หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในการศึกษาสารกึ่งตัวนำนั้นจุดมุ่งหมายนอกจากจะเป็นการเสริมข้อมูลทางด้านทฤษฎีแล้วยังมีจุดมุ่งหมายในการทำอุปกรณ์ทางด้านสารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไอซี เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องวัดหาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่เตรียมขึ้นมาว่ามีคุณสมบัติอย่างไร มีแนวโน้มที่จะนำไปทำอุปกรณ์ทางด้านสารกึ่งตัวนำได้หรือไม่ โดยทั่วไปทำได้โดยการวิเคราะห์กระบวนการขนส่งของสารโดยการศึกษาปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall effect) และสภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความหนาแน่นของพาหะและชนิดของพาหะของสารตัวอย่างว่าเป็นอิเล็กตรอนหรือโฮล (Hole) และทำให้ทราบถึงสภาพความเคลื่อนได้ (mobility) ของพาหะที่เปลี่ยนไปกับอุณหภูมิซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องการ

ในการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของสิ่งที่ต้องการจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือวัดแล้วนำผลที่ได้มาแปลความหมาย สำหรับเครื่องมือที่จะใช้ศึกษาปรากฏการณ์ขนส่งนั้นจะมีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ อุปกรณ์วัดความต่างศักย์ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ และอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น ปัจจุบันมีการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวัดดังกล่าวอยู่หลายแบบ เช่น แบบที่ใช้วิธีทางอนาลอกเป็นหลักในการทำงานโดยใช้วงจรเชิงเส้น (Linear Circuit) เครื่องมือแบบนี้มีข้อเสียคือใช้อุปกรณ์แต่ละชิ้นมา ซึ่งจะมีผลต่อความเชื่อถือและปัญหาในการปรับแต่งเครื่อง ทำให้ผู้ทดลองต้องใช้เทคนิคและประสพการณ์ในการวัดมากพอสมควร อีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่ใช้อุปกรณ์ทางดิจิตอลธรรมดา แบบนี้จะดีกว่าแบบแรก เพราะใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นกว่า และสะดวกในการอ่าน

ถึงแม้ว่าเครื่องมือทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้วจะมีลักษณะที่แตกต่างกันที่ขนาดและความสะดวกในการอ่านข้อมูลก็ตาม แต่สิ่งที่เหมือนกันก็คือ

- ผู้ทดลองต้องอยู่กับเครื่องมือตลอดเวลา
- ดัดแปลงการทำงานของเครื่องมือในอนาคตได้ลำบากหรืออาจดัดแปลงไม่ได้เพราะส่วนใหญ่ออกแบบให้ทำงานเฉพาะอย่าง

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในงานทางวิทยาศาสตร์หลายสาขารวมถึงฟิสิกส์ด้วย เนื่องจากสามารถนำเอามาเป็นเครื่องมือวัดต่าง ๆ ได้ เช่น ใช้เป็นเครื่องมือวัดกระแส วัดความต่างศักย์ จับเวลา วัดและควบคุมอุณหภูมิ วัดความดัน เป็นต้น โดยสามารถใช้คอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวทำหน้าที่วัดพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำได้อย่างต่อเนื่อง แต่การที่จะนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานดังกล่าวได้จะต้องมีอุปกรณ์ส่วนที่เรียกว่า อินเตอร์เฟส (Interface) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะนำสัญญาณที่วัดได้ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ แต่สัญญาณทางไฟฟ้าที่วัดได้นั้นจะออกมาในรูปสัญญาณแบบอนาลอก (Analog Signal) ซึ่งจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (Digital Signal) ก่อนจึงจะนำมาใช้กับคอมพิวเตอร์ได้ จากเหตุผลที่คอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้หลายลักษณะตามโปรแกรมที่ใช้สั่งงาน เมื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดจะให้ผลดีมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดมากรวมถึงความสะดวกต่อการดัดแปลงการทำงานในอนาคตด้วย

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้สร้างเครื่องมือที่สามารถควบคุมได้ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ไปศึกษาปรากฏการณ์ขนส่ง (Transport Phenomena) ของสารตัวอย่าง เพื่อจะได้ทราบข้อมูลที่จำเป็นดังกล่าวแล้วข้างต้นต่อไป

1.1 วิธีการทดลองโดยทั่วไป

สำหรับการวัดสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์นั้น วิธีการวัดแบบธรรมดาทั่วไปจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลึกตัวอย่าง โดยต้องมีขนาดใหญ่และสามารถแต่งให้มีรูปร่างตามความต้องการได้ง่าย แต่เนื่องจากผลึกของสารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่อาจมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีขนาดเล็ก การตบแต่งรูปร่างผลึกกระทำได้ยาก เพราะผลึกของสารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่เปราะแตกง่าย ทำให้การวัดสภาพนำไฟฟ้าและปรากฏการณ์ของฮอลล์ด้วยวิธีธรรมดาเป็นไปได้ยาก

อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยวิธีการของแวนเดอร์พาว (Van der Pauw method) (1) ซึ่งสามารถใช้กับผลึกตัวอย่างที่มีขนาดเล็กบาง และมีความหนาคงที่ตลอด มีรูปร่างใด ๆ ก็ได้ แวนเดอร์พาวได้แสดงให้เห็นว่า ค่าสภาพความต้านไฟฟ้าจำเพาะ ρ (Specific resistivity)

ของสารสามารถกำหนดได้ตามความสัมพันธ์

$$\exp(-\pi R_{AB,CD} d/\rho) + \exp(-\pi R_{BC,DA} d/\rho) = 1 \qquad (1-1)$$

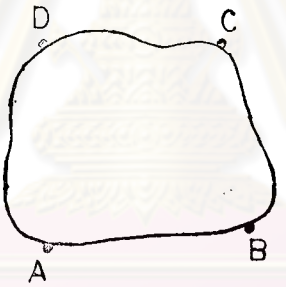
เมื่อ d เป็นความหนาของผลึกตัวอย่าง

$$R_{AB,CD} = \frac{V_{CD}}{I_{AB}}$$

$$R_{BC,DA} = \frac{V_{DA}}{I_{BC}}$$

V_{CD} เป็นความต่างศักย์ระหว่างขั้ว CD เมื่อมีกระแส I_{AB} ไหลจาก A ไป B

สำหรับ V_{DA} และ I_{BC} ก็มีความหมายในทำนองเดียวกัน การจัดขั้วสัมผัสทางไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การจัดขั้วสัมผัสทางไฟฟ้าในเทคนิคแบบแวนเดอร์พาว

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ R_H(Hall coefficient) หาได้จาก

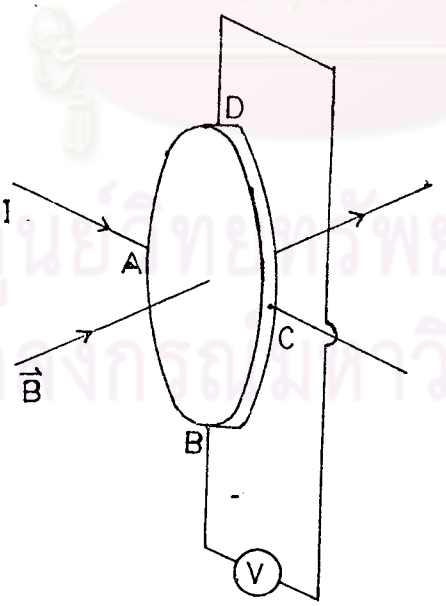
$$R_H = \frac{d\Delta R_{BDAC}}{B} \qquad (1-2)$$

เมื่อ ΔR_{BDAC} เป็นการเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน ขณะที่มีสนามแม่เหล็กและไม่มีสนามแม่เหล็ก จากนี้สามารถหาค่าสภาพความเคลื่อนไหวของฮอลล์ μ_H (Hall mobility) จาก

$$\mu_H = \frac{R_H}{\rho} \qquad (1-3)$$

วิธีการวัดสภาพความต้านไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กระทำได้โดยการจ่ายกระแสคงที่ให้กับขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ตามรูปสมมติว่าเป็นขั้ว AB จากนั้นวัดความต่างศักย์ระหว่าง 2 ขั้วที่เหลือ (ขั้ว CD) การบันทึกค่าของอุณหภูมิและความต่างศักย์จะต้องกระทำพร้อม ๆ กัน เพื่อให้ได้ค่าของความต่างศักย์ที่อุณหภูมินั้นจริง ๆ จากนั้นสลับขั้วที่จ่ายกระแส (โดยผ่านเข้าทางขั้ว BC) แล้ววัดความต่างศักย์ของ 2 จุดที่เหลือ (ขั้ว AD) โดยที่การสลับขั้วจ่ายกระแสต้องเป็นไปอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้อุณหภูมิเปลี่ยนค่าไป

การหาสัมประสิทธิ์ของฮอลล์กระทำได้โดยให้สนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) ผ่านตั้งฉากกับระนาบของผลึกตัวอย่าง ให้กระแสไฟฟ้าผ่านจุด 2 จุด ที่อยู่ตรงข้ามแล้ววัดความต่างศักย์ของอีก 2 จุดที่เหลือ อย่างไรก็ตามในการทดลองแต่ละตอนจะต้องเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งด้วย การวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (R_H) แสดงได้ดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1.2 แสดงการวัดสัมประสิทธิ์ของฮอลล์

1.2 ปัญหาเกี่ยวกับเครื่องมือทดลอง

จากวิธีการวัดสภาพความต้านไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์จะพบว่าการวัดด้วยเครื่องมือแบบเก่าไม่สามารถกระทำได้สะดวก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสร้างเครื่องมือชุดใหม่ขึ้นมา เพื่อให้สามารถวัด บันทึกค่าและควบคุมอุณหภูมิได้ในขณะเดียวกัน และนอกจากนี้ยังไม่ต้องสลับขั้วจ่ายกระแสด้วยมือในกรณีวัดค่าสภาพความต้านไฟฟ้าด้วย ซึ่งจะทำให้การศึกษาปรากฏการณ์ขนส่ง เป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็วและแม่นยำ

รายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องมือที่สร้างขึ้นใหม่และสาเหตุของการสร้างเครื่องมือชุดใหม่จะได้กล่าวเป็นข้อย่อยต่อไป

1.2.1 ข้อดีข้อเสียของเครื่องมือชุดเก่ากับเครื่องมือที่จะสร้างขึ้นใหม่

ก) ข้อเสียของเครื่องมือชุดเก่า

- การบันทึกข้อมูลของเครื่องมือชุดเก่าอาศัยการจดบันทึกโดยผู้ทดลอง
- เครื่องมือชุดเก่าที่มีใช้อยู่เดิมนั้นมีลักษณะเป็นอุปกรณ์แยกส่วน โดยมีอุปกรณ์ในการวัดความต่างศักย์และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเป็นคนละส่วนกัน ดังนั้นหากต้องการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าของสารตัวอย่างที่อุณหภูมิต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องไม่สามารถกระทำได้โดยง่าย ต้องอาศัยเทคนิคในการวัดและออกแบบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ที่มีความเที่ยงตรงสูง
- ใช้เวลาในการบันทึกผลแต่ละค่านานและต้องอยู่กับเครื่องมือตลอดเวลาที่ทำการทดลอง
- ในการศึกษาปรากฏการณ์ของฮอลล์จำเป็นที่จะต้องมีการสับเปลี่ยนขั้วที่ใช้จ่ายกระแสและวัดความต่างศักย์ ซึ่งเครื่องมือชุดเก่าจะต้องกระทำด้วยมือในการเปลี่ยนขั้วไฟฟ้า
- การควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องมือชุดเก่ามีปัญหาในการกระเพื่อมของอุณหภูมิรอบ ๆ ค่าที่ต้องการ เนื่องจากมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช้า

ข) ข้อดีของเครื่องมือชุดใหม่

- สามารถบันทึกและเก็บข้อมูลได้ด้วยตัวเอง
- เนื่องจากการทำงานของเครื่องมือชุดใหม่อาศัยไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถทำงานต่าง ๆ ได้ด้วยการโปรแกรมให้ทำงานหลาย ๆ อย่างได้ ดังนั้นจึงเป็นการลดอุปกรณ์แยกส่วนลง และการทำงานโดยโปรแกรมคำสั่งจึงทำให้สามารถดัดแปลงการทำงานในอนาคตได้
- ใช้เวลาในการบันทึกค่าแต่ละค่าเป็นไมโครวินาที จึงทำให้สามารถวัดค่าที่ต่อเนื่องได้ทุกช่วงของอุณหภูมิโดยไม่ต้องมีการควบคุม
- เกี่ยวกับการสับเปลี่ยนช้ำที่ใช้จ่ายกระแสและวัดค่าความต่างศักย์ในกรณีศึกษาปรากฏการณ์ของฮอลล์ สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วด้วยตัวของเครื่องมือเอง โดยการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์สวิทช์ที่สามารถสั่งงานด้วยคอมพิวเตอร์
- ในกรณีที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ เครื่องมือชุดใหม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้อย่างเที่ยงตรง โดยมีการกระเพื่อมของอุณหภูมิรอบ ๆ ค่าที่ต้องการน้อยมาก เนื่องจากมีการสั่งงานในการปิด–เปิดแหล่งจ่ายความร้อนรวดเร็ว

1.2.2 การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นเดียว

จากลักษณะของงานและวิธีการวัดที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่าเครื่องมือที่จะใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ ขนส่ง จะต้องมีความสามารถจะทำงานต่าง ๆ เช่น วัดค่าบันทึกข้อมูล ควบคุมอุณหภูมิและเปลี่ยนตำแหน่งของการวัดได้อย่างรวดเร็วและแน่นอน ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นสมองกลอิเล็กทรอนิคส์ที่สามารถทำงานรับส่งข้อมูลจำนวนมากและแยกแยะได้รวดเร็วในเวลาสั้น ๆ และการทำงานก็อาศัยโปรแกรมคำสั่งควบคุมให้เป็นไปตามนั้น อาจเป็นทางออกที่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นเครื่องมือที่เราต้องการ โดยเราสามารถนำระบบไมโครคอมพิวเตอร์แบบเบ็ดเสร็จ เช่น เครื่องแบบแอปเปิ้ล (Apple) มาประยุกต์เป็น

เครื่องมือที่ต้องการได้ แต่อย่างไรก็ตามงานที่ต้องการมีขอบเขตจำกัดอยู่เฉพาะไม่กี่อย่างการที่จะนำระบบไมโครคอมพิวเตอร์แบบเบ็ดเสร็จมาใช้งานจึงเป็นการไม่คุ้มค่าเนื่องจากมีราคาแพงเกินไป ดังนั้นไมโครคอมพิวเตอร์แบบแผ่นเดี่ยว (Single Board Microcomputer) ซึ่งเป็นระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่เหลือส่วนที่จำเป็นสำหรับใช้งานอันได้แก่ ซีพียู วงจรอินเตอร์เฟสจำนวนหนึ่ง หน่วยความจำขนาดพอเหมาะ ส่วนแสดงข้อมูลเป็นตัวเลขพร้อมกับคีย์บอร์ดขนาดหนึ่งจึงเป็นระบบที่เหมาะสำหรับจะใช้งานเพราะมีราคาถูกกว่ามาก

1.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยพอจะสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

(1) ศึกษาการวัดสภาพนำไฟฟ้าและปรากฏการณ์ของฮอลล์แบบแวนเดอร์พาวทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติ

(2) ศึกษาภาษาแอสเซมบลีของไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ และการหัดใช้งานไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นเดี่ยวที่จะใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างเครื่องมือชุดใหม่

(3) ศึกษาและประกอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

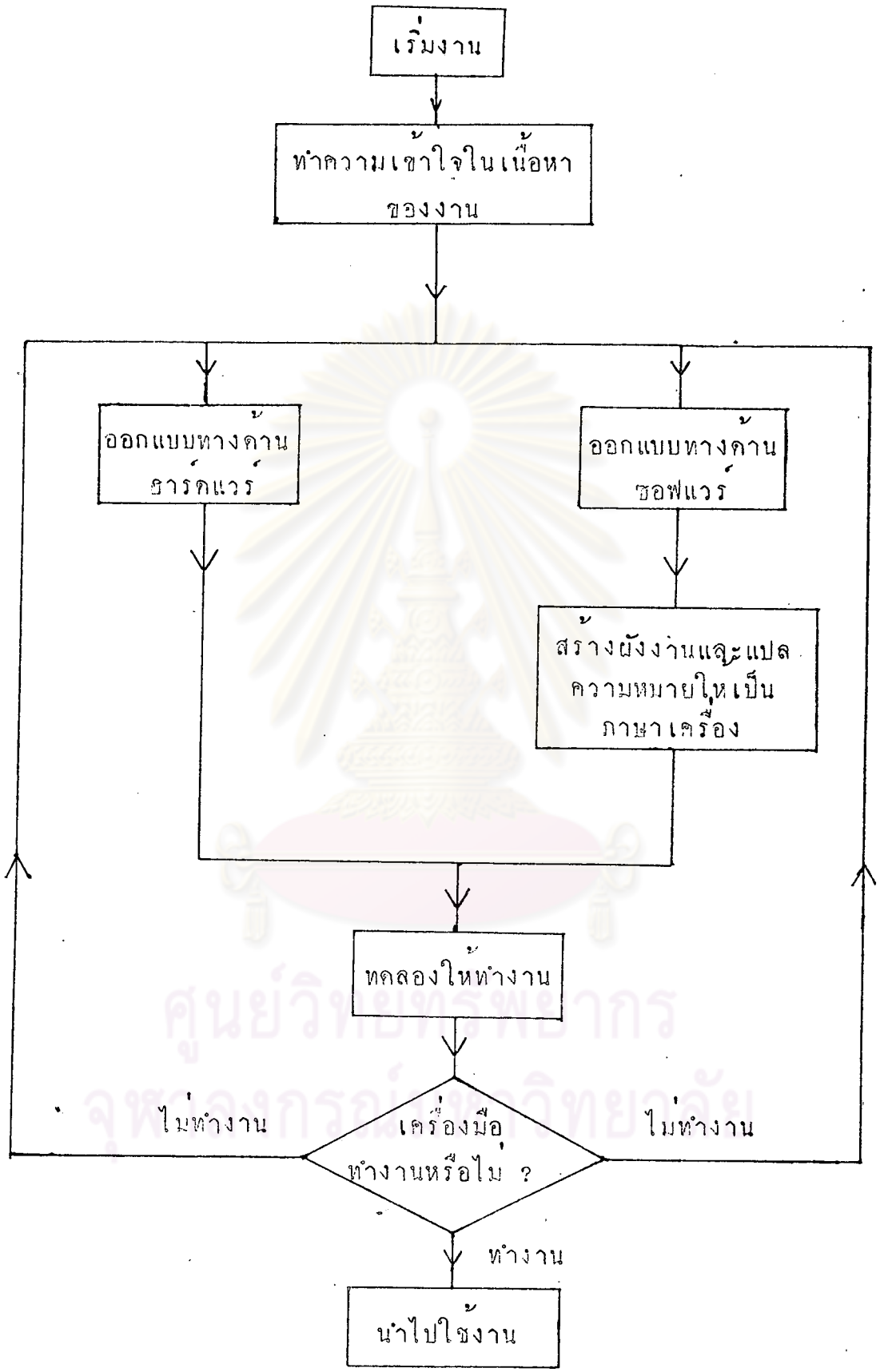
(4) ศึกษาและประกอบวงจรอิเล็กทรอนิคส์สวิทช์

(5) ออกแบบเขียนและทดสอบโปรแกรมควบคุมใช้ระบบเครื่องมือชุดใหม่ทำงานตามที่ต้องการ

(6) สร้างที่ยึดสารตัวอย่าง (Sample holder) ปรับปรุงและเชื่อมต่อทางเดินไฟฟ้าและประกอบเครื่องมือทั้งระบบ

(7) นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นไปศึกษาปรากฏการณ์ขนส่งของผลึกตัวอย่างที่อุณหภูมิต่าง ๆ

(8) แปลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำลองเท่าที่ทำได้ โดยที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถรวบรวมสำดับการทำงานเขียนเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

ผลจากการศึกษาปรากฏการณ์ขนส่งของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะสามารถทำให้ทราบถึงคุณสมบัติมูลฐานบางประการของสารนั้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประโยชน์และจากการนำเอาคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเข้ามาใช้ทำเป็นเครื่องมือวัดจะทำให้การศึกษาปรากฏการณ์ขนส่งเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็วและลดขนาดของเครื่องมือลง นอกจากนี้ยังสามารถนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นดัดแปลงใช้วัดปริมาณทางฟิสิกส์อื่น ๆ ได้ด้วย อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดและการควบคุมขึ้นใช้เองภายในประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย