บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไข่ไก่

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เปลือกไข่ไก่มาแปรสภาพในการสังเคราะห์สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์จากสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตสังเคราะห์ ซึ่งหน้าที่และความสำคัญของส่วนประกอบไข่ไก่ แสดงดังในตารางที่ 2.1 (ดูรายละเอียดภาพตัดขวางของไข่ไก่ ในภาคผนวก ก รูปที่ ก.1)

ตารางที่ 2.1 หน้าที่และความสำคัญของส่วนประกอบไข่ไก่ [1,2]

ส่วนประกอบของไข่ไก่	หน้าที่และความสำคัญ
1. Blastodisc (Germinal Disc)	เป็นทางเข้าของเสปิร์มจากไก่ตัวผู้
2. ไข่แดง (Yolk)	แหล่งอาหารขั้นต้นให้กับ ตัวอ่อน (Embryo) ประกอบด้วยน้ำ ไขมันและโปรตีน
3. เยื่อไข่แดง (Yolk Membrane)	อยู่รอบๆไข่แดงประกอบด้วยเนื้อเยื่อโปรตีนที่สำคัญ 2 ชั้น
4. ไข่ขาว (Albumen)	ประกอบไปด้วยน้ำและโปรตีน ไข่ขาวมี2 ชนิด คือ - ไข่ขาวชนิดหนา อยู่ชั้นในติดกับเยื่อไข่แดง ทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนของไข่แดงและตัวอ่อน ป้องกันการแทรกซึมเข้าของแบคทีเรีย - ไข่ขาวชนิดบาง ประกอบไปด้วยอนุพันธ์สารอาหารที่ตัวอ่อนจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโต อาทิ เช่น กรดอะมิโน
5. Chalazae	เป็นสายโพลิเมอร์ ทำหน้ายึดให้ไข่แดงอยู่ตรงกลางของไข่ไก่ เพื่อป้องกันไม่ให้ไข่แดงและตัวอ่อนเกิดความกระทบกระเทือนเมื่อไข่ถูกเคลื่อนที่ ซึ่งจะยึดติดกับไข่ไก่ด้วยเยื่อไข่ขาวชนิดหนา

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบของไข่ไก่	หน้าที่และความสำคัญ
6. Air Shell	ทำหน้าที่เก็บกักอากาศ เมื่อไข่สูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บ หรือการกก และใช้ในการหายใจของลูกไก่ขณะฟักตัว
7. เยื่อเปลือกไข่ (Shell Membrane)	ประกอบด้วยเป็นเส้นใยโปรตีน ชนิด คอลลาเจน (Collagen) (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.2) และ อิลาสติน (Elastin) (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.3) ซึ่งจะประสานกันและยึดติดกันแน่นกับเปลือกไข่ไก่(ภาคผนวก ก รูปที่ ก.4) แบ่งออกเป็น 2 ชั้น 1.เยื่อชั้นใน ทำหน้าที่ห่อหุ้มไข่ขาว 2.เยื่อชั้นนอก อยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือกไข่ไก่ แบ่งออกเป็น 3 ชั้น -ชั้นนอก มีองค์ประกอบเป็นพวกเคราทินขนาด 0.002-0.015 มิลลิเมตร -ชั้นกลาง มีองค์ประกอบเป็นพวกมิวซีน 0.008 มิลลิเมตร -ชั้นใน มีองค์ประกอบเป็นพวกเคราทินเส้นเล็กๆขนาด 0.0148 มิลลิเมตร ช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับเยื่อชั้นนอก
8. เปลือกไข่ (True Shell)	เปลือกไข่ไก่ทำหน้าที่ ป้องกันการระเหยของน้ำ การแทรกของแบคทีเรีย ป้องกันการกระทบกระเทือนและ เป็นช่องทางให้อากาศผ่านเข้าออก เปลือกไข่ไก่เหล่านี้จะมีลักษณะเป็นผลึกธาตุปูน (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.5) แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ -เปลือกไข่ไก่ชั้นนอกหรือชั้นฟองน้ำ (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.6)มีลักษณะเป็นรูพรุนประกอบด้วยผลึกแคลเซียมกับรวมกับเมทริกซ์

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบของไข่ไก่	หน้าที่และความสำคัญ
	อินทรีย์จำพวก Protein-acid Mucopoly Saccharide Complex และแร่ธาตุ -เปลือกไข่ไก่ชั้นใน (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.9) ประกอบด้วยแมกนีเซียมกับฟอสเฟตและผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต
9. รูเปลือกไข่ (Pore)	รูเปลือกไข่มีขนาด 0.0038 – 0.0029 มิลลิลิตร เป็นช่องทางให้อากาศผ่านเข้าออก (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.10)
10. ส่วนเคลือบผิว Cuticle	เป็นชั้นโปรตีนปกคลุมช่องว่างบนผิวของเปลือกไข่ไก่ ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำของไข่ไก่ป้องกันไม่ให้แบคทีเรียแทรกผ่านเข้าไปภายในของเปลือกไข่ไก่ (ภาคผนวก ก รูปที่ ก.11และ ก.12)

จากตารางที่ 2.1 แสดงหน้าที่และความสำคัญของส่วนประกอบไข่ไก่ ทำให้ทราบถึงโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชั่นต่างๆของเปลือกไข่ไก่ เนื่องจากเปลือกไข่ไก่มีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของตัวดูดซับ (Adsorbent) และนอกจากนี้ยังพบว่าเปลือกไข่ไก่ประกอบไปด้วยอนินทรีย์สารต่างๆ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$)และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ซึ่งส่งผลให้เปลือกไข่ไก่มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการดูดซับโลหะหนัก และการตกตะกอนผลึกของโลหะหนัก ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำแนวทางของงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาไว้ [1,2] เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์โดยใช้เปลือกไข่ไก่และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

2.2 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Scheele ในปี ค.ศ. 1773 ซึ่งเป็นการดูดซับของก๊าซ และต่อมาในปี ค.ศ. 1785 Lowitz ได้ค้นพบการดูดซับของสารละลาย การดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะติดพื้นผิว การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว หรือระหว่างพื้นผิว กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิว 2 วัฏภาค เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับเรียกว่า (Adsorbent) [3]

2.2.1 กลไกการดูดซับ [4]

การดูดซับ เกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรกในสารละลายจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่ผิวรอบนอกของสารดูดซับ

ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะแพร่กระจาย (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ

ระยะที่ 3 เกิดการดูดติดผิวในรูพรุน ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิวของสารดูดซับ ซึ่งอาจจะดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี หรือทั้ง 2 แรงพร้อมกัน

2.2.2 ประเภทของการดูดซับ [5]

ก. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นอย่างไม่เจาะจง (Nonspecific) ที่ใดก็ได้โดยการดูดซับทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การจัดเรียงตัว (Orientation) การกระจายตัว (Disprsion) และการเหนี่ยวนำ (Induction) ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับ การดูดซับโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับบนตัวดูดซับเกิดขึ้นจากแรงวันเดอร์วาล์ว ดังนั้นแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับกับตัวดูดซับจะมีไม่มาก โมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับจะเข้าไปอยู่ภายในรูพรุนของตัวดูดซับ ความร้อนเนื่องจากการดูดซับ (Heat of Adsorption) อยู่ในช่วงต่ำประมาณ 4-40 kJ mol^{-1} การดูดซับเข้าสู่สมดุลได้เร็วและเกิดการผันกลับได้ (Reversible)

ข. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นกระบวนการดูดซับที่เกิดจากแรงทางเคมี นั่นคือสารถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของตัวดูดซับด้วยพันธะทางเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเจาะจงบน Active Site ของตัวดูดซับโดยพันธะทางเคมี โดย

ความร้อนเนื่องจากการดูดซับ (Heat of Adsorption) อยู่ในช่วง 40-200 kJ mol^{-1} ซึ่งมากกว่าการดูดซับทางกายภาพ ตัวอย่างการดูดซับทางเคมี เช่น การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับกับไอออนของโลหะทรานซิชันบนตัวดูดซับ

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ [6]

ก. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface Area) เนื่องจากปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวเปลี่ยนไปตามขนาดของพื้นที่ผิว ความสามารถของการดูดติดผิวในสารดูดซับจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราส่วนการดูดติดผิวเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดติดผิว เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุนอัตราการดูดติดผิวจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ แต่สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยขั้นตอนการขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดติดผิวจึงเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับและในทางตรงข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ

ข. ลักษณะของสารถูกดูดซับ (Nature of Asorbate) การดูดติดผิวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในกระบวนการดูดซับตัวถูกดูดซับหรือตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากตัวทำละลาย

ค. พีเอช (pH) พีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ โดยทั่วไปแล้วการดูดซับของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าลดลง

ง. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคืออัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ความสามารถในการดูดติดผิวจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำเพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic)

จ. ความปั่นป่วน (Mixing Speed) อัตราดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขนส่งผ่านฟิล์ม (Film Transport) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งในระบบที่มีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของเหลวที่อยู่รอบสารดูดซับจะมีความหนามากและก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้ Film Transport เป็นตัวควบคุมการดูดติดผิว ในทางตรงกันข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าสู่สารดูดซับได้เร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดติดผิว

2.3 คาร์บอนมอนนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีรส และกลิ่น เบากว่าอากาศทั่วไปเล็กน้อย ก๊าซนี้จะดูดซึมรังสีอิเล็กโทรแมกเนติกในระยะของรังสีอินฟาเรด โดยมีจุดศูนย์กลางการดูดซึมที่ความยาวคลื่น 4.67 ไมครอน [7] เมื่อหายใจเข้าไปก๊าซนี้จะรวมกับเฮโมโกลบิน (Haemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงมากกว่าออกซิเจนถึง 200-250 เท่า [8] เกิดเป็นคาร์บอกซีเฮโมโกลบิน (COHb) ซึ่งลดความสามารถของเลือดในการเป็นตัวนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ โดยทั่วไปองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดคาร์บอกซีเฮโมโกลบินในเลือดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในอากาศที่หายใจเข้าไป และระยะเวลาที่อยู่ในสภาวะนั้น สำหรับอัตราการตอบสนองของมนุษย์ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์คาร์บอกซีเฮโมโกลบิน และความไวรับของแต่ละบุคคล (Individual Susceptibility) เป็นสำคัญ บริเวณที่มักจะพบปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงได้แก่บริเวณริมถนนและบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น

แหล่งกำเนิดของคาร์บอนมอนอกไซด์ในอาคาร เช่น ควันไฟจากเตา และควันบุหรี่ เครื่องทำความร้อนเครื่องทำน้ำอุ่น การเตรียมอาหาร การใช้เครื่องมือให้พลังงานต่าง ๆ การจุดเตาผิง และการจุดธูปเทียน ระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ตามมาตรฐานยอมให้มีได้ในอากาศไม่เกิน 9 ppm (0.09%) [9]

คาร์บอนมอนอกไซด์มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพอนามัยโดยตรง ทำให้มีอาการตั้งแต่เล็กน้อยไปจนถึงเสียชีวิต ปริมาณที่ทำให้เกิดความเป็นพิษประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (0.01%)

- การหายใจเข้าไป จะไปจับกับเลือดเกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน ซึ่งจะทำให้ออกซิเจนไม่สามารถถ่ายเทได้ทำให้มีอาการปวดศีรษะ มึนงง หัวใจเต้นเร็ว อ่อนเพลีย ชัก หมดสติด และอาจทำให้เสียชีวิตได้

- การสัมผัสทางผิวหนัง จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง

- การกลืนหรือกินเข้าไป ไม่มีผลกับร่างกาย

- การสัมผัสถูกตา จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา

-ทำให้เกิดความผิดปกติต่อระบบเลือด การหายใจ อัตราการเต้นของหัวใจ และระบบไหลเวียนโลหิต หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทและทำลายสมองได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอาการตอบสนองกับระดับคาร์บอกซีเฮโมโกลบินอิ่มตัวในเลือดสรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอาการตอบสนองและระดับคาร์บอกซีเฮโมโกลบินอิ่มตัวในเลือด [9]

ร้อยละของคาร์บอกซีเฮโมโกลบินในเลือด	อาการตอบสนองของคนปกติ (ผู้ใหญ่)	อาการตอบสนองของผู้ป่วยโรคหัวใจ
0.3-0.7	ยังไม่ปรากฏอาการใดๆ	-
1-5	กระตุ้นให้หัวในสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะสำคัญบางส่วนเป็นการชดเชย	หัวใจไม่สามารถที่จะสูบฉีดเลือดชดเชยได้สำหรับผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจตีบ จะมีความสามารถลดลงในการออกกำลังกายเมื่อจำนวนของคาร์บอกซีเฮโมโกลบินในเลือดอิ่มตัวในเลือดร้อยละ 2.5-3
5-9	การเห็นต้องใช้แสงมากกว่าปกติ ปวดศีรษะ การเห็นพร่ามัวผิดปกติ	การออกกำลังกายเพียงเล็กน้อยจะทำให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจตีบมีอาการผิดปกติ เช่น เจ็บหน้าอก
16-20	ปวดศีรษะ คลื่นไส้	อาจเป็นอันตรายถึงตายได้
20-30	ปวดศีรษะรุนแรง คลื่นไส้ และอาเจียน	"
30-40	อ่อนเปลี้ย เป็นลม หมดสติ	"
50	หมดสติ ชัก	"
60-70	ถึงตายหากไม่ได้รับการรักษาทันที	"

2.4 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการลดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สามารถลดลงโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบโลหะออกไซด์ ดังสมการข้างล่างเป็นสมการของปฏิกิริยาการสกัดเหล็ก [10]

$$Fe_2O_{3(s)} + 3CO_{(g)} \longrightarrow 2Fe_{(l)} + 3CO_{2(g)}$$

จากสมการข้างบน พบว่า สารประกอบเหล็กออกไซด์สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์โดยเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นที่มาของแนวคิดในการศึกษานี้สำหรับใช้สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดถึงผลการทดลองที่ได้ในบทที่ 4 ต่อไป