บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อกำหนดความต้องการของระบบ (system specification requirement)

ระบบการวัด MOKE ที่พัฒนาขึ้นจะต้องมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของความต้องการของระบบดังนี้

3.1.1 ระบบที่พัฒนาขึ้นจะต้องสามารถวัดมุมการหมุนของเคอร์ของสารตัวอย่างที่มีสภาพเป็นแม่เหล็ก โดยต้องสามารถวัดสารตัวอย่างได้ทั้งที่เป็นปริมาตร (bulk) และเป็นฟิล์ม (films) ซึ่งการวัดมุมการหมุนของเคอร์นั้นจะต้องวัดไปจนเกินจุดที่ความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัว (saturated magnetization) ของสารตัวอย่าง สำหรับสารที่เป็นปริมาตรต้องให้สนามแม่เหล็กภายนอกที่มีค่าสูงจึงจะทำให้ความเป็นแม่เหล็กของสารอิ่มตัว ในขณะที่สารที่เป็นฟิล์มจะใช้สนามแม่เหล็กภายนอกลดลงตามความหนาของฟิล์ม เพื่อทำให้ความเป็นแม่เหล็กของสารอิ่มตัว เนื่องจากสารตัวอย่างที่ต้องการวัดทดสอบเป็นกลุ่มโลหะแทรนซิชันสามดี (3d transition metal) คือ นิกเกิล (Ni), โคบอลต์ (Co) และเหล็ก (Fe) ซึ่งมีสนามแม่เหล็กอิ่มตัวเป็น 400 Oe, 700 Oe และ 840 Oe ตามลำดับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งที่วัดสารตัวอย่างได้มากกว่า 840 Oe เพื่อสามารถตรวจสอบสถานะความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัวของวัสดุได้

3.1.2 ระบบที่พัฒนานี้จะต้องสามารถวัดมุมการหมุนของเคอร์ที่ขึ้นกับทิศทางของความเป็นแม่เหล็กได้ สำหรับการวัด L-MOKE และ P-MOKE สามารถกำหนดทิศของความเป็นแม่เหล็กได้จากการให้สนามแม่เหล็กภายนอก ที่มีองค์ประกอบของสนามในทิศเดียวแก่สารตัวอย่าง เพื่อเหนี่ยวนำให้ความเป็นแม่เหล็กของสารจัดเรียงตัวในทิศเดียวกับทิศของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะต้องสามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีองค์ประกอบของสนามในทิศทางเดียว ณ ตำแหน่งที่วัดสารได้

3.1.3 ระบบที่พัฒนานี้จะต้องสามารถวัดมุมการหมุนของเคอร์ และแยกแยะค่ามุมการหมุนของเคอร์ที่เปลี่ยนไปเมื่อสภาพความเป็นแม่เหล็กของสารเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยค่ามุมการหมุนของเคอร์สำหรับ P-MOKE ของปริมาตรนิกเกิล, โคบอลต์ และเหล็ก จะเป็น 0.13◦ 0.30◦ และ 0.41◦ ตามลำดับ และสำหรับสารตัวอย่างที่เป็นฟิล์มจะมีค่ามุมการหมุนของเคอร์น้อยกว่านี้ ดังนั้นโพลาไรเซอร์วิเคราะห์ที่ใช้ในระบบจะต้องสามารถวัดมุมได้ละเอียดกว่า 0.13◦ และตัววัดแสงต้องสามารถวัดความแตกต่างของกำลังแสงเมื่อระนาบการโพลาไรซ์หมุนไปเป็นมุมน้อยกว่า 0.13◦ ได้

3.2 ข้อพิจารณาในการออกแบบระบบ (system design consideration)

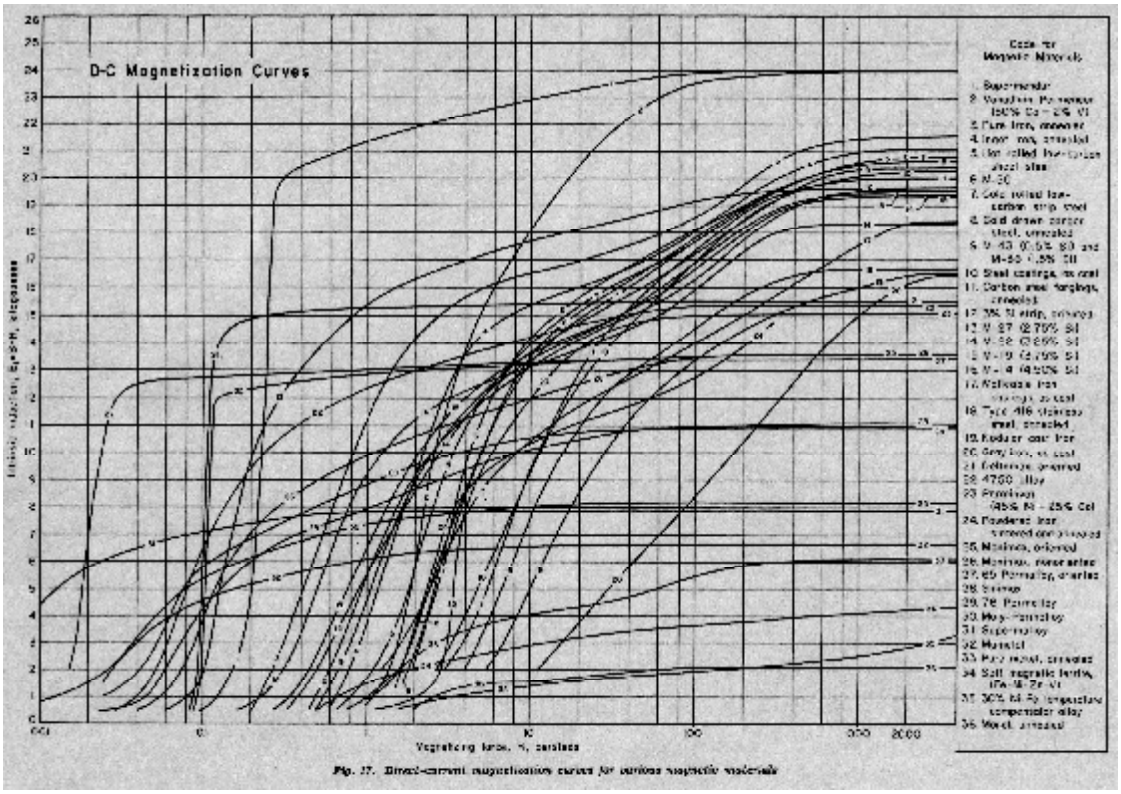
การออกแบบระบบจะพิจารณาเป็น 3 ส่วน คือ

3.2.1 การออกแบบแม่เหล็กไฟฟ้า

การให้สนามแม่เหล็กภายนอกกับสารตัวอย่างจะต้องมีค่าสนามแม่เหล็กคงที่ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อวัดมุมการหมุนของเคอร์ จากนั้นจะเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็กเพื่อวัดมุมการหมุนใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนสามารถสร้างเป็นวงฮิสเทอริซิสได้ ดังนั้นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำจากขดลวดโซเลนอยด์จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน โดยสามารถให้ค่าสนามคงที่เมื่อจ่ายกระแสคงที่ และเปลี่ยนแปลงค่าสนามได้เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแส ทั้งนี้แม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกพิจารณาเป็น 3 ส่วน คือ

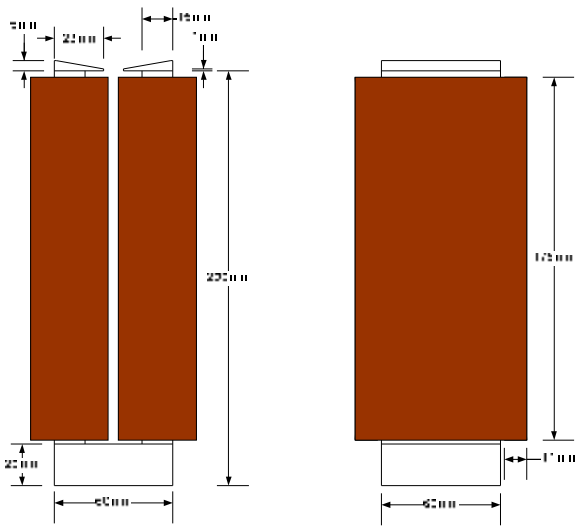
3.2.1.1 แกนแม่เหล็ก (magnet yoke) การทำแม่เหล็กจากขดลวดโซเลนอยด์แกนอากาศจะให้ค่าสนามแม่เหล็กต่ำ จึงต้องสวมขดลวดโซเลนอยด์ลงบนแกนโลหะที่มีค่าสนามลบล้างแม่เหล็กต่ำและมีค่าความเป็นแม่เหล็กสูง เช่น โลหะซูเปอร์เมนเดอร์ โลหะวานาเดียมเพอร์เมนเดอร์ (vanadium permender) และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) ซึ่งมีลักษณะเส้นโค้งของความเป็นแม่เหล็กเป็นดังภาพประกอบ 20 โดยในระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เลือกใช้วัสดุที่ทำแกนแม่เหล็กเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งมีค่า B_r เท่ากับ 9500 G และ H_c เท่ากับ 50 Oe ขึ้นรูปเป็นรูปตัวยู (U) เพื่อให้แกนทั้งสองด้านของตัวยูทำหน้าที่เป็นแกนของขดลวดโซเลนอยด์สองชุดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กขั้วเหนือและใต้สลับกันไป ดังภาพประกอบ 21 โดยการคำนวนหาค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งต่างๆ ในปริภูมิ (space) จะใช้ชุดคำสั่งเรเดีย (Radia) ซึ่งพัฒนาโดยศูนย์เครื่องมือวิจัยแสงซินโครตรอนแห่งยุโรป (European Synchrotron Radiation Facility, ESRF) เป็นโปรแกรมประยุกต์เพิ่มเติมสำหรับโปรแกรม Mathematica โดยใช้หลักการคำนวนแบบวิธีสมาชิกจำกัด (finite element method)

การกำหนดขนาดของแม่เหล็กต้องมีขนาดที่สามารถติดตั้งในช่องเปิดของส่วนทดลองสุญญากาศ เพื่อใช้ในระบบสุญญากาศในอนาคต ซึ่งขนาดของช่องเปิดที่เหมาะสมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm ขนาดของแม่เหล็กในส่วนฐานต้องกว้างไม่เกิน 15 cm ในขณะที่ตำแหน่งที่วัดสารตัวอย่างอยู่ลึกเข้าไปในส่วนทดลอง ซึ่งขั้วแม่เหล็กต้องอยู่ใกล้สารตัวอย่างมากเพื่อให้สนามแม่เหล็กมีค่าสูง ดังนั้นแม่เหล็กจึงต้องมีความสูงจากฐานเหมาะสมกับระยะการใช้งาน โดยขนาดของแกนแม่เหล็กที่ออกแบบจะมีฐานกว้าง 6 cm ยาว 6 cm และสูง 20 cm มีพื้นที่ภาคตัดขวางของแกนเหล็กที่สนามแม่เหล็กตัดผ่านเท่ากับ 9 cm^2 โดยมีความยาวแนวทแยงมุมประมาณ 8.5 cm ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของระยะที่ใช้งานได้เนื่องจากต้องเหลือระยะส่วนหนึ่งสำหรับใส่ขดลวดโซเลนอยด์



ภาพประกอบ 20 เส้นโค้งของความเป็นแม่เหล็กแบบกระแสตรงสำหรับวัสดุแม่เหล็กชนิดต่างๆ

ที่มา: Joseph King. (2007). *Direct Current Magnetization Curves for Various Magnetic Materials*. (Online).

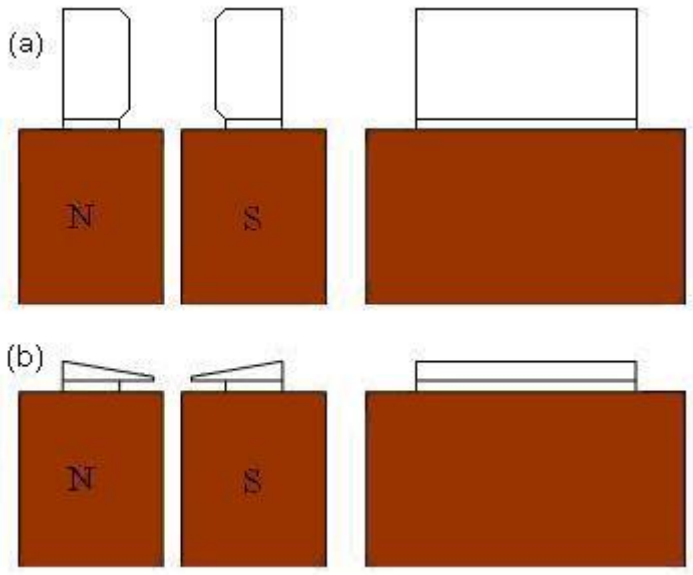


ภาพประกอบ 21 รูปร่างและขนาดของแม่เหล็กที่ออกแบบในมุมมองด้านหน้าและด้านข้าง

3.2.1.2 ขั้วแม่เหล็ก (magnet pole) จะทำขึ้นจากวัสดุชนิดเดียวกันกับแกนแม่เหล็ก โดยจะติดตั้งอยู่บริเวณปลายแกนของตัวยูทั้งสองด้านหันหน้าเข้าหากัน ดังนั้นตำแหน่งที่วัดสารตัวอย่างจะอยู่บริเวณตรงกลางระหว่างแกนทั้งสองข้างของตัวยูซึ่งจะมีคุณลักษณะของสนามแม่เหล็กสมมาตรทั้งสองด้าน โดยจะออกแบบขั้วแม่เหล็กเป็น 2 รูปแบบ คือ

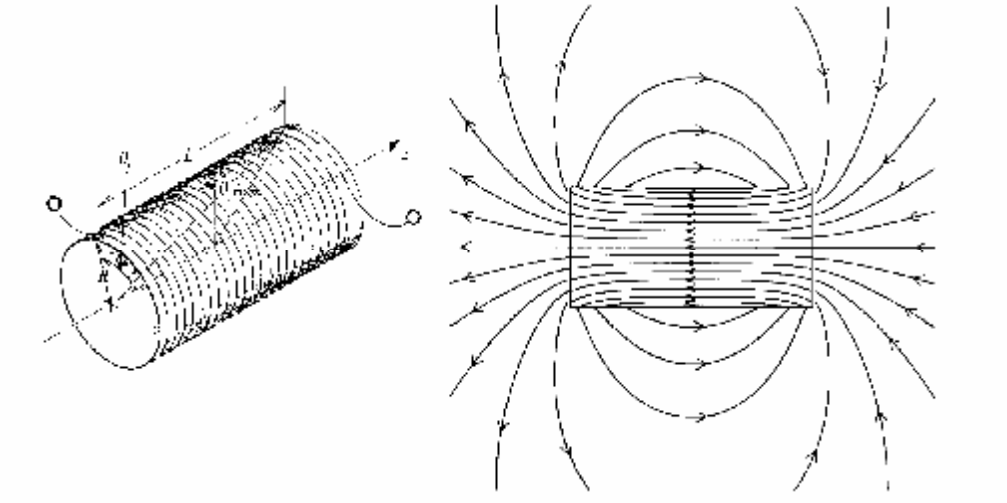
รูปแบบที่ 1 มีรูปทรงพื้นที่หน้าตัดด้านตรงเป็นรูปหกเหลี่ยมและพื้นที่หน้าตัดด้านข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดของขั้วแม่เหล็กกว้าง 20 mm ยาว 60 mm และสูง 30 mm ลบมุมด้านในด้านละ 5 mm ดังภาพประกอบ 22 (a) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กันโดยจะวัดสารตัวอย่างที่บริเวณตรงกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กที่พิกัด (0,0,215) ขั้วแม่เหล็กแบบนี้มีข้อดีคือสามารถสร้างสนามแม่เหล็กได้สูงและมีความสม่ำเสมอของสนามบนระนาบ xz และ yz แต่มีข้อเสียคือจัดวางมุมตกกระทบของลำแสงเลเซอร์ได้ยาก

รูปแบบที่ 2 มีรูปทรงพื้นที่หน้าตัดด้านตรงเป็นรูปสามเหลี่ยมและพื้นที่หน้าตัดด้านข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดของขั้วแม่เหล็กกว้าง 23 mm ยาว 60 mm และสูง 5 mm ดังภาพประกอบ 22 (b) ซึ่งเป็นแบบที่ตำแหน่งที่ใช้วัดสารอยู่เหนือขั้วแม่เหล็กที่พิกัด (0,0,215) ทำให้ไม่มีผลต่อการกำหนดมุมตกกระทบของลำแสงเลเซอร์ ซึ่งเป็นข้อดีทำให้สามารถจัดมุมการวัดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อสัญญาณของเคอร์ได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือสร้างสนามแม่เหล็กได้ต่ำกว่าและมีความสม่ำเสมอของสนามทั้งสองเพียงบนระนาบ xz เท่านั้น



ภาพประกอบ 22 ขั้วแม่เหล็กด้านหน้าและด้านข้าง (a) รูปแบบที่ 1 และ (b) รูปแบบที่ 2

3.2.1.3 ขดลวดโซเลนอยด์ มีรูปแบบสนามแม่เหล็กดังภาพประกอบ 23 ในการออกแบบจะกำหนดรูปทรง ขนาด และขนาดกระแส-รอบ (Ampere-turns) ของขดลวดโซเลนอยด์ในชุดคำสั่งเรเดีย เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้ได้ขนาด 840 G ที่พิกัด (0,0,215) จากนั้นจะคำนวณกลับเพื่อหาเกจ (guage) ความยาว และความต้านทานของเส้นลวดที่ใช้



ภาพประกอบ 23 ขดลวดโซเลนอยด์และสนามแม่เหล็กของขดลวดโซเลนอยด์

ที่มา: Paul Lorrain; Dale R. Corson; & FranÇois Lorrain. (1988). *Electromagnetic Fields and Waves*. p. 332.

โดยค่าสนามแม่เหล็กที่บริเวณปลายขดลวดโซเลนอยด์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$B = \frac{m N' I \sin q_e}{2} \qquad (3.1)$$

เมื่อ B คือ สนามแม่เหล็กตรงกลางขดลวดโซเลนอยด์ มีหน่วยเป็น T

m คือ ค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแม่เหล็ก (magnetic permeability) ของวัสดุที่ทำแกนของขดลวดโซเลนอยด์ สำหรับวัสดุเฟร์ไรต์อ่อน (soft ferrite) มีค่าเท่ากับ 5000 $m\mathrm{N}\cdot\mathrm{A}^{-2}$

N' คือ จำนวนรอบของขดลวดโซเลนอยด์ต่อหนึ่งหน่วยความยาว มีหน่วยเป็น $\mathrm{turns}\cdot\mathrm{m}^{-1}$

I คือ กระแสที่ไหลในขดลวดโซเลนอยด์ มีหน่วยเป็น A

q_e คือ มุมที่วัดบนแกน z จากปลายข้างหนึ่งไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของขดลวดโซเลนอยด์ มีหน่วยเป็นองศา

(Lorrain; Corson; & Lorrain. 1988: 333)

3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์วัดมุมการหมุนของเคอร์

การวัดมุมการหมุนของเคอร์ทำได้ใน 2 รูปแบบ คือ การวัดโดยตรงและการวัดจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง การวัดมุมการหมุนของเคอร์โดยตรงจะวัดกำลังแสงเลเซอร์ในขณะที่ยังไม่ให้สนามแม่เหล็กภายนอกกับสารตัวอย่างทำการปรับมุมของโพลาไรเซอร์วิเคราะห์เพื่อหาจุดที่กำลังแสงต่ำที่สุดบันทึกเป็นค่ามุมที่แกนโพลาไรเซอร์ตั้งฉากกัน จากนั้นให้ค่าสนามแม่เหล็กคงที่กับสารตัวอย่างและทำการปรับมุมของโพลาไรเซอร์วิเคราะห์เพื่อหาจุดที่กำลังแสงต่ำที่สุดบันทึกค่ามุมซึ่งความแตกต่างของค่ามุมที่วัดได้จะเป็นมุมการหมุนของเคอร์ที่ค่าสนามแม่เหล็กนั้นๆ

การวัดมุมการหมุนของเคอร์จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของแสงเลเซอร์ที่ตกบนโฟโตไดโอดและมุมการหมุนของเคอร์ตามสมการ (2.107) แต่เนื่องจากตัววัดแสงที่ใช้จะวัดเป็นค่ากำลังแสง ดังนั้นการเปลี่ยนค่ากำลังแสงเป็นค่าการหมุนของเคอร์จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับกำลังของแสง $I = P/A$ เมื่อ A คือ พื้นที่ของแสงที่ตกบนโฟโตไดโอด จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนของเคอร์กับกำลังของแสงเป็น

$$f' = \frac{d}{2}\frac{P - P_0}{P_0} \tag{3.2}$$

เมื่อ f' คือ มุมการหมุนของเคอร์ มีหน่วยเป็นองศา

P คือ กำลังของแสง มีหน่วยเป็น W

P_0 คือ กำลังของแสงเฉลี่ยหรือกำลังของแสงที่มุมการหมุนของเคอร์เป็นศูนย์ มีหน่วยเป็น W

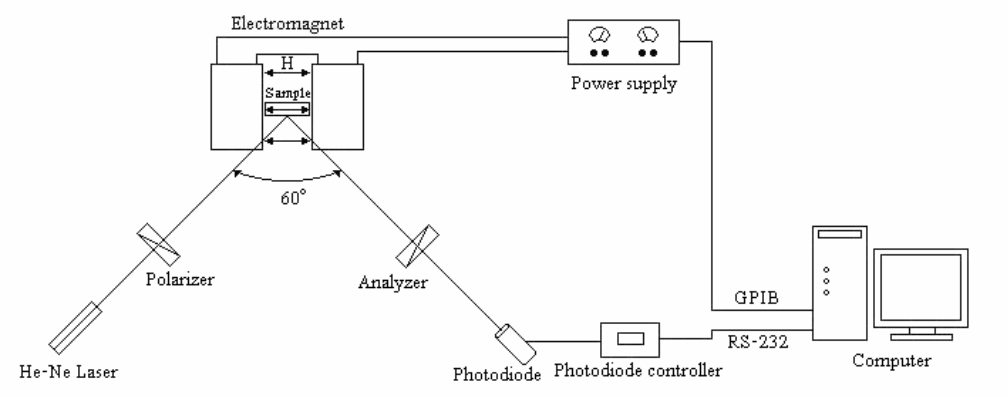
d คือ มุมการหมุนของตัววิเคราะห์จากตำแหน่งที่แกนการโพลาไรซ์ของโพลาไรเซอร์และตัววิเคราะห์ตั้งฉากกัน มีหน่วยเป็นองศา

3.2.3 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัด L-MOKE และ P-MOKE

ความแตกต่างของ L-MOKE และ P-MOKE คือการจัดวางระนาบของสารตัวอย่างในสนามแม่เหล็กภายนอก โดยจะต้องวางอยู่ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กซึ่งเป็นบริเวณที่องค์ประกอบของสนามมีความสมมาตรและมีค่าสนามแม่เหล็กสูงสุด ทำให้เกิดข้อจำกัดในการจัดมุมตกกระทบของลำแสงเลเซอร์ จากภาพประกอบ 6 พบว่าการหมุนของเคอร์จะมีค่าสูงสุดที่มุมประมาณ

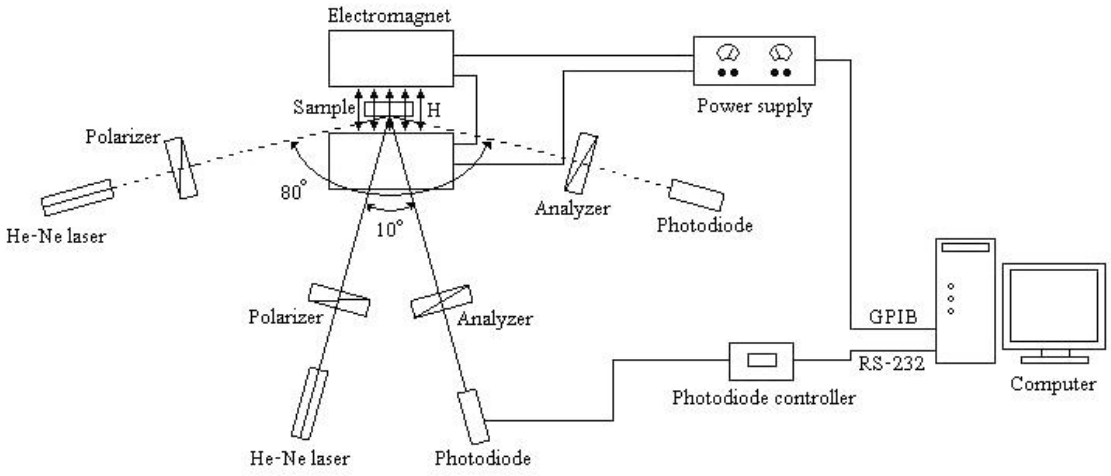
80° สำหรับ L-MOKE ของ พี-โพลาไรซ์ และ 70° สำหรับ L-MOKE ของ เอส-โพลาไรซ์ สำหรับ P-MOKE จะมีค่าการหมุนของเคอร์จะมีค่าสูงสุดที่มุมประมาณ 0° หรือ 80° ของ พี-โพลาไรซ์ และ มีค่าตั้งแต่ 0° ถึง 70° ของ เอส-โพลาไรซ์

3.2.3.1 ระบบการวัด L-MOKE จะให้สนามแม่เหล็กในแนวขนานกับผิวหน้าของสารตัวอย่างและอยู่บนระนาบการตกกระทบ โดยจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์และตัววัดแสงให้มีมุมตกกระทบบนผิวสารตัวอย่างประมาณ 60° สำหรับแสงที่เป็นเอส-โพลาไรซ์ ดังภาพประกอบ 24 ซึ่งการติดตั้งลักษณะนี้สามารถใช้ได้กับขั้วแม่เหล็กทั้งสองแบบ



ภาพประกอบ 24 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัด L-MOKE

3.2.3.2 ระบบการวัด P-MOKE จะให้สนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าของสารตัวอย่างโดยจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์และตัววัดแสงให้มีมุมตกกระทบบนผิวสารตัวอย่างประมาณ 80° สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และใช้มุมตกกระทบประมาณ 10° สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 โดยใช้กับแสงเอส-โพลาไรซ์ ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัด P-MOKE ของขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และแบบที่ 2

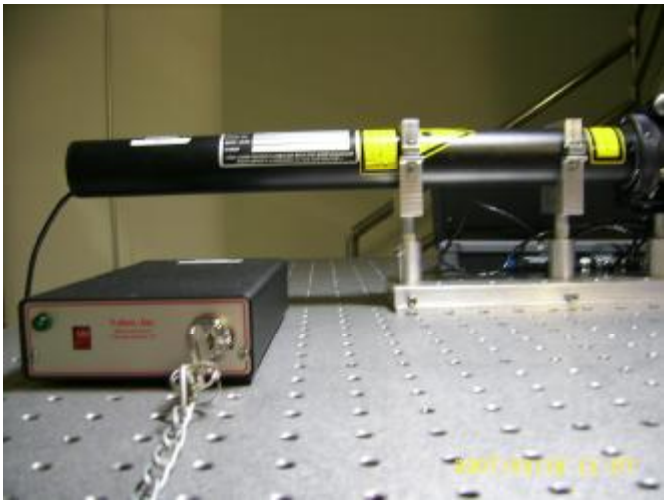
3.3 การดำเนินงานพัฒนาระบบ MOKE (MOKE system development)

ในการพัฒนาระบบนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินงานโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับระบบการวัด MOKE

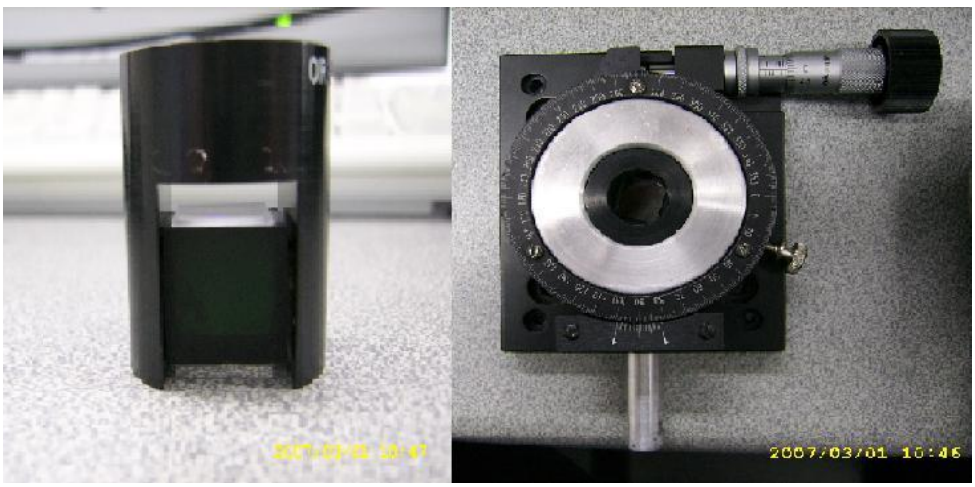
จัดหาอุปกรณ์ที่ไม่สามารถจัดสร้างขึ้นเองได้ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ในส่วนที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

3.3.1.1 เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ (laser light source) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นค่าเดียว และมีความเข้มแสงคงที่ โดยจะใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นเลเซอร์ He-Ne รุ่น LHRR-0500 30990 ของบริษัท Research Electro Optics, Inc. ซึ่งมีความยาวคลื่น 633 nm ทำงานในโหมด TEM_{00} มากกว่า 99% โดยมีโพลาไรซ์ของแสงแบบสุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสง 0.8 mm มุมการบานของลำแสง 1.01 mrad มีสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 30 Hz ถึง 10 MHz น้อยกว่า 1%rms ให้กำลังแสงต่ำสุด 5.0 mW และสูงสุดไม่เกิน 10.0 mW



ภาพประกอบ 26 เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน และแหล่งจ่ายกำลัง

3.3.1.2 โพลาไรเซอร์ควบคุมและโพลาไรเซอร์วิเคราะห์ (analyzer) ทำหน้าที่สร้างแสงโพลาไรซ์และวัดมุมการหมุนของเคอร์ ตามลำดับ โดยใช้โพลาไรเซอร์แบบกลาน-เลเซอร์ (Glan-laser) และแบบกลาน-เทเลอร์ (Glan-Taylor) ของบริษัท Newport ซึ่งมีลักษณะรูปทรงแบบปริซึมประกบกันทำขึ้นจากวัสดุแคลไซท์ ($CaCO_3$) โดยมีอัตราส่วนการหักล้าง (extinction ratio) ของแสงในองค์ประกอบแนวขนาน (p-polarized) และแนวตั้งฉาก (s-polarized) น้อยกว่า 10^{-5} สามารถใช้กับแสงในย่านตั้งแต่ 220 nm ถึง 2500 nm ติดตั้งอยู่บนตัวหมุนแบบละเอียด (precision rotator) รุ่น 13111 ของบริษัท Newport ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดมุมที่สามารถวัดมุมละเอียดได้สูงสุด 1.5 arcsec หรือ 0.000417° หรือ 7.278 μrad



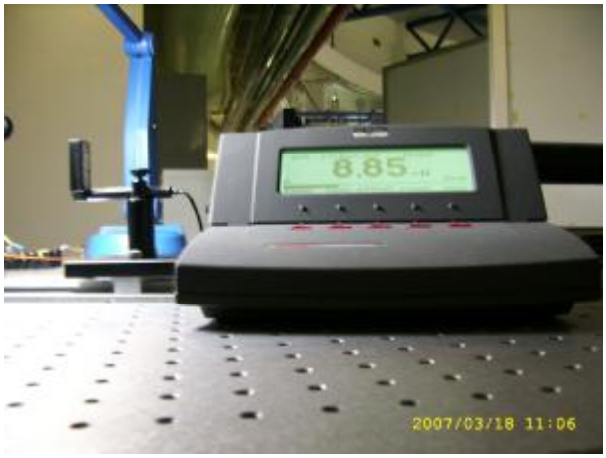
(a) (b)

ภาพประกอบ 27 (a) โพลาไรเซอร์แบบกลาน-เทเลอร์ และ (b) ตัวหมุนแบบละเอียด

3.3.1.3 แหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง (DC power supply) ทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับขดลวดโซเลนอยด์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับสารตัวอย่าง โดยใช้ของบริษัท Kepco รุ่น BOP 20-20M ขนาด 400 W ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งในรูปแบบการควบคุมความต่างศักย์ (voltage controlled mode) และรูปแบบการควบคุมกระแส (current controlled mode) สร้างความต่างศักย์ได้ในช่วงตั้งแต่ -20 V ถึง +20 V และจ่ายกระแสได้ในช่วงตั้งแต่ -20 A ถึง +20 A และมีเสถียรภาพในการรักษาระดับความต่างศักย์และกระแสสูง จะใช้งานร่วมกับแผ่นวงจรต่อประสาน (interface card) รุ่น BIT 4886 เพื่อควบคุมการทำงานและรับ-ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางจีพีไอบี (GPIB port)

ภาพประกอบ 28 แหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง BOP 20-20M ที่ติดตั้งแผ่นวงจรต่อประสาน BIT 4886 ไว้ภายใน

3.3.1.4 ตัววัดแสง (photo detector) ทำหน้าที่วัดกำลังของแสงเลเซอร์ที่ผ่านออกจากตัววิเคราะห์ โดยใช้ของบริษัท OPHIR OPTRONICS รุ่น Laserstar ซึ่งมีหัววัดเป็นโฟโตไดโอดแบบซิลิกอนรุ่น PD300 สามารถวัดกำลังแสงได้สูงสุด 3 mW เมื่อไม่ติดตัวกรองแสง (filter) ที่หัววัด และ 3 W เมื่อติดตัวกรองแสงที่หัววัด โดยหัววัดจะต่อเข้ากับชุดควบคุมซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดจากโฟโตไดโอดไปเป็นกำลังแสงโดยสามารถควบคุมการทำงานและรับ-ส่งข้อมูลผ่านช่องทางอนุกรม (serial port, RS-232)



ภาพประกอบ 29 ตัวรัดแสงชนิดโฟโตไดโอดแบบซิลิกอนและชุดควบคุม

3.3.1.5 แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnet) ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กภายนอกให้กับวัสดุตัวอย่างเพื่อทำให้วัสดุตัวอย่างมีสภาพเป็นแม่เหล็ก โดยจะสร้างสนามแม่เหล็กได้สูงสุดประมาณ 2000 G เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 5.5 A และมีขนาดของสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในบริเวณที่จะวัดสารตัวอย่าง

3.3.1.6 เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและรับ-ส่งข้อมูลของกระแสจากแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรงผ่านพอร์ตจีพีไอบี และรับ-ส่งข้อมูลของกำลังแสงจากชุดควบคุมโฟโตไดโอดผ่านพอร์ตอนุกรม โดยจะสร้างโปรแกรมแลปวิว เพื่อควบคุมอุปกรณ์และนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลสร้างเป็นวงฮิสเทอริซิส

3.3.1.7 สายต่อเชื่อมอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ โดยใช้สายสัญญาณจีพีไอบีสำหรับต่อเชื่อมคอมพิวเตอร์กับแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง และใช้สายสัญญาณอนุกรมต่อเชื่อมคอมพิวเตอร์กับชุดควบคุมโฟโตไดโอด

3.3.1.8 โต๊ะทดลองทรรศนศาสตร์ (optical table) ทำหน้าที่รองรับระบบ MOKE โดยจะจัดวางและติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดที่ตำแหน่งต่างๆ บนโต๊ะทดลอง

3.3.2 การสร้างแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อแม่เหล็กถูกปรับแต่งขนาดและค่าสนามแม่เหล็ก รวมถึงคำนวนหาขนาดของเส้นลวดทองแดงและจำนวนรอบในการพันขดลวดโซเลนอยด์จากชุดคำสั่งเรเดีย จะทำการขึ้นรูปเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามแบบ และพันขดลวดโซเลนอยด์ให้ได้ขนาดและจำนวนรอบตามที่ออกแบบ จากนั้นจะนำไปวัดทดสอบค่าสนามแม่เหล็กด้วยหัววัดฮอลล์

3.3.3 การติดตั้งและต่อประสานระบบการวัด MOKE

การจัดวางอุปกรณ์สำหรับระบบการวัด MOKE ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์โพลาไรเซอร์ แม่เหล็กไฟฟ้า สารตัวอย่าง ตัววิเคราะห์ และโฟโตไดโอด สำหรับ L-MOKE และ P-MOKE เป็นดังภาพประกอบ 24 และ 25 โดยแสงจะเดินทางจากเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนผ่านโพลาไรเซอร์เพื่อให้แสงมีระนาบการโพลาไรซ์ในทิศทางเดียวไปตกกระทบสารตัวอย่างที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก แสงจะสะท้อนจากสารตัวอย่างผ่านโพลาไรเซอร์วิเคราะห์และไปตกบนตัววัดแสง

เมื่อประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วจึงสร้างระบบต่อประสาน เพื่อควบคุมการทำงานและประมวลผลของแหล่งจ่ายกำลังและชุดควบคุมโฟโตไดโอด โดยการกำหนดค่ากระแสและอัตราการจ่ายกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดโซเลนอยด์จากโปรแกรม ส่งคำสั่งไปยังแหล่งจ่ายกำลังและรับค่ากระแสที่วัดได้จริงที่ขั้วของแหล่งจ่ายกำลังผ่านช่องทางจีพีไอบี นำค่าที่ได้มาใส่ในฟังก์ชันของค่าสนามแม่เหล็กต่อค่ากระแสของขั้วแม่เหล็กแต่ละแบบ เพื่อเปลี่ยนค่ากระแสให้เป็นค่าสนามแม่เหล็ก อ่านค่ากำลังแสงจากตัววัดแสงเปลี่ยนเป็นมุมการหมุนแล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามแม่เหล็กที่ให้กับวัสดุตัวอย่างและค่ามุมการหมุนของเคอร์เป็นวงฮิสเทอริซิส

3.3.4 การวัดทดสอบระบบ

การวัดทดสอบระบบที่ติดตั้งขึ้นจะทำการเตรียมสารตัวอย่างสำหรับวัดทดสอบ ได้แก่ ผลึกเดี่ยวของนิกเกิลระนาบ (111), เหล็ก, โคบอลต์บริสุทธิ์ (99.995%) และฟิล์มเหล็กหนา 1100 Å ปลูกบนแก้ว สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นปริมาตรจะต้องทำการขัดผิวหน้าให้สามารถสะท้อนแสงได้ดี จากนั้นจะติดตั้งเข้ากับแท่นจับสารตัวอย่าง (sample holder) และจัดตำแหน่งแม่เหล็กให้สารตัวอย่างอยู่ที่ตำแหน่งกลางขั้วแม่เหล็ก โดยจัดให้ระนาบของผิวสารตัวอย่างขนานกับขั้วแม่เหล็กสำหรับการวัด P-MOKE และตั้งฉากกับขั้วแม่เหล็กสำหรับการวัด L-MOKE ฉายแสงเลเซอร์ผ่านโพลาไรเซอร์ควบคุมเพื่อกำหนดระนาบการโพลาไรซ์ของแสงเป็นเอส-โพลาไรซ์ ไปที่ผิวหน้าของสารตัวอย่างด้วยมุมตกกระทบ 60° สำหรับการวัด L-MOKE และ 80° สำหรับการวัด P-MOKE ของขั้วแม่เหล็กแบบที่ 1 และ 10° สำหรับขั้วแม่เหล็กแบบที่ 2 จัดตำแหน่งของโพลาไรเซอร์วิเคราะห์ให้แสงที่สะท้อนจากผิวสารตัวอย่างทะลุผ่านตรงกลางและตั้งฉากกับผิวของโพลาไรเซอร์ จัดตำแหน่งของตัววัดแสงให้แสงเลเซอร์ตกกระทบบริเวณกลางหัววัด ปรับมุมของโพลาไรเซอร์วิเคราะห์ให้กำลังแสงที่วัดได้จากตัววัดแสงมีค่าต่ำที่สุด จ่ายกระแสจากแหล่งจ่ายกำลังให้กับขดลวดโซเลนอยด์ ตั้งค่ากระแสสูงสุด กระแสต่ำสุด อัตราการเปลี่ยนกระแส และช่วงเวลาการเปลี่ยนกระแสในโปรแกรมแลปวิว ที่ทุกๆ จุดในการพล็อตจะเปลี่ยนแปลงค่ากระแสเป็นสนามแม่เหล็กจากฟังก์ชันการแปลง และอ่านค่ากำลังจากตัววัดแสงแปลงค่าเป็นมุมการหมุนของเคอร์เพื่อนำมาสร้างเป็นวงฮิสเทอริซิส