



เครื่องวิเคราะห์แก๊ส

GAS CHROMATOGRAPHY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

034995

ปีการศึกษา 2537

เครื่องวิเคราะห์แก๊ส



อาจารย์ สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2537

ภาควิชา

เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

เครื่องวิเคราะห์แก๊ส

ผู้จัดทำ

1. นาย ปรดิษฐ์

สฤทธ

35.103277

2. นาย สมชาย

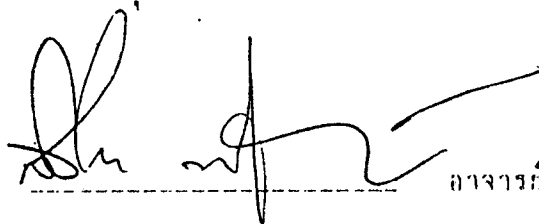
นุ่มฝึก

35.103295

3. นาย สุรพงษ์

จันทร์เพ็ญ

35.103301



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐาเขต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์แก๊ส

ปริญญ์ สุนทรส
สมชาย นุ่มฝึก
สุรพงษ์ จันทรเพ็ญ

อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นจากผลงานที่ได้สร้างและพัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเราเรียกเครื่องมือนี้ว่าแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) โดยผู้ทำการวิเคราะห์สารจะทำการฉีดสารไฮโดรคาร์บอนที่จะวิเคราะห์เข้าไปในเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟี และจะให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปของพีค แล้วนำพีคไปเปรียบเทียบกับเวลาของสารมาตรฐานก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาถึงการฉีดสารเข้าไปในสารจะถูกฉีดเข้าไปในชุดอินเจ็คเตอร์ (Injector) และถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิของสารที่เราจะวิเคราะห์ จากนั้นจะถูกนำส่งเข้าไปในคอลัมน์เพื่อทำการแยกสารที่จะวิเคราะห์และถูกส่งต่อไปยัง ชุดตรวจจับ (Detector) ก็จะให้ผลลัพธ์ออกมา และนำค่าที่ได้ไปแสดงผล การที่สารที่จะวิเคราะห์ถูกฉีดเข้าไปในเครื่องนั้นจะมีแก๊สพา (Carrier gas) เป็นตัวพาสารจากชุดอินเจ็คเตอร์ไปจนถึงชุดตรวจจับ เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ได้สอดคล้องกับความต้องการของที่มีความสามารถ และราคาอุปกรณ์ที่เหมาะสม เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีที่คณะผู้จัดทำสร้างขึ้นนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้อีก เพื่อให้สอดคล้องตามความต้องการและมีความทันสมัยตามโลกปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GAS CHROMATOGRAPHY

Parinai Soontaros

Somchai Numfak

Surapong Chantrapuen

Singthong Pattanaseathanont Advisor

1994

Abstract

Our highest compliment to the greatest efforts and diligences on achieving. This thesis complied from the existing accomplishment and later on developed to be the hydrocarbon analyzer, hereinafter called "GAS CHROMATOGRAPHY" (GC). The way it works is to inject the resolved hydrocarbon substance, hereinafter called "sample" into the gas chromatography. The injected sample is being heated according to the actual temperature of the resolved sample. Then it will be analyzed in the column and circulated to the gas detector by the carrier gas. The result comes out in the peak form, used it to compare to the standard substance time. GAS CHROMATOGRAPHY has become an invaluable analysis tool in petrochemical plants, chemical manufacturing, for research, quality control, and environmental testing. At each stage of the evolution of the GAS CHROMATOGRAPHY technology, user seem to seek for latest technology for chromatography system that set the standard for system performance and capability. Our group's GAS CHROMATOGRAPHY provides the comprehensive capabilities and system configurations that are essential to meet today's challenges and tomorrow's growth. Hope that it will be further developed for future generation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

คำนำ

บทที่ 1. บทนำ

- 1.1 ทฤษฎีของแกสโครมาโทกราฟี.....1
- 1.2 คำศัพท์ของเครื่อง..... 17

บทที่ 2. หลักการและอุปกรณ์

- 2.1 แกสพา..... 27
- 2.2 ตัวควบคุมอัตราการไหล..... 29
- 2.3 ระบบฉีดเข้า..... 32
- 2.4 คอลัมน์..... 37
- 2.5 เครื่องตรวจจับ..... 68
- 2.6 เทอร์โมสแตต..... 80
- 2.7 เครื่องบันทึก..... 82

บทที่ 3. การคำนวณและสร้างเครื่อง

- 3.1 วงจรและการทำงานของเครื่อง..... 85
- 3.2 ลายวงจรของชุดควบคุมต่างๆ..... 91

บทที่ 4. การทดลองและผลการทดลอง

- 4.1 ผลการทดลอง..... 93

บทที่ 5. สรุปผลและวิจารณ์

- 5.1 สรุป..... 128

ภาคผนวก

- โปรแกรมการทำงาน..... 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 Various Chromatographic techniques.....	1
รูปที่ 1.2 Basic diagram of a gas chromatography.....	3
รูปที่ 1.3 แสดง Mechanism ของ chromatographic separation.....	5
รูปที่ 1.4 Calculation of theoretical plates.....	8
รูปที่ 1.5 แสดงถึงผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อ Eddy diffusion.....	10
รูปที่ 1.6 แสดงถึงผลของช่องว่างระหว่างอนุภาค Packing column ที่มีต่อ Eddy diffusion.....	10
รูปที่ 1.7 แสดงถึง Longitudinal diffusion.....	11
รูปที่ 1.8 ผลของขนาดของอนุภาคต่อ mass transfer.....	12
รูปที่ 1.9 แสดง Eddy diffusion ของสารที่จะวิเคราะห์.....	13
รูปที่ 1.10 Relationship between theoretical plate height and velocity of carrier gas.....	14
รูปที่ 1.11 แสดงผลของอนุภาคในคอลัมน์ที่มีขนาดต่างกันต่อค่า HETP.....	15
รูปที่ 1.12 แสดงลักษณะของ packed column.....	15
รูปที่ 1.13 แสดงลักษณะของ capillary column.....	16
รูปที่ 1.14 ตัวอย่างของ chromatogram.....	16
รูปที่ 1.15 Capacity Ratio.....	18
รูปที่ 1.16 Selectivity.....	19
รูปที่ 1.17 การหาจำนวน plate.....	20
รูปที่ 1.18 การคำนวณหา solvent efficiency.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.19 แสดงผลของ column efficiency and solvent efficiency.....	22
รูปที่ 1.20 แสดงการหา asymmetry factor.....	23
รูปที่ 1.21 แสดงผลของ peak tailing ที่มีต่อค่า retention time ของสารที่เปลี่ยนไปตามขนาดของสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปในคอลัมน์.....	23
รูปที่ 1.22 Calculation of Resolution.....	24
รูปที่ 1.23 ตัวอย่างของค่า Resolution.....	25
รูปที่ 1.24 แสดงผลของ Resolution จากการเปลี่ยนแปลง k' , N และ α	25
รูปที่ 1.25 แสดงถึง factor ต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการแยกสาร.....	26
รูปที่ 2.1 แสดง diagram ของ gas chromatograph.....	27
รูปที่ 2.2 แสดง Needle valve หรือ flow controller.....	29
รูปที่ 2.3 เครื่องวัดอัตราเร็วของแก๊สแบบ Mobile ball flow meter.....	31
รูปที่ 2.4 เครื่องวัดอัตราเร็วของแก๊สแบบ Manometric flow meter.....	31
รูปที่ 2.5 เครื่องวัดอัตราเร็วของแก๊สแบบ Soap bubble flow meter.....	32
รูปที่ 2.6 แสดง Injection port.....	32
รูปที่ 2.7 เทคนิคของการ splitter ตัวอย่าง.....	34
รูปที่ 2.8 แสดง Split injection.....	36
รูปที่ 2.9 แสดง Spiltless injection.....	36
รูปที่ 2.10 แสดง cool, on-column injection.....	37
รูปที่ 2.11 แสดงการทำปฏิกิริยาของ silanol group กับ hexamethyl disilazane.....	39
รูปที่ 2.12 แสดงการทำปฏิกิริยาของ silanol group กับ dimethyl dichlorosilane.....	40
รูปที่ 2.13 วิธีการใช้คอลัมน์ชนิด silica gel จับคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนที่จะเข้าคอลัมน์ชนิด molecular sieve.....	44

รูปที่ 2.14	แสดงการแยกสารประกอบของซิลเฟลอร์โกลที่ใช้คอลัมน์ Teflon Chromosil 310, อุณหภูมิคอลัมน์ 50 °C, อัตราความเร็วของแก๊สพา 20 ml/min, เครื่องตรวจวัด : Flame Photometric.....	45
รูปที่ 2.15	แสดงการแยกสารประกอบพวก light hydrocarbon และแก๊ส คอลัมน์ Carbpsoeve S-II.....	46
รูปที่ 2.16	ผลของโพลาไรซ์ของ สเตชันนารีเฟส ต่อการแยกสาร.....	50
รูปที่ 2.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง retention time และ % liquid phase ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิด peak ที่กว้างล้น.....	56
รูปที่ 2.18	แสดงความสัมพันธ์ของ Retention time และอุณหภูมิของคอลัมน์.....	57
รูปที่ 2.19	แสดงผลของอุณหภูมิของคอลัมน์ และความเข้มข้นของ stationary phase ที่มีผลต่อการแยกสาร.....	58
รูปที่ 2.20	แสดงวิธีการนำ packing material ที่ใช้งานไม่ได้แล้วออกจากคอลัมน์.....	60
รูปที่ 2.21	แสดงการบรรจุคอลัมน์ด้วย packing material.....	61
รูปที่ 2.22	แสดงให้เห็นลักษณะ CROSS SECTION ของคอลัมน์ชนิดต่าง ๆ.....	63
รูปที่ 2.23	แสดงลักษณะของ WCOT Column and PLOT Column.....	64
รูปที่ 2.24	แสดง chromatogram ที่ได้จาก capillary column และ packed column.....	65
รูปที่ 2.25	แสดงโครงสร้างบนเกิดการใช้งานของคอลัมน์.....	68
รูปที่ 2.26	แสดงการหา Minimum detectable quantity.....	71
รูปที่ 2.27	แสดง Linearity, Sensitivity และ Detection limit.....	72
รูปที่ 2.28	แสดง TCD detector.....	73
รูปที่ 2.29	แสดงวงจรไฟฟ้าของ TCD.....	73
รูปที่ 2.30	Flame ionization detector (FID).....	75
รูปที่ 2.31	แสดงวงจรไฟฟ้าของ FID.....	76

รูปที่ 2.32 Electron capture detector (ECD).....	78
รูปที่ 2.33 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อ ECD.....	79
รูปที่ 2.34 Column oven ใน GC.....	81
รูปที่ 2.35 Potentiometric recorder.....	82
รูปที่ 2.36 แสดง chromatogram และ peak area ที่ได้จาก computing integrator.....	83
รูปที่ 3.1 วงจร CPU & KEYBOARD.....	85
รูปที่ 3.2 วงจร TEMP CONTROL.....	86
รูปที่ 3.3 วงจร DETECTOR.....	87
รูปที่ 3.4 วงจร POWER SUPPLY.....	88
รูปที่ 3.5 ลายวงจรของชุดควบคุมของหมึก.....	91
รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส.....	123
รูปที่ 4.2 แสดงด้านหน้าเครื่องวิเคราะห์แก๊ส.....	124
รูปที่ 4.3 แสดงด้านในของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส.....	125
รูปที่ 4.4 แสดงภาพอาร์ตควบคุมของหมึก.....	125
รูปที่ 4.5 แสดงด้านข้างของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส.....	126
รูปที่ 4.6 แสดงภาพสเก็ทเกอ์.....	126
รูปที่ 4.7 แสดงภาพฟลักเกอ์.....	127
รูปที่ 4.8 จอแสดงผลการวิเคราะห์.....	127

Thin Layer Chromatography (TLC)

Gas-Solid chromatography (GSC)

Packed Columns

Open Tubular Columns

Thin Layer Chromatography (TLC)

Foam chromatography (FC)

Emulsion Chromatography

Gas-liquid Chromatography (GLC)

Packed Columns

Open Tubular Columns

ION EXCHANGE

Liquid-Solid Chromatography (LSC)

Paper Chromatography (PC)

Thin-Layer Chromatography (TLC)

EXCLUSION CHROMATOGRAPHY

Gel Filtration or Permeation

Chromatography (GPC)

Molecular Sieves

รูปที่ 1.1 Various Chromatographic techniques

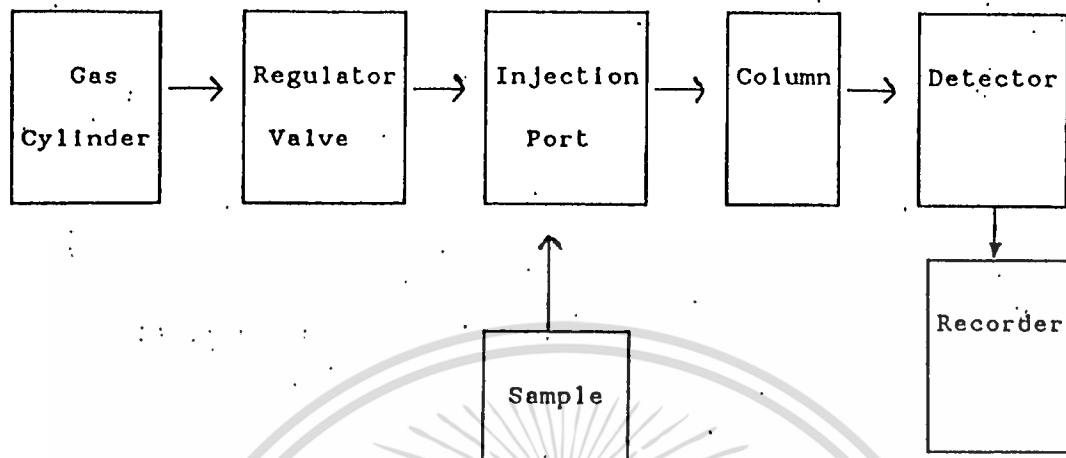
ในปี ค.ศ. 1941 Martin, A.J.P. และ Synges, R.L.M. ได้ค้นพบและประสบความสำเร็จเกี่ยวกับการพัฒนาแก๊สลิควิดโครมาโตกราฟี (Gas Liquid Chromatography) จนได้รับรางวัลโนเบล ในปี ค.ศ. 1952 และ Gidding, J.C. ได้พัฒนาทฤษฎีเบื้องต้นต่าง ๆ ทางโครมาโตกราฟี (Chromatography) การค้นพบวิธีทางแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) ทำให้สามารถวิเคราะห์สารโดยการแยกสารและตรวจสอบสารที่เป็นแก๊ส, ของเหลวและของแข็งที่ระเหยง่ายได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้ในการศึกษาโครงสร้างของสารเคมีได้อีกด้วย

1.1 ทฤษฎีของแก๊สโครมาโตกราฟี (GC)

แก๊สโครมาโตกราฟี (GC) เป็นการแยกสารอีกวิธีหนึ่ง โดยให้สารที่ต้องการแยกกระจายไประหว่างสองเฟส (phase) คือ โมบายเฟส (mobile phase) ซึ่งเป็นแก๊สและ สเตชันนารีเฟส (stationary phase) ที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง ในกรณีที่สเตชันนารีเฟสเป็นของแข็งก็อาจจะเรียกว่า แก๊สโซลิดโครมาโตกราฟี (gas-solid chromatography) (GSC) แต่ถ้าสเตชันนารีเฟสเป็นของเหลวจะเรียก โครมาโตกราฟีชนิดนี้ว่า แก๊สลิควิดโครมาโตกราฟี (gas-liquid chromatography) (GLC)

การแยกสารโดยวิธีโครมาโตกราฟี สารนั้นจะต้องสามารถระเหยได้ ถ้าเป็น GSC คุณสมบัติในการแยกจะขึ้นอยู่กับ แอดซอร์บติวิตี (adsorptivity) และสารที่ใช้เป็นสเตชันนารีเฟสมี เช่น ซิลิกาเจล (silica gel), ถ่าน (charcoal) เป็นต้น แต่ถ้าเป็น GLC คุณสมบัติในการแยกมักจะขึ้นกับพาร์ติชัน (partition) ระหว่างแก๊สและของเหลวที่เคลือบเช่น คาร์โบวอกซ์ (carbowax), ซิลิโคน (silicone) เป็นต้น

โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึง GC ส่วนมากมักจะหมายถึงความถึง GLC ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไปมากกว่า GSC โดยแผนพื้นฐาน (Basic Diagram) ของ GC มีดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 Basic diagram of a Gas chromatography

ในขบวนการของ GC นั้นสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารในสแตชันนารี กับ ความเข้มข้นของสารในโมบายเฟส ค่าที่ได้จากความสัมพันธ์นี้คือค่าคงที่การแพร่กระจาย (distribution constant or partition coefficient, k)

$$k = c_s / c_m$$

c_s = ความเข้มข้นของสารใน stationary phase

c_m = ความเข้มข้นของสารใน mobile phase

จากค่า k ถ้าค่า k สูงแสดงว่าตัวถูกดูดซับจะอยู่ในสแตชันนารีเฟสนานมากทำให้ค่ารีเทนชันไทม์ (retention time) มีค่ามากด้วย (ใช้เวลาในการแยกสารนาน) นั่นคือค่า รีเทนชันไทม์ของสารต่างชนิดกันต่อคอลัมน์ (column) ที่ใช้วิเคราะห์นั้นจะขึ้นกับค่า k ด้วย นอกจากนี้แล้ว การแยกสารใน GC ยังขึ้นกับความสามารถในการละลายของสาร (solubility) ในสแตชันนารีเฟส ซึ่งความแตกต่างของการละลายของสารนั้นขึ้นกับค่าจุดเดือดของสาร น้ำหนักโมเลกุลของสารและชนิดของ อินเตอร์แอคชันฟอร์ส (interaction forces) ระหว่าง โมเลกุลของสาร กับ สแตชันนารีเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเตอร์แอคชันฟอร์ส ใน GC สามารถแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

1. ดิสเพอร์ชันอินเตอร์แอคชัน (Dispersion Interaction) หรือ London Dispersion Forces แรงชนิดนี้จะเกิดในโมเลกุลโดยเฉพาะการแยกสารพวก แอนโพลาร์ ซัมบ์แทนซ์ (non-polar substances) เช่น สารไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (saturated hydrocarbons) เป็นต้น

2. ไดโพล-ไดโพลอินเตอร์แอคชัน (Dipole-Dipole Interaction) หรือ Keesom Orientation Forces แรงชนิดนี้จะเกิดระหว่างขั้วถาวรสองขั้ว (two permanent dipoles) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพันธะไฮโดรเจน (hydrogen-bond) พันธะชนิดนี้เกิดขึ้นมากใน ขบวนการ GC

3. อินดิวส์ไดโพล (Induced Dipole) หรือ Debye Induction Forces แรงชนิดนี้เกิดจากปฏิกิริยาของขั้วที่ถาวร และขั้วที่ทาให้เกิดขึ้นมาใหม่ (permanent and induced dipoles) แรงชนิดนี้จะมิกำลังอ่อนมาก

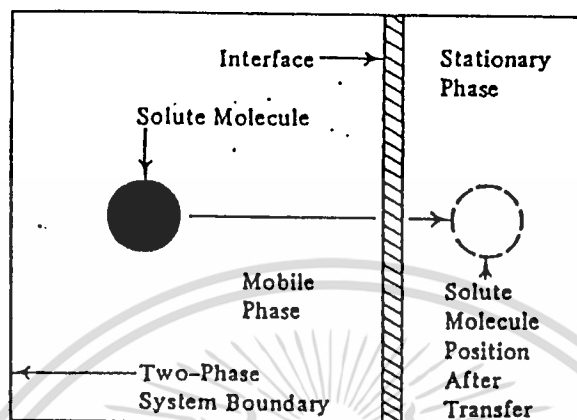
4. สเปคิฟิไคอินเตอร์แอคชันฟอร์ส (Specific Interaction Forces) แรงชนิดนี้เกิดจากเคมีคอลบอนด์ (chemical bonding) และ รูปแบบกลุ่ม (complex formation) ของสาร

การแยกโครมาโตรกราฟี (Chromatographic Separation)

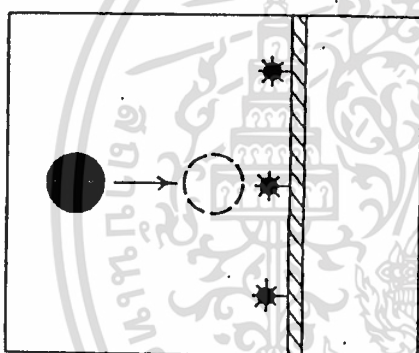
ในการแยกของผสมโดยวิธีทางโครมาโตรกราฟี นั้นจะมีวิธีการแยก แบ่งออกเป็น 4 แบบคือ (รูปที่ 1.3)

1. แอดซอร์ชันโครมาโตรกราฟี (Adsorption chromatography) (liquid-solid)
2. พาร์ทิชันโครมาโตรกราฟี (Partition chromatography) (liquid-liquid)
3. อีออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตรกราฟี (Ion-exchange chromatography)
4. เอ็กсклюชันโครมาโตรกราฟี (Exclusion chromatography)

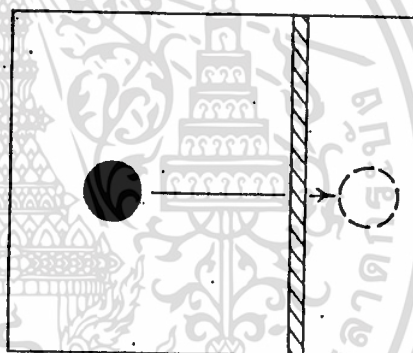
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



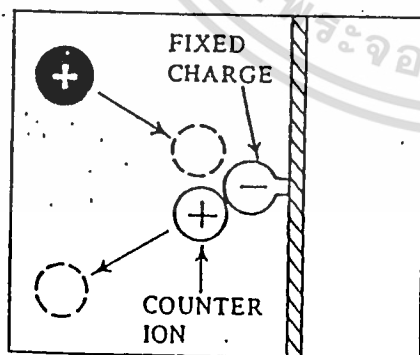
A. Transfer of Solute to a Generalized Stationary Phase



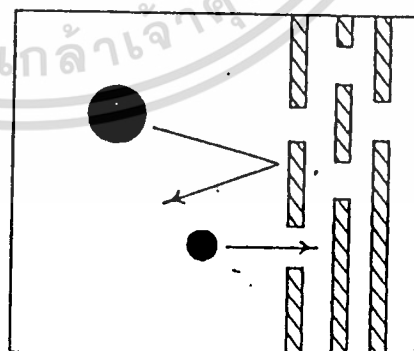
B. Liquid-Solid



C. Liquid-Liquid



D. Ion-Exchange



E. Exclusion

รูปที่ 1.3 แสดง Mechanism ของ chromatographic separation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอ็ดซอร์ชันโครมาโตกราฟี (liquid-solid chromatography) วิธีการชนิดนี้ สารละลาย(solute) จะกระจายในส่วนที่อยู่กับที่ (stationary phase) โดยการจับ (adsorp) ที่ผิวหน้าของสแตชันนารีเฟส ซึ่งอยู่ติดกับ รมบายเฟส โดยจะจับกับ แอ็ดซอร์ชันไซต์ (adsorption site)บนสแตชันนารีเฟสที่เป็นของแข็ง(solid) วิธีการนี้เกิดในแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas solid chromatography)

พาร์ทิชันโครมาโตกราฟี (liquid-liquid chromatography) สารละลายจะกระจายเข้าไปในสแตชันนารีเฟส ในรูปของการละลายเข้าไปอยู่ในสแตชันนารีเฟสอย่างสม่ำเสมอจะเกิดปฏิกิริยาต่อต้านระหว่างโมเลกุลของสารละลาย กับโมเลกุลของสแตชันนารีเฟส แบบต่างๆกันและจะเกิดขึ้นเมื่อสแตชันนารีเฟสเป็นลิควิดโครมาโตกราฟี (liquid chromatography)

ไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี วิธีการชนิดนี้ สารละลายเป็น ไอออน(ion) จะจับกับสแตชันนารีเฟส โดยอาศัยแรงดึงดูดแบบ ไอออนิก(ionic) และจะไปแทนที่ เคาน์เตอร์ไอออน(counter ion)ที่มีอยู่เดิมสแตชันนารีเฟสจะเป็นวัสดุที่มีการแลกเปลี่ยนไอออน(ion exchange material)

เอ็กซ์คลูชันโครมาโตกราฟี วิธีการนี้ สารละลายจะกระจายเข้าไปอยู่ในสแตชันนารีเฟส ซึ่งมีลักษณะเป็น รูพรุน (porous) ใต้หรือไม้นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของรู(pore)ใน สแตชันนารีเฟส สารโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกจับได้ดีกว่า และถูกชะออกออกมาได้ช้ากว่าสารโมเลกุลขนาดใหญ่

1.1.1 ทฤษฎีเพลท (Plate theory)

เทคนิคของการแยกแบบโครมาโตกราฟีนี้พบครั้งแรก ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ยี่สิบแต่ยังไม่มีการอธิบายหรือตั้งทฤษฎีการแยกได้จนกระทั่ง Martin และ Symge ได้เสนอทฤษฎีที่เรียกว่า ทฤษฎีเพลท ในปี ค.ศ. 1941 ทฤษฎีเพลท นี้สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่เอกสารประกอบคำอธิบายหลักสูตรในวิชาวิทยาศาสตร์ชีวเคมี เมื่อคุณได้เห็นว่าแบบจำลองนี้ในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันของสารละลาย ๑ ถ้าใกล้เคียงแต่ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโซนที่ขยายให้กว้าง (Zone broadening) กับ ตัวแปรในการทดลอง (experiment parameter) ซึ่งต่อมาสามารถมีผู้เสนอทฤษฎีที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้โดยอาศัยหลักของ พลังงานจลน์ ซึ่งเรียกว่า ทฤษฎีอัตรา (Rate theory)

Martin และ Synge ๑ ได้อธิบายไว้ว่าการแยกแบบโครมาโตกราฟี นี้เกิดจากการเกิดสภาวะสมดุล (equilibrium) ของการกระจายของสารละลายระหว่าง 2 เฟส คือ สเตชันนารีเฟส และ รมบายเฟส (gas phase) การกระจายนี้จะเกิดหลายครั้งคล้ายกับ สเต็ปไวซ์เคาน์เตอร์เคอร์เร็นซ์ลิควิด-ลิควิดเอ็กซ์แทรกชัน (stepwise countercurrent liquid-liquid extraction) หรือ แฟกชันแนลคิสติวเลชัน (fractional distillation) โดยสมมุติว่าคอลัมน์ได้ถูกแบ่งเป็นชั้น ๆ และมีความสูงระหว่างชั้น (height equivalent to a theoretical plate, HETP) และเกิดการสมดุลระหว่าง 2 เฟสในแต่ละชั้น

ค่า HETP นี้สามารถหาได้จากโครมาโตแกรม (chromatogram) โดยหาจำนวนเพลท theoretical plate ได้จากสูตร

$$N = 16(X/Y)^2$$

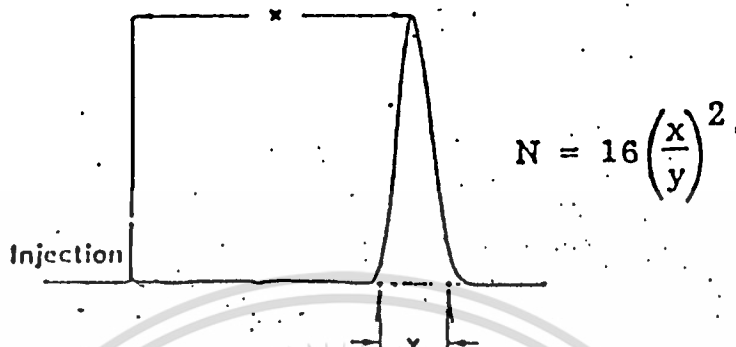
N = Number of theoretical plate

X = ระยะทางจากจุดที่ฉีดสารที่ต้องการวิเคราะห์ถึงจุดสูงสุดของ peak

Y = ความยาวของฐานของ peak ซึ่งวัดได้โดยลากเส้นสัมผัส peak ไป

ตัดฐาน ดังรูปที่ 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 Calculation of theoretical plates

ค่า HETP สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของความยาวของคอลัมน์ และจำนวน
เพลท (N) ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{HETP} &= L/N \\ N &= \text{จำนวน plate} \\ L &= \text{ความยาวของคอลัมน์} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของคอลัมน์ในการแยกจะดีเมื่อ ค่า N มากหรือ H มีค่าน้อย (เมื่อ L คงที่) ค่า N และ H จึงสามารถบอกประสิทธิภาพของคอลัมน์ได้

1.1.2 ทฤษฎีอัตราความเร็ว (Rate Theory)

ในโครมาโตกราฟี แก๊ส โบบายเฟส จะเคลื่อนที่ตลอดเวลาดังนั้นสภาวะสมดุลของการกระจายใน 2 เฟส จะเกิดขึ้นได้ยากมากจึงได้มีการอธิบายการแยกในโครมาโตกราฟี โดยให้หลักของ พลังงานเจลน์ ทฤษฎีนี้อธิบายโดยใช้ random walk model ซึ่งตั้งสมมติฐานว่า ขณะที่โมเลกุลของสารละลาย เคลื่อนที่ไปตามโบบาย (mobile) ในโบบายเฟสหนึ่งๆ จะเกิดการเอกลสารนี้เป็นเอกลสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ดูด(sorption) เข้าไปอยู่ในสเต็มชาร์เฟส และเกิด การคลาย (desorption) ออกมาอยู่ในรอมบายเฟส นั้นเป็นวัฏจักร เมื่ออยู่ในรอมบายเฟสรวมเลกุลจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากับ รอมบายเฟสและจะอยู่ในสเต็มชาร์เฟส

ทฤษฎีอัตราความเร็ว นี้ขึ้นกับอัตราการถ่ายเทของสารระหว่างสเต็มชาร์เฟสและรอมบายเฟส, อัตราการแพร่กระจายของสารในคอลัมน์, อัตราความเร็วของ แครี่เรียร์แกส (carrier gas) และ ไฮโดรไดนามิก(hydrodynamics)ของรอมบายเฟส

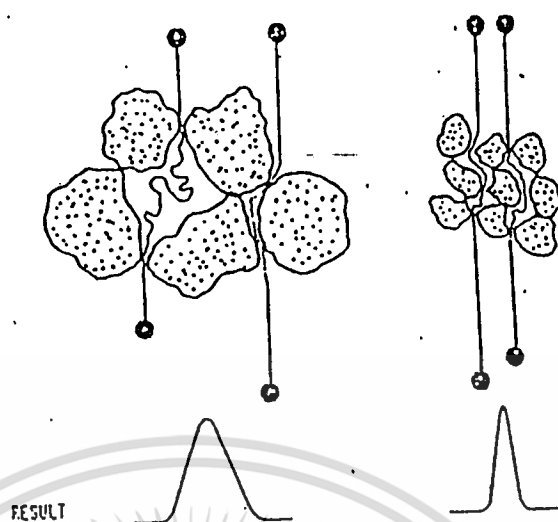
การแพร่กระจายของรอมเลกุลสารในขบวนการโครมาโตกราฟีนี้ ได้แก่

1. เอ็ดดี้ดิฟฟิวส์ชัน [Eddy diffusion (Multiple part term)]
2. ลองจิจูดินอลดิฟฟิวส์ชัน [Longitudinal diffusion (Molecular diffusion)]
3. แมสทรานส์เฟอร์ (Mass transfer) ในรอมบายเฟส
4. แมสทรานส์เฟอร์ (Mass transfer) ในสเต็มชาร์เฟส

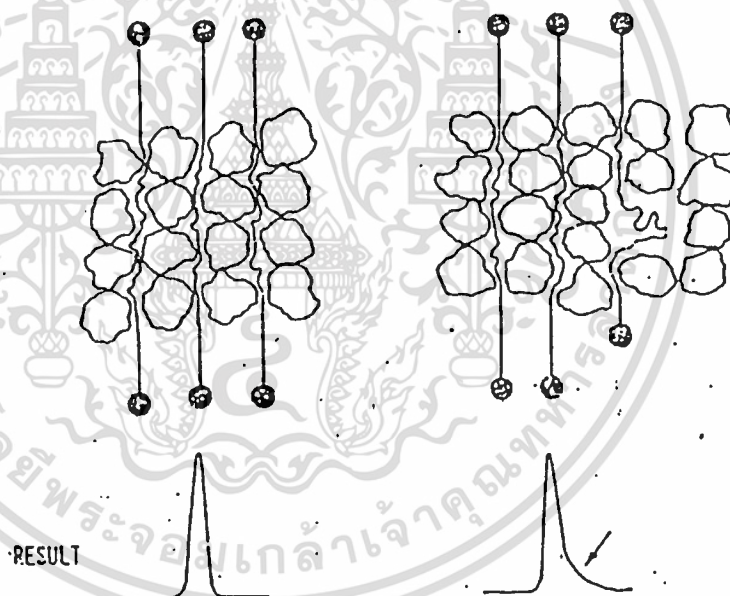
เอ็ดดี้ดิฟฟิวส์ชัน

เอ็ดดี้ดิฟฟิวส์ชัน หรือ มัลติเพิลพาทเทอม (Multiple path term) เป็นการแพร่กระจายของรอมเลกุลสารเข้าไปในคอลัมน์ รอมเลกุลของสารจะกระจายไปในคอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์บรรจุด้วยอนุภาคของแพ็คกิ้ง (packing) ที่มีขนาดเท่าๆ กันตลอด ดังนั้นจะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคเหล่านี้แต่เนื่องจากอนุภาคของแพ็คกิ้ง ที่มีขนาดเล็กลงมาทำให้เป็นการยากที่จะควบคุมขนาดของช่องว่างให้เท่ากันตลอด ดังนั้น รอมเลกุลของสารก็จะเคลื่อนที่ไปไม่เท่ากันตามลักษณะของช่องว่างของอนุภาคทำให้รอมเลกุลของสารชนิดเดียวกันอยู่ในคอลัมน์นานไม่เท่ากัน ผลของอนุภาคที่มีต่อ เอ็ดดี้ดิฟฟิวส์ชัน และผลของช่องว่างระหว่างอนุภาคของแพ็คกิ้ง แสดงให้เห็นดังรูปที่

1.5 และ 1.6



รูปที่ 1.5 แสดงถึงผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อ Eddy diffusion



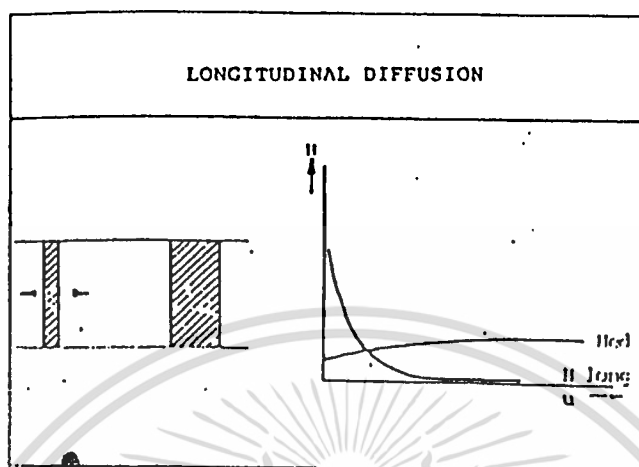
รูปที่ 1.6 แสดงถึงผลของช่องว่างระหว่างอนุภาค Packing column ที่มีต่อ

Eddy diffusion

ลองจิตินอลดิฟฟิวส์ชั่น (รูปที่ 1.7)

ลองจิตินอลดิฟฟิวส์ชั่น หรือ โมเลกุลาร์ดิฟฟิวส์ชั่น การแพร่กระจายชนิดนี้เกิดจากการที่โมเลกุลมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่จากส่วนที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ของ สารละลายไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลาย ที่น้อยกว่า การแพร่กระจายชนิดนี้เกิดขึ้นทั้ง 2 เฟสและจะเกิดขึ้นได้มากเมื่อโมบิลเฟสเป็นก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 แสดงถึง Longitudinal diffusion

แอมสตราสเฟอว์

ผลของแอมสตราสเฟอว์ นี้เกิดจากการที่โมบายเฟสเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากเฟสหนึ่งไปยังอีกเฟสหนึ่ง

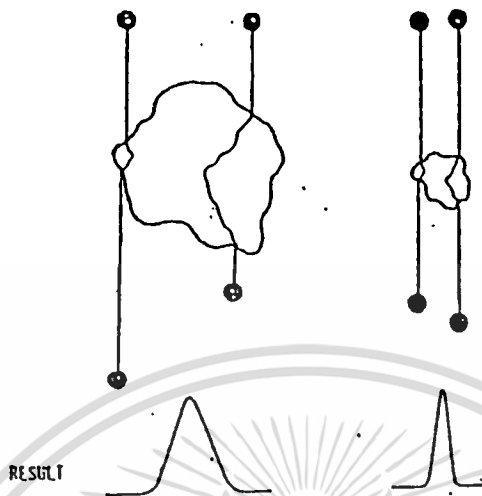
สำหรับโมบายเฟสแอมสตราสเฟอว์ นั้นเกิดในรูพรุนของอนุภาคที่อยู่ในคอลัมน์ซึ่งจะมีโมบายเฟสเข้าไปอยู่และไม่เคลื่อนที่ ถ้าโมเลกุลของสารเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในรูพรุนนั้นนานจะกลับเข้าสู่โมบายเฟสช้าทำให้เคลื่อนที่ไปในคอลัมน์ได้ระยะทางที่สั้นกว่า

สแตชันนารีเฟสแอมสตราสเฟอว์ นั้นเกิดหลังจากที่โมเลกุลของสารแพร่เข้าไปในรูพรุนแล้วก็จะเคลื่อนที่ผ่านสแตชันนารีเฟส หรืออาจจะติดอยู่กับสแตชันนารีเฟสเลย ถ้าโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในสแตชันนารีเฟสติดมากๆ ก็จะใช้เวลานานและเคลื่อนที่ไปในคอลัมน์ได้ระยะทางสั้น ถ้าโมเลกุลใดที่ผ่านเข้าและออกจากสแตชันนารีเฟสโดยใช้เวลาเพียงเล็กน้อย ก็จะกลับเข้าสู่โมบายเฟสได้เร็วและเคลื่อนที่ไปในคอลัมน์ได้มากกว่า

ผลของขนาดของอนุภาคในแพ็คเกจคอลัมน์ จะมีต่อแอมสตราสเฟอว์คือถ้าลดขนาดของ

อนุภาคลงผลของแอมสตราสเฟอว์ ก็จะลดลงด้วยทำให้ได้พีค(peak) ที่แคบดังรูปที่ 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 ผลของขนาดของอนุภาคต่อ mass transfer

จากทฤษฎีของ GC ที่กล่าวมานี้ ทั้งทฤษฎีของเพลทและ ทฤษฎีเกี่ยวกับอัตราความเร็วนี้ทำให้เกิดเป็น"Van Deemter Equation" ขึ้นซึ่งเป็นสมการที่สามารถอธิบายถึงประสิทธิภาพของคอลัมน์ GC และ HPLC ได้ สมการของ Van Deemter Equation มีดังนี้

$$HETP = \frac{A+B}{u} + C$$

HETP = Height equivalent to a theoretical plate

HETP = L/N L = ความยาวของคอลัมน์

N = จำนวนของ plate

u = Linear gas velocity = $\frac{\text{Length of column (cm)}}{\text{Retention time of air (sec)}}$

A = Multiple part term (Eddy diffusion)

B = Multiple diffusion

C = Resistance to mass transfer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการดังกล่าวนี้สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพคอลัมน์ได้คือถ้าค่า HETP มีค่าน้อย ค่าของจำนวนเพลท (N) ก็จะมีค่ามาก หมายความว่าคอลัมน์มีประสิทธิภาพในการแยกได้ดี

หลักการเป็ดพาร์ทเทอม [Multiple part term (Eddy diffusion)] หรือ A ค่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดรูปร่างของอนุภาคในคอลัมน์ และวิธีทางที่ใช้บรรจุในคอลัมน์ (packing technique) นอกจากนี้ยังขึ้นกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ด้วย สารชนิดเดียวกัน เมื่อผ่านเข้าไปในคอลัมน์โมเลกุลของสารจะกระจายไปในคอลัมน์ได้หลายทาง บางโมเลกุลอาจต้องใช้เวลานานบางโมเลกุลอาจใช้เวลาสั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า A ซึ่งมีผลทำให้พีค ที่ได้กว้างหรือแคบดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 แสดง Eddy diffusion ของสารที่จะวิเคราะห์

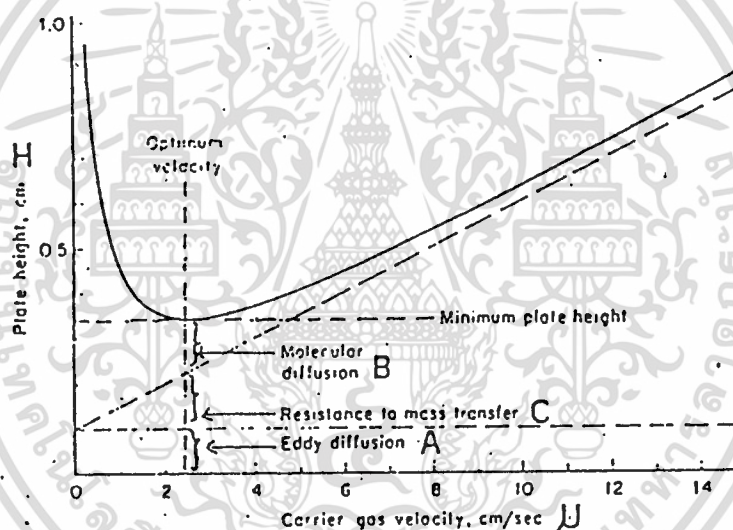
โมเลกุลสารที่แพร่ช้าขึ้นเป็นการแพร่กระจายของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในแคร์เรียร์แก๊ส พบว่าถ้าสารที่ต้องการวิเคราะห์แพร่กระจายเข้าไปในแคร์เรียร์แก๊ส (mobile phase) มากจะทำให้การเกิดพาร์ทขึ้น กับ สเตชันนารีเฟสน้อยทำให้สารนั้นออกมาจากคอลัมน์เร็วเกินไป พีคที่ได้จะไม่ดี ดังนั้นประสิทธิภาพในการแยกสารก็ไม่ดีด้วย

รีซิสแตนซ์ทูแมสทรานส์เฟอร์ (Resistance to mass transfer) เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับความหนืด (viscosity) ของของเหลวที่ใช้เคลือบบนโซลิดซัพพอร์ท (solid support)

พบว่าค่านี้จะขึ้นกับค่าของของเหลวที่มีความหนืดน้อยเคลือบบนโซลิดซัพพอร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

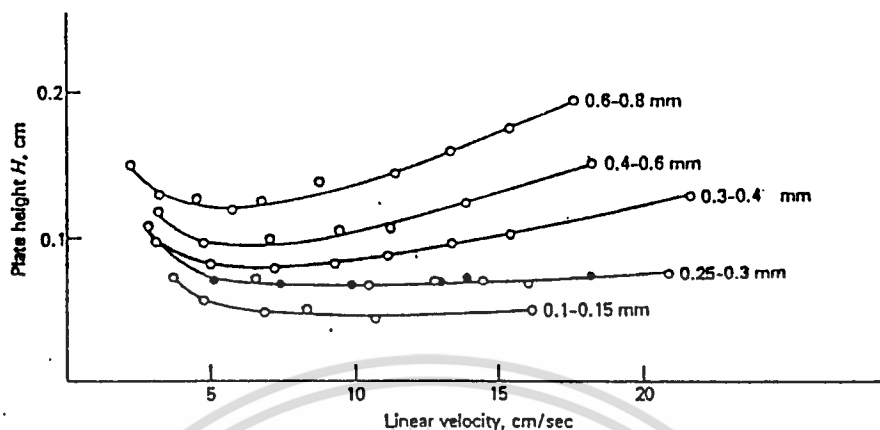
ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้อาจจะหาได้จากการคำนวณและจากการทดลองค่าเหล่านี้จะมีค่าคงที่สำหรับแพ็คเกจคอลัมน์ ชนิดนั้นๆ ส่วนค่าที่จะเปลี่ยนแปลงคืออัตราความเร็วของแครี่เรียร์แก๊ส (ค่า μ) ดังนั้นถ้าหา HETP มาพล็อต กับค่า μ เพื่อหาค่า μ ที่เหมาะสมซึ่งเป็นค่าที่มี HETP น้อยที่สุดจะได้ กราฟดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 Relationship between theoretical plate height and velocity of carrier gas

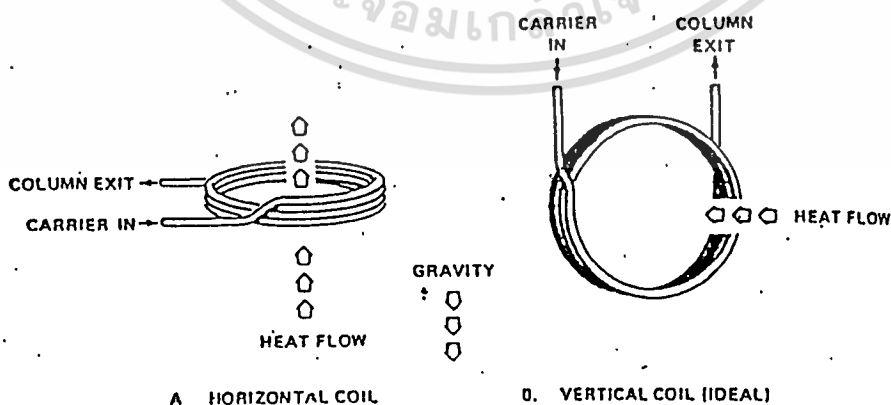
สำหรับขนาดของอนุภาคของแพ็คเกจคอลัมน์ นั้นมีผลต่อค่า HETP ด้วยคืออนุภาคขนาด

เล็กจะมีประสิทธิภาพในการแยกสารได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งแสดงให้เห็นในกราฟรูปที่ 1.11 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



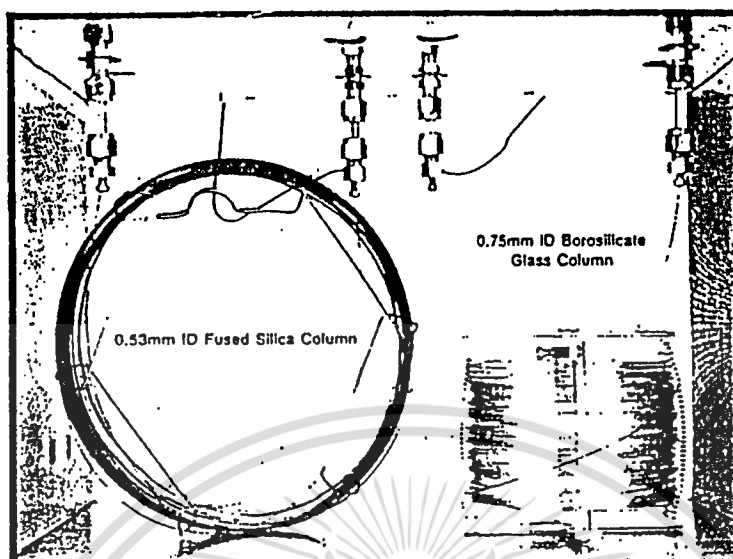
รูปที่ 1.11 แสดงผลของอนุภาคในคอลัมน์ที่มีขนาดต่างกันต่อค่า HETP
(ขนาดของอนุภาคที่แสดงหน่วยเป็น millimeter)

สำหรับคอลัมน์ที่ใช้กันใน GC นั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ packed column และ capillary column (open tubular column) ดังรูปที่ 1.12 และ 1.13



รูปที่ 1.12 แสดงลักษณะของ packed column

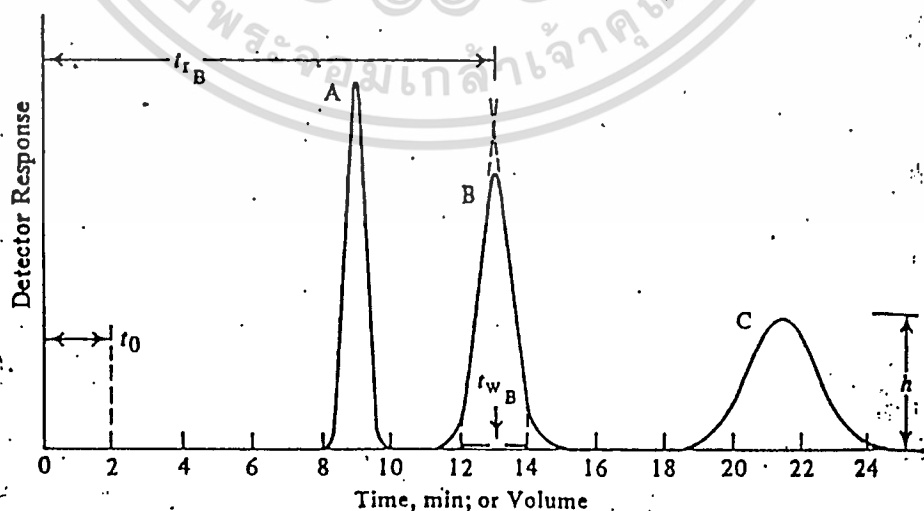
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.13 แสดงลักษณะของ capillary column

แพ็คเกจคอลัมน์ โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (i.d.) 2-4 มม. และความยาวของคอลัมน์ ประมาณ 1.5-6 เมตร ส่วน แคปิลลารีคอลัมน์ (capillary column) จะมีขนาด i.d. 0.2-0.7 มม. และความยาวของ คอลัมน์ 5-100 เมตร การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยแคปิลลารีนี้ จะแยกสารได้ดีกว่า และเร็วกว่าที่ แพ็คเกจคอลัมน์

สารต่างๆ เมื่อผ่านเข้าคอลัมน์แล้วจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องตรวจวัดและบันทึกผลออกมาเป็น โครมาโตแกรม (ดังรูปที่ 1.14)



รูปที่ 1.14 ตัวอย่างของ chromatogram (t_0 คือ ตำแหน่งของ band ของตัวบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ไม่ได้แก้ไขหรือปรับปรุงเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครมาโตแกรม ที่ได้นี้สามารถอธิบายได้เป็น 4 ประการ คือ

1. สารประกอบแต่ละตัวจะออกจากคอลัมน์ในรูปของ band รูปประฆังที่สมมาตรกัน หรือเป็น peak (Caussian หรือ standard-error curve)

2. แบนด์ (band) ที่ออกจากคอลัมน์ที่เวลาหนึ่งนั้นสามารถใช้ตรวจสอบหาชนิดของ สารได้เวลานี้ เรียก รีเทนชันไทม์ ("retention time") (t_r) ซึ่งนับตั้งแต่เวลาที่ตัวอย่าง ถูกฉีดเข้าคอลัมน์จนถึงจุดสูงสุดของแบนด์ ที่หลุดออกจากคอลัมน์

3. ความแตกต่างของค่า รีเทนชันไทม์ ระหว่าง แบนด์ ที่อยู่ใกล้กันถ้าต่างกันมาก แบนด์ ทั้งสองนี้จะแยกออกจากกันได้ง่ายขึ้น

4. คือ แบนด์ แต่ละ แบนด์ จะมีค่าแบนด์วิดท์ (bandwidth), t_w ดังแสดงในแบนด์ B รูปที่ 1.14 ซึ่งเกิดจากการลากเส้นแทนเจนต์ (tangent) ของแต่ละข้างของแบนด์ (band) ลง มาถึงเบสไลน์ (baseline) (ตำแหน่งสัญญาณของตัวตรวจวัดที่ความเข้มข้นของตัวอย่างเป็นศูนย์) การแยกจะดีขึ้นถ้า แบนด์ นั้นมีลักษณะแคบหรือมีค่า t_w น้อยนั่นเองและแต่ละ แบนด์จะมีความสูง (h) ของแต่ละ แบนด์ ดังแสดงใน แบนด์ C

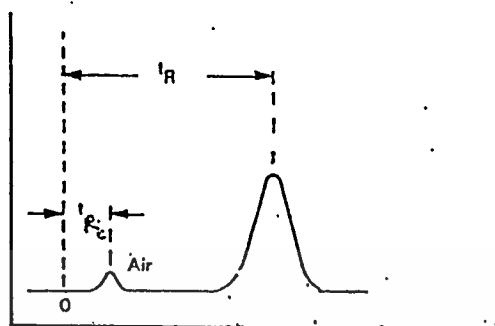
จากโครมาโตแกรมที่ได้ก็สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างได้ โดย เทียบกับสารมาตรฐาน

1.2 The "language" of GC

การทำให้ได้แกสโครมาโตแกรมที่ดีนั้น ต้องขึ้นกับ รีโซลูชัน (Resolution) นั้นต้อง ดีด้วยซึ่งรีโซลูชัน ในการวิเคราะห์นั้นขึ้นกับตัวแปร 3 ชนิดคือ อัตราส่วนความจุ (Capacity Ratio), ความไว (Selectivity) และ ประสิทธิภาพ (column และ solvent efficiency)

อัตราส่วนความจุ หรือ รีเทนชัน, k' อัตราส่วนความจุนี้เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ รีเทนชันไทม์ ของสาร ตัวอย่างกับ สารที่ไม่เกาะติดกับคอลัมน์เลย (unretention time) รูปที่ 1.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.15 Capacity Ratio (Retention)

$$\text{Retention, } k' = \frac{t_R - t_{R0}}{t_{R0}}$$

t_R = retention time ของสารที่ต้องการวิเคราะห์

t_{R0} = retention time ของ unretained component

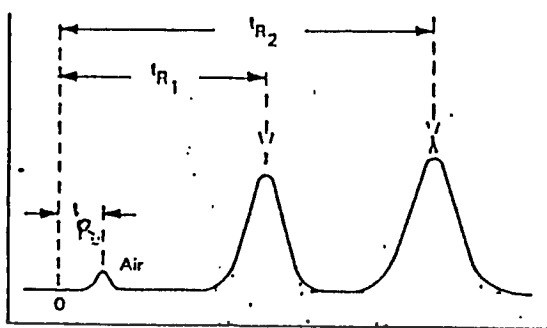
(Retention time (t_R) คือเวลาที่ใช้ในการได้สารตัวอย่างออกมาจากคอลัมน์)

ถ้าค่า k' มีค่าต่ำแสดงว่าสารประกอบนั้นเกาะกับคอลัมน์ได้น้อยมากและสารนั้นจะออกมาใกล้กับ โซลเวนท์พีค (solvent peak) ทำให้แยกได้ไม่ดี ถ้าค่า k' มีค่าสูงจะทำให้การแยกดีขึ้นแต่จะให้เวลานานและพีคที่ได้จะกว้างมากด้วย

ความไว (separation factor, α) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าพีค 2 พีคแยกออกจากกันได้มากน้อยเพียงใดซึ่งหาได้จากการเปรียบเทียบรีเทนชัน (k') ของพีคทั้งสอง รูปที่ 1.16

$$\alpha = k'_2 / k'_1 = \frac{t_{R2} - t_{R0}}{t_{R1} - t_{R0}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.16 Selectivity

ความไว นี้จะขึ้นกับการเลือกคอลัมน์ว่าจะสามารถแยกสารสองชนิดออกเป็น พีค ได้ 2 พีค หรือไม่ องค์ประกอบ (factor) ที่มีผลต่อ ความไว มีดังนี้คือ

1. วัสดุตัวพอร์ที่
2. ชนิดของสแตชันนารีเฟส
3. ความเข้มข้นของสแตชันนารีเฟส
4. อุณหภูมิของคอลัมน์

ถ้าสารตัวอย่าง 2 ชนิดสามารถจะแยกจากกันได้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอลัมน์ ความเข้มข้นของ สแตชันนารีเฟส หรือ วัสดุตัวพอร์ที่ ก็จะเพียงพอที่ทำให้สาร 2 ชนิดนั้นแยกจากกันได้ แต่ถ้ายังไม่สามารถแยกกันได้ก็จะต้องทำการเลือกหาสแตชันนารีเฟสชนิดใหม่มาทำการทดลองเพื่อให้ได้ ความไว ที่ดี

ประสิทธิภาพคอลัมน์ (column efficiency) เป็นค่าประสิทธิภาพของคอลัมน์แสดงได้โดยการวัด number of theoretical plate โดยการเปรียบเทียบคอลัมน์ 2 คอลัมน์ว่าคอลัมน์ใดดีกว่ากัน ถ้าคอลัมน์ใดมีค่า number of theoretical plate สูงกว่า แสดงว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าการหา number of theoretical plate หาได้จากสูตร

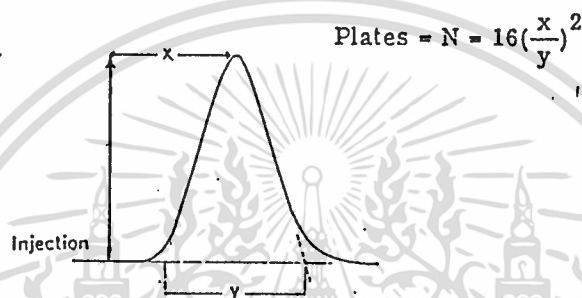
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = 16 \left(\frac{x}{y} \right)^2$$

N = จำนวน plate (number of theoretical plate)

x = ระยะทางจากจุดที่ฉีดสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าไปถึงจุดสูงสุดของ peak

y = ความยาวของฐานของ peak ซึ่งวัดได้โดยลากเส้นสัมผัส peak ไปตัดฐาน (baseline) ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 การหาจำนวน plate (number of theoretical plate)

ประสิทธิภาพของจำนวนเพลต (Effective Plate Number) (N_{eff}) เป็นค่าของจำนวนเพลตที่มีประสิทธิภาพค่านี้ใช้สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้ทั้ง แพ็คคอลัมน์ และ แคปพิลารีคอลัมน์ (open tubular column) สำหรับค่า N_{eff} นี้สามารถแสดงในรูปของจำนวนเพลต (N_{th}) ได้ดังนี้

$$N_{eff} = N_{th} (k' / 1 + k')^2$$

$$N_{eff} = \text{Effective Plate Number}$$

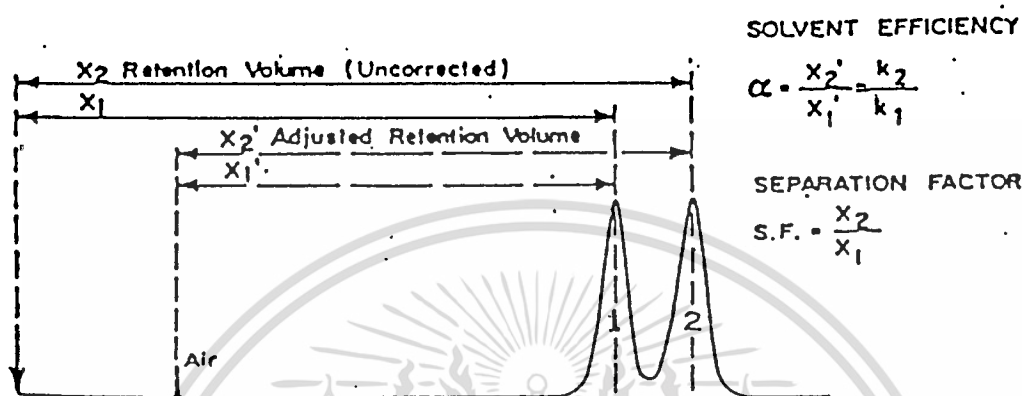
$$N_{th} = \text{Capacity ratio (Retention)}$$

จากสูตร N_{eff} จะพบว่าถ้าค่า $k' = 0$, $N_{eff} = 0$ จะไม่มีการแยกสาร

ออกมาได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของตัวทำละลาย (Solvent efficiency) (α) เป็นค่าประสิทธิภาพของตัวทำละลายที่เคลื่อนอยู่บนไฮโดรฟิลิฟเฟอรัท การคำนวณหาประสิทธิภาพตัวทำละลายหาได้ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 การคำนวณหา solvent efficiency

ค่าประสิทธิภาพตัวทำละลาย นี้เป็นค่าความสัมพันธ์ของรีเทนชัน ซึ่งแตกต่างจากค่าองค์ประกอบของการแยก (separation factor S.F.) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ของเวลาที่นับจากจุดที่ฉีดสารไปยังยอดพีคของสาร (uncorrected retention time)

ค่าประสิทธิภาพตัวทำละลายนี้จะขึ้นกับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. พาร์ทิชันโคเอฟิเชียน (partition coefficient (k) หรือ distribution coefficient) ประสิทธิภาพของตัวทำละลายขึ้นกับค่า k ดังนี้

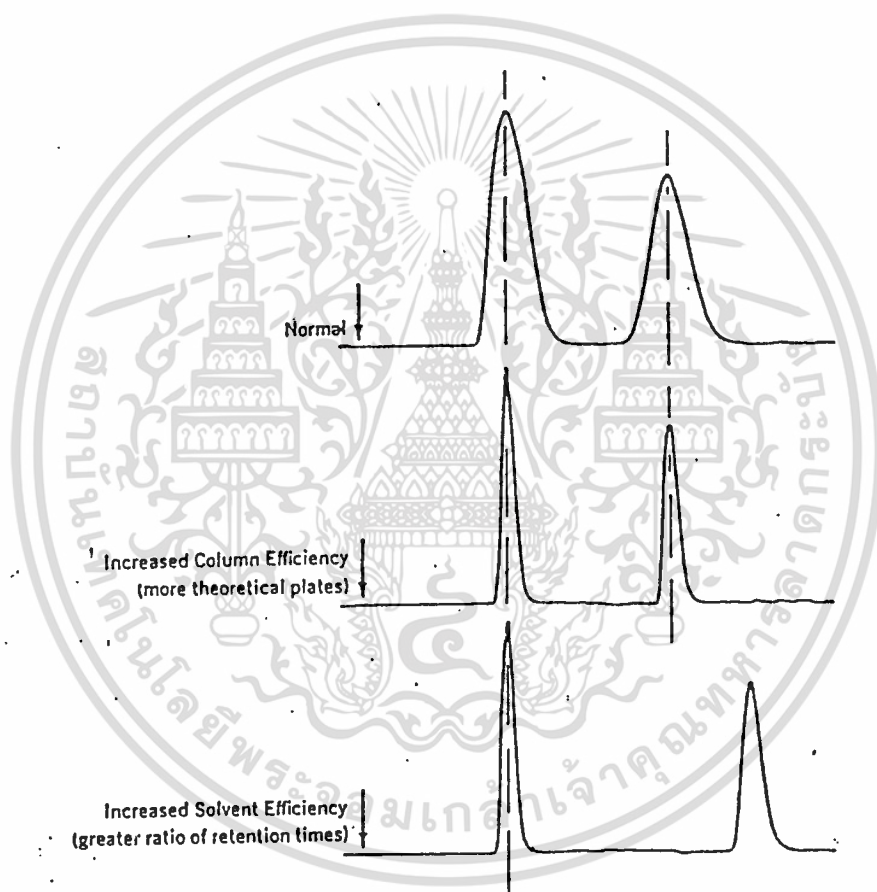
Partition coefficient, k =
$$\frac{\text{จำนวนตัวถูกละลายต่อปริมาตรของตัวทำละลาย}}{\text{จำนวนตัวถูกละลายต่อปริมาตรของ gas phase}}$$

ค่า k นี้ขึ้นกับอินเทอร์แอคชันเฟอรัล ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลาย เช่น การเกิด ไฮโดรเจนบอนด์ (hydrogen bond), การเกิดกลุ่มสารประกอบ (complex compound) เป็นต้น ค่า k นี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า k จะลดลงและเวลาที่ใช้ในการแยกก็จะลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุ่นหุมิ ประสิทธิภาพของตัวทำละลายจะขึ้นกับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิต่ำการเกิดแรงระหว่างตัวถูกละลายก็จะมีแรงมากขึ้น การแยกสารจะทำได้ยากขึ้นและเวลาที่ใช้ในการแยกสารก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ประสิทธิภาพของคอลัมน์ และ ประสิทธิภาพของตัวทำละลาย มีผลต่อการแยกสารใน GC มาก การเลือกใช้คอลัมน์แก่ควรที่จะคำนึงถึงประสิทธิภาพทั้ง 2 อย่างด้วยผลของประสิทธิภาพของคอลัมน์ และ ประสิทธิภาพของตัวทำละลาย ที่มีต่อการแยกสารแสดงได้ ดังรูป 1.19

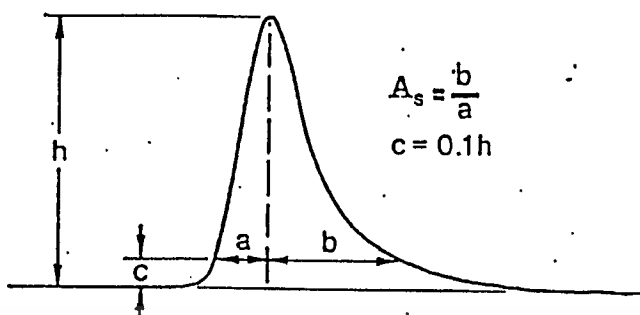


รูปที่ 1.19 แสดงผลของ column efficiency และ solvent efficiency

อะซิมเมทรีแฟคเตอร์ (Asymmetry factor หรือ tailling factor) เป็นค่าสำหรับแสดงความเบี่ยงเบนรูปร่างพีคจาก เกาส์เซียน (Gaussian) คือ พีค เริ่มมี เทล (tail) การหาค่าอะซิมเมทรีแฟคเตอร์ทำได้ดังนี้

$$A_s = b/a \quad \text{ที่ } 10\% \text{ peak height (ดังรูปที่ 1.20)}$$

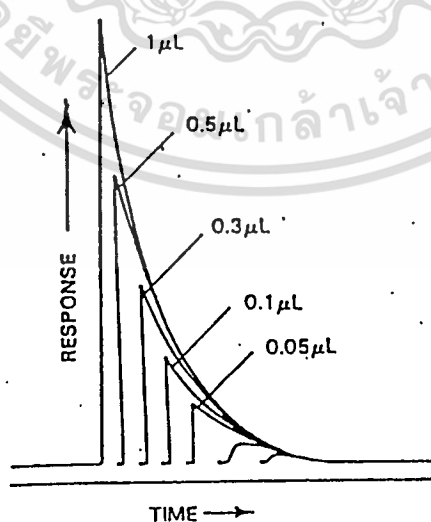
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.20 แสดงการหา asymmetry factor

สำหรับพีคที่สมมาตร $A_s = 1.0$ และเมื่อ $A_s > 1$ แสดงว่ามี แบ็คเทลลิง (back tailing) และเมื่อ $A_s < 1$ แสดงว่ามี ฟรอนท์เทลลิง (front tailing)

การเกิดพีคเทลลิงนี้เกิดจากโซลิดซ์ฟพอร์ทดูดกลืนสารตัวอย่างไว้ อาจแก้ไขได้โดยการใช้สแตชันนารีเฟสชนิดเดิมแต่เปลี่ยน ซัพพอร์ท ชนิดอื่นแทนการเกิดเทลลิงนี้อาจจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดไปทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ รูปที่ 1.21 แสดงให้เห็นว่าค่ารีเทนชันไทม์ของสารเปลี่ยนไปตามขนาดของสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปในคอลัมน์

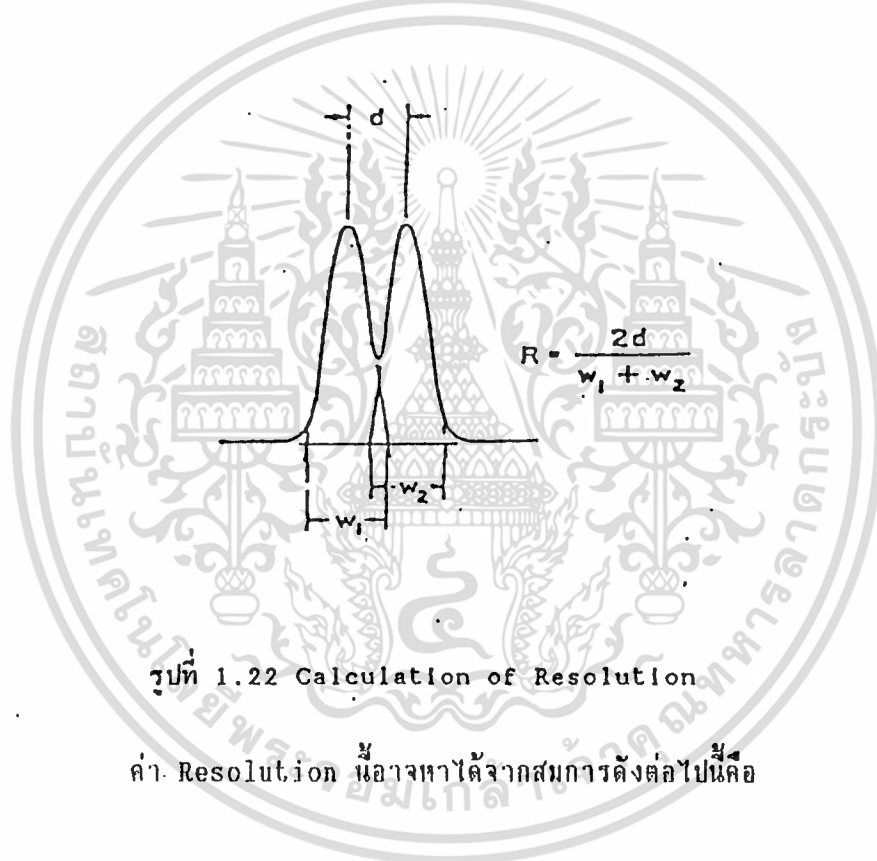


รูปที่ 1.21 แสดงผลของ peak tailing ที่มีต่อค่า retention time ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้
 สารที่เปลี่ยนไปตามขนาดของสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปในคอลัมน์
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ไขที่ลึกลงอาจทำได้โดยวิธีการทางเคมีเช่น การทำไซแลนนิเซชัน(silanization)กับซิลฟอรท์เพื่อให้ ซิลฟอรท์นั้น ลินเนอวท์(inert) เสียก่อนจึงจะทำให้ลดการดูดกลืนสารตัวอย่างได้

รีโซลูชั่น(Resolution)(R) (รูปที่ 1.22) เป็นค่าวัดความสามารถทั้งหมดในการแยกสารถ้าค่า $R = 1$ แสดงว่าการแยกสารทั้ง 2 พีคนั้นแยกออกจากกันได้ 98% และ $R = 1.5$ แสดงว่าพีคทั้ง 2 นั้นสามารถแยกจากกันจนถึงเบสไลน์(baseline) (ได้ 99.7% resolution)



ค่า Resolution นี้หาได้จากสมการดังต่อไปนี้คือ

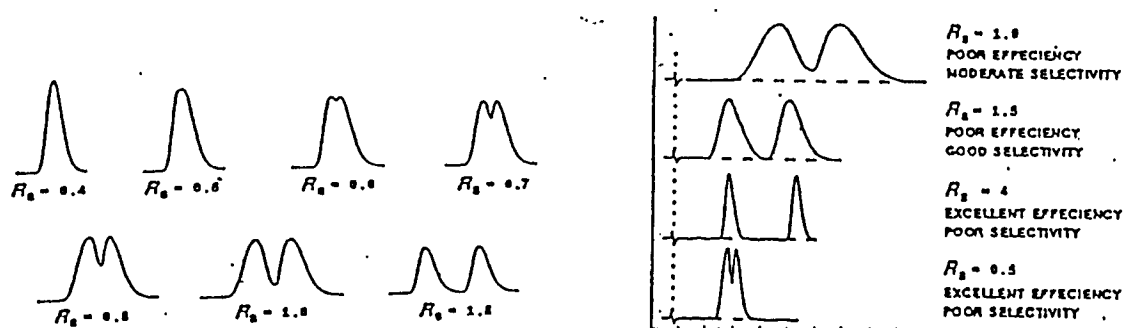
$$R = \frac{\alpha - 1}{\alpha} \cdot \frac{k'}{1 + k'} \cdot \frac{\sqrt{N}}{4}$$

selectivity capacity efficiency

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า การแยกสารจะดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าการเลือกประสิทธิภาพของคอลัมน์ (selectivity capacity efficiency ของ column)

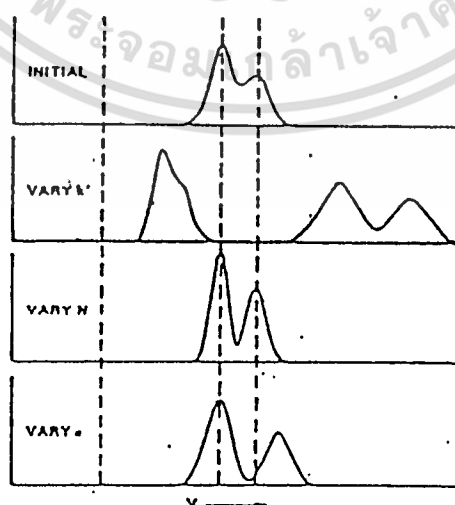
(รูปที่ 1.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



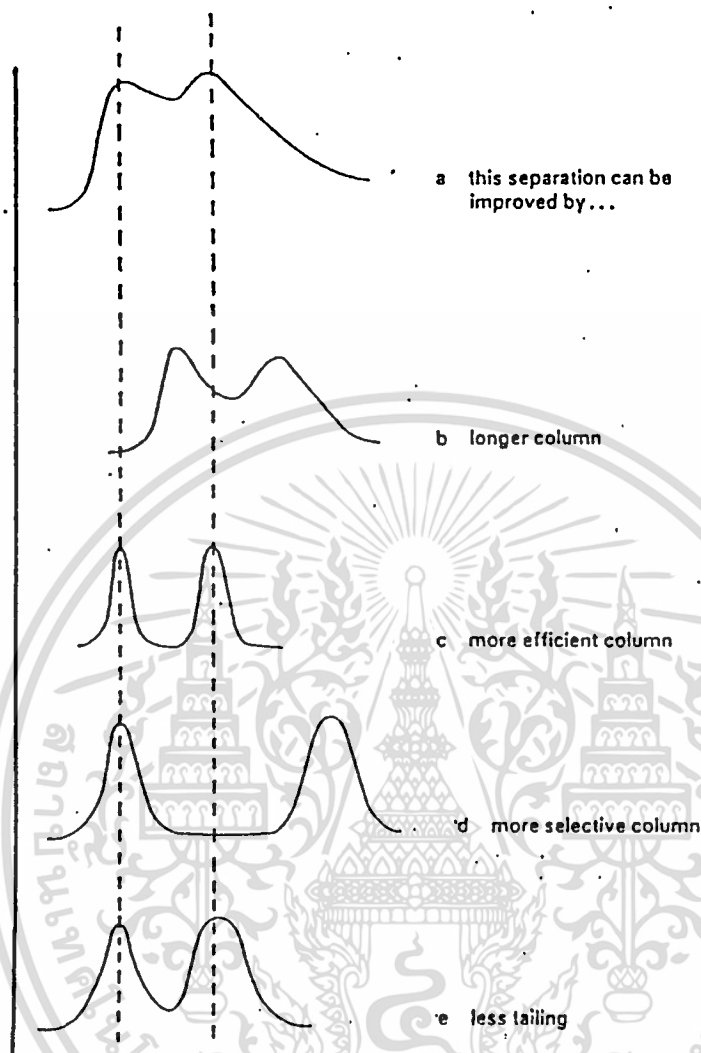
รูปที่ 1.23 ตัวอย่างของค่า Resolution

การที่จะให้การแยกสารดีขึ้นเราต้องเปลี่ยน ค่าประสิทธิภาพ (k'), จีเล็คทริวิตี (α) และประสิทธิภาพ (N) จะพบว่าการเปลี่ยนแปลง ค่าประสิทธิภาพ ทำได้ง่ายโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอลัมน์ ส่วนค่า จีเล็คทริวิตี นั้นเราสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเปลี่ยนชนิดของ สเตเท็นนารีเฟส และเปลี่ยนอุณหภูมิของคอลัมน์ สำหรับค่า ประสิทธิภาพ จะขึ้นกับการเลือก คอลัมน์ ที่ใช้โดยการเพิ่มความยาวของคอลัมน์ (เป็นการเพิ่มจำนวน plate) เพื่อให้ได้คอลัมน์ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น รูปที่ 1.24 แสดงถึงการเปลี่ยนค่า k' , N และ α ที่มีผลต่อการแยกสาร และรูปที่ 1.25 แสดงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการแยกสาร



รูปที่ 1.24 แสดงผลของ Resolution จากการเปลี่ยนแปลง k' , N และ α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.25 แสดงถึง factor ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการแยกสาร

บทที่ 2 หลักการและอุปกรณ์

2. การวัดและควบคุมของ GC (instrumentation of GC)

แก๊สโครมาโตกราฟี (GC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยได้ง่าย สารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวฉกจับซึ่งเรียกว่า สเตชันนารีเฟส และมีแก๊สพา (carrier gas) เป็น โหมดายเฟส เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์ เข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) สัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับจะถูกส่งไปบันทึกเป็น โครมาโตแกรม โดยเครื่องบันทึก (recorder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ในทาง GC เรียกว่าแกสโครมาโทกราฟีโดยหลักทั่วไปแกสโครมาโทกราฟี จะประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้ (รูปที่ 2.1)

2.1 แกสพา(Carrier gas)

2.2 ชุดควบคุมอัตราการไหล(Flow controller)

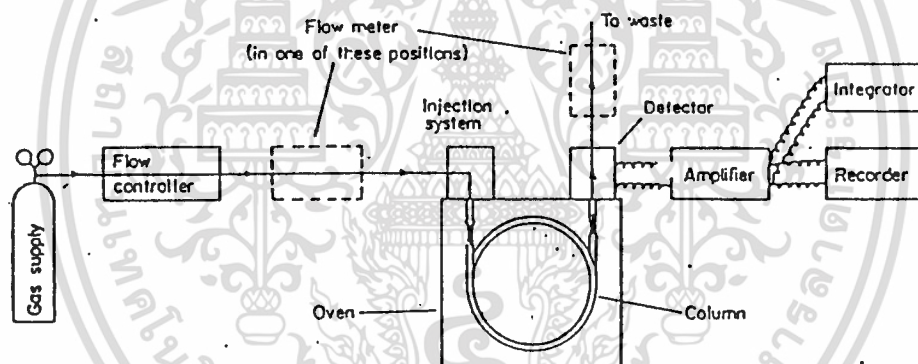
2.3 ระบบการฉีดน้ำ(Injection system)

2.4 คอลัมน์(Column)

2.5 เครื่องตรวจวัด(Detector)

2.6 ตัวตัดอุณหภูมิ(Thermostat)

2.7 ตัวบันทึก(Recorder)



รูปที่ 2.1 แสดง diagram ของ gas chromatograph

2.1 แกสพา

แกสพาใน GC นี้จะทำหน้าที่เป็น ส่วนที่เคลื่อนที่เพื่อที่จะผลักดันสารให้หลุดจาก ส่วนที่อยู่กับที่ และเนื่องจากสารแต่ละตัวมีความสามารถในการก้ำกัวยึดเกาะกับ ส่วนที่อยู่กับที่ได้ด้วยแรง ไม่เท่ากัน แกสพาจึงพาสารแต่ละตัวให้หลุดออกจากคอลัมน์ได้เร็วไม่เท่ากันทำให้สารค่อยๆ แยก กันเป็นสารบริสุทธิ์ออกจากคอลัมน์เข้าสู่เครื่องตรวจวัด ที่คือไว้ที่ปลายข้างหนึ่งของคอลัมน์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติโดยทั่วไปของแก๊สที่จะนำมาใช้เป็นแก๊สพลาสมาคือ ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างและส่วนที่อยู่กับที่(เป็นแก๊สเฉื่อย) มีความบริสุทธิ์และง่ายต่อการซื้อหา โดยทั่วไปแก๊สที่นิยมใช้คือไนโตรเจน (N_2), ฮีเลียม (He), อาร์กอน (Ar) และไฮโดรเจน (H_2)

แก๊สที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ แก๊สไนโตรเจนและรองลงมาคือฮีเลียมซึ่งฮีเลียมมีราคาแพงมากกว่าไนโตรเจน แต่ก็จำเป็นที่จะต้องใช้สำหรับการวิเคราะห์สารบางชนิด และเฉพาะเครื่องตรวจวัดชนิด TCD (thermal conductivity detector) เนื่องจากเครื่องตรวจวัดชนิดนี้ต้องให้แก๊สพาหะที่มีค่าการนำความร้อนสูง ซึ่งค่าการนำความร้อนของแก๊สเป็นสัดส่วนกลับกับรากที่สองของน้ำหนักโมเลกุล ดังนั้นแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงจะเหมาะสมสำหรับใช้กับเครื่องตรวจวัดชนิดนี้ ดังนั้น ฮีเลียมจึงเป็นแก๊สที่ใช้เฉพาะกับเครื่องตรวจวัดชนิด การนำความร้อน (thermal conductivity) แก๊สไฮโดรเจนก็เป็นแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่มีคุณสมบัติไวไฟมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับเครื่องตรวจวัดชนิดการนำความร้อน ส่วนอาร์กอนนั้นใช้สำหรับกรณีที่มีรังสีเบต้า (β -radiation)

แก๊สพาหะนี้ต้องมีความบริสุทธิ์มาก (high purity grade) ไม่มีความชื้นและปราศจากแก๊สออกซิเจนการที่มีแก๊สออกซิเจนอยู่ในแก๊สพาหะจะทำให้การแยกสารไม่ดีเนื่องจากออกซิเจนจะไปทำให้ส่วนที่อยู่กับที่ เกิดกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ขึ้นและผลของออกซิเดชันจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (noise) ในเครื่องตรวจวัด ดังนั้นการสั่งซื้อแก๊สที่จะเลือกชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอยู่เลย เช่น แก๊สไนโตรเจนชนิด OFN มีความบริสุทธิ์ 99.999%

เนื่องจากอัตราเร็วของการไหลของ แก๊สพลาสมามีผลอย่างมากต่อ ประสิทธิภาพของการแยกสาร ฉะนั้นการไหลของแก๊สต้องมีอัตราความเร็วที่คงที่และสม่ำเสมอตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วยควบคุมอัตราความเร็วของแก๊สพลาสมาดังต่อไปนี้ คือ

1. ถังแก๊ส (Gas cylinder) โดยทั่วไปแล้วแก๊สที่สั่งซื้อมานั้นจะถูกบรรจุอยู่ในถังที่มีความทนทานสูงมาก ที่ถังแก๊สจะต่อกับเครื่องวัดความดัน ซึ่งจะบอกปริมาณของแก๊สที่มีอยู่และสามารถควบคุมความดันของแก๊สที่จะเข้าไปในเครื่อง GC ได้

2. เครื่องควบคุมความดันและอัตราความเร็วของแก๊ส (Pressure and/or Flow Controller)

3. เครื่องวัดความดัน (Pressure - Measuring Device)

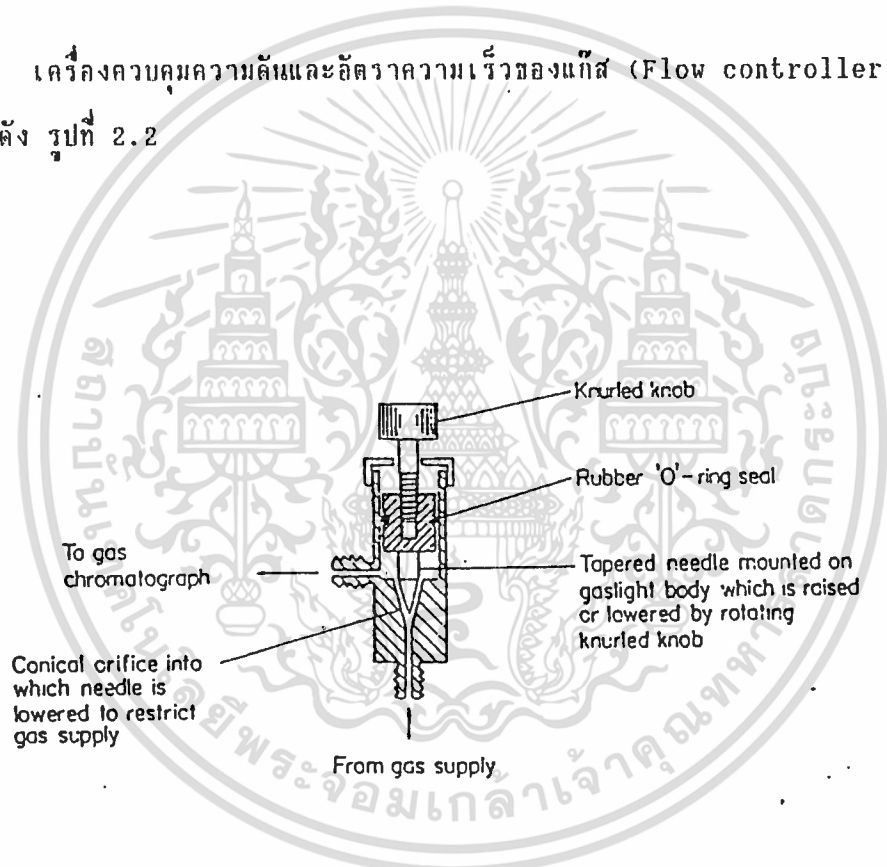
4. เครื่องวัดอัตราความเร็วของแก๊ส (Flowmeter) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้แก๊สใน GC นี้ ควรที่จะตรวจสอบปริมาณแก๊สในถังที่ใช้ว่าเหลือประมาณเท่าใด แล้วไม่ควรที่จะใช้แก๊สจนหมดควรวินให้เหลือประมาณ 20 kg/cm² เพราะว่าจะเกิดความดันย้อนกลับ (back pressure) ในคอลัมน์เข้าไปในถังแก๊สที่ว่างได้ รวมทั้งอาจจะมีสิ่งปนเปื้อนจากบริเวณถังแก๊สเข้าไปในคอลัมน์

2.2 เครื่องควบคุมอัตราความเร็ว

เครื่องควบคุมความดันและอัตราความเร็วของแก๊ส (Flow controller) ที่แสดงไว้เห็นได้ดัง รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดง Needle valve หรือ flow controller

เครื่องควบคุมความดัน และอัตราความเร็วของแก๊สจะสามารถปรับให้แก๊สพาเข้าสู่เครื่อง GC ได้โดยมีปุ่มสำหรับปรับความดันของแก๊สซึ่งพอเหมาะที่จะเข้าสู่เครื่อง GC ควรมีค่าประมาณ 40 psi หรือ 3 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

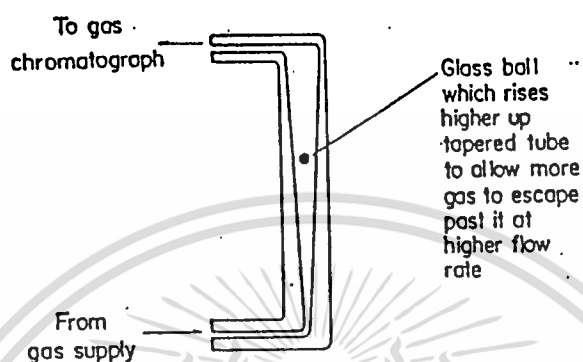
การวัดอัตราเร็วของแก๊สที่เข้าสู่เครื่อง GC นั้นสามารถใช้เครื่องวัดอัตราความเร็วของแก๊ส (flow meter) ซึ่งมีอยู่หลายแบบ แต่ที่นิยมใช้มีดังนี้คือ

1. เครื่องวัดแบบโม่บอล (Mobile ball flow meter) (รูปที่ 2.3)
2. เครื่องวัดแบบมานอเมตริก (Manometric flow meter) (รูปที่ 2.4)
3. เครื่องวัดแบบฟองสบู่ (Soap bubble flow meter) (รูปที่ 2.5)

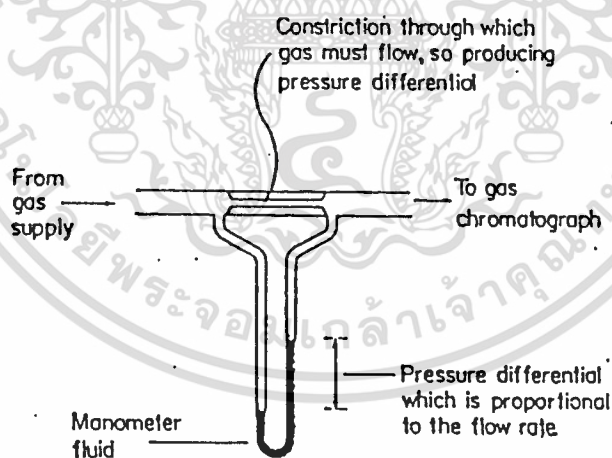
เครื่องวัดอัตราความเร็วของแก๊สแบบโม่บอล นี้จะนิยมใช้มากกว่าแบบมานอเมตริก เพราะสามารถอ่านค่าอัตราเร็วของแก๊สจากที่อยู่บน เทเปอร์ทิวล์ (tapered tube) ได้เลย แตกต่างกับเครื่องวัดแบบมานอเมตริกซึ่งวัดเป็นค่าความดัน

เครื่องวัดอัตราความเร็วของแก๊สแบบฟองสบู่นี้เป็นเครื่องที่ใช้งานและนิยมใช้กันมากที่สุด โดยให้น้ำสบู่ในการวัดอัตราเร็วของแก๊สโดยวัดความแตกต่างของฟองสบู่ ที่วิ่งที่ไหลบนหลอดแก้ว (บางที่สามารถใช้บิวเรตแทน) และเวลาที่ใช้ในการวิ่งของฟองสบู่สามารถคำนวณออกมาเป็นอัตราเร็วของแก๊สได้ วิธีการวัดแบบนี้ต้องต่อเครื่องวัดเข้ากับแก๊สพา ที่ออกมาจากเครื่องตรวจวัด ดังนั้นเพื่อป้องกันการวัดอัตราเร็วของแก๊สจะต้องปิดแก๊สไวไฟ (ไฮโดรเจน) เสียก่อน ข้อเสียของเครื่องวัดอัตราเร็วแบบฟองสบู่คือ ฟองสบู่อาจมีการแตกกลีบออกมาทำให้การอ่านค่าผิดพลาดได้

อัตราความเร็วของแก๊สที่เหมาะสมต่อแคปิลลารี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/4"$ นี้คือ 75 มิลลิตร/นาที และกลลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/8"$ ควรเป็น 25 มิลลิตร/นาทีสำหรับแคปิลลารีกลลัมน์ ที่ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใช้โดยทั่วไปไม่ควรต่ำกว่า 0.5 มิลลิตร/นาที

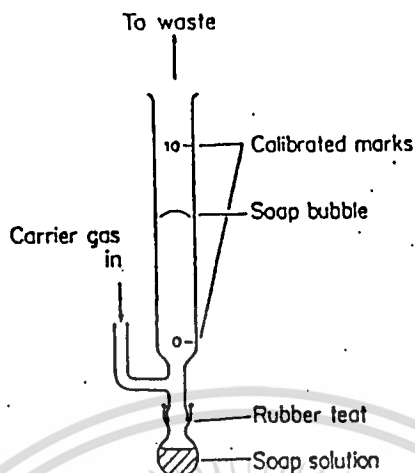


รูป 2.3 เครื่องวัดอัตราเร็วของแก๊สแบบ Mobile ball flow meter



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดอัตราเร็วของแก๊สแบบ Manometric flow meter

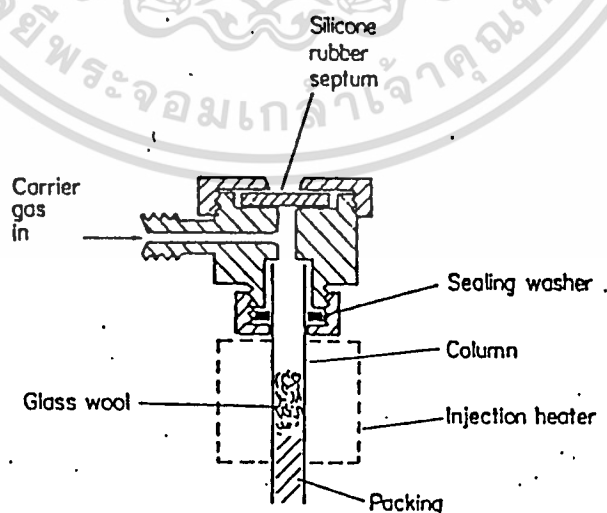
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เครื่องวัดอัตราเร็วของแก๊สแบบ Soap bubble flow meter

2.3 ระบบการฉีดน้ำ

การวิเคราะห์ใน GC สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกฉีดเข้าไปในพอร์ทที่ฉีดน้ำ (Injection port หรือ Sample introduction) อย่างรวดเร็ว (รูปที่ 2.6) เนื่องจากสารที่ต้องการวิเคราะห์จะต้องระเหยได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้ส่วนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก ๆ โดยการให้ความร้อน (heat) โดยทั่วไปอุณหภูมิของพอร์ทที่ฉีดน้ำ จะสูงกว่าอุณหภูมิของคอลัมน์ประมาณ $30-50^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 2.6 แสดง Injection port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ใน GC จะเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและแก๊ส

- ตัวอย่างเป็นของเหลว ตัวอย่างนั้นสามารถนำเข้าสู่เครื่อง GC โดยการฉีดด้วยไมโครสริงค์(microsyringe)ผ่านแผ่นยาง (rubber septum) เข้าสู่คอลัมน์
- ตัวอย่างแก๊สสามารถนำเข้าสู่เครื่องโดยการฉีดด้วยแก๊สไทด์สริงค์(gas tight-syringe) หรือใช้แก๊สแซมเปิลิงวาล์ว(gas sampling valve)(sample loop)
- ตัวอย่างเป็นของแข็งต้องนำมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วจึงฉีดเข้าสู่เครื่องแต่ในกรณีของแข็งที่ไม่สามารถระเหยกลายเป็นไอในอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ก็ต้องทำอนุพันธ์ (derivative) เสียก่อนที่จะฉีดเข้าไป และของแข็งที่ละลายได้ยากเช่น สารพวกโพลีเมอร์(polymer)จะต้องดีคอมโพส(decompose)สารให้เป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำเสียก่อนโดยวิธีไพโรไลซิส(pyrolysis)

ปริมาณสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่องจะมีปริมาณตั้งแต่ ไมโครลิตร(microliter) (μl) ถึง มิลลิลิตร(milliliter) (ml) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของคอลัมน์และสารตัวอย่างดัง ตารางที่ 2.1

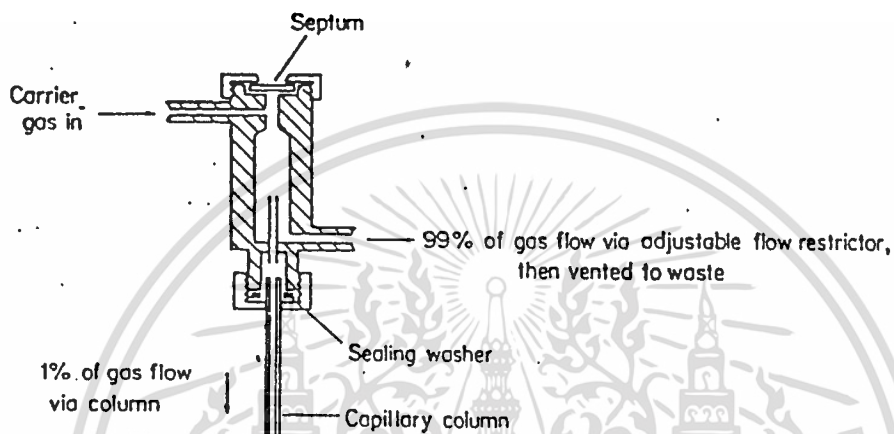
ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณของตัวอย่างที่ใช้กับคอลัมน์ชนิดต่าง ๆ

(* เป็นปริมาณของตัวอย่างที่ต้องใช้เทคนิคการ split ตัวอย่าง)

Column type	Sample volume	
	gas	liquid
Preparative 1 in. O.D. 20% liquid	0.05-5 l	0.02-2 ml
Regular analytical 1/4 in. O.D. 10% liquid	0.5-50 ml	0.2-20 μl
High efficiency 1/8 in. O.D. 2% liquid	0.1-1 ml	0.01-2 μl *
Capillary 1/16 in. O.D. 0.5 μm film	0.1-10 μl	0.001-0.5 μl *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากปริมาณตัวอย่างที่ใช้สำหรับคอลัมน์ชนิดแคปิลลารีคอลัมน์ จะมีปริมาณน้อยมากจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคของการแยก (splitter) ตัวอย่างช่วยสำหรับการวิเคราะห์ (รูปที่ 2.7) ถ้าปริมาณตัวอย่างที่เข้าไปในคอลัมน์ชนิดนี้มากเกินไปจะทำให้การแยกสารไม่ดี



รูปที่ 2.7 เทคนิคของการ splitter ตัวอย่าง

การฉีดสารตัวอย่างเข้าคอลัมน์ชนิดแคปิลลารี นี้มีอยู่ 3 แบบคือ

1. การฉีดแยก(split injection)
2. การฉีดแบบสปลิตเลส(Splitless)
3. การฉีดแบบคูลออนคอลัมน์(Cool, on-column injection)

เทคนิคของการฉีดสารตัวอย่างทั้งสามแบบนี้ สามารถดูรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เทคนิคของการฉีดตัวอย่างใน Capillary column

On-Column	Splitless	Split
Trace analysis	Trace analysis	Major component analysis
"Cool" technique	Flash vaporization technique	Flash vaporization technique
Fast injection	Slow injection	Fast injection
Manual	Automated	Automated
Routine operation	Complex operation	Routine operation
Direct quantification	Direct quantification	Indirect quantification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฉีดแบบแยก (รูปที่ 2.8) เนื่องจากการฉีดตัวอย่างที่มีจำนวนน้อยมาก ($0.001-0.5\mu\text{I}$) เข้าสู่คอลัมน์แบบแคปิลารี ที่ทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบการแยก ตัวอย่างบางส่วนออกไปก่อนที่จะเข้าคอลัมน์ ตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าไปและระเหยกลายเป็นไอ ตัวอย่างที่กลายเป็นไอบางส่วนถูกปล่อยออกไปทาง ช่องระบาย (split vent) จำนวนตัวอย่างที่เข้าคอลัมน์จะขึ้นกับค่า อัตราการแยก (split ratio) ซึ่งค่านี้ตั้งแต่ $10:1$ ถึง $1000:1$

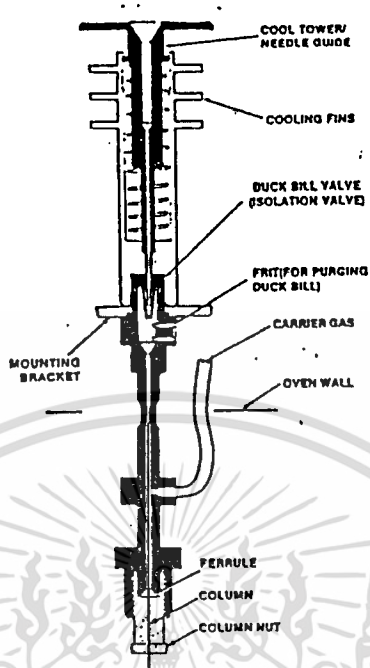
$$\text{Split ratio} = \frac{\text{flow (vent)}}{\text{flow (column)}} = \frac{\text{อัตราเร็วของแก๊สพาที่ระบายทิ้งไป}}{\text{อัตราเร็วของแก๊สพาที่เข้าสู่คอลัมน์}}$$

ตัวอย่างเช่น ฉีดตัวอย่าง $0.1\mu\text{l}$ และใช้อัตราการแยก $100:1$ แสดงว่าตัวอย่างที่เข้าไปในคอลัมน์จะเท่ากับ $0.001\mu\text{l}$ ตัวอย่างที่เหลือจะถูกปล่อยออกไปสู่บรรยากาศ ทางช่องระบาย

การฉีดตัวอย่างแบบแยกนี้จะใช้สำหรับวิเคราะห์สารที่มีความเข้มข้นมาก โดยไม่ต้องเจือจางตัวอย่างด้วยตัวทำละลาย (solvent)

การฉีดแบบสปีลิตเลส (รูปที่ 2.9) การฉีดตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้สำหรับตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้นน้อยมาก (diluted sample) เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์แบบเทรซ (Trace analysis) ความเข้มข้นของสารสำหรับการฉีดแบบนี้ในแคปิลารีคอลัมน์ มีค่าประมาณ 0.1 ppm ตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าคอลัมน์โดยไม่มีการระบายทิ้งออกไป

การฉีดแบบคูลออนคอลัมน์ (รูปที่ 2.10) การฉีดตัวอย่างวิธีนี้ ตัวอย่างจะไม่ระเหยกลายเป็นไอตัวอย่างที่เข้าสู่คอลัมน์จะอยู่ในสภาพของเหลวเนื่องจากมีระบบหล่อเย็น (cooling) การฉีดสารตัวอย่างชนิดนี้เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์แบบปริมาณ (quantitative) เนื่องจากมีความแม่นยำและความถูกต้องดีมาก ช่วยลดปัญหา mass discrimination (การสูญเสียตัวอย่าง) อันเนื่องมาจากเข็มที่ฉีดตัวอย่าง ลดปัญหาพิคหลอก (ghost peak) ที่เกิดขึ้นจากการรั่วของสเปกตรัม (spectrum) แต่ข้อเสียของการฉีดตัวอย่างแบบนี้ก็คือ สารที่ไม่สามารถระเหยกลายเป็นไอในตัวอย่างจะจับกับคอลัมน์ และสะสมกันมากขึ้นทำให้สูญเสียประสิทธิภาพของคอลัมน์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดง cool, on-column injection

2.4 คอลัมน์

คอลัมน์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับงานด้าน GC มาก วัสดุที่ใช้ทำคอลัมน์มีหลายชนิด เช่น ทองแดง เหล็กสเตนเลส (stainless-steel) อลูมิเนียมหรือแก้ว ลักษณะของคอลัมน์อาจเป็นเส้นตรง โค้ง หรือทอเป็นรูปคอล์ย(coil)

การเลือกวัสดุที่ใช้ทำคอลัมน์นั้นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารตัวต่างด้วย คอลัมน์ที่ทำด้วยแก้วนั้นเหมาะสำหรับงานวิเคราะห์สารเกือบทุกชนิด ยกเว้นสารที่สามารถกัดกร่อนเช่นพวกฮาโลเจน(halogens) และในการหาปริมาณจำนวนน้อยมากๆของพวกสารประกอบซิลิเฟอคอลัมน์ที่ทำจากเหล็กสเตนเลสสามารถใช้ในการวิเคราะห์สารพวกไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) และสารที่โพลาร์(polar)เช่นอีสเตอร์(ester) ส่วนคอลัมน์ที่ทำจากทองแดง และ อลูมิเนียมนั้นอาจจะไม่ให้ผลดีสำหรับการแยกสารพวก อามีน(amines), เทอร์เพน (terpene) และ สเตออยด์ (steroid) เพราะออกไซด์ของโลหะเหล่านี้จะเป็นตัวดูดซับ (adsorbents) ทำให้เกิดการดูดซับจึงจะทำให้เกิด เทลลิงพีค(tailing peak) ได้และอาจจะทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่จะทำการวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลัมน์ที่มีความยาวมากอาจจะใช้แยกสารได้ดี เพราะมีจำนวนเทอรัคริติคอลเพลท (theoretical plate) มากทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าความยาวของคอลัมน์มากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหาขึ้น เช่น ต้องให้ความดันสูงในการฉีดสารตัวอย่าง เข้าเครื่อง GC เพราะเกิดความดันย้อนกลับขึ้นมาก เมื่อความยาวคอลัมน์มากขึ้นจึงทำให้การฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องเป็นไปได้ยากมาก และจะพบว่ารีโซลูชั่น (การแยกสาร) ลดลงเพราะสารประกอบที่จะแยกออกมาจากคอลัมน์ต้องใช้เวลานานขึ้นจะได้โครมาโตแกรมที่มีพีคกว้าง

ในคอลัมน์จะบรรจุไว้ด้วยสารที่ใช้เป็นโพลิซิลิโพลท์และสแตนท์ในรีเฟส

2.4.1 โพลิซิลิโพลท์

โพลิซิลิโพลท์เป็นส่วนที่ใช้เพื่อให้สแตนท์ในรีเฟสเกาะและการกระจายตัวสม่ำเสมออยู่บนผิวหน้าของ โพลิซิลิโพลท์

คุณสมบัติของโพลิซิลิโพลท์ที่สำคัญมีดังนี้

1. อินเออร์ท (inert) ไม่มีการดูดซับหรือทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวิเคราะห์
2. มีความแข็งแรงพอควร สามารถทนต่อแรงอัดเมื่อใช้ความดัน
3. มีพื้นที่ผิวหน้ามาก (1-20 ตารางเมตร/กรัม)
4. มีขนาดของอนุภาคสม่ำเสมอเท่าๆกัน และมีรูปร่างเหมือนกันทุกอนุภาคเพื่อให้การบรรจุในคอลัมน์สม่ำเสมอ
5. มีรูพรุนบนอนุภาคสม่ำเสมอและขนาดประมาณ $10\mu\text{m}$ หรือเล็กกว่า

โพลิซิลิโพลท์ที่นิยมใช้ใน แกสลิควิดโครมาโตกราฟี (GLC) สามารถแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

1. ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ท (Diatomaceous earth) (Kieselguhr) หรือไดอะตอมไมท์ (diatomite)

เกิดจากการทับถมของโครงสร้างของสาหร่ายเซลล์เดียว (microscopic unicellular algae) มีลักษณะเป็นรูพรุน มีองค์ประกอบเคมีเป็นซิลิกา (SiO_2) นอกจากนี้ อาจประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะเช่น Al_2O_3 , TiO_2 , CaO และ MgO ไดอะตอมไมท์

มีพื้นที่ผิวมากประมาณ 20 ตารางเมตร/กรัม มีชื่อทางการค้าว่าโครโมซอร์บ (Chromosorb)

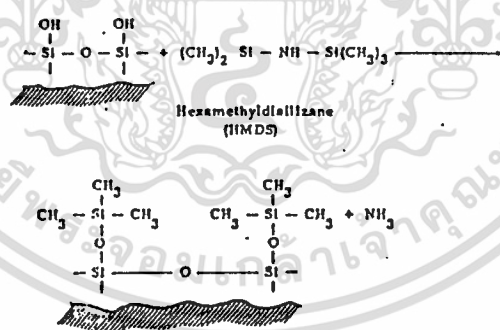
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคอะตอมมาเซ็สเล็ทเป็น โพลีซิลิเพอร์ท ที่มีความเฉื่อย(inert)น้อยกว่าโพลีซิลิเพอร์ท อีก 2 ชนิดที่ผิวของมันจะมีพากลิลานอล (silanol, Si-Ho) และ ไทโลเซน(siloxane, Si-O-Si) อยู่ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารละลาย หรือ สเต็ที่เนารีเฟสแบบพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ได้ทำให้เกิดเกล็ดงีได้ จึงเ็นผลการกระทำของผิวหน้าของซิลิเพอร์ทที่เ็นโค

ก. การล้างด้วยกรด (acid wash)

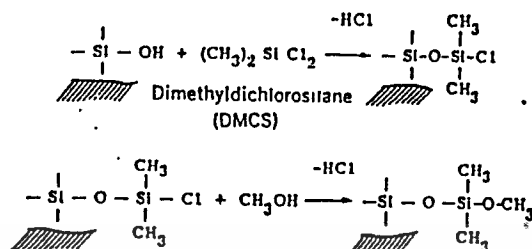
ข. การทำปฏิกิริยากับซิลานอล(silanol group)ด้วยเฮกซะเมทิลดิซิลิเซน(hexamethyldisilazane) (HMDS) (รูปที่ 2.11)

ค. การทำปฏิกิริยากับซิลานอล(silanol group) ด้วยไดเมทิลดิคลอโรซิลิเลน(dimethyl dichlorosilane) (DMCS) (รูปที่ 2.12)

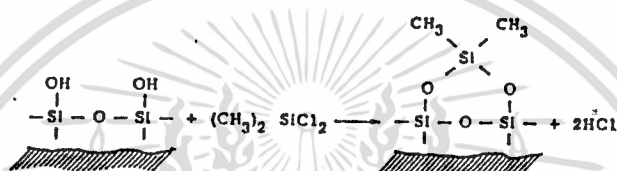


รูปที่ 2.11 แสดงการทำปฏิกิริยาของ silanol group กับ hexamethyldisilazane (HMDS)

a. Single hydroxyl group



b. Adjacent hydroxyl groups



รูปที่ 2.12 แสดงการทำปฏิกิริยาของ silanol group กับ dimethyl dichlorosilane (DMCS)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซิลิคัฟฟอรัทชนิดนี้ จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสารดีขึ้นลดเกลี้ยง และเพิ่มรีโซลูชัน

2. ฟลูออคาร์บอนโพลิเมอร์ (Fluorocarbon polymer) เป็นซิลิคัฟฟอรัทที่เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีชื่อทางการค้า เช่น เทฟลอน-6 (Teflon-6) ซึ่งปัจจุบันเป็นซิลิฟฟอรัท ที่ให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์ดีและมีความเหนียวมาก ใช้สำหรับวิเคราะห์สารที่โพลาร์มาก

3. กลาสบีด (Glass beads) เป็นซิลิฟฟอรัทที่ทำมาจากแก้ว

ซิลิคัฟฟอรัททั้ง 3 ชนิดจะต่างกันที่คุณสมบัติเฉพาะของพื้นผิวหน้า (specific surface area) และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของสเต็มเมอร์ลิควิดเฟสที่จะเคลือบอยู่ได้ (% loading)

ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดง solid support สำหรับ GLC

Name	Surface area (m ² /g)	Pore sizes (μm)	Max % liquid phase
Diatomaceous Earth			
Chromosorp P	4.0	0.4-2	30
Chromosorp W	1.0	8-9	15
Chromosorp G	0.5	-	5
Chromosorp A	2.7	-	25
Fluorocarbon polymer			
Teflon - 6	7.8	None	10
Glass			
Micrbbeads	0.01	None	3

โพลิดิซเพอร์ที่ใช้ใน GLC มีชื่อทางการค้าว่า โครโมซอร์บ (John Manville) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีประมาณ 5 ชนิด คือ

1. โครโมซอร์บ A ใช้สำหรับพีแพร่เรทีฟสเกล (preparative scale) คือใช้แยกสารจำนวนมากๆ ตัวของมันเองสามารถเคลือบด้วย สเตชันนารีเฟสได้ถึง 25% โครงสร้างไม่แตกง่ายมีการดูดซับต่ำ ขนาดที่นำมาใช้มี 10-20, 20-30 และ 30-40 mesh

2. โครโมซอร์บ G ใช้สำหรับแยกสารพวกโพลาร์ มีพื้นที่ผิวน้อยส่วนลักษณะ และคุณสมบัติคล้ายกับ โครโมซอร์บ W ดังนั้นเมื่อเคลือบด้วย ลิกนิตเฟสแล้วพบว่า 5% โครโมซอร์บ G จะมีคุณสมบัติเหมือนกับ 12% ของ โครโมซอร์บ W

3. โครโมซอร์บ W (W = white) ลักษณะเป็นผงสีขาวมากกว่าโครโมซอร์บ G โครโมซอร์บ W มีการดูดซับต่ำมากหรือเกือบไม่มีเลยใช้แยกสารพวกโพลาร์ได้ดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โครโมซอม P (P = pink) มีลักษณะแข็งมากมีความดูลื่นมากกว่าโครโมซอมชนิดอื่น ใช้ในการแยกสารพวกไฮโดรคาร์บอน

5. โครโมซอม T เป็นฟลูออคาร์บอนเรซินใช้สำหรับแยกสารที่มีโพลาไรตี้อย่างมากหรือสารที่รีแอคทีฟ(reactive) เช่น น้ำ, ไฮไดรราซีน(hydrazine), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(sulfur dioxide) และสารพวก สารไอเจน แต่เนื่องจากมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้ซ้ำ แยกสารไม่ได้ผลดีนัก ดังนั้นจึงนำมาใช้ต่อเมื่อต้องการไม่ให้สารทำปฏิกิริยากับโครโมซอมเท่านั้น

ขนาดของโซลิดซัพพอร์ท จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการแยกสาร ขนาดของโซลิดซัพพอร์ท ที่จะทำให้การแยกสารดีจะต้องมีขนาดสม่ำเสมอ และมีขนาดเล็กที่นิยมใช้กันมากคือ เมชไซด์(mesh size) ในช่วง 80-100 ความสัมพันธ์ระหว่างเมชไซด์ของโซลิดซัพพอร์ท กับขนาดแสดงได้ดัง ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดง Mesh size และ Particle size ของ solid support

Mesh Range	Particle diameter (μm)
45 /60	354 - 250
60 /80	250 - 177
80 /100	177 - 149
100 /120	149 - 125
325 /400	44 - 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอคซอบเบนท์ในโครมาโตกราฟี (GSC)

เนื่องจากการแยกสารในแก๊สโครมาโตกราฟี(GSC) นั้นอาศัยหลักของการดูดซับของสารบนผิวของโพลิเมอร์ที่เรียกว่า แอคซอบเบนท์(adsorbent) (ตัวดูดซับ) โพลิเมอร์ชนิดนี้จะปราศจากสเต็มเมอร์เฟสใดๆทั้งสิ้น ค่าของการแพร่กระจาย (Distribution coefficient) ในแอคซอบเบนท์จะมีมากกว่าในโพลิเมอร์สำหรับGLC ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ในการวิเคราะห์พวกแก๊สเช่นไฮโดรเจนคลอไรด์, คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน, ออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์สารที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น อีธานอล(ethanol, methanol)

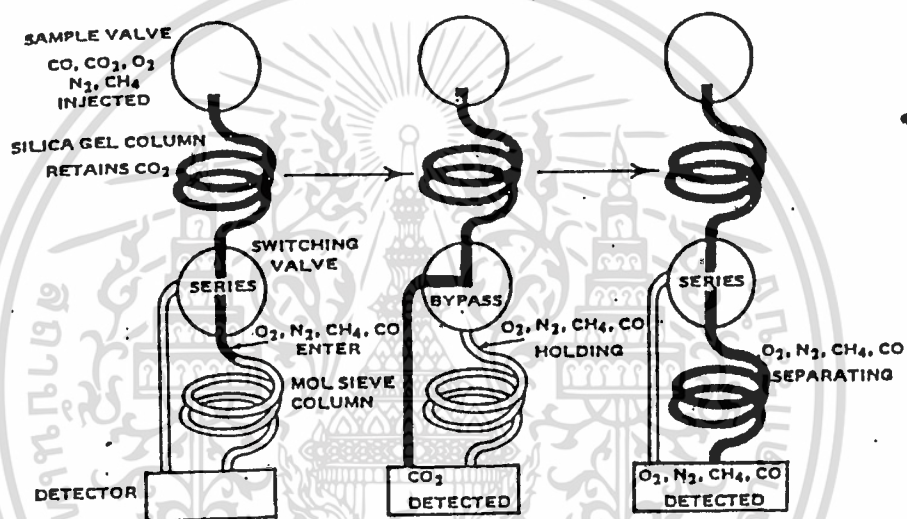
แอคซอบเบนท์ใน GSC สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ

1. โมเลกุลาร์ซีฟ(Molecular Sieves)
2. โพรสโพลิเมอร์(Porous Polymer)
3. ซิลิกาเจล(silica gel)
4. คาร์บอน(Carbon)

- โมเลกุลาร์ซีฟ หรือ ซีโอไลต์ ตัวดูดซับชนิดนี้เป็น อลูมิเนียมซิลิเคตไอออนเอ็กซ์เชนจ์(Aluminum silicate ion exchange) ขนาดทั่วไปที่นิยมใช้คือ 40-60 mesh ถึง 100-120 mesh โมเลกุลาร์ซีฟโดยทั่วไป จะมีขนาดของรูพรุนเท่ากับ 4, 5, 10, และ 13 Å ที่นิยมใช้จะเป็นโมเลกุลาร์ซีฟ 5 Å ซึ่งสามารถใช้ในการแยกออกซิเจนและไนโตรเจนได้ดีแต่จะมีข้อเสียสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผลการวิเคราะห์จะไม่ถูกต้องเพราะคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับที่อุณหภูมิที่ใช้ ซึ่งสามารถจะแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการใช้คอลัมน์อีกคอลัมน์ก่อนถึงคอลัมน์ที่จะวิเคราะห์ซึ่งคอลัมน์นี้จะเป็นตัวจับคาร์บอนไดออกไซด์ และปล่อยแก๊สชนิดอื่นๆ ผ่านเข้าไปในคอลัมน์ที่จะวิเคราะห์ดังรูปที่ 2.13

- โพรสโพลิเมอร์ เป็นตัวดูดซับที่เป็นโพลิเมอร์ที่มีรูพรุน (porous) เช่น โพลาค (Porapak) และ โครโมซลอบ 102 โพลาคเป็นโพลิเมอร์ของ สไตลีนไดไวนิลเบนซีน(styrene divinylbenzene) เหมาะสำหรับการแยกแก๊สและสารที่โพลาร์ เช่นไฮโดรเจนคลอไรด์ ออก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจน, น้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์, เมทานอล และ ไวนิลคลอไรด์



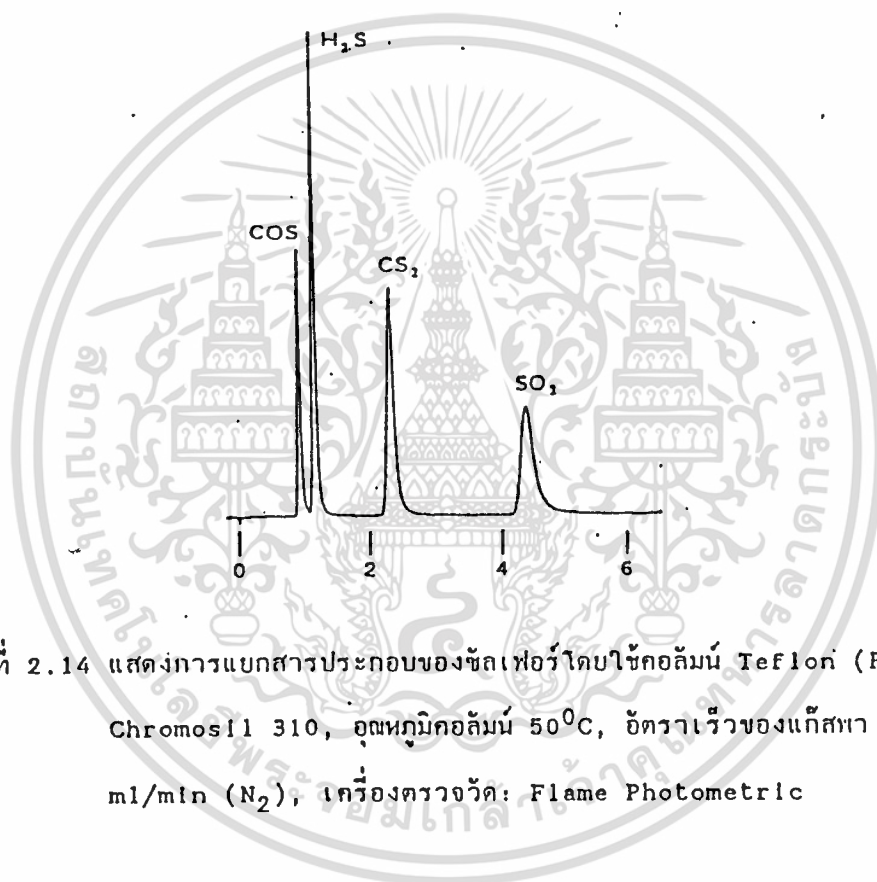
รูปที่ 2.13 วิธีการใช้คอลัมน์ชนิด silica gel จับคาร์บอนไดออกไซด์ก่อน
ที่จะเข้าคอลัมน์ชนิด molecular sieve

- ซิลิกาเจล เป็นตัวดูดซับที่ใช้วิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ และ แก๊สชนิดอื่นๆ มี

ซิลิกาเจลชนิดหนึ่งเรียกว่า โครโมซิล (chromosil) ใช้สำหรับวิเคราะห์สารประกอบของซิล

เฟอร์ในระดับปริมาณน้อยมาก ๆ (รูปที่ 2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

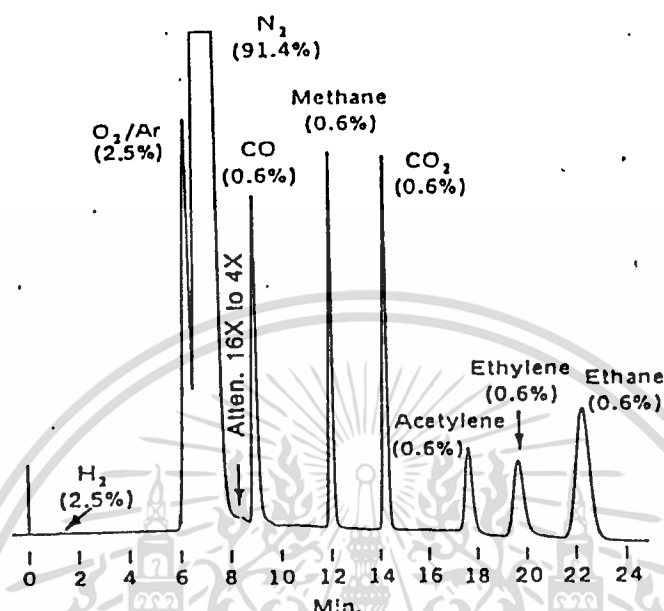


รูปที่ 2.14 แสดงการแยกสารประกอบของซัลเฟอร์ไดโบไซค์อลัมน์ Teflon (FEP) Chromosil 310, อุณหภูมิคอลัมน์ 50°C , อัตราเร็วของแก๊สพา 20 ml/min (N_2), เครื่องตรวจวัด: Flame Photometric

- คาร์บอน, คาร์บอนที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับ GSC นั้นมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แอคทีวี่เต็ดชาโคล (activated charcoal) จะเป็นตัวดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเล็กมากๆ, คาร์บอนโมเลกุลาร์ซีฟ (carbon molecular sieve) เป็นพวกคาร์บอนที่มีรูพรุนคล้ายชนิดซีโอไลท์ (Zeolites) ใช้สำหรับวิเคราะห์ออกซิเจน ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ดัง

รูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงการแยกสารประกอบพวก light hydrocarbon และแก๊ส คอลัมน์ Carbpsoeve S-II (Carbon Molecular Sieve) : อุณหภูมิคอลัมน์ 35°C นาน 7 นาที แล้วเพิ่มไปจนถึง 225°C ด้วยอัตรา 32°C/นาที อัตราเร็วแก๊สพา 30 ml/min (He) เครื่องตรวจวัด TCD

2.4.2 สเตชันนารีเฟส หรือ ลิควิดเฟส

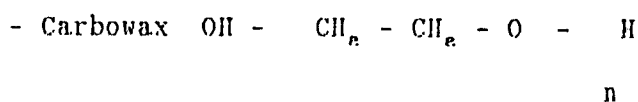
สเตชันนารีเฟสเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของคอลัมน์ เพราะการแยกของสารจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับสเตชันนารีเฟสที่ใช้ว่าจะจับสารนั้นไว้ได้มากน้อยต่างกันเท่าใด

คุณสมบัติของ Stationary phase มีดังนี้

1. มีความเฉื่อย (inert) คือไม่ทำปฏิกิริยาเคมีใด ๆ กับสารอื่น
2. ต้องละลายในตัวทำละลาย (solvent) ได้ดี ซึ่งคุณสมบัตินี้จำเป็นมากในการ

เคลือบสเตชันนารีเฟสบนวัสดุตัวรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใช้ในการแยกสารที่ซึ่งมีความมีขั้ว(Polarity)มากๆเช่น ไฮดรอกซีแอซิด (Hydroxy acid), อมิโนแอลกอฮอล์ (Amino alcohol)



ใช้กับสารที่มีความมีขั้วขนาดปานกลางเช่น อีเทอร์ (ether), คีโตน (ketone), อัลดีไฮด์ (aldehyde), เอสเตอร์ (ester) และ ไนโตรคอมพาวนด์(nitro compound)



ใช้ในการแยกสารที่ซึ่งความมีขั้วน้อยๆหรือไม่มีเลยเช่น อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon), ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon), โอลิฟินส์ (olefinic hydrocarbon)

โดยสรุปการเลือกสแตชั่นนารีเฟสมีกriteriหลักๆๆคือเลือกให้ สแตชั่นนารีเฟสที่มีขั้วใกล้เคียงกับตัวอย่างสารที่ 2.5 แสดงการแบ่งสารตาม ความมีขั้วที่จะทำการวิเคราะห์โดยวิธี GC ตามแบบของ Ewellและคณะ และตารางที่ 2.6 แสดงการแบ่งสแตชั่นนารีเฟส(liquid phase) ที่ใช้ในการแยกสารต่างๆตามแบบของ Ewellและคณะ

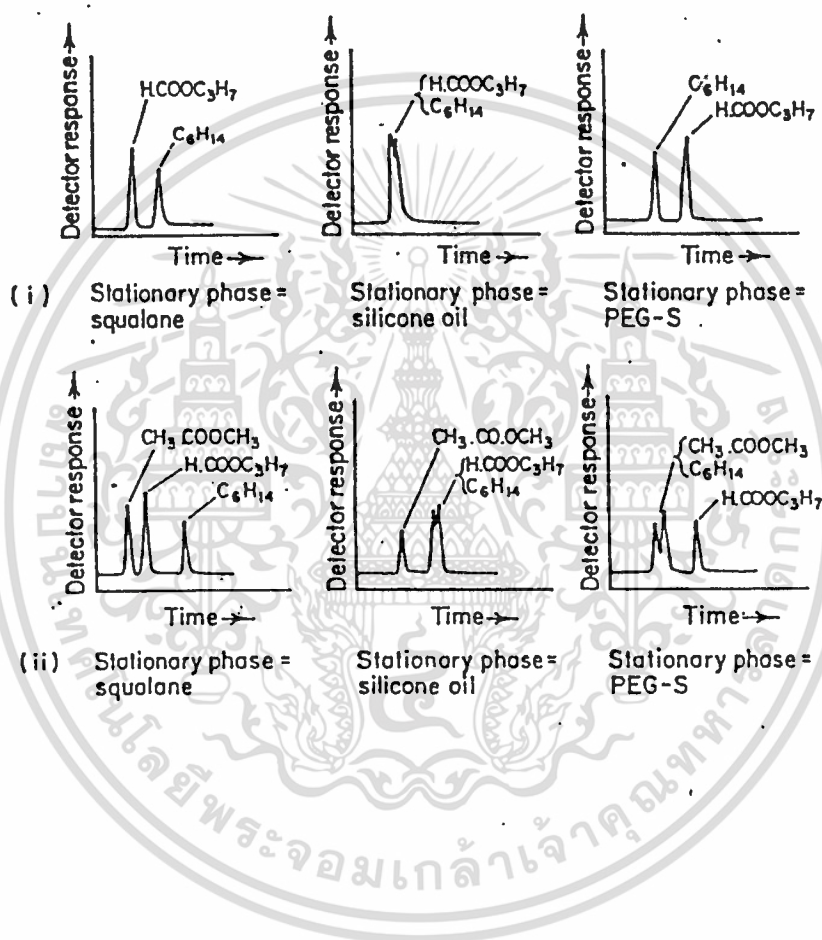
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLASS I (Most Polar)	CLASS II (Polar)		
Water	Alcohols		
Glycol, glycerol, etc.	Fatty acids		
Amino alcohols	Phenols		
Hydroxy acids	Primary and secondary amines		
Polyphenols	Oximes		
Dibasic acids	Nitro compounds with α -H atoms		
	Nitriles with α -H atoms		
	NH_3 , HF, N_2H_4 , HCN		
CLASS III (Intermediate)	CLASS IV (Low Polarity)		
Ethers	CHCl_3		
Ketones	CH_2Cl_2		
Aldehydes	CH_3CHCl_2		
Esters	$\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$		
Tertiary amines	$\text{CH}_2\text{ClCHCl}_2$ etc.		
Nitro compounds with no α -H atoms	Aromatic hydrocarbons		
Nitriles with no α -H atoms	Olefinic hydrocarbons		
CLASS V (Non-Polar)			
Saturated hydrocarbons			
CS_2			
Mercaptans			
Sulfides			
Halocarbons not in Class IV such as CCl_4			
CLASS A (I)	CLASS B (II)	CLASS C (III)	CLASS D (IV & V)
Tetracyanoethyl pentaerythritol	Zonyl E-7	All polyesters	SE-30
Ethofat	β, β -Oxydipropionitrile	Dibutyl tetrachlorophthalate	SF-96
XE-60	XF-1150	SAIB	DC-200
Amine 220	Epon 1001	Tricresyl phosphate	Dow 11
Cyanoethyl sucrose		STAP	Squalane
		Benzyl cyanide	Hexadecane
		Lexan	Aplezons
		Propylene carbonate	OV-1
		QF-1	
		Polyphenylether	
		Dimethylsulfolane	
		OV-17	

การเลือกใช้สเตรนเนอร์เฟสตามความเป็นขั้วนั้น จะมีผลต่อการแยกสารดังตัวอย่างในรูปที่ 2.16 ซึ่งจะพบว่าสควาร์เลน(squalane)เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างพวกอัลเคน และ อีสเตอร์ มากกว่า สเตรนเนอร์เฟส อีก 2 ชนิดคือ ซิลิโคนออยล์(silicone oil)

และPRG-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ผลของโพลาริตีของ สเตชันนารีเฟส ต่อการแยกสารของ

(i) พวก อัลเคน และ เอสเตอร์

(ii) พวก อัลเคน และ เอสเตอร์ 2 ชนิด

นอกจากนี้แล้วการเลือกให้ สเตชันนารีเฟส ยังสามารถเลือกให้ได้ดังตารางที่ 2.7 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงการเลือกใช้สแตนท์ในน้ำเฟส (liquid phase)

ตามชนิดของตัวอย่าง

<u>CLASSIFICATION</u> <u>OF COMPOUNDS</u>	<u>STATIONARY PHASE</u>
ACIDS	
$C_1 - C_{16}$ (free)	FFAP
Bile and Urinary	SE - 30
Fatty Acid-Meteyl Esters	DEGS
	FFAP
	Apiezon L
	TCEPE
	TGSS-X
ALCOHOLS	
$C_1 - C_8$	
$C_1 - C_{16}$	Hallecoomid M - 18 OL
Di - Poly	Csrbowax 600 or 1540
	FFAP
	Carbowax 20
	QF - 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALDEHYDES	Ethofat
$C_1 - C_6$	Carbowax 20M
$C_8 - C_{10}$	
AMINO ACID DERIVATIVES	
N-Buytk trifluoroacetyl esters	DEGS/EGSS-X
AMINES	
;See Nitrogen Compounds	
BORANES	
ESSENTIAL OILS	
General	FFAP
	Carbowax 20M
ESTERS	
Mixed	Dinonyl phthalate
	Porapak Q
	Carbowax 20M
ETHERS	Porapak Q
GLYCOLS	Carbowax 20M
HALOGEN COMPOUNDS	QF-1 (FS-1265)
	FFAP
Freons	Dibutyl Tetrachloro-phthalate
	ucon polar 2000
HYDROCARBONS	
aliphatic $C_1 - C_6$	Propylene Carbonate
	Carbowax 400
	Tributyl phosphate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_5 - C_{10}$	Didecylphthalate
	SE - 30
Aromatics	Tetracyanoethylated
	Pentaerythritol
	Dibutyl tetrachloro-phthalate
Hydroxy	2, 4 Xyleryk Phosphate
Olefin $C_1 - C_6$	AgNO ₃ /Benzyl cyanide
	Dimethylsulfolane
	Propylene Carbonate
	Carbowax 20M
Polynuclear $C_6 - up$	SE-30 on DMCS treated support
	FFAP on PMCS treated support
	PMPE (5 rint)
KETONES	Lexan
	FFAP
NITROGEN COMPOUNDS	
Amines	Dowfax 9N9/KOH
Amides	Versamid 900
Ammonia	Ethofat or Carbowax 600 on-
	Chromsor
NITRILES	Tetracyanoethylated
	Pentaerythritol
	FFAP
	XF-1150
	FFAP
ORGANO METALLIC	SE - 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>CLASSIFICATION</u> <u>OF COMPOUNDS</u>	<u>STATIONARY PHASE</u>
PESTICIDES	Dow 11 QF-1 (FS-1265) SE-30 OV-1, OV-17
PHOSPHORUS	SE-30 STAP
SILANES	SF-96 FFAP
STERIODS	STAP XE-60 QF-1 (FS-1265) SE-30 OV-1, OV-17
SUGAR DERIVATIVES	
Trimethylsilylethers	QF-1 SE-52
SULFUR COMPOUNDS	Carbowax 20M FFAP Dinonylphthalate Porapak Q
WATER	Porapak Q
ALKALOIDS	QF - 1 SE - 30

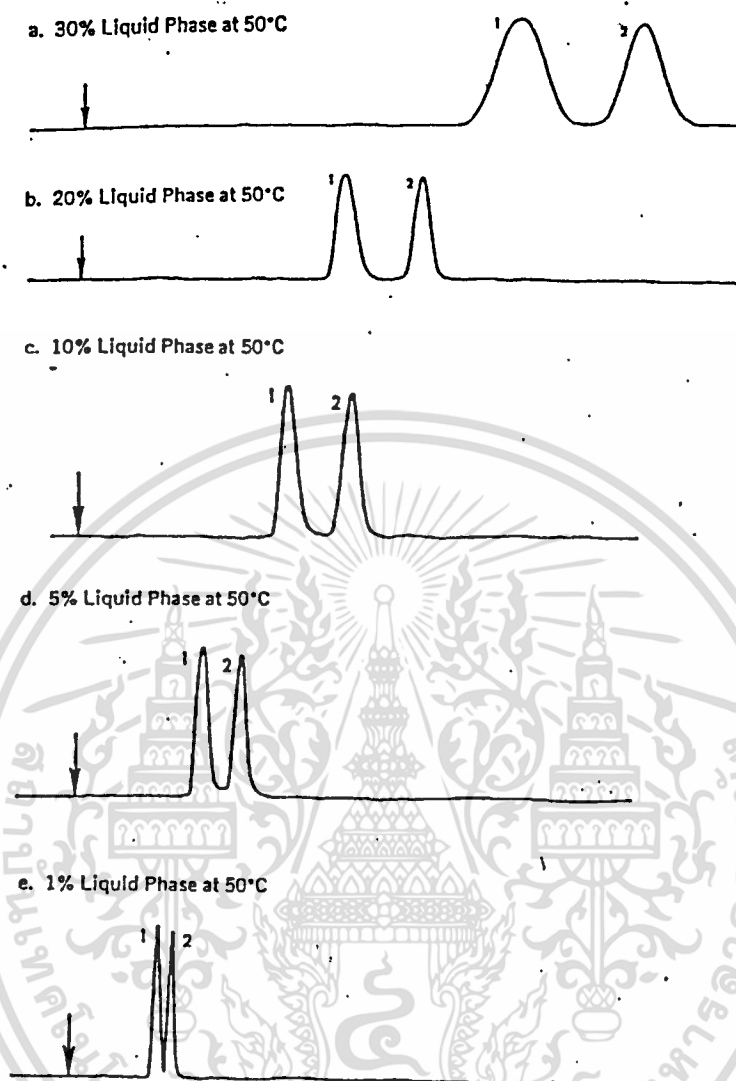
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLASSIFICATION OF COMPOUNDS	STATIONARY PHASE
GASES	
Ar and O ₂	6-feet Activated Molecular Sieve 5A at - 72 c
H ₂ , O ₂ , He, N ₂ , CO, CH ₄	20-feet Molecular Sieve 13X
CO ₂ , H ₂ S, CS ₂ , COS	Silica Gel or Porapak Q
H ₂ Isotopes	6-feet Activated Molecular Sieve
CO ₂ , N ₂ , O ₂ , CH ₄ , CO	2-1/2 Feet silica Gel internal column
	20-feet Molecular Sieve 13X external column
N ₂ O, CO ₂ , NO	Porapak Q

ความเข้มข้นของสแต็คเกอร์ที่ใช้

ปริมาณของสแต็คเกอร์โดยทั่วไปที่ใช้ใน แพ็คคอลัมน์นั้นจะมีตั้งแต่ 1-30% โดยน้ำหนัก สูง โวลิตีฟลอร์ แต่ที่นิยมใช้จะอยู่ระหว่าง 3-10 % ถ้าความเข้มข้นของสแต็คเกอร์เฟสมากเกินไปก็จะทำให้ความหนาของสแต็คเกอร์เฟสบนเพอร์ทที่มีค่ามากเกินไป และการเคลือบอาจจะไม่สม่ำเสมอกับผิวของเพอร์ทด้วย จะทำให้เกิดสมดุลของสารละลาย ระหว่าง โบบายเฟส และ สแต็คเกอร์เฟสเกิดได้ช้า การแยกสารก็จะได้พีคที่กว้าง และต้องใช้เวลาวิเคราะห์มากขึ้น ด้วย (เพิ่ม retention-time) แต่ถ้าความเข้มข้นของสแต็คเกอร์เฟสน้อยเกินไป อาจจะทำให้โวลิตีฟลอร์ทบางส่วนไม่มีสแต็คเกอร์เฟสเคลือบอยู่ ก่อให้เกิดการดูดซับของสารละลายบนโวลิตีฟลอร์ทได้ทำให้การแยกสารไม่ดี ดังนั้นการแยกสารที่คั้นควรใช้ สแต็คเกอร์เฟสที่มีความเข้มข้นพอควร ผลของความเข้มข้นของสแต็คเกอร์เฟสต่อเวลาในการแยกสาร (retention time) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง retention time และ % liquid phase ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิด peak ที่กว้างด้วย

อุณหภูมิของคอลัมน์

อุณหภูมิของสแตชันนารีเฟส หรือของคอลัมน์นั้นจะมีผลต่อการแยกสาร ถ้าอุณหภูมิของคอลัมน์สูงจะใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยการแยกสารจะได้ พิค ที่ดี ถ้าอุณหภูมิของคอลัมน์ต่ำจะใช้เวลาในการวิเคราะห์นานการแยกสารได้ พิค ที่กว้าง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแยกสารกับอุณหภูมิของคอลัมน์ดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

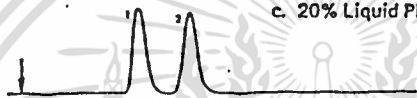
a. 20% Liquid phase at 30°C



b. 20% Liquid Phase at 40°C



c. 20% Liquid Phase at 50°C



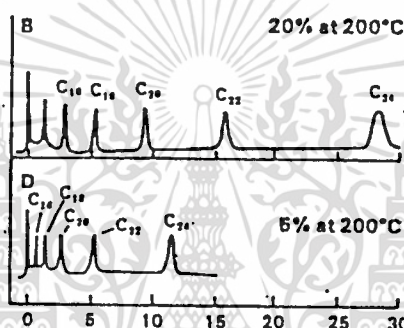
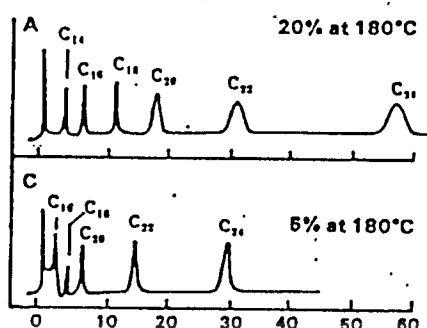
d. 20% Liquid Phase at 60°C



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ของ Retention time และอุณหภูมิของคอลัมน์

การวิเคราะห์สารนั้น โดยทั่วไปจะขึ้นกับความยาวของคอลัมน์ ความเข้มข้นของ สเตชันนารีเฟส และอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ใช้มีความยาวมากก็จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ มากขึ้นด้วย ส่วนความเข้มข้นของสเตชันนารีเฟส และอุณหภูมิของคอลัมน์มีความสัมพันธ์คือ ถ้า ใช้ความเข้มข้นของสเตชันนารีเฟสมากจะต้องใช้อุณหภูมิของคอลัมน์สูงขึ้นด้วยเพื่อให้เวลาในการ วิเคราะห์ไม่มากเกินไป ผลของอุณหภูมิของคอลัมน์และความเข้มข้นของสเตชันนารีเฟส ที่มีต่อ การแยกสาร แสดงให้เห็นใน รูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงผลของอุณหภูมิของคอลัมน์ และความเข้มข้นของ stationary phase ที่มีผลต่อการแยกสาร

การใช้ความเข้มข้นของสแตชันนารีเฟสเพิ่มขึ้น จะต้องใช้อุณหภูมิของคอลัมน์เพิ่มขึ้น ด้วยแต่การใช้อุณหภูมิของคอลัมน์จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของสแตชันนารีเฟสด้วยทั้งนี้เนื่องจาก สแตชันนารีเฟสแต่ละชนิดนั้น จะมีอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้ได้ดีสำหรับสแตชันนารีเฟสแต่ละชนิด (ตารางที่ 2.8) ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่าค่าอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับสแตชันนารีเฟส (liquid phase) นั้นของเหลวในหลอดเฟสอาจแข็งตัวเป็นของแข็งทำให้มีความหนืด (viscosity) สูงขึ้นมีผลทำให้การแยกสารไม่ดี ถ้าใช้อุณหภูมิคอลัมน์สูงกว่าอุณหภูมิค่าสูงสุดของสแตชันนารีเฟส จะทำให้ สแตชันนารีเฟสนั้นอาจจะสลายตัวหรือระเหยกลายเป็นไอมากเกินไปทำให้เบสไลน์ (baseline) หรือแบ็กกราวนด์ (background) มีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าอุณหภูมิค่าสุดและสูงสุดของ stationary phase

Material	Temperature range, °C
Nonpolar liquids	
Apiezon L	50-300
Silicone DC-200	50-350
Silicone SE-30	50-350
Squalane	20-150
Intermediate liquids	
Silicone DC-QF-1	0-275
Silicone OV-17	0-280
Polar liquids	
Carbowax 20M	60-225
Diethylene glycol succinate	20-200
Ethylene glycol adipate	20-190

ชนิดของคอลัมน์ใน GC

คอลัมน์ที่ใช้ใน GC นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

- ก. แพ็คคอลัมน์
- ข. แกปพิลาร์คอลัมน์ (open tubular column)

ก. แพ็คคอลัมน์

แพ็คคอลัมน์ คือ คอลัมน์ที่ภายในบรรจุด้วยโพลีเมอร์ที่เคลือบด้วย ลิควิดสเตชันนารีเฟส วัสดุที่ใช้ทำคอลัมน์ชนิดนี้โดยทั่วไปจะเป็นเหล็กสแตนเลส(stainless steel) ทองแดง อลูมิเนียม และแก้ว ความยาวที่ใช้มีตั้งแต่ 1-3 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2-9 มิลลิเมตร ขนาดของ โพลีเมอร์ที่ที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 60-80 mesh (250-170 ไมครอน)

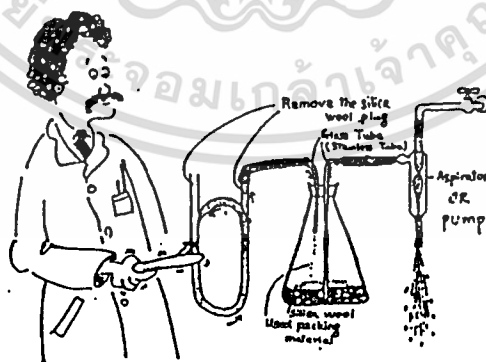
หรือ 80-100 mesh (170-149 ไมครอน) คอลัมน์ชนิดนี้สามารถที่จะเตรียมใช้ได้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เตรียมโซลิดซ์ฟอรัท ที่มีขนาดใกล้เคียงกันโดยใช้ตะแกรง(sieve)เป็นอุปกรณ์ช่วยเลือกขนาดโซลิดซ์ฟอรัท

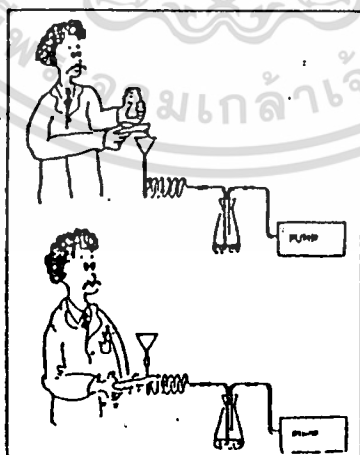
2. เคลือบโซลิดซ์ฟอรัทด้วย สเตียร์เนารีเฟสซึ่งทำได้โดยละลายสเตียร์เนารีเฟสในตัวทำละลายที่เหมาะสม ที่นิยมใช้ได้แก่ โคลโรฟอร์ม(chloroform), เมทิลีนคลอไรด์(methylene chloride), เมททานอล, อะเซโตน และ โทลูอีน แล้วเติมโซลิดซ์ฟอรัทลงไปในการละลายของสเตียร์เนารีเฟสนี้ คนสารละลายให้เข้ากันแล้วนำไประเหยตัวทำละลาย(solvent) ออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) จนกระทั่งได้โซลิดซ์ฟอรัทที่มีสเตียร์เนารีเฟสเคลือบอยู่ ในลักษณะที่แห้งปริมาณของ สเตียร์เนารีเฟสที่ใช้คำนวณได้จาก % โทลด์ลิ่ง(loading)

3. เตรียมท่อคอลัมน์สำหรับบรรจุ แผ่นกั้นแมททรีเรียลจะต้องล้างท่อคอลัมน์ให้สะอาดด้วย อะซีโตนแล้วใช้ปั๊มสุญญากาศเป่า ให้คอลัมน์แห้งแต่ถ้าคอลัมน์นั้นเป็นคอลัมน์เก่าที่มี แผ่นกั้นแมททรีเรียล แต่ใช้งานไม่ได้แล้วก็สามารถนำมาแก้ไขใหม่ได้โดยการใช้ปั๊มสุญญากาศดูดเอา แผ่นกั้นแมททรีเรียลออกจากคอลัมน์ได้ (รูปที่ 2.20) แล้วจึงล้างคอลัมน์ด้วยอะซีโตน



รูปที่ 2.20 แสดงวิธีการนำ packing material ที่ใช้งานไม่ได้แล้วออกจากคอลัมน์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การบรรจุแพ็คกิ้งแมททิเรียลที่เตรียมไว้แล้ว ลงในคอลัมน์จะต้องบรรจุให้แน่นที่สุดและสารกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งคอลัมน์ โดยไม่ทำให้สารแตกหักหรือรูปร่างเปลี่ยนไป (deforming) วิธีการบรรจุคอลัมน์ที่มีความยาว 2 เมตรทำได้โดยใช้ใยแก้ว (glasss wool) ปริมาณมากอุดคอลัมน์ทางปลายที่ต่อกับเครื่องตรวจวัด (detector) เพื่อป้องกันไม่ให้แพ็คกิ้งแมททิเรียล และใยแก้วถูกดูดออกจากคอลัมน์ แล้วต่อสายยาง (rubber tubing) เชื่อมระหว่างปลายคอลัมน์เข้ากับตัวดัก (trap) (รูปที่ 2.21) ระหว่างตัวดัก กับ ป้อนสุญญากาศ หลังจากนี้ต่อปลายคอลัมน์อีกข้างหนึ่งกับกรวย (funnel) ด้วยสายยางเช่นกัน ตอนแรกของการบรรจุคอลัมน์ให้เปิดปั๊ม ให้ความดันลดต่ำแล้วค่อย ๆ เติมแพ็คกิ้งแมททิเรียลลงในกรวยใช้ ไวเบเรเตอร์ (vibrator) สั่นคอลัมน์จะช่วยให้สารแน่นขึ้น เมื่อบรรจุแพ็คกิ้งแมททิเรียลไปได้ 30 ซม. ให้เพิ่มแรงดูดของปั๊มให้มากขึ้น เติมแพ็คกิ้งแมททิเรียลจนเกือบเต็มคอลัมน์ (เหลือความยาวคอลัมน์ประมาณ 4-5 ซม.) ปิดปั๊มถอดตัวดักและปั๊มออกจากคอลัมน์ดึงใยแก้วที่ อุดคอลัมน์ทางปลายที่ต่อกับเครื่องตรวจวัดใส่ใยแก้วเพียงเล็กน้อยลงในปลายคอลัมน์ทั้งสอง การเตรียมคอลัมน์จะดีหรือไม่จะต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษ



รูปที่ 2.21 แสดงการบรรจุคอลัมน์ด้วย packing material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมคอลัมน์ก่อนใช้งานวิเคราะห์ (Conditioning the column)

คอลัมน์ที่เตรียมได้จะต้องทำการคอนดิชันนิ่ง(conditioning) เสียก่อนที่จะนำไปใช้งานวิเคราะห์เพื่อเป็นการทำให้สารที่ระเหยได้ง่าย (สารปนเปื้อนที่มีจุดเดือดต่ำ) ซึ่งติดอยู่ในคอลัมน์ออกมาก่อนเพราะสารเหล่านี้จะมีผลต่อ เบสไลน์ ทำให้สัญญาณที่ได้ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดความชื้นในคอลัมน์

วิธีการคอนดิชันนิ่ง ทำได้โดยต่อคอลัมน์เข้ากับ พอร์ตที่ฉีดสารตัวอย่างและไม่ต้องต่อปลายคอลัมน์อีกข้างหนึ่งกับเครื่องตรวจวัด(detector) ปรับอัตราเร็วแก๊สพา(carried gas) ประมาณ 30 ml/min แล้วตั้งอุณหภูมิให้ร้อนขึ้นอย่างช้า ๆ และใช้อุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิที่จะใช้งานเล็กน้อย เวลาที่ใช้คอนดิชันนิ่งขึ้นกับชนิดของแฟคท์แมทท์ที่เรียลอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2-3 ชั่วโมงจนถึงข้ามคืน(overnight) หลังจากการคอนดิชันนิ่งแล้วไม่ควรนำคอลัมน์ออกจากเครื่องGC ในขณะที่คอลัมน์ยังร้อนอยู่ควรจะปิดเครื่อง โดยการลดอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 30 นาที แล้วจึงปิดแก๊สพา หลังจากนั้นจึงถอดคอลัมน์ออกมา และปิดปลายคอลัมน์ทั้งสองข้างด้วยฝาปิดคอลัมน์ให้แน่นเพื่อป้องกันความชื้นและอากาศเข้าไปในคอลัมน์

ท. แคปิลารี่คอลัมน์

แคปิลารี่คอลัมน์ หรือเทอร์บูลาร์คอลัมน์แบบเปิด เป็นคอลัมน์แบบท่อเปิด ลิควิดสเตชันนารีเฟสจะถูกเคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ที่ผนังด้านใน มีความหนา 0.1-1 ไมโครอน มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเล็กมาก 0.1-0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นคอลัมน์แบบท่อเปิด จึงสามารถมีความยาวของคอลัมน์ได้มากกว่า แฟคคอลัมน์ เพราะว่ามีความดันย้อนกลับน้อยกว่า คอลัมน์ชนิดนี้จะจุสเตชันนารีเฟสได้น้อยกว่า แฟคคอลัมน์มาก จึงใช้ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กน้อย ๆ เท่านั้น

คอลัมน์ชนิดนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

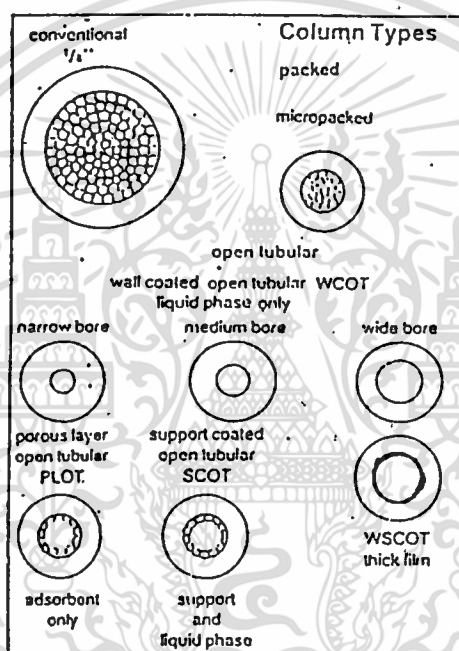
1. คอลัมน์แบบ WCOT (Wall-coated open tubular) เป็นคอลัมน์ที่ได้จากการเคลือบผนังของคอลัมน์ด้วยลิควิดสเตชันนารีเฟส

2. คอลัมน์แบบ PLOT (Porous layer open tubular) ผนังภายในท่อเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเคลือบด้วยตัวดูดซับ (adsorbent) แต่ถ้าเคลือบด้วยตัวดูดซับที่มีลิควิดเฟสด้วย เรียกกอลัมน์ชนิดนี้ว่า SCOT (Support coated open tubular) (รูปที่ 2.22 และ 2.23)

ผนังของแคปพิลารีคอลัมน์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้จะทำมาจากแก้ว และ ซิลิกาฟิวส์ (ทำมาจากซิลิกาหลอมไฟที่เคลือบด้วย poly-imide)

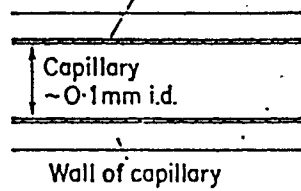


รูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นลักษณะ CROSS SECTION ของคอลัมน์ชนิดต่างๆ

ประสิทธิภาพของ แคปพิลารีคอลัมน์ นี้จะสูงมากกว่า แพ็คคอลัมน์ การแยกสารก็จะดี ใช้เวลาน้อยกว่า อุณหภูมิที่ใช้ก็ต่ำกว่าใน แพ็คคอลัมน์ และ อัตราการไหล(flow rate) ของ แกสพา ที่ใช้กับ แคปพิลารีคอลัมน์ น้อยกว่าใน แพ็คคอลัมน์โดยทั่วไปใช้เพียง 0.5-4 mi/min สำหรับ ไนโตรเจน และ 1-10 mi/min สำหรับฮีเลียม

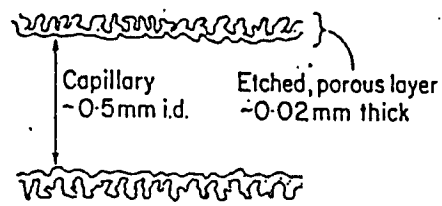
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Layer of liquid stationary phase ~ 0.001 mm thick



WCOT column
(not to scale)

Wall of capillary



PLOT or SCOT column
(not to scale)

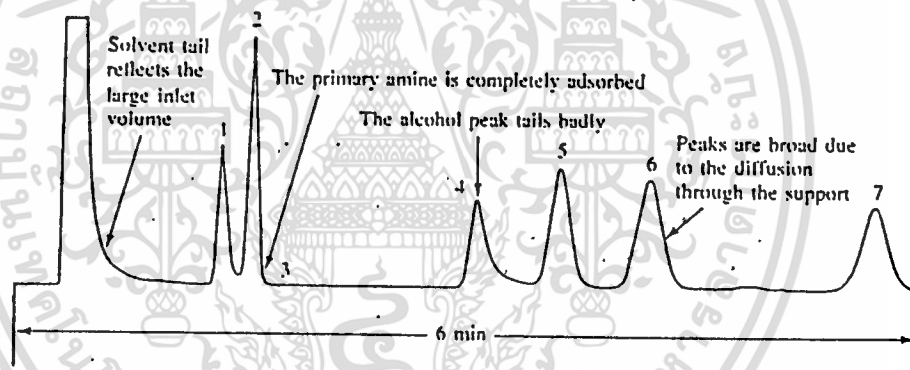
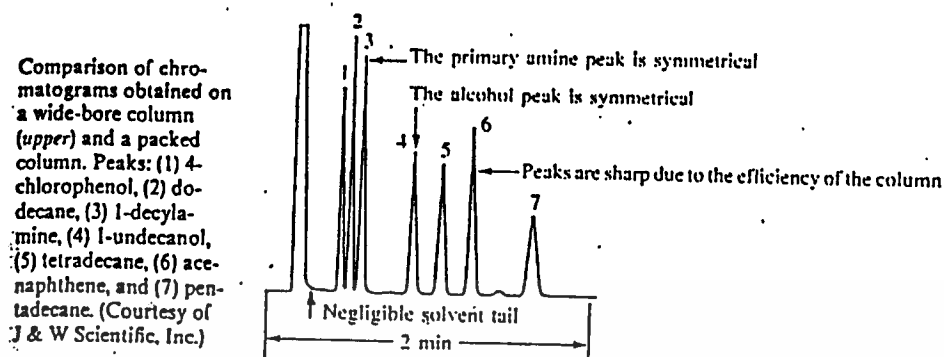
รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะของ WCOT Column และ PLOT Column

ตารางที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงข้อแตกต่างระหว่าง แคปพิลารีคอลัมน์ และแพ็คคอลัมน์ และรูปที่ 2.24 แสดงให้เห็น โครมาโตแกรม ที่ได้จาก แคปพิลารีคอลัมน์ซึ่งจะดีกว่าแพ็คคอลัมน์ มากจะได้ พิค ที่ดีและใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าด้วย

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติและลักษณะของ capillary column และ packed column

Column type	WCOT	SCOT	μ SCOT	Conventional
Tubing OD (mm)	0.9	0.9	0.9	3.2-6.4
Tubing ID (mm)	0.2	0.5	0.3	1.6-5.0
Length (m)	20-80	20-80	20-50	2-5
Column efficiency (N_{eff})	2000-3000	800-1400	1500-2000	500-1500
	40 000-200 000	20 000-80 000	40 000-100 000	1000-5000
Coating efficiency (%)	70-80	70-80	70-80	60-80
Sample size (μ g)	10^{-3} -1.0	1.0-10.0	0.1-2.0	1.0-100
Inlet pressure (psi)	8-30	2-5	5-15	20-60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดง chromatogram ที่ได้จาก capillary column และ packed column

เนื่องจาก แคปิลลารีคอลัมน์ นี้สามารถเคลือบด้วย สเตชั่นนารีเฟสได้น้อยกว่าแพ็คคอลัมน์ไม่มากจึงต้องใช้ตัวอย่างขนาดเล็กจำนวนน้อย ๆ ในการวิเคราะห์ซึ่งความสามารถของแต่ละคอลัมน์ในการ โหลด ตัวอย่างขนาดเท่าใดก็ขึ้นกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์ และความหนาของ สเตชั่นนารีเฟส ที่เคลือบ (ตารางที่ 2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างที่ใช้ใน packed column และ capillary column

SAMPLE CAPACITY OF A PACKED COLUMN		SAMPLE CAPACITY OF A CAPILLARY COLUMN		
STATIONARY PHASE LOADING	MAX. AMOUNT OF SAMPLE COMPOUND	ID (mm)	FILM THICKNESS (μm)	MAX. AMOUNT OF SAMPLE COMPOUND
3 %	30 - 300 ng	0.10	0.12	1 - 10 ng
10 %	100 - 1000 ng	0.22	0.12	2 - 50 ng
20 %	200 - 2000 ng	0.32	0.4	5 - 100 ng
		0.53	1.2	30 - 300 ng

Figures for 2.1 mm ID column

ข้อควรคำนึงในการใช้คอลัมน์ใน GC ได้แก่

1. แกสพา ที่ใช้เป็น โมบายเฟส ต้องเลือก แกส ที่มีความบริสุทธิ์สูงสุดไม่มี สิ่งเจือปน (impurity) ปนอยู่ เลือกชนิดของ แกสให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์และชนิดของเครื่องตรวจวัด โดยทั่วไปนิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนและฮีเลียม ถ้าเป็นไนโตรเจนจะต้องมีความบริสุทธิ์ถึง 99.99 % และปราศก๊าซออกซิเจนด้วย เนื่องจากออกซิเจนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขึ้นได้ และเพื่อป้องกันความชื้นควรที่จะต่อสารดูดความชื้น (Molecular sieve) เข้ากับ แกสพา ก่อนที่จะเข้าเครื่อง

2. อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ ควรคำนึงถึงอุณหภูมิสูงสุดที่คอลัมน์จะใช้ได้ เนื่องจาก สเตชันนารีเฟส ชนิดต่าง ๆ กัน จะมีความสามารถในการทนอุณหภูมิได้ต่างกันอุณหภูมิในการวิเคราะห์ไม่ควรจะไปถึงอุณหภูมิของคอลัมน์ชนิดนั้นเพราะ สเตชันนารีเฟสอาจจะสลายตัว และทำให้อายุการใช้งานของคอลัมน์ลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูแลรักษาคอลัมน์ในแต่ละวัน วิธีรักษาคอลัมน์ดังต่อไปนี้ควรจะเป็นประจำ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของคอลัมน์ อายุการใช้งานของคอลัมน์จะนานขึ้น

1. เปิด แกสเฟว เข้าคอลัมน์ก่อนที่จะตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ให้มี แกสเฟว เข้าไปในคอลัมน์นาน 5-10 นาที มิฉะนั้นถ้าตั้งอุณหภูมิคอลัมน์ไปโดยปราศจาก แกสเฟว จะทำให้ สเตชันนารีเฟส สลายตัวได้ คอลัมน์ก็จะเสื่อมเร็ว

2. ตรวจสอบว่ารอยรั่วของ แกสเฟว ออกมาจากข้อต่อของคอลัมน์หรือไม่ ถ้ามีให้ขันให้แน่นขึ้นจนไม่มีแก๊สรั่วออกมา ทั้งนี้ถ้ามีการรั่วของแก๊สจะทำให้มีผลต่อ เบสไลน์ คือทำให้เกิดการผิดเพี้ยน(drift)และสามารถมีผลกระทบต่อความสูงและพีคของ พีค ทำให้ ผลการหาปริมาณแต่ละครั้งไม่เท่ากัน

3. ปริมาณสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าคอลัมน์ไม่ควรเกินความสามารถของคอลัมน์ ควรดูตามคู่มือของคอลัมน์ชนิดนั้น ๆ ว่าสามารถใช้ขนาดตัวอย่างได้มากที่สุดเท่าใด

4. ตัวอย่างที่วิเคราะห์ควรจะใช้ไม่มีตะกอนทำได้โดยการกรองหรือแรงเหวี่ยงเหวี่ยงเหวี่ยง(Centrifuge) เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งปนเปื้อนลงไปในคอลัมน์

5. เมื่อทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีสารปนเปื้อนมาก เช่น ผลผลิตธรรมชาติ (natural product) ยาฆ่าแมลง เป็นต้น หลังจากการวิเคราะห์ควรจะได้ล้างปนเปื้อนนั้นออกจากคอลัมน์โดยการเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์ให้สูงขึ้น จากอุณหภูมิที่ใช้งานวิเคราะห์ต่ออย่าให้ถึงอุณหภูมิสูงสุดของคอลัมน์ วิธีนี้จะเป็นการทำให้คอลัมน์สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนและ เตรียมสำหรับใช้งานในการวิเคราะห์ครั้งต่อไปได้

6. ผนวกรวบรวมหรือจับคอลัมน์ควรกระทำอย่างเบามือไม่กระแทกแรง ๆ เพราะจะทำให้การเรียงตัวของ เมททีเรียลแตกก้าง ภายในคอลัมน์เกิดการเปลี่ยนแปลงได้

7. เมื่อการวิเคราะห์เสร็จสิ้นแล้ว ควรที่จะลดอุณหภูมิคอลัมน์ ให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง (30°C) ก่อนแล้วจึงจะถอดคอลัมน์เก็บ ถ้าเป็น แพ็คคอลัมน์ ควรจะปิดปลายคอลัมน์ทั้งสองให้แน่นด้วยฝาปิด เพื่อป้องกันความชื้นและออกซิเจนเข้าไปในคอลัมน์เก็บคอลัมน์ไว้ในที่อุณหภูมิ $15-30^{\circ}\text{C}$

8. การทดลองแต่ละครั้งควรมีการจดบันทึกการใช้ของคอลัมน์แต่ละชนิดให้เรียบร้อย

ร้อยรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Sample	column descrip- tion	Type of Detector	Flow rate (carrier gas)	Temperature		
					column	injector	detector

รูปที่ 2.25 แสดงตารางบันทึกการใช้งานของคอลัมน์

2.5 เครื่องตรวจวัด

เครื่องตรวจวัด คือเครื่องมือที่ทำการวัดจำนวนสารตัวอย่างที่แยกโดยคอลัมน์ และถูกพามาด้วยแก๊สพา เครื่องตรวจวัด จะต้องมีความร้อนพอที่จะระเหยสารตัวอย่างและผ่านออกไปไม่ให้ตกค้างอยู่ใน เครื่องตรวจวัด และอุณหภูมิของ เครื่องตรวจวัด ต้องสูงกว่าของคอลัมน์ คุณสมบัติของ เครื่องตรวจวัด ที่ควรมีดังนี้

1. มีความไวสูง (High sensitivity)
2. มีระดับการรบกวนต่ำ (Low noise level)
3. มีผลตอบสนองที่เป็นเชิงเส้น (linearity of response) ที่กว้าง
4. วัดสารได้ทุกชนิด และไม่ทำลายสารที่ต้องการวิเคราะห์
5. ไม่ไวต่อการเปลี่ยนความดันของก๊าซหรืออุณหภูมิและไม่เกิดปฏิกิริยาต่อแก๊สพา
6. มีผลที่ได้จากเครื่องตรวจวัดจะต้องเหมือนกันทุกครั้ง เมื่อใช้สารตัวอย่างชนิด

เดียวกัน

7. ราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติข้างต้นยังไม่มี เครื่องตรวจวัด ชนิดใดที่มีคุณสมบัติครบทุกข้อ ตารางที่ 2.10 แสดงชนิดของ เครื่องตรวจวัด ที่ใช้กันทั่วไปแต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ การวัด การแตกตัวของประจุของเปลวไฟ(Flame ionization detector) (FID)และ การวัดการ นำความร้อน(Thermal conductivity detector)(TCD) สำหรับ เครื่องตรวจวัดชนิดอื่นๆ เช่น การตรวจวัดอิเล็กตรอนแคปเจอร์(Electron capture detector) (ECD) ใช้วัดสาร เฉพาะบางกลุ่มเท่านั้น ส่วนมากใช้วิเคราะห์หาสารจำพวกยาฆ่าแมลง

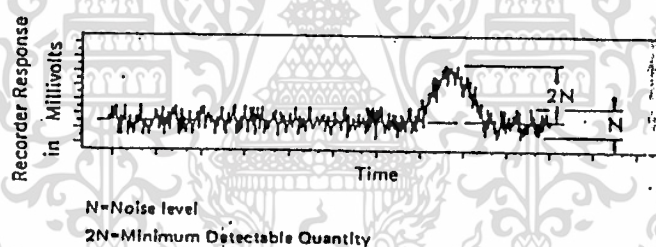


Detector	Principle of operation	Minimum detectable quantity (g/sec)	Response	Linear range	Stability	Carrier gas	Temperature limit (°C)	Remarks
Thermal conductivity	Measures thermal conductivity of gases.	10^{-8}	Universal, except carrier gas	10^2	good	He or H ₂	450	Non-destructive, temperature and flow sensitive. Simple inexpensive and rugged.
Flame ionization	H ₂ -O ₂ flame, 2000°C plasma	10^{-12}	Selective for organic compounds, non-selective to fixed gases or H ₂ O	10^7	excellent	He or N ₂	400	Destructive, excellent stability. Requires very stable gas flow. H ₂ O and CO ₂ good solvents because no response.
Electron capture H or ⁶³ Ni	N ₂ + e ⁻ → e ⁻ + sample → loss of current (I)	10^{-13}	Response to electron absorbing cpds., halogens, nitrates and especially conjugated carbonyls	10^3 to 10^5	fair	H ₂ or Ar + 10% CH ₄	225 for H 350 for ⁶³ Ni	Non-destructive, easily contaminated, temperature sensitive. Quantitative analysis complicated.
Gas density balance	Difference of molecular weight of gases	10^{-6}	Universal, except same molecular pt. as carrier gas	10^3	good	N ₂ , CO ₂ or Ar, except He or H ₂	300	Non-destructive, good for analysis of corrosive compounds. Can be used for determining mol. wt. of sample
Micro-coulometric	Effluent gas is burned to HCl H ₂ S dissolved and titrated with ¹⁴ S electrochemically	10^{-6} halogen 10^{-8} sulphur	Selective for halogens (except F) and sulphur	10^2	fair	H ₂ , He, Ar	250	High specificity factors to all interferences.
Flame thermionic	Alkali oxidized H ₂ -O ₂ flame 1600°C plasma	10^{-14} for P 10^{-12} for N	Very selective for phosphorus, some halogen compounds. Enhance response to nitrogen cpds.	10^5	fair	He or H ₂	300	Destructive, require flow controller for H ₂ and air. Similar to flame ionization. Need revealing of sodium.
Flame photometric		10^{-12} for P 10^{-10} for S	Very selective for P and S	10^4	good	N ₂	400	Signal approx. proportional to square of S concentration.
Helium	He + e ⁻ → He ⁺ sample → ³ He	10^{-14}	Universal, responds to all compounds	10^3	poor	ultrapure and dry He	225	Non-destructive, sensitive to temperature and flow changes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำศัพท์ที่บอกลักษณะของ เครื่องตรวจวัด ต่าง ๆ ได้แก่

- ก. ซีเล็คติวิตี (Selectivity) หมายถึง ความจำเพาะของเครื่องตรวจวัดต่อสารที่จะวิเคราะห์ การเลือกใช้ เครื่องตรวจวัด แต่ละชนิดต้องเลือกใช้ตามชนิดของสารตัวอย่าง เครื่องตรวจวัด บางชนิดก็สามารถใช้ได้กับตัวอย่างเกือบทุกชนิด เรียกว่ามี ซีเล็คติวิตี ดีมาก เช่น TCD
- ข. สัญญาณรบกวน (Noise) และปริมาณน้อยสุดที่วัดได้ (Minimum detectable quantity) สัญญาณรบกวน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณของ เครื่องตรวจวัด ซึ่งสามารถดูได้จากตัวบันทึก (recorder) เมื่อยังไม่มีตัวอย่างผ่าน เครื่องตรวจวัด โดยดูจาก เบสไลน์ ส่วน ปริมาณสาร น้อยสุดที่วัดได้ คือปริมาณของสัญญาณจาก เครื่องตรวจวัด ที่มีต่อสารตัวอย่างซึ่งเป็น 2 เท่าของ ระดับสัญญาณรบกวน ตัวอย่างเช่นถ้า ระดับสัญญาณรบกวน มีค่า 4 microvolts ดังนั้นค่าของ ปริมาณสารน้อยสุดที่วัดได้จะมีค่าเป็น 8 microvolts . รูปที่ 2.26 แสดงการหาปริมาณสาร น้อยสุดที่วัดได้



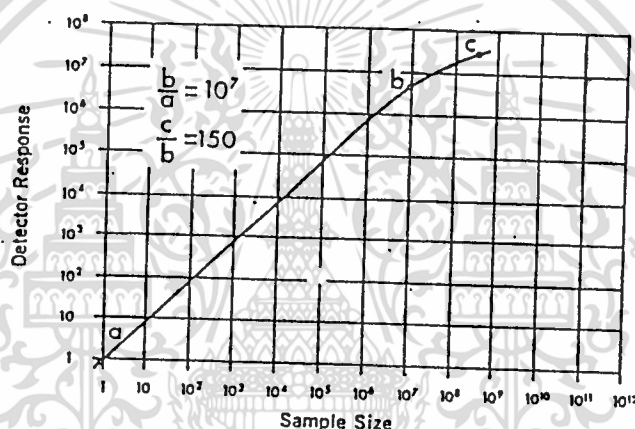
รูปที่ 2.26 แสดงการหา Minimum detectable quantity

- ค. ความไว คือ สัญญาณของ เครื่องตรวจวัด ที่มีต่อขนาดสารตัวอย่างถ้าพล็อตกราฟระหว่าง สัญญาณของเครื่องตรวจวัด และขนาดของสารตัวอย่าง (sample size) สโลป(slope)ที่ได้ จากเส้นตรงของกราฟนี้ก็คือค่า ความไว ซึ่งมักจะแสดงออกในเทอมของ millicoulombs/mg สำหรับ เครื่องตรวจวัด ที่สัญญาณขึ้นกับ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสาร เช่น FID และเป็น millivolt milliliter/mg สำหรับ เครื่องตรวจวัด ที่สัญญาณขึ้นกับความเข้มข้นของสาร เช่น TCD เครื่องตรวจวัด ที่ดีนั้นควรมี ความไว ที่สูงคือสามารถวัดปริมาณของสารตัวอย่าง ได้ในระดับความเข้มข้นต่ำมาก

- ง. ผลตอบสนอง (Response) คือปริมาณสัญญาณของ เครื่องตรวจวัด ที่มีต่อปริมาณสารตัว อย่างที่เข้าเครื่องตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. ลิเนียร์ลิตี (linearity) หมายถึงช่วงความเข้มข้นของสารที่ให้ค่า สโลป ของสัญญาณของ เครื่องตรวจวัดต่อความเข้มข้นของสารคงที่ สัญญาณของ เครื่องตรัสวัด จะแปรตามความเข้มข้นของสาร เครื่องตรวจวัด ที่ดีนั้นควรถ้าจะให้ ย่านเชิงเส้น ในช่วงที่กว้าง ถ้า พล็อต ระหว่างสัญญาณของเครื่องตรวจวัด และความเข้มข้นของสารตัวอย่างจะได้กราฟซึ่งแสดงให้เห็นถึง ย่านเชิงเส้น, ความไว และ ลิมิตการตรวจวัด ดังรูปที่ 2.27 ซึ่งจะพบว่าช่วงความเข้มข้นของสาร a-b คือช่วงความเข้มข้นของสารที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของเครื่องตรวจวัดและความเข้มข้นของสารเป็นเส้นตรง และค่า a คือความเข้มข้นของตัวอย่างที่ต่ำสุดที่เครื่องตรวจวัดสามารถวัดได้



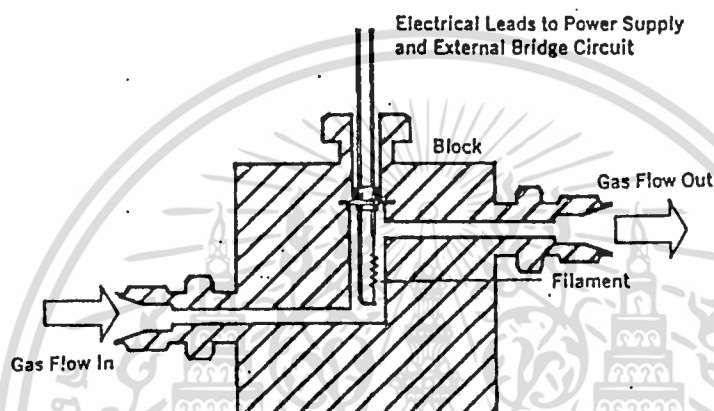
รูปที่ 2.27 แสดง Linearity, Sensitivity และ Detection limit

เครื่องตรวจวัด ที่ใช้มีหลายชนิดที่นิยมใช้กันมากได้แก่เครื่องตรวจวัดแบบการนำความร้อน (TCD), เครื่องตรวจวัดแบบการแตกตัวของเปลวไฟ (FID) และ เครื่องตรวจวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์แคปเจอร์ (ECD)

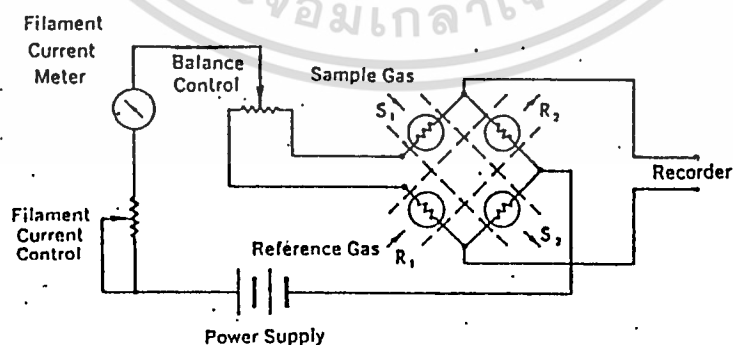
2.5.1 เครื่องตรวจวัดแบบการนำความร้อน (TCD หรือ TC) รูปที่ 2.28 และ 2.29 เครื่องตรวจวัด ชนิดนี้จะวัดสารที่ออกมาที่ แก๊สพา ได้โดยใช้หลักการทำงานคือ แก๊สพา กับ แก๊สพาที่มีสารตัวอย่างอยู่ด้วยกันจะมีคุณสมบัติในการพาความร้อน (thermal conductivity) ต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกออกจากคอลัมน์พร้อมกับแก๊สพาผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัด และผ่านขดลวด (filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่ง ขดลวดจะเสียความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนให้กับก๊าซ (carrier gas กับสารตัวอย่าง) ที่เข้ามาใน เครื่องตรวจวัด แล้วเครื่องตรวจวัดก็จะรับกระแสไฟฟ้าให้สมดุลมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ปรับความร้อนจะเป็นสัญญาณส่งเข้าตัวบันทึก บันทึกออกมาเป็นโครมาโตแกรม



รูปที่ 2.28 แสดง TCD detector



รูปที่ 2.29 แสดงวงจรไฟฟ้าของ TCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตัวอย่างที่ผ่านเข้า TCD นั้นจะไม่ถูกทำลายดังนั้น จึงเหมาะกับการนำมาเกี่ยวข้องกับความร้อน (preparative Sensitivity) ของเครื่องตรวจวัดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับค่า การนำความร้อน ของแก๊ส ถ้าแก๊ส มีค่าของการนำสูงจะทำให้ความไวของเครื่องตรวจวัดมีมาก ตารางที่ 2.11 แสดงค่าของการนำความร้อนของแก๊สบางชนิดจากตารางพบว่าแก๊ส H_2 เหมาะสมสำหรับ TCD แต่ H_2 ค่อนข้างอันตรายเพราะเกิดการระเบิดได้ดังนั้นจึงนิยมใช้ แก๊สฮีเลียม (He) มากกว่า

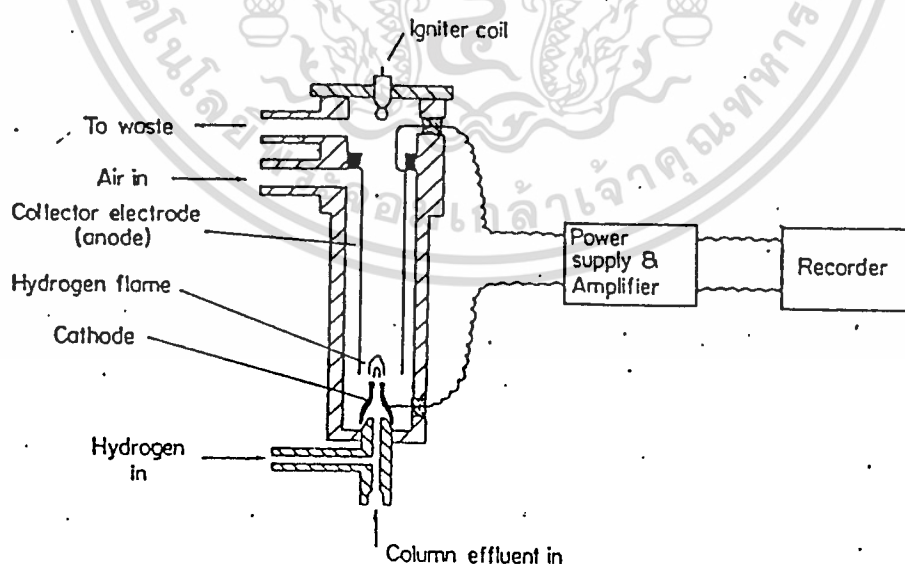
ตารางที่ 2.11 แสดง thermal conductivity ของ gas
($\text{Cal} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Gas	Thermal conductivity
H_2	44.5
He	36.0
Ne	11.6
CH_4	8.18
O_2	6.35
N_2	6.24
CO_2	3.96
CH_3OH	3.68
Organic gases	1-4

ข้อควรระวังในการใช้ TCD คือ อัตราเร็วของแก๊สจะต้องคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องตรวจวัดจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของคอลัมน์ เมื่อเสร็จการวิเคราะห์ แล้วต้องปิดกระแสไฟ (current) เสียก่อนที่จะลดอุณหภูมิและปิดแก๊ส ถ้าไม่ปิดกระแสไฟจะทำให้ขดลวด (filament) ขาดได้

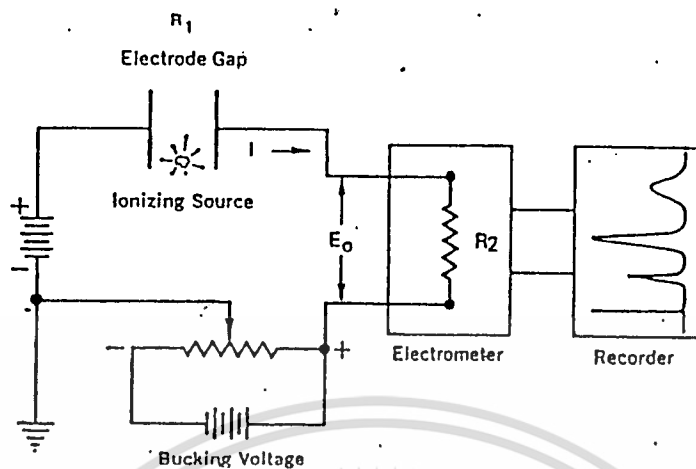
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เครื่องตรวจวัดการแตกตัวของประจุในเปลวไฟ(FID) รูปที่ 2.3 และ 2.31 เครื่องตรวจวัดชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะมีความไวสูง หลักการโดยทั่วไปของเครื่องตรวจวัด ชนิดนี้คือ การใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และอากาศมาจุดเป็นเปลวไฟ ที่บริเวณตรงกลางเปลวไฟจะมี อิเล็กโทรด(electrode)ซึ่งมีไฟฟ้ากระแสตรงผ่าน กระแสไฟฟ้านี้จะใช้วัดการนำไฟฟ้าของเปลวไฟเมื่อแก๊สพาณัสารที่แยกมาได้ผ่านที่เปลวไฟนี้จะเกิดการเผาไหม้ขึ้น ทำให้สารแตกตัวเป็นประจุไอออน (charged particle) และอิเล็กตรอน, อิเล็กตรอนนี้จะวิ่งเข้าสู่อิเล็กโทรด ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเป็นสัญญาณ สัญญาณไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เป็นสัญญาณที่นำไปเข้าเครื่องบันทึก และบันทึกออกเป็นโครมาโตแกรม ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรตามอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารที่ผ่านเปลวไฟ สารต่างชนิดกันจะให้กระแสไฟฟ้าที่ต่างกัน



รูปที่ 2.30 Flame ionization detector (FID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงวงจรไฟฟ้าของ FID

เครื่องตรวจวัดชนิดนี้ไวต่อสารอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่ายเช่น อัลกอฮอล์, ไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น โดยสรุป FID สามารถตรวจวัดสารตัวอย่างที่สามารถระเหยเป็นแก๊ส ผ่านคอลัมน์ได้แทบทุกชนิด ยกเว้นสารบางชนิด เช่น คาร์บอนิล (carbonyls), คาร์บอกซิลิกแอซิด (carboxylic acid) หรือพวกไซโคลเฮกเซน (cyclohexane), ไซโคลเฮกซานอล (cyclohexanols) ตารางที่ 2.12 แสดงถึงสารบางชนิดที่ FID ไม่สามารถตรวจวัดหรือไม่ไวต่อการตรวจวัด

ตารางที่ 2.12 แสดงสารประกอบที่ FID ไม่สามารถตรวจวัดหรือไม่ไวต่อการตรวจวัด

He	CS ₂	NH ₃
Ar	COS	CO
Kr	H ₂ S	CO ₂
Ne	SO ₂	H ₂ O
Xe	NO	SiCl ₄
O ₂	N ₂ O	SiHCl ₃
N ₂	NO ₂	SIF ₄

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหาโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่ FID ไม่สามารถตรวจวัดตัวอย่างประเภทอากาศได้นั้นเป็นส่วนดีของ FID ที่จะสามารถทำการวิเคราะห์สารที่เรียกว่า เทรสอะนาไลซิส(trace analysis) ในอะควีเอียสโซลูชัน (aqueous solution) หรือในบรรยากาศที่เราเรียกว่า แอร์โพลลูแตนท์ (Air pollutants) นั้นเองแก๊สพาที่ใช้ใน FIDควรเป็น N_2 , He หรือ Ar

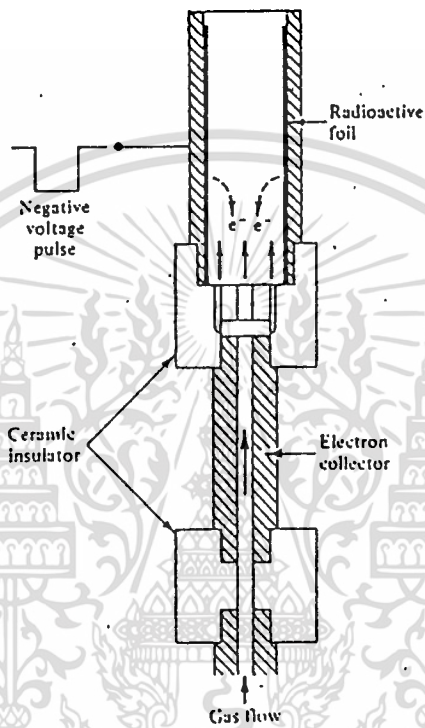
การตอบสนองของ FID นั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของสารและการตอบสนองจะลดลงถ้ามีการแทนที่ (substitution) ด้วย ฮาโลเจน (halogen), อามีน (amines) และ กลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group)

ความไว ของ FID คือว่า TCD ประมาณ 1000 เท่า และนอกจากนี้แล้วความไวของ FID ยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของ ไฮโดรเจน (H_2) กับอากาศที่ใช้จุดเปลวไฟ ดังนั้นจะต้องปรับสัดส่วนของอากาศและ H_2 ให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการระเบิด หรือจุดเปลวไฟไม่ติด อัตราส่วนของอากาศ และ H_2 ที่สามารถจุดเปลวไฟติดพอดีจะ ใกล้เคียวกับจุดที่ให้ความไวของ FID ที่ที่สุด โดยทั่วไปสำหรับแก๊สคอลัมน์นั้นเมื่อใช้ FID, อัตราการไหลของ H_2 ที่เหมาะสมคือ 30 ml/min และอัตราการไหลของอากาศ 300 ml/min แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่อง GC แต่ละรุ่นด้วย

2.5.3 เครื่องตรวจวัดแบบการจับอิเล็กตรอน (ECD) รูปที่ 2.23

ECD เครื่องตรวจวัดประกอบด้วยสารเรดิโอแอคทีฟ (radioactive substance) ซึ่งสลายตัวให้อนุภาค β เช่น H (tritium) หรือ Ni หลักการทำงานมีดังนี้คือเมื่อโมเลกุลของแก๊สพาผ่านออกจากคอลัมน์ ผ่านเข้าเครื่องตรวจวัดอนุภาค β ซึ่งมีพลังสูงจะทำให้โมเลกุลของแก๊สพาเกิด ไอออนไนส์ เป็นไอออนและอิเล็กตรอน หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยัง อิเล็กโทรดด้วยจำนวนหนึ่งในอัตราคงที่และมีอิเล็กตรอนอีกส่วนหนึ่งที่เหลือเป็นอิเล็กตรอนกลุ่มหมอกอีกจำนวนหนึ่งเมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัดสารตัวอย่างก็จะจับ หรือดูดซับกลุ่มอิเล็กตรอนจะทำให้ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนลดลงเราเรียกกระแสไฟฟ้าที่ลดลงนี้ว่า กระแสสแตนด์ลิ่ง (standing current) การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นสัญญาณส่งไปบันทึกที่ตัวบันทึก

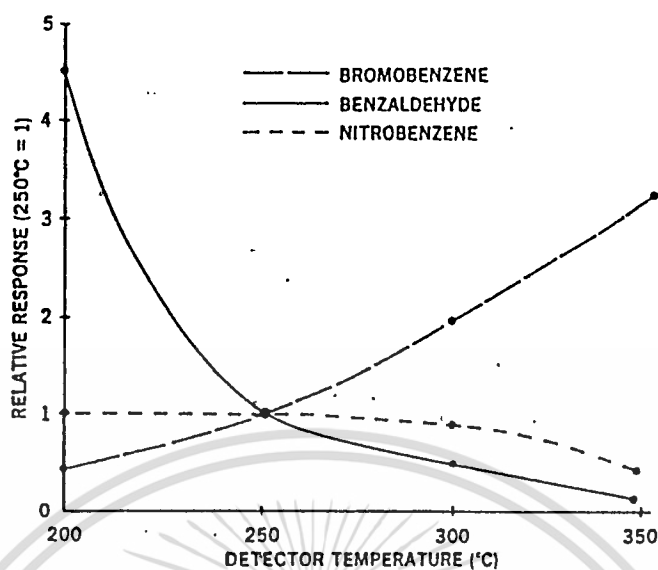
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 Electron capture detector (ECD)

อุณหภูมิของเครื่องตรวจวัดชนิดนี้มีผลต่อความไว ของเครื่องตรวจวัดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ความไวอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ขึ้นกับชนิดของสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ ดังรูปที่ 2.33 แสดงให้เห็นผลของการเพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อ ความไว ของ ECD ที่ใช้วิเคราะห์อนุพันธ์ของเบนซีน (benzene derivatives) ดังนั้นการวิเคราะห์สารแต่ละครั้งควรจะหาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ ความไวดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อ ECD

อุณหภูมิที่ใช้ใน ECD สามารถใช้ได้สูงสุดเท่าใดนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ แหล่งจ่ายรังสี
เรดิโอแอคทีฟที่ใช้ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถใช้ได้กับ ECD

Temperature Limits of Electron-Capture
Detector Sources

Source	Maximum Temperature (°C)
Nickel (^{63}Ni)	370
Tritium (^3H)	
Titanium substrate	225
Scandium substrate	325

แก๊สพาที่เหมาะสมสำหรับ ECD คือ ไนโตรเจน (N_2), อาร์กอน (Ar), อาร์กอน
(Ar)+10 % มีเทน (CH_4) หรือ ฮีเลียม (He)+ CH_4 อัตราการไหลของแก๊สพา ที่เหมาะสม
ที่สุดสำหรับคอลัมน์จะเป็นจุดที่เครื่องตรวจวัดจะมีความไวดีที่สุด นอกจากความไวของ ECD ยัง
ขึ้นกับอุณหภูมิของเครื่องตรวจวัดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนและน้ำเป็นสารที่สามารถดูดซับ(adsorb) อิเล็กตรอนได้ดีมาก ดังนั้นถ้ามีออกซิเจน ปนอยู่ในแก๊สพาหรือมีน้ำปนอยู่ในสารตัวอย่างจะทำให้ ความไวของ ECD ลดลงและจะต้องใช้เวลาานพอสมควรที่จะทำให้ ความไวมากขึ้นเหมือนเดิม

ประสิทธิภาพในการตรวจวัดสารตัวอย่างของ ECD นั้นจะไวต่อสารพวก อัลคิลฮาไลด์(alkylhalides), คาร์บอนิล(carbonyls), ไนทริล(nitrils), ออแกโนเมทัล(organo-metals) และมีผลตอบสนองไว้มากต่อสารพวกไฮโดรคาร์บอน, อัลกอฮอล์, คีโตน และ อัลดีไฮด์ จากการที่ ECD มีความไวต่อสารพวกฮาไลด์ (halides) ทำให้เครื่องตรวจวัดชนิดนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารพวกยาฆ่าแมลงเช่น อัลดริน(aldrin), ไดอิลดริน(dieldrin), DDT เป็นต้น

ข้อควรระวังในการใช้เครื่องตรวจวัดชนิดนี้คือสารตัวอย่างที่เตรียมจะต้องมีความสะอาดไม่มีสิ่งปนเปื้อนมิฉะนั้นจะทำให้ เครื่องตรวจวัดสกปรกได้และเป็น การยากที่จะทำการล้างเครื่องตรวจวัดชนิดนี้ เนื่องจากเป็นเครื่องตรวจวัดที่มีสารกัมมันตรังสีตัวอย่างพวกยาฆ่าแมลงจะต้องผ่าน ขั้นตอนการสกัดอย่างค้ำมาแล้วจึงจะทำการวิเคราะห์โดย ECD ได้

นอกจากนี้แล้วเครื่องตรวจวัดในGC นั้นยังมีอีกหลายชนิดเช่นเครื่องตรวจวัดชนิดการส่องสว่างของเปลวไฟ(flame-photometric detector)(FPD) เป็นเครื่องตรวจวัดที่ใช้หาปริมาณสารประกอบของ ซัลเฟอร์ หรือ ฟอสฟอรัส, ไฟโตไอออไนซ์เซชัน(photoionization detector)(PID)

2.6 ตัวควบคุมอุณหภูมิ

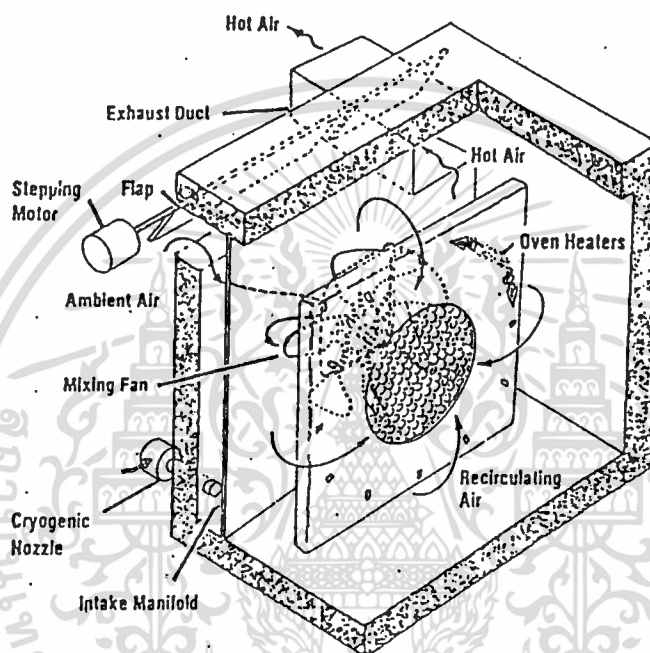
ตัวควบคุมอุณหภูมิเป็นส่วนที่ทำหน้าควบคุมอุณหภูมิของพอร์ท์เจ็ดสารเข้า , คอลัมน์และเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิมีความสำคัญมากในการใช้ GC การทดลองแต่ละครั้งจะต้องมีการ กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเสมอ อุณหภูมิของพอร์ท์เจ็ดสารเข้า จะต้องสูงพอที่จะทำให้สารที่ต้องการวิเคราะห์นั้นระเหยได้ แต่ไม่ควรสูงมากจนกระทั่งทำให้สารนั้นเกิดการสลายตัวปกติแล้วอุณหภูมิของพอร์ท์เจ็ดสารเข้า ควรจะสูงกว่าอุณหภูมิของคอลัมน์ประมาณ $20-50^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิของเครื่องตรวจวัด นั้นอยู่กับชนิดของเครื่องตรวจวัดที่ใช้ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามปกติอุณหภูมิของเครื่องตรวจวัดควรสูงกว่าอุณหภูมิของคอลัมน์ประมาณ 30°C

อุณหภูมิของคอลัมน์จะถูกควบคุมโดยตู้ควบคุมอุณหภูมิ(oven) ของคอลัมน์(รูปที่ 2.34)

ให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ในสภาวะการทดลองนั้น ๆ การตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ควรคำนึงถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงสุดของคอลัมน์ที่ใช้ได้ด้วย ถ้าอุณหภูมิของคอลัมน์ต่ำจะทำให้ได้ partition coefficient สูงขึ้น ดังนั้นการแยกสารที่จะวิเคราะห์จะได้ผลดี แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำมากเกินไปอาจ不会有 partition เกิดขึ้นเพราะสารที่ต้องการวิเคราะห์ไม่ระเหยจึงไม่กระจายตัวเข้าไปใน carrier gas การวิเคราะห์จึงต้องเลือกอุณหภูมิคอลัมน์ให้เหมาะสม



รูปที่ 2.34 Column oven ใน GC.

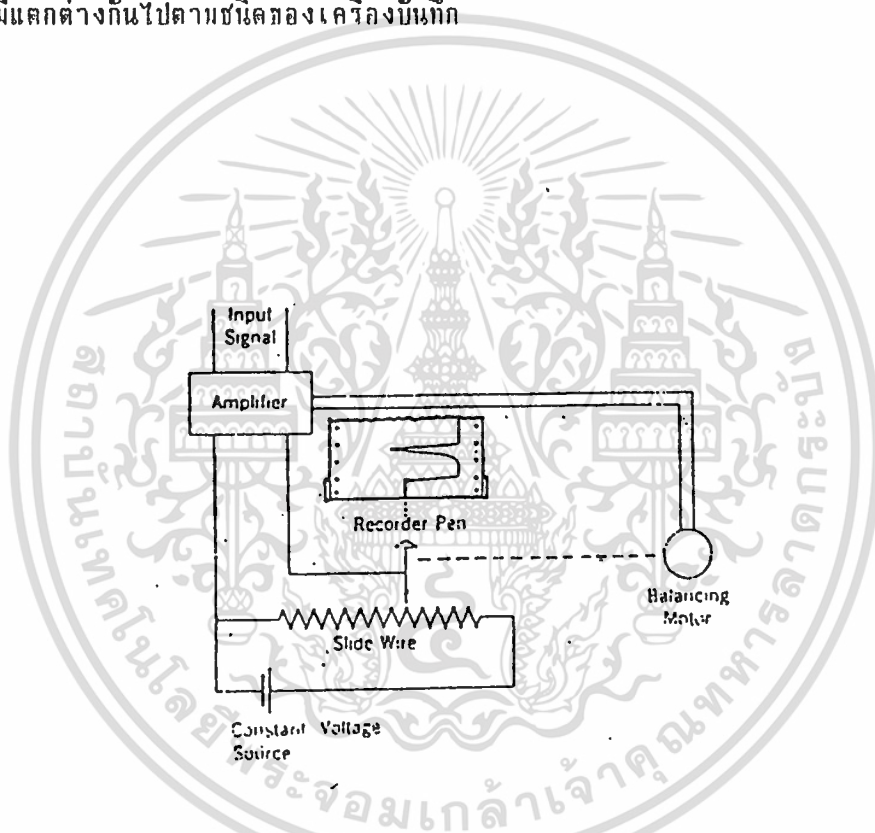
ในการตั้งอุณหภูมินั้นเราจะต้องตั้งอุณหภูมิของ injection port และ detector ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการก่อน แล้วจึงจะตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ให้ได้ตามต้องการ เนื่องจากอุณหภูมิของคอลัมน์จะขึ้นได้เร็วกว่า อุณหภูมิของ injection port และ detector ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของ injection port และ detector พร้อมกับอุณหภูมิคอลัมน์ จะทำให้อุณหภูมิคอลัมน์สูงกว่าอุณหภูมิ detector มีผลให้ไอของ liquid phase และสารที่ค้างอยู่ในคอลัมน์ถูก condense ออกมาใน detector จึงทำให้ detector สกปรกได้

อุณหภูมิของทั้ง 3 ส่วนที่กล่าวไม่ควรเปลี่ยนแปลง (varies) ไปจากที่กำหนดไว้ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไม่ควรเกิน 1°C เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการแยกสารวิเคราะห์ ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์บางครั้งสามารถใช้โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ(temperature programming)ซึ่งจะทำให้หน้าที่ลดหรือเพิ่มอุณหภูมิภายในระยะเวลาที่กำหนดซึ่งทำให้การแยกสารดีขึ้น

2.7 เครื่องบันทึก (รูปที่ 2.35)

เครื่องบันทึก เป็นส่วนที่บันทึกผลออกมาเป็นโครมาโตแกรม โดยใช้สัญญาณที่ได้มาจากเครื่องบันทึก เครื่องเครื่องบันทึกนี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องมืออื่นๆได้ วิธีการใช้เครื่องบันทึกนี้จะมีแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องบันทึก

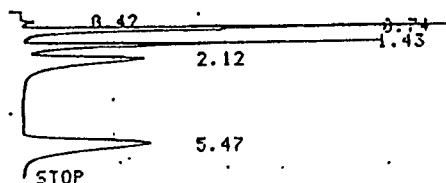


รูปที่ 2.35 Potentiometric recorder

อินทิเกรเตอร์(Integrator) เป็นเครื่องสำหรับคำนวณหาปริมาณพื้นที่ของพีค ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดบันทึกอินทิเกรเตอร์บางชนิดมี เครื่องบันทึกและส่วนที่คำนวณพีคอยู่รวมกัน เช่น อินทิเกรเตอร์คอมพิวเตอร์(computing integrator)จะให้โครมาโตแกรมและคำนวณพื้นที่ของ พีค แต่ละ พีคออกมาให้ดังรูปที่ 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

START 03.04.14.17.



C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 1
 REPT # 837
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	NK	AREA
๑		0.42	0.4586		3505
๒		0.74	24.8683	V	190061
๓		1.43	29.0003	V	221641
๔		2.12	19.2273	V	146953
๕		5.47	26.4446		202108
	TOTAL		99.9999		764270

รูปที่ 2.36 แสดง chromatogram และ peak area ที่ได้จาก computing integrator

ปัญหาที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดของเครื่องบันทึก ส่วนใหญ่จะเกิดจากความผิดพลาดของผู้ใช้เป็นส่วนใหญ่ การทำงานผิดพลาดของเครื่องตัวอย่างเช่น

1. ถ้าเครื่องบันทึกไม่มีไฟเข้าให้ตรวจสอบว่าเสียบปลั๊กไฟและเปิดเครื่องหรือยัง
2. ถ้า พิค ที่ได้ใหญ่หรือเล็กมากเกินไปให้ตรวจสอบดูให้แน่ใจว่าเครื่องตรวจวัด และเครื่องบันทึก ตั้งอยู่ตรงตำแหน่ง เอาท์พุท-อินพุท ที่มีลิวเวอร์ล็อกเท่ากันหรือไม่รวมทั้งตรวจสอบการลดทอน(attenuation) ของเครื่องตรวจวัดด้วย

3. กระดาษบันทึกเคลื่อนไปมาไม่ได้หรือไม่สม่ำเสมอ ตรวจสอบว่าใช้กระดาษถูกต้องหรือไม่ เพราะกระดาษบันทึกของแต่ละบริษัทบางครั้งใช้แทนกันไม่ได้

4. ปากกาเคลื่อนที่ไปมาตลอดเวลา (noisy pen) อาจเกิดจาก

ก. ไม่ได้ต่อสายกราวด์ของเครื่องบันทึก

ข. ตรวจสอบว่าต่อสายจากเครื่องตรวจวัดมาตรงตำแหน่งถูกต้องหรือไม่

ค. ตำแหน่งกราวด์ต่อไว้ไม่ถูกต้อง

ง. สลิดไวร์(slide wire) สกปรก ควรทำความสะอาดด้วยน้ำยาที่บริษัทให้

หาหรือใช้วัสดุขบอัลลอยอลเพื่อ

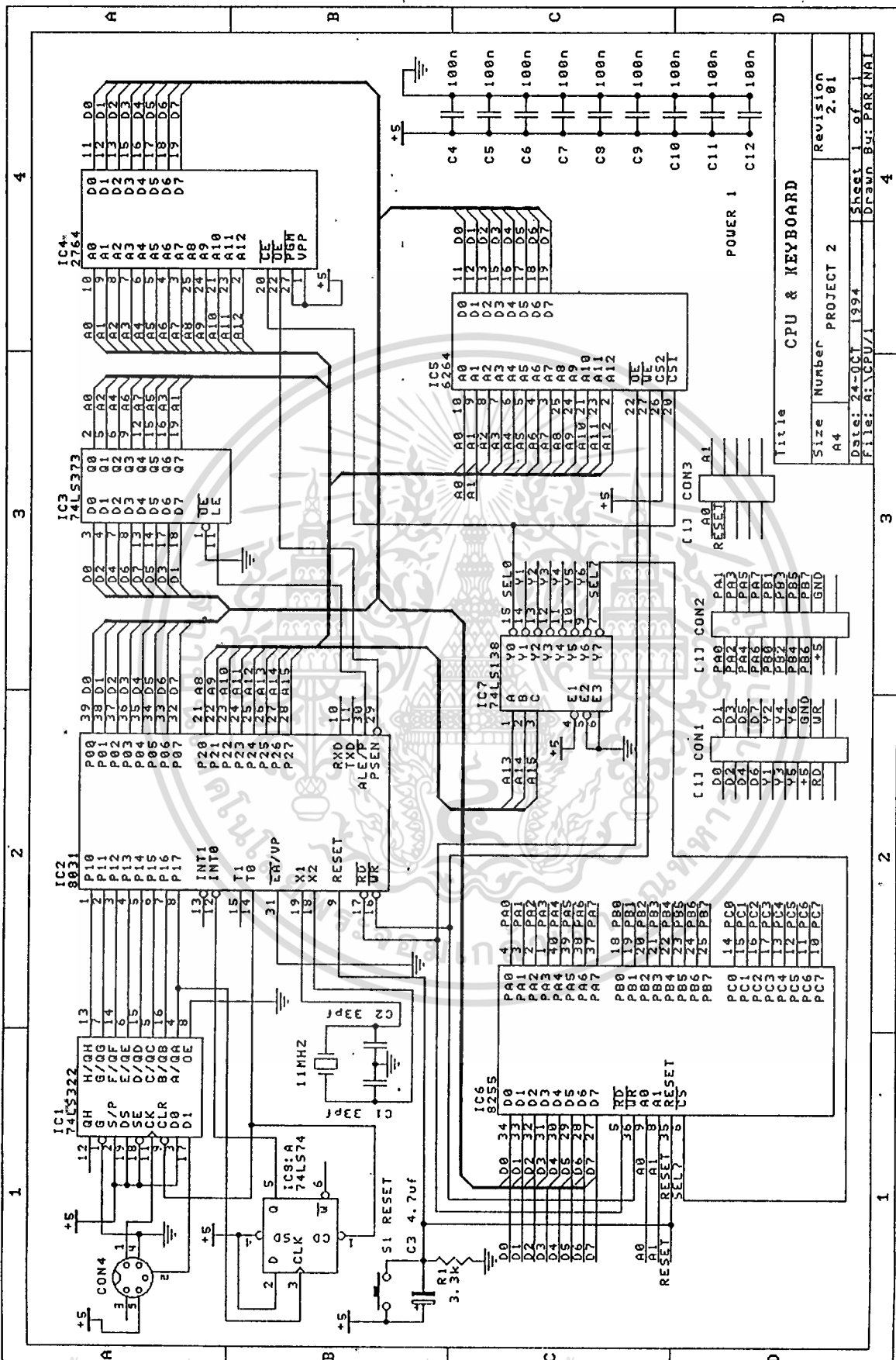
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง



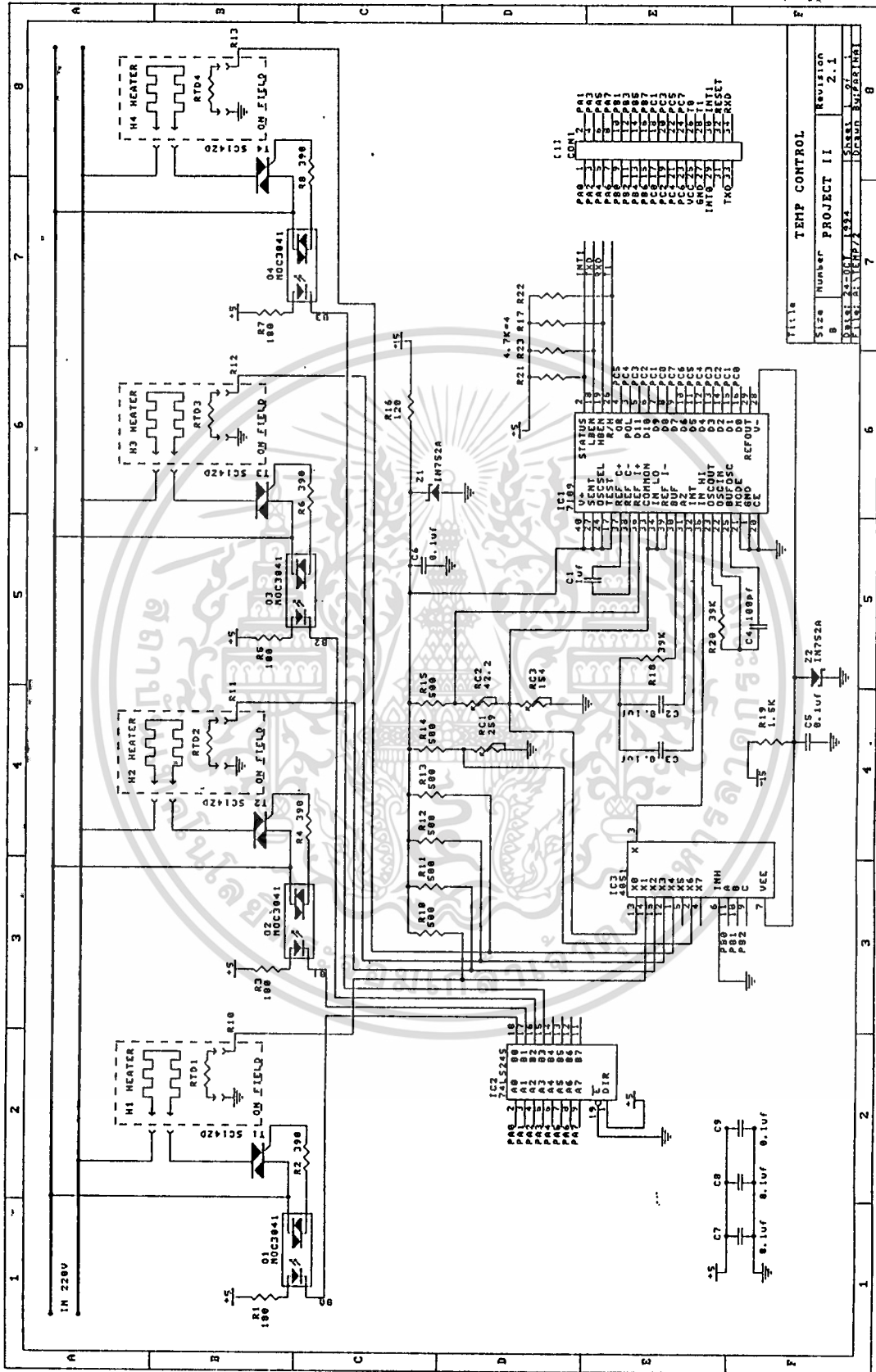
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CPU & KEYBOARD			
Title	Size	Number	Revision
	A4	PROJECT 2	2.01
Date: 24-OCT-1994	Sheet 1 of 1		
File: A:\CPU\1	Drawn By: PARINAI		

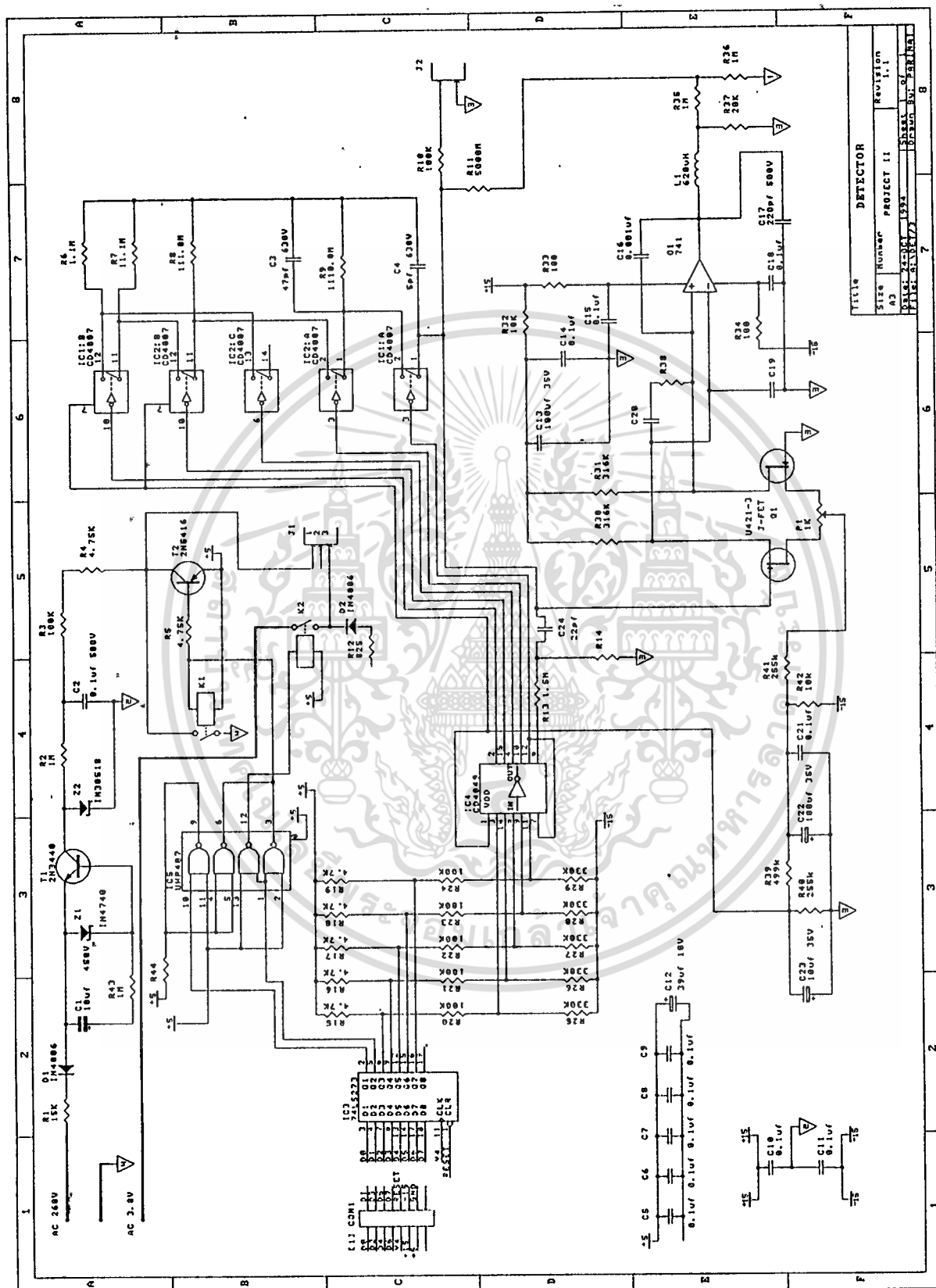
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่าการนี้ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2

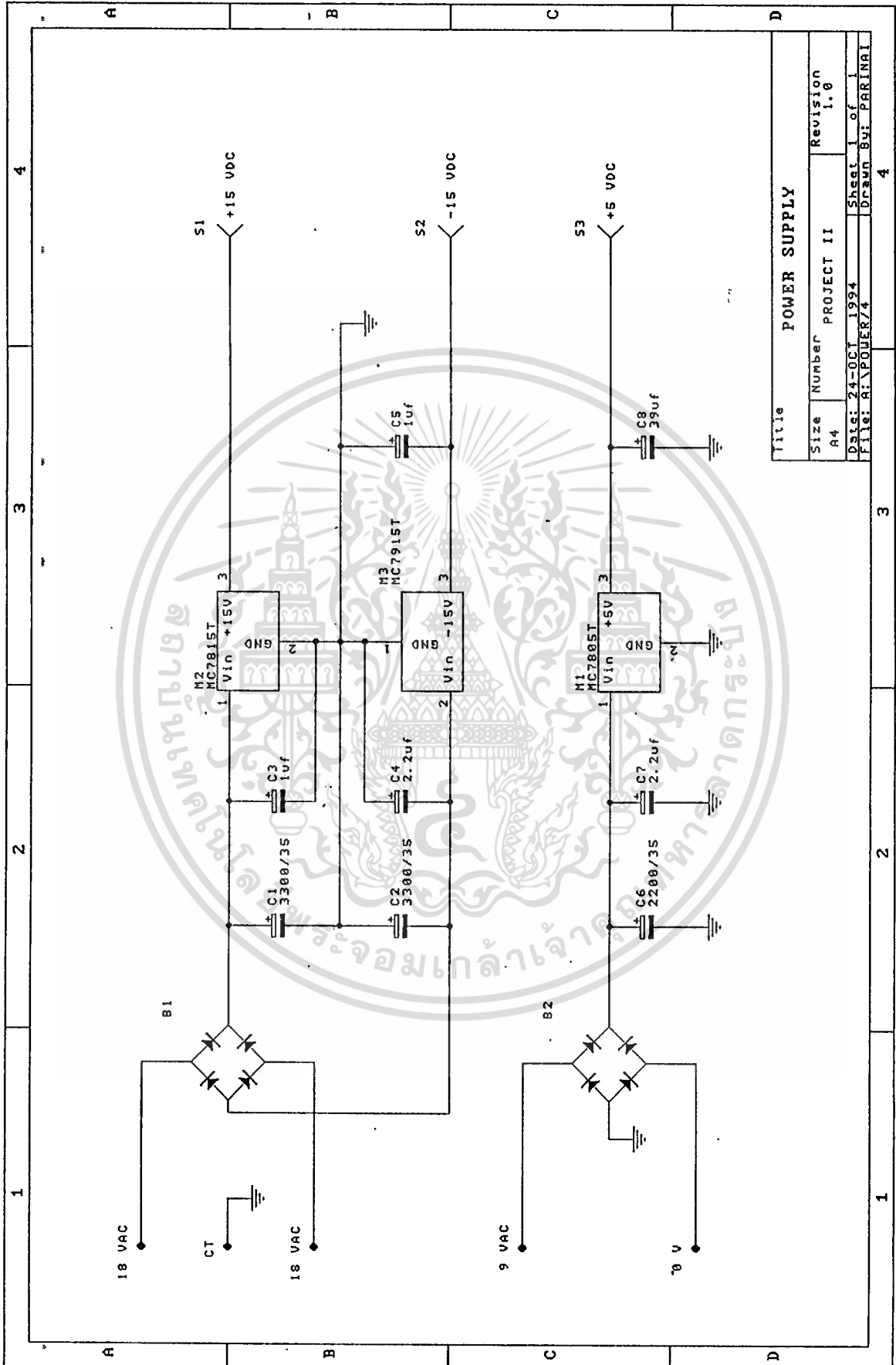


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



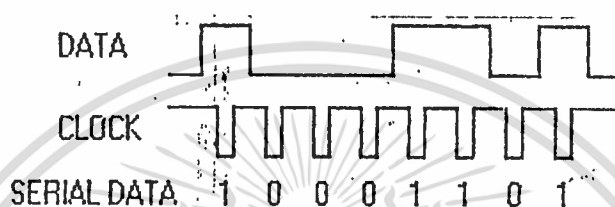
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานชุดควบคุมอุณหภูมิ

การทำงานชุดควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมด้วยดิจิตอล และ ส่วนของตัวให้ความร้อน สองส่วนนี้จะแยกกันโดยชุดให้ความร้อนจะรับไฟสลับ 110 โวลต์มาจ่าย และจะแยกกันโดยเด็ดขาดจากวงจรดิจิตอล เพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าของไฟสลับเข้าสู่วงจรดิจิตอลโดยที่ฮอตไดโอดไครแอค ส่วนของดิจิตอลจะมีชุดควบคุมการเปิดปิดของชุดให้ความร้อน และ ชุดอ่านค่าอุณหภูมิจริงเข้ามาเพื่อทำการควบคุมให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ไอซีเบอร์ 7019) 12 บิต ADC โดยชุดควบคุมการเปิดปิดของชุดให้ความร้อนจะมี 3 ชุด คือ คอลลิเม, อีแอกเตอร์, ชุดตรวจจับ และการอ่านค่าอุณหภูมิจริงกลับมา จะเลือกทำการอ่านที่ละชุดโดยใช้ ไอซีมัลติเพล็กซ์เตอร์ (ไอซีเบอร์ 4051) เป็นตัวเลือก แล้วส่งสัญญาณเข้าตัว ADC ต่อไป ซึ่งการทำงานทั้งหมด จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด

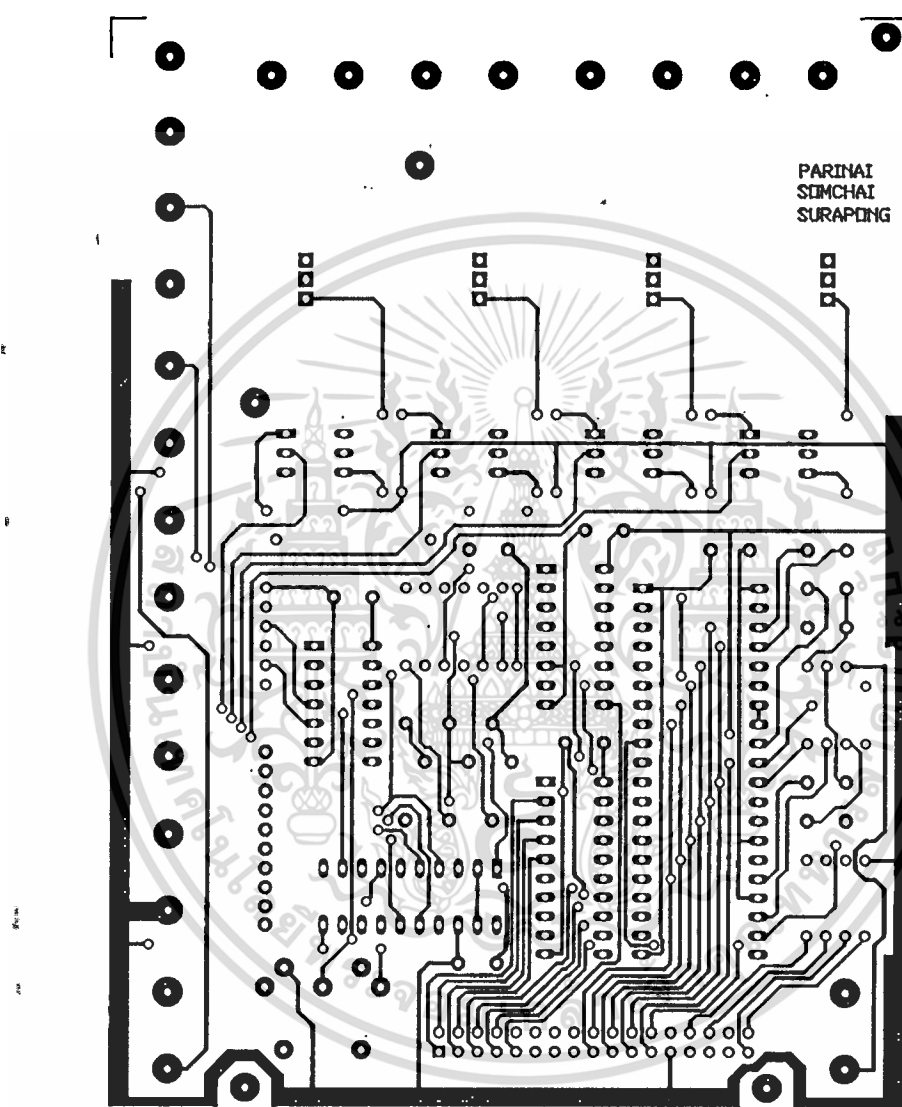
การทำงานของวงจรคีย์บอร์ด

เราจะนำเอาสัญญาณของคีย์บอร์ด มาใช้ 2 เส้น คือ คาต้า และคล็อก เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแบบ อนุกรม ให้เป็น สัญญาณ แบบ ขนาน เมื่อมีการกดคีย์ตัว คีย์บอร์ด ก็จะส่งสัญญาณ คล็อก และ คาต้า สัมผัสเข้ากับ ดังนี้



ตัวคีย์บอร์ดจะส่งข้อมูลเป็นระดับลอจิก คือ 0 หรือ 1 และจะส่งสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก ต่อข้อมูล 1 บิต จากวงจรเราใช้อุปกรณ์เพียง 2 ตัวเท่านั้นคือ 74LS322 ซึ่งเป็น ซีพรีจิสเตอร์ ขนาด 8 บิต แบบ SERIAL IN PARALLEL OUT และ 74LS74 มาประกอบกัน

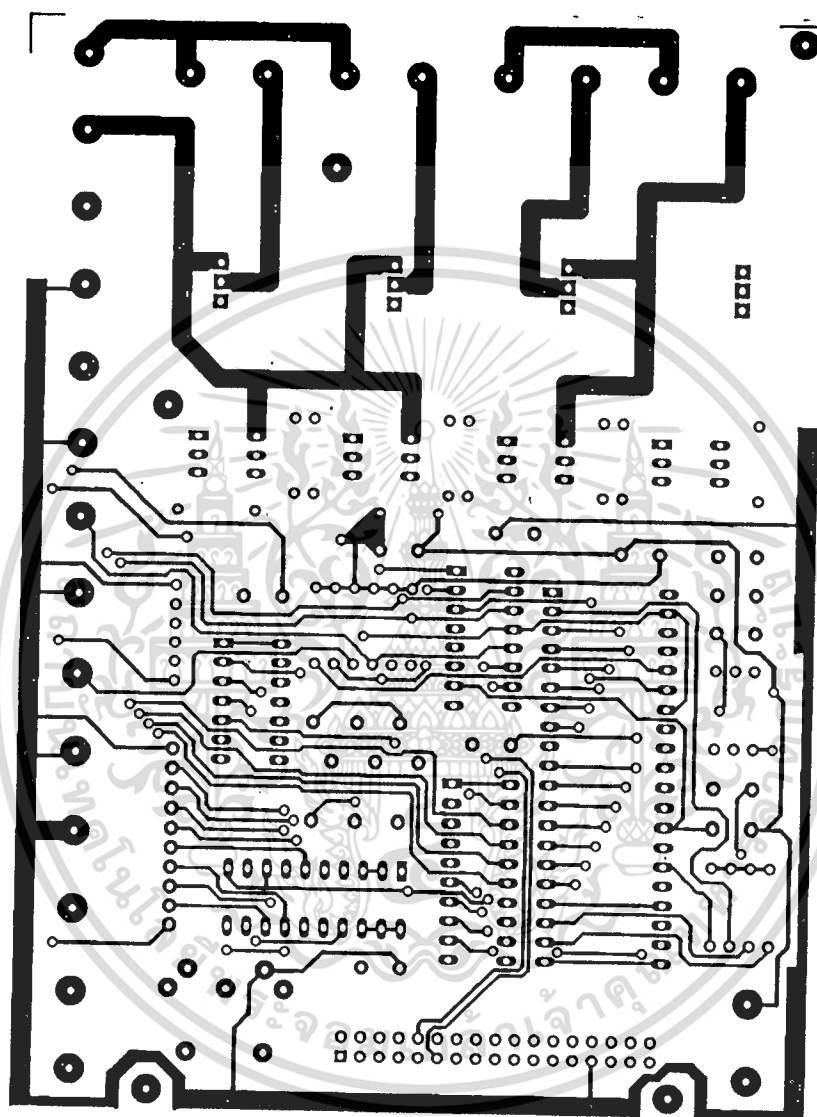
เมื่อเรากดคีย์บอร์ด ตัวคีย์บอร์ดก็จะส่งข้อมูลตามรูปข้างบนโดย ขาคาต้า จะต่ออยู่ที่ ขา D1 และขาคล็อก จะมาเข้าที่ขา CLK ของ 74LS322 เพื่อทำการเลื่อนข้อมูลแบบอนุกรมให้เป็นข้อมูลแบบขนาน ส่วน 74LS74 ก็จะเอาข้อมูลจากขา QA จะเป็น 1 นั่นคือ เมื่อมีการกดคีย์ ตัวคีย์บอร์ดจะส่งข้อมูล 8 บิต ออกมาโดย บิตแรกที่ส่ง (D7) จะเป็น 1 เสมอเมื่อขา D1 เป็น 1 และขา CLK ของ 74LS74 ได้รับสัญญาณนาฬิกาก็จะบอกกับอุปกรณ์ภายนอกว่ามีการกดคีย์เกิดขึ้นแล้ว ให้มาอ่านค่ารหัสของคีย์ได้แล้ว เมื่อทำการอ่านค่าของคีย์เรียบร้อยแล้ว ก็ต้องทำการเคลียร์ ค่าของข้อมูลเดิมโดยส่งพัลส์ 0 ไปที่ขา CLR ของ 74LS74 เพื่อที่จะได้รอรับค่าของคีย์ตัวต่อไป



TEMP Top Layer

ก. ลายวงจรด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP Bottom Layer

๓. ลายวงจรด้านล่าง

รูปที่ 3.5 ลายวงจรของชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการทดสอบการใช้งานของเครื่อง แก๊ส โครมาโทกราฟี จนสามารถทำงานได้ตามความต้องการแล้วทำการ SET CONDITION ของเครื่องดังนี้

เฟลม ไอโอไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจกเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเท็คเตอร์ อินิชัล เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
อินิชัล พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว เรต (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ในโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
ทำการเปิดเครื่อง แล้วรอจนได้อุณหภูมิตามที่ตั้งไว้ แล้วทำการทดลอง ฉีดสารตัวอย่างมาตรฐาน ที่มีปริมาตร = 3.15 มิลลิลิตร	
สารตัวอย่างที่มีปริมาตรดังนี้	

เพนเทน (PENTANE)	0.30	มิลลิลิตร
เฮกเซน (n-HEXANE)	0.90	มิลลิลิตร
ไอโซ อ็อกเทน (iso-OCTANE)	0.30	มิลลิลิตร
โทลูอีน (TOLUENE)	0.45	มิลลิลิตร
ไซลีน (XYLENE)	1.20	มิลลิลิตร

ทำการฉีดสารตัวอย่างมาตรฐานเข้าไปในเครื่องที่มีปริมาตร = 0.2 ไมโครลิตร แล้วได้ผลลัพธ์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

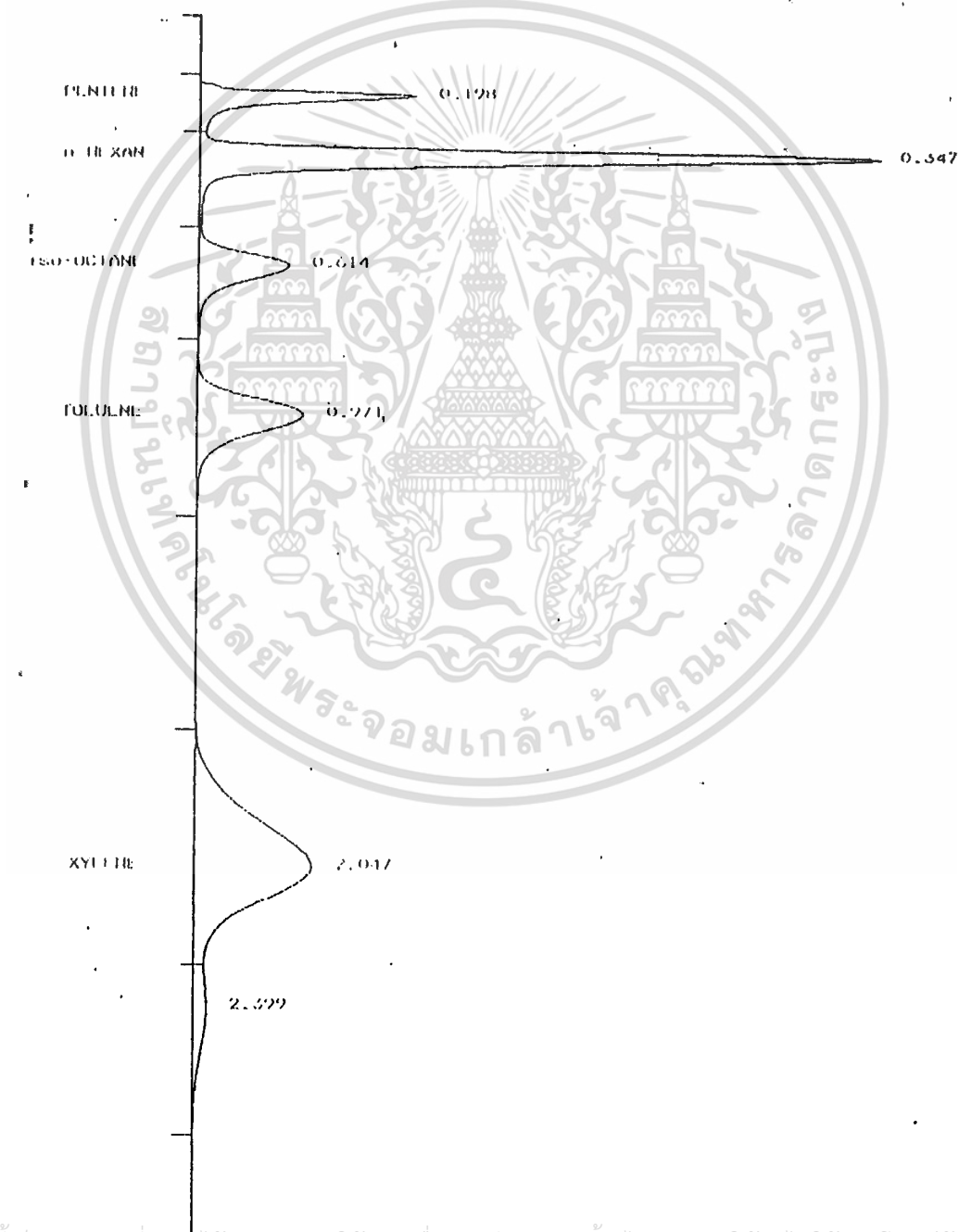
File :
Run File : C:\STAR\MODUL 16\STAR077.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 02:09 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHAI Bin Address : 16
Instrument : Varian GLC 401 Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run Time : 3.002 min

***** GLC Chromatography Workstation 444444 Version 3.0 *****

Chart Speed : 7.50 cm/min Attenuation : 1331 Zero Offset : 3%
Start Time : 0.000 min End Time : 3.002 min Min / Tick : 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR077.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHIT.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 0:02 AM

Operator : Detector type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHIT Bus address : 16
Instrument : Varian Star III Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B FID 10-V Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result ()	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)
1	PENTENE	8.3180	0.198	-0.082	169698	BV	1.6
2	n-HEXAN	32.7879	0.347	-0.044	668917	VV	2.1
3	iso-OCTANE	8.4160	0.614	-0.023	171697	VV	4.1
4	10I UENE	12.7216	0.971	-0.028	259538	VB	5.4
5	XYLENE	34.2466	2.047	0.081	698677	BV	13.2
6		3.5099	2.399		71607	VB	17.8
Totals:		100.0000		-0.096	2040135		

Total Unidentified Counts : 71607 counts

Detected Peaks: 6 Rejected Peaks: 0 Identified Peaks: 5

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -3264 microVolts

Noise (used): 2030 microVolts - monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอโอไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจ็คเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเท็คเตอร์ อินิชัล เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
ลินิชัล พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว เรท (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ไนโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
โดยสารตัวอย่างมีปริมาณดังนี้	
เพนเทน (PENTENE)	0.30 มิลลิลิตร
เฮกเซน (n-HEXAN)	0.50 มิลลิลิตร
ไอโซ อ็อกเทน (iso-OCTANE)	0.30 มิลลิลิตร
โทลูอีน (TOLUENE)	0.45 มิลลิลิตร
ไซลีน (XYLENE)	1.20 มิลลิลิตร

หลังจากการทดลองฉีดสารมาตรฐานแล้ว ทำการลดขนาดของ n-HEXAN ลงมาจนเหลือ 0.50 มิลลิลิตร แล้วทำการฉีดสารดังกล่าวเข้าเครื่องแล้วได้ผลลัพธ์ ดังนี้

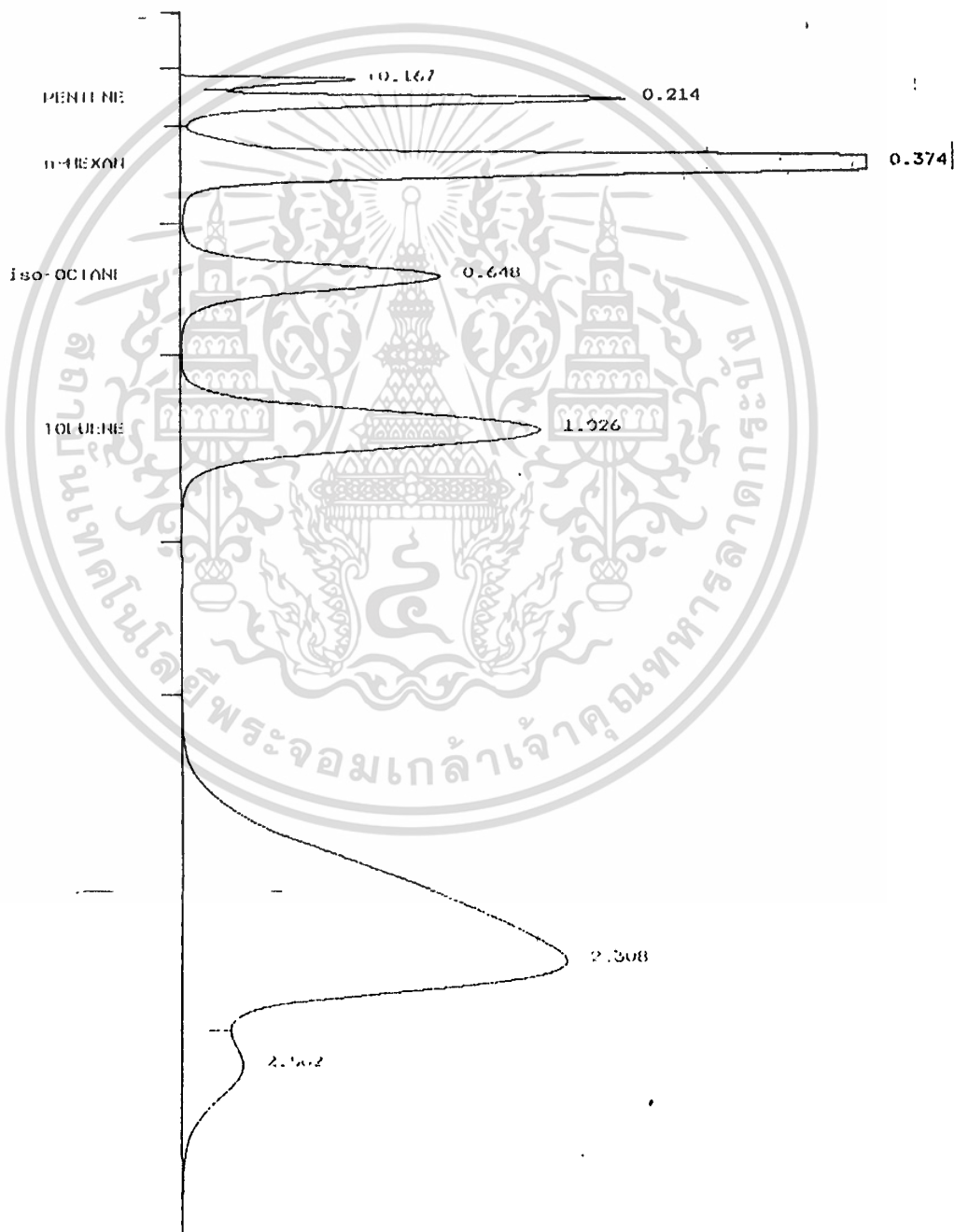
Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR078.RUN
Method File : C:\STAR\SOURCE1.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4 NOV '94 0:17 AM

Operator : Detector type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOLCATH Bus Address : 16
Instrument : Varian Star II Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = 110 10 V Run time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed 7.56 cm/min Attenuation = 4744 Zero Offset = 2%
Start Time = 0.000 min End Time = 3.002 min Min / Tick = 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODUL 16\STAR078.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 0:17 AM

Operator : Detected Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHAI Bus Address : 16
Instrument : Varian Star III Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)
1		1.4044	0.167		312815	BV	1.2
2	PENTENE	5.1814	0.214	0.066	1154095	VV	1.6
3	n-HEXAN	18.1252	0.374	0.017	4037301	VV	3.6
4	iso-OCTANE	7.9758	0.648	0.011	1776500	VV	4.2
5	TOLUENE	15.0129	1.026	0.027	3343920	VB	6.0
6		47.8400	2.308		10655694	BV	17.8
7		4.4595	2.562		993299	VB	14.9
Totals:		100.0000		-0.044	22273624		

Total Unidentified Counts 11961803 counts

Detected Peaks: 7 Rejected Peaks: 0 Identified Peaks: 4

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -3341 microVolts

Noise (used): 1880 microVolts monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอโอไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจ็คเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเท็คเตอร์ ลิมิตชัน เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
ลิมิตชัน พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว์ เรต (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ไนโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
ทำการผสมสารตัวอย่าง 4 ชนิดเข้าด้วยกันดังนี้	
เพนเทน (PENTANE)	0.30 มิลลิลิตร
โทลูอีน (TOLUENE)	0.10 มิลลิลิตร
เฮกเซน (n-HEXANE)	0.10 มิลลิลิตร
ไซลีน (XYLENE)	0.50 มิลลิลิตร

แล้วฉีดสารดังกล่าวเข้าเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้

FILE
Run File: C:\NIST\MSDCHEM\16\NIST000071.RUN
Method File: C:\NIST\MSDCHEM\16\NIST000071.MTH
Sample ID: Manual Sample

1. Injection Date: 4 NOV 2011 12:16 AM

2. Operator: Detector Type: AOCB (10 Volts)
Workstation: GC160001 Bus Address: 1-16
Fiducialment: Varian GC160001 Sample Rate: 10.00 Hz
Channel: B-110-10-V Run Time: 2.602 min

***** GC160001 GC160001 Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed: 8.75 cm/min Attenuation: 10x Zero Offset: 10%
Scan Time: 0.000 min Total Time: 2.602 min Min / tick: 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR087.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 1:16 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
WorkStation: SOMCHAI Bus Address : 16
Instrument : Varian Star III Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B - FID 10 V Run Time : 2.602 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep Code	Width 1/2 (sec)
1	PENTENE	26.3664	0.261	-0.019	77319	BB	1.7
2	n-HEXAN	0.5126	0.417	0.026	1503	TS	0.0
3	TOLUENE	14.1442	1.092	0.093	41477	BB	5.9
4		58.9768	2.267		172947	BB	14.9
Totals:		100.0000		0.100	293246		

Total Unidentified Counts : 172947 counts

Detected Peaks: 4 Rejected Peaks: 0 Identified Peaks: 3

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -2796 microVolts

Noise (used): 1720 microVolts - monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม, ไอโอไนเซชัน ดีเทกเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจกเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเทกเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเทกเตอร์ อินิชัล เรนจ์ (Detector Initial Range)	10 ⁻¹⁰
อินิชัล พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเทกเตอร์ แก๊ส โฟลว์ เรต (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ไนโตรเจน (Carrier gas N ₂)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 ul
ค่าการผสมสารตัวอย่างทุกชนิดมีปริมาณดังนี้	
เพนเทน (PENTENE)	0.05 มิลลิลิตร
เฮกเซน (n-HEXANE)	0.20 มิลลิลิตร
ไอโซ ออคเทน (iso-OCTENE)	0.05 มิลลิลิตร
ทอลูอีน (TOLUENE)	0.15 มิลลิลิตร
ไซลีน (XYLENE)	0.50 มิลลิลิตร

แล้วทดลองวัดสารได้ผลลัพธ์ดังนี้

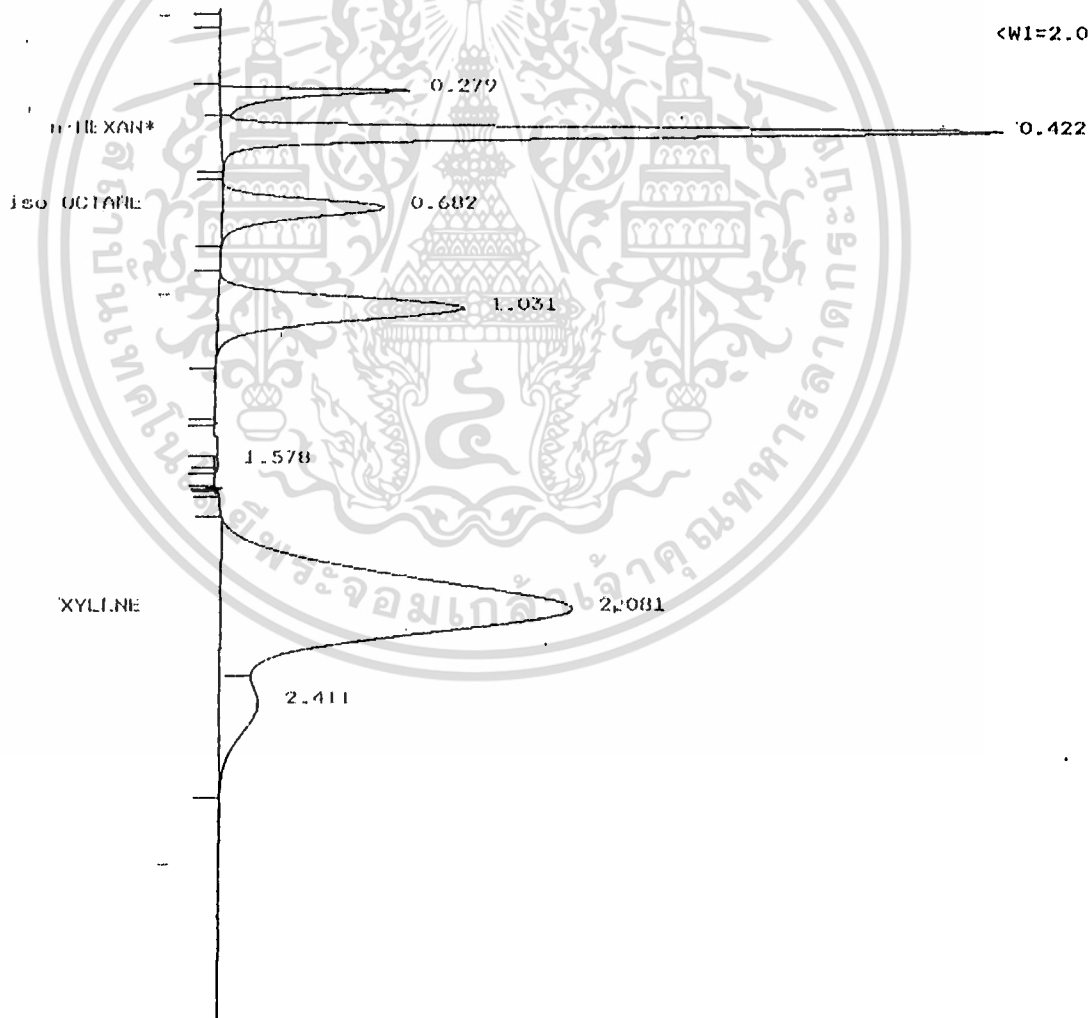
Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR075.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 3-NOV-94 11:49 PM

Operator : Detector type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHAI Bus Address : 16
Instrument : Varian Star #1 Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run Time : 5.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed = 4.54 cm/min Attenuation = 756 Zero Offset = 5%
Start Time = 0.000 min End Time = 5.002 min Min / Tick = 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR075.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MHI
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 3 NOV-94 11:49 PM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHAI Bus Address : 16
Instrument : Varian Star II Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B & FID 10 V Run Time : 5.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep Code	Width 1/2 (sec)
1		3.2288	0.279		80589	BV	1.6
2	n-HEXAN	20.2932	0.422	0.031	408971	VB	2.3
3	iso-OCTANE	7.2145	0.682	0.045	145375	BB	4.0
4		14.5760	1.031		293751	BB	5.4
5		0.0844	1.578		1700	BV	0.0
6	XYLENE	48.2564	2.081	0.115	986621	BV	12.8
7		4.8767	2.411		98280	VB	16.3
Totals:		100.0000		0.191	2015308		

Total Unidentified Counts: 474320 counts

Detected Peaks: 14 Rejected Peaks: 7 Identified Peaks: 3

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -5162 microVolts

Noise (used): 2100 microVolts monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอโอไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจ็คเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเท็คเตอร์ ลิมิต เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
อินิชัล พล็อต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว เรต (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ไนโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
ทดสอบวัดสารตัวอย่างโดยมีสัดส่วนเท่า ๆ กันดังนี้	
เพนเทน (PENTENE)	0.10 มิลลิลิตร
ไอโซ ออกเทน (iso-OXTENE)	0.10 มิลลิลิตร
โทลูอีน (TOLUENE)	0.10 มิลลิลิตร
อื่น ๆ	0.70 มิลลิลิตร

ฉีดโดยขนาด 0.2 ไมโครลิตร เข้าไปในเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้

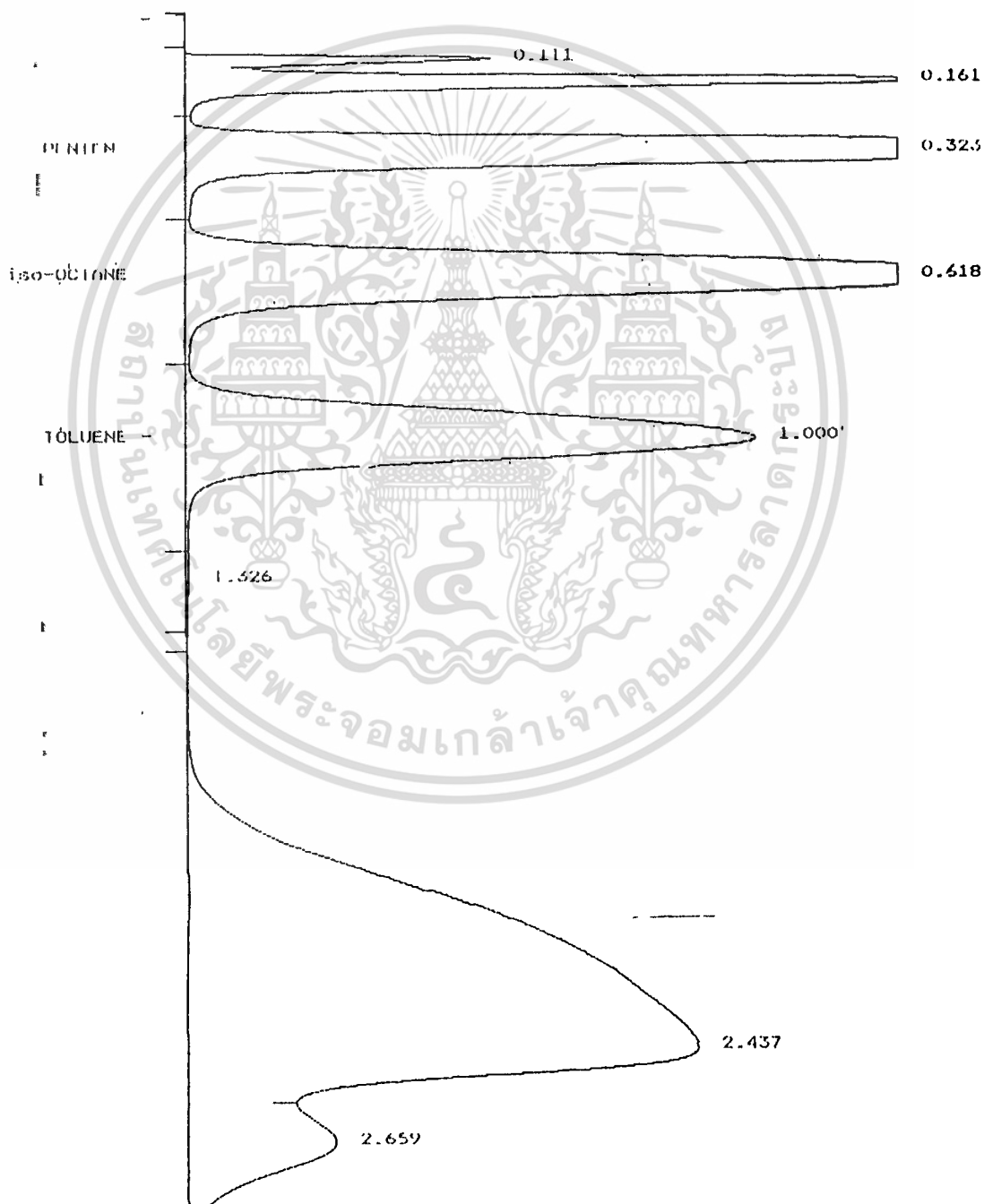
Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR079.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCH01.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 0:24 AM

Operator : Detector type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCH01 Bus Address : 16
Instrument: Varian Star II Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed = 7.56 cm/min Attenuation = 4745 Zero Offset = 2%
Start time = 0.000 min End time = 3.002 min Min / Tick = 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR079.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4 NOV 94 0:24 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SONCHAI Bus Address : 16
Instrument: Varian Star 81 Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result ()	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sup. Code	Width 1/2 (sec)
1		1.2630	0.111		515568	BV	1.2
2		5.0661	0.161		12068085	VV	1.8
3	PENTENE	11.7451	0.323	0.043	4794579	VY	4.5
4	iso-OCLONE	16.8096	0.618	-0.019	6862007	VV	6.5
5	TOLUENE	14.3419	1.000	0.001	5854654	VP	7.0
6		0.0122	1.326		4977	TS	0.0
7		45.6053	2.437		18617024	PV	21.9
8		5.1569	2.659		2105134	VB	13.0
Totals:		100.0000		0.025	40822028		

Total Unidentified Counts : 23310788 counts

Detected Peaks: 8 Rejected Peaks: 0 Identified Peaks: 3

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -3490 microVolts

Noise (used): 1590 microVolts monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอโอไนเซชัน ดีเทกเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจกเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเทกเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเทกเตอร์ อินิชัล เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
อินิชัล พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเทกเตอร์ แก๊ส โฟลว เรท (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ในโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
ทำการผสมสาร 2 ชนิดเข้าด้วยกันในปริมาณดังนี้	
เพนเทน (PENTANE)	0.3 มิลลิลิตร
ทอลูอีน (TOLUENE)	0.7 มิลลิลิตร
แล้วทำการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้	

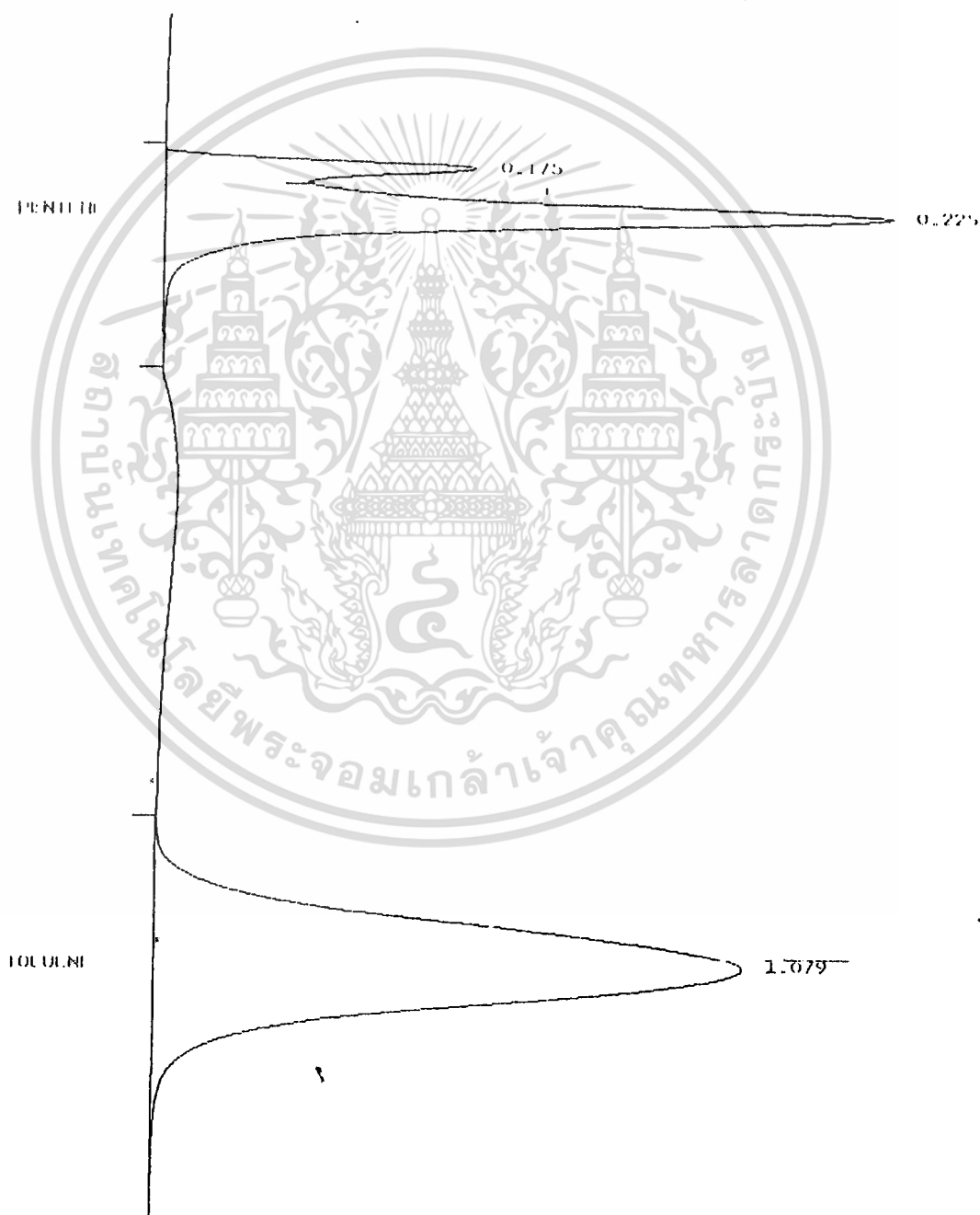
Title :
Run File : C:\STAR\MODUL 11\STAR086.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 9 NOV 94 1:11 AM

Operator :
Workstation: SOMCHAI
Instrument : Varian Star II
Channel : B = FID 10 V
Detector Type: ADCB (10 Volts)
Bus Address : 16
Sample Rate : 10.00 Hz
Run Time : 1.502 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed : 15.12 cm/min Attenuation 3182 Zero Offset = 3%
Start Time : 0.000 min End Time 1.502 min Min / tick = 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR036.RUN
Method File : C:\STAR\SOHCHEM1.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4 NOV 94 1:11 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOHCHEM Bus Address : 16
Instrument : Varian Star II Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run Time : 1.502 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep Code	Width 1/2 (sec)
1		6.7687	0.175		364296	UV	1.3
2	PENTENE	27.5974	0.225	-0.055	1485421	VB	1.8
3	TOLUENE	65.6319	1.079	-0.080	3532351	BB	6.1
Totals:		100.0000		0.025	5382067		

Total Unidentified Counts : 364296 counts

Detected Peaks: 3 Rejected Peaks: 0 Identified Peaks: 2

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -59 microVolts

Noise (used): 22810 microVolts monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอโอไนเซชัน ดีเทกเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจคเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเทกเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเทกเตอร์ อินิชัล เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
อินิชัล พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเทกเตอร์ แก๊ส โฟลว เรต (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ไนโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
ทำการนำสาร 2 ชนิดมาผสมเข้าด้วยกันดังนี้	
เฮกเซน (n-HEXAN)	0.8 มิลลิลิตร
ไอโซ ออกเทน (iso-OXTANE)	0.2 มิลลิลิตร
แล้วทำการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้	

Title :
Run File : C:\STAR\MODUL 16\STAR034.RUN
Method File : C:\STAR\SONCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-24 1:01 AM

Operator : Detector Type: AOCB (10 Volts)
Workstation: SONCHAI Bus Address : 16
Instrument: Varian Star IIJ Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B : FID 10 V Run Time : 1.200 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)
1	PENTANE	0.1500	0.247	0.033	9870	VV	1.7
2	n-HEXANE	86.3573	0.598	0.007	5683819	VV	5.4
3	iso-OCTANE	13.4927	0.679	0.042	888054	VB	4.1
Totals:		100.0000		0.015	6581743		

Total Unidentified Counts: 0 counts

Detected Peaks: 4 Rejected Peaks: 1 Identified Peaks: 3

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: 3187 microVolts

Noise (used): 2050 microVolts - monitored before this run

เฟลม ไอไอไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature) 80 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ อินเจ็คเตอร์ (Injector Temperature) 220 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature) 300 องศาเซลเซียส

ดีเท็คเตอร์ อินิชชัน เรนจ์ (Detector Initial Range) 10^{-10}

อินิชชัน พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min) 1 cm/min

ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent) 5 %

ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว เรต (Detector Gas Flow Rate)

แก๊สพา ในโตรเจน (Carrier gas N_2) 30 ml/min

อากาศ (Air) 300 ml/min

ไฮโดรเจน (Hydrogen) 30 ml/min

สารตัวอย่าง (Sample Size) 0.2 μ l

ทำการฉีดสารตัวอย่างซึ่งใช้เพียงอย่างเดียว iso-OXTANE เพียงอย่างเดียวเข้าไปในเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้คือ มีเพียง พีค(Peak) ของ iso-OXTANE อย่างเดียวตัวอื่นจึงไม่ปรากฏพีค(Peak) ออกมาดังรูป

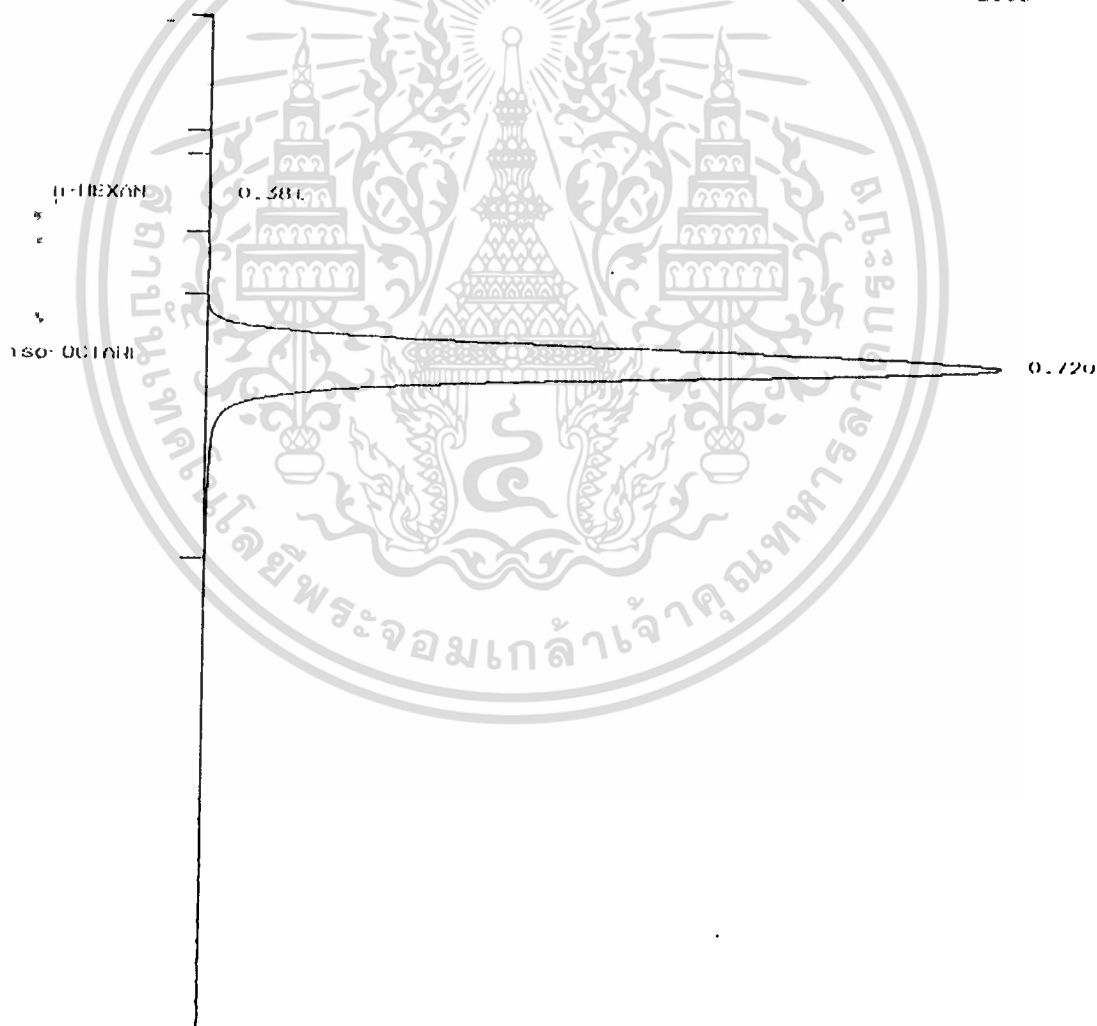
Title :
Run File : C:\STAR\MODUL FILE\STAR083.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MHI
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 0:57 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHAI Bus Address : 16
Instrument : Varian Star II Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B - FID 10 V Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed = 7.56 cm/min Attenuation = 1937 Zero Offset = 3%
Start Time = 0.000 min End Time = 3.002 min Min / Tick = 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODUL16\STAR003.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 01:57 AM

Operator :
Workstation: SOMCHAI
Instrument : Varian Star III
Channel : B FID 10 V
Detector Type: ADCB (10 Volts)
Bus Address : 16
Sample Rate : 10.00 Hz
Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analytical
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)
1	n-HEXAN	0.0853	0.381	0.010	1652	VB	3.3
2	iso OCTANE	99.9147	0.720	0.083	1934822	BB	4.3
Totals:		100.0000		0.0/2	1936474		

Total Unidentified Counts : 0 counts

Detected Peaks: 3 Rejected Peaks: 1 Identified Peaks: 2

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -3270 microVolts

Noise (used): 1170 microVolts monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอออไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจ็คเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเท็คเตอร์ ลิมิชัน เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
ลิมิชัน พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว เรต (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ในโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l
ทำการทดลองลดขนาด การฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในเครื่อง ซึ่งปกติฉีดสาร ขนาด 0.2 ไมโครลิตร เข้าเครื่องลดลงเหลือ 0.15 ไมโครลิตร เข้าเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้	

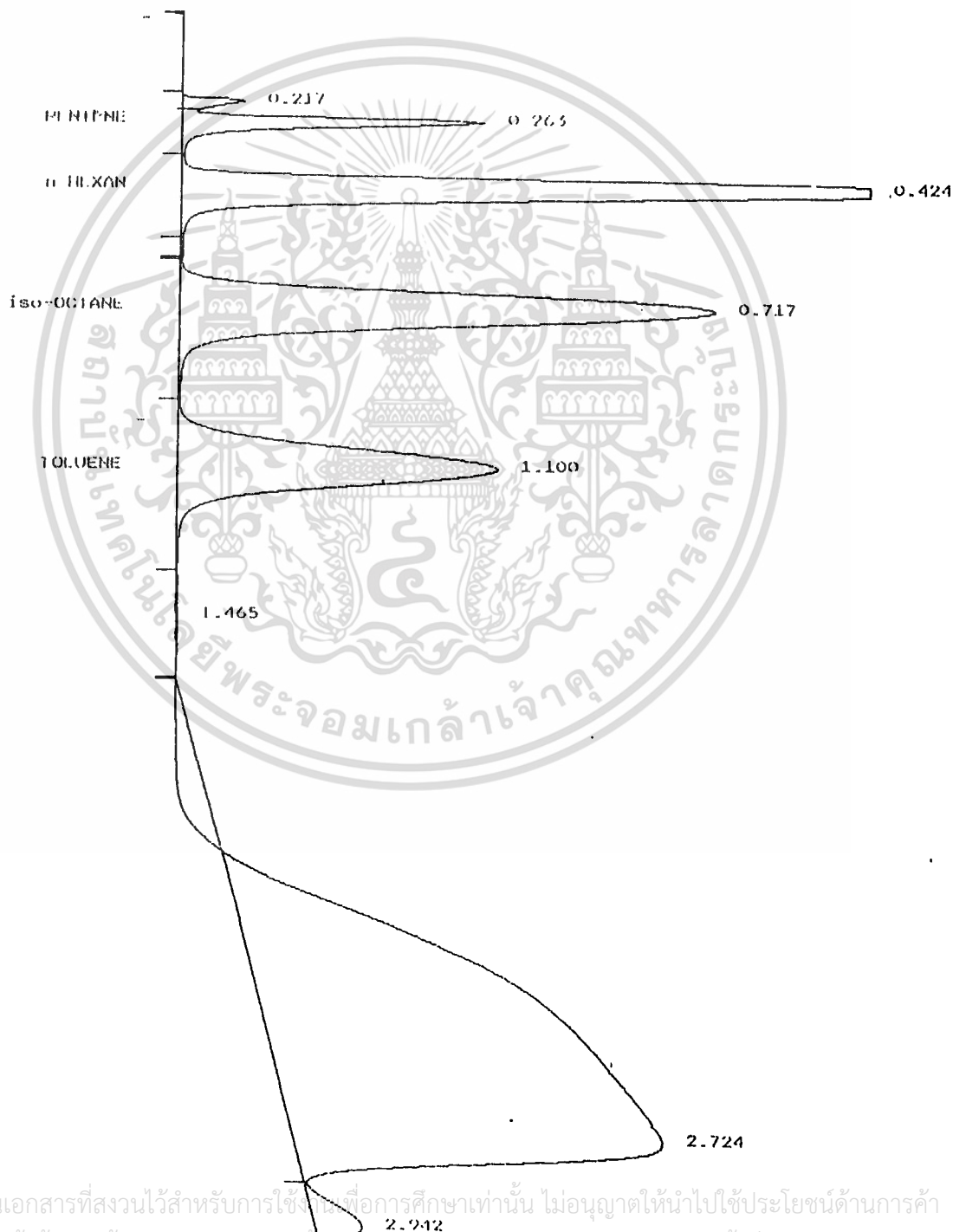
Title :
Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR081.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 0:46 AM

Operator :
Workstation: SOMCHAI
Instrument: Varian Star III
Channel : B - FID 10 V
Detector Type: ADCB (10 Volts)
Bus Address : 16
Sample Rate : 10.00 Hz
Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Chart Speed = 7.56 cm/min Attenuation = 4746 Zero Offset = 2%
Start Time = 0.000 min End Time = 3.002 min Min / Tick = 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title :
Run File : C:\STAR\MODUL16\STAR081.RUN
Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4-NOV-94 0:46 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
Workstation: SOMCHAI Bus Address : 16
Instrument : Varian Star III Sample Rate : 10.00 Hz
Channel : B = FID 10 V Run Time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
Peak Measurement: Peak Area
Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)
1		0.3876	0.217		105779	BV	1.2
2	PENTENE	2.6422	0.265	-0.017	721087	VV	1.5
3	n-HEXAN	12.4351	0.424	0.053	3393726	VV	3.2
4	iso-OCTANE	15.1252	0.717	0.080	4127918	VV	5.1
5	TOLUENE	10.7502	1.100	0.101	2933906	VP	5.9
6		0.0471	1.465		12856	TS	0.0
7		57.12784	2.724		15632178	PV	23.5
8		1.3343	2.942		364140	VB	0.0
Totals:		100.0000		0.197	27291590		

Total Unidentified Counts : 16114953 counts

Detected Peaks: 9 Rejected Peaks: 1 Identified Peaks: 4

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -3612 microVolts

Noise (used): 1790 microVolts - monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลม ไอออไนเซชัน ดีเท็คเตอร์ (Flame Ionization Detector)

อุณหภูมิ คอลัมน์ (Column Temperature)	80 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ อินเจ็คเตอร์ (Injector Temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ดีเท็คเตอร์ (Detector Temperature)	300 องศาเซลเซียส
ดีเท็คเตอร์ อินิชัล เรนจ์ (Detector Initial Range)	10^{-10}
อินิชัล พลอต สปีด (Initial Plot Speed in cm/min)	1 cm/min
ซีโร่ ออฟเซต (Zero offset in percent)	5 %
ดีเท็คเตอร์ แก๊ส โฟลว เรท (Detector Gas Flow Rate)	
แก๊สพา ไนโตรเจน (Carrier gas N_2)	30 ml/min
อากาศ (Air)	300 ml/min
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	30 ml/min
สารตัวอย่าง (Sample Size)	0.2 μ l

จากสารมาตรฐานรูปแรกแล้วทำการเพิ่มความเข้มข้นของสาร iso-OXTANE เข้าไปจากเดิมมีส่วนผสม 0.3 มิลลิตร เป็น 0.55 มิลลิตรแล้วทำการฉีดสารดังกล่าวเข้าไปในเครื่องได้ผลลัพธ์ดังนี้ คือ iso-OXTANE จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จาก 8 % เป็น 16% ดังรูป

Title :
 Run File : C:\STAR\MODULE16\STAR000.RUN
 Method File : C:\STAR\SOMCHAI.MTH
 Sample ID : Manual Sample

Injection Date: 4 NOV 91 0:40 AM

Operator : Detector Type: ADCB (10 Volts)
 Workstation: SOMCHAI Bus Address : 16
 Instrument : Varian Star II Sample Rate : 10.00 Hz
 Channel : B = FID 10 V Run time : 3.002 min

***** Star Chromatography Workstation ***** Version 3.0 *****

Run Mode : Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: Percent

Peak No.	Peak Name	Result (%)	Retention Time (min)	Time Offset (min)	Area (counts)	Sep. Code	Width 1/2 (sec)
1	PENTENE	0.0961	0.265	-0.015	29023	BV	1.6
2	n-HEXAN	13.8286	0.414	0.023	4174888	VV	3.9
3	iso-OCTANE	19.5914	0.711	0.074	5914695	VP	5.7
4	TOLUENE	0.8066	1.066	0.067	243519	TS	0.0
5		0.0755	1.449		22800	TS	0.0
6		65.6017	2.874		19805292	PB	28.0
Totals:		100.0000		0.148	30190216		

Total Unidentified Counts : 19828092 counts

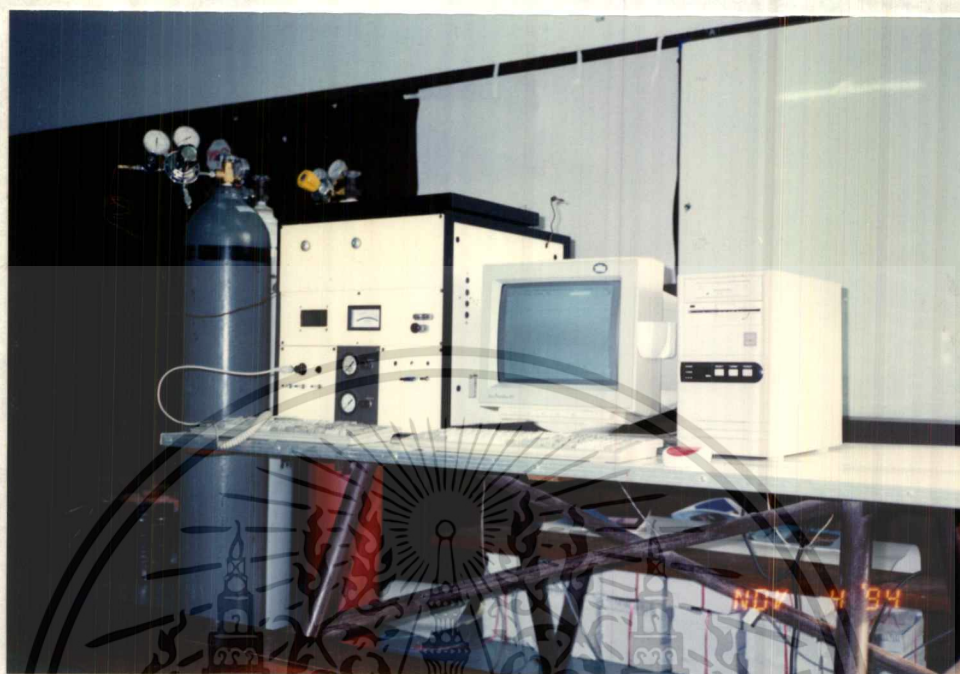
Detected Peaks: 6 Rejected Peaks: 0 Identified Peaks: 4

Amount Standard: 0.000000 Multiplier: 1.000000 Divisor: 1.000000

Baseline Offset: -3830 microVolts

Noise (used): 1800 microVolts - monitored before this run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส

เครื่องวิเคราะห์แก๊ส จะประกอบด้วย

1. อังแก๊ส

1.1 แก๊สพา ได้แก่ ไนโตรเจน

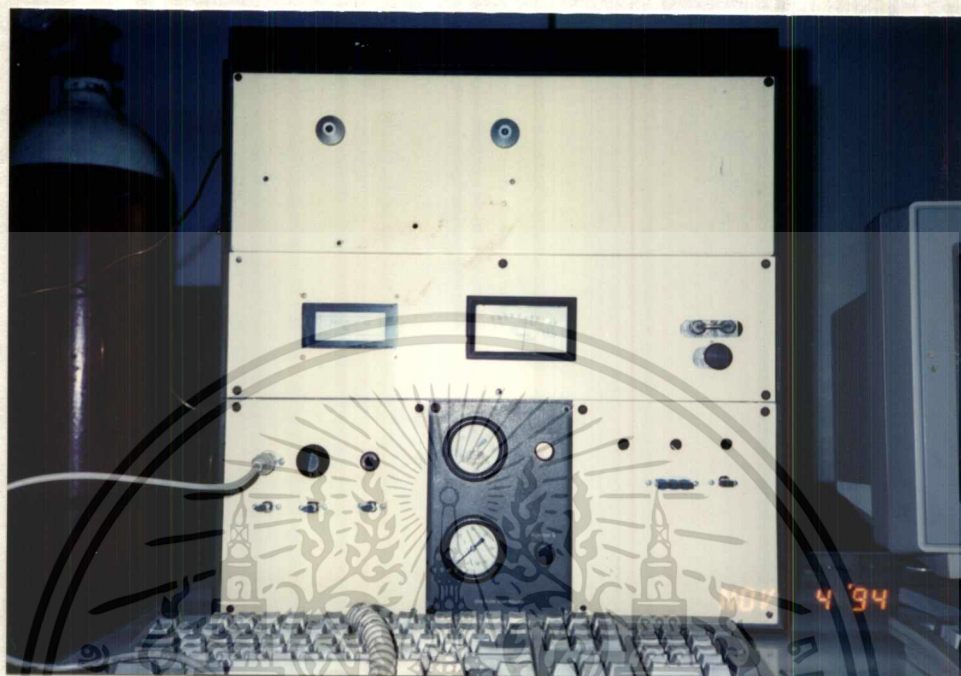
1.2 อากาศ (AIR)

1.3 ไฮโดรเจน

2. ตัวเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (GC)

3. ไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงผลการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

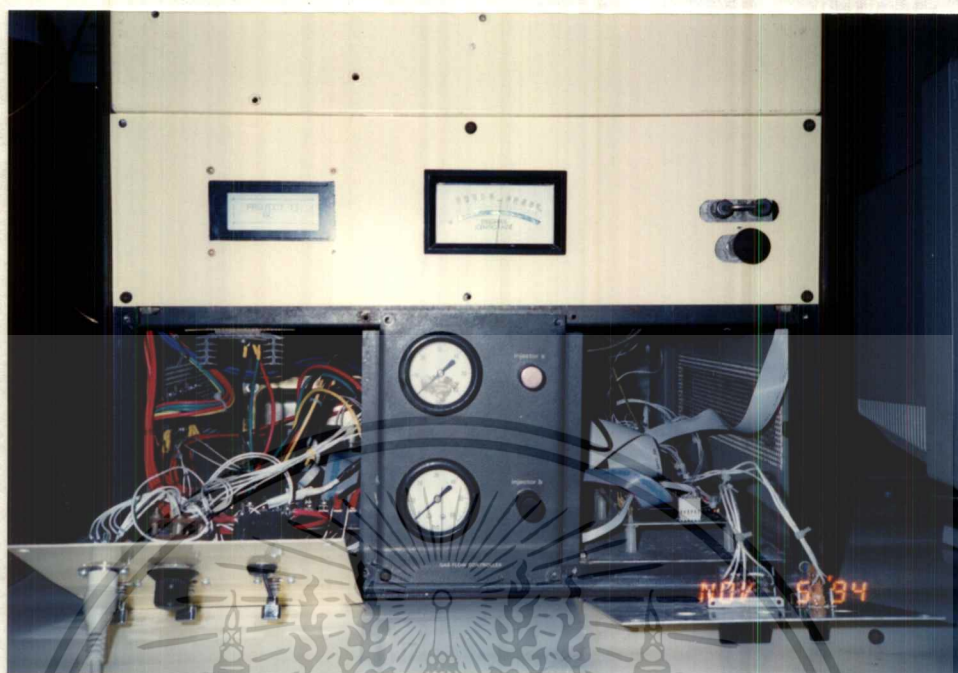


รูปที่ 4.2 แสดงด้านหน้าเครื่องวิเคราะห์แก๊ส

จะประกอบด้วย

1. ชุดอินเจ็คเตอร์ (INJECTOR) อยู่ด้านบน
2. จอ L.C.D. สำหรับตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้งาน
3. จอแสดงผลอุณหภูมิจริง
4. ชุดปรับความดันของแก๊สพา
5. คีย์บอร์ดสำหรับตั้งค่าอุปกรณ์
6. สวิตช์ เลือกการแสดงผล
7. สวิตช์ มอเตอร์
8. สวิตช์ สีกเตอร์
9. ชุดปรับอัตราการไหล
10. สวิตช์ ปรับอัตราขยาย
11. สวิตช์ จุดเฟรม คีเ็คเตอร์

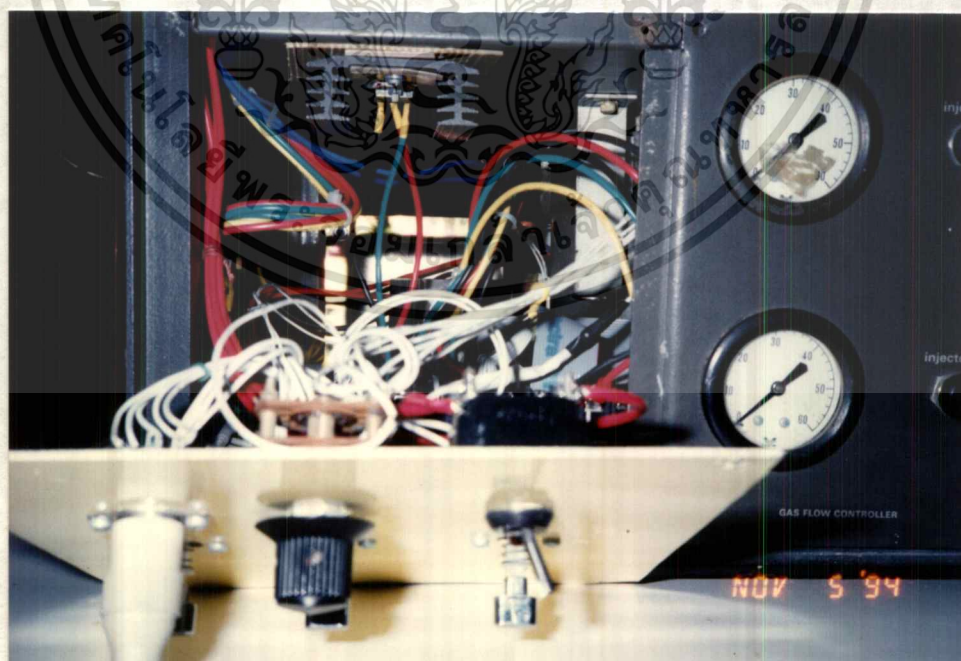
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงด้านในของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส

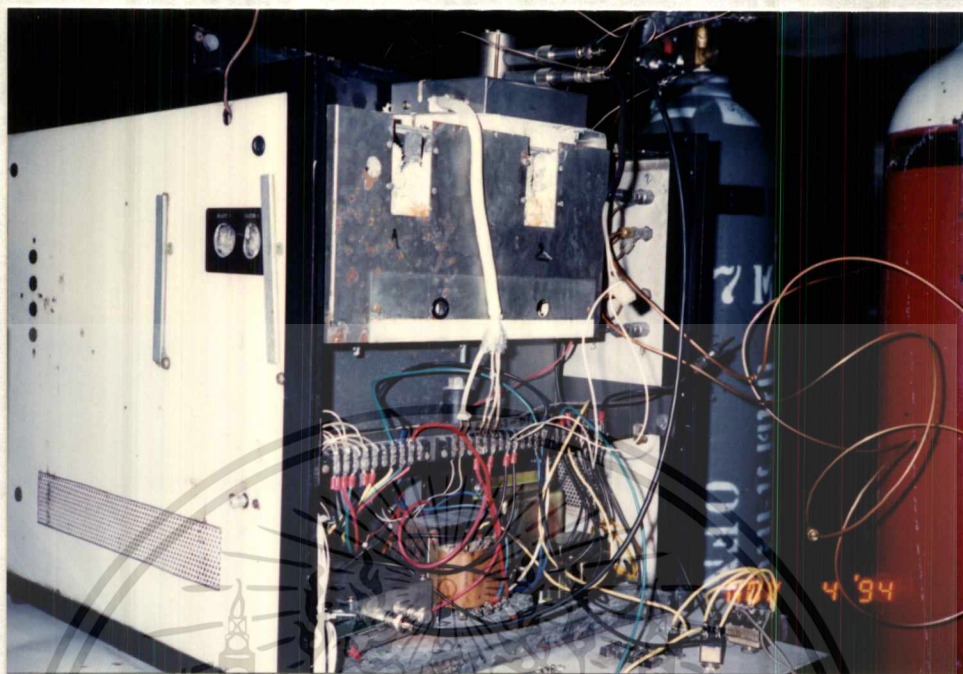
จะประกอบด้วย

1. บอร์ด ควบคุมอุณหภูมิ
2. บอร์ด CPU



รูปที่ 4.4 แสดงภาพบอร์ด ควบคุมอุณหภูมิ

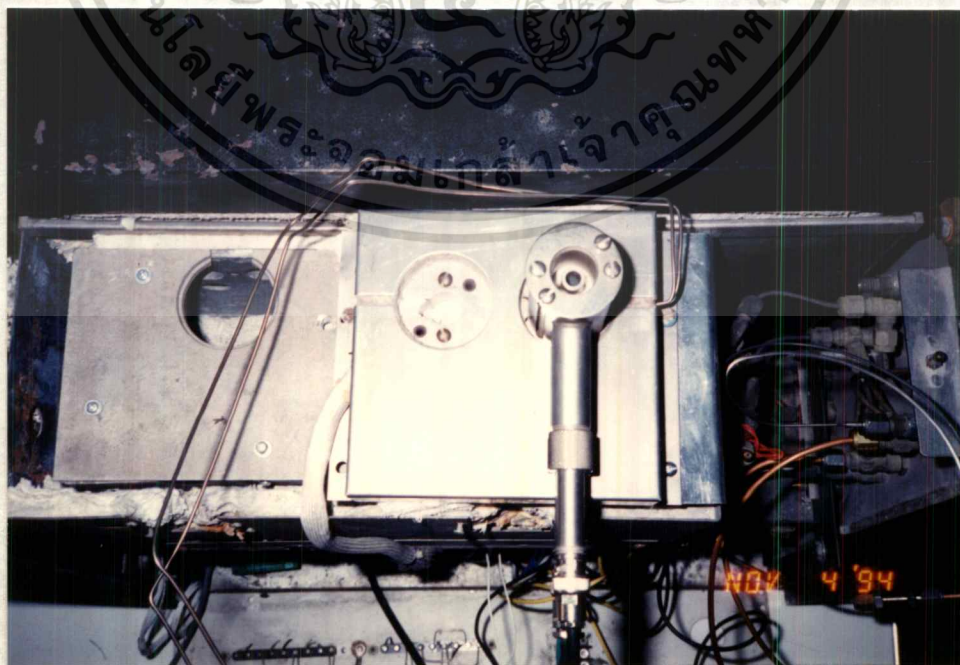
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



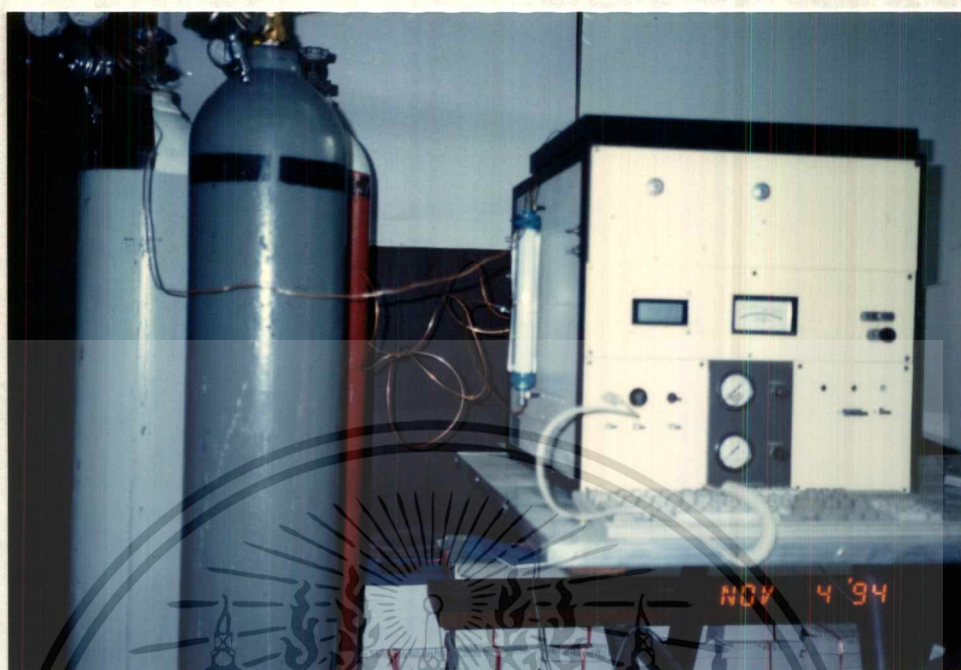
รูปที่ 4.5 แสดงด้านหลังของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส

จะประกอบด้วย

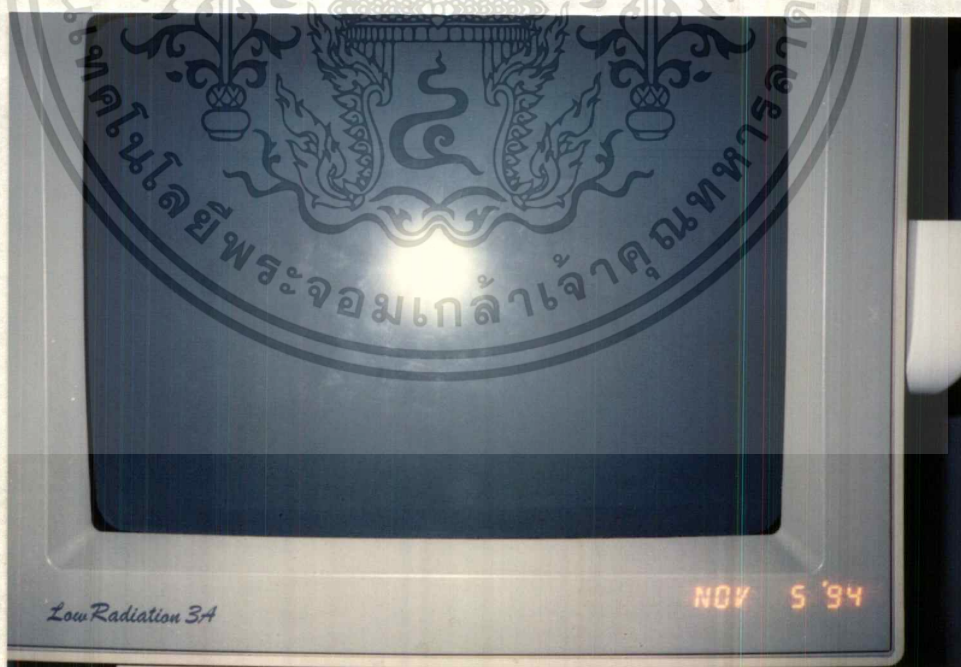
1. ตัวตรวจจับ (DETECTOR)
2. บอร์ด ขยายสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับ (DETECTOR)
3. หม้อแปลงไฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำสำเนาเพื่อแสดงภาพตัวตรวจจับ (DETECTOR) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงภาพฟิลเตอร์
ฟิลเตอร์จะอยู่ด้านข้างของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส สำหรับกรองแก๊สพา



รูปที่ 4.8 จอแสดงผลการวิเคราะห์แก๊ส
จะแสดงออกมาในรูปกราฟ (ดูได้ก่ผลการทดลอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์และสรุปผลการทำงาน

การสร้างเครื่องแกสโครมาโทกราฟีนี้ ทางกลุ่มผู้จัดทำได้พบปัญหามากมายในการสร้างไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุปกรณ์ ซึ่งบางตัวมีราคาที่แพงมากเมื่อจัดหามาทำในโครงการนี้ ทางผู้จัดทำมาได้เพียงชุดเดียวอย่าง เช่น คอลัมน์ทำให้การทดลองในการสร้างเครื่อง GC พบอุปสรรคในการทำงาน หรือไอซีบางตัวหาได้ยากอย่างเช่นชุดแปลงสัญญาณจาก อนาล็อกเป็นดิจิทัล เลยทำให้โครงการนี้ไม่มีปัญหามาก แต่ทางคณะผู้จัดทำได้พยายามแก้ปัญหาไปที่ละจุด ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นได้รับการแก้ไขโดยได้รับคำแนะนำและวิธีแก้ปัญหาจากอาจารย์ที่ปรึกษา และคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมและผู้ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ จึงทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สรุปได้ว่าโครงการสร้างขึ้นจากจุดริเริ่มทฤษฎีของแกสโครมาโทกราฟี ซึ่งเมื่อทำการสร้างโครงการนี้และทำการทดลอง จนสำเร็จนั้นได้ประสบความสำเร็จตามทฤษฎีที่ได้ศึกษาไม่ว่าจะเป็นทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์, ไมโครโปรเซสเซอร์, ไมโครคอนโทรล, แกสโครมาโทกราฟี ซึ่งผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

ขอบเขตการทำงานของเครื่อง

ขอบเขตการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แกสที่สร้างขึ้นนี้ ขีดการทำงานนั้นขึ้นกับชนิดของคอลัมน์ ซึ่งคอลัมน์จะเป็นตัวกำหนดชนิดของสารที่จะวิเคราะห์ (เพราะในคอลัมน์จะใส่เนื้อที่ต่างกัน) เมื่อคอลัมน์ต่างกันอุณหภูมิที่คอลัมน์ก็ต่างกัน ในโครงการนี้ชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 500 องศาเซลเซียส ถ้ามีสารที่จุดเดือดมากกว่า 500 องศาเซลเซียส จะต้องสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิโดยเพิ่มขนาดของฮีตเตอร์ และอีกจุดที่น่าจะพัฒนานอกเหนือจากนี้คือระบบวิเคราะห์แกสแบบออนไลน์(on-line)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0000          CPU          "8051.TBL"

0000          HOF          "INT8"

0000          INCL         "8051.H"

;

;MCS-51 INTERNAL REGISTERS

;

00F0 =      B:      EQU      0F0H      ;B REGISTER

00E0 =      ACC:    EQU      0E0H      ;ACCUMULATOR

00D0 =      PSW:    EQU      0D0H      ;PROGRAM STATUS WORD

00B8 =      IPC:    EQU      0B8H      ;INTERRUPT PRIORITY

00B0 =      P3:     EQU      0B0H      ;PORT 3

00A8 =      IEC:    EQU      0A8H      ;INTERRUPT ENABLE

00A0 =      P2:     EQU      0A0H      ;PORT 2

0099 =      SBUF:   EQU      99H      ;SEND BUFFER

0098 =      SCON:   EQU      98H      ;SERIAL CONTROL

0090 =      P1:     EQU      90H      ;PORT 1

008D =      TH1:    EQU      8DH      ;TIMER 1 HIGH

008C =      TH0:    EQU      8CH      ;TIMER 0 HIGH

008B =      TL1:    EQU      8BH      ;TIMER 1 LOW

008A =      TL0:    EQU      8AH      ;TIMER 0 LOW

0089 =      TMOD:   EQU      89H      ;TIMER MODE

0088 =      TCON:   EQU      88H      ;TIMER CONTROL

0087 =      PCON:   EQU      87H      ;POWER CONTROL REGISTER

0083 =      DPH:    EQU      83H      ;DATA POINTER HIGH

0082 =      DPL:    EQU      82H      ;DATA POINTER LOW

0081 =      SP:     EQU      81H      ;STACK POINTER

```

```

0080 =      P0:      EQU      80H      ;PORT 0
;
;MCS-51 INTERNAL BIT ADDRESSES
;
00D7 =      CY:      EQU      0D7H      ;CARRY FLAG
00D6 =      AC:      EQU      0D6H      ;AUXILIARY-CARRY FLAG
00D5 =      F0:      EQU      0D5H      ;USER FLAG 0
00D4 =      RS1:     EQU      0D4H      ;REGISTER SELECT MSB
00D3 =      RS0:     EQU      0D3H      ;REGISTER SELECT LSB
00D2 =      OV:      EQU      0D2H      ;OVERFLOW FLAG
00D0 =      P:       EQU      0D0H      ;PARITY FLAG
00BC =      PS:      EQU      0BCH      ;PRIORITY SERIAL PORT
00BB =      PT1:     EQU      0BBH      ;PRIORITY TIMER 1
00BA =      PX1:     EQU      0BAH      ;PRIORITY EXTERNAL 1
00B9 =      PT0:     EQU      0B9H      ;PRIORITY TIMER 0
00B8 =      PX0:     EQU      0B8H      ;PRIORITY EXTERNAL 0
00AF =      EA:      EQU      0AFH      ;ENABLE ALL INTERRUPT
00AC =      ES:      EQU      0ACH      ;ENABLE SERIAL INTERRUPT
00AB =      ET1:     EQU      0ABH      ;ENABLE TIMER 1 INTERRUPT
00AA =      EX1:     EQU      0AAH      ;ENABLE EXTERNAL 1 INTERRUPT
00A9 =      ET0:     EQU      0A9H      ;ENABLE TIMER 0 INTERRUPT
00A8 =      EX0:     EQU      0A8H      ;ENABLE EXTERNAL 0 INTERRUPT
009F =      SM0:     EQU      09FH      ;SERIAL MODE 0
009E =      SM1:     EQU      09EH      ;SERIAL MODE 1
009D =      SM2:     EQU      09DH      ;SERIAL MODE 2
009C =      REN:     EQU      09CH      ;SERIAL RECEPTION ENABLE
009B =      TB8:     EQU      09BH      ;TRANSMIT BIT 8

```

```

009A =      RB8:      EQU      09AH      ;RECEIVE BIT 8

0099 =      TI:      EQU      099H      ;TRANSMIT INTERRUPT FLAG

0098 =      RI:      EQU      098H      ;RECEIVE INTERRUPT FLAG

008F =      TF1:      EQU      08FH      ;TIMER 1 OVERFLOW FLAG

008E =      TR1:      EQU      08EH      ;TIMER 1 RUN CONTROL BIT

008D =      TF0:      EQU      08DH      ;TIMER 0 OVERFLOW FLAG

008C =      TR0:      EQU      08CH      ;TIMER 0 RUN CONTROL BIT

008B =      IE1:      EQU      08BH      ;EXT INTERR. 1 EDGE FLAG

008A =      IT1:      EQU      08AH      ;EXT INTERR. 1 TYPE FLAG

0089 =      IE0:      EQU      089H      ;EXT INTERR. 0 EDGE FLAG

0088 =      IT0:      EQU      088H      ;EXT INTERR. 0 TYPE FLAG

0000 =      R0:      EQU      0

0001 =      R1:      EQU      1

0002 =      R2:      EQU      2

0003 =      R3:      EQU      3

0004 =      R4:      EQU      4

0005 =      R5:      EQU      5

0006 =      R6:      EQU      6

0007 =      R7:      EQU      7

```

```

;-----

```

```

;-----

```

```

;          PROJECT II

```

```

;          SOMCHAI NOOMFAK

```

```

;-----

```

```

0000          ORG      0000H

```

```

;----- VARIABLE -----

```

```

EOC0 =      COMMAND: EQU      0E0C0H      ;Read-Write Register

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

E0C1 =      RDBUSY:      EQU      0E0C1H      ;Read Busy Flag
                                           ;& Address

E0C2 =      WRDATA:      EQU      0E0C2H      ;Write Character

E0C3 =      RDDATA:      EQU      0E0C3H      ;Read Data From
                                           ;DD Ram

E0E0 =      PORTA:       EQU      0E0E0H      ;8255 PORT A
                                           ;(OUTPUT)

E0E1 =      PORTB:       EQU      0E0E1H      ;8255 PORT B
                                           ;(OUTPUT)

E0E2 =      PORTC:       EQU      0E0E2H      ;8255 PORT C
                                           ;(INPUT)

E0E3 =      CNTL_8255:    EQU      0E0E3H      ;8255 CONTROL PORT

0089 =      CNTL_WORD:    EQU      89H        ;8255 CONTROL WORD
                                           ;(A=0,B=0,C=1)

      ;----- INTERNAL RAM -----

0030 =      X:           EQU      30H        ;LCD COLUMN POSITION

0031 =      Y:           EQU      31H        ;LCD ROW POSITION

0032 =      POS:         EQU      32H        ;LCD POSITION

0033 =      BUFFER1:     EQU      0033H      ;DISPLAY LINE BUFFER
                                           ;3 BYTES

0036 =      BUFFER2:     EQU      0036H      ;      "

0039 =      BUFFER3:     EQU      0039H      ;      "

0042 =      BUFFER4:     EQU      0042H      ;      "

0045 =      BUFFER5:     EQU      0045H      ;      "

0048 =      BUFFER6:     EQU      0048H      ;      "

0051 =      LBYTE:       EQU      0051H

0052 =      HBYTE:       EQU      0052H

```

0053 =	TEMP_HIGH:	EQU	0053H
0054 =	TEMP_LOW:	EQU	0054H
0055 =	KEEPI:	EQU	0055H
0056 =	KEEPO:	EQU	0056H
0057 =	KEPTI:	EQU	0057H
0058 =	KEPTO:	EQU	0058H
0060 =	CNTBUF1:	EQU	0060H
0063 =	CNTBUF2:	EQU	0063H
0066 =	CNTBUF3:	EQU	0066H
0067 =	DIGIT1:	EQU	0067H
0068 =	DIGIT2:	EQU	0068H
0069 =	DIGIT3:	EQU	0069H
006A =	DIGIT4:	EQU	006AH
006B =	DIGIT5:	EQU	006BH
006C =	DIGIT6:	EQU	006CH
006D =	DIGIT7:	EQU	006DH
006E =	DIGIT8:	EQU	006EH
006F =	DIGIT9:	EQU	006FH
0070 =	DIVIDER:	EQU	0070H
0071 =	TOD:	EQU	0071H
0072 =	TOD1:	EQU	0072H

0000 8000 START: SJMP INITIAL

----- INITIAL -----

;

0002 C2AF INITIAL: CLR EA ;Disable Interupt

0004 11C8 ACALL INITLCD ;Initial LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0006 11EC          ACALL  INIT8255      ;Initial 8255
;
;----- MAIN PROGRAM -----
;
0008 90E0E0  BEGIN_MAIN:  MOV    DPTR,#PORTA
000B 74FF          MOV    A,#0FFH
000D F0          MOVX   @DPTR,A
000E 900546       MOV    DPTR,#TITLE
0011 11FF        ACALL  WR4LINES
0013 C2B4        CLR    P3+4          ;CLERA DATA FROM
;KEYBOARD
0015 D2B4        SETB   P3+4
0017 7800        MOV    R0,#0H        ;NUMLOCK FLAG
0019 1201AB      LCALL  KEYPRESS1
001C 900586      BEGIN:   MOV    DPTR,#TEMP_SET
001F 1200FF      LCALL  WR4LINES
0022 744A        MOV    A,#4AH
0024 11B7        ACALL  GOTO
0026 1201BB      NEXT:   LCALL  KEYPRESS
;
;          CJNE   A,#081H,NEXT1  ;CHECK ESCAPE
;
;          SJMP   BEGIN_MAIN
0029 B4C504      NEXT1:   CJNE   A,#0C5H,NEXT2  ;CHECK NUMLOCK
002C 31E6        ACALL  SET_NUMLOCK
002E 80F6        SJMP   NEXT
0030 B80003      NEXT2:   CJNE   R0,#0,NEXT3
0033 120267      LCALL  ARROW

```

เอกสารนี้ 0036 31F2 ที่สงวนไว้ NEXT3: การใช้งานเพื่อการใช้งานที่ ACALL NUMBER อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0038 B48102          CJNE    A,#81H,NEXT4
003B 80CB            SJMP     BEGIN_MAIN
003D B49CE6      NEXT4:    CJNE    A,#9CH,NEXT      ;CHECK ENTER
0040 51E7            ACALL    ENTER
0042 9005C6          MOV     DPTR,#TEMP_SHOW
0045 1200FF          LCALL    WR4LINES
0048 120343          LCALL    SHOW
004B                RUNNING: ;
004B 75700F          MOV     DIVIDER,#15
004E 90E0E1          MOV     DPTR,#PORTB
0051 7401            MOV     A,#1
0053 F0              MOVX    @DPTR,A
0054 9164            ACALL    TEMP_IN
0056 7190            ACALL    ADCTODEC
0058 71C2            ACALL    DIV4DIGIT1
005A 91FB            ACALL    ACTUAL_CON1
005C 918B            ACALL    WR3BYTE1
005E 90E0E1          MOV     DPTR,#PORTB
0061 7402            MOV     A,#2
0063 F0              MOVX    @DPTR,A
0064 9164            ACALL    TEMP_IN
0066 7190            ACALL    ADCTODEC
0068 71F8            ACALL    DIV4DIGIT2
006A B114            ACALL    ACTUAL_CON2
006C 91A8            ACALL    WR3BYTE2
006E 90E0E1          MOV     DPTR,#PORTB

```

เอกสาร 007107403 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0073 F0          MOVX    @DPTR,A
0074 9164        ACALL   TEMP_IN
0076 7190        ACALL   ADCTODEC
0078 912E        ACALL   DIV4DIGIT3
007A B12D        ACALL   ACTUAL_CON3
007C 91C5        ACALL   WR3BYTE3
007E 31C8        ACALL   KEYPRESS2
0080 B481C8      CJNE    A,#81H,RUNNING
0083 90E0E0      MOV     DPTR,#PORTA
0086 74FF        MOV     A,#0FFH
0088 F0          MOVX    @DPTR,A
0089 011C        AJMP    BEGIN
008B 014B        AJMP    RUNNING
008D 018D        END_MAIN: AJMP    $
;----- SUB ROUTINE -----
;
008F      GotoXY:      ;Goto X(1-16),Y(1-4) Position
;=====      : In - X,Y
;      : Out - Display

008F C0E0        PUSH    ACC
0091 EA          MOV     A,R2
0092 B40104      XY1:   CJNE    A,#01H,XY2
0095 7400        MOV     A,#00H
0097 8017        SJMP    XYGO
0099 B40204      XY2:   CJNE    A,#02H,XY3
009C 7440        MOV     A,#40H
009E 8010        SJMP    XYGO

```

```

00A0 B40304    XY3:                CJNE    A,#03H,XY4
00A3 7410                        MOV     A,#10H
00A5 8009                        SJMP    XYGO
00A7 B4040A    XY4:                CJNE    A,#04H,XYRET
00AA 7450                        MOV     A,#50H
00AC 8002                        SJMP    XYGO
00AE 8004                        SJMP    XYRET
00B0 2B        XYGO:                ADD     A,R3
00B1 14                        DEC     A
00B2 11B7                        ACALL   GOTO
00B4 D0E0    XYRET:                POP     ACC
00B6 22                        RET
00B7        GOTO:                ;Goto Line
                                ;=====
                                ; In   - Reg A. = Data
                                ;
                                ; Out  - LCD
00B7 C082                        PUSH    DPL
00B9 C083                        PUSH    DPH
00BB D2E7                        SETB    ACC+7
00BD 90E0C0                        MOV     DPTR,#COMMAND
00C0 F0                        MOVX    @DPTR,A
00C1 315B                        ACALL   WAITBF
00C3 D083                        POP     DPH
00C5 D082                        POP     DPL
00C7 22                        RET

```

```

;-----

```

```

00C8        INITLCD:                ;Initial LCD

```

```

;=====
; In   - P1 = Data

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;                               : Out - LCD

00C8 C082                      PUSH      DPL
00CA C083                      PUSH      DPH
00CC 90E0C0                   MOV        DPTR,#COMMAND
00CF 7438                     MOV        A,#38H
00D1 F0                       MOVX      @DPTR,A
00D2 12015B                   LCALL    WAITBF
00D5 740F                     MOV        A,#0FH
00D7 F0                       MOVX      @DPTR,A
00D8 12015B                   LCALL    WAITBF
00DB 7406                     MOV        A,#06
00DD F0                       MOVX      @DPTR,A
00DE 12015B                   LCALL    WAITBF
00E1 7401                     MOV        A,#01
00E3 F0                       MOVX      @DPTR,A
00E4 12015B                   LCALL    WAITBF
00E7 D083                     POP        DPH
00E9 D082                     POP        DPL
00EB 22                       RET

```

```

;-----
00EC C0E0      INIT8255:      PUSH      ACC
00EE C082                      PUSH      DPL
00F0 C083                      PUSH      DPH
00F2 90E0E3                   MOV        DPTR,#CNTL_8255
00F5 7489                     MOV        A,#CNTL_WORD
00F7 F0                       MOVX      @DPTR,A
00F8 D083                     POP        DPH

```

```

00FA D082      POP      DPL
00FC D0E0      POP      ACC
00FE 22        RET

```

```

;-----

```

```

00FF          WR4LINES:      ;Write 4 Lines
;=====      : In   - (DPTR)
;              : Out  - LCD

```

```

00FF C0E0      PUSH     ACC
0101 7401      MOV      A,#01H
0103 3114      ACALL    WRLINE
0105 7402      MOV      A,#02H
0107 3114      ACALL    WRLINE
0109 7403      MOV      A,#03H
010B 3114      ACALL    WRLINE
010D 7404      MOV      A,#04H
010F 3114      ACALL    WRLINE
0111 D0E0      POP      ACC
0113 22        RET

```

```

0114          WRLINE:      ;Write 1 Line
;=====      : In   - Reg A  = Line
;              :       - (DPTR) = Data
;              : Out  - LCD

```

```

0114 B40102    LOOK1:      CJNE    A,#01H,LOOK2
0117 8011      SJMP     WRL1
0119 B40202    LOOK2:      CJNE    A,#02H,LOOK3
011C 8012      SJMP     WRL2

```

```

011E B40302    LOOK3:      CJNE    A,#03H,LOOK4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0121 8013          SJMP    WRL3
0123 B40424      LOOK4:    CJNE    A,#04H,RETURN
0126 8014          SJMP    WRL4
0128 8020          SJMP    RETURN

```

```

;
```

```

012A 7400      WRL1:      MOV     A,#00H
012C 11B7          ACALL    GOTO
012E 8010          SJMP     WRLM
0130 7440      WRL2:      MOV     A,#40H
0132 11B7          ACALL    GOTO
0134 800A          SJMP     WRLM
0136 7410      WRL3:      MOV     A,#10H
0138 11B7          ACALL    GOTO
013A 8004          SJMP     WRLM
013C 7450      WRL4:      MOV     A,#50H
013E 11B7          ACALL    GOTO
0140 7910      WRLM:      MOV     R1,#16
0142 7400      WRL:      MOV     A,#00H
0144 93          MOVC     A,@A+DPTR
0145 314B          ACALL    WRBYTE
0147 A3          INC      DPTR
0148 D9F8          DJNZ     R1,WRL
014A 22      RETURN:      RET

```

```

;-----
```

```

014B      WRBYTE:      ;Write 1 Byte

;=====      : In  - Reg A. = Data

```

```

: Out - LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

014B C082          PUSH    DPL
014D C083          PUSH    DPH
014F 90E0C2        MOV     DPTR,#WRDATA
0152 F0            MOVX    @DPTR,A
0153 12015B        LCALL   WAITBF
0156 D083          POP     DPH
0158 D082          POP     DPL
015A 22            RET

```

```

;-----
015B      WAITBF:  ;
015B C082          PUSH    DPL
015D C083          PUSH    DPH
015F C0E0          PUSH    ACC
0161 90E0C1        MOV     DPTR,#RDBUSY
0164 E0            MOVX    A,@DPTR
0165 20E7FC        JB      ACC+7,RDY2
0168 D0E0          POP     ACC
016A D083          POP     DPH
016C D082          POP     DPL
016E 22            RET

```

```

;-----
016F C083      LED:  PUSH    DPH
0171 C082          PUSH    DPL
0173 C001          PUSH    R1
0175 C002          PUSH    R2
0177 C0E0          PUSH    ACC
0179 7903          MOV     R1,#3

```

```

017B 74FE          MOV    A,#11111110B
017D 90E0E0        MOV    DPTR,#PORTA
0180 F0            LED_RUNNING:  MOVX  @DPTR,A
0181 7A02          MOV    R2,#02
0183 31D5          DELAYS:      ACALL  DELAY_KEY
0185 DAFC          DJNZ    R2,DELAYS
0187 23           RL      A
0188 D9F6          DJNZ    R1,LED_RUNNING
018A D0E0          POP     ACC
018C D002          POP     R2
018E D001          POP     R1
0190 D082          POP     DPL
0192 D083          POP     DPH
0194 22           RET
;-----
0195 C082          GET_POS:     PUSH   DPL
0197 C083          PUSH   DPH
0199 C0E0          PUSH   ACC
019B 90E0C1        MOV     DPTR,#RDBUSY
019E E0            RDY3:        MOVX   A,@DPTR
019F 20E7FC        JB      ACC+7,RDY3
01A2 F532          MOV     POS,A
01A4 D0E0          POP     ACC
01A6 D083          POP     DPH
01A8 D082          POP     DPL
01AA 22           RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

01AB      KEYPRESS1:      ;Check Keyboard Press Y/N
01AB 30B2FD      JNB      P3+2,KEYPRESS1
01AE 1201D5      LCALL    DELAY_KEY
01B1 E590      MOV      A,P1
01B3 B49CF5      CJNE     A,#9CH,KEYPRESS1
01B6 C2B4      CLR      P3+4
01B8 D2B4      SETB     P3+4
01BA 22      RET

;-----
01BB      KEYPRESS:      ;Check Keyboard Press Y/N&Receive P1
01BB 30B2FD      JNB      P3+2,KEYPRESS
01BE 1201D5      LCALL    DELAY_KEY
01C1 E590      MOV      A,P1
01C3 C2B4      CLR      P3+4
01C5 D2B4      SETB     P3+4
01C7 22      RET
01C8      KEYPRESS2:      ;Check Keyboard Press Y/N&Receive P1
01C8 30B209      JNB      P3+2,KEYPRESS3
01CB 1201D5      LCALL    DELAY_KEY
01CE E590      MOV      A,P1
01D0 C2B4      CLR      P3+4
01D2 D2B4      SETB     P3+4
01D4 22      KEYPRESS3:      RET

;-----
01D5 C0E0      DELAY_KEY:      PUSH    ACC
01D7 7D00      MOV      R5,#0
01D9 7CDF      MOV      R4,#0DFH

```

```

01DB 1D          DL3:          DEC      R5
01DC             DL1:          ;
01DC DDFE             DJNZ      R5,DL1
01DE 1D             DEC      R5
01DF             DL2:          ;
01DF DDFE             DJNZ      R5,DL2
01E1 DCF8             DJNZ      R4,DL3
01E3 D0E0             POP       ACC
01E5 22             RET
;-----
01E6 B4C508      SET_NUMLOCK:  CJNE     A,#0C5H,SET_RETURN
01E9 C0E0             PUSH      ACC
01EB E8             MOV       A,R0
01EC 6401             XRL       A,#1
01EE F8             MOV       R0,A
01EF D0E0             POP       ACC
01F1 22             SET_RETURN: RET
;-----
01F2             NUMBER:      ;CHECK NUMERIC KEY PRESSED
01F2 B80171             CJNE     R0,#1,NUM_RET
01F5 B4D205      N0:          CJNE     A,#0D2H,N1          ;Check Key 0
01F8 7430             MOV       A,#30H
01FA 020242             LJMP     NUM
01FD B4CF05      N1:          CJNE     A,#0CFH,N2          ;Check Key 1
0200 7431             MOV       A,#31H
0202 020242             LJMP     NUM
0205 B4D005      N2:          CJNE     A,#0D0H,N3          ;Check Key 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0208 7432		MOV	A, #32H	
020A 020242		LJMP	NUM	
020D B4D105	N3:	CJNE	A, #0D1H, N4	; Check Key 3
0210 7433		MOV	A, #33H	
0212 020242		LJMP	NUM	
0215 B4CB05	N4:	CJNE	A, #0CBH, N5	; Check Key 4
0218 7434		MOV	A, #34H	
021A 020242		LJMP	NUM	
021D B4CC05	N5:	CJNE	A, #0CCH, N6	; Check Key 5
0220 7435		MOV	A, #35H	
0222 020242		LJMP	NUM	
0225 B4CD05	N6:	CJNE	A, #0CDH, N7	; Check Key 6
0228 7436		MOV	A, #36H	
022A 020242		LJMP	NUM	
022D B4C705	N7:	CJNE	A, #0C7H, N8	; Check Key 7
0230 7437		MOV	A, #37H	
0232 020242		LJMP	NUM	
0235 B4C805	N8:	CJNE	A, #0C8H, N9	; Check Key 8
0238 7438		MOV	A, #38H	
023A 020242		LJMP	NUM	
023D B4C926	N9:	CJNE	A, #0C9H, NUM_RET	; Check Key 9
0240 7439		MOV	A, #39H	
0242 C0E0	NUM:	PUSH	ACC	
0244 3195		ACALL	GET_POS	
0246 E532		MOV	A, POS	
0248 B44D04		CJNE	A, #4DH, STEP1	
024B 741A		MOV	A, #1AH	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

024D 415B          AJMP    STEP_RET
024F B41D04      STEP1:    CJNE    A,#1DH,STEP2
0252 745A          MOV     A,#5AH
0254 415B          AJMP    STEP_RET
0256 B45D02      STEP2:    CJNE    A,#5DH,STEP_RET
0259 744A          MOV     A,#4AH
025B 1200B7      STEP_RET: LCALL    GOTO
025E D0E0          POP     ACC
0260 12014B      LCALL    WRBYTE
0263 1201D5      LCALL    DELAY_KEY
0266 22          NUM_RET:  RET
;-----
0267          ARROW:      ;CHECK ARROW KEY PRESSED
0267 B80078      CJNE    R0,#0,ARROW_RET
026A C002          PUSH    R2
026C C003          PUSH    R3
026E C0E0          PUSH    ACC
0270 3195          ACALL    GET_POS
0272 E532          MOV     A,POS
0274 540F          ANL     A,#0FH
0276 FB          MOV     R3,A
0277 E532          MOV     A,POS
0279 5470          ANL     A,#70H
027B FA          MOV     R2,A
027C D0E0          POP     ACC
027E B4C814      UP:      CJNE    A,#0C8H,DOWN      ;Check Key UP A

```

เอกสาร 0281 BA4002 21 ฉบับนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0284 805C                SJMP    ARROW_RET
0286 BA1004      UP1:    CJNE    R2,#10H,UP2
0289 7A40                MOV     R2,#40H
028B 41D8                AJMP    ARROWK
028D BA5052      UP2:    CJNE    R2,#50H,ARROW_RET
0290 7A10                MOV     R2,#10H
0292 0202D8        LJMP    ARROWK
0295 B4D014      DOWN:   CJNE    A,#0DOH,LEFT      ;Check Key
                                                    ;DOWN Arrow
0298 BA5002        CJNE    R2,#50H,DOWN1
029B 8045                SJMP    ARROW_RET
029D BA1004      DOWN1:  CJNE    R2,#10H,DOWN2
02A0 7A50                MOV     R2,#50H
02A2 41D8                AJMP    ARROWK
02A4 BA403B      DOWN2:  CJNE    R2,#40H,ARROW_RET
02A7 7A10                MOV     R2,#10H
02A9 0202D8        LJMP    ARROWK
02AC B4CB17      LEFT:   CJNE    A,#0CBH,RIGHT     ;Check Key
                                                    ;LEFT Arrow
02AF BB0A02        CJNE    R3,#0AH,LEFT1
02B2 41E2                AJMP    ARROW_RET
02B4 BB0B03      LEFT1:  CJNE    R3,#0BH,LEFT2
02B7 1B                DEC     R3
02B8 41D8                AJMP    ARROWK
02BA BB0C03      LEFT2:  CJNE    R3,#0CH,LEFT3
02BD 1B                DEC     R3
02BE 41D8                AJMP    ARROWK

```

```

02C0 BB0D1F    LEFT3:      CJNE    R3,#0DH,ARROW_RET
02C3 1B        DEC        R3
02C4 41D8      AJMP      ARROWK
02C6 B4CD9D    RIGHT:      CJNE    A,#0CDH,NUM_RET ;Check Key
                                           ;RIGHT Arrow

02C9 BB0C02    CJNE    R3,#0CH,RIGHT1
02CC 8014      SJMP      ARROW_RET
02CE BB0B03    RIGHT1:     CJNE    R3,#0BH,RIGHT2
02D1 0B        INC        R3
02D2 41D8      AJMP      ARROWK
02D4 BB0A0B    RIGHT2:     CJNE    R3,#0AH,ARROW_RET
02D7 0B        INC        R3
02D8 C0E0      ARROWK:     PUSH    ACC
02DA EA        MOV        A,R2
02DB 2B        ADD        A,R3
02DC 11B7      ACALL     GOTO
02DE 31D5      ACALL     DELAY_KEY
02E0 D0E0      POP        ACC
02E2 D003      ARROW_RET:  POP        R3
02E4 D002      POP        R2
02E6 22        RET

```

;-----

```

02E7 C0E0      ENTER:     PUSH    ACC
02E9 744A      MOV        A,#4AH
02EB 11B7      ACALL     GOTO
02ED 7134      ACALL     RDBYTE

```

เอกสาร 02EF F533 ที่ส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ MOV A, BUFFER1, A ตัดหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

02F1 744B	MOV A,#4BH
02F3 11B7	ACALL GOTO
02F5 7134	ACALL RDBYTE
02F7 F534	MOV BUFFER1+1,A
02F9 744C	MOV A,#4CH
02FB 11B7	ACALL GOTO
02FD 7134	ACALL RDBYTE
02FF F535	MOV BUFFER1+2,A
0301 741A	MOV A,#1AH
0303 11B7	ACALL GOTO
0305 7134	ACALL RDBYTE
0307 F536	MOV BUFFER2,A
0309 741B	MOV A,#1BH
030B 11B7	ACALL GOTO
030D 7134	ACALL RDBYTE
030F F537	MOV BUFFER2+1,A
0311 741C	MOV A,#1CH
0313 11B7	ACALL GOTO
0315 7134	ACALL RDBYTE
0317 F538	MOV BUFFER2+2,A
0319 745A	MOV A,#5AH
031B 11B7	ACALL GOTO
031D 7134	ACALL RDBYTE
031F F539	MOV BUFFER3,A
0321 745B	MOV A,#5BH
0323 11B7	ACALL GOTO
0325 7134	ACALL RDBYTE

```

0327 F53A      MOV     BUFFER3+1,A
0329 745C      MOV     A,#5CH
032B 11B7      ACALL   GOTO
032D 7134      ACALL   RDBYTE
032F F53B      MOV     BUFFER3+2,A
0331 D0E0      POP     ACC
0333 22        RET

```

```

;-----
;-----
0334 C083      RDBYTE:  PUSH   DPH
0336 C082      PUSH   DPL
0338 90E0C3     MOV     DPTR,#RDDATA
033B E0        MOVX    A,@DPTR
033C 315B      ACALL   WAITBF
033E D082      POP     DPL
0340 D083      POP     DPH
0342 22        RET

```

```

;-----
;-----
0343 C0E0      SHOW:    PUSH   ACC
0345 7445      MOV     A,#45H
0347 11B7      ACALL   GOTO
0349 E533      MOV     A,BUFFER1
034B 314B      ACALL   WRBYTE
034D 7446      MOV     A,#46H
034F 11B7      ACALL   GOTO

```

```
0351 E534
```

```
MOV     A,BUFFER1+1
```

0353 314B	ACALL WRBYTE
0355 7447	MOV A,#47H
0357 11B7	ACALL GOTO
0359 E535	MOV A,BUFFER1+2
035B 314B	ACALL WRBYTE
035D 7415	MOV A,#15H
035F 11B7	ACALL GOTO
0361 E536	MOV A,BUFFER2
0363 314B	ACALL WRBYTE
0365 7416	MOV A,#16H
0367 11B7	ACALL GOTO
0369 E537	MOV A,BUFFER2+1
036B 314B	ACALL WRBYTE
036D 7417	MOV A,#17H
036F 11B7	ACALL GOTO
0371 E538	MOV A,BUFFER2+2
0373 314B	ACALL WRBYTE
0375 7455	MOV A,#55H
0377 11B7	ACALL GOTO
0379 E539	MOV A,BUFFER3
037B 314B	ACALL WRBYTE
037D 7456	MOV A,#56H
037F 11B7	ACALL GOTO
0381 E53A	MOV A,BUFFER3+1
0383 314B	ACALL WRBYTE
0385 7457	MOV A,#57H

```

0389 E53B          MOV     A,BUFFER3+2
038B 314B          ACALL  WRBYTE
038D D0E0          POP     ACC
038F 22           RET

```

```

;-----

```

```

0390          ADCTODEC:      ;Convert ADC TO Decimal
0390 C0E0          PUSH    ACC
0392 C2D7          CLR     CY
0394 755100        MOV     LBYTE,#0
0397 755200        MOV     HBYTE,#0
039A E551          CON_LOOP: MOV     A,LBYTE
039C 2401          ADD     A,#1
039E D4           DA      A
039F F551          MOV     LBYTE,A
03A1 E552          MOV     A,HBYTE
03A3 3400          ADDC    A,#0
03A5 D4           DA      A
03A6 F552          MOV     HBYTE,A
03A8 1203B3        LCALL   DEC_TEMP
03AB B554EC        CJNE    A,TEMP_LOW,CON_LOOP
03AE 70EA          JNZ     CON_LOOP
03B0 D0E0          POP     ACC
03B2 22           RET

```

```

;-----

```

```

03B3          DEC_TEMP:      ;DECREASE TEMP COUNTER
03B3 C2D7          CLR     CY

```

เอกสาร 03B5 E554 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการใช้งานเฉพาะ MOV A,TEMP_LOW ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

03B7 9401          SUBB    A,#1
03B9 F554          MOV     TEMP_LOW,A
03BB E553          MOV     A,TEMP_HIGH
03BD 9400          SUBB    A,#0
03BF F553          MOV     TEMP_HIGH,A
03C1 22            RET

```

```

;-----
03C2          DIV4DIGIT1: ;
03C2 C0E0          PUSH    ACC
03C4 C2D7          CLR     CY
03C6 E552          MOV     A,HBYTE
03C8 8570F0        MOV     B,DIVIDER
03CB 84            DIV     AB
03CC F567          MOV     DIGIT1,A
03CE E5F0          MOV     A,B
03D0 75F00A        MOV     B,#10
03D3 A4            MUL     AB
03D4 F571          MOV     TOD,A
03D6 E551          MOV     A,LBYTE
03D8 75F00A        MOV     B,#10
03DB 84            DIV     AB
03DC 2571          ADD     A,TOD
03DE 85F072        MOV     TOD1,B
03E1 8570F0        MOV     B,DIVIDER
03E4 84            DIV     AB
03E5 F568          MOV     DIGIT2,A
03E7 E5F0          MOV     A,B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

03E9 75F00A      MOV     B,#10
03EC A4           MUL     AB
03ED 8570F0      MOV     B,DIVIDER
03F0 2572        ADD     A,TOD1
03F2 84          DIV     AB
03F3 F569        MOV     DIGIT3,A
03F5 D0E0        POP     ACC
03F7 22          RET

```

```

;-----
03F8      DIV4DIGIT2: ;
03F8 C0E0      PUSH    ACC
03FA C2D7      CLR     CY
03FC E552      MOV     A,HBYTE
03FE 8570F0      MOV     B,DIVIDER
0401 84        DIV     AB
0402 F56A      MOV     DIGIT4,A
0404 E5F0      MOV     A,B
0406 75F00A      MOV     B,#10
0409 A4        MUL     AB
040A F571      MOV     TOD,A
040C E551      MOV     A,LBYTE
040E 75F00A      MOV     B,#10
0411 84        DIV     AB
0412 2571      ADD     A,TOD
0414 85F072      MOV     TOD1,B
0417 8570F0      MOV     B,DIVIDER

```

041B F56B	MOV	DIGIT5,A
041D E5F0	MOV	A,B
041F 75F00A	MOV	B,#10
0422 A4	MUL	AB
0423 8570F0	MOV	B,DIVIDER
0426 2572	ADD	A,TOD1
0428 84	DIV	AB
0429 F56C	MOV	DIGIT6,A
042B D0E0	POP	ACC
042D 22	RET	
;		
042E	DIV4DIGIT3:	;
042E C0E0	PUSH	ACC
0430 C2D7	CLR	CY
0432 E552	MOV	A,HBYTE
0434 8570F0	MOV	B,DIVIDER
0437 84	DIV	AB
0438 F56D	MOV	DIGIT7,A
043A E5F0	MOV	A,B
043C 75F00A	MOV	B,#10
043F A4	MUL	AB
0440 F571	MOV	TOD,A
0442 E551	MOV	A,LBYTE
0444 75F00A	MOV	B,#10
0447 84	DIV	AB
0448 2571	ADD	A,TOD
044A 85F072	MOV	TOD1,B

```

044D 8570F0      MOV     B,DIVIDER
0450 84          DIV     AB
0451 F56E        MOV     DIGIT8,A
0453 E5F0        MOV     A,B
0455 75F00A      MOV     B,#10
0458 A4          MUL     AB
0459 8570F0      MOV     B,DIVIDER
045C 2572        ADD     A,TOD1
045E 84          DIV     AB
045F F56F        MOV     DIGIT9,A
0461 D0E0        POP     ACC
0463 22          RET
;-----
0464      TEMP_IN:      ;INPUT Temprature Code From ADC
0464 C083        PUSH    DPH
0466 C082        PUSH    DPL
0468 C0E0        PUSH    ACC
046A 90E0E2      MOV     DPTR,#PORTC
046D D2B5        SETB    P3+5      ;OUT "HIGH" TO
                                ;START A/D CONVERSION
046F 20B3FD      JB      P3+3,$    ;WAIT FOR STATUS IS
                                ;"LOW"
0472 C2B5        CLR     P3+5      ;OUT "LOW" TO STOP
                                ;A/D CONVERSION
0474 C2B1        CLR     P3+1      ;ADC LOW BYTE ENABLE
0476 E0          MOVX    A,@DPTR
0477 F554        MOV     TEMP_LOW,A

```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0479 D2B1	SETB	P3+1
047B C2B0	CLR	P3+0 ;ADC HIGH BYTE ENABLE
047D E0	MOVX	A,@DPTR
047E 343F	ANL	A,#00111111B
0480 F553	MOV	TEMP_HIGH,A
0482 D2B0	SETB	P3+0
0484 D0E0	POP	ACC
0486 D082	POP	DPL
0488 D083	POP	DPH
048A 22	RET	

048B	WR3BYTE1:	:
048B C0E0	PUSH	ACC
048D 744A	MOV	A,#4AH
048F 11B7	ACALL	GOTO
0491 E542	MOV	A,BUFFER4
0493 314B	ACALL	WRBYTE
0495 744B	MOV	A,#4BH
0497 11B7	ACALL	GOTO
0499 E543	MOV	A,BUFFER4+1
049B 314B	ACALL	WRBYTE
049D 744C	MOV	A,#4CH
049F 11B7	ACALL	GOTO
04A1 E544	MOV	A,BUFFER4+2
04A3 314B	ACALL	WRBYTE
04A5 D0E0	POP	ACC

```

04A7 22                                RET

;-----

04A8      WR3BYTE2:                    ;
04A8 C0E0                                PUSH    ACC
04AA 741A                                MOV     A,#1AH
04AC 11B7                                ACALL   GOTO
04AE E545                                MOV     A,BUFFER5
04B0 314B                                ACALL   WRBYTE
04B2 741B                                MOV     A,#1BH
04B4 11B7                                ACALL   GOTO
04B6 E546                                MOV     A,BUFFER5+1
04B8 314B                                ACALL   WRBYTE
04BA 741C                                MOV     A,#1CH
04BC 11B7                                ACALL   GOTO
04BE E547                                MOV     A,BUFFER5+2
04C0 314B                                ACALL   WRBYTE
04C2 D0E0                                POP     ACC
04C4 22                                RET

;-----

04C5      WR3BYTE3:                    ;
04C5 C0E0                                PUSH    ACC
04C7 745A                                MOV     A,#5AH
04C9 11B7                                ACALL   GOTO
04CB E548                                MOV     A,BUFFER6
04CD 314B                                ACALL   WRBYTE
04CF 745B                                MOV     A,#5BH
04D1 11B7                                ACALL   GOTO

```

```

04D3 E549      MOV     A,BUFFER6+1
04D5 314B      ACALL  WRBYTE
04D7 745C      MOV     A,#5CH
04D9 11B7      ACALL  GOTO
04DB E54A      MOV     A,BUFFER6+2
04DD 314B      ACALL  WRBYTE
04DF D0E0      POP     ACC
04E1 22        RET

```

```

;-----
04E2      SET_CON:      ;
04E2 C0E0      PUSH     ACC
04E4 C004      PUSH     R4
04E6 7C0A      MOV      R4,#10
04E8 7400      MOV      A,#0
04EA B55706    SET_NUM:  CJNE   A,KEPT1,SET1
04ED 2430      ADD      A,#30H
04EF F558      MOV      KEPT0,A
04F1 8003      SJMP     SET_CONRET
04F3 04        SET1:    INC     A
04F4 DCF4      DJNZ     R4,SET_NUM
04F6 D004      SET_CONRET: POP     R4
04F8 D0E0      POP     ACC
04FA 22        RET

```

```

;-----
04FB      ACTUAL_CON1:  ;
04FB 856757    MOV      KEPT1,DIGIT1

```

```

04FE 91E2      ACALL  SET_CON

```

```

0500 855842      MOV     BUFFER4,KEPT0
0503 856857      MOV     KEPTI,DIGIT2
0506 91E2        ACALL   SET_CON
0508 855843      MOV     BUFFER4+1,KEPT0
050B 856957      MOV     KEPTI,DIGIT3
050E 91E2        ACALL   SET_CON
0510 855844      MOV     BUFFER4+2,KEPT0
0513 22          RET

;-----
0514 856A57      ACTUAL_CON2:  MOV     KEPTI,DIGIT4
0517 91E2        ACALL   SET_CON
0519 855845      MOV     BUFFER5,KEPT0
051C 856B57      MOV     KEPTI,DIGIT5
051F 91E2        ACALL   SET_CON
0521 855846      MOV     BUFFER5+1,KEPT0
0524 856C57      MOV     KEPTI,DIGIT6
0527 91E2        ACALL   SET_CON
0529 855847      MOV     BUFFER5+2,KEPT0
052C 22          RET

```

```

;-----
052D 856D57      ACTUAL_CON3:  MOV     KEPTI,DIGIT7
0530 91E2        ACALL   SET_CON
0532 855848      MOV     BUFFER6,KEPT0
0535 856E57      MOV     KEPTI,DIGIT8
0538 91E2        ACALL   SET_CON
053A 855849      MOV     BUFFER6+1,KEPT0

```

053D 856F57

MOV KEPTI,DIGIT9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0540 91E2          ACALL  SET_CON
0542 85584A        MOV    BUFFER6+2,KEPTO
0545 22           RET

```

```

;-----
;----- DATA -----
;

```

```

0546 2B2D2D2D2DTITLE:  DFB    "+-----+"
0556 7C20205052        DFB    "; PROJECT II  !"
0566 7C20202020        DFB    " GC          !"
0576 2B2D2D2D2D2D      DFB    "+-----+"

```

```

;
0586 5345542054TEMP_SET:  DFB    "SET TEMP    (C)"
0596 434F4C554D          DFB    "COLUMN      :    "
05A6 494E4A4543          DFB    "INJECTOR   :    "
05B6 4445544543          DFB    "DETECTOR   :    "

```

```

;
05C6 54454D502DTEMP_SHOW: DFB    "TEMP->SET:ACTUAL"
05D6 434F4C203A          DFB    "COL      :      C"
05E6 494E4A203A          DFB    "INJ      :      C"
05F6 444554203A          DFB    "DET      :      C"

```

```

;
;-----

```

```

0000          END

00D6 AC          00E0 ACC          04FB ACTUAL_CON1
0514 ACTUAL_CON2 052D ACTUAL_CON3 0390 ADCTODEC
0267 ARROW       02D8 ARROWK      02E2 ARROW_RET

```

เอกสาร 00F0 ออก Bar ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้ 001C BEGIN เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ 0008 BEGIN-MAIN
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0033	BUFFER1	0036	BUFFER2	0039	BUFFER3
0042	BUFFER4	0045	BUFFER5	0048	BUFFER6
0060	CNTBUF1	0063	CNTBUF2	0066	CNTBUF3
E0E3	CNTL_8255	0089	CNTL_WORD	E0C0	COMMAND
039A	CON_LOOP	00D7	CY	03B3	DEC_TEMP
0183	DELAYS	01D5	DELAY_KEY	0067	DIGIT1
0068	DIGIT2	0069	DIGIT3	006A	DIGIT4
006B	DIGIT5	006C	DIGIT6	006D	DIGIT7
006E	DIGIT8	006F	DIGIT9	03C2	DIV4DIGIT1
03F8	DIV4DIGIT2	042E	DIV4DIGIT3	0070	DIVIDER
01DC	DL1	01DF	DL2	01DB	DL3
0295	DOWN	029D	DOWN1	02A4	DOWN2
0083	DPH	0082	DPL	00AF	EA
008D	END_MAIN	02E7	ENTER	00AC	ES
00A9	ETO	00AB	ET1	00A8	EXO
00AA	EX1	00D5	FO	0195	GET_POS
00B7	GOTO	008F	GOTOXY	0052	HBYTE
0089	IE0	008B	IE1	00A8	IEC
00EC	INIT8255	0002	INITIAL	00C8	INITLCD
00B8	IPC	0088	ITO	008A	IT1
0055	KEEPI	0056	KEEPO	0057	KEPT1
0058	KEPTO	01BB	KEYPRESS	01AB	KEYPRESS1
01C8	KEYPRESS2	01D4	KEYPRESS3	0051	LBYTE
016F	LED	0180	LED_RUNNING	02AC	LEFT
02B4	LEFT1	02BA	LEFT2	02C0	LEFT3
0114	LOOK1	0119	LOOK2	011E	LOOK3
0123	LOOK4	01F5	NO	01FD	N1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0205	N2	020D	N3	0215	N4
021D	N5	0225	N6	022D	N7
0235	N8	023D	N9	0026	NEXT
0029	NEXT1	0030	NEXT2	0036	NEXT3
003D	NEXT4	0242	NUM	01F2	NUMBER
0266	NUM_RET	00D2	OV	00D0	P
0080	P0	0090	P1	00A0	P2
00B0	P3	0087	PCON	E0E0	PORTA
E0E1	PORTB	E0E2	PORTC	0032	POS
00BC	PS	00D0	PSW	00B9	PT0
00BB	PT1	00B8	PX0	00BA	PX1
0000	R0	0001	R1	0002	R2
0003	R3	0004	R4	0005	R5
0006	R6	0007	R7	009A	RB8
E0C1	RDBUSY	0334	RDBYTE	E0C3	RDDATA
0164	RDY2	019E	RDY3	009C	REN
Q14A	RETURN	0098	RI	02C6	RIGHT
02CE	RIGHT1	02D4	RIGHT2	00D3	RS0
00D4	RS1	004B	RUNNING	0099	SBUF
0098	SCON	04F3	SET1	04E2	SET_CON
04F6	SET_CONRET	04EA	SET_NUM	01E6	SET_NUMLOCK
01F1	SET_RETURN	0343	SHOW	009F	SM0
Q09E	SM1	009D	SM2	0081	SP
0000	START	024F	STEP1	0256	STEP2
025B	STEP_RET	009B	TB8	0088	TCON
Q053	TEMP_HIGH	0464	TEMP_IN	0054	TEMP_LOW
0586	TEMP_SET	05C6	TEMP_SHOW	008D	TF0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008F	TF1	008C	TH0	008D	TH1
0099	TI	0546	TITLE	008A	TLO
008B	TL1	0089	TMOD	0071	TOD
0072	TOD1	008C	TR0	008E	TR1
027E	UP	0286	UP1	028D	UP2
015B	WAITBF	048B	WR3BYTE1	04A8	WR3BYTE2
04C5	WR3BYTE3	00FF	WR4LINES	014B	WRBYTE
E0C2	WRDATA	0142	WRL	012A	WRL1
0130	WRL2	0136	WRL3	013C	WRL4
0114	WRLINE	0140	WRLM	0030	X
0092	XY1	0099	XY2	00A0	XY3
00A7	XY4	00B0	XYGO	00B4	XYRET
0031	Y				

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ อ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
โครงการนี้ และอาจารย์ท่านอื่น ๆ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลา ให้คำปรึกษาชี้แนะ
ที่เป็นประโยชน์ต่อปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ ที่ทาง
ผู้จัดทำตั้งเป้าหมายไว้ โครงการนี้จะไม่สามารถสำเร็จลงได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจาก
หลาย ๆ ท่านดังนี้

คุณวัช วิจารณ์
คุณนิพนธ์ ศิริรัตน์
คุณสุทาทิพย์ กาญจนารักษ์

และที่สำคัญที่สุดจะขาดเสียไม่ได้ คือ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความสนับสนุนทางด้านทุน
ทรัพย์และเป็นกำลังใจตลอดมา จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

1994

หนังสืออ้างอิง

1. สุนี พณิชจารสิทธิ์, "แกสโครมาโทกราฟี", ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 90 หน้า, 2534
2. Varien associate, "Basic Gas Chromatography", Varien associate
280 p, 1988
3. Intel company , " MCS-51 Microcontroller ", ETT company , 301p

1990