บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตามลำดับ ดังต่อไปนี้

1. ความหมายและสมบัติของของไหล
2. ความหนืด
3. การทดลอง
4. วิธีสอนโดยใช้การทดลอง
5. สื่อการเรียนรู้
6. การออกแบบสร้างชุดทดลองและการประเมินชุดทดลอง

1. ความหมายและสมบัติของของไหล

ของไหลเป็นสสารที่มีอยู่ทั่วไปทุกหนแห่ง และมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือรูปทรงที่แตกต่างจากของแข็งอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ ของแข็งสามารถรักษารูปทรงของตนเองได้ ส่วนของไหลจะไม่สามารถรักษารูปทรงได้ด้วยตนเอง กล่าวคือของเหลวจะเปลี่ยนรูปทรงไปตามรูปร่างของภาชนะที่ของเหลวนั้นอยู่ ของไหลมีคุณสมบัติที่น่าสนใจคือ เมื่อของไหลถูกแรงภายนอกกระทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ของไหลดังกล่าวจะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ยาก ในขณะที่ของแข็งเมื่อได้รับแรงเดียวกันจะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ง่ายกว่า (วิโรจน์ ลิ่มตระการ, 2552, หน้า 3)

โดยทั่วไปของไหลจะมีอยู่ 2 สถานะคือ แก๊สและของเหลว ในบางครั้งของไหลอาจอยู่ในสภาวะผสมตั้งแต่สองสถานะขึ้นไป เช่น น้ำที่ถูกนำมาต้มและเริ่มเดือด จะเกิดฟองอากาศลอยขึ้นมา เครื่องดื่มที่บรรจุแก๊ส เป็นต้น ของไหลมีสมบัติดังนี้

1. ความหนาแน่น (Density)
2. น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight) และความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
3. คุณสมบัติของก๊าซในอุดมคติ
4. ความดัน (Pressure)
5. ความหนืด (Viscosity)
6. ความดันไอ (Vapor pressure)
7. แรงตึงผิว (Surface tension)

2. ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) คือ สมบัติของของไหลที่ใช้ต้านต่อความเค้นเฉือนและเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล จากกฎความหนืดของนิวตัน พบว่าความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน ความเค้นเฉือนในของไหลหนึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยยังขึ้นอยู่กับความหนืดของของไหลนั้นด้วย (มนตรี พิรุณเกษตร, 2549, หน้า 498)

ความหนืดเป็นความเสียดทานภายในของของไหล แรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหลมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของของไหลเรียกว่า แรงหนืด ความหนืดมีความสำคัญต่อการไหลของของไหลในท่อเช่น การไหลของเลือดในเส้นเลือด การหล่อลื่นของเครื่องยนต์บางส่วน เป็นต้น

ความหนืดเป็นคุณสมบัติ ที่แสดงถึงพฤติกรรมของของไหลต่อแรงทางกลได้เป็นอย่างดี เมื่อของไหลถูกแรงเฉือนกระทำ ของไหลจะเกิดการเสียรูป และเคลื่อนที่ตามแนวแรงด้วยอัตราความเครียดเฉือนระดับหนึ่ง หากเป็นของไหลที่มีค่าความหนืดมากก็จะเคลื่อนที่ตามแรงเฉือนได้น้อยกว่าของไหลที่มีค่าความหนืดน้อยกว่า เปรียบเสมือนกับว่าของไหลที่มีค่าความหนืดมากจะต้านการเคลื่อนที่ตามแรงเฉือนได้ดีกว่า จากสมการความหนืดของนิวตัน เมื่อกำหนดให้ η แทนค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute viscosity) หรือความหนืดพลวัต (Dynamic viscosity) และบ่อยครั้งที่ในการคำนวณมีการใช้ค่าความหนืดที่หารด้วยความหนาแน่น ทำให้มีการกำหนดว่าเป็นค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) แทนด้วย ν หากของไหลที่มีค่าความหนืดพลวัตคงที่ จะเรียกของไหลนั้นว่าเป็นของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid) หากมีค่าไม่คงที่ จะเรียกว่า ของไหลนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluid) และถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์จะเรียกว่า ของไหลอุดมคติ (Ideal fluid) (วิโรจน์ ลิ่มตระการ, 2552, หน้า 21-23)

เมื่อของไหลเคลื่อนที่จะเกิดความเค้นเฉือน (τ) ขนาดของความเค้นเฉือนขึ้นกับความหนืดของของไหล ซึ่งคือแรงที่ต้องการให้ชั้นของพื้นที่ของไหลหนึ่งหน่วยเลื่อนไปบนของไหลอีกชั้นหนึ่ง ความเค้นเฉือนคือ แรงหารด้วยพื้นที่ที่ขนานไปกับการไหล ขนาดของความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของความเร็วระหว่างตำแหน่งในของไหล เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเค้นเฉือนของไหลที่อยู่ระหว่างแผ่นแบนราบสองแผ่นซึ่งอยู่ห่างกันไม่มากนักให้แผ่นแบนราบด้านล่างอยู่กับที่และดึงแผ่นราบด้านบนด้วยความเร็ว (v) ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านขวาเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานเนื่องจากความหนืดทำให้เกิดการ

ไหลของของเหลวเป็นชั้น ๆ ลดหลั่นลงมาจากแผ่นบนจนกระทั่งของไหลหยุดนิ่งที่แผ่นล่าง โดยความเร็วเป็นศูนย์ที่แผ่นล่าง ($y=0$) ไปยังความเร็วของแผ่นราบด้านบนเท่ากับ v ($y=y$) เขียนสมการของความเค้นเฉือนของของไหลนิวโตเนียนได้เป็น

$$\tau = \frac{\eta dv}{dy}$$

สมการการไหลของของไหลนิวโตเนียนเรียกว่า กฎความหนืดของนิวตัน (Newton's law of viscosity) หน่วยของความหนืดได้จากการแทนค่าหน่วยของความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนดังสมการ

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dy} = \frac{N}{m^2} \cdot \frac{m}{m/s} = Pa \cdot s$$

ตารางที่ 2-1 หน่วยของความหนืด (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2551, หน้า 11)

หน่วยระบบ	หน่วยของความหนืดไดนามิก	หน่วยของความหนืดจลน์
สากล	$N \cdot s/m^2$, Pa·s หรือ kg/m·s	m^2/s
อเมริกันซีจีเอส	$lb \cdot s/ft^2$ หรือ slug/ft.s	ft^2/s
	poise = $dyne \cdot s/cm^2$ = g/cm·s = 0.1 Pa·s	stoke = $cm^2/s = 1\times10^{-4}$ m^2/s
	centipoises = poise/100	centistokes = stoke/100
	centipoises =0.001 Pa·s =1.0 m Pa·s	centistokes =1×10^{-6} m^2/s = 1m m^2/s

ความหนืดของของไหลแปรผันกับอุณหภูมิ ซึ่งขึ้นกับว่าของไหลนั้นเป็นของเหลวหรือก๊าซ โดยความหนืดของของเหลวจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังสมการประมาณค่าความหนืดซึ่งเป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ คือ

$$ln\ \eta = a + b\ ln\ T \quad หรือ \quad \eta = e^{a-b\ ln\ T}$$

สำหรับค่าคงที่ a และ b ของของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิ K หรือ R โดยหน่วยของความหนืดคือ เซ็นติพอยส์ แสดงในตารางที่ 2-2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-2 ค่าคงที่ของความหนืดสำหรับของเหลว (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2551, หน้า 11)

ของเหลว	T (K)		T ($^{\circ}$R)	
	a	b	a	b
อะซีโตน	14.64	-2.77	16.29	2.77
เบนซีน	21.99	-3.95	24.34	-3.95
น้ำมันดิบ 35°API	53.73	-9.01	59.09	-9.01
เอทานอล	31.63	-5.53	34.93	-5.53
กลีเซอรอล	106.76	-17.60	117.22	-17.60
น้ำมันก๊าด	33.41	-5.72	36.82	-5.72
เมทานอล	22.18	-3.99	24.56	-3.99
ออกเทน	17.86	-3.25	19.80	-3.25
เพนเทน	13.46	-2.62	15.02	-2.62
น้ำ	29.76	-5.24	32.88	-5.24

ความหนืดของของเหลวแปรผกผันกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดของของเหลวจะมีค่าลดลงดังตารางที่ 2-3

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-3 ความหนาแน่นและความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Ligget, 1994)

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนืด ($N \cdot s/m^2 \times 10^{-3}$)
0	999.8	1.80
5	1000.0	1.52
10	999.7	1.31
15	999.2	1.15
20	998.3	1.00
25	997.1	0.897
30	995.7	0.801
40	992.3	0.659
50	988.0	0.544
60	983.2	0.470
70	977.7	0.405
80	971.6	0.356
90	965.1	0.318
100	958.1	0.284

มนตรี พิรุณเกษตร (2549, หน้า 498-505) กล่าวถึงการวัดความหนืดและเครื่องมือวัดความหนืดว่า เครื่องมือวัดความหนืดของของเหลวเรียกว่า มาตรความหนืด (Viscometer) ขณะทำการวัดความหนืดภายในมาตรวัดจะบรรจุของเหลวที่ต้องการวัดและทำให้ของเหลวนั้นเคลื่อนที่หรือไหลแบบราบเรียบโดยการทำให้ของเหลวนั้นมีความแตกต่างของความดัน หรืออาจจะหมุนมาตรวัดทำให้ของเหลวดังกล่าวเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นระหว่างทำการวัดจะต้องควบคุมอุณหภูมิของของเหลวให้มีค่าคงตัว

มาตรความหนืดจำแนกออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ มาตรวัดความหนืดเซย์โบลต์ มาตรความหนืดชนิดถ้วยหมุน มาตรความหนืดชนิดอาศัยการตกของลูกกลมเหล็กและท่อวัดความหนืด

1. มาตรวัดความหนืดเซย์โบลต์ คือ มาตรวัดความหนืดชนิดหลอดรูเล็ก (Capillary tube-type viscometer) มีหลักการทำงานตามสมการการไหลฮาเกิน-ปัวเซย์ (Hagen-Poiseuille flow) ประกอบด้วยหลอดบรรจุของเหลวที่ต้องการวัดรอบ ๆ หลอดบรรจุจะเป็นน้ำมันซึ่งอยู่ในตัวถัง

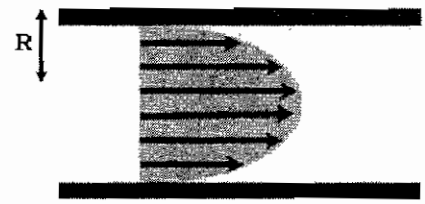
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อุปกรณ์ น้ำมันในถังนี้จะถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยอาศัยการทำงานระหว่างตัวควบคุมอุณหภูมิ และตัวทำความร้อนซึ่งติดตั้งไว้ภายในถังบรรจุน้ำมันดังกล่าว นอกจากนี้บริเวณทางออกซึ่งอยู่ด้านล่างของหลอดบรรจุของเหลวจะเป็นออริฟิซมาตรฐาน และที่ด้านล่างสุดจะนำถ้วยตวงปริมาตร 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร มารองไว้ใต้หลอดบรรจุ เมื่อของเหลวตัวอย่างในหลอดบรรจุมีอุณหภูมิตามที่กำหนดในมาตรฐานการทดลองจึงดึงตัวกั้นออกเพื่อปล่อยของเหลวและเริ่มจับเวลาจนกระทั่งของเหลวไหลลงเต็มถ้วยตวงด้านล่างจึงปิดตัวกั้น เวลาที่จับได้นั้นเรียกว่า วินาทีสากลของเซย์โบลต์ (Saybolt Universal Seconds, SUS)

2. มาตรความหนืดชนิดถ้วยหมุน มาตรความหนืดชนิดถ้วยหมุนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความหนืดของของเหลว ซึ่งประกอบด้วยถ้วยหมุนรูปทรงกระบอก แกนกลางเป็นแท่งทรงกระบอกตัน ถูกยึดอยู่กับที่ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน ของเหลวที่ต้องการวัดความหนืดจะถูกเติมลงในถ้วยหมุนและของเหลวจะถูกบรรจุอยู่ภายในบริเวณวงแหวนระหว่างถ้วยกับทรงกระบอกแกนกลาง ถ้วยจะถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว ทำให้ของเหลวถูกเหวี่ยงหมุนรอบแกนกลางไปพร้อม ๆ กับถ้วยหมุนนั้น เนื่องจากถ้วยหมุนด้วยกำลังขับของมอเตอร์ ทอร์กจะถูกถ่ายโอนผ่านของเหลวไปสู่ทรงกระบอกแกนกลาง เนื่องจากทรงกระบอกแกนกลางอยู่นิ่งกับที่จึงเกิดทอร์กต้านการหมุนกระทำต่อของเหลว และสามารถหาความหนืดจากทอร์กต้านการหมุนได้

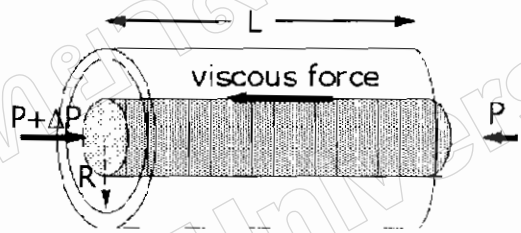
3. มาตรความหนืดชนิดอาศัยการตกของลูกกลมเหล็ก มาตรความหนืดชนิดนี้เป็นหลอดวัดที่บรรจุของเหลวที่ต้องการวัดความหนืด นำลูกกลมเหล็กที่ทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาแน่น ปล่อยให้ตกลงมาตามแนวดิ่งในของเหลว จับเวลาขณะลูกกลมเหล็กตกลงมาได้ระยะทางช่วงหนึ่ง ความเร็วของลูกกลมเหล็กที่คำนวณได้นี้เรียกว่า ความเร็วสุดท้าย (Terminal velocity) ความเร็วสุดท้ายนี้เป็นความเร็วของลูกเหล็กที่ตำแหน่งด้านล่างสุดในช่วงระยะทางดังกล่าว แรงภายนอกที่กระทำต่อลูกกลมเหล็กได้แก่ น้ำหนักของลูกกลมเหล็ก แรงลอยตัว และแรงหนืด เมื่อลูกเหล็กเคลื่อนที่มาด้วยความเร็วคงตัว ทำให้ความเร่งเป็นศูนย์ และสามารถหาค่าความหนืดจากสมการของแรงได้

4. ท่อวัดความหนืดของเหลว การวัดความหนืดขณะของเหลวไหลผ่านท่อแบบราบเรียบจากการไหลแบบราบเรียบเต็มท่อสำหรับของไหลนิวโทเนียน การกระจายความเร็วจะอยู่ในรูปพาราโบลา ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 การไหลของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

การไหลของของเหลวผ่านท่อกลม เป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ โดยพิจารณาการไหลของของเหลวในท่อวงแหวนเล็ก ๆ ที่มีรัศมีภายใน r และรัศมีภายนอก R มีความยาว L เป็นดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 การไหลของของเหลวผ่านท่อกลม

จากการพิจารณาอัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ดังภาพที่ 2-2 เมื่อ ΔP คือ ผลต่างความดันที่ปลายทั้งสองข้างของท่อ สามารถหาแรงดันได้จากสมการที่ 2-1

$$F_{pressure} = \Delta P\left(\pi r^2\right) \tag{2-1}$$

แรงหนืด เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของของเหลว มีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่และขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของเหลว ดังสมการที่ 2-2

$$F_{viscosity} = -\eta\left(2\pi rL\right)\frac{dv}{dr} \tag{2-2}$$

ผลรวมของแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์

$$F_{pressure} + F_{viscosity} = 0$$

$$\Delta P\left(\pi r^2\right) = \eta\left(2\pi rL\right)\frac{dv}{dr}$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\Delta P\left(\pi r^2\right)}{\eta\left(2\pi rL\right)}$$

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ดังภาพที่ 2-1 การไหลภายในท่อเป็นแบบราบเรียบ (Laminar flow) และของเหลวมีความหนืดค่าหนึ่ง พบว่า อัตราเร็วของการไหลมีค่ามากที่สุดบริเวณกลางท่อและอัตราเร็วเป็นศูนย์ที่ผนังท่อ

จากสมการที่ (2-3) ถ้าให้รัศมีภายในเป็น r และรัศมีภายนอกเป็น R พบว่าอัตราเร็วของของเหลวที่บริเวณต่าง ๆ เป็นดังสมการที่ (2-4)

$$\int_{v}^{0} dv = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot\int_{r}^{R} r\,dr$$

$$v(r) = \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right] \qquad (2\text{-}4)$$

สำหรับอัตราการไหลของของเหลวหาได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อเวลาและพบว่าอัตราการไหลของของเหลวผ่านวงแหวนนี้มีค่าเป็น $v\cdot dA$ ดังสมการที่ (2-5) เมื่อแทนค่า $v(r)$ จากสมการ (2-4) ลงในสมการ (2-5) จะได้อัตราการไหลภายในท่อจากบริเวณ $r = 0$ ไปยัง $r = R$ ตามสมการของปัวเซย์ (Poiseuille's equation) ดังสมการที่ (2-6)

$$\frac{dV}{dt} = \int v\cdot dA \qquad (2\text{-}5)$$

$$\frac{dV}{dt} = \int v\cdot dA$$

$$\frac{dV}{dt} = \int_{0}^{R}\left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right]\cdot\left(2\pi r\,dr\right)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\int_0^R \left(R^2 r - r^3\right)dr$$

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\left[\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4}\right]$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta L} \qquad (2\text{-}6)$$

เมื่อให้ Q แทนอัตราการไหลของของเหลว $\left(\frac{dV}{dt}\right)$ ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความดันเกจที่กระทำต่อของเหลวในท่อมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของเหลวจากระดับท่อ h จากสมการที่ (2-6) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{\pi \rho g h R^4}{8\eta L}$$

ดังนั้นค่าความหนืดของของเหลวหาได้จากสมการที่ (2-7)

$$\eta = \frac{\pi \rho g h R^4}{8QL} \qquad (2\text{-}7)$$

เมื่อ η คือ ค่าความหนืด (Pa·s)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงของเหลวจากระดับท่อ (m)

R คือ รัศมีท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. การทดลอง (Experimenting)

ภพ เลาหไพบูลย์ (2537, หน้า 137) กล่าวถึงความหมายของการทดลองและขั้นตอนของกิจกรรมการทดลองไว้ดังนี้

การทดลอง (Experimenting) หมายถึง กระบวนการปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบหรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ในการทดลองจะประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้นตอน คือ

1. การออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนลงมือทดลองจริง เพื่อกำหนดวิธีการดำเนินการทดลองซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดและควบคุมตัวแปร และวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ในการทดลอง

2. การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การลงมือปฏิบัติการทดลองจริง ๆ

3. การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การจดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งอาจจะเป็นผลของการสังเกต การวัด และอื่น ๆ

การทดลอง (Experimental) และการปฏิบัติการในห้องทดลอง (Laboratory work) เป็นส่วนสำคัญในโปรแกรมการสอนวิทยาศาสตร์ จุดมุ่งหมายของโปรแกรมการสอนวิทยาศาสตร์ จะเน้นที่การพัฒนาวิธีการทดลองและรูปแบบของการปฏิบัติการ เพื่อที่จะให้นักเรียนได้มีความเข้าใจเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว และเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ เป็นการเน้นการหาแนวทางให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตนเองหรือคิดค้นหาคำตอบไว้ด้วยตัวเอง โดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางในการเรียนการสอน นักเรียนจะเป็นผู้ลงมือกระทำการทดลองด้วยตนเอง เป็นผู้วางแผนการทดลอง การเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ ดำเนินการทดลอง การสังเกต บันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ผล เป็นการช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบคำตอบด้วยตนเอง เช่นเดียวกับการค้นพบของนักวิทยาศาสตร์

4. วิธีสอนโดยใช้การทดลอง

ทิศนา แขมมณี (2553, หน้า 333-336) ได้ให้ความหมายและองค์ประกอบต่าง ๆ ของวิธีสอนโดยใช้การทดลองไว้ดังนี้

ความหมาย

วิธีสอนโดยใช้การทดลอง คือกระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยการที่ผู้สอน/ ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง ผู้สอนให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนและให้ผู้เรียนลงมือทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดย

ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปอภิปรายผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการทดลอง

วัตถุประสงค์

วิธีสอนโดยใช้การทดลอง เป็นวิธีที่มุ่งช่วยให้ผู้เรียนรายบุคคลหรือรายกลุ่มเกิดการเรียนรู้โดยการเห็นผลประจักษ์ชัดจากการคิดและการกระทำของตนเอง ทำให้เกิดการเรียนรู้นั้นตรงกับความเป็นจริง มีความหมายสำหรับผู้เรียนและจำได้นาน

องค์ประกอบของวิธีสอน

1. มีผู้สอนและผู้เรียน
2. มีปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง
3. มีวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
4. มีการทดลอง
5. มีผลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

ขั้นตอนสำคัญของการสอน

1. ผู้สอน/ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง
2. ผู้สอนให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทดลอง ให้ขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองแก่ผู้เรียน โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม
3. ผู้เรียนลงมือทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นตามขั้นตอนที่กำหนดและบันทึกข้อมูลการทดลอง
4. ผู้เรียนวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. ผู้สอนและผู้เรียนอภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการเรียนรู้
6. ผู้สอนประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

เทคนิคและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการใช้วิธีสอนโดยใช้การทดลองให้มีประสิทธิภาพ

1. การเตรียมการ ผู้สอนจะต้องกำหนดจุดมุ่งหมาย กำหนดตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลอง และกระบวนการหรือขั้นตอนในการดำเนินการทดลองให้ชัดเจน รวมทั้งจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม และลองซ้อมทำการทดลองด้วยตนเอง เพื่อจะได้เรียนรู้ประเด็นปัญหาขัดข้องหรืออุปสรรคต่าง ๆ ให้รัดกุมขึ้น ผู้สอนอาจจำเป็นต้องทำเอกสารคู่มือการทดลองให้ผู้เรียน และอาจจัดทำประเด็นคำถามที่จะให้ผู้เรียนหาคำตอบหรือแนวทางที่จะให้ผู้เรียนสังเกตผลการทดลอง นอกจากนั้นในบางกรณีที่การทดลองต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ที่จำเป็น ซึ่งหากผู้เรียนขาดความรู้ดังกล่าวจะไม่สามารถทำการทดลองได้ จึงควรมีการตรวจสอบความรู้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผู้เรียนก่อนทำการทดลอง โดยผู้สอนจะต้องเตรียมแบบทดสอบไว้ด้วย สำหรับการทดลองที่มีอันตราย เช่น การทดลองทางเคมี ผู้สอนจะต้องตรวจสอบความปลอดภัยรวมทั้งเตรียมการทั้งทางด้านการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นด้วย

2. การนำเสนอเรื่อง/ ตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลอง ผู้สอนอาจเป็นผู้นำเสนอปัญหาที่จะใช้ในการทดลองแต่ถ้าทำให้ผู้เรียนมีความรู้สึกว่าปัญหามาจากตัวผู้เรียนเองได้ก็จะยิ่งดี จะทำให้การเรียนรู้หรือการทดลองนั้นมีความหมายสำหรับผู้เรียนมากขึ้น

3. การให้ความรู้/ ขั้นตอน/ รายละเอียดในการทดลอง ผู้สอนอาจเป็นผู้กำหนดขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลอง หรืออาจให้ผู้เรียนร่วมกันวางแผนและกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการทดลองก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสมกับสาระ แต่การให้ผู้เรียนร่วมกันดำเนินการนั้น จะช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นอีก และผู้เรียนจะกระตือรือร้นมากขึ้นเพราะเป็นผู้คิดเอง อย่างไรก็ตามครูจำเป็นต้องคอยดูแลให้คำปรึกษาและความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด

4. การทดลอง การทดลองทำได้หลายแบบ ผู้สอนอาจให้ผู้เรียนลงมือทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ทั้งหมด โดยครูทำหน้าที่สังเกตและให้คำแนะนำหรือให้ข้อมูลป้อนกลับแก่ผู้เรียน หรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองเอง ให้ผู้เรียนสังเกต แล้วทำการทดลองตามไปทีละขั้น หรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองให้ผู้เรียนดูจนจบกระบวนการแล้วให้ผู้เรียนไปทำการทดลองด้วยตนเอง ผู้สอนอาจใช้เทคนิคใดนั้นขึ้นกับความเหมาะสมกับลักษณะของการทดลองครั้งนั้น ผู้เรียนจะเรียนด้วยวิธีนี้ได้ดี หากมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็น ผู้สอนจึงควรฝึกฝนผู้เรียนก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลอง หรือไม่ก็ต้องฝึกไปพร้อม ๆ กัน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวมี 13 ทักษะดังนี้

1. ทักษะการสังเกต
2. ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล
3. ทักษะการจำแนกประเภท
4. ทักษะการวัด
5. ทักษะการใช้ตัวเลข
6. ทักษะการสื่อความหมาย
7. ทักษะการพยากรณ์
8. ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซ (Space)
9. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร
10. ทักษะการตั้งสมมติฐาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

11. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร

12. ทักษะการทดลอง

13. ทักษะการตีความหมายของข้อมูลและการลงข้อสรุป

ผู้สอนจะสอนด้วยวิธีนี้ให้ได้ผลดี จำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะ 13 ประการดังกล่าว จึงจะสามารถช่วยฝึกฝนผู้เรียนตามปัญหาและความต้องการของผู้เรียนได้

5. การรวบรวมข้อมูล ผู้สอนควรให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนในการสังเกตการณ์ทดลอง บันทึกข้อมูลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ รวมทั้งให้ความเอาใจใส่ในกระบวนการทดลอง และกระบวนการทำงานร่วมกันของผู้เรียนด้วย

6. การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ ผู้สอนควรให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผล ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องอื่น ๆ ได้อีกมาก นอกจากนั้นผู้สอนควรให้ผู้เรียนมีการวิเคราะห์อภิปรายเกี่ยวกับกระบวนการในการแสวงหาความรู้ กระบวนการทำงาน และกระบวนการอื่น ๆ และสรุปการเรียนรู้ร่วมกันด้วย

ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอนโดยใช้การทดลอง

ข้อดี

1. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้พิสูจน์ ทดสอบ และเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเอง จึงเกิดการเรียนรู้ได้ดี มีความเข้าใจและจดจำการเรียนรู้นั้นได้นาน

2. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีโอกาสได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ ทักษะกระบวนการคิดและทักษะกระบวนการกลุ่ม รวมทั้งได้พัฒนาลักษณะนิสัยใฝ่รู้

3. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมมาก จะทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้

ข้อจำกัด

1. เป็นวิธีสอนที่มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เครื่องมือวัสดุสำหรับผู้เรียนจำนวนมาก หรือในกรณีที่ต้องออกไปเก็บข้อมูลนอกสถานที่ ก็ต้องมีค่าใช้จ่ายค่ายานพาหนะ ที่พักและวัสดุต่าง ๆ ด้วย

2. เป็นวิธีสอนที่ใช้เวลามาก เนื่องจากการดำเนินการแต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลา

3. เป็นวิธีสอนที่ผู้สอนต้องมีความรู้ความเข้าใจและมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงจะสามารถสอนและฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี

5. สื่อการเรียนการสอน

ความหมายของสื่อการเรียนการสอน

สุวิทย์ มูลคำ (2554, หน้า 59) กล่าวว่า สื่อการเรียนการสอน หมายถึงการนำเอาวัสดุ อุปกรณ์ (เครื่องมือ) หรือวิธีการ (กิจกรรม) มาช่วยให้ครูและผู้เรียนประกอบกิจกรรมการเรียนการสอนให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

กมล เวียสุวรรณ และนิตยา เวียสุวรรณ (2539, หน้า 40) กล่าวว่า สื่อการสอน หมายถึง การนำวัสดุ อุปกรณ์ ระบบและวิธีการมาเป็นตัวกลางในการศึกษาแก่ผู้เรียนได้บรรลุจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ

สื่อการเรียนการสอน เป็นการนำเครื่องมือหรือวิธีการมาประกอบในกระบวนการเรียนการสอน มีหน้าที่เป็นตัวนำความต้องการของครูไปสู่นักเรียน อย่างถูกต้องรวดเร็ว เป็นผลให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปตามจุดมุ่งหมายการสอนได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม

กมล เวียสุวรรณ และนิตยา เวียสุวรรณ (2539, หน้า 43) แบ่งประเภทของสื่อการสอนออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. ประเภทที่ต้องฉาย ได้แก่ สิ่งที่ต้องใช้เครื่องฉาย เช่น สไลด์ ฟิล์มสตริป ฟิล์มลูป แผ่นภาพโปร่งแสง ภาพทึบแสง ภาพยนตร์ ฯลฯ

2. ประเภทที่ไม่ต้องฉาย ได้แก่ สิ่งที่ไม่ต้องใช้เครื่องฉายเลย เช่น รูปภาพ แผนที่ แผนภูมิ กราฟ ของจริง ของตัวอย่าง หุ่นจำลอง ลูกโลก ป้ายนิเทศ กระดานดำ ฯลฯ

3. ประเภทโสตวัสดุและอุปกรณ์ ได้แก่ สิ่งที่เกี่ยวกับอิเล็คทรอนิคส์ เช่น เทปและเครื่องเล่นเทป แผ่นเสียงและเครื่องเสียง เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์

4. ประเภทกระบวนการ วิธีการ และกิจกรรมร่วม เช่น การแสดงละครนิทรรศการ การสาธิต การทดลอง การศึกษานอกสถานที่ ฯลฯ

คุณค่าของสื่อการสอน

กมล เวียสุวรรณ และนิตยา เวียสุวรรณ (2539, หน้า 43-47) กล่าวถึงคุณค่าของสื่อการสอนไว้ดังนี้

1. ช่วยให้ผู้เรียนเรียนได้มากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น

2. ช่วยให้จำนวนเด็กที่สอบตกลดน้อยลง

3. ช่วยให้ผู้เรียนอยากเรียน เรียนรู้ได้มากขึ้น

4. ช่วยให้เด็กอ่านได้เร็วขึ้น

5. ช่วยเพิ่มทักษะในการเรียนรู้

6. ช่วยจำเรื่องราวต่าง ๆ ได้มากและนานวัน

7. ช่วยให้อ่านบทเรียนเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น

8. ช่วยในการก่อให้เกิดรูปธรรม และความคิดรวบยอด (Concept) ในการเรียนรู้ จึงลดการสื่อความหมายด้วยวาจา

9. ช่วยทำให้ผู้เรียนมีการพัฒนาความคิดอย่างต่อเนื่อง

10. ทำให้การเรียนรู้ในบางเรื่องง่ายขึ้น เพราสื่อการสอนสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนไหว

สื่อการสอนวิทยาศาสตร์

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ การใช้สื่อการสอนจะช่วยทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเรียนการสอน สื่อการสอนช่วยจัดและเสริมประสบการณ์การเรียนของนักเรียน ช่วยให้การเรียนรู้ถูกต้อง ชัดเจน เข้าใจง่าย สร้างความสนใจตลอดจนกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอนอย่างกระตือรือร้น สำหรับสื่อการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ที่ให้ประโยชน์ต่อการสอนเป็นอย่างมาก ได้แก่ สื่อที่ให้ประสบการณ์ตรง สื่อสิ่งพิมพ์ และโสตทัศนูปกรณ์ต่าง ๆ

ภพ เลาหไพบูลย์ (2537. หน้า 240-241) กล่าวว่า การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ดีและได้ผล ควรเป็นการเรียนการสอนที่ผู้เรียนได้มีกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมือนกับกิจกรรมการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ ผู้เรียนควรจะได้เรียนรู้จากการได้มีปฏิสัมพันธ์กับสื่อการเรียนการสอนประเภทใดประเภทหนึ่ง จนเกิดการรับรู้ การคิด การกระทำซึ่งนำไปสู่การสรุปหรือค้นพบด้วยตนเอง ดังนั้นสื่อที่ให้ประสบการณ์ตรงจึงเป็นสื่อที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในทุกลำดับขั้นของการสอน ดังนี้

1. การไปศึกษานอกสถานที่ เป็นการพาผู้เรียนไปศึกษาแหล่งความรู้นอกห้องเรียนไปสู่สถานการณ์จริงตามธรรมชาติหรือไปตามแหล่งผลิตและใช้ความรู้วิทยาศาสตร์ในชีวิตจริง เป็นการให้ประสบการณ์ตรงที่เป็นรูปธรรมและข้อมูลจริงซึ่งไม่อาจทดแทนได้โดยสื่อการเรียนการสอนอื่น

2. การพบกับวิทยากรผู้มีความชำนาญเฉพาะด้าน เป็นการให้ประสบการณ์ตรงอีกแบบหนึ่งซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การเชิญวิทยากรมาที่โรงเรียน หรือการนำผู้เรียนไปยังที่ทำงานของวิทยากร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. การใช้ประโยชน์จากแหล่งสื่อในชุมชน แหล่งสื่อในชุมชนมีทั้งประเภทจัดเพื่อการเรียนรู้ของประชาชนโดยเฉพาะ และแหล่งที่สามารถขอใช้ในด้านการเรียนการสอนได้ เช่น สถานประกอบอาชีพ สถานที่ราชการ เป็นต้น

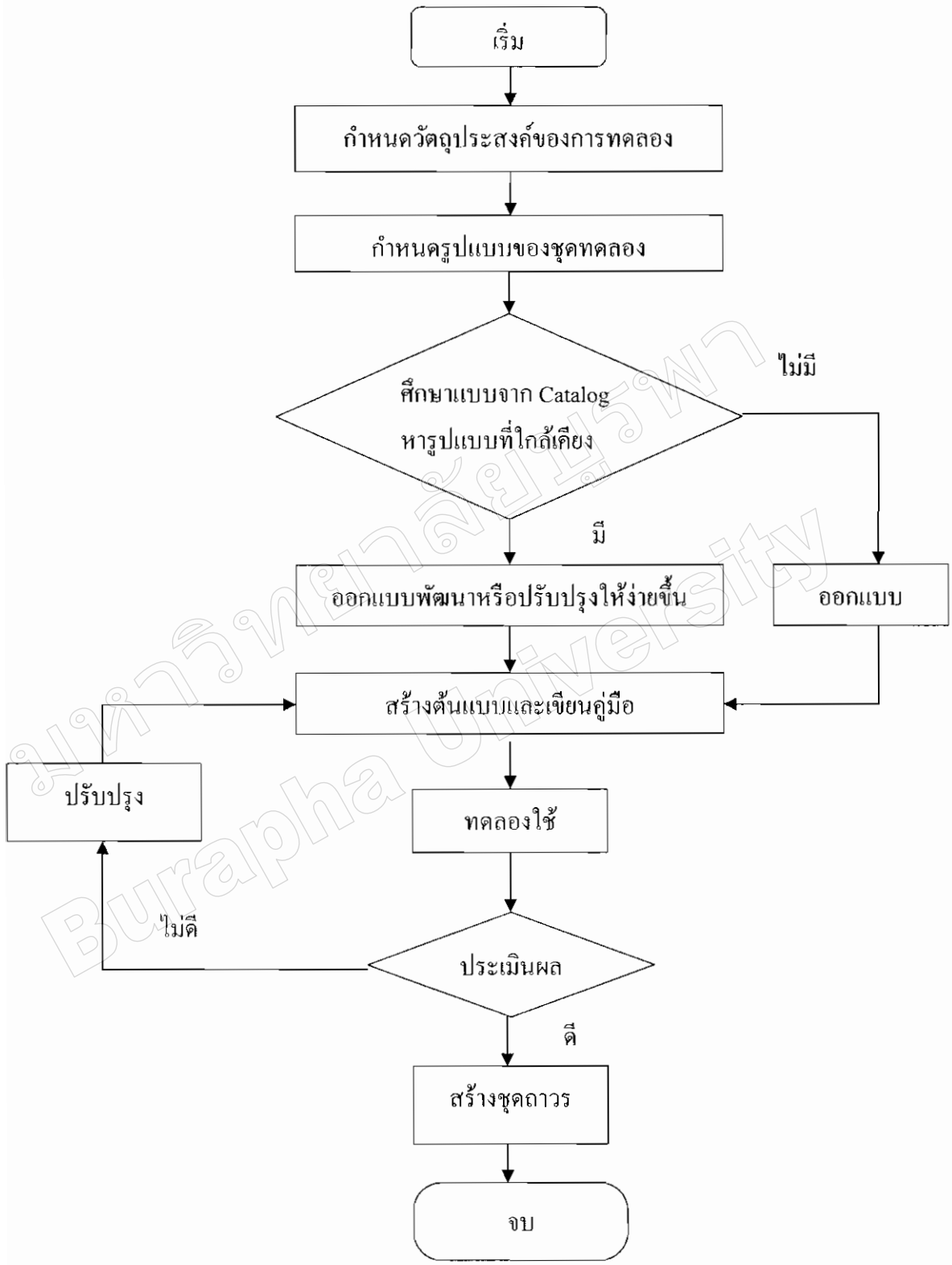
4. การเข้าร่วมชมรมวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน เป็นการส่งเสริมความเข้าใจ ขยายขอบเขตของความรู้และกระบวนการที่ได้เรียนในห้องเรียน ทำให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าของบทเรียน และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ด้วย

5. การทำการทดลอง การทดลองเป็นสื่อการเรียนการสอนที่ให้ประสบการณ์ตรงแก่ผู้เรียนและเป็นสื่อประเภทการกระทำที่สามารถถ่ายทอดเนื้อหาที่เป็นความรู้ กระบวนการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองที่เน้นกระบวนการวิทยาศาสตร์ให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์เกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหา การตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง ทดลองสังเกต รวบรวมข้อมูล ตลอดจนสรุปประเด็นปัญหาด้วยตนเอง การทดลองจึงเป็นสื่อการเรียนการสอนที่มีประโยชน์และมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง

6. การออกแบบสร้างชุดทดลองและการประเมินชุดทดลอง

การออกแบบสร้างชุดทดลอง

มนต์ชัย เทียนทอง (2530, หน้า 69-71) กล่าวถึงการออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่ยุ่งยากและค่อนข้างละเอียด ผู้สร้างจะต้องพิจารณาองค์ประกอบทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้อง ประการแรกที่สำคัญได้แก่ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของบทเรียนว่าเนื้อหาหลักต้องการอะไร ผู้เรียนต้องมีกิจกรรมอย่างไรจึงจะแสดงว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์ ถ้าต้องการแสดงออกด้วยผลการทดลองค้นคว้าหรือหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ชุดทดลองประกอบหรือใช้สื่อความหมายก็จะต้องสร้างชุดทดลองโดยออกแบบขึ้นเองหรือดัดแปลงแก้ไขตามแบบที่มีอยู่ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในการออกแบบสร้างชุดทดลองขึ้นใหม่โดยการลอกเลียนแบบจากแคตตาล็อกหรือจากชุดทดลองอื่น ๆ ที่มีอยู่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ชุดทดลองสำหรับผู้สอนใช้สาธิตหน้าชั้นเรียนต้องมีขนาดเหมาะสมการแสดงผลเห็นได้ทั่วถึงชัดเจน

2. ความปลอดภัยในการใช้โดยเฉพาะชุดทดลองสำหรับผู้เรียน

3. มีความสะดวกในการใช้งานไม่ต้องใช้ประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยไม่จำเป็น

4. มีโครงสร้างง่ายและใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไปเพื่อความสะดวกต่อการซ่อมแซม

5. มีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นได้โดยการเพิ่มรายละเอียดบางส่วน

โช สาลีฉัน (2541, หน้า 24-25) กล่าวถึงหลักการสร้างอุปกรณ์การสอนและเครื่องมือทดลองวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

1. ศึกษาหลักการทำงาน (Function) ของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จะสร้างขึ้นนั้นเสียก่อนว่าจะให้เครื่องมือนั้นทำงานอย่างไร ต้องศึกษาหน้าที่การทำงานของทุกชิ้นส่วนของสิ่งที่จะสร้างขึ้นนั้นให้เข้าใจเป็นอย่างดี

2. เลือกวัสดุที่จะใช้สำหรับออกแบบสร้าง เราจะต้องเลือกวัสดุที่มีอยู่แล้วหรือที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นนั้น เพื่อว่าเมื่อออกแบบเสร็จแล้วจะได้หาวัสดุสร้างได้ง่าย ถ้าใช้วัสดุชนิดที่เลือกแล้วควรจะทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือทำงานได้ดี สะดวกแก่การใช้และปฏิบัติ เก็บรักษาได้ง่ายและมีความคงทนถาวรสามารถทำได้

3. ดำเนินการออกแบบและสร้าง เมื่อเลือกวัสดุได้แล้วก็ต้องนำมาพิจารณาออกแบบ เพื่อที่จะให้อุปกรณ์หรือเครื่องมือทำงานได้ตามที่ต้องการ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่จะสร้าง ตลอดจนหน้าที่การทำงานของชิ้นส่วนเหล่านั้น แล้วพิจารณาที่วัสดุที่จะใช้ออกแบบสร้างว่ามีอะไรที่จะสร้างเป็นชิ้นส่วน และมีหน้าที่การทำงานได้เช่นเดิม ต้องพิจารณาไตร่ตรองอย่างละเอียดรอบคอบ การที่จะตัดตรงไหน จะต่อตรงไหน จะต่ออย่างไร จะเจาะแค่ไหน ที่ตำแหน่งใด ๆ ฯลฯ และจะทำอย่างไรอีกต่อไป จะต้องคำนึงถึงอย่างละเอียดรอบคอบแช่นกัน มิฉะนั้นจะทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ เมื่อคิดได้ลักษณะที่ค่อนข้างแน่นอนแล้วจึงเขียนรูปอย่างคร่าว ๆ ไว้ แล้วนำมาพิจารณาดูใหม่หลาย ๆ ครั้งว่าควรดัดแปลงแก้ไขปรับปรุงอะไรอีกบ้าง ถ้ามั่นใจว่าได้แบบที่แน่นอนแล้วจึงเขียนรูปแบบสัดส่วนและรายละเอียดต่าง ๆ เอาไว้ จากนี้ก็จะเริ่มดำเนินการสร้างตามแบบที่เขียนรูปแบบไว้ให้สำเร็จเรียบร้อย

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

4. ทำการทดลองและตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือที่สร้างเสร็จแล้ว โดยนำมาทำการทดลองตรวจสอบหน้าที่การทำงานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ว่าทุกชิ้นส่วนทำงานได้ดีและครบถ้วนหรือไม่ บันทึกข้อมูลของการทดลองไว้ ทำการทดลองหลาย ๆ ครั้ง เปรียบเทียบผลจากข้อมูลที่บันทึกไว้ของแต่ละครั้งนั้นว่าได้ผลตรงกัน ใกล้เคียงกันหรือต่างกันมากน้อยเพียงใด ผลที่ได้พอเชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหน ถ้าได้ผลตรงกันทุกครั้งตามความต้องการแสดงว่าการออกแบบนั้นดี ถ้าได้ผลใกล้เคียงกันมากแสดงว่าการออกแบบนั้นยังไม่ดีจะต้องดัดแปลงและปรับปรุงแก้ไขใหม่

5. ทำการปรับปรุงแก้ไข เมื่อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนั้นถูกนำไปทำการทดลองให้ผลออกมามีความคลาดเคลื่อนมากต้องนำเครื่องมือและอุปกรณ์นั้นมาพิจารณาปรับปรุงและแก้ไขใหม่ หาสาเหตุว่าอะไรบ้างที่อาจทำให้ผลการทดลองนั้นคลาดเคลื่อน แล้วลองแก้ไขจุดของสาเหตุนั้นเสียใหม่ เมื่อแก้ไขแต่ละจุดของสาเหตุแล้วต้องนำไปทดลอง ตรวจสอบใหม่อีกจนกว่าจะได้ผลเป็นที่พึงพอใจ

ถ้าการประดิษฐ์สร้างเครื่องมือและอุปกรณ์การสอนได้ดำเนินตามทั้ง 5 ขั้นดังกล่าวมาแล้วนั้นจะมีผลทำให้ได้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ดีเหมาะสมสำหรับใช้ทดลองและสอนต่อไป

การประเมินชุดทดลอง

การประเมินการใช้ชุดทดลอง เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการใช้สื่อชุดทดลองมาวิเคราะห์ให้เกิดความชัดเจนว่ามีความเหมาะสมกับกลุ่มผู้เรียนในระดับใด โดยต้องพิจารณาลักษณะทางกายภาพของสื่อและสาระที่สื่อไปยังผู้เรียน บางครั้งสื่อการเรียนรู้ที่นำมาใช้นั้นอาจมีความเหมาะสมด้านกายภาพแต่คุณค่าในด้านสาระนั้นยังไม่สามารถทำผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามเป้าหมาย การประเมินจะช่วยในการตัดสินใจเลือกและใช้สื่อการเรียนรู้สำหรับการจัดการเรียนการสอนในครั้งต่อ ๆ ไปหรือพัฒนาโดยการดัดแปลง ปรับปรุงแก้ไข จัดทำเพิ่มเติมให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นไป

337482