

บทที่ 2

ทฤษฎี, การตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแยกสีย้อมออกจากน้ำทิ้งสำหรับการทดลองนี้มีดังนี้

2.1.1 กระบวนการดูดซับ (ADSORPTION)

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคของสาร 2 ชนิด โดยอาศัยหลักการแยกสารจากวัฏภาคหนึ่ง ให้ไปเกาะรวมเป็นกลุ่มอยู่ที่ผิวของอีกวัฏภาคหนึ่ง ซึ่งในที่นี้จะเป็นการทำให้ตัวถูกดูดซับ (ADSORBATE) มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ (ADSORBENT) สำหรับตัวถูกดูดซับซึ่งเป็นสารไม่ชอบน้ำ (HYDROPHOBIC) เมื่ออยู่ในสารละลายจะเกิดแรงผลักรบกวนกับตัวทำละลายเป็นผลให้สารดังกล่าวละลายน้ำได้น้อย และมักจะถูกดูดซับเสมอ เมื่อถูกดูดซับจะทำให้การละลายของสารดังกล่าวในน้ำลดน้อยลงไปอีก สำหรับอัตราการดูดซับของสารดังกล่าวนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น หรือเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มขึ้น ยกเว้นว่าขนาดของโมเลกุลจะใหญ่เกินกว่าที่จะลอดเข้ารูพรุนได้ และหากความสามารถในการละลายของสารลดลง

2.1.1.1 กระบวนการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

การดูดซับทางเคมี (CHEMISORPTION หรือ CHEMICAL ADSORPTION) เป็นกระบวนการที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ที่มีแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการดูดซับทางกายภาพ (PHYSICAL ADSORPTION) ในระหว่างที่เกิดกระบวนการดูดซับจะมีการคายพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งออกมา ซึ่งพลังงานความร้อนจำนวนนี้จะมีปริมาณใกล้เคียงกับความร้อนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และหากจะทำให้เกิดกระบวนการคาย (DESORPTION) จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 400°C ขึ้นไป

การดูดซับทางกายภาพ (PHYSICAL ADSORPTION หรือ VAN DER WAALS ADSORPTION) กระบวนการนี้เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับซึ่ง จะมีการคายความร้อนซึ่งเป็นพลังงานส่วนหนึ่งออกมาหลังจากเกิดกระบวนการดูดซับ

จนเกิดความสมดุลระหว่างความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารดูดซับนั้น ในสารละลายเกิดการดูดซับทางกายภาพนี้ไม่ต้องการอุณหภูมิที่สูง ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก

แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (ELECTROSTATIC ATTRACTION) เป็นกระบวนการดูดซับที่จะเกิดขึ้นกับโมเลกุลของสารที่มีประจุไฟฟ้าต่างกัน เป็นแรงเนื่องจากไฟฟ้าสถิตของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับซึ่งจะดึงดูดอยู่กับผิวหน้าของตัวดูดซับ

2.1.1.2 ความสามารถของตัวดูดซับ จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ความดันหรือความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดซับ
2. อุณหภูมิของการดูดซับ
3. ความมีรูพรุนของตัวดูดซับ
4. ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ
5. การละลายของตัวถูกดูดซับในตัวทำละลาย
6. โครงสร้างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ
7. ประจุของโมเลกุล

2.1.2 การตกตะกอนแบบการจับกลุ่มและการจับก้อน

(FLOCCULATION AND COAGULATION)

เป็นวิธีที่ใช้กำจัดสารแขวนลอยและอนุภาคคอลลอยด์ (COLLOID) ออกจากน้ำทิ้ง โดยการทำให้เกิดตะกอนแล้วแยกออก สำหรับของแข็งที่อยู่ในน้ำทิ้งนั้น มี 2 ประเภทได้แก่ 1. สารแขวนลอยซึ่งเป็นของแข็งที่มีขนาดตั้งแต่ 10^{-2} มิลลิเมตรขึ้นไป ของแข็งประเภทนี้สามารถจมตัวลงสู่ก้นภาชนะได้ ด้วยน้ำหนักของตัวเองภายใต้สภาวะที่สงบนิ่ง และ 2. สารคอลลอยด์ซึ่งเป็นของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 1 นาโนเมตร และไม่สามารถจมตัวลงสู่ก้นภาชนะจากสภาพแขวนลอยได้ แม้จะอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง

เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็กจึงมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อมวลสูง ดังนั้นอิทธิพลของประจุไฟฟ้าจึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพ (STABILITY) ของอนุภาค และมีผลต่อการตกตะกอนของสารประเภทนี้ค่อนข้างมาก ในน้ำอนุภาคคอลลอยด์จะมีแรงกระทำระหว่างอนุภาค

อยู่สองประเภทได้แก่ 1.แรงดูด (VAN DER WAALS FORCE) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างอนุภาคของสารเมื่อเคลื่อนตัวเข้ามาอยู่ใกล้กันมากๆ แรงนี้อาจส่งผลให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันได้ และ 2. แรงผลักทางไฟฟ้า (ELECTRIC REPULSIVE FORCE) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคมีประจุชนิดเดียวกัน โดยประจุบริเวณผิวของอนุภาคนี้จะป้องกันการรวมกันของอนุภาค เป็นผลให้อนุภาคเกิดการกระจายตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออนุภาคมีประจุหรือมีความหนาของชั้นประจุมากๆ ซึ่งโดยทั่วไปอนุภาคคอลลอยด์จะมีประจุที่ผิวเป็นลบ

การตกตะกอนแบบการจับกลุ่มและการจับก้อนเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันด้วยการเติมสารเคมี, การปรับค่าพีเอชอย่างเหมาะสม และการกวนซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสให้อนุภาคมีการสัมผัสกันมากขึ้น วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่จะลดเสถียรภาพของอนุภาค และเมื่ออนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพลดลงจนไม่มีแรงผลักระหว่างอนุภาคแล้ว อนุภาคจะสามารถเกาะกลุ่มกันได้โดยผ่านกลไกต่างๆ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ (VAN DER WAALS FORCES) ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการชนกัน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างมวลของอนุภาคหนึ่งที่ทำต่ออีกอนุภาคหนึ่ง หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนที่อนุภาคถูกจับเข้าไปอยู่ในโครงตาข่ายของสารตกตะกอน และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการดูดซับทางเคมี ซึ่งขั้นตอนนี้อาจจะเกิดเป็นพันธะทางเคมี (INTERMOLECULAR CHEMICAL BRIDGING) ขึ้นระหว่างอนุภาค

กระบวนการที่อนุภาคคอลลอยด์ถูกลดเสถียรภาพลง และรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า การจับกลุ่ม (FLOCCULATION) ส่วนกระบวนการจับก้อน(COAGULATION) นั้นจะเป็นการที่อนุภาคดังกล่าวดึงตัวลงจมสู่ก้นภาชนะ

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนแบ่งออกได้เป็น 2 แบบได้แก่ สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ สำหรับสารอนินทรีย์ที่นิยมใช้ได้แก่ อะลัม, ปูนขาว, เฟอริกคลอไรด์, เฟอรัสซัลเฟต, เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต, แมกนีเซียมคาร์บอเนตเป็นต้น ส่วนสารอินทรีย์ที่นิยมใช้ได้แก่ สารพอลิเมอร์ (POLYMER) และสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (POLYELECTROLYTE) สำหรับสารตกตะกอนที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งได้แก่ อะลัม, เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต, และเฟอรัสซัลเฟต

2.1.3 กระบวนการตกตะกอนแบบพรีซิพิตชัน (PRECIPITATION)

เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี ซึ่งจะทำการเปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลาย ให้กลายเป็นของแข็งที่ไม่ละลายในสารละลาย และสามารถแยกสารนั้นออกมาจากสารละลายได้ กระบวนการนี้จะขึ้นกับสภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายน้ำของสาร กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นได้หลายวิธีอาจจะมีขั้นตอนเดียว หรือหลายขั้นตอนรวมกันดังนี้

1. การเติมสารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่อยู่ในสารละลาย เพื่อให้สารนั้นสามารถละลายน้ำได้น้อยลง
 2. การเติมสารซึ่งสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาวะสมดุลของการละลายน้ำให้เลื่อนไปยังจุดซึ่งสารที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถละลายอยู่ได้อีกต่อไป
 3. การเปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัว หรือเกือบอิ่มตัวไปในทิศทางที่ทำให้มีค่าการละลายน้ำลดลงจนเปลี่ยนไปอยู่ในภาวะของของแข็ง
- โดยปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวกับการตกตะกอนประเภทนี้ ได้แก่ ค่าพีเอช และอุณหภูมิ

สำหรับสารดูดซับที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้ได้แก่ แร่ดินซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไฮดรอกซิลิกของสารพวกอะลูมิเนียม, แมกนีเซียม หรือเหล็ก มีอนุภาคเป็นคอลลอยด์ เป็นสารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน และบางชนิด สามารถขยายชั้นภายในโครงสร้างได้ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของสารดูดซับ ในปัจจุบันประเทศไทย ได้มีการนำแร่ดินบางชนิด มาดัดแปลงเพื่อใช้สำหรับดูดซับสีจากน้ำมันพืชแล้ว สำหรับการทดลองนี้จะเลือกใช้ "แร่ดิน" ที่สามารถหาได้ในประเทศไทย

2.2 แร่ดิน (CLAY)

หมายถึง ส่วนที่เป็นของแข็งที่ประกอบอยู่ในดินมีทั้งเม็ดแร่เล็กๆ หรือใหญ่ๆ (MINERAL MATTER) และส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ (ORGANIC MATTER และ HUMUS) ในส่วนที่เป็นอนุภาคที่เล็กมาก ไม่ว่าจะเป็เม็ดแร่หรือสารอินทรีย์ จะมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญหลายๆ อย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่มีอนุภาคเล็กมากจนสามารถอยู่ได้ในสภาพของระบบคอลลอยด์

ดิน ที่เป็นสารคอลลอยด์ซึ่งเป็นแร่ธาตุนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ แร่ซิลิเกต ซึ่งเป็นสารประกอบพวกแร่อะลูมิโนซิลิเกต และสารประกอบไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ในที่นี้จะกล่าวถึงแร่ซิลิเกตเพียงชนิดเดียว

2.2.1 แร่ซิลิเกต

2.2.1.1 ลักษณะและสมบัติสำคัญ

รูปร่างและพื้นที่ผิว

จากวิวัฒนาการของเทคนิคในปัจจุบันทำให้เราทราบได้ว่าสารประกอบพวกแร่ซิลิเกตจะมีรูปร่างเป็นแผ่น หรือเกล็ดต่างๆ โดยขนาดของเกล็ดหรือแผ่นนั้นจะขึ้นอยู่กับโครงสร้าง และสภาวะที่เกิดแร่ซิลิเกตเหล่านั้น ลักษณะที่เป็นเกล็ดนี้อาจเป็นรูปร่างที่คงตัวซึ่งได้แก่เกล็ดแบบหกเหลี่ยมคล้ายกับแร่ไมก้า (MICA) หรือบางครั้งอาจมีรูปร่างที่ไม่คงตัว และมีลักษณะเป็นแท่งต่างๆ ก็ได้ ที่ขอบของเกล็ดเหล่านี้ อาจเป็นขุยขรุขระเนื่องจากการแตกหัก แต่ละเกล็ดจะมีส่วนกว้างตามแนวอนมากกว่าส่วนตั้งมาก และเนื่องจากพวกแร่ซิลิเกต เป็นอนุภาคของสารในระบบคอลลอยด์ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (SPECIFIC SURFACE) สูง นอกจากนี้ลักษณะที่เป็นเกล็ดหรือเป็นแผ่นยังส่งเสริมให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากด้วยเช่นกัน ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวภายนอก แล้วยังเป็นผลให้สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิวภายใน (พื้นที่ระหว่างเกล็ดหรืออนุภาคที่ประกบกัน) มากด้วย สำหรับพื้นที่ผิวภายในนี้มีความสำคัญในกระบวนการดูดประจุบวกด้วย

อนุภาคเล็กๆ ของดินแต่ละอนุภาค นิยมเรียกเป็นไมเซลล์ (MICELLE) ซึ่งจะมีสภาพเป็นประจุลบที่สามารถจะดูดประจุบวก (CATIONS) เข้าไว้รอบตัวได้อย่างมากมาย ปฏิกิริยานี้จะทำให้อนุภาคเกิดสภาพที่เป็นประจุสองชั้น (IONIC DOUBLE LAYER) โดยพื้นที่ผิวภายในของอนุภาคจะเป็นประจุลบ ส่วนพื้นที่ผิวภายนอกจะเป็นประจุบวกซึ่งจะมีอยู่เป็นจำนวนมาก จนบางครั้งประจุบวกอาจจะกินพื้นที่เลยเข้าไปในผิวบางส่วนด้วย

2.2.1.2 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของ แร่ซิลิเกต

โครงสร้างของแร่ซิลิเกต เกิดจากการจัดรูปของโครงสร้าง 2 หน่วย พื้นฐาน ได้แก่

2.2.1.2.1 หน่วยซิลิกาเตตระฮีดรอล

(SILICA TETRAHEDRAL UNIT)

หน่วยพื้นฐานแบบนี้จะประกอบด้วยไอออนของออกซิเจนล้อมรอบไอออนของซิลิกอนเป็นลักษณะโครงสร้างแบบเตตระฮีดรอล โดยหน่วยเตตระฮีดรอลนี้จะจับเชื่อมกันเป็นแผ่น โดยการจับไอออนของออกซิเจนร่วมกันที่ฐานของเตตระฮีดรอล แผ่นดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นช่องรูปหกเหลี่ยม และจะสามารถต่อแผ่นนี้ออกไปได้ทุกทิศทางในแนวนอนจากฐานของมัน เรียกแผ่นที่เกิดจากการเกาะกันดังกล่าวนี้ว่า แผ่นซิลิกอน (SILICA SHEET หรือ T-SHEET)

2.2.1.2.2 หน่วยอะลูมินาออกตะฮีดรอล

(ALUMINA OCTAHEDRAL UNIT)

หน่วยพื้นฐานนี้ประกอบไปด้วยไอออนของออกซิเจนหรือหมู่ไฮดรอกซิลจำนวน 6 ไอออน หรือ 6 อนุมูล ล้อมรอบไอออนอะลูมิเนียม 1 ไอออน ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างแบบเพชรมีแปดด้าน และทุกๆ หน่วยจะเกาะยึดกันได้โดยใช้ไอออนออกซิเจนของด้านหนึ่งต่อออกไป ก่อให้เกิดการต่อกันของแผ่นออกตะฮีดรอลในแนวนอน

เมื่อนำเอาแผ่นโครงสร้างพื้นฐานมาประกอบซ้อนกัน โดยการเรียงลำดับที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดเป็นแร่ซิลิเกตชนิดต่างๆ ขึ้น

2.2.1.3 ชนิดของแร่ซิลิเกต

2.2.1.3.1 เคโอลิไนท์ (KAOLINITE หรือ 1: 1 TYPE)

เกิดจากการประกบกันของแผ่นเตตระฮีดรอล กับแผ่นออกตะฮีดรอล เรียงสลับซ้อนกันเป็นอัตราส่วน 1:1 โดยทั้งสองหน่วยโครงสร้างจะยึดเกาะกันด้วยไอออนของซิลิกอนและอะลูมิเนียมที่จะจับกับไอออนของออกซิเจนในด้านที่หันหน้าเข้าหากัน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดปรากฏการณ์พันธะไฮโดรเจน (HYDROGEN BONDING) ซึ่งจะช่วยในการยึดระหว่างแผ่นโครงสร้างเหนียวแน่นและมีระยะห่างที่คงที่ รูปร่างผลึกของเคโอลิไนท์จะมีลักษณะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม มีขอบคมเรียงซ้อนประกบกันโดยไม่จำกัดจำนวนแผ่น การที่แร่ซิลิเกตชนิดนี้มีระยะห่างระหว่างแผ่นคงที่ และมีแรงยึดเหนียวสูง ทำให้ไม่สามารถดูดเอาไอออนอื่นเข้า

ไปได้ และไม่มีพื้นที่ผิวภายใน (INTERNAL SURFACE) ดังนั้นการที่จะมีการดูดซับเอา ประจุบวกเข้าไปจึงมีน้อยมาก สมบัติทางกายภาพของแร่ซิลิเกตชนิดนี้จึงมักจะหักง่าย, คงรูป และมีอัตราการยืดยืดหดน้อยมาก แร่หลักคือ เคโอลิน (KAOLIN)

2.2.1.3.2 มอนโมริโลไนท์

(MONTMORILLONITE หรือ 2:1 EXPANDING TYPE)

แร่ซิลิเกตชนิดนี้จะมีแผ่นเตตระฮีดรอล 2 แผ่นประกบกับแผ่นออกเตตระฮีดรอล 1 แผ่น เป็น 1 ชุดโครงสร้าง ในอัตราส่วน 2:1 จากนั้นแต่ละชุดจะเรียงประกบซ้อนกันขึ้นไป โดยแต่ละชุดจะเกาะยึดกันไว้อย่างหลวมๆ ด้วยไอออนของออกซิเจน ดังนั้นจึงสามารถดูดเอาประจุบวกอื่นๆ เข้าไปไว้ระหว่างชุดได้ แร่หลักคือ มอนโมริโลไนท์

2.2.1.3.3 อิลไลท์ (ILLITE หรือ 2:1 NON EXPANDING TYPE)

ลักษณะโครงสร้างของแร่ซิลิเกตชนิดนี้จะมีลักษณะแบบเดียวกันกับมอนโมริโลไนท์ แต่มีระยะห่างระหว่างชุดน้อยกว่า และมักมีโพแทสเซียมเข้าไปแทรกอยู่จึงอาจเรียกว่า เป็นแบบ 2:1 ที่ไม่มีการขยายตัวเนื่องจากซิลิคอนไอออนในชั้นของแผ่นเตตระฮีดรอลจะถูกแทนที่ด้วยไอออนของอะลูมิเนียมทำให้ผลรวมของประจุลบ (NET NEGATIVE CHARGE) สูงมาก ดังนั้นแผ่นเตตระฮีดรอลดังกล่าวจึงต้องดูดเอาโพแทสเซียมไอออน (K^+) เข้าไปอยู่ระหว่างแต่ละหน่วยของโครงสร้าง และบังเอิญที่ขนาดของโพแทสเซียมไอออนมีความพอเหมาะที่จะเข้าไปอยู่ระหว่างหน่วยได้พอดี ดังนั้นโพแทสเซียมไอออนจึงเข้าไปทำหน้าที่เป็นสารเชื่อม (BINDING AGENT) ช่วยทำให้การเกาะยึดดีขึ้น มีผลให้ขนาดของช่องว่างระหว่างหน่วยโครงสร้างคงที่ไม่มีการขยายตัวออก แร่หลักคือ อิลไลท์ (ILLITE)

สำหรับไอออนของซิลิคอนและอะลูมิเนียมในโครงสร้างของแร่ซิลิเกต ที่อาจถูกแทนที่ด้วยไอออนของธาตุอื่นได้นั้นเนื่องมาจากการที่ไอออนทั้งสองมีรัศมีประจุใกล้เคียงกับไอออนของธาตุอื่นๆ บางชนิด เช่น ไอออนของเหล็ก II, III (Fe^{2+} , Fe^{3+}), ไอออนของแมกนีเซียม (Mg^{2+}), ไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) และไอออนของโซเดียม (Na^+) เป็นต้น ดังนั้นไอออนดังกล่าวซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันจึงมีโอกาสที่จะเข้าไปแทนที่ไอออนของซิลิคอนและอะลูมิเนียมได้ นอกจากนี้ไอออนของอะลูมิเนียมเองยังสามารถเข้าไปแทนที่ไอออนของซิลิคอนได้เช่นกัน การ

แทนที่ของไอออนเหล่านี้จะเป็นไป ตามกฎของโกลด์สไมท์ (Goldschmidt, 1936) โดยมีปัจจัยควบคุมคือ ขนาดและประจุของไอออน

เมื่อไอออนของอะลูมิเนียมเข้าแทนที่ไอออนของซิลิคอน จะมีประจุลบเกินมามาก ซึ่งจะเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่ส่งผลให้ประจุของแร่ซิลิเกตเป็นลบ และเช่นเดียวกันพวกประจุอื่นๆ เช่น ไอออนของแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งสามารถแทนที่ไอออนของอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ในแผ่นออกตะไซด์รอลได้ จะส่งผลให้อนุภาคของแร่ซิลิเกตมีประจุเป็นลบเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของแร่ดินทั้ง 3 ชนิดแล้วพบว่ามอนโมริโลไนท์น่าจะมีสมบัติในการดูดซับมากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่สามารถดูดซับได้มากที่สุด จึงเลือกแร่ดินชนิดนี้มาทำการทดลอง

2.4 สีย้อม (DYESTUFFS)

สีย้อมแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้หลายวิธี เช่น แห้งที่มา, องค์ประกอบทางเคมี, ชนิดของเส้นใยที่นำมาใช้ย้อม และกรรมวิธีในการย้อม

ในงานวิจัยนี้จะจำแนกประเภทของสีย้อมตามกรรมวิธีที่ใช้ในการย้อมดังนี้

2.4.1 สีย้อมประเภทดีสเพิส (DISPERSE DYES)

สีย้อมชนิดนี้ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสอะซีเตต (CELLULOSE ACETATE), เส้นใยโพลีเอสเตอร์ (POLYESTER), หรือเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ (SYNTHETIC FIBERS) สำหรับโครงสร้างของสีย้อมประเภทนี้อาจเป็นสารพวกเอโซ (AZO) หรือแอนทราควิโนน (ANTHRA QUINONE) สีย้อมประเภทนี้สามารถละลายน้ำได้น้อย นอกจากนี้ยังซีดจางได้ง่ายหากไปสัมผัสกับสารประกอบพวกออกไซด์ของไนโตรเจน หรือโอโซนในชั้นบรรยากาศ (GAS FADING)

2.4.2 สีย้อมประเภทไดเรกต์ (DIRECT DYES)

สีย้อมประเภทนี้มักจะใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติ (เช่นขนสัตว์ และไหม) ได้โดยตรง เวลาข้อมจะทำการข้อมที่อุณหภูมิสูง สีย้อมจะแตกตัวเป็นสารคอลลอยด์ในสารละลายซึ่งจะถูกดูดซับโดยเส้นใยได้ สีย้อมประเภทนี้สามารถละลายน้ำได้ดีเนื่องจากมีหมู่ของเกลือโซเดียมของกรด

ซัลโฟนิกเป็นองค์ประกอบ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ 1. สีย้อมประเภทเอซิด (ACID DYES) ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุลบ ส่วนใหญ่จะใช้ย้อมพวกเส้นใยไนลอน และ 2. สีย้อมประเภทเบซิก (BASIC DYES) ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะสามารถแตกตัวให้ไอออนที่มีประจุลบ สีย้อมชนิดนี้มีความสดใสและมีความเข้มของสีสูงมักใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิก

2.4.3 สีย้อมประเภทรีแอคทีฟ (REACTIVE DYES)

สีย้อมประเภทนี้เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทเดียวกันกับสีย้อมไคเร็กท์ สามารถละลายในน้ำได้ดี แต่มีสมบัติที่คิดว่าสีย้อมประเภทไคเร็กท์เนื่องจากสีย้อมชนิดนี้มีหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดพันธะเคมีกับเส้นใย เช่น หมู่ของกรดคลอไรด์ (ACID CHLORIDES) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยเซลลูโลส หรือหมู่อะมิโนบนเส้นใยโปรตีนได้ ดังนั้นสีย้อมประเภทนี้จึงสามารถย้อมติดสีได้ดีกว่าสีย้อมประเภทไคเร็กท์

2.4.4 สีย้อมประเภทแวต (VAT DYES)

สีย้อมชนิดนี้สามารถย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดี มีความคงทนต่อการซักล้างและแสงแดดสูง เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายในน้ำแต่จะสามารถละลายในน้ำได้เมื่อถูกรีดิวซ์ในสารละลายที่เป็นด่าง โดยการทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไดไธโอไนต์ ดังนั้นเมื่อทำการย้อมจึงต้องทำการรีดิวซ์สีย้อมให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ก่อน จากนั้นเมื่อสีย้อมถูกดูดซับเข้าไปในเส้นใยแล้วจะทำการออกซิไดซ์สีย้อมกลับไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำอย่างเดิมโดยการใช้ออกซิเจนในอากาศ, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโพแทสเซียมไดโครเมต

2.4.5 สีย้อมประเภทซัลเฟอร์ (SULFUR DYES)

สีย้อมประเภทนี้จะหมายถึงสีย้อมที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ มักใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เมื่อทำการย้อมสารละลายของสีย้อมจะอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ซึ่งจะสามารถดูดซับอยู่บนเส้นใยได้ และหลังจากเสร็จสิ้นการย้อมแล้วหากเส้นใยดังกล่าวสัมผัสกับอากาศ หรือถูกออกซิไดซ์ สีย้อมจะเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ

2.4.6 มอร์แดนต์และสีย้อมประเภทโครม

(MORDANT OR ADJECTIVE DYES AND CHROME DYES)

มอร์แดนต์หมายถึงสารใดๆ ก็ตามที่สามารถจับติดอยู่บนเส้นใย ซึ่งหลังจากนั้นจึงจะทำการย้อมสีได้ ตัวอย่างของมอร์แดนต์ได้แก่ กรดแทนนิกซึ่งใช้เป็นมอร์แดนต์สำหรับการย้อมสีประเภทเบสิก มอร์แดนต์และสีย้อมประเภทโครม เป็นสีย้อมประเภทที่สามารถก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนโคออดิเนชันที่เสถียรกับไอออนของโลหะได้ ในสารละลายเมื่อสารประกอบดังกล่าวเพิ่มจำนวนขึ้นเส้นใยจะสามารถดูดซับสีย้อมได้ดีขึ้นด้วย

2.5 สเปกโตรสโกปี (VISIBLE SPECTROSCOPY)

เป็นหลักการที่อาศัยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับสสาร ซึ่งจะเกิดกระบวนการดูดกลืน (ABSORPTION) และมีการถ่ายเทพลังงานจากลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังสสาร ส่วนหนึ่งของคลื่นที่ผ่านเข้าไปยังสสารนอกจากจะถูกดูดกลืนแล้วพบว่าอาจเกิดการกระจายหรือการสะท้อนกลับ หรืออาจมีการคายคลื่นที่มีความยาวคลื่นเท่าเดิมหรือต่างจากเดิมได้ ส่วนคลื่นที่ไม่ถูกดูดกลืนหรือกระจาย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางทิศทาง (ORIENTATION) หรือเปลี่ยนระนาบ (POLARIZATION) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในสสาร

การดูดกลืนคลื่นจะใช้สมบัติเกี่ยวกับอนุภาคของคลื่นซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพลังงานของโฟตอนมีค่าแน่นอนและแสดงได้โดยสมการของพลังค์

$$E_{\text{photon}} = h\nu$$

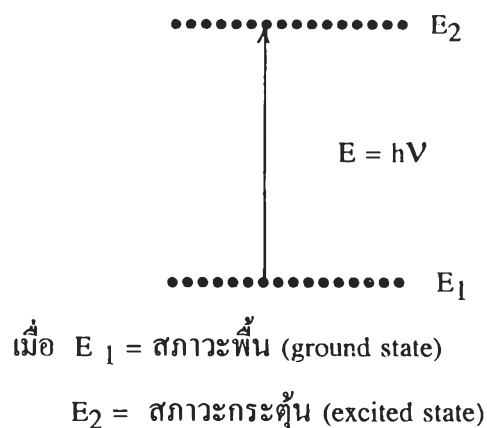
เมื่อ

$$E = \text{energy of photon}$$

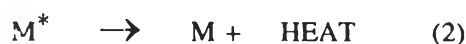
$$h = \text{Planck 's constant}$$

$$\nu = \text{frequency (Hz)}$$

เมื่อเกิดการชนกันระหว่างโฟตอนตัวหนึ่งกับ M (อะตอม ไอออน หรือ โมเลกุล) ตัวหนึ่ง จะมีการถ่ายเทพลังงานจากโฟตอนให้แก่ M ดังสมการ



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน (ΔE) ของสารที่เป็น M ระหว่างการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับ $h\nu$

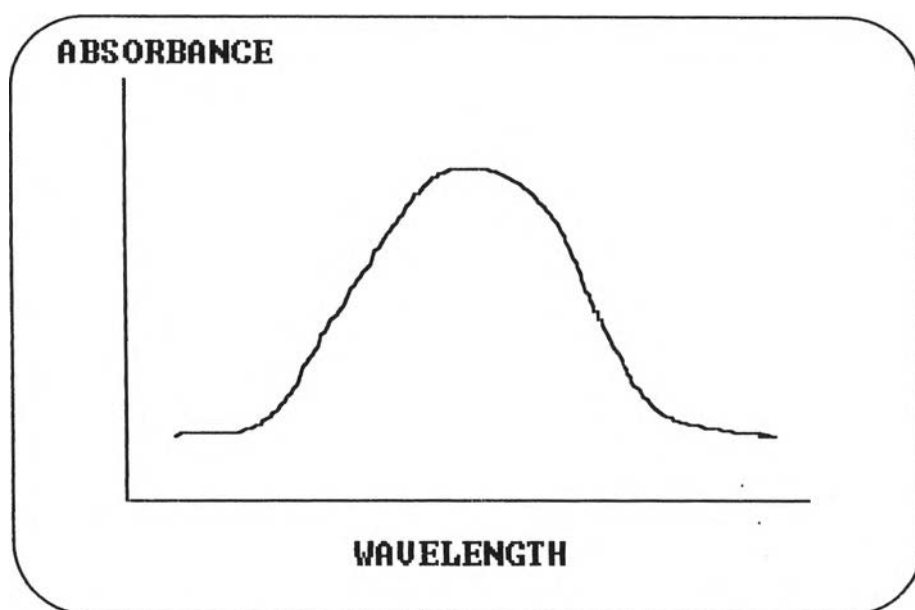


เมื่อ M^* = อะตอม หรือ โมเลกุลซึ่งอยู่ที่สภาวะกระตุ้น (EXCITED STATE)

M^* เกิดจากการที่สาร M ดูดกลืนโฟตอน โดยสาร M จะมีช่วงระยะเวลา (LIFE TIME) ของการอยู่ที่สภาวะกระตุ้น (EXCITED STATE) สั้นมาก จากนั้นจะลดพลังงานส่วนที่เกินจากสภาวะปกติออกไป โดยจะให้พลังงานออกมาในรูปของความร้อนมากกว่าพลังงานแสง ซึ่งมีค่าน้อยมากจนกระทั่งไม่สามารถวัดได้

จากการที่อะตอม หรือโมเลกุลหนึ่งๆ สามารถดูดกลืนพลังงานจากคลื่นแสงได้ เฉพาะค่าที่เหมาะสมเท่านั้น และการดูดกลืนพลังงานดังกล่าวจะเป็นผลให้เกิดการกระตุ้นจาก ระดับพลังงานระดับหนึ่งขึ้นไปยังอีกระดับหนึ่งที่มีค่าระดับพลังงานสูงกว่า จากวิธีการของการวัดการดูดซับด้วยวิธีทางสเปกโตรโฟโตกราฟ (ADSORPTION SPECTROPHOTOMETRY) จะสามารถสังเกตได้ว่า พลังงานค่าใด (ความถี่ หรือความยาวคลื่นใด) เป็นค่าที่เหมาะสม ที่จะถูกดูดกลืนโดยสสารได้ ทั้งนี้

โดยการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบจากสารนั้นไปเรื่อยๆ แล้ววัดการลดลงของความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจากสาร การแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นหรือความถี่ เรียกว่า สเปกตรัมดูดกลืน (ABSORPTION SPECTRUM) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (ABSORBANCE) และความยาวคลื่น (WAVELENGTH)

2.5.1 หลักเบื้องต้นของสี

สีมีความสัมพันธ์กับตัวเลขที่แสดงความยาวคลื่นของแสง ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (VISIBLE) และเกี่ยวข้องกับสภาพทางสรีรวิทยาในการสนองตอบจากประสาทตาของมนุษย์ในการสังเกตสีต่างๆ คลื่นแสงที่มนุษย์อาจมองเห็นได้จะอยู่ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 400 -750 นาโนเมตร หากตาถูกกระตุ้นด้วยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นทั้งช่วง ผลก็คือจะมองเห็นแสงนั้นเป็นสีขาว และหากคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ถูกดูดกลืนพลังงานไปบางส่วนจากช่วงที่มองเห็น

เห็นได้ สีของแสงที่ปรากฏให้เห็นจะเป็นสีที่สะท้อนออกมา ในขณะที่สีจริงของวัตถุจะเป็นสีที่ถูกวัตถุดูดกลืนไว้ ดังตารางที่ 2.1

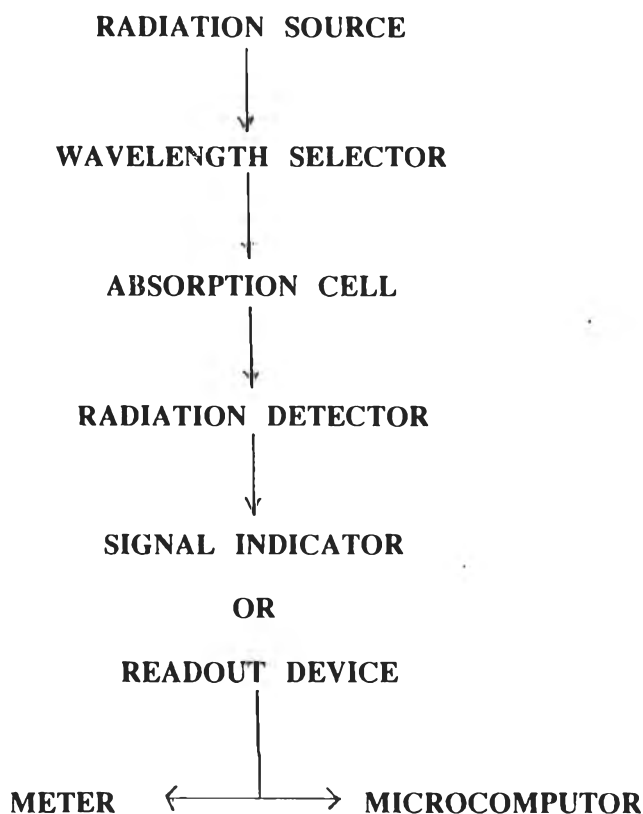
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ และสีของแสงที่ปรากฏ

ความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ	สีที่ปรากฏ
400-450	VIOLET	YELLOW-GREEN
450-480	BLUE	YELLOW
480-490	GREEN-BLUE	ORANGE
490-500	BLUE -GREEN	RED
500-560	GREEN	PURPLE
560-580	YELLOW-GREEN	VIOLET
580-600	YELLOW	BLUE
600-650	ORANGE	GREEN-BLUE
650-750	RED	BLUE-GREEN

2.5.2 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTROPHOTOMETER)

เครื่องมือชนิดนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล (ULTRAVIOLET-VISIBLE) และอินฟราเรด โดยใช้ตัวทำแสงเอกรงค์ (MONOCHROMATOR) เป็นเครื่องแยกคลื่นแสงออกเป็นช่วงแคบๆ ที่ต่อเนื่องกันอย่างอัดแน่น

และใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสงที่มีความไวต่อแสง เช่น หลอดแสง (PHOTOTUBE) หรือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PHOTOMULTIPLIER TUBE) และให้สเปกตรัม (SPECTRUM) ออกมาโดยการเขียนค่าความสัมพันธ์แบบอัตโนมัติ เครื่องมือชนิดนี้จะประกอบ ด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบอย่างย่อของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.5.2.1 แหล่งกำเนิดคลื่นแสง (RADIATION SOURCE)

แหล่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ดีควรให้คลื่นที่ต่อเนื่องกัน ในช่วงสเปกตรัม กว้างๆ และมีความเข้มของคลื่นสูง แหล่งกำเนิดของคลื่นแสงจะประกอบด้วยสารที่ถูกกระตุ้นไป ยังระดับพลังงานสูง ด้วยศักย์ไฟฟ้าที่สูงจนเกิด ELECTRIC DISCHARGE หรือโดยการใช้ไฟฟ้า เฉากจร้อนจัด จากนั้นเมื่อสารเปลี่ยนแปลงกลับสู่สภาวะที่มีระดับพลังงานที่ต่ำกว่า หรือสารนั้น

กลับสู่สถานะพื้น (GROUND STATE) จะมีการคายโฟตอนหรือคลื่นแสงที่มีคุณลักษณะทางคลื่นหรือพลังงานที่ตรงกับผลต่างของพลังงาน (ΔE) ระหว่างสถานะกระตุ้น (EXCITED STATE) และสถานะที่ต่ำกว่า (LOWER STATE) นั้น สำหรับพลังงานที่คายออกมาจะมีลักษณะเป็นสเปกตรัมเส้น (LINE SPECTRUM)

แหล่งกำเนิดของคลื่นที่มองเห็นได้ที่นิยมใช้กันมากได้แก่หลอดทั้งสแตนซึ่งเป็นหลอดราคาถูก ประกอบด้วยไส้ที่ทำด้วยหลอดทั้งสแตนบรรจุภายในหลอดแก้วสุญญากาศเมื่อหลอดถูกเผาจนร้อนแดงด้วยไฟฟ้า ทั้งสแตนจะคายคลื่นแสงแบบต่อเนื่องกันออกมาในช่วงคลื่นตั้งแต่ 350 - 2,500 นาโนเมตร

2.5.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการแยกคลื่นแสงออกเป็นแถบหรือเป็นช่วงคลื่นที่แคบๆ (WAVELENGTH SELECTOR)

เครื่องมือที่ใช้แยกคลื่นแสง ได้แก่ เครื่องกรองแสง (FILTER) หรือตัวทำแสงเอกรงค์ (MONOCHROMATOR) โดยจะทำหน้าที่แยกคลื่นแสงที่ต่อเนื่องกันจากแหล่งกำเนิดออกเป็นคลื่นเดี่ยว (MONOCHROMATIC RADIATION) หรือแยกออกเป็นส่วนประกอบของคลื่นช่วงแคบๆ

เครื่องกรองแสงที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 ชนิดคือ เครื่องกรองการดูดกลืน (ABSORPTION FILTER) ซึ่งอาจทำด้วยแก้วหรือพลาสติกสีต่างๆ ที่จะสามารถดูดกลืนคลื่นแสงไว้บางส่วนแล้วปล่อยคลื่นช่วงแคบๆ ออก มาซึ่งปรากฏเป็นสีของเครื่องกรองแสงนั้น

เครื่องกรองการแทรกสอด (INTERFERENCE FILTER) มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ของโลหะที่มีบางส่วนโปร่งแสงและบางส่วนสะท้อนแสง โดยการฉาบ Mg_2F เป็นชั้นบางๆ บนโลหะเงิน จากนั้นจะประกบด้วยแผ่นแก้วอีกชั้นหนึ่ง เมื่อมีคลื่นแสงมาตกกระทบบนผิวหน้าของเครื่องกรองแสงจะเกิดการสะท้อนกลับไปกลับมาภายในส่วนที่โปร่งแสง

ตัวทำแสงเอกรงค์เป็นเครื่องแยกคลื่นแสง ที่ให้แถบแสงที่มีความกว้างน้อยกว่าแถบที่ได้จากการใช้เครื่องกรองแสง ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้ตัวทำแสงเอกรงค์ และอาจเปลี่ยนแปลงคลื่นต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่องกับแบบอัตโนมัติ ตัวทำแสงเอกรงค์ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1.ช่องแสงผ่านเข้า (ENTRANCE SLIT) มีลักษณะเป็นช่องเล็กๆ ที่ลำแสงแคบๆ สามารถผ่านเข้าไปยังเครื่องกระจายแสงได้ 2.เครื่องกระจายแสงอาจเป็นปริซึม หรือเกรตติง ซึ่งจะทำหน้าที่แยกลำแสง

ที่มีหลายคลื่นจากช่องแสงผ่านเข้ามาออกเป็นช่วงคลื่นที่แคบๆ หรือมีส่วนประกอบของคลื่นน้อยกว่าเดิม และ 3. ช่องแสงผ่านออก (EXIT SLIT) จะเป็นช่องเล็กๆ ที่ยอมให้คลื่นช่วงแคบๆ จากเครื่องกระจายแสงผ่านออกไป โดยคลื่นแสงที่ผ่านออกมาจะมีลักษณะเป็นแถบ (BAND) คล้ายกับที่ได้จากเครื่องกรองแสงแต่มีแถบแสงที่มีความกว้างน้อยกว่า

2.5.2.3 ภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่าง (ABSORPTION CELL)

ภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่างควรทำด้วยสารโปร่งแสงในช่วงคลื่นที่ทำการศึกษา, ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง และควรมีรูปร่างที่ทำให้มีการสะท้อนกลับน้อยที่สุด วัสดุที่ใช้ทำเซลล์อาจเป็นแก้วธรรมดาหรือควอทซ์ก็ได้มีความหนาตั้งแต่ 1 - 10 cm แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ เซลล์ที่มีความหนา 1 cm

2.4.2.4 เครื่องวัดความเข้มของคลื่นแสง (RADIATION DETECTOR)

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต วิซิเบิล คือ อุปกรณ์ตรวจหาโฟโตอิเล็กทริก (PHOTOELECTRIC DETECTORS) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดดังนี้

2.5.2.4.1 เซลล์โฟโตวอลตาอิก (PHOTOVOLTAIC CELL)

ประกอบด้วยแผ่นสารกึ่งตัวนำที่ทำด้วยซิลิเนียมเคลือบอยู่บนฐานโลหะที่ทำด้วยเหล็ก หรือทองแดง (ขั้วบวก) บนผิวของแผ่นสารกึ่งตัวนำจะเคลือบด้วยแผ่นโลหะเงินบางๆ ที่โปร่งแสง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะสมประจุ (ขั้วลบ) ส่วนประกอบทั้งหมดนี้จะบรรจุอยู่ในกล่องสุญญากาศ มีช่องโปร่งแสงที่สามารถมองเห็นได้ โดยพื้นผิวที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นเหล็กกับซิลิเนียมจะทำหน้าที่เป็นเครื่องกีดขวางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

เมื่อคลื่นแสงวิซิเบิลตกกระทบเซลล์ดังกล่าวจะก่อให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นบนพื้นผิวที่เชื่อมต่อระหว่างซิลิเนียมกับแผ่นโลหะเงิน ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานเพียงพอที่จะวิ่งไปยังขั้วลบ สำหรับการสะสมอิเล็กตรอนบนแผ่นฟิล์มเงินดังกล่าวจะก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างพื้นผิวของโลหะเงินกับฐานของโลหะเหล็ก ถ้าหากวงจรภายนอกมีความต้านทานไม่สูงมากนัก

2.5.2.4.2 เซลล์แสงหรือหลอดแสง (PHOTO CELL หรือ PHOTO TUBE)

ประกอบด้วยแผ่นโลหะที่ทำหน้าที่เป็นแคโทดและมีลวดแอโนด ซึ่งบรรจุด้วยอิเล็กตรอน โดยทั้งหมดจะอยู่ในหลอดแก้วสุญญากาศ ที่มีหน้าต่างที่ทำด้วยควอตซ์ พื้นที่ผิวด้านในของแคโทดจะเคลือบด้วยชั้นบางๆ ของสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนออกมาได้ง่าย เช่น เคลือบด้วยโลหะอัลคาไล หรือของผสมระหว่างโลหะกับสารประกอบออกไซด์ของโลหะอัลคาไล เมื่อมีคลื่นแสงวิซิเบิลหรืออัลตราไวโอเล็ตมาตกกระทบ จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากแคโทดนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่ผิวของแคโทด จากนั้นอิเล็กตรอนเหล่านี้จะวิ่งไปที่แอโนดทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งสามารถขยายสัญญาณได้ โดยใช้เครื่องขยายกระแสตรง และอ่านผลออกมาโดยแอมมิเตอร์

2.5.2.4.3 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PHOTOMULTIPLIER TUBE)

เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้กับคลื่นแสงที่มีความเข้มต่ำได้ มีลักษณะเป็นหลอดสุญญากาศเหมือนกับหลอดแสง แต่สามารถให้กำลังขยายสัญญาณได้สูงว่ามาก อาจได้ถึง 10^8 เท่า เมื่อทำการเพิ่มไดโนด (DYNODES) ที่ทำด้วยโลหะอัลคาไลหรือโลหะอัลคาไลไนต์เอิร์ธ เข้าไปหลายๆ อัน เนื่องจากจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนที่สอง (SECONDARY ELECTRON) เพิ่มขึ้นอีกมากมาย และเมื่ออิเล็กตรอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้วิ่งไปที่แอโนดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดความต้านทานเกิดเป็นศักย์เข้า (INPUT VOLTAGE) จากนั้นศักย์เข้าจะถูกนำไปขยายโดยเครื่องขยายกระแสไฟตรงให้ศักย์ออก (OUTPUT VOLTAGE) ออกมา และจะสามารถวัดได้โดยใช้แอมมิเตอร์

2.5.2. เครื่องอ่านหรือเครื่องแปลสัญญาณ

(SIGNAL INDICATOR OR READOUT DEVICE)

เป็นเครื่องมือที่วัดสัญญาณแบบการอ่านโดยตรง โดยใช้มิเตอร์อ่านออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของการส่องผ่าน (%T) หรือการดูดกลืนแสง หรือใช้เครื่องมือที่วัดสัญญาณแบบทำให้สมดุล ซึ่งจะมีความถูกต้องของการวัดที่ถูกจำกัดโดยความเป็นเส้นตรงของลวดที่เลื่อนได้ (SLIDE WIRE) ที่ใช้เลื่อนปากกาขึ้น - ลง บนเครื่องบันทึกสเปกตรัม

การตรวจเอกสาร

Asfour และ คณะ (1985) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับของซีลื้อยจากไม้เนื้อแข็ง ในการดูดซับสีย้อมประเภทเบสิก จากการศึกษาพบว่า การกวน, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของสีย้อม และขนาดของอนุภาคมีอิทธิพลต่อกระบวนการดูดซับ

Doroshenko , Tarasevich และ Rak (1989) ได้ศึกษากระบวนการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (ISOTHERM) ของการลดสีย้อมประเภทไดเร็กต์ 3 ชนิดซึ่งละลายน้ำได้ ได้แก่ บริเลียนบลู (BRILLIANT BLUE), คองโก (CONGO RED) และสกาเลียท (DIRECT SCARLET) ด้วย แร่ดินมอนโมริโลไนท์ (MONTMORILLONITE) พบว่ามีความสามารถในการดูดซับได้มากเป็น 3-4 เท่า ของคาร์บอนกัมมันต์ (ACTIVATED CARBON)

Flege (1968) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ พบว่าสามารถลดระดับสีย้อมบางชนิดได้ แต่ผลของการบำบัดอาจก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นพิษมากกว่าสีย้อม

Gamolka (1985) ได้ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอพบว่า การบำบัดโดยใช้ กระบวนการจับก้อนซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี นอกจากนั้นยังได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้ง จากอุตสาหกรรมฟอกหนังและอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งประกอบด้วยน้ำมัน-อิมัลชัน, สารลดแรง ตึงผิว, ซัลเฟอร์ และสีย้อม ด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต (ALUMINUM SULFATE) และแบเรียม คลอไรด์ ($BaCl_2$) พบว่าหากกำจัดสีย้อมในช่วงพีเอชที่เป็นกลางจะสามารถลดสีได้ถึง 98 %

Hanza และ Hamoda (1981) ได้ศึกษาลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจาก บริษัทสิ่งทอแห่งชาติ (THE NATIONAL TEXTILE COMPANY) ที่เมืองอเล็กซานเดรีย (ALEXANDRIA) ประเทศอียิปต์ และได้ศึกษาทางเลือกของกระบวนการบำบัดน้ำเสียพบว่า กระบวนการที่ใช้ได้ผลดีที่สุดคือ การตกตะกอนด้วยอะลัมแล้วตามด้วยการบำบัดแบบแอกติเวเตด สลัดจ์ (ACTIVATED SLUDGE) และจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อทำให้อัตราการรับ ได้ของสาร อินทรีย์เป็น 0.2 ถึง 0.3 kg ภายในเวลา 5 วัน

Inoue และ Honda (1984) ได้บำบัดด้วยใช้กระบวนการตกตะกอนแบบจับก้อน โดยใช้ เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) ผลการทดลองพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถลดค่าต่างๆ ได้ดังนี้ ค่าซีไอดีลดลง 20 %, ระดับสารที่ใช้เป็นสีย้อม (DYEING AGENTS) ลดลง 25 %, ระดับ สารลดการย้อม (DYE RETARDING AGENTS) ลดลง 25 % และระดับสารลดแรงตึงผิว (SOFT FINISHING AGENT) ลดลง 85% นอกจากนั้นยังได้ศึกษาการลดสีย้อมประเภทแคทไอออนิก

(CATIONIC) และสารลดแรงตึงผิวจากกระบวนการข้อมเส้นใยอะคริลิก (ACRYLIC) โดยกระบวนการดูดซับของคาร์บอนด้วย และพบว่าสามารถลดค่าซีไอได้ถึง 93 %, สีข้อมลดลง 100 % และสารลดแรงตึงผิวลดลง 93 %

Judkin และ Hornsby (1978) ได้ทดสอบการกำจัดสีข้อมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนต, ปูนขาว และการใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาว (โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะปริมาณของแมกนีเซียมคาร์บอเนต และใช้ปูนขาวคงที่ในปริมาณ $300 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$) ทำการลดสี 3 ประเภท ได้แก่ สีแวนด์ (VAT), ดิสเพิสและซัลเฟอร์ (SULFUR) พบว่าที่พีเอชเกิน 10.7 การใช้สารเคมีทั้งสองชนิดร่วมกันจะสามารถลดสีทั้งสามชนิดได้ดี และในน้ำเสียจริงที่มีสีข้อมทั้งสามชนิดนี้ก็ให้ผลเช่นกัน นอกจากนั้นยังศึกษาการนำเอาแมกนีเซียมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยแมกนีเซียมยังมีสภาพการใช้งานใกล้เคียงกับสารเดิมตอนต้น

Kamel, Youssef และ Kamel (1991) ได้ทำการศึกษากระบวนการดูดซับสีข้อม 3 ชนิดคือ แอนไอออนิก (ANIONIC), ไคเร็กท์ และเอโซ (AZO) ด้วยเคโอลิไนท์จากอียิปต์ (EGYPTIAN KAOLINITE) 2 ชนิด ได้แก่ ซิไน (SINAI) และกาลับซ่า (KALABSHA) พบว่าโครงสร้างของสีข้อมและโครงสร้างของเคโอลิไนท์มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการดูดซับ

Khare และ คณะ (1987) ได้ทดสอบการลดสีข้อมวิกตอเรียบลู (VICTORIA BLUE) ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยขี้เถ้า (FLY ASH) ซึ่งมีราคาถูกและเป็นตัวดูดซับที่หาได้ง่าย พบว่ากระบวนการดูดซับจะไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (DESORPTION)

Mckay และ คณะ (1978) ได้ศึกษาการลดสี ข้อมประเภท แอซิด (ACID), ไคเร็กท์ (DIRECT), ดิสเพิส (DISPERSE) และ เบซิก (BASIC) โดยใช้กระบวนการดูดซับของสารดูดซับ ชนิดต่างๆ ได้แก่ คาร์บอน, ซิลิคอน, ไม้ (WOOD), ถ่านหินเลน (PEAT), อะลูมินา (ALUMINA) และ ฟูลเลอร์เอิร์ธ (FULLER'S EARTH) โดยทำการคำนวณราคาของสารดูดซับต่อน้ำหนักของสี ที่สามารถลดได้ พบว่าไม้และถ่านหินเลน สามารถดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับตัวอื่น

Mckay และ คณะ (1985) ได้ศึกษากระบวนการดูดซับสีข้อมประเภทเบซิก และแอซิด โดยใช้ วัสดุพวกดิน (CLAY) พบว่าการกวน, ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อม, ขนาดอนุภาค ของตัวดูดซับ, ปริมาณของตัวดูดซับ และอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการดูดซับ

Mckay และ คณะ (1986) ได้ทำการทดสอบวัสดุที่มีราคาต่ำ ซึ่งได้แก่เปลือกต้นสัก (TEAK WOOD BARK) , แกลบ (RICE HUSK), ถ่านหิน (COAL), ดินเบนโตไนท์ (BENTONITE CLAY), ผม(HAIR) และฝ้ายเก่า(COTTON WASTE) เป็นสารดูดซับสำหรับลคสีย้อม 4 ประเภท คือ แอซิด, เบซิก, คิสเฟิส, และไคเร็กท์ พบว่าสีย้อมประเภทเบซิก (BASIC) ถูกดูดซับได้มากที่สุด

McKay และ คณะ (1987) ได้ตรวจสอบเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และกระบวนการคาย (DESORPTION) ของสีย้อม 8 ชนิด ด้วยสารดูดซับที่มีราคาถูกซึ่งได้แก่ ดินเบนโตไนท์, แกลบ, ฝ้ายและผม พบว่าดินเบนโตไนท์ให้ผลในการดูดซับดีที่สุด

Mckay และ คณะได้ใช้กระบวนการดูดซับ ทำการลคสีย้อมจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้ตัวดูดซับต่างๆ กัน ได้แก่ คาร์บอน, ซิลิกอน และอลูมินา พบว่า สามารถกำจัดสีย้อมประเภทแอซิด, ไคเร็กท์, คิสเฟิส และเบซิกได้ดีและยังใช้ต้นทุนยังต่ำด้วย

Mamontova และ คณะ (1984) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าประสิทธิภาพของการบำบัด สามารถจะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้กระบวนการเติมอากาศ (AERATION) ร่วมกับกระบวนการ ดูดซับและการกรอง หรือการใช้กระบวนการเติมอากาศร่วมกับกระบวนการจับก้อน (COAGULATION)

Oh Cheun Kwun (1965) ได้ศึกษาอัตราการดูดซับของเคโอลินของเกาหลี (KOREAN KAOLIN) และ ซิลิกาเจล (SILICA GEL) ของสีย้อม 3 ชนิดซึ่งได้แก่ อะนิลีนสีเหลือง (ANILINE YELLOW) ,ออโท-ไนโตรอะนิลีน (O-NITROANILINE) และออลย์ออเรนจ์ (OIL ORANGE) ในเบนซีน พบว่าอัตราการดูดซับของซิลิกาเจลดีกว่าเคโอลินของเกาหลี

Pitkat และ Berndt (1981) ได้อธิบายถึงการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งในปริมาณ 24,500 m³ต่อวัน โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงทำการบำบัดน้ำทิ้งผสมระหว่างน้ำทิ้งจากครัวเรือนและน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยใช้กระบวนการจับก้อน พบว่าสามารถลคสีย้อมที่เหลืออยู่ของน้ำทิ้ง ในอุตสาหกรรมสิ่งทอลงได้ถึง 90 % พร้อมทั้งได้เสนอระบบการบำบัดที่เหมาะสมซึ่งประกอบด้วยกระบวนการจับก้อน, การกรอง (FILTRATION) และการให้สารทำปฏิกิริยากับโอโซน (OZONATION) เนื่องจากการบำบัดโดยใช้กระบวนการให้สารทำปฏิกิริยากับโอโซนเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก

Podlesnyuk และ Levchenko (1985) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับของสีย้อมด้วยสารดูดซับที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างกันพบว่าโครงสร้างของโมเลกุล (ทั้ง ASSOCIA

TION, IONIZATION และ VARIATION ในโครงสร้างของโมเลกุล) จะมีอิทธิพลต่อกระบวนการดูดซับ

Spirkins (1985) ได้กล่าวถึงเทคนิคการแยกสี้อมประเภทซัลเฟอร์จากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยไม่ทำให้โครงสร้างทางเคมีของสี้อมเปลี่ยนแปลง กระบวนการนี้จะมีการเติมกรดซัลฟิวริกลงไปเพื่อลดค่าพีเอชจาก 8-12 ไปเป็น 1-1.5 และเปลี่ยนสี้อมให้อยู่ในรูปของสารที่ไม่ละลายน้ำ (PRECIPITATION) วิธีการดังกล่าวนี้ สามารถกำจัดสี้อมได้โดยการกรองออกหรือเซนตริฟิวจ์ ส่วนไฮโดรเจนซัลไฟด์ (HYDROGEN SULFIDE) ที่เหลือจะกำจัดโดยการทำให้เป็นกรด (ACIDIFICATION) และการเติมอากาศ

Stahr และ คณะ (1981) ได้ทดสอบการใช้อะลัม และสารโพลีเมอร์อินทรีย์ (ORGANIC POLYMER) เพื่อลดสีจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมฟอกย้อม เมื่อพิจารณาการควบคุมสภาวะในด้านต่างๆ แล้ว พบว่าวิธีการที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านการกำจัดสี้อมมากที่สุดได้แก่ การใช้อะลัมเป็นสารตกตะกอนและใช้โพลีเมอร์ประจุบวก (CATIONIC POLYMER) เป็นสารช่วยตกตะกอน (COAGULANT AID)

Widayat และ คณะ (1985) ได้ทดสอบสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จาก ฟางข้าว และขี้เถ้าซึ่งนำมากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่อุณหภูมิ $650^{\circ}C$ หรือ $900^{\circ}C$ เพื่อให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ $650^{\circ}C$ สามารถใช้ในการลดค่าซีโอดีได้