

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างบทปฏิบัติการทดลอง เรื่อง แสงสีที่มองเห็นกับแสงสีที่ถูกดูดกลืนของสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ และ $[\text{Cu}(\text{en})_3]^{2+}$ ผู้วิจัยศึกษาเอกสารต่าง ๆ ในหัวข้อดังนี้

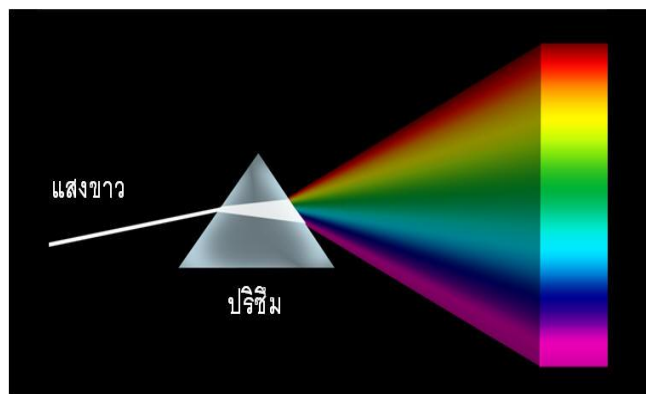
1. เนื้อหาเกี่ยวกับการมองเห็นแสงสีกับสีที่ถูกดูดกลืนของวัตถุ
2. เอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการทดลอง
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลประสิทธิภาพบทปฏิบัติการทดลอง
4. เอกสารเกี่ยวกับเด็กที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาเกี่ยวกับการมองเห็นแสงสีกับสีที่ถูกดูดกลืนของวัตถุ

ในชีวิตประจำวัน เราจะสังเกตเห็นวัตถุหรือสารต่าง ๆ มีสีอันมากมายแตกต่างกัน ซึ่งสีอันที่มองเห็นนั้นสัมพันธ์กับสีที่วัตถุหรือสารนั้นดูดกลืนเข้าไป เริ่มตั้งแต่ความรู้เรื่องสเปกตรัมของแสงขาวที่ไปกระทบวัตถุ แล้ววัตถุนั้นดูดกลืนแสงเข้าไปดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. สเปกตรัมของแสงขาว (spectrum light)

แสงขาวประกอบด้วยแสงสีที่รวมกันเรียกว่า สเปกตรัม (spectrum) ประกอบด้วยเจ็ดสี ได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และ แดง หากนำปริซึมไปวางให้แสงส่องผ่าน เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแตกต่างกัน จะมองเห็นสเปกตรัมของแสงขาวถูกแยกเป็นสีต่าง ๆ ได้เมื่อนำฉากไปรับ ดังภาพที่ 2-1

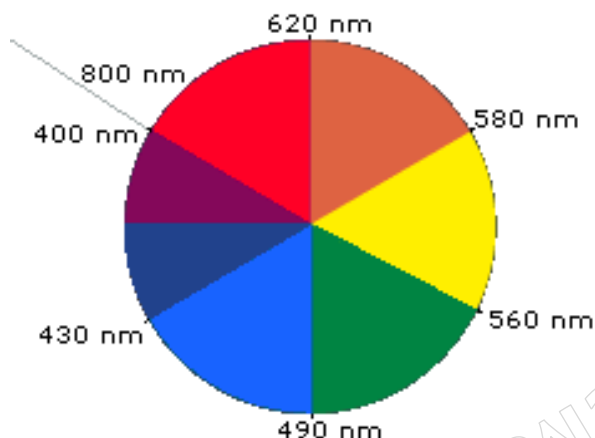


ภาพที่ 2-1 สเปกตรัมของแสงขาวเมื่อผ่านปริซึม

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/228/spectr1.jpg> , [ออนไลน์], 2555

2. การดูดกลืนแสง (absorption of light)

คลื่นแสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร ถ้านัยน์ตาถูกกระตุ้นด้วยแสงตลอดทั้งช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว ผลก็คือจะมองเห็นแสงนั้นเป็นแสงขาว แต่ถ้าคลื่นแสงถูกดูดกลืนแสงไปบางส่วน แสงที่ตามองเห็นจะเป็นสีเติมเต็ม (complementary colors) หรือสีที่อยู่ตรงข้ามของสีที่ถูกดูดกลืน สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน เป็นสารที่มีสีสดใสสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์กับสีเติมเต็ม (complementary colors) ถ้าสารประกอบดูดกลืนแสงสีหนึ่ง เราสามารถมองเห็นสารนั้นเป็นสีเติมเต็มของสีที่ถูกดูดกลืน ตัวอย่างเช่น แสงสีขาวซึ่งประกอบด้วยสเปกตรัมของแสงที่มีความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้คือ สีม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง ถ้าสารประกอบดูดกลืนแสงสีแดง เราจะมองเห็นว่าสารประกอบนั้นมีสีเขียว เนื่องจากสีเขียวเป็นสีเติมเต็มของสีแดง สีเติมเต็มอื่นแสดงในวงกลม วงล้อสี ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 วงล้อสี (color wheel) แสดงสีเติมเต็ม เมื่อแสงขาวถูกดักกลืนคลื่นแสงไปบางส่วน
สีที่ปรากฏจะเป็นสีที่อยู่ ตรงข้ามของวงล้อสี

ที่มา : http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/12/6/CD/colorandLight/page1_4.html, [ออนไลน์], 2555

วิธีการใช้วงกลมสีเติมเต็ม โดยดูจากสีที่อยู่ตรงข้ามกัน เช่น

สีเขียวเป็นสีเติมเต็มของสีแดงและสีแดงเป็นสีเติมเต็มของสีเขียว

สีน้ำเงินเป็นสีเติมเต็มของสีส้มและสีส้มเป็นสีเติมเต็มของสีน้ำเงิน

การดูดกลืนแสงของสารประกอบอาจไม่ได้ดูดกลืนแสงเพียงสีเดียว แต่อาจดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นผสมกัน ดังนั้นสีของสารประกอบที่มองเห็นจึงอาจมีสีผสมกัน ทำให้ได้สารประกอบที่มีสีอื่น ๆ มากกว่าที่ปรากฏในวงกลมสีเติมเต็ม เช่น $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ เมื่อละลายอยู่ในน้ำ จะเห็นเป็นสีฟ้า เนื่องจากไอออนนี้ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 600-1000 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของแสงสีเหลือง สีส้ม สีแดง ไปจนถึงแสงอินฟราเรด (infrared) ค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนมากที่สุดคือประมาณ 800 nm สีฟ้าอ่อนที่มองเห็นจึงเป็นการรวมสีเติมเต็มของสีที่ถูกดูดกลืน ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นระหว่างแสงสีที่มองเห็นกับแสงสีที่ถูกดูดกลืน ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นระหว่างแสงสีที่มองเห็นกับแสงสีที่ถูกดูดกลืน

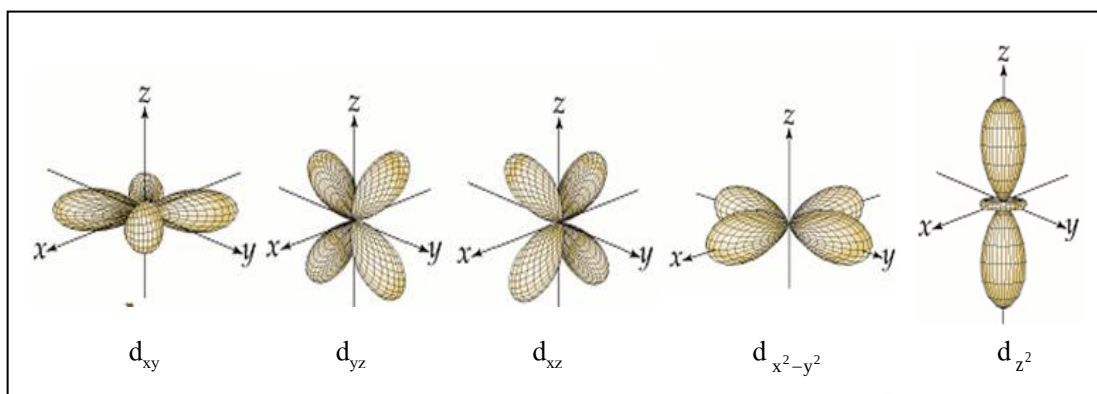
ความยาวคลื่น (nm)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็น
380-420	ม่วง	เขียว-เหลือง
420-440	ม่วง-ฟ้า	เหลือง
440-470	น้ำเงิน	ส้ม
470-500	เขียว-น้ำเงิน	แดง
500-550	เขียว-เหลือง	ม่วง
550-580	เหลือง	ม่วง-น้ำเงิน
580-620	ส้ม	น้ำเงิน
620-780	แดง	เขียว-น้ำเงิน

การดูดกลืนแสงสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน เกี่ยวข้องกับพลังงานการแยก d ออร์บิทัลของไอออนโลหะที่เป็นอะตอมกลางของสารประกอบนั้น ๆ ซึ่งอธิบายได้ด้วยทฤษฎีสถานมผลึก (crystal field theory)

3. ทฤษฎีสถานมผลึก (crystal field theory)

ทฤษฎีนี้มีแนวความคิดว่าปฏิกริยาระหว่างไอออนโลหะกับลิแกนด์เป็นแรงกระทำระหว่างประจุไฟฟ้า (electrostatic หรือ ionic interaction) โดยพิจารณาลิแกนด์เป็นประจุไฟฟ้าลบ เมื่อลิแกนด์เข้าทำปฏิกริยากับไอออนโลหะ อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการจัดวางตำแหน่งของลิแกนด์ จะทำให้ d ออร์บิทัล ทั้ง 5 ของโลหะไอออนที่มีพลังงานเท่ากัน มีความแตกต่างกันของพลังงานเกิดขึ้น

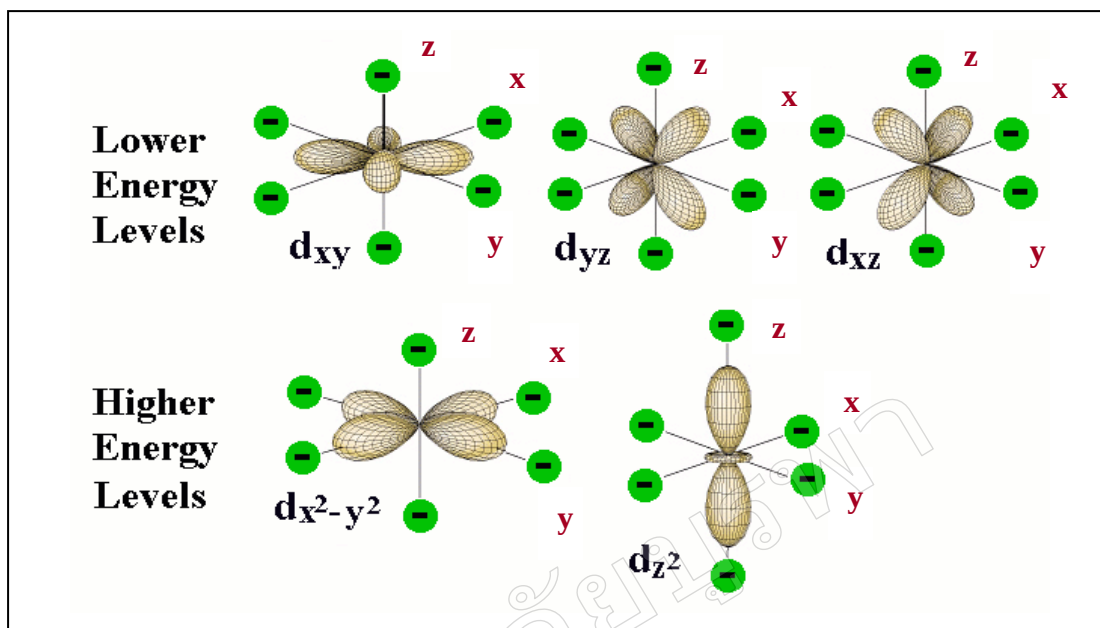
เพื่อที่จะเข้าใจอิทธิพลของสนามไฟฟ้าจากประจุลบของลิแกนด์ที่มีต่อ d ออร์บิทัลทั้ง 5 ของไอออนโลหะ จำเป็นต้องเข้าใจรูปร่าง ทิศทางการจัดตัว และการกระจายของอิเล็กตรอนใน d ออร์บิทัลทั้ง 5 ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 รูปร่างและทิศทางของ d_{xy} , d_{yz} , d_{xz} , $d_{x^2-y^2}$ และ d_{z^2} ออร์บิทัล

ที่มา : <http://chem1180.blogspot.com/2010/12/227-crystal-field-theory.html>, [ออนไลน์], 2555

ทฤษฎีสถานะผลึกเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายสมบัติทางแม่เหล็กและเหตุแห่งการเกิดสีในสารประกอบเชิงซ้อน พิจารณาที่ d ออร์บิทัล จะสังเกตเห็นว่า d_{xy} , d_{yz} , d_{xz} และ $d_{x^2-y^2}$ มีรูปร่างเหมือนกันคือมีสี่พู แต่พูทั้งสี่ของแต่ละออร์บิทัลชี้ในทิศทางที่แตกต่างกัน ส่วน d_{z^2} มีสองพูและมีวงแหวนรอบตรงกลาง บริเวณนี้คือบริเวณที่พบความหนาแน่นของอิเล็กตรอนใน d_{z^2} ออร์บิทัลนั่นเอง ทิศทางของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนใน d ออร์บิทัลมีความสำคัญมากในการพิจารณาว่าอิเล็กตรอนใน d ออร์บิทัลของโลหะไอออนอะตอมกลางจะได้รับแรงผลักจากอิเล็กตรอนของลิแกนด์มากน้อยเท่าใด เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า d_{xy} , d_{yz} , และ d_{xz} ออร์บิทัลมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอยู่ระหว่างแกน x, y และ z ส่วน $d_{x^2-y^2}$ และ d_{z^2} ออร์บิทัลมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอยู่ตามแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ ถ้าลิแกนด์ 6 ลิแกนด์ พุ่งตรงเข้าสู่ไอออนอะตอมกลางตามแนวแกน x, y และ z เพื่อเกิดเป็นสารเชิงซ้อนรูปทรงแปดหน้าดังภาพที่ 2-4



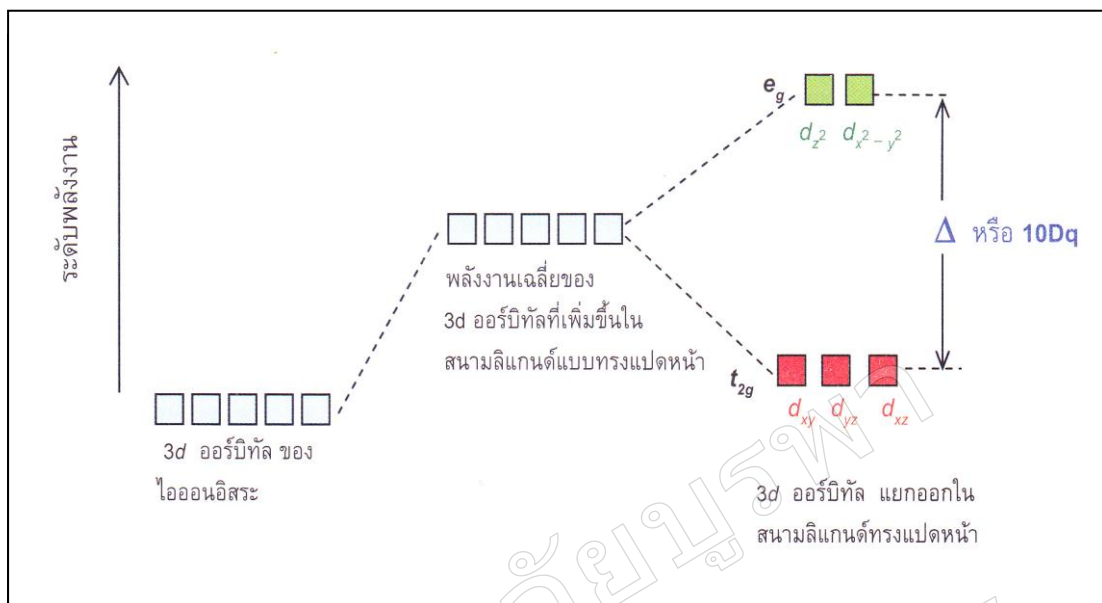
ภาพที่ 2-4 ลิแกนด์เข้าประชิดไอออนโลหะในแนวแกน (x, y, z) ของโครงสร้างทรงแปดหน้า

ที่มา : <http://www.chem1.com/acad/webtext/chembond/CB-images/CCdorbsplit.gif>,

[ออนไลน์], 2555

จากภาพที่ 2-4 ประจุลบของลิแกนด์ทั้งหมดจะผลักอิเล็กตรอนใน d ออร์บิทัลของไอออนอะตอมกลางทำให้ d ออร์บิทัลทั้ง 5 ออร์บิทัลที่อยู่ในสนามลิแกนด์มีพลังงานสูงขึ้นกว่าขณะที่เป็นไอออนอิสระ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของลิแกนด์ทั้ง 6 ที่จัดตัวอยู่บนแกน x, y และ z จะผลักกับอิเล็กตรอนของไอออนโลหะอะตอมกลางที่อยู่ใน $d_{x^2-y^2}$ และ d_{z^2} ได้มากกว่าผลักกับอิเล็กตรอนใน d_{xy} , d_{yz} และ d_{xz} ออร์บิทัล เพราะความหนาแน่นของอิเล็กตรอนใน $d_{x^2-y^2}$ และ d_{z^2} หันชี้ตรงไปทางลิแกนด์โดยตรง ส่วน d_{xy} , d_{yz} และ d_{xz} มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนหันชี้ทำมุม 45 องศากับลิแกนด์ จึงได้รับแรงผลักดันน้อยกว่า

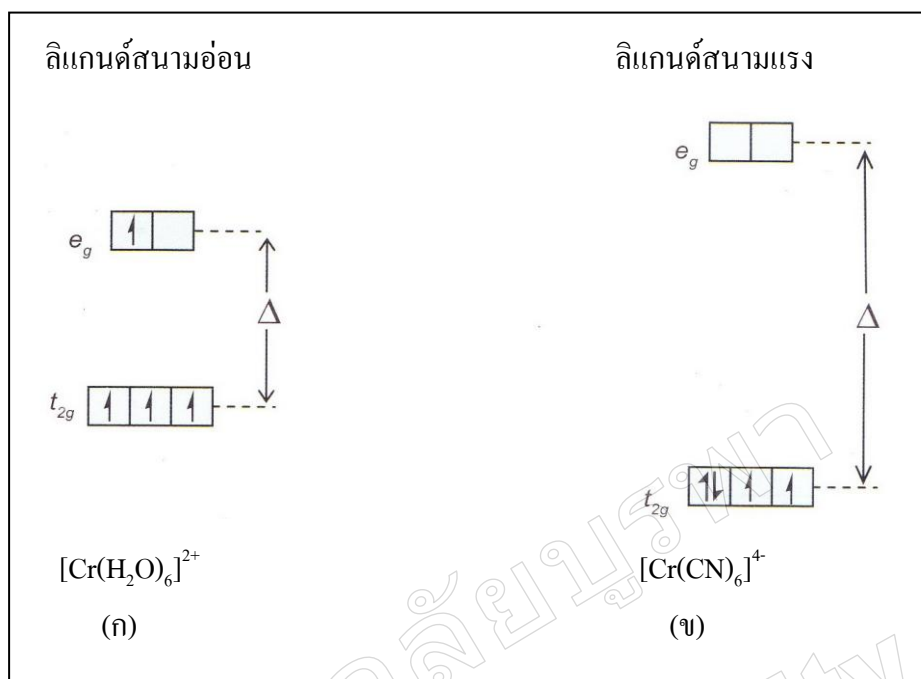
จากผลของแรงผลักที่ไม่เท่ากันทำให้ d ออร์บิทัลของไอออนโลหะเมื่ออยู่ในสนามลิแกนด์แบบทรงแปดหน้าแยก (split) ออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกประกอบด้วย 2 ออร์บิทัลที่มีระดับพลังงานเท่ากัน เรียก doubly degenerate level มีสัญลักษณ์แทนว่า e_g ประกอบด้วยออร์บิทัล $d_{x^2-y^2}$ และ d_{z^2} ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากสนามลิแกนด์ ชุดที่สองประกอบด้วย 3 ออร์บิทัลเรียกว่า triply degenerate level มีสัญลักษณ์แทนว่า t_{2g} ประกอบด้วย d_{xy} , d_{yz} และ d_{xz} ความแตกต่างของระดับพลังงานระหว่าง e_g และ t_{2g} ออร์บิทัล เรียกว่าพลังงานการแยกในสนามผลึก (crystal field splitting energy) ใช้สัญลักษณ์ (Δ) หรือ $10 Dq$ ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 การแยกระดับพลังงานของ d ออร์บิทัลในสนามลิแกนด์แบบทรงแปดหน้า
ที่มา : พนิดา รัตนานุกูล, ธวัชชัย ต้นทุทานิ, นัทธมน คุณแสง, อภิรัตน์ เลาห์บุตร, และ
จอมใจ สุกใส (2551)

จากภาพที่ 2-5 ขนาดของ Δ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ธรรมชาติของลิแกนด์ ชนิดของไอออนโลหะอะตอมกลาง เลขออกซิเดชันและขนาดของไอออนโลหะอะตอมกลางและที่สำคัญขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิตของสารเชิงซ้อนชนิดนั้น

ถ้าลิแกนด์ใดทำให้ d ออร์บิทัลของไอออนโลหะอะตอมกลางแยกออกจากกันมากทำให้ค่าพลังงานการแยกในสนามผลึก (Δ) มาก เรียกลิแกนด์ชนิดนั้นว่าลิแกนด์สนามแรง (strong-field ligands) ส่วนลิแกนด์ที่ทำให้ค่าพลังงานการแยกในสนามผลึก (Δ) มีค่าน้อยเรียกว่า ลิแกนด์สนามอ่อน (weak-field ligands) ตัวอย่างเช่น H_2O จัดเป็นลิแกนด์สนามอ่อน และ CN^- จัดเป็นลิแกนด์สนามแรง ขนาดของ Δ มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องโดยตรงกับสีและสมบัติทางแม่เหล็กของสารเชิงซ้อน ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ผลกระทบชนิดของลิแกนด์ต่อค่าพลังงานการแยก d ออร์บิทัล ของไอออนโลหะ
ในสนามลิแกนด์แบบทรงแปดหน้า

ที่มา : พนิดา รัตนานุกูล และคณะ (2551)

จากภาพที่ 2-6 (ก) $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ มีค่า Δ น้อย เพราะไดโพลของ H_2O มีแรงกระทำต่อ
d-ออร์บิทัลของ Cr^{2+} น้อย H_2O จึงเป็นลิแกนด์สนามอ่อน
(ข) $[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{4-}$ มีค่า Δ มาก เพราะไดโพลของ CN^- มีแรงกระทำต่อ
d-ออร์บิทัลของ Cr^{2+} มาก CN^- จึงเป็นลิแกนด์สนามแรง

4. การเกิดสีในสารเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

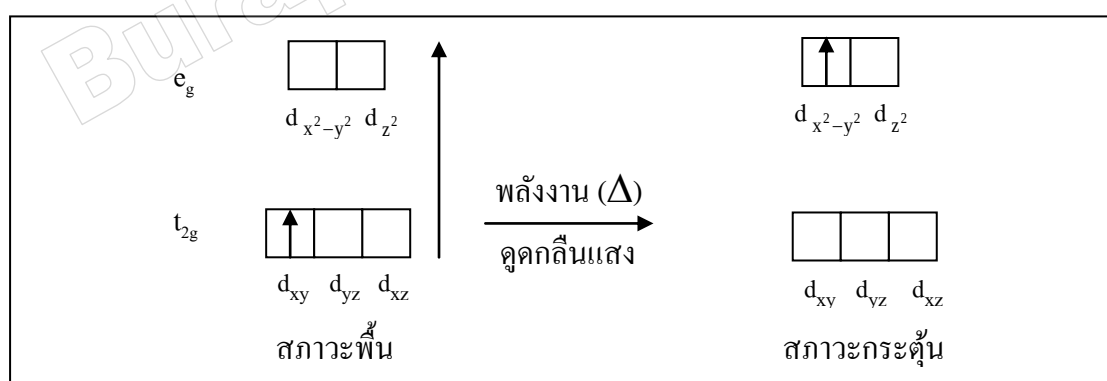
สีของสารประกอบเชิงซ้อนถูกกำหนดโดยความแตกต่างของระดับพลังงานระหว่างชุด
ของออร์บิทัล t_{2g} และ e_g ในไอออนเชิงซ้อนนั้น เมื่อไอออนเชิงซ้อนดูดกลืนแสงในช่วงที่ตา
มองเห็น อิเล็กตรอนของไอออนโลหะที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำ t_{2g} จะกระโดดขึ้นไปยังระดับ
พลังงาน e_g ที่สูงกว่า ซึ่งพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนไปนี้มีค่าเท่ากับความต่างระหว่างพลังงาน t_{2g} และ
 e_g ออร์บิทัลหรือขนาด Δ ของไอออนเชิงซ้อนนั่นเอง ซึ่งสามารถคำนวณระดับพลังงานของแสงได้
จากสมการของ (Plank's equation) ดังนี้

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

เมื่อ ΔE = ความแตกต่างระหว่าง t_{2g} และ e_g ออร์บิทัล
 h = ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} J.s
 ν = ความถี่ของแสงที่ดูดกลืนหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) หรือ รอบ/วินาที
 λ = ความยาวคลื่นของแสงที่ดูดกลืนเป็นเมตร (m)
 c = ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3.00×10^8 m/s

ปรากฏการณ์ที่สารมีสี เกิดจากสารดูดกลืนแสงสีขาว่าที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง ถ้าสารดูดกลืนแสงที่มีความถี่สูง(ความยาวคลื่นสั้น) แสดงว่าสารนั้นดูดกลืนพลังงานมาก หมายความว่า ระดับพลังงาน e_g อยู่สูงกว่า t_{2g} มาก หรือ Δ มีค่ามาก ในทางกลับกันถ้าความถี่ที่สารดูดกลืนยิ่งต่ำลง(ความยาวคลื่นมากขึ้น) พลังงานที่สารดูดกลืนและค่า Δ ก็ยิ่งน้อยลง

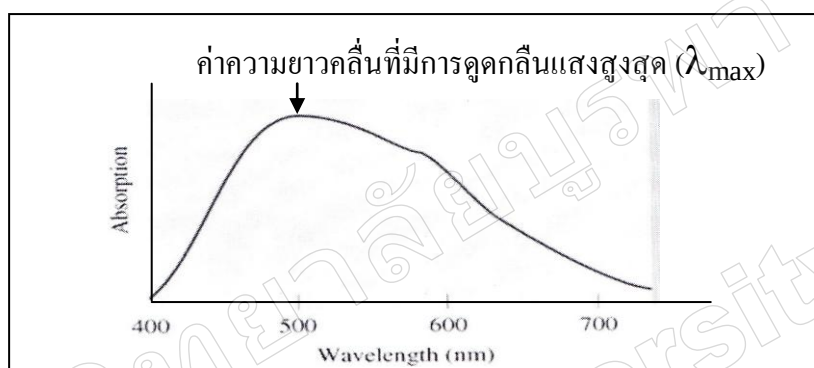
กราฟระหว่างความถี่หรือความยาวคลื่นของแสง กับความเข้มของแสงที่สารดูดกลืนไว้ ที่ความถี่หรือความยาวคลื่นต่าง ๆ กราฟที่ได้เรียกว่า สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร (absorption spectrum) จะได้กราฟที่เป็นแถบการดูดกลืนแสง (absorption band) ตัวอย่าง เช่น หากมีไอออนเชิงซ้อน $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอน d^1 เมื่ออยู่ภายใต้สนาม octahedral field ทำให้ระดับพลังงานแยกออกเป็นสองชุดคือ t_{2g} และ e_g หากได้รับการกระตุ้น อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้น t_{2g} จะเปลี่ยนระดับพลังงานเข้าไปอยู่ในชั้นของ e_g ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 การแยกระดับพลังงานของ d-ออร์บิทัลในสถานะพื้นและสถานะกระตุ้นของ
 สารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$

ที่มา : พนิดา รตนานุกูล และคณะ (2551)

จากภาพที่ 2-7 พบว่าอิเล็กตรอนสามารถเปลี่ยนระดับพลังงานจาก t_{2g} ไป e_g การที่อิเล็กตรอนที่ t_{2g} เปลี่ยนระดับพลังงานไปอยู่ที่ e_g เมื่อทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ของสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ พบว่าสารละลายดูดกลืนแสงสีเขียวได้มากที่สุดซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 500 nm แสดงว่าพลังงานของคลื่นแสงสีเขียวนี้เท่ากับผลต่างของระดับพลังงานระหว่าง t_{2g} กับ e_g ของ $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ พอดี สเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$

ที่มา : <http://www.kmitl.ac.th/~s3010819/Ebook/kmitl/Y1/Chemistry/TransitionAndCoordination>, [ออนไลน์], 2555

จากภาพที่ 2-8 พบว่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลาย $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาพลังงาน (ΔE) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta E &= h\nu = \frac{hc}{\lambda} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \\ c &= 3.00 \times 10^8 \text{ m/s} \\ \Delta E &= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{500 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 3.98 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

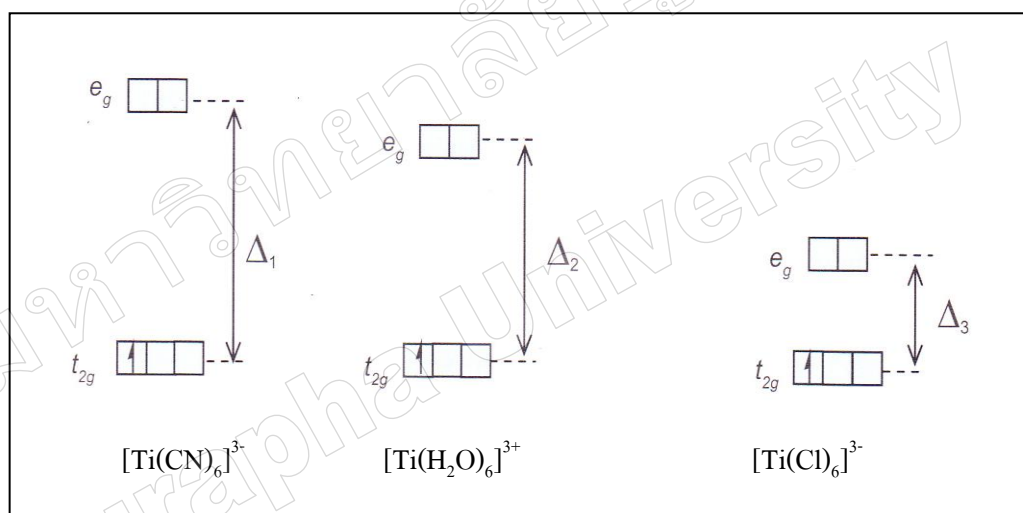
ค่าพลังงานนี้เป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 1 ไอออนเท่านั้นเพื่อให้เป็นค่าต่อ 1 โมล ของ $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\Delta E &= (3.98 \times 10^{-19} \text{ J/ion}) (6.02 \times 10^{23} \text{ ion/mol}) \\ &= 240,000 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

$$\text{หรือ } \Delta E = 240 \text{ kJ/mol}$$

นั่นแสดงว่าผลต่างของระดับพลังงานระหว่าง t_{2g} กับ e_g ของ $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ เท่ากับ 240 kJ/mol

สารเชิงซ้อนต่าง ๆ ที่มีไอออนโลหะชนิดเดียวกัน แต่มีลิแกนด์ต่างกัน จะมีขนาดของผลต่างระดับพลังงานชั้น t_{2g} กับ e_g (Δ) ต่างกันด้วย เช่น สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ $[\text{Ti}(\text{CN})_6]^{3-}$, $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และ $[\text{TiCl}_6]^{3-}$ พบว่าสารแต่ละชนิดดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุดเพียงตำแหน่งเดียวคือที่ 450 500 และ 780 นาโนเมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 2-9



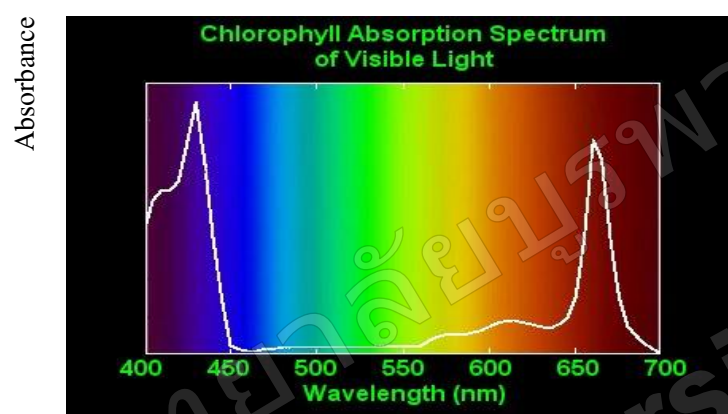
ภาพที่ 2-9 เปรียบเทียบผลต่างระหว่างระดับพลังงานชั้น t_{2g} กับ e_g (Δ) ใน $[\text{Ti}(\text{CN})_6]^{3-}$

$[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และ $[\text{TiCl}_6]^{3-}$

ที่มา : พนิดา ระตะนากุล และคณะ (2551)

จากการศึกษาเส้นสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงสำหรับสารเชิงซ้อนชนิดต่าง ๆ แล้วหาค่าผลต่างของระดับพลังงานระหว่าง t_{2g} กับ e_g นำมาเรียงชนิดของลิแกนด์ที่ส่งผลให้ชั้นระดับพลังงาน t_{2g} กับ e_g แตกต่างกันไปหาหน่อย เป็นดังนี้ $\text{CO} > \text{CN}^- > \text{en} > \text{NH}_3 > \text{SCN}^- > \text{H}_2\text{O} > \text{OH}^- > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$

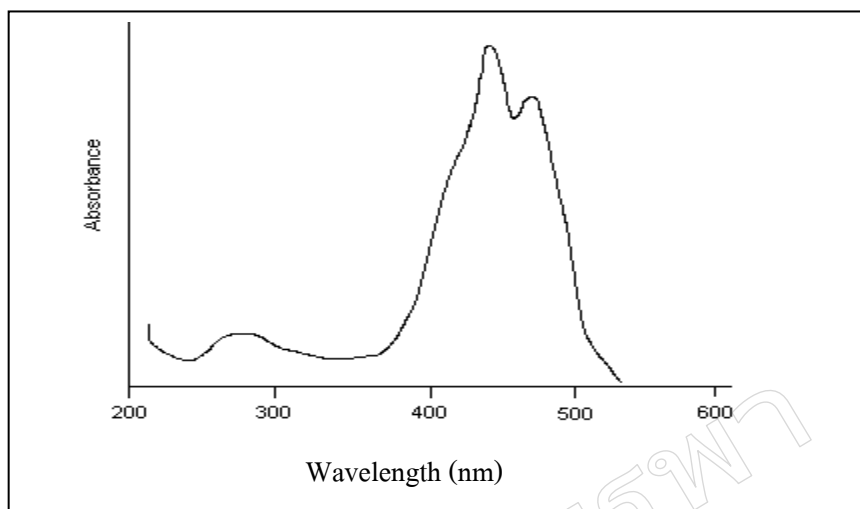
สารสีเขียวที่เรียกว่าคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในต้นไม้ ใบไม้ ทำให้มีสีเขียว ดังนั้นถ้าพิจารณาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ พบว่าคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงแสงสีม่วง-น้ำเงิน และช่วงแสงสีแดง ดังนั้นแสงที่สะท้อนออกมาส่วนใหญ่จะเป็นคลื่นแสงสีเขียว เราจึงเห็นใบไม้ส่วนใหญ่ที่มีคลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll)

ที่มา : พนิดา ระตะนานุกุล และคณะ (2551)

สารสีแคโรทีน (carotene) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในผักผลไม้ที่มีสีส้มส้ม เช่นในแครอท ดังนั้นถ้านำแคโรทีนมาพิจารณาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะพบว่า แคโรทีนจะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น 370-510 ซึ่งเป็นช่วงแสงสีม่วง-น้ำเงิน และช่วงแสงสีเขียว ทำให้มีสเปกตรัมการดูดกลืนที่กว้างครอบคลุมแสงสีดังกล่าว ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแคโรทีน (carotene)

ที่มา : http://www.chm.bris.ac.uk/motm/carotene/beta-carotene_colourings.html, [ออนไลน์], 2555

ถึงแม้ว่าเราจะมองเห็นสารสีแคโรทีนเป็นสีส้มแต่อันที่จริงแล้ว ยังมีแสงสีอื่นได้แก่ สีเหลืองและสีเขียวปนอยู่บ้าง โดยที่แคโรทีนไม่ได้ดูดกลืนไปทั้งหมด เพียงแต่ความสามารถในการจำแนกแสงสีของมนุษย์มีจำกัด จึงไม่สามารถจำแนกแสงสีที่เหลืองอยู่เหล่านี้ได้ เราจึงเห็นเฉพาะแสงสีส้มซึ่งเป็นสีที่ไม่ถูกดูดกลืนเลย

5. หลักการของเครื่อง Visible Spectrophotometer

Visible Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้มในช่วงแสงขาว ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนสารตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงขาวได้

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ

5.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง Visible Spectrophotometer มีอยู่ 5 ส่วน ดังนี้คือ

5.1.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source)

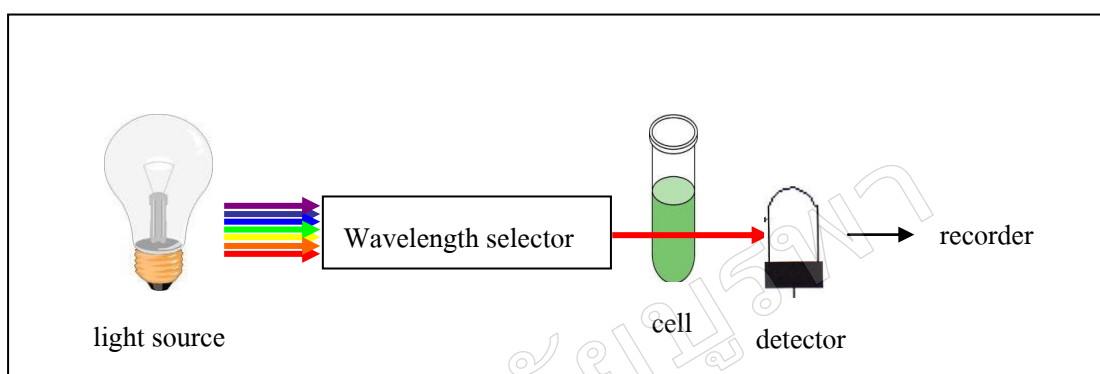
5.1.2 ส่วนเลือกความยาวคลื่น (wavelength selector)

5.1.3 ภาชนะใส่สาร (cell หรือ cuvette)

5.1.4 ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector)

5.1.5 ส่วนบันทึกและแปรรูปสัญญาณ (recorder and processor)

โดยมีการจัดเรียงส่วนประกอบทั้งหมด ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 แผนภาพเครื่อง Visible Spectrophotometer อย่างง่าย

5.1.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source)

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่อง Visible Spectrophotometer จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง ช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen

5.1.2 ส่วนเลือกความยาวคลื่น (wavelength selector)

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงที่มีหลายความยาวคลื่น ให้เป็นแถบแสงแคบ ๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว โดยใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี) ปริซึม (prism) หรือ เกรตติ้ง (grating)

5.1.3 เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง (cell หรือ cuvette)

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่างเซลล์ (cell) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวตต์ (cuvettes) เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงมองเห็น (visible) เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล
 ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่าง เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง (cell หรือ cuvette)

ที่มา : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page2_2.html, [ออนไลน์], 2555

5.1.4 ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector)

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืน โดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง (sensitivity) คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้

5.1.5 ส่วนบันทึกและแปรรูปสัญญาณ (recorder and processor)

มีหน้าที่ขยายสัญญาณ และแปรรูปสัญญาณให้ออกมาในมาตราส่วนแบบล็อก (log scale)

5.2 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic radiation) ที่ผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลายเนื้อเดียว (homogeneous solution) ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (pathlength)

$$A \propto l$$

A = ค่าการดูดกลืนแสง absorbance

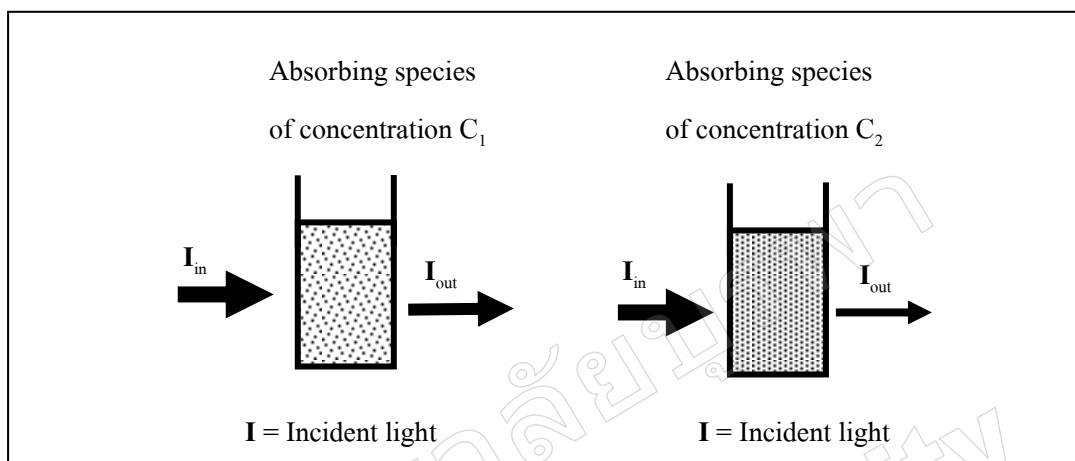
เมื่อ l = ความหนาความกว้างของเซลล์ หรือระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (pathlength)

5.3 กฎของเบียร์ (Beer's Law) สำหรับรังสีที่เป็นรังสีขนาน (parallel beam) และความยาวคลื่นเดียว (monochromatic radiation) ที่ผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลายเนื้อเดียว (homogeneous solution) ที่มีระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (pathlength) เท่ากัน ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$A \propto C$$

A = ค่าการดูดกลืนแสง absorbance

เมื่อ C = ความเข้มข้นของตัวอย่าง (g.L^{-1})



ภาพที่ 2-14 แสดงแสงที่ผ่านสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-14 ถ้าความเข้มข้น $C_2 > C_1$ ดังนั้นแสงที่ผ่านสารละลาย C_2 ออกมาจะเหลือน้อยกว่าแสงที่ผ่านออกมาจากสารละลาย C_1 เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่าจะมีโมเลกุลที่สามารถดูดกลืนแสงขวางทางเดินแสงอยู่มาก ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น (absorbance and concentration) ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงปริมาณวิเคราะห์เนื่องจากค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ดังสมการ

$$A = \epsilon cl \quad (2)$$

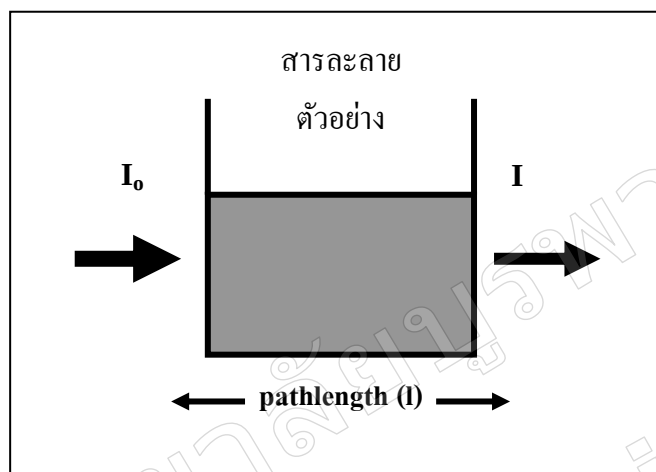
เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

ϵ = เป็นสมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่ง
เรียกว่า molar absorptivity ($\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือความกว้างของเซลล์นั่นเอง (cm)

c = ความเข้มข้นเป็น โมล/ลิตร หรือโมลาร์ (M)

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (Incident light: I_0) แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลืผ่านออกมา (I) โดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง ดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 ลำแสงที่ผ่านเข้าออกสารละลายความเข้มข้น C เป็นระยะทาง l

โดยทั่วไปจะรายงานค่า transmittance เป็นเปอร์เซ็นต์ (%T) ดังนั้น

$$\%T = 100 \frac{I}{I_0}$$

$$\log \%T = \log 100 \frac{I}{I_0}$$

$$\log \%T = 2 + \log \frac{I}{I_0}$$

$$\log \%T = 2 - A \quad \text{หรือ} \quad A = 2 - \log \%T \quad (3)$$

ดังนั้นค่า T มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 และ $\%T$ มีค่าตั้งแต่ 0 - 100 ส่วน $A = 0$ เมื่อแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ถูกดูดกลืนไว้และผ่านออกมา 100 % ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับ % transmittance

Transmittance (I/I_0)	%T ($\log I/I_0$)	$\log \%T$	Absorbance ($-\log T$)
1	100	2	0
0.1	10	1	1
0.01	1	0	2
0.001	0.1	-1	3

ที่มา : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page2_2.html, [ออนไลน์], 2555

เอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการ

1. ความหมายของบทปฏิบัติการ

“ปฏิบัติการ” ตามความหมายของพจนานุกรมไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2525 หมายถึง การทดลอง พิสูจน์ข้อเท็จจริง ตามทฤษฎี
 อรอุมา ละมุล (2541, หน้า 14) ให้ความหมายดังนี้ บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คือ
 กิจกรรมการทดลองที่นักเรียนมีโอกาสปฏิบัติการร่วมกัน มีโอกาสสัมผัสและรู้จักวิธีใช้อุปกรณ์ของ
 วิทยาศาสตร์ โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ฐาปณีย์ เมธิพลกุล (2542, หน้า 47) ให้ความหมายว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 หมายถึง ชุดกิจกรรมที่เกี่ยวกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ซึ่งจัดให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติภายใต้
 สภาพการณ์ที่ควบคุมโดยมีครูคอยแนะนำช่วยเหลือ

สมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ (2544, หน้า 25) กล่าวว่า การสอนแบบปฏิบัติการทดลอง
 หมายถึง การสอนโดยให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่างๆด้วยตนเอง ได้ฝึกกระบวนการทาง
 วิทยาศาสตร์ และมีอิสระในการคิดภายใต้หลักเกณฑ์และคำแนะนำปรึกษาของครูอย่างใกล้ชิด

อรทัย วิเศษกุล (2534, หน้า 11) ให้ความหมายของ การสอนแบบปฏิบัติการไว้ว่า
 หมายถึง การสอนวิทยาศาสตร์โดยให้นักเรียนได้ค้นคว้าหาความรู้จากการทดลองด้วยตนเอง
 เพื่อมุ่งให้นักเรียนมีเสรีภาพทางความคิดและได้ฝึกฝนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การที่นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าหาความรู้จากกิจกรรม
 การทดลองด้วยตนเอง โดยมีครูให้คำแนะนำ และบทปฏิบัติการเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์
 หมายถึง กิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่จัดขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ลงมือ

ปฏิบัติและศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองโดยมีครูให้คำแนะนำ

จากความหมายดังกล่าวข้างต้นประมวลสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการทดลอง หมายถึง ชุดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตนเอง ได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และมีอิสระในการคิดภายใต้หลักเกณฑ์และคำแนะนำปรึกษาของครูอย่างใกล้ชิด

2. จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์

มีนักการศึกษาหลายท่านได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

ฮอฟสแตน และ ลูเนตา (Hofstein & Lunetta, 1982, p. 203) กำหนดจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1. เพื่อปลูกฝังให้เกิดความสนใจ เจตคติ ความพึงพอใจ ความมีใจกว้าง และความอยากรู้อยากเห็นในวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา

2. เพื่อส่งเสริมความคิดแบบวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์

3. เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์และความสามารถทางสติปัญญา

จากแนวคิดดังกล่าวสรุปได้ว่า การเรียนการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมพัฒนาช่วยเหลือให้นักเรียนมีทั้งความรู้ ความคิด เข้าใจธรรมชาติของโลกวิทยาศาสตร์ มีทักษะกระบวนการและเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์

3. ขั้นตอนการสร้างบทปฏิบัติการทดลอง

3.1 หลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้สร้างบทปฏิบัติการทดลอง

แนวคิดทางทฤษฎีการเรียนรู้ที่เป็นแนวทางในการสร้างบทปฏิบัติการทดลองดังนี้

กลุ่มพฤติกรรมนิยม (Behaviorism) เป็นกลุ่มที่ตีความพฤติกรรมการเรียนรู้ของมนุษย์ว่าการเรียนรู้เป็นการเชื่อมระหว่างสิ่งเร้าและการตอบสนอง เรียกว่าการเรียนรู้แบบ S-R สิ่งเร้าก็คือข่าวสารหรือเนื้อหาวิชาที่ส่งไปให้ผู้เรียน โดยผ่านกระบวนการเรียนการสอน โปรแกรมการเรียนการสอนทั่วไปมักอิงทฤษฎีนี้ โดยจะแตกลำดับขั้นตอนของการเรียนรู้ออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ เมื่อผู้เรียนเกิดการตอบสนองก็จะสามารถทราบได้ทันทีว่าเกิดการเรียนรู้หรือไม่ ถ้าตอบสนองถูกต้องก็จะมีเสริมแรง

กลุ่มทฤษฎีการรู้คิด (Cognitive Theory) เป็นกลุ่มที่เน้นกระบวนการความรู้ ความเข้าใจหรือการรู้คิด อันได้แก่ การรับรู้อย่างมีความหมาย ความเข้าใจ และความสามารถในการจัดกระทำ อันเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของพฤติกรรมมนุษย์ ทฤษฎีนี้ถือว่าการเรียนรู้ของมนุษย์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของสติปัญญาและความสามารถในการสร้างความสัมพันธ์

กลุ่มทฤษฎีสังคมนิยม (Social Learning Theory) เป็นกลุ่มที่เน้นปัจจัยทางบุคลิกภาพ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ การเรียนรู้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการกระทำทางสังคม โดยเรียนรู้จากประสบการณ์โดยตรง หรือผ่านสื่อการเรียนการสอน

สรุปได้ว่า จิตวิทยาสำคัญมากในการสร้างบทปฏิบัติการทดลองเพราะหลักจิตวิทยา จะช่วยให้เข้าใจนักเรียนมากขึ้นและช่วยออกแบบบทปฏิบัติการให้เหมาะสมกับบริบทของนักเรียน ในทุก ๆ ด้าน

3.2 ชุดการทดลอง

ทิสนา แคมมณี (2534) ได้กล่าวถึง องค์ประกอบของชุดการทดลอง ชุดการสอน ชุดกิจกรรมประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ชื่อกิจกรรม ประกอบด้วยหมายเลขกิจกรรม ชื่อของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรม
2. คำชี้แจง เป็นส่วนที่อธิบายความมุ่งหมายหลักของกิจกรรมลักษณะของการจัดกิจกรรมเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายนั้น
3. จุดมุ่งหมายเป็นสิ่งที่ระบุจุดมุ่งหมายของกิจกรรมนั้น
4. ความคิดรวบยอดเป็นส่วนที่ระบุเนื้อหาหรือมโนทัศน์ของกิจกรรมนั้น ส่วนนี้ควรได้รับการย้ำและเน้นเป็นพิเศษ
5. สื่อ เป็นส่วนที่ระบุถึงวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการดำเนินกิจกรรม เพื่อช่วยให้ครูทราบว่าต้องเตรียมอะไรบ้าง
6. เวลาที่ใช้ เป็นส่วนที่ระบุโดยประมาณค่า กิจกรรมควรใช้เวลาเพียงใด
7. ขั้นตอนในการจัดกิจกรรมเป็นส่วนที่ระบุในการจัดกิจกรรมเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ วิธีการจัดกิจกรรมนี้ ได้จัดไว้เป็นขั้นตอน ซึ่งนอกจากจะสอดคล้องกับหลักวิชาแล้ว ยังเป็นการอำนวยความสะดวกแก่ครู ในการดำเนินการ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้
 - 7.1 ขั้นนำ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียน
 - 7.2 ขั้นกิจกรรม เป็นส่วนที่ทำให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ทำให้เกิดประสบการณ์ ที่นำไปสู่การเรียนรู้ตามเป้าหมาย
 - 7.3 ขั้นอภิปราย เป็นส่วนที่ผู้เรียนได้มีโอกาสนำประสบการณ์ที่ได้รับจากขั้นกิจกรรมมาวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความเข้าใจและอภิปรายเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่กว้างขวางออกไปอีก
 - 7.4 ขั้นสรุป เป็นส่วนที่ครูและผู้เรียนประมวลข้อความรู้ได้จากขั้นกิจกรรม และขั้นอภิปราย นำมาสรุปหาสาระสำคัญที่จะสามารถนำมาใช้ต่อไป

7.5 ขั้นฝึกปฏิบัติ เป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้เรียนได้นำความรู้ที่ได้จากเรียน
ในกิจกรรมไปฝึกปฏิบัติเพิ่มเติม

7.6 ขั้นประเมินผล เป็นส่วนที่วัดความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนหลังการปฏิบัติ
กิจกรรมครบถ้วนทุกขั้นตอนแล้ว โดยให้ทำแบบฝึกหัดกิจกรรมทบทวน ทำชุดกิจกรรม
ชุดการสอนประเภทที่ครูผู้สอนใช้สอนนักเรียนเป็นกลุ่มใหญ่หรือทั้งชั้นเรียน
ควรประกอบด้วยสิ่งต่าง ๆ (ชาติรี เกิดธรรม, 2547, หน้า 138 - 139) ดังนี้

1. คู่มือครู ซึ่งเปรียบเสมือนแผนการสอนของครู ประกอบด้วย จุดมุ่งหมายของ
หลักสูตร รายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหา ขั้นตอนการสอน รายการบอกชนิดของสื่อ คำแนะนำ
การใช้สื่อ หนังสือประกอบการค้นคว้าสำหรับครู

2. สื่อการเรียนการสอน
3. แบบฝึกหัดเสริมทักษะ
4. แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน

ชุดการสอนต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 7 ประการ (ชาติรี เกิดธรรม, 2547,
หน้า 138-139) คือ

1. เนื้อหาหรือมโนทัศน์
2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
3. กิจกรรม
4. วัสดุประกอบการเรียน
5. แบบทดสอบ
6. กิจกรรมเพิ่มเติม
7. คำชี้แจงในการใช้ชุดการสอน

สรุปได้ว่า บทปฏิบัติการทดลองนั้นเป็นชุดการสอนชนิดหนึ่ง การสร้างบทปฏิบัติการ
ทดลองนั้นต้องประยุกต์ชุดการสอนอื่น ๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับเนื้อหา ผู้วิจัยได้สร้าง
บทปฏิบัติการทดลอง 2 ชุด คือ บทปฏิบัติการทดลองสำหรับนักเรียนและคู่มือครูประกอบการสอน
บทปฏิบัติการทดลอง คู่มือบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนประกอบไปด้วย ข้อเสนอแนะในการใช้
บทปฏิบัติการทดลอง แบบทดสอบก่อนเรียน ใบความรู้ ใบงานการทดลอง แบบฝึกหัด
แบบทดสอบหลังเรียน คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วย ข้อเสนอแนะ
ในการใช้คู่มือปฏิบัติการ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบก่อนเรียน ใบความรู้ ใบงาน
การทดลอง แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน ตัวอย่างผลการทดลอง การตอบคำถามท้าย
การทดลอง อภิปรายและสรุปผลการทดลอง เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลอง

เมื่อสร้างบทปฏิบัติการทดลองแล้ว ก่อนที่จะนำไปใช้ ควรมีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพก่อนเพราะจะทำให้ทราบถึงข้อบกพร่องหรือปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อจะได้ปรับปรุงให้เกิดผลดีต่อผู้เรียน

1. การทดลองใช้และหาประสิทธิภาพบทสื่อการสอนที่สร้างขึ้น

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2551) เมื่อทำการผลิตสื่อการสอนขึ้นมาแล้ว ผู้ผลิตจำเป็นต้องทำการประเมินผลสื่อการสอนที่ผลิตขึ้นมานี้เสียก่อนที่จะนำไปใช้ในสภาพจริงต่อไปการประเมินผลบทปฏิบัติการทดลองก็คือ การหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนที่สร้างขึ้นนั่นเอง (Developmental Testing) ซึ่งก็คือ การนำบทสื่อการสอนนั้น ๆ ไปทดลองใช้ (Tryout) โดยการนำไปใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขแล้วจึงนำไปสอนจริง (Trial run) ต่อไป ผู้ผลิตบทปฏิบัติการทดลองจำเป็นต้องทดสอบหาประสิทธิภาพเพราะสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสื่อการสอนที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพ
2. เพื่อให้แน่ใจว่าสื่อการสอนสามารถทำให้การเรียนการสอนบรรลุวัตถุประสงค์ได้

อย่างแท้จริง

3. เพื่อเป็นหลักประกันได้ว่า เมื่อผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก ๆ แล้ว สามารถใช้ได้เป็นอย่างดี คุ่มค่ากับการลงทุน

2. การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลอง

บทปฏิบัติการทดลองที่ผลิตขึ้นมาและผ่านการทดลองหาประสิทธิภาพ จะต้องให้ได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้จึงจะถือได้ว่าบทปฏิบัติการทดลองนั้นมีคุณภาพ ซึ่งเราสามารถกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองได้เอง เกณฑ์ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อยู่ในระดับที่ผู้ผลิตบทปฏิบัติการทดลองพึงพอใจ หากบทปฏิบัติการทดลองนั้นมีประสิทธิภาพถึงระดับแล้ว บทปฏิบัติการทดลองนั้นก็มีความคุ้มค่าที่จะนำไปเสนอผู้เรียนได้ และให้ผลคุ้มค่าแก่การลงทุนในการผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลอง หมายถึง คุณภาพของบทปฏิบัติการทดลองที่สร้างขึ้นมานั้น เอื้ออำนวยเกื้อหนุนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เข้าใจในเนื้อหาบทเรียนนั้นเป็นอย่างดีนั่นเอง การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพสามารถกระทำได้โดยการประเมินผลพฤติกรรมของผู้เรียน 2 ลักษณะ คือ พฤติกรรมต่อเนื่อง (กระบวนการ) และพฤติกรรมขั้นสุดท้าย (ผลลัพธ์) เราจะกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการเป็น E_1 และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ เป็น E_2

3. การกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2547) ให้ความหมายของการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เป็นระดับที่ผู้ผลิตเครื่องมือพึงพอใจ ว่า หากเครื่องมือมีประสิทธิภาพถึงระดับนั้นแล้ว เครื่องมือนั้นก็มีคุณค่าที่จะนำไปสอนนักเรียน และคุ้มค่าแก่การลงทุนผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ กระทำได้โดยการประเมินพฤติกรรมของผู้เรียน 2 ประเภท คือ พฤติกรรมต่อเนื่อง(กระบวนการ) และพฤติกรรมขั้นสุดท้าย (ผลลัพธ์) โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น E_1 (ประสิทธิภาพของกระบวนการ) และ E_2 (ประสิทธิภาพของผลลัพธ์)

1. ประเมินพฤติกรรมต่อเนื่อง คือ การประเมินต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยพฤติกรรมย่อยหลาย ๆ พฤติกรรมเรียกว่า “กระบวนการ” ของผู้เรียนที่สังเกตจากการประกอบกิจกรรมกลุ่ม (รายงานกลุ่ม) และรายงานบุคคล ได้แก่ งานที่ได้รับมอบหมาย และกิจกรรมอื่นใดที่ผู้สอนกำหนดไว้

2. ประเมินพฤติกรรมขั้นสุดท้าย คือ ประเมินผลลัพธ์ของผู้เรียน โดยพิจารณาจากการสอบหลังเรียนและการสอบไล่ ประสิทธิภาพของเครื่องมือจะกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ผู้สอนคาดหมายว่าผู้เรียนจะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเป็นที่พึงพอใจ โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลเฉลี่ยของคะแนนการทำงานและการประกอบกิจกรรมของผู้เรียนทั้งหมด ต่อเปอร์เซ็นต์ของการทดสอบหลังเรียนของผู้เรียนทั้งหมดนั้นคือ E_1 / E_2 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ/ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ตัวอย่าง 80/80 หมายความว่า เมื่อเรียนจากเครื่องมือแล้ว ผู้เรียนจะทำแบบฝึกหัดและใบงาน ได้ผลเฉลี่ยร้อยละ 80 และทดสอบหลังเรียน ได้เฉลี่ยร้อยละ 80 การที่จะกำหนดเกณฑ์ E_1 / E_2 ให้มีค่าเท่าใดนั้นให้ผู้สอนเป็นผู้พิจารณาตามความพอโดยปกติเนื้อหาที่เป็นความรู้ ความจำมักจะตั้งไว้ 80/80 85/85 หรือ 90/90 ส่วนเนื้อหาที่เป็นทักษะอาจตั้งไว้ต่ำกว่านี้ เช่น 75/75 เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่ควรตั้งเกณฑ์ไว้ต่ำเพราะการกำหนดเกณฑ์จะเป็นเป้าหมายของการพัฒนาการของผู้เรียน

เพชฌัญญู กิจระการ (2546, หน้า 47) กล่าวว่า การคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อและเทคโนโลยีการเรียนการสอน หลังจากผ่านกระบวนการและขั้นตอนของการสร้างสื่อทั้งหลายตามหลักวิชาแล้วขั้นต่อไปคือการหาประสิทธิภาพสื่อที่สร้างขึ้นมีกระบวนการสำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การหาประสิทธิภาพตามวิธีการหาประสิทธิภาพเชิงเหตุผลและขั้นตอนการหาประสิทธิภาพตามวิธีการหาประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ จึงจะมั่นใจว่าได้สื่อหรือเทคโนโลยีการเรียนการสอนเป็นที่ยอมรับ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการหาประสิทธิภาพเชิงเหตุผล เป็นกระบวนการใช้หลักของความรู้และเหตุผล ในการตัดสินคุณค่าของสื่อการเรียนการสอน โดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้พิจารณาตัดสินคุณค่า ซึ่งเป็นการหาความเที่ยงตรงของเนื้อหาและความเหมาะสมในด้านความถูกต้องของการนำไปใช้ ผลจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน จะนำมาหาประสิทธิภาพโดยใช้สูตร ดังนี้

$$CVR = \frac{2Ne}{N}$$

เมื่อ	CVR	แทน	ประสิทธิภาพเชิงเหตุผล
	Ne	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ยอมรับ
	N	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินสื่อการเรียนการสอนตามแบบประเมินที่สร้างขึ้นในลักษณะที่เป็นที่ยอมรับ ตั้งแต่ 3.50-5.00 ถ้าไม่ได้ค่าถึงเกณฑ์จะต้องปรับปรุงแก้ไขและนำไปพิจารณาใหม่

วิธีการหาประสิทธิภาพเชิงประจักษ์ วิธีการนี้จะนำสื่อไปทดลองกับกลุ่มประชากร เช่น บทเรียนคอมพิวเตอร์ บทเรียน โปรแกรม ชุดการสอน แบบฝึกทักษะ บทปฏิบัติการทดลอง เป็นต้น ประสิทธิภาพที่วัดส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การทำแบบฝึกหัด หรือกระบวนการเรียน หรือแบบทดสอบย่อยโดยแสดงเป็นค่าตัวเลข 2 ตัว เช่น $E_1 / E_2 = 80/80$, $E_1 / E_2 = 85/85$, $E_1 / E_2 = 90/90$ เป็นต้น

เกณฑ์ประสิทธิภาพ (E_1 / E_2) มีความหมายแตกต่างกันหลายลักษณะในที่นี้ขอ ยกตัวอย่าง $E_1 / E_2 = 80/80$ ดังนี้เกณฑ์ 80/80 ในความหมายที่ 1 ตัวเลข 80 แรก (E_1) คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมดที่ทำแบบฝึกหัดและใบงาน ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80 ถือเป็นประสิทธิภาพของ กระบวนการส่วน 80 ตัวหลัง (E_2) คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบหลังเรียน ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80 ส่วนการหาค่า E_1 และ E_2 ใช้สูตรดังนี้ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2543)

จากสูตร

$$E_1 = \frac{\sum X}{\frac{N}{A}} \times 100$$

E_1	แทน	ประสิทธิภาพของกระบวนการ
$\sum X$	แทน	คะแนนของแบบฝึกหัดและใบงานการทดลอง
A	แทน	คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดและใบงานการทดลอง
N	แทน	จำนวนนักเรียนทั้งหมด

$$E_2 = \frac{\sum Y}{\frac{B}{N}} \times 100$$

E_2	แทน	ประสิทธิภาพของผลลัพธ์
$\sum Y$	แทน	คะแนนรวมของแบบทดสอบหลังเรียน
B	แทน	คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน
N	แทน	จำนวนนักเรียนทั้งหมด

การกำหนดเกณฑ์มาตรฐานไม่ควรกำหนดให้มีค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป แต่ควรกำหนดให้สอดคล้องกับระดับผู้เรียนที่เป็นผู้ใช้บทเรียน โดยมีแนวทางการกำหนดดังนี้ (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548, หน้า 310)

1. บทเรียนสำหรับเด็กเล็กควรกำหนดเกณฑ์ไว้ระหว่างร้อยละ 95-100
2. บทเรียนสำหรับเนื้อหาทฤษฎี หลักการความคิดรวบยอดและเนื้อหาพื้นฐาน ควรกำหนดเกณฑ์ไว้ระหว่างร้อยละ 90-95
3. บทเรียนที่มีเนื้อหาวิชาที่ยากและซับซ้อนต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษามากกว่าปกติควรกำหนดไว้ระหว่างร้อยละ 85-90
4. บทเรียนวิชาปฏิบัติ วิชาประลองหรือวิชาทฤษฎีถึงปฏิบัติ ควรกำหนดไว้ระหว่างร้อยละ 80-85
5. บทเรียนสำหรับบุคคลทั่วไปได้ระบุกลุ่มเป้าหมายที่ชัดเจน ควรกำหนดไว้ระหว่างร้อยละ 80-85

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้สูตรของ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2543) ในการหาประสิทธิภาพ E_1 / E_2 ของบทปฏิบัติการทดลองที่สร้างขึ้นและกำหนดเกณฑ์ที่ 80/80

เอกสารที่เกี่ยวกับเด็กที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์

1. ความหมายของเด็กที่มีความสามารถพิเศษ หรือความสามารถพิเศษด้านวิทยาศาสตร์ นักวิชาการ ให้คำนิยามและความหมายของเด็กที่มีความสามารถพิเศษดังนี้

เด็กที่มีความสามารถพิเศษ หมายถึง เด็กที่มีสติปัญญาสูงสุดอยู่ในระดับ 10% ของเด็กทั้งหมดซึ่งทราบได้จากผลการทดลองสติปัญญา ผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาหรือการทดสอบอื่น ๆ เด็กกลุ่มนี้จะมีผลการเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าเด็กปกติทั่วไปและอาจจะมีความสามารถอื่น ๆ ด้วย เช่น ความสามารถทางความคิดสร้างสรรค์ การสื่อสาร ความเป็นผู้นำการตัดสินใจ และภาคการณื ล่วงหน้าและการวางแผน (Reynolds & Birch, 1977)

เด็กที่มีความสามารถพิเศษ หมายถึง เด็กที่มีความสามารถสูงทางวิชาการ มีความจำ เป็นเลิศ มีความคิดสุขุม ไม่ซ้ำแบบใคร มีเหตุผล มองเห็นปัญหาและแก้ไขปัญหาได้ มีลักษณะ ความเป็นผู้นำ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีอารมณ์ขัน มีความสนใจหลายอย่าง ใฝ่หาความรู้ ด้วยตนเอง มีสมาธิในการทำงาน (คุชฎี บริพัตร ณ อยุธยา, 2532, หน้า 40-41)

ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการสังเกต วิเคราะห์ พิสูจน์ คัดแยก ศึกษา อธิบาย รวมถึงเข้าใจในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หรือการเกิดปรากฏการณ์ สิ่งต่าง ๆ ทางธรรมชาติ ความสามารถในการมองเห็นโครงสร้างของระบบธรรมชาติ ความเข้าใจ ในความสัมพันธ์และผลกระทบที่จะเกิด

2. วิธีการสอนที่เหมาะสมสำหรับเด็กที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์ สำหรับวิธีการสอนเด็กที่มีความสามารถพิเศษนั้นสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้คือ

2.1 การเรียนรู้แบบรู้แจ้ง เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้เด็กได้มีโอกาส เรียนรู้อย่างเป็นขั้นตอน ตามระดับความสามารถของเด็ก โดยครูแจกแจงเนื้อหาวิชาออกเป็นขั้นย่อย หลาย ๆ ขั้น แล้วให้เด็กได้เรียนตามทีละขั้น โดยไม่มีการเร่งรัดเกี่ยวกับเวลามากนัก ให้เด็กเรียน ไปเรื่อย ๆ ตามความสามารถ จนกระทั่งเด็กเรียนด้วยตนเองครบหน่วยของเนื้อหาที่ครูกำหนด การเรียนรู้แบบนี้เป็นทางเลือกอย่างหนึ่งที่ทำให้เด็กเลือกเรียนได้ตามความสามารถ

2.2 การจัดหลักสูตรให้กะทัดรัด เป็นการปรับปรุงหลักสูตรวิธีหนึ่งเพื่อให้เหมาะกับ เด็กปัญญาเลิศโดยมุ่งเน้นให้เด็กได้มุ่งเรียนในเนื้อหาวิชาที่เป็นจุดสำคัญจริง ๆ ในบางครั้ง จึงจำเป็นต้องตัดกิจกรรมการเรียนบางอย่างออกไป เมื่อครูเห็นว่าเด็กมีทักษะแล้ว เช่น การนำเข้าสู่วิทยา การทบทวนแบบฝึกหัด การทบทวนกฎเกณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้น แต่ครูจะต้องแน่ใจว่าเด็ก มีพื้นฐานแล้ว จึงจะเรียนเนื้อหาวิชาที่ยากขึ้นได้

2.3 การคิดเชิงวิจารณ์ เป็นการสอนให้นักเรียนรู้จักคิด รู้จักใช้เหตุผลก่อนตัดสินใจ และไม่ได้หลงเชื่อใครง่าย ๆ ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ ประการแรกการตรวจสอบข้อมูลว่า ข้อมูลที่ได้รับมาถูกต้องหรือไม่เพียงใด ควรเลือกเชื่อข้อมูลประเภทใด เมื่อทราบแหล่งที่มาของ ข้อมูลแล้ว จะต้องพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่า น่าเชื่อถือหรือไม่ พิจารณาถึงข้อดี ข้อเสียก่อนตัดสินใจบางครั้งอาจมีการตั้งสมมติฐานไว้ใจแล้วหาทางพิสูจน์ว่าเป็นจริงหรือไม่จึงจะทำการตัดสินใจได้ถูกต้อง

2.4 ศูนย์การเรียน เป็นการจัดมุมใดมุมหนึ่งในห้องเรียน หรือในโรงเรียนให้เป็นมุม หรือศูนย์ที่เน้นเนื้อหาวิชาใดวิชาหนึ่งตามเนื้อหาในหลักสูตร แล้วให้เด็กเข้าศึกษาหาความรู้ ด้วยตนเองตามศูนย์ที่ครูจัดไว้ เด็กบางคนอาจมีความสนใจในเนื้อหาที่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในหลักสูตร ครูอาจจัดตั้งศูนย์พัฒนาความสนใจขึ้น เพื่อให้เด็กได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองก็ได้

2.5 การคิดระดับสูง เป็นการสอนให้เด็กเรียนรู้ตามแนวความคิดของนักการศึกษาชาวอเมริกัน ชื่อ Benjamine Bloom ซึ่งกล่าวว่า การสอนให้มีความรู้ และความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเป็นการสอนให้มีความรู้ในระดับต่ำ ครูควรจะสอนให้เด็กนำไปใช้ วิเคราะห์ สังเคราะห์ และประเมินผลสิ่งที่เรียนดี ไม่ดี มีประโยชน์ ไม่มีประโยชน์อย่างไร จึงจะถือว่าประสบผลสำเร็จ เพราะนั่นคือการสอนให้เด็กรู้จักการคิดในระดับสูง

2.6 การศึกษาด้วยตัวเอง เป็นการมอบหมายให้เด็กได้ศึกษาเรื่องใดเรื่องหนึ่งในแนวหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องที่เด็กให้ความสนใจอย่างมาก แต่ครูจะต้องคอยให้คำแนะนำเด็ก เมื่อได้ความรู้มาแล้วนักเรียนจะต้องจัดความรู้เป็นหมวดหมู่ แล้วนำเสนอในรูปแบบของรายงาน วิดีทัศน์ หรือนิทรรศการ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถของนักเรียน

2.7 การฝึกงานกับผู้ชำนาญงาน เป็นการส่งเด็กปัญญาเลิศไปฝึกงานกับผู้ที่มีความรู้ความสามารถในเรื่องใดเรื่องหนึ่งเป็นพิเศษ เพื่อให้ผู้ชำนาญการนั้นถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่เด็กปัญญาเลิศ

2.8 การสอนเร่ง เป็นการเปิดโอกาสให้เด็กได้เรียนเนื้อหาที่ยากขึ้น เกินกว่าที่กำหนดไว้ในหลักสูตร

2.9 การสอนเสริม เป็นการสอนตามเนื้อหาที่กำหนดไว้ในหลักสูตร แต่มีกิจกรรมที่กว้างขวางขึ้น เนื้อหาเดิมแต่กิจกรรมอาจมีมากขึ้น ทั้งแนวหลักและแนวสร้างสรรค์ ซึ่งอาจจัดเป็นกิจกรรมนอกหลักสูตร หรือเป็นค่ายฤดูร้อนก็ได้

2.10 การข้ามชั้น เป็นการเลื่อนชั้นเรียนให้สูงขึ้นการเข้าเรียนก่อนเกณฑ์ เป็นการส่งเด็กเข้าเรียนเมื่ออายุยังน้อย ตามปกติแล้วเด็กจะเข้าเรียนเมื่ออายุครบตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.11 การเรียนตามความสามารถของตนเอง เป็นการให้เด็กปัญญาเลิศเรียนหนังสือด้วยตัวเองตามเนื้อหาที่กำหนด โดยครูจะนำเนื้อหาวิชามาแบ่งเป็นตอน ๆ หรือเป็นชุด ๆ แล้วให้เด็กเรียนด้วยตนเองเป็นชุด ๆ ตามความสามารถของเด็ก ไม่มีการกำหนดเวลา เด็กจะเรียนกี่ชุดหรือทุกชุดก็ได้

2.12 การเข้าเรียนในระดับมหาวิทยาลัยเมื่ออายุยังน้อย ตามปกติแล้วเด็กจะเข้าเรียนมหาวิทยาลัยเมื่อสำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หากกระเปียบการต่าง ๆ เปิดกว้างกว่านี้เด็กเก่งอาจมีโอกาสดำเนินการเข้าเรียนในระดับมหาวิทยาลัยเมื่ออายุยังน้อยก็ได้ หากเกณฑ์การเข้ามหาวิทยาลัยพิจารณาความสามารถทางวิชาการเป็นหลัก ไม่มีการจำกัดด้านอายุ เป็นต้น

2.13 การเรียนทางไปรษณีย์ เป็นการเปิดโอกาสให้เด็กได้เรียนด้วยตนเองทางไปรษณีย์ ซึ่งมหาวิทยาลัยบางแห่งจัดสอน อาจฟังคำบรรยายจากเทปเสียง หรือจากวีดิทัศน์ก็ได้

ซึ่งเด็กจะเรียนได้ช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับความสามารถและความสนใจของตน

2.14 การเรียนล่วงหน้า เป็นการอนุญาตให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เข้าไปเลือกเรียนบางรายวิชาในระดับมหาวิทยาลัยได้ และเก็บสะสมหน่วยกิตไว้ เมื่อเด็กเข้าเรียน ในมหาวิทยาลัยจริง จะช่วยให้เด็กเรียนจบระดับมหาวิทยาลัยเร็วขึ้น

2.15 การแก้ปัญหา เป็นการฝึกให้เด็กแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปัญหา ในการเรียน หรือปัญหาในสังคมก็ได้ ครูอาจให้เด็กทำงานคนเดียวหรือทำงานเป็นกลุ่มก็ได้ เป็น การสอนให้เด็กรู้จักการวิเคราะห์ปัญหาว่าปัญหาเกิดมาจากอะไร มีที่มาอย่างไร

2.16 การจัดหลักสูตรรายบทย่อ เป็นการจัดหลักสูตรที่เข้มข้น เพื่อให้เด็กปัญญาเลิศ ได้เรียนภายในเวลาที่สั้นลง

2.17 การนับหน่วยกิตโดยการสอบ เป็นการสอบโดยที่เด็กไม่ต้องมาเรียน ให้เด็ก เรียนด้วยตนเองที่บ้าน เมื่อสัปดาห์เรียนให้เด็กเข้าสอบ หากเด็กสอบได้ เด็กก็ได้รับสิทธิในการสอบ ผ่านการเรียนวิชานั้น และเก็บสะสมหน่วยกิตไว้ เมื่อหน่วยกิตครบตามหลักสูตรก็ถือว่าสำเร็จ การศึกษา

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การสอนเด็กที่มีความสามารถพิเศษจึงควรจัดเนื้อหาที่น่าสนใจ เน้นให้มีกิจกรรมที่กว้างขวางขึ้น เนื้อหาเดิมแต่กิจกรรมอาจมีมากขึ้น ทั้งแนวลึกและแนว สร้างสรรค์เรียนรู้อย่างเป็นขั้นตอน เปิดโอกาสให้เด็กได้เรียนเนื้อหาที่ยากขึ้น เกินกว่าที่กำหนดไว้ในหลักสูตร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการทดลองเจตคติและความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยรวบรวมนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการทดลองทาง วิทยาศาสตร์นำมาเสนอ ดังนี้

งานวิจัยในประเทศ

กรรณิกา ไพบูลย์ (2541) ศึกษาผลการใช้ชุดกิจกรรมสิ่งแวดล้อมตามวิธีการวิจัย ในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมในกิจกรรมชุมนุม วิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผลการวิจัยพบว่า เจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดกิจกรรมสิ่งแวดล้อมตามวิธีการวิจัยกับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ แตกต่าง ๆ กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ปรีชา อนุพงษ์อาจ (2554) ศึกษาผลการออกแบบและพัฒนาชุดทดลอง เรื่อง การกำทอนของคลื่นในท่ออากาศ โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์และทางอิเล็กทรอนิกส์ และ

ศึกษาระดับความคิดเห็นของนักเรียนเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อชุดทดลองที่สร้างขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 (PHY 224) ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553 จำนวน 115 คน ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดทดลองนี้อยู่ในระดับมาก

ศิริกานต์ ผาสุก (2543) ทำการทดลองเกี่ยวกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่อง การสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ ผลการวิจัยพบว่า สามารถสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมี คือน้ำมันหอมระเหย ฟลาโวนอยด์ แทนนิน ซาโปนิน คาร์ดิแอกลัยโคไซด์ แอลคาลอยด์และสเตอรอยด์จากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น จากผลการทดลองได้นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน 8 บทปฏิบัติการ มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์กับเนื้อหา วัตถุประสงค์กับวิธีการทดลองและวัตถุประสงค์กับคำถามท้ายการทดลองระหว่าง .56 ถึง 1.00 แสดงว่าบทปฏิบัติการนี้มีประสิทธิภาพสำหรับนำไปใช้ทางด้านการเรียนการสอนได้

จันทร์ทิวา จุมพลหล้า (2546) ทำการศึกษาการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การผลิตและการตรวจสอบสารอาหารในเห็ดถั่วถั่วงอก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติฯ สกลนคร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2545 จำนวน 30 คน ผลการวิจัยพบว่า บทปฏิบัติการทั้ง 4 บทปฏิบัติการมีคุณภาพในระดับดีมาก นักเรียนที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์เฉลี่ยร้อยละ 81.24 และมีความสามารถในการนำเสนอผลงานทางวิทยาศาสตร์เฉลี่ยร้อยละ 83.27

พรรณรัตน์ อารณพิศาล (2548) ทำการศึกษา การพัฒนาชุดทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 จังหวัดนครปฐม โดยมีจุดมุ่งหมาย สร้างและพัฒนาชุดทดลองให้ได้ประสิทธิภาพด้านการเรียนการสอนตามเกณฑ์ 80/80 และศึกษาผลการเรียนรู้ด้านความรู้ ผลการเรียนรู้ด้านความสามารถในการทดลอง และเจตคติต่อชุดทดลอง โดยมีการหาคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลการวิจัย พบว่า ชุดทดลองมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก มีประสิทธิภาพทางการศึกษา 82.65/80.18 นักเรียนมีผลการเรียนรู้ด้านความรู้ ผลการเรียนรู้ด้านความสามารถในการทดลอง และเจตคติต่อชุดทดลอง หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าอยู่ในระดับดี

อัญชลี เลาเหลิศจัย (2537) ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์พาณิชยกรรมของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพที่ได้รับการสอนโดยใช้เทคนิคประชาสัมพันธ์กับการสอนตามคู่มือครู กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นนักเรียน

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพปีที่ 2 ที่เรียนวิทยาลัยพาณิชยการบางนา กรุงเทพมหานคร จำนวน 80 คน ผลการศึกษาพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ พาณิชยกรรมของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม

จากการประมวลผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเรียนการสอนโดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์สรุปได้ว่า การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์โดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อ วิทยาศาสตร์ในทางบวก ดังนั้นในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ควรสอนโดยเน้น ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เพื่อฝึกฝนและพัฒนาให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะ ทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น

งานวิจัยต่างประเทศ

งานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับสื่อประสมมีผู้วิจัยไว้ดังนี้

กิลเบิร์ต (Gilbert, 1974, p. 5589) ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ในรัฐมินนิโซตา สหรัฐอเมริกา โดยใช้วิธีสอน สามแบบ คือ กลุ่มทดลองใช้การสอนแบบสื่อประสม ที่สร้างขึ้นโดยให้นักเรียนเรียนด้วยตนเอง เป็นรายบุคคลกลุ่มควบคุมอีกสองกลุ่มใช้การสอนแบบให้สังเกตพร้อมกับคำแนะนำจากผู้สอน กับ การสอนแบบกลุ่มเล็ก ๆ โดยใช้สื่อการเรียนร่วมกัน เนื้อหาที่ใช้ทดลองคือ การบวกเลขสองหลัก ใช้เวลาทำการทดลองเท่ากัน ผลการทดสอบปรากฏว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทาง การเรียนวิชาคณิตศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บรอว์ลีย์ (Brawley, 1975, p. 4280) ทดลองเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาคณิตศาสตร์ระหว่างการสอนด้วยบทเรียนสื่อประสมกับการสอนแบบปกติในเด็กเรียนช้า กลุ่มทดลองใช้บทเรียนสื่อประสมที่มีอุปกรณ์และสื่อการเรียน 12 ชุด กลุ่มควบคุมใช้การสอน แบบปกติปรากฏว่านักเรียนในกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์สูงกว่า กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ฮิรามัทสึ (Hiramatsu, 1982, p. 386) ทำการวิจัยเรื่องการทำชุดการเรียนรายบุคคล แบบใช้สื่อประสมกับนักเรียนวิทยาลัยชุมชนฟุตฮิลล์ (Foothill) ในประเทศญี่ปุ่น นักศึกษาเรียน โดยใช้ตำราเรียนเทปโทรทัศน์ เทปวิทยุและเทปแม่เหล็ก ผลปรากฏว่า ผลการเรียนรู้ของนักเรียน เป็นที่น่าพอใจ และการใช้ชุดการเรียนรายบุคคล แบบใช้สื่อประสมทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อ โปรแกรมการเรียน

จากการศึกษางานวิจัยของนักการศึกษาต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า มีผล สอดคล้องกับนักการศึกษาไทย กล่าวคือ นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม และ

ทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาที่เรียนการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมความสามารถของผู้เรียนได้อย่างหลากหลาย เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ศึกษา ค้นคว้า และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ฝึกคิด วางแผนในการทำงานต่าง ๆ ฝึกให้ผู้เรียนได้ทำงานร่วมกับผู้อื่น สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะต่าง ๆ ของผู้เรียนได้พร้อม ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจสร้างบทปฏิบัติการทดลองซึ่งเป็นนวัตกรรมและกระบวนการเรียนรู้ที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University