เอกสารอ้างอิง

กิรณันติ์ รัตนธรรมพันธ์ และ อนันตสิน เตชะกาพุช. การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ของสารกึ่งตัวนำอะลอย และเทอนารีที่มีรูปร่างไม่แน่นอนที่อุณหภูมิต่าง ๆ, รายงานผลการวิจัยเงินทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร: 2527

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, สำนักงาน. เคมีวิทยา เล่ม 1: หลักทฤษฎีและสมบัติของสาร. กรุงเทพฯ : 2526.

จเร สุรวัฒนปัญญา. การคำนวณเชิงตัวเลขด้วย BASIC. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด, 2531.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ฟิสิกส์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาฟิสิกส์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. หลักเคมี 2 (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2530.

_____. โพลิเมอร์เชิงพาณิชย์. กรุงเทพฯ: O.S.PRINTING HOUSE CO.LTD., 2526.

ประพัฒน์ อุทโยภาศ. คู่มือการใช้คำสั่งสูตรฟังก์ชั่น โลตัส 1-2-3. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด, 2532.

ปรีชา พหลเทพ. โพลิเมอร์ HIGH POLYMER. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2534.

พงษ์ศักดิ์ มเหศักดิ์. "แหล่งจ่ายไฟตรง 3 แอมแปร์ปรับค่าได้" ว.อิเล็กทรอนิกส์. 1(มีนาคม 2535)29-36.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. ชุบทอง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มิตรนราการพิมพ์, 2533.

พีรศักดิ์ ศรีกังวล. เรียนภาษาเบสิก/เบสิกชั้นสูง. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด, 2534.

มนตรี พจนารถลาวัลย์. การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบซี. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด, 2535.

มหาวิทยาลัย,ทบวง. เคมี เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์, 2533.

ยืน ภู่วรวรรณ. ทฤษฎีและการใช้งานอิเลคทรอนิกส์ เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2526.

_____. และ พิชิต สุขเจริญพงษ์. แอดวานซ์โลดัส. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด, 2532.

วิชิต บุณวัตร. พจนานุกรมภาษาเบสิก. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด. 2532.

วิทยา วิชระวิทยากุล. ภาษาและโปรแกรม C. กรุงเทพฯ: หจก.เอช-เอน การพิมพ์, 2534.

ศิวัฒน์ ศิวะบวร, พรชัย จักรธำรงค์ และ จิรศักดิ์ ชัยวิริยะกุล. การประยุกต์ใช้งานภาษาซี. กรุงเทพฯ: หจก.เอช-เอน การพิมพ์, 2535.

สมเกียรติ ศุภเดช. ปฏิบัติการเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : วารสารอิเลคทรอนิกส์-เวิลด์, 2525.

สาธร เมาลานนท์."โลกของภาษา c" วา. Computer Today. 1(ตุลาคม 2534)53-58.

อนันต์ ทองมอญ. ซุปเปอร์โลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์, 2531.

เอ.อาร์.อินฟอร์เมชัน แอนด์ พับลิเคชันจำกัด,บริษัท. Software Quick Reference. กรุงเทพฯ: 2534.

Baeriswyl, D., Harbeke, G., Kiess, H., and Meyer, W., Electronic Properties of Polymers. (Mort, J. and Pfister, G., eds.) pp.267, John Wiler and Sons, New York, 1982.

Billmeyer, Fred W. Textbook of Polymer Science. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1984.

Brandrup S., E. H. Immergut and W. McDowel, Polymer Handbook, Part V, "Physical constant of some Important Polymers", V-51 - V-54, John Wiler & Sons, U.S.A.: 1975.

Bueche F., Physical Properties of Polymers. New York: John Wiley & Sans, 1962.

Diaz A. F., K. K. Kanazawa and G. P. Gardini, J. Chem. Soc. Chem.Commun., 635(1979).

Hotta, Shu., Syntheses and Electronic Properties of Polythienylene and Its Derivatives. Ph.D. Thesis, Department of Physics, University of Califonia, 1988.

Kaner, R. B. and Alan G. MacDiarmid, "Plastic That Conduct Electricity", Scientific American. 258, 60-65, 1988.

KIRK-OTHMER, Encyclopedia of Chemical Teahnology, chapter in "Pyrrole and Pyrrole Derivative" vol.19, Third Edition, pp.499-520, John Wiley & Sons, New York: 1982.

Lee. Jim Y. and Thiam-Chye Tan, Cycle Voltammetry of Active member. 137(May 1990)1402-1407.

MacDiarmid A. G. and R. B. Kanr, in Handbook of Conducting Polymers. vol.1 (T. A. Skotheim, ed.)1986, pp.690-727.

Machida S., S. Miyata and A. Techagumpuch, Synth. Met., 31(1989)311-318.

Ojio T. and S. Miyata, Polym. J., 18(1986)95-98.

Shirakawa, H., E. J. Louis, A. G. MacDiarmid, C. K. Chiang and A. J. Heeger, "Synthesis of Electrically Conducting Organic Polymers": Halogen Derivatives of Polyacetylene,(CH)" J. Chem. Soc. Chem. Commum., 16, 578-580, 1977.

Techagumpuch A., S. Nalwa and S. Miyata, Promising Application of Conducting Polymers. Chapter in "Eelectroresponsive Molecular and Polymeric Systems", Vol.2, T. A. Skotheim ed., pp.257-294, New York, Marcel Dekker, 1991.

Yoshikawa T., S. Machida, T. Ikegammi, A. Techagumpuch and S. Miyata, Polym. J., 22(1990)1.

Yoshino K., H. Hayashi and R. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys., 23(1984)L899.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ความรู้เบื้องต้นในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการผลิตโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดยปกติ คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะมีภาษาที่บรรจุภายในเครื่องอยู่แล้ว เรียกว่า ภาษาเครื่อง(machine langaue) ซึ่งเป็นภาษาที่เครื่องเข้าใจได้โดยตรง แต่ภาษาเครื่องเป็นภาษาที่จดจำและใช้งานได้ยากมาก เพราะเป็นชุดของสัญญาณไฟฟ้า ที่มีเพียง 2 สถานะ คือ เปิด กับ ปิด ซึ่งคนเราจะต้องมองเป็นตัวเลขฐานสอง มีสัญญาลักษณ์เป็น 0 กับ 1 จึงจะเข้าใจได้ง่าย(วิชิต บุณวัตร,2532) ดังนั้นถ้าคนเราต้องการจะจำคำสั่งภาษาเครื่องก็จะต้องจำเป็นกลุ่มของสัญญาลักษณ์ของ 0 กับ 1 เช่น 00111010 หรือ 11010101 หรืออย่างใดอย่างหนึ่งในทำนองนี้ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ายุ่งยากมาก

คอมพิวเตอร์ในระยะแรกต้องสั่งด้วยภาษาเครื่อง ฉะนั้นโปรแกรมแต่ละโปรแกรมต้องใช้เวลาเขียนและป้อนคำสั่งให้คอมพิวเตอร์ นานมากทีเดียว กว่าที่จะเริ่มทำงาน ถึงแม้ปัจจุบันนี้ก็ตาม การสั่งงานให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานก็ต้องสั่งด้วยภาษาเครื่องอยู่ดี เพียงแต่มนุษย์หาทางออกที่สะดวกกว่า โดยการสร้างภาษาคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใหม่ กำหนดกฎเกณฑ์โครงสร้าง ตลอดจนคำสั่งต่าง ๆ ขึ้นมาใหม่ให้มนุษย์เขียนและสั่งงานแทนภาษาเครื่อง ภาษาต่าง ๆ ที่สร้างมาใหม่นี้ เรียกว่าภาษาระดับสูง โดยใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลัก ในปัจจุบันมีมากมายหลายภาษา เช่น Basic , Fortran , Pascal และ C เป็นต้น ซึ่งแต่ละภาษาก็เหมาะสมกับลักษณะงานและระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันไป

ถึงแม้ว่าเราจะผลิตภาษาเหล่านี้ขึ้นมาใช้งานแทนภาษาเครื่อง แต่เมื่อจะนำมาใช้งาน ก็ต้องแปลงภาษาเหล่านี้ให้เป็นภาษาเครื่องอยู่ดี เพราะเป็นภาษาเดียวที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ การแปลงจากภาษาระดับสูงทุกภาษาเป็นภาษาเครื่องนั้น เราจะใช้โปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่แปลภาษาระดับสูงไปเป็นภาษาเครื่องโดยเฉพาะ ซึ่งเราเรียกโปรแกรมพวกนี้ว่า **คอมไพเลอร์(Compiler)** ซึ่งภาษาระดับสูงทุกภาษาจะมี Compiler เป็นของตัวเองโดยเฉพาะ เช่น Compiler ภาษา Basic ก็มี Turbo Basic , Quick Basic , GWBasic , MBasic และ Power Basic เป็นต้น ส่วน Compiler ภาษา Pascal ก็มี Turbo Pascal เป็นต้น ส่วน Compiler ของภาษา C ก็มี Quick C

C++ , Turbo C และ Turbo C++ เป็นต้น

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นการเขียนโดยใช้ภาษาอะไรก็ตาม จะมีขั้นตอนการเขียนในทำนองเดียวกัน ดังนี้

ก. เลือกภาษาที่จะใช้เขียนโปรแกรม เช่น Basic , Pascal หรือ C จากนั้นศึกษารูปแบบคำสั่ง โครงสร้าง และวิธีการเขียนภาษานั้น ๆ จนเข้าใจเสียก่อนเป็นอันดับแรก

ข. เมื่อเข้าใจรูปแบบคำสั่ง และโครงสร้างของภาษานั้น ดีพอสมควรแล้ว ก็เริ่มเขียนโปรแกรม โดยใช้เอดิเตอร์(Editer)ซึ่งเป็นประแกรมประยุกต์ที่ใช้กับงานพิมพ์และออกแบบตัวอักษรโดยเฉพาะ เป็นตัวเขียนโปรแกรม ไฟล์ของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมานี้ เรียกว่า Soure File หรือ Soure Code

ค. นำ Soure Code ที่ได้มาให้ตัวแปล(Compiler)ของภาษานั้น ๆ แปลตัวอักษรของคำสั่งภาษาที่เราเขียนซึ่งมนุษย์อ่านรู้เรื่อง ไปเป็นภาษาเครื่องที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ Compiler อาจตรวจจับข้อผิดพลาดที่เราเขียนได้ และจะรายงานข้อผิดพลาด(Error Massage)ให้เราได้ทราบ ซึ่งถ้ามีเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้น เราจะถือว่าการแปลโปรแกรมจะยังไม่สำเร็จ จะต้องนำ Soure Code กลับมาแก้ไขโครงสร้าง และรูปแบบคำสั่งให้ถูกต้อง แล้วนำไป Compiler ใหม่จนไม่พบข้อผิดพลาด แล้วตัว Compiler จะสร้างผลลัพธ์เป็นชุดคำสั่งภาษาเครื่อง เก็บไว้ในไฟล์ ๆ หนึ่ง ซึ่งจะมีชื่อเดียวกันกับชื่อของ Soure Code แต่นามสกุลจะเป็น obj เราเรียกไฟล์ดังกล่าวนี้ว่า Object Code หรือ Object Modular

ง. นำ Object Code มาให้โปรแกรม Linker ของภาษานั้นอ้างอิง แก้ไขและสอดแทรกการเรียกใช้ฟังก์ชัน ไลบรารี เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ชุดคำสั่ง ในขั้นตอนนี้อาจพบข้อผิดพลาดได้อีกถ้า Linker ไม่สามารถหาส่วนฟังก์ชั่น หรือไลบรารีที่อ้างถึงได้ แต่ถ้าหาก Linker ดำเนินการได้สมบูรณ์ก็จะผลิตชุดคำสั่งกระทำได้ ที่เรียกว่า Executable Program โดยมีชื่อไฟล์ชื่อเดิม แต่นามสกุลเปลี่ยนเป็น EXE ซึ่งสามารถใช้งานหรือสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้โดยตรง อย่างเป็นอิสระ เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนการเขียนโปรแกรมของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

การเรียกใช้งานไฟล์ Executable Program นี้ ทำได้โดยเรียกชื่อไฟล์นั้นโดยตรง เช่น ไฟล์ชื่อ TEST.EXE ก็พิมพ์คำว่า T E S T แล้วกดปุ่ม Enter เครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะปฏิบัติตามชุดคำสั่งที่บรรจุอยู่ภายในไฟล์ของโปรแกรมนั้นตามลำดับ เป็นขั้นตอนในทันทีโดยอัตโนมัติ เราเรียกวิธีการ การเรียกใช้โปรแกรมในลักษณะนี้ว่า RUN

สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้นั้น ยังคงมีขั้นตอนและวิธีการ

ตามที่กล่าวมาแต่ต้นทุกประการ ส่วนภาษาที่เลือกใช้สำหรับเขียนโปรแกรมในครั้งนี้นั้น จะเลือกใช้ ภาษา Basic และ ภาษา C นอกจากนั้นยังใช้ประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสำเร็จรูป LOTUS อีกด้วย สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมที่เขียนในแต่ละภาษานั้น จะกล่าวถึงในอันดับต่อไป

ลำดับขั้นตอนการคำนวณของไมโครคอมพิวเตอร์

การจะให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลงานชิ้นใดชิ้นหนึ่งนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องเรียงลำดับขั้นตอนการทำงานของงานชิ้นนั้น แล้วสั่งคอมพิวเตอร์ให้ทำงานตามลำดับขั้นตอนที่วางไว้นี้ โดยการเขียนโปรแกรมสั่งการ เพราะคอมพิวเตอร์ไม่มีความสามารถในการวิเคราะห์งานและจัดลำดับการทำงานด้วยตัวเองได้ เราเรียกลำดับขั้นตอนของการทำงานนี้ว่า Flow chart การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น ก็จะเขียนตาม flow chart ที่วางไว้ทุกประการ

สำหรับลำดับขั้นตอนการทำงาน หรือ flow chart ของการคำนวณค่าความต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวฟิล์มพอลิพิรโรล์ของการวิจัยในครั้งนี้นั้น จะเขียนขึ้นโดยอ้างอิงลำดับขั้นตอนการวัด และคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำไฟฟ้าที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3 ทุกประการ เพราะเมื่อนำ flow chart ที่ได้นี้ไปเขียนโปรแกรมแล้ว เราจะได้โปรแกรมที่ทำงานสอดคล้องกับการปฏิบัติงานในการวัดมากที่สุด ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการวิจัยเป็นอย่างมาก และจากการที่เลือกใช้ภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมถึง 2 ภาษา และยังประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสำเร็จรูป LOTUS ฉะนั้น Flow chart ที่เขียนขึ้นจึงแตกต่างกันออกไป เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับลักษณะการทำงานของโปรแกรมภาษานั้น ๆ ซึ่งจะทำให้ได้โปรแกรมที่ทำงานได้เร็วและมีประสิทธิภาพ สำหรับ Flow chart ของแต่ละภาษาพร้อมด้วย soure code ของภาษานั้น ๆ จะแสดงในภาคผนวก ข ค และ ง ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า ของฟิล์มพอลิพิรโรล์ด้วยภาษาเบสิค

เมื่อปี พ.ศ. 2503 ศาสตราจารย์ **Kemeny** และศาสตราจารย์ **Kurtz** แห่งมหาวิทยาลัย Dartmouth สหรัฐอเมริกา ได้ร่วมกันคิดค้นภาษาเบสิค(Basic)ขึ้นมา โดยย่อมาจากคำว่า Beginner´a Allpurpose Symbolic Instruction Code และพัฒนาเพื่อใช้กับคอมพิวเตอร์ระบบ timesharing system (วิชิต บุณวัตร,2532) แต่ต่อมาภายหลังจากที่มีการสร้างไมโครคอมพิวเตอร์(microcomputer)ขึ้นมา จึงได้นำเอาภาษาเบสิคาใช้เป็นภาษาหลักของเครื่องดังกล่าวระยะหนึ่ง ต่อมาได้มีการพัฒนาภาษาเบสิคแตกแยกออกไปเพื่อให้เหมาะกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ และให้ชื่อแตกต่างกัน เช่น TINY BASIC, 5K BASIC, 16K BASIC , EXTENED BASIC , MBASIC , GWBASIC , TURBO BASIC และ POWER BASIC เป็นต้น แต่ถึงแม้ภาษาเบสิคจะมีชื่อต่างกันออกไปมากมาย แต่โดยหลักการเบื้องต้นแล้วเป็นอย่างเดียวกัน จะแตกต่างกันก็เครื่องมือในการอำนวยความสะดวกในการเขียนเท่านั้นเอง ฉะนั้นถ้าเราทราบหลักการของภาษาเบสิคของตัวใดตัวหนึ่งแล้ว จะสามารถเข้าใจภาษาเบสิคชนิดอื่น ๆ ได้โดยง่าย

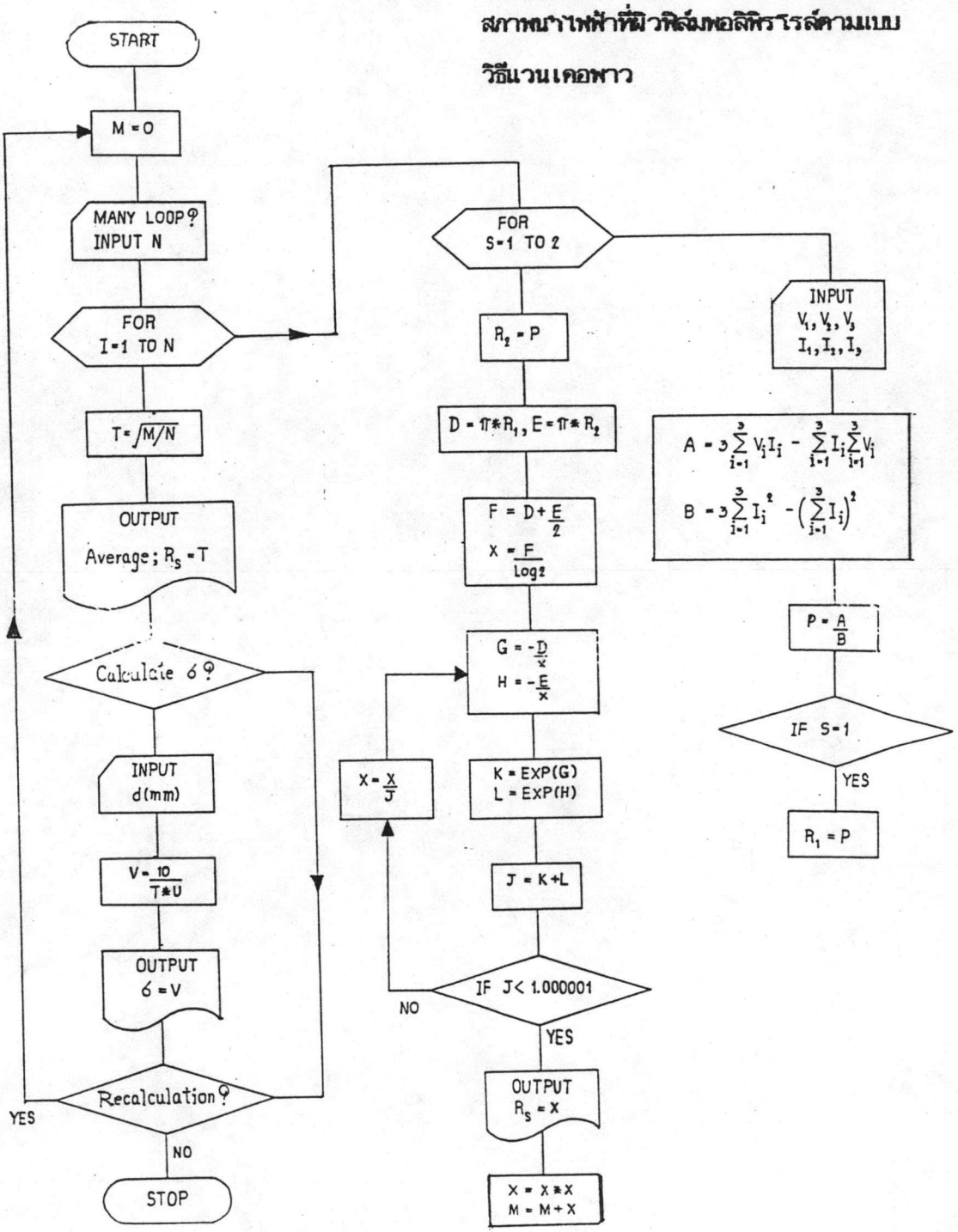
ภาษาเบสิคเป็นภาษาที่ศึกษาง่าย จึงเหมาะมากสำหรับคนทั่วไป ที่ไม่ใช่นักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์(programmer) ผู้ที่มีพื้นความรู้ทางภาษาอังกฤษบ้างเล็กน้อยก็สามารถเข้าใจลักษณะของภาษาและสามารถเขียนโปรแกรมภาษานี้ได้ ภาษานี้ทั้งในอดีตหรือปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งทางด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และธุรกิจต่าง ๆ ฉะนั้นการเขียนโปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มพอลิพิรโรล์ตามแบบวิธีของแวนเดอพาว และ four-point probe ด้วยภาษาเบสิค จึงจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ที่สนใจและนักวิจัย ที่ต้องการศึกษาและนำไปประยุกต์ หรือปรับปรุงให้เหมาะกับลักษณะงานที่ทำลังทำอยู่ต่อ ๆ ไป

สำหรับตัวแปลภาษาเบสิค(Basic compile)ที่นำมาใช้เขียนโปรแกรมในครั้งนี้ก็คือโปรแกรมภาษาเบสิคชื่อ Power Basic 2.0 ของบริษัท Borland ซึ่งเป็นตัวแปลภาษาเบสิคที่มีประสิทธิภาพสูงและมีผู้นิยมกันมาก เพราะสามารถแปล(compiler)โปรแกรมซึ่งเรา

เขียนด้วยภาษาอังกฤษ ไปเป็นภาษาเครื่อง(machine language) ที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้และทำงานได้ทันที จึงสามารถนำไฟล์ หรือโปรแกรมที่แปลงเป็นภาษาเครื่องแล้วนี้ไปเรียกใช้งาน (RUN) บนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใด ๆ ได้ทันที โดยไม่ต้องเรียกโปรแกรมภาษาเบสิคก่อน เหมือนโปรแกม Basica หรือ GW - Basic

โปรแกรมภาษาเบสิคที่เขียนขึ้นนี้ จะมีขั้นตอนการประมวลผลเหมือนใน flow chart ที่เขียนในรูปที่ ข.1 และ ข.2 ทุกประการ ส่วน soure code ของภาษาเบสิคที่เขียนขึ้นทั้งวิธีวัดแบบแวนเดอพาว และ four-point probe นี้ แสดงอยู่ในหน้า 129 ถึงหน้า 130 และหน้า 132 ถึงหน้า 133 ตามลำดับ (พิรศักดิ์ ศรีกังวล,2534;จเร สุรวัฒนปัญญา,2531)

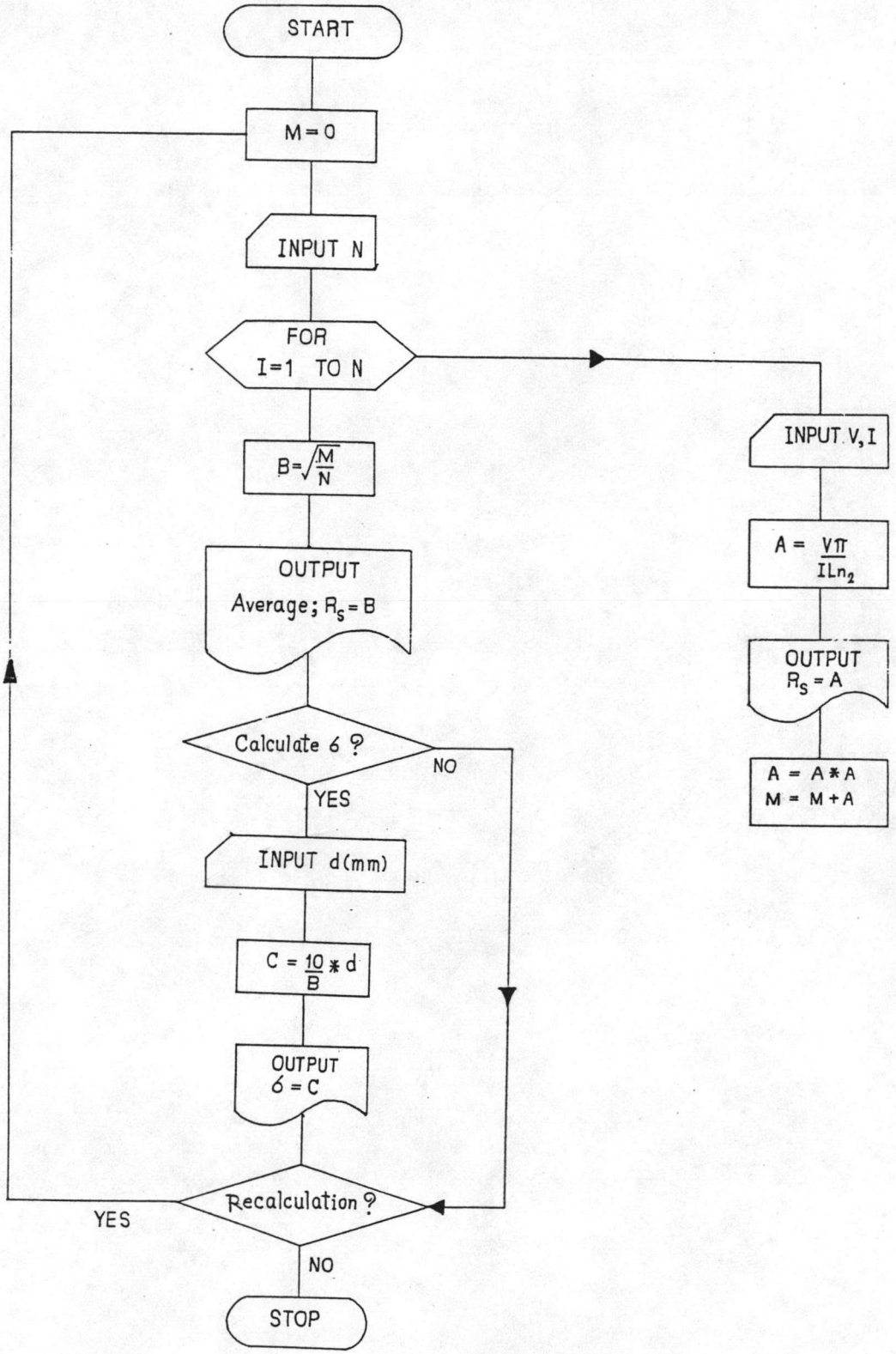
รูปที่ ข.1 แสดง Flow chart ของภาษา BASIC สำหรับคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวฟิล์มพอลิเมอร์โรล์ตามแบบวิธีแวนเดอพาว



โปรแกรมที่ 1 โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของ
ฟิวฟิล์มพอลิพิร์โรล์ ตามแบบวิธีแวนเดอพาว โดยภาษา BASIC

```
'*************************************************************************
'* PROGRAM: CALCULATE SURFACE RESISTANCE AND SURFACE CONDUCTIVITY  *
'*          OF PYRROLE COMPOSITE FILM,SYNTHESIS BY CHEMICAL VAPOUR *
'*          DEPOSITION (CVD), BY VAN DER PAUW METHOD .             *
'* PROGRAMMER : Mr.CHALONGCHAI KAEWPUPA , DATE : 29 APR 91        *
'*              Polymerphysic laboratory ,Physical department,CU.  *
'*************************************************************************
  5  CLS:M = 0
 10  LOCATE 10,20,0 :INPUT"How many loop do you want";N
 15  FOR I = 1 TO N
 20  FOR S = 1 TO 2
 25  CLS
 30  LOCATE 1,30,0 :PRINT "DATA INPUT"
 35  LOCATE 4,31,0 :PRINT " LOOP" ;I
 40  LOCATE 6,31,0 :PRINT "GROUP" ;S
 45  LOCATE 8,5,0  :INPUT"I1(mA)  =  ";I1
 50  LOCATE 8,45,0 :INPUT"V1(mV)  =  ";V1
 55  LOCATE 10,5,0 :INPUT"I2(mA)  =  ";I2
 60  LOCATE 10,45,0:INPUT"V2(mV)  =  ";V2
 65  LOCATE 12,5,0 :INPUT"I3(mA)  =  ";I3
 70  LOCATE 12,45,0:INPUT"V3(mV)  =  ";V3
 75  A = (3*((I1*V1)+(I2*V2)+(I3*V3))-((I1+I2+I3)*(V1+V2+V3)))
 80  B = (3*((I1*I1)+(I2*I2)+(I3*I3))-((I1+I2+I3)*(I1+I2+I3)))
 85  P = A/B
 90  IF S = 1 THEN R1 = P :NEXT
 95  R2 = P
100  D  = 3.141592654*R1: E  = 3.141592654*R2
105  F  =  (D+E)/2 : X  =  F/LOG(2)
```

```
110  G  =  -D/X: H  =  -E/X
115  K = EXP(G): L = EXP(H)
120  J = K+L
125  IF J <= 1.000001 THEN 135
130  X = X/J: GOTO 110
135  CLS:LOCATE 10,20,0 :PRINT"Surface resistance  =    ";X
140  LOCATE 12,20,0 :INPUT "Press any key to continue......";Q
145  X = X + X
150  M = M + X
155  NEXT
160  T = SQR(M/N)
165  CLS:LOCATE 10,15,0 :PRINT "Average surface resistance  =  ";T
175  LOCATE 12,15,0
180  INPUT "Do you want to calculate surface conductivity.(y/n)";A$
185  IF A$ = "y" THEN GOTO 190
190  IF A$ =  "n" THEN GOTO 210
195  GOTO 165
200  CLS:LOCATE 10,15,0 :INPUT " FILM THICKNESS(mm)   =    ";U
205  V = 10/(T*U)
210  LOCATE 12,15,0 :PRINT " Surface conductivity   =    ";V
215  LOCATE 14,15,0 :INPUT " Press any key to continue...";Q
220  LOCATE 16,15,0 :INPUT " Do you want to recalculation.(y/n)";A$
225  IF A$ = "y" THEN 5
230  IF A$ <> "n" THEN GOTO 210
240  END
' ********************** END OF PROGRAM ****************************
' ******************************************************************
```



รูปที่ ข.2 แสดง Flow chart ของภาษา BASIC สำหรับคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์มซิลิคอนคาร์ไบด์ ตามแบบวิธี FOUR-POINT PROBE

โปรแกรมที่ 2 โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มพอลิพิร์โรล์ ตามแบบวิธี FOUR-POINT PROBE โดยภาษา BASIC

```
'*************************************************************************
'* PROGRAM: CALCULATE SURFACE RESISTIANCE AND SURFACE CONDUCTIVITY *
'*          OF PYRROLE COMPOSITE FILM,SYNTHESIS BY CHEMICAL VAPOUR *
'*          DEPOSITION (CVD), BY FOUR-POINT PROBE METHOD.          *
'* PROGRAMMER : Mr.CHALONGCHAI KAEWPUPA    DATE : 29 APR 91       *
'*              Polymerphysic laboratory ,Physical department,CU.  *
'*************************************************************************
  5   CLS
 10   M = 0
 15   LOCATE 10,20,0 : INPUT " How many loop do you want ";N
 20   FOR I = 1 TO N
 25   CLS
 30   LOCATE 2,25,0 : PRINT " DATA INPUT "
 35   A  =  0
 40   LOCATE 10,5,0 :PRINT " LOOP ";I
 45   LOCATE 10,20,0 :INPUT " I(mV)  =  " ;I
 50   LOCATE 12,20,0 :INPUT " V(mV)  =  ";V
 55   A = (V*3.1415)/(I*0.693)
 60   LOCATE 15,20,0 :PRINT " Surface resistance   =  ";A
 65   A  =  A*A :M = M + A
 70   LOCATE 20,40,1 :INPUT "Press any key to continue.";Q
 80   NEXT
 90   B = SQR(M/N)
100  CLS :LOCATE 8,15,0
120  PRINT "Average surface resistance   =   ";B
130  LOCATE 10,15,0
140  INPUT "Do you want to calculate surface conductivity(y/n)";Q$
150   IF Q$  = "y" THEN 180
```

```
160   IF Q$ <> "n" THEN 130
170   GOTO 210
180   LOCATE 12,15,0 :INPUT " FILM THICKNESS(mm)  =  ";D
190   C =  10/(B*D)
200   LOCATE 14,15,0 :PRINT "Surface conductivity  =   ";C
210   LOCATE 16,15,0 :INPUT "Do you want to recalculation(y/n)";Q$
220   IF Q$ = "y" THEN 5
230   IF Q$ <>"n" THEN 210
240   CLS:END
'*****************************END OF PROGRAM*****************************
'*****************************************************************************
```

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า ของฟิวฟิล์มหอลลิพิรโรล์ด้วยภาษา C

ภาษา C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในสายตระกูลของภาษา ALGOL (Algorithmic Language) มีความคล้ายคลึงกับภาษา PL/L , Pascal และเอดา แต่จะแตกต่างอย่างมากกับภาษาเบสิค หรือ ฟอร์แทน (สาโรจน์ เมาลานนท์,2534) ภาษา C ออกแบบโดย Dennis Ritchie ที่ Bell Laboratory เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2515 ถ้าจะไล่สายบรรพบุรุษของภาษา C ก็ต้องเริ่มจาก Algol 60 ในปี พ.ศ.2503(1960) มาถึง CPL ของ Cambridge ในปี พ.ศ.2506 มาเป็น BCPL โดยมาติน ริชาร์ด ทอมป์สัน ที่ Bell Lab. ในปี พ.ศ.2513 จนมาเป็นภาษา C ในปี พ.ศ. 2515 ซึ่งย้อนหลังจากปัจจุบันเพียง 20 ปีเท่านั้น ถึงแม้ว่าภาษา C จะเริ่มมีขึ้นมาไม่นาน แต่ได้รับความนิยมอย่างสูงมากกว่าทุกภาษา ซึ่งมีสาเหตุหลายประการ ดังนี้

1. ภาษา C เป็นภาษาสมัยใหม่ที่มีสิ่งอำนวยความสะดวก ในการประยุกต์ได้อย่างกว้างขวางตรงตามความต้องการของทฤษฎีทางศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาษา C มีรูปแบบข้อมูลให้เลือกอย่างสมบูรณ์กับการประยุกต์ต่าง ๆ มีตัวดำเนินการครบถ้วน ตลอดจนมีการควบคุมโครงสร้างได้แบบสมัยใหม่ Run-time Library มากมายสำหรับจัดการกับ Input/Out--put Storage Allocation , String Manipulation เหล่านี้ทำให้การประยุกต์ด้วยภาษา C เป็นธรรมชาติที่จะใช้ในการออกแบบสมัยใหม่ เช่น Topdown Planning , Stru--ctured Programmming และ Modular Design

2. ภาษา C ออกแบบมาเพื่อใช้ประโยชน์จากความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งมีช่องว่างระหว่างภาษา C กับส่วนต่าง ๆ ของเครื่องคอมพิว--เตอร์(Hardware)น้อยมาก ดังนั้นโปรแกรมประยุกต์ของ C จึงมีขนาดเล็ก และมีความเร็วสูงกว่าโปรแกรมประยุกต์ที่เขียนโดยภาษาอื่น ๆ

3. ภาษา C สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย(Portable) โปรแกรมที่เขียนโดยภาษา C ที่เขียนจากเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบหนึ่ง จะสามารถเคลื่อนย้ายไป Run ในอีกระบบหนึ่งได้โดยมิต้องดัดแปลงเลย หรือถ้ามีก็น้อยมาก

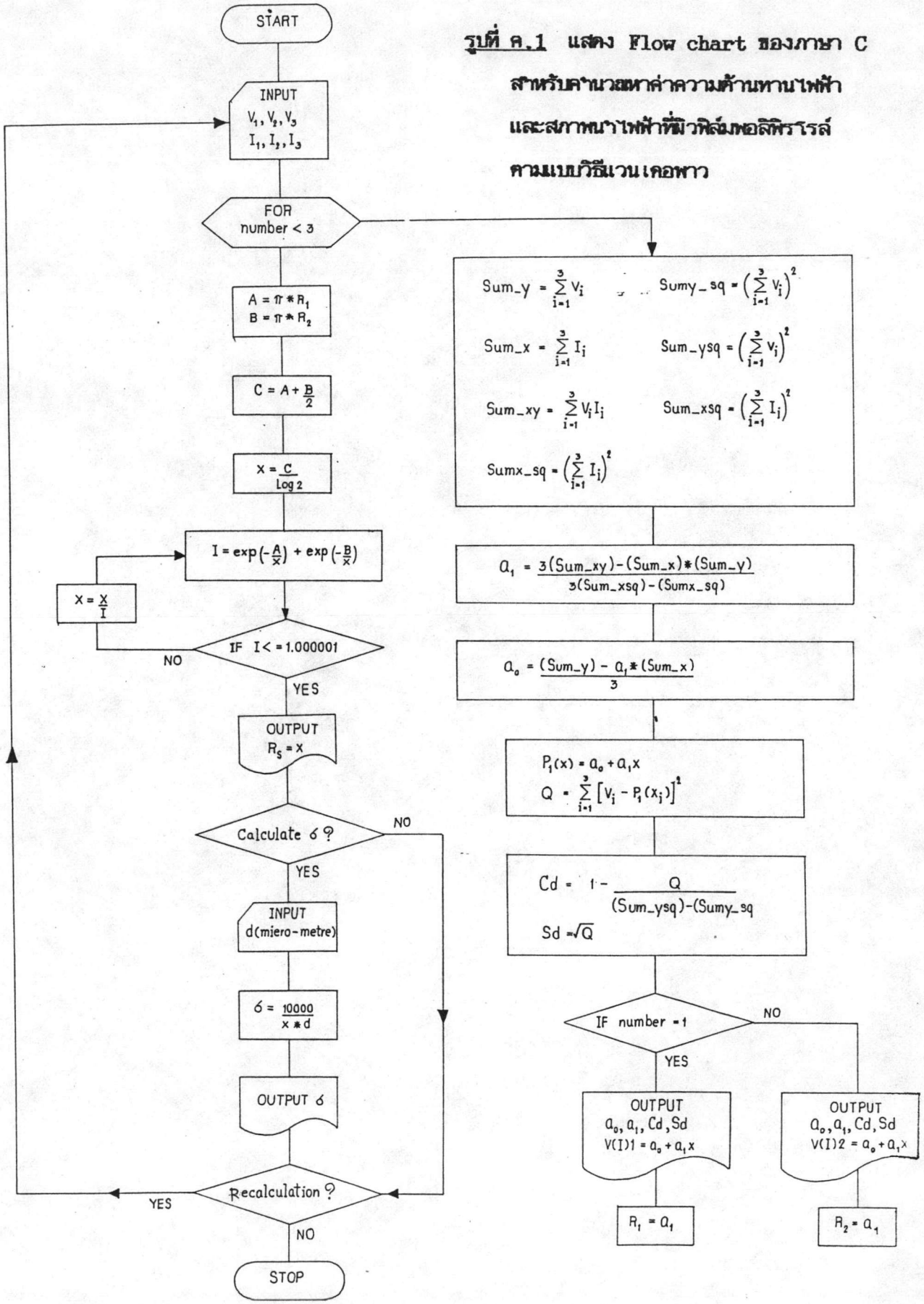
4. ภาษา C มีความเร็วสูงมาก(Powerful) และอ่อนตัว (Flexible) ทั้งสองคุณสมบัตินี้สามารถยืนยันให้เห็นได้ชัดเจนจากระบบยูนิกซ์(Unix) เพราะยูนิกซ์เป็นระบบปฏิบัติการที่เขียนขึ้นมาจากภาษา C สามารถปรับเป็นระบบปฏิบัติการของเครื่องได้หลายยี่ห้อ รวมทั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของยูนิกซ์ก็เขียนด้วยภาษา C เช่น ตัวแปลภาษาต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น Fortran, Pascal, Logo หรือ Basic ดังนั้นเมื่อเราใช้ Fortran ในระบบยูนิกซ์ก็เหมือนกับว่า โปรแกรมกระทำการ (Executable Program)สุดท้ายที่เราได้นั้น ก็คือโปรแกรมที่ภาษา C สร้างขึ้นมานั่นเอง นอกจากนี้ภาษา C ยังนิยมมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ ธุรกิจ และในโปรแกรมสำเร็จต่าง ๆ รูปมากมาย รวมทั้งนำไปสร้างภาพกราฟิกที่สามารถเคลื่อนไหวได้ เช่น ในวงการภาพยนตร์อีกด้วย

5. ภาษา C มีความสามารถปรับแต่งได้ละเอียด เช่นเดียวกับภาษา Assemby รวมทั้งสามารถประสานสัมพันธ์ได้เป็นอย่างดีกับภาษา Assemby จึงสามารถปรับแต่งโปร-แกรมประยุกต์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ไม่ยาก

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จึงทำให้ภาษา C ได้รับนิยมมากในปัจจุบัน โปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่ออกจำหน่ายในปัจจุบันนี้ เปลี่ยนมาเขียนด้วยภาษา C จนเกือบทุกโปรแกรม งานด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม ก็เปลี่ยนจากการใช้ภาษาเดิม เช่น Fortran , Cobol มาใช้ภาษา C มากเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เพราะฉะนั้น การนำภาษา C มาประยุกต์ใช้เขียนโปรแกรมคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มพอลิพิรรโรล์ จึงเป็นแนวทางการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางการวิจัยที่ดีและมีประสิทธิภาพมาก เพราะสามารถคำนวณได้รวดเร็วมาก อีกทั้งยังสามารถเคลื่อนย้ายโปรแกรมที่เขียนได้นี้ ไป Run บนเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบใด ๆ ก็ได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คาดว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากในอนาคตสำหรับการคำนวณทางวิทยาศาตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และการวิจัยต่าง ๆ

สำหรับตัวแปลภาษา C ที่นำมาใช้เขียนโปรแกรมในครั้งนี้นั้น เป็นโปรแกรมภาษา C ของ Borland ชื่อ Turbo C version 2.0 โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้จะมีลำดับขั้นตอนการทำงาน(flow chart)ดังแสดงในรูปที่ ค.1 และ ค.2 สำหรับ Soure Program ที่เขียนนี้ แสดงในหน้า 137 ถึงหน้า 144และหน้า 146 ถึงหน้า 149 ตามลำดับ (มนตรี พจนารถลาวัลย์,2535;วิทยา วิชระวิทยากุล,2534;ศิวัฒน์ ศิวะบวร,2535)

รูปที่ ค.1 แสดง Flow chart ของภาษา C สำหรับคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าที่มีวัสดุเพอลิทรโรล์ตามแบบวิธีเวนเคอพาว



โปรแกรมที่ 3 โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของ
ฟิล์มพอลิพิร์โรล์ตามแบบวิธีแวนเดอพาว โดยใช้ภาษา C

```
/*****************************************************************/
/*      This program calculating the resistance and              */
/*      conductivity of pyrrole composite film                   */
/*      PROGRAM BY: CHALONGCHAI KAEWPUPA ;Polymer Physics Lab.   */
/*                  Chulalongkorn University Bangkok Thailand.   */
/*****************************************************************/
#include  <stdio.h>
#include  <conio.h>
#include  <math.h>
float   x[3][4],y[3][4],a0[3],a1[3],Cd[3],Sd[3];
float   sum_x,sum_y,sum_xy,sum_xsq,sum_ysq,sumx_sq,sumy_sq = 0.0;
float    R1,R2,P1x,Q,X,d,Sigma = 0.0;
float    pi = 3.141593;
char     ans1,ans2;
main()
{
    clrscr();
    title();
    do{
        clrscr();
        input(1);
        process(1);
        R1 = a1[1];
        clrscr();
        input(2);
        process(2);
        R2 = a1[2];
        clrscr();
```

```
        process2();
        report_process3();
    }while(ans1 == 'Y' || ans1 == 'y');
}
title()
    /*************************************************/
    /*      This routine display the title and       */
    /*      start the program                        */
    /*************************************************/
{
    gotoxy(26,2);
    printf("CALCULATION  PROGRAMMING");
    gotoxy(15,7);
    printf("Surface  Resistance  and  Surface  Conductity");
    gotoxy(37,9);
    printf("of");
    gotoxy(26,11);
    printf("Pyrrole  Composite  film");
    gotoxy(50,17);
    printf("CHALONGCHAI  KAEWPUPA");
    gotoxy(55,19);
    printf("26 APRIL 1992");
    gotoxy(57,21);
    printf("3:30 p.m.");
    gotoxy(15,25);
    printf("Press any key to start calculation ");
    getch();
}
input(group)
int     group;
```

```
/*****************************************************************/
/*  This routine receives input data of each group from          */
/*  console and calculate the summation of some data             */
/*  which required in this system                                */
/*****************************************************************/
{
    int   colx = 10,coly = 40,row = 5;
    int   number;
    sum_x = sum_y = sum_xy = 0.0;
    sum_xsq = sum_ysq = sumx_sq = sumy_sq = 0.0;
    gotoxy(34,1);
    printf("PROCESS (%d)",group);
    gotoxy(5,3);
    printf("DATA INPUT :");
    for(number = 1;number <= 3;number++,row += 2){
        gotoxy(colx,row);          /* for Xi variable */
        printf("I%d(mA) = ",number);
        scanf("%f",&x[group][number]);
        sum_x = sum_x + x[group][number];
        sum_xsq = sum_xsq + pow((double) x[group][number],2);
        gotoxy(coly,row);          /* for Yi varible */
        printf("V%d(mV) = ",number);
        scanf("%f",&y[group][number]);
        sum_y = sum_y + y[group][number];
        sum_ysq = sum_ysq + pow((double) y[group][number],2);
        sum_xy = sum_xy + (x[group][number] * y[group][number]);
    }
    sumx_sq = pow((double) sum_x,2);
    sumy_sq = pow((double) sum_y,2);
}
```

```
process(group)
int     group;
        /*************************************************/
        /*     This routine calculates a0,a1,Cd,Sd       */
        /*      and display the results and P1(x)        */
        /*      equation                                 */
        /*************************************************/
{
        int   col = 10,row = 14;
        int   number;
        gotoxy(26,17);
        printf("Waiting for data processing");
        a0[group] = a1[group] = 0.0;
        Cd[group] = Sd[group] = 0.0;
        P1x = Q = 0.0;
a1[group] = ((3 * sum_xy)-(sum_x * sum_y)) / ((3 * sum_xsq)-sumx_sq);
a0[group] = (sum_y - (a1[group] * sum_x)) / 3;
    for(number = 1;number <= 3;number++){
        P1x = a0[group] + (a1[group] * x[group][number]);
        Q = Q + pow((double) y[group][number] - P1x,2);
    }
    Cd[group] = sqrt((double)1 - (Q / (sum_ysq - (sumy_sq / 3))));
    Sd[group] = sqrt((double)Q);
    gotoxy(26,17);
    printf("                              ");
    gotoxy(5,12);
    printf("RESULT :");
    gotoxy(col,row);
    printf("a0 = %f",a0[group]);
    row += 2;
```

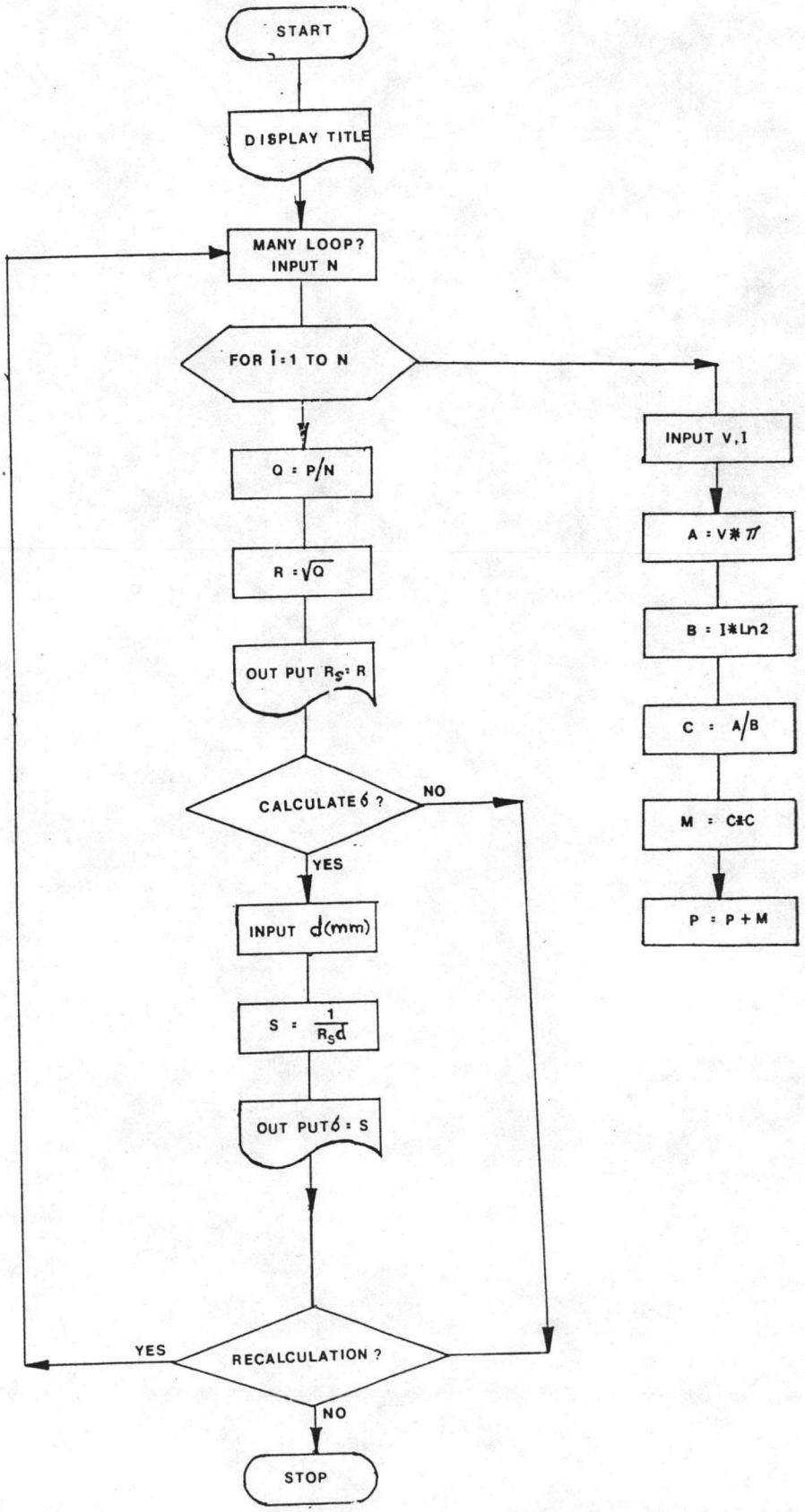
```
    gotoxy(col,row);
    printf("a1 = %f",a1[group]);
    row += 2;
    gotoxy(col,row);
    printf("Cd = %f",Cd[group]);
    row += 2;
    gotoxy(col,row);
    printf("Sd = %f",Sd[group]);
    row += 3;
    gotoxy(col,row);
    printf("V(I)%d = %f + %fI",group,a0[group],a1[group]);
    gotoxy(27,25);
    printf("Press any key to continue");
    getch();
}
process2()
    /*************************************************************************/
    /*  The main job of this routine is to processing data value  */
    /*  for surface  resistance of pyrrole film.                  */
    /*************************************************************************/
{
    float   A,B,C,I = 0.0;
    gotoxy(36,3);
    printf("WAITING");
    gotoxy(38,8);
    printf("FOR");

    gotoxy(30,13);
    printf("FINAL DATA PROCESSING");
    gotoxy(38,18);
```

```
    printf("AND");
    gotoxy(34,23);
    printf("FINAL REPORT");
    A = pi * R1;
    B = pi * R2;
    C = (A + B) / 2;
    X = C / (log((double) 2));
    for(;;){
        I = exp((double) (-A / X)) + exp((double) (-B / X));
        if (I <= 1.000001)
            break;
        else
            X = X / I;
    }
    clrscr();
}
report_process3()
    /*****************************************************/
    /*    This routine display all input data            */
    /*    and the result of each group of data           */
    /*    and ask if user want to calculate              */
    /*    for surface conductivity or want to            */
    /*    continue for another data                      */
    /*****************************************************/
{
    int   col = 5;
    int   row = 5;
    int   group,number;
    clrscr();
    gotoxy(16,1);printf("Group I");
```

```
    gotoxy(56,1);printf("Group II");
    gotoxy(7,3); printf("I(mA)");
    gotoxy(27,3);printf("V(mV)");
    gotoxy(47,3);printf("I(mA)");
    gotoxy(67,3);printf("V(mV)");
    for(number = 1;number <= 3;number++,row += 2){
            col = 5;
            for(group = 1;group <= 2;group++){
                  gotoxy(col,row);
                  printf("%.4f",x[group][number]);
                  col += 20;
                  gotoxy(col,row);
                  printf("%.4f",y[group][number]);
                  col += 20;
              }
    }
    gotoxy(5,13);
    printf("Surface Resistance of Pyrrole Film = %f Ohm/cm",X);
    gotoxy(10,21);
    printf("Do you want to calculate surface conductivity ? (Y/N) ");
    ans2 = getchar();
    while((ans2!='Y')&&(ans2!='y')&&(ans2!='N')&&(ans2!='n'))
            ans2 = getchar();
    if((ans2 == 'Y') || (ans2 == 'y')) process3();
    gotoxy(10,23);
    printf("Do you want to continue for another data ? (Y/N) ");
    ans1 = getchar();
    while((ans1!='Y')&&(ans1!='y')&&(ans1!='N')&&(ans1!='n'))
            ans1 = getchar();
}
```

```
process3()
    /*************************************************/
    /*      This routine calculate the Surface       */
    /*      Conductivity and display the result      */
    /*************************************************/
{
    gotoxy(10,21);
    printf("                                                              ");
    gotoxy(5,16);
    printf("Input thickness of Pyrrole Composite film ");
    printf(" in micro-metre unit.");
    scanf("%f",&d);
    Sigma = 10000 / (X * d);
    gotoxy(5,19);
    printf("Surface Conductivity of Pyrrole Film = %f  S",Sigma);
}
/************************END OF PROGRAM*********************************/
/***********************************************************************/
```

รูปที่ ค.2 แสดง Flow chart ของภาษา C สำหรับคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มซิลิคอนโรล์ ตามแบบวิธี FOUR-POINT PROBE



โปรแกรมที่ 4 โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์ม พอลิพิร์โรล์ ตามแบบวิธี FOUR-POINT PROBE โดยภาษา C

```
/*****************************************************************/
/*     This program calculate the  Surface Resistance and        */
/*     Surface Conductivity of pyrrole composite film which      */
/*     measured by  Four-point probe method.                      */
/*  Program by : Chalongchai Kaewpupa  ; Polymer physic lab.     */
/*               Depart. of Physic ; Faculty of Science ; CU.    */
/*       DATE  ; June ,13 , 1992.                                */
/*****************************************************************/
# include "stdio.h"
# include "conio.h"
# include "match.h"
main()
{
  int i,N;
  float V,I,R,A,B,C;
  float P,M,Q,d,S;
  float pi = 3.141593;
  float Ln = 0.69315;
  char ch1,ch2;
  /*****************************************************/
  /*      This routine display the title  and  start */
  /*      the program.                                 */
  /*****************************************************/
    clrscr();
    gotoxy(26,2);
    printf("CALCULATION  PROGRAMMING ");
    gotoxy(15,7);
    printf("Surface Resistivity and Surface Conductivity");
```

```
 gotoxy(37,9);
 printf("of");
 gotoxy(26,11);
 printf("Pyrrole Composite Film");
 gotoxy(50,17);
 printf("CHALONGCHAI  KAEWPUPA");
 gotoxy(55,19);
 printf("13 June 1992");
 gotoxy(15,25);
 printf("Press any Key to start calculation..");
 getch();
/*********************************************************/
/*     This routine asked you. How many Loop of      */
/*     calculating which do you want ?               */
/*********************************************************/
ch2  =  'Y';
while ((ch2 == 'Y') || (ch2 == 'y')){
      clrscr();
      gotoxy(30,10);
      printf("How many loop ?");
      scanf("%d",&N);
/*************************************************************/
/*  This routine receives input data of each loop from   */
/*  console and calculating the Surface Resistivity.     */
/*************************************************************/
for(i = 1;i = N;++i);
   clrscr();
   gotoxy(35,4);
   printf("DATA  INPUT");
   gotoxy(38,6);
```

```
    printf("LOOP %d",i);
    gotoxy(20,12);
    printf("Enter Voltage (mV)  =   ");
    scanf("%f",&V);
    gotoxy(20,14);
    printf("Enter Current (mA)  =   ");
    scanf("%f",&I);
       A = V*pi;
       B = I*ln;
       C = A/B;
       M = C*C;
}
     Q = P/N;
     R = sqrt(Q);
/*****************************************************************/
/*  This routine display results of Surface Resistivity  */
/*  and asked you. Do you want to calculate Surface      */
/*  Conductivity,don't you.                              */
/*****************************************************************/
clrscr();
gotoxy(30,10);
printf("Average Surface Resistivity  =  %10.4f",R);
gotoxy(30,14);
printf("Do you want to calculate Surface Conductivity?<Y/N>");
ch1 = getchar();
/*****************************************************************/
/*  This routine receives the film thickness and calculate  */
/*  the Surface Conductivity and display the result.        */
/*****************************************************************/
if((ch1 ==  'Y')||(ch1 == 'y')){
```

```
    clrscr();
    gotoxy(20,10);
    printf("Please input the film thickness (mm)...");
    scanf("%f",&d);
    S = 10/(R*d);
    gotoxy(20,12);
    printf("Surface conductivity  =  %10.4f",S);
   }
  /*****************************************************************/
  /*  This routine asked you. Do you want to recalculation,  */
  /*  don't you?                                                   */
  /*****************************************************************/
   gotoxy(30,18);
   printf("Do you want to recalculation?<Y/N>");
   ch2 = getchar();
   }
/************************END OF PROGRAM*********************************/
/***********************************************************************/
```

ภาคผนวก ง

โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า ของฟิวฟิล์มหอสิพิรารัล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LOTUS

โปรแกรมสำเร็จรูปประเภทตารางคำนวณ(spreadsheet) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ออกแบบให้ใช้กับงานด้านการคำนวณทั่ว ๆ ไปที่ไม่สลับซับซ้อนมากนัก เช่น งานบัญชีพื้นฐาน หรืองานคำนวณง่าย ๆ เป็นต้น โดยผู้ใช้เพียงแต่ศึกษาคำสั่งการใช้งานของโปรแกรม ซึ่งเป็นรูปแบบคำสั่งที่ง่าย ๆ สามารถจดจำได้รวดเร็ว ก็สามารถใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปประเภทนี้ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันโปรแกรมสำเร็จรูปประเภทตารางคำนวณนี้นิยมใช้ในงานด้านธุระกิจและงานคำนวณพื้นฐานเป็นอย่างมาก ประกอบกับได้มีการผลิตโปรแกรมประเภทนี้ออกมาแข่งขันกันมากมาย โดยเน้นประสิทธิภาพทางด้านความสามารถในการคำนวณที่รวดเร็ว สามารถคำนวณฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมากขึ้น สามารถสั่งให้โปรแกรมคำนวณโดยอัตโนมัติ เป็นลำดับคล้ายลักษณะการทำงานของโปรแกรมภาษาต่าง ๆ ซึ่งเรียกกันว่า "มาโคร" ได้จึงมีผู้นำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการคำนวณที่ซับซ้อน เช่น ในการวิจัยทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น เพราะผู้ใช้ไม่ต้องเสียเวลาศึกษาการเขียนโปรแกรม ด้วยตัวแปรภาษา เช่น ภาษา BASIC ภาษา C หรือภาษา PASCAL ซึ่งต้องใช้เวลาในการศึกษานานพอสมควร คาดว่าโปรแกรมประเภทนี้จะได้รับความนิยมมากขึ้น และนำมาใช้คำนวณในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นในอนาคต

โปรแกรมประเภทตารางคำนวณ(spreadsheet) ที่มีชื่อเสียงและนิยมใช้กันมากในปัจจุบันนี้ก็คือ LOTUS,EXCEL เป็นต้น แต่นิยมใช้กันมากที่สุดทั่วโลกก็คือ LOTUS เพราะผลิตออกมาก่อน จนยอมรับรูปแบบของโปรแกรมและคำสั่ง เป็นมาตรฐานของโปรแกรมอื่น ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ จึงได้นำโปรแกรมสำเร็จรูป LOTUS มาประยุกต์ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าที่ผิวของแผ่นฟิล์มหอสิพิรารัล โดยคาดว่าจะเป็นแนวทางในการนำโปรแกรมนี้มาประยุกต์ใช้ในทางวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักวิจัย นิสิตและนักศึกษา ได้ศึกษารูปแบบและวิธีการใช้งาน ได้พอสมควร

ก. ความหมายของมาโคร

มาโคร ก็คือการนำคำสั่งการใช้งานของโปรแกรมประยุกต์โปรแกรมนั้น ๆ มาเขียน

เรียงลำดับต่อเนื่องกันตามลำดับการทำงานของโปรแกรม แล้วสั่งให้โปรแกรมประยุกต์ทำงานตามลำดับคำสั่งในมาโครต่อเนื่องกันไป จนกว่าจะหมดคำสั่งหรือจบเงื่อนไขของมาโครนั้น ๆ (ยืน ภู่วรวรรณ,2532)

จะเห็นว่ารูปแบบและลักษณะการทำงานของมาโคร มีลักษณะเหมือนรูปแบบของการเขียนโปรแกรมด้วยตัวแปลภาษา ต่างกันที่การเขียนโปรแกรมด้วยตัวแปลภาษานั้น เมื่อทดสอบการทำงานและแก้ไขข้อบกพร่องเรียบร้อยแล้ว เราสามารถแปล(compile)คำสั่งในโปรแกรมไปเป็นภาษาเครื่อง(machine langaue)ซึ่งเครื่องเข้าใจได้โดยตรง จึงทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ แต่การเขียนโปรแกรมในรูปแบบมาโครนี้ เป็นเพียงเรียงลำดับการทำงานให้คอมพิวเตอร์ทำงานต่อเนื่องเท่านั้น การประมวลผลยังคงผ่านทางโปรแกรมประยุกต์อยู่เหมือนเดิม จึงประมวลผลได้ช้า และความแม่นยำยังมีน้อยกว่ากรณีแรก แต่ได้เปรียบในแง่ของความรวดเร็วในการเรียนรู้ และใช้งาน ดังกล่าวมาแล้วแต่ต้น

เนื่องจากการเขียนมาโครนี้ ผู้เขียนและผู้ใช้จะต้องเข้าใจวิธีการใช้งานและรูปแบบคำสั่งพื้นฐานของโปรแกรม LOTUS ดีพอสมควร จึงจะเข้าใจการทำงานและวิธีใช้งานมาโครได้ ฉะนั้น ท่านผู้อ่านที่สนใจจะนำระบบมาโครที่เขียนขึ้นสำหรับการวิจัยครั้งนี้ไปศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ ควรจะต้องศึกษารูปแบบคำสั่งพื้นฐานการใช้งานของโปรแกรม LOTUS จากตำราการใช้งาน LOTUS ซึ่งมีจำหน่ายมากมายตามท้องตลาดให้เข้าใจเสียก่อน จึงจะเข้าใจโปรแกรมมาโครที่เขียนขึ้นสำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้ (บริษัท เอ. อาร์. อินฟอร์-เมชั่น แอนด์ พับลิเคชั่นจำกัด,2534;ประพัฒน์ อุทรัยภาศ,2532)

การใช้ LOTUS คำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์ม พอลิพิร์รอล์ ตามแบบวิธีของ Van der pauw

การใช้งานและการทำงานของโปรแกรมจะดำเนินตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ข.1 ออกแบบฟอร์มการรับข้อมูล(ค่า V และ I) โดยข้อมูลที่รับเข้ามาจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะรับข้อมูล คือ ค่า V และ I อย่างละ 3 ค่า ดังแสดงในรูปที่ ง.1

```
******** CALCULATION TABLE FOR PYRROLE COMPOSITE FILM *********
                BY VAN DER PAW METHODE

---------------------------
 VOLTAGE   CURRENT    RATIO
  (mV)      (mA)      (V/I)
===========================
                        ERR     Group I
                        ERR    <--------  ||||
                        ERR                ||||      PLEASE...
---------------------------                ||||  <-------Input the data
                        ERR     Group II   ||||       and press key (Alt+A)
                        ERR    <--------  ||||       together to start
                        ERR                          calculating.
===========================
```

รูปที่ ง.1 แสดงแบบฟอร์มการรับข้อมูล ในการคำนวณตามแบบ Van der pauw

และเพื่อให้เห็นภาพและขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจน จึงจะยกตัวอย่างการคำนวณพร้อมกับอธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคู่ไปด้วยกัน โดยจะนำข้อมูลที่วัดได้จากการทดลองครั้งหนึ่งมาใช้ประกอบ ซึ่งเมื่อนำค่า V และ I ที่วัดได้นี้ ป้อนลงไปในแบบฟอร์มที่สร้างขึ้นตามรูปที่ ง.1 จะมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ ง.2

```
******** CALCULATION TABLE FOR PYRROLE COMPOSITE FILM *********
                BY VAN DER PAW METHODE

---------------------------
 VOLTAGE   CURRENT    RATIO
  (mV)      (mA)      (V/I)
===========================
   3.400     0.280     12.14    Group I
   9.000     0.750     12.00   <--------  ||||
  10.800     0.905     11.93                ||||      PLEASE...
---------------------------                ||||  <-------Input the data
  12.700     0.270     47.04    Group II   ||||       and press key (Alt+A)
  33.300     0.720     46.25   <--------  ||||       together to start
  40.600     0.885     45.88                         calculating.
===========================
```

รูปที่ ง.2 แสดงการป้อนข้อมูลลงแบบฟอร์ม ในการคำนวณแบบ Van der pauw

ข.2 เมื่อกดปุ่ม Alt และ A ของแป้นพิมพ์(keybroad)พร้อม ๆ กัน โปรแกรมจะเริ่มการคำนวณ โดยตอนแรกจะคำนวณหา R_1 และ R_2 โดยวิธี least square แล้วนำค่า R_1 และ R_2 ที่คำนวณได้ มาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวฟิล์มพอสิพิรารีสตามสมการที่ 3.1 หลังจากนั้นจะแสดงผลการคำนวณออกมาให้เราทราบ ดังมีลักษณะในรูปที่ ง.3

```
******** CALCULATION TABLE FOR PYRROLE COMPOSITE FILM *********
                BY VAN DER PAW METHODE

---------------------------
 VOLTAGE   CURRENT    RATIO
  (mV)      (mA)      (V/I)
===========================          Equation of straight line
   3.400     0.280     12.14
   9.000     0.750     12.00   ------> V  =   0.09  + (  11.86 )I
  10.800     0.905     11.93
---------------------------
  12.700     0.270     47.04
  33.300     0.720     46.25   ------> V  =   0.46  + (  45.45 )I
  40.600     0.885     45.88
===========================
                                                 ********
 Surface resistance of pyrrole composite film   =    112.66  Ohm/squar
                                                 ********
 Do you want to calculate surface conductivity?(y/n)
```

รูปที่ ง.3 แสดงผลการคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า เมื่อคำนวณแบบ Van der pauw

จากรูปที่ ง.3 สมการ $V = 0.09 + (11.86)I$ และสมการ $V = 0.46 + (45.45)I$ ที่แสดงออกมานี้ ก็คือสมการเส้นตรงซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่า V และ I ของข้อมูลแต่ละชุดนั่นเอง ส่วนค่า R_1 และ R_2 ก็คือความชันของกราฟเส้นตรงที่เขียนขึ้นของทั้งสองสมการนี้ โดย R_1 เท่ากับ 11.86 และ R_2 เท่ากับ 45.45 ตามลำดับ

ข.3 ขณะอยู่ในขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะถามเราว่า "ต้องการจะคำนวณค่าสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มพอลิพิร์โรล์ด้วยหรือไม่ ?" (ดูรูปที่ ง.3 ประกอบ) ถ้าเราตอบ "y" (กดปุ่ม Y) โปรแกรมจะถามค่าความหนา(d)ของแผ่นฟิล์มพอลิพิร์โรล์ เมื่อป้อนค่าความหนาของแผ่นฟิล์มลงไปเรียบร้อย แล้วกดปุ่ม RETURN หรือ ENTER โปรแกรมจะคำนวณและแสดงผลการคำนวณออกมาให้เราทราบ ดังรูปที่ ง.4

```
          Please input the thickness of pyrrole composite film.

          FILM THICKNESS(mm)    0.22
                                                 *********
 Surface conductivity of pyrrole composite film  =    40.35   S/cm
                                                 *********


 Please press key RETURN to start recalculation.
```

รูปที่ ง.4 แสดงผลการคำนวณค่าสภาพนำไฟฟ้า เมื่อคำนวณแบบ Van der pauw

เมื่อกดปุ่ม RETURN หรือ ENTER อีกครั้งหนึ่ง โปรแกรมจะวนกลับไปขั้นตอนที่ ข.1 คือแสดงแบบฟอร์มการรับข้อมูลดังรูปที่ ง.1 เพื่อเริ่มต้นการรับข้อมูลและคำนวณใหม่อีกครั้งหนึ่ง แต่ในกรณีที่เราตอบ "n" (กดปุ่ม N) คือไม่ต้องการคำนวณหาค่าสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์มพอลิพิร์รอล์โปรแกรมจะวนกลับไปยังขั้นตอนที่ ข.1 และแสดงแบบฟอร์มการรับข้อมูลตามรูปที่ ง.1 เพื่อเริ่มต้นการรับข้อมูลและคำนวณใหม่อีกเช่นกัน

ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรมดังที่กล่าวมานี้ จะนำมาใช้ในการออกแบบฟอร์มการรับข้อมูล และประกอบการเขียนโปรแกรมมาโคร ซึ่งมีรายละเอียดของข้อความสูตรต่าง ๆ ใน Worksheet และตัวโปรแกรมมาโคร ดังต่อไปนี้ (ผู้ที่ศึกษาการใช้งานโปรแกรม LOTUS มาแล้วเท่านั้น จึงจะเข้าใจสัญญาลักษณ์ ข้อความ และวิธีการนำไปใช้งานได้)

<u>โปรแกรมที่ 5</u> **มาโครของ LOTUS ใช้คำนวณค่าความต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์มพอลิพิร์รอล์ ตามแบบวิธี Van der pauw และรายละเอียดการออกแบบ Worksheet**

<u>ส่วนที่ 1 ส่วนที่ใช้สร้างแบบฟอร์มการรับข้อมูล</u>

```
B1: PR [W9] `*********
C1: PR `CALCULATION TABLE FOR PYRROLE COMPOSITE FILM
K1: PR [W8] ` **********
D2: PR `BY VAN DER PAW METHODE
B4: PR [W9] \-
C4: PR \-
D4: PR \-
B5: PR [W9] ^VOLTAGE
C5: PR ^CURRENT
D5: PR ^RATIO
B6: PR [W9] ^(mV)
C6: PR ^(mA)
D6: PR ^(V/I)
B7: PR [W9] \=
C7: PR \=
D7: PR \=
```

```
D8: PR (B8/C8)
E8: PR [W9] `     Group I
D9: PR (B9/C9)
E9: PR [W9] `    <--------
G9: PR [W4] \¦
D10: PR (B10/C10)
G10: PR [W4] \¦
I10: PR [W3] `PLEASE...
B11: (F3) PR [W9] \-
C11: (F3) PR \-
D11: PR \-
G11: PR [W4] \¦
H11: PR [W6] ` <---------
J11: PR [W1] `Input the data
D12: PR (B12/C12)
E12: PR [W9] `    Group II
G12: PR [W4] \¦
I12: PR [W3] `and press key (Alt+A)
D13: PR (B13/C13)
E13: PR [W9] `  <--------
G13: PR [W4] \¦
I13: PR [W3] `together to start
D14: PR (B14/C14)
I14: PR [W3] `calculating.
B15: PR [W9] \=
C15: PR \=
D15: PR \=
V4: [W3] `Equation of straight line
U6: [W9] "  ------>
V6: [W3] ^V
```

```
W6: [W1] ^=
X6: [W6] ((B8+B9+B10)-(AA6*(C8+C9+C10)))/3
Y6: [W2] ^+
Z6: [W1] `(
AA6: [W7] ((3*((B8*C8)+(B9*C9)+(B10*C10)))-((C8+C9+C10)*(B8+B9+
          B10)))/((3*((C8*C8)+(C9*C9)+(C10*C10)))-((C8+C9+C10)
          ^2))
AB6: [W1] `)
AC6: [W1] `I
U10: [W9] "  ------>
V10: [W3] ^V
W10: [W1] ^=
X10: [W6] ((B12+B13+B14)-(AA10*(C12+C13+C14)))/3
Y10: [W2] ^+
Z10: [W1] `(
AA10:  [W7] ((3*((B12*C12)+(B13*C13)+(B14*C14)))-((C12+C13+C14)*
            (B12+B13+B14)))/((3*((C12*C12)+(C13*C13)+(C14*C14)))
            -((C12+C13+C14)^2))
AB10: [W1] `)
AC10: [W1] `I
```

ส่วนที่ 2 ส่วนที่เป็นโปรแกรมมาโคร

```
V13: [W3] "\a
W13: [W1] `/wgpd~
W14: [W1] `{home}/ree8..n15~
W15: [W1] `{goto}g10~PLEASE WAIT...~
W16: [W1] `{down}We are calculating.~
W17: [W1] `{windowsoff}{goto}k8~(aa6*@pi)~
W18: [W1] `{down}(aa10*@pi)~
W19: [W1] `{down}(k8+k9)/2~
```

```
W20: [W1] `{down}(k10/@ln(2))~{down}{branch x}~
V22: [W3] "x
W22: [W1] `@exp(-k8/k11)+@exp(-k9/k11)~
W23: [W1] `{if k12<=1.000000001}{branch q}~
W24: [W1] `{down}(k11/k12)~{up}
W25: [W1] `/rvk13~k11~{branch x}~
V27: [W3] "q
W27: [W1] `/rvk13~k17~
W28: [W1] `/mu4..ac10~e7~
W29: [w1] `{goto}a17~  Surface resistance of pyrrole composite
          film   = ~
W30: [W1] `{goto}k16~********~
W31: [W1] `{goto}k18~********~
W32: [W1] `{goto}m17~Ohm/square
W33: [W1] `/ref5~/ref6~
W34: [W1] `{goto}a19~ Do you want to calculate surface
          conductivity?(y/n)~
W35: [W1] `{right 9}{windowon}{branch c}
V37: [W3] `c
W37: [W1] `{get ANSWER}
W38: [W1] `{if ANSWER="y"}{branch s}
W39: [W1] `{if ANSWER<>"n"}{branch c}
W40: [W1] `{goto}a19~ Please press RETURN key to start
          recalculation.~
W41: [W1] `{goto}k17~
W42: [W1] `{?}{branch e}
V44: [W3] `e
W44: [W1] `{windowsoff}
W45: [W1] `/wgpe~
W46: [W1] `/wgpd~
```

```
W47: [W1] `/ref5~/ref6~/rea19~/rej19~
W48: [W1] `/me7..m13~u4~
W49: [W1] `/rea17~
W50: [W1] `/rek16.n18~
W51: [W1] `{goto}e8~   Group I~
W52: [W1] `{down}  <--------~
W53: [W1] `{right 2}\¦~{down}\¦~{down}\¦~{down}\¦~{down}\¦~
W54: [W1] `{goto}e13~  <--------~
W55: [W1] `{up}   Group II~
W56: [W1] `{goto}h11~ <---------~
W57: [W1] `{goto}i10~PLEASE...~
W58: [W1] `{goto}j11~Input the data~
W59: [W1] `{goto}i12~and press key (Alt+A)~
W60: [W1] `{down}together to start ~
W61: [W1] `{down}calculating.~
W62: [W1] `/reb8..c10~
W63: [W1] `/reb12..c14~
W64: U [W1] `{home}{goto}b8~
W65: [W1] `/wgpe~
V67: [W3] `s
W67: [W1] `{goto}a21~{down 4}{right 2}
W68: [W1] `Please input the thickness of pyrrole composite
          film.~
W69: [W1] `{down 2}FILM THICKNESS(mm) = ?~{right 3}
W70: [W1] `{getnumber "FILM THICKNESS = ",THICK}~
W71: [W1] `/CW79~E27~{down 2}{left 4}
W72: [W1] `Surface conductivity of pyrrole composite film     = ~
W73: [W1] `{right 9}(1/((k17)*(THICK/1000)))~
W74: [W1] `{right 3}S/cm~{up}{left 3}**********~{down 2}**********~
W75: [W1] `{down 4}{left 9}Please press key RETURN to start
```

recalculation.~

W76: [W1] `{?}~/REA21..040~{branch e}

V78: [W3] `ANSWER

V79: [W3] `THICK

ค. การใช้ LOTUS คำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์ม พอลิพิรโรล์ ตามแบบวิธีของ Four-point probe

การนำโปรแกรมสำหรับรูป LOTUS มาใช้คำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้าของฟิวฟิล์มพอลิพิรโรล์ตามแบบวิธี four-point probe นั้น จะมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังต่อไปนี้

ค.1 สร้างแบบฟอร์มการรับข้อมูลลงใน Worksheet โดยแบบฟอร์มที่ออกแบบนี้กำหนดให้รับข้อมูล คือค่า V และ I ได้อย่างละ 5 ค่า ลักษณะของแบบฟอร์มที่สร้างขึ้นนี้แสดงอยู่ในรูปที่ ง.5

SURFACE CONDUCTIVITY CALCULATION TABLE
OF PYRROLE COMPOSITE FILM
(measured by four point probe method)

CURRENT (mA)	VOLTAGE (mV)	RATIO (V/I)	SURFACE RESISTIVITY (Ohm/cm)
		ERR	ERR
		ERR	ERR
		ERR	ERR
		ERR	ERR
		ERR	ERR

Average Surface Resistance = ERR Ohm/square

****
PLEASE... Press key
Alt and A together.
If you want to
calculate the
Surface Conductivity.
and Alt + E together
if you want to recal.
****

รูปที่ ง.5 แสดงแบบฟอร์มการรับข้อมูล ในการคำนวณตามแบบ Four-point probe

เพื่อให้เห็นภาพและเข้าใจการทำงานที่ชัดเจน จึงนำข้อมูลจากการทดลองครั้งหนึ่งมาป้อนลงในแบบฟอร์มที่สร้างขึ้นนี้ ซึ่งเมื่อเราป้อนข้อมูลครบทั้ง 5 แถวแล้ว โปรแกรมจะคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิวฟิล์มพอลิพิรโรล์ และแสดงค่าออกมาทันทีโดยอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ ง.6 (อยู่ในหน้าต่อไป)

```
        SURFACE CONDUCTIVITY CALCULATION TABLE
              OF PYRROLE COMPOSITE FILM
           (measured by four point probe method)

|=============================================|
|CURRENT    VOLTAGE    RATIO    SURFACE RESISTIVITY|  **********************
|  (mA)       (mV)     (V/I)        (Ohm/cm)      |  PLEASE... Press key
|---------------------------------------------|     Alt and A together.
|  0.63         38      60.3          273.38045   |    If you  want to
|  0.25         15        60          271.94160   |   calculate the
|  0.62         38      61.2          277.78981   |  Surface Conductivity.
|  0.74         44      59.4          269.49168   | and Alt + E  together
| 0.742         45      60.6          274.87359   | if you want to recal.
|=============================================|  **********************
   Average Surface Resistance  =    273.50961      Ohm/square
                                    ************
```

รูปที่ ง.6 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า เมื่อคำนวณตามแบบ Four-point probe

ค.2 ในกรณีเราต้องการจะคำนวณค่าสภาพนำไฟฟ้าของผิวฟิล์มพอลิพิร์โรล์ ก็ทำได้โดยกดปุ่ม Alt และ A บนแป้นพิมพ์พร้อม ๆ กัน โปรแกรมจะเริ่มทำงานโดยการถามค่าความหนาของแผ่นฟิล์มพอลิพิร์โรล์ในหน่วยมิลลิเมตร ซึ่งเมื่อป้อนค่าความหนาของแผ่นฟิล์มลงไปแล้วกดปุ่ม RETURN หรือ ENTER โปรแกรมจะคำนวณและแสดงค่าของสภาพนำไฟฟ้าออกมาทันที ดังแสดงในรูปที่ ง.7

```
        Please input the thickness of pyrrole composite film.

      FILM THICKNESS(mm)  =   0.5
                                          *********
  Surface conductivity of pyrrole composite film = 7.312357 S/cm
                                          *********


          Press key RETURN to recalculation.
```

รูปที่ ง.7 แสดงผลการคำนวณค่าสภาพนำไฟฟ้า เมื่อคำนวณแบบ Four-point probe

เมื่อเรากดปุ่ม RETURN หรือ ENTER อีกครั้งหนึ่ง โปรแกรมจะวนกลับไปสู่ขั้นตอนแรก คือข้อ ค.1 อีกครั้งหนึ่ง โดยจะสร้างแบบฟอร์มการรับข้อมูล เพื่อพร้อมที่จะเริ่มต้นการรับข้อมูลและคำนวณใหม่อีกครั้งหนึ่ง

แต่ในกรณีที่เราไม่ต้องการคำนวณค่าสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มพอลิพิร์โรล์ ก็กดปุ่ม Alt และ E พร้อม ๆ กัน โปรแกรมจะลบข้อมูลเดิมในแบบฟอร์มทิ้งจนหมด เพื่อพร้อมที่เริ่มต้นการรับข้อมูลและคำนวณใหม่อีกครั้ง

ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรมดังที่กล่าวมานี้ จะนำมาใช้ในการออกแบบฟอร์มการรับข้อมูล และประกอบการเขียนโปรแกรมมาโคร ซึ่งมีรายละเอียดของข้อความสูตรต่าง ๆ ใน Worksheet และตัวโปรแกรมมาโคร ดังต่อไปนี้

โปรแกรมที่ 6 **มาโครของ LOTUS ใช้คำนวณค่าความต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าของฟิล์มพอลิพิร์โรล์ ตามแบบวิธี Four-point probe และรายละเอียดการออกแบบ Worksheet**

ส่วนที่ 1 ส่วนที่เป็นแบบฟอร์มการรับข้อมูล

```
B2: [W7] `    SURFACE CONDUCTIVITY CALCULATION TABLE
C3: [W3] `    OF PYRROLE COMPOSITE FILM
B4: [W7] `     (measured by four-point probe method)
B6: [W7] \-
C6: [W3] \-
D6: [W7] \-
E6: [W3] \-
F6: [W5] \-
G6: [W3] \-
H6: [W7] \-
I6: [W10] \-
J6: [W2] \-
K6: [W1] \-
B7: [W7] "CURRENT
D7: [W7] "VOLTAGE
F7: [W5] ^RATIO
H7: [W7] `SURFACE RESISTANCE
B8: [W7] ^  (mA)
D8: [W7] "(mV)
```

```
F8: [W5] ^(V/I)
H8: [W7] `    (Ohm/square)
B9: [W7] \-
C9: [W3] \-
D9: [W7] \-
E9: [W3] \-
F9: [W5] \-
G9: [W3] \-
H9: [W7] \-
I9: [W10] \-
J9: [W2] \-
K9: [W1] \-
L9: ` **************************
F10: [W5] (D10/B10)
I10: [W10] (D10*@PI)/(B10*@LN(2))
L10: ` PLEASE... Press key
F11: [W5] (D11/B11)
I11: [W10] (D11*@PI)/(B11*@LN(2))
L11: `    Alt and A together.
F12: [W5] (D12/B12)
I12: [W10] (D12*@PI)/(B12*@LN(2))
L12: `   If you  want to
F13: [W5] (D13/B13)
I13: [W10] (D13*@PI)/(B13*@LN(2))
L13: `  calculate the
F14: [W5] (D14/B14)
I14: [W10] (D14*@PI)/(B14*@LN(2))
L14: ` Surface Conductivity.
B15: [W17] \=
C15: [W3] \=
```

```
D15: [W7] \=
E15: [W3] \=
F15: [W5] \=
G15: [W3] \=
H15: [W7] \=
I15: [W10] \=
J15: [W2] \=
K15: [W1] \=
L15: ` ****************************
B16: [W7] `   Average Surface Resistance  =
I16: [W10] @SQRT(((I10^2)+(I11^2)+(I12^2)+(I13^2)+(I14^2))/5)
I17: [W10] \*
J17: [W2] \*
K17: [W1] \*
```

ส่วนที่ 2 ส่วนที่เป็นโปรแกรมมาโคร

```
W3: `\A
X3: `{GOTO}A21~{DOWN 4}{RIGHT 2}
X4: `Please input the thickness of pyrrole composite film.~
X5: `{DOWN 2}FILM THICKNESS(mm)  =    ? ~{RIGHT 6}
X6: `{GETNUMBER "FILM THICKNESS(mm)  =  ",THICK}~
X7: `/CX17~H27~{DOWN 2}{LEFT 8}
X8: `Surface conductivity of pyrrole composite film = ~
X9: `{RIGHT 11}(1/((I16)*(THICK/1000)))~
X10: `{RIGHT}S/cm~{UP}{LEFT}*********~{DOWN 2}*********~
X11: `{DOWN 4}{LEFT 8} Press key RETURN to recalculation.~
X12: `{?}~{HOME}{DOWN 9}{RIGHT}/REB10..D14~
X13: `/REA21..L30~{QUIT}
```

ภาคผนวก จ

คุณสมบัติของพอลิไวนิลอะซิเตต (Poly(vinyl acetate);PVAc)

$$\left[-CH_2CH(OOCCH_3)- \right]_n$$

พอลิไวนิลอะซิเตต เป็นพอลิเมอร์จากพวกไวนิลเอสเตอร์(vinyl ester) ที่มีการใช้กันมากที่สุด พอลิเมอร์ชนิดนี้ไม่นิยมใช้เป็นพลาสติก แต่ใช้ในรูปของอิมัลชัน เช่น เป็นตัวยึด (binder) สีอิมัลชัน และเป็นสารตั้งต้นสำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ชนิดอื่นอีก 2 ชนิด ที่ไม่สามารถเตรียมได้โดยตรงจากมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ของทั้งสองนั้น เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล และ พอลิไวนิลอะซิทาล(poly(vinyl acetal)) พอลิไวนิลอะซิเตตเตรียมขึ้นในเชิงการค้าครั้งแรกในประเทศเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1920 (บรีชา พหลเทพ,2534; ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์,2526)

การเตรียมพอลิเมอร์

การเตรียมพอลิไวนิลอะซิเตต ใช้ปฏิกิริยารวมตัวโดยฟรีแรดิคอล มีวิธีการเตรียมโดยใช้กระบวนการได้หลายแบบ เช่น แบบบัลค์ แบบสารละลาย แบบแขวนลอย และแบบอิมัลชัน รอกาสย้ายสายโซ่มีถึง 30% แต่วิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมคือ แบบอิมัลชัน ซึ่งมีสูตรสำเร็จที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป ดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก
ไวนิลอะซิเตต	100
น้ำ	100
hydroxyethylcellulose	2.5 (เป็น protective cooloid)
poly(ethylene glycol)ether ของ lauryl alcohol	2.5 (เป็น surfactant)
sodium dodecylbenzenesulphonate	0.1 (เป็น surfactant)

sodium bicarbonate	0.5 (เป็น buffer)
potassium persulphate	0.5 (เป็นตัวเริ่ม)

พอลิเมอไรเซชันจะกระทำที่อุณหภูมิประมาณ 75 - 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 - 4 ชั่วโมง ปฏิกิริยาคายความร้อนประมาณ 118 kJ./mol และต้องป้องกันปฏิกิริยาด้วยการทำให้เย็นพอเหมาะ การป้องกันการไฮโดรลิซิสของพอลิไวนิลอะซีเตต ทำโดยควบคุมค่า pH ให้คงที่

คุณสมบัติและการนำไปใช้

พอลิไวนิลอะซีเตตมีโครงสร้างแบบอะเท็กติก จึงไม่มีความเป็นผลึกเลยหรืออยู่ในลักษณะอสัณฐาน มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 35,000 - 50,000 มีอุณหภูมิ **กลาสทรานซิชัน สูงกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือประมาณ 28 องศาเซลเซียส** จึงอ่อนตัวได้ง่าย ไม่เหมาะที่จะใช้งานเป็นพลาสติก เพราะจะอ่อนตัวลงกลายเป็นวัตถุที่นิ่มและเหนียวเหมือนยาง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย (เหมาะที่จะใช้ทำเป็นหมากฝรั่ง) สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายหลายชนิด ได้แก่ อะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซินและโทลูอีน คลอริเนตไฮโดรคาร์บอน เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์มและไดคลอไรเอทิลีน แอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำ ๆ เช่น เมทานอลและเอทานอล สารจำพวกเอสเตอร์ เช่น เอทิลอะซีเตต คีโตน และเมทิลเอทิลคีโตน เป็นต้น แต่จะทนทานต่อจารบี(grease) ไขมัน ขี้ผึ้ง และน้ำมัน เป็นอย่างดี **ถ้าแช่น้ำไว้นาน ๆ จะพองตัวและอ่อนตัว** สามารถไฮโดรไลซ์โดยกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งไปเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลอะซีทาลได้ ถ้าถูกความร้อนเกิน 70 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยา โดย CH_3COOH จะหลุดออกจากโมเลกุล ได้โพลีอีน(polyene) ตามสมการ

$$\sim CH_2 - \underset{\underset{OCOCH_3}{|}}{CH} - CH_2 - \underset{\underset{OCOCH_3}{|}}{CH} - CH_2 - \underset{\underset{OCOCH_3}{|}}{CH}\sim \xrightarrow{-CH_3COOH} \sim CH = CH - CH = CH - CH = CH \sim$$

การนำพอลิไวนิลอะซีเตตไปใช้งาน จึงมักจะนำไปใช้เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิไวนิลอะซีทาล ไม่นิยมใช้กับงานพลาสติก ส่วนในทางการค้าจะนำไปทำสีอิมัลชัน กาวลาเท็กซ์ ทำฟิล์มเคลือบผิว เช่น ฟิล์มถ่ายรูป เคลือบพื้น ฯลฯ เป็นต้น

คุณสมบัติที่สำคัญของ **Poly(vinyl acetate);(PVAc)** ได้นำแสดงไว้ในตารางที่ จ.1 ในหน้าต่อไปนี้ (Brandrup,1975)

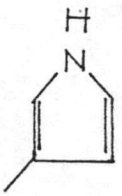
ตารางที่ จ.1 สรุปคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของ Poly(vinyl acetate);(PVAc)

Property	Value
Absorption of Water.[%]	approx. 3 - 6 at 20 °C for 24 to 144 hours
Decomposition Temperature. [°C]	150
Density. [Mg m^{-3}]=[g/cm^3]	1.191 at 20 °C
	1.19 at 25 °C
	1.17 at 50 °C
	1.11 at 120 °C
	1.05 at 200 °C
Dielectric Constant	3.5 at 50 °C and $2 * 10^3$ kHz
	8.3 at 150 °C and $2 * 10^3$ kHz
Dipole Moment.[eSU (per monoment unit)	$2.3 * 10^{-18}$ at 20 °C
	$1.77 * 10^{-18}$ at 150 °C
Glass Transition Temperature [°C]	28 - 31
Pressure dependence. [K bar^{-1}]	0.022
Hardness. [Shore units]	L 80 - 85 at 20 °C
Heat Capacity. [kJ kg^{-1}]	1.465 at 30 °C
Heat of Polymerization. [kJ mol^{-1}]	87.5
Specific Volume. [1 kg^{-1}]	$0.823 + 6.4\ 10^{-4t}$ at t = 100 - 200 °C
	0.84 at T_g = 28 °C
Surface Resistance. [$\Omega\, cm^{-1}$]	$5 * 10^{-11}$
Surface Tension. [mN m^{-1}]	36.5 at 20 °C
	28.6 at 140 °C
	25.9 at 180 °C
Tensile Strength. [MPa]=[N mm^{-2}]	29.4 - 49.0 at 20 °C
Thermal Conductivity. [W m^{-1} k^{-1}]	0.159
Young's Modulus. [MPa]=[N mm^{-2}]	600 at 25 °C and 50% RH

ภาคผนวก ฉ

คุณสมบัติของพิร์โรล์ (Pyrrole)

Pyrrole. Azole; imidole; divinylenimine. C_4H_5N ; mol wt 67.09. C 71.60% , H 7.51% , N 20.89% . A constituent of coal tar and bone oil: Runge, *Ann. Phys.* **31, 67** (1834). Prepd industrially by fractional distillation of bone oil, or by the thermal decompn of ammonium mucate with glycerol or mineral oil: McElvain, Bolliger, *Org. Syn.* coll. vol.I(2nd ed., 1941) p 473; Blicke, Powers, *Ind. Eng. Chem.* 19, 1334 (1927). Also formed on heating of albumin; on heating sheep's wool with aq barium hydroxide soln; by pyrolysis of gelatin. Alternate prepn from acetaldehyde and ammonia; Tschitchibabin, *Chem. Zentr.* 1916, I, 920; from succindialdehyde with ammonia and acetic acid: Harries, *Ber.* 34,1490(1901); 35, 1183(1902); distilling succinimide with zinc or sodium: Bell, Bernthsen, *Ber.* 13, 877, 1049(1180). *Review:* Fischer-Orth, *Die Chemie des Pyrroles* (Leip, 1934-1940); E. Vittort, L. R. Anderson in Kirt-Othmer *Encyclopedia of Chemical Technology* vol. 19 (Wiley-Interscience, New York, 3rd ed., 1982) pp 499-520.



Liquid. Agreeable empyreumatic odor resembling that of chloroform. Colorless when freshly distilled, darkens unless every trace of oxygen is removed. d 0.9691; bp_{761} 130-131 C; best distilled *in vacuo*. n 1.5085. Flash pt, closed cup: 102 F (390 C). Absorpion spectrum: Menczel, *Phys. Chem.*125, 161; *Chem. Zentr.* 1927, I,2510. Sparingly sol in water; freely sol in alcohol, benzene, ether; insol in aq alkalies. Sol in dil acids with decompn. Solns in dil HCL yield pyrrole red, an amor-

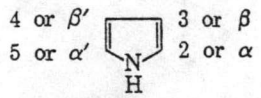
phous, orange-colored substáce; also polymerization takes place under the influence og acids ang glycols.

Pyrrole a five-membered, heterocyclic system, is a fundamental structural subunit of many of the most important biological molecules, eg, heme, chlorophyll, the bile pigments, certain amino acids, many alkaloids, and some enzymes. Early interest in the chemistry of pyrrole began with the discovery of indole (benzopyrrole) as the fundamental nucleus of indigo. Pyrrole was first obtained in 1834 from the destructive distillation of coal, bone, or proteins. It was characterized in 1858, and its composition was determined in 1870. Ring positions in pyrrole are designated by number or Greek letter.

Physical Properties of Pyrrole

Pyrrole is a colorless, slightly hygroscopic liquid and, if fresh, it emits an odor like that of chloroform. However, it darkens on exposure to air and eventually produces a dark brown resin. It can be preserved by excluding air from the storage container, preferably by displacement with ammonia to prevent acid-catalyzed polymerization. Some physical properties of pyrrole are listed in Table 1.

Pyrrole has a planar, pentagonal (C_{2v}) structure and is aromatic in its reactions since it has an aromatic sextet of electrons. It is isoelectronic with the cyclopentadienyl

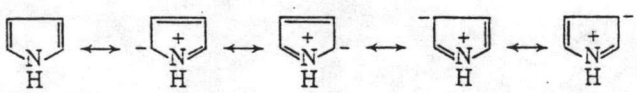


(1)
pyrrole

Table 1. Physical Properties of Pyrrole

Property	Value
melting point, °C	−18.5
boiling point, °C	130
critical temperature, °C	366
density, d_4^{20}, g/cm^3	0.9698
refractive index, n_D^{20}	1.5085
dielectric constant (at 20°C), ϵ	8.00
flash point (closed-cup), °C	39

anion. The π-electrons are delocalized throughout the ring system; thus, pyrrole is best characterized as a resonance hybrid with contributing structures (1)–(5). These structures explain its lack of basicity, which is less than pyridine, its unexpectedly high acidity, and its pronounced aromatic character.



(1) (2) (3) (4) (5)

The resonance energy is ca 100 kJ/mol (24 kcal/mol) or about two-thirds that of benzene. Its resonance energy is intermediate between those of furan and thiophene; thiophene has the highest value.

The contributions from the canonical forms have been calculated, and the contributions from the equivalent polar structures (2) and (3) dominate those of (4) and (5). Thus, electrophilic substitution is predicted to occur in the α-position, and this is proven experimentally in most cases. Nitrosation and selenocyanation occur at the β-position.

Many of the physical characteristics of pyrrole indicate at least partial association. In particular, the boiling point is 98°C higher than that of furan. It has been postulated that various associated dimeric and higher structures occur as results of hydrogen bonding.

Pyrrole is freely soluble in alcohol, benzene, and diethyl ether, but is only sparingly soluble in water and in aqueous alkalies. It dissolves with decomposition in dilute acids. Pyrroles with substituents in the β-position are usually less soluble in polar solvents than the corresponding α-substituted pyrroles. Pyrroles that have no substituent on nitrogen readily lose a proton to form the resonance-stabilized pyrrolyl anion, and alkali metals react with pyrrole in liquid ammonia to form metal salts. However, pyrrole (pK_a = ca 17.5) is a weaker acid than methanol. The acidity of the pyrrole hydrogen is greatly increased by electron-withdrawing groups, eg, the pK_a of 2,5-dinitropyrrole

The dipole moment varies according to the solvent; it is ca 5.14×10^{-30} C·m (ca 1.54 D) in pure pyrrole and ca 6.0×10^{-30} C·m (ca 1.8 D) in a nonpolar solvent such as benzene or cyclohexane. In solvents to which it can hydrogen bond, the dipole moment may be much higher. The dipole is directed toward the ring from a positive nitrogen atom, whereas the saturated nonaromatic analogue pyrrolidine. And has a dipole moment of 5.24×10^{-30} C·m (1.57 D) and is oppositely directed.

Pyrrole and its alkyl derivatives are π-electron rich and form colored charge-transfer complexes with acceptor molecules, eg, iodine, tetracyanoethylene, etc

Polypyrroles. Highly stable, flexible films of polypyrrole are obtained by electrolytic oxidation of the appropriate pyrrole monomers The films are not affected by air and can be heated to 250°C with little effect. It is believed that the pyrrole units remain intact and that linking is by the α-carbons. Copolymerization of pyrrole with *N*-methylpyrrole yields compositions of varying electrical conductivity, depending upon the monomer ratio. Conductivities as high as $10^4/(\Omega \cdot m)$

(KIRK-OTHMER, 1982)

ประวัติของผู้เขียน

นายฉลองชัย แก้วภูผา เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2505 ณ อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี จบการศึกษาปัณฑิต จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน เมื่อปีการศึกษา 2528 เข้าศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2531 ปัจจุบันรับราชการครู ที่โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี