

ชุดพัฒนา  
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

---

ชุดที่ 13  
ทักษะการทดลอง

รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ ดร.พิศาล สร้อยชูหระ

## ชุดที่ 13

### การทดลอง

โปรดศึกษาหัวเรื่อง แนวคิด และวัตถุประสงค์ของชุดที่ 13 แล้วจึงศึกษารายละเอียดต่อไปนี้

#### หัวเรื่อง

- 13.1 ความหมายและความสำคัญของการทดลอง
- 13.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานกับแบบของการทดลอง
- 13.3 การเลือกวิธีทดลอง
- 13.4 การเลือกเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลอง
- 13.5 การฝึกออกแบบและดำเนินการทดลอง
- 13.6 การกำหนดปัญหาจากผลการทดลอง

#### แนวคิด

นักวิทยาศาสตร์ใช้การทดลองเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบของปัญหา และ/หรือ ตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้น ในการทดลองจะมีการนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการวิทยาศาสตร์มาประกอบกัน ทั้งการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การกำหนดตัวแปรที่จะต้องควบคุม การออกแบบการทดลอง และดำเนินการทดลองอย่างรอบคอบรัดกุม การสังเกตและบันทึกผลการทดลองอย่างละเอียดทุกขั้นตอน ตลอดจนการตีความหมายข้อมูลที่บันทึกไว้ได้อย่างถูกต้องตรงไปตรงมา ความสามารถในการออกแบบและดำเนินการทดลองจัดเป็นทักษะหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

#### วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาชุดที่ 13 แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. ออกแบบการทดลองที่สัมพันธ์กับสมมติฐานที่กำหนดให้ได้อย่างเหมาะสม
2. ระบุสมมติฐาน จากแบบการทดลองที่ให้ได้อย่างถูกต้อง
3. ออกแบบและดำเนินการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่กำหนดให้ได้อย่างเหมาะสม
4. ระบุปัญหาจากผลการทดลองที่ได้ อย่างถูกต้อง

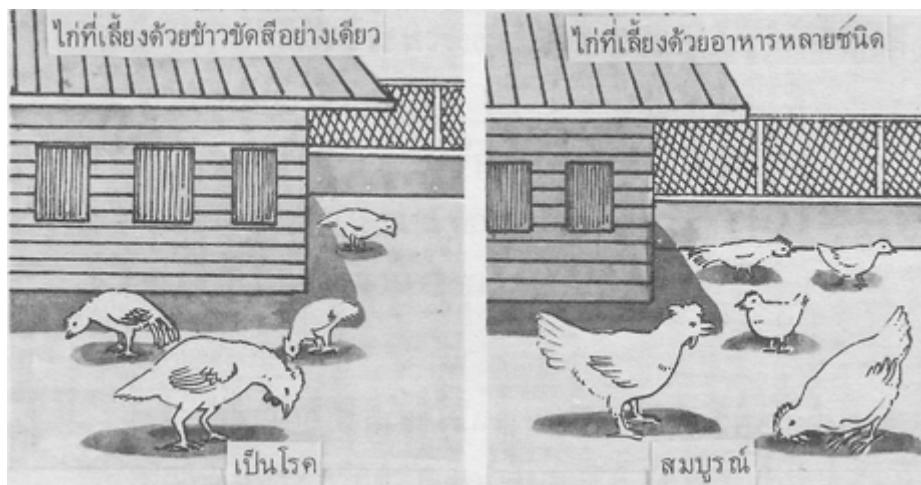
\*ผู้เขียนเรียบเรียงร่วมกับอาจารย์ สนิท บุญเคลือบ (กศ.บ, กศ.ม.) ผู้อำนวยการหน่วยวิชาชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## เรื่องที่ 13.1

### ความหมายและความสำคัญของการทดลอง

ในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์นั้น การทดลองเป็นขั้นตอนที่นักวิทยาศาสตร์ใช้สำหรับตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้นว่าควรแก่การยอมรับหรือไม่ เพียงใด ในการดำเนินการทดลองนั้นผู้ทดลองจะต้องนำเอากระบวนการขั้นอื่นๆ มาใช้ประกอบกัน ความสำเร็จของการทดลองจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการด้วยกัน

เพื่อให้เห็นภาพพจน์ของการดำเนินการทดลอง และองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์อยู่ด้วย ขอให้นักศึกษาพิจารณาตัวอย่างที่ให้ต่อไปนี้



ภาพที่ 13.1 เปรียบเทียบไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวขัดสีอย่างเดียวกับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารหลายชนิด

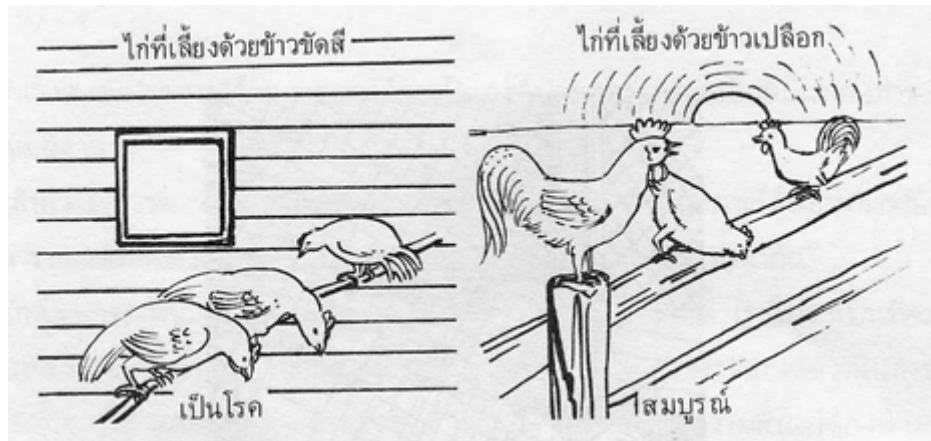
จากการเลี้ยงไก่ด้วยอาหารที่แตกต่างกัน ปรากฏว่ามีไก่กลุ่มหนึ่งเป็นโรคมีผู้เสนอสมมติฐานไว้หลายประการ เช่น

- ข้าวขัดสีทำให้เกิดโรค
- ไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวขัดสีทำให้ขาดสารอาหารบางอย่าง
- เกิดโรคระบาดในไก่หมู่หนึ่งเท่านั้น

สมมติฐานที่ได้เสนอมานี้จะเห็นได้ว่า ยังไม่รัดกุม ชัดเจน และไม่ได้แนะวิธีการทดลอง ซึ่งถ้าได้รับการปรับปรุงก็อาจเป็นดังนี้

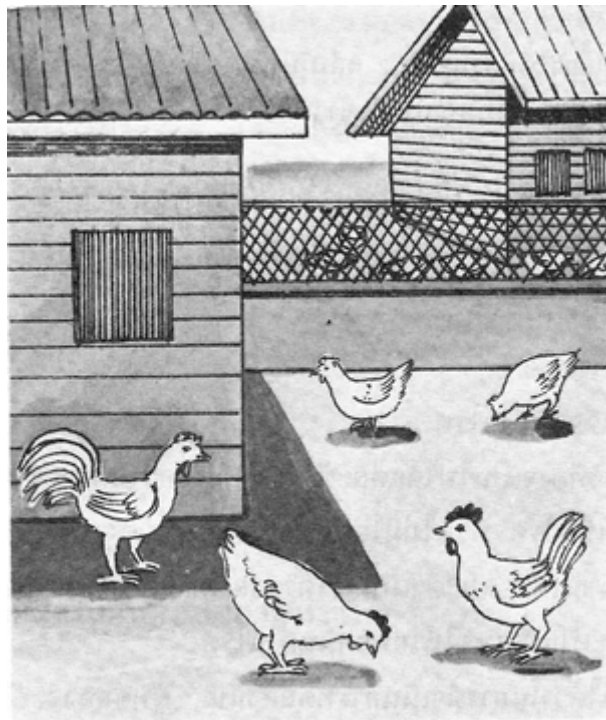
“ถ้าข้าวที่ขัดสีแล้วขาดสารอาหารบางชนิดซึ่งจำเป็นต่อการสร้างภูมิคุ้มกันโรค ก็จะทำให้ไก่ทุกตัวที่เลี้ยงด้วยข้าวขัดสีเป็นโรค”

ได้มีผู้ออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานนี้ โดยเลี้ยงไก่ 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งเลี้ยงด้วยข้าวขัดสี อีกกลุ่มหนึ่งเลี้ยงด้วยข้าวเปลือก เขารายงานว่า ไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวขัดสีเป็นโรค ส่วนไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกไม่เป็นโรค



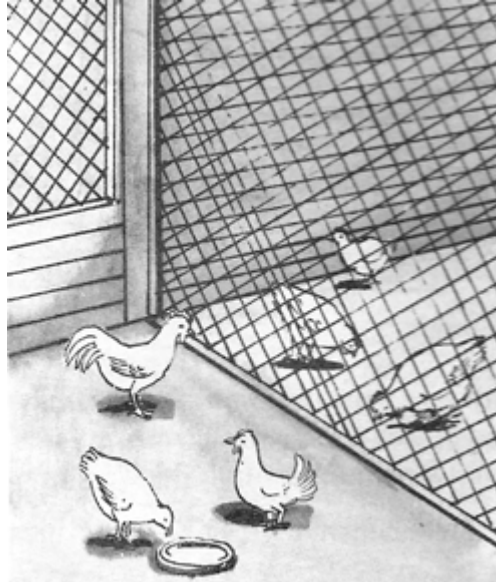
ภาพที่ 13.2 การทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน

จากรายงานดังกล่าว ทำให้มีข้อสงสัยมากมาย ที่สำคัญคือ นอกจากอาหารแล้วไก่ทั้งสองพวกเหมือนกัน และได้รับการเลี้ยงดูอย่างเดียวกันหรือไม่ จึงมีผู้คัดค้านว่าการทดลองควรปรับปรุงเสียใหม่ ดังภาพที่ 13.3



ภาพที่ 13.3 การทดลองแยกเลี้ยงไก่ประเภทเดียวกันทุกประการเป็น 2 ที่

จะเห็นได้ว่า การทดลองตามภาพที่ 13.3 ยังคงมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการแยกเลี้ยงอยู่นั่นเอง เนื่องจากยังมีตัวแปรที่ไม่ได้รับการควบคุมอีก การทดลองจึงต้องปรับปรุงใหม่อีกครั้งหนึ่ง ดังในภาพที่ 13.4



ภาพที่ 13.4 การทดลองเลี้ยงไก่ที่สมบูรณ์ 2 กลุ่มในบริเวณเดียวกัน แต่มีลวดตาข่ายกั้นกลุ่มหนึ่งให้กินข้าวเปลือก อีกกลุ่มหนึ่งให้กินข้าวขัดสี

จากการทดลองในภาพที่ 13.4 จะเห็นได้ว่า ตัวแปรอื่นๆ ได้รับการควบคุมไว้ทั้งหมดเหลือแต่ตัวแปรที่ต้องการศึกษา ดังนั้น ผลที่อาจจะเกิดขึ้นเป็นที่คาดคะเนได้ เป็นต้นว่า

1. ไก่ทั้งหมดเป็นโรค
2. ไม่มีไก่ที่เป็นโรคเลย
3. ไก่เพียงกลุ่มเดียวที่เป็นโรค

ซึ่งผลการทดลองที่อาจเป็นไปได้แต่ละข้อ ก็ชี้บ่งถึงความหมายที่ชัดเจนว่าสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าไก่ทุกตัวเป็นโรค หรือไม่มีไก่เป็นโรคเลย สมมติฐานที่ว่าอาหารเป็นต้นเหตุก็ต้องตัดทิ้งไป จะต้องตั้งสมมติฐานขึ้นใหม่ และดำเนินการตรวจสอบ แต่ถ้าไก่พวกหนึ่งพวกใดเป็นโรค สิ่งที่เป็นตัวแปรในการทดลองก็คงจะเป็นต้นเหตุให้ไก่พวกนั้นเป็นโรค

นักศึกษาจะเห็นได้ว่าในการดำเนินการทดลองนั้น ผู้ทดลองจะต้องทำอะไรๆ หลายอย่างด้วยกัน เขาจะต้องออกแบบการทดลอง กำหนดตัวแปรที่ต้องควบคุม ดำเนินการทดลองรวบรวมข้อมูล ตีความหมายข้อมูล และสรุปผลการทดลอง ซึ่งในบางครั้งอาจมีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ และการปรับปรุงสมมติฐานที่กำลังตรวจสอบนั้นด้วย

จากตัวอย่างที่ให้ นักศึกษาจะสังเกตได้อย่างหนึ่งว่า ในการดำเนินการทดลองนั้นผู้ทดลองจะจัดการทดลองเป็น 2 ชุดด้วยกัน ชุดหนึ่งคือชุดทดลอง ซึ่งใช้ตรวจสอบผลของตัวแปรที่แปรค่าไปจากปกติ อีกชุดหนึ่งเรียกว่าชุดควบคุม ซึ่งใช้ตรวจสอบผลของตัวแปรในภาวะปกติ เมื่อดำเนินการทดลองเสร็จแล้วก็นำผลการทดลองของทั้งสองชุดมาเปรียบเทียบกันดูว่าแตกต่างกันหรือไม่ วิธีดำเนินการโดยจัดการทดลองเป็น 2 ชุด เช่นนี้ นักศึกษาจะพบได้ทั่วไป แต่ก็มีใช้ว่าการทดลองจะต้องดำเนินการเช่นนี้เสมอไปทุกครั้ง ขอให้ศึกษาดูตัวอย่างต่อไปนี้

ถ้าเราสงสัยว่าความเร็วของรถยนต์จะเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการสิ้นเปลืองน้ำมัน แล้วเราตั้งสมมติฐานว่า

“ถ้าความเร็วของรถยนต์มีผลต่อการสิ้นเปลืองน้ำมัน ดังนั้น ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ที่ควบคุมให้เหมือนกัน รถยนต์ที่วิ่งด้วยอัตราเร็วต่างกัน ย่อมจะสิ้นเปลืองน้ำมันไม่เท่ากัน”

นักศึกษามองเห็นว่า ในการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานนี้ เราไม่จำเป็นต้องต้องใช้รถหลายคัน ใช้คันขับหลายคนแต่อย่างใด รถยนต์และคนขับเพียงชุดเดียวก็สามารถใช้ในการทดลองได้ โดยทดลองขับหลายๆ ครั้ง แต่ละครั้งขับด้วยอัตราเร็วต่างกัน แล้วดูผลว่าความสิ้นเปลืองน้ำมันต่างกันหรือไม่ ถ้าผลการทดลองปรากฏว่าสิ้นเปลืองน้ำมันไม่เท่ากันก็เป็นการสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งขึ้น แต่ถ้าผลการทดลองปรากฏว่าไม่แตกต่างกัน ก็เป็นการคัดค้านสมมติฐานนั้น

สรุปได้ว่า การทดลองเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่ช่วยให้เขาสามารถตรวจสอบได้ว่า สมมติฐานที่ตั้งขึ้นมานั้นยอมรับได้หรือไม่เพียงใด ซึ่งเป็นการช่วยให้ได้คำตอบที่แท้จริงของปัญหาที่เขาประสบ ถ้าปราศจากการทดลอง อาจทำให้ปัญหาของนักวิทยาศาสตร์บางปัญหาไม่สามารถจะหาคำตอบที่แท้จริงได้ กล่าวคือเป็นเพียงสมมติฐานที่ขาดการตรวจสอบ นั่นเอง

เนื่องจากการทดลองเป็นทักษะที่ต้องใช้ทักษะอื่นๆ ที่ศึกษามาก่อนแล้ว จึงได้จัดเอาไว้เป็นตอนท้ายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเนื่องจากนักศึกษาได้เคยผ่านทักษะต่างๆ มาแล้ว ในที่นี้จึงจะเน้นแต่ทักษะในการออกแบบและการดำเนินการทดลองเท่านั้น ดังนั้นนักศึกษาควรย้อนกลับไปทบทวนทักษะอื่นๆ ที่ศึกษามาก่อน แล้วจึงเริ่มศึกษาทักษะการทดลองต่อไป

## เรื่องที่ 13.2

### ความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานกับแบบของการทดลอง

นักศึกษาคงตระหนักได้ดีเมื่อระลึกถึงเรื่องของการกำหนดสมมติฐานว่าลักษณะประการสำคัญของสมมติฐานที่คืบนั้น ก็คือ จะต้องแนะวิธีการทดลองเพื่อที่ตรวจสอบสมมติฐานนั้นด้วย ดังนั้น การออกแบบการทดลอง จึงต้องสัมพันธ์กับสมมติฐานที่ต้องการจะตรวจสอบ

#### กิจกรรม 13.2 (1)

ให้นักศึกษาพิจารณาสมมติฐานต่อไปนี้ แล้วลองออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ให้

“หนูที่กินอาหารที่ไม่มีโปรตีน จะมีอัตราการเจริญเติบโตต่างกับหนูที่กินอาหารที่มีโปรตีน”

#### แนวตอบกิจกรรม 13.2 (1)

การทดลองอาจทำได้ในทำนองนี้

ใช้หนู 2 กลุ่ม ที่มีอายุเท่ากัน มีลักษณะต่างๆ เหมือนกัน อยู่ในสภาพแวดล้อมอย่างเดียวกัน ทำการทดลองพร้อมๆ กัน โดยกลุ่มหนึ่งให้กินอาหารตามปกติ ซึ่งมีโปรตีนรวมอยู่ด้วย อีกกลุ่มหนึ่งกินอาหารที่ไม่มีโปรตีน

ถ้านักศึกษาได้ฝึกออกแบบการทดลองจากสมมติฐานในทำนองนี้บ่อยเข้า ก็จะมีทักษะในการออกแบบการทดลองขึ้นเรื่อยๆ

การฝึกทักษะในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานกับการทดลอง อาจทำได้ในทำนองกลับกัน กล่าวคือ พิจารณาหาสมมติฐานจากการทดลองที่ทราบ

#### กิจกรรม 13.2 (2)

ให้นักศึกษาพิจารณาเหตุการณ์ต่อไปนี้ แล้วระบุว่า การทดลองที่ให้มีจะตรวจสอบสมมติฐานอะไร

“เมื่อประมาณร้อยปีเศษมานี้ ได้เกิดโรคชนิดหนึ่งคุกคามทหารในกองทัพเรือญี่ปุ่นอย่างรุนแรง โดยที่ไม่มีใครทราบสาเหตุ

ระหว่างนั้น เป็นสมัยที่วิทยาศาสตร์กำลังตื่นตัว เนื่องจากมีบุคคลที่มีชื่อเสียงมากสองคน

คือ หลุยส์ ปาสเตอร์ และโรเบิร์ต ค็อค ได้แสดงให้เห็นอย่างเป็นที่เชื่อถือกันทั่วไปว่า โรคต่างๆ มีสาเหตุมาจากเชื้อจุลินทรีย์

นายแพทย์ทหารเรือชาวญี่ปุ่นคนหนึ่งชื่อ ทาคากิ ได้รับคำสั่งให้จัดการเกี่ยวกับโรคนี้ เขาได้สั่งให้ทำความสะอาดเรือรบทุกลำ และตัวทหารทุกคนอย่างเข้มงวดกวัดขัน”

นักศึกษาคิดว่า ทาคากิ มีสมมติฐานอย่างไร จึงได้ดำเนินการเช่นนี้

### แนวตอบกิจกรรม 13.2 (2)

ทาคากิ อาจจะมีสมมติฐานว่า “สาเหตุของโรคนี้ เนื่องมาจากจุลินทรีย์” เขาจึงสั่งให้ทำความสะอาดเพื่อทำลายจุลินทรีย์

### กิจกรรม 5.3.2 (3)

“แต่การณ์กลับปรากฏว่าแม้จะได้กวัดขันให้ทำความสะอาดเพียงไรก็ตาม โรคดังกล่าวก็ยังระบาดอยู่ ยิ่งกว่านั้นยังลุกลามร้ายแรงขึ้นเรื่อยๆ

จากความพยายามศึกษาเกี่ยวกับโรคนี้ ทาคากิได้ทราบข้อมูลต่างๆ เพิ่มขึ้น ข้อมูลบางประการที่เข้าได้ คือ

1. โรคนี้พบตามเมืองใหญ่ๆ ตามบ้านนอกไม่พบ
2. ในเรือรบอังกฤษไม่มีใครเป็นโรคนี้
3. โรคนี้พบในหมู่คนที่บริโภคน้ำข้าวเจ้าเท่านั้น

เขาจึงอนุญาตผู้บังคับบัญชา นำเรือรบ 2 ลำออกทะเลในเวลาเดียวกัน แต่ละลำมีทหารเรือที่มีสุขภาพแข็งแรงพอๆ กัน จำนวนเท่าๆ กัน จัดสภาพการณ์ทุกอย่างในเรือให้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เว้นแต่อาหารที่บริโภค ให้ลูกเรือลำหนึ่งบริโภคอาหารแบบทหารอังกฤษ คือมี เนื้อ ปลา ไก่ ผัก และขนมปัง อีกลำหนึ่งให้อาหารแบบธรรมดาของทหารเรือญี่ปุ่น คือ ข้าวเจ้า”

นักศึกษาคิดว่า ทาคากิ มีสมมติฐานอย่างไร จึงดำเนินการทดลองเช่นนี้

### แนวตอบกิจกรรม 5.3.2 (3)

ทาคากิสงสัยว่าสาเหตุของโรคนี้อาจจะเนื่องมาจากอาหาร สมมติฐานของเขาก็คือ ถ้าโรคดังกล่าวมีสาเหตุมาจากอาหาร โดยที่ทหารเรือบริโภคตามแบบอังกฤษไม่เป็นโรค แต่ทหารเรือที่บริโภคตามแบบญี่ปุ่นเป็นโรค ดังนั้น ภายใต้อาการการณ์ต่างๆ ที่ได้รับการควบคุมให้เหมือนกัน ยกเว้นอาหารแล้ว ทหารที่บริโภคตามแบบอังกฤษจะไม่เป็นโรค แต่ทหารที่บริโภคตามแบบญี่ปุ่นจะเป็นโรค



การฝึกวิเคราะห์สมมติฐานจากการทดลองเช่นนี้ จะช่วยให้นักศึกษามีทักษะบางประการในการออกแบบการทดลองที่สัมพันธ์กับสมมติฐานที่ตั้งไว้

### เรื่องที่ 13.3

#### การเลือกวิธีการทดลอง

แบบของการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานอาจเป็นไปได้หลายแบบ ขอให้นักศึกษาพิจารณาแบบของการทดลองต่อไปนี้

“เพื่อที่จะศึกษาว่า สาร ก. มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงปลูกพืชชนิดเดียวกันหลายๆ ต้น แล้วให้สาร ก. ในปริมาณมากน้อยต่างๆ กัน”

นักศึกษาจะเห็นได้ว่า การทดลองเช่นนี้ เป็น การเพิ่มปริมาณของสิ่งที่เชื่อว่าเป็นต่อการที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้นให้มากขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อที่จะดูว่ามีอะไรเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ นับเป็นแบบหนึ่งของการทดลอง การทดลองอีกแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นในเชิงกลับกันก็คือ ลดปริมาณของสิ่งที่เชื่อว่าเป็นต่อการที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้นให้น้อยลงเป็นพิเศษดูความเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกัน

นักศึกษายังพิจารณาแบบของการทดลองต่อไป

“เพื่อที่จะศึกษาว่า หากนำเอากิ่งของพืชชนิดหนึ่งที่มีรากงอกออกมาไปวางตั้งไว้ในน้ำ แล้วจะปล่อยฮอร์โมนที่ช่วยในการงอกรากออกมา จึงเอากิ่งของพืชชนิดนั้นที่มีรากอ่อนหลายๆ กิ่งไปวางตั้งไว้ในน้ำแล้วนำน้ำนั้นไปวิเคราะห์”

ด้วยกัน เพื่อที่จะดูว่า เหตุการณ์จะเกิดขึ้น หรือไม่ นับเป็นแบบหนึ่งของการทดลอง ซึ่งการทดลองอีกแบบหนึ่งที่เป็นเชิงกลับกันก็คือ นำเอาสิ่งใดสิ่งหนึ่ง (หรือหลายๆ สิ่ง) ที่เชื่อว่าเป็นต่อการที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้นออกไปเสีย เพื่อที่จะดูว่าเหตุการณ์ไม่เกิดขึ้นใช่หรือไม่

ขอให้พิจารณาแบบของการทดลองต่อไปอีก

“เพื่อที่จะดูว่าชนิดและจำนวนของพืชและสัตว์เล็กๆ ที่อาศัยอยู่ในลำธารมีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีชุมชนอยู่หนาแน่นขึ้นหรือไม่ จึงดักตัวอย่างของน้ำจากลำธารในชุมชนที่กำลังขยายตัวมาวิเคราะห์ทุกเดือนติดต่อกันตลอดเวลาสามปี”

การทดลองเช่นนี้เป็นการ สังเกตเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ที่สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป โดยบันทึกเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องไว้อย่างละเอียด นับเป็นอีกแบบหนึ่งของการทดลอง

จะเห็นได้ว่าแบบของการทดลองอาจเป็นไปได้หลายแบบด้วยกัน การที่จะเลือกใช้การทดลองแบบใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ

### กิจกรรม 13.3

นักศึกษาคิดว่า การทดลองเพื่อตรวจสอบผลของอาหารโปรตีนที่มีต่อการเจริญของหนูนั้น จัดเข้าเป็นแบบของการทดลองแบบใด

### แนวตอบกิจกรรม 13.3

นำเอาสิ่งที่เชื่อว่าจำเป็นต่อเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นออกไปเสีย เพื่อที่จะดูว่าเหตุการณ์ไม่เกิดขึ้นใช่หรือไม่

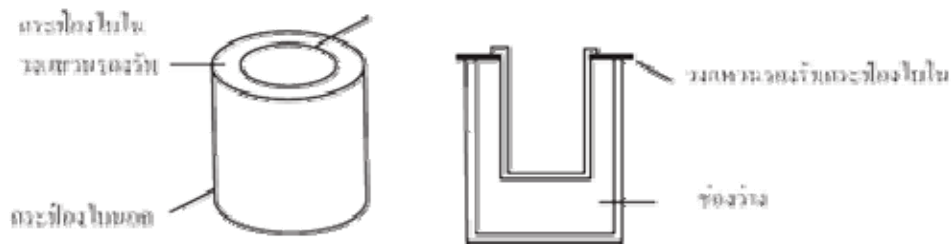
### เรื่องที่ 13.4

#### การเลือกเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลอง

เป็นความจำเป็นที่ผู้ออกแบบการทดลองจะต้องมีความรู้และทักษะในการเลือกเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลอง เพื่อที่การทดลองจะได้ดำเนินไปโดยสะดวก สามารถตรวจสอบผลการทดลอง และได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้และเป็นประโยชน์ ความรู้และทักษะในการเลือกเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลองนี้ เป็นการนำเอาประสบการณ์ที่สั่งสมกันมาจากการที่ได้ลงมือทำการทดลองในเรื่องต่างๆ มาใช้ ตัวอย่างเช่น ในการทดลองทางเคมีเพื่อตรวจสอบ pH ของสารละลาย นักศึกษาเคยใช้ Universal Indicator หรือ pH-meter เป็นเครื่องมือตรวจวัดความรู้และทักษะในการใช้เครื่องมือเครื่องใช้เหล่านี้ตรวจสอบ pH ของสารละลาย ต่อมาเมื่อต้องการจะออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐาน ซึ่งในการทดลองจะต้องมีเรื่องของการตรวจสอบ pH ของสารละลายอยู่ด้วย นักศึกษาก็ทราบว่าจะต้องตรวจสอบด้วยเครื่องมืออะไร ได้อย่างไร รวมทั้งสามารถบอกได้ด้วยว่าการตรวจสอบด้วยเครื่องมืออย่างใดจะเหมาะสมที่สุด ในเรื่องการวัด นักศึกษาได้เคยผ่านเรื่องของการเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการวัดมาแล้ว เครื่องมือเครื่องใช้อื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน นักศึกษาควรได้ทบทวนดูว่า กระบอกแก้ว สายยาง น้ำปูนใส หลอดทดลอง บีกเกอร์ เทอร์โมมิเตอร์ เทียนไข นาฬิกา ฯลฯ เหล่านี้ปกติใช้สำหรับทำอะไร และสามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ต่อการทดลองได้อย่างไร

### กิจกรรม 13.4

ให้นักศึกษาดูภาพต่อไปนี้ และตอบคำถามที่ให้



ภาพที่ 13.5 กระจกสองใบซ้อนกันเป็นคาลอริมิเตอร์

นักเรียนคนหนึ่งทำการทดลองเพื่อที่จะศึกษาค่าความร้อนจำเพาะของสารต่างๆ เขาสร้างคาลอริมิเตอร์ขึ้นเอง โดยใช้กระจกสองใบซ้อนกัน ดังในภาพที่ 13.5 สารตัวอย่างที่ได้รับความร้อนจะถูกหย่อนลงในน้ำที่อยู่ในกระจกใบใน

(1) วัสดุอะไรที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นวงกบ ดังในภาพที่ 13.5

- |                        |                                      |
|------------------------|--------------------------------------|
| ก. อลูมิเนียมแผ่นเรียบ | ง. กระจกแข็งหนาๆ                     |
| ข. แผ่นเหล็กสีทึบๆ     | จ. วัสดุชนิดเดียวกันกับที่ใช้ทำกระจก |
| ค. แผ่นทองแดงที่ขรุขระ |                                      |

(2) ควรจะใส่อะไรลงไปในห้องว่างระหว่างกระจกทั้งสองใบนี้

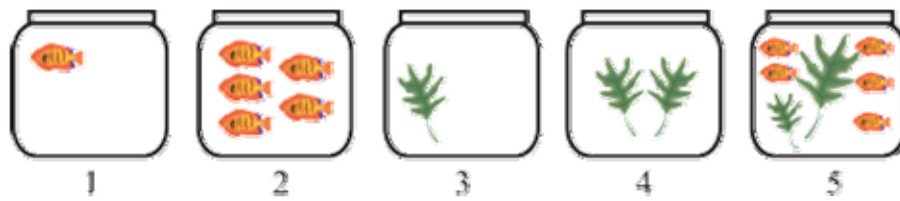
- |              |                                |
|--------------|--------------------------------|
| ก. อากาศ     | ง. ของเหลวที่มีความหนาแน่นมาก  |
| ข. น้ำแข็ง   | จ. ของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อย |
| ค. น้ำธรรมดา |                                |

### แนวตอบกิจกรรม 13.4

(1) วัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวงกบ คือ ข้อ ง. กระจกแข็งหนาๆ ทั้งนี้เพราะจากตัวเลือกทั้งห้ามีกระจกแข็งเท่านั้นที่เป็นฉนวน

(2) สิ่งที่อยู่ในช่องว่างระหว่างกระจกทั้งสองใบควรจะเป็น อากาศ เพราะอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว

สิ่งที่ควรคำนึงอีกอย่างหนึ่งคือ แบบของการทดลองที่ออก ไม่ควรมีเครื่องมือใช้ไม้สอยที่ไม่จำเป็น เพราะเป็นการเพิ่มภาระและไม่ให้ประโยชน์อะไรขึ้นมาด้วย



ภาพที่ 13.6 เครื่องใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างจากการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพืชและสัตว์ดังภาพที่ 13.6 นั้น อุปกรณ์หมายเลข 1 และ 3 ไม่จำเป็นต้องมี

### เรื่องที่ 13.5

#### การฝึกการออกแบบและดำเนินการทดลอง

นักศึกษาได้ผ่านกิจกรรมเกี่ยวกับการฝึกวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมมติฐานกับการทดลอง ได้ฝึกออกแบบการทดลองเพื่อที่จะตรวจสอบสมมติฐานที่กำหนดมาให้แล้ว รวมทั้งได้ทราบถึงแนวทางบางประการในการเลือกวิธีการในการทดลองตลอดจนเรื่องของการเลือกเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลองมาแล้ว ต่อไปนี้นักศึกษาจะได้ฝึกการดำเนินการทดลอง ซึ่งมีการทบทวนทักษะอื่นๆ เช่น การสร้างสมมติฐาน การวัด การบันทึกข้อมูล ฯลฯ ร่วมด้วย

#### กิจกรรม 13.5 (1)

จากการสังเกตการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาขนาดต่างๆ ในร้านนาฬิกาแห่งหนึ่งทำให้มีผู้สงสัยว่า “คาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับสิ่งใด” เขาได้ตั้งสมมติฐานที่คิดว่า อาจจะเป็นคำตอบของปัญหานี้ ดังนี้

“คาบการแกว่งของลูกตุ้ม ขึ้นอยู่กับความยาวของแขนลูกตุ้ม”

ให้นักศึกษาปรับปรุงสมมติฐาน โดยเพิ่มรายละเอียดที่ช่วยชี้แนะแนวทางในการทดลองให้มากเท่าที่จะทำได้ หลังจากนั้นให้นักศึกษาตรวจสอบสมมติฐานโดย

1. ออกแบบการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้
  - เชือกหรือด้ายเส้นเล็กๆ ยาวประมาณ 1 เมตร
  - แขนเกลียว หรือวงแหวนเหล็ก

- ตะปูขนาด 2.5 เซนติเมตร
  - ก้อน
  - นาฬิกาที่จับเวลาเป็นวินาทีได้
  - ไม้บรรทัดที่มีหน่วยวัดเป็นเซนติเมตร
2. ดำเนินการทดลองตามแบบของการทดลองที่ออก
  3. เขียนรายงานการทดลองโดย
    - ระบุตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุม
    - ระบุวิธีดำเนินการทดลอง
    - บันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
    - นำเสนอข้อมูลในรูปของกราฟ
    - ลงข้อสรุปผลการทดลองจากข้อมูลที่ได้ว่าสนับสนุนหรือคัดค้านสมมติฐาน

### แนวปฏิบัติกิจกรรม 13.5 (1)

เมื่อทำกิจกรรมและบันทึกผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้นักศึกษาตอบคำถามดังต่อไปนี้ในกิจกรรมที่ดำเนินการทดลองนั้น

- ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามคืออะไร
- ตัวแปรที่ต้องควบคุมคืออะไร
- นักศึกษาวางแผนใช้อุปกรณ์แต่ละชนิดอย่างไร
- การทดลองต้องแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดทดลอง และชุดควบคุมหรือไม่
- นักศึกษาใช้เชือกและแป้นเกลียวแทนสิ่งใด
- นักศึกษาจะกำหนดความยาวของแขนลูกตุ้มได้อย่างไร
- นักศึกษากำหนดความยาวของแขนลูกตุ้มเป็นกี่ระยะ แต่ละระยะยาวเท่าใด
- นิยามเชิงปฏิบัติการของ คาบ คืออะไร
- การกำหนดวิธีวัดเวลาที่ใช้ในการแกว่ง 1 คาบอย่างไร
- นักศึกษาวัดเวลาการแกว่งที่ละคาบหรือวัดที่หลายๆ คาบแล้วหาค่าเฉลี่ย
- การจับเวลาเริ่มตั้งแต่คาบแรกของการแกว่ง หรือปล่อยให้แกว่งไปก่อนแล้วเริ่มจับเวลาที่คาบใดคาบหนึ่งหลังจากนั้น
- ในแต่ละความยาวของแขนลูกตุ้ม นักศึกษาทดลองเพื่อจับเวลาที่ครั้ง
- เมื่อเริ่มต้นแล้วแต่ละครั้ง นักศึกษาดึงลูกตุ้มออกมาด้านข้างให้แขนทำมุมกับแนวดิ่งเท่ากันทุกครั้งหรือไม่
- ตารางบันทึกข้อมูลของนักศึกษามีที่ช่อง อะไรบ้าง
- นักศึกษานำข้อมูลในตารางช่องใดมาเขียนกราฟ

- นักศึกษาลงข้อสรุปได้หรือไม่ว่า ผลการทดลองสนับสนุน หรือคัดค้านสมมติฐานข้างต้น

โปรดย้อนกลับไปพิจารณาวิธีดำเนินการทดลอง และรายงานการทดลองของนักศึกษาในกิจกรรม 13.5 (1) อีกครั้งหนึ่ง ถ้าคิดว่ามีสิ่งใดควรปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม โปรดดำเนินการให้เรียบร้อย ก่อนที่จะอ่านข้อความต่อไป

### แนวตอบกิจกรรม 13.5 (1)

อาจปรับปรุงสมมติฐานได้เป็น “ถ้าความยาวของแขนลูกตุ้มมีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้ม ดังนั้น ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ที่ควบคุมให้เหมือนกัน ลูกตุ้มที่มีความยาวของแขนต่างกัน จะมีคาบการแกว่งต่างกัน

1. ตัวแปรอิสระ คือ ความยาวของแขนลูกตุ้ม
2. ตัวแปรตาม คือ เวลาที่ใช้ในการแกว่ง 1 คาบ
3. ตัวแปรที่ต้องควบคุม คือ น้ำหนักลูกตุ้ม (จำนวนเป็นเกลียว) มุมของการแกว่ง สถานที่ทดลอง ช่วงเวลาทำการทดลอง
4. นิยามเชิงปฏิบัติการ ได้แก่

**คาบการแกว่ง** หมายถึง เวลาที่ลูกตุ้มใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ โดยนับตั้งแต่เคลื่อนที่ออกจากจุดเริ่มต้นจนกลับมาสู่จุดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

**มุมของการแกว่ง** หมายถึง มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวตั้ง ณ ตำแหน่งที่ผูกติดกับตะปู ขณะตั้งเป็นเกลียวออกไปด้านข้างเมื่อจะเริ่มทดลองแต่ละครั้ง

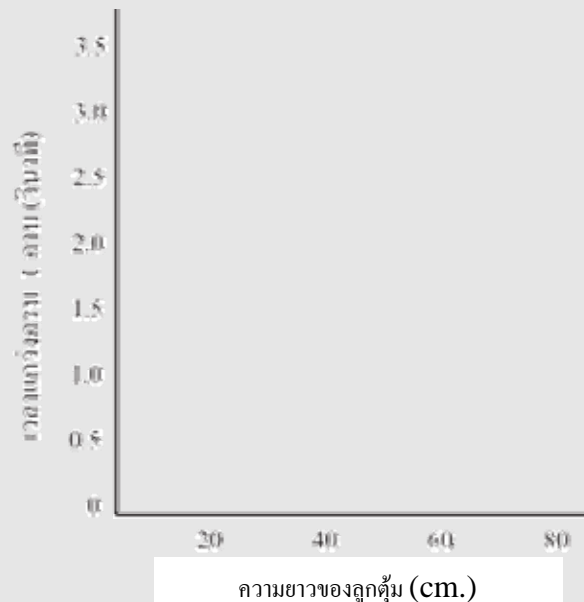
#### 5. วิธีดำเนินการทดลอง

- 1) ตอกตะปูติดกับขอบด้านข้างโต๊ะที่สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร ตั้งอยู่ในที่สงบ
- 2) ผูกปลายเชือกข้างหนึ่งกับแหวนเหล็ก 1 อัน และผูกปลายอีกข้างหนึ่งกับหัวตะปูให้ความยาวของเชือกจากแหวนเหล็กถึงตะปูยาว 80 เซนติเมตร ปล่อยให้มันเป็นเกลียวแขวนห้อยอย่างอิสระ
- 3) เป็นเกลียวจะทำหน้าที่เป็นลูกตุ้ม เส้นเชือกที่แขวนจะทำหน้าที่เป็นแขนลูกตุ้ม
- 4) ดึงแหวนเหล็กออกมาทางด้านข้าง ให้เส้นเชือกทำมุมกับแนวตั้งขนาดหนึ่ง เรียกว่ามุมของการแกว่ง
- 5) ปล่อยให้แหวนเหล็กพร้อมกับเริ่มจับเวลาไปจนครบ 10 คาบการแกว่ง
- 6) ทำซ้ำในข้อ 4-5 อีก 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย
- 7) เปลี่ยนความยาวของแขนลูกตุ้ม (เส้นเชือกจากแหวนเหล็กถึงหัวตะปู) เป็น 60, 40 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ละช่วงความยาวทำการทดลองเหมือนในข้อ 4-6 แล้วบันทึกข้อมูลลงในตาราง

ตารางบันทึกข้อมูล

ความยาวของ แขนลูกตุ้ม (cm.)	เวลาของการแกว่งครบ 10 คาบ (วินาที)				เวลาของการ แกว่ง 1 คาบ (วินาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
20					
40					
60					
80					

นำเสนอข้อมูลในรูปของกราฟ



สรุปผลการทดลอง

---



---



---

**กิจกรรม 13.5 (2)**

จากสถานการณ์ในกิจกรรม 13.5 (1) ถ้ามีผู้ตั้งสมมติฐานว่า “น้ำหนักของลูกตุ้มมีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้ม”

ให้นักศึกษาดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ปรับปรุงข้อความของสมมติฐานนี้เพื่อให้เห็นแนวทางในการดำเนินการ การทดลอง เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
2. ออกแบบการทดลอง โดยกำหนดอุปกรณ์ในการทดลองด้วยตนเอง
3. ดำเนินการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
4. เขียนรายงานการทดลอง

**แนวตอบกิจกรรม 13.5 (2)**

แนวทางของคำถามและคำตอบเป็นทำนองเดียวกับกิจกรรม 13.5 (1)



## เรื่องที่ 13.6

### การกำหนดปัญหาจากผลการทดลอง

นักศึกษาได้มาถึงช่วงสุดท้ายของเรื่องราวเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์คือการทดลองซึ่งเป็นการรวมและนำเอาทักษะอื่นๆ อีกหลายทักษะมาใช้ประกอบกันด้วย ถ้านักศึกษาได้มีโอกาสฝึกกิจกรรมการทดลองเช่นนี้บ่อยครั้งเข้า ก็จะมี ความชำนาญเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

ในเรื่องราวของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์นั้น สิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่ง ก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลอง กับปัญหาใหม่ๆ ที่อาจเกิดขึ้น การมองเห็นปัญหา เป็นเรื่องของความช่างสังเกตและความคิดที่ลึกซึ้ง แต่อย่างไรก็ตาม รายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองก็เป็นสิ่งที่ช่วยแนะปัญหา อันจะนำไปสู่การสร้างข้อสมมติฐานและทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานต่อไป อันเป็นผลให้เกิดความรู้เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ นักศึกษาจึงควรได้ลองฝึกตั้งข้อสงสัยหรือสร้างปัญหา จากผลการทดลองที่ได้

การทดลองบางการทดลองอาจมีผู้ตั้งข้อสงสัยได้มากมาย ตัวอย่างเช่น ถ้ามีผู้ทำการทดลองเพื่อที่จะตอบปัญหาว่าพืชที่ปลูกในร่มกับพืชที่ปลูกกลางแจ้ง อย่างไหนจะงามกว่ากัน และปรากฏว่าพืชที่ปลูกกลางแจ้งเจริญงอกงามกว่าพืชที่ปลูกในร่ม หลายคนก็คงมีข้อสงสัยมากมาย เกี่ยวกับผลการทดลองนี้เป็นไปได้หรือไม่ว่าพืชที่อยู่กลางแจ้งได้รับแสงสว่างมากกว่า ทำให้เจริญงอกงามได้ดีกว่า แต่ข้อมูลเพียงเท่านี้ไม่ช่วยให้จัดข้อสงสัยอื่นๆ อีกมากมาย อะไรบ้างที่อาจเป็นสาเหตุของความแตกต่างดังกล่าว อาจจะเป็นน้ำ ปุ๋ย โรค แมลงที่เป็นศัตรู ฯลฯ เพราะข้อมูลไม่ได้บอกว่าการทดลองมีการควบคุมเพียงใด การทดลองที่มีการควบคุมจะขจัดปัจจัยอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป แต่อย่างไรก็ตามปัญหาก็ยังอาจมีอยู่

ขอให้นักศึกษาพิจารณาข้อความต่อไปนี้

เพื่อที่จะทดสอบสมมติฐานที่ว่าถ้าขับรถด้วยอัตราเร็วสูง จะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันมากขึ้น นาย ก. จึงเลือกหาถนนสายตรงที่ยาวเพียงพอสายหนึ่ง เพื่อที่จะทำการทดลอง เขาขับรถจากจุดเริ่มต้นไป ยังจุดสุดท้ายด้วยความเร็วไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง จากการวัดปริมาณน้ำมันที่ใช้ไป ปรากฏผลดังตาราง

ตารางที่ 13.8 ความเร็วของรถยนต์กับปริมาณน้ำมันที่ใช้ไป

ครั้งนี้	ความเร็วของรถยนต์ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ไป (ลิตร)
1	80	6
2	100	8
3	120	10

จากตารางที่ 13.8 จะเห็นได้ว่า ข้อมูลนี้สนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้

นักศึกษามีปัญหาหรือสงสัยอยากทราบอะไรอีกบ้างหรือไม่ ถ้าไม่ ลองบันทึกข้อสงสัยของนักศึกษาไว้ ก่อนที่จะอ่านต่อไป

ในการทดลองดังกล่าว ประเภทของรถยนต์ อายุ สภาพของรถ ฯลฯ ได้ถูกควบคุมไว้ให้อยู่ในสภาพที่เหมือนกัน สิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปคือความเร็วของรถ

นักศึกษาจะเห็นได้ว่า จากผลการทดลองที่ได้เพียงเท่านี้ เราไม่แน่ใจนักว่าถ้าขับรถด้วยความเร็วที่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันจะเป็นอย่างไร แม้ว่าการขับรถเร็วกว่าอัตราดังกล่าวจะทำให้ได้อีกไม่มากไปกว่านี้เท่าไรนักก็ตาม

ยังมีคำถามหรือข้อสงสัยอะไรอีกบ้างหรือไม่ เป็นต้นว่า ถ้าขับรถช้าๆ จะสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยลงเสมอไปหรือไม่

และถ้าพิจารณาให้ถี่ถ้วน บางคนอาจจะสังเกตได้ว่า จากข้อมูลที่ได้ในตารางเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นในระดับ 80, 100, และ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันจะเป็น 6, 8 และ 10 ลิตรตามลำดับ ข้อสงสัยที่อาจจะตั้งขึ้นได้อีกข้อหนึ่งก็คือ ตัวแปรทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงหรือไม่

ข้อสงสัยต่างๆ นั้น มีไม่น้อยที่ได้มาจากการทดลอง ข้อสงสัยหรือปัญหาเหล่านี้เป็นที่มาของสมมติฐาน ให้หาทางทดลองศึกษาค้นคว้าเพื่อหาคำตอบต่อไป ผลการทดลองทำให้ได้คำตอบบางประการ แต่ก็อาจก่อให้เกิดข้อสงสัยขึ้นด้วย การศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์จึงได้ดำเนินเรื่อยมา จนกระทั่งปัจจุบันนี้มนุษย์ยังได้รับความรู้ต่างๆ เพิ่มขึ้นมากมาย แต่ก็ยังมีข้อสงสัยอีกมากมายเช่นกัน การศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นไปอย่างไม่หยุดยั้ง

## ภาคผนวก

### คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

1. การสังเกต	= observing
2. การจำแนกประเภท	= classifying
3. การวัด	= measuring
4. ความแม่นยำ	= precision
5. ความถูกต้อง	= accuracy
6. การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสและเวลา	= using Space / Time relationship
7. การคำนวณ	= using number
8. การสื่อความหมาย	= communicating
9. การลงความเห็นจากข้อมูล	= inferring
10. การทำนาย	= predicting
11. การตั้งสมมติฐาน	= formulating hypotheses
12. การควบคุมตัวแปร	= controlling variables
13. การตีความหมายข้อมูล	= interpreting data
14. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	= defining operationally
15. การทดลอง	= experimenting
16. การทำนายแบบเพิ่มเติมความ	= interpolation
17. การทำนายแบบขยายความ	= extrapolation

## บรรณานุกรม

### ชุดที่ 1-13

- คลีอบเฟอร์, ลีโอโปลด์ อี. **ข้อสอบวิทยาศาสตร์เขียนอย่างไรให้มีคุณภาพ** แปลโดย พิศาล  
สร้อยธุหร้า. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ,  
2525.
- ดุษฎี ชุมสาย, หม่อมหลวง. **หนังสืออุเทศวิชาคณิตศาสตร์ สถิติ**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์  
คุรุสภา, 2507.
- ทบวงมหาวิทยาลัย คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์  
**ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ (ฉบับร่าง)** ทบวงมหาวิทยาลัย, 2524.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **คณิตศาสตร์ช่วงอุตสาหกรรม 1**.  
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2524.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **แบบเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ค.514 ประโยค  
มัธยมศึกษาตอนปลาย** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2524
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **เอกสารอ่านประกอบสำหรับครูการสอนเคมี**  
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์การศาสนา, 2521.
- สุชุม ศรีชัยรัตน์. “หน่วย SI”. วารสารสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่  
7 (ฉบับที่ 1-2, 2521) : 40-51.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. **การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด** พระนคร : วัฒนาพานิช, 2517.
- Bloom Benjamins, et al. **Hand Book on Formative Evaluation of Student Learning**.  
New York : McGraw-Hill, 1971.
- BSCS. **Biology Teacher Handbook** New York : John Wiley and Sons, Inc., 1970.
- Klopfers, L.E. “Evaluation of Learning in Science”. **Handbook on Formative and  
Summative Evaluation of Student Learning**, Edited by B.S. Bloom, et.al. New  
York : McGraw-Hill, 1971.
- The American Association for the Advancement of Science. **Science A Process Approach :  
Commentary for Teacher**. Washington D.C : AAAS, 1970