บทที่ 4
วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารหวานเทียมในอาหารต่าง ๆ ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้วิธีทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (thin-layer chromatography) และโครมาโตกราฟีก๊าซ (gas chromatography) ควบคู่กัน

จากการทดลองหาปริมาณสารหวานเทียมโดยวิธีโครมาโตกราฟีก๊าซนี้ได้หาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อจะวิเคราะห์ แซคคาริน ไซคลาเมท และดัลซิน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่มีระบบตรวจสอบเป็นแบบเฟลมไอออนไนซ์เซชัน (flame ionization detector) คอลัมน์ที่ใช้เป็น DC 200 เคลือบอยู่บน Chromosorb WHP เงื่อนไขของการวิเคราะห์สารหวานเทียมแต่ละตัวพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

แซคคารินต้องเตรียมอนุพันธ์ (derivative) โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน (N-methyl saccharin) ก่อนจึงนำไปฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟโดยมีเงื่อนไขของการทดลองดังนี้

อุณหภูมิของคอลัมน์	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของอินเจคเตอร์ (injector)	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของเครื่องตรวจวัด (detector)	250	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของก๊าซพา	64	ซม^3/นาที
อัตราส่วนของอากาศต่อไฮโดรเจน	25:20	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ดัลซิน นำไปฉีดได้โดยตรงโดยมีเงื่อนไขของการทดลองเหมือนแซคคาริน ส่วนไซคลาเมทต้องเปลี่ยนให้เป็นไซโคลเฮกซีน (cyclohexene) ก่อนที่จะนำไปฉีด โดยมีเงื่อนไขของการทดลองเหมือนกับแซคคาริน แต่เปลี่ยนอุณหภูมิของคอลัมน์เป็น 85°C และอุณหภูมิของอินเจคเตอร์และเครื่องตรวจวัดเป็น 175°C

ในการสุ่มตัวอย่างอาหารมาวิเคราะห์สารหวานเทียมนี้ได้เก็บตัวอย่างอาหารทั้งชนิดที่มียี่ห้อ และไม่มียี่ห้อ สารตัวอย่างส่วนมากเป็นพวกน้ำหวานและของหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดองทั้งหลาย เพราะอาหารพวกนี้ต้องใช้น้ำตาลมากผู้ผลิตจึงมักจะลักลอบใช้สารหวานเทียมแทนน้ำตาลอยู่เสมอ ชนิดของตัวอย่างอาหารและสถานที่เก็บได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1

ก่อนที่จะหาปริมาณสารหวานเทียมในสารตัวอย่างได้นำสารตัวอย่างมาหาชนิดของสารหวานเทียมโดยใช้วิธีทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (TLC) เพราะเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว การหาชนิดของสารหวานเทียมโดยวิธีโครมาโตกราฟีก๊าซนั้นมีเงื่อนไขของการทดลองที่ไม่เหมือนกันไม่อาจหาชนิดของสารหวานเทียมทีเดียวพร้อมกันทั้ง 3 ตัวได้ ทำให้ไม่สะดวกในการหาชนิดของสารหวานเทียม แต่แซคคารินและดัลซินอาจหาพร้อมกันได้ เนื่องจากมีเงื่อนไขของการทดลองเหมือนกันโครมาโตแกรมของแซคคารินและดัลซินแสดงอยู่ในรูปที่ 3.15 ซึ่งจะเห็นว่าพีคของดัลซิน และเมทธิลแซคคารินไม่รบกวนต่อกัน

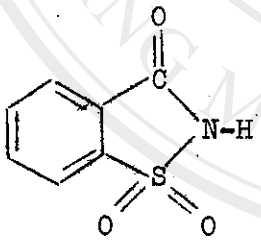
ในขั้นตอนการสกัดสารหวานเทียมออกจากสารตัวอย่างนั้น เนื่องจากว่าอาหารบางชนิดมีสารกันบูด ไขมัน หรือสารแต่งกลิ่นผสมอยู่ต้องสกัดสารเหล่านี้ออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) สารตัวอย่างบางชนิดเวลาสกัดจะเกิดอีมัลชัน (emulsion) ต้องทำการแยกอีมัลชันโดยเอาไปเหวี่ยง (centrifuge) เมื่อสกัดเอาสารอื่นออกแล้วสารหวานเทียมที่มีอยู่ในสารตัวอย่างยังคงละลายอยู่ในชั้นน้ำ จากนั้นจึงสกัดสารหวานเทียมออกจากชั้นน้ำ โดยใช้เอทธิลอะซีเตท (ethyl acetate) ผลการวิเคราะห์หาชนิดของสารหวานเทียมในตัวอย่างอาหารโดยวิธี TLC นี้ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.2 ค่า R_f ของสารหวานเทียมทั้ง 3 ชนิด เมื่อใช้บิวทิลอัลกอฮอล์–เอทธิลอัลกอฮอล์–แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์–น้ำ ในอัตราส่วน 40:4:1:9 เป็นน้ำยาแยกจะเป็นดังนี้

	R_f
แซคคาริน	0.37
ไซคลาเมท	0.29
ดัลซิน	0.63

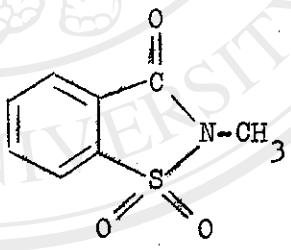
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าสารหวานเทียมที่นำมาใส่ในอาหารมีอยู่เพียงชนิดเดียวคือ แซคคาริน ส่วนไซคลาเมทและดัลซินไม่พบว่ามีผู้ใดนำมาใส่ในอาหาร ทั้งนี้คงเป็นเพราะว่าแซคคารินราคาถูก และหวานกว่าน้ำตาลทรายถึง 500 เท่า ในขณะที่ไซคลาเมทและดัลซินหวานกว่าน้ำตาลทรายเพียง 30 และ 200 เท่า ตามลำดับ ซึ่งถ้าต้องการให้ความหวานเท่ากันจะใช้แซคคารินในปริมาณที่น้อยกว่าไซคลาเมทและดัลซิน

เนื่องจากในสารตัวอย่างได้ตรวจพบว่ามีแต่แซคคาริน จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณแซคคารินโดยวิธีโครมาโตกราฟีก๊าซเพียงชนิดเดียว สำหรับการหาปริมาณแซคคารินโดยวิธีโครมาโตกราฟีก๊าซนี้ต้องเตรียมอนุพันธ์ (derivative) ของแซคคารินให้อยู่ในรูปของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน เพราะว่าแซคคารินเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 224°C และเป็นสารจำพวกมีสภาพขั้ว (polar) ซึ่งระเหยยาก และการที่เป็นสารมีสภาพขั้วนี้ทำให้ถูกดูดโดยเฟสที่เป็นของเหลว (liquid phase) จึงต้องลดสภาพขั้วลงโดยทำให้เป็นเอ็น–เมทธิลแซคคาริน โดยที่ methyl group จะเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในแซคคารินตรง N–H bond ได้เอ็น–เมทธิลแซคคารินมีสูตรดังนี้



แซคคาริน



เอ็น–เมทธิลแซคคาริน

เมื่อ methyl group เข้าแทนที่ไฮโดรเจนในแซคคารินแล้ว แซคคารินก็จะไม่มีไฮโดรเจนที่จะไปเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ก็จะทำให้สภาพขั้วลดลง และจุดหลอมเหลวก็จะต่ำลงเอ็น–เมทธิลแซคคารินที่เตรียมขึ้นมีจุดหลอมเหลว 131–132°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเตรียมเอ็น-เมทธิลแซคคารินนี้ได้มีผู้เตรียมโดยใช้ diazomethane[18] และ methyl iodide[43] แต่ diazomethane มีข้อเสียคือ เป็นก๊าซที่ระเบิดง่าย และเตรียมได้ยาก และถ้าใช้ methyl iodide เป็นตัว methylating agent ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก ในงานวิจัยนี้ใช้ dimethyl sulfate ซึ่งเป็นตัว methylating agent ที่ดี ในการทำเมทธิลเลชัน (methylation) ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ภายในเวลา 10 นาที ดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 3.10

เอ็น-เมทธิลแซคคารินที่เตรียมขึ้นมานี้ไม่มีสารมาตรฐานมาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันว่าสารที่เตรียมขึ้นเป็นเอ็น-เมทธิลแซคคารินจริง จึงต้องนำสารที่เตรียมได้มาพิสูจน์โครงสร้างโดยใช้วิธีทาง infared spectroscopy (IR) และทาง nuclear magnetic resonance (NMR)

จาก IR spectrum ของแซคคารินในรูปที่ 3.2 จะเห็นว่ามีพีคที่สำคัญคือ

3000-3175	cm^{-1}	strong, broad	N-H stretching
1750	cm^{-1}	strong	C=O stretching
1640	cm^{-1}	medium	N-H bending

จาก IR spectrum ของเอ็น-เมทธิลแซคคารินในรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าตำแหน่งของพีคที่ 3000-3175 cm^{-1} ซึ่งเป็น N-H stretching หายไป

จากการเปรียบเทียบ NMR spectrum ของแซคคารินและของเอ็น-เมทธิลแซคคารินจะเห็นว่า NMR spectrum ของเอ็น-เมทธิลแซคคารินจะมีพีคของ $N-CH_3$ ที่ตำแหน่ง 3.18 ppm ในขณะที่ NMR spectrum ของแซคคารินไม่ปรากฏพีคตรงตำแหน่งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำเอ็น–เมทธิลแซคคารินไปหาจุดหลอมเหลวจะได้ 131–132°C ซึ่งตามสมบัติของเอ็น–เมทธิลแซคคารินก็จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 131–132°C เช่นเดียวกัน

จากหลักฐานทั้ง 3 อย่างนี้พอที่จะสรุปได้ว่าสารที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นเอ็น–เมทธิลแซคคาริน

ในการหาปริมาณแซคคารินในสารตัวอย่างนั้นได้ใช้วิธีเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standard) ลงไปเป็นตัวเปรียบเทียบโดยทั่วไปแล้วตัวสารมาตรฐานภายในจะต้องเป็นสารที่ให้พีคไม่ซ้ำกับพีคที่ต้องการวิเคราะห์หรือพีคอื่น ๆ แต่ต้องอยู่ใกล้กับพีคของสารที่ต้องการวิเคราะห์ เพราะจะได้ไม่เสียเวลาในการวิเคราะห์มาก นอกจากนี้สารมาตรฐานภายในจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้เลือกเมทธิลพาล์มมิเตทเป็นสารมาตรฐานภายใน เพราะมีสมบัติใกล้เคียงกับสมบัติของสารมาตรฐานภายในที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการเติมสารมาตรฐานภายในนี้มีความแม่นยำสูง(44) เพราะว่าไม่ต้องระวังเกี่ยวกับปริมาตรของสารผสมที่ฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ โดยปกติแล้วการฉีดสารเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟแต่ละครั้งด้วยปริมาณที่เท่ากัน พื้นที่ใต้พีคที่ได้มักจะไม่ค่อยเท่ากันเนื่องจากเทคนิคของการฉีด แต่ถ้าใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานภายในลงไปจะตัดปัญหาเหล่านี้ลงไปได้ นอกจากนี้ยังไม่ต้องคำนึงถึงความไวในการวัดของเครื่องตรวจวัดด้วย

เทคนิคในการหาพื้นที่ใต้พีคอาจทำได้หลายวิธี ซึ่ง Gill และคณะ(45) ได้หาความแม่นยำของวิธีการต่าง ๆ ที่จะหาพื้นที่ใต้พีค โดยหาออกมาในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard diviation, RSD) ดังต่อไปนี้

(1) ใช้ planimeter ได้ RSD 4.0 %

(2) ใช้วิธีสร้างรูปสามเหลี่ยม (triangulation) ได้ RSD 4.0 %

(3) คำนวณโดยใช้สูตรความสูงคูณความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูงได้ RSD 2.5 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(4) ใช้วิธีตัดกระดาษแล้วชั่งได้ RSD 1.7 %

(5) ใช้ disc integrator ได้ RSD 1.3 %

(6) ใช้ electronic digital integrator ได้RSD 0.4 %

จะเห็นได้ว่าวิธีตัดกระดาษแล้วชั่งเป็นวิธีหนึ่งที่ให้ความแม่นยำสูง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการตัดกระดาษบันทึกสัญญาณแล้วชั่งในการหาพื้นที่ใต้พีค พีคของสารที่นำมาตัดนี้ต้องขยายให้ได้พีคที่กว้างขึ้นโดยการเพิ่มอัตราเร็วของกระดาษบันทึกสัญญาณ ทั้งนี้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการตัดพีค ในการหาพื้นที่พีคนั้น เหตุที่ไม่ใช้ disc integrator หรือ electronic digital integrator ก็เพราะว่าในบางครั้งพีคที่ได้ไม่อยู่ที่ base line ซึ่งทำให้การคำนวณออกมาคลาดเคลื่อน สำหรับวิธีตัดพีคจากกระดาษบันทึกสัญญาณแล้วชั่งนั้นอาจมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างเนื่องจากความหนาของกระดาษไม่สม่ำเสมอและเทคนิคในการตัด จากการหาความแม่นยำของเทคนิคนี้ได้ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.14 และความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 2.8 ซึ่งนับว่าเป็นเทคนิคที่ให้ความแม่นยำสูง

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณแซคคารินในตารางที่ 3.13 พบปริมาณแซคคารินอยู่ในช่วง 3.45–130 มก./100 ซม^3 สำหรับอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลว และ 0.01–0.13 % (w/w) สำหรับอาหารที่เป็นของแข็ง เป็นที่น่าสังเกตว่าอาหารที่มียี่ห้อมักจะไม่เติมสารหวานเทียมลงไป เพราะกระทรวงสาธารณสุขควบคุมทั่วถึง อาหารที่มียี่ห้อบางชนิดพบว่ามีการเติมสารหวานเทียมลงไปด้วยอาจจะเนื่องจากว่าเป็นผลิตภัณฑ์ของโรงงานเล็ก ๆ หรือเป็นอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนที่กระทรวงสาธารณสุขควบคุมไปไม่ทั่วถึง แต่ถ้าเป็นอาหารที่ไม่มียี่ห้อแล้วมักจะเติมสารหวานเทียมจำพวกแซคคารินแทนน้ำตาลเกือบทุกชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 ชนิดและปริมาณของสารหวานเทียมที่พบในอาหารต่าง ๆ ในเขตจังหวัดเชียงใหม่

ชนิดของอาหาร	ปริมาณแซคคาริน มก./100 ซม^3
น้ำกระเทียมดอง	130.00
น้ำมะนาว	9.20
น้ำลูกท้อ	52.00
น้ำบ๊วย	7.60
น้ำกระท้อน	40.00
น้ำเฉาก๊วย	3.60
น้ำมะพร้าว	4.00
น้ำรากบัว	3.45
น้ำมะขามดอง	35.20
ชนิดของอาหาร	**ปริมาณแซคคาริน % (w/w)**
มะม่วงเค็ม	0.01
กระเทียมดอง	0.13
ลูกท้อ	0.04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคทางโครมาโตกราฟีก๊าซนี้จะได้ผลดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับการเลือกภาวะที่เหมาะสมของเครื่องมือ และเฟสที่เป็นของเหลว (liquid phase) ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเฟสที่เป็นของเหลวที่เป็น non-polar เพราะสารที่นำมาวิเคราะห์ได้เตรียมเป็นอนุพันธ์ (derivative) เพื่อลด polarity ลง ในที่นี้ได้เลือกใช้ methyl silicone เป็นเฟสที่เป็นของเหลว โดยนำคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเฟสที่เป็นของเหลวจำพวก methyl silicone หลาย ๆ ชนิดมาเลือกใช้ดังนี้

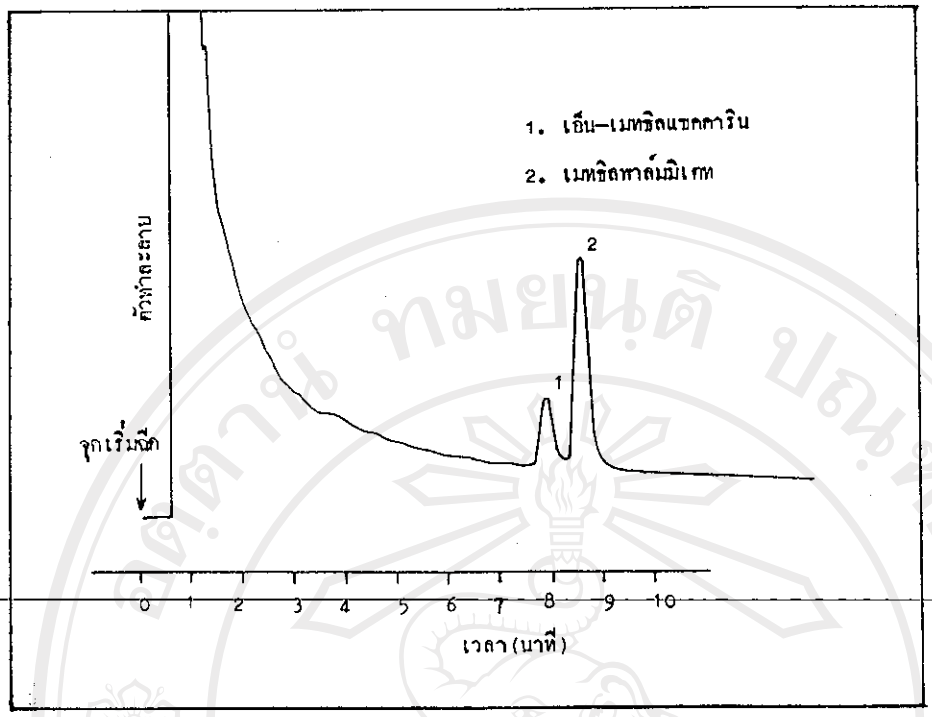
(1) 4 % SE 30 + 6 % OV 210 เคลือบอยู่บน Gas chrom Q ขนาด 80–100 mesh

(2) 3 % OV 1 เคลือบอยู่บน Gas chrom Q ขนาด 80–100 mesh

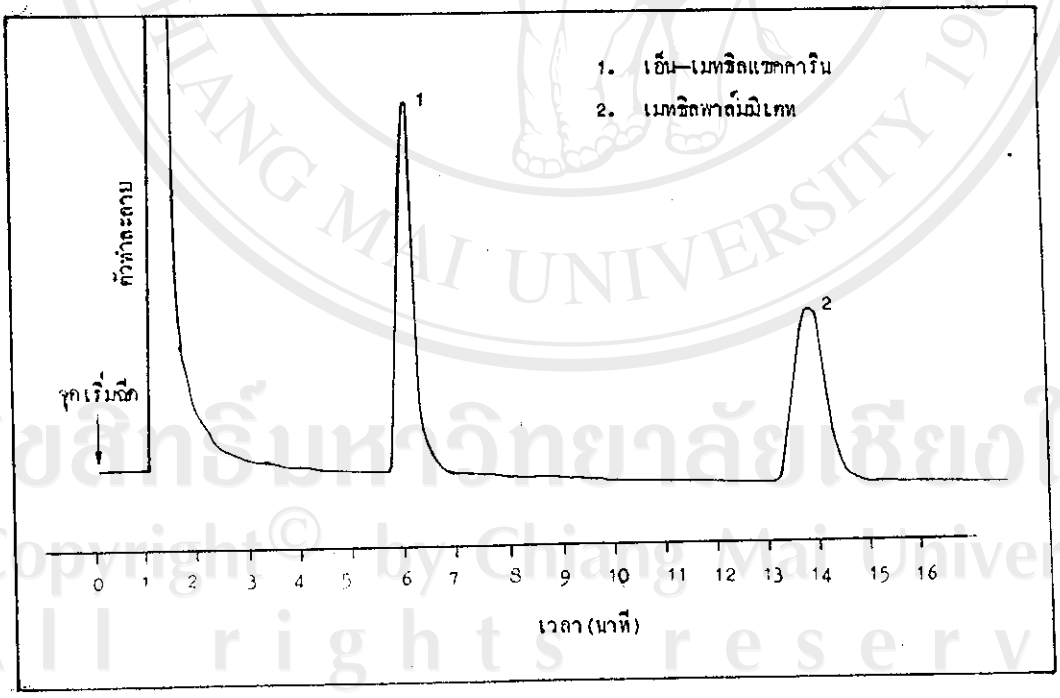
(3) 10 % DC 200 เคลือบอยู่บน Chromosorb WHP ขนาด 80–100 mesh

ผลการแยกเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเตทโดยใช้เฟสที่เป็นของเหลวชนิดต่าง ๆ แสดงอยู่ในโครมาโตแกรมรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

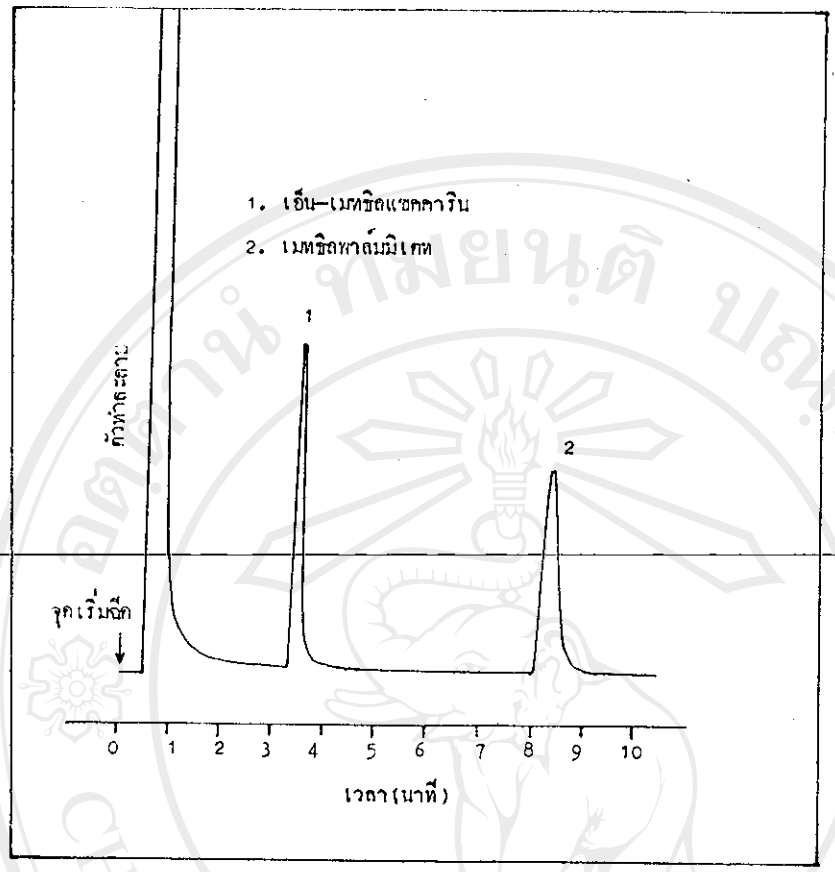


รูปที่ 4.1 โครมาโตกราฟของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเทท ใช้ 4 % SE 30 + 6 % OV 210 เป็นเฟสของเหลว



รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเทท ใช้ 3 % OV 1 เป็นเฟสของเหลว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเทท ใช้ 10 % DC 200 เป็นเฟสของเหลว

จากโครมาโทแกรมในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อใช้ 4 % SE 30 + 6 % OV 210 เป็นเฟสของเหลว พีคของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเททจะแยกกันไม่ดี ถ้าใช้ 3 % OV 1 และ 10 % DC 200 เป็นเฟสของเหลวพีคของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเททจะแยกกันได้ดี แต่โครมาโทแกรมที่ได้จากเฟสของเหลวที่เป็น 3 % OV 1 จะเสียเวลามากกว่า ฉะนั้น 10 % DC 200 จึงเป็นเฟสของเหลวที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราส่วนของอากาศและไฮโดรเจนก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การตอบสนองของระบบตรวจวัดดีหรือไม่ดี ถ้าอัตราส่วนของอากาศและไฮโดรเจนเหมาะสมจะทำให้ความไวของระบบตรวจวัดดี จากรูปที่ 3.6 และ 3.7 จะเห็นว่าความดันของอากาศและไฮโดรเจนประมาณ 25 และ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ ทำให้การตอบสนองของระบบตรวจวัดดีที่สุด ซึ่งอัตราส่วนของอากาศต่อไฮโดรเจน 25:20 นี้ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ประสิทธิภาพของคอลัมน์ดูได้จากจำนวนแผ่นทางทฤษฎี (theoretical plates) คอลัมน์ที่ใช้นี้มีจำนวนแผ่นทางทฤษฎีประมาณ 3400 แผ่น หรือ 1700 แผ่นต่อเมตร ที่อัตราเร็วของก๊าซพา 64 ซม^3/นาที ซึ่งเป็นอัตราเร็วของก๊าซพาที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์สูงที่สุด โดยทั่ว ๆ ไปจำนวนแผ่นทางทฤษฎีไม่ควรจะต่ำกว่า 500 แผ่นต่อเมตร[46] ในที่นี้คอลัมน์ที่ใช้มีจำนวนแผ่นทางทฤษฎี 1700 แผ่นต่อเมตร ซึ่งถือว่าเป็นคอลัมน์ที่มีประสิทธิภาพดี

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่า linearity cut off ของเอ็น–เมทธิลแซคคารินอยู่ที่ประมาณ 60 ไมโครกรัม ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างในการทดลองความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมควรจะอยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรงของกราฟนี้คือตั้งแต่ 0 ถึง 60 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร การหาปริมาณแซคคารินโดยวิธีนี้มีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.22 และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 2.48 % นับว่าเป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำสูง ร้อยละของการกลับคืนอยู่ในช่วง 93.72–101.15 สารตัวอย่างบางชนิดที่มีสารอื่น ๆ จำพวกกรดเบนโซอิก (benzoic acid), กรดซอร์บิค (sorbic acid) ซึ่งเป็นสารกันบูดปะปนอยู่ด้วยก็ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของแซคคารินเพราะสารพวกนี้มีเวลารีเทนชัน (retention time) ต่างกับของเอ็น–เมทธิลแซคคาริน และเมทธิลพาล์มมิเทท[18] นับว่าการวิเคราะห์โดยวิธีนี้มีความจำเพาะเจาะจง (selectivity) สูง นอกจากนี้ยังพบว่าขีดจำกัดต่ำสุด (detection limit) ของวิธีนี้เป็น 3 ppm ทั้งนี้หาได้จากความเข้มข้นของสารละลายเอ็น–เมทธิลแซคคารินที่ให้สัญญาณมีความสูงเป็น 2 เท่าของสัญญาณรบกวน (noise)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved