศึกษามากกว่าจะพยายามกำจัดให้หมดสิ้นไป ประกอบกับเมื่อเป็นเด็ก

เคยนำฝักต้อยติ่งที่แก่จัดมาโยนลงน้ำ เพื่อฟังเสียงการแตกของฝักและการดีดของเมล็ดพันธุ์อย่างสนุกสนาน จึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการแตกของฝักต้อยติ่ง โดยอาศัยความรู้วิชาฟิสิกส์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม วิชาคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเส้นมาเชื่อมโยงลักษณะการแตกของฝักและแรงในการกระจายเมล็ดซึ่งมีรูปแบบที่น่าสนใจและน่าศึกษาเป็นอย่างยิ่ง คาดว่าผลการศึกษาเบื้องต้นนี้จะสามารถนำมาเป็นฐานข้อมูลเพื่อพัฒนางานด้านวัสดุศาสตร์และประยุกต์ในทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ภาพที่ 1-2 ต้นต้อยติ่งที่พบบริเวณต่าง ๆของโรงเรียน

ภาพที่ 3-5 แสดงขนาดของฝักอ่อน (สีเขียว) และฝักแก่ (สีน้ำตาล) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์



วิทยาศาสตร์เริ่มจากความสงสัย

การศึกษาเรื่องนี้ไม่ได้เริ่มได้ง่ายอย่างนั้น เพราะกลับกลายเป็นเรื่องตลกในสายตาอีกหลายคน “หลายคนเลยครับ” กอล์ฟเน้นเสียงให้รู้ว่าเยอะจริงๆ “หลายคนมักถามผมว่าทำไปทำไม จะได้ประโยชน์อะไร ไปประยุกต์อะไรได้ เขามองโครงงานเราด้วยสายตาที่ดูไร้ค่ามาก”

ครู : ดีซิ ที่มีคนคิดตรงข้ามกับเราเยอะๆ เท่ากับเป็นทั้งการประเมินและท้าทายเราด้วยว่า โครงงานเรานี้ดีจริงหรือ ยังควรทำต่อหรือ เพราะในโลกแห่งความเป็นจริง การทำงานของเราต้องเจอคำพูดทำนองนี้อย่างแน่นอน ที่สำคัญพวกเราคิดยังไง

พุ : จริงๆก็ยังคิดไม่ออกเลยครับ ทำแล้วได้ประโยชน์อะไร แต่พวกเราเห็นว่า ควรเริ่มจากสิ่งที่ใกล้ตัว จากสิ่งที่เราสงสัยอยากรู้ เพราะจะทำให้เกิดแรงจูงใจให้เราอยากทำต่อไป

ครู : เยี่ยมมาก นักวิทยาศาสตร์ในสมัยก่อนเขาเริ่มจากความสงสัย ความช่างสังเกตจากธรรมชาติรอบตัวนี่แหละ การประยุกต์ถือว่าเป็นเรื่องที่ตามมาภายหลัง งานของเราเป็นวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ไม่ใช่วิทยาศาสตร์ประยุกต์ **คำว่าพื้นฐาน ไม่ได้หมายความว่า ง่าย ธรรมดา แต่หมายความว่า สำคัญ งานของเรา จัดว่าเป็นแก่น เป็นรากแก้ว หากรากดี ต้นไม้นั้นย่อมออกดอกออกผลดีแน่นอน**

นักเรียน : เข้าใจแล้วครับ ถ้าอย่างนั้น พวกผมลุยเลย

บทเรียนข้อแรกที่เด็กต้องเผชิญ

เรียนรู้ผ่านการเล่น

ครู : งานเป็นยังไง

เฟิร์ส : พวกเราเริ่มทำงานด้วยการ “ เล่น” เริ่มต้นจากช่วยกันไป

เก็บฝักต้อยติ่งในบริเวณต่างๆของโรงเรียน นำมาศึกษาทั้งรูปร่างลักษณะ ขนาด สี น้ำหนัก แล้วลองใช้น้ำและตัวทำละลายอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์ มาจิ้มส่วนต่างๆของฝัก เพื่อสำรวจตรวจสอบตำแหน่งที่ฝักแตก

กอล์ฟ : เอามีดโกนมาสับเล่นด้วยครับ

หลังจากพวกเขาเก็บฝักมาศึกษาภายนอกจนได้ข้อมูลมากมายบันทึกอยู่ในสมุดเล่มโต ซึ่งเขามักนำมาให้ผู้เขียนดูด้วยความภาคภูมิว่าได้ข้อมูลใหม่ๆ อยู่เสมอ

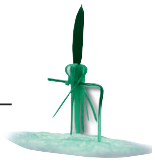
วันหนึ่งเด็กหนุ่มก็วิ่งหน้าตื่น พร้อมยื่นวารสารภาษาอังกฤษปึกเบ้อเริ่มให้ผู้เขียนและพูดว่า “ อาจารย์ ลองอ่านดู ซิครับ”

ปรากฏว่างานที่อุตสาห์ทำไปโดยคิดว่าเป็นของใหม่นั้นได้ไปซ้ำกับงานวิจัยของต่างประเทศตั้งครึ่งหนึ่ง “ส่วนใหญ่จะเป็นงานของนักวิทยาศาสตร์ชาวอิสราเอลและอิหร่านครับ เพราะต้นต้อยติ่งเป็นพืชทนแล้ง สามารถขึ้นในทะเลทรายได้ ดังนั้น จึงมีความพิเศษตรงที่เขาจะออกฝักตั้งไว้รอน้ำ เมื่อใดที่มีน้ำฝนมา มันจะแตกกระจายเมล็ดออกไป กลไกเช่นนี้เป็นวิธีที่พืชทะเลทรายส่วนใหญ่ใช้ ผมยังคิดว่าเป็นกลไกที่น่าสนใจ เราสามารถนำหลักการนี้ไปคิดเครื่องมือช่วยกระจายเมล็ดพันธุ์ในบริเวณเกษตรกรรมของพื้นที่แห้งแล้งบ้างก็น่าจะดีนะครับ มิน่าเล่าชาวอิสราเอลจึงศึกษาพืชพรรณแบบนี้มาก” ทั้งสามช่วยกันเล่า

บทเรียนข้อที่ 2 “ต้องรู้เขารู้เรา”

การสืบสวนเอกสาร

ครู : เห็นหรือยังว่า ก่อนลงมือทำงาน ควรตรวจสอบว่า งานของเรามีใครเคยทำมาก่อนหรือไม่เพราะงานวิจัยต้องเป็นงานที่ใหม่ (original)



นักเรียน : แต่ผมได้ลองใช้อินเตอร์เน็ตค้นมาทั่วโลกแล้วนะครับ แต่ไม่ยักเจอ

ครู : ข้อมูลอีกมากมายที่ยังไม่มีในอินเตอร์เน็ต หรือแม้กระทั่งข้อมูลในอินเตอร์เน็ตก็ไม่จำเป็นจะถูกต้องและเชื่อถือได้หมด ข้อมูลบางอย่างต้องอาศัยการสอบถามจากบุคคลที่เชื่อถือได้หรือในตำราและวารสาร แต่พวกเราก็ถือว่าเก่งมากนะ ที่ความคิดและวิธีการเธอไปคล้ายกับวิธีการของนักวิทยาศาสตร์ชาวอิสราเอลได้ สำหรับเรื่องที่นำมาพัฒนาเป็นเครื่องกระจายเมล็ดพันธุ์น่ะครูว่าความคิดนี้ไม่เลวเลย ลองไปคุยกับครูเกษตรดูซิ อีกไม่กี่วันเป็นวันเทคโนโลยี พวกเธอน่าลองหาเวลาไปเที่ยวและคุยกับผู้รู้ดู เผื่อจะได้ไอเดียดีๆ เพิ่มเติมมาอีก

อินเตอร์เน็ตมิใช่คำตอบสุดท้าย

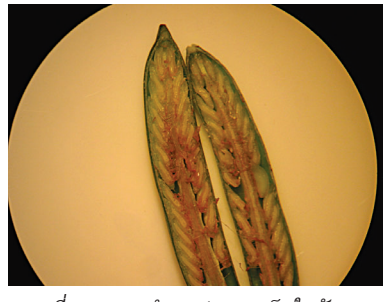
สอนอย่างไร ให้นักเรียนรู้ว่า “บอกก็เหมือนไม่บอก ไม่บอกก็เหมือนบอก”

ผู้เขียนมีความเชื่อว่า คนเรามีความคิดและลักษณะการทำงานที่มีลักษณะเฉพาะของตนเองจึงปล่อยให้พวกเขาใช้ความฝันและจินตนาการอย่างเต็มที่ เพียงแต่สังเกตความเพียรพยายามของแต่ละคนอยู่ห่างๆเพื่อดูจุดเด่นและจุดที่ควรพัฒนาของแต่ละคน

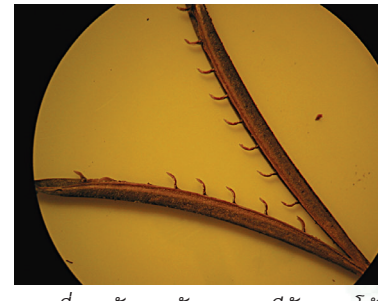
ในการทดลอง เขาเริ่มจากสุ่มเก็บทั้งฝักอ่อนและฝักแก่ที่มีจำนวนมากพอที่จะนำมาเปรียบเทียบทางสถิติได้ ผ่าฝักทั้งตามยาวและตามขวาง นำมาจุ่มน้ำ จุ่มแอลกอฮอล์และอื่นๆ โดยสังเกตรายละเอียดของฝักและตำแหน่งของเมล็ดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกข้อมูลทุกอย่างทั้งตัวหนังสือและภาพถ่าย ตลอดจนข้อคิดเห็นและการอภิปรายผลของแต่ละคน ผู้เขียนเองพยายามตั้งคำถาม

ให้เขาคิด *“นอกกรอบ”* อย่าไปยึดติดกับตำราหรือทฤษฎีมากจนเกินไป การแลกเปลี่ยนความคิดของสมาชิกในกลุ่มโดยการถกเถียงกันเป็นวิธีที่ดีที่ก่อให้เกิดข้อคิด ประเด็นคำถามหรือข้อสงสัย และมีข้อสมมติฐานต่างๆตามมามากมายชวนให้ทดสอบอย่างท้าทาย คราวนี้แหละ ทั้งกระบวนการคิด กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการแก้ปัญหา เพื่อตอบสนองความอยากรู้ของคนเราจะตามมาเองโดยอัตโนมัติ โดยครูไม่ต้องสอนว่ากระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนอะไรบ้างและสำคัญอย่างไร

ครูมีหน้าที่ตั้งโจทย์คำถาม ไม่ใช่ตอบคำถาม

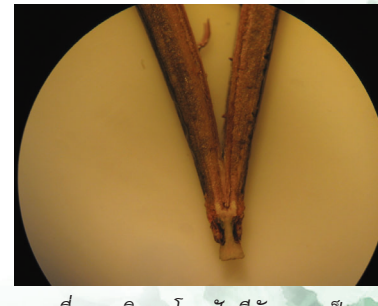


ภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งขอเมล็ดในฝัก

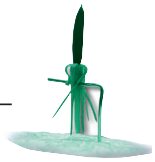


ภาพที่ 7 ผนังผลหลังการแตกมีลักษณะโค้งออก และก้านรองเมล็ดเรียงตัวแบบสลับฟันปลา

ภาพที่ 8 ผนังผลหลังการแตกตามรอยตะเข็บบาง



ภาพที่ 9 บริเวณโคนฝักมีลักษณะเป็นปลายปิด



สร้างสรรค์งานด้วยความสามารถของทุกคน

ขณะทำงาน พวกเขาจะใช้ความถนัด ความสามารถที่แตกต่างกันประสานเข้าด้วยกัน

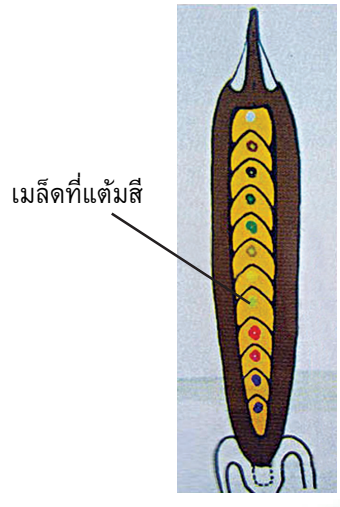
เฟร์สพูดถึงกอล์ฟ : กอล์ฟนี่ มาดนักฟิสิกส์มากเลยครับ ปกติพวกฟิสิกส์ เขาจะสนใจเรื่องอะตอมอนุภาคควากส์ ซึ่งบางคนมองงานเราไม่ออกก็มี คิดโต้แย้งก็มี แต่กอล์ฟเขาไม่ได้มองข้ามต้นต้อยติ่งว่า เออ เป็นพืชนะ ไม่เห็นอยากทำ ไม่เห็นจะเกี่ยวกับฟิสิกส์ตรงไหน ตรงกันข้าม เขากลับใช้ความสนใจและความสามารถในวิชาฟิสิกส์จากการเข้าค่ายโอลิมปิกมาอธิบายกลไกว่ามันแตกอย่างไร แบ่งพลังงานอย่างไร

กอล์ฟพูดถึงพุ : พุจะเป็นคนรอบคอบ ขยันเก็บข้อมูลอย่างละเอียดและเป็นระเบียบมาก ตอนหลังพบว่าข้อมูลเหล่านี้นี่เอง เป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้โครงงานดำเนินต่อไปในแนวลึกได้เป็นอย่างดี เขาเก่งด้านชีววิทยาและมีทักษะการใช้มือ โดยเฉพาะการตัดเนื้อเยื่อพืชให้บาง ๆ เขาจะเยี่ยมมาก ต้องใช้ทั้งความอดทนและใจเย็น อย่างผมคงทำได้ไม่ดีเท่า

พุพูดถึงเฟร์ส : ตอนแรก เฟร์สดูเหมือนเป็นคนไม่ถนัดอะไรสักอย่างนะครับ แต่จริง ๆแล้ว เขาเป็นคนมองมุมกว้างได้ดี เขาจะมองจุดเด่นของผมกับกอล์ฟออก แล้วเป็นคนเก่งที่นำเอาความสามารถของเพื่อน 2 คนมาผสมผสานได้อย่างลงตัว ตัวเขาเป็นคนที่ชอบวาดรูป มีอารมณ์ศิลปิน ชอบร้องเพลง ความคิดสร้างสรรค์เขาดีมาก อย่างโครงงานของเราต้องใช้สีแต้มฝักต้อยติ่ง เขาเป็นคนเดียวที่ทำได้เพราะเป็นคนที่มองเรื่องของสีได้ออก ผมกับกอล์ฟพยายามมองแล้ว แต่มองเท่าไรไม่เห็นจะรู้เรื่องเลย (หัวเราะ)

สามัคคีฉันพลัง รบที่ไหน ชนะที่นั่น

ภาพที่ 10 ร่วมด้วยช่วยกัน



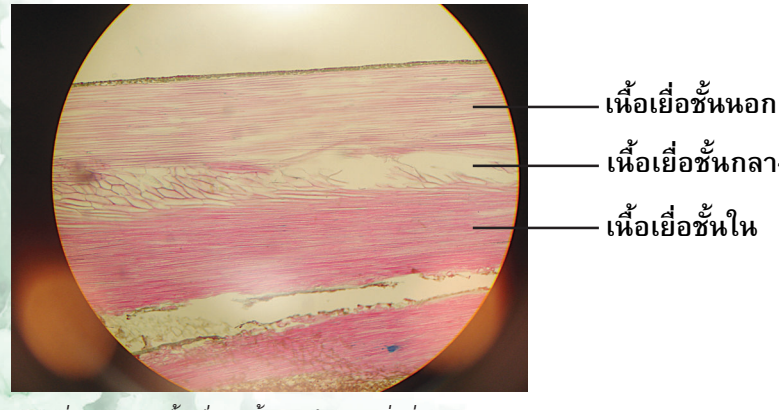
ภาพที่ 11 ภาพวาดแสดงการแต้มสีที่เมล็ดในฝัก

งานทำงานด้วยศรัทธาจะนำพาความสำเร็จ

เมื่อมีศรัทธาของกันและกันเป็นที่ตั้ง งานจึงรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว พุ กอล์ฟและเฟิร์สใช้เวลาสองปี มุ่งมั่นศึกษา ค้นคว้า พัฒนางานเรื่อยมาจนได้ข้อมูลนำมาตั้งสมมติฐานได้ว่า

“ฝักต้อยติ่งที่แก่จัดจะเหมือนระเบิดที่พร้อมจะแตกออกตลอดเวลาเลยครับ มันจะสะสมพลังงานไว้ที่เนื้อเยื่อ 3 ชั้น ซึ่งมีความแตกต่างกันของผนังเซลล์ ที่บริเวณเปลือกของฝัก เวลาแห้งมันจะอัดพลังงานเอาไว้ แม้จะมีพลังงานมากมายเพียงใดและพร้อมจะแตกอยู่แล้วก็ตาม ก็ไม่สามารถแตกออกได้ คาดว่ามีตัวล็อคหรือสลักอยู่ทางด้านยอดของฝัก จนกว่าจะมีน้ำฝนหรือความชื้นที่เหมาะสมเข้าไปตามช่องบริเวณด้านยอดที่มีตัวล็อค จะทำให้โครงสร้างที่คล้ายกาวเกิดการเปลี่ยนแปลง จนไม่สามารถยึดกันได้อีก จึงเท่ากับไปปลดล็อค ฝักจึงแตกออก”

สมมติฐานเป็นตัวกำหนดทิศทางการออกแบบ การทดลองหรือการวิจัย



ภาพที่ 12 แสดงเนื้อเยื่อ 3 ชั้นของฝักต้อยติ่งที่ตัดตามยาว

ประสบการณ์ตรงในวัยเด็กเป็นขุมทรัพย์อันสำคัญที่พ่อแม่ไม่ควรมองข้าม

กอล์ฟเล่าว่า งานหลายอย่างต้องใช้จินตนาการมาก เช่น การคำนวณหาทิศทางที่เมล็ดกระเด็นออกไปโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “แผ่นเป้ายิง” ซึ่งออกแบบโดยปูแผ่นกระดาษขนาดใหญ่บนพื้นห้อง และเสียบฝักต้อยติ่งไว้ตรงจุดศูนย์กลาง โดยผ่าฝักออกมาฝาหนึ่ง และแต้มสีที่เมล็ดต่างๆที่ติดอยู่ที่ฝัก(ภายใน 1 ฝักจะมีเมล็ดเรียงติดกันตั้งแต่ 15-30 เมล็ด) เพื่อให้รู้ว่าเมล็ดใดกระเด็นไปไกลสุด ก่อนจะหยอดน้ำที่ยอดของฝัก พอฝักแตก วัดระยะทางจากรัศมีวงกลม แล้วคำนวณความเร็วจากการเคลื่อนที่ในวิถีโค้งแทน

ฟังแล้วดูง่ายจัง แต่ที่จริงกว่าจะคิดได้ สมองก็แทบระเบิดตามฝักต้อยติ่งที่แตก แนวคิดนี้กอล์ฟได้จากการติดตามคุณพ่อซึ่งเป็นทหารอากาศไปดูเครื่องบินซ้อมรบ เลยคุ้นเคยกับภาพทหารที่ฝึกทิ้งระเบิดให้ตรงเป้า ใครทิ้งตรงกลางเป้าได้ คือคนที่แม่นยำและเก่งที่สุด กอล์ฟเลยคิดว่าน่าจะนำมาใช้กับงานของเราได้ เพียงแค่เปลี่ยนตัวระเบิดแล้วดูวิถีการกระจายตัวเท่านั้นเอง

“ ต้องทดลองอยู่นานครับ พอปิ๊งออกมา แต่ลงมือออกแบบและสร้างเป้าที่เป็นกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เมตร ต้องผ่านการปรับ การทดลองมาเรื่อยกว่าจะได้ ” กอล์ฟเล่า

“ ตอนแรก เราทำเป็นเป้ามุมกว้าง แต่คิดไปคิดมา ถ้าทำให้มันกว้าง เวลาเมล็ดดีดออกไปและตกลงมา มุมอาจคลาดเคลื่อนได้ เลยทำให้เป็นวงกลมจะดีกว่า หรือถ้าเป้าแคบเกินไป เมล็ดอาจกระเด็นไปกระจุกที่เดียวกัน แยกแยะไม่ออกอีก” พุช่วยเสริม

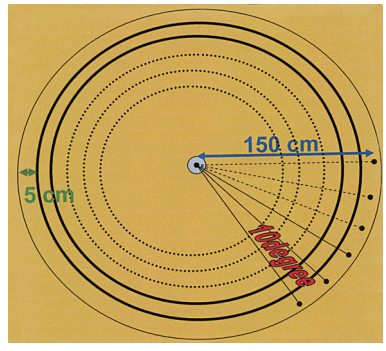
ขณะทำการทดลอง พุทำหน้าที่เป็นนักจดและเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ เฟิร์สเป็นช่างแต้มสีที่เมล็ด กอล์ฟทำหน้าที่คลานเพื่อนำฝักต้อยติ่งไปปักตรงจุดศูนย์กลางของพื้นที่วงกลมที่เป็นเป้าขนาดยักษ์ที่ปูไว้ในห้องนันทนาการขนาดใหญ่ของโรงเรียน รวมทั้ง

เป็นมือระเบิด เอาน้ำไปใส่แล้ววิ่งหนีหัวซุกหัวซุนออกมา แล้วรอจนฝักระเบิด ทั้ง 3 คน จึงค่อยๆคลานเข้าไปนับเมล็ด ส่วนผู้เขียนถือโอกาสทำหน้าที่เป็นผอ. (ผู้อำนวยความสะดวก) ซะเลย

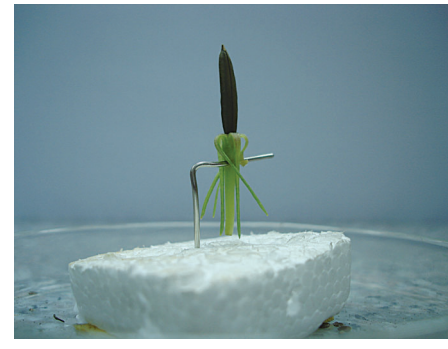
โชดดีที่ทำกันในช่วงปิดเทอม จึงมีทั้งเพื่อน ตลอดจนรุ่นพี่และรุ่นน้องมาช่วยกันเก็บและนับเมล็ดอีกแรง แต่เนื่องจากขณะทำการทดลอง จำเป็นต้องปิดหน้าต่าง ปิดพัดลม เพื่อป้องกันลมหรือปัจจัยอื่นมาทำให้การทดลองผิดพลาด

บทเรียนนี้จึงเป็นสนามให้สมาชิกเรียนรู้วิธีการลงแขก และคุณค่าแห่งความมานะพยายาม

ภาพที่ 13-14 ภาพที่นักเรียนกำลังทดลองบนพื้นที่วงกลมที่ออกแบบขึ้น



ภาพที่ 15 ภาพวาดแสดงพื้นที่วงกลม แต่ละเส้นรอบวงแสดงตำแหน่งของเชือกที่นำมาขึง

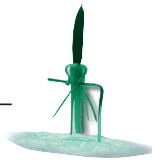


ภาพที่ 16 แสดงฝักต้อยติ่งที่แก่จัดพร้อมจะแตกนำมาปักบนโฟมที่ตั้งอยู่ตรงจุดศูนย์กลางพื้นที่วงกลม ที่สร้างขึ้น

ความฉิบหายจากพลังสมองสำคัญกว่าอุปกรณ์ราคาแพงและเทคโนโลยีชั้นสูง

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการศึกษาการกระจายของเมล็ดและฝักต้อยติ่ง คือความเร็วของเมล็ดที่กระจายออกขณะฝักแตก ครั้งแรกนักเรียนได้ใช้กล้องวีดีโอจับภาพขณะฝักแตก แต่เมื่อทดลองเข้าจริงๆพบว่า ไม่ว่ากล้องถ่ายภาพหรือกล้องวีดีโอที่มีอยู่นั้น ไม่สามารถจับภาพดังกล่าวได้ เมื่อไปปรึกษาผู้ที่ชำนาญเกี่ยวกับกล้องได้ความว่ามีกล้องที่สามารถจับภาพที่มีความเร็วสูง แต่มีราคาแพงมาก ขณะนั้นนักเรียนเริ่มรู้สึกท้อและอยากจะเลิกทำในการทดลองตรงส่วนนี้

ผู้เขียนเรียกประชุมนักเรียนกลุ่มนี้ทันทีและชี้แจงว่าเป็นไปไม่ได้ที่ต้องมีอุปกรณ์ครบครันจึงจะทดลองได้ ต้องมีเทคโนโลยีชั้นสูงจึงจะวิจัยได้ ต้องมีเงินจึงจะทำงานได้ อันที่จริงสิ่งที่ต้องมีคือ “สมอง” ต่างหาก ซึ่งทุกคนมีอยู่แล้วเพียงแต่เราไม่ค่อยได้ใช้หรือใช้แค่บางส่วนเท่านั้น ดังนั้น อย่ายอมแพ้ด้วยเรื่องขี้ปะติ๋วแค่นี้ การ



ทดลองส่วนนี้จึงไม่ควรลัมเลิก เพราะใครๆก็อยากรู้ความเร็วในการกระจาย ถ้ามองแบบนักการตลาดก็ถือว่าเป็นจุดขาย

“ อาจารย์ครับ ถ้างั้นเราควรปรับการทดลองของเราเสียใหม่ให้เหมาะสมกับสภาพของการไม่มีกล้องที่มีความเร็วสูงจะดีมั้ยครับ” เฟร็สออกความเห็น

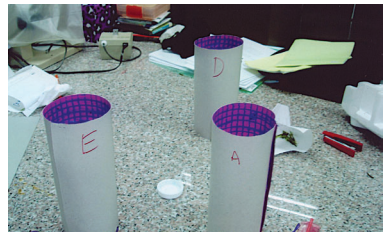
ทั้งนักเรียนและครูหันมาทางเฟร็สทันที หนึ่งในนั้น (จำไม่ได้ว่า เป็นใคร) ร้องว่า “ ใช่แล้ว นายนี่ ฉลาดสุด สุด” เฟร็สยิ้มออกมาอย่างภาคภูมิ

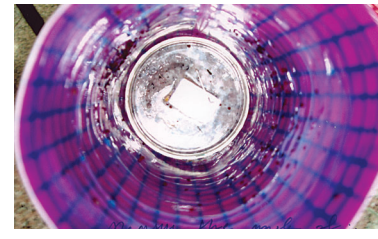
บทเรียนตอนนี้ สอนอะไร

ปรับการทดลองอย่างไรทั้งที่ไม่มีกล้องความเร็วสูง

ตามที่กล่าวมาแล้วว่าปัญหาของการทดลองในส่วนนี้คือกล้องที่มีอยู่ไม่สามารถจับภาพฝักต้อยติ่งแตกได้ทัน จึงไม่สามารถหาความเร็วของเมล็ดได้ทัน ผู้เขียนได้พยายามสอนนักเรียนอยู่เสมอว่าให้พยายามมองวิกฤตให้เป็นโอกาส เขาจึงพยายามปรับการทดลองใหม่ โดยการคำนวณความเร็วจากการเคลื่อนที่ในวิถีโค้งแทน แต่เนื่องจากจำเป็นต้องทราบระยะทางที่เมล็ดกระจายที่หาได้จากการกระเด็นจากจุดศูนย์กลางไปตามกระดาษและมุมตั้งต้นที่ความเร็วทำกับพื้นซึ่งยังหาไม่ได้ ขณะนั้นกอล์ฟได้ชมสารคดีที่มีการระเบิดอาคาร จึงนำความคิดนี้มาประดิษฐ์อุปกรณ์หามุมได้โดยนำกระดาษแข็งม้วนเป็นวงกลมแล้วทากาวด้านใน นำมาครอบฝักต้อยติ่ง เมื่อฝักแตกเมล็ดจะกระเด็นไปติดกับกาวที่ทาด้านในที่มีสเกลขีดไว้ จากนั้นใช้หลักตรีโกณมิตินำมาคำนวณหามุมตั้งต้นตามที่ต้องการได้

บทเรียนนี้สอนว่า ปัญหาทุกอย่างแก้ได้ด้วยปัญญา





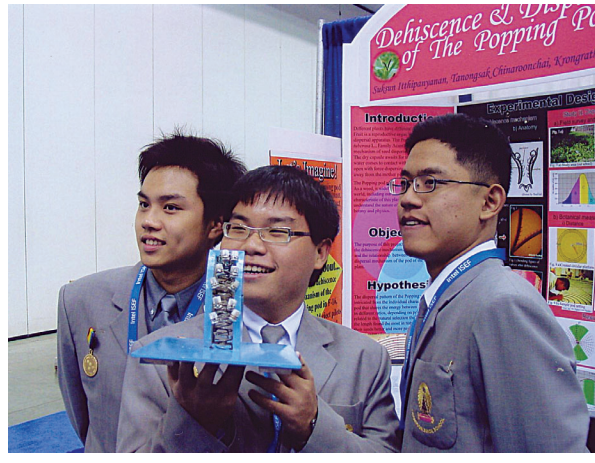
ภาพที่ 17-18 ภาพกระดาษที่ทากาวแล้วนำมาม้วนเพื่อดูเมล็ดที่กระจาย

ทำโครงงานไปทำไม

คำถามนี้เป็นคำถามยอดฮิตในหมู่คนไทย นอกเหนือจากการตอบสนองเพราะความอยากรู้ ผู้เขียนบอกลูกศิษย์ให้คิดเรื่องนี้เป็นข้อสุดท้าย คิดออกถือว่าเป็นของแถม

ในที่สุดกอล์ฟกับเพื่อนก็นำเครื่องกระจายวัตถุออกมาโชว์ให้ผู้เขียนดู พร้อมกับภูมิใจในการนำเสนอว่า เครื่องนี้เกิดจากการเลียนแบบการแตกของฝักต้อยติ่งที่สามารถกระจายเมล็ดออกอย่างสม่ำเสมอทุกระยะทาง และสังเกตจากธรรมชาติว่าเมล็ดหนาแน่นมากที่สุดตามแนวเปลือกฝักต้อยติ่งกระจายแล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อห่างจากแนวที่เปลือกฝักต้อยติ่งกระจายเป็นสามเหลี่ยมฐานโค้งจากที่กล่าวมาถึงรูปแบบการกระจายเมล็ดของฝักต้อยติ่งนี้ จึงสร้างเครื่องมือเพื่อเลียนแบบการแตกของฝักต้อยติ่ง อาศัยหลักการเรียงตัวของเนื้อเยื่อ 3 ชั้นในฝักแก่ที่แตกต่างกัน โดยใช้สปริงแทนเนื้อเยื่อและอาศัยหลักการแปลงจากพลังงานศักย์ที่สปริงเป็นพลังงานจลน์

บทเรียนนี้สอนว่าการต่อยอดไม่ใช่เรื่องยาก ถ้ามีพื้นฐานดี



ภาพที่ 19 แสดงเครื่องกระจายเมล็ดพันธุ์ที่ออกแบบขึ้น

โครงงานเสร็จแล้วจะทำอะไรต่อดี

คำถามนี้นักเรียนเป็นผู้ถามผู้เขียนเอง ผู้เขียนมองหน้าพวกเขาอย่างงุนงง ในที่สุดก็ตอบไปว่า “ ก็นำเสนอไงเล่า”

จริงอยู่ การนำเสนอไม่ใช่เนื้องานของโครงงานวิทยาศาสตร์ แต่ก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าเนื้องาน เพราะเป็นการสื่อสารให้ผู้อื่นได้รู้ ได้เข้าใจ ได้เห็นประโยชน์ ได้เห็นคุณค่า ได้ตระหนักถึงสิ่งที่เราได้ทุ่มเทคิดและทำลงไป

ตรงนี้แหละที่เป็นศิลปะ ศิลปะกับวิทยาศาสตร์จึงแยกกันไม่ออกจริงๆ ต่อไปนี้นักเรียนจะได้เรียนรู้จากการใช้สมองซีกซ้ายและสมองซีกขวาอย่างเต็มที่ เพราะลูกศิษย์ของผู้เขียนไม่ต่างจากนักเรียนทั่วไปที่มักละเลยเทคนิคในการนำเสนอที่ดี

ผู้เขียนยังคงใช้วิธีเดิมคือ ใช้วิธีธรรมชาติตามความสามารถ

ที่มีอยู่ ฟังดูเหมือนเล่นลิ้น พุเป็นคนพูดถึงที่มาและความสำคัญของโครงงาน วัตถุประสงค์ที่ศึกษา เฟร็ดเป็นคนกล่าวถึงวิธีการและผลการทดลองในส่วนที่เป็นพฤกษศาสตร์ ส่วนกอล์ฟพูดในส่วนที่เป็นวิธีการและผลการทดลองในส่วนที่เป็นฟิสิกส์ซึ่งเขาค่อนข้างถนัด รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้ การพูดไม่ใช่เรียงลำดับและพูดตามที่เขียนไว้ในรายงาน แต่เป็นการเล่าให้คนฟังที่ไม่รู้อะไรเลยให้เขาเข้าใจเรื่องของเราให้ได้มากที่สุดในระยะเวลา 10-15 นาที ที่สำคัญทุกคนต้องพูดแทนกันได้ หมายความว่าถ้าคนใดหยุดพูด คนอื่นต้องสามารถพูดต่อจากคนนั้นได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้เพื่อนพูดจบตามบทเสียก่อน จึงจะเรียกว่าเป็นการทำงานเป็นทีม

เฟร็ดเป็นคนที่มีทักษะในการเคลื่อนไหวและภาษาท่าทางผู้เขียนให้เขาสอนเพื่อน ในต่างประเทศเขาจะมีคอร์สอบรมวิธีการนำเสนอที่ดี ฝึกทักษะให้ผู้พูดสามารถสะกดผู้ฟังคล้อยตามให้ได้ ซึ่งผู้พูดต้องฝึกการลำดับเหตุการณ์ให้ต่อเนื่อง พูดให้เห็นประเด็นสำคัญโดยใช้น้ำเสียง สายตา ท่าทาง แสดงความมั่นใจในสิ่งที่ทำ สิ่งที่คิด โดยใช้หลักการและเหตุผลมาสนับสนุนให้ชัดเจน ดังนั้น ผู้พูดต้องพูดจากความเข้าใจไม่ใช่ท่องจำจากบทที่จดมา เมื่อมีโอกาสได้ไปประกวดโครงงานระดับโลกครั้งใด ผู้เขียนจะแนะนำทุกคนเขียนบทเป็นภาษาอังกฤษด้วยตนเองแล้วลองพูดให้เพื่อนที่เก่งภาษาอังกฤษฟัง พูดให้คุณครูภาษาอังกฤษ พูดให้ครูฝรั่ง พูดให้นักวิทยาศาสตร์ฟัง เรียกว่าหาเวทีให้เขาได้ฝึก เมื่อถูกประเมินอย่างนี้บ่อยๆ เขาจะเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย เพราะเป็นการพูดจากงานที่เขาทำเองด้วยความเหนื่อยยาก ดีกว่าบอกให้เขาไปเรียนคอร์สภาษาอังกฤษตัวต่อตัวราคาแพงๆ เพราะเพียงระยะเวลาอันสั้น ไม่มีครูเทวดาที่ไหนจะช่วยพัฒนาภาษาให้ได้ดังใจนึก เพราะภาษาเป็นเรื่องของการสั่งสม ผู้เขียนจึงบอกนักเรียนทุกคนที่สอนว่าต้องให้ความสำคัญกับภาษาโดยเฉพาะในสังคมยุคนี้ตั้งแต่ชั่วโมงแรกที่สอน

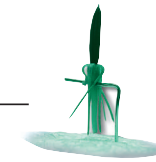
บทเรียนตอนนี้สอนว่า ครูสามารถสร้างพหุปัญญาด้วยโครงงานวิทยาศาสตร์ได้

ภาพที่ 20-22 การนำเสนอผลงานต่อผู้ชมงานหลายวัย

แบ่งปันประสบการณ์ การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับโลก เนื่องในงาน Intel International Science and Engineering Fair ปี 2006 ณ เมือง Indianapolis รัฐ Indiana ประเทศสหรัฐอเมริกา

ปัจจุบันประเทศต่าง ๆมีการจัดประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ทั้งในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาเพื่อกระตุ้นให้เยาวชนหันมาสนใจงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์เป็นประจำทุกปี งานประกวดที่จัดได้ว่ามีผู้ส่งเข้าแข่งขันมากที่สุดและจัดได้ยิ่งใหญ่ คือ Intel International Science and Engineering Fair (ISEF) ซึ่งจัดมาตั้งแต่ ปีค.ศ.1950 แล้ว สำหรับบริษัท Intel สนับสนุนการประกวดเป็นรายใหญ่จึงเรียกว่า Intel ISEF ตั้งแต่ปีค.ศ.1996 โดยมีรัฐต่าง ๆในประเทศสหรัฐอเมริกาหมุนเวียนกันเป็นเจ้าภาพจัดงาน

ปีนี้รัฐ Indiana เมือง Indianapolis ได้รับเป็นเจ้าภาพ ปรากฏว่ามีผู้เข้าแข่งขันทั้งสิ้น 1,497 คนจาก 47 ประเทศ แบ่งเป็นประเภทเดี่ยว 960 คน และประเภททีม 537 คน จำนวน 240 โครงงาน มีอาจารย์ นักเรียน ผู้ปกครอง สื่อมวลชน ผู้สนใจ นักการศึกษา นักวิทยาศาสตร์ระดับรางวัลโนเบลกว่า 10 คน เข้าร่วมพิธีเปิดและปิดมากกว่า 5,000 คน ทำให้บรรยากาศเต็มไปด้วยความคึกคัก ยิ่งใหญ่และมีชีวิตชีวา เป็นการให้เกียรติและให้ความสำคัญกับงานของนักเรียนที่เข้าแข่งขันตั้งแต่เกรด 9-12 เป็นอย่างมาก พร้อมทั้งรางวัล Grand Awards, Special Awards และ Government Awards ประกอบด้วยรางวัลที่1-4 ทั้งประเภทเดี่ยวและประเภททีม โดยเป็นเงินรางวัล ทุนการศึกษาและรางวัลอื่น ๆ



ทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น ในปีค.ศ. 2004 โครงงานวิทยาศาสตร์ของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาเรื่อง “คลื่นการเดินของกิ้งกือ” ที่ผู้เขียนเป็นครูที่ปรึกษาได้รับรางวัลที่ 1 จากสมาคม Sigma Xi ประเภททีมที่มีการใช้ความรู้ทางชีววิทยา ฟิสิกส์ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยอย่างกลมกลืน

ในการประกวดได้แบ่งโครงงานออกเป็น 14 สาขา ดังนี้ 1) Behavioral and Social Sciences 2) Biochemistry 3) Botany 4) Chemistry 5) Computer Science 6) Earth Science 7) Engineering 8) Environmental Science 9) Mathematics 10) Medicine and Health 11) Microbiology 12) Physics 13) Space Science 14) Zoology แต่ในปีหน้าจะปรับเปลี่ยนเป็น 17 สาขา คือ 1) Animal Sciences 2) Behavioral & Social Sciences 3) Biochemistry 4) Cellular and Molecular Biology 5) Chemistry 6) Computer Science 7) Earth Science 8) Engineering : Materials & Bioengineering 9) Engineering : Electrical & Mechanical 10) Energy & Transportation 11) Environmental Analysis 12) Environment Management 13) Mathematical Sciences 14) Medicine & Health Sciences 15) Microbiology 16) Physics and Astronomy 17) Plant Sciences

โครงงานวิทยาศาสตร์โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา เรื่อง “การแตกของฝักต้อยติ่ง” (Dehiscence and Dispersal of the Popping Pod) โครงงานนี้ได้รับรางวัลชนะเลิศระดับประเทศจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์และได้รับการคัดเลือกเป็นตัวแทนประเทศไทยไปแข่งขันโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติ ระหว่างวันที่ 7-13 พฤษภาคม 2549 ผลปรากฏว่าได้รับรางวัล Grand Award โดยมีจุดเด่นและได้รับคำชมเชยดังนี้

1. มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์สูง สามารถออกแบบเครื่อง

มืออุปกรณ์ง่ายๆ ราคาถูก เพื่อวัดมุมและคำนวณระยะทางที่ฝักต้อยติ่งแตกและเมล็ดต้อยติ่งดีดกระจายออก ตลอดจนหาค่าพลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ทั้งในเมล็ดและตัวฝัก

2. สามารถบูรณาการโดยนำศาสตร์หลายแขนงมารวมกัน เช่น นำความรู้ในวิชาฟิสิกส์มาอธิบายสรีรวิทยาของฝักและเมล็ดได้อย่างเหมาะสมและน่าสนใจ ทำให้มีมุมมองที่หลากหลายในการทำวิจัยในเชิงลึกต่อไป

3. สามารถนำผลการศึกษาวิจัยมาประดิษฐ์อุปกรณ์เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นๆ

4. นำแนวคิดและหลักการทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายงานของตนเองได้ชัดเจนสมเหตุสมผล

5. แสดงการทำงานเป็นทีมได้ดีและลงตัว สามารถใช้ความถนัดของแต่ละคนมาเสริมกันทำให้รูปแบบการนำเสนอกระชับ อีกทั้งสามารถออกแบบบอร์ดได้น่าสนใจจนดึงดูดผู้มาชมได้เป็นอย่างดี

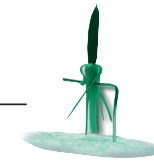
6. นำสิ่งที่คนทั่วไปมองข้ามและคิดว่าเป็นเพียงวัชพืชมาศึกษา จนกระทั่งค้นพบกลไกการกระจายของเมล็ดต้อยติ่งหรือเมล็ดเป๊าะแป๊ะ

7. เป็นตัวอย่างโครงงานบูรณาการที่ถือเป็นแบบอย่างได้อย่างดีเยี่ยม

8. สามารถใช้ภาษาสื่อสารได้เข้าใจตลอดจนตอบคำถามได้อย่างฉะฉานและตรงประเด็น

ดังนั้น นักเรียนที่เข้าแข่งขัน นอกจากจะต้องเตรียมตัวมาทั้งด้านความรู้ความเข้าใจ ความคิดในงานของตนเองอย่างดีที่สุดแล้ว ยังจำเป็นต้องมีทักษะในด้านภาษาและการนำเสนอที่ดีภายในเวลาอันจำกัด หากส่งเป็นทีมก็จำเป็นต้องแสดงการทำงานเป็นทีมให้เป็นที่ประจักษ์แก่คณะกรรมการให้มากที่สุดด้วย

นอกเหนือจากการแข่งขัน ในงานยังมีรายการทัศนศึกษามหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถานที่แข่งรถแข่งที่มีชื่อ



เสียง อุปกรณ์และสื่อการเรียนรู้ต่างๆ และบู๊ธแนะนำสถาบันการศึกษาต่างๆ สิ่งที่ครูและนักเรียนไม่ควรพลาดคือ Shoptalk ซึ่งมีหัวข้อต่างๆ เช่น Low Budget Science Projects, Science News and Science News for Kids in the Classroom , Talking Science, Simplistic Statistics for Secondary Students, The Discovery Channel Young Scientist Challenge, Writing an Effective Abstract เป็นต้น

การเดินทางไปประกวดโครงงานของนักเรียนและผู้เขียนครั้งนี้ จึงนับเป็นประสบการณ์ตรงมาเผยแพร่ให้กับเพื่อนครูและนักเรียนโดยผ่านสื่อต่างๆ เพื่อร่วมกันพัฒนาโครงงานวิทยาศาสตร์ในประเทศของเราให้มีมาตรฐานในระดับสากลต่อไป

บันทึกการเดินทางของนักเรียน เมื่อก้าวสู่ ... เวทีโลก

ทนงศักร ชินอรุณชัย

ก่อน 4 พฤษภาคม – เตรียมตัว เตรียมใจ

เมื่อทราบข่าวจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ว่าโครงงานวิทยาศาสตร์ของเราได้รับเกียรติให้เป็นตัวแทนไปแข่งขันในงาน The 2006 Intel International Science and Engineering Fair พวกเราดีใจพร้อมกับหนักใจไปพร้อมๆ กัน ดีใจเพราะเราได้เป็นตัวแทนของประเทศไทยไปแข่งขันในงานระดับนานาชาติ หนักใจเพราะไม่แน่ใจว่าเนื้องานของเราจะดีพอแล้วหรือ พวกเราจึงพยายามวางแผนอย่างเต็มความสามารถเพื่อให้ไม่ด้อยกว่าโครงงานของประเทศอื่น

เริ่มจากพวกเราพยายามปรับปรุงโครงงานให้เห็นภาพกว้างแต่ทำให้ลุ่มลึก เช่น การย้อมสีเพื่อหาสารที่ยึดฝักต้อยติ่งไว้ เพิ่มขนาดฐานวงกลมเพื่อเก็บข้อมูลทางสถิติให้เชื่อถือได้ ใช้เทคนิคการผ่าโดยฝักไม่แตก แล้วระบายสีที่เมล็ดเพื่อศึกษาตำแหน่งของเมล็ดว่าจะกระเด็นไปไกลเท่าไหร่ ด้วยมุมแค่ไหน เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้วก็แบ่งปันความรู้ ความคิด เพื่อมองต่างมุม แล้วนำเหตุผลที่ดีที่สุดมาอธิบายผลการทดลอง บางครั้งอภิปรายเกือบทั้งวันแล้วจึงแยกย้ายกันไปพักรบ เพื่อไปใคร่ครวญเหตุผลของแต่ละคน วันรุ่งขึ้นจึงมาว่ากันใหม่จนได้ข้อสรุปที่ลงตัว จากนั้นก็เตรียมการนำเสนอ ในส่วนตัวคิดว่าเป็นขั้นตอนที่ยากมาก เพราะเราจะพูดอย่างไรดีจึงจะสื่อสารงานที่ทำมาเป็นแรมปีให้กรรมการเข้าใจในเวลาจำกัด แถมยังเป็น

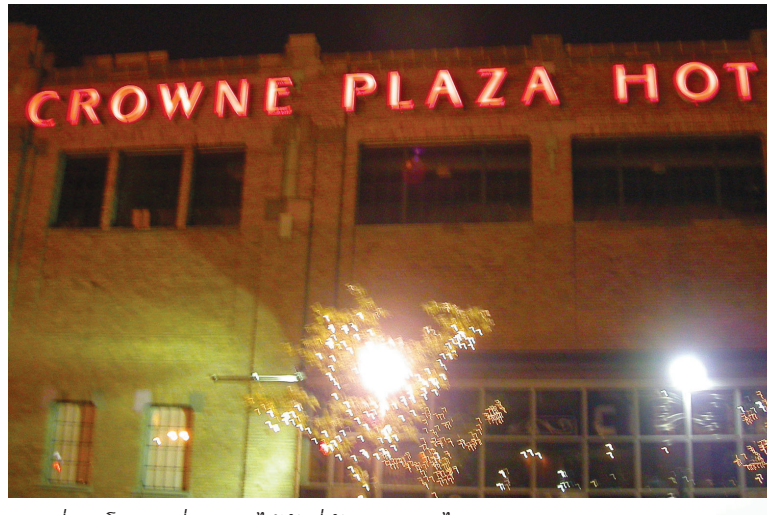
ภาษาอังกฤษอีกด้วย พวกเราจึงพยายามเขียนบทด้วยสำนวนภาษาของตัวเองและพยายามฝึกพูดหน้ากระจก ให้เพื่อนเป็นกรรมการแล้วลองซักถาม ลองวิจารณ์กันตรงๆเพื่อหาจุดบกพร่องกับงานและตัวเราเองให้มากที่สุดเพื่อจะได้แก้ไข นอกจากนั้นยังได้รับความกรุณาจากนักวิทยาศาสตร์มาประเมินงานของเรา ดังนั้น การพัฒนางานจึงเกิดขึ้นทุกวันตั้งแต่เช้ายันค่ำเพื่อค้นหาคำตอบจากต้อยติ่งฝักน้อยๆ นี่แหละครับโครงงานเราจึงเสร็จในวันสุดท้ายก่อนขึ้นเครื่องจริงๆ

วันที่ 4 พฤษภาคม - เริ่มออกเดินทาง

พวกเรานัดพร้อมกันที่สนามบินตั้งแต่ตี 4 วันนี้ผมรู้สึกตื่นเต้นมากเพราะผมจะได้ขึ้นเครื่องบินเป็นครั้งแรกในชีวิต ทั้งยังเป็นวันเริ่มต้นที่จะเดินทางไปแข่งขัน ท่านผู้อำนวยการ คณาจารย์และผู้ปกครอง รวมทั้งคุณแม่พี่ฟ้า (พี่จารุพล สถิรพงษะสุทธิ) ก็มาด้วย ทำให้ผมปลื้มจนแทบพูดไม่ออก

ภาพที่ 23 จากซ้ายไปขวา รศ.ดร.วรินธร ชวศิริ ผอ.พิศวาส ยุติธรรมดำรง นักเรียน และคุณครูนิพนธ์ ศรีนฤมล

ผมเคยคิดว่าการนั่งเครื่องบินน่าจะสบายเพราะเป็นยานยนต์ที่รวดเร็วทันใจ แต่พอขึ้นไปนั่งจริงๆแล้ว ก็สบายจริงๆ คือมีแค่ 2 กิจกรรมที่ผมสามารถทำได้ คือ กินกับนอน แถมผมยังเมาเครื่องอีกต่างหาก พวกเราเดินทางถึงเมือง Indianapolis วันที่ 4 พฤษภาคม เวลาประมาณ 17.00 น. ตามเวลาท้องถิ่น อากาศเย็นมาก เราพักที่โรงแรม CROWNE PLAZA ซึ่งปรับปรุงจากสถานีรถไฟมาก่อนแต่ตกแต่งได้คลาสสิคมาก



ภาพที่ 24 โรงแรมที่พวกเราได้พักที่พัฒนาจากรถไฟ

วันที่ 5 พฤษภาคม - เริ่มออกเที่ยวในเมืองและทัศนศึกษาที่ PERDUE UNIVERSITY

เรานอนโรงแรม CROWNE PLAZA เพียง 1 คืนก็ต้องย้ายมาพักที่โรงแรม CONRAD แทนแต่จัดเป็นโรงแรมระดับ 5 ดาวทีเดียว

วันนี้พวกเราได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์ ดร.วรินทร ขับรถตระเวนทัศนศึกษารอบเมือง Indianapolis ต้องขอกราบขอบพระคุณมา ณที่นี้อีกครั้ง ผมก็ได้เก็บภาพมาฝากกันครับ

ภาพที่ 25 หน้าโรงแรม CONRAD

ภาพที่ 26
แสดงสถาปัตยกรรม
ของอนุสาวรีย์ในเมือง
Indianapolis

สถานที่สุดท้ายที่เราเลือกไปทัศนศึกษาในวันนี้ คือ Perdue University เพราะอยากรู้ว่ามหาวิทยาลัยในอเมริกามีรูปแบบการเรียนการสอนเป็นอย่างไร มีห้องสมุดแบบไหนถึงได้ผลิตนักศึกษาที่มีคุณภาพออกมามาก มาถึงแล้วจึงรู้ว่าบรรยากาศทางวิชาการนี่แหละที่ทำให้นักศึกษารู้จักขวนขวายใฝ่รู้ใฝ่ศึกษา โดยมีระบบสารสนเทศในการสืบค้นข้อมูล แม้แต่ในห้องเรียนมีสื่อการเรียนการสอนอย่างครบครันประกอบกับห้องสมุดเปิดตลอดเวลาเพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดการค้นคว้ากันอย่างเต็มที่และเรียนรู้อย่างเต็มศักยภาพ

ภาพที่ 27-29 Perdue University

วันที่ 6 พฤษภาคม - ทัศนศึกษาที่พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์

วันนี้พวกเราต้องตื่นเช้าเป็นพิเศษเพราะต้องเดินทางไปเมืองชิคาโก ด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์ ดร.วรินธร เช่นเคย เมื่อถึงพิพิธภัณฑ์ผมตกใจมากเพราะไม่คิดว่าจะเห็นเด็กตัวเล็กๆกับพ่อแม่มาเข้าคิวรอเข้าพิพิธภัณฑ์กันยาวเหยียด ผมสังเกตว่าพวกเด็กๆ

รู้สึกตื่นตาตื่นใจที่ได้มาเที่ยว ซึ่งตอนแรกผมชักสงสัยตัวเองว่ามาถูกที่หรือเปล่านะ ยังกับสวนสนุกเพราะมีแต่เด็กแถมยังนั่งรถเข็นมาอีกด้วย

ช่วงนั้นพิพิธภัณฑ์กำลังจัดแสดงเรื่อง ลีโอนาโด ดาวินซี ภายในมีการรวบรวมตั้งแต่ชีวประวัติ มีภาพและประติมากรรมของเขามากมาย ทำให้เราเรียนรู้ว่า “ชีวิตคนหนึ่งคนกว่าจะสามารถคิดประดิษฐ์อะไรได้มากมายนั้น จำเป็นต้องมีจินตนาการและความเพียรพยายามเป็นเลิศ” ด้วยความปลาบปลื้มสุดๆ ผมจึงลงทุนซื้อหนังสือของพิพิธภัณฑ์ที่รวบรวมภาพทั้งหมดที่เขาวาดเองกลับมาเมืองไทยด้วยราคา 8,000 บาทและแบกกลับทั้งที่หนักถึง 10 กิโลกรัม

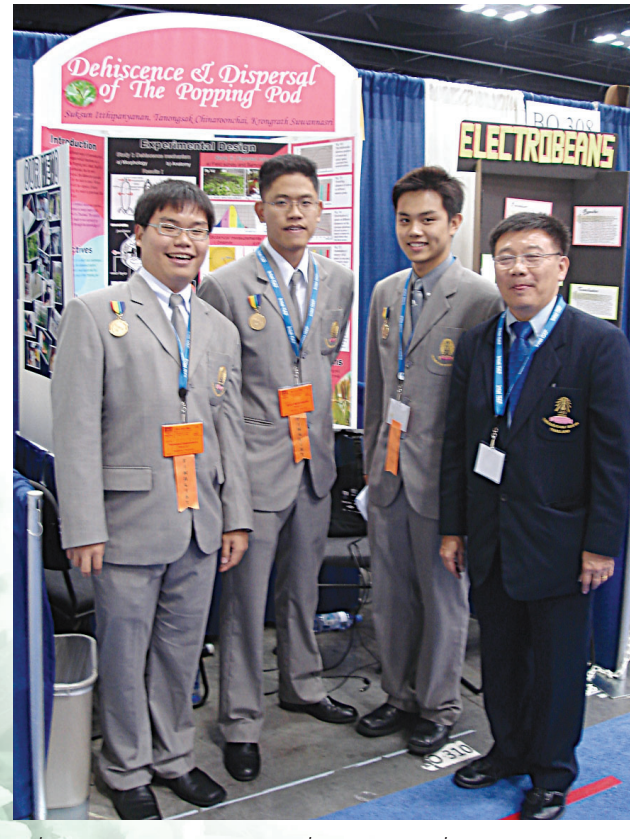
ภาพที่ 30 พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์

วันที่ 7 พฤษภาคม - เริ่มลงทะเบียนแข่งขัน

วันนี้เป็นวันลงทะเบียนการแข่งขัน บรรยากาศจึงคึกคัก สถานที่เต็มไปด้วยนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์จากทั่วโลกเดินทางมาแข่งขันกันขวักไขว่ พวกเราลงทะเบียนที่แถวของชาวต่างชาติ บังเอิญระบบคอมพิวเตอร์ในการลงทะเบียนของแถวนี้เกิดขัดข้อง ทำให้ต้องยืนรอกว่าจะลงทะเบียนเสร็จก็ร่วม 2 ชั่วโมง พวกเราจึงใช้โอกาสนี้แหละทำการคุยกับผู้เข้าแข่งขันจากชาติอื่นๆ เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์จนได้เพื่อนจากฮังการี หลังจากลงทะเบียนเสร็จผู้เข้าแข่งขันจะต้องเข้าไปในห้องเพื่อวาดภาพและทักทายอะไรก็ได้ ซึ่งเขาจะบันทึกเทปประมาณ 30วินาทีไว้เปิดในพิธีเปิดงาน พวกเราปรึกษากับเพื่อนๆที่มาจากสวทช.ว่าจะทำอะไรที่จะสื่อถึงประเทศไทยได้ ในที่สุดจึงตกลงกันว่า ควรเป็นรูปพระ รูปวัดและรูปช้างกำลังพ่นน้ำ และพูดพร้อมกันว่า “สวัสดีครับ/ค่ะ We come from the land of smile. If you see us, don’t forget to smile. Hey” หลังจากเสร็จสิ้นภารกิจพวกเราต้องเข้าไปติดตั้งบอร์ดใน Hall ซึ่งใหญ่มากพอๆกับอิมแพคเมืองทองธานี (แหมก็เล่นบรรจุกว่า 1,500 โครงงานเข้าไปนี่) โครงงานเราอยู่ในสาขาพฤกษศาสตร์ (Botany)

ภาพที่ 31 ป้ายบอกสาขาที่เข้าประกวด

หลังจากติดตั้งบอร์ดเสร็จ เราต้องไปเชิญกรรมการการจัดงานมาตรวจความเรียบร้อย ความถูกต้องให้เป็นไปตามกติกา เช่น บอร์ดมีความมั่นคง แข็งแรงเพียงไร ภาพที่นำมาแสดงนั้นเป็นภาพที่ทรมานสัตว์หรือไม่ ภาพวาดหรือภาพถ่ายต้องอ้างอิงว่ามาจากที่ไหน หากถ่ายรูปหรือวาดเองต้องวงเล็บว่า by finalist ถ้ากรรมการเห็นว่าบอร์ดไม่ถูกต้อง ต้องแก้ไขทันที บางเรื่องเราอาจคิดว่าเป็นเรื่องเล็กน้อย เช่น บอร์ดเลยขอบโต๊ะ ก็ต้องแก้ไขทันที มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการตัดสินจากกรรมการ



ภาพที่ 32 นักเรียนและครูหน้าบอร์ดที่ผ่านการตรวจที่เข้มงวดของกรรมการแล้ว

ตอนบ่ายคุณครูนิพนธ์แนะนำพวกเราให้ไปฟัง Shoptalk เรื่อง เทคนิคการนำเสนอ ซึ่งได้รับประโยชน์มากเพราะวิทยากรที่มาบรรยายเป็นมืออาชีพจริงๆ เช่น ฉายวีดิทัศน์การพูดของผู้นำประเทศหรือบุคคลที่มีชื่อเสียง แล้วให้ช่วยกันวิเคราะห์จุดเด่นและจุดที่ควรพัฒนาของผู้พูด เขาแนะนำให้รวบรวมประเด็นสำคัญและรู้จักนำจุดเด่นของงานมานำเสนอให้กรรมการฟัง บางครั้งกรรมการถามถึงสิ่งที่เราไม่ได้ทำหรือสิ่งที่เราไม่รู้ ต้องเรียนกรรมการไปตามตรงว่าเรายังไม่ได้เริ่มทำจึงไม่มีความรู้ ไม่มีความจำเป็นใดๆ ที่จะตอบในสิ่งที่เราไม่รู้เพราะกรรมการที่มาตัดสินเป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นอยู่แล้ว กรรมการทุกคนให้ความสำคัญเรื่องของความซื่อสัตย์มากเพราะเป็นจรรยาบรรณของนักวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่น่าสนใจอย่างหนึ่ง คือ Pin Exchange ทุกประเทศจะนำเข็มกลัดประจำโรงเรียนหรือประจำชาติมาแลกกัน ในส่วนตัวผมคิดว่าเป็นกิจกรรมที่ดีมาก เพราะการที่เราจะแลกเปลี่ยนเข็มกับชาติอื่นจำเป็นต้องมีการทักทาย พูดจาปราศรัยเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็น มีการจับไม้จับมือ ตรงนี้แหละครับ มิตรภาพจะเข้ามาแทนที่ความเคอะเขิน ความรู้สึกที่เป็นคู่แข่งขันกันจะเปลี่ยนเป็นเพื่อนทันที

ภาพที่ 33
มิตรภาพเกิดไม่ยาก
จริงมั๊ยครับ

วันที่ 8 พฤษภาคม - พิธีเปิดเริ่มแล้ว

เช้าวันนี้พวกเราเข้ามาตรวจสอบบอร์ดว่ามีใบเตือนจากกรรมการอีกหรือเปล่า ขณะเดียวกันก็ถือโอกาสเติมภาพถ่ายแสดงการทำงานของพวกเราเพื่อให้กรรมการที่แวะมาดูบอร์ดขณะที่เราไม่อยู่ในวันรุ่งขึ้น เขาจะได้เข้าใจงานของเรามากยิ่งขึ้น

ตอนค่ำพิธีเปิดงาน The 2006 Intel International Science and Engineering Fair ได้เริ่มขึ้นโดยประธานบริษัท Intel พิธีเปิดนับว่าอลังการมาก มีนักวิทยาศาสตร์หญิงมาจุดประกายงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ผมเข้าใจว่ากว่างานจะสำเร็จแต่ละชิ้นต้องทุ่มเททั้งแรงกายแรงใจ ซึ่งภาพงานวิจัยที่เธอนำมาแสดง ผมว่ายิ่งกว่าการทุ่มเทเสียอีก แต่ผลงานของเธอนั้นเป็นที่น่าชื่นชมมาก เพราะนอกจากจะค้นพบสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสายพันธุ์ใหม่แล้ว เธอยังขอให้ทางการท้องถิ่นที่นั้นประกาศให้พื้นที่ที่สัตว์ชนิดนี้อาศัยอยู่เป็นพื้นที่สงวนพันธุ์สัตว์ป่าเพื่อช่วยไม่ให้สูญพันธุ์ หลังจากนั้นก็เป็นกิจกรรมของผู้เข้าร่วมแข่งขันครับ เขาจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เจาะหาประเทศต่างๆขึ้นมาจากแผนที่โลก ถ้าเรียกประเทศไหนก็ให้ผู้เข้าแข่งขันของประเทศนั้นถือภาพที่วาดไว้ในวันก่อนขึ้นมาโชว์บนเวที ในที่สุดตัวแทนจากแต่ละประเทศที่ถูกเรียกขึ้นไปยืนกันจนครบนับเป็นความรู้สึกที่น่าตื่นตาตื่นใจจริงๆ

ภาพที่ 34
ผู้เข้าแข่งขันแต่ละประเทศกำลังโชว์รูปที่วาดแสดงเอกลักษณ์ของประเทศตนเอง

วันที่ 9 พฤษภาคม - วันติดตั้งบอร์ดวันสุดท้าย

วันนี้เป็นวันสุดท้ายในการสำรวจความถูกต้องของบอร์ดก่อนการประกวด เราจึงต้องรีบไปตรวจสอบว่ามีใบเตือนอีกหรือเปล่า ซึ่งก็มีจริงๆ วันนี้คือรูปที่เราเพิ่มเข้าไปนั้นไม่ได้เขียนว่าใครเป็นคนถ่ายมา ดังนั้น เราจึงต้องเขียนว่าเราเป็นคนถ่ายรูปเหล่านี้เอง

ตอนเย็นมีงานเลี้ยงต้อนรับและได้เข้าไปดูหนังเรื่อง การลงจอดของยานอวกาศบนดาวอังคาร ที่พิพิธภัณฑ์ Indianapolis

พอตกดึกเรากลับมาซ้อมการนำเสนอกันอีก ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจากพี่ฟ้าที่ทำโครงงานเรื่องคลื่นการเดินของกิ้งกือ ซึ่งกำลังศึกษาต่อที่มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ดด้วยทุนเล่าเรียนหลวงมาให้คำแนะนำถึงเทคนิคในการตอบคำถาม ตลอดจนการออกสำเนียงการพูดภาษาอังกฤษ ทำให้พวกเรามีความมั่นใจมากขึ้น

วันที่ 10 พฤษภาคม - วันตัดสิน

วันนี้พวกเราตื่นเต้นกันมากเพราะเป็นวันตัดสินแล้ว พวกเราเดินเข้า Hall ตั้งแต่เช้ามีตารางเวลาของกรรมการแต่ละคน เมื่อหมดเวลาจะมีสัญญาณดังขึ้นเหมือนสอบ Lab กริ๊ง นับเป็นวันที่ดูวุ่นวายที่สุดเพราะกรรมการแต่ละท่านจะตรวจบู๊ธตามสาขาที่ตัวเองถนัด กรรมการที่จะมาตามเวลาในตารางจะเป็นคณะกรรมการของ Grand Awards ส่วนกรรมการของ Special Awards และ Government Awards จะเดินมาแบบสุ่ม สนใจบอร์ดไหนก็เข้าบอร์ดนั้น พวกเราจึงลุ้นให้กรรมการเดินมาเข้าบอร์ดเรามากๆ เพื่อจะมีโอกาสได้รางวัล

การตัดสินของกรรมการจะมาตามแบบฉบับของตัวเอง บางท่านให้นำเสนอ บางท่านซักถามเลย อย่างไรก็ตามสิ่งที่กรรมการทำเหมือนกันจนทำให้เรารู้สึกประทับใจต่อกรรมการทุกท่านคือท่านจะเดินเข้ามาคุยอย่างเป็นกันเอง จนบางครั้งเราอาจนึกไม่ถึงว่านี่เป็นกรรมการตัวจริงเพราะเขาถามด้วยความอยากรู้ ด้วยความ

สนใจ มิใช่จับผิดที่คำพูดและที่ภาษา

ช่วงเวลาที่ตัดสินนี้เป็นช่วงเวลาที่ทรหดและอดทนจริงๆ เราต้องยืนทั้งวัน พูดทั้งวัน ผู้เข้าแข่งขันจึงรู้สึกกดดัน ดังนั้น เมื่อมีประกาศบอกว่าให้ออกจากห้องตัดสินได้ ทุกคนจึงพร้อมกันเฮลั่น Hall เลยแหละครับ.....finish……finish!!! คิดดูก็แล้วกัน

วันที่ 11 พฤษภาคม - Special Awards Ceremony & Public

ภาพที่ 35 การประกาศแต่ละรางวัลก็เริ่มขึ้น

วันนี้มีการเปิดให้สาธารณชนเข้ามาชมผลงานของผู้เข้าแข่งขัน ในงานจึงเต็มไปด้วยผู้คน ตั้งแต่เด็กตัวเล็กๆชั้นประถม มัธยม ตลอดจนไปถึงระดับผู้บริหาร นักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบล และสื่อมวลชน พวกเราพยายามอธิบายโครงงานให้พวกเขาฟัง ต้องประกาศให้โลกรู้ซิครับว่าต้อยติ่งของประเทศไทยเรามีดีขนาดไหน ส่วนผมรู้สึกประทับใจกับเด็กที่นี่มากที่มีความสนใจและตื่นตัวในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ประทับใจกับผู้ปกครองและครูอาจารย์ที่ส่งเสริมให้เด็กนักเรียนได้เห็นบรรยากาศงานทางด้านวิทยาศาสตร์ นับเป็นการปลูกฝังให้เยาวชนซึมซับวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ยังเยาว์วัย

ตอนเย็นมีการประกาศรางวัล Special Awards พวกเรา

ก็ตั้งหน้าตั้งตาลุ้นกันใหญ่และรางวัลที่เราอยากได้ คือ รางวัลจากสมาคม Sigma Xi Scientific Research Society ซึ่งเป็นรางวัลเดียวกันกับโครงงานคลื่นการเดินของกิ้งกือได้รับมา ปรากฏว่า.....รางวัลที่ 4 ผ่านไป.....รางวัลที่ 3ผ่านไป..... รางวัลที่ 2 ผ่านไป....รางวัลที่1 in the category...(Botany Botany Botany..)..Engineering... ?????? ไม่มี ไม่มีชื่อโครงงานเราเลย ตอนนั้นรู้สึกโลกทั้งใบหายไปเลย ความคิดต่างๆผุดขึ้นมาในสมองเต็มไปหมด(งานเราไม่ดีตรงไหน ทำไมกรรมการถึงไม่เลือกเรา) อาจารย์ดร.วรินทรกับคุณครูนิพนธ์เข้ามาบอกกับพวกเรา ตราบใดที่หมากยังไม่หมดกระดานเราก็ยังไม่รู้หรอกว่าใครแพ้ใครชนะ ทำให้เรามีความหวังขึ้นมาอีกครั้งว่าพรุ่งนี้อย่างน้อย ก็มีอีกตั้ง 2 รางวัลรออยู่แน่ะ

วันที่ 12 พฤษภาคม - Grand Awards & Government Awards Ceremony

ภาพที่ 36 บรรยากาศการประกาศรางวัล

เริ่มต้นของวันด้วย Government Awards ครับ ฟังจนชื่อท้ายที่สุดแล้วก็ยังไม่มีชื่อโครงงานของเราเลยครับ..!? (เออน่า ตอนเย็นยังมีรางวัลให้เราหวัง เป็นรางวัลที่ใหญ่ที่สุดด้วย.....จะได้เหรอ?)

ตอนเย็น Grand Awards Ceremony (รถเมล์ป้ายสุดท้ายแล้วนา) เริ่มประกาศตั้งแต่อันดับที่ 4 เช่นเคยครับ...และแล้วที่ 4 ก็ผ่านไป...(ผมเริ่มเข้าห้องน้ำครั้งที่1)....อันดับที่ 3 ก็ผ่านไป.....(ผมเริ่มเข้าห้องน้ำครั้งที่ 2).....อันดับที่ 2 in the category team project ....from.....Bangkok Thailand เย้!!!!!!!!!!!! (ตอนนั้นความคิดทั้งหมดหายไป เสียงที่เขาประกาศหายไปหมด เป็นโครงงานเราแน่หรือ? อยากตะโกนให้ลั่นห้องประชุมว่า เราทำได้แล้ว!!!)

ภาพที่ 37 ผู้เข้าแข่งขันที่ได้รับรางวัลกำลังยืนอย่างภาคภูมิ

ตอนเดินขึ้นไปรับรางวัลและจับมือจากผู้แทนของบริษัท Intel เกิดความรู้สึกอยากจะกระโดดกอดเขาจริงๆ แล้วบอกว่าขอบคุณสำหรับทุกสิ่ง

ในที่สุดไม่มีงานเลี้ยงใดที่ไม่เลิกรา เมื่อผู้แทนบริษัท Intel ออกมากล่าวปิดงานผมยังจำคำพูดของเขาได้ว่า ผู้เข้ามาแข่งขันทุกคนในเวทีนี้ได้คือผู้ชนะแล้ว ดังนั้น รางวัลจึงไม่ใช่สิ่งสำคัญที่สุด แต่สิ่งสำคัญและมีความหมายก็คือ หลังจากงานนี้ ทุกคนย่อมแยกย้ายกันไปตามเส้นทางของแต่ละคน แต่ขอให้ตระหนักเสมอว่า ไม่ว่าคุณจะไปที่ไหน ไม่ว่าคุณจะทำงานอะไร **“ขอให้ความเป็นวิทยาศาสตร์ติดตัวคุณตลอดไป แค่นี้ก็เพียงพอแล้วที่คุณจะเป็นผู้ชนะในใจเรา”**

วันที่ 13-18 พฤษภาคม - เยี่ยมเยียน Universal studio/ Disney land/ Golden gate/ Meir Woods PIERS 39 และ Stanford University

หลังจากจบงาน เราไปทัศนศึกษาหลายแห่ง เช่น Universal studio และ Disney land นอกจากได้รับความสนุกสนานแล้ว พวกเรายังเรียนรู้ถึงวิทยาศาสตร์ที่เข้าไปเกี่ยวข้องกับวงการมายา การสร้างฉากภาพยนตร์ให้สมจริงและการทำการ์ตูนแบบ 3 มิติ

ณ สะพาน Golden gate เราได้เห็นสถาปัตยกรรมที่อาศัยความรู้ทางฟิสิกส์ วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ขั้นสูงในการก่อสร้างจนกลายเป็นสะพานที่มีความงามมากที่สุดแห่งหนึ่ง

ทัศนศึกษาที่ Meir Woods อันเป็นพื้นที่ป่าที่มีการสงวนพันธุ์ไม้ไว้เป็นอย่างดี พวกเราสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาและนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ที่นี้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชตระกูลสน พันธุ์ไม้ที่นี่อาจจะมีจำนวนมากก็จริง แต่ความหลากหลายของสปีชีส์ยังน้อยกว่าป่าดิบชื้นในบ้านเรามาก

สถานที่ต่อไปที่พวกเราไปคือ PIERS 39 เป็นท่าเรือที่มีร้านอาหารและร้านขายของที่ระลึกมากมาย และผมยังได้เห็นฝูงสิงโตทะเลขึ้นมาอาบแดดกันมากมายและวิถีชีวิตของชาวประมงที่นี่อีกด้วย

ที่สุดท้ายที่เราไปเยี่ยมเยียนก็คือ Stanford University เป็นมหาวิทยาลัยที่มีการออกแบบสถาปัตยกรรมที่งดงามมาก ตึกเรียนคณะต่างๆ สร้างอย่างกับปราสาท ระบบการเรียนการสอนทางมหาวิทยาลัยได้จัดไว้อย่างลงตัว ระบบการสืบค้นในห้องสมุดดีมาก

ฝากถึงน้อง ๆ

ถ้าเป็นสิ่งที่น้อง ๆ ฝันว่าจะทำให้ได้ จงพยายามและมุ่งมั่นแล้วความฝันนั้นจะกลายมาเป็นความจริงอยู่ตรงหน้าน้อง ๆ เอง

ฝึกต้อยติ่งเล่าประสบการณ์จากอเมริกา ประสบการณ์ครั้งนี้...สอนอะไร

ครองรัฐ สุวรรณศรี

นับเป็นความภาคภูมิใจอย่างสูงที่ผมได้รับโอกาสจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ไปนำเสนอโครงงานเรื่อง “การแตกของฝักต้อยติ่ง” ในงาน Intel International Science and Engineering Fair 2006 ณ เมืองอินเดียนาโปลิส รัฐอินเดียนา ประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างวันที่ 7-13 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ผมจึงขอเล่าประสบการณ์ถึงความประทับใจในหลายเรื่อง ได้แก่ การทำงานวิจัยของเยาวชนต่างประเทศ การเป็นกันเองและความเป็นมืออาชีพของคณะกรรมการตัดสิน การสนับสนุนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศสหรัฐอเมริกา และการต้อนรับกลับสู่มาตุภูมิอย่างอบอุ่น

ผมสังเกตว่าเยาวชนหลายประเทศโดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกามีความขวนขวายในการทำงานวิจัยวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษา งานวิจัยของพวกเขาจึงมีความก้าวหน้ามากและเพียบพร้อมด้วยเทคโนโลยีที่รองรับงานวิจัย จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่างานระดับนาโนเทคโนโลยี หรือควอนตัมฟิสิกส์ เป็นของธรรมดามากที่พบได้ในโครงงานของเด็กระดับมัธยมโดยทั่วไปซึ่งโครงงานเหล่านั้นมิใช่เพียงการใช้เทคโนโลยีอันล้ำยุค แต่ยังแฝงด้วยความคิดสร้างสรรค์และพื้นฐานที่ดีของงานวิจัย ตลอดจนคราบหยาดเหงื่อที่เสียไปกับการทำโครงงานที่พวกเขาตั้งใจทำผมได้ถามเพื่อนชาวอเมริกันว่า “ทำไมพวกเขาสามารถทำโครงงานวิทยาศาสตร์ที่

กำลังนำเสนอได้อย่างภูมิใจ” คำตอบที่ได้รับพร้อมกับใบหน้าที่มืนงงของเขาคือ “ก็ผมอยากทำ” ผมจึงถามย้ำว่า “ทำไมถึงอยากทำ” คำตอบก็คือ “ก็เพราะอยากรู้และอยากหาคำตอบด้วยตนเอง” คำตอบเหล่านี้ ผมไม่ใช่ได้ยินเป็นครั้งแรกแต่จะได้ยินบ่อยครั้ง แสดงว่าพวกเขาถูกสอนหรือถูกปลูกฝังให้คิดอย่างนั้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่า ภาพรวมโครงงานวิทยาศาสตร์ของเยาวชนต่างประเทศมีคุณภาพเทียบเคียงกับงานของนักวิจัยอาชีพได้จริงๆ

ก่อนที่ผมจะเดินทางไปสหรัฐอเมริกา ผมมีความกังวลเกี่ยวกับการนำเสนอเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากทักษะภาษาอังกฤษของผมยังไม่แข็งแรง ตลอดจนกลัวคำถามของกรรมการที่มาจี้ ย้ำในความผิดพลาดหรือสิ่งบกพร่องของงาน แต่เมื่อถึงวันนำเสนอผลงานจริงๆ บรรยากาศกลับเสมือนคุยกันฉันท์เพื่อน ได้เล่าถึงจุดเด่นในงานของตนเอง ทุกปุ๊ธมีแต่รอยยิ้มและความมั่นใจของผู้แข่งขัน กรรมการตั้งคำถามที่สร้างสรรค์ มิใช่คำถามที่ต้อนเด็กให้จนมุม เข้าใจว่ากรรมการคงคิดแล้วว่าพวกเด็กตั้งใจทำงานมาถึงขนาดนี้แล้ว จะมีประโยชน์อันใดที่จะนำเรื่องผิดพลาดเล็กๆน้อยๆ มาตำหนิให้เสียกำลังใจ อีกทั้งบอร์ดของเราเต็มไปด้วยสีสันที่เชิญชวนให้แวะเวียนรูปและกราฟที่พยายามทำให้ชัดเจนและเข้าใจง่าย ตลอดจนความทุ่มเทที่จะนำเสนอผลงานของพวกเรา ประกอบกับกรรมการตั้งใจฟังถึงประเด็นของงานที่นำเสนอมากกว่าฟังว่าพูดอะไรผิด พูดอะไรไม่ครบ พูดอะไรไม่ชัด ทำให้การนำเสนอเป็นไปอย่างราบรื่น

ประเทศสหรัฐอเมริกาให้ความสำคัญในเรื่องการส่งเสริมความเข้าใจวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมต่อเด็กและเยาวชนของเขาเป็นอย่างมาก พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์ในสหรัฐอเมริกามีมาก แต่ด้วยเวลาอันจำกัดจึงมีโอกาสเที่ยวชมพิพิธภัณฑ์เพียงสองแห่ง ผมพบว่าพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์ทั้งสองแห่งมีประชาชนเข้าชมเป็นจำนวนมาก ถึงกับต้องเข้าแถวยาวเหยียด สิ่งของในพิพิธภัณฑ์ไม่ใช่สิ่งของที่เก็บอย่างดีในตู้กระจก หากเป็นของเล่นที่

ทำให้เด็กจับต้องได้ ขยับเล่นได้ มีคำถามที่กระตุ้นให้เด็กได้คิด ได้จินตนาการและให้โอกาสเด็กได้ลองทำ เช่น เรื่องของการขุดหาฟอสซิล ก็ให้เด็กได้ขุดหาจริงๆ เรื่องของการบินก็ให้เด็กได้บังคับเครื่องบินผ่านอุโมงค์ลม เป็นต้น แม้แต่งาน Intel International Science and Engineering Fair 2006 จะมีวันที่ให้เด็กและประชาชนเข้าชม ซึ่งมีคนเข้าชมจนล้นห้อง ในวันประกาศผลรางวัลก็จัดได้อย่างอลังการ ทุกคนที่ได้รับรางวัล รวมทั้งผมถึงกับหลั่งน้ำตากับความสำเร็จที่ตั้งใจทำเป็นเวลานาน เมื่อจบงานผู้จัดงานกล่าวว่า ถ้าความเป็นวิทยาศาสตร์สามารถติดตัวท่านตลอดไป นั่นแหละคือความสำเร็จของผู้จัดงาน

ระหว่างเดินทางกลับสู่มาตุภูมิ ผมได้นับเวลาถอยหลังทุกวินาทีที่จะได้กลับบ้าน เมื่อเดินออกมาจากประตูสนามบิน ผมได้พบคุณพ่อคุณแม่และญาติ คุณครูที่สอนสั่งและให้คำปรึกษาตลอดมา ตลอดจนเพื่อนที่ร่วมทุกข์ ร่วมสุขเป็นเวลานาน มีนักข่าวมาถามผมว่า รู้สึกอย่างไรบ้างตอนนั้น ผมนึกคำตอบไม่ออกจึงได้แต่บรรยายให้นึกภาพตามว่า เริ่มจากลองเล่นฝักต้อยติ่งตั้งแต่เด็ก แล้วเริ่มทำโครงงานกับเพื่อน 2 คนด้วยความมุ่งมั่นและอดทนเป็นเวลากว่า 3 ปี ในบางครั้งก็ท้อแท้แต่ด้วยความทุ่มเท เสียสละและเอาใจใส่ของคุณครูและเพื่อนๆ น้องๆ ที่เข้ามาช่วยและให้กำลังใจจนถึงวันประกาศรางวัล รอลุ้นชื่อว่าจะได้ประกาศหรือไม่ พอได้ยินชื่อ ครองรัฐ ผมได้แต่ตัวสั่นมองหน้าเพื่อนทั้งสองและนึกถึงอุปสรรคที่ร่วมฝ่าฟันกันมารู้สึกลอยๆเมื่ออยู่บนเวทีรับรางวัลประกอบกับมีแสงแฟลชมากมาย เมื่อมาถึงเมืองไทย รู้สึกอบอุ่นอย่างบอกไม่ถูก ท่ามกลางหมู่มิตรที่มาร่วมแสดงความยินดีกับความสำเร็จในครั้งนี้ ผมรู้สึกตื้นตันจนบอกไม่ถูกในเวลานั้น

ผมจึงขออนุญาตแบ่งปันความรู้สึกดีๆเหล่านี้ให้กับท่านทั้งหลายที่มีส่วนช่วยเหลือแนะนำทั้งโดยตรงและโดยอ้อม และให้เกียรติให้โอกาสแก่พวกเรามาโดยตลอด ขอเรียนให้พวกท่านทราบว่าความ

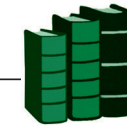
สำเร็จของผลงานครั้งนี้เป็นเพราะได้รับอานิสงส์จากการทุ่มเททำงาน
ของพวกท่านต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเวลานาน
ซึ่งกล่าวได้ว่า

“ไม่มีพวกท่าน ย่อมไม่มีพวกเราในวันนี้”

สิ่งที่พวกเราได้รับเหนือกว่ารางวัล

สุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์

บรรยากาศในคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ เวทีที่จัดการประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับโลกเงียบสงัดขัดกับที่คาดเอาไว้มาก มีเพียงเสียงที่ปราศจากแหล่งกำเนิด เบาราวกับเสียงมดที่กำลังสื่อสารกัน แต่เปี่ยมไปด้วยพลังการแข่งขันที่สามารถสัมผัสได้ บอร์ดนับพันตั้งตรงเรียงเป็นแนวยาวอย่างมีระเบียบและหันหน้าชนกันดุจกองทัพโบราณที่พร้อมเผชิญหน้าเข้าตะลุมบอนกันทุกๆเมื่อ แสงไฟสลัวและอากาศที่เย็นเยือก มีเพียงส่วนเล็กๆบริเวณริมซ้ายด้านหลังฮอล์ที่ไฟนีออนสีขาวติดอยู่ พวกเรายืนนิ่งด้วยความประหม่าตรงหน้าบอร์ดสีชมพูลูกกวาด ผมยกข้อมือขึ้นมาดูเวลาจากนาฬิกาเรือนใหม่ที่คุณพ่อซื้อให้ นับครั้งไม่ถ้วนแล้วที่ผมต้องดูเวลา ตอนนี้ก็ล่วงเวลาการแข่งขันมาสองชั่วโมงครึ่งแล้วยังไม่เห็นใครในฮอล์เลยแม้เพียงสักคนเดียวยกเว้นเราสามคนเท่านั้น ครองรัฐเพื่อนของเราลองเช็คปฏิทินในคอมพิวเตอร์แล้วก็เป็นวันนี้ไม่ผิดแน่ เราปล่อยให้ความฉงนใจเคลื่อนผ่านไปแล้วหันมาทบทวนบทภาษาอังกฤษเพื่อฆ่าเวลา ขณะที่ทนงศักรเพื่อนอีกคนหนึ่งกำลังฝึกพูดบทของเพื่อนคนอื่น ก็มีเสียงดังหวีดลั่นฮอล์จนทำให้เราสะดุ้งตกใจ เสียงนั้นเสียดเข้าไปถึงหูชั้นใน ผมรู้สึกเหมือนกับเยื่อแก้วหูจะฉีกขาดออกจากกัน มันฟังไม่เป็นภาษาแต่ผมรับรู้ความหมายที่สื่อสารกำลังเย้ยหยันผลงานของพวกเราอย่างไม่เชื่อถือ ภาพในอดีตภายใต้จิตสำนึกได้พุ่งพวยขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง เป็นภาพของ



กลุ่มคนที่กำลังหัวเราะและกล่าวว่า “ทำไปทำไม ฝักต้อยติ่งจะเอาไปทำอะไรได้” ขณะนั้นผมรู้สึกเจ็บแปลบที่ขมับด้านซ้าย มันร้อนเหมือนโดนถูกเหล็กหลอมมาจี้ ปวดเหมือนถูกเข็มกว่าหมื่นเล่มแทงตรงจุดนั้น ผมพยายามรวบรวมสติให้นิ่งมิให้หวั่นไหว ในที่สุดผมก็หลุดออกจากความฝัน

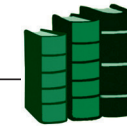
ผมเปิดเปลือกตาออกรับแสงสีทองของแดดยามสาย สองข้างทางเต็มไปด้วยฟาร์มสีน้ำตาลเป็นฉากหลัง ข้างหน้ามีต้นหญ้าและดอกไม้ป่าที่ออกดอกสะพรั่งสีเหลืองกลมคล้ายเม็ดกระดุมที่ติดอยู่บนเสื้อผู้หญิง ยังจำได้ว่าก่อนที่ผมจะผล็อยหลับได้พยายามมองหาต้อยติ่งดอกสีม่วงริมทางแต่ก็ไม่พบ ขณะที่กำลังคิดอะไรเพลินๆ อยู่นั้น ผมรู้สึกแสบตรงขมับด้านซ้าย ซึ่งคงเกิดจากการเสียดสีกับขอบหน้าต่างรถยนตร์ที่บุด้วยผ้าสักหลาดขณะหลับเป็นแน่

ขณะนั้นพวกเราทั้งสามและอีกสองท่าน คือ คุณครูนิพนธ์และอาจารย์ดร.วรินธร กำลังอยู่ในรถแวนสีเขียวที่กำลังมุ่งหน้าเข้าสู่เมืองชิคาโก ในไม่ช้ารถก็เลี้ยวเข้าถนนเรียบชายฝั่งทะเลสาบมิชิแกนสีน้ำเงินเข้มที่ส่องประกายระยิบระยับเมื่อต้องกับแสงแดด พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์เป็นสถานที่แห่งแรกที่เรามาเปิดหูเปิดตาก่อนการแข่งขัน มองจากภายนอกแล้วพิพิธภัณฑ์นี้ดูคล้ายกับพิพิธภัณฑ์ด้านศิลปะเสียมากกว่า ลักษณะอาคารมีขนาดใหญ่มาก หลังคาโดมมีสีเขียวไข่กาทั้ง 3 หลัง อากาศที่เมืองนี้ค่อนข้างหนาวจนเราต้องรีบวิ่งเข้าไปในพิพิธภัณฑ์ ภายในมีคนเข้ามาต่อแถวกันยาวตั้งแต่เช้า เราเข้าแถวเพื่อซื้อบัตรเข้าชมพิพิธภัณฑ์ ช่วงนี้มีโปรแกรมพิเศษที่กำลังจัดนิทรรศการเกี่ยวกับประวัติและผลงานของลีโอนาโด ดาวินชี ขณะที่ชมงานผมคุยกับเพื่อนๆว่าถ้าในอดีตไม่มีนักคิด นักประดิษฐ์ที่เพียรสร้างสรรค์ผลงานอย่างนี้ขึ้นมา ก็ไม่รู้ว่าปัจจุบันเราจะได้มายืนที่ตรงนี้ด้วยกันหรือเปล่า ครองรัฐมีความเห็นว่าสิ่งประดิษฐ์เก่าๆที่คนในยุคนี้เห็นว่ามันธรรมดานี่แหละเป็นสิ่งที่ล้ำค่านัก ที่คนในยุคต่อมาได้นำมาพัฒนาต่อยอดจนกลายเป็นสิ่ง

ประดิษฐ์อันล้ำค่าให้คนในยุคปัจจุบันได้ใช้อย่างสบาย **ดังนั้น คำว่า พื้นฐาน (basic) จึงไม่ใช่หมายความว่า ง่ายหรือธรรมดา แต่หมายความว่าสำคัญ บ้านเราจึงควรให้คุณค่าและความสำคัญของวิทยาศาสตร์พื้นฐานให้มาก ๆ**

เราศึกษาเรียนรู้จนทั่วพิพิธภัณฑ์ในภาพรวมเท่านั้น เวลาก็ล่วงเลยมาถึงประมาณบ่ายสี่โมง แต่แดดข้างนอกยังจ้าเหมือนตอนเที่ยง บริเวณรอบ ๆพิพิธภัณฑ์มีพ่อแม่ลูกและผู้สูงอายุกำลังสนุกสนานกับการเล่นว่าวสีสันต่าง ๆที่ทำกันเองตามสนามหญ้าสีเขียวริมทะเลสาบ สีของตัวว่าวตัดกับสีฟ้าสดที่ไร้สีขาวของเมฆ ประกอบกับการเคลื่อนไหวของทั้งคนและว่าวอย่างลงตัวและดูมีชีวิตชีวา นับเป็นภาพที่น่าประทับใจมาก ทำให้ผมปลื้มจนน้ำตาคลอและลืมความฝันไปจนหมดสิ้น

วันแรกที่มาถึงสหรัฐอเมริกา กระเป๋าเดินทางของเรายังมาไม่ถึงเราจึงไปพักที่โรงแรม Crown Plaza ซึ่งเป็นโรงแรมที่เมื่อก่อนเคยเป็นสถานีรถไฟใหญ่ในดาวน์ทาวน์ของเมือง Indianapolis ด้วยความอ่อนเพลียผมจึงนอนหลับสนิทด้วยเสื้อผ้าชุดเดิม ตื่นเช้าขึ้นมาก็ต้องย้ายของออกไปพักที่โรงแรม Conrad โรงแรมระดับห้าดาวที่ใหม่ที่สุดในย่านนั้น หลังจากจัดข้าวของเสร็จ ผมออกเดินสำรวจโรงแรมตั้งแต่ชั้นล่างสุดจนถึงชั้นบนสุด หลังจากนั้นสองชั่วโมงพวกเราก็ออกไปเดินเที่ยวในดาวน์ทาวน์ เราเดินกันไปที่ capital state อนุสาวรีย์ชัย ร้านหนังสือ และห้างสรรพสินค้า เมืองนี้ผู้คนไม่พลุกพล่านนัก เป็นเมืองที่รักษาสถาปัตยกรรมเก่า ๆ ไว้พอสมควร อากาศเย็นสบายพอดี คืนนั้นหลังจากวิ่งเพื่อย่อยอาหารในห้องฟิตเนส ผมออกมาเดินดูคนที่นี่ยามราตรี เด็กวัยรุ่นจะออกมารวมตัวกันเพื่อแข่งรถแข่งซึ่งเป็นสัญลักษณ์เด่นของที่นี่ เมืองนี้มีคนเที่ยวกลางคืนพอสมควร เดินไม่นานเท่าไหร่ก็ต้องรีบกลับมานอนที่โรงแรมเพื่อเตรียมรับมือเหตุการณ์ในวันต่อไป เช้าวันรุ่งขึ้นอาจารย์ ดร.วรินทรขับรถมารอหน้าโรงแรมพาเราไปทัวร์

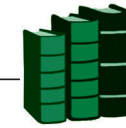


เมืองชิคาโก สามวันแรกนับเป็นการเปิดโลกทรรศน์ เรียนรู้ประสบการณ์ใหม่ ณ ที่ที่อยู่คนละฟากโลกกับถิ่นกำเนิดของเรา

รุ่งเช้าของวันใหม่ เราออกจากโรงแรมตั้งแต่เช้าตรู่ ใส่สูทสีเทาของโรงเรียน ข้างนอกฝนตกและอากาศค่อนข้างเย็น เราเดินยกบอร์ดและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องตรงไปทางสี่แยกไฟแดงใหญ่มีคนดำกับฝรั่งวัยรุ่นเดินเข้ามาคุย ขอเงิน และถามว่าเราเป็นคนเวียดนาม หรือญี่ปุ่น ไม่มีคำพูดอะไรออกจากปากพวกเราแล้วก็รีบเดินไป ถึงคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ที่มีผู้คนมากมายทั้งผู้เข้าแข่งขัน อาจารย์และผู้จัดงาน ผู้เข้าแข่งขันต่างเข้าแถวเพื่อลงทะเบียน การลงทะเบียนสำหรับชาวต่างประเทศมีปัญหาล่าช้า ทำให้เรายืนรอเกือบหนึ่งชั่วโมง แต่เราก็ได้เพื่อนชาวต่างประเทศคนแรกเป็นชาวฮังการีคนเดียวที่มาร่วมงานในครั้งนี้ ผมทักเขา เราได้พูดคุยกันสักพักก็รู้สึกถูกคอกันดี หลังจากคุยเสร็จ เขาหยิบเหรียญฮังการีออกมาจากจากกระเป๋าสตางค์ แล้วยื่นให้ผมและบอกว่านี่คือเหรียญนำโชคของเขาที่จะมอบให้กับผม ผมรับด้วยความปิติยินดีพร้อมกับมอบพระเกี้ยวซึ่งเป็นสัญลักษณ์ประจำโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาและเป็นพระราชลัญจกรในพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวมหาราช เขาดีใจมากและถือว่าเป็นเกียรติอย่างสูงมากที่ได้รับพระเกี้ยวจากผม มิตรภาพระหว่างคนที่อยู่คนละชาติ พูดกันคนละภาษาเกิดขึ้นได้เสมอ ขอเพียงให้เราเปิดใจให้กว้าง เพียงช่วงเวลาเพียงไม่กี่วินาที ทำให้เรามีเพื่อนได้โดยไม่ยาก ขณะลงทะเบียนเราได้ป้ายชื่อสำหรับผู้เข้าแข่งขันสีส้มสด หลังจากนั้นเราได้พบเพื่อนรุ่นน้องซึ่งเป็นตัวแทนประเทศไทยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(สวทช.) มาแข่งขันด้วย น้องๆ ทุกคนมีแววตาแห่งปัญญาและความมุ่งมั่น ทำให้ผมเชื่อมั่นว่า**พวกเราเด็กไทยทุกคนมีความสามารถพอที่จะนำชัยชนะการแข่งขันครั้งนี้ ถ้ามีเวทีให้แก่พวกเรา** พวกเราได้ช่วยกันวาดรูปเพื่อสื่อความเป็นไทย แล้วร่วมกันถ่าย VTR แนะนำตัว – สวัสดีครับ/ค่ะ

We come from the land of smile. If you see us, don't forget to smile. Hey! – หลังถ่ายทำเสร็จ เราต่างก็เข้าฮอล์เพื่อติดตั้งบอร์ด บอร์ดเราตั้งอยู่ริมซ้ายด้านหลังสุดของฮอล์ บู๊ธหมายเลข BO 310 เรามีปัญหาเรื่องใบเตือน(violation)จากกรรมการเล็กน้อย แต่ก็ผ่านมาได้ ที่นี่มีระบบการจัดการที่ค่อนข้างดีมากและให้ความสำคัญกับการอ้างอิง รูปทุกรูปต้องเขียนกำกับว่าใครถ่าย วันแรกเราก็ตั้งบอร์ดกันเสร็จเกือบสมบูรณ์แล้ว วันถัดไปเราเลยไม่ได้กังวลเรื่องบอร์ดมากนัก มีเวลาว่างเข้าฟังบรรยายได้หลายเรื่องทั้งเทคนิคการนำเสนอผลงาน การเขียนบทคัดย่อ และการเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ เป็นต้น คุณครูนิพนธ์บอกว่าครูเคยฟังมาปีที่แล้ว จึงอยากให้พวกเราฟัง ครูจะคอยเตือนพวกเราประเมินตัวเองให้ต่ำและประเมินผู้อื่นให้สูงอยู่เสมอ ครึ่งวันที่เหลือจึงฝึกซ้อมนำเสนอในแบบต่างๆ และเราเตรียมแผนที่ 1, 2 และ 3 ไว้ตอบคำถามกับกรรมการที่เข้ามาในรูปแบบต่างๆกันจนรู้สึกเครียดและเบื่อ วันหนึ่งเราคิดได้ว่าอุตส่าห์ได้พักโรงแรมหรูๆระดับ 5 ดาวที่มีทีวีจอพลาสมาในห้องนอน มีทีวีในห้องน้ำ มีห้องฟิตเนสที่มีอุปกรณ์พร้อมสรรพ์ ไฉนเราจึงไม่ใช้บริการเหล่านั้นเล่า อาจารย์ดร. ชุมพล คุณวาสี เคยเตือนพวกเราว่างานของคุณดีพอแล้ว เมื่อไปที่นั่นควรไปเปิดหู เปิดตา เปิดใจ ปล่อยกายให้สบาย อย่าไปเครียดมาก พวกเราจึงได้สติและเกิดปัญญา จึงชวนกันไปออกกำลังกายว่ายน้ำ ว่ายไป ว่ายมา ก็เกิดความคิดว่าน่าจะซ้อมกันไปด้วย (อ่านแล้ว เหมือนโม้ให้ฟัง) ดังนั้น จงอย่าเชื่อเราแต่ลองทำดู เราซ้อมกันจนทุกคนสามารถพูดแทนกันได้ในสไตล์ของตัวเอง นับเป็นการว่ายน้ำที่เหนื่อยแต่สนุกมากแถมยังได้งานอีกด้วย เมื่อมาถึงห้องพัก ทุกคนจึงสลบกันหมด

ผมสะดุ้งตื่นขึ้นในห้องที่มืดมาก ครองรัฐยังนอนหลับปุ๋ย ผมตะโกนเรียกเขาให้ตื่นรีบแต่งตัว ตอนนี้เหลือเวลาอีกครึ่งชั่วโมงเท่านั้นงาน Pin trade ก็จะจบลงแล้ว นี่เราสายมาถึงสองชั่วโมง



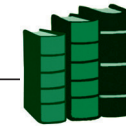
ครึ่ง ผมรีบล้างหน้าแต่งตัว วิ่งไปเคาะประตูเรียกทนงศักร ในที่สุดเรารีบวิ่งไป โชคดีที่โรงแรมกับสถานที่จัดงานอยู่ไม่ไกล และท้องฟ้ายังสว่างอยู่ ขณะที่เราเดินเข้าสถานที่จัดงานคนก็เริ่มทยอยออกมาเรื่อยๆ ผมคิดในใจว่าแย่แน่เลย อุตส่าห์เตรียมเข็มมาแลกตั้งเยอะงานนี้คงกร่อยแน่ เคราะห์ดีของเราที่เพื่อนๆในงานยังสนุกกับการแลกเข็มกันอยู่ ผมรีบทำเวลาเข้าไปทักทายคนทุกคนที่เดินผ่าน มีบางคนคุยกันยาวแล้วขอถ่ายรูปบ้าง ในเวลาไม่ถึงยี่สิบนาทีผมก็แลกเข็มหมด รู้จักเพื่อนใหม่ประมาณกว่าสี่สิบคน มันเป็นช่วงเวลาที่เร่งรีบที่สุดแล้วสำหรับการไปครั้งนี้แต่ก็คุ้มค่าและที่สำคัญได้รับบทเรียนของการไม่รู้จักรักษาเวลา

และแล้ววันแห่งการแข่งขันจริงๆก็มาถึง พวกเรารีบตื่นแต่เช้า แต่งตัวหล่อ ผมเตรียมตัวเสร็จ ก็ลงไปรอข้างล่าง เมื่อคืนก่อนพี่ฟ้ารุ่นพี่ที่เคยทำโครงงานคลื่นการเดินของกิ้งกือ โทรมาให้เรานำเสนองานผ่านทางโทรศัพท์แล้วพี่จะยิงคำถามเป็นครั้งสุดท้าย ระหว่างนั่งบนโซฟาผมคิดอะไรเพลินๆ อยู่ๆความฝันเมื่อหลายวันก่อนก็ผุดขึ้นมาในสมอง ผมเกิดความประหม่าและกังวลในเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นอีกไม่กี่ชั่วโมง วันนี้ฝนตกจนหนาวกว่าทุกวันจนพูดออกมาเป็นไอ เรายืมร่มสีดำจากโรงแรมแต่ก็ไม่อาจต้านลมหนาวที่ทะลุผ่านกางเกงผ้าฝ้ายแล้วกระทบขา ผมรู้สึกทั้งหนาวกายและหนาวใจในเวลาเดียวกัน

เมื่อมาถึงคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์สถานที่แข่งขัน ปรากฏว่าได้รับใบเตือน จึงนับเป็นความโชคดีที่เข้าไปที่บู๊ธทำให้สามารถจัดอุปกรณ์เพิ่มเติมได้อีก เพราะจากนั้นเขาจะปิดประตูเพื่อเตรียมพร้อมในการแข่งขัน ผมเดินหาที่นั่งแล้วย้อนนึกกลับไปถึงภาพเหตุการณ์ในอดีต เกือบสามปีแล้วที่เราทั้งสามทำงานร่วมกันกับเจ้าฝักต้อยติ่ง ผ่านการทดสอบทางจิตใจ เผชิญหน้ากับปัญหาต่างๆ และร่วมกันแก้ไข สรรค์สร้างสิ่งใหม่ด้วยความมุ่งมั่น นึกถึงตอนที่เราคลานนับเมล็ดต้อยติ่งบนพื้นที่วงกลมขนาดเท่าโรงยิมที่เราร่วมกัน

คิดและออกแบบสร้างขึ้นด้วยหกมือกับสามสมอง นับเป็นช่วงเวลาที่เหนื่อยมากแต่เรากลับรู้สึกสนุกและเป็นสุข คุณครูนิพนธ์เป็นที่ปรึกษาที่คอยดูแลเรามาโดยตลอด ท่านเป็นทั้งครู เป็นพี่และเป็นเพื่อน ท่านเรียนรู้ไปกับเรา คอยช่วยชี้แนะแนวทางเรื่องต่างๆ ท่านเคยพูดกับเราว่า “เจ้าต้นต้อยติ่ง (Popping pod) กำลังรอพวกเรามาช่วยให้ชื่อของเขาขจรขจายไปในเวทีโลกและให้ชาวโลกรับรู้ว่าต้อยติ่งไม่ใช่แค่วัชพืชแต่มีดีกว่าที่คิด” ผมนึกถึงคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำเนิด คอยเลี้ยงดู ฟูมฟักถนุถนอมและอบรมสั่งสอน นึกถึงคุณครูตั้งแต่ชั้นอนุบาล ประถมและมัธยมที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้จนทำให้ผมเป็นคนเต็มคนได้ทุกวันนี้ นึกถึงท่านผู้อำนวยการและคุณครูโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาทุกท่านที่สนับสนุนทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษทุกท่านที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ นึกถึงคณาจารย์ทุกท่านในโครงการชีววิทยา โอลิมปิก สอวน. ซึ่งมีโรงเรียนเทพศิรินทร์เป็นศูนย์ คิดถึงรุ่นพี่ที่ช่วยแนะ กระตุ้นและให้กำลังใจมาตลอด นึกถึงรุ่นน้องที่มาช่วยงาน นึกถึงการได้รับการสนับสนุนจากท่านผู้ใหญ่ของหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตลอดจนการศึกษา ระลึกถึงสิ่งศักดิ์สิทธิ์ในโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สมเด็จพระปิยมหาราช พระบารมีของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช เสียงของเพื่อนๆที่กำลังบอกว่า “เฟร์ส นายทำได้อยู่แล้ว เอารางวัลกลับมาต้นต้อยติ่งนะ ทุกๆคนที่เมืองไทยฝากความหวังไว้กับเราทั้งสาม” ภาพดีๆเหล่านี้นับเป็นศิริมงคลและเป็นแรงผลักดันให้เราได้ก้าวขึ้นสู่เวทีโลกแล้ว

ทันใดนั้นภาพในอดีตกาลก็หายไป เมื่อผมได้รวบรวมสติทั้งหมดย้ายจิตเข้ามาสู่ปัจจุบันกาล ผมนึกถึง “ในหลวงพ่อหลวงของปวงชนชาวไทย” ทำให้จิตกลับมาอยู่ที่กาย ขณะนี้พวกเราไม่ใช่แค่นายสุขสันต์หรือนายครองรัฐหรือนายทนงศักรเท่านั้น หากได้รับการไว้วางใจให้มาทำหน้าที่ตัวแทนของประเทศไทย ดังนั้น



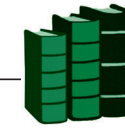
ต้องทำหน้าที่ให้ดีที่สุด เหลือแต่เพียงอีกไม่กี่นาทีข้างหน้าที่เราจะต้องสานต่อให้สำเร็จ ผมหันไปพูดกับเพื่อนทันที ทุกคนทำให้สุดๆนะ ถึงไม่ได้รางวัลอะไรกลับไป แต่ต้องชนะใจกรรมการ ชนะใจคนดู โดยทำให้เขารู้สึกประทับใจและยอมรับว่าเด็กไทยมีความสามารถ ไม่แพ้ชาติใดในโลก

บรรยากาศการแข่งขันเริ่มขึ้นแล้ว ผู้เข้าแข่งขันทุกคนตื่นเต้นหรือยิ่งกว่าเรา บางคนตั้งหน้าตั้งตาท่องสคริปต์กันเลย แต่ทว่าท่าทีของกรรมการกลับเดินเข้ามาทีละคน พูดคุยกับพวกเราอย่างเป็นมิตร จนเราลืมไปเลยว่านี่คือการแข่งขัน พวกเราจึงรู้สึกสนุกในการนำเสนอจนลืมเหนื่อย ผมคิดว่าผู้เข้าแข่งขันทุกคนคงรู้สึกเช่นเดียวกัน เราสามคนทำงานเข้ากันอย่างลงตัว **กรรมการที่ตรวจโครงงานให้ความสนใจกับโครงงานของเราเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นผลงานที่ไม่ใช่พฤกษศาสตร์ด้านเดียวหากแต่เราใช้ความสามารถและความถนัดของแต่ละศาสตร์ที่ต่างกันของแต่ละคนมาศึกษาวิจัยพืชชนิดนี้ ทั้งในด้านชีววิทยา ฟิสิกส์ สถิติ วัสดุศาสตร์ คอมพิวเตอร์และศิลปะ จุดเด่นอย่างหนึ่งที่กรรมการและคนทั่วไปบอกเป็นเสียงเดียวกัน คือความสามารถในการใช้ความคิดสร้างสรรค์การแก้ปัญหาต่าง ๆ ทำให้งานดูน่าสนุกและท้าทาย** ปัญหาใหญ่ของโครงงานเรา คือ ไม่มีกล้องความเร็วสูงสำหรับจับภาพเวลาฝักต้อยติ่งแตก เราจึงพยายามคิดค้นหาวิธีเพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์ง่าย ๆขึ้นมาไว้วัดระยะทางและมุมของเมล็ดและฝาของฝักต้อยติ่ง แล้วนำมาคำนวณความเร็วและระยะทางที่กระจายออก เมื่อก่อนผมคิดว่าถ้าไม่มีกล้องความเร็วสูง เราคงทำงานนี้ไม่สำเร็จเป็นแน่ บัดนี้พวกเราได้เรียนรู้ว่าถ้าเราคิดแต่จะซื้อกล้องที่แพงน่าดูและหายากมาก งานของเราคงขาดเสน่ห์ไม่ชนะใจคนทั่วไปเพราะขาดกระบวนการคิดนี่เอง ซึ่งนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมากที่ผมอยากให้เพื่อน ๆและน้อง ๆหันมาฝึกฝน**คิดนอกกรอบ เพราะธรรมชาติมีความสลับซับซ้อนมาก ไม่ตาย**

ตัว ปัญหาทุกอย่างมีทางออกและมีทางแก้ไขทั้งสิ้น คำตอบทางวิทยาศาสตร์จึงไม่ควรจำกัดคำตอบแค่ว่าใช่หรือไม่ใช่ ได้หรือไม่ได้เท่านั้น

เมื่อมีประกาศว่าสิ้นสุดการแข่งขันแล้ว ทุกคนพร้อมใจกันร้องเฮ เฮ โดยมิได้นัดหมาย ความกดดันนานเกือบสิบชั่วโมงถูกปลดปล่อยออกมาจนหมดสิ้น ช่วงต่อจากนี้ไปเราทุกคนไม่ใช่ผู้เข้าแข่งขันอีกต่อไปแต่ควรเป็นเพื่อนร่วมงานการประกวดมากกว่า ดังนั้น ตอนกลางคืนจึงมีการสังสรรค์กัน เราได้เพื่อน ได้รู้จักคนมากขึ้น ได้รู้จักผลงานที่พวกเขาสนใจ ได้เห็นสังคมและวัฒนธรรมของเพื่อนต่างชาติ ต่างภาษา ตลอดจนแนวคิดที่มีต่อวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและอื่นๆ ทุกคนที่นี่เป็นเพื่อนกันแล้ว ไม่ได้เป็นศัตรูหรือคู่แข่ง และเป็นความบังเอิญที่เพื่อนข้างๆบู๊ธเรา ที่ศึกษาเรื่อง Electrobean จะไปเรียนโรงเรียนเดียวกับผมที่รัฐ Virginia (ผมได้รับทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาศึกษาต่อด้าน Cognitive Science ถึงระดับปริญญาเอก) อย่างที่เขาว่ากันว่าโลกนี้ช่างเล็กและกลมจริงๆ ผมเต้นรำในงานปาร์ตี้สักสองชั่วโมง พวกเราก็กลับมานอนหลับปุ๋ยปุ๋ยอย่างมีความสุข

ก่อนถึงวันประกาศรางวัลใหญ่ระดับ Grand Awards พวกเรารู้สึกหดหู่ เนื่องจากรางวัลที่ผ่านมาล้วนแต่เป็นของคนอื่น ทุกอย่างมองดูเป็นสีเทา ผมพยามแต่งแต้มสีสันทำบรรยากาศให้สนุกขบขัน แต่ก็ไม่เป็นผล แต่ผมเชื่อมั่นอยู่ลึกๆว่า วันนี้ต้องมีชื่อของเราประกาศขึ้นรับรางวัลแน่นอน ผมเปลี่ยนตัวเองใหม่ ไม่ติดกระดุมเสื้อสูท ไม่ใส่เจลที่ผม จะเรียกว่าถือเคล็ดก็ว่าได้คือทำตัวให้เป็นธรรมชาติและสบายที่สุด ตอนเช้าอาจารย์ ดร.วรินทรพาเราไปพิพิธภัณฑ์เด็ก ทำให้ผมรู้สึกผ่อนคลายอย่างมากเมื่อเห็นเด็กมากมายตั้งแต่แรกเกิดถึงอายุพอๆกันกับผมเข้ามาชม มาเล่นในพิพิธภัณฑ์ยังกับสวนสนุกซะก็ไม่ปาน ระหว่างเดินดูผลงานศิลปะการต่อแก้วสี ผมคิดได้ว่าการมาแข่งขันครั้งนี้ก็เหมือนกับเรามา



เดินในพิพิธภัณฑ์ใหญ่ๆ เรามาเพื่อเรียนรู้และเก็บเกี่ยวประสบการณ์ใหม่ๆ ดีๆ เพราะเราได้รับโอกาสดีกว่าคนอีกมากมาย ทำไมจึงมุ่งหวังแต่คอยแค่รางวัล แสดงว่าถ้าเราไม่ได้รางวัล จะไม่ทำอะไรอีกกระนั้นหรือ? ถ้างานของเราดีจริง รางวัลจะเป็นเพียงผลพลอยได้ที่ตามมาเอง มันก็เท่านั้นเอง

“ เมื่อกลับมาแล้ว เราจะแบ่งปันอะไรให้สังคมและทำอะไรให้แก่ประเทศไทยบ้าง”
สิ่งนี้ต่างหากที่สำคัญ เพราะทำได้ยากกว่ารางวัล

การสะท้อนความคิดเห็นต่อโครงการวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการตัดสินนานาชาติ

" ส่วนใหญ่ที่กรรมการเขาพูดกันจะบอกว่าผมชอบโครงงานคุณนะ เพราะถึงคุณจะส่งในสาขาพฤกษศาสตร์ แต่โครงงานของคุณไม่ใช่พฤกษศาสตร์ คุณสามารถหยิบเอาศาสตร์หลายศาสตร์เข้ามาอธิบายกับพืชชนิดนี้ได้ เรียกได้ว่าเป็นการบูรณาการโดยอัตโนมัติที่ไม่ต้องบอกเลยว่าอาศัยจากวิชานั้นวิชานี้เลยครับ แล้วอีกอย่างเป็นโครงงานที่เป็นพื้นฐานมากๆเพราะในการทดลองค้นหาอะไร เราไม่มีกล้องวีดีโอที่มีความเร็วสูงที่มีราคาแพงและหายากในเมืองไทย แต่เราช่วยกันคิด เรียกว่าทั้งคิดแยก คิดยำ คิดโยง คิดย่อย เลยครับ จนประดิษฐ์อุปกรณ์ง่ายๆที่สามารถทำได้ทุกคน มาวัดระยะทาง วัดมุมในการกระจาย แล้วนำมาเข้าสูตรคำนวณหาพลังงานออกมา ซึ่งกรรมการระดับ Professor ทั้งนั้นที่กล่าวชื่นชมและชอบมาก "

เขายังบอกอีกว่า " รางวัลครั้งนี้เป็นสิ่งที่บ่งบอกแล้วนะ คุณน่ะไม่จำเป็นต้องมี high technology ก็ทำสำเร็จได้ ฉะนั้น อย่าเอาคำว่าเทคโนโลยีมาเป็นข้ออ้าง "

ผู้ชมชาวต่างประเทศ

" ดูแล้วคุณสนุกกับการทำงานดีจังเลย เขาอยากให้ลูกเขามาทำกับเราด้วยเพราะดูเป็นงานที่สนุกและท้าทาย เหมือนได้เล่นไปด้วย ที่สำคัญเห็นกระบวนการชัดเจน "

นักเรียนทั้งสาม

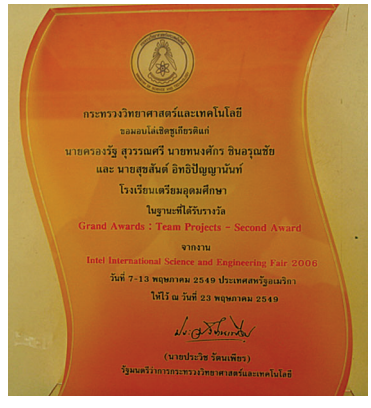
“ กิจกรรมตรงนี้ทำให้เราเห็นความสำคัญของการทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์ ทำให้เรายิ่งชอบและรักที่จะทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์ต่อไปเรื่อยๆเลยครับโดยเฉพาะการวิจัย แต่ก่อนนั้น คิดเพียงแค่รับรางวัลและเก็บเกี่ยวประสบการณ์ให้มากที่สุด แต่คุณครูนิพนธ์กลับบอกว่าเราได้รับทั้งเกียรติและความไว้วางใจเป็นตัวแทนของประเทศ นอกจากเราต้องพยายามนำชื่อเสียงกลับสู่ประเทศไทยโดยการทำอย่างเต็มความสามารถแล้ว สิ่งสำคัญต้องกลับมาแบ่งปันประสบการณ์ดีๆให้เพื่อนๆได้เห็นแนวทางและคุณค่าในการพัฒนาโครงงานในระดับสากลของบ้านเราครับ ”

ความสำเร็จที่ได้รับ

1. รางวัลชนะเลิศระดับภาคของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ปี2548
2. รางวัลชนะเลิศระดับประเทศของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปี2548
3. รางวัล Grand Awards ในงาน Intel International Science and Engineering Fair 2006 ประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 38
นายทนงศักร ชินอรุณชัย
ตัวแทนกลุ่มโครงงานรับพระราชทานรางวัลเยาวชนดีเด่นแห่งชาติจากสมเด็จพระบรมโอรสาธิราช เนื่องในวันเยาวชนแห่งชาติ
วันที่ 20 กันยายน 2549

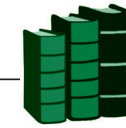
ภาพที่ 39 นายทนงศักร ชินอรุณชัย ตัวแทนกลุ่มโครงงานวิทยาศาสตร์ รับรางวัลพระราชทานจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เนื่องในวันสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ วันที่11 สิงหาคม 2549



ภาพที่ 40-41 โล่รางวัลที่ได้รับจากรัฐมนตรีกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ โรงแรมสยามซิตี้

ความภาคภูมิที่ได้รับ

1. ได้รับเกียรติในการนำเสนอผลงานต่อสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่ง



ชาติประจำปี 2548 ณ ศูนย์การประชุมอิมแพคเมืองทองธานี จังหวัดปทุมธานี

2. ได้รับเกียรติในการนำเสนอผลงานต่อสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในงาน The First Thailand International Science Fair ณ โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ จังหวัดนครปฐม

การเผยแพร่ผลงาน

1. ได้รับเชิญจากสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาไปนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ การวิจัยทางการศึกษา ครั้งที่ 11 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 26-27 สิงหาคม 2548

2. ได้รับเชิญจากสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเขต 1 ไปนำเสนอผลงานในงานบูรณาการการศึกษาสู่โลกกว้าง ณ โรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 2-3 กันยายน 2548

3. ได้รับเชิญจากสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา ไปนำเสนอผลงานในงานนวัตกรรมการเรียนรู้สู่ภาคปฏิบัติ ณ โรงแรมปริ๊นซ์พาเลส กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 24-25 กันยายน 2548

4. ได้รับเชิญจากสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา ถ่ายทำวีดิทัศน์รายการ “คิดได้ไง” ออกอากาศในวันที่ 1 มกราคม 2549

5. ได้รับเชิญจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ไปนำเสนอผลงานในวันนักประดิษฐ์ ณ ศูนย์การประชุมอิมแพคเมืองทองธานี จังหวัดปทุมธานี ระหว่างวันที่ 2-4 กุมภาพันธ์ 2549

6. ได้รับเชิญจากสำนักอำนวยการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ในการถ่ายทำสารคดีและภาพประกอบรายการเพื่อเผยแพร่ทางสถานีโทรทัศน์ประกอบรายการเรื่อง “การจัดการศึกษาสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษ” ในรายการ

"บ่ายนี้มีคำตอบ" ในวันที่ 25 เมษายน 2549

7. ได้รับเชิญจากฝ่ายรายการของ UBC สัมภาษณ์สดเพื่อออกรายการในวันที่ 19 พฤษภาคม 2549

8. ได้รับเชิญจากสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน สัมภาษณ์สดในรายการเช้าวันนี้ที่เมืองไทย ช่วง "เวทีนี้มีดีมาอวด" ณ สถานีโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ในวันที่ 23 พฤษภาคม 2549

9. ได้รับโล่จากรัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ณ โรงแรมสยามซิตี้ ในวันที่ 23 พฤษภาคม 2549 และได้รับการสัมภาษณ์จากสื่อต่างๆ

10. ให้สัมภาษณ์ผู้จัดการออนไลน์ในวันที่ 23 พฤษภาคม 2549

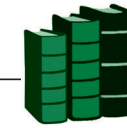
11. ได้รับเชิญจากฝ่ายรายการของ ITV สัมภาษณ์สดและถ่ายทำเป็นการรายงานข่าวสด 3 นาที ในวันที่ 26 พฤษภาคม 2549

12. ได้รับเชิญจากฝ่ายจัดรายการโทรทัศน์สัมภาษณ์สดในรายการบ้านเลขที่ 5 ณ สถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 ในวันที่ 31 พฤษภาคม 2549

13. ได้รับเชิญจากฝ่ายรายการโทรทัศน์สัมภาษณ์สดในรายการ ผู้หญิงถึงผู้หญิง ณ สถานีโทรทัศน์ช่อง 3 ในวันที่ 4 มิถุนายน 2549

14. ได้รับเชิญจากศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา นำเสนอผลงานแก่คณะครูระดับมัธยมศึกษา ณ ห้องมหกรรม ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา ในวันที่ 5 มิถุนายน 2549

15. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์พิเศษ สัมผัสมุมมองครูและเด็กความสามารถพิเศษกับผลงานค้นคว้ารางวัลระดับโลก "การแตกของฝักต้อยติ่ง" และลงเรื่องในวารสารการศึกษาไทย ของสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาปีที่ 4 ฉบับที่ 21 เดือนมิถุนายน 2549



16. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์และลงเรื่องในนิตรสาร Go Genius ฉบับที่ 15 เดือนกรกฎาคม 2549

17. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์และลงเรื่องในนิตยสารสกุลไทย ฉบับที่ 2702 เดือนสิงหาคม 2549

18. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์และลงเรื่องในจุลสารสนุกวิทย์ ฉบับที่ 7 เดือนตุลาคม--ธันวาคม 2548

19. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์และลงเรื่องในวารสารภาษาอังกฤษ Student Weekly ฉบับที่ 26 เดือนมิถุนายน- กรกฎาคม 2549

20. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์และลงเรื่องในหนังสือชุด “ค้นความลับของธรรมชาติกับนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์” ของโครงการพัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์สำหรับเด็กและเยาวชนของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

21. ได้รับการติดต่อสัมภาษณ์และลงเรื่องในหนังสือของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2549

22. ได้รับการติดต่อเพื่อสัมภาษณ์และทำวิจัยเกี่ยวกับ Best Practice จาก รศ.ดร.วชิราพร อัจฉริยโกศล จากคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

23. ได้รับการติดต่อให้จัดทำบันทึกประสบการณ์โครงงานวิทยาศาสตร์ดีเด่น “การแตกของฝักต้อยติ่ง” ของสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2549

ตัวอย่างภาพแสดงผู้ที่มาเยี่ยมและสนับสนุน จนทำให้โครงงานประสบความสำเร็จเป็นอย่างดียิ่ง

ภาพที่ 42 นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นมาเยี่ยมชมห้องโครงงานวิทยาศาสตร์และฟังการนำเสนอของนักเรียนด้วยความชื่นชม

ภาพที่ 43 อาจารย์บุญเทียม ศิริปัญญา สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา มาให้กำลังใจนักเรียนที่มาเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติที่โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ จังหวัดนครปฐม

ภาพที่ 44 ได้รับเชิญจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ให้เป็นตัวแทนในการนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ในวันนักประดิษฐ์ ณ ศูนย์การประชุมอิมแพค เมืองทองธานี จังหวัดปทุมธานี

ภาพที่ 45-47 สื่อโทรทัศน์ช่องต่างๆ กำลังให้ความสนใจในการที่จะเผยแพร่ผลงานออกสู่สายตาประชาชน

ภาพที่ 48-49 ได้รับเชิญจากหน่วยงานราชการและสถาบันการศึกษา ให้เป็นวิทยากรเผยแพร่ผลงาน

ภาพที่ 50-51 สมาคมนักเรียนเก่าเตรียมอุดมศึกษาในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นเจ้าภาพจัดงานเลี้ยงแสดงความชื่นชมต่อนักเรียนและครู ในโครงงานวิทยาศาสตร์และขอบคุณวิทยากรที่มีส่วนเกี่ยวข้องในความสำเร็จ

ภาพที่ 52 ได้รับเชิญจากสมาคมนักเรียนเก่าเตรียมอุดมศึกษา ในพระบรมราชูปถัมภ์บนเวทีในงานประชุมวิชาการยุทธศาสตร์ไทยในกระแสโลก

ภาพที่ 53 หัวหน้ากลุ่มงานประชาสัมพันธ์ สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กำลังสัมภาษณ์นักเรียนและครูเพื่อลงวารสารการศึกษาไทย ฉบับที่ 21 มิถุนายน2549 ปีที่ 4 ฉบับฉลองศิริราชสมบัติครบ 60 ปี ในหลวงของปวงชนชาวไทย

การศึกษาต่อของนักเรียนทั้งสาม

นายครองรัฐ สุวรรณศรี

สอบได้คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล และคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบัน ได้รับทุนบริษัทปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) ศึกษาด้าน Geophysics ประเทศสหรัฐอเมริกา

นายทนงศักร ชินอรุณชัย

สอบได้ทุนบริษัทปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) ศึกษาด้าน Geophysics ประเทศสหรัฐอเมริกา

ปัจจุบัน ศึกษาต่อที่คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

นายสุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์

สอบได้ทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จนถึงระดับปริญญาเอก

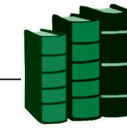
ปัจจุบัน ศึกษาด้าน Cognitive Science ประเทศสหรัฐอเมริกา

นักเรียนทั้งสาม ยังได้รับทุนระยะยาวจากโครงการพัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (JSTP) ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

บทส่งท้าย

โครงงานวิทยาศาสตร์เรื่องการแตกของฝักต้อยติ่ง นับเป็นเรื่องที่ 2 ต่อจากเรื่องคลื่นการเดินของกิ้งกือที่ผู้เขียนเป็นครูที่ปรึกษาได้รับการคัดเลือกเป็นตัวแทนของประเทศไทยจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ไปแข่งขันโครงงานวิทยาศาสตร์ระดับโลกจนได้รับรางวัลระดับ Grand Awards ในงาน Intel International Science and Engineering Fair 2006 ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา

เมื่อกลับมา จะมีสื่อต่างๆมาขอสัมภาษณ์ทั้งนักเรียนและผู้เขียนถึงเคล็ดลับสู่ความสำเร็จ สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาได้เล็งเห็นความสำคัญเช่นเดียวกัน และมองไกลออกไปอีกว่า ผู้เขียนน่าจะนำมาขยายผลโดยเขียนบันทึกประสบการณ์เพื่อเผยแพร่กระบวนการเรียนรู้ให้นักเรียน ครูอาจารย์และผู้ที่สนใจทั่วไปนำแนวทางไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อเยาวชนและในวงการศึกษา



วิทยาศาสตร์ต่อไป

การเขียนบันทึกประสบการณ์เช่นนี้นับเป็นเรื่องใหญ่สำหรับนักเขียนหน้าใหม่อย่างผู้เขียน เมื่อได้ตอบตกลงแล้วก็พยายามเขียนอย่างเต็มที่ โดยไม่ให้เป็นตำราแต่จะเป็นบทสนทนาโต้ตอบระหว่างนักเรียนกับครูจนเกิดการเรียนรู้ในระหว่างการทำโครงงาน ตั้งแต่เริ่มคิดทำ ขณะทำ หลังทำจนสำเร็จเป็นชิ้นงานและการนำเสนอผลงาน ตลอดจนการเตรียมตัวเข้าสู่เวทีการแข่งขันทั้งในระดับประเทศและระดับโลก เรียกว่าการทำโครงงานเรื่องเดียวนักเรียนและครูจะได้รับการพัฒนาทั้งสติปัญญา อารมณ์ สังคม ไปพร้อมๆ กัน นักเรียนและครูจึงกลายเป็นคู่หูในรูปแบบการเรียนรู้ตลอดชีวิต

การเรียนรู้จากการทำโครงงานวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อการเรียนวิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง เพราะช่วยให้นักเรียนมีความคิดที่เป็นวิทยาศาสตร์คือ มีความคิดที่เป็นระบบ มีแบบแผน มีขั้นตอนและเป็นระเบียบ ดังนั้น เมื่อนักเรียนทำโครงงานวิทยาศาสตร์สิ่งสำคัญที่สุดที่นักเรียนจะต้องได้คือ “วิธีการคิด” ซึ่งเป็นหัวใจของการทำโครงงานคือ “การสอนให้นักเรียนคิดเป็น ทำเป็นและแก้ปัญหาเป็น” โดยครูเป็นผู้ช่วยในการจัดระบบความคิด กระตุ้นให้นักเรียนคิดโดยใช้ “จินตนาการ และเหตุผล” พร้อมๆกับเกิดความสนุกในการเรียนรู้ ดังนั้น ครูจึงไม่ควรคาดหวังความสำเร็จของโครงงานโดยนำรางวัลเป็นตัวตั้ง จะทำให้นักเรียนเกิดความเครียด

สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นไม่ใช่เรื่องใหม่ หากแต่จะทำให้เกิดความสำเร็จนั้นไม่ใช่เป็นเรื่องง่ายเพราะต้องอาศัยแรงกายแรงใจ ความอดทน ความเสียสละและทัศนคติที่ถูกต้องของคุณครู หากทำสำเร็จผู้เขียนเชื่อว่าคุณครูทุกท่านย่อมมีความภาคภูมิและอิ่มใจที่เห็นลูกศิษย์สามารถเรียนรู้และคิดได้ด้วยตนเอง ดังพระบรมราโชวาทในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวที่ว่า “การทำงานด้วยใจรักต้องหวังผลงานนั้นเป็นสำคัญ แม้จะไม่มีใครรู้เห็นก็ไม่น่าวิตกเพราะผลสำเร็จนั้นจะเป็นประจักษ์พยานที่มั่นคง”

ท่านทั้งหลายคงเห็นด้วยว่าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนานักเรียนให้มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีทัศนคติที่ดีในทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจวิทยาศาสตร์อย่างถ่องแท้ ขณะที่การเรียนทั้งในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการต่าง ๆไม่สามารถสอนหรือฝึกนักเรียนให้มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างแท้จริง การเรียนรู้จากการทำโครงงานวิทยาศาสตร์จึงเท่ากับฝึกให้นักเรียนมีวิธีคิดอย่างเป็นระบบระเบียบ ฝึกให้มีจินตนาการ มีอิสระออกจากกรอบและมีการทำงานอย่างเป็นกระบวนการ นอกเหนือจากนั้นยังมีโอกาสพบองค์ความรู้ใหม่หรือสร้างสรรค์นวัตกรรมได้อีกด้วย

ผู้เขียนมีความเชื่อว่า “เด็กไทยไม่แพ้ชาติใดในโลก” เราจึงจำเป็นต้องหาเวทีให้เขา และเมื่อกลับมาเขาต้องแบ่งปันและถ่ายทอดประสบการณ์ดี ๆ ให้แก่เพื่อน ที่สำคัญต้องมีความกตัญญูรู้คุณคนและสถาบัน

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ เป็นหน่วยงานที่ผู้เขียนและนักเรียนต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ที่ส่งเสริมสนับสนุนและให้โอกาสพวกเราได้ถ่ายทอดความรู้ ความคิดออกเป็นตัวอักษรในบันทึกประสบการณ์เล่มนี้

จึงหวังว่าข้อคิดข้อเขียนครั้งนี้คงเกิดประโยชน์แก่ท่านตามสมควร หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

นายนิพนธ์ ศรีนฤมล
ตำแหน่งครู คศ. 4
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

บรรณานุกรม

ธีระชัย ปูรณโชติ. **การสอนกิจกรรมโครงงานวิทยาศาสตร์ คู่มือสำหรับครู.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2531.

วราภรณ์ แก้วดี. “ การเรียนรู้จากการทำโครงงาน”. **แนวคิดและแนวปฏิบัติ สำหรับครูมัธยมเพื่อการปฏิรูปการศึกษา** (พิมพันธ์ เตชะคุปต์ สุวัฒนา อุทัยรัตน์ กมลพร บัณฑิตยานนท์ บรรณาธิการ). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 2544 น.203-204

วิชาการ , กรม. **รายงานการประเมินผลการประกวดโครงงานนักเรียน นักศึกษา มหกรรมการศึกษา ปี 2000**. กรุงเทพมหานคร : กองวิจัยทางการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, 2544.

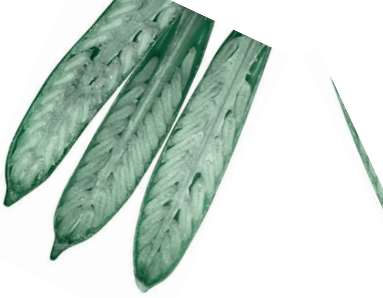
สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย. **การประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ประจำปี 2528.** กรุงเทพมหานคร : ฟันนี่พับลิชชิง, 2528.

สามัญศึกษา , กรม. **คู่มือการจัดกิจกรรมนักเรียนชุมนุมวิทยาศาสตร์.** กรุงเทพมหานคร :หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ , 2533.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี , สถาบัน. **คู่มือการทำและการจัดแสดงโครงงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** กรุงเทพมหานคร : สสวท. 2529.

Bluck Institute for Education. **Project-based Learning**. Bluck Institute for Education, 1999 (cited 25 November 2000). Available from http : // WWW. Bie.or, **INTERNET**.

ภาคผนวก



สิ่งสำคัญจากใจของนักเรียนทั้งสาม

พวกผมคิดเสมอนะครับว่า นับเป็นความโชคดีอย่างมากที่มีโอกาสสอบเข้ามาศึกษาในโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาเก่าแก่ที่มีประวัติอันงดงาม มีผู้บริหารที่มีวิสัยทัศน์และมุ่งส่งเสริมด้านวิชาการควบคู่คุณธรรม มีคณะครูที่ดูแลเอาใจใส่และเป็นที่ปรึกษาอย่างดีเยี่ยม มีรุ่นพี่และเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจ มีผู้ปกครองที่เข้าใจและสนับสนุน มีหน่วยงานจากมหาวิทยาลัย สมาคม และสถาบันวิจัยที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และมีทุนสนับสนุนทำให้โครงงานวิทยาศาสตร์ของเราได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หากปราศจากสิ่งดีงามเหล่านี้ พวกผมนายทนงศักร ชินอรุณชัย นายครองรัฐ สุวรรณศรี และนายสุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์ คงไม่สามารถก้าวมาถึงจุดนี้ได้อย่างแน่นอน

ขอกราบคารวะผู้มีพระคุณทุกท่านและกราบขออภัยที่ไม่สามารถเอ่ยนามทุกท่าน ณ ที่นี้ได้

นายทนงศักร ชินอรุณชัย
นายครองรัฐ สุวรรณศรี
นายสุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์

ตัวอย่างโครงงาน

การแตกของฝักต้อยติ่ง

โดย

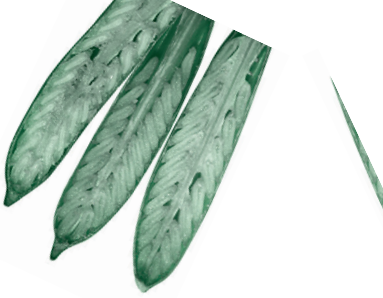
นายครองรัฐ สุวรรณศรี
นายทนงศักร ชินอรุณชัย
นายสุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

นายนิพนธ์ ศรีนฤมล
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

ที่ปรึกษาพิเศษ

ผศ.ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.ชุมพล คุณวาสี
ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.รัฐ พิชญางกูร
ภาคชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทคัดย่อ

จากการศึกษาการแตกของฝักต้อยติ่ง *Hygrophila erecta* (Burm.f.) Hochr พบข้อมูล **ด้านสัณฐานวิทยาและกายวิภาคระหว่างฝักอ่อน ฝักแก่ และลักษณะการแตกของฝักต้อยติ่งแก่** โดยการผ่าฝักต้อยติ่งอ่อนตามยาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอและการผ่าฝักต้อยติ่งอ่อนตามขวางผ่านกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบธรรมดาแล้วเปรียบเทียบกับฝักต้อยติ่งแก่ที่แตกจากน้ำ พบว่าสลักยอดฝักเป็นบริเวณเดียวที่สัมผัสน้ำแล้วฝักแตก เนื่องจากเป็นบริเวณที่ยึดผนังผลไว้ รวมทั้งการขยายตัวของเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ตลอดความยาวฝักไม่เท่ากัน ทำให้ฝักต้อยติ่งแตก

เมื่อศึกษาช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น โดยแบ่งฝักต้อยติ่งแก่เป็น 5 ชุดการทดลอง (A, B ,C , D และ E) ตามความยาวของฝักตั้งแต่ 1.6 ถึง 2.6 เซนติเมตร พบว่า กราฟระหว่างจำนวนฝักกับความยาวฝักเป็นรูปโค้งปกติโดยชุดการทดลอง C ซึ่งมีช่วงความยาวฝักตั้งแต่ 2.0 ถึง 2.2 เซนติเมตรมีจำนวนมากที่สุด และใช้เวลาเฉลี่ยก่อนการแตกของฝักน้อยที่สุดประกอบกับเมล็ดกระจายได้ไกลและสม่ำเสมอมากที่สุด

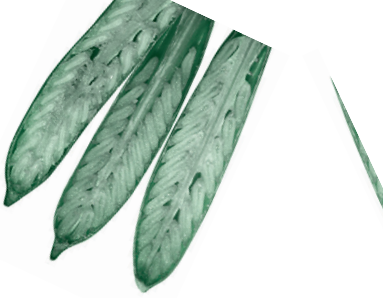
กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิทยาศาสตร์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์นิพนธ์ ศรีนฤมล ที่ปรึกษาโครงงานได้กรุณาชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัยและให้แหล่งข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าตั้งแต่เริ่มต้น คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง พร้อมทั้งขอขอบคุณหัวหน้าและคณาจารย์กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ตลอดจนท่านผู้อำนวยการโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา นางพรรณี เพ็งเนตร ที่สนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข ภาควิชาฟิสิกส์ ดร.ชุมพล คุณวาสี และผศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ดร.รัฐ พิชญางกูร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดร.วิชัย โฆสิตรัตน รองผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อาจารย์พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้คำปรึกษาและจุดประกายความคิดได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาอัจฉริยภาพทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับเด็กและเยาวชน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ และ ดร.พิชัย จินตโกสนวิทย์ ที่ช่วยสนับสนุนทุนการศึกษา และให้กำลังใจเสมอมาจนโครงงานวิทยาศาสตร์ของเราประสบผลสำเร็จลุล่วงด้วยดี



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ 78
กิตติกรรมประกาศ 79
สารบัญ 80
สารบัญตาราง 82
สารบัญรูปภาพ 83

บทที่ 1 บทนำ 85
- ที่มาและความสำคัญ
- จุดมุ่งหมายของการศึกษา

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง 87
- ด้านพฤกษศาสตร์ของต้อยติ่ง
- การกระจายพันธุ์ของเมล็ดโดยอาศัยกำลังดีดที่เกิดจากผล
- การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (projectile motion)
- กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (law of conversation of momentum)
- ความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relation)

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 91
- อุปกรณ์และเครื่องมือ
- วิธีการทดลอง

บทที่ 4 ผลการทดลอง 95
- ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของฝักต้อยติ่ง
- ตำแหน่งของฝักต้อยติ่งแก่ที่น้ำเข้าไปแล้วมีผลให้ฝักแตก

- โครงสร้างทางกายภาพฝักแก่ของต้อยติ่งที่มีผลต่อการแตก
- ช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง 106

- ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของฝักต้อยติ่งระหว่างฝักอ่อนกับฝักแก่
- ตำแหน่งฝักแก่ของต้อยติ่งที่น้ำเข้าไปแล้วมีผลให้ฝักแตก
- ลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการแตกของฝักต้อยติ่ง
- ช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น

สรุปผลการทดลอง 114

- สรุปผลการทดลอง
- ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก 116

- ภาพถ่ายการทดลองและแบบจำลองพื้นที่วงกลม

บรรณานุกรม 119

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	เปรียบเทียบระยะเฉลี่ยระหว่างรอยตะเข็บบางถึงรอยตะเข็บบางอีกด้านหนึ่งกับระยะเฉลี่ยระหว่างรอยตะเข็บหนาถึงรอยตะเข็บหนาอีกด้านหนึ่ง	98
ตารางที่ 2	แสดงทางเข้าของน้ำทางส่วนต่าง ๆของฝักต้อยติ่ง โดยอาศัยการแตกของฝักหลังการสัมผัสน้ำเป็นเกณฑ์	99

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
ภาพที่1	เปรียบเทียบฝักต้อยติ่ง 3 ฝักที่มีอายุแตกต่างกันโดยสังเกตตามสีของฝัก	95
ภาพที่ 2	ด้านข้างของฝักที่มีรอยตะเข็บบางและรอยตะเข็บหนา	95
ภาพที่ 3	ช่องว่างแนวกลางฝัก บริเวณเนื้อเยื่อ 3 ชั้น	96
ภาพที่ 4	บริเวณปลายฝักที่มีกระเปาะและสลักยอดฝัก	96
ภาพที่ 5	บริเวณโคนฝักที่เป็นปลายปิด	96
ภาพที่ 6	ฝักอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บบางโดยมีแนวกลางเป็นแนวเดียวกับช่องว่างแนวกลางฝักของการผ่าตามยาว	97
ภาพที่ 7	ภาพตัดขวางแสดงเนื้อเยื่อ 3ชั้น	97
ภาพที่ 8	ช่องว่างแนวกลางฝักรอยตะเข็บหนาและรอยตะเข็บบาง	98
ภาพที่ 9	ผนังผลหลังการแตกตามรอยตะเข็บบาง	99
ภาพที่10	ผนังผลหลังการแตกที่มีลักษณะโค้งออกและก้านรองเมล็ดที่เรียงตัวแบบสลับฟันปลา	99
ภาพที่11	บริเวณโคนฝักที่เป็นปลายปิด	99
ภาพที่12	ผลการเปรียบเทียบลักษณะของฝักต้อยติ่งที่แตกจากการหักบริเวณสลักยอดฝักกับผนังผล หลังการแตกของฝักแก่โดยการให้น้ำตามวิธีธรรมชาติ ภาพซ้ายคือผนังผลหลังการแตกจากน้ำ และภาพขวาคือผนังผลหลังการแตกจากการหักบริเวณสลักปลายยอดฝัก	100
ภาพที่13	ฝักแก่หลังการผ่าตามขวางของรอยตะเข็บหนาและตำแหน่งยอดฝัก กลางฝัก และ โคนฝัก ตามลำดับ	100
ภาพที่14	ฝักแก่หลังการผ่าตามขวางของรอยตะเข็บบาง	100
กราฟที่ 1	เปรียบเทียบจำนวนของฝักต้อยติ่งในแต่ละช่วงความ	101

หน้า

	ยาว 0.2 เซนติเมตร ในจำนวนทั้งหมด 900 ฝัก	
กราฟที่ 2	จำนวนเมล็ดเฉลี่ยของฝักต้อยติ่งแก่ต่อ 1 ฝักของแต่ละชุดการทดลอง	101
กราฟที่ 3	เปรียบเทียบระหว่างมวลของฝักต้อยติ่งก่อนการแตกและผนังผลหลังการแตกในแต่ละชุดการทดลอง	102
กราฟที่ 4	กราฟแสดงเวลาโดยเฉลี่ย หลังจากฝักต้อยติ่ง สัมผัสน้ำจนแตกในแต่ละชุดการทดลอง	102
กราฟที่ 5	ระยะทางเฉลี่ยของผนังผลของฝักต้อยติ่งแก่ ในแต่ละชุดการทดลอง หลังการแตกบนพื้นที่วงกลม	103
กราฟที่ 6	การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลองที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลม	103
กราฟที่ 7	การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลองที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลมแสดงโดยกราฟเส้นตรงซึ่งนำข้อมูลมาจากกราฟที่ 6	104
กราฟที่ 8	การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลอง C ที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลม	104
กราฟที่ 9	การกระจายเมล็ดและผนังผลตามมุมของชุดการทดลอง B กรอบ โดยสีน้ำเงินแสดงพิกัดมุมของผนังผล	105
ภาพ ก	การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์	89
ภาพ ข	ฝักต้อยติ่งที่อายุต่าง ๆ	116
ภาพ ค	ฝักต้อยติ่งกำลังแตก โดยเริ่มจาก ค1,ค2,ค3 และจบที่ ค4 ตามลำดับ	116
ภาพ ง	การให้น้ำทางสลักยอดฝักด้านสีขาว	117
ภาพ จ	การให้น้ำทางสลักยอดฝักด้านสีดำ	117
ภาพ ฉ	พื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้นมา	117
ภาพ ช	แบบจำลองพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้นมา	118

บทที่1

บทนำ

ต้อยติ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hygrophila erecta* (Burm.f.) Hochr. ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Acanthaceae เป็นไม้ล้มลุก มีดอกสีม่วง ผลมีลักษณะเป็นฝัก ยาวรี ปลายฝักเรียวแหลม ตอนเป็นฝักอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่ขนาดของฝักจะใหญ่ขึ้นและมีสีเขียวเข้มขึ้น จนกระทั่งแก่จัดฝักจะแห้งลงจนมีสีน้ำตาลเข้ม หากฝักแก่ได้รับน้ำหรือความชื้นที่เหมาะสม ฝักจะแตกออกทำให้เมล็ดภายในฝักกระเด็นและกระจายตัวออกไป จากการสังเกต ต้นต้อยติ่งภายในโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พบว่าต้นต้อยติ่งกระจายพันธุ์อย่างหนาแน่นหลายบริเวณ เช่น ริมทางเดิน ใต้ต้นไม้ใหญ่ พื้นที่ข้างตึก ริมรั้วสนามฟุตบอล โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนจะมีมากเป็นพิเศษ จนกลายเป็นวัชพืชซึ่งในธรรมชาติเป็นพืชที่ปรับตัวดี ทำให้วัชพืชนั้นเพิ่มประชากรได้อย่างรวดเร็วซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ควรแก่การศึกษามากกว่าจะพยายามกำจัดให้หมดสิ้นไป ประกอบกับเมื่อตอนเด็กเคยนำฝักต้อยติ่งที่แก่จัดมาโยนลงน้ำเพื่อฟังเสียงการแตกของฝักและการดีดของเมล็ดพันธุ์อย่างสนุกสนาน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวกลุ่มโครงงานวิทยาศาสตร์ของเราจึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการแตกของฝักต้อยติ่งโดยอาศัยความรู้วิชาฟิสิกส์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (projectile motion) และกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (law of conversation of momentum) วิชาคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเส้นมาเชื่อมโยงลักษณะการแตกของฝักและแรงในการกระจายเมล็ดซึ่งมีรูปแบบที่น่าสนใจและน่าศึกษาเป็นอย่างยิ่งเพราะเป็นผลจากการคัดเลือกตามธรรมชาติอย่างเหมาะสม

ผลการศึกษาเบื้องต้นนี้คาดว่าสามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาทางด้านวัสดุศาสตร์และประยุกต์ในทางเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของฝักต้อยติ่ง
2. ศึกษาตำแหน่งของฝักต้อยติ่งแก่ที่น้ำเข้าไปแล้วมีผลให้ฝักแตก
3. ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการแตกของฝักต้อยติ่งแก่
4. ศึกษาช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ด้านพฤกษศาสตร์ของต้อยติ่ง

ต้อยติ่งมีชื่อพื้นเมืองว่า ต้อยติ่งไทย ต้อยติ่งนา หรือ น้ำดับไฟ (ประจวบคีรีขันธ์) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hygrophila erecta* (Burm.f.) Hochr. ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Acanthaceae เป็นพืชไม้ล้มลุก ลำต้นเป็นเหลี่ยม สูงประมาณ 3-4 ฟุต ใบมีลักษณะเป็นรูปมนรี ปลายใบแหลม โคนใบสอบมีสีเขียว ดอกออกเป็นกระจุกตามข้อต้นหรือง่ามใบ ดอกมีสีม่วง ผลหรือฝักมีลักษณะยาวรี บริเวณยอดฝักแหลม ฝักอ่อนมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม ฝักแก่แห้งมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อสัมผัสน้ำฝักจะแตกออก ฝักต้อยติ่งเป็นผลแบบลอกคูลิซิดอลแคปซูล(loculicidal capsule) ที่แตกตรงช่อง (locule) หรือแตกออกจากแนวกึ่งกลางของคาร์เพลแต่ละอัน

การกระจายพันธุ์ของเมล็ดโดยอาศัยกำลังดีดที่เกิดจากผล

เชาวน์ และ พรรณี ชิโนรักษ์ (2541) สรุปว่า ผลที่กระจายพันธุ์โดยอาศัยกำลังดีดมักแห้งและแตกได้ เมื่อแตกจะดีดเมล็ดที่อยู่ข้างในให้กระเด็นออกไปไกล เช่น ต้อยติ่ง เทียน งา ละหุ่ง ยางพารา และพืชตระกูลถั่วบางชนิด ผลต้อยติ่งมีเมล็ดเรียงกันเป็นแถวอยู่ข้างใน เมื่อแก่แล้วจะถูกน้ำเข้าทางเยื่อที่ยึดฝาทั้ง 2 ข้างของผลจะอ่อนตัวลง ทำให้ฝากางออกอย่างรวดเร็วพร้อมกับดีดเมล็ดให้กระเด็นออกไป

ดวงพร สุวรรณกุล (2543) กล่าวว่า การแพร่กระจายของพืชที่ประสบความสำเร็จต้องอยู่รอดในบริเวณอื่นๆนอกเหนือจากพื้นที่ดั้งเดิม การแพร่กระจายของเมล็ดไปได้ทั้งโดยทางพื้นที่ (dis-

persal in space) และทางเวลา (dispersal through time) การแพร่กระจายทางพื้นที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายทางกายภาพของเมล็ดจากบริเวณหนึ่งไปอีกบริเวณหนึ่ง จำนวนเมล็ดที่ร่วงบนพื้นที่ใดๆ จะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นกับความสูงและระยะทางจากที่ผลิตเมล็ดนั้น จำนวนเมล็ดที่ได้จากแหล่งผลิต ความสามารถในการแพร่กระจายของเมล็ด (อวัยวะพิเศษและน้ำหนักของเมล็ด) และตัวนำพา เช่น ลม น้ำ สัตว์ และมนุษย์ ส่วนการแพร่กระจายทางเวลาขึ้นอยู่กับกลไกทางสรีรวิทยา กายภาพและสัณฐานวิทยา

ม.ล. จารุพันธ์ ทองแถม (2545) กล่าวว่า พืชหลายสกุลมีพลังขับดันเมล็ดให้เดินทางไปในอากาศ แม้อาจไม่ไกลมากแต่อย่างน้อยก็พันรัศมีทรงพุ่มต้นไปได้ 3 ถึง 4 เท่า เมล็ดพืชดังกล่าวออกเดินทางจากแรงระเบิดของผล ตัวอย่างที่ดีที่สุดน่าจะได้แก่ ต้อยติ่ง ซึ่งจัดเป็นไม้เนื้ออ่อนมีรากพองเก็บอาหารได้และมีความอดทนเป็นวัชพืชตามสนามหญ้า ที่สำคัญคือสีของกลีบดอกเป็นสีม่วงสะดุดตา ผลหรือฝักเกิดเป็นช่อชูตั้ง ฝักมีเปลือกแข็งขนาดยาว 2.5 เซนติเมตร และกว้าง 0.3 เซนติเมตร มี 2 ซีก เมื่อฝักรูปหอกที่มีปลายแหลมแก่จัด จะได้รับน้ำฝน เปลือกจะแยกตัวตามตะเข็บด้านข้าง เปลือก 2 ซีกแตกออกอย่างรวดเร็วคล้ายการระเบิด ดีดเมล็ดแบนสีน้ำตาลอ่อนให้พุ่งไปในอากาศได้ไกล 1.50 ถึง 1.80 เมตร เลยทีเดียว นี่เป็นวิธีที่แม่ส่งลูกๆให้ออกไป ตั้งรกราก ณ ถิ่นฐานอันห่างไกลจากครอบครัว

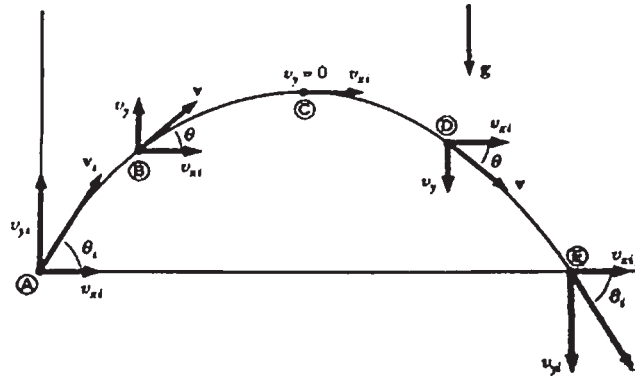
Meakin และ Roberts (1991) อธิบายว่า การแตกของฝักแห้งที่อาศัยกำลังดีดในการกระจายพันธุ์ เกิดจากการเสื่อมสภาพของ middle lamella ที่พบระหว่างผนังเซลล์ขั้นปฐมภูมิ (primary cell wall) ทำให้เกิดการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ (cellular cohesion)

Naomi J. Wender , Chandra R.Polisetty และ Kathleen Donohue (2005) กล่าวว่ารูปแบบในการกระจายของเมล็ดซึ่ง

ประกอบด้วยระยะทางการกระจายพันธุ์และความหนาแน่นของเมล็ด มีความสัมพันธ์กับความยาวฝักของฝักแห้งที่อาศัยกำลังดีดในการกระจายพันธุ์

การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (projectile motion)

การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ คือ การที่อนุภาคเคลื่อนที่แบบตกอย่างอิสระภายใต้สนามโน้มถ่วงโลก และไม่มีแรงต้านอากาศ การเคลื่อนที่แบบนี้มีลักษณะเป็นโค้ง



ภาพ ก แสดงการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (Servey and Jewett, 2004)

กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (law of conversation of momentum)

อนุภาคที่มีมวล m มีความเร็ว v จะมีโมเมนตัม mv ถ้ามีแรงดลกระทำต่อระบบ หรือไม่มี แรงภายนอกกระทำต่อระบบแล้ว โมเมนตัมของระบบมีค่าคงที่เสมอ (Servey and Jewett, 2004)

ความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relation)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นลักษณะ

ใด อธิบายความสัมพันธ์ในรูปของฟังก์ชันหรือสมการได้ศึกษาการถดถอย เชิงเส้นซึ่งเป็นรูปแบบง่ายๆ เพื่อนำไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตาม (Y) เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ (X) ให้ผู้ทดลองกำหนดค่า X ซึ่งเป็นค่าที่ทราบก่อนการสุ่มตัวอย่าง (fixed variable) ส่วน Y เป็นตัวแปรสุ่ม (random variable) สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะวัดระดับของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและมีความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการดังนี้

$Y = mX + c$ โดย m คือความชันของกราฟ และ c คือค่าคงที่ (อภิญญา วงศ์กิดาการ, 2531)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

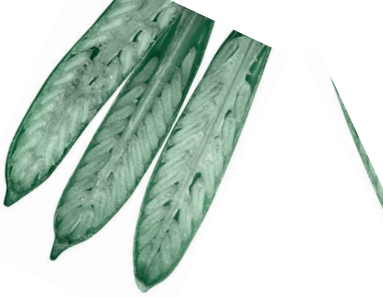
1. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบธรรมดา
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
3. กล้องถ่ายภาพแบบดิจิตอล
4. มีดโกน เข็มเขี่ย ปากคีบ
5. แผ่นสไลด์และกระจกปิดสไลด์
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ฝาขวดน้ำรัศมี 1.5 เซนติเมตร
8. จานแก้ว (Petri-dish)
9. เวอร์เนียร (vernier)
10. ถาดหลุม
11. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
12. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล
13. พื้นที่วงกลมรัศมี 150 เซนติเมตรสร้างขึ้นจากแผ่นกระดาษขนาด 320x320 เซนติเมตร

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1: ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของฝักต้อยติ่ง

1. สังเกตโครงสร้างภายนอก ขนาด และสีของฝักต้อยติ่งทั้งอ่อนฝักแก่ บันทึกผล

2. ผ่าตามยาวฝักต้อยติ่งอ่อนตามแนวรอยตะเข็บหนาและบาง แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ สังเกต



และบันทึกผล

3. ผ่าตามขวางฝักต้อยติ่งอ่อน แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบธรรมดา สังเกต และบันทึกผล

4. สังเกตลักษณะของ ผนังผล (pericarp) หลังการแตกของฝักแก่โดยการแช่น้ำ บันทึกผล

ตอนที่ 2: ศึกษาตำแหน่งฝักต้อยติ่งแก่ที่น้ำเข้าไปแล้วมีผลให้ฝักแตก

1. แบ่งฝักต้อยติ่งแก่ออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 20 ฝัก ชุดที่หนึ่งนำโคนฝักแช่น้ำในถาดหลุมและชุดที่สองนำยอดฝักแช่น้ำในถาดหลุมเช่นเดียวกันสังเกตการแตกของฝักหลังการแช่น้ำภายในเวลา 5 นาที บันทึกผล

2. แบ่งฝักต้อยติ่งแก่ออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 20 ฝัก ชุดที่หนึ่งนำไม้ที่พันสำลีชุบน้ำเช็ดบริเวณรอยตะเข็บหนา ส่วนชุดที่สองเช็ดตามรอยตะเข็บบาง โดยใช้เวลาในแต่ละฝัก ฝักละ 5 นาที สังเกตการแตกของฝักหลังการเช็ดด้วยสำลีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ บันทึกผล

3. แบ่งฝักต้อยติ่งแก่ออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 20 ฝัก ชุดที่หนึ่งนำไม้ที่พันสำลีชุบน้ำเช็ดบริเวณสลักยอดฝักด้านสีดำ ส่วนชุดที่สองเช็ดบริเวณสลักยอดฝักด้านสีขาว โดยใช้เวลาในแต่ละฝัก ฝักละ 5 นาที สังเกตการแตกของฝักหลังการเช็ดด้วยสำลีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ บันทึกผล

ตอนที่ 3 : ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการแตกของฝักต้อยติ่งแก่

1. หักบริเวณสลักยอดฝักแก่ สังเกตและบันทึกผล

2. ผ่าฝักต้อยติ่งแก่ตามขวางด้วยมีดโกนบริเวณที่เป็นรอยตะเข็บหนาและรอยตะเข็บบางโดยผ่า ชุดละ 1 ตำแหน่ง คือ บริเวณ

ยอดฝัก กลางฝัก และโคนฝัก สังเกตและบันทึกผล

ตอนที่ 4: ศึกษาช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น

❋ ทดลองหาจำนวนเมล็ดภายในฝักและมวลเฉลี่ยของฝักต้อยติ่งแก่ในแต่ละชุด

1. นำฝักต้อยติ่งแก่มาวัดความยาวฝักนับจำนวนและแบ่งเป็น 5 ชุดการทดลองตามช่วงความยาวฝัก ช่วงละ 0.2 เซนติเมตร ดังนี้

- ชุดการทดลอง A แทนชุดการทดลองของฝักต้อยติ่งแก่ที่มีความยาวฝัก ตั้งแต่ 1.6 ถึง 1.8 เซนติเมตร
- ชุดการทดลอง B แทนชุดการทดลองของฝักต้อยติ่งแก่ที่มีความยาวฝัก ตั้งแต่ 1.8 ถึง 2.0 เซนติเมตร
- ชุดการทดลอง C แทนชุดการทดลองของฝักต้อยติ่งแก่ที่มีความยาวฝัก ตั้งแต่ 2.0 ถึง 2.2 เซนติเมตร
- ชุดการทดลอง D แทนชุดการทดลองของฝักต้อยติ่งแก่ที่มีความยาวฝัก ตั้งแต่ 2.2 ถึง 2.4 เซนติเมตร
- ชุดการทดลอง E แทนชุดการทดลองของฝักต้อยติ่งแก่ที่มีความยาวฝัก ตั้งแต่ 2.4 ถึง 2.6 เซนติเมตร

2. สุ่มตัวอย่างฝักต้อยติ่งแก่ 15 ฝัก จากแต่ละชุดการทดลอง ชั่งน้ำหนักรวมทีละชุดการทดลอง โดยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล บันทึก หาค่ามวลเฉลี่ยต่อ 1 ฝัก

3. ทำให้ฝักแตกในภาชนะปิดแล้วนับจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อ 1 ฝักในแต่ละชุดการทดลอง

4. นำผนังผลที่ได้จากการแตกในแต่ละชุดการทดลอง ชั่งน้ำหนัก บันทึก และหาค่ามวลเฉลี่ย

❋ ศึกษาการกระจายตัวหลังการแตกของผนังผลและเมล็ดต้อยติ่งบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้นในห้องปิด

1. สุ่มตัวอย่างฝักต้อยติ่งแก่ 15 ฝัก จากแต่ละชุดการทดลองแล้วนำฝักต้อยติ่งแช่ลงในฝาขวดน้ำ รัศมี 1.5 เซนติเมตร ที่มีน้ำอยู่เต็มและตั้งอยู่บริเวณจุดศูนย์กลางของพื้นที่วงกลม เริ่มจับเวลาทันที

2. บันทึกพิกัด (co-ordinate) ระหว่างช่วงระยะทางกับมุมที่ผนังผลทั้งสองอันตกลงบนพื้นที่วงกลม นับเมล็ดที่ตกค้างในฝาขวดบันทึกแล้วเปลี่ยนฝาใหม่

3. ทำข้อ 1 และ 2 จนครบ 15 ฝัก

4. นับเมล็ดทั้งหมดที่อยู่บนพื้นที่วงกลมพร้อมทั้งบันทึกพิกัดระหว่างช่วงระยะทางและมุมของเมล็ด แล้วเตรียมพื้นที่วงกลมสำหรับการทดลองต่อไป

5. ทำข้อ 1 ถึง 4 กับชุดการทดลองที่เหลือ 3 ซ้ำ

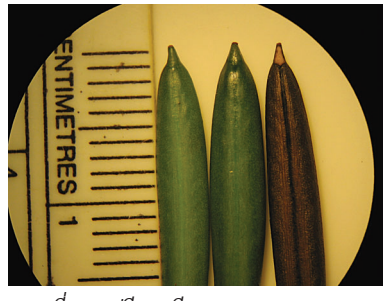
บทที่ 4

ผลการทดลอง

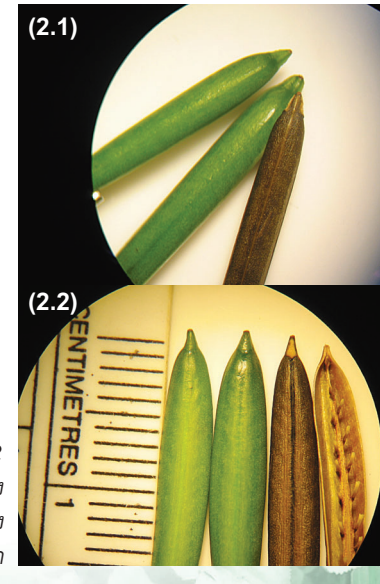
ตอนที่ 1: ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของฝักต้อยติ่ง

1. ลักษณะภายนอกของฝักต้อยติ่ง ฝักอ่อนและฝักแก่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

ฝักยาวรี บริเวณยอดฝักแหลม ฝักอ่อนมีสีเขียว ฝักแก่แห้งมีสีดำแกมน้ำตาล(ภาพที่1) มีรอยตะเข็บตามยาว 2 ลักษณะ คือรอยตะเข็บบาง(ภาพ 2.1) เชื่อมด้านสีดำบริเวณปลายยอดฝักและรอยตะเข็บหนา(ภาพที่ 2.2) เชื่อมด้านสีขาวบริเวณปลายยอดฝัก พบว่ามีความยาวฝักตั้งแต่ 1.4 ถึง 3.0 เซนติเมตร



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบฝักต้อยติ่ง 3 ฝักที่มีอายุแตกต่างกันโดยสังเกตได้จากสีของฝัก



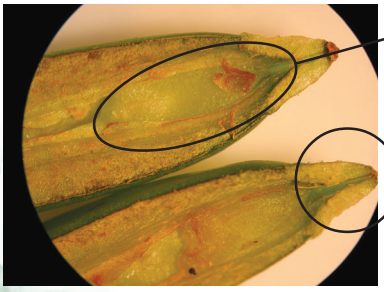
ภาพที่ 2
(2.1) ด้านข้างของฝักที่มีรอยตะเข็บบาง
(2.2) รอยตะเข็บหนาซึ่งรอยทั้งสองห่างกัน 90 องศา

2. ลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามแนวรอยตะเข็บหนาและบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

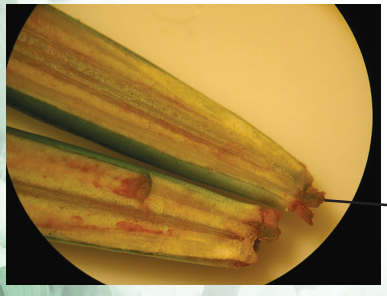
2.1 ผลการผ่าฝักต้อยติ่งแก่ตามยาวตามรอยตะเข็บหนา

พบช่องว่างแนวกลางฝักตลอดความยาวฝักและพบเนื้อเยื่อ 3 ชั้นบริเวณถัดจากช่องว่างแนวกลางฝัก โดยแบ่งตามสีและความมันวาว (ภาพที่3) ที่ยอดฝักมีลักษณะคล้ายกระเปาะและบริเวณยอดฝักมีกลุ่มเนื้อเยื่อสีขาวที่หนาเป็นพิเศษในที่นี้เรียกว่าสลักยอดฝัก (ภาพที่4) ส่วนบริเวณโคนฝักเป็นปลายปิด (ภาพที่5)

ภาพที่ 3 ช่องว่างแนวกลางฝัก บริเวณเนื้อเยื่อ 3 ชั้น



ภาพที่ 4 บริเวณปลายฝักที่มีกระเปาะและสลักยอดฝัก



ภาพที่ 5 บริเวณโคนฝักที่เป็นปลายปิด

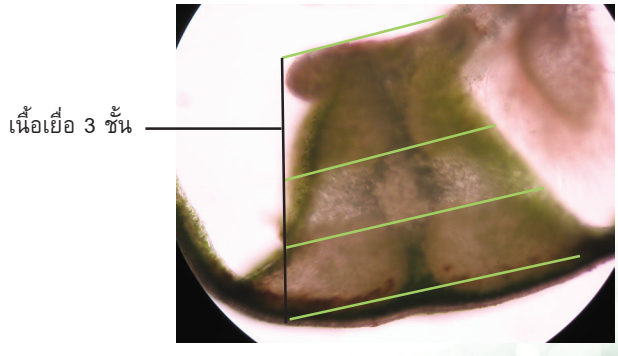
2.2 ผลการผ่าฝักต้อยติ่งแก่ตามยาวตามรอยตะเข็บบาง

ฝักต้อยติ่งมี 2 ช่อง (locule) ที่เจริญมาจาก 2 คาร์เพล (carpel) ซึ่งเป็นที่บรรจุของเมล็ดที่เรียงกันตลอดฝัก พบว่าไม่เป็นกระเปาะเหมือนกับการผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนาและพบว่าระยะห่างระหว่างผนังผลด้านตรงข้ามของฝักที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บบางมากกว่าฝักที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนา

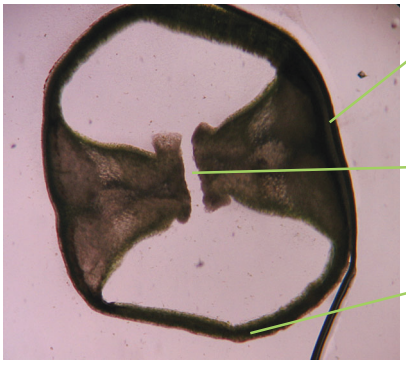
ภาพที่ 6 ฝักอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บบาง โดยมีแนวกลางเป็นแนวเดียวกับช่องว่างแนวกลางฝักของฝักอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนา

3. ลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามขวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบธรรมดา

พบเนื้อเยื่อ 3 ชั้นเรียงตัวกันอย่างชัดเจน เห็นช่องว่างแนวกลางฝักชัดเจนและระยะห่างระหว่างผนังผลที่อยู่ด้านตรงข้ามกันตามแนวรอยตะเข็บบาง มากกว่า ตามแนวรอยตะเข็บหนา



ภาพที่ 7 ภาพตัดขวางแสดงเนื้อเยื่อ 3ชั้น



ภาพที่ 8 ช่องว่างแนวกลางฝักรอยตะเข็บหนาและบาง

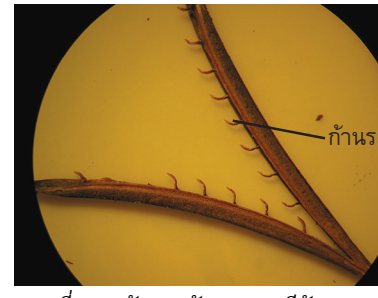
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระยะเฉลี่ยระหว่างรอยตะเข็บบางถึงรอยตะเข็บบางอีกด้านหนึ่งกับระยะเฉลี่ยระหว่างรอยตะเข็บหนาถึงรอยตะเข็บหนาอีกด้านหนึ่งจากฝักต้อยติ่งที่สุ่มมา 30 ฝัก

ระยะเฉลี่ยระหว่างรอยตะเข็บบาง (มิลลิเมตร)	ระยะเฉลี่ยระหว่างรอยตะเข็บหนา (มิลลิเมตร)
3.25	3.00

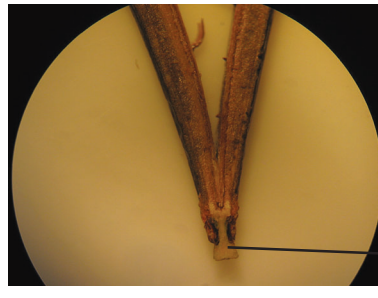
4. ลักษณะของผนังผลหลังการแตกของฝักต้อยติ่งแก่โดยการให้น้ำตามวิธีธรรมชาติ

ฝักต้อยติ่งแก่แตกตามรอยตะเข็บบาง(ภาพที่ 9) ผนังผลโค้งออก โดยมีความยาวด้านในของผนังผลมากกว่าความยาวด้านนอกไม่สามารถนำมาประกบกันเป็นฝักก่อนแตกได้ พบก้านรองเมล็ด (stalk) มีลักษณะแข็ง เปราะหักง่าย และเรียงตัวแบบสลับฟันปลากับก้านรองเมล็ดที่อยู่บนผนังผล ด้านตรงข้าม (ภาพที่ 9-10) บริเวณโคนฝักเป็นปลายปิด (ภาพที่ 11) พบว่าบริเวณช่องด้านในแห้ง

ภาพที่ 9 ผนังผลหลังการแตกตามรอยตะเข็บบาง



ภาพที่10 ผนังผลหลังการแตกมีลักษณะโค้งออก และก้านรองเมล็ดเรียงตัวแบบสลับฟันปลา



ภาพที่ 11 บริเวณโคนฝักมีลักษณะเป็นปลายปิด

ตอนที่ 2: ผลการศึกษาตำแหน่งของฝักต้อยติ่งแก่ที่น้ำเข้าไปแล้วมีผลให้ฝักแตก

ตำแหน่งที่น้ำสามารถเข้าสู่ฝักต้อยติ่งแก่ได้ โดยการจำกัดบริเวณให้น้ำ

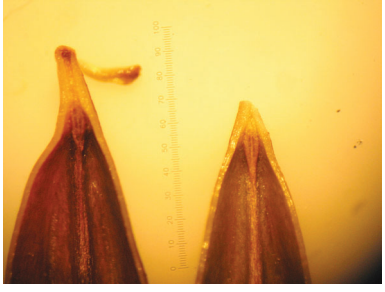
ตารางที่ 2 แสดงทางเข้าของน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆของฝักต้อยติ่งโดยอาศัยการแตกของฝักหลังการสัมผัสน้ำเป็นเกณฑ์

ตำแหน่งของฝักต้อยติ่งแก่ที่สัมผัสน้ำ		ผลการแตกของฝักต้อยติ่งหลังสัมผัสน้ำ
ยอดฝัก	สลักยอดฝักด้านสีขาว	แตก
	สลักยอดฝักด้านสีดำ	ไม่แตก
กลางฝัก	รอยตะเข็บหนา	ไม่แตก
	รอยตะเข็บบาง	ไม่แตก
โคนฝัก		ไม่แตก

ตอนที่ 3: ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการแตกของฝักต้อยติ่งแก่

เปรียบเทียบลักษณะการแตกของฝักต้อยติ่งเมื่อหักบริเวณสลักยอดฝักและเมื่อให้น้ำตามวิธีธรรมชาติ โดยผ่านกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

พบว่าลักษณะการแตกของฝักเหมือนกัน คือ มีแนวการแตกตามรอยตะเข็บบาง หรือแตกออกจากแนวกึ่งกลางของคาร์เพลแต่ละอัน



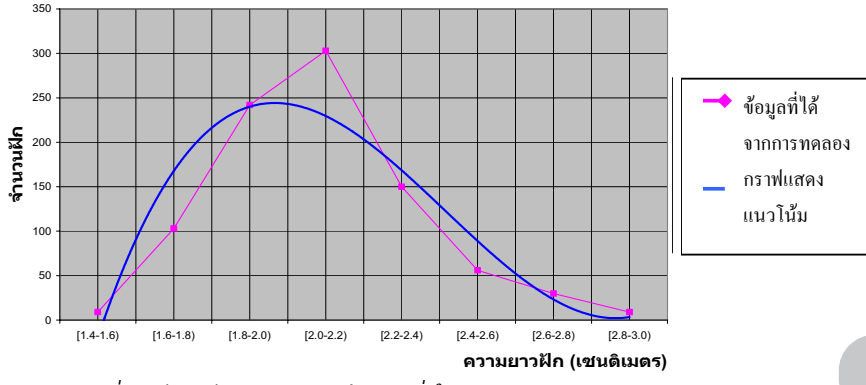
ภาพที่ 12
ภาพซ้ายแสดงผนังผลหลังการแตกจากน้ำ
ภาพขวาแสดงผนังผลหลังการแตกจากการหักบริเวณสลักยอดฝัก

ภาพที่13 ฝักแก่หลังการผ่าตามขวางของรอยตะเข็บหนา ที่ตำแหน่งยอดฝัก กลางฝัก และ โคนฝัก ตามลำดับ

ภาพที่14 ฝักแก่หลังการผ่าตามขวางตามรอยตะเข็บบาง

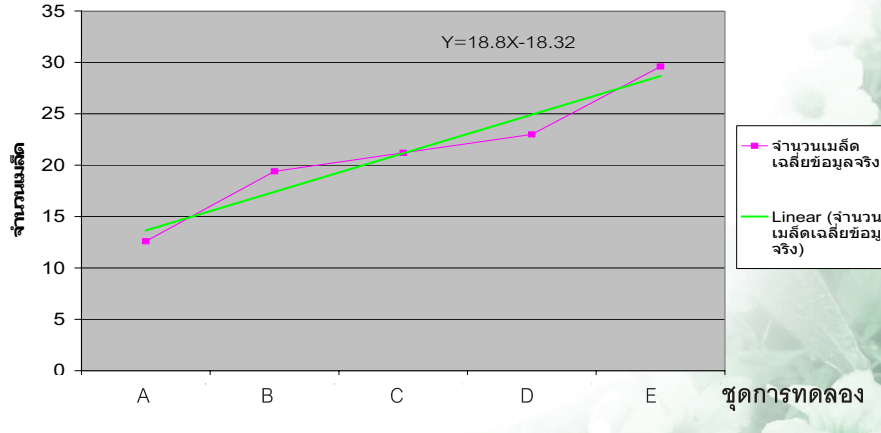
ตอนที่ 4: ผลการศึกษาช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลม

1. ผลการนับจำนวนฝักในแต่ละช่วงความยาวทุก ๆ 0.2 เซนติเมตรของตัวอย่างฝักต้อยติ่งที่นำมาศึกษา

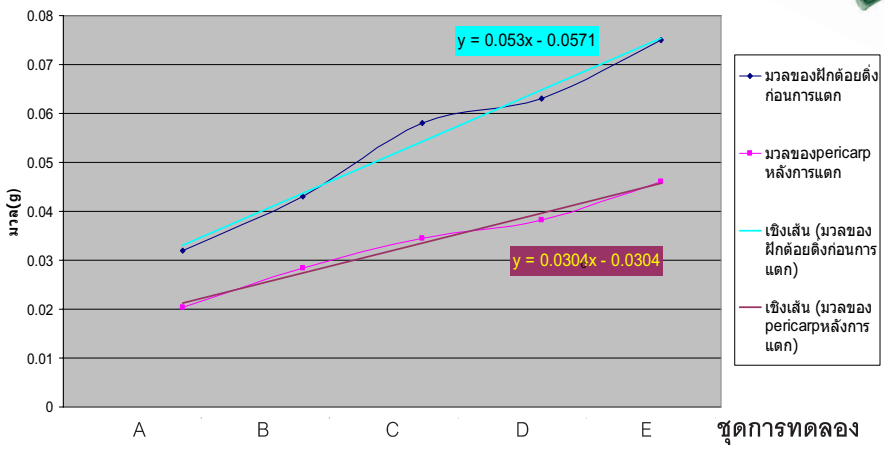


กราฟที่1 เปรียบเทียบจำนวนของฝักต้อยติ่งในแต่ละช่วงความยาว 0.2 เซนติเมตร จำนวน 900 ฝัก

2. ผลการศึกษาจำนวนเมล็ดภายในฝักต้อยติ่งและมวลของฝักต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลอง

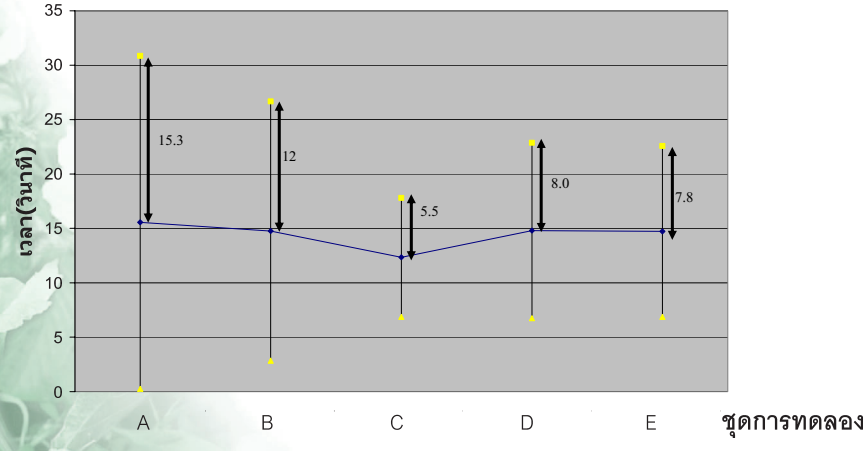


กราฟที่ 2 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยของฝักต้อยติ่งแก่ต่อ 1 ฝักของแต่ละชุดการทดลอง

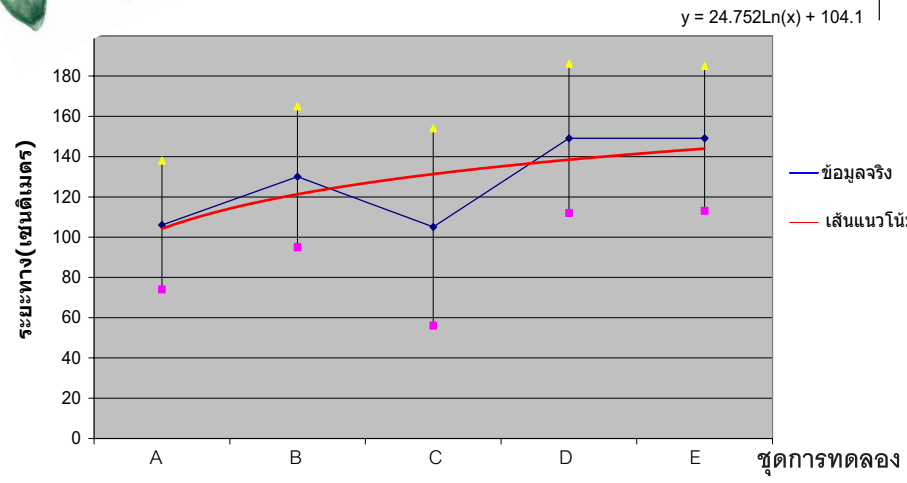


กราฟที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างมวลของฝักต้อยติ่งก่อนการแตกและผนังผลหลังการแตกในแต่ละชุดการทดลอง

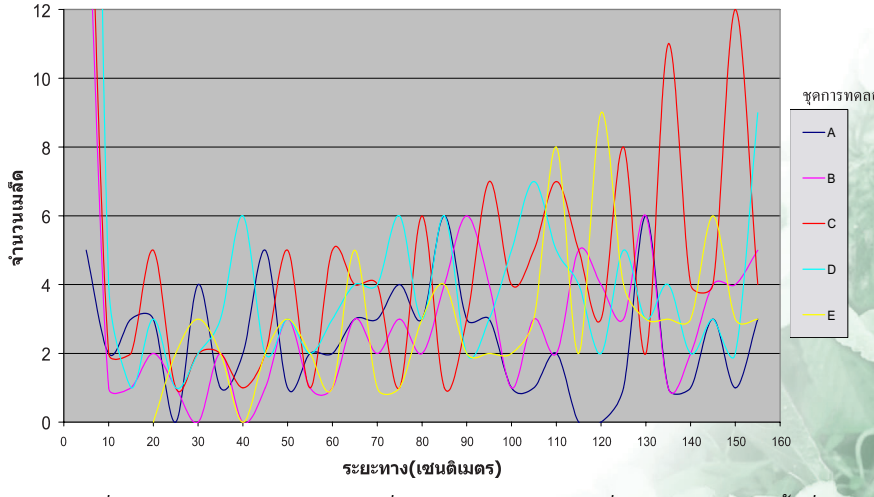
3. ผลการศึกษาการกระจายตัวหลังการแตกของผนังผลและเมล็ดต้อยติ่งบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น



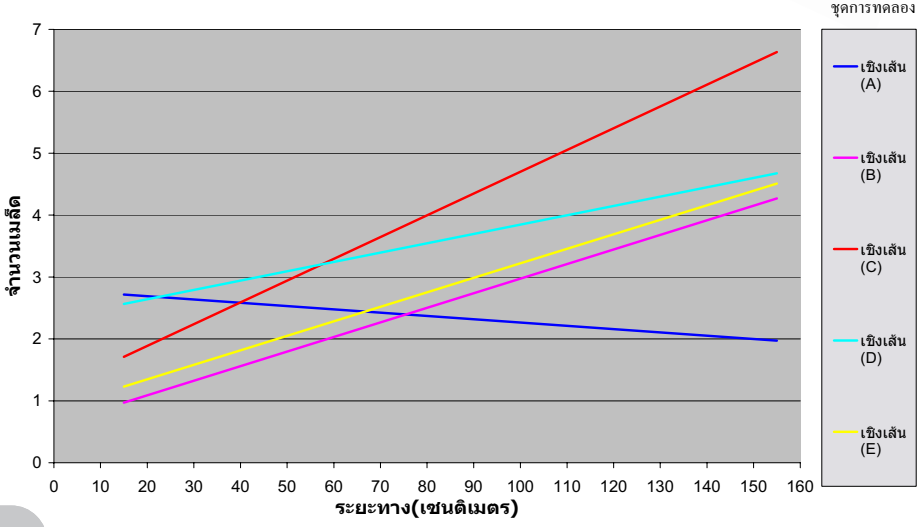
กราฟที่ 4 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยต่อ 1 ฝัก หลังจากฝักต้อยติ่งแก่สัมผัสน้ำจนแตกในแต่ละชุดการทดลอง



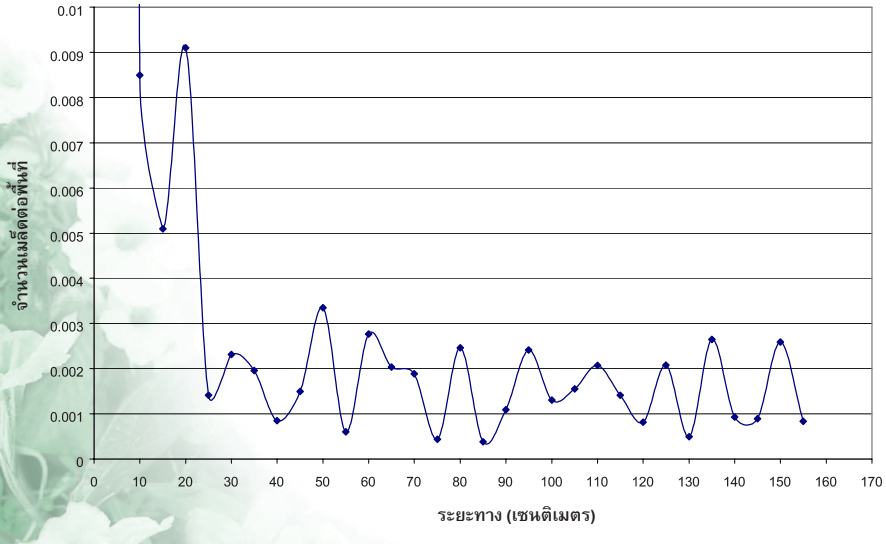
กราฟที่ 5 ระยะทางเฉลี่ยของผนังผลของฝักต้อยติ่งแก่ ในแต่ละชุดการทดลองหลังการแตกบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น



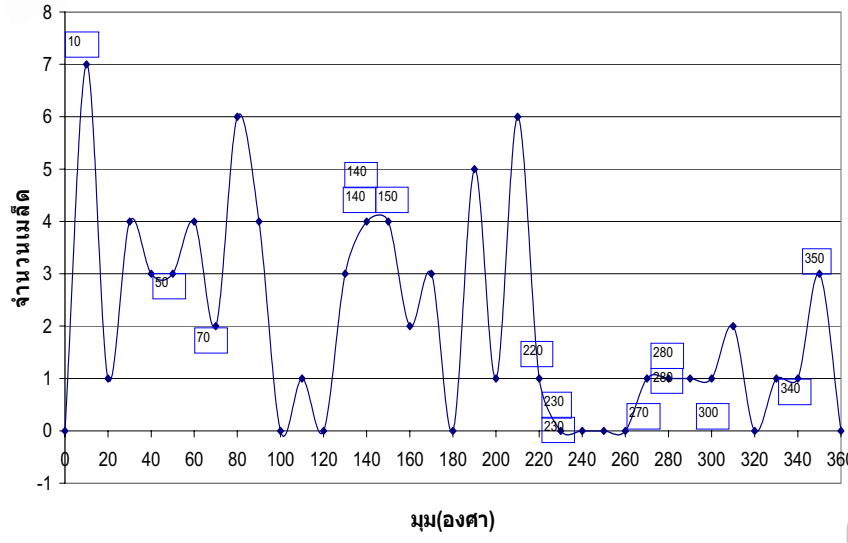
กราฟที่ 6 การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลองที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น



กราฟที่ 7 การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลอง ที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลมแสดงโดยกราฟเส้นตรงซึ่งนำข้อมูลมาจากกราฟที่ 6



กราฟที่ 8 การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งของชุดการทดลอง C ที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลมโดยนำเสนอเป็นจำนวนเมล็ดในพื้นที่วงแหวนของระยะทางนั้น



กราฟที่ 9 การกระจายเมล็ดและผนังผลตามมุมของชุดการทดลอง B กรอบสีน้ำเงินแสดงพิกัดมุมของผนังผล

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของฝักต้อยติ่งระหว่างฝักอ่อนกับฝักแก่

1.1 ลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนา พบช่องว่างแนวกลางฝักตลอดความยาวฝักและพบเนื้อเยื่อ 3 ชั้นบริเวณถัดจากช่องว่างแนวกลางฝักดังภาพที่ 3 ที่ยอดฝักมีลักษณะคล้ายกระเปาะ มีสลักบริเวณปลายยอดฝักดังภาพที่ 4 บริเวณโคนฝักเป็นปลายปิดดังภาพที่ 5 ทำให้น้ำไม่สามารถเข้าทางด้านโคนฝักได้ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บบาง พบว่าไม่เป็นกระเปาะเหมือนกับฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนา คาดว่ากระเปาะที่พบเป็นเพียงการเว้าของเนื้อเยื่อ 3 ชั้นบริเวณยอดฝัก จึงไม่น่าจะสะสมน้ำไว้ได้แต่อาจเป็นการเปลี่ยนแปลงของชั้นเนื้อเยื่อที่มีความสัมพันธ์กับการแตกของฝัก ลักษณะดังกล่าวแสดงว่าน้ำไม่สามารถเข้าที่บริเวณโคนฝักไปตามแนวช่องกลางฝัก และไปสะสมบริเวณกระเปาะจนเกิดแรงดันทำให้ฝักแตกได้

1.2 จากลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามขวาง พบช่องว่างแนวกลางฝักและเนื้อเยื่อ 3 ชั้นเรียงตัวกันอย่างชัดเจน โดยอยู่ระหว่างแนวของคู่รอยตะเข็บหนาดังภาพที่ 7-8 สอดคล้องกับลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนาดังภาพที่ 3 และตารางที่ 1 ที่แสดงระยะห่างระหว่างผนังผลด้านตรงข้ามตามแนวรอยตะเข็บบางมากกว่าระยะห่างตามแนวรอยตะเข็บหนาตรงกับลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บบางดังภาพที่ 6

1.3 จากลักษณะของผนังผลหลังการแตกของฝักต้อยติ่งแก่โดยการให้น้ำตามวิธีธรรมชาติ พบว่าฝักต้อยติ่งแตกตามแนวรอยตะเข็บบางหรือแตกออกจากแนวกึ่งกลางของคาร์เพลแต่ละอันตลอดความยาวฝัก ดังภาพที่ 9 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลข้างต้นที่พบว่าระยะห่างระหว่างผนังผลด้านตรงข้ามกันของ ตามแนวรอยตะเข็บบางมากกว่าระยะห่างตามแนวเส้นรอยตะเข็บหนา ตรงกับลักษณะของฝักต้อยติ่งอ่อนที่ผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บบางและผ่าตามขวาง ดังภาพที่ 6-8 พบว่าผนังผลที่แตกแล้วมีความยาวด้านในมากกว่าความยาวด้านนอก ส่งผลให้ผนังผลโค้งออก จนไม่สามารถนำมาประกบกันใหม่เป็นลักษณะฝักต้อยติ่งแก่ก่อนแตกได้ดังเดิม อาจเป็นเพราะเซลล์หรือเนื้อเยื่อบริเวณกลางฝักที่กำลังเจริญขณะที่ฝักยังอ่อนอยู่นั้นได้มีการเพิ่มจำนวนและเบียดอัดกันแน่นกว่าบริเวณที่ถัดออกมาแต่ยังคงลักษณะเป็นฝักอยู่ การที่ฝักต้อยติ่งแก่แตกออกจนทำให้เนื้อเยื่อบริเวณกลางฝักที่ขาดความยืดหยุ่นขยายตัวออก ภายในช่องบรรจุเมล็ดพบก้านรองเมล็ดดังภาพที่ 10 มีลักษณะแข็ง เปราะหักง่าย จึงไม่น่าจะช่วยเพิ่มแรงดีดของเมล็ด แต่พบว่าก้านรองเมล็ดมีการเรียงตัวแบบสลับฟันปลา แสดงว่าเมล็ดที่เจริญมาพร้อมกับก้านรองเมล็ด(stalk) ซึ่งเจริญมาจากก้านออวุล (funiculus) มีการเรียงตัวเหลื่อมกัน และก้านรองเมล็ดจะเข้าคู่กับเมล็ดแบบ 1 ต่อ 1 ดังนั้นก้านรองเมล็ดจึงน่าจะเป็นโครงสร้างที่ควบคุมทิศทางของเมล็ดขณะที่ฝักกำลังแตก ทำให้เมล็ดกระเด็นออกไปด้วยมุมและทิศทางที่เหมาะสม ส่งผลให้เมล็ดกระเด็นออกไปได้ไกลขึ้น ส่วนบริเวณโคนฝักพบว่าเป็นปลายปิด ดังภาพที่ 10 และช่องบรรจุเมล็ดด้านในแห้งไม่พบน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ในข้อ 1.1

2. การวิเคราะห์ผลศึกษาตำแหน่งฝักแก่ของต้อยติ่งที่น้ำเข้าไปแล้วมีผลให้ฝักแตก

จากตารางที่2 แสดงทางเข้าของน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของฝัก

ต้อยติ่ง โดยอาศัยการแตกของฝักต้อยติ่งแก่หลังการสัมผัสน้ำเป็นเกณฑ์ พบว่า การให้น้ำบริเวณสลักยอดฝักด้านสีขาวซึ่งเชื่อมต่อกับรอยตะเข็บหนา เป็นวิธีเดียวเท่านั้นที่ทำให้ฝักต้อยติ่งแตกได้ จากการผ่าตามยาวตามรอยตะเข็บหนา พบกลุ่มเนื้อเยื่อสีขาวที่หนาเป็นพิเศษบริเวณสลักยอดฝัก ดังภาพที่ 4 ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับทางเข้าของน้ำ แสดงว่าบริเวณสลักยอดฝักเป็นบริเวณตำแหน่งเริ่มต้นและมีความสำคัญที่ทำให้ฝักแตก ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อมูลในหนังสือ ชีววิทยา เล่ม 3 ของ เชาวน์ และ พรรณี ชิโนรักษ์ (2541) ที่กล่าวว่า ผลต้อยติ่งซึ่งมีเมล็ดเรียงกันเป็นแถวอยู่ข้างในนั้น เมื่อแก่แล้วจะถูกน้ำเข้าเยื่อที่ยึดฝาทั้ง 2 ข้างของผลจะอ่อนตัวลง ทำให้ฝากางออกอย่างรวดเร็วพร้อมกับดีดเมล็ดให้กระเด็นออกไปได้ เนื่องจากผลการทดลองในตารางที่ 1 การให้น้ำบริเวณรอยตะเข็บบางซึ่งเป็นรอยที่ฝักต้อยติ่งแตกไม่ทำให้ฝักต้อยติ่งแตกแต่อย่างใด

3. การวิเคราะห์ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการแตกของฝักต้อยติ่ง

3.1 ลักษณะของฝักต้อยติ่งที่แตกจากการหักบริเวณสลักยอดฝักกับผนังผลหลังการแตกของฝักแก่ โดยการให้น้ำ พบว่าลักษณะการแตกของฝักเหมือนกัน ผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าฝักต้อยติ่งสามารถแตกได้ เพียงแค่สลักยอดฝัก หลุด หัก หรือ เสียสภาพไปจากเดิมโดยไม่ต้องอาศัยน้ำบริเวณสลักยอดฝักจึงควรเป็นตำแหน่งสำคัญที่ทำให้ฝักต้อยติ่งแตก เนื่องจากมีแรงยึดไม่ให้ฝักแตกออกและสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อ 1 ว่าแนวการแตกจะเป็นแนวช่องว่างกลางฝักโดยตลอดซึ่งเป็นบริเวณไม่มีส่วนใดของเนื้อเยื่อ 3 ชั้นทั้งสองฝั่งอยู่ติดกัน ยกเว้นบริเวณที่เป็นรอยตะเข็บบางดังภาพที่ 8 บริเวณสลักยอดฝักดังภาพที่4 และบริเวณโคนฝักดังภาพที่ 11 สัณนิษฐานว่าน้ำเป็นเพียงปัจจัยที่ช่วยให้บริเวณสลักยอดฝักเสียสภาพไปทำให้ฝักต้อยติ่งแก่แตกออก

3.2 จากการผ่าฝักต้อยติ่งแก่ตามขวางด้วยมีดโกนบริเวณที่เป็นรอยตะเข็บหนาและบาง พบว่าเมื่อผ่าตามรอยตะเข็บหนาของฝักทุกระยะ ฝักจะแตกทั้ง 3 ตำแหน่ง โดยผ่าบริเวณปลายยอดฝักจะทำให้การแตกรุนแรงมากที่สุด และระดับความแรงลดหลั่นลงไป บริเวณกลาง และโคนฝัก ตามลำดับ ดังภาพที่ 13 ถ้าผ่าตามรอยตะเข็บบางของฝักทุกระยะพบว่าฝักต้อยติ่งไม่แตกดังภาพที่ 14 เนื่องจากการผ่าตามรอยตะเข็บหนานั้นเป็นการผ่าผ่านเข้าไปในบริเวณเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ส่วนแนวการผ่าตามรอยตะเข็บบางจะไม่ผ่านแนวเนื้อเยื่อ 3 ชั้น แสดงว่าแนวเนื้อเยื่อ 3 ชั้น เป็นโครงสร้างสำคัญที่สร้างแรงดีดให้กับฝัก เมื่อพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ในข้อ 1.3 และ 3.1 จะเห็นได้ว่าฝักต้อยติ่งที่แก่แล้วอยู่ในสถานะพร้อมที่จะแตกอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากแรงอัดตัวบริเวณกลางฝักของแนวเนื้อเยื่อ 3 ชั้น แต่ไม่สามารถเอาชนะแรงยึดจากบริเวณสลักยอดฝัก บริเวณรอยตะเข็บบางและบริเวณโคนฝักที่ต้านเอาไว้ได้ โดยน้ำเป็นปัจจัยที่ทำให้บริเวณสลักปลายยอดฝักเสียสภาพ หรืออาจไปสร้างแรงเต่งผลักให้สลักทั้ง 2 ด้านแยกออกจากกัน จึงทำให้แรงอัดตัวบริเวณกลางฝักของแนวเนื้อเยื่อ 3 ชั้นชนะแรงยึดบริเวณรอยตะเข็บบางและบริเวณโคนฝักได้ ทำให้ฝักต้อยติ่งแก่แตกออก

4. ศึกษาช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งที่เหมาะสมในการกระจายพันธุ์ของเมล็ดบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น

4.1 จำนวนฝักในแต่ละช่วงความยาว 0.2 เซนติเมตร ของตัวอย่างฝักต้อยติ่งที่นำมาศึกษาจากกราฟที่ 1 เปรียบเทียบจำนวนของฝักต้อยติ่งในแต่ละช่วงความยาว 0.2 เซนติเมตรจำนวน 900 ฝัก จะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มเป็นโค้งปกติ แสดงว่าจำนวนฝักต้อยติ่งมีความแปรผันกับ ความยาวฝักต้อยติ่งที่พบในธรรมชาติ พบว่าฝักต้อยติ่งที่มีช่วงความยาวตั้งแต่ 2.0 ถึง 2.2 เซนติเมตร (ชุดการทดลอง C) มีจำนวนมากที่สุดในจำนวน 900 ฝัก

4.2 จากกราฟที่ 2 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยของฝักต้อยติ่งแก่ต่อ 1 ฝักของแต่ละชุดการทดลอง จะเห็นว่ากราฟแนวโน้มมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง ความชันเป็นบวก แสดงว่าจำนวนเมล็ดภายในฝักต้อยติ่งแปรผันตรงกับความยาวของฝักต้อยติ่ง โดยจำนวนเมล็ดในฝักต้อยติ่งเพิ่มขึ้นตามลำดับในแต่ละชุดการทดลอง

4.3 จากกราฟที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างมวลของฝักต้อยติ่งก่อนการแตกและผนังผลหลังการแตกในแต่ละชุดการทดลอง จะเห็นว่ากราฟแสดงแนวโน้มของมวลของฝักต้อยติ่งก่อนการแตกและผนังผลหลังการแตก มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง ความชันเป็นบวก แสดงว่ามวลของฝักต้อยติ่งแปรผันตรงกับความยาวฝัก และยังพบว่ากราฟมวลของฝักต้อยติ่งก่อนการแตกมีความชันมากกว่ากราฟมวลของผนังผลหลังการแตกซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลดังกราฟที่ 2 แสดงถึงมวลของเมล็ดที่แปรผันตรงกับความยาวฝัก ถ้ามวลของเมล็ดทุกเมล็ดมีค่าใกล้เคียงกันและเป็นไปตามการศึกษาจากการนับโดยตรง จะสามารถหามวลของเมล็ดในแต่ละช่วงความยาวของฝักต้อยติ่งได้ดังนี้

มวลของเมล็ด = มวลของฝัก – มวลของผนังผล

= (0.053x-0.0571) – (0.0304x-0.0304) กรัม

ดังนั้น มวลของเมล็ด = 0.0226x-0.0267 หรือ 0.02x -0.02 กรัม ตามเลขนัยสำคัญ

4.4 จากกราฟที่ 4 แสดงเวลาเฉลี่ยของฝักต้อยติ่งที่ใช้ในการแตกตั้งแต่สัมผัสน้ำในแต่ละชุดการทดลอง จะเห็นว่ากราฟมีจุดต่ำสุดอยู่ที่ชุดการทดลอง C มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความยาวฝักแตกต่างจากชุดการทดลอง C มากขึ้นและพบว่าที่ชุดการทดลอง C กราฟมีค่าน้อยที่สุด และความคลาดเคลื่อนต่ำสุด แสดงว่าชุดการทดลอง C ใช้เวลาในการแตกน้อยที่สุด

4.5 จากการทดลองบนพื้นที่วงกลม พบว่าฝักต้อยติ่งส่วนใหญ่เมื่อแตกแล้ว ผนังผลหนึ่งจะกระเด็นออกนอกฝาขวดไป ขณะที่ผนังผลอีกด้านหนึ่งยังอยู่ที่ฝาขวด เนื่องจากก่อนที่ฝักต้อยติ่งแตกฝักวางตัวอยู่ในแนวระนาบขนานกับผิวน้ำ โดยรอยตะเข็บหนาอยู่ด้านบน ขณะที่ฝักแตก ผนังผลทั้งสองด้านจะดีดออกจากกัน โดยที่ผนังผลด้านหนึ่งกระเด็นลอยพ้นน้ำออกไปนอกฝาขวด ส่วนผนังผลอีกด้านหนึ่งได้รับแรงดีดจึงจมไปใต้น้ำและลอยขึ้นมาอีก เมื่อพิจารณากราฟที่ 5 ระยะทางเฉลี่ยของผนังผลของฝักต้อยติ่งแก่ในแต่ละชุดการทดลองหลังการแตกบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น จะเห็นว่ากราฟแสดงแนวโน้มของระยะทางเฉลี่ยของผนังผลเป็นกราฟที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงระยะทางของผนังผลแปรผันตรงกับความยาวฝัก เมื่อพิจารณาเส้นกราฟที่แสดงข้อมูลจริงจะเห็นว่าเส้นกราฟ ณ ชุดการทดลอง C ลดลงมาอย่างเห็นได้ชัด แสดงถึงระยะทางของผนังผลที่กระจายน้อยกว่าชุดการทดลอง A,B,D,E

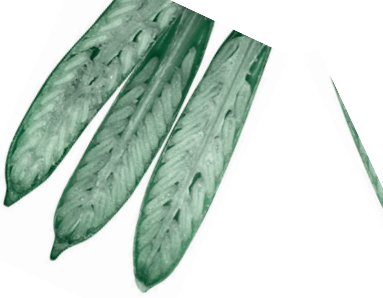
4.6 จากกราฟที่ 6 การกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งในแต่ละชุดการทดลองที่ระยะทางต่าง ๆบนพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของทุกชุดการทดลองมีการสั่นขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง แสดงการกระจายตัวของเมล็ดต้อยติ่งที่กระจายตัวเป็นระยะ ๆ โดยกราฟของชุดการทดลอง C มีลักษณะที่แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัดคือ เส้นกราฟสั่นอย่างต่อเนื่อง และสั่นกว้างขึ้นเรื่อย ๆตามระยะที่ห่างออกจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่วงกลม และมีแนวโน้มที่จะสั่นกว้างขึ้นไปได้อีกถ้าพิจารณาเมล็ดที่ไม่พบบนพื้นที่วงกลม ทั้งนี้การที่จำนวนเมล็ดเพิ่มขึ้นเป็นระยะนั้นไม่ได้หมายความว่าเมล็ดมีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นในบริเวณที่ไกลออกไปเนื่องจากระยะทางจากจุดศูนย์กลางแปรผันตามเส้นรอบวง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพื้นที่วงแหวนทุกช่วง 5 เซนติเมตรด้วย เหตุผลดังกล่าวเมล็ดต้อยติ่งในชุดการทดลอง C จึงมีการกระจาย

ตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าและมีแนวโน้มที่จะกระจายตัวไปไกลกว่าชุดการทดลองอื่นดังกราฟที่ 8 ทั้งนี้ทางกลุ่มโครงงานวิทยาศาสตร์ของเราได้นำเสนอกราฟที่ 7 เพื่อพิจารณากราฟที่ 6 ได้ง่ายขึ้นด้วยการนำกราฟที่ 6 มาหาเส้นแนวโน้มเป็นเส้นตรงแต่มิได้จะแทนกราฟที่ 6 ด้วยกราฟที่7 พบว่ากราฟของชุดการทดลอง C มีความชันของกราฟมากที่สุด แสดงถึงการกระจายตัวของเมล็ดที่มีแนวโน้มที่สม่ำเสมอกว่าและมีแนวโน้มที่จะกระจายตัวได้ไกลกว่าชุดการทดลองอื่นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น กราฟของชุดการทดลอง A มีความชันเป็นลบ แสดงว่าเมล็ดส่วนใหญ่กระจายอยู่ในบริเวณจำกัดที่ใกล้จุดศูนย์กลางของพื้นที่วงกลมและมีจำนวนเมล็ดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น กราฟของชุดการทดลอง B และ E มีแนวโน้มที่คล้ายกัน จะเห็นว่ามีความชันใกล้เคียงกันมาก แต่เส้นกราฟของชุดการทดลอง B จะอยู่ต่ำกว่าชุดการทดลอง E แสดงถึงจำนวนเมล็ดที่น้อยกว่าชุดการทดลอง B แต่ความชันของกราฟทั้งสองมีค่าเป็นบวก แสดงแนวโน้มที่กระจายตัวได้ไกลกว่าเขตพื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้น เมื่อพิจารณาร่วมกับกราฟที่ 6 พบว่าช่วงระยะทางประมาณ 90-130 เซนติเมตร ของเมล็ดในชุดการทดลอง E มีการสั่นและมีค่ามากกว่า แสดงว่าระยะในช่วงนี้เมล็ดในชุดการทดลอง E กระจายอยู่มากกว่าชุดการทดลองC ดังนั้น กราฟแสดงแนวโน้มของชุดการทดลอง E มีความชันน้อยกว่าชุดการทดลอง C ซึ่งแสดงถึงอัตราการกระจายตัวของเมล็ด ที่ต่ำกว่าจะส่งผลให้เหลือจำนวนเมล็ดที่มากกว่าและอาจพบว่าเมล็ดกระจายได้ไกลกว่าชุดการทดลอง C นั้น ไม่สามารถสรุปว่า เกิดจากความแตกต่างของจำนวนเมล็ดที่ตกในระยะต่างๆ แต่สามารถสรุปได้ว่า เมล็ดในชุดการทดลอง C กระจายตัวได้สม่ำเสมอกว่าชุดการทดลอง B และ E ส่วนการทดลองชุด D มีลักษณะการวิเคราะห์เหมือนกับชุด E เพียงแต่ความชันของกราฟต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานเรื่อง Density-dependent processes influencing the evolutionary dynamics of dispersal : a func-

tional analysis of seed dispersal in *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) ของ Naomi J. Wender, Chandra R.Polisetty และ Kathleen Donohue (2005) ที่กล่าวว่า รูปแบบการกระจายของเมล็ดซึ่งประกอบด้วยระยะทางการกระจายพันธุ์และความหนาแน่นของเมล็ด มีความสัมพันธ์กับความยาวฝักของฝักแห้งที่อาศัยกำลังดีดในการกระจายพันธุ์

4.7 เมื่อพิจารณากราฟที่ 6 ของชุดการทดลอง C กับกราฟที่ 5 ในการวิเคราะห์ข้อที่ 5 การที่เมล็ดในชุดการทดลอง C มีแนวโน้มในการกระจายได้ไกลสอดคล้องกับระยะทางของผนังผลหลังการแตก มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองข้างเคียงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อธิบายได้โดยกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม เนื่องจากเส้นแนวโน้มเพิ่มขึ้นโมเมนตัมจากการแตกควรจะแปรผันตรงกับความยาวฝัก เมื่อโมเมนตัมของผนังผลลดลง จึงทำให้โมเมนตัมของเมล็ดมากขึ้น ทั้งนี้ระยะทางของเมล็ดที่กระจายออกไปยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีกด้วย

4.8 จากกราฟที่ 9 พบว่ามุมที่กราฟลดลงมักจะมีผนังผลอยู่ด้วย และบางมุมของกราฟที่กราฟไม่ลดลง มีผนังผลอยู่ด้วย เนื่องการกระจายเมล็ดตามมุมต่าง ๆ เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม การแตกของฝักต้อยติ่งเมื่อผนังผลกระเด็นออกไปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง เมล็ดในฝักมีความเร็ว ในทิศตรงข้ามกับผนังผลซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังนั้นเมื่อผนังผลไปตกที่มุมใด มุมหนึ่งแล้วเมล็ดควรจะกระจายตัวอยู่ในบริเวณใกล้เคียงมุมที่อยู่ตรงข้ามกับมุมนั้น หรือแตกต่างจากมุมนั้น 180 องศา จึงมีผลให้มุมที่กราฟลดลงมักจะมีผนังผลอยู่ด้วย แต่ถ้ามุมตรงข้ามกับมุมนั้น มีผนังผลอยู่อาจทำให้ มุมนั้นมีเมล็ดมากได้ เช่นที่มุมที่10,140,150 และ 350องศา เป็นต้น



สรุปผลการทดลอง

ฝักต้อยติ่งแก่พร้อมจะแตกออกเนื่องจากแรงดันที่บริเวณเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ซึ่งต่อกับรอยตะเข็บหนา แต่แรงดันนั้นไม่สามารถเอาชนะแรงยึดระหว่างสลักยอดฝักได้ จึงอยู่ในลักษณะสมดุลกล น้ำเป็นปัจจัยที่ทำให้ฝักต้อยติ่งแตกโดยน้ำจะเข้าไปทางด้านสีขาวของสลักยอดฝักที่มีเนื้อเยื่อสีขาวหนาเป็นพิเศษ และเชื่อมต่อกับแนวเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้ทางเดียว ทำให้บริเวณที่ติดกันระหว่างสลักบริเวณปลายยอดฝักเสียสภาพไปจากเดิม ทำให้แรงดันบริเวณเนื้อเยื่อ 3 ชั้น สามารถเอาชนะแรงยึดระหว่างรอยตะเข็บบางและแรงยึดบริเวณโคนฝักได้ ฝักจึงแตกออก โดยแตกในแนวระหว่างรอยตะเข็บบาง และผนังผลโค้งงอออก โดยบริเวณแกนกลางมีความยาวมากกว่าด้านนอก

ฝักต้อยติ่งที่มีช่วงความยาวตั้งแต่ 2.0 ถึง 2.2 เซนติเมตร มีจำนวนมากที่สุดในตัวอย่างฝักต้อยติ่งที่สุ่มมา มีลักษณะการแตก และการกระจายเมล็ดที่เหมาะสมที่สุดในการกระจายพันธุ์ตามทฤษฎีการคัดสรรตามธรรมชาติ ดังนี้คือ ใช้เวลาในการสัมผัสน้ำจนฝักแตกน้อยสุด พร้อมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และกระจายเมล็ดได้ไกลอย่างสม่ำเสมอที่สุด

ผนังผลและเมล็ดจะแตกกระจายในทิศตรงกันข้ามกัน มีความสัมพันธ์กันทางด้านระยะทางคือ ระยะทางของผนังผลมีความสัมพันธ์โดยแปรผกผันกับระยะทางของเมล็ด ตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ทั้งนี้ระยะทางของเมล็ดยังขึ้นกับอีกหลายปัจจัย

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ถ้ามีกล้องวีดีโอความเร็วสูงจะสามารถหาความเร็วต้นและมุมของผนังผลและเมล็ดที่แตกได้

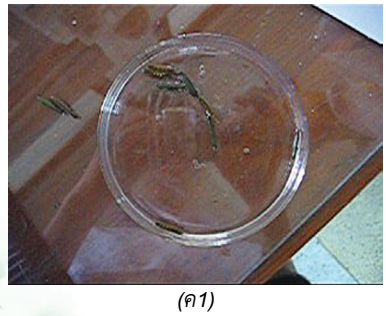
2. การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนบางประการ เช่น การกระเด็นของเมล็ดและผนังผลของพื้นที่วงกลม, การนับหาเมล็ดบนพื้นที่วงกลม เป็นต้น

3. ตำแหน่งของเมล็ดในฝักต้อยติ่งมีความสัมพันธ์กับการแตกและการกระจายเมล็ดอย่างไร

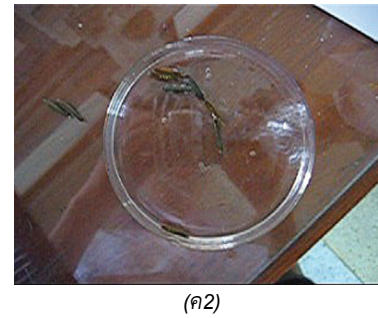
4. การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลในการกระจายตัวของวัชพืชอื่นๆได้

ภาคผนวก

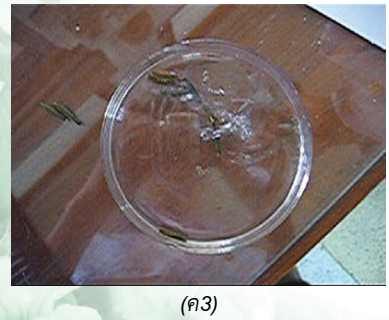
ภาพ ข ฝักต้อยติ่งที่อายุต่าง ๆ



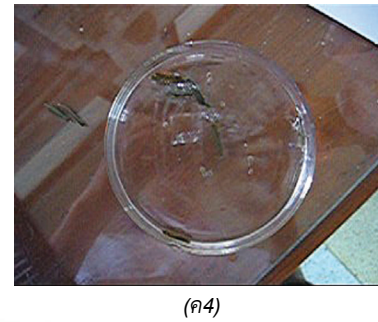
(ค1)



(ค2)

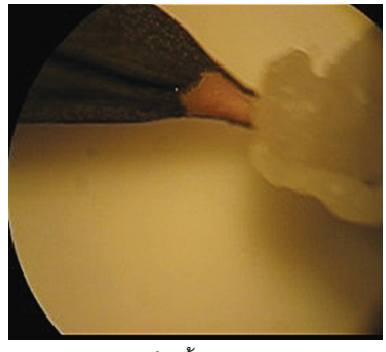


(ค3)

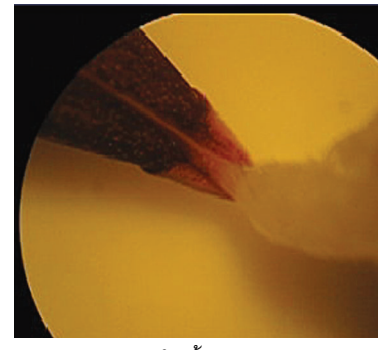


(ค4)

ภาพ ค ฝักต้อยติ่งกำลังแตก โดยเริ่มจาก ค1,ค2,ค3 และจบที่ ค4 ตามลำดับ

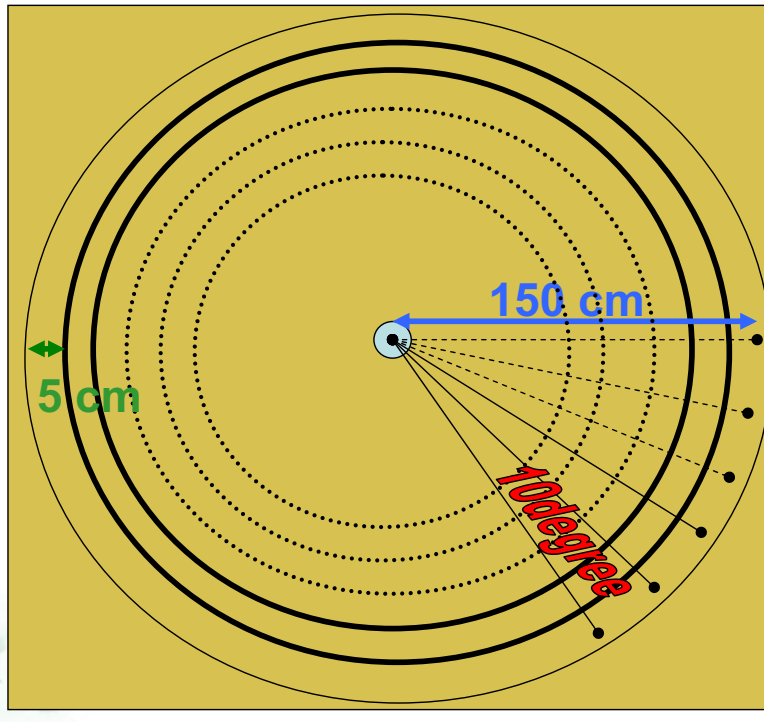


ภาพ ง การให้น้ำทางสลักยอดฝัก ด้านสีขาว



ภาพ จ การให้น้ำทางสลักยอดฝัก ด้านสีดำ

ภาพ ฉ พื้นที่วงกลมที่สร้างขึ้นมา



ภาพ ช รายละเอียดของพื้นที่วงกลม

บรรณานุกรม

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิศาสตร์มูลนิธิ สอวน. 2547. ชีววิทยา 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิศาสตร์มูลนิธิ สอวน. 2547. ฟิสิกส์. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

เชาวน์ และพรรณี ชิโนรักษ์. 2541. ชีววิทยา เล่ม 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดวงพร สุวรรณกุล. 2543. ชีววิทยาวัชพืช พื้นฐานการจัดการวัชพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เต็ม สมิตินันท์. 2544. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

เทียมใจ คมกฤส. 2546. กายวิภาคของพฤกษ์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2532. คู่มือการพิมพ์วิทยานิพนธ์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ม.ล.จารุพันธ์ ทองแถบ. 2545. ชีวิตพืชบนดาวเคราะห์โลก. กรุงเทพมหานคร: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2546. ศัพท์พฤกษศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

สมภพ ประธานธุรารักษ์, พร้อมจิต ศรลัมพ์และธนุชา บุญจรัส. 2542. กายวิภาคและสัณฐานวิทยาของพืช. กรุงเทพมหานคร: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

อภิญญา วงศ์กิดาการ. 2531. สถิติสำหรับชีววิทยา. สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Borkhardt et al. Annual Meeting of the American Sosiety of plant Physiologists. Portland, Oragon, 1994.

D.G.Mackean. GCSE Biology. London: John Murry, 1986.

Douglas. Physics. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

John, D. Cutnell. Physics. Singapore: John Wiley and Sons, 1998.

Naomi J. Wender, Chandra R.Polisetty, and Kathleen Donohue. Density-dependent processes influencing the evolutionary dynamics of dispersal : a functional analysis of seed dispersal in *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae). Botanical Society of America,Inc. (2005) ; 92: 960-971.

Neil A. Cambell, and Jane B. Reece. Biology. California:The Benjamings Cummings publish company, 2004.

Seed Shattering. United States Patent . (September 2004) : 6797861.

Servey, and Jewett. Physics for scientist and engineer. New York: Saunder Collage, 1995.

Sylvia S.Mader. Biology. The United Statea of America: McGraw-Hill, 1996.

Thomas L. Rost, Michael G. Barbour, Robert M. Thornton, T. Elliot Weier, and C.Ralph Stocking. Botany. New York: Jonh Wiley & Sons, 1979.

ผู้ดำเนินการ

ที่ปรึกษา :

ดร.อำรุง จันทวานิช	เลขาธิการสภาการศึกษา
ดร.สิริพร บุญญานันต์	รองเลขาธิการสภาการศึกษา
รศ.ดร.สำอาง หิรัญบูรณะ	ข้าราชการบำนาญ ที่ปรึกษาโครงการฯ
ดร.รุ่งเรือง สุขาภิรมย์	ผู้ตรวจราชการกระทรวงศึกษาธิการ ที่ปรึกษาโครงการฯ
นางสาวสุทธาสินี วัชรบูล	ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานการศึกษาและพัฒนาการเรียนรู้

ผู้จัดทำรายงาน :

นายนิพนธ์ ศรีนฤมล	ครู คศ.4 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
นายสุขสันต์ อิทธิปัญญานันท์	นักเรียนโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
นายครองรัฐ สุวรรณศรี	นักเรียนโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
นายทนงศักร ชินอรุณชัย	นักเรียนโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

ผู้รับผิดชอบโครงการ :

นางสาวบุญเทียม ศิริปัญญา	หัวหน้าโครงการ
นางสาวกิงกาญจน์ เมฆา	ประจำโครงการ
นางสาววิชชุลาวัณย์ พิทักษ์ผล	ประจำโครงการ

บรรณาธิการ :

นางสาวบุญเทียม ศิริปัญญา
นางสาววิชชุลาวัณย์ พิทักษ์ผล

เรียบเรียงและจัดทำรายงาน :

นางสาวกิ่งกาญจน์ เมฆา
นางสาววิชชุลาวัณย์ พิทักษ์ผล

ออกแบบปกและรูปเล่ม :

นายรวิช ตาแก้ว

ประวัติผู้เขียน

คุณครูนิพนธ์ ศรีนฤมล

คุณครูนิพนธ์ ศรีนฤมล จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา เมื่อปี 2514 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะครุศาสตร์ ในปี 2518 และระดับปริญญาโท จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2537 เริ่มรับราชการโดยสอนวิชาชีววิทยาที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ตั้งแต่ปี 2519 จนถึงปัจจุบัน ตลอดเวลา 30 ปี ในสายวิชาชีพครูสอนวิชาชีววิทยา ได้อุทิศตนเพื่อการศึกษาอย่างเต็มกำลังความสามารถ ตั้งใจสั่งสอนอบรมทั้งด้านความรู้และความประพฤติเพื่อให้ศิษย์มีความรู้คู่คุณธรรมและประสบความสำเร็จในหน้าที่การงานและมีชีวิตในสังคมอย่างมีความสุข พยายามปฏิบัติตนเพื่อเป็นแบบอย่างที่ดีให้ศิษย์เกิดความเคารพนับถือ ที่สำคัญ **คุณครูนิพนธ์** คือผู้ที่อยู่เบื้องหลังของความสำเร็จและความภาคภูมิใจของคนไทยทั้งประเทศ ที่ทำให้ลูกศิษย์ได้รับรางวัลเหรียญทองและเหรียญเงินชีววิทยาโอลิมปิกวิชาการปี 2549 และคว้ารางวัลจากโครงงานวิทยาศาสตร์เรื่อง “คลื่นการเดินของกิ้งกือ”ได้รับรางวัล **Special Awards** ในปี 2547 และเรื่อง “การแตกของฝักต้อยติ่ง” ได้รับรางวัล **Grand Awards** ในปี 2549 จากประเทศสหรัฐอเมริกา

นอกเหนือจากหน้าที่ประจำแล้ว **คุณครูนิพนธ์** ยังได้รับการแต่งตั้งเป็นกรรมการจากหน่วยงานต่างๆ มากมาย อาทิ ✱ กรรม

การศูนย์พัฒนาคุณภาพชีววิทยา ❋ กรรมการงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน ❋ กรรมการโครงการอนุรักษ์พันธ์กรรมพืชในพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ❋ กรรมการศูนย์ส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา (สอวน) ในพระอุปถัมภ์ของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยานิวัฒนา ❋ กรรมการงานพัฒนาหลักสูตรการเรียนล่วงหน้าร่วมกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ❋ กรรมการพัฒนาความสามารถพิเศษด้านวิทยาศาสตร์ร่วมกับสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (สกศ.) ❋ กรรมการงานปรับปรุงหนังสือเรียนชีววิทยาของ สสวท. ❋ กรรมการสาขาครูวิทยาศาสตร์ของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย เป็นต้น และได้รับเชิญเป็นวิทยากรในการอบรมครูและนิสิตนักศึกษาจากหลายสถาบัน ยิ่งกว่านั้น **คุณครูนิพนธ์** ยังได้สละเวลาไปสอนนักเรียนตามโรงเรียนในภาคต่างๆ รวมทั้งโรงเรียนใน 3 จังหวัดภาคใต้ใน “โครงการรินน้ำใจ ใส่สมองน้องชาวใต้ มุ่งความรู้สู่มหาวิทยาลัย” อีกด้วย

ผลจากการปฏิบัติงานด้วยความมุ่งมั่น เสียสละ เป็นครูดีมีคุณธรรม อย่างต่อเนื่องนี่เอง **คุณครูนิพนธ์ ศรีนฤมล** จึงได้รับการคัดเลือกเป็น ❋ ครูอาวุโสดีเด่นของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ❋ ครูแม่แบบของสำนักงานเลขาธิการคุรุสภา ❋ ครูแกนนำและครูต้นแบบของกรมสามัญศึกษา (เดิม) ❋ ครูวิทยาศาสตร์ดีเด่นของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ❋ ครูที่มีผลงานดีเด่นของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 1 ❋ ครูดีในดวงใจของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ❋ ครูรับเครื่องหมายเชิดชูเกียรติ “คุรุสดุดี” ของสำนักงานเลขาธิการคุรุสภา และ ❋ ครูดีเด่นแห่งชาติของสำนักงานเลขาธิการคุรุสภา เนื่องในวันครูแห่งชาติ 16 มกราคม 2550 ■