



ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์
และสารกลุ่มไดไธโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร
**Factors which Affected the Migration of Tetramethylthiuram Disulfide
and Dithiocarbamates from Food Contact Rubber Gloves**

สุวภา ชำนาญการ
Suvapa Chumnankarn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University**

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารเตตระเมทิลไทยูแรมได
 ซัลไฟด์ และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถูงมืออย่างที่ใส่สัมผัสอาหาร
 ผู้เขียน นางสาวสุวภา ชำนาญการ
 สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

.....กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐกรรม)

.....กรรมการ
 (ดร.ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล)

.....กรรมการ
 (ดร.บุญญาณี อินทรพัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
 สิ่งแวดล้อม

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ _____

(นางสาวสุภา ชำนาญการ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____
(นางสาวสุภา ชำนาญการ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารเตตระเมธิลไทยูแรม ไดซัลไฟด์ และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถั่วเขียวที่ใช้สัมผัสอาหาร
ผู้เขียน	นางสาวสุภา ชำนาญการ
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบเตตระเมธิลไทยูแรม ไดซัลไฟด์และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในถั่วเขียวที่ใช้สัมผัสอาหาร รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารประกอบเหล่านี้ออกมาจากถั่วเขียว วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของเตตระเมธิลไทยูแรม ไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD) และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในตัวอย่างถั่วเขียวธรรมชาติได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatograph, HPLC) ที่มีตัวตรวจวัดแบบอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet-visible detector) ผลการศึกษาพบว่าถั่วเขียวธรรมชาติอย่างบางชนิดมีปริมาณสารตกค้างของ TMTD เฉลี่ย 8.23 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าถั่วเขียวธรรมชาติอย่างบางชนิดไม่มีแป้งและถั่วเขียวธรรมชาติอย่างหนาชนิดไม่มีแป้ง ที่มีปริมาณเฉลี่ย 4.43 และ 1.80 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนสารซิงค์ไดเมธิลไดโทโอคาร์บาเมต (zinc dimethyldithiocarbamate, ZDMC) ในถั่วเขียวธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้งมีปริมาณสารตกค้างเฉลี่ย 3.46 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าในถั่วเขียวธรรมชาติอย่างบางชนิดไม่มีแป้ง (เฉลี่ย 1.73 ไมโครกรัมต่อกรัม) ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของ ZDMC ในถั่วเขียวอย่างหนา และตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารซิงค์ไดเอธิลไดโทโอคาร์บาเมต (zinc diethyldithiocarbamate, ZDEC) ในเนื้อถั่วเขียวธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และ ZDMC จากถั่วเขียวธรรมชาติที่ใช้สัมผัสอาหาร ได้แก่

- 1) ระยะเวลาสัมผัส เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสกับถั่วเขียวนานขึ้น จะทำให้สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้น โดยที่ TMTD จะเคลื่อนย้ายออกมามากกว่า ZDMC
- 2) อุณหภูมิ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น จะทำให้สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้น โดยที่ TMTD จะเคลื่อนย้ายออกมามากกว่า ZDMC

- 3) ความเป็นกรดเป็นด่าง สารประกอบ TMTD และ ZDMC จะเคลื่อนย้ายออกมามากขึ้นในสภาวะที่เป็นกรดและในสภาวะที่เป็นด่าง
- 4) การสัมผัสกับไขมัน เมื่อให้ถุงมือสัมผัสกับน้ำมันปาล์ม สารประกอบ TMTD และ ZDMC จะเคลื่อนย้ายออกมาน้อยลง
- 5) การสัมผัสกับเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % เมื่อสเปรย์ถุงมือด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % จะทำให้สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้น

ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค จึงควรมีการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารประกอบ TMTD ที่ยินยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร โดยให้มีค่าไม่เกิน $1.4 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ นอกจากนี้ ผู้ใช้ถุงมือสัมผัสอาหารควรได้รับคำแนะนำให้หลีกเลี่ยงปัจจัยที่เอื้อต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารดังกล่าวปนเปื้อนในอาหารด้วย

Thesis Title	Factors which Affected The Migration of Tetramethylthiuram Disulfide and Dithiocarbamates from Food Contact Rubber Gloves
Author	Miss Suvapa Chumnankarn
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2012

ABSTRACT

This research explored contamination levels of TMTD and zinc-dithiocarbamates in food contact rubber gloves and studied factors which affected the migration of these compounds. A high performance liquid chromatographic (HPLC) method was developed for the analysis of TMTD and zinc-dithiocarbamates in natural rubber gloves by using UV-visible detector. It was found that the average residual level of tetramethylthiuram disulfide (TMTD) in thin, powdered natural rubber gloves was 8.23 $\mu\text{g/g}$ which was significantly more than those in thin, non-powdered natural rubber gloves and thick, non-powdered natural rubber gloves (4.43 $\mu\text{g/g}$ and 1.80 $\mu\text{g/g}$, respectively) ($p < 0.05$). The average residual level of zinc-dimethyl dithiocarbamate (ZDMC) in thin, powdered natural rubber gloves was 3.46 $\mu\text{g/g}$ which was significantly more than those in thin, non-powdered natural rubber gloves (1.73 $\mu\text{g/g}$). ZDMC was not detected in thick, non-powdered natural rubber gloves. No residue of zinc-diethyldithiocarbamate (ZDEC) was found in all 3 types of natural rubber gloves.

Factors which affected the migration of these compounds out of the rubber gloves included

- 1) Duration of exposure Increased duration of exposure caused more migration of TMTD and ZDMC.
- 2) Temperature Increased temperature caused more migration of TMTD and ZDMC.
- 3) pH Acidic and basic pH increased migration of TMTD and ZDMC.
- 4) Fat Exposure to palm oil reduced the migration of TMTD and ZDMC.
- 5) Ethyl alcohol 70% Exposure to ethyl alcohol 70% increased migration of TMTD and ZDMC.

For consumers' safety, a maximum allowance for the migration of TMTD was recommended for all food contact gloves ($1.4 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$). In addition, food contact glove users should be advised to avoid the factors which increased the migration of TMTD and ZDMC into food.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจเกิดขึ้นได้ หากปราศจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ น.สพ. ดร.บรรจง วิทยวิวิศศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา ช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อมูลที่บกพร่องต่างๆ และให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิทย์ สุวรรณโณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ชิวะเศรษฐธรรม ดร.ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล และ ดร. ปุณณานิช อินทรพัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นเพิ่มเติมตลอดจนช่วยตรวจสอบความถูกต้องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีในการทำการทดลอง การใช้เครื่องมือ ในงานวิจัยครั้งนี้ตลอดการทดลอง จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการวิจัยขนาดกลาง เรื่องยางพารา (MPR) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม รุ่นที่ 21 และพี่ๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ร่วมฝันฝ่าอุปสรรค และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยและตลอดที่เรียนด้วยกัน

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอกราบขอบคุณพระคุณพ่อจ่ารัฐ คุณแม่จันทร์เพ็ญ ชำนาญการ เป็นอย่างสูงที่สนับสนุนทุนการศึกษาตลอดจนทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรัก ความห่วงใย ความช่วยเหลือ และยังเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงาน หรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งปวงให้แก่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

สุวภา ชำนาญการ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรอง	(2)
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
สารบัญตาราง	(13)
สารบัญภาพ	(17)
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	4
1.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ	5
1.2.2 สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง	7
1.2.3 วัตถุประสงค์และสารเคมีหลักที่ใช้ในการผลิตถุงมือยาง	8
1.2.4 การผสมสารเคมีกับน้ำยาง	11
1.2.5 กระบวนการผลิตถุงมือยาง	12
1.2.6 ประเภทของถุงมือยาง	16
1.2.7 สารเร่งที่ใช้ในถุงมือยาง	16
1.2.8 ปัจจัยของการเกิด Migration	20
1.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	24
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	24
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	25
1.7 ขอบเขตงานวิจัย	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 2 วิธีการวิจัย	27
2.1 สารมาตรฐาน	27
2.2 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์	28
2.3 การเตรียมอุปกรณ์	30
2.4 การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง	30
2.5 การวิเคราะห์	31
2.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน TMTD, ZDMC และ ZDEC	34
2.7 วิธีการทดลอง	34
2.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	36
2.9 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์	38
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
3.1 กราฟมาตรฐานของสาร TMTD, ZDMC และ ZDEC	41
3.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TMTD, ZDMC และ ZDEC และโครมาโทแกรมของ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดบางมีแป้ง	41
3.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ	44
3.4 ผลการวิเคราะห์ สารประกอบ TMTD, ZDMC และ ZDEC ในเนื้อถูงมือยาง	49
3.5 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ในน้ำชะถูงมือยางธรรมชาติ	50
3.6 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเคลื่อนย้ายของสารประกอบ TMTD และ ZDMC คั่วน้ำกลั่นจากถูงมือยางธรรมชาติ	52
3.7 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และ ZDMC จากถูงมือยางธรรมชาติ	53

สารบัญ (ต่อ)

3.8	อิทธิพลของเอธิลแอลกอฮอล์ 70 % ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และ ZDMC จากถุงมือยางธรรมชาติ	53
3.9	อิทธิพลของน้ำมันปาล์มต่อการเคลื่อนย้ายของสารประกอบ TMTD และ ZDMC จากถุงมือยางธรรมชาติ	54
3.10	ปริมาณสูงสุดของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่ยินยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวของถุงมือ	56
บทที่ 4	สรุปวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
4.1	การศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไคโทโอคาร์บาเมตในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร	59
4.2	ข้อเสนอแนะ	61
	เอกสารอ้างอิง	62
	ภาคผนวก	67
	ก กราฟมาตรฐานของ TMTD, ZDMC และ ZDEC	68
	ข การเตรียมสารละลาย	72
	ค ผลวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง	74
	ง การวิเคราะห์ทางสถิติ	82
	ประวัติผู้เขียน	89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	5
1-2	ส่วนประกอบของเนื้อยาง	6
1-3	ตัวอย่างสูตรที่ใช้ผลิตถุงมือยางชนิดต่างๆ	12
1-4	ระดับการปนเปื้อนของ DEHP ในอาหารก่อนและหลังใช้ถุงมือยางสัมผัสอาหาร	22
3-1	ค่า LOD และ LOQ ของสาร TMTD	46
3-2	ค่า LOD และ LOQ ของสาร ZDMC	46
3-3	ร้อยละการได้คืนกลับของสารสกัดสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างชิ้นส่วนถุงมือยางธรรมชาติ	47
3-4	ร้อยละการได้คืนกลับของการสกัดสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างชิ้นส่วนถุงมือยางธรรมชาติ	48
3-5	ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำชะ (n=10)	48
3-6	ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างน้ำชะ (n=10)	49
3-7	ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม (n=10)	50
3-8	ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม (n=10)	50
3-9	ความเข้มข้นของสารประกอบ TMTD , ZDMC และ ZDEC ในเนื้อถุงมือยางชนิดต่างๆ (หน่วย : ไมโครกรัม/กรัม)	51
3-10	ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งต่อพื้นที่ผิวส่วนน้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่าง ๆ	58
3-11	ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางธรรมชาติ ชนิดมีแป้งต่อพื้นที่ผิวส่วนน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ	59
3-12	ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งต่อพื้นที่ผิวส่วนสารละลายน้ำที่ pH 2, 4.6, 7 และ 9	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3-13	ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางใช้สัมผัสอาหารต่อพื้นที่ผิวหลังจากฉีดพ่นเอทิลแอลกอฮอล์ 70% โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม	59
3-14	ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางต่อพื้นที่ผิวสู่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ ใช้สัมผัสอาหารที่เวลา 30 นาที	60
ภาคผนวก		
ตารางที่		หน้า
ค -1	ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ	76
ค -2	ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ	77
ค -3	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ	78
ค -4	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ	78
ค -5	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1 ที่ระยะเวลาต่างๆ	79
ค -6	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำกลั่นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ	79
ค -7	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำมันปาล์มจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค -8	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำมันปาล์มจากถุ้งมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ	80
ค -9	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุ้งมือยางหลังสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %	81
ค -10	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุ้งมือยางหลังสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %	81
ค -11	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุ้งมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ	82
ค -12	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุ้งมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ	82
ค -13	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุ้งมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ pH ต่างๆ	83
ค -14	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุ้งมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ pH ต่างๆ	83
ง -1	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาที่ pH ต่างๆ ในชิ้นส่วนถุ้งมือยางชนิดมีแป้ง	85
ง -2	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาที่ pH ต่างๆ ในชิ้นส่วนถุ้งมือยางชนิดมีแป้ง	86
ง -3	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จากถุ้งมือยางชนิดมีแป้ง	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง -4	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จากถูงมือยางชนิดมีแป้ง	88
ง -5	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ จากถูงมือยางชนิดมีแป้ง	89
ง -6	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ จากถูงมือยางชนิดมีแป้ง	89
ง -7	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่ระยะเวลาต่าง จากถูงมือยางชนิดมีแป้ง	90
ง -8	Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ จากถูงมือยางชนิดมีแป้ง	90

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	มูลค่าการส่งออกถูงมือยางระหว่างปี 2548-2552	4
1-2	ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น	9
1-3	ลำดับการเติมสารเคมีผสมกับน้ำยาง	11
1-4	กระบวนการผลิตถูงมือยาง	15
1-5	สูตรโครงสร้างของ dithiocarbamate และ thiuram	17
1-6	ปัจจัยของการเกิดไมเกรชั่น	21
1-7	กรอบแนวคิดการวิจัย	25
2-1	ถูงมือยางธรรมชาติชนิดบางไม่มีแป้ง	28
2-2	ถูงมือยางธรรมชาติชนิดบางมีแป้ง	28
2-3	ถูงมือยางธรรมชาติชนิดหนาไม่มีแป้ง	29
2-4	ตำแหน่งชิ้นส่วนถูงมือที่นำไปใช้ในการทดลอง	32
2-5	ขั้นตอนการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมต	33
2-6	การ pack column (solid phase extraction, SPE)	36
2-7	การสกัดแยกน้ำมันออกด้วย methanol โดยใช้กรวยแยก (separatory funnel)	38
3-1	โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TMTD ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พีคของ TMTD	42
3-2	โครมาโทแกรมของ TMTD ที่พบในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้ง	42
3-3	โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน ZDMC ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พีคของ ZDMC	43
3-4	โครมาโทแกรมของ ZDMC ที่พบในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้ง	43
3-5	โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน ZDEC ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	44

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-6	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่ น้ำก้นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน	51
3-7	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่ น้ำก้นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งและถุงมือยางชนิดหนาที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน	51
3-8	ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางชนิดมีแป้ง หลังจากแช่ในน้ำก้นเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน	52
3-9	ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่ถูกเคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยาง ที่ pH ต่างๆ	53
3-10	ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางหลังจากสเปรย์ ด้วยเอธิลอัลกอฮอล์ 70%	54
3-11	ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางสู่น้ำและน้ำมันปาล์มที่ อุณหภูมิต่างๆ	55
3-12	ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายจากถุงมือยางออกมาสู่น้ำและน้ำมันปาล์มที่ อุณหภูมิต่างๆ	55

ภาคผนวก

ภาพที่		หน้า
ก -1	กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารประกอบ TMTD	68
ก -2	กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารประกอบ ZDMC	68
ก -3	กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารประกอบ ZDEC	60
ก -4	การนำสารละลายตัวอย่างไประเหยเพื่อลดปริมาตรโดยอาศัยเครื่อง กลั่นระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)	69
ก -5	ขั้นตอนการสกัดแบบใช้เทคนิคสกัดด้วยตัวดูดซับ (solid phase extraction, SPE)	70
ก -6	การสกัดลงมืออย่างธรรมชาติชนิดมีแป้งที่อุณหภูมิต่างๆ	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยเริ่มมีการผลิตถุงมือยางพาราประมาณ 20 ปี ที่ผ่านมาจากเดิมที่ต้องนำเข้าถุงมือยางเพื่อการบริโภคภายในประเทศจนปัจจุบันประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศผู้ผลิตยางรายใหญ่เป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยมีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศเป็นเขตร้อนชื้นที่มีความเหมาะสมในการเพาะปลูก ซึ่งทำให้เกิดอุตสาหกรรมมากมายเกี่ยวกับยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญยิ่งต่อเศรษฐกิจในภาคใต้ โดยในปี พ.ศ. 2545 มีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางภายใน ประเทศจำนวนทั้งสิ้น 65 ราย เฉพาะในจังหวัดสงขลาตามข้อมูลปี พ.ศ. 2549 มีโรงงานที่เปิดดำเนินการถึง 14 ราย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ปัจจุบันถุงมือยางเป็นที่นิยมใช้ในการสัมผัสอาหารในร้านค้าต่างๆ และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย

อุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีหลายชนิดที่แตกต่างกัน มาผสมกันด้วยกระบวนการให้ความร้อน และความดัน หรือที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาคาลาไมเซชัน” กระบวนการผลิตถุงมือยางใช้วัตถุดิบที่สำคัญ คือ น้ำยางข้น สำหรับกรรมวิธีการผลิตน้ำยางข้นนั้น เริ่มต้นด้วยการนำน้ำยางสดไปปรับสภาพโดยการเติมสารเคมีเพื่อให้เหมาะสมในการเข้าเครื่องปั่นน้ำยางข้น เมื่อนำน้ำยางเข้าเครื่องปั่น เครื่องปั่นจะแยกส่วนที่เป็นน้ำยางข้น และส่วนที่เป็นหางน้ำยางออกจากกัน นำน้ำยางข้นที่ได้ซึ่งมีส่วนประกอบของเนื้อยางร้อยละ 60 มาผสมสารเคมีต่างๆ เช่น แอมโมเนียหรือแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยเสริมบางชนิด เช่น ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) เตตระเมธิลไทยูรัม ไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD) ซึ่งสามารถที่จะป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยได้ดีกว่าการใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพื่อให้น้ำยางอยู่ในสภาพที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นถุงมือยางต่อไป (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2536) ส่วนกระบวนการผลิตถุงมือยางขั้นต้นแรกคือการผสมน้ำยางด้วยสารวัลคาไนซ์ ได้แก่ สารกระตุ้นปฏิกิริยาอย่างคงรูป (activators) สารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป (accelerators) สารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidants) และสารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agents) เป็นต้น สารทำให้ยางคงรูปที่ใช้ในปัจจุบันคือกำมะถัน แต่ปฏิกิริยาคาลาไมเซชันเกิดขึ้นได้ค่อนข้างช้าและต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูง จึงได้มีการพัฒนาสารตัวเร่ง/กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เร็วขึ้น โดยส่วนใหญ่ใช้สารเคมีกลุ่มไทยูรัม (thiuram) เช่น TMTD ร่วมกับ

ZnO และกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamate) เช่น zinc-dimethyldithiocarbamate (ZDMC) zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC), zinc dibutyl dithiocarbamate (ZDBC) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้ช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เร็วขึ้น

อย่างไรก็ตาม สารปรุงแต่งบางกลุ่มที่ใช้ในการผลิตถุงมือยางอาจมีการตกค้างอยู่ในถุงมือได้ และอาจเป็นสารที่สามารถทำให้เกิดการกลายพันธุ์ต่อผู้ที่สัมผัสสารในกระบวนการผลิต (Fracasso, *et al.*, 1999) หรือมีผลกระทบต่อระบบนิเวศหรือสะสมในห่วงโซ่อาหารในสิ่งแวดล้อมได้ ผลการทดสอบสารเร่งปฏิกิริยาขงรูป (accelerators) ในห้องปฏิบัติการหลายแห่งยืนยันว่า สารในกลุ่มนี้เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ มีรายงานพบว่าสารประกอบ TMTD สามารถทำปฏิกิริยากับ ZnO ภายใต้อุณหภูมิที่เย็นกรดเกิดเป็นสารประกอบ ZDMC ด้วย (Bergendorff, *et al.*, 2007) ถ้าหากสารเหล่านี้ตกค้างอยู่ในถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหารก็อาจมีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ได้เนื่องจากอาจทำให้สารดังกล่าวปนเปื้อนสู่อาหารได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาการสัมผัส ความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น (ทีมวิจัยการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545) สารประกอบ TMTD ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อตับ ไต ต่อมไทรอยด์ การสร้างเลือด และความผิดปกติต่อการปฏิบัติหน้าที่ของระบบอวัยวะในร่างกาย (Ramesh, *et al.*, 2009) ส่วนสารประกอบในกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตทำให้เกิดมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ ปอด และก่อให้เกิดต่อมน้ำเหลืองได้ (Mortelmans and Zeiger, 2001) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาการปนเปื้อนของสารเคมีในถุงมือยางและปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารเคมีออกมาจากถุงมือยาง

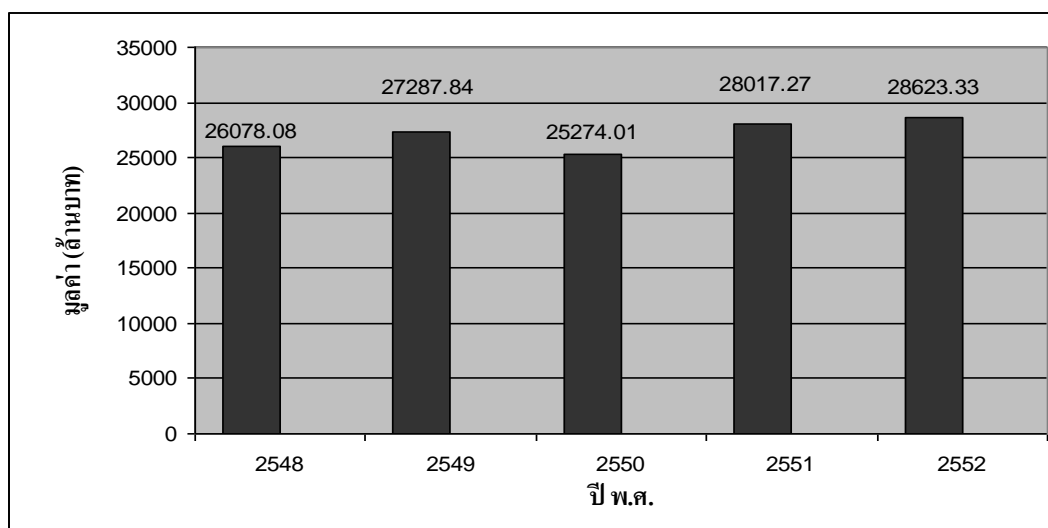
ในปัจจุบันความต้องการใช้ถุงมือยางมีเพิ่มขึ้นและเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นวัสดุสำคัญทางการแพทย์และใช้ในห้องปฏิบัติการ โรงงานอาหารกระป๋อง ร้านอาหาร ขายอาหาร ร้านขายผลไม้ หรือแม้กระทั่งในครัวเรือนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนหรือการติดเชื้อระหว่างการจับต้องสิ่งสกปรกและอาหาร สหภาพยุโรป (EU) จึงได้ออกกฎระเบียบด้านวัสดุและสิ่งของที่ใช้สัมผัสอาหาร (food contact materials) เพื่อป้องกันสารอันตรายหลุดออกจากวัสดุที่ใช้สัมผัสอาหารปนเปื้อนสู่อาหารได้ ปัจจุบัน EU ได้กำหนดค่ามาตรฐาน ของ TMTD ไว้ดังนี้ ค่า dietary no-effect level = 48 ppm ในอาหาร ค่า acceptable daily intake (ADI) = 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน โดยให้ค่า tolerable daily intake (TDI) = 89% ของค่า ADI คือ TDI = 8.9 ไมโครกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน แต่ไม่พบค่า TDI ของสารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต (the Commission of the European Communities, 2007)

ประเทศไทยในฐานะสมาชิกร่วมทำงาน (p-member) ของ ISO/TC45 – rubber and rubber products จึงได้เสนอให้มีการกำหนดมาตรฐาน “rubber or thermoplastic gloves for food industry

and food service specification” เพื่อประโยชน์ในการยกระดับการผลิตถุงมือประเภทนี้ให้มีมาตรฐานที่สร้างความมั่นใจในความปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่เนื่องจากปัจจุบันยังขาดข้อมูลสนับสนุนทางวิชาการทั้งด้านรายการที่เป็นข้อกำหนดและวิธีตรวจสอบที่เหมาะสมในด้านความปลอดภัยและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติของผู้ผลิตและผู้ตรวจวิเคราะห์ด้วย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปริมาณของสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหารในสถานะต่างๆ ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะมีส่วนช่วยให้ได้ข้อสรุปสำคัญทางวิชาการส่วนหนึ่งเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐาน และวิธีการตรวจวิเคราะห์สารดังกล่าว เพื่อควบคุมปริมาณ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในระดับที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

1.2 การตรวจเอกสาร

ถูงมือยางเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวันของคนบางกลุ่มบางอาชีพ เป็นวัสดุสำคัญทางการแพทย์ และใช้กันอย่างแพร่หลายในห้องปฏิบัติการและโรงงานอาหารกระป๋องและอาหารแช่แข็ง สามารถป้องกันการปนเปื้อนหรือการติดเชื้อระหว่างจับต้องสิ่งสกปรกได้ ถูงมือยางเริ่มมีการผลิตในประเทศไทยประมาณ 20 ปี ที่ผ่านมา จากเดิมประเทศไทยต้องนำเข้าถูงมือยางเพื่อการบริโภคภายในประเทศ เนื่องจากถูงมือยางที่ผลิตในประเทศไทยยังมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับเท่ากับถูงมือยางที่ผลิตจากต่างประเทศ ภายหลังเมื่อรัฐบาลได้ให้การส่งเสริมโดยเฉพาะการส่งเสริมการลงทุนจึงมีผู้ประกอบการจากต่างประเทศเข้ามาลงทุนโดยนำเทคโนโลยีในการผลิตเข้ามาด้วย ส่งผลให้หลังจากปี พ.ศ. 2529 เป็นต้นมา ประเทศไทยสามารถทำการผลิตเพื่อส่งออกถูงมือยางไปจำหน่ายต่างประเทศได้ ต่อมาได้มีการกำหนดมาตรฐานขึ้นโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมสำหรับมาตรฐานถูงมือยางที่ใช้ในศัลยกรรม (มอก.538-2534) และมาตรฐานถูงมือยางที่ใช้ในการตรวจโรค (มอก.1056-2534) ปัจจุบันประเทศไทยยังคงครองอันดับต้นๆ ของการส่งออกถูงมือยางโดยอาศัยความได้เปรียบในฐานะที่เป็นประเทศผู้ผลิตยางอันดับหนึ่งของโลก เห็นได้จากการส่งออกผลิตภัณฑ์ถูงมือยาง ในปี 2548 มีมูลค่าส่งออกถึง 26,078.08 ล้านบาท และในปี 2552 มีมูลค่าส่งออกถึง 28,623.33 ล้านบาท (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 9, 2552) ดังแสดงในภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 มูลค่าการส่งออกถูงมือยางระหว่างปี 2548-2552

ที่มา: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2552)

1.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ

1.2.1.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา (*Hevea Brasiliensis*) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม มีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วง 6.5-7.0 น้ำยางธรรมชาติเป็นสารแขวนลอยชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลวเป็นตัวกลางและมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ นอกจากนี้ยังมีสารที่ไม่ใช่ยาง (nonrubber substances) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอนินทรีย์อื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ในส่วนของโปรตีนมีอยู่ 1-1.5% ของน้ำยาง คิดเป็น 30-50 มิลลิกรัมต่อกรัมยางแห้ง องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-1 (วารสารณ์ ขจรไชยกุล, 2537)

ตารางที่ 1-1 องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (%)
สารที่อยู่ในรูปของแข็ง	36
เนื้อยางแห้ง	33
สารจำพวกโปรตีน	1-1.5
สารจำพวกเรซิน	1-1.25
ขี้เถ้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ (ในปริมาณที่รวมแล้วเป็น)	100

ที่มา: บุญธรรม, นิธิอุทัย และคณะ (2534)

ส่วนประกอบของน้ำยางสดแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1.) ส่วนของเนื้อยาง (Rubber phase)

อนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน ประเภทซิส 1,4 -โพลีไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene, $(C_5H_8)_n$) เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รูปร่างส่วนใหญ่เป็นรูปวงกลมและรูปลูกแพร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.02- 3 ไมโครเมตร ในสภาพน้ำยางสด ผิวรอบอนุภาคถูกห่อหุ้มด้วยไขมันพวกฟอสโฟไลปิด (phospholipid) และ

โปรตีน โดยฟอสโฟไลปิดเป็นตัวยึดระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับสารโปรตีน ส่วนของเนื้อเยื่อส่วนใหญ่ประกอบด้วยยางไฮโดรคาร์บอน น้ำ ไขมัน และโปรตีน ดังตารางที่ 1-2 นอกจากสารดังกล่าวแล้วอาจมีอนุภาคของโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดง ประมาณ 0.05% โดยน้ำหนักปนอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อ (วารสารณ์ ขจรไชยกุล, 2537)

ตารางที่ 1-2 ส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก
ยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ (กระจายอยู่ในไฮโดรคาร์บอน)	10
สารพวกไขมัน	3
สารพวกโปรตีน	1

ที่มา: วารสารณ์ ขจรไชยกุล (2537)

2.) ส่วนที่เป็นของเหลว (Aqueous phase)

ส่วนที่เป็นของเหลวของน้ำยางเรียกว่า ซีรัม มีความหนาแน่น 1.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีสารประกอบต่างๆ หลายชนิดได้แก่

- คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นประเภท แอล-เมทิลลิโนซิทอล (l-methylinositol) หรือที่เรียกกันว่า quebrachitol มีอยู่ประมาณ 1% โดยน้ำหนักของน้ำยาง และยังมีคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ บ้างเล็กน้อย ได้แก่ กลูโคส ซูโครส กาแลคโตส ฟรุคโตส เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อน้ำยาง กล่าวคือหากมีการรักษาสภาพน้ำยางไม่พอเพียง จุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดฟอร์มิก อะซิติก และ โพรพิโนลิก กรดเหล่านี้มีผลทำให้น้ำยางเสียสถานะและจับตัวเป็นก้อนได้

- โปรตีนและกรดอะมิโน โปรตีนที่สำคัญได้แก่ อัลฟา-โกลบูลิน (α -globulin) และเฮเวลิน (hevelin) อัลฟา-โกลบูลินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีมากในส่วนของเหลวของน้ำยางสดมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200,000 มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายของเกลือ กรด และด่าง การเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางจะเพิ่มการเคลื่อนไหวของอัลฟา-โกลบูลินและอนุภาคยาง ซึ่งเป็นการช่วยรักษาสภาพน้ำยางได้ เฮเวลิน (hevelin) จะอยู่ที่อนุภาคเม็ดยางและละลายอยู่ในชั้นน้ำ มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ 5% เมื่อน้ำยางเกิดการบูดเน่า โปรตีนละลายน้ำส่วนหนึ่งให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารเมอร์แคปแทนทำให้เกิดกลิ่นเหม็น

- องค์ประกอบอื่นๆ มีพวก free nitrogenous base เช่น เมธิลามีน กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดฟอสเฟต และคาร์บอนเนต มีไอออนของโลหะส่วนใหญ่เป็นพวกแมกนีเซียม เหล็ก กัลเลียม และทองแดง นอกจากนี้ยังมีไซยาไนด์ประมาณ 0.25% ด้วย (วารสาร วิชาการโภชนาการ, 2536)

1.2.2 สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางมีสารประกอบพวกน้ำตาลที่เป็นอาหารของแบคทีเรียและยีสต์ เมื่อมีการกรีดยาง แบคทีเรียหรือยีสต์ในอากาศจะปะปนกับน้ำยางแล้วเปลี่ยนน้ำตาลเป็นสารจำพวกกรด ซึ่งภาวะความเป็นกรดจะทำให้โปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่ หรือเกิดการแยกตัวเป็นก้อนโคแอกกูแลม โดยเกิดช้าหรือเร็วขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ สมบัติความคงตัวของน้ำยางแต่ละพันธุ์ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาสภาพของเหลวของน้ำยางจึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง (วารสาร วิชาการโภชนาการ และคณะ, 2533)

สารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยาง (preservative) ควรจะมีสมบัติดังนี้

- 1.) ทำลายหรือกีดขวางปฏิกิริยาของแบคทีเรียหรือยีสต์ได้
- 2.) เนื่องจากชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่มีฤทธิ์เป็นด่าง สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางจึงควรมีฤทธิ์เป็นด่างและสามารถเพิ่มประจุหรือเพิ่มพลังงานระหว่างอนุภาคกับส่วนที่เป็นน้ำทำให้น้ำยางอยู่ในสภาพคอลลอยด์ได้
- 3.) ควรเป็นส่วนที่ทำให้อนุภาคของโลหะหนักไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากอนุภาคของโลหะหนักเป็นตัวกลางสำคัญในการเจริญอยู่ได้ของจุลินทรีย์
- 4.) สามารถระงับการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในน้ำยางได้
- 5.) ไม่ทำให้สีของน้ำยางเปลี่ยนและไม่มีการเหม็น

สารเคมีที่นิยมใช้รักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่

- 1.) แอมโมเนีย มีประสิทธิภาพในการทำละลายแบคทีเรียได้ดีมาก มีฤทธิ์เป็นด่าง และสามารถหยุดปฏิกิริยาของอนุภาคโลหะบางชนิดได้
- 2.) แอมโมเนีย ร่วมกับสารช่วยบางชนิด เช่น zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC), zinc oxide (ZnO), tetramethylthiuram disulfide (TMTD) และกรดบอริก เป็นต้น
- 3.) สารเคมีอื่นๆ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นอกจากจะรักษาสภาพน้ำยางแล้ว ยังช่วยป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยได้ ทำให้ยืดระยะเวลาการเก็บได้นานขึ้น ปัจจุบันมีการใช้สาร TMTD ร่วมกับ ZnO แต่ผู้ผลิตมักใช้ในอัตราสูงมากอาจเนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการเลือกใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ตลอดจนขาดความรู้เรื่องการใช้สารเคมีที่สามารถละลายออกมาปนเปื้อนได้

1.2.3 วัตถุประสงค์และสารเคมีหลักที่ใช้ในการผลิตถุงมือยาง

น้ำยางสดเมื่อถึงโรงงานผลิตน้ำยางข้นจะถูกกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางมาทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปต้องมีเนื้อยางแห้ง ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 25 จากนั้นนำมาผ่านก๊าซแอมโมเนีย ปริมาณเกินกว่า 0.4% ของน้ำยางแห้งแล้ว จึงปล่อยทิ้งไว้ให้น้ำยางตกตะกอนสิ่งแปลกปลอมจนถึงวันรุ่งขึ้น หากทดสอบพบว่าน้ำยางมี ปริมาณแมกนีเซียม ก็เติม diammonium hydrogen phosphate (DAHP) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต (magnesium ammonium phosphate) ซึ่งจะตกตะกอนกันถึงขณะ ทิ้งไว้ข้ามคืน ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง และเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางนี้ได้รับการรักษา สภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตน้ำยางข้นต่อไป (ชานินทร์ เลปนนท์, 2532)

1.2.3.1 น้ำยางข้น (concentrated latex)

น้ำยางสดจากต้นยางยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอุตสาหกรรม เนื่องจาก มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางต่ำจึงจำเป็นต้องทำให้น้ำยางข้นเสียก่อน

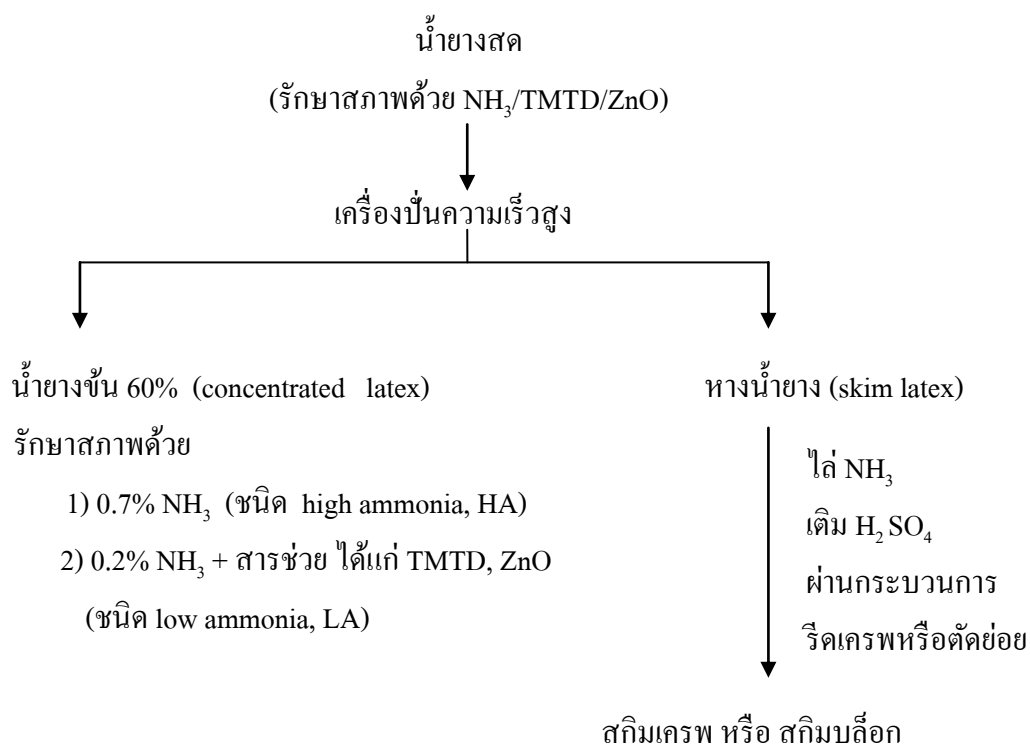
กรรมวิธีการผลิตน้ำยางข้น มีหลายวิธี ได้แก่ (ชานินทร์ เลปนนท์, 2532)

- วิธีระเหยน้ำ น้ำยางข้นที่ได้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะ สำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ ต้องใส่สารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก คือ การผลิตกาว latex-cement

- วิธีการทำให้เกิดครีม โดยเติม creaming agent ต่างๆ เช่น sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น เพื่อทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาค ยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และลอยสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่ สามารถให้น้ำยางข้นที่บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อย

- วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า อนุภาคยางที่แขวนลอยในซีรัมต่างถูกห่อหุ้มด้วย คาร์บอกซิลิกอออนที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของ เนื้อยางจากซีรัมได้โดยจุ่มไฟฟ้าที่มีขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้ แล้วอนุภาคยางจะค่อยๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวก และลอยตัวขึ้นสูงสู่ผิวหน้าของน้ำยางใน ที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่าความหนาแน่นของซีรัม วิธีนี้เป็นวิธีที่ ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่นิยมกัน

- วิธีการปั่น เป็นวิธีที่มีการใช้กันโดยทั่วไปอย่างกว้างขวางมากที่สุดใน การผลิตน้ำยางข้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันทำการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว โดยมีกระบวนการผลิตดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น
ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกุล และคณะ (2536)

1.2.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตถุงมือยาง

สารเคมีที่จำเป็นสำหรับการทำน้ำยางผสมมี 3 กลุ่ม ดังนี้

1.) สารเพิ่มความคงตัวให้น้ำยาง (stabilizer) เป็นสารที่เติมลงในน้ำยางเพื่อทำหน้าที่รักษาสภาพความเป็นของเหลวของน้ำยางโดยการช่วยรักษาความเป็นด่าง (alkalinity) ช่วยให้ได้สารอื่นๆ และดำเนินการตามกระบวนการผลิตได้ โดยทั่วไปใช้ด่างและสบู่ของกรดไขมัน สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นด่างที่นิยมใช้ ปริมาณการใช้อยู่ระหว่าง 0.2-0.5 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน สำหรับสบู่ของกรดไขมันจะช่วยให้ยางมีความคงตัวดีขึ้น โดยใช้ชนิดที่ประกอบด้วยคาร์บอน 8-12 อะตอม เช่น โปแตสเซียมแคปริเลต (potassium caprylate, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$) โปแตสเซียมลอเรต (potassium laurate, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ปริมาณการใช้อยู่ระหว่าง 0.2-0.4 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน (part per hundred of rubber, phr) (ผลชิต บัวแก้ว, 2541)

2.) สารในระบบคงรูป (vulcanizing system) เป็นสารกลุ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาของรูป ได้แก่ (ภัทรา กานตศิลป์, 2531)

- สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agents) เป็นสารที่ทำให้น้ำยางเกิดการคงรูป โดยเกิดการเชื่อมข้ามพันธะเคมีของสารดังกล่าวกับโมเลกุลยาง สารที่ใช้คือ กำมะถัน ปริมาณการใช้อยู่ระหว่าง 1-3.5 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน แปรตามอัตราเร็วที่ต้องการคงรูปโมดูลัสของยางที่ต้องการ และขึ้นอยู่กับปริมาณสารอื่นๆที่เติมลงในน้ำยางด้วย

- สารกระตุ้นปฏิกิริยาของรูป (activators) สารชนิดนี้ช่วยให้ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยารวดเร็วขึ้น โดยทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น สารเสริมเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 พวก คือ สารอินทรีย์ ได้แก่ กรดสเตียริก และสารอนินทรีย์ ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) ปริมาณการใช้อยู่ระหว่าง 1-5 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน

- สารเร่งปฏิกิริยาของรูป (accelerator)

เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาของรูปเร็วขึ้น และช่วยลดปริมาณกำมะถันที่ต้องใช้ในการทำให้ยางคงรูป ซึ่งการทำให้ยางคงรูปโดยใช้กำมะถันเพียงตัวเดียวจะพบว่าต้องใช้กำมะถันปริมาณสูง และยังทำให้ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาดำด้วย ดังนั้นจึงใช้สารเคมีช่วยเร่งปฏิกิริยาของการคงรูป ได้แก่ สารกลุ่ม ซัลฟิโนไมด์ ไดโทโอคาร์บาเมต และไทยูแรม ปริมาณการใช้อยู่ระหว่าง 0.5-2.5 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน

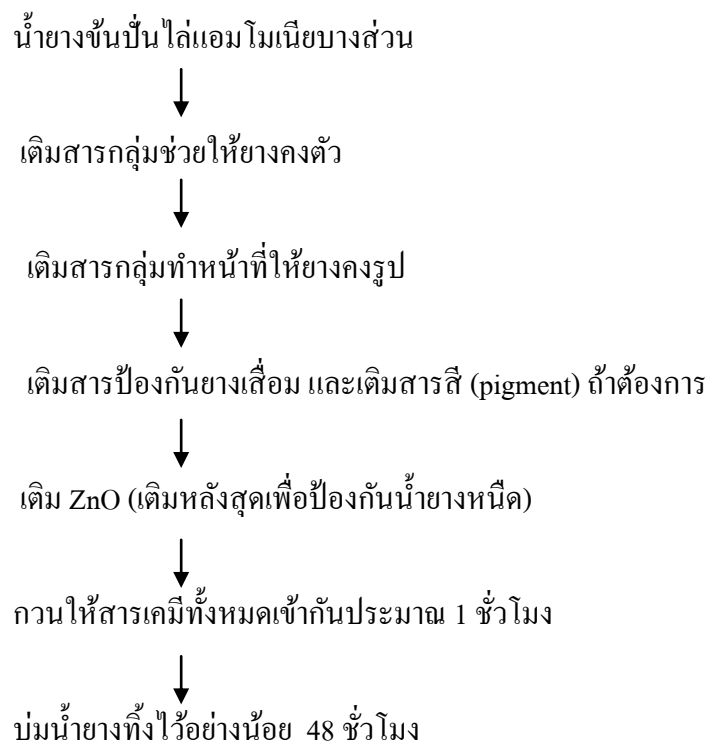
3.) สารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) เป็นสารที่เติมลงไปในน้ำยางเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์เป็นการยืดอายุการใช้งาน ปริมาณการใช้ประมาณ 1-4 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มเอมีนหรืออนุพันธ์ของเอมีน (amine or amine derivative) เช่น N, N'-di-2-naphthyl-p-phenylenediamine มีข้อเสียคือทำให้ยางเปลี่ยนสี นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์จากยางแห้งที่ต้องการสีคล้ำ เหมาะในการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางที่ต้องการสีหรือสีใส

- กลุ่มฟินอลหรืออนุพันธ์ของฟินอล (phenol or phenol derivative) เช่น Permanna WSL (2, 4-dimethyl-6-methylcyclohexyl)-p-cresol, Montaclere (a styrenated phenol), Wingstay L (a hindered phenol) นิยมสารในกลุ่มนี้ในการผลิตถุงมืออย่างมากกว่าเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่เปลี่ยนสี (วารกรณ์ ขจรไชยกุล และคณะ, 2533)

1.2.4 การผสมสารเคมีกับน้ำยาง

โดยทั่วไปลำดับการเติมสารเคมีผสมน้ำยางมีดังแสดงในภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 ลำดับการเติมสารเคมีผสมกับน้ำยาง

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2536)

แต่ละกลุ่มหรือแต่ละชนิดของสารที่เติมลงไปในน้ำยางจะต้องผสมเข้ากับน้ำอย่างดีเสียก่อนจึงเติมสารตัวต่อไปลงไป น้ำที่เติมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเนื้อยางที่ต้องการนั้นสามารถเติมได้ในขั้นตอนการปั่นน้ำยางใส่แอมโมเนียและทุกช่วงของการเติมสารเคมี ในการกวนผสมควรใช้ความเร็วต่ำเพื่อไม่ให้เป็นการลดความคงตัวของน้ำยางและควรใช้ใบพัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่พอที่จะเคลื่อนพาน้ำยางผสมอย่างทั่วถึง ความเร็วรอบของการกวนควรมีค่าประมาณ 50-100 รอบต่อนาทีในระหว่างการเติมสารเคมีต่างๆ และควรมีค่าระหว่าง 20-40 รอบต่อนาทีในขณะที่บ่มน้ำยางผสมสารเคมีแล้ว ตัวอย่างสูตรที่ใช้ผลิตถุงมือยางชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ตัวอย่างสูตรที่ใช้ผลิตถุงมือยางชนิดต่างๆ

สารเคมี	ถุงมือใช้งานทางการแพทย์		ถุงมือใช้งานบ้าน (น้ำหนักเปียก) (g)
	ใช้ครั้งเดียว (น้ำหนักเปียก) (g)	ใช้ซ้ำ (น้ำหนักเปียก) (g)	
60% น้ำยางข้น	167	167	167
20% สารละลายโพแทสเซียมคลอเรต	1.0	1.0	1.0
10% สารละลาย KOH	3.0	3.0	5.0
50% ดิสเพิสชั่นซัลเฟอร์	1.0	0.4	3.0
50% ดิสเพิสชั่น TMTD ^{1/}	-	1.0	-
50% ดิสเพิสชั่น ZDBC ^{2/}	1.5	2.0	-
50% ดิสเพิสชั่น ZDEC ^{3/}	-	-	2.0
41% ดิสเพิสชั่น antioxidant 2246	1.0	2.0	2.0
50% ดิสเพิสชั่น ZnO	0.5	0.5	2.0

^{1/} TMTD = Tetramethylthiuram disulphide

^{2/} ZDBC = Zinc dibutyl dithiocarbamate

^{3/} ZDEC = Zinc diethyl dithiocarbamate

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2536)

1.2.5 กระบวนการผลิตถุงมือยาง (วราภรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ, 2533)

ถุงมือยางผลิตโดยใช้วิธีการจุ่มพิมพ์ลงในน้ำยาง (latex dipping) ซึ่งประมาณ 50 % ใช้น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber) เพราะยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก ส่วนยางสังเคราะห์ (synthetic latex) นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรม แต่มีปริมาณการใช้น้อยกว่ายางธรรมชาติ ในการผลิตถุงมือยางใช้หลักการจุ่มพิมพ์แม่แบบลงในน้ำยาง (latex dipping) ทำให้แห้งแล้วดึงถุงมือยางออกจากแม่พิมพ์ และนำไปผ่านกระบวนการ vulcanization ขั้นตอนการผลิตถุงมือยางได้แสดงไว้ในภาพที่ 1-4

1.) การบ่มน้ำยางผสม (maturation)

เป็นขั้นตอนที่มีการเติมสารเคมีลงไปใต้น้ำยาง แล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้สารต่างๆ ที่ผสมลงไปได้กระจายอย่างทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกับน้ำยางตลอด การบ่มมีข้อดี คือทำให้น้ำยางผสมมีความเหนียวสม่ำเสมอ ได้ยางจับตัวที่แข็งแรง (strong gel) และทำให้ผลผลิตสุดท้ายมีการคงรูปอย่างทั่วถึง (uniform vulcanization) สำหรับระยะเวลาการบ่มจะนานเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสารคงรูปที่ใช้และอุณหภูมิของการบ่ม น้ำยางที่ผ่านการบ่มแล้วเรียกว่า compound latex

2.) การเตรียมพิมพ์และการล้างแบบพิมพ์

แบบพิมพ์ที่ใช้งานต้องเป็นแบบพิมพ์ที่สะอาด เพราะแบบพิมพ์ที่สกปรกไม่ว่าด้วยสิ่งแปลกปลอมใดๆ จะส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องหรือเกิดตำหนิกับถุงมือยางได้ ดังนั้นก่อนจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางผสมทุกครั้ง จะต้องทำความสะอาดแบบพิมพ์ด้วยด่างหรือกรดอินทรีย์ แล้วล้างแบบพิมพ์ด้วยน้ำสะอาด และอาจขจัดสิ่งสกปรกออกจากแบบพิมพ์โดยใช้แปรงเพื่อให้มั่นใจว่าแบบพิมพ์สะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมทั้งหลายรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดแบบพิมพ์ด้วย เมื่อแบบพิมพ์สะอาดแล้ว ต้องทำการอบแห้งก่อนจุ่มลงไปใต้น้ำยาง

3.) การจุ่มแบบพิมพ์ (dipping) มีหลายวิธี ได้แก่

- การจุ่มน้ำยางโดยตรง (straight dipping)
- การจุ่มโดยใช้สารช่วยจับ (coagulant dipping)
- การจุ่มโดยใช้พิมพ์แบบร้อน (heat sensitive dipping)
- การจุ่มโดยใช้ขั้วไฟฟ้าช่วย (electrode dipping)

เทคนิคการจุ่ม โดยใช้สารช่วยจับตัวเป็นที่นิยมและเหมาะสมสำหรับการผลิตถุงมือโดยทั่วไป สารที่ช่วยทำให้น้ำยางจับตัวและช่วยให้น้ำยางเกาะพิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 วิธี

- สารช่วยจับตัวเปียก (wet coagulant dipping) หมายถึงการใช้สารที่เป็นของเหลว เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก จุ่มพิมพ์ที่เปียกลงใต้น้ำยางผสม วิธีการนี้ไม่นิยมในการทำถุงมือ

- สารจับตัวแห้ง (dry coagulant dipping) หมายถึงการจุ่มพิมพ์ลงในสารช่วยจับตัว ที่นิยมใช้คือสารละลายของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แคลเซียมไนเตรท (CaNO_3) แล้วทิ้งให้พิมพ์แห้งหรือหมาดเสียก่อนจึงจุ่มลงในน้ำยางผสม สารเหล่านี้จะทำให้ยางผิวเรียบสม่ำเสมอและหนาพอสมควร แคลเซียมคลอไรด์จะให้ยางสีขุ่นกว่าแคลเซียมไนเตรท อาจใช้ไซโคลเฮกซิลามีน อะซิเตท (cyclohexylamine acetate, CHA) เป็นสารช่วยจับตัวเมื่อต้องการความโปร่งแสง

4.) การล้าง (leaching)

หมายถึงการล้างฟิล์มยางซึ่งจับอยู่บนแบบพิมพ์ ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือล้างในขณะที่อยู่ในกระบวนการผลิต (on-line) หรือล้างหลังจากแกะถุงมือยางออกจากแบบพิมพ์แล้ว (off-line) การล้างนี้เพื่อกำจัดสารละลายพวกเกลือที่มีอยู่ในน้ำยางอยู่เดิมหรือที่เติมลงไปในการล้างถุงมือในระหว่างกระบวนการผลิตที่ยังอยู่ในสถานะฟิล์มเปียกอยู่ (wet gel) จะสามารถชะล้างสารต่างๆ ในเนื้อยางขณะที่เปียกอยู่ได้อย่างรวดเร็วและง่าย

เหตุผลที่จำเป็นต้องล้างยาง ได้แก่ (นุชนาฏ ฌ ระนอง, 2541)

- เพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำโดยสารชนิดที่มีความสามารถดูดซึมหรือชอบน้ำ (hydrophilic materials) ที่ตกค้างอยู่ในยาง
- เพื่อไม่ให้สารตกค้างอยู่ในยางเพราะอาจมีผลต่อการสัมผัสกับเนื้อเยื่อของมนุษย์ใช้งาน (ถุงมือแพทย์)
- เพื่อให้ถุงมือมีความแข็งแรงมากขึ้น (โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ใช้ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์)
- เพื่อป้องกันผิวหนังเหนียวอันเนื่องจากสารที่ตกค้างอยู่
- เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงสีของถุงมือเมื่อถูกกับแสง
- เพื่อลดการระคายเคืองต่อผิวหนังเมื่อใส่ถุงมือ
- เพื่อลดปริมาณแป้งที่ติดบนถุงมือ

5.) การอบแห้งและทำให้ยางคงรูป (drying and vulcanizing)

มักจะอบแห้งและทำให้ยางคงรูปในตู้อบร้อน โดยอบเพื่อให้ยางที่จับพิมพ์แห้งในตู้ที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะอบให้คงรูปในขั้นต่อไปโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100-140 องศาเซลเซียส ในการอบให้ยางคงรูป ระยะเวลาอบขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำให้ยางคงรูปที่ใช้

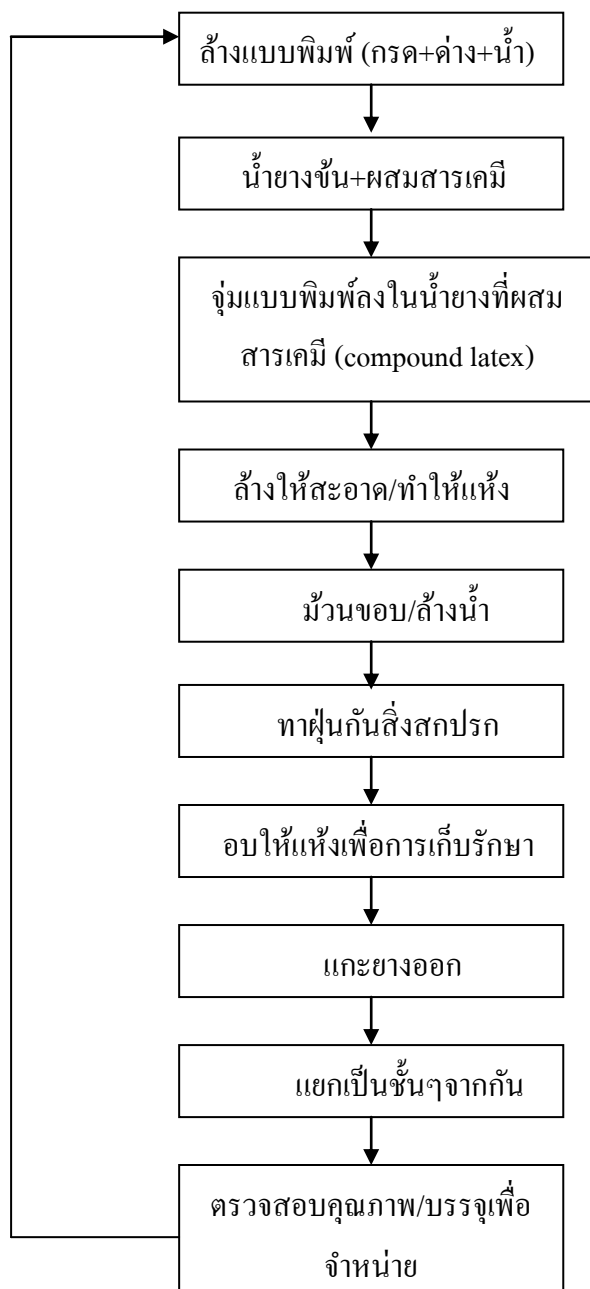
6.) การม้วนขอบ (beading) การม้วนขอบถุงมือเพื่อให้ถุงมือมีความแข็งแรงจะม้วนขอบขณะที่ยางเกาะบนแบบพิมพ์แห้งแล้วแต่ยังไม่ได้ทำให้คงรูป ถ้าในขั้นตอนของการอบแห้งแยกกับการอบให้ยางคงรูปก็จะทำการม้วนขอบระหว่างสองขั้นตอนของการอบนี้และการม้วนขอบสามารถทำได้โดยใช้มือหรือใช้เครื่อง

7.) การถอดถุงมือออกจากแบบพิมพ์

การถอดถุงมือจากพิมพ์จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยทั่วไปมักใช้มือถอดและอาศัยแป้งช่วยเพื่อป้องกันยางติด ได้แก่ แป้งข้าวโพด

8.) การตรวจสอบ

มีการตรวจสอบความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด ความสม่ำเสมอของ ความหนาของเนื้อยาง และปราศจากรูรั่ว เป็นต้น



ภาพที่ 1-4 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ (2533)

1.2.6 ประเภทของถุงมือยาง (จินตนา ลีกิจวัฒน์, 2551)

ถุงมือยางสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ประเภท ได้แก่

1.) ถุงมือยางสำหรับใช้ในทางการแพทย์ (medical glove) ถูกกำหนดให้เป็นเครื่องมือทางการแพทย์ ดังนั้นในการผลิตและการส่งออกถุงมือยางประเภทนี้จึงต้องผ่านการตรวจสอบมาตรฐานจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ซึ่งแบ่งย่อยเป็น

- ถุงมือที่ใช้ในการผ่าตัด (surgical glove) ใช้ในทางศัลยกรรม ถุงมือนี้มีเนื้อบาง แข็งแรง มีความยาวถึงข้อศอก ผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อ 100% ด้วยรังสีแกมมา ใช้เพียงครั้งเดียวทิ้ง

- ถุงมือที่ใช้ในงานตรวจโรคทั่วไป (examination glove) ใช้ในงานตรวจโรค มีลักษณะบาง กระชับมือ สั้นแค่ข้อมือ ไม่มีข้างซ้าย-ขวา ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่มีการนำกลับมาใช้อีก

2.) ถุงมือยางสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (industrial glove) มีขนาดใหญ่ แข็งแรงทนทาน เพื่อความทนทานต่องานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลไม้กระป๋อง หรืออาจมีขนาดบางกระชับหรือใช้สวมเฉพาะบางส่วนของมือ เช่นถุงนิ้ว (finger cot) มักใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

3.) ถุงมือยางสำหรับใช้ในครัวเรือน (household glove) เป็นถุงมือยางที่แม่บ้านใช้ในการทำความสะอาดซักล้าง มีขนาดใหญ่ แข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน มีอายุการใช้งานนาน สวมใส่สบาย

1.2.7 สารเร่งที่ใช้ในถุงมือยาง

1.2.7.1 เตตระเมทิลไทอูรัม ไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD)

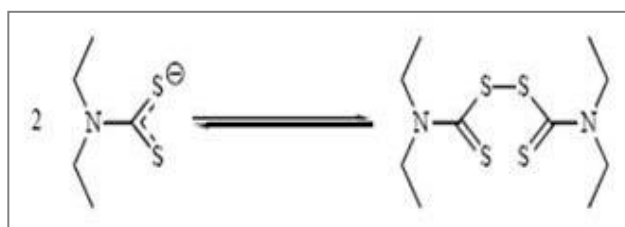
สาร TMTD เป็นสารกลุ่มไทอูรัม การใช้ประโยชน์ของสารกลุ่มนี้คือเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาในการผลิตยาง สารเชื่อมโยงโมเลกุลของยางและสารลดอนุมูลอิสระที่ส่งเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้น นอกจากนี้ สารกลุ่มนี้ยังช่วยในการฆ่าเชื้อราในเมล็ดพืช ใช้เป็นยาฆ่าแมลง ใช้ไล่นกและสัตว์ต่างๆ เป็นสาร antioxidant ในการผลิต polyolefins สารหล่อลื่นน้ำมัน เป็นต้น

ในสภาวะที่มีความเป็นกรด สารประกอบ TMTD สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น dimethyldithiocarbamate ในร่างกายมนุษย์และสัตว์ หลังจากนั้น dimethyldithiocarbamate จะถูกย่อยสลายได้เป็น carbon disulfide และ dimethylamine ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ เกิดเป็นสารประกอบไนโตรซามีนที่ชื่อว่า NDMA ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ เป็นพิษต่อตับ และเกิดมะเร็งได้ (Sharma, et al., 2003) นอกจากนี้ ยังมีรายงานพบว่าสาร TMTD และ ZDMC ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ใน *Escherichia coli* และในหนู

TMTD สามารถย่อยสลายในน้ำได้อย่างรวดเร็วด้วยปฏิกิริยา hydrolysis และปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง (photodegradation) โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่เป็นกรด TMTD อาจถูกดูดซับไปยังอนุภาคแขวนลอยหรือไปยังตะกอนได้ พบ TMTD ในดินน้อย เนื่องจากละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย คือ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าครึ่งชีวิตในดินสำหรับ TMTD มีรายงานว่าอยู่ถึง 15 วัน TMTD สามารถที่จะสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในดินที่เป็นกรดและในดินที่มีสารอินทรีย์ (Sharma, *et al.*, 2003)

ปัจจุบันโรงงานจะใช้สารประกอบ TMTD ร่วมกับ zinc oxide มากกว่าแต่เนื่องจาก TMTD ทำปฏิกิริยากับ zinc oxide ภายใต้สภาวะความเป็นกรดได้ ZDMC โดยปริมาณตัวเร่งที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิตประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

สารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตสามารถที่จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นสารกลุ่มไทยูแรมได้ และสารกลุ่มไทยูแรมก็สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นสารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตได้ เนื่องจากสารกลุ่มไทยูแรมมีโครงสร้างคล้ายไดไทโอคาร์บาเมต เมื่อได้รับความร้อนจะแตกตัวเป็นสารพวกไดไทโอคาร์บาเมตก่อน (ภาพที่ 1-5) จึงจะไปเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ทำให้เวลาทำปฏิกิริยาวกกว่าสารตัวเร่งกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตเล็กน้อย (Cvek and Dvorak., 2007)



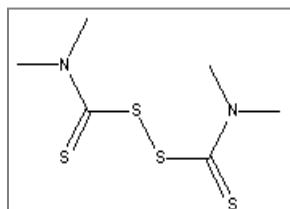
Diethyldithiocarbamate
(dithiocarbamate)

Thiuram disulfide

ภาพที่ 1-5 สูตรโครงสร้างของ dithiocarbamate และ thiuram
ที่มา : Cvek and Dvorak (2007)

ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและเคมีและความเป็นอันตรายของ TMTD จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของกรมควบคุมมลพิษ (2551) และ USEPA (2009) มีดังนี้

- ชื่อเคมี IUPAC คือ tetramethylthioperoxydicarbonothioic diamine
- ชื่อเคมีทั่วไป bis (dimethylthiocarbamoyl) disulfide
- มีสถานะเป็นผงหรือผลึกของแข็ง สีขาว-เหลือง-เทาอ่อน
- มีกลิ่นเฉพาะตัว น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 240.44
- สูตรโมเลกุล: $C_6H_{12}N_2S_4$
- สูตรโครงสร้างของ TMTD



- ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.) เท่ากับ 103 มีจุดเดือด 129°C
- จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส) : 155 – 156
- ความถ่วงจำเพาะ : 1.29
- ความดันไอ (มม.ปรอท) : 0 ที่ 20°C
- ความหนาแน่นไอ : 8.29
- LD_{50} ทางปาก (มก. /กก.) : 780 – 1300 (หนู)
- LC_{50} ทางการหายใจ (มก. / m^3) : 500/4 ชั่วโมง (หนู)
- IDLH (ppm) : 10
- PEL-TWA (ppm) : 5
- TLV-TWA (ppm) : 0.1
- Water Solubility : 30 mg/l @ 20°C
- Acute oral LD_{50} : 1080 mg/kg
- Acute dermal LD_{50} : >2000 mg/kg
- Acute inhalation LC_{50} : 4.4 mg/l
- Partition Coefficient (log Pow) : 1.73
- Vapour Pressure : 2.3×10^{-5} hPa @ 25°C
- Relative Density : 1.3 – 1.4 g/cm^3 @ 25°C

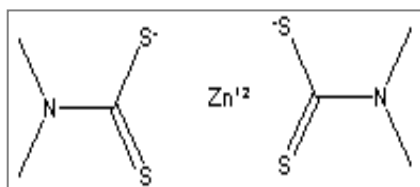
- การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้เกิดภาวะภูมิไวต่อการสัมผัสทางผิวหนัง
- การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ เป็นอันตรายและทำให้วิงเวียนศีรษะ ไอ เจ็บคอ
- กินหรือกลืนเข้าไปการกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้วิงเวียนศีรษะ
- การสัมผัสดวงตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา
- การก่อกวนและความผิดปกติอื่นๆร้ายแรงเป้าหมาย ตับ ไต ระบบประสาทส่วนกลาง

1.2.7.2 ไดไซโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamate)

เป็นสารตัวเร่งแบบเร็วมาก (ultra accelerator) อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์สูงปกติจะใช้ในปริมาณ 1-2 ส่วนต่อยางร้อยละส่วนร่วมกับสารตัวเร่งกลุ่มอื่น สารในกลุ่มนี้ได้แก่ zinc dimethyldithio carbamate (ZDMC), zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC)

1.2.7.2.1 ซิงค์ ไดเมทิลไดไซโอคาร์บาเมต (zinc dimethyldithiocarbamate, ZDMC) สารกลุ่มนี้เป็นสารกลุ่มไดไซโอคาร์บาเมต (dithiocarbamate) ใช้เป็นสารในกระบวนการผลิตยาง และเป็นสารลดการเกิดควัน สารนี้สามารถละลายได้ในคาร์บอนไดซัลไฟด์ กรดไฮโดรคลอริก เอทานอล อะซิโตน เบนซีน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

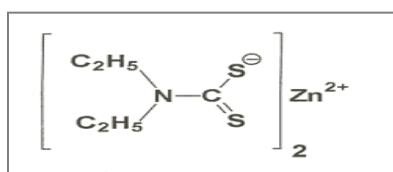
- ชื่อเคมี IUPAC: zinc dimethyldithiocarbamate
- ชื่อเคมีทั่วไป: ziram, methyl zimate
- สูตรโมเลกุล: $C_6H_{12}N_2S_4Zn$
- สูตรโครงสร้าง ZDMC



- จุดเดือด: 246 °C
- น้ำหนักโมเลกุล 305.82
- จุดหลอมเหลว: 248-250 °C
- ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.): ไม่ละลาย

1.2.7.2.2 ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (zinc diethyldithiocarbamate, ZDEC)
ZDEC เป็น zinc salt accelerator ที่เป็น water insoluble accelerator (สารเร่งที่ไม่ละลายน้ำ)

- สูตรโมเลกุลของ ZDEC คือ $((C_2H_5)_2NSCS)$
- สูตรโครงสร้าง ZDEC (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)



ปกติใช้ 0.1-0.2 % ZDEC กับ 0.2 % กรดคลอริกพร้อมกับแอมโมเนีย 0.2 % ต่อน้ำหนักยาง การเติมกรดคลอริกไอออนซึ่งมีประจุลบ จึงเสริมความเป็นด่างในเซรุ่มของน้ำยาง เป็นการช่วยเสริมสภาพน้ำยางในระดับเดียวกันกับการใช้แอมโมเนียปริมาณปกติ คือ 0.7 % ต่อน้ำหนักยาง

จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของกรมควบคุมมลพิษ (2551) ผลต่อสุขภาพอนามัย (health effect) ของมนุษย์ที่เกิดจากสารกลุ่มไดไธโอคาร์บาเมต มีดังนี้

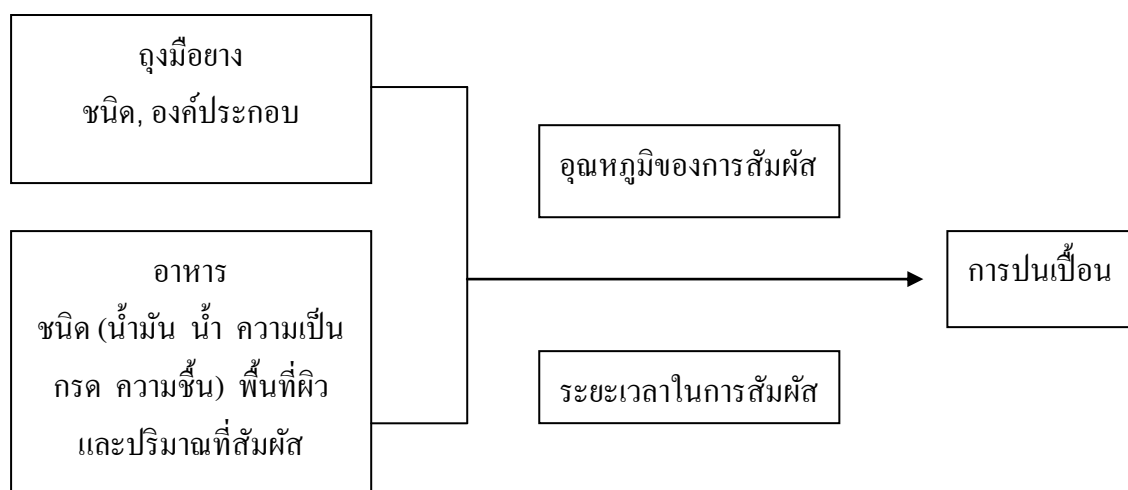
- การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ
- การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง
- การกลืนหรือกินเข้าไปอาจทำให้เกิดอันตรายได้
- การสัมผัสดวงตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา

ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ (standard and toxicity) ของสารกลุ่มไดไธโอคาร์บาเมต มีค่า median lethal dose (LD_{50}) ซึ่งเป็นปริมาณของสารเคมีทำให้สัตว์ทดลองที่ได้รับสารนั้นเพียงครั้งเดียวตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนเริ่มต้น ซึ่งในหนูมีค่า LD_{50} เท่ากับ 267 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

1.2.8 ปัจจัยของการเกิด Migration

ไมเกรชัน (migration) หมายถึง การเคลื่อนย้ายของอนุภาคหรือโมเลกุล ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวัสดุหรือบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร ปัจจัยของการเกิดไมเกรชันขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของวัสดุ ชนิดและองค์ประกอบของอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิของการสัมผัส ระยะเวลาในการสัมผัส เป็นต้น (ภาพที่ 1-6)

ถุงมือยางและถุงมือพลาสติกถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน ในทางกลับกัน สารเร่งปฏิกิริยาขงครูป (accelerator) ก็ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตถุงมือยางเช่นกัน ซึ่งจะเห็นว่ามีความเสี่ยงต่อผู้บริโภคที่จะได้รับสารเหล่านี้มากขึ้น



ภาพที่ 1-6 ปัจจัยของการเกิดไมเกรชัน

ที่มา: ทีมวิจัยการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545)

จากการศึกษาการปนเปื้อนของสาร di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) ในอาหาร โดยทดลองตรวจวิเคราะห์ในอาหารก่อนและหลังการใช้ถุงมือยางและถุงมือพลาสติก พบว่าปริมาณสาร DEHP หลังการใช้ถุงมือยางสัมผัสอาหารมีปริมาณการปนเปื้อนสูงขึ้น และเมื่อใช้ ethanol sterilize ถุงมือปริมาณสาร DEHP ก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน (Tsumura et al., 2000) (ตารางที่ 1-4)

ตารางที่ 1-4 ระดับการปนเปื้อนของ DEHP ในอาหารก่อนและหลังการใช้ถุงมือยางสัมผัสอาหาร

ประเภทอาหาร	DEHP(mg/kg)		
	ก่อนใช้	หลังใช้	ใช้ ethanol sterilize ถุงมือ
ข้าว	0.05	0.16	2.03
ลูกชิ้นทอด	0.22	0.33	2.45
หัวไชเท้า	0.04	11.1	18.4

ที่มา: Tsumura *et al.* (2000)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาสาร DEHP ที่ตกค้างในถุงมือยางและถุงมือพลาสติกปนเปื้อนสู่อาหาร สาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตก็ถูกนำมาใช้ในการผลิตถุงมือยางเช่นเดียวกับ DEHP จึงเป็นไปได้ที่สาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจะตกค้างในถุงมือและปนเปื้อนในอาหารเมื่อเรานำไปสัมผัสอาหารด้วย อนึ่ง ISO/TC 45 ยังไม่ได้กำหนดค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของสารปนเปื้อนเหล่านี้ในถุงมือยาง เนื่องจากปัจจุบันยังขาดข้อมูลสนับสนุนทางวิชาการทั้งด้านรายการที่เป็นข้อกำหนดและวิธีตรวจสอบรายการเหล่านี้ที่เหมาะสมในด้านความปลอดภัย

1.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีรายงานผลการวิจัยในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นในจังหวัดสงขลาว่ามีการใช้สารเคมีหลายชนิด ได้แก่ แอมโมเนีย ZnO , TMTD, DAP และ H_2SO_4 หากเทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยางชั้นที่ผลิตได้หรือต่อยางสกิมที่ผลิตได้ พบว่ามีการใช้สารเคมีในรูปแอมโมเนีย ในช่วง 5.7 – 24.0 กิโลกรัม/ตันน้ำยางชั้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.22 กก. NH_3 / ตันน้ำยางชั้น) และมีการใช้ ZnO และ TMTD ในช่วงที่เท่ากันคือ 0.30 – 2.16 กิโลกรัม/ตันน้ำยางชั้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 กิโลกรัม/ตันน้ำยางชั้น) และ DAP ในช่วง 1.28 – 6.25 กิโลกรัม/ตันน้ำยางชั้นหรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 กิโลกรัม/ตันน้ำยางชั้น จะเห็นว่าพิษของปริมาณการใช้สารเคมีแต่ละชนิดจะแตกต่างกันมากในแต่ละโรงงาน (สมทิพย์ คำนธิ์รวิชัย, 2545)

มีรายงานการทดสอบความสามารถก่อกลายพันธุ์ของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง 3 แห่งในจังหวัดสงขลา พบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของตัวอย่างน้ำเสียที่ความเข้มข้น 50-200 เท่าของความเข้มข้นปกติต่อแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์

TA98 ทั้งในสถานะที่มีและไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเอนไซม์จากตับหนู แสดงว่าตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานผลิตถุงมือยางมีสารก่อกลายพันธุ์ที่ออกฤทธิ์โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนคู่เบสของ DNA (frameshift mutation) จากการวิเคราะห์สารก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี high performance liquid chromatography (HPLC) พบว่าสารก่อกลายพันธุ์คือ TMTD และ zinc dimethyl dithiocarbamate (ZDMC) ซึ่งอาจเป็นสารแปรรูปจาก TMTD สารทั้งสองตัวนี้ใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง และมีรายงานว่าเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง โดยพบสารประกอบ TMTD และ ZDMC ได้สูงถึง 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.078 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (บรรจง วิทยวีรศักดิ์ และคณะ, 2552)

มีรายงานการศึกษาปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาขงรูป (accelerator) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยางที่ใช้ในทางการแพทย์ในประเทศสวีเดน จากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC พบว่าจากตัวอย่างถุงมือยาง 19 ตัวอย่าง พบสาร zinc diethyldithiocarbamate, zinc pentamethylene dithiocarbamate, zinc dibutyldithiocarbamate และ 2-mercaptobenzothiazole ปริมาณที่พบ คือ 0.070–3.5 มิลลิกรัมต่อกรัม 1.0–4.3 มิลลิกรัมต่อกรัม 0.9–1.1 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.005–0.008 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Bergendorff, *et al.*, 2006)

มีรายงานวิจัยพบว่าการสัมผัสสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางทำให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนังอักเสบ โดยมีสาเหตุมาจากสารตกค้างในผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง ซึ่งสารเคมีที่ใช้เติมในกระบวนการผลิต คือสารเร่งปฏิกิริยาของยาง ได้แก่ สารกลุ่ม thiuram, dithiocarbamate และ mercaptobenzothiazole เป็นต้น เพื่อให้ได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ จึงมีการตรวจสอบว่าสารประกอบที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนังเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการวัลคาไนซ์ยางหรือไม่ โดยการนำถุงมือยางมาสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ซึ่งในกระบวนการผลิตถุงมือยางมีการเติมสาร TMTD ประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อกรัม benzothiazyl disulfide (MBTS) และ N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulfenamide (CBS) แต่เมื่อผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ยางแล้วพบว่าถุงมือยางมีสาร TMTD, zinc dimethyldithiocarbamate (ZDMC) และ 2-mercaptobenzo thiazole (MBT) ตกค้างอยู่ จะเห็นได้ว่ามีสารประกอบใหม่เพิ่มขึ้นมาด้วย (Bergendorff, *et al.*, 2007)

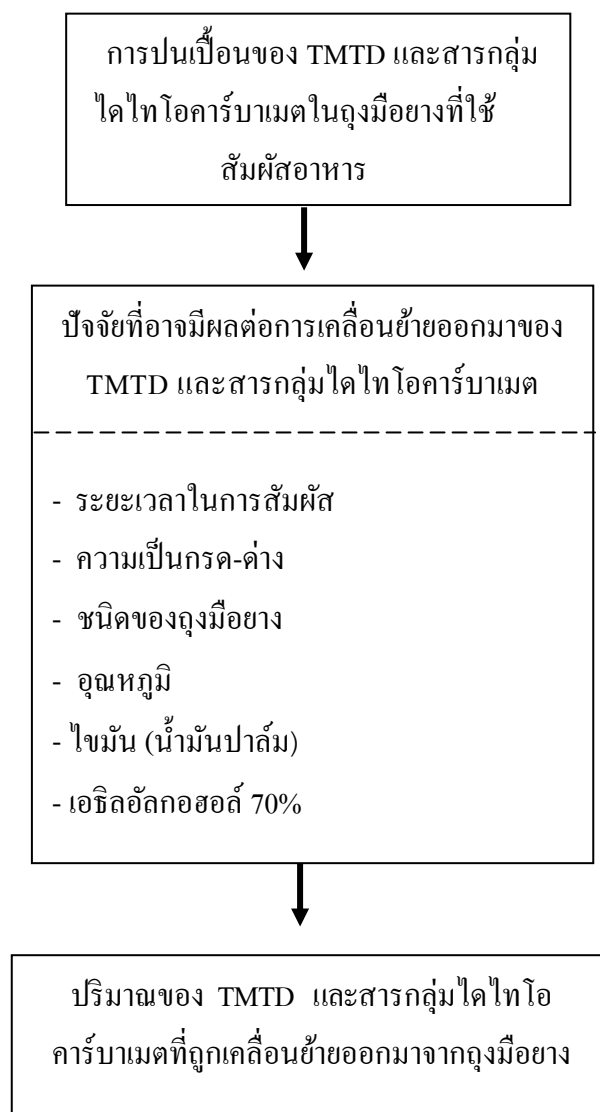
1.4 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร
2. เพื่อศึกษาปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในน้ำชะถูงมือยางธรรมชาติที่ใช้สัมผัสอาหาร
3. เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ระยะเวลาการสัมผัส การสัมผัสไขมัน (น้ำมันปาล์ม) และเอทิลแอลกอฮอล์ 70% ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากเนื้อถูงมือยางธรรมชาติที่ใช้สัมผัสอาหาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่เพิ่มการเคลื่อนย้ายสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในถูงมือที่ใช้สัมผัสอาหารเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคหลีกเลี่ยงการใช้ถูงมือยางในเงื่อนไขเหล่านั้นและสามารถใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ได้
2. ผลการวิจัยเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่หน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนด และควบคุมมาตรฐานของถูงมือยางธรรมชาติที่ใช้สัมผัสอาหาร

1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1-7 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.7 ขอบเขตงานวิจัย

ถูงมือที่ใช้ในการวิจัยมี 3 ชนิด ได้แก่ ถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งไม่มีแป้ง และถูงมือยางธรรมชาติชนิดหนา เหตุผลที่เลือกถูงมือชนิดนี้เนื่องจากในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะใช้ถูงมือยางธรรมชาติ โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาถูงมือที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล (ซูริมิ) ในจังหวัดสงขลา

ตัวแปรในการศึกษา

1.) ตัวแปรต้น ได้แก่ ระยะเวลาในการสัมผัส ชนิดของถูงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง(pH) ไขมัน (น้ำมันปาล์ม) และเอซิลอัลกอฮอล์ 70%

2.) ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทไอคาร์บาเมตที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถูงมือที่ใช้ในการสัมผัสอาหาร

ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.) การวิจัยประกอบด้วยการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทไอคาร์บาเมตโดยสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนในเนื้อถูงมือยาง

2.) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการชะออกมาของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทไอคาร์บาเมตในน้ำชะจากถูงมือที่ใช้สัมผัสอาหารโดยให้มีมวลหรือพื้นที่ผิวของถูงมือคงที่ โดยปัจจัยที่ใช้ศึกษามีดังนี้

- ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส
- ศึกษาผลของ pH
- ศึกษาผลของอุณหภูมิ
- ศึกษาผลของเอซิลอัลกอฮอล์ 70%
- ศึกษาผลของไขมัน (น้ำมันปาล์ม) เนื่องจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล

(ซูริมิ) ส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันปาล์มในการทอดอาหารต่างๆ

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร โดยได้ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีดังนี้

2.1 สารมาตรฐาน

2.1.1 สารมาตรฐาน (standard chemical)

- Tetramethylthiuram disulfide (TMTD) (Sigma-Aldrich, Germany)
- Zinc dimethyldithiocarbamate (ZDMC) (Sigma-Aldrich, USA)
- Zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC) (Sigma-Aldrich, USA)

2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางมีแป้งยี่ห้อ A
- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางมีแป้งยี่ห้อ B
- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางมีแป้งยี่ห้อ C
- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางไม่มีแป้งยี่ห้อ D
- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางไม่มีแป้งยี่ห้อ E
- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนาไม่มีแป้งยี่ห้อ F
- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนาไม่มีแป้งยี่ห้อ G

ถุงมือที่ใช้ในการทดลองมีสมบัติดังนี้

- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางมีแป้งและไม่มีแป้ง เป็นถุงมือที่บางสวมใส่ได้ง่าย มีน้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัมต่อ 1 ซ้าง มีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 370 ตารางเซนติเมตรต่อ 1 ซ้าง ความหนาของถุงมือที่นิ้วมือและฝ่ามือเท่ากับ 0.06 มิลลิเมตร ขนาดกลาง (M) (ภาพที่ 2-1 และ ภาพที่ 2-2)

- ถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนาไม่มีแป้งเป็นถุงมือยางธรรมชาติที่มีความหนาแข็งแรงเหมาะที่จะใช้ในการทำความสะอาดซักล้างและนำไปใช้ในอุตสาหกรรม มีน้ำหนักเฉลี่ย 32 กรัมต่อ 1 ซ้าง ความหนาของถุงมือที่นิ้วมือและฝ่ามือเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร ขนาดกลาง (M) (ภาพที่ 2-3)

ถุงมือที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้



ภาพที่ 2-1 ถุงมืออย่างธรรมชาติชนิดบางไม่มีแปรง



ภาพที่ 2-2 ถุงมืออย่างธรรมชาติชนิดบางมีแปรง



ภาพที่ 2-3 ถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนาไม่มีแป้ง

2.1.3 สารเคมี

- Acetone AR grade (Merck, Germany)
- Hexane HPLC grade (Lab-scan, Thailand)
- Hexane AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Florisil[®] 60-100 mesh (Thailand)
- Methanol AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Acetonitrile AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Ethanol 70% AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Dichloromethane AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Sodium sulfate anhydrous AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Hydrochloric acid AR grade (Lab-scan, Thailand)
- Sodium hydroxide AR grade (Sigma, Sweden)

2.2 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์

2.2.1 เครื่องมือ

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (Russel รุ่น 150, Thailand)
- เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง (superspeed centrifuge)
- เครื่องกลั่นระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) (Switzerland)
- เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker) (Switzerland)
- เตาไฟฟ้าระบบแม่เหล็ก (hot plate/ magnetic stirrer)
- เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น PB 303-S, Switzerland)
- เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB 204, Switzerland)
- ตู้ดูดควัน (hood) Major super flow fume cupboard (Thailand)
- ตู้ดูดความชื้น (desiccator) electronic hygostat (Thailand)
- ตู้อบความร้อน (hot air oven)
- ตู้เย็น (refrigerator) อุณหภูมิ 4 °C
- ตู้เยือกแข็ง (freezer) อุณหภูมิ - 20 °C
- เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน (deionizer) Millipore รุ่น Milli-Q 185 plus (Switzerland)
- เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high-performance liquid chromatograph รุ่น Agilent 1100 series, USA.) พร้อมด้วยตัวตรวจวัด ultraviolet-visible detector

2.2.2 อุปกรณ์

- กรรไกร
- นาฬิกาจับเวลา
- เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- หลอดเซนติฟิวจ์
- ขวดน้ำกลั่น
- ที่วางหลอดทดลอง (rack)
- หลอดทดลองขนาด 16x 100 mm พร้อมฝาปิด
- หลอดหยดพร้อมจุกยาง

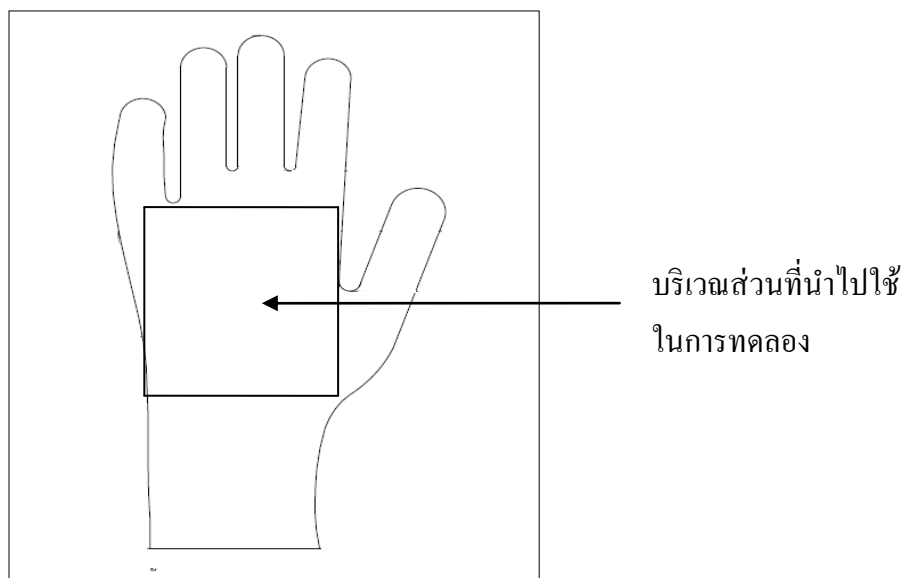
- ปากกาเขียนฉลากบนเครื่องแก้ว
- กระจกบอควง
- แท่งแก้ว
- น้ำมันปาล์ม
- ซ้อนดักสาร
- ลูกยางสำหรับดูด
- Vial ขนาด 2.0 ml พร้อมฝา
- Micropipette ขนาด 10-1,000 ul และ tip
- Erlenmeyer flask ขนาด 125 และ 250 ml
- Beaker ขนาด 10, 50, 250 ml
- Volumetric flask ขนาด 50, 125 และ 250 ml
- Filter membrane, 0.22 μm
- Filter set
- Glass syringe ขนาด 5 ml
- Disposable SV ring filter 2 μm 13 mm (nylon)
- Pipette ขนาด 1, 2, 5 และ 10 ml
- Volumetric pipette ขนาด 5 และ 10 ml
- Hot plate
- Aluminium foil
- คอลัมน์ชนิด Hypersil ODS เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.0 mm ความยาว 250 mm ความหนา 5 μm รุ่น Agilent 1100 series, USA

2.3 การเตรียมอุปกรณ์

เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสาร TMTD, ZDMC และ ZDEC ที่มาจากเครื่องแก้วและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการจึงต้องล้างทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำยาทำความสะอาดเครื่องแก้วแล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปาแล้วจึงนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นนำเครื่องแก้วไปชะสารอินทรีย์ที่ยังค้างอยู่ออกด้วยอะซิโตน และเฮกเซน ตามลำดับ แล้วนำเครื่องแก้วไปอบให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Livadara, *et al.*, 2007)

2.4 การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้นจะนำถุงมือชนิดต่าง ๆ มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ บริเวณอุ้งมือ (ภาพที่ 2-4) ตามขนาดที่เราต้องการแล้วนำมาวิเคราะห์ โดยเลือกตัดเฉพาะส่วนของฝ่ามือ เนื่องจากการตัดที่ฝ่ามือจะได้แผ่นใหญ่ทำให้ตัดตามขนาดที่เราต้องการได้ง่ายและสะดวก และเป็นส่วนที่สัมผัสอาหารได้มากที่สุดส่วนหนึ่ง ซึ่งในความเป็นจริงจะตัดส่วนไหนก็ได้เพราะขั้นตอนการผสมสารเคมีกับน้ำยาง สารแต่ละตัวที่เติมในน้ำยางจะต้องผสมเข้ากับน้ำยางจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) เสียก่อนโดยการกวนซึ่งใช้ใบพัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่พอที่จะเคลื่อนพาน้ำยางผสมอย่างทั่วถึง จึงจะเติมสารตัวอื่นลงไป ทำให้สารเคมีกับน้ำยางที่ใช้ในการผลิตถุงมือยางเป็นเนื้อเดียวกัน (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2548)



ภาพที่ 2-4 ตำแหน่งชิ้นส่วนถุงมือที่นำไปใช้ในการทดลอง

2.5 การวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมต ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร โดยเทคนิคโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง โดยใช้ตัวตรวจวัดอุลตราไวโอเลต วิซิเบิล (ultraviolet-visible) ซึ่งภาพรวมของระบบการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2-5 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การตรวจสอบประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ตัวอย่าง ส่วนของการเตรียมตัวอย่างประกอบด้วย เครื่องเขย่าสารละลาย (shakers)

เครื่อง rotary evaporator, การขจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยวิธีสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid phase extraction, SPE) โดยใช้ Florisil[®] เป็นตัวดูดซับ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC



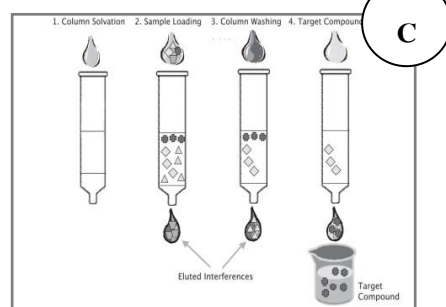
Extraction



Rotary evaporator



HPLC



Solid phase extraction (SPE)

ภาพที่ 2-5 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตโดยภาพ A, B และ C เป็นส่วนของการตรวจสอบประสิทธิภาพ D เป็นส่วนการวิเคราะห์

ในการทดลองได้เตรียมตัวอย่างโดยการตัดถุงมือเป็นชิ้นเล็กขนาด 1 เซนติเมตร \times 1 เซนติเมตร ในการศึกษาระดับการปนเปื้อนของสาร TMTD, ZDMC และ ZDEC และการศึกษาปัจจัยต่างๆ จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร แต่ในการศึกษาผลของ เอธิลอัลกอฮอล์ เข้มข้น 70% จะตัด ชิ้นส่วนขนาด 2.5 เซนติเมตร \times 2.5 เซนติเมตร

2.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน TMTD, ZDMC และ ZDEC

เตรียมสารละลายมาตรฐาน (stock solution) TMTD โดยชั่งสารมา 0.1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตน ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 2000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แล้วพันทับด้วยพาราฟิน (Bergendorff, *et al.*, 2006)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน TMTD จาก stock solution โดยใช้อะซิโตนในการปรับปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน TMTD เท่ากับ 0.5, 1, 5, 10, และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร สารมาตรฐาน ZDMC ก็เตรียมเช่นเดียวกันกับสารประกอบ TMTD ยกเว้นสารมาตรฐาน ZDEC จะปรับปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เท่ากับ 5, 10, 20 และ 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.7 วิธีการทดลอง

สำหรับแผนการทดลองการวิจัยครั้งนี้แบ่งการวิจัยเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในเนื้อถูมมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

2.7.1 การสกัดตัวอย่าง

การสกัดตัวอย่างของสารประกอบ TMTD, ZDMC และ ZDEC ในตัวอย่างถูมมือยางธรรมชาติได้ดัดแปลงวิธีการของ Bergendorff, *et al.*, (2006) และวิธีการของ Suzuki *et al.*, (1993) โดยเริ่มจากชั่งชิ้นส่วนถูมมือยางแต่ละชนิดที่ตัดเป็นชิ้น ขนาด 1.0 เซนติเมตร × 1.0 เซนติเมตร จำนวน 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ตัวทำละลาย acetone และ hexane (AR grade) เป็นตัวสกัดในอัตราส่วน 1:1 (v/v) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปิดทับด้วยอลูมิเนียมฟอยล์และพันทับด้วยพาราฟิน จากนั้นนำมาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย (shakers) ที่ความเร็วรอบ 140 ครั้งต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที แยกชิ้นส่วนถูมมือด้วยการกรองกับกระดาษกรองรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร (GF/F) จากนั้นนำชิ้นส่วนถูมมือถูมมือยางมาสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นล้างกระดาษกรองด้วยเฮกเซน 5 มิลลิลิตรจะได้สารละลายตัวอย่างใส่ในขวดก้นกลม นำสารละลายตัวอย่างไประเหยเพื่อลดปริมาตร โดยอาศัยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้งแล้วละลายสารตัวอย่างด้วย hexane-acetone (1:1, v/v) 5 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปจัดสารปนเปื้อน

2.7.2 การขจัดสารปนเปื้อน

ใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction, SPE) เป็นการแยกสารปนเปื้อนออกโดยสารที่ต้องการถูกดูดซับบนวัสดุภาคนิ่งในคอลัมน์ (ตัวดูดซับที่อยู่ในคอลัมน์) จากนั้นเติมตัวทำละลายเพื่อดึงเอาสารที่เราสนใจที่เกาะกับตัวดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ใช้ฟลอริซิลเป็นวัสดุภาคนิ่งในคอลัมน์เพื่อดูดซับสารประกอบ TMTD, ZDMC และ ZDEC ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

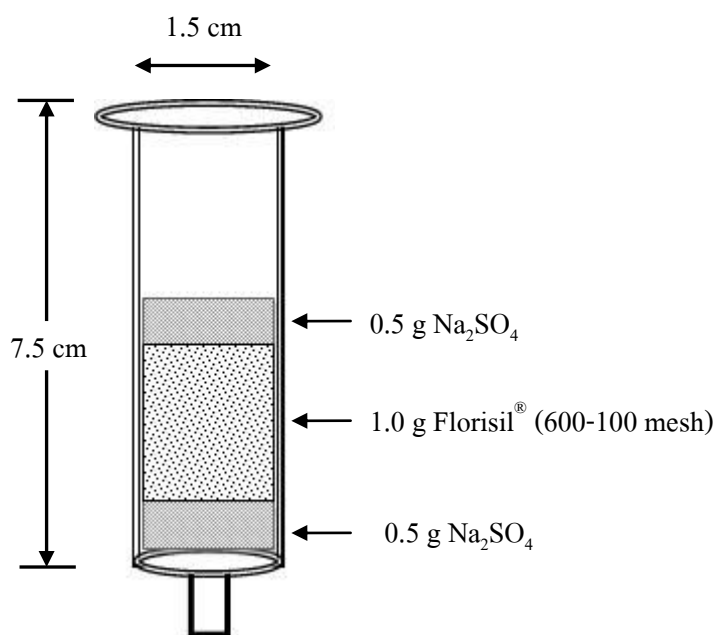
- 1) นำฟลอริซิลไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บใส่ขวดแก้วปิดฝาห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (U.S.EPA, 1996)
- 2) เตรียมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสนำไปอบที่อุณหภูมิ 150- 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บใส่ขวดแก้วปิดฝาห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (USEPA, 1996)

2.7.3 การ pack column

การเตรียมคอลัมน์บรรจุฟลอริซิลจะใช้กระดวยกรองขนาดรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร (GF/F) ที่ตัดเป็นวงกลมขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เซนติเมตร ของ glass syringe ขนาดความจุ 5 มิลลิลิตร รองไว้เป็นฐานในคอลัมน์แก้ว ซึ่งมีความสูง 7.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 0.9 เซนติเมตร แล้วบรรจุด้วย sodium sulfate anhydrous (Na_2SO_4) 0.5 กรัม ตามด้วย Florisil 1.0 กรัม แล้วปิดทับด้วย sodium sulfate anhydrous (Na_2SO_4) อีก 0.5 กรัม (U.S.FDA, 1985; U.S.EPA, 1989) ดังภาพที่ 2-6

การขจัดสารปนเปื้อนมีขั้นตอนดังนี้ (USFDA, 1985, USEPA, 1989)

- 1) ปรับสภาพคอลัมน์ด้วยการเติมเฮกเซน 5 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้วแล้วปล่อยให้แห้ง
- 2) ทำการไหลตัวอย่าง ลงในคอลัมน์แก้วเพื่อให้ตัวอย่างจับกับตัวดูดซับโดยขั้นตอนนี้จะต้องให้แห้ง (ให้แห้งทั้ง solvent ที่มีอยู่จากกระบวนการก่อนหน้าและในตัวอย่าง)
- 3) ทำการชะสารตัวอย่างที่ดูดซับอยู่ในคอลัมน์โดยการเติม เฮกเซน:อะซิโตน 90:10 (v/v) 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้วเพื่อดึงเอาสารที่เกาะกับตัวดูดซับออกมา
- 4) นำสารตัวอย่างที่ได้ไปลดปริมาตร ด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 35-40 °C จนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วย acetonitrile (AR grade) ถ่ายสารละลายใส่ vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC



ภาพที่ 2-6 การ pack column (solid phase extraction, SPE)

2.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาฉีดเข้าเครื่อง high-performance liquid chromatograph (HPLC) รุ่น Agilent 1100 series ใช้คอลัมน์ชนิด Hypersil ODS 4.0×250 mm, 5 μ m ตัวตรวจวัดที่ใช้คือ ultraviolet-visible detector ที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตร เฟสเคลื่อนที่ คือ acetonitrile : น้ำ (60:40) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตรที่ฉีดเข้าเครื่อง คือ 20 ไมโครลิตร ฉีดตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (Suzuki, *et al.*, 1993)

การทดลองที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตในน้ำชะจากถุงมือยางชนิดต่างๆ ที่ใช้สัมผัสอาหาร

2.1 ศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสที่มีต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

2.1.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำชะ

ชั่งถุงมือยางแต่ละชนิดที่ตัดเป็นชิ้น ขนาด 1.0 เซนติเมตร × 1.0 เซนติเมตร มา 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 40 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที ในชุดการทดลองที่ 1-3 ตามลำดับ เนื่องจาก EU ได้มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการใช้วัสดุที่ใช้ในการสัมผัสอาหาร โดยถ้าหากในความเป็นจริงใช้วัสดุสัมผัสอาหารไม่เกิน 30 นาที ให้ใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาที

หากสัมผัสตั้งแต่ 30-60 นาทีให้ใช้เวลา 60 นาที และหากใช้เวลาสัมผัส 60-120 นาที ให้ใช้เวลา 120 นาที (EU Commissioner, 1993) เมื่อครบเวลาก็นำไปจัดสารปนเปื้อนต่อด้วย SPE (เหมือนข้อ 2.7.3) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2.2 ศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ชั่งถุงมือยางแต่ละชนิดที่ตัดเป็นชิ้น ขนาด 1.0 เซนติเมตร×1.0 เซนติเมตร มา 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นใช้น้ำกลั่นที่ปรับพีเอช (pH) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.01 M หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 N ให้มีค่าเท่ากับ 2, 4.6, 7 และ 9 ในชุดการทดลองที่ 1-4 ตามลำดับโดยเติมลงไป 40 มิลลิลิตร ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นำไปจัดสารปนเปื้อนด้วย SPE (เหมือนข้อ 2.7.3) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ชั่งถุงมือยางแต่ละชนิดที่ตัดเป็นชิ้น ขนาด 1.0 เซนติเมตร ×1.0 เซนติเมตร 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตรไปปรับอุณหภูมิ ที่ 4, 25, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ในชุดการทดลองที่ 1-4 ตามลำดับ แล้วแช่ชิ้นส่วนถุงมือลงไป เป็นเวลา 30 นาที นำไปจัดสารปนเปื้อนต่อด้วย SPE (เหมือนข้อ 2.7.3) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

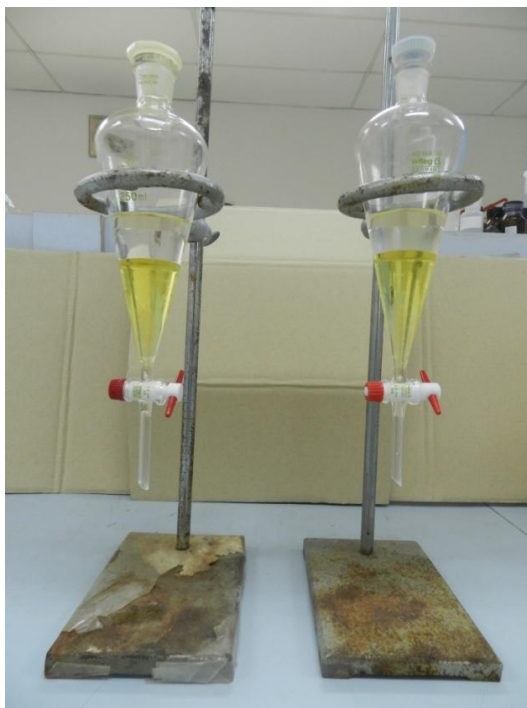
2.4 ศึกษาผลของ เอธิลอัลกอฮอล์ 70% ที่มีต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ชั่งถุงมือยางแต่ละชนิดที่ตัดเป็นชิ้น ขนาด 2.5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำตัวอย่างของถุงมือมาสเปรย์ด้วย เอธิลอัลกอฮอล์ 70% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการทดลองควบคู่ไปกับกลุ่มควบคุม (control) ที่ไม่สเปรย์ด้วยเอธิลอัลกอฮอล์ 70% เมื่อครบกำหนดแล้วก็นำไปจัดสารปนเปื้อนต่อด้วย SPE (เหมือนข้อ 2.7.3) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2.5 ศึกษาผลของไขมัน (น้ำมันปาล์ม) ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และสารกลุ่มไดโทโอคาร์บาเมตจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ชั่งถุงมือยางแต่ละชนิดที่ตัดเป็นชิ้นขนาด 1.0 เซนติเมตร ×1.0 เซนติเมตร 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำน้ำมันปาล์มปริมาตร 40 มิลลิลิตร ที่มีชิ้นส่วนถุงมืออยู่ไปปรับ

อุณหภูมิที่ 25, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ด้วย water bath เป็นเวลา 30 นาที ในชุดการทดลองที่ 1-3 ตามลำดับ จากนั้นสกัดแยกน้ำมันปาล์มออกด้วย methanol โดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) (ภาพที่ 2-7) โดยเอาชั้นบนไปวิเคราะห์ แล้วนำไปจัดสารปนเปื้อนต่อด้วย SPE (เหมือนข้อ 2.7.3) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC



ภาพที่ 2-7 การสกัดแยกน้ำมันออกด้วย methanol โดยใช้กรวยแยก (separatory funnel)

2.9 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์

2.9.1 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (Precision)

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน 10 ซ้ำ เพื่อดูความเที่ยงที่เกิดจากการวิเคราะห์ซ้ำๆ ในสถานะเดียวกัน โดยใช้วิธีเดียวกันห้อง ปฏิบัติการเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกันและผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน แล้วนำไปคำนวณหาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% relative standard deviation, %RSD) ตามสมการ (1) ซึ่งเกณฑ์การยอมรับของ %RSD ต้องมีค่าไม่เกิน 10% จึงจะถือว่าวิธีวิเคราะห์นั้นมีความเที่ยง (FDA, 2005; APHA, AWWA and WEF, 2005; ดุษฎี มั่นความดี และ อุทุมพร สุขม่วง, 2544)

$$\%RSD = \frac{SD}{Mean} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

Mean = ค่าเฉลี่ย

2.9.2 ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy)

ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (accuracy) คำนวณหาค่าร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของสารเคมีโดยการหาปริมาณสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่ได้คืนกลับมาหลังจากการเติม (spike) สารละลายมาตรฐาน ที่ 3 ระดับความเข้มข้น ลงในตัวอย่างถุงมือยาง โดยจะแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเติมสารละลายมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ลงไป เรียกส่วนนี้ว่า spiked samples ส่วนที่ 2 ไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐานลงไป เรียกส่วนนี้ว่าตัวอย่างเริ่มต้น (original sample) จากนั้นทำตามขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์ด้วยวิธีข้างต้น โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลอง 10 ซ้ำ นำค่าความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาร้อยละการได้กลับคืน ตามสมการ (2) ค่า % recovery ที่ได้ควรอยู่ในช่วง 80-120 (FDA, 2005; คุชฎี มั่นความดี และ อุทุมพร สุขม่วง, 2544)

$$\% \text{ recovery} = \frac{(Cs - Cu) \times 100}{C} \quad (2)$$

เมื่อ Cs = ความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน

Cu = ความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่ไม่เติมสารมาตรฐาน

C = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง

2.9.3 การหา limit of detection (LOD) และ limit of quantitation (LOQ)

LOD เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่สามารถตรวจพบได้ และ LOQ เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ โดยที่มีความแม่นยำและความเที่ยงที่ยอมรับได้ (FDA, 2005) โดยทั่วไป LOD คือ ปริมาณสารที่ให้สัญญาณ (signals) เป็น 3 เท่าของสัญญาณรบกวน (noise, N) และ LOQ คือ ปริมาณสารที่ให้สัญญาณประมาณ 10 เท่าของสัญญาณรบกวน สูตรการหา LOD และ LOQ มีดังนี้ (คุชฎี มั่นความดี และ อุทุมพร สุขม่วง, 2544)

$$\text{LOD} = 3 \times \text{SD} \quad (3)$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{SD} \quad (4)$$

วิธีการหา LOD และ LOQ จากการทดลอง เนื่องจาก blank ที่วัดได้มีค่าน้อยมากและบาง การทดลองเป็นศูนย์จึงเตรียมสารมาตรฐาน TMTD และสารกลุ่มไคโทโอคาร์บาเมตที่ระดับความ เข้มข้นต่ำๆ มาเติมในสารละลาย blank แล้วผ่านวิธีการทดลองเหมือนตัวอย่างจากนั้นนำมา วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยฉีดสารละลายตัวอย่าง 10 ซ้ำ เพื่อหาค่า LOD และ LOQ ตามสมการ 3 และ 4

2.9.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของสารเคมีในตัวอย่าง

เมื่อนำสารละลายตัวอย่างที่สกัดจากตัวอย่างไปวิเคราะห์หาสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไคโทโอคาร์บาเมต แล้วนำค่าความเข้มข้นของสาร TMTD และสารกลุ่มไคโทโอคาร์ บาเมต ที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสาร TMTD และสารกลุ่มไคโทโอคาร์บาเมตใน ตัวอย่างตามสมการ (5)

$$\text{สูตร} \quad C = \frac{S \times V}{W} \quad (5)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารเคมีในตัวอย่าง

S = ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ของสารสกัดในสารละลายตัวอย่าง

V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

2.9.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและนำเสนอด้วยกราฟแท่ง ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด วิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ย ระหว่างชนิดถุงมือด้วยสถิติเชิงอนุมานได้แก่ one way ANOVA และ Tukey test และวิเคราะห์ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วย independent sample t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC (Statistical Package for the Social Science/Personal Computer) ในการประมวลผล

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 กราฟมาตรฐานของสาร TMTD, ZDMC และ ZDEC

การศึกษาระดับการปนเปื้อน และปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ และสารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตในถั่วมืออย่างที่ใส่สัมผัสอาหาร โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ตัวตรวจวัดอุลตราไวโอเล็ต วิซิเบิล (ultraviolet-visible detector) จากผลการทดลองพบว่ากราฟแสดงความเข้มข้นเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.5 – 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ของสารละลายมาตรฐานเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ tetramethylthiuram disulfide, TMTD) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เท่ากับ 0.9998 และค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.9979 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 และสัมประสิทธิ์การทำนายมีค่ามากกว่า 0.995 ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดของ EURACHEM (1998) แสดงว่ากราฟมาตรฐานมีช่วงความเข้มข้นที่ยอมรับได้และสมการของกราฟมาตรฐานนั้นมีความเชื่อถือได้ในการทำนายค่า Y ในช่วงความเข้มข้น 0.5 – 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพผนวก ก-1)

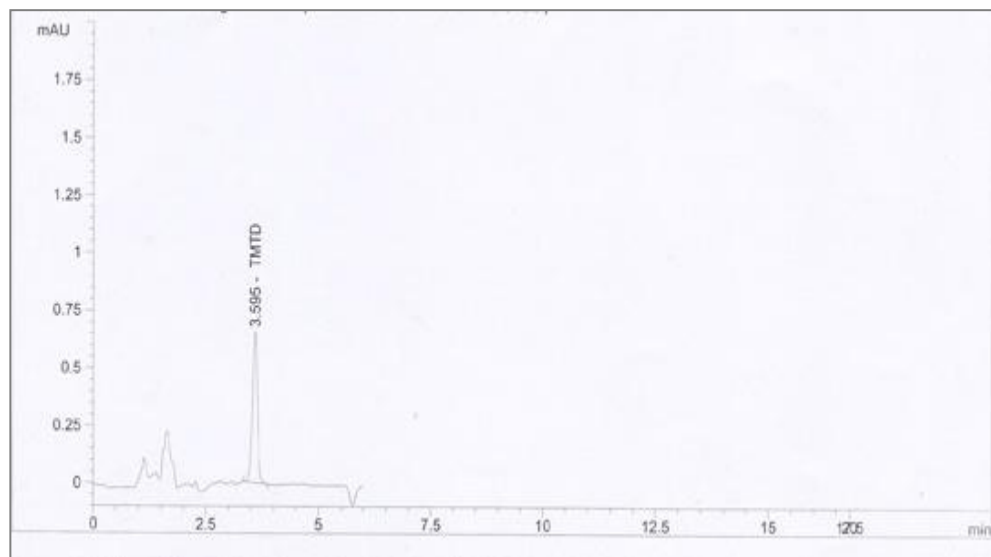
กราฟมาตรฐานของสารละลายซิงค์ไดเมธิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc dimethyldithio carbamate, ZDMC) แสดงความเป็นความเข้มข้นเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.5 – 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐาน ZDMC โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9998 และค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.9997 (ภาพผนวก ก-2)

กราฟมาตรฐานของสารละลายซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc diethyldithio carbamate, ZDEC) แสดงความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 5 – 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9993 และค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.9988 (ภาพผนวก ก-3)

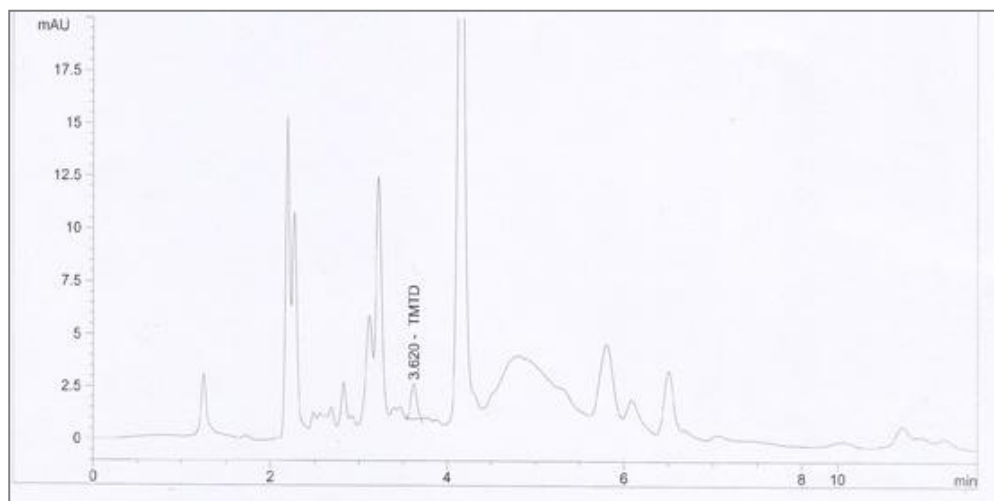
3.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TMTD, ZDMC และ ZDEC และโครมาโทแกรมของ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถั่วมืออย่างธรรมชาติชนิดบางมีแป้ง

โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TMTD พบว่า retention time ของสาร TMTD ปรากฏที่เวลา 3.60 (ภาพที่ 3-1) และโครมาโทแกรมของ TMTD ที่พบในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถั่วมืออย่างชนิดมีแป้ง พบว่าค่า retention time ของสาร TMTD ปรากฏที่เวลา 3.62 มีการเลื่อน (shift) จากโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TMTD เนื่องจากการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

(stock solution) ของสาร TMTD ใช้สารละลายอะซิโตน แต่ในการสกัดตัวอย่างขั้นตอนสุดท้ายใช้อะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile) แล้ว จึงนำไปวิเคราะห์ จึงอาจเป็นสาเหตุมาจากตัวทำละลายที่ใช้แตกต่างกัน จึงทำให้ค่า retention time มีการเลื่อน (ภาพที่ 3-2)



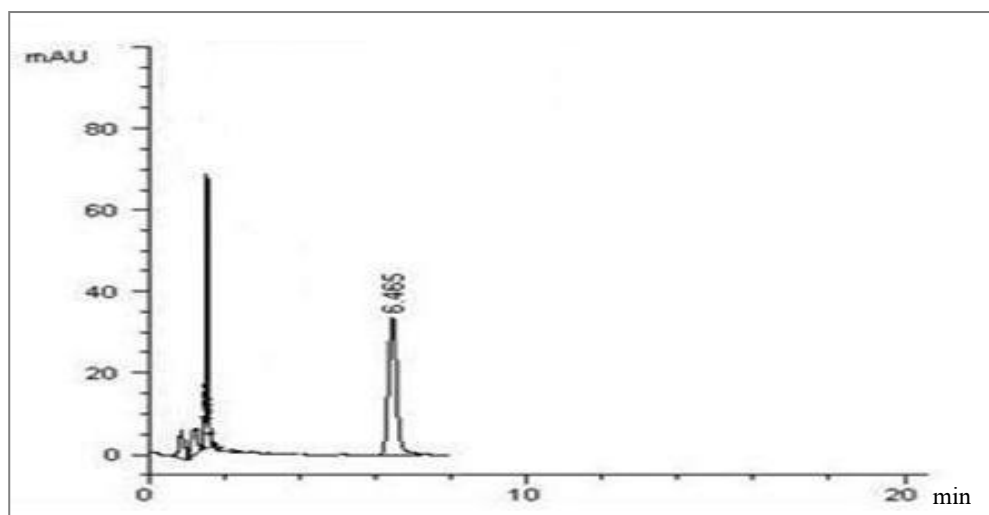
ภาพที่ 3-1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TMTD ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
พีคของ TMTD ปรากฏที่เวลา 3.60 ± 0.20 นาที



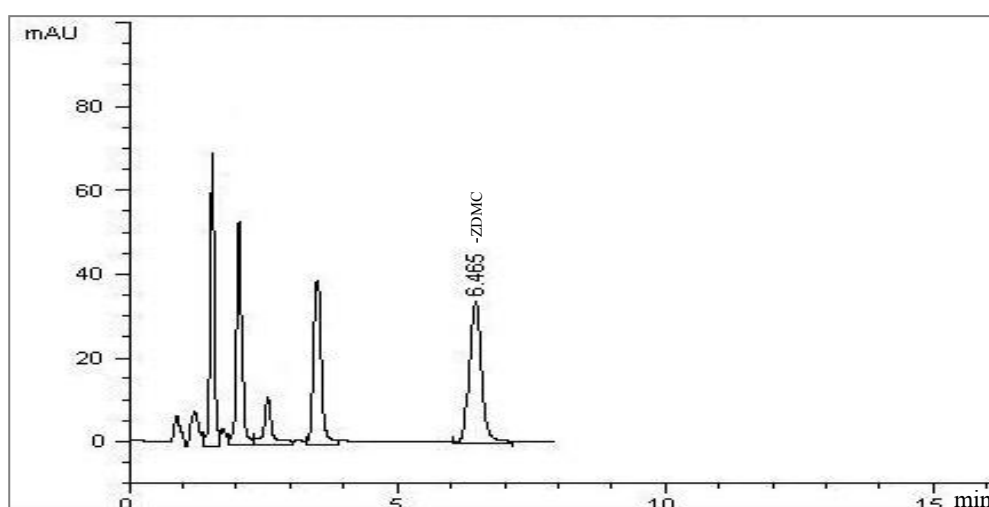
ภาพที่ 3-2 โครมาโทแกรมของ TMTD ที่พบในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้ง

โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน ZDMC พบว่าค่า retention time ของสาร ZDMC ปรากฏที่เวลา 6.46 (ภาพที่ 3-3) และโครมาโทแกรมของ ZDMC ที่พบในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถูงมือยางชนิดมีแป้ง พบว่าค่า retention time ของสาร ZDMC ปรากฏที่เวลา 6.46 (ภาพที่ 3-4)

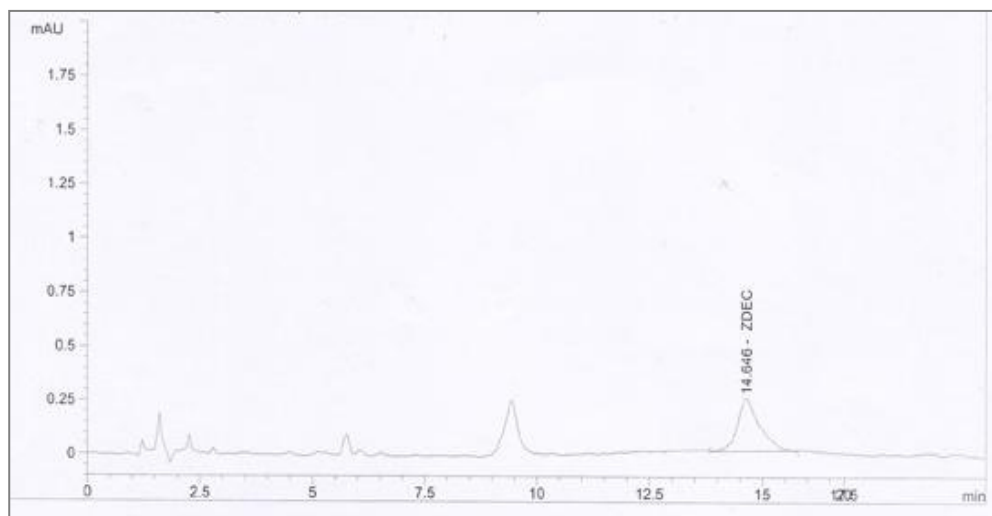
โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน ZDEC พบว่าค่า retention time ปรากฏที่เวลา 14.65 (ภาพที่ 3-5) โดยตรวจไม่พบฟลักของ ZDEC ในตัวอย่างถูงมือยาง



ภาพที่ 3-3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน ZDMC ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ฟลักของ ZDMC ปรากฏที่เวลา 6.46 ± 0.01 นาที



ภาพที่ 3-4 โครมาโทแกรมของ ZDMC ที่พบในตัวอย่างสกัดจากเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้ง



ภาพที่ 3-5 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน ZDEC ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พีคของ ZDEC ปรากฏที่เวลา 14.65 ± 0.01 นาที

3.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ

ร้อยละการได้คืนกลับในตัวอย่างเนื้อถูงมือยาง น้ำกลั่นและน้ำมันปาล์มอยู่ในช่วง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (คุชฎี มั่นความดี และ อุทุมพร สุขม่วง, 2544 FDA, 2005) ผลการทดสอบคุณภาพของวิธีการวิเคราะห์พบว่าวิธีนี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมีความเชื่อถือได้ โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) ของสาร TMTD เท่ากับ 6 และ 22 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3-1) ส่วนค่า LOD และ LOQ ของสาร ZDMC คือ 9 และ 31 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3-2)

ตารางที่ 3-1 ค่า LOD และ LOQ ของสาร TMTD

ความเข้มข้นของสาร ละลาย มาตรฐาน ($\mu\text{g/mL}$)	ความเข้มข้น TMTD ที่ตรวจวัดได้ ($\mu\text{g/mL}$)		% RSD	LOD	LOQ
	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้	SD			
0.05	0.040	0.002	5.50	0.006	0.022

ตารางที่ 3-2 ค่า LOD และ LOQ ของสาร ZDMC

ความเข้มข้นของสาร ละลาย มาตรฐาน ($\mu\text{g/mL}$)	ความเข้มข้น ZDMC ที่ตรวจวัดได้ ($\mu\text{g/mL}$)		% RSD	LOD	LOQ
	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้	SD			
0.05	0.038	0.003	8.15	0.009	0.031

ค่าร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในเนื้อถั่วมือยางแต่ละยี่ห้อ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80.63-92.18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3-3) ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ จึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำเพียงพอในการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD ในตัวอย่างเนื้อถั่วมือยางยี่ห้อต่างๆ

ตารางที่ 3-3 ร้อยละการได้คืนกลับของการสกัดสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างชิ้นส่วนถั่วมือยางธรรมชาติ

ตัวอย่าง (n=10)	ความเข้มข้น TMTD ($\mu\text{g/g}$)	ค่าที่พบ ($\mu\text{g/g}$)		% Recovery (Mean \pm sd)
		ตัวอย่างที่เติม สารมาตรฐาน (Mean \pm sd)	ตัวอย่างที่ไม่เติม สารมาตรฐาน (Mean \pm sd)	
ถั่วมือยางมีแป้งยี่ห้อ A	10.00	18.75 \pm 0.33	9.90 \pm 0.15	87.74 \pm 3.03
ถั่วมือยางมีแป้งยี่ห้อ B	8.00	14.82 \pm 0.17	7.76 \pm 0.30	89.20 \pm 5.74
ถั่วมือยางมีแป้งยี่ห้อ C	6.50	12.64 \pm 1.57	6.39 \pm 0.18	89.63 \pm 5.26
ถั่วมือยางไม่มีแป้งยี่ห้อ D	4.50	7.92 \pm 0.21	4.36 \pm 0.10	80.63 \pm 4.87
ถั่วมือยางไม่มีแป้งยี่ห้อ E	4.30	8.13 \pm 0.12	4.22 \pm 0.04	88.52 \pm 6.89
ถั่วมือยางชนิดหนายี่ห้อ F	1.70	3.24 \pm 0.04	1.68 \pm 0.04	92.18 \pm 2.91
ถั่วมือยางชนิดหนายี่ห้อ G	1.80	3.29 \pm 0.08	1.79 \pm 0.03	85.54 \pm 5.06

ค่าร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ ZDMC ในเนื้อถั่วมือยางแต่ละยี่ห้อ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 82.14-93.52 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3-4) ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่

สามารถยอมรับได้ จึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำพอในการวิเคราะห์สารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างเนื้อถูงมือยางยี่ห้อต่างๆ

ตารางที่ 3-4 ร้อยละการได้คืนกลับของการสกัดสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างชิ้นส่วนถูงมือยางธรรมชาติ (n=10)

ตัวอย่าง (n =10)	ความเข้มข้น ZDMC ($\mu\text{g/g}$)	ค่าที่พบ ($\mu\text{g/g}$)		% Recovery (Mean \pm sd)
		ตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (Mean \pm sd)	ตัวอย่างที่ไม่เติมสารมาตรฐาน (Mean \pm sd)	
ถูงมือยางมีแป้งยี่ห้อ A	4.50	8.03 \pm 0.21	4.38 \pm 0.10	82.14 \pm 5.12
ถูงมือยางมีแป้งยี่ห้อ B	3.40	6.55 \pm 0.12	3.34 \pm 0.11	93.52 \pm 3.04
ถูงมือยางมีแป้งยี่ห้อ C	2.40	4.45 \pm 0.08	2.34 \pm 0.05	86.46 \pm 5.30
ถูงมือยางไม่มีแป้งยี่ห้อ D	1.70	3.18 \pm 0.06	1.65 \pm 0.12	85.43 \pm 4.30
ถูงมือยางไม่มีแป้งยี่ห้อ E	1.70	3.20 \pm 0.04	1.66 \pm 0.09	85.68 \pm 3.45

3.3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างน้ำชะ

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือในน้ำชะทำการทดลองโดยการเติมสารละลายมาตรฐาน TMTD และ ZDMC ลงไปในน้ำชะที่ระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างน้ำชะและวิเคราะห์สาร TMTD และ ZDMC เพื่อหาร้อยละการได้คืนกลับดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 3-5 และ 3-6

ตารางที่ 3-5 ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำชะ (n=10)

ความเข้มข้นของ TMTD ($\mu\text{g/g}$)	ค่าที่พบ ($\mu\text{g/g}$)		% Recovery (Mean \pm sd)
	ตัวอย่างที่เติมสาร	ตัวอย่างที่ไม่เติม	
	มาตรฐาน (Mean \pm sd)	สารมาตรฐาน (Mean \pm sd)	
0.50	2.67 \pm 0.02	2.23 \pm 0.01	85.50 \pm 4.43
1.00	3.11 \pm 0.02	2.26 \pm 0.03	83.50 \pm 1.29
5.00	6.56 \pm 0.08	2.26 \pm 0.04	86.74 \pm 0.70

จากตารางที่ 3-5 พบว่าค่าร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 83.50-86.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ จึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำเพียงพอในการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำชะที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 3-6 ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างน้ำชะ (n=10)

ความเข้มข้นของ ZDMC ($\mu\text{g/g}$)	ค่าที่พบ ($\mu\text{g/g}$)		% Recovery (Mean \pm sd)
	ตัวอย่างที่เติมสาร	ตัวอย่างที่ไม่เติม	
	มาตรฐาน (Mean \pm sd)	สารมาตรฐาน (Mean \pm sd)	
0.50	1.01 \pm 0.05	0.61 \pm 0.05	81.60 \pm 4.34
1.00	1.43 \pm 0.04	0.61 \pm 0.03	82.20 \pm 7.94
5.00	4.88 \pm 0.03	0.64 \pm 0.01	86.60 \pm 0.97

จากตารางที่ 3-6 พบว่าค่าร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างน้ำที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 81.60 -86.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ จึงถือว่าวิธีวิเคราะห์

นี้มีความแม่นยำเพียงพอในการวิเคราะห์ ZDMC ในตัวอย่างน้ำชะที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สารประกอบ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือในน้ำมันปาล์มทำการทดลองโดยการเติมสารละลายมาตรฐาน TMTD และ ZDMC ลงไปในน้ำมันปาล์มที่ระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 3-7 ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม (n=10)

ความเข้มข้นของ TMTD ($\mu\text{g/g}$)	ค่าที่พบ ($\mu\text{g/g}$)		% Recovery (Mean \pm SD)
	ตัวอย่างที่เติมสาร มาตรฐาน	ตัวอย่างที่ไม่เติม สารมาตรฐาน	
	(Mean \pm SD)	(Mean \pm SD)	
0.50	1.33 \pm 0.02	0.87 \pm 0.04	92.80 \pm 8.07
1.00	1.74 \pm 0.03	0.88 \pm 0.04	89.00 \pm 5.24
5.00	3.73 \pm 0.04	0.88 \pm 0.06	94.50 \pm 3.18

จากตารางที่ 3-7 พบว่าค่าร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ TMTD ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 89.00 - 94.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ จึงถือว่ามีความแม่นยำเพียงพอในการวิเคราะห์ TMTD ในตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 3-8 ร้อยละการได้คืนกลับของสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม (n=10)

ความเข้มข้นของ ZDMC ($\mu\text{g/g}$)	ค่าที่พบ ($\mu\text{g/g}$)		% Recovery (Mean \pm SD)
	ตัวอย่างที่เติมสาร	ตัวอย่างที่ไม่เติม	
	มาตรฐาน (Mean \pm SD)	สารมาตรฐาน (Mean \pm SD)	
0.50	1.71 \pm 0.03	1.31 \pm 0.02	80.89 \pm 6.71
1.00	2.09 \pm 0.05	1.30 \pm 0.05	86.16 \pm 3.86
5.00	4.12 \pm 0.08	1.30 \pm 0.02	94.43 \pm 3.25

จากตารางที่ 3-8 พบว่าค่าร้อยละการได้คืนกลับที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร ของสารประกอบ ZDMC ในตัวอย่างน้ำมันปาล์ม มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80.89 - 94.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ จึงถือว่ามีความแม่นยำเพียงพอในการวิเคราะห์ ZDMC ในตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.4 ผลการวิเคราะห์ สารประกอบ TMTD, ZDMC และ ZDEC ในเนื้อถูงมื่อยาง

สารประกอบ TMTD, ZDMC และ ZDEC เป็นสารประกอบกลุ่มไทยูเรมและซิงค์ไดไทโอคาร์บามेट ที่เคยมีรายงานในต่างประเทศว่าพบตกค้างในถูงมื่อยาง (Bergendorff, *et al.*, 2007) แต่ผลการวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้พบเฉพาะสารประกอบ TMTD และ ZDMC ตรวจไม่พบสารประกอบ ZDEC ในทุกตัวอย่าง ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-9 พบว่าถูงมื่อยางธรรมชาติชนิดมีแป้งมีปริมาณสารตกค้างของสารประกอบ TMTD และ ZDMC เฉลี่ย 6.5-10 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 2.4-4.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าถูงมื่อยางธรรมชาติชนิดไม่มีแป้งที่มีปริมาณเฉลี่ย 4.4 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 1.7 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และถูงมื่อยางธรรมชาติชนิดหนาที่มีปริมาณ TMTD เฉลี่ย 1.8 ไมโครกรัมต่อกรัม ตรวจไม่พบสาร ZDMC ในถูงมื่อยางชนิดหนาและตรวจไม่พบการปนเปื้อนของ ZDEC ในเนื้อถูงมื่อยางธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 3-9 ความเข้มข้นของสารประกอบ TMTD ZDMC และ ZDEC ในเนื้อถุงมือยางชนิดต่างๆ
(หน่วย : ไมโครกรัม/กรัม)

ตัวอย่าง (n=10)	TMTD	ZDMC	ZDEC
	(mean \pm SD)	(mean \pm SD)	(mean \pm SD)
ถุงมือยางธรรมชาติมีแป้งยี่ห้อ A	10.06 \pm 0.69 ^a	4.54 \pm 0.57 ^a	Nd
ถุงมือยางธรรมชาติมีแป้งยี่ห้อ B	8.10 \pm 0.29 ^{ab}	3.41 \pm 0.34 ^{ab}	Nd
ถุงมือยางธรรมชาติมีแป้งยี่ห้อที่ C	6.53 \pm 0.42 ^{ab}	2.43 \pm 0.37 ^{bc}	Nd
ถุงมือยางธรรมชาติไม่มีแป้งยี่ห้อ D	4.52 \pm 0.32 ^{bc}	1.73 \pm 0.43 ^c	Nd
ถุงมือยางธรรมชาติไม่มีแป้งยี่ห้อ E	4.34 \pm 0.21 ^{bc}	1.74 \pm 0.39 ^c	Nd
ถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนายี่ห้อ F	1.71 \pm 0.10 ^c	Nd	Nd
ถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนายี่ห้อ G	1.89 \pm 0.09 ^c	Nd	Nd

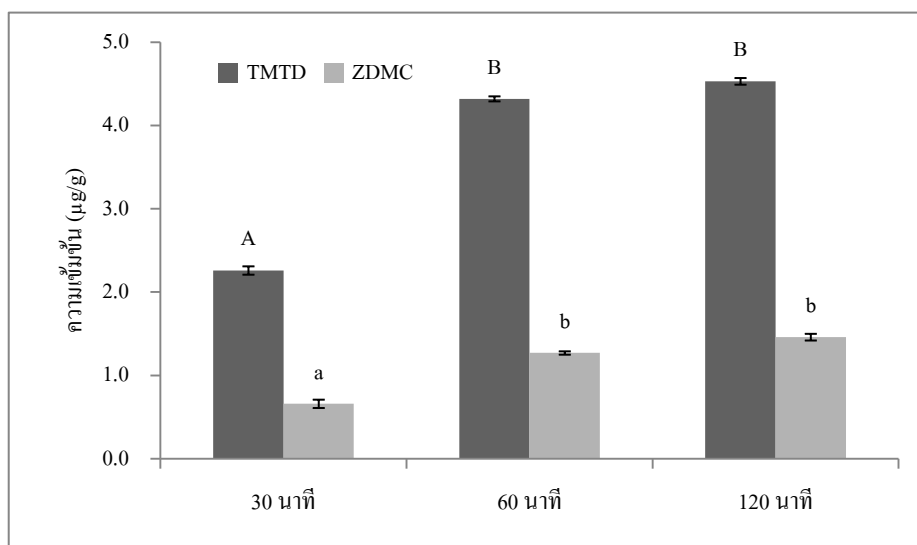
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน หมายถึง ค่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Nd = ตรวจไม่พบ (น้อยกว่า 0.05 ไมโครกรัมต่อกรัม)

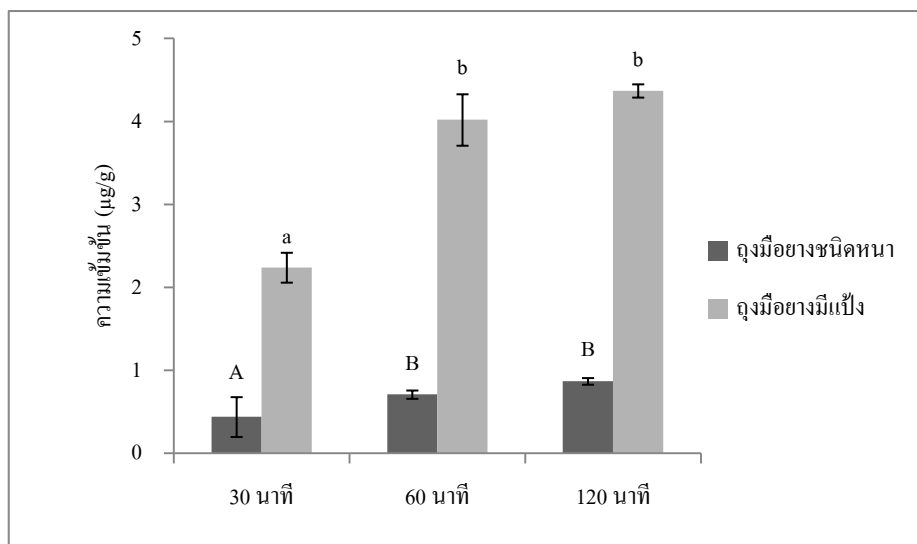
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ในตัวอย่างถุงมือยางแต่ละชนิด พบถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้ง มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดไม่มีแป้งและถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนายี่ห้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3.5 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ในน้ำชะถุงมือยางธรรมชาติ

เมื่อนำถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งมาแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง โดยกำหนดระยะเวลาสัมผัสที่ 30, 60 และ 120 นาที พบว่า TMTD และ ZDMC มีการเคลื่อนย้ายออกมาจนถึงจุดอิ่มตัวที่เวลาประมาณ 60 นาที เพราะว่ามีปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาไม่แตกต่างจากเวลาสัมผัส 120 นาที ($p \geq 0.05$) (ภาพที่ 3-8) และทำการทดลองเปรียบเทียบโดยนำถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งกับถุงมือยางชนิดหนามาแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องกำหนดระยะเวลาเท่ากัน พบว่า TMTD ในถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งมีปริมาณการเคลื่อนย้ายสูงกว่าถุงมือยางชนิดหนา ส่วนสาร ZDMC ไม่ได้มีการทดลองเนื่องจากผลการวิเคราะห์การใช้ตัวทำละลายสกัดในเนื้อถุงมือยางชนิดหนาตรวจไม่พบสาร ZDMC (ภาพที่ 3-9)



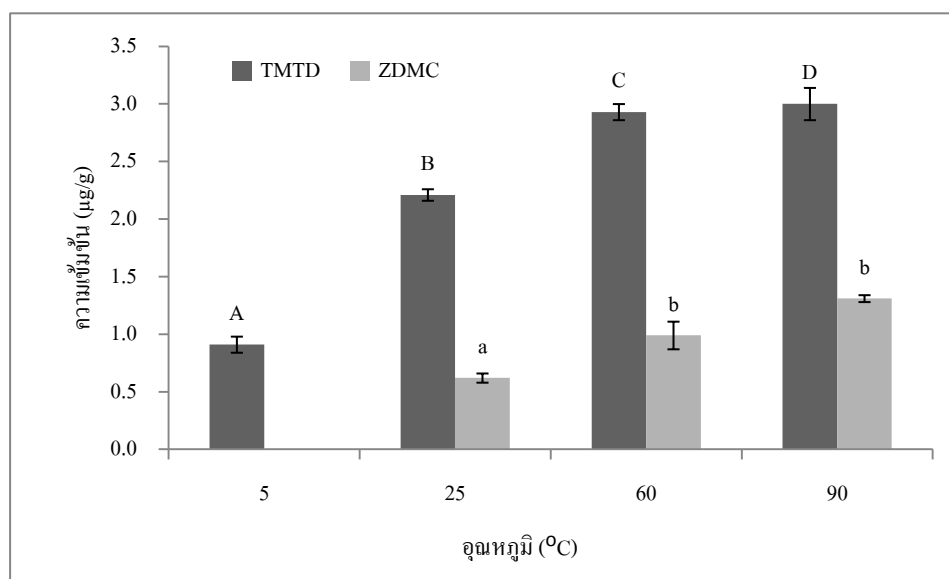
ภาพที่ 3-6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำกลั่นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน



ภาพที่ 3-7 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำกลั่นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งและถุงมือยางชนิดหนาที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ กัน

3.6 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเคลื่อนย้ายของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ด้วยน้ำกลั่นจากถุ้งมีอย่างธรรมชาติ

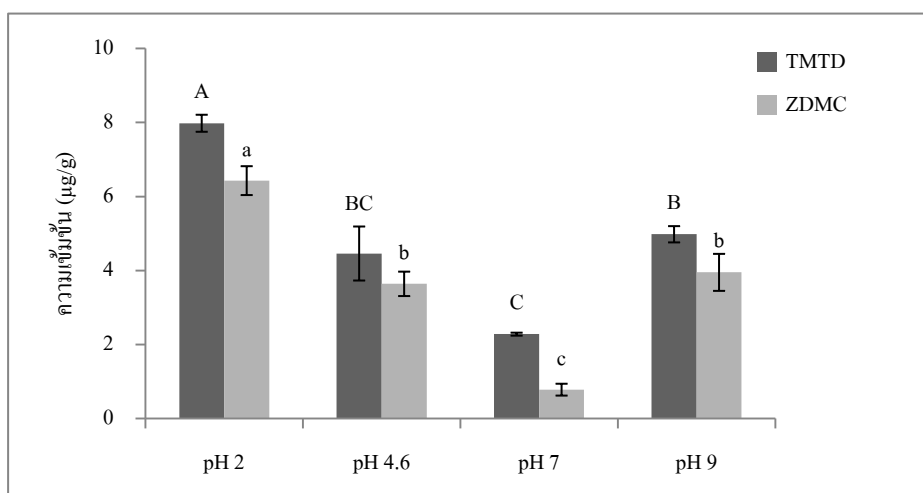
เมื่อนำถุ้งมีอย่างธรรมชาติชนิดมีแป้งไปแช่ในน้ำกลั่น เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 5, 25, 60 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการเคลื่อนย้ายของ TMTD ที่ 60 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าถึงจุดอิ่มตัวแล้วที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส แต่ ZDMC ถึงขีดสูงสุดที่ 90 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3-8 พบว่าปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาสสารประกอบ TMTD จะมีค่าสูงกว่าสารประกอบ ZDMC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกอุณหภูมิเนื่องจากคุณสมบัติของสารประกอบ TMTD สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อยคือละลายได้ 103 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร แต่สารประกอบ ZDMC เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยมากในสภาวะปกติ แต่พอมีปัจจัยในเรื่องอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องจึงทำให้สาร ZDMC ละลายน้ำได้บ้าง



ภาพที่ 3-8 ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุ้งมีอย่างชนิดมีแป้งหลังจากแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

3.7 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และ ZDMC จากถูงมือยางธรรมชาติ

เมื่อแช่ชิ้นส่วนถูงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้งในสารละลายน้ำที่ปรับระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้เท่ากับ (pH) 2, 4.6, 7 และ 9 เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้นทั้งในสภาวะที่เป็นกรด (pH 2 และ 4.6) และสภาวะที่เป็นด่าง (pH 9) อาจเป็นเพราะทั้งกรดและด่างสามารถสลายพันธะในโมเลกุลของยาง ทำให้สารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่แทรกอยู่ในโมเลกุลยางสามารถถูกชะออกมาได้ง่ายขึ้น ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3-9

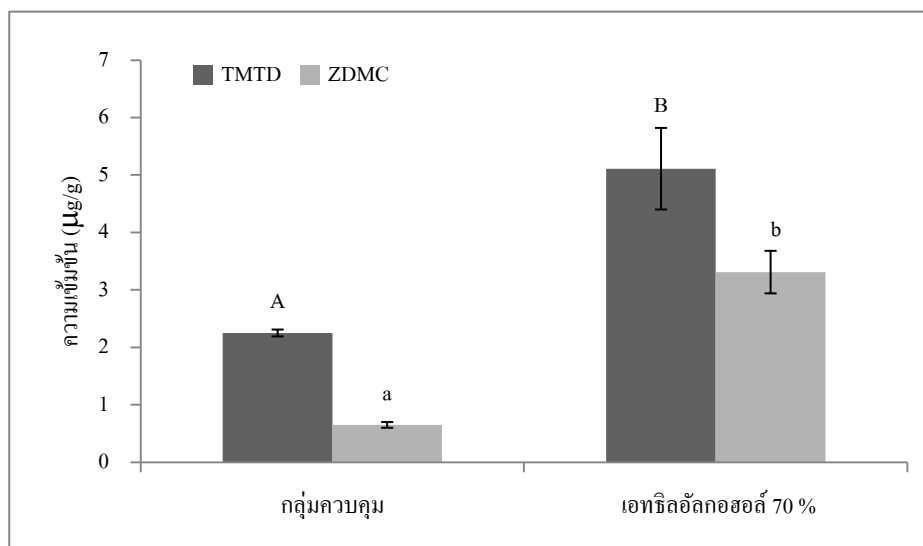


ภาพที่ 3-9 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่ถูกเคลื่อนย้ายออกจากถูงมือยาง ที่ pH ต่างๆ

3.8 อิทธิพลของเอทิลแอลกอฮอล์ 70% ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบ TMTD และ ZDMC จากถูงมือยางธรรมชาติ

เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์ 70% สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จึงนิยมนำไปใช้ในการการฉีดพ่นบนถูงมือยางก่อนเข้าสายการผลิตอาหารในโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อนำชิ้นส่วนถูงมือยางธรรมชาติมาสเปรย์ด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ 70% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรบนถูงมือ แล้วนำมาแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที โดยทำการทดลองควบคู่กับกลุ่มควบคุม (Control) ที่ไม่สเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70% พบว่าสารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกจากถูงมือยางที่สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70% ได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเป็นเพราะเอทิลแอลกอฮอล์สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อยางได้บ้างและสารประกอบทั้งสองสามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์จึงถูกชะออกมาที่ผิวของถูงมือยางได้ง่าย

เมื่อนำถุงมือไปแช่น้ำกลั่นต่อก็ทำให้ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายสู่น้ำกลั่นได้มากกว่ากลุ่มควบคุม ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3-10

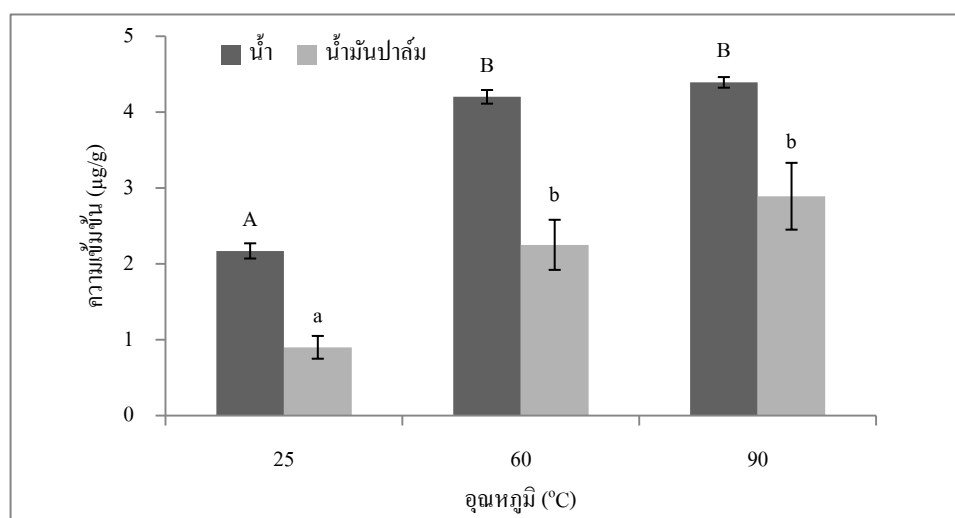


ภาพที่ 3-10 ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือหลังจากสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70%

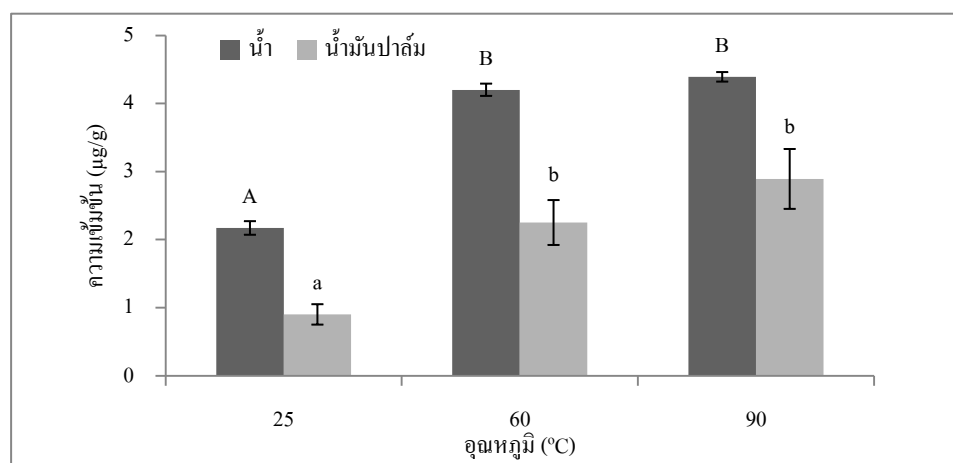
3.9 อิทธิพลของน้ำมันปาล์มต่อการเคลื่อนย้ายของสารประกอบ TMTD และ ZDMC จากถุงมือยางธรรมชาติ

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ใช้มากในการปรุงอาหาร โดยเฉพาะอาหารทอดจะทำให้มีความหอมและกรอบจึงนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารและในครัวเรือนเนื่องมาจากน้ำมันปาล์มผลิตได้มากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นจึงทำให้มีราคาถูกกว่าน้ำมันชนิดอื่น (สมมาตร แสงประดับ, 2554) และมีปริมาณวิตามินอีในปริมาณสูงซึ่งวิตามินอีจะเป็นตัวต่อต้านการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและคาร์บอนของโมเลกุลในน้ำมันพืชจึงเป็นผลดีต่อผู้บริโภค (กัลยา กิจบุญชู, 2554) เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีกรดไขมัน (fatty acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุ C, H และ O มีหมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เพียง 1 หมู่ อยู่ที่ปลายด้านหนึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วมีคุณสมบัติชอบน้ำซึ่งต่ออยู่กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ต่อกันเป็น โซ่ยาวเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเนื่องจากส่วนที่ไม่มีขั้วของกรดไขมันมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าหมู่คาร์บอกซิลจึงทำให้กรดไขมันไม่ละลายน้ำและสามารถละลายได้ในน้ำมัน (Manuel *et al.*, 2004) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับเอสเทอร์ที่ละลายในน้ำได้เล็กน้อยแต่สามารถละลายได้ในน้ำมันปาล์ม

จากผลการศึกษาเมื่อนำชิ้นส่วนถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้งมาแช่ในน้ำมันปาล์มที่มีอุณหภูมิ 25, 60 และ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที พบว่าสารประกอบ TMTD เคลื่อนย้ายออกมาน้อยกว่าปริมาณที่เคลื่อนย้ายสู่น้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 3-11) แต่สารประกอบ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมาในน้ำมันปาล์มได้สูงกว่าในน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 3-12) เนื่องจาก ZDMC สามารถละลายได้ดีในน้ำมันปาล์ม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าทั้งสารประกอบ TMTD และ ZDMC จะถูกชะออกมามากขึ้น



ภาพที่ 3-11 ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางสู่น้ำและน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 3-12 ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายจากถุงมือยางออกมาสู่น้ำและน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ

3.10 ปริมาณสูงสุดของสารประกอบ TMTD และ ZDMC ที่ยินยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวของถุงมือ

สหภาพยุโรป (EU) ใช้ออกกฏระเบียบด้านวัสดุและสิ่งของที่สัมผัสอาหาร (food contact materials) เพื่อป้องกันสารอันตรายหลุดออกจากวัสดุที่สัมผัสอาหารปนเปื้อนสู่อาหารได้ โดย EU ได้กำหนดค่ามาตรฐานของ tolerable daily intake (TDI) ของสารประกอบ TMTD คือ 8.90 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน ถ้าหากสมมติให้น้ำหนักเฉลี่ยของคนทั่วไป เท่ากับ 60 กิโลกรัม และพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ เท่ากับ 370 ตารางเซนติเมตร จะได้ปริมาณสูงสุดของ TMTD ที่ยอมให้ถูกชะออกมาจากถุงมือได้ไม่เกิน $(8.90 \times 60) / 370 = 1.44$ ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร/วัน ส่วน ZDMC ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานใดๆ และปริมาณที่เคลื่อนย้ายออกมานั้นน้อยมาก จึงยังไม่กำหนดปริมาณสูงสุดของ ZDMC ที่ยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือให้ได้

ผลของการคำนวณปริมาณสาร TMTD และ ZDMC ที่ปัจจัยต่างๆต่อพื้นที่ผิวของตัวอย่างถุงมืออย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3-10 ถึง ตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-10 ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางธรรมชาติ ชนิดมีแป้งต่อพื้นที่ผิวสู่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลา (นาที)	TMTD (ng/cm ²)	ZDMC (ng/cm ²)
30	13.40 ± 0.50	3.80 ± 0.40
60	25.20 ± 0.40	7.50 ± 0.16
120	26.60 ± 0.50	8.50 ± 0.40

ตารางที่ 3-11 ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุ้งมือยางธรรมชาติ ชนิดมีแป้งต่อพื้นที่ผิวส่วนน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (C°)	TMTD (ng/cm ²)	ZDMC (ng/cm ²)
5	5.00 ± 0.60	Nd
25	13.30 ± 0.30	3.70 ± 0.20
60	17.10 ± 0.40	5.80 ± 0.70
90	18.40 ± 0.90	7.90 ± 0.02

หมายเหตุ : Nd = ตรวจไม่พบ (น้อยกว่า 0.05 ไมโครกรัมต่อกรัม)

ตารางที่ 3-12 ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุ้งมือยางธรรมชาติ ชนิดมีแป้งต่อพื้นที่ผิวส่วนสารละลายน้ำที่ pH 2, 4.6, 7 และ 9

pH	TMTD (ng/cm ²)	ZDMC (ng/cm ²)
2	47.00 ± 1.50	3.80 ± 2.30
4.6	26.00 ± 4.40	21.00 ± 2.10
7	13.00 ± 0.44	4.00 ± 0.96
9	29.00 ± 1.50	23.00 ± 3.10

ตารางที่ 3-13 ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางใช้สัมผัสอาหารต่อพื้นที่ผิวหลังจากฉีดพ่นเอธิลแอลกอฮอล์ 70% โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

กลุ่มทดลอง	TMTD (ng/cm ²)	ZDMC (ng/cm ²)
กลุ่มควบคุม	13.00 ± 0.44	3.00 ± 0.32
เอธิลแอลกอฮอล์ 70%	30.00 ± 4.40	19.00 ± 2.20

ตารางที่ 3-14 ปริมาณของสาร TMTD และ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาของถุงมือยางต่อพื้นที่ผิวสู่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ ใช้สัมผัสอาหารที่เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	TMTD (ng/cm ²)	ZDMC (ng/cm ²)
25	5.00 ± 0.80	8.00 ± 1.90
60	13.00 ± 2.30	15.00 ± 3.30
90	16.00 ± 2.60	17.00 ± 2.20

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบเตตระเมธิลไทูรัม ไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD) และซิงค์ไดไทโอคาร์บาเมต (zinc-dithiocarbamates) ในถุงมือยางธรรมชาติ ที่ใช้สัมผัสอาหาร และศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารประกอบเหล่านี้จากถุงมือใช้สัมผัสอาหาร โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยใช้ตัวตรวจวัด Ultraviolet-visible detector คอลัมน์ที่ใช้คือ Hypersil ODS 4.0×250 mm, 5 μ m ที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตร เฟสเคลื่อนที่คือ acetonitrile : น้ำ (60:40) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตรที่ฉีดเข้าเครื่อง คือ 20 ไมโครลิตร ฉีดตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (Suzuki, *et al.*, 1993) โดยสารประกอบ TMTD และ ZDMC มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9998 และ 0.9998 ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) ของสารประกอบ TMTD คือ 6 และ 22 ตามลำดับ ส่วนค่า LOD และ LOQ ของสารประกอบ ZDMC คือ 9 และ 31 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) มีค่าไม่เกิน 10 ค่าร้อยละการคืนกลับ (% recovery) มากกว่า 80 ขึ้นไป แสดงว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้ (FDA, 2005; APHA, AWWA and WEF, 2005; คุชฎี มั่นความดี และ อุทุมพร สุขม่วง, 2544) โดยมีผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ TMTD และสารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร

การศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ TMTD, ZDMC และ ZDEC ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติจากการวิเคราะห์ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ ได้แก่ ถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้ง ถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดไม่มีแป้ง และถุงมือยางธรรมชาติอย่างหนา ผลการศึกษาพบว่าถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้งมีปริมาณสารตกค้างของ TMTD เฉลี่ย 6.5-10 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดไม่มีแป้งและถุงมือยางธรรมชาติอย่างหนา ที่มีปริมาณเฉลี่ย 4.4 และ 1.8 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนสาร ZDMC ในถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดมีแป้งมีปริมาณสารตกค้าง เฉลี่ย 2.4 – 4.5 ไมโครกรัมต่อกรัม และในถุงมือยางธรรมชาติอย่างบางชนิดไม่มีแป้ง เฉลี่ย 1.7 ไมโครกรัมต่อกรัม ตรวจไม่พบการ

ปนเปื้อนของ ZDMC ในถุงมืออย่างอ่อนหนา และตรวจไม่พบการปนเปื้อนของ ZDEC ในเนื้อถุงมืออย่างธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด

4.1.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารประกอบ TMTD และ ZDMC ออกจากถุงมืออย่างธรรมชาติ

- 1.) ระยะเวลาสัมผัส สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้นเมื่อแช่ในน้ำนานขึ้น โดยที่ TMTD เคลื่อนย้ายออกมามากกว่า ZDMC
- 2.) อุณหภูมิ สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกจากถุงมืออย่างเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น โดยที่ TMTD เคลื่อนย้ายออกมามากกว่า ZDMC
- 3.) สถานะความเป็นกรด-ด่าง สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้นทั้งในสถานะที่เป็นกรดและสถานะที่เป็นด่าง
- 4.) เอทิลแอลกอฮอล์ 70% สารประกอบ TMTD และ ZDMC เคลื่อนย้ายออกจากถุงมืออย่างได้มากขึ้นเมื่อสเปรย์ถุงมืออย่างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70% ก่อนนำไปแช่ในน้ำ
- 5.) ไขมัน (น้ำมันปาล์ม) สารประกอบ TMTD เคลื่อนย้ายออกมาน้อยลงเมื่อแช่ในน้ำมันปาล์ม แต่สารประกอบ ZDMC เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้นเมื่อแช่ในน้ำมันปาล์ม

ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยดังกล่าวข้างต้นส่วนใหญ่มีผลทำให้สาร TMTD และ ZDMC มีการเคลื่อนย้ายออกมามากขึ้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค จึงควรมีการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารประกอบ TMTD ที่ยินยอมให้ถูกเคลื่อนย้ายออกจากถุงมืออย่างที่ใช้สัมผัสอาหารให้มีค่าไม่เกิน $1.4 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ นอกจากนี้ผู้ใช้ถุงมือสัมผัสอาหารควรได้รับคำแนะนำให้หลีกเลี่ยงปัจจัยที่เอื้อต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารดังกล่าวที่อาจจะปนเปื้อนในอาหารด้วย

4.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.) ข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
 - ควรมีการกำหนดมาตรฐานของถุงมืออย่างและถุงมือพลาสติกที่ใช้ในการสัมผัสอาหารเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

2.) ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

- ควรมีการศึกษาการเคลื่อนย้ายออกมาของสาร TMTD และสารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ของเล่นเด็กที่ทำด้วยยาง จูกันมยาง วัสดุหรือเครื่องมือแพทย์ที่ทำด้วยยาง ดูงยางอนามัย เป็นต้น เพื่อพิจารณากำหนดมาตรฐานเพิ่มเติม

3.) ข้อเสนอแนะต่อผู้บริโภค

- ควรหลีกเลี่ยงการใช้ถุงมือสัมผัสอาหารในสถานะที่เพิ่มการเคลื่อนย้ายสาร TMTD และสารกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตออกจากถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร

- การใช้ถุงมือสัมผัสกับอาหารที่มีระยะเวลานาน
- การใช้ถุงมือสัมผัสกับอาหารที่อุณหภูมิสูง
- การใช้ถุงมือสัมผัสกับอาหารที่มีความเป็นกรดและเป็นด่าง

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา. 2551. ข้อมูลรายชื่อโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ จังหวัดสงขลา. กลุ่มสถิติและเผยแพร่สารสนเทศอุตสาหกรรม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. ความเป็นอันตรายของ tetramethylthiuram disulfide (TMTD) (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?ID=796> (เข้าถึงเมื่อ 18 กันยายน 2553)
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. ความเป็นอันตรายของ zinc dimethyldithiocarbamate (ZDMC) (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?ID=796> (เข้าถึงเมื่อ 18 กันยายน 2553)
- กัลยา กิจบุญชู. 2554. อาหารกับการส่งเสริมสุขภาพ. สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://inmu.mahidol.ac.th> (เข้าถึงเมื่อ 12 กันยายน 2554)
- ศุภฤดี มั่นความดี และ อุทุมพร สุขม่วง. 2544. การพิสูจน์ความใช้ได้ของวิธีทดสอบทางเคมี (Chemical Method Validation). เอกสารประกอบการฝึกอบรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- นุชนาฎ ฅ ระนอง. 2541. ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2541. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- บรรจง วิทย์วิเศษศักดิ์, จันทิภา ปุรินทรภิบาล, กัญญารัตน์ หลงเศษ และชูไธณีย์ อิงคิง. 2553. การตรวจสอบหาสารกลายพันธุ์ในน้ำทิ้งและในบรรยากาศการทำงานภายในโรงงานผลิตถุงมือยางในจังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการยางพาราแห่งชาติครั้งที่ 2 วันที่ 6-7 พฤษภาคม 2553. กรุงเทพมหานคร. หน้า 191-200.
- บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัย และ ปรีชา ป็องภัย. 2534. การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์. เอกสารกลุ่มวิจัยวิศวกรรมยางและพลาสติก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- พลชิต บัวแก้ว. 2531. สารเคมีสำหรับน้ำยาง. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรวิชาการ กระบวนการผลิตภัณฑ์ยาง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- ภัทรา กานตศิลป์. 2531. น้ำยางข้นและการผลิตถุงมือยาง. เอกสารประกอบการบรรยายในการ สัมมนาเชิงวิชาการเรื่อง อุตสาหกรรมน้ำยางข้นและเทคโนโลยีการผลิตถุงมือยาง 17-18 พฤศจิกายน 2531. กรุงเทพมหานคร. หน้า 2-47.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2424. น้ำยางธรรมชาติ. ยางพารา 2 (1): 19-27.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2536. เทคโนโลยีการยาง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2536. อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. เอกสารวิชาการเรื่องยาง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2537. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล, พลชิต บัวแก้ว และภัทรา กานตศิลป์. 2533. การผลิตถุงมือยาง (NR glove manufacture). สงขลา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล, วิภา เสวตกนิษฐ และภัทรา กานตศิลป์. 2536. รายงานการวิจัยและ พัฒนาการผลิตถุงมือยางการแพทย์.
- ทีมวิจัยการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545. การ ปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://pack.cutip.net/foodcon> (เมื่อ 23 กันยายน 2553).
- ธานีทร์ เลปนันท. 2532. การทำน้ำยางข้น. กสิกร 62 (1): 23-30.
- ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 9. 2552. ถุงมือยาง. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://siweb.dss.go.th/dss_doc/fulltext/radio/R6.pdf (เมื่อ 23 กันยายน 2553).

ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. 2553. สาร tetramethylthiuram disulfide (TMTD) และ zinc dimethyldithiocarbamate (ZDMC) (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=796> (เมื่อ 23 กันยายน 2553).

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย. 2548. การเติมสารเคมีผสมกับน้ำยาง. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www2.diw.go.th/safety/> (เมื่อ 25 ตุลาคม 2553).

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2552. มูลค่าการส่งออกถุงมือยาง. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.rubberthai.com/rubberthai> (เมื่อ 5 กันยายน 2553).

สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย. 2545. รายงานโครงการวิจัยเรื่อง การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้น ภายใต้งบโครงการวิจัยเรื่อง การจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมาคม แสงประดับ. 2551. ระบบตลาดน้ำมันปาล์มในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานีและกระบี่ (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://thai.oil.marketing.tr.th> (12 กันยายน 2554).

APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edition. Washington DC: American Public Health Association.

Bergendorff, O., Persson, C., and Hansson, C. 2006. High-performance liquid chromatography analysis of rubber allergens in protective gloves used in health care. Contact Dermatitis 55: 210–215.

Bergendorff, O., Persson, C., Ludtike, A. 2007. Chemical changes in rubber allergens during vulcanization. Contact Dermatitis 52: 152-157.

Cvek, B and Dvorak, Z. 2007. “Targeting of Nuclear Factor - kB and Proteasome by Dithiocarbamate Complexes with Metals” . Biochemical cell Biology 42 (11): 56-63.

- EURACHEM. 1998. A laboratory guide to method validation and related topics. The fitness on purpose of analytical methods. LGC (Teddington) Ltd. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=eurachem> (เมื่อ 28 ตุลาคม 2554).
- Food and Drug Administration (FDA). 2005. Validation and verification guidance for human drug analytical method. ORA laboratory procedure. USA. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://scholar.google.co.th/scholar?q=Food+and+Drug+Administration+%28FDA%29.+2005>. (เมื่อ 28 ตุลาคม 2554).
- Fracasso, M.E., Franceschetti, P. and Mossini, E. 1999. Exposure to mutagenic airborne articulate in rubber manufacturing plants. Mutation Research 441: 43-51.
- Leivadara, S.V., Nikolaou, A. D. and Lekkas, T. D. 2007. Determination of organic compounds In bottled waters. Food Chemistry 108: 277-286.
- Manuel, C., Susan, H., Virender, S., and Jon, L. 2004. Evidence for unpredicted transmembrane domains in acetylcholine receptor subunits. Biochemistry 82 : 84-95.
- Mortelmans, K and Zeiger, E. 2001. "Mutagens that are not carcinogen: faulty theory or faulty test". Mutation Research 492: 29-38.
- Ramesh, R., Dalvi P.S., Dalvi L.H., *et al.* 2009. Comparative liver metabolism and toxicity of carbon disulfide influenced by various inducers of P450 isoenzymes in rats. Journal Toxicology International 16: 83-89.
- Sharma, V.K., Aulakh, J.S. and Malik, A.K. 2003. Thiram: degradation, application and analytical methods. Journal of Environmental Monitoring 5: 717-723.

Suzuki, T., Yaguchi, K. and Kano, I. 1993. "Screening methods for asulam, oxine-copper and thiram in water by high-performance liquid chromatography after enrichment with a minicolumn", Journal of Chromatography 643: 173-179.

The Commission of the European Communities. 2007. Laying down transitional migration limits for plasticisers in gaskets in lids intended to come into contact with foods. Commission Regulation (EC) No. 372/2007 of 2 April 2007.

Tsumura, Y., Ishimitsu, S., Saito, I., Kaihara, A., Yoshii, K., Nakamura, Y. and Tonogai, Y. 2000. Di (2-ethylhexyl) phthalate contamination of retail packed lunches caused by PVC glove used in the preparation of food. National Institute of Health Sciences 18: 569-579.

USEPA. 2010. The determination of dithiocarbamates pesticides in municipal and industrial wastewater. EPA.Method 630.1. Environmental Protection Agency. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.epa.gov/oppbead1/methods/ecms2z.htm> (เมื่อ 25 ตุลาคม 2553)

USEPA. 1996. Draft for public health goal for di- (2-ethylhexy) phthalate (DEHP) in drinking water. California Environmental Protection Agency.

USEPA. 1989. Evaluation of sample extract cleanup using solid-phase extraction cartridges project report. (December).

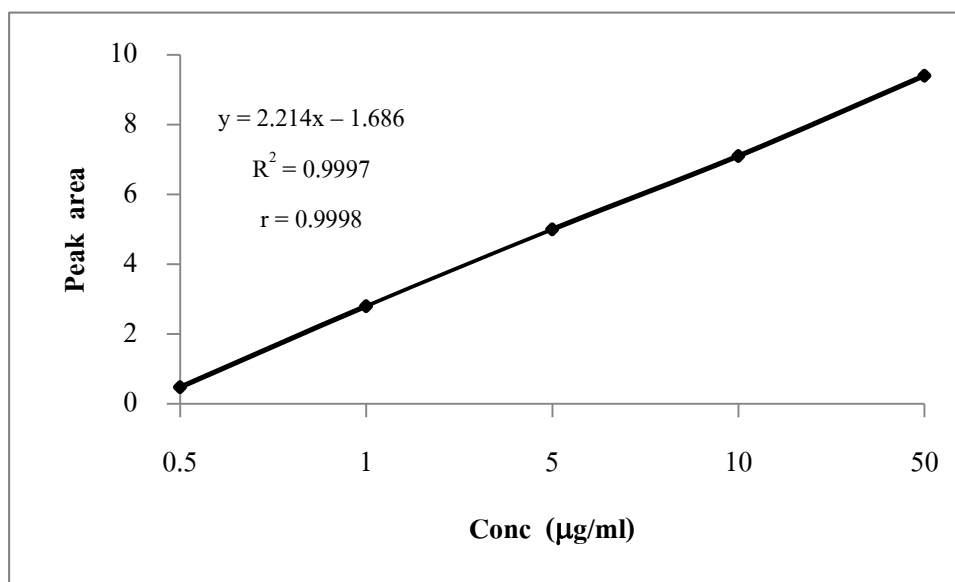
United States Food and Drug Administration (USFDA). 1985. Pesticides Analytical Manual. Volume 1 (July).

USEPA. 2009. TMTD สืบค้นจาก: <http://www.epa.gov/HPV> (เมื่อ 7 กันยายน 2553).

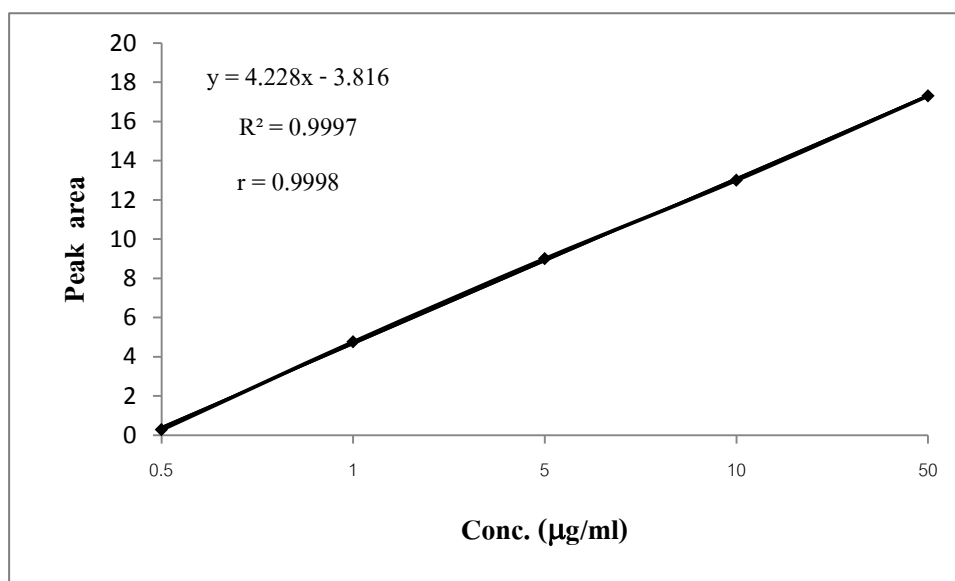
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

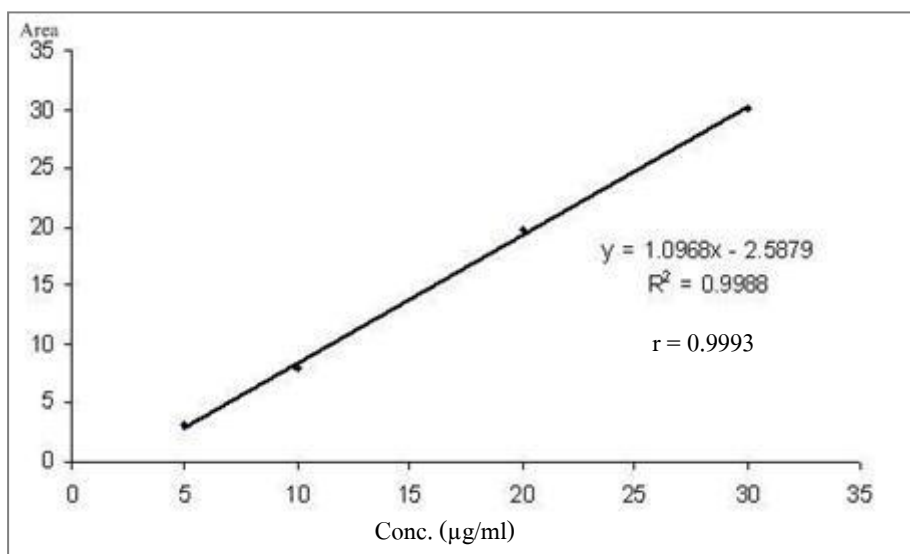
กราฟมาตรฐานของ TMTD, ZDMC และ ZDEC



ภาพผนวก ก-1 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารประกอบ TMTD



ภาพผนวก ก-2 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารประกอบ ZDMC



ภาพผนวก ก-3 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารประกอบ ZDEC



ภาพผนวก ก-4 การนำสารละลายตัวอย่างไประเหยเพื่อลดปริมาตรโดยอาศัยเครื่อง
กลั่นระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)



ภาพผนวก ก-5 ขั้นตอนการสกัดแบบใช้เทคนิคสกัดด้วยตัวดูดซับ (solid phase extraction, SPE)



ภาพผนวก ก-6 การสกัดด้วยมืออย่างธรรมชาติชนิดมีแป้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลาย HCL 0.01 M ปริมาตร 1000 ml

∴ เตรียมสารละลาย HCL 0.01 M จาก Conc. HCL คือ 37% w/w

ความหนาแน่น 1.19 g/ml MW ของ HCL คือ 36.46 g/mol

ในสารละลาย Conc. HCL 100 g จะมี HCL อยู่ 37 g

ในสารละลาย Conc. HCL 100/1.19 ml จะมี HCL อยู่ 37×36.48 g/mol

ในสารละลาย Conc. HCL 84.074 ml จะมี HCL อยู่ 1.015 mol

$$\begin{aligned} \text{ในสารละลาย Conc. HCL 1000 ml จะมี HCL อยู่ } & \frac{(1.015 \times 1000)}{84.034} \text{ mol} \\ & = 12.078 \text{ mol} \end{aligned}$$

∴ สารละลาย Conc. HCL มีความเข้มข้น 12.078 M

เนื่องจากต้องการเตรียม HCL 0.01 M จาก HCL 12.078 M

$$\text{จากสมการ } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$12.078 \times V_1 = (0.01) (1000)$$

$$V_1 = 0.828 \text{ ml (ปัดเป็น 828 ไมโครลิตร)}$$

∴ ดูด Conc. HCL มา 0.828 ml ใส่ Volumetric flask

ปรับปริมาตรจนครบ 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น

การเตรียมสารละลาย NaOH 0.01 M ปริมาตร 1000 ml

MW ของ NaOH คือ 40 g/mol

ในสารละลาย NaOH 1000 ml จะมี NaOH อยู่ 0.01 mol

NaOH 1 mol หนัก 40 g

NaOH 0.01 mol หนัก 0.40 g

∴ ชั่ง NaOH มา 0.40 g แล้วผสมละลายด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1000 ml ใน Volumetric flask

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง

ตารางภาคผนวก ข-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ

ตัวอย่างถุงมือยาง (n=10)	ความเข้มข้นของ TMTD ($\mu\text{g/ml}$)										SD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Mean
มีแป้งยี่ห้อ A	9.02	10.23	trace	10.52	10.64	trace	10.89	9.31	9.45	10.43	10.06	0.69
มีแป้งยี่ห้อ B	7.54	trace	8.45	8.14	8.23	7.92	8.43	trace	8.00	8.14	8.10	0.29
มีแป้งยี่ห้อ C	6.34	6.98	6.85	trace	6.81	6.42	6.32	7.12	6.00	5.96	6.53	0.42
ไม่มีแป้งยี่ห้อ D	4.23	4.78	trace	4.65	4.56	4.13	4.76	trace	4.12	4.98	4.52	0.32
ไม่มีแป้งยี่ห้อ E	4.34	4.56	4.52	4.36	trace	4.10	4.65	trace	4.10	2.23	4.34	0.21
ชนิดหนายี่ห้อ F	1.71	1.56	1.78	1.76	1.56	trace	1.80	1.85	1.70	1.69	1.71	0.10
ชนิดหนายี่ห้อ G	1.89	1.94	2.01	1.94	1.68	trace	1.83	1.90	1.98	1.85	1.89	0.09

หมายเหตุ : trace = ตรวจพบแต่ไม่สามารถหาปริมาณได้

ตารางภาคผนวก ข-2 ความเข้มข้นเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ในเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดต่างๆ

ตัวอย่างถูงมือยาง (n=10)	ความเข้มข้นของ ZDMC ($\mu\text{g/ml}$)										SD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Mean
มีแป้งยี่ห้อ A	trace	5.34	4.56	4.18	5.45	4.38	4.82	4.06	4.32	3.75	4.54	0.57
มีแป้งยี่ห้อ B	3.69	3.87	4.00	3.08	trace	3.15	3.15	3.20	3.25	3.38	3.41	0.34
มีแป้งยี่ห้อ C	3.24	2.34	2.26	2.34	2.26	trace	trace	2.09	2.23	2.75	2.43	0.37
ไม่มีแป้งยี่ห้อ D	2.78	1.65	1.56	1.50	1.61	1.45	1.97	1.73	trace	1.34	1.73	0.43
ไม่มีแป้งยี่ห้อ E	2.65	1.67	1.57	1.24	2.03	1.73	1.73	1.46	1.86	1.40	1.74	0.39
ชนิดหนายี่ห้อ F	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-
ชนิดหนายี่ห้อ G	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-

หมายเหตุ : trace = ตรวจพบแต่ไม่สามารถหาปริมาณได้

ตารางภาคผนวก ข-3 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (นาที)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
30	9.45	9.73	10.76	10.25	11.05	10.24	0.60
60	13.58	15.34	14.34	14.86	15.67	14.75	0.74
120	14.32	14.45	16.23	14.78	15.45	15.04	0.79

ตารางภาคผนวก ข-4 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำกลั่นจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (นาที)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
30	2.18	2.34	2.30	2.26	2.26	2.26	0.05
60	4.32	4.28	4.30	4.37	4.34	4.32	0.03
120	4.47	4.50	4.53	4.58	4.60	4.53	0.04

ตารางภาคผนวก ข-5 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ในเนื้อถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (นาที)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
30	3.67	4.76	4.18	3.84	4.43	4.17	0.39
60	5.32	6.45	5.67	6.95	6.73	6.22	0.62
120	7.09	6.45	6.71	7.06	6.87	6.83	0.23

ตารางภาคผนวก ข-6 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำกลั่นจากถูงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (นาที)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
30	0.67	0.70	0.71	0.68	0.56	0.66	0.05
60	1.23	1.30	1.28	1.30	1.27	1.27	0.02
120	1.46	1.50	1.51	1.47	1.38	1.46	0.04

ตารางภาคผนวก ข-7 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำมันปลาจากรังมือของธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
25	1.00	0.87	0.98	1.05	0.67	0.91	0.15
60	2.85	2.12	2.00	2.18	2.13	2.25	0.33
90	3.61	2.67	2.43	2.89	2.87	2.89	0.44

ตารางภาคผนวก ข-8 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกสู่น้ำมันปลาจากรังมือของธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
25	1.23	1.86	1.04	1.60	1.20	1.38	0.33
60	2.42	2.34	2.00	2.89	3.42	2.61	0.55
90	3.21	2.45	2.75	3.23	3.30	2.98	0.37

ตารางภาคผนวก ข-9 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางหลังสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

กลุ่มตัวอย่าง	ความเข้มข้น (µg/ml)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
เอทิลแอลกอฮอล์ 70 %	5.32	5.68	5.82	4.63	4.13	5.11	0.71
กลุ่มควบคุม	2.34	2.26	2.20	2.30	2.19	2.25	0.06

ตารางภาคผนวก ข-10 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางหลังสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

กลุ่มตัวอย่าง	ความเข้มข้น (µg/ml)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
เอทิลแอลกอฮอล์ 70 %	3.65	3.32	3.00	2.89	3.71	3.31	0.37
กลุ่มควบคุม	0.58	0.66	0.70	0.63	0.71	0.65	0.05

ตารางภาคผนวก ข-11 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งสีห่อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
5	0.89	1.00	0.93	0.94	0.80	0.91	0.07
25	2.21	2.14	2.26	2.20	2.28	2.21	0.05
60	2.98	2.80	2.87	2.81	2.93	2.87	0.07
90	3.00	3.17	3.15	3.24	2.87	3.08	0.14

ตารางภาคผนวก ข-12 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งสีห่อ A ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/ml}$)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
25	0.57	0.62	0.70	0.65	0.60	0.62	0.04
60	0.96	1.00	1.15	1.06	0.80	0.99	0.12
90	1.34	1.36	1.28	1.33	1.27	1.31	0.03

ตารางภาคผนวก ข-13 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ pH ต่างๆ

pH	ความเข้มข้น (µg/ml)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
2	8.12	8.23	8.05	7.87	7.63	7.98	0.23
4.6	4.23	4.20	4.00	5.78	4.12	4.46	0.73
7	2.24	2.30	2.36	2.25	2.26	2.28	0.04
9	4.67	4.86	5.12	5.23	5.04	4.98	0.22

ตารางภาคผนวก ข-14 ความเข้มข้นและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารประกอบ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางธรรมชาติชนิดมีแป้งยี่ห้อ A ที่ pH ต่างๆ

pH	ความเข้มข้น (µg/ml)					Mean	SD
	1	2	3	4	5		
2	6.87	6.45	6.73	6.29	5.85	6.43	0.39
4.6	3.14	4.04	3.76	3.56	3.73	3.64	0.33
7	1.08	0.72	0.68	0.70	0.74	0.78	0.16
9	4.12	4.43	4.27	3.76	3.17	3.95	0.50

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ๑ - 1 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาที่ pH ต่างๆ ในชั้นส่วนถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	4.6	3.51400(*)	.28476	.000	2.6993	4.3287
	7	3.83200(*)	.28476	.000	3.0173	4.6467
	9	2.99600(*)	.28476	.000	2.1813	3.8107
4.6	2	-3.51400(*)	.28476	.000	-4.3287	-2.6993
	7	.31800	.28476	.685	-.4967	1.1327
	9	-.51800	.28476	.301	-1.3327	.2967
7	2	-3.83200(*)	.28476	.000	-4.6467	-3.0173
	4.6	-.31800	.28476	.685	-1.1327	.4967
	9	-.83600(*)	.28476	.043	-1.6507	-.0213
9	2	-2.99600(*)	.28476	.000	-3.8107	-2.1813
	2.6	.51800	.28476	.301	-.2967	1.3327
	7	.83600(*)	.28476	.043	.0213	1.6507

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ง - 2 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาที่ pH ต่างๆ ในชั้นส่วนถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	4.6	2.79200(*)	.26145	.000	2.0440	3.5400
	7	3.17600(*)	.26145	.000	2.4280	3.9240
	9	2.48800(*)	.26145	.000	1.7400	3.2360
4.6	2	-2.79200(*)	.26145	.000	-3.5400	-2.0440
	7	.38400	.26145	.478	-.3640	1.1320
	9	-.30400	.26145	.658	-1.0520	.4440
7	2	-3.17600(*)	.26145	.000	-3.9240	-2.4280
	4.6	-.38400	.26145	.478	-1.1320	.3640
	9	-.68800	.26145	.077	-1.4360	.0600
9	2	-2.48800(*)	.26145	.000	-3.2360	-1.7400
	4.6	.30400	.26145	.658	-.4440	1.0520
	7	.68800	.26145	.077	-.0600	1.4360

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 3 - 3 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จากถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I)Tem. (C ^o)	(J) Tem. (C ^o)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	25	-4.09000(*)	.74493	.000	-6.2213	-1.9587
	50	-9.10400(*)	.74493	.000	-11.2353	-6.9727
	90	-12.24200(*)	.74493	.000	-14.3733	-10.1107
25	5	4.09000(*)	.74493	.000	1.9587	6.2213
	50	-5.01400(*)	.74493	.000	-7.1453	-2.8827
	90	-8.15200(*)	.74493	.000	-10.2833	-6.0207
50	5	9.10400(*)	.74493	.000	6.9727	11.2353
	25	5.01400(*)	.74493	.000	2.8827	7.1453
	90	-3.13800(*)	.74493	.003	-5.2693	-1.0067
90	5	12.24200(*)	.74493	.000	10.1107	14.3733
	25	8.15200(*)	.74493	.000	6.0207	10.2833
	50	3.13800(*)	.74493	.003	1.0067	5.2693

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ๔ - 4 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จากถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) Tem. (C°)	(J) Tem. (C°)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	25	-3.06200(*)	.51526	.000	-4.5362	-1.5878
	50	-5.62200(*)	.51526	.000	-7.0962	-4.1478
	90	-7.03400(*)	.51526	.000	-8.5082	-5.5598
25	5	3.06200(*)	.51526	.000	1.5878	4.5362
	50	-2.56000(*)	.51526	.001	-4.0342	-1.0858
	90	-3.97200(*)	.51526	.000	-5.4462	-2.4978
50	5	5.62200(*)	.51526	.000	4.1478	7.0962
	25	2.56000(*)	.51526	.001	1.0858	4.0342
	90	-1.41200	.51526	.063	-2.8862	.0622
90	5	7.03400(*)	.51526	.000	5.5598	8.5082
	25	3.97200(*)	.51526	.000	2.4978	5.4462
	50	1.41200	.51526	.063	-.0622	2.8862

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ๕ - 5 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ จากถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) Tem. (C ^o)	(J) Tem. (C ^o)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
25	60	-1.34200(*)	.21047	.000	-1.9035	-.7805
	90	-1.98000(*)	.21047	.000	-2.5415	-1.4185
60	25	1.34200(*)	.21047	.000	.7805	1.9035
	90	-.63800(*)	.21047	.026	-1.1995	-.0765
90	25	1.98000(*)	.21047	.000	1.4185	2.5415
	60	.63800(*)	.21047	.026	.0765	1.1995

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ๖ - 6 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ จากถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) Tem. (C ^o)	(J) Tem. (C ^o)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
25	60	-1.39800(*)	.39154	.010	-2.4426	-.3534
	90	-1.57200(*)	.39154	.005	-2.6166	-.5274
60	25	1.39800(*)	.39154	.010	.3534	2.4426
	90	-.17400	.39154	.898	-1.2186	.8706
90	25	1.57200(*)	.39154	.005	.5274	2.6166
	60	.17400	.39154	.898	-.8706	1.2186

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ๗ - 7 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ TMTD ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่ระยะเวลาต่าง จากถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) เวลา (นาที)	(J) เวลา (นาที)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30	60	-4.51000(*)	.48552	.000	-5.8634	-3.1566
	120	-4.79800(*)	.48552	.000	-6.1514	-3.4446
60	30	4.51000(*)	.48552	.000	3.1566	5.8634
	120	-.28800	.48552	.841	-1.6414	1.0654
120	30	4.79800(*)	.48552	.000	3.4446	6.1514
	60	.28800	.48552	.841	-1.0654	1.6414

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ๘ - 8 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ ZDMC ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ จากถุงมือยางชนิดมีแป้ง

(I) เวลา (นาที)	(J) เวลา (นาที)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30	60	-2.04800(*)	.31694	.000	-2.9315	-1.1645
	120	-2.66000(*)	.31694	.000	-3.5435	-1.7765
60	30	2.04800(*)	.31694	.000	1.1645	2.9315
	120	-.61200	.31694	.197	-1.4955	.2715
120	30	2.66000(*)	.31694	.000	1.7765	3.5435
	60	.61200	.31694	.197	-.2715	1.4955

* The mean difference is significant at the .05 level.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวสุภา ชำนาญการ		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210920024		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี-ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

สุภา ชำนาญการ และบรรจง วิทยวีรศักดิ์. 2555. ปัจจัยที่มีผลต่อการชะออกมาของสารเตตระเมทิลไทอูเรมไดซัลไฟด์และสารซิงค์ไดเมทิลไดโทโอคาร์บาเมตจากถูงมืออย่างที่ใส่สัมผัสอาหาร. ในเอกสารประชุมวิชาการ “ปัญญาเพื่อความเข้มแข็งของชุมชน” พะเยาวิจัยครั้งที่ 1. 12-13 มกราคม 2555. พะเยา.