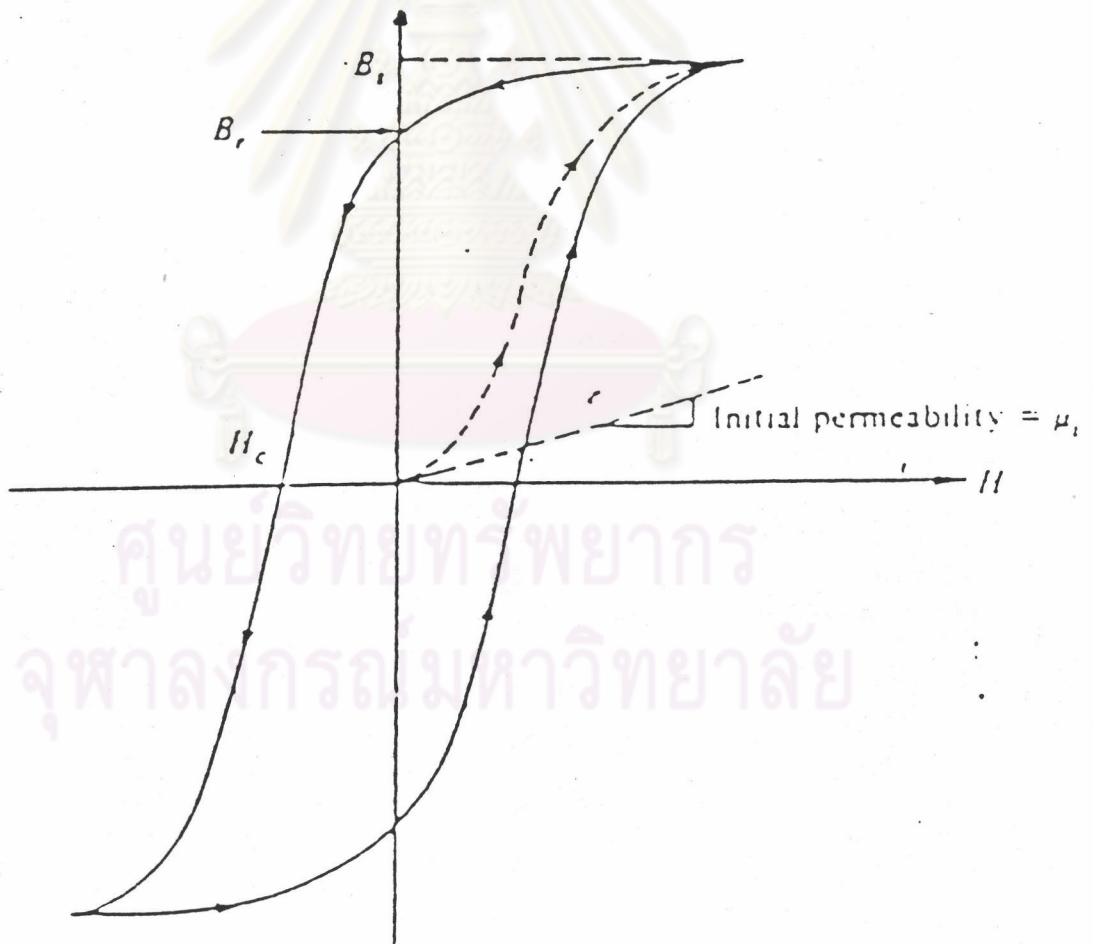


บทที่ 2

คุณสมบัติและลักษณะของอนุภาคแม่เหล็ก

โดยทั่วไปแล้ว คุณภาพของแถบหรือแผ่นบันทึกข้อมูลขึ้นอยู่กับตัวแปร ที่สำคัญ 2 ตัว คือ (1) อนุภาคแม่เหล็ก และ(2) กรรมวิธีในการเคลือบอนุภาคแม่เหล็กลงบนเทปพลาสติก (Coating Process) คุณสมบัติหลักของอนุภาคแม่เหล็กที่ต้องการ 3 ประการ คือ (1) คุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic properties) (2) ขนาดของอนุภาคแม่เหล็ก และ (3) การจัดเรียงตัวของอนุภาคแม่เหล็ก (Orientation) รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติดังกล่าวมีดังต่อไปนี้.

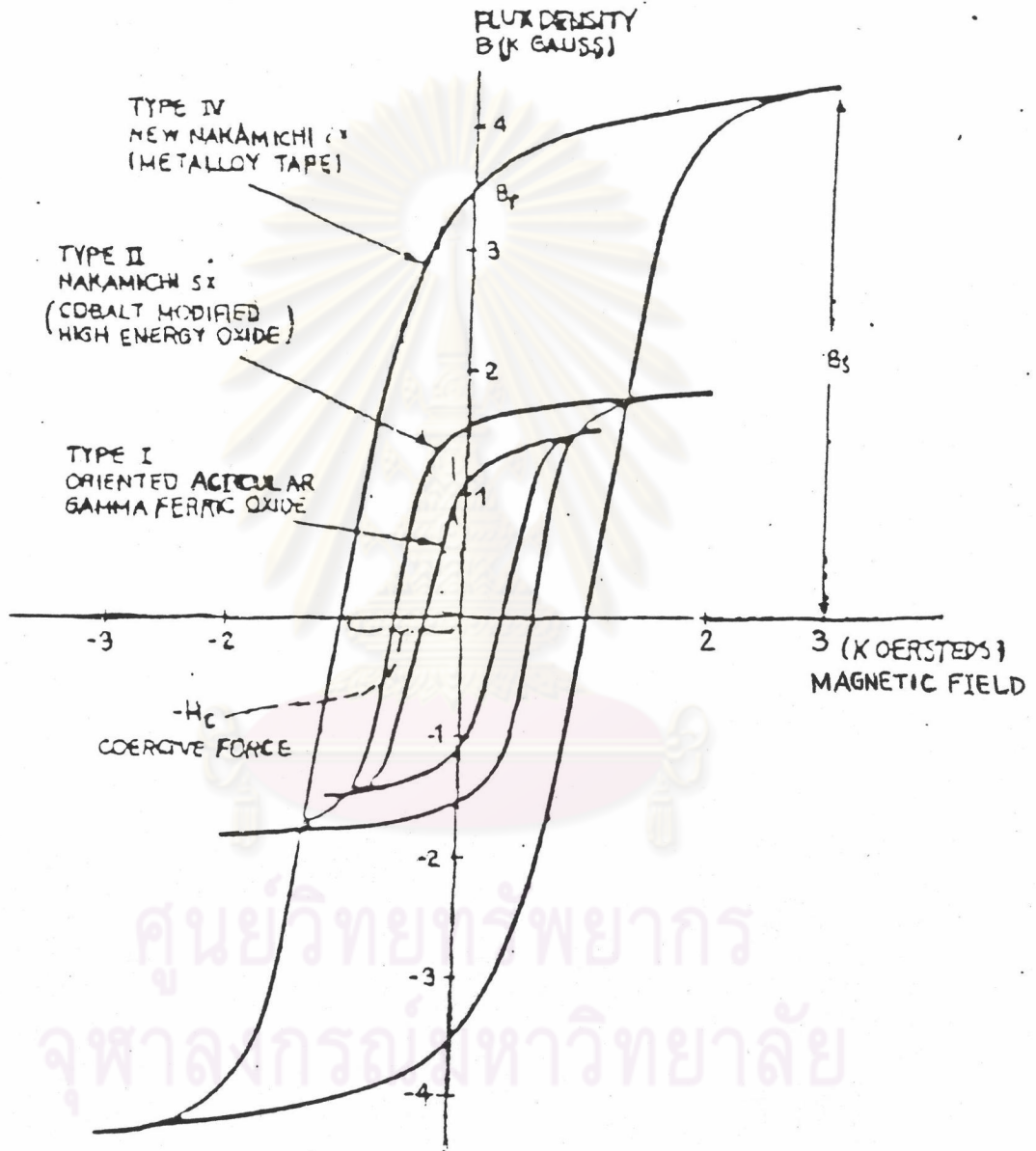
2.1) คุณสมบัติทางแม่เหล็ก



รูปที่ 2.1 ฮิสเทอรีซิสลูปทั่วไปของสารแม่เหล็ก (5)

รูปที่ 2.1 เป็นฮิสเทอรีซิสลูป(Hysteresis Loop)ทั่วไปของสารแม่เหล็กแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก(Flux density หรือ B) กับ แรงแม่เหล็ก หรือ สนามแม่เหล็ก (Magnetic field หรือ H) รูปที่ 2.2 แสดงฮิสเทอรีซิสลูปของเทปคาสเซ็ทที่ผลิตจากอนุภาคแม่เหล็ก 3 ชนิด คือ แมกนีไทต์ที่มีผลึกเป็นรูปเข็ม, โคบอลต์แอ็บซอบแมกนีไทต์ และ อนุภาคโลหะ การเพิ่มขนาดของสนามแม่เหล็กจะทำให้ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งเมื่อเพิ่มขนาดของสนามแม่เหล็กขึ้นอีกก็ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กของเทปอีก จุดนี้เรียกว่าจุดอิ่มตัว (Saturation Point) ซึ่งเป็นจุดที่เทปมีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด (B_s) เมื่อลดขนาดของสนามแม่เหล็กลงมาจนเป็นศูนย์ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กของเทปจะยังคงเหลืออยู่ขนาดหนึ่งความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ตกค้างอยู่นี้เรียกว่า รีเทนทิวิตี (Retentivity) หรือ รีเมนแนนซ์(Remanance หรือ B_r) ซึ่งหากปราศจากคุณสมบัตินี้ เทปจะบันทึกข้อมูลไม่ได้เพราะความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กหมดไปทันทีที่สนามแม่เหล็กที่ใช้บันทึกถูกเอาออกไปแล้วคุณสมบัติของเทปโดยทั่วไปจะพิจารณาที่ค่า B_r และ B_s โดยผู้ผลิตเทปจะกำหนดคุณสมบัตินี้ในรูปอัตราส่วนระหว่าง B_r กับ B_s (B_r / B_s ratio) ในการทำให้ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กตกค้าง (B_r) หมดไปสามารถทำได้ โดยใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศตรงกันข้ามเข้าไปจนถึงค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า โคเออร์ซิวิตี (Coercivity หรือ H_c) เทปที่มีค่าโคเออร์ซิวิตีต่ำจะถูกทำลายสภาพการเป็นแม่เหล็กได้ง่ายมาก หรือ ง่าย โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากหัว เทปเอง.

ดังนั้นเทปบันทึกข้อมูลจึงควรมีค่า โคเออร์ซิวิตีและรีเมนแนนซ์สูง เนื่องจากค่าผลคูณระหว่างค่าทั้งสอง ($B_r \cdot H_c$) หมายถึง ความสามารถในการบันทึกข้อมูล หากมีค่าสูงก็แสดงว่าเทปนั้นมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลได้มาก หรือบันทึกข้อมูลได้ละเอียดและชัดเจนนั่นเอง แต่หากมีค่าต่ำก็จะให้ผลตรงกันข้าม จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงว่าเทปโลหะนั้นมีข้อได้เปรียบในความสามารถที่จะบันทึกข้อมูลได้ชัดเจน และมีความทนทานต่อการลบ หรือทำลายสภาพแม่เหล็กดีกว่าเทปอีกสองชนิด.



รูปที่ 2.2 ฮิสเทอรีซิสลูปของเทปคาสเซ็ทที่ผลิตจากอนุภาคแม่เหล็ก 3 ชนิด คือ

γ - Fe_2O_3 , Co - Adsorbed γ - Fe_2O_3 และ Metal particles. (6)

2.2) ขนาดของอนุภาคแม่เหล็ก

ความเป็นแม่เหล็กของอนุภาคแม่เหล็กนั้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบอะตอม รวมทั้งการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน (Spin) โดยที่ผลของแรงดึงดูดระหว่างอะตอม ทำให้อะตอมเหล่านี้มาอยู่รวมกัน เปรียบเสมือนปริมาตรเล็ก ๆ ซึ่งมีทิศทางความเป็นแม่เหล็กทิศทางใดทางหนึ่ง เราเรียกปริมาตรเล็ก ๆ เหล่านี้ว่า โดเมน (Domains) โดยที่โดเมนหนึ่ง ๆ จะมีอะตอมอยู่รวมกันประมาณ 10^{17} ถึง 10^{21} อะตอม. (7)

โดยที่อนุภาคที่มีทิศทางความเป็นแม่เหล็กภายในแต่ละโดเมน มีทิศทางที่ไม่สอดคล้องหรือ หักล้างกัน ก็จะทำให้อนุภาคแม่เหล็กนั้นมีความเป็นแม่เหล็กน้อยลง หรือเป็นศูนย์ ถ้าหักล้างกันหมดพอดี ดังนั้นจำนวนโดเมนในอนุภาคแม่เหล็กก็เป็นปัจจัยอันหนึ่งที่มีผลต่อความเป็นแม่เหล็ก ดังนั้นอนุภาคแม่เหล็กก็สามารถที่จะแบ่งตามจำนวนของโดเมนภายในอนุภาคได้ดังต่อไปนี้.

2.2.1) Multi-Domain

หมายถึง ภายในอนุภาคแม่เหล็กหนึ่งอนุภาคมีจำนวนโดเมนตั้งแต่ 2 โดเมนขึ้นไปอยู่รวมกัน ซึ่งมีผลทำให้อนุภาคนั้นมีค่าความเป็นแม่เหล็กไม่สูงมากนัก ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นในอนุภาคที่มีขนาดเกินกว่า ๑ ไมครอน

2.2.2) Single Domain

หมายถึง ภายในอนุภาคแม่เหล็กหนึ่งอนุภาค มีโดเมนอยู่ภายในอนุภาคเพียงโดเมนเดียว ซึ่งมีผลทำให้อนุภาคนั้นมีค่าความเป็นแม่เหล็กค่อนข้างสูง ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นในอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน แต่ใหญ่กว่า 0.02 ไมครอน.

2.2.3) Superparamagnetic

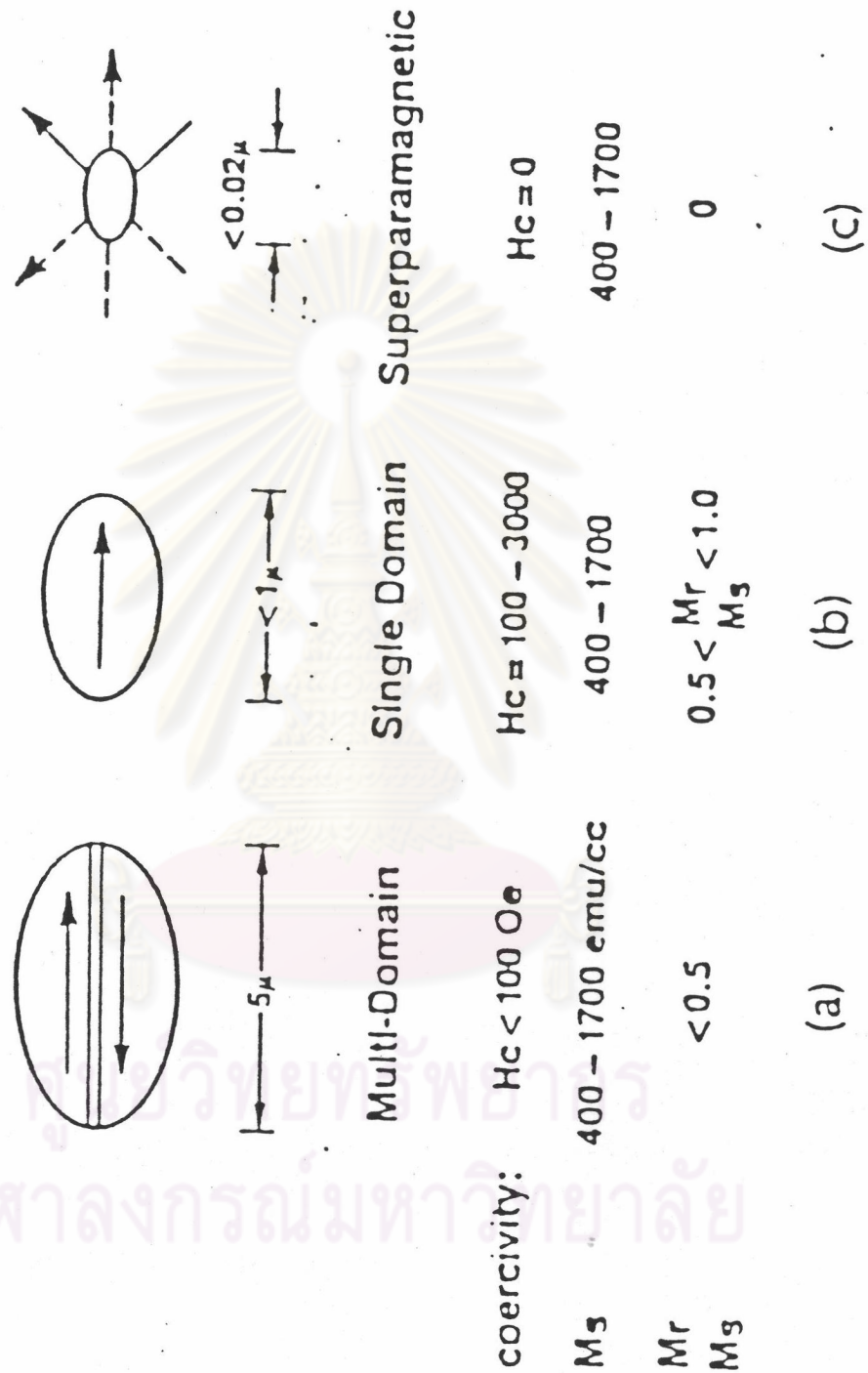
หมายถึง อนุภาคแม่เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่า Single Domain หรือ มีขนาดเล็กกว่า 0.02 ไมครอน ซึ่งมันมีผลทำให้ทิศทางความเป็นแม่เหล็กภายในอนุภาคนั้น เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หรือ อาจกล่าวได้ว่า ค่าความเป็นแม่เหล็กเท่ากับศูนย์ จึงไม่สามารถนำมาใช้ผลิตเทปบันทึกข้อมูลได้ โดยที่รูปที่ 2.3 นั้น แสดงให้เห็นเปรียบเทียบพฤติกรรมความเป็นแม่เหล็กของอนุภาคแบบต่าง ๆ

2.3) การจัดเรียงตัวของอนุภาคแม่เหล็ก (Orientation).

ในขั้นตอนการเคลือบอนุภาคแม่เหล็กลงบนเส้นเทปเพื่อทำให้อนุภาคแม่เหล็กในชั้นเคลือบ (Coated Layer) นั้นมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยที่คุณสมบัติในข้อนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงความสามารถของ เครื่องเคลือบอนุภาคแม่เหล็ก (Coating Machine) ในการที่จะจัดการเรียงตัวของอนุภาคแม่เหล็กในชั้นฟิล์มว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงไร ซึ่งการที่อนุภาคแม่เหล็กมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ จะทำให้แผ่นบันทึกข้อมูลนั้นมีความหนาแน่นของอนุภาคแม่เหล็ก (Packing Density) ในชั้นเคลือบ (Coated Layer) สูง ซึ่งมันจะช่วยทำให้แผ่นบันทึกข้อมูลนั้นสามารถที่จะบันทึกข้อมูลได้มาก หรือละเอียดยิ่งขึ้น.

โดยจากการศึกษา(4) พบว่าทิศทางของสนามแม่เหล็กในอนุภาคนั้นค่อนข้างจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับแกนความยาวของอนุภาคดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นการที่อนุภาคแม่เหล็กมีรูปร่างเป็นเข็ม (Acicular Shape) ช่วยทำให้การเคลือบนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 อิทธิพลของขนาดอนุภาคแม่เหล็กที่มีผลต่อความเป็นแม่เหล็ก (4)

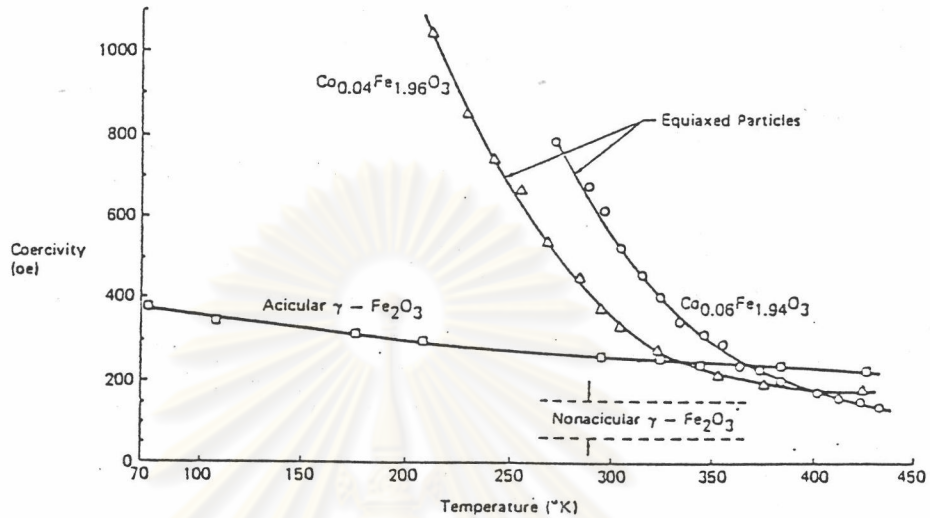


รูปที่ 2.4 ลักษณะการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอนุภาคแม่เหล็กบนเส้นเทป (1)

(a) ทิศทางตามความยาวของเทป

(b) ทิศทางตามขวางของเทป

นอกจากนี้การที่อนุภาคแม่เหล็กมีรูปร่างเป็นเข็มยังมีส่วนช่วยทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็ก มีค่าสูงกว่าอนุภาคแม่เหล็กที่มีรูปร่างไม่เป็นเข็ม ดังรูปที่ 2.5



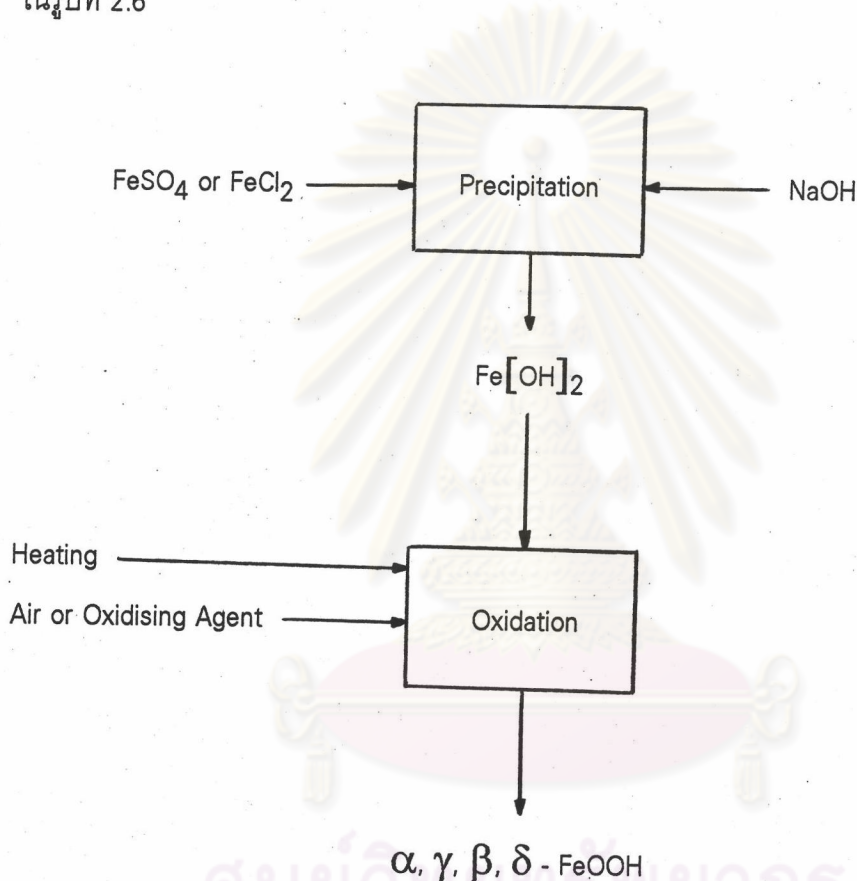
รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางแม่เหล็กระหว่างอนุภาคแม่เหล็ก γ -Fe₂O₃ ที่มีรูปร่างเป็นเข็ม กับ ไม่เป็นเข็ม (4)

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเตรียมอนุภาคแม่เหล็กชนิดแมกนีไมต์ γ -Fe₂O₃

กรรมวิธีการเตรียมอนุภาคแม่เหล็กชนิดแมกนีไมต์ที่มีผลึกเป็นรูปเข็ม(8) (9) (10) (11) นั้น จะแบ่งกรรมวิธีในการเตรียมออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ (1) กรรมวิธีทางเคมี (Chemical Process) และ (2) กรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) โดยที่กรรมวิธีทางเคมีนั้นเป็นการเตรียมสารให้มีรูปร่าง และขนาดที่เหมาะสม กล่าวคือ มีรูปร่างเป็นเข็ม และขนาดอนุภาคระหว่าง 0.02 - 1 ไมครอน หลังจากนั้นนำสารที่เตรียมจากกรรมวิธีทางเคมีมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของอนุภาคให้กลายเป็นแมกนีไมต์ในที่สุด โดยไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของอนุภาคมานักในระหว่างที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ซึ่งรายละเอียดแต่ละขั้นตอนจะได้กล่าวดังต่อไปนี้.

2.4.1) กรรมวิธีทางเคมี

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นกรรมวิธีทางเคมีเป็นการเตรียมสารให้มีรูปร่างเป็นเข็ม และมีขนาดอนุภาค ระหว่าง 0.02 - 1 ไมครอน สารที่เตรียมได้นี้เป็นสารจำพวกเฟอร์ริกออกซีไฮดรอกไซด์ (FeOOH) ซึ่งได้จากการออกซีไดส์สารเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}[\text{OH}]_2$) ดังขั้นตอนต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนต่าง ๆ ในกรรมวิธีทางเคมี (12)

เฟอร์ริกออกซีไฮดรอกไซด์ที่ดีมีหลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการเตรียม ดังนั้นจึงควร จะทราบว่าเฟอร์ริกออกซีไฮดรอกไซด์ชนิดไหนที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อผลิตเป็นอนุภาคแม่เหล็กชนิดแมกนีไมต์ที่มีผลึกเป็นรูปเข็ม

โดยที่คุณสมบัติของเฟอร์ริกออกซีไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจะต้องมีรูปร่างเป็นเข็มและมี ขนาดอนุภาคไม่เกิน 1 ไมครอน ดังนั้นเงื่อนไข 2 ประการนี้ จึงใช้เป็นตัวกำหนดชนิดของเหล็กออก ซีไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เป็นอนุภาคแม่เหล็ก โดยพบว่า

ก) γ - FeOOH (Lepidocrocite) นั้นถึงแม้ว่าจะมีรูปร่างเป็นเข็มแต่ค่อนข้างลำบากในการเตรียมให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.5 ไมครอน นอกจากนี้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของอนุภาคแม่เหล็กที่สังเคราะห์จากเฟอร์ริกออกไซด์ชนิดนี้จะมีค่าที่ไม่สูงมากนัก (12) (13) (14)

ข) β - FeOOH (Akaganeite) นั้นถึงแม้ว่าจะมีรูปร่างเป็นเข็ม และมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน แต่มักจะยุบตัว (Collapse) หรือ หัก ทำให้สูญเสียรูปร่างความเข็มได้ง่าย ในขณะที่ผ่านขั้นตอนในการทำความสะอาดโดยการล้างน้ำ และ กรรมวิธีทางความร้อน (12) (15)

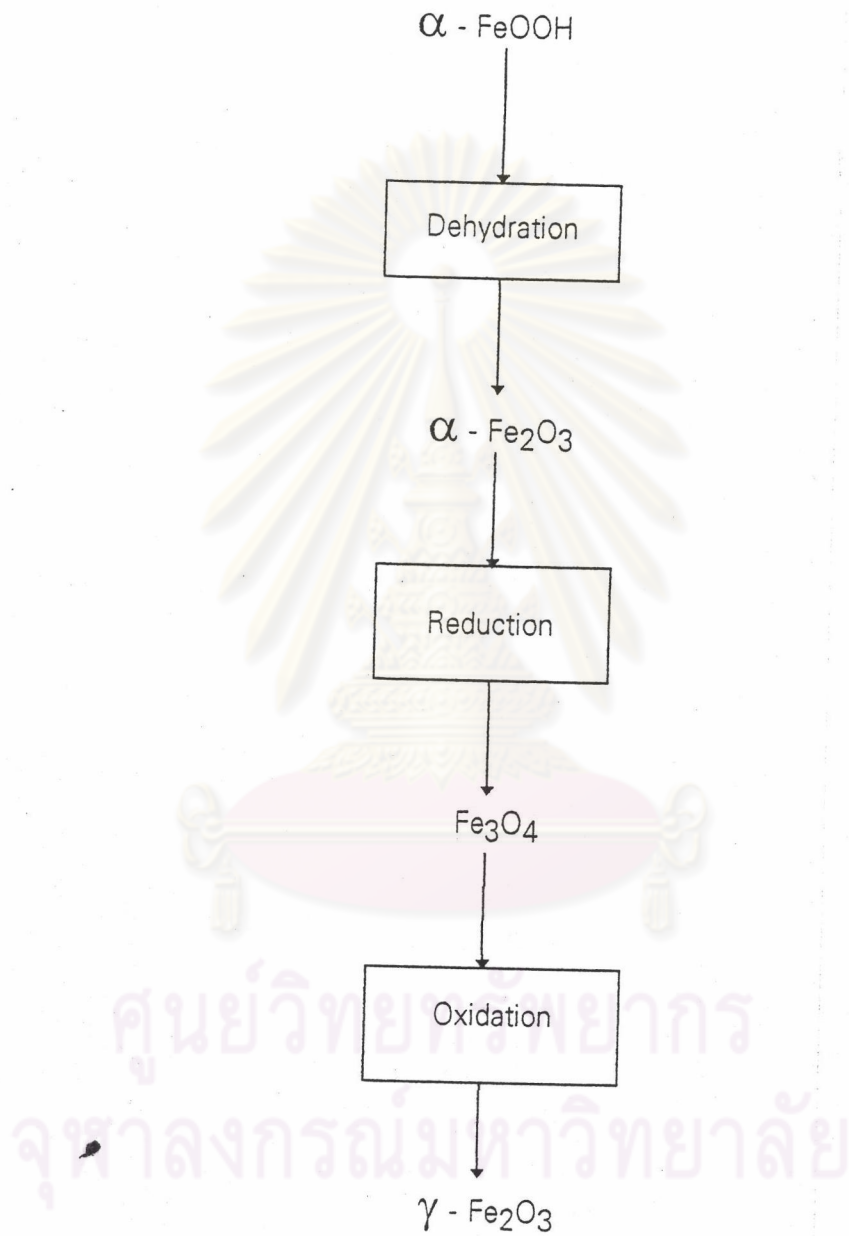
ค) δ - FeOOH (Delta Ferric Oxyhydroxides) นั้นถึงแม้ว่าจะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน แต่ก็มีรูปร่างเป็นหกเหลี่ยม (Hexagonal) และ นอกจากนี้เฟอร์ริกออกไซด์ชนิดนี้ จะเกิดขึ้นได้ต้องทำการออกซิไดส์อย่างแรง กล่าวคือใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นตัวออกซิไดส์

ง) α - FeOOH (Goethite) นั้นถือได้ว่าเป็นอนุภาคเฟอร์ริกออกไซด์ชนิดที่เหมาะสม สำหรับการสังเคราะห์เป็นอนุภาคแม่เหล็กชนิดแมกนีไมต์ที่มีผลึกเป็นรูปเข็ม เพราะมีรูปร่างเป็นเข็ม และมีขนาดอนุภาคไม่เกิน 1 ไมครอน นอกจากนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และขนาดอนุภาคไม่มากนักในขณะที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (12) (17)

ดังนั้นจากคุณสมบัติของเหล็กออกไซด์ชนิดต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าอนุภาคของเหล็กออกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดก็คืออนุภาคเกอไทต์ (α - FeOOH)

2.4.2) กรรมวิธีทางความร้อน

สำหรับกรรมวิธีทางความร้อนเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในการนำอนุภาคเกอไทต์(α -FeOOH)ที่มีรูปร่างเป็นเข็ม และมีขนาดอนุภาคไม่เกิน 1 ไมครอน มาผ่านการบวกรวมทางความร้อนต่างๆ (17)(18)(19)(20)(21) เพื่อเปลี่ยนเป็นสารแม่เหล็กชนิดแมกนีไมต์ที่มีผลึกเป็นรูปเข็ม ดังรูปที่ 2.7

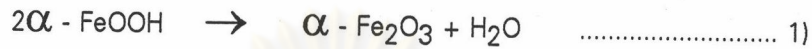


รูปที่ 2.7 กระบวนการต่าง ๆ ในกรรมวิธีทางความร้อน (20)

2.5 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของกรรมวิธีทางความร้อน

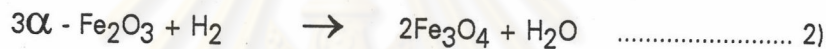
2.5.1 การกำจัดน้ำ (Dehydration)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดน้ำออกจากอนุภาคเกอไทต์โดยใช้ความร้อน (Heating) ซึ่งจะได้สารเฮมาไทต์ (α - Fe_2O_3) ตามปฏิกิริยา

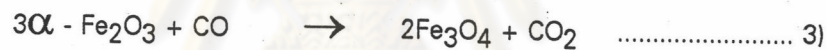


2.5.2 รีดักชัน (Reduction)

ขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงสารเฮมาไทต์ที่ได้จากขั้นตอนกำจัดน้ำให้กลายเป็นสารแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) โดยเผาสารเฮมาไทต์ภายใต้บรรยากาศของไฮโดรเจนหรือคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้คือ



หรือ



2.5.3 ออกซิเดชัน (Oxidation)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกรรมวิธีทางความร้อนโดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสารแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) ที่ได้จากขั้นตอนรีดักชันให้กลายเป็นสารแมกซีไมต์ (γ - Fe_2O_3) ซึ่งเป็นสารอนุภาคแม่เหล็กที่ต้องการ โดยการเผาสารแมกนีไทต์ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนเป็นอากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้คือ



2.6 การศึกษาที่ผ่านมา

ได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดซ์สารละลายเฟอร์ริคซัลเฟต พบว่าชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด - ด่างของสารละลายแขวนลอย, อุณหภูมิ และความรุนแรงในการทำออกซิเดชัน โดยที่ผลงานของนักวิจัยแต่ละท่านนั้นค่อนข้างจะแตกต่างกัน ซึ่ง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้.

Masao Kiyama (22) ได้ทำการศึกษาการเกิด Fe_3O_4 โดยการออกซิไดซ์สารละลายแขวนลอยที่ได้จากการผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเฟอร์ริคซัลเฟตที่อัตราส่วนของความเข้มข้นระหว่าง $NaOH$ กับ $FeSO_4$ ($R=2NaOH / FeSO_4$) ต่าง ๆ และพ่นอากาศเข้าไปในสารละลายแขวนลอยที่อุณหภูมิต่าง ๆ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้คือ Fe_3O_4 จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า $FeOOH$ และอุณหภูมิที่ทำให้ Fe_3O_4 ลดลงเมื่อค่า R เข้าใกล้ 1.0 นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่สารละลายแขวนลอยมีสภาพเป็นกลาง (Neutral suspension); $R < 1$. Fe_3O_4 นั้นจะเกิดจาก Green rust II หรือ ของผสมระหว่าง Green rust II กับ $Fe(OH)_2$ ส่วนในกรณีที่สารละลายแขวนลอยมีสภาพเป็นด่าง (Alkaline suspension); $R > 1$. Fe_3O_4 นั้นสามารถเกิดเองได้โดยไม่ต้องผ่านสารตัวกลางก่อน โดยที่รูปร่าง (Morphology) ของอนุภาค Fe_3O_4 ที่ได้จากการออกซิไดซ์สารละลายแขวนลอยที่เป็นกลางจะเป็น ทรงกลม และลูกบาศก์ ส่วนอนุภาค Fe_3O_4 ที่ได้จากสารละลายจะมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์, ออกตะฮีดรอล และ ออร์โธโรมบิก.

Feitknecht (23) ได้ทำการศึกษากลไกในการเกิดเหล็กออกไซด์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทำออกซิเดชันสารละลายแขวนลอยที่เป็นกลางโดยเสนอว่า (1) $\alpha - FeOOH$, $\delta - FeOOH$ และ $\gamma - Fe_2O_3$ จะเกิดขึ้นที่ผิวของ Green rust, $Fe(OH)_2$ และ Fe_2O_3 ระหว่างการทำออกซิเดชัน ตามลำดับ (2) $\alpha - FeOOH$ จะเกิดขึ้นผ่าน Liquid phase โดยตรง และ (3) Fe_3O_4 เกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาค Green rust ระหว่างที่ทำการออกซิเดชันในสารละลายแขวนลอยที่เป็นกลาง

Alexandra et al. (24) ได้ทำการศึกษาการเกิดออกซิเดชันในสารละลายเฟอร์ริคซัลเฟตที่มีสภาพเป็นกลาง และเบสอ่อน ๆ โดยส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วย $\gamma - FeOOH$ และ $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ (Ferrihydrite) นอกจากนี้ในกรณีที่สารละลายมีค่าความเป็นเบสสูงขึ้น ยังมี $\alpha - FeOOH$ เกิดขึ้นอีก

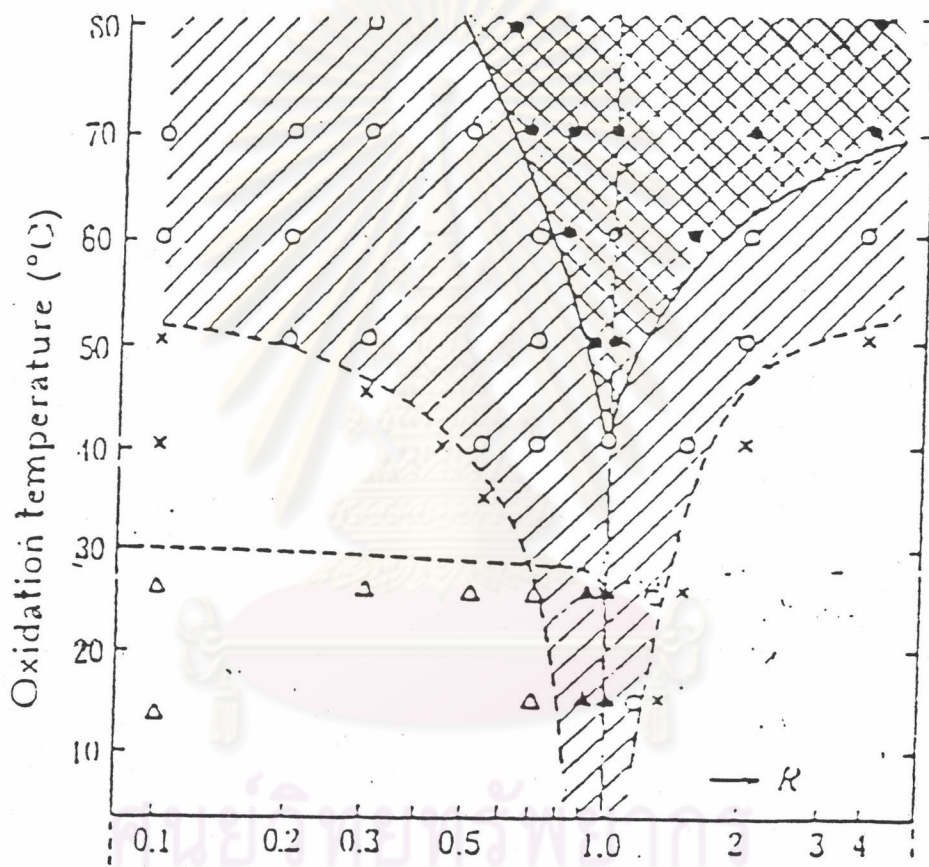
ด้วย โดยที่สัดส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่แล้วขึ้นอยู่กับ ค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลาย

J.E.O. Mayne (25) ได้ทำการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการผสมสารละลายต่างลงไปในการละลายเฟอร์ริสซัลเฟต แล้วทำการออกซิเดชัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการทำออกซิเดชันพบว่า $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เกิดขึ้นในกรณีที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายต่ำ ส่วนในกรณีที่สารละลายมีความเป็นกรด-ด่างสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ แต่ในกรณีที่อัตราการทำออกซิเดชันต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย Fe_3O_4 กับ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Deiss และ Schikorr (26) ได้ทำการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของ Green rust และได้สรุปว่าเป็น $\text{Fe}(\text{OH}) \cdot \text{O} \cdot \text{Fe}(\text{OH})_2$ (Basic Ferrous Ferrite) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Girard และ Chandron (27) ที่พบว่าส่วนประกอบทางเคมีของ Green rust คือ hydrated magnetite

Krause (28) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลาย ที่มีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างที่ทำการออกซิเดชัน โดยพบว่า เมื่อ pH มีค่าไม่เกิน 5.2 ผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วย $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และถ้า pH มีค่าเกินกว่า 11.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย Fe_3O_4 .

ผศ.ดร.ฉัตรชัย สมศิริ และ ดร.เล็ก อุดมมะสิด ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ จากสารละลายเฟอร์ริสซัลเฟต โดยการให้สารละลายทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิห้อง และค่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารละลายไฮเดรอกไซด์กับสารละลายเฟอร์ริสซัลเฟตต่างๆกัน (R) เพื่อให้ได้ตะกอนของ $\alpha\text{-FeOOH}$ หลังจากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปทำการรีดักชัน ก่อนที่จะนำไปทำการออกซิเดชันอีกครั้ง เพื่อให้ได้ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ จากผลการทดลองพบว่า มีการตกตะกอนของเหล็กออกไซด์ตัวอื่นร่วมอยู่ด้วยซึ่งคุณสมบัติทางแม่เหล็กของตะกอนที่ได้มีค่าดังนี้คือ Coercivity (H_c) ประมาณ 375 Oersted และค่า Remanence (B_r) ประมาณ 270 Gauss.



รูปที่ 2.8 แสดงสถานะต่างๆ ของการเกิดสารแมกนีไทต์ และสารเฟอร์ริกออกไซด์ไฮดรอกไซด์

ชนิดต่างๆ โดยที่ ● หมายถึง สาร Fe_3O_4 α - $FeOOH$ γ - Fe_2O_3

x หมายถึง สาร α - $FeOOH$

○ หมายถึง สาร Fe_3O_4 + α - $FeOOH$

△ หมายถึง สาร α - $FeOOH$ + γ - $FeOOH$

△ หมายถึง สาร Fe_3O_4 + α - $FeOOH$ + γ - $FeOOH$