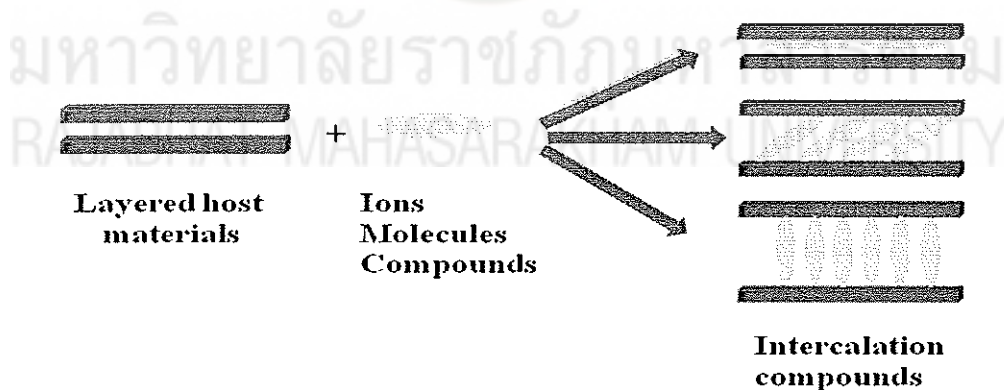


## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ปฏิกิริยาอินเทอร์คัลเลชัน (Intercalation reaction)

ปฏิกิริยาอินเทอร์คัลเลชัน หมายถึง ปฏิกิริยาการแทรก เกสต์ชนิดต่าง เช่น ไอออน โมเลกุล มอนอเมอร์ พอลิเมอร์ เข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้นของโครงสร้างของเลเยอร์โฮสต์ ที่มีโครงสร้างเป็นชั้นๆ โดยที่โครงสร้างของโฮสต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Whittingham and Jacobson, 1994) สารใหม่ที่เกิดขึ้นเรียกว่าสารประกอบอินเทอร์คัลเลชัน (Intercalation compound) ซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างสารอนินทรีย์กับสารอินทรีย์ (Inorganic-organic hybrid material) ที่มีสมบัติทางเคมี (Chemical properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) แตกต่างไปจากสารตั้งต้นส่งผลทำให้คุณสมบัติต่างๆ เช่น การดูดซับ การเร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติทางแสง คุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งลักษณะการจัดเรียงตัวของเกสท์ภายในช่องว่างของวัสดุโฮสต์จะแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของเกสต์และโฮสต์นั้น สารประกอบอินเทอร์คัลเลชันถูกนำมาศึกษาและประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง ใช้เป็นวัสดุเปล่งแสงใน OLEDs เนื่องจากมีสมบัติเชิงแสงที่ดี และทนความร้อนเพราะมีเลเยอร์โฮสต์เป็นตัวป้องกัน



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาอินเทอร์คัลเลชัน

ที่มา : Komori (2000)

## 2. วัสดุเลเยอร์โฮสต์ (Layered host materials)

วัสดุเลเยอร์โฮสต์เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) เป็นชั้นๆ มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ แกร์ไฟต์ (Graphite) เคลย์มีเนอรอล (Clay mineral) เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layer double hydroxides) และ โลหะทรานซิชันออกไซด์ (Transition metal oxide) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างวัสดุเลเยอร์โฮสต์ที่สามารถเกิดสารประกอบอินเทอร์คัลเลชัน

วัสดุเลเยอร์โฮสต์	ประจุของเลเยอร์
แกร์ไฟต์ (graphite)	
โลหะชาคอจีไนด์ (metal chalcogenides)	กลาง
$MX_2$ (M = Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W; X = S, Se)	กลาง
$MPX_3$ (M = Mg, Mn, Fe, V, Ni, Cd, Co, In; X = S, Se)	กลาง
โลหะออกไซด์และออกซีเฮไลด์ (metal oxide and oxy-halide)	
$M_xO_y$ ( $MoO_3, Mo_{18}O_{52}, V_2O_5, LiNbO_2, Li_xV_3O_8$ )	กลาง
$MOXO_4$ (M = Ti, V, Cr, Fe; X = P, As)	กลาง
Niobates $\{K[Ca_{2n-3}Nb_nO_{3n+1}]; 3 \leq n < 7$	ลบ
Titanates ( $K_2Ti_4O_9, KTiNbO_5$ )	ลบ
เคลย์มีเนอรอล (clay mineral) และซิลิเกต (silicate)	
Smectite (montmorillonite, saponite, etc)	ลบ
Kaolin (kaolinite, etc)	ลบ
Magadiite	ลบ
kanemite	ลบ
เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (layer double hydroxides)	
$[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2][A^n]_{xn} \cdot zH_2O$ ( $M^{2+} = Mg, Zn; M^{3+} = Al, Fe$ )	บวก

ที่มา : O'Hare (1996)

ลักษณะสำคัญของวัสดุไฮสแตเบิลเซอร์ คือ ช่องว่างระหว่างชั้นภายในโครงสร้างของไฮสแตเบิลเซอร์สามารถขยายตัวได้ ทำให้แก๊สซึมเข้าแทรกในช่องว่างระหว่างชั้นได้โดยที่โครงสร้างของไฮสแตเบิลเซอร์ไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกลไกของวัสดุไฮสแตเบิลเซอร์และแก๊สชนิดต่างๆ ทำให้สามารถเตรียมสารประกอบอินทรีย์คาร์เลชันได้แตกต่างกัน

ปฏิกิริยาอินทรีย์คาร์เลชันเกิดได้หลายลักษณะ เช่น ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange reaction) กับ ไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นภายในโครงสร้างของไฮสแตเบิลเซอร์ การดูดซับโมเลกุลมีขั้วบนพื้นผิวของวัสดุไฮสแตเบิลเซอร์ การเกิดพันธะไฮโดรเจน การเกิดสารเชิงซ้อนภายในช่องว่างระหว่างชั้นในโครงสร้างของวัสดุไฮสแตเบิลเซอร์ เป็นต้น

### 3. ตัวอย่างของวัสดุไฮสแตเบิลเซอร์

#### 3.1 เคลย์มีเนอรอล (Clay mineral)

เคลย์มีเนอรอลส่วนใหญ่เป็นวัสดุไฮสแตเบิลเซอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดีและมีพื้นที่ผิวสูงมากสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ได้หลายชนิด โครงสร้างของเคลย์มีเนอรอลประกอบด้วยชั้นซิลิเกต ( $\text{SiO}_2$ ) และอะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ที่รวมกันเป็นหนึ่งชั้นเลเยอร์ เคลย์มีเนอรอลจัดอยู่ในกลุ่มไฮดรอกซิลฟิลโลซิลิเกต (Hydrous phyllosilicates) ซึ่งเคลย์กลุ่มนี้แบ่งย่อยได้อีกเป็น 2 กลุ่ม คือ เลเยอร์ซิลิเกตชนิด 2:1 (2:1 Layered silicate) และเลเยอร์ซิลิเกตชนิด 1:1 (1:1 Layered silicate)

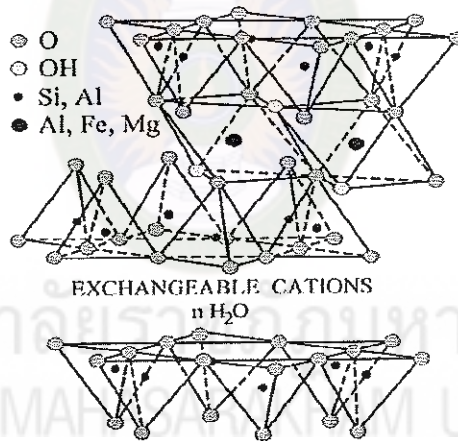
##### 3.1.1 เลเยอร์ซิลิเกตชนิด 2:1

###### ไพโรฟิลไลต์ไดออกตะฮีดรอล (Pyrophyllite Dioctahedral)

เลเยอร์ชนิดนี้หนึ่งชั้นของเลเยอร์ประกอบด้วย โครงสร้างแบบเตตระฮีดรอลของ  $\text{SiO}_4$  ( $\text{SiO}_4$  tetrahedral) 2 ชั้นของ โครงสร้างออกตะฮีดรอลของ  $\text{AlO}_6$  ( $\text{AlO}_6$  tetrahedral) เรียกว่าเลเยอร์ TOT (Tetrahedral-octahedral-tetrahedral layer) โดย โครงสร้างออกตะฮีดรอลจะสร้างพันธะพันธะกับ 2 ชั้นของ โครงสร้างเตตระฮีดรอลผ่านอะตอมออกซิเจน โดย โครงสร้างแบบ 2:1 จะพบหมู่ไฮดรอกซิลเฉพาะส่วนที่เป็นของออกตะฮีดรอล (Velde, 1992) เท่านั้น ส่วน โครงสร้างออกตะฮีดรอลนอกจาก  $\text{Al}^{3+}$  แล้วยังพบ  $\text{Fe}^{3+}$  ในปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย แบบจำลอง โครงสร้างของเคลย์มีเนอรอลชนิด 2:1 ได้แก่ มอนต์มอริไลนด์ จากการพิจารณาประจุของเลเยอร์ใน โครงสร้างของไพโรฟิลไลต์จะได้ โครงสร้างที่ต่างกัน 2 แบบ คือ โครงสร้างที่เป็นกลาง (Neutral structure) ซึ่งเป็น โครงสร้างที่ประจุในเลเยอร์ TOT คงที่ไม่

เปลี่ยนแปลงและโครงสร้างที่มีประจุ (Charged structure) คือ โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงประจุในเลเยอร์ TOT

การแทนที่ไอออนภายในช่องว่างระหว่างชั้นของโครงสร้างชนิดนี้เกิดขึ้นโดยไอออนที่มีประจุสูงจะเข้าไปแทนที่ไอออนที่มีประจุต่ำ ปฏิบัติการแทนที่แบบนี้จะทำให้ประจุที่ไม่สมดุลของโครงสร้างแบบ 2:1 สมดุลได้ ตัวอย่างของเคลย์มินิอโรลที่มีโครงสร้างแบบ 2:1 ได้แก่ สมคไทต์ (Smectite) เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) และซาโปไนต์ (Saponite) เป็นต้น โครงสร้างของสมคไทต์ประกอบด้วยส่วนที่เป็นชั้นอลูมินาหรือแมกนีเซียมออกไซด์ทรออลและเป็นส่วนหนึ่งของชั้นเตตระฮีดรอลด้วย สมคไทต์มีสูตรทั่วไปคือ  $M_{2-3}Si_4O_{10}(OH)_2$  เมื่อ M = divalent, trivalent cation (Theng, 1974) สมคไทต์มีประจุเลเยอร์เป็นลบมีความหนาของเลเยอร์ประมาณ 1 นาโนเมตร และแกทไอออนในช่องว่างระหว่างชั้นสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี โครงสร้างของสมคไทต์มีดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้าง Clay mineral กลุ่ม Smectite

ที่มา : O'Hare (1996)

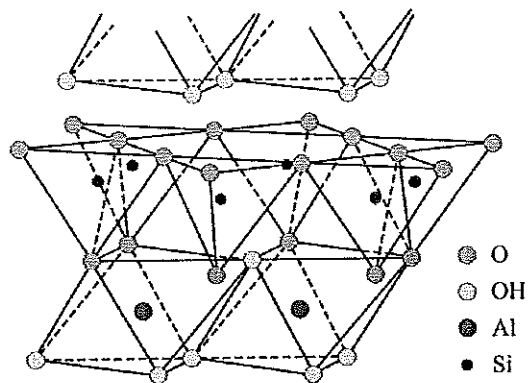
โครงสร้างของสมคไทต์มีการจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ โดยส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างชั้นภายในโครงสร้าง (Interlayer space or gallery height) มีแรงแวนเดอร์วาลส์ทำหน้าที่ยึดเลเยอร์เข้าด้วยกัน เลเยอร์ชนิดนี้สามารถเกิดอินเทอร์คัลเลชันของโมเลกุลเล็กๆ โดยเข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้นภายในโครงสร้างได้ นอกจากนี้สมคไทต์มีลักษณะพิเศษอื่นๆอีก เช่น สามารถขยายตัว (Swelling) ได้ดีในน้ำหรือสารละลายอื่นที่ไม่ใช่น้ำ คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange property) และการดูดซับ (Adsorption property) ที่ดีและมีพื้นที่ผิวสูง

มาก (Large surface area) (Theng, 1974) การที่สเมคไทต์สามารถขยายตัวได้ดีเมื่ออยู่ในน้ำทำให้สเมคไทต์อยู่ในรูปโซโซโทรปิกเจล (Thixotropic gel) ที่โปร่งใสและเสถียรเมื่อระเหยเจลนี้ อย่างช้าๆ จะทำให้อนุภาคของเกลย์ก่ตัวกันอยู่บนระนาบของชั้นสเตรทในลักษณะที่ขนานกับผิวชั้นสเตรทเป็นฟิล์มที่โปร่งใสสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เนื่องจากช่องว่างระหว่างชั้นภายใน โครงสร้างของสเมคไทต์ไม่สร้างพันธะต่อกัน ทำให้แคทไอออนหรือโมเลกุลอื่นๆ สามารถเข้าแทรกช่องว่างระหว่างชั้นได้ แคทไอออนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นภายใน โครงสร้างของสเมคไทต์แต่ละชนิดมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีไม่เท่ากัน จึงทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนหรือ ค่า CEC ขึ้นอยู่กับประจุลบของเลเยอร์ว่ามีมากน้อยเพียงใด เมื่อแคทไอออนเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับออร์แกนิกแคทไอออนอื่นจะมีผลทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นภายใน โครงสร้างขยายใหญ่ขึ้น

3.1.2 เลเยอร์ซิลิเกตชนิด 1:1

กาฬิไนต์ (Kaolinite)

กาฬิไนต์มีสูตรทั่วไปเป็น  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  โครงสร้างกาฬิไนต์ประกอบด้วยชั้นซิลิเกตและชั้นอะลูมินาที่รวมกันด้วยอัตราส่วน 1:1 แต่ละชั้นของโครงสร้างของกาฬิไนต์จะเชื่อมต่อกันด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ของชั้นอะลูมินา โดยจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมออกซิเจนที่อยู่บริเวณผิวของชั้นซิลิเกตที่อยู่ชั้นถัดไป (Velde, 1992) ทำให้กาฬิไนต์เกิดปฏิกิริยาอินเตอร์ลาร์เลชัน ได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับเคลย์ชนิดอื่น โครงสร้างแต่ละชั้นของกาฬิไนต์จะมีความหนาประมาณ 0.72 นาโนเมตร และเลเยอร์ของกาฬิไนต์มีความเป็นกลางทางไฟฟ้าแต่มีประจุอยู่บ้างเล็กน้อย โดยประจุนั้นเกิดจากการที่ไอออนอื่นเข้าไปแทนที่ไอออนในโครงสร้าง (นิธิมา เคารพาทพงศ์, 2545)



รูปที่ 3 โครงสร้าง Clay mineral กลุ่ม Kaolinite  
ที่มา : Ogawa (1992)

#### 4. ซาโปไนต์

ซาโปไนต์ (Saponite) เป็น Clay mineral ในกลุ่ม Smectite โครงสร้างประกอบด้วย ชั้นออกตะฮีดรอลประกบกับชั้นเตตระฮีดรอล ในอัตราส่วน 1:2 และมีประจุเป็นลบจึงมีประจุบวก ในช่วงว่างระหว่างเลเยอร์เพื่อปรับสมดุลเป็น Na(I) หรือไอออนของโลหะอื่นๆ ที่มีในธรรมชาติในปริมาณมาก ชั้นมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร

ซาโปไนต์ (Saponite) มีสมบัติที่สำคัญ คือ

- 1) สามารถบวมตัวในน้ำและตัวทำละลายที่ไม่ใช้น้ำได้ดี
- 2) มีแคตไอออนที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนได้อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเลเยอร์
- 3) มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดี
- 4) มีพื้นที่ผิวสูงมาก

ซาโปไนต์ เป็นวัสดุเลเยอร์ไฮสท์ชนิดหนึ่งที่มีความสนใจมาก เนื่องจากสามารถเตรียมสารประกอบอินเทอร์คัลเลชันกับไอออนบวก หรือ โมเลกุลได้ง่าย และได้สารใหม่ที่มีสมบัติที่น่าสนใจ เช่น สมบัติเชิงแสง

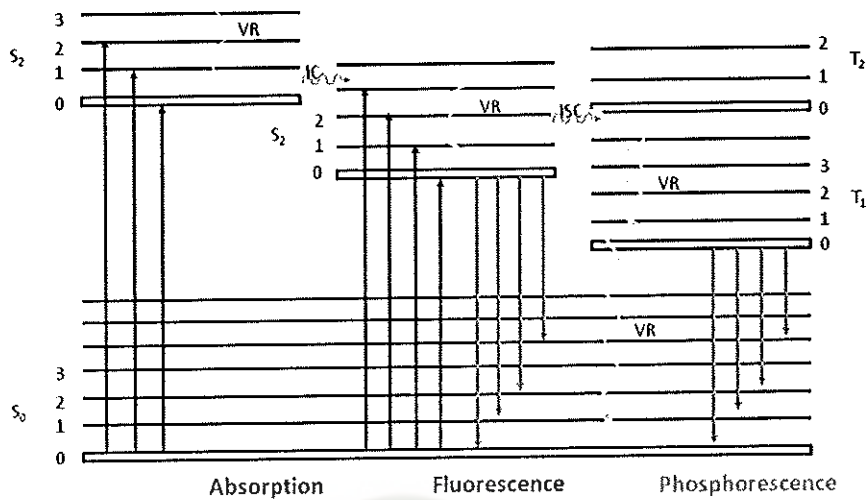
#### 5. ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence)

ลูมิเนสเซนซ์เป็นปรากฏการณ์การเปล่งแสงที่เกิดจาก โมเลกุลดูดกลืนพลังงานแล้วเกิดการกระตุ้น ปรากฏการณ์เปล่งแสงนี้มี 2 แบบ คือ ฟลูออเรสเซนซ์ และฟอสฟอเรสเซนซ์ ซึ่งฟลูออเรสเซนซ์ต่างจากฟอสฟอเรสเซนซ์ตรงที่การทรานซิชันที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟลูออเรสเซนซ์จะไม่มีการเปลี่ยนทิศทางของสปินของอิเล็กตรอน จึงเป็นผลให้ฟลูออเรสเซนซ์มีช่วงชีวิตสั้น ( $<10^{-9}$  นาที) หรือเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่มีการกระตุ้น ส่วนฟอสฟอเรสเซนซ์นั้นจะเกิดหลังจากถูกกระตุ้นหลายนาที่เองจากต้องใช้เวลาทรานซิชันจากสภาวะกระตุ้นแบบซิงเกิลไป ทรिฟเลตซึ่งจะมีการเปลี่ยนทิศทางของสปินของอิเล็กตรอน

การลูมิเนสเซนซ์แบ่งตามวิธีที่ทำให้ โมเลกุลเกิดการกระตุ้นได้หลายประเภท ตัวอย่างเช่น

- 1) โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)

ใช้คลื่นแสงในการกระตุ้น เช่น แสงฟลูออเรสเซนซ์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแล้วจะทำให้อิเล็กตรอนทรานซิชันไปยังสภาวะกระตุ้น (Excited state) ซึ่งไม่เสถียรและจะคายพลังงานออกมาในรูปของแสง ฟลูออเรสเซนซ์นั้นจะเกิดขึ้นที่สภาวะกระตุ้นแบบซิงเกิล ส่วนฟอสฟอเรสเซนซ์จะเกิดที่สภาวะกระตุ้นแบบทริฟเลต ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กระบวนการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์  
ที่มา : Sole *et al.* (2005)

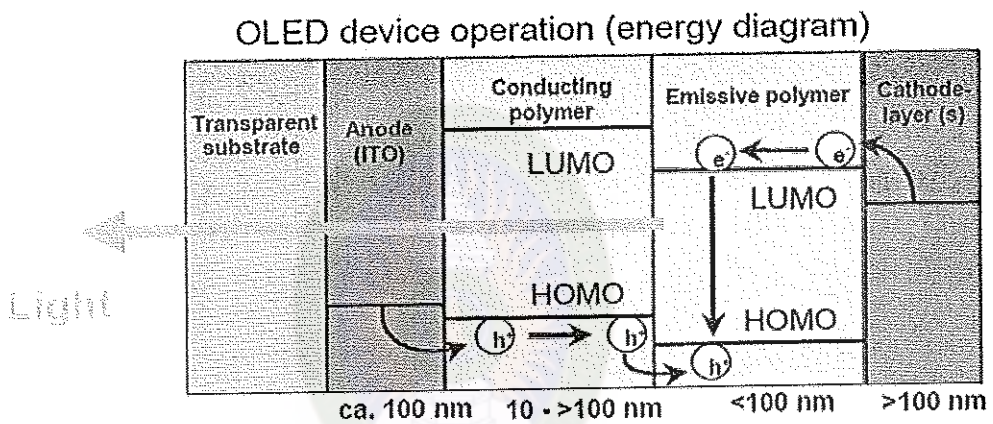
## 2) อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence)

กระตุ้นโดยอาศัยการให้และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เช่น ที่พบในอุตสาหกรรมการแสดงผลของ LEDs เมื่อมีการกระตุ้นโมเลกุลด้วยกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอย่างมากมายที่ขั้วแคโทด และเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งไปรวมตัวกับโฮลซึ่งขาดอิเล็กตรอน ทำให้โมเลกุลไม่เสถียรและอยู่ในสภาวะกระตุ้นจึงเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปแสง

## 6. อุปกรณ์การปล่อยแสงของสารอินทรีย์ (Organic Light Emitting Devices: OLED)

OLED (Organic light emitting devices) เป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการคือ เมื่อนำวัสดุที่มีสมบัติเป็นสารเปล่งแสง (Emissive materials) ซึ่งเป็น โมเลกุลอินทรีย์ (Organic materials) มาวางไว้ระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ วัสดุเปล่งแสงนี้ มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีชั้นของพลังงาน 2 ชนิด ได้แก่ ชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ กับ ชั้นพลังงานที่ว่างเปล่าที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุ ประจุบวกหรือโฮล (Hole) สามารถวิ่งอยู่บนชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่นี้ได้ ในขณะที่ประจุลบหรืออิเล็กตรอน (Electron) สามารถวิ่งได้บนชั้นพลังงานที่ว่างเปล่านี้ ชั้นพลังงาน 2 ชนิดนี้มีลักษณะที่ไม่เชื่อมต่อกัน โดยชั้นพลังงานที่ว่างเปล่าจะอยู่สูงกว่าชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ ชั้นพลังงานบนสุดที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ จะถูกแยกออกจาก

ชั้นพลังงานว่างเปล่าด้วยช่องว่างของพลังงาน (Energy gap) ซึ่งมีขนาดที่พอเหมาะ เมื่อผ่านสนามไฟฟ้าเข้าไปที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง อิเล็กตรอนจากขั้วลบจะวิ่งไปที่ชั้นพลังงานที่ว่างเปล่า ในขณะที่โฮล จะวิ่งจากขั้วบวกเข้าไปยังชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ จากนั้นประจุลบจะวิ่งลงมาในขณะที่ประจุบวกจะวิ่งขึ้นไปพบกัน แล้วรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคโฟตอนหรือแสงนั่นเอง โดยพลังงานของอนุภาคโฟตอนนั้นจะมีค่าเท่ากับ Energy gap ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดสีของแสงที่เปล่งออกมา เช่น สีแดง ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า สีฟ้า เป็นต้น สีของแสงที่เปล่งออกมามีขึ้นอยู่กับ Energy gap ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเปล่งแสง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 หลักการทำงานของจอภาพ OLED

ที่มา : Shinar and Sawateev (2003)

OLED อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับวัสดุเปล่งแสง ได้แก่

1. วัสดุเปล่งแสงนำหนัก โมเลกุลต่ำ ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1987 โดย

นักวิทยาศาสตร์ของบริษัท ไทดักด้วยความบังเอิญ ระหว่างที่กำลังทำการพัฒนาเซลล์สุริยะอินทรีย์ โดยพวกเขาสังเกตเห็น แสงสีเขียวที่เปล่งออกมาจากรอยต่อระหว่างวัสดุ 2 ชนิด ที่ชนิดหนึ่งเป็นตัวนำที่ดีของโฮล ในขณะที่อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวนำที่ดีของอิเล็กตรอน การเตรียม OLED ชนิดนี้นิยมทำด้วยการระเหยในสุญญากาศ (Vapor deposition)

2. วัสดุเปล่งแสงนำหนัก โมเลกุลสูง หรือ พอลิเมอร์ คิดค้นขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.

1990 ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ โดยการใช้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าเป็นวัสดุเปล่งแสง ซึ่งมีข้อดีคือพอลิเมอร์ที่ใช้ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่า พวกโมเลกุลนำหนักต่ำ ทำให้สามารถใช้ศักย์ไฟฟ้าไม่ต้องสูงมาก (เช่น 2-5 โวลต์) อีกทั้ง มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า



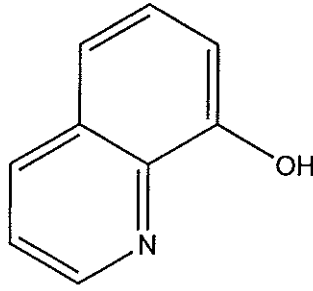
เป็นพลังงานแสงที่ต่ำกว่า ที่สำคัญการเตรียมอุปกรณ์สามารถทำได้ในสภาวะเปียก กล่าวคือ ทำการละลายพอลิเมอร์ในสารละลาย แล้วนำไปทำการเคลือบปั่นให้เป็นแผ่นฟิล์มบาง ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการเคมีเท่านั้น ไม่ต้องการห้องสะอาด (Clean room) ที่มีราคาแพงของอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์

OLED เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยสมบัติทางนาโน กล่าวคือ วัสดุอินทรีย์เปล่งแสง ที่นำมาประกอบอุปกรณ์นั้นเป็นฟิล์มที่บางมาก มีความหนาเพียง 100-150 นาโนเมตร ซึ่งบางกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผมด้วยซ้ำ ขั้วไฟฟ้าที่นำมาประกอบ ก็สามารถทำให้บางได้ในระดับใกล้เคียงกัน ดังนั้น OLED จึงมีความหนาน้อยกว่ากระดาษ ด้วยความที่วัสดุเปล่งแสงเป็นสารอินทรีย์เราจึงสามารถประกอบอุปกรณ์ OLED บนวัสดุที่พับงอได้ เกิดเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า จอภาพแบบยืดหยุ่น (Flexible display) การทำงานของวัสดุเปล่งแสงอินทรีย์ ก็อาศัยสมบัติระดับโมเลกุล โดยที่โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์สามารถดัดแปลง หรือ จูน (Tune) โดยการทำให้สวกรรรมโมเลกุล เช่น การใส่กิ่งก้านสาขาให้แก่โมเลกุล การดัดแปลงหมู่แทนที่ เปลี่ยนชนิดของอะตอมในโมเลกุล แล้วไปมีผลทำให้โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนแปลงไปได้

#### 7. 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน (8-Hydroxyquinoline)

8-ไฮดรอกซีควิโนลีน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นสาร ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีคอโลริเมตริก (Analytical colorimetric agent) ใช้เป็นยา สารพิษ หรือที่ทำให้เกิดคีเลตติ้งได้ (Chelating) ผลึกของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนมีลักษณะเป็นผงสีขาว จุดหลอมเหลว 76 องศาเซลเซียส จุดเดือด 276 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 1.034 มีความเสถียร และสามารถเกิดสารประกอบคีเลตกับโลหะไอออนต่างๆ ได้ดี มีความว่องไวต่อตัวออกซิไดซ์ที่แรง

8-ไฮดรอกซีควิโนลีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้าง โมเลกุลที่แข็งแน่นและไม่โค้งงอ (Rigid) จึงทำให้เกิดฟลูออเรสเซนส์ดี เนื่องจากภายใน โมเลกุลมีอิเล็กตรอนซึ่งสามารถแทนที่ขึ้นได้ง่ายจาก  $\pi$  to  $\pi^*$  และ  $n$  to  $\pi^*$  8-ไฮดรอกซีควิโนลีนเป็น โมเลกุลที่มีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ทำให้ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนเกิดฟลูออเรสเซนส์ที่ดียิ่งขึ้น จึงทำให้ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน นิยมใช้เป็นตัวทำลายคีเลตเพื่อสังเคราะห์สารเชิงซ้อนที่มีสมบัติเชิงแสง จึงมีการศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนกันอย่างแพร่หลาย โครงสร้างของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา กรคสุริย์ (2546) ทำการศึกษาอินเทอร์คาร์เลชันของแมงกานีส (II) มอนต์มอริลโลไนต์ กับ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน โดยทำปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง และได้ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การวิเคราะห์เชิงความร้อน ยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และฟลูออโรเมทรี จากค่าระยะห่างระหว่างชั้นภายในโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น การปรากฏแบนด์ของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนในอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ และพีเคเอกโซเทอร์มิกซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของน้ำหนักในเทอร์โมแกรมวิเมตริกเคอร์ฟ แสดงว่ามีการสลายตัวของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน การศึกษาด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นยังมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสง และการศึกษาด้วยเทคนิคฟลูออโรเมทรีพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการเปล่งแสงได้ จากข้อมูลทั้งหมดได้สนับสนุนว่า 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน เข้าไปโคออร์ดิเนตกับแมงกานีส (II) ที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นภายในโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

ธิดารัตน์ กุณะวงษ์ และ ธีรพร บุตรวงศ์ (2547) ทำการเตรียมอัลคิลแอมโมเนียม (ออกทิลแอมโมเนียม, เดกซิลแอมโมเนียม, โดเดซิลแอมโมเนียม และออกตะเดซิลแอมโมเนียม)-มอนต์มอริลโลไนต์โดยอาศัยปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน ณ อุณหภูมิห้อง ศึกษาอินเทอร์คาร์เลชันของอัลคิลแอมโมเนียมไอออนในช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบผง อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การวิเคราะห์เชิงความร้อน และการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของผลิตภัณฑ์ ระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ทำปฏิกิริยากับอัลคิลแอมโมเนียมไอออนในอัตราส่วน โมลของอัลคิลแอมโมเนียมไอออนต่อ โขเดียมไอออนเป็น 1:1 และ 2:1 มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในมอนต์มอริลโลไนต์ และมีอินฟราเรดแบนด์ซึ่งเป็นของสารอินทรีย์ปรากฏในสเปกตรัมผลิตภัณฑ์โดยที่แบนด์จะมีการเลื่อนตำแหน่ง

แห้งไปเล็กน้อยแสดงว่าอัลคิลแอมโมเนียมไอออนได้อินเตอร์คัลเลทเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์

Ogawa and the co-workers (1993) ทำการเตรียมสารประกอบอินเตอร์คัลเลชันของทริท(2,2'-ไบไพรีดีน) รูทีเนียม(II) ที่มีสมบัติเชิงแสงในช่องว่างระหว่างชั้นของแมกกาดีไอต์และฟลูทิตราซิลิสิก ( $\text{Ru}(\text{bpy})_3$ -magadite and  $\text{Ru}(\text{bpy})_3$ -fluortetrasilicmica) พบว่าสารประกอบอินเตอร์คัลเลชันของ  $\text{Ru}(\text{bpy})_3$  มีค่าการคายแสงที่ความยาวคลื่น 586 นาโนเมตร เกิดปรากฏการณ์บลูชิฟ (blue shift) จากสารละลาย  $\text{Ru}(\text{bpy})_3$

Khaorapapong *et al.* (2002) Khaorapapong and Ogawa (2008) ศึกษาปฏิกิริยาอินเตอร์คัลเลชันของ bis(8-hydroxyquinoline) zinc(II) และ tris(8-hydroxyquinoline) aluminum(III) ในช่องว่างระหว่างชั้นของซาโพไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ ( $\text{Znq}_2$ -saponite,  $\text{Znq}_2$ -montmorillonite,  $\text{Alq}_3$ -saponite,  $\text{Alq}_3$ -montmorillonite) สารประกอบอินเตอร์คัลเลชันของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนในช่องว่างของซาโพไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์เตรียมผ่านปฏิกิริยาในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิห้อง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 373-376 นาโนเมตร และคายแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตรสำหรับ  $\text{Znq}_2$ -montmorillonite ความยาวคลื่น 545 nm สำหรับ  $\text{Znq}_2$ -saponite ในขณะที่สารประกอบอินเตอร์คัลเลชันของ  $\text{Alq}_3$ -saponites และ  $\text{Alq}_3$ -montmorillonite มีค่าการคายแสงที่ 517 และ 521 นาโนเมตร ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงและการคายแสงของสารประกอบ  $\text{Znq}_2$  และ  $\text{Alq}_3$  ขึ้นกับชนิดของโฮท แสดงให้เห็นว่าโฮทต่างชนิดกันมีผลทำให้โครงสร้างของสารประกอบที่เกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างชั้นแตกต่างกันด้วย และสารประกอบอินเตอร์คัลเลชันที่เตรียมได้มีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 375-570°C สำหรับ  $\text{Znq}_2$ -saponite ที่ 370-570°C สำหรับ  $\text{Znq}_2$ -montmorillonite แสดงให้เห็นว่าสารประกอบอินเตอร์คัลเลชันมีความเสถียรสูงกว่าสารประกอบ