



ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของไนโตรซามีนออกมาจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

**Factors Which Affected the Migration of Nitrosamines from Food Contact
Rubber Gloves**

กนกรัตน์ เชิญทอง

Kanokrut Cherntong

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 ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนที่ออกมาจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ผู้เขียน นางสาวกนกรัตน์ เชิญทอง

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณ โฉ)

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

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

.....กรรมการ
(ดร.ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล)

.....กรรมการ
(ดร.บุญญาณี อินทรพัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม

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

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน
เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ _____

(นางสาวกนกรัตน์ เชิญทอง)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____

(นางสาวกนกรัตน์ เจริญทอง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของไนโตรซามีนออกจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร
ผู้เขียน	นางสาวกนกกรัตน์ เชิญทอง
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายชนิดและปริมาณของสารไนโตรซามีนออกจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างถุงมือที่มีจำหน่ายในจังหวัดสงขลามาสกัดสารไนโตรซามีนด้วยวิธีการของแข็ง (solid phase extraction, SPE) และวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออไนเซชัน (gas chromatograph-flame ionization detector) ผลการวิเคราะห์พบเฉพาะไนโตรซามีนชนิด *N*-nitrosodibutylamine (NDBA) ในเนื้อถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง (3 ยี่ห้อ) ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง (2 ยี่ห้อ) ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง และถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง ปริมาณของ NDBA ที่พบอยู่ในช่วงตั้งแต่ ตรวจไม่พบ ถึง 2.08 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อกรัม

ในการทดลองแช่ถุงมือยางธรรมชาติชนิดบางและถุงมือยางธรรมชาติชนิดหนาในน้ำ เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสกับน้ำจาก 30 นาทีเป็น 60 นาที และ 120 นาที พบว่า NDBA มีการเคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การเพิ่มอุณหภูมิ มีผลทำให้ NDBA เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางมากขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อแช่ถุงมือยางในน้ำมันปาล์ม พบว่าปริมาณ NDBA เคลื่อนย้ายออกมามากกว่าเมื่อแช่ถุงมือยางในน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง (ค่าพีเอช = 2) NDBA มีการเคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางมากกว่าในสภาวะที่เป็นกลางและเป็นด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การสเปรย์ถุงมือยางด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์มีผลทำให้ NDBA เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางได้มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคจึงควรมีการกำหนดปริมาณสูงสุดของสาร NDBA ที่ยอมให้เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหารได้ โดยควรมีค่าไม่เกิน 0.03 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้ ผู้ใช้ถุงมือยางสัมผัสอาหารควรได้รับคำแนะนำให้หลีกเลี่ยงปัจจัยที่เอื้อต่อการเคลื่อนย้าย NDBA ออกจากถุงมือยางปนเปื้อนสู่อาหาร

คำสำคัญ: ไนโตรซามีน, *N*-Nitrosodibutylamine (NDBA), ถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร, การเคลื่อนย้าย, วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

Thesis Title	Factors which affected the migration of nitrosamines from food contact rubber gloves
Author	Miss Kanokrut Cherntong
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2012

Abstract

This research aimed to investigate factors which affected the migration of nitrosamines from food contact rubber gloves marketed in Songkhla province. Nitrosamines were analyzed with a gas chromatograph - flame ionization detector (GC-FID) after solid phase extraction (SPE) of leachate of food contact rubber gloves. Only *N*-nitrosodibutylamine (NDBA) was found migrated from slim powdered natural rubber gloves (3 brands), thick powder-free natural rubber gloves (2 brands), nitrile gloves and slim powder-free natural rubber gloves in a range from not detected to 2.08 ± 0.10 mg/g.

In a study of factors which affected the migration of NDBA from slim natural rubber gloves and thick natural rubber gloves. Increasing duration of exposure from 30 minutes to 60 minutes and 120 minutes caused a direct proportional increase of the average NDBA significantly ($p < 0.05$). Increasing the temperature of water and palm oil in which rubber gloves were soaked resulted in more migration of NDBA from the rubber gloves. NDBA was found migrated to palm oil significantly more than to water ($p < 0.01$). NDBA was found migrated from rubber gloves more in a high acidity condition (pH 2) than in neutral and basic conditions. Spraying 70 % ethyl alcohol on rubber gloves caused NDBA to migrate from the gloves significantly more than those in the control group ($p < 0.05$)

For consumers' safety, maximum allowances for migration of NDBA were recommended for food contact gloves (0.03 ng/cm^2). In addition, food contact glove users should be advised to avoid the factors which affect the migration of nitrosamines to food.

Keyword : Nitrosamines, N-Nitrosodibutylamine (NDBA), food contact rubber gloves, migration, Gas Chromatograph

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.บรรจง วิทย์วิรศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในแก้ปัญหาต่าง ๆ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิทย์ สุวรรณโณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐกรรม ดร.ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล และดร.ปญญาณิช อินทรพัฒน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไข ตลอดจนช่วยตรวจสอบความถูกต้องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการและนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อจ่าบุญและคุณแม่เนตยา เชิญทอง รวมถึงทุกคนในครอบครัวเป็นอย่างสูง ที่สนับสนุนทุนการศึกษา ตลอดจนให้ความรัก ความช่วยเหลือ ความห่วงใย และเป็นกำลังใจเสมอมา

ท้ายสุดขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาบัณฑิตศึกษาคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กนกรัตน์ เชิญทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(13)
รายการภาพประกอบ	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.2.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR)	2
1.2.2 ถุงมือยาง	4
1.2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับสารกลุ่มไนโตรซามีน	13
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	27
1.5 กรอบแนวคิดของงานวิจัย	27
1.6 ขอบเขตงานวิจัย	28
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	28
บทที่ 2 วิธีวิจัย	29
2.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์	29
2.1.1 สารมาตรฐาน (standard chemical)	29
2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	29
2.1.3 สารเคมี	30
2.1.4 เครื่องมือ	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.5 วัสดุและอุปกรณ์	31
2.2 วิธีดำเนินการ	32
2.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง	32
2.2.2 การเตรียมชั้นถุงมือในการทดลอง	32
2.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ในโตรซามีน	35
2.2.4 การสร้างกราฟมาตรฐาน (standard calibration)	35
2.2.5 ชุดการทดลอง	35
2.3 การวิเคราะห์ในโตรซามีน	39
2.3.1 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง	40
2.3.2 การคำนวณหาปริมาณสารตัวอย่างในสารละลายตัวอย่าง	41
2.3.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์	41
2.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ	43
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	44
3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ (Method validation)	45
3.1.1 ค่าความแม่นยำของการสกัดตัวอย่างถุงมือยาง	46
3.1.2 ค่าความแม่นยำของการสกัดในน้ำ	46
3.1.3 ค่าความแม่นยำของการสกัดในน้ำปาล์ม	47
3.2 ผลการวิเคราะห์ NDBA ในถุงมือยางชนิดต่างๆ	50
3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะออกของ NDBA จากถุงมือยาง	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 ผลของระยะเวลาที่ใช้สัมผัสต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยาง	51
3.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร	53
3.3.3 ผลของไขมันต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร	54
3.3.4 ผลของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร	54
3.3.5 ผลของการสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ต่อการชะออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร	56
3.4 การตรวจยืนยันผลด้วยเทคนิค Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)	58
บทที่ 4.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
4.1 สรุปผลการวิจัย	61
4.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก Calibration curve ของสารไนโตรซามีน	72
ภาคผนวก ข ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร	75
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ	85
ภาคผนวก ง ประมวลภาพขั้นตอนการทดลองและภาพเปรียบเทียบผลการทดลอง	97
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ระดับความเป็นพิษของไนโตรซามีนที่เกิดจากสารตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	12
1-2	ไนโตรซามีนที่เป็นอันตรายที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมยางและสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็น ต้นกำเนิด	17
1-3	ชนิดของสารไนโตรซามีนที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง	19
1-4	ระดับความเป็นพิษของสารไนโตรซามีนแต่ละชนิดจากการทดสอบในหนูโดยการให้อาหารทางปาก	20
1-5	ไนโตรซามีนที่เคลื่อนย้ายออกมาจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ	25
2.1	สถานะของเครื่อง GC-FID สำหรับการวิเคราะห์ไนโตรซามีน	40
3-1	ค่าความแม่นยำของการสกัดตัวอย่างถุงมือยางของ NDBA ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดต่างๆ	46
3-2	ค่าความแม่นยำของการสกัด NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำ	47
3-3	ค่าความแม่นยำของการสกัด NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำมันปาล์ม	47
3-4	ระดับการปนเปื้อนของ NDBA ในถุงมือยางชนิดต่างๆ	50
ข-1	ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1	75
ข-2	ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 3	76
ข-3	ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง	77
ข-4	ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง	78
ข-5	ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อ 1	79
ข-6	ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือยาง ที่ระยะเวลาต่างๆ	80
ข-7	ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางด้วยน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิต่างๆ	81
ข-8	ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางด้วยน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิต่างๆ	82
ข-9	ปริมาณ NDBA ปริมาณ NDBA เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง ที่ pH ต่างๆ	83
ข-10	ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง หลังจากสเปรย์ด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-1	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	85
ค-2	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	86
ค-3	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm^2) จากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	87
ค-4	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm^2) จากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	87
ค-5	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm^2) จากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	88
ค-6	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm^2) จากถุงมือยางธรรมชาติไม่มีแป้งชนิดหนาที่ระยะเวลา (นาที) ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	88
ค-7	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	89
ค-8	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	89
ค-9	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-10	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	90
ค-11	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	91
ค-12	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	91
ค-13	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	92
ค-14	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	92
ค-15	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm^2) จากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	93
ค-16	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ NDBA (ng/cm^2) จากถุงมือยางธรรมชาติมีแป้งชนิดบางที่ pH ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-17	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm ²) จาก ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA	94
ค-18	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm ²) จาก ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)	94
ค-19	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm ²) จาก ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งหลังจากสัมผัสกับเอทิล แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ กับกลุ่มควบคุม	95
ค-20	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm ²) จาก ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งหลังจากสัมผัสกับเอทิล แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์	96

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1	8
1-2	9
1-3	10
1-4	21
1-5	22
2-1	32
2-2	33
2-3	33
2-4	34
2-5	34
2-6	36
3-1	45
3-2	48
3-3	48
3-4	49
3-5	49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-6 กราฟแสดงปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) เปรียบเทียบกับกราฟแสดงปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) ที่ระยะเวลาต่างๆ (n=5)	52
3-7 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างสู่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (n=5)	53
3-8 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งในน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ (n=5)	54
3-9 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีในน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ (n=5)	55
3-10 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างที่พีเอชต่างๆ (n=5)	56
3-11 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างหลังการสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วแช่ในน้ำกลั่นเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (n=5)	57
3-12 โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS	59
3-13 โครมาโทแกรมแสดงพีคของ NDBA ที่ได้จากการตรวจวัดน้ำชะตัวอย่างถุงมืออย่างจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS	59
3-14 แมสสเปกตรัม (mass spectrum) ของ NDBA จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS	60
ก-1 Calibration curve ของ NDMA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	72
ก-2 Calibration curve ของ NMEA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	72
ก-3 Calibration curve ของ NDEA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	73

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-4 Calibration curve ของ NDPA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	73
ก-5 Calibration curve ของ NPYR ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	73
ก-6 Calibration curve ของ NPIP ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	74
ก-7 Calibration curve ของ NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	74
ก-8 Calibration curve ของ NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.03, 0.1, 0.3, 0.5, 1 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	74
ง-1 ขั้นตอนการปรับอุณหภูมิน้ำชะตัวอย่าง ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)	97
ง-2 ขั้นตอนการสกัดแยกน้ำกลั่นออกจากสารละลายตัวอย่างด้วยกรวยแยก (separatory funnel)	97
ง-3 ขั้นตอนการสกัดแยกน้ำมันปาล์มออกจากสารละลายตัวอย่างด้วยกรวยแยก (separatory funnel)	98
ง-4 ขั้นตอนการลดปริมาตรสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)	98
ง-5 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction, SPE)	99
ง-6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างๆ	100
ง-7 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ	101

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ง-8	กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ	102
ง-9	กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่ถูกชะออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นที่ pH ต่างๆ	103
ง-10	กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) หลังการสเปรย์ด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วแช่ในน้ำกลั่นนาน 30 นาที โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีผลิตภัณฑ์ยางทั้งที่ออกไปจำหน่ายต่างประเทศและเพื่อการบริโภคภายในประเทศหลายชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย จุกนมยาง และยางล้อรถยนต์ เป็นต้น ในปัจจุบันถุงมือยางนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศ จากข้อมูลการส่งออกถุงมือยางครึ่งปีแรกของปี 2553 มีการขยายตัวสูงถึง 53.6 เปอร์เซ็นต์ (กระทรวงพาณิชย์, 2553) เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ถุงมือยางในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป รวมถึงการให้ความสำคัญกับการรักษาสุขอนามัยทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน เพื่อเป็นการป้องกันเชื้อโรคและสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่มาจากแหล่งผลิตสู่ผู้บริโภค และเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสร้างความมั่นใจและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ถุงมือยางที่ใช้ในการสัมผัสอาหารควรเป็นถุงมือที่ไม่มีสารเคมีตกค้างที่จะสามารถปนเปื้อนลงสู่อาหารได้ แต่ในกระบวนการผลิตถุงมือยางนั้นมีการเติมสารเคมีลงไปหลายชนิด ตั้งแต่ขั้นตอนการรักษาสภาพน้ำยางในการผลิตน้ำยางขึ้นส่วนใหญ่ใช้วิธีการปั่นน้ำยางดิบ โดยมีส่วนผสมของแอมโมเนีย TMTD (tetramethyl thiuram disulphide) และ ZnO (zinc oxide) (ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และ นุชนาฎ ธีระนง, 2550) และก่อนที่จะจุ่มแบบพิมพ์ถุงมือต้องทำการผสมน้ำยางด้วยสารวัลคาไนซ์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของกำมะถัน เรียกขั้นตอนนี้ว่า “วัลคาไนเซชัน” ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงรูป และมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ดี เพื่อให้ได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โดยสารวัลคาไนซ์ที่ใช้คือกำมะถัน แต่การใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวนั้นจะทำให้การวัลคาไนซ์เกิดขึ้นช้ามาก จึงต้องใช้สารช่วยเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ได้แก่ สารกลุ่มซัลฟิनाไมด์ ไทยูเรม และไดไทโอคาร์บาร์เมต ซึ่งสารเหล่านี้จะให้เอมีนทุติยภูมิ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย N-N=O เกาะอยู่กับหมู่อัลคิลหรือแอริล เรียกสารกลุ่มนี้ว่า ไนโตรซามีน (Oury, *et al.*, 1997)

มีรายงานพบว่าสารไนโตรซามีนมากกว่า 250 ชนิดเป็นสารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) คือสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดีเอ็นเอ และเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ในสัตว์ทดลอง ทำให้สถาบันวิจัยต่างๆ ลงความเห็นว่ไนโตรซามีนน่าจะส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ โดย

อวัยวะที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่คือ ตับ ไต ปอด ผิวหนัง และตา และมีรายงานการพบไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางเช่น ถุงมือยาง จุกนมยางสำหรับทารก และถุงยางอนามัย เป็นต้น (กนกทิพย์ บุญเกิด, 2551)

ดังนั้นหากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหารเพื่อป้องกันเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมลงสู่อาหาร แต่กลับมีสารก่อมะเร็งปนเปื้อนอยู่ อย่างเช่น สารไนโตรซามีน ก็ยังเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อผู้บริโภคในการได้รับสารก่อมะเร็ง จึงมีความจำเป็นในการศึกษาระดับการปนเปื้อนของไนโตรซามีน และปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของไนโตรซามีนออกมาจากถุงมือยางสู่อาหาร เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่หน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดและควบคุมมาตรฐานของถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร และเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่ผู้บริโภคทราบถึงวิธีใช้ถุงมือยางที่ปลอดภัยต่อการปนเปื้อนสารไนโตรซามีนในอาหาร

1.2 การตรวจเอกสาร

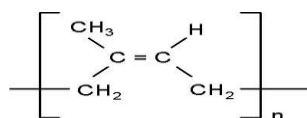
1.2.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพารา (*Hevea Brasiliensis*) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่น และมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า *cis*-1,4-polyisoprene กล่าวคือมี isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบ ออสัญฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืดมันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกคือความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่าง

และขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติทนต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง (หน่วยเทคโนโลยียาง, 2549) ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือการเหนียวติดกัน (tacky) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น (เสาวณีชัย ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547)

สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ (หน่วยเทคโนโลยียาง, 2549)



อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพไม่เสถียรขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือยางจะอ่อนแวมืดและเหนียวหนะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า “วัลคาไนเซชัน” (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (vulcanizate) สมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น (วิภาวี พัฒนกุล, 2554)

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ตีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์ยางจึงต้องมีการเติมสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อสารละลายไม่มีขั้ว และน้ำมัน จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีต่างๆ ดังกล่าว (กาจพันธ์ สุกุลแก้วและอมร พงษ์มะลิวัลย์, 2547)

1.2.2 ถู่มือยาง

หลังจากปี พ.ศ. 2529 เป็นต้นมา ประเทศไทยสามารถทำการผลิตเพื่อส่งออกถู่มือยางไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ การผลิตถู่มือยางใช้วัตถุดิบที่สำคัญได้แก่ น้ำยางข้นและสารเคมีที่ช่วยให้ น้ำยางจับตัว ในการผลิตยางธรรมชาติที่ปลอดภัยจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่มีปริมาณของสารอันตรายเป็นไปตามข้อจำกัดที่ผู้บริโภคต้องการ ซึ่งประเทศผู้ผลิตยางต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตยางธรรมชาติที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่การเก็บเกี่ยวน้ำยางสดจากต้นยาง ซึ่งมีการใช้สารเคมีทาหน้ายางที่กรีด การใช้สารเคมีเกี่ยวข้องในการเร่งผลผลิตน้ำยาง การใช้สารเคมีรักษาโรคระบาดในสวนยาง ซึ่งเป็นโอกาสที่จะมีสารอันตรายปนเปื้อนลงในน้ำยางสด เมื่อเก็บรวบรวมน้ำยางสดแล้ว จะมีการเติมสารอนุมอน้ำยางสดที่ส่งเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น และมีการใช้สาร TMTD ร่วมกับ ZnO ซึ่งการใช้ TMTD เป็นสาเหตุทำให้เกิดสารที่ก่อให้เกิดไนโตรซามีนในน้ำยาง ดังนั้นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ต้องตระหนักและรอบรู้ในการเลือกใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ตลอดจนมีความรู้เรื่องการใช้สารเคมีที่สามารถละลายออกมาปนเปื้อนในกรณีเป็นผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสอาหาร ซึ่งในอนาคตข้อกำหนดเกี่ยวกับสารปนเปื้อนมีแนวโน้มที่อาจมีนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ยางทั่วไป เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้บริโภคมากขึ้น (จินตนา ลีกิจวัฒน์, 2551)

ปัจจุบันสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้มีการกำหนดมาตรฐานขึ้น สำหรับมาตรฐานถู่มือยางที่ใช้ในสัลยกรรม (มอก.538-2534) และมาตรฐานถู่มือยางที่ใช้ในการตรวจโรค (มอก. 1056-2534) เนื่องจากถู่มือยางเป็นสินค้าที่เข้าข่ายเครื่องมือแพทย์ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข จึงได้กำหนดมาตรฐานการผลิตและการนำเข้าอีกด้วย ผลิตภัณฑ์จากยางเป็นสินค้าที่มีกฎเกณฑ์ด้านความปลอดภัยของผู้บริโภคที่ประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติต้องปรับตัวเพื่อให้สามารถผลิตยางธรรมชาติที่ปลอดภัย ประเทศเยอรมนีได้กำหนดปริมาณสารอันตรายที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ยาง เช่น สารคลอโรฟีนอล สารที่ก่อให้เกิดไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในผลิตภัณฑ์ยางหลายชนิด เช่น จุกนมยางสำหรับเด็ก ลูกบอลของเล่น กลุ่มประเทศยุโรปได้กำหนดระดับสารที่ก่อให้เกิดไนโตรซามีนในจุกนมยางสำหรับเด็ก และจุกนมดูดเล่นของเด็กด้วย ข้อกำหนดเกี่ยวกับสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้สัมผัสอาหารได้มีการนำมาใช้ทั้งในประเทศเยอรมนี กลุ่มประเทศยุโรป และประเทศสหรัฐอเมริกาโดย FDA (Food and Drug Administration) ข้อกำหนดเกี่ยวกับการเกิดภูมิแพ้จากผลิตภัณฑ์ถู่มือยาง ซึ่งระบุว่าสาเหตุจากสารโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในน้ำยาง และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถู่มือ ได้แก่ สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (accelerators) บางชนิด และสารทำให้เกิดการคงรูป เป็นต้น (Gonlag, 2003)

1.2.2.1 ประเภทของถุงมือยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ประเภท (จินตนา ลีกิจวัฒน์, 2551) ได้แก่

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

- Surgical glove ใช้ในทางศัลยกรรม หรือผ่าตัด ถุงมือนี้มีเนื้อยางแข็งแรง มีความยาวถึงข้อศอก ผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อ 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยรังสีแกมมา ใช้เพียงครั้งเดียวทิ้ง

- Examination glove ใช้ในงานตรวจโรคทั่วไป มีลักษณะบาง กระชับมือ สั้นแค่ข้อมือ ไม่มีข้างซ้ายขวา ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่มีการนำกลับมาใช้อีก

2) ถุงมือยางสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (industrial glove) มีขนาดใหญ่ แข็งแรงทนทาน เพื่อความทนทานต่องานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลไม้กระป๋อง เป็นต้น

3) ถุงมือยางสำหรับใช้ในครัวเรือน (household glove) เป็นถุงมือยางที่แม่บ้านใช้ในการทำความสะอาด ชักล้าง มีขนาดใหญ่ แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานนาน สวมใส่สบายนุ่มมือ

1.2.2.2 สารเคมีสำหรับผสมน้ำยางประกอบด้วย

1) สารช่วยความเสถียร เป็นสารเคมีที่ผสมลงไปในน้ำยาง เพื่อรักษาสภาพความเป็นต่างของน้ำยางไม่ให้เสียสภาพไปได้ สารช่วยความเสถียรจึงมีฤทธิ์เป็นด่าง ที่นิยมใช้คือ โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่ง คือ สบู่ของกรดไขมัน เช่น โพแทสเซียมลอเรต โพแทสเซียมโอเลอเอต แอมโมเนียมลอเรตและแอมโมเนียมคาซิเนต เป็นต้น สารที่กล่าวมานี้ช่วยให้น้ำยางมีความคงตัวต่อเครื่องกลดีขึ้น ไม่ทำให้น้ำยางเกิดเป็นเม็ดเล็กๆ ได้ง่าย

2) สารวัลคาไนซ์ เป็นสารเคมีที่สำคัญในการทำผลิตภัณฑ์ยาง คือ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง เพื่อการปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น สารวัลคาไนซ์ที่นิยมใช้กัน คือ กำมะถัน สามารถใช้ได้กับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ในกรณีที่ใช้กับน้ำยางจะต้องเป็นกำมะถันชนิดคุณภาพดี นอกจากนี้ ยังมีสารที่ให้กำมะถันเช่น TMTD และสารอื่นที่ไม่ใช่กำมะถัน เช่น สารพวก เพอรอกไซด์ เป็นต้น ส่วนมากเป็นสารพวก อนินทรีย์ เติมน้ำยางมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แข็ง แต่ไม่เพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึง หรือทนต่อการฉีกขาด ที่นิยมใช้คือ แคลเซียมคาร์บอเนต เคลย์ และผงถ่าน เป็นต้น

3) สารกระตุ้นปฏิกิริยา ทำหน้าที่เร่งอัตราการผลิตไนซ์ยางให้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น สารกระตุ้นปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ แต่มีผลทำให้น้ำยางหนืด จึงมักเติมสารชนิดนี้ลงในน้ำยางในขั้นสุดท้ายของการผสมสารต่างๆ

4) สารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูป โดยปกติการใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวจะเกิดการวัลคาไนซ์ช้ามาก และต้องใช้กำมะถันในปริมาณที่มาก การใช้สารเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปจะช่วยลดเวลาตลอดจนหภูมิในการวัลคาไนซ์และยังปรับปรุงสมบัติให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย สารเร่งปฏิกิริยามีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่มที่นิยมและใช้กันมาก คือ กลุ่มไดโซโอคาร์บาเมต ไชอาโซล และไทยูแรม

5) สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ เป็นสารเคมีที่ป้องกันออกซิเจนในอากาศที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสภาพจึงช่วยยืดอายุการใช้งาน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มอนุพันธ์เอมีน (ชนิดตกสี) กลุ่มอนุพันธ์ฟีนอล (ชนิดไม่ตกสี) และกลุ่มอิมิดาซิด

6) สารตัวเติม ส่วนมากเป็นสารพวกอนินทรีย์ เติมลงไปให้น้ำยางมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แข็ง แต่ไม่เพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึงหรือทนต่อการฉีกขาด ที่นิยมใช้คือแคลเซียมคาร์บอเนต เคลย์ และผงถ่าน เป็นต้น

7) สารที่ทำให้เกิดเจล เป็นสารพวกอนินทรีย์เติมลงไปให้น้ำยางเพื่อให้เกิดเจล ซึ่งมีลักษณะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลว ส่วนมากใช้ในผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำ ที่นิยมใช้คือ SSF (sodium silicofluoride)

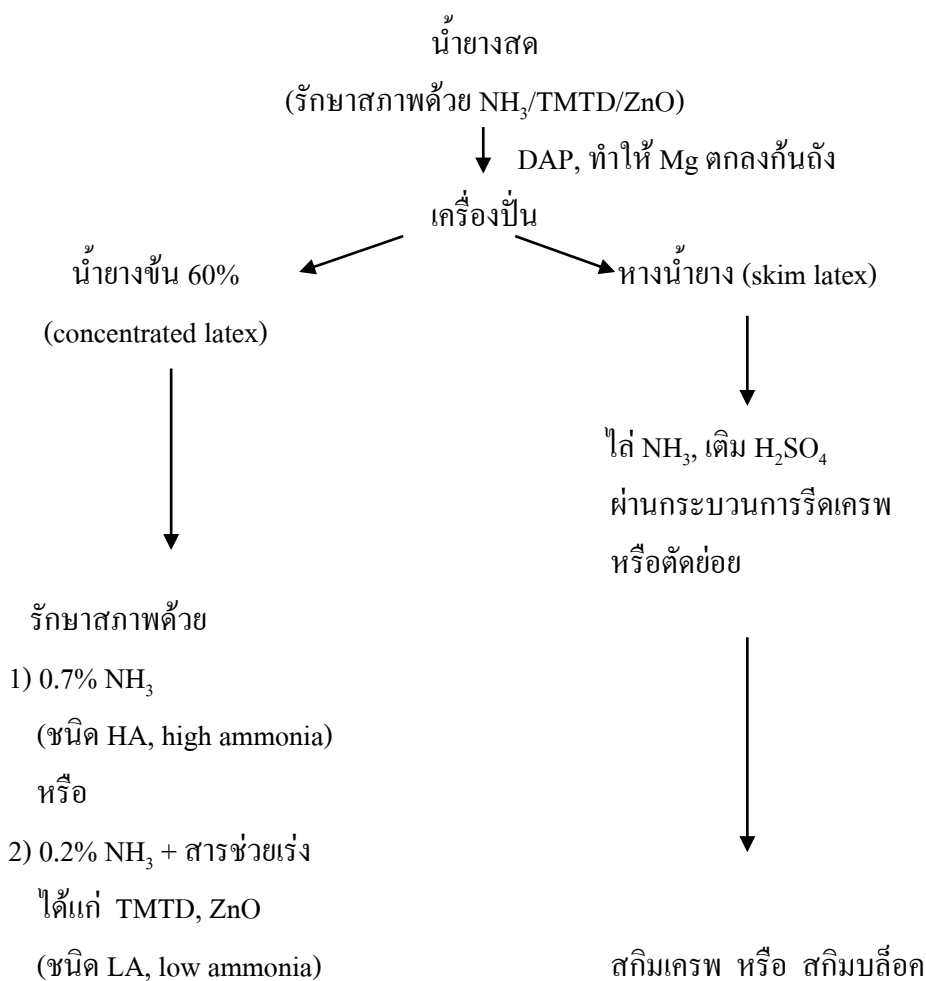
8) สารช่วยให้ยางมีสีสวย ส่วนมากเป็นสารพวกอนินทรีย์ช่วยเพิ่มสีให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ให้สีขาว โครเมียมออกไซด์ ให้สีเขียว และนิเกิลไทเทเนต ให้สีเหลือง เป็นต้น

1.2.2.3 การผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นช่วยให้เกิดการประหยัดที่ไม่ต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่ใช้ น้ำยางเป็นวัตถุดิบในระยะทางไกลๆ โดยการทำให้ น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อยางแห้ง ในการรักษาสภาพน้ำยางสดที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้นมีการเติมแอมโมเนียร่วมกับสารช่วย เพราะการใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวรักษาน้ำยางสด ไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยในระยะยาวได้ การใช้สารเคมีช่วยซึ่งเป็น secondary preservative เช่น ZnO และ tetramethylthiuram disulfide (TMTD) ร่วมกับแอมโมเนีย จะป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยง่ายได้ดีกว่าการใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว ZnO มีความสามารถทำลายแบคทีเรียในน้ำยางได้ การใช้ ZnO 0.05 เปอร์เซ็นต์กับแอมโมเนีย 0.3

เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสดจะรักษาจำนวนกรดไขมันระเหยง่ายให้ได้คงที่นานถึง 2 สัปดาห์ ได้มีการทดลองพบว่าการใช้ ZnO ร่วมกับ TMTD ในอัตราส่วนเท่าๆ กันเพื่อเป็นสารช่วย แอมโมเนียรักษาน้ำยาง ในอัตรา 0.025 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสด ร่วมกับแอมโมเนียปริมาณ 0.2 – 0.35 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสดจะรักษาน้ำยางสดที่มี กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid) ตั้งแต่แรกต่ำกว่า 0.02 ไว้ได้นานถึง 10 วัน (ผลชิต บัวแก้ว, 2531)

วิธีการผลิตน้ำยางชั้นสามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ได้แก่ วิธีระเหยน้ำ วิธีการทำให้เกิดคริม วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า และวิธีการปั่น ซึ่งเป็นวิธีที่มีการใช้กันโดยทั่วไปอย่าง กว้างขวางมากที่สุดในการผลิตน้ำยางชั้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน ทำการผลิตน้ำยางชั้นโดย วิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว โดยมีกระบวนการผลิตดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-1



ภาพประกอบที่ 1-1 ฟังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น
ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2536)

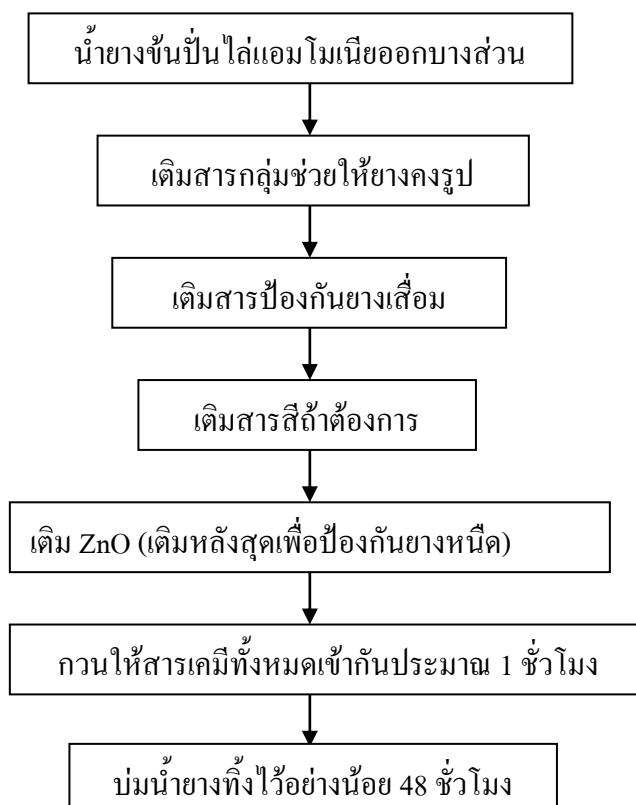
1.2.2.4 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

(สำนักเทคโนโลยีและความปลอดภัย, 2548)

ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง น้ำยางข้นจะถูกเตรียมโดยผสมสารเคมีนำแม่พิมพ์รูปมือที่ผ่านการทำความสะอาด และเป่าแห้งแล้วจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีค่อยๆยกแม่พิมพ์ขึ้น โดยพยายามให้น้ำยางจับตัวที่ผิวของแบบพิมพ์ถุงมือให้สม่ำเสมอ แล้วจึงนำไปอบ ถอดออกจากพิมพ์ ล้างทำความสะอาด นำเข้าอบให้คงรูป การอบมีทั้งแบบใช้เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าและแบบที่ใช้ไอน้ำ จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพ และบรรจุเพื่อจัดจำหน่าย

1) ลำดับการเติมสารเคมีผสมกับน้ำยางแต่ละกลุ่มหรือแต่ละอย่างของ

สารที่เติมในน้ำยางจะต้องผสมเข้ากับน้ำยางเป็นอย่างดีเสียก่อนที่จะเติมสารตัวอื่นลงไปตามลำดับ การเติมสารเคมีผสมกับน้ำยางดังในภาพประกอบที่ 1-2 สามารถเติมได้ในขั้นตอนการปั่นน้ำยางได้ แอมโมเนีย ในการเติมสารกลุ่มช่วยให้ยางคงรูป ได้แก่ สารกลุ่มไทยูเรมและไดโทโอคาร์บาเมต โดยสารเหล่านี้จะให้เอมีนทุติยภูมิซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสารไนโตรซามีน



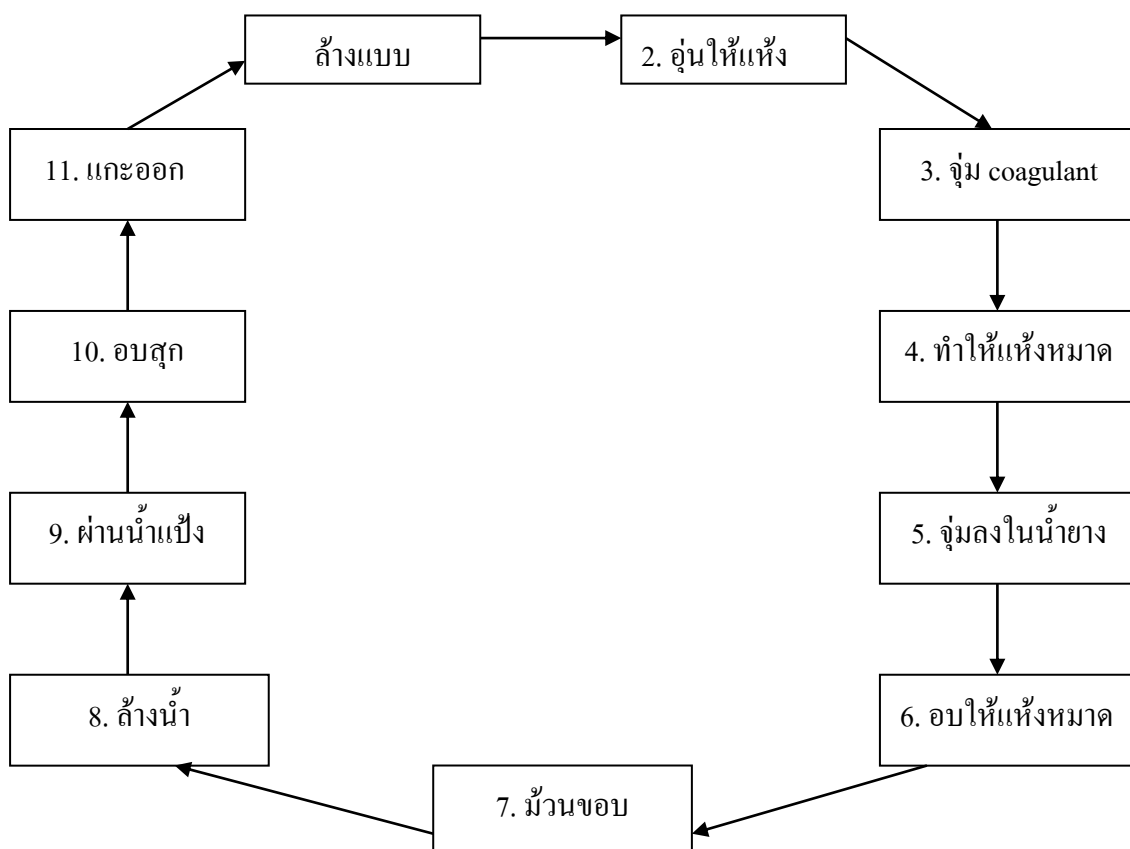
ภาพประกอบที่ 1-2 ลำดับขั้นตอนการเติมสารเคมีผสมกับน้ำยาง

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีและความปลอดภัย (2548)

2) ขั้นตอนการจุ่ม (dipping)

เมื่อบ่มน้ำยางผสมจนได้อายุที่เหมาะสมแล้ว ต่อไปก็เป็นขั้นตอนการจุ่ม โดยการนำพิมพ์ที่เตรียมไว้มาจุ่มในน้ำยางผสม พิมพ์ที่นิยมใช้ทำจากกระเบื้อง พิมพ์ถุงมือยางมีผิวเรียบ หรือผิวหยาบขึ้นอยู่กับชนิดของถุงมือที่จะผลิต ลักษณะผิวของพิมพ์จะมีผลต่อการเกาะขอบของสารช่วยจับตัว (coagulant) และการเกาะพิมพ์ของน้ำยางผสม ปกติถุงมือที่บางมาก ๆ จะใช้พิมพ์ผิวเรียบ นอกจากนี้ควรทำความสะอาดพิมพ์ให้ดี เพราะสิ่งสกปรกจะทำให้เกิดตำหนิต่าง ๆ บนถุงมือยางได้

เทคนิคการจุ่มน้ำยามีหลายวิธี ได้แก่ การจุ่มน้ำยาโดยตรง การจุ่มโดยใช้สารช่วยจับตัว การจุ่มโดยใช้พิมพ์เรียบ และการจุ่มโดยใช้ขี้ผึ้งไฟฟ้าช่วย เทคนิคการจุ่มของสารช่วยจับตัวจะเป็นที่นิยมและเหมาะสำหรับการผลิตถุงมือโดยทั่วไป โดยตัวมีวิธีการคือจุ่มพิมพ์ลงในสารช่วยจับตัวแล้วจึงจุ่มพิมพ์ลงในน้ำยาผสม ขั้นตอนการจุ่มแบบนี้ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1-3



ภาพประกอบที่ 1-3 กระบวนการจุ่มโดยใช้สารช่วยจับ

ที่มา : ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ และคณะ (2541)

สารที่ช่วยทำให้น้ำยาจับตัว และช่วยให้น้ำยาเกาะพิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 วิธี

1) สารช่วยจับตัวเปียก (wet coagulant dipping) หมายถึงการใช้สารที่เป็นของเหลว เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก จุ่มพิมพ์ที่เปียกลงในน้ำยาผสม วิธีการนี้ไม่นิยมในการทำถุงมือ

2) สารจับตัวแห้ง (dry coagulant dipping) หมายถึงการจุ่มพิมพ์ลงในสารช่วยจับตัว ที่นิยมใช้คือสารละลายของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมไนเตรด แล้วทิ้งให้พิมพ์แห้งหรือหมาดเสียก่อนจึงจุ่มลงในน้ำยาผสม โดยอ่างเกลือเหล่านี้เป็นแหล่งที่พบไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณสูง

1.2.2.5 การวัลคาไนซ์

เนื่องจากยางดิบเป็นยางที่ยังไม่อยู่ในสภาพที่พร้อมจะถูกนำไปใช้งานในเชิงวิศวกรรม เพราะยางดิบมีรูปร่างที่ไม่เสถียร มีความยืดหยุ่นต่ำและมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนยางดิบให้กลายเป็นยางสุกหรือยางคงรูปก่อนที่จะนำออกไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากการเปลี่ยนสภาพจากยางดิบให้เป็นยางสุกนั้นเกิดขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน” เราจึงเรียกยางสุกหรือยางคงรูปในเชิงเทคนิคว่า “ยางวัลคาไนซ์” (เสาวณีย์ ก่อวุฒิคุณรังษี, 2547)

ในช่วงแรกๆ ของการค้นพบการวัลคาไนซ์ ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันเกิดขึ้นได้ค่อนข้างช้าและต้องใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่สูงเพราะในสมัยนั้นมีการใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์คือกำมะถัน ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาสารตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีชนิดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ส่งผลทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วยิ่งขึ้นและยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็มีสมบัติต่างๆ ที่ดีขึ้น โดยสารตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแรกๆ ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มเอมีน เช่น อะนิลีน (aniline) แต่เนื่องจาก อะนิลีนมีความเป็นพิษสูงจึงได้มีการพัฒนาสารประกอบในกลุ่มกัวนิดีนและเฮกซะเมทิลลีนเททระมีน (HEXA) ขึ้นมาแทน แต่สารประกอบในกลุ่มเหล่านี้ก็ยังเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพต่ำ ต่อมา มีการผลิตสารเคมีในกลุ่มไทูเรม ไคโทโอคาร์บาเมต กลุ่มเมอร์แคปโต และสารประกอบในกลุ่มซัลฟิनाไมด์ ตามลำดับ โดยสารเคมีในกลุ่มนี้ยังใช้กันค่อนข้างมากในอุตสาหกรรมยางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (กำจรเดช กิจมันเจริญกุล, 2552) ซึ่งสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลายๆตัวที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมยางจัดเป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดมลพิษหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานตามระดับความเป็นพิษที่เกิดจากไนโตรซามีนของสารตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ดังที่แสดงในตารางที่ 1-1 เนื่องจากสารเคมีเหล่านี้จะปล่อยเอมีนทุติยภูมิออกมาโดยเฉพาะในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน เอมีนทุติยภูมิเหล่านี้เมื่อรวมกับไนโตรเจนออกไซด์ที่มีอยู่ในบรรยากาศจะกลายเป็นสารประกอบที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งที่เรียกกันทั่วไปว่า “ไนโตรซามีน”

ตารางที่ 1-1 ระดับความเป็นพิษของไนโตรซามีนที่เกิดจากสารตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ

กลุ่ม	พิษสูง	พิษต่ำ/ไม่เป็นพิษ
ไทอะโซล	-	2-Mercaptobenzothiazole (MBT) Dibenzothiazyl disulfide (MBTS) Zinc-2-mercaptobenzothiazole (ZMBT)
ซัลฟิनाไมด์	2-(4-morpholiniothio) benzothiazole (MBS)	N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulfonamide (CBS) N-tert.butyl-2-benzothiazole sulfonamide (TBBS) N,N'-dicyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide (DCBS)
ไทยูเรม	Tetramethylthiuram monosulfide (TMTM) Tetramethylthiuram disulfide (TMTD) Tetraethylthiuram disulfide (TETD)	Tetrabenzylthiuram disulfide (TBzTD)
ไดไทโอคาร์ บามेट	Dipentamethylene Thiuramtetrasulfide (DPTT) Zinc dibutyldithiocarbamate (ZDBC)	Zinc dibenzylthiocarbamate (ZBEC) Sodium dibenzylthiocarbamate (SBEC)

ตารางที่ 1-1 ระดับความเป็นพิษของไนโตรซามีนที่เกิดจากสารตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ (ต่อ)

กลุ่ม	พิษสูง	พิษต่ำ/ไม่เป็นพิษ
	Zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC)	
	Zinc dimethyldithiocarbamate (ZDMC)	
	Selenium diethyldithiocarbamate (SDEC)	
อื่นๆ	Dithiodimorpholine (DTDM)	Zinc dibutylphosphorodithioate (ZBPD)

ที่มา: พงษ์ธร แซ่อูย และชาคริต สิริสิงห์ (2550)

1.2.2.6 การเกิดไนโตรซามีนตกค้างในผลิตภัณฑ์ถูงมือยาง

ไนโตรซามีนเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์กับเอมีนทุติยภูมิ แหล่งที่มาสำคัญของเอมีนทุติยภูมิในอุตสาหกรรมยาง คือ สารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่มีหมู่อเอมีนอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งเติมผสมลงในน้ำยางชั้นในขั้นตอนการปั่นน้ำยางไล่แอมโมเนีย ตัวอย่างสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่เป็นต้นกำเนิดของไนโตรซามีนได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-2 ส่วนที่มาของไนโตรเจนออกไซด์ในอุตสาหกรรมยาง ส่วนหนึ่งพบอยู่ในอากาศ และอีกแหล่งที่สำคัญคือ อ่างเกลือเหลวที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนซ์ยาง เนื่องจากอ่างเกลือเหลวที่ใช้เป็นส่วนผสมระหว่างแอลคาไลไฮดรอกไซด์และไนไตรท์ (กนกทิพย์ บุญเกิด, 2551)

1.2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับสารกลุ่มไนโตรซามีน

ไนโตรซามีนเป็นสารก่อมะเร็งที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มีแหล่งที่มาต่างๆ ได้แก่ บุหรี่ อาหาร ผลิตภัณฑ์ยาง เช่น จุกนมยาง ถูงมือยาง ถูงยางอนามัยและเครื่องสำอาง The International Agency for Research on Cancer (IARC) ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้การกำกับดูแลขององค์การอนามัยโลก (WHO) ทำหน้าที่ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสาเหตุการเกิดมะเร็ง จัดให้ไนโตรซามีนเป็นสารก่อมะเร็งชนิด 2B คือ อาจทำให้เกิดมะเร็งในคน (the agent is possibly carcinogenic to humans) (กระทรวงสาธารณสุข, 2553)

1.2.3.1 แหล่งที่พบสารไนโตรซามีน ได้แก่

1) ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ สามารถตรวจพบสารไนโตรซามีนในสภาพแวดล้อมทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นในอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการละลายของโรงงานอุตสาหกรรมหรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของเอมีนทุติยภูมิกับไนโตรเจนออกไซด์ พบว่าระดับการเกิดสารประกอบเอ็น-ไนโตรโซในอากาศมีระดับความเข้มข้นประมาณ 0.02-0.96 ppb ส่วนในน้ำมีรายงานการเกิดสารประกอบเอ็น-ไนโตรโซ เพียงเล็กน้อยจากการนำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งมีผลมาจากการใช้ยาฆ่าแมลงด้วย (ประสงค์ คุณานุวัฒน์ชัยเดช, 2543)

2) ในอาหาร มีการสำรวจพบว่าอาหารในทวีปเอเชียมีสารไนโตรซามีนมากกว่าในซีกโลกตะวันตก (Jakszyn and Gonzalez, 2006) สำหรับอาหารที่พบสารไนโตรซามีนมีหลายชนิด ได้แก่ เบคอน เนื้อสำเร็จรูป ปลาเค็ม กุ้งแห้ง กะปิ ปลาร้า ซอสที่ทำจากสัตว์ทะเล ปลาหมึกตากแห้ง กุนเชียง เนย เป็นต้น

3) เครื่องดื่ม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นม เบียร์ วิกกี เป็นต้น (Jurado-Sanchez, *et al.*, 2007)

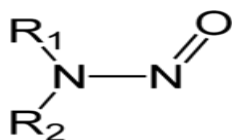
4) ยารักษาโรค พบว่า ยาบางชนิดที่เป็นอนุพันธ์ของเอมีนและเอมิด เช่น polytetracycline, aminopyrine, disulfiram และ nikethamide สามารถรวมตัวกับไนโตรที่กลายเป็นสารไนโตรซามีน (วิสิฐศักดิ์ วุฒิอดิเรก, 2553)

5) เครื่องสำอาง ในเครื่องสำอางบางชนิดมีการปนเปื้อนของสารไนโตรซามีนชนิดหนึ่งที่มีชื่อว่าเอ็น-ไนโตรโซไดเอทานอลเอมีน (N-nitrosodiethanolamine : NDELA) เมื่อผิวหนังดูดซึมสารเหล่านี้เข้าไปก็จะทำให้เกิดการตกค้างไปยังอวัยวะต่างๆ ได้แก่ ตับ กระเพาะปัสสาวะ ไตและที่อื่นๆ ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อผู้บริโภคและทำให้เกิดอันตรายได้ (ปวีณา เกรือนิล, 2551)

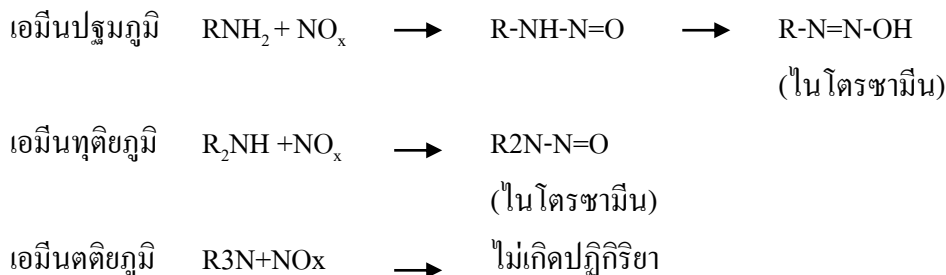
6) ผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกจากจะพบสารไนโตรซามีนในอาหารและเครื่องดื่มแล้วยังสามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ใยยาสูบ ผลิตภัณฑ์ยาง อุตสาหกรรมเหล็ก เป็นต้น

1.2.3.2 สมบัติทางเคมีของสารไนโตรซามีน

การเกิดไนโตรซามีนทั้งในอุตสาหกรรมหรือในอาหารบางประเภท โดยทั่วไปมีสาเหตุที่คล้ายกัน คือ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กับเอมีนทุติยภูมิ (Rath and Reyes, 2009) โดยมีสูตรโครงสร้างของไนโตรซามีนดังนี้ (Rostkowska, *et al.*, 1998)



ปฏิกิริยาการเกิดไนโตรซามีนจำแนกตามประเภทของเอมีน (Rath and Reyes, 2009) ได้ดังนี้



แหล่งที่มาที่สำคัญของเอมีนทุติยภูมิในอุตสาหกรรมยางคือจากสารเร่งปฏิกิริยาที่กำมะถัน (sulfur accelerator) ที่มีหมู่เอมีนทุติยภูมิอยู่ในโครงสร้าง โดยสารตัวเร่งที่ทำให้เกิดไนโตรซามีนสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆด้วยกัน ดังต่อไปนี้ (กนกทิพย์ บุญเกิด, 2551)

1) ซัลฟิनाไมด์

สารตัวเร่งกลุ่มนี้เป็นอนุพันธ์ของสารตัวเร่งกลุ่มเมอร์แคปโต โดยไฮโดรเจนของเมอร์แคปโตถูกแทนที่ด้วยหมู่เอมีนเพื่อให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ซัลฟิनाไมด์จะต้องแตกตัวด้วยความร้อนได้เป็นเอมีนและเมอร์แคปโตก่อน ดังนั้นในการกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ของสารตัวเร่งกลุ่มนี้จึงต้องใช้เวลาที่นานกว่ากลุ่มเมอร์แคปโต สารเคมีบางตัวในกลุ่มนี้สามารถให้กำมะถันได้ (sulfur donor) ทำให้สามารถใช้สารตัวเร่งกลุ่มนี้แทนกำมะถันได้ ตัวอย่างเช่น มอร์โฟลิโนไดไทโอเบนโซโทอะโซล (MBSS) โดยเฉลี่ยครึ่งหนึ่งของสารตัวเร่งกลุ่มนี้ก่อให้เกิดไนโตรซามีน ไนโตรซามีนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือ มอร์โฟลิโนไนโตรซามีน

2) ไดไทโอคาร์บาเมต

เป็นสารตัวเร่งแบบเร็วมาก (ultrafast accelerator) ให้เวลาสกอรัซที่สั้นและอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์สูง ปกติจะใช้ในปริมาณน้อยร่วมกับสารตัวเร่งกลุ่มอื่น สารตัวเร่งกลุ่มนี้เกือบทั้งหมดสามารถให้ไนโตรซามีนได้

3) ไทยูเรม

เป็นสารกลุ่มตัวเร่งที่มีโครงสร้างคล้ายไดไทโอคาร์บาเมต เนื่องจากเป็นการนำไดไทโอคาร์บาเมต 2 โมเลกุลมาต่อกันเมื่อให้ความร้อนจะแตกตัวเป็นสารพวกไดไทโอคาร์บาเมตก่อน จึงจะไปเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ทำให้เวลาสกอรัซยาวกว่าสารตัวเร่งกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตเล็กน้อย จัดเป็นสารตัวเร่งแบบเร็ว สารตัวเร่งบางตัวในกลุ่มนี้ เช่น TMTD สามารถให้กำมะถันได้เหมือนกัน เช่นเดียวกับไดไทโอคาร์บาเมต สาร TMTD นี้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเป็น

กรดสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น dimethyldithiocarbamate ซึ่งจะถูกละลายในสถานะที่เป็นกรด เป็น carbon disulfide และ dimethylamine ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ในสถานะที่เป็นกรดเกิดเป็นสารประกอบไนโตรซามีนที่มีชื่อว่า N-nitrosodimethylamine (NDMA) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ เป็นพิษต่อตับและเกิดมะเร็ง (Sharma, *et al.*, 2003)

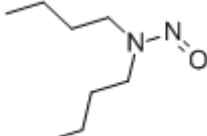
นอกจากสารตัวเร่งกลุ่มข้างต้นแล้ว ยังพบว่าสารตัวเร่งประเภทเอมีน เช่น HEXA, PEP และ DBA หรือสารให้กำมะถันบางตัวที่ไม่จัดอยู่ในกลุ่มสารตัวเร่งข้างต้น เช่น DTDM ก็สามารถทำให้เกิดไนโตรซามีนได้เช่นกัน หากเราเลือกสารตัวเร่งที่ปราศจากเอมีนทุติยภูมิในโครงสร้างก็จะไม่มีไนโตรซามีนเกิดขึ้น แต่ปัญหาก็คือสารตัวเร่งที่มีการใช้ในปัจจุบันจากสารตัวเร่งทั้ง 3 กลุ่มข้างต้น ส่วนใหญ่แล้วมีเอมีนทุติยภูมิในโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่สารตัวเร่งที่มีเอมีนทุติยภูมิในโครงสร้างทุกตัวที่จะก่อให้เกิดไนโตรซามีนที่เป็นอันตราย สารไนโตรซามีนประเภทที่เป็นอันตราย (regulated nitrosamine หรือ suspected carcinogenic nitrosamine) ที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมยางและสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นต้นกำเนิดของไนโตรซามีนดังแสดงในตารางที่ 1-2 เรียงลำดับตามจุดเดือดของเอมีนทุติยภูมิ

ตารางที่ 1-2 ไนโตรซามีนที่เป็นอันตรายที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมยางและสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็น
ต้นกำเนิด

เอมีนทุติยภูมิ (จุดเดือด °C)	ไนโตรซามีน (น้ำหนักโมเลกุล)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นต้น กำเนิด
ไดเมทิลเอมีน (7 °C)	ไดเมทิลไนโตรซามีน: NDMA (74)	ไทยูเรม: TMTM, TMTD ไดไทโอคาร์บาเมต: ZDMC, CuDMC, TeDMC
ไดเอทิลเอมีน (56 °C)	ไดเอทิลไนโตรซามีน: NDEA(102)	ไทยูเรม: TETD ไดไทโอคาร์บาเมต: ZDEC
ไดไอโซโพรพิลเอมีน (84°C)	ไดไอโซโพรพิลไนโตรซามีน: NDiPA(130)	ซัลฟีนามาई: DiBS
ไพเพอร์รีดีน (106°C)	ไพเพอร์รีดีนไนโตรซามีน: NPIP(114)	ไทยูเรม: DPTT ไดไทโอคาร์บาเมต: Z5MC,PPC
มอร์โฟลีน (129°C)	มอร์โฟลีนไนโตรซามีน: NMOR(116)	ซัลฟีนามาई: MBS, MBSS, OTOS, OTTBS
มอร์โฟลีน (129°C)	มอร์โฟลีนไนโตรซามีน: NMOR(116)	ซัลฟีนามาई: MBS, MBSS, OTOS, OTTBS
ไดบิวทิลเอมีน (159°C)	ไดบิวทิลไนโตรซามีน: NDBA(158)	ไทยูเรม: TBTD ไดไทโอคาร์บาเมต: ZDBC
เมทิลเฟนิลเอมีน (196°C)	เมทิลเฟนิลไนโตรซามีน: NMPA(136)	ไทยูเรม: MPTD
เอทิลเฟนิลเอมีน (204°C)	เอทิลเฟนิลไนโตรซามีน:NEPA(150)	ไดไทโอคาร์บาเมต: ZEPC

ที่มา: Technical Rules for Dangerous Substances (TRGS 522) ประเทศเยอรมนี (2008)
(อ้างโดย กนกทิพย์ บุญเกิด, 2551)

ไนโตรซามีนชนิด N-nitrosodibutylamine (NDBA) เป็นไนโตรซามีนชนิดที่พบในปริมาณสูงในผลิตภัณฑ์ยาง มีสมบัติดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554; USEPA, 2009)

ชื่อเคมีทั่วไป	N-nitrosodibutylamine
ชื่อพ้องอื่นๆ	Dibutylamine, N-nitroso- (6CI,7CI,8CI); Di-n-butylnitrosamine; Dibutylnitrosamine; N,N-Di-n-butylnitrosamine; N,N-dibutylnitrosamine; N-Butyl-N-nitroso-1-butanamine; N-Nitroso-n-di-n-butylamine; N-nitrosodi-n-butylamine; N-Nitrosodibutylamine; NDBA; NSC 6830; Nitrosodibutylamine
สูตรโมเลกุล	C ₈ H ₁₈ N ₂ O
สูตรโครงสร้าง	
น้ำหนักโมเลกุล	158.24
จุดเดือด	237 °C
ความหนาแน่น	0.91 g/cm ³
Oral-rat LD ₅₀	1.2 mg/kg
TD ₅₀	0.69 mg/kg น้ำหนักตัว/วัน
Cancer slope factor	5.4 (mg/kg/day) ⁻¹
Health reference levels (HRL)	6 ng/L
Hazard codes	Xn, T
Hazard Class	6.1 B คือ สารไม่ติดไฟที่มีคุณสมบัติความเป็นพิษ หมายถึง วัตถุที่อาจทำให้เสียชีวิตหรือทำให้เกิดการเจ็บป่วยอย่างรุนแรงแบบเฉียบพลันหรือเรื้อรังเมื่อเข้าสู่ร่างกายโดยการสัมผัส ผิวหนัง หรือหายใจ หรือรับประทานเข้าไป

อันตรายต่อสุขภาพ ระบายเคืองและเป็นอันตรายต่อตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และอาจก่อมะเร็งในมนุษย์

1.2.3.3 ชนิดของสารไนโตรซามีนที่พบในอาหารที่เป็นสารก่อมะเร็ง

สารไนโตรซามีนที่มีการพิสูจน์แน่นอนแล้วว่า ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในสัตว์ทดลอง (วิสิฐศักดิ์ วุฒิอดิเรก, 2553) ได้แก่

- 1) N-nitrosodimethylamine (NDMA) เป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งตับ ไต ปอด
- 2) N-nitrosodiethylamine (NDEA) เป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งตับและหลอดอาหาร

การที่สัตว์ทดลองเป็นโรคมะเร็งที่อวัยวะใดอวัยวะหนึ่งนั้น ขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบ ระยะเวลาและชนิดของสารไนโตรซามีน จะเห็นว่าชนิดของสารไนโตรซามีนมีผลทำให้เกิดโรคมะเร็งต่ออวัยวะของสัตว์ทดลองที่แตกต่างกันไป แต่ก็มีที่มึความคล้ายคลึงกันบ้างดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ชนิดของสารไนโตรซามีนที่ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง

ชนิดของสารไนโตรซามีน	ชนิดของสัตว์ทดลอง	อวัยวะที่เกิดมะเร็ง	การทดลอง
NDMA	หนูขาว	ตับ	กินสารนี้พร้อมอาหารตลอดชีวิต
		ไต	กินสารนี้พร้อมอาหาร 1-2 สัปดาห์
		ปอด	กินสารนี้พร้อมอาหารและกินสารนี้อย่างเดียว
NDEA	หนูขาวเล็ก	ตับ	กินสารนี้พร้อมอาหารตลอดชีวิต
		ไต ปอด	ดื่มน้ำที่มีสารนี้ตลอดชีวิตและ โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนัง
	ปลาเทราต์	ตับ	ดื่มน้ำที่มีสารนี้ตลอดชีวิต
		ตับ	กินสารนี้พร้อมกับอาหาร
	หนูขาว	ตับ	ดื่มน้ำที่มีสารนี้ตลอดชีวิต
		ไต	กินทางปากหรือฉีดเข้ากล้ามเนื้อ
หลอดอาหาร	ดื่มน้ำที่มีสารนี้ตลอดชีวิต		
สุนัข	ตับ	กินสารนี้พร้อมกับอาหารและน้ำที่มีสารนี้	
	ติง	ตับ	กินทางปากตั้งแต่เกิด

ที่มา : จักรพันธ์ ปัญจะสุวรรณ, (2542)

1.2.3.4 พิษวิทยาของสารไนโตรซามีน

ไนโตรซามีนถูกจัดเป็นสารก่อมะเร็งประเภท B2 (US.EPA/IRIS, 1999) คือ อาจก่อให้เกิดมะเร็งต่อมนุษย์ได้ มีรายงานว่าสารก่อมะเร็งไนโตรซามีนสามารถเกิดขึ้นได้ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทุกชนิดและสามารถทำให้เกิดพิษต่อสุขภาพของทั้งคนและสัตว์ได้ทั้งในรูปแบบเฉียบพลัน (acute toxicity) และเรื้อรัง (chronic toxicity) โดยระดับความเป็นพิษของสารไนโตรซามีนชนิดที่เคยมีรายงานตรวจพบในอาหาร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-4 พบว่าไนโตรซามีนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งในทางชีวเคมีและพยาธิสภาพของเซลล์ตับเป็นสำคัญ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ ความถี่ และชนิดของสารไนโตรซามีนที่เข้าสู่ร่างกาย รวมทั้งสภาวะของร่างกายในขณะนั้นอีกด้วย (จักรพันธ์ ปัญจะสุวรรณ, 2542) แต่อย่างไรก็ตามไนโตรซามีนก็มีผลในการก่อให้เกิดมะเร็งได้ในหลายอวัยวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตับ หลอดอาหาร ไต ระบบทางเดินอาหาร ซึ่งการเกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ ดังกล่าวเหล่านี้ มักเป็นผลเนื่องมาจากการได้รับสารก่อมะเร็งไนโตรซามีนจากอาหารและสิ่งแวดล้อมทีละน้อยๆ สะสมเป็นเวลายาวนานแรมปี จึงอาจเรียกว่าเป็นพิษภัยหรือก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยแบบเรื้อรังมากกว่า (Rath and Reyes, 2009)

ตารางที่ 1-4 ระดับความเป็นพิษของสารไนโตรซามีนแต่ละชนิดจากการทดสอบในหนู โดยการให้พร้อมอาหารทางปาก

Compound	LD ₅₀ (µg/kg)	TD ₅₀ (mg/kg body weight/day)
NDMA	40	0.01
NDEA	280	0.11
NPYR	900	2.10
NPIP	200	1.30
NDBA	1200	0.69

หมายเหตุ LD₅₀ : Median lethal dose (ปริมาณสารที่สัตว์ทดลองได้รับแล้วทำให้เกิดการตาย 50 เปอร์เซ็นต์)

TD₅₀ : tumorigenic dose rate 50 (ปริมาณสารต่อน้ำหนักตัวต่อวันที่สัตว์ทดลองได้รับแล้วก่อให้เกิดเนื้องอก 50 เปอร์เซ็นต์)

ที่มา: Fernlof and Darnerud (1996)

จากตารางที่ 1-4 เราสามารถจัดลำดับค่าความเป็นพิษของสารไนโตรซามีนได้ดังนี้

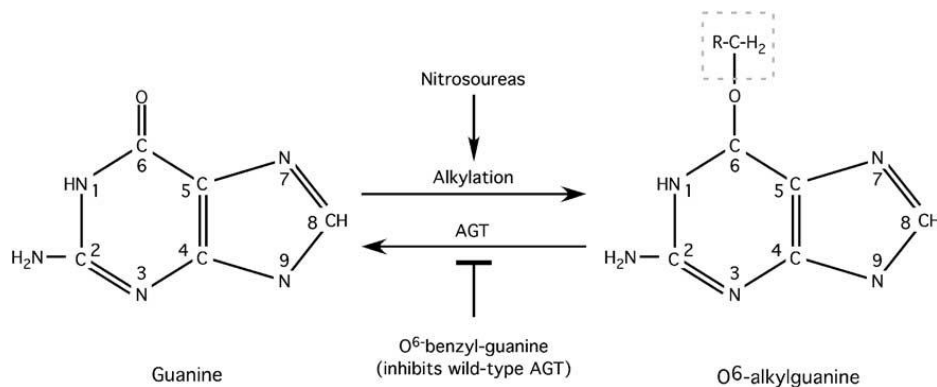
พิษเฉียบพลัน : NDMA > NPIP > NDEA > NPYR > NDBA

พิษเรื้อรัง : NDMA > NDEA > NDBA > NPIP > NPYR

1.2.3.5 กลไกทางชีวเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งโดยกลุ่มสารไนโตรซามีน

(ประสงค์ คุณานุวัฒน์ชัยเดช, 2549)

กลุ่มสารไนโตรซามีนจะถูกสร้างโดยกระบวนการ endogenous nitrosation ผ่านเอนไซม์ iNOS สารก่อมะเร็งเหล่านี้จะถูกแปรรูปทางชีวภาพให้กลายเป็นสารก่อมะเร็งอย่างสมบูรณ์ (ultimate carcinogen) โดยเอนไซม์ cytochrome P450 (CYP) ในตับ โดยเฉพาะชนิด CYP2E1 และ CYP2A6 สารกลุ่มนี้จะไปทำให้ปฏิกิริยา alkylation ตรงตำแหน่ง O6 ของเบสกวีนีน (guanine) ในโมเลกุลของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (DNA) ในเซลล์ แล้วกลายเป็น O6-alkylguanine (ภาพประกอบที่ 1-4) ซึ่งเป็นโมเลกุล adduct ที่สำคัญ (major adduct) เมื่อโมเลกุลของ DNA แปรเปลี่ยนไปเช่นนี้ โครงสร้างของสายของ DNA จะมีการเปลี่ยนแปลงหรืออาจจะถูกตัดให้สั้นลง และยังเหลือส่วนอื่นในสายอีก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นส่วนที่ไม่เสถียร (unstable) จะสลายตัวได้ง่ายในสารละลายกรด (acid-labile) เชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ชักนำให้เกิดความผิดปกติระดับเซลล์ทั้งในกระบวนการแบ่งตัวของเซลล์ (cell proliferation) และพัฒนาการของเซลล์ (cell differentiation) และกลายเป็นก้อนเนื้อออก (tumour) ก่อน แล้วกลายเป็นเซลล์มะเร็ง ในที่สุด

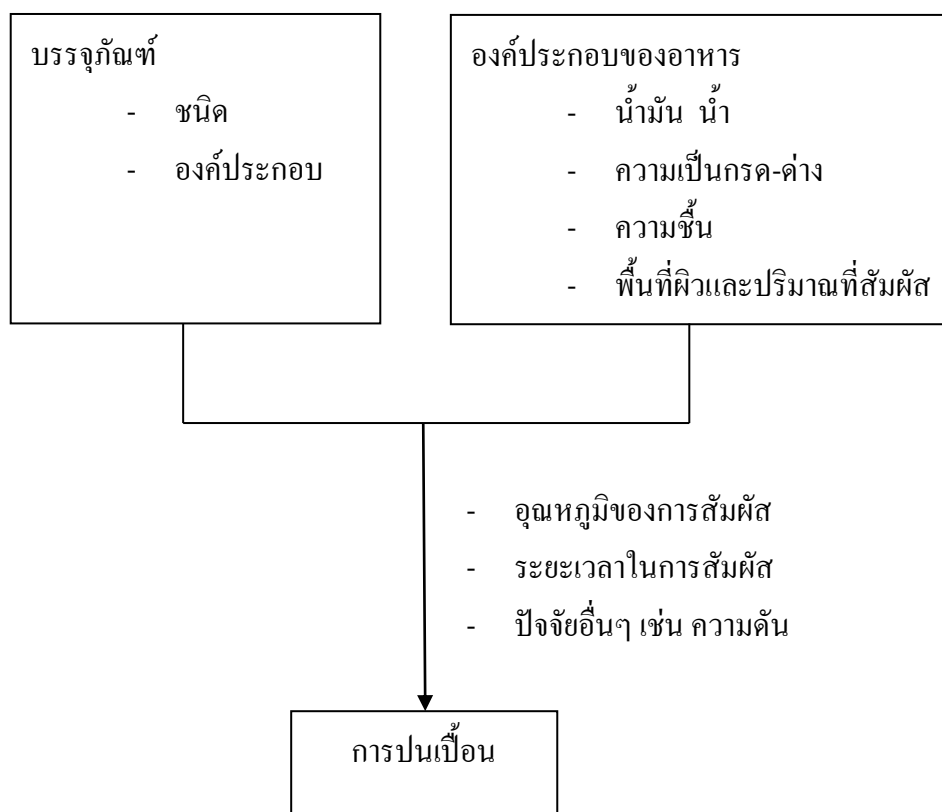


ภาพประกอบที่ 1-4 กลไกการออกฤทธิ์ของ O, 6 – alkylguanine-DNA-alkyltransferase (AGT)

ที่มา : Zaboikin *et al.* (2006)

1.2.3.6 การปนเปื้อนของไนโตรซามีนในอาหาร

การได้รับไนโตรซามีนเข้าสู่ร่างกายนั้นส่วนใหญ่เนื่องจากการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนสารไนโตรซามีน โดยการปนเปื้อนของไนโตรซามีนในอาหารนั้นมาจากในกระบวนการผลิตและจากผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสอาหารที่เกิดการเคลื่อนย้าย (Migration) ของอนุภาคหรือโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับอาหารออกมาสู่อาหาร ปัจจัยของการเกิดการเคลื่อนย้ายขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-5 ได้แก่ อุณหภูมิของอาหารขณะสัมผัส ระยะเวลาในการสัมผัส ชนิดและองค์ประกอบของอาหาร เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 1-5 ปัจจัยในการเกิดการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนสู่อาหาร
ที่มา : วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2551)

ผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสอาหารนั้น นอกจากบรรจุภัณฑ์อาหารแล้ว ถุงมือยางถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สัมผัสอาหารอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและร้านอาหารต่างๆ เพื่อป้องกันเชื้อโรคและสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่มาจากแหล่งผลิตผู้บริโภค การเคลื่อนย้ายของสารไนโตรซามีนจากถุงมือยางออกมาสู่อาหารนั้นอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ได้แก่ ระยะเวลาที่สัมผัส อุณหภูมิที่สัมผัสและองค์ประกอบต่างๆ ของอาหาร นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารจะมีการสเปรย์ฆ่าเชื้อโรคบนถุงมือด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ก่อนใช้งาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของไนโตรซามีนจากถุงมือยางสู่อาหารได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานพบปริมาณไนโตรซามีน ในถุงมือปราศจากเชื้อ ถุงมือตรวจโรค และถุงมือที่ใช้ในครัวเรือน อยู่ในช่วง 18.89 - 244.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Feng *et al.*, 2009)

1.2.3.7 ถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (มอก.2505-2553)

ถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหมายถึงถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางสังเคราะห์ หรือน้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ โดยวิธีจุ่มแบบพิมพ์ สวมใส่เมื่อต้องการสัมผัสกับอาหาร เพื่อป้องกันสารเคมี สิ่งสกปรก และเชื้อโรค โดยแบ่งตามประเภท รูปแบบ และชนิด ดังนี้

- 1) ถุงมือยางมี 3 ประเภท คือ
 - ประเภทที่ 1 ทำจากน้ำยางธรรมชาติ
 - ประเภทที่ 2 ทำจากน้ำยางสังเคราะห์
 - ประเภทที่ 3 ทำจากน้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์
- 2) ถุงมือยางแต่ละประเภท มี 2 รูปแบบ คือ
 - แบบใช้ได้ทั้งขวาและซ้าย (ambidextrous) หมายถึง ถุงมือยางที่มีตำแหน่งของนิ้วหัวแม่มืออยู่ในระนาบเดียวกับนิ้วทั้งสี่ สามารถสวมใส่ได้ทั้งซ้ายและขวา โดยต้องมีความหนาต่ำสุด 0.06 มิลลิเมตรทั้งส่วนนิ้วและฝ่ามือ ความกว้างอยู่ในช่วง 7.5 - 13 เซนติเมตร และความยาวต่ำสุด 22 เซนติเมตร
 - แบบคู่ขวาและซ้าย (in pairs) หมายถึง ถุงมือยางที่มีตำแหน่งของนิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางฝ่ามือด้านนิ้วชี้มากกว่าอยู่แบนราบ โดยต้องมีความหนาต่ำสุด 0.15 มิลลิเมตรทั้งส่วนนิ้วและฝ่ามือ ความกว้างอยู่ในช่วง 9 - 11 เซนติเมตร และความยาวต่ำสุด 30 เซนติเมตร

- 3) ถุงมือยางแต่ละประเภทและแต่ละรูปแบบ แบ่งตามการปรับผิว มี 2 ชนิด
- ชนิดผิวมีแป้ง หมายถึง ถุงมือยางที่ใช้แป้ง (แป้งข้าวโพด) เพื่อป้องกันการติดกันของถุงมือยางและช่วยให้ความสะดวกในการสวมใส่ โดยต้องมีแป้งตกค้างไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร
 - ผิวไม่มีแป้ง หมายถึง ถุงมือยางที่ผ่านกรรมวิธีปรับผิว เช่น แช่ในสารละลายคลอรีน (chlorination) พ่นด้วยผงเส้นใยด้านในของถุงมือ (flocking) เคลือบด้วยพอลิเมอร์ (polymer coating) เพื่อเพิ่มความลื่นที่ผิวเพื่อความนุ่มและสะดวกในการสวมใส่แทนการใช้แป้ง โดยถุงมือที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารละลายคลอรีนต้องมีความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6-8 ถุงมือยางไม่มีแป้งต้องมีแป้งตกค้างไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร

นอกจากนี้ ปัจจุบันยังมีมีคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับยางและผลิตภัณฑ์ยางเรียกว่า ISO/TC45- rubber and rubber products ซึ่งมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับถุงมือยางด้วย แต่ยังไม่ได้กำหนดค่าสูงสุดของสารปนเปื้อนจำพวกสารก่อภูมิแพ้และสารก่อมะเร็งที่ยอมให้มีในถุงมือยาง (ยกเว้น โปรตีนละลายน้ำเท่านั้น)

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับไนโตรซามีนที่พบในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่างๆ โดยมีวิธีการสกัดและวิเคราะห์ไนโตรซามีน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5 ไนโตรซามีนที่พบในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	ชนิดของไนโตรซามีน	วิธีการทดลอง	อ้างอิง
จุกนมยางและถุงมือยาง	NDMA ในถุงมือยางสูงสุดที่ 329 µg/g และ ไนโตรซามีนรวม พบสูงสุดที่ 25 µg/g ใน จุกนมยาง 8.6 µg/g	ใช้วิธี solid-phase extraction วิเคราะห์ ตัวอย่างด้วยเครื่อง gas chromatograph with thermal energy analyzer detector (GC/TEA)	Sen <i>et al.</i> , 1981
จุกนมยาง	NDMA, NDEA, NPIP และ NDBA	ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ให้แต่ละด้านมีพื้นที่ ประมาณ 5 ตารางมิลลิเมตร แล้วคลุกเคล้ากันให้ทั่ว ซึ่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม เติมไดคลอโรมีเทน 100 มิลลิลิตร ปิดจุก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 17 ถึง 18 ชั่วโมง สกัดโดยใช้เครื่องสกัดซอกซ์เล็ต นำไป กลั่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	มอก. 969, 2533
ลูกโป่ง	NDMA และ NDBA พบ < 0.01 µg/g	ซึ่งตัวอย่างมา 5-10 g ใช้วิธี method A (standard for teats and soothers) (4.2 g NaHCO ₃ , 0.5 g NaCl, 0.2 g K ₂ CO ₃ , 30 mg NaNO ₂ dissolved in 1 L distilled water; adjusted to pH 9) วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง gas chromatograph with thermal energy analyzer detector (GC/TEA)	EN 12868 EN 12868, 1999

ตารางที่ 1-5 ไนโตรซามีนที่พบในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ (ต่อ)

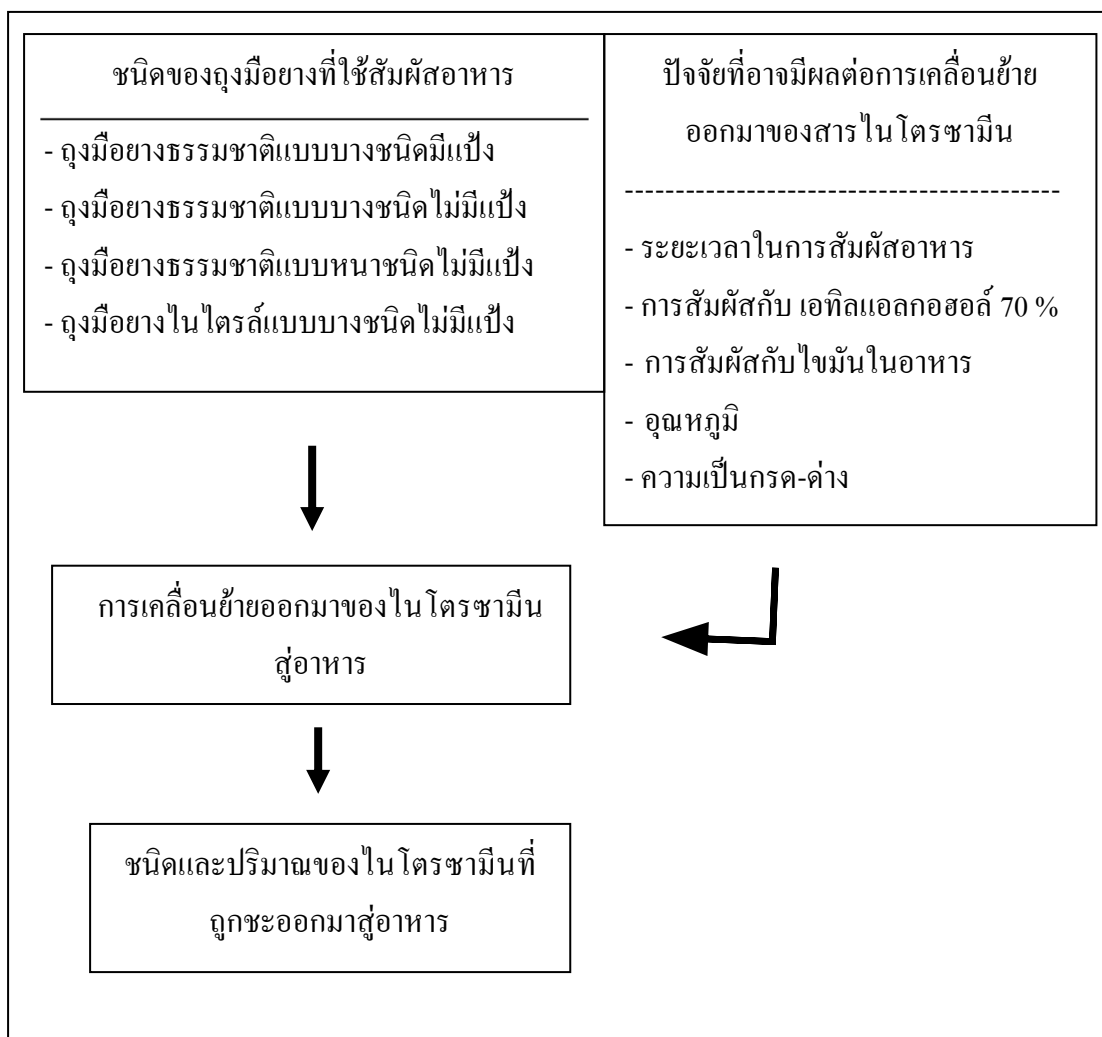
ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง	ชนิดของไนโตรซามีน	วิธีการทดลอง	อ้างอิง
อาหารทั่วไป	NDMA, NDEA, NPIP, NPYR, และ NDBA	ชะด้วย 60: 40 (v:v) hexane/DCM clean up โดยใช้ solid-phase extraction โดยใช้ florisil เป็นตัวดูดซับ วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง gas chromatograph with thermal energy analyzer detector (GC/TEA)	Jurtchenko <i>et al.</i> , 2002
ไส้กรอก แสม และเบคอน	NDEA, NPIP และ NPYR	ใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration) และ clean up สารไนโตรซามีน ซึ่งได้ใช้วิธี solid-phase extraction โดยใช้ florisil เป็นตัวดูดซับและทำการชะสารด้วย 30 % ethyl ether/dichloromethane	ภาณี ทรัพย์ประเสริฐ , 2549
แฮม	NMOR, NPYR, NDEA และ NPIP	ใช้คอลัมน์ C18 และตรวจวัดโดยใช้ UV detector ได้เคลื่อนที่	นฤมล วชิรปัทมา, 2551
ถุงมือยาง	NDMA, NDEA และ NDBA พบ 18.89 - 244.51 µg/kg	ใช้วิธี EN 12868 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค gas chromatography	Feng <i>et al.</i> , 2009

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารไนโตรซามีนในเนื้อถูงมือยางชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร

2) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการสัมผัส อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง การสัมผัสกับน้ำมันปาล์ม และการสัมผัสกับ เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเคลื่อนย้ายของสารไนโตรซามีนออกมาจากถูงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

1.5 กรอบแนวคิดของงานวิจัย



1.6 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหาของการวิจัย ประกอบด้วยการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบไนโตรซามีนที่ปนเปื้อนในถั่วมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร การวัดปริมาณของสารไนโตรซามีนที่ถูกระบายออกมาจากถั่วมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร โดยเลือกวิเคราะห์สารกลุ่มเอ็นไนโตรซามีน 4 ชนิดที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ยางเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitrosopiperidine (NPIP), N-nitrosodiethylamine (NDEA), N-Nitrosodibutylamine (NDBA) ตามลำดับความเป็นพิษ (Jurtchenko, *et.al.*, 2002) และศึกษาปัจจัยที่อาจมีผลต่อการระบายของไนโตรซามีนเหล่านี้

ขอบเขตด้านประชากรมุ่งศึกษาถั่วมือยางที่ใช้สัมผัสอาหารในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป ในจังหวัดสงขลา พบว่า ถั่วมือยางธรรมชาติ และถั่วมือยางไนไตรล์เป็นถั่วมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงเลือกใช้ถั่วมือ 2 ประเภทนี้ในการศึกษา ได้แก่ ถั่วมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง (3 ยี่ห้อ) ถั่วมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง ถั่วมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง (2 ยี่ห้อ) และถั่วมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง

สมมติฐานของงานวิจัยนี้ คือ ชนิดของถั่วมือ และปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาในการสัมผัส อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง การสัมผัสกับน้ำมันปาล์ม และการสัมผัสกับเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารไนโตรซามีนจากถั่วมือยางได้เพิ่มขึ้น

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่ผู้บริโภคทราบถึงวิธีใช้ถั่วมือยางให้ปลอดภัยต่อการปนเปื้อนสารไนโตรซามีนในอาหาร
- 2) เป็นข้อมูลให้แก่หน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนด และควบคุมมาตรฐานของถั่วมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาชนิด ปริมาณ และปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของสารไนโตรซามีนจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการดังนี้

2.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 สารมาตรฐาน (Standard chemical)

EPA 521 Nitrosamine mixture in methylene chloride (GC grade, Supelco, USA)
ซึ่งประกอบด้วย

- N-Nitroso-N-methylethylamine (NMEA)
- N-Nitrosodi-N-buthylamine (NDBA)
- N-Nitrosodi-N-propylamine (NDPA)
- N-Nitrosodiethylamine (NDEA)
- N-Nitrosodimethylamine (NDMA)
- N-Nitrosopiperidine (NPIP)
- N-Nitrosopyrrolidine (NPYR)

2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

เลือกศึกษาถุงมือยางที่ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป ในจังหวัดสงขลา ได้แก่

- ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง 3 ยี่ห้อ
- ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง 1 ยี่ห้อ
- ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง 2 ยี่ห้อ
- ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง 1 ยี่ห้อ

2.1.3 สารเคมี

- ฟลอริซิล (Florisil 60-100 mesh) (U.S. Silica Company, USA)
- ไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2), GC grade (Fisher Scientific, England)
- ไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)
- โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4 anhydrous), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)
- เฮกเซน (C_6H_{14}), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)
- เมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)
- เอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR grade (LAB-SCAN, Thailand)

2.1.4 เครื่องมือ

- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่มีตัวตรวจวัดแบบเปลวไอออไนซ์ (gas chromatograph-flame ionization detector) ยี่ห้อ Agilent รุ่น GC 6850 (Agilent, USA)
- Capillary column ชนิด HP-5MS เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอนเมตร (Agilent, USA)
- Chemstation software (Agilent, USA)
- เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB 1502 (Delta Range, Switzerland)
- เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB 204 (Delta Range, Switzerland)
- เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker) (Wizard, Thailand)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น 150 (Russell, USA)
- เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) (Buchi, Switzerland)
- เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน (deionizer) Millipore รุ่น Milli-Q 185 plus (Hamillton, USA)
- ตู้ดูดควัน (Super flow fume cupboard) (Wizard, Thailand)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น w760 (Mettmert, Germany)

2.1.5 วัสดุและอุปกรณ์

- น้ำมันปาล์ม
- หลอดหยด
- แท่งแก้วคน
- เทอร์มอมิเตอร์
- กระจกบอกลีดยาแบบแก้ว ขนาด 5 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์ ขนาด 25, 50, 100 มิลลิลิตร
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 10.0, 50.0, 100.0, 1000.0 มิลลิลิตร
- กระจกตวง ขนาด 25, 50 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร
- กระดาษกรอง (Whatman) ขนาดรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร
- ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร
- ปิเปต ขนาด 1.0, 5.0, 10.0 มิลลิลิตร

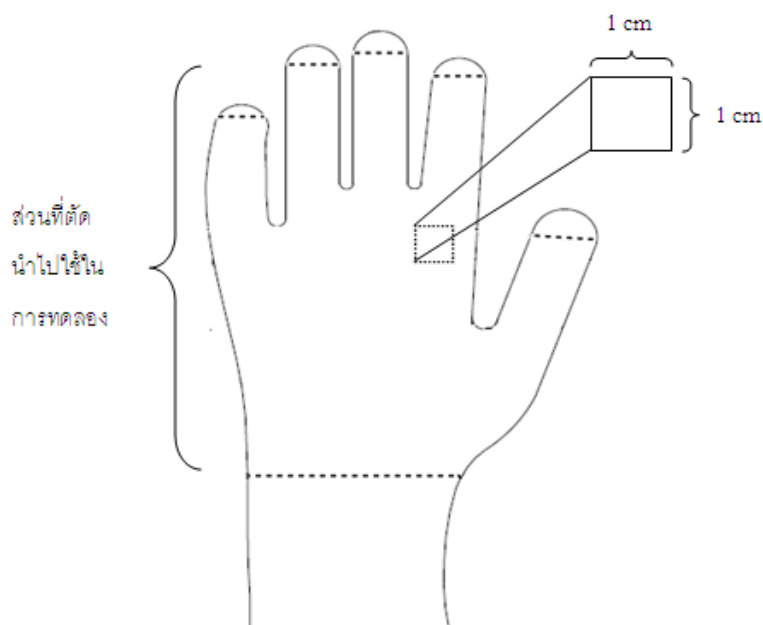
2.2 วิธีดำเนินการ

2.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

ทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องแก้วด้วยน้ำยาทำความสะอาดเครื่องแก้ว ล้างผ่านด้วยน้ำสะอาด แล้วจึงล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้ง หลังจากนั้นนำเครื่องแก้วไปอบที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Leivadara *et al.*, 2007) แล้วชะเครื่องแก้วด้วยเฮกเซน และ ไดคลอโรมีเทนทุกครั้งก่อนใช้ในการทดลอง

2.2.2 การเตรียมชิ้นส่วนถุงมือในการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้นจะนำถุงมือแต่ละชนิด มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ โดยตัดทั้งบริเวณส่วนของนิ้วมือ และฝ่ามือ เป็นชิ้นขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร ตามที่ได้แสดงในภาพประกอบที่ 2.1 แล้วนำชิ้นส่วนของถุงมือทั้งสองส่วนมารวมกันเพื่อชั่งน้ำหนักและนำไปใช้ในการทดลอง เหตุผลที่ไม่เลือกนำเฉพาะส่วนมาวิเคราะห์เนื่องจากในขั้นตอนการผสมสารเคมีกับน้ำยาง สารแต่ละกลุ่มที่เติมในน้ำยางจะต้องผสมเข้ากับน้ำยางเป็นอย่างดีก่อนที่จะเติมสารตัวอื่นลงไป โดยการกวนซึ่งใช้ใบพัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่พอที่จะเคลื่อนพาน้ำยางผสมกันอย่างทั่วถึง (homogeneous) สามารถมั่นใจได้ว่าสารเคมีและเนื้อยางมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นหากตัดบริเวณใดก็ให้ผลเช่นเดียวกัน (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2548)



ภาพประกอบที่ 2-1 ส่วนของถุงมือยางที่นำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆเพื่อนำใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างของถุงมือที่ใช้ในการทดลองได้แสดงในภาพประกอบที่ 2-2 ถึง 2-5



ภาพประกอบที่ 2-2 ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง



ภาพประกอบที่ 2-3 ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง



ภาพประกอบที่ 2-4 ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง



ภาพประกอบที่ 2-5 มือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง

2.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ไนโตรซามีน

เตรียม nitrosamines standard stock solution 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากความเข้มข้นเริ่มต้น 2,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย N-nitrosomethylethylamine (NMEA), N-nitrosodibutylamine (NDBA), N-nitrosodi-N-propylamine (NDPA), N-nitrosodiethylamine (NDEA), N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitrosopiperidine (NPIP) และ N-nitrosopyrrolidine (NPYR) โดยเปิด nitrosamines standard 2,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยไดคลอโรมีเทนให้ครบ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน ถ่ายใส่ขวดสีชาและห่อขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันการสัมผัสกับแสง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน -15 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสามารถเก็บสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนไว้ได้ประมาณ 6 เดือน แต่ถ้าเตรียมสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนในน้ำ และเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส จะเก็บไว้ได้ประมาณ 45 วัน (USEPA, 2004)

ข้อควรระวังในการใช้สารไนโตรซามีน ได้แก่ การใช้สารไนโตรซามีนควรทำในตู้ดูดควันเท่านั้น และควรสวมหน้ากากป้องกันสารเคมีที่มีตัวกรองซึ่งมีค่าระดับการป้องกันจากการทดสอบในสภาพการทำงานจริง (assigned protection factor : APF) ตั้งแต่ 10 ขึ้นไป เช่น หน้ากากป้องกันสารระเหยชนิดใส่กรองเดี่ยว ยี่ห้อ 3M รุ่น 3001 ควรสวมเสื้อผ้าให้มิดชิด สวมถุงมือและแว่นครอบตาป้องกันสารเคมี

2.2.4 การสร้างกราฟมาตรฐาน (standard calibration)

เตรียมสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนจาก stock solution โดยการปรับปริมาตรด้วย ไดคลอโรมีเทนในขวดวัดปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนเป็น 0.03, 0.10, 0.50, 1.00, 5.00, 10.00, 50.00, 100.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วเปิดใส่ขวด vial 2 มิลลิลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร บันทึกพื้นที่พีคสร้างกราฟมาตรฐาน ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรซามีน (external standard) กับพื้นที่พีค (peak area) คำนวณปริมาณสารไนโตรซามีนแต่ละชนิด โดยใช้ linear regression equation ($y = ax + b$) หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.2.5 ชุดการทดลอง

แบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ชุดการทดลอง

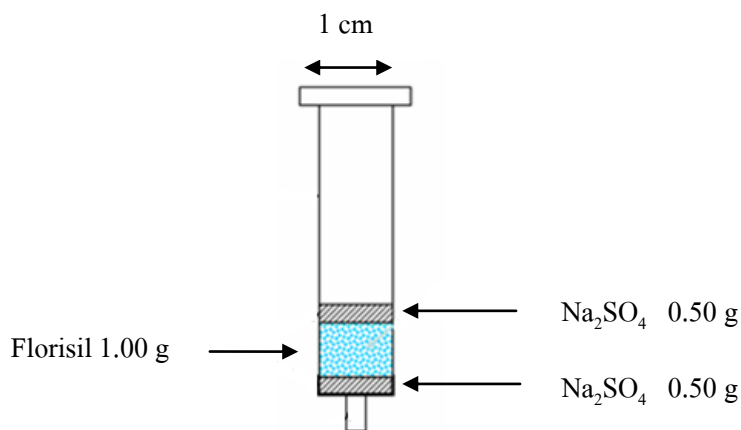
ชุดการทดลองที่ 1 ศึกษาระดับการปนเปื้อนของไนโตรซามีนในถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย hexane : dichloromethane (60:40 v/v)

การสกัดตัวอย่าง

ซั่งงมื่ออย่างที่ตัดเป็นชิ้น ขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร มา 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ สกัดโดยเติม เฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) (Raoul *et al.*, 1997) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วแยกชิ้นส่วนงมื่อออกโดยการถ่ายสารละลายใส่ขวดก้นกลม หลังจากนั้นนำสารละลายไปลดปริมาตรด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง แล้วละลายกลับด้วย เฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 4°C แล้วนำไปกำจัดสารปนเปื้อนโดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid phase extraction, SPE) ภายใน 7 วัน

เทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง เป็นวิธีการทำให้สารบริสุทธิ์โดยให้ตัวดูดซับที่เป็นของแข็งมีหน้าที่ดูดซับสารที่ต้องการไว้ในคอลัมน์ หลังจากนั้นจะชะด้วยตัวทำละลายเพื่อดึงสารที่ต้องการออกมาเป็นลำดับสุดท้าย แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ โดยการทดลองนี้ใช้ฟลอริซิลเป็นตัวดูดซับในโตรซามีน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การเตรียมตัวดูดซับของแข็งที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ จะใช้กระดาษกรองที่ตัดเป็นวงกลมขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ แก้วขนาด 1 เซนติเมตร รองฐานของคอลัมน์ แล้วบรรจุ ด้วย โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) 0.5 กรัม ตามด้วยฟลอริซิลหนัก 1.0 กรัม แล้วปิดทับด้วยโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) อีก 0.5 กรัม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1 (USEPA, 1989)



ภาพประกอบที่ 2-6 การบรรจุคอลัมน์ SPE

การกำจัดสารปนเปื้อน (clean up) (USEPA, 1989)

ปรับสภาพคอลัมน์ด้วยการเติม เฮกเซน 5 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้ว (ทิ้งสารละลาย) แล้วค่อยผ่านสารละลายตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้ว 2 รอบ แล้วทิ้งสารละลาย จากนั้นทำการชะไนโตรซามีนที่ถูกดูดซับอยู่ในคอลัมน์ด้วยไดคลอโรมีเทนและเมทิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 95:5 (v/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (Jurtchenko, 2002) ลงในคอลัมน์แก้วรองรับสารละลายด้วยขวดก้นกลม แล้วนำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนที่ 40 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยไดคลอโรมีเทน ถ่ายสารละลายใส่ขวด vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID) (หัวข้อ 2.3)

ชุดการทดลองที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของไนโตรซามีนในจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

2.1) ศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัส

ชั่งชิ้นส่วนถุงมือยางขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร มา 5 กรัม แช่ชิ้นส่วนถุงมือยางในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30, 60 และ 120 นาที แล้วนำไปสกัดและแยกน้ำออกด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตรโดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนที่ 40 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้งแล้วละลายกลับด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วย SPE คอลัมน์ โดยใช้ฟลูออริซิลเป็นตัวดูดซับ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หลังจากนั้นนำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งและปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยไดคลอโรมีเทน ถ่ายสารละลายใส่ ขวด vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID)

2.2) ศึกษาผลของอุณหภูมิ

ชั่งชิ้นส่วนถุงมือยางขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร มา 5 กรัม แช่ชิ้นส่วนถุงมือยางในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 5, 25, 40, 70 และ 95 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาสกัดแยกน้ำออกด้วย เฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตรโดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนที่ 40 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้งแล้วละลายกลับด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วยคอลัมน์ฟลูออริซิล เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หลังจากนั้นนำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร

ด้วยไดคลอโรมีเทน ถ่ายสารละลายใส่ขวด vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID)

2.3) ศึกษาผลของการสัมผัสกับไขมัน

ชั่งชิ้นส่วนถู่มืออย่างขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร มา 5 กรัม แช่ชิ้นส่วนถู่มืออย่างในน้ำมันปาล์มปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 5, 25, 40, 70 และ 95 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่าด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการสกัดแยกน้ำมันปาล์มออกด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนที่ 40 องศาเซลเซียสจนเกือบแห้ง แล้วละลายกลับด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วย SPE คอลัมน์ โดยใช้ฟลอริซิลเป็นตัวดูดซับเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หลังจากนั้นนำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยไดคลอโรมีเทน ถ่ายสารละลายใส่ขวด vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID)

2.4) ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ชั่งชิ้นส่วนถู่มืออย่างขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร มา 5 กรัม แช่ชิ้นส่วนถู่มืออย่างในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับ pH เป็น 2, 4, 7 และ 9 ด้วย 0.01 M กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือ 0.01 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) นำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วทำการสกัดแยกน้ำออกด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) แล้วนำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนเกือบแห้ง แล้วละลายกลับด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วย SPE คอลัมน์โดยใช้ฟลอริซิลเป็นตัวดูดซับเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หลังจากนั้นนำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งและปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยไดคลอโรมีเทน ถ่ายสารละลายใส่ขวด vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID)

2.5) ผลของการสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์

ชั่งชิ้นส่วนถู่มืออย่างขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร มา 5 กรัม นำชิ้นส่วนถู่มืออย่างที่สเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 3 นาที และชิ้นส่วนถู่มืออย่างในกลุ่มควบคุมมาแช่ในน้ำกลั่น เขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 140 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วนำไปสกัดและแยกน้ำออกด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน

60:40 (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรที่ 40 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้งแล้วละลายกลับด้วยเฮกเซนและไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วย SPE คอลัมน์ โดยใช้ฟลูออริซิลเป็นตัวดูดซับเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 หลังจากนั้นนำไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งและปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยไดคลอโรมีเทน ถ่ายสารละลายใส่ขวด vial แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID)

2.3 การวิเคราะห์ไนโตรซามีน

2.3.1 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID) การกำหนดสภาวะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไนโตรซามีนได้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Jurado และคณะ (2007) โดยการเพิ่มในส่วนของอัตราการใช้ของแก๊ส H_2 (fuel gas) N_2 (make-up gas) และอากาศ (oxidant gas) ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สภาวะของเครื่อง GC-FID สำหรับการวิเคราะห์ไนโตรซามีน

โปรแกรม/โหมด	สภาวะการทำงาน
Inlet conditions	Mode: splitless Injector temperature 250 °C
Injection volume	1 µl
Column	HP-5 (5% Phenyl methyl siloxane) Length: 30 m Diameter: 320 µm Film thickness: 0.25 µm
Detector	FID temperature 300 °C Flow rate: He (carrier gas) 1.0 ml/min H ₂ (fuel gas) 30 ml/min N ₂ (make-up gas) 40 ml/min Air (oxidant gas) 300 ml/min
Oven temperature	Initial temperature 40 °C initial time 3.00 min 10 °C/min to 100 °C 1 min 15 °C/min to 250 °C 2 min
Run time	22 min

2.3.2 การคำนวณหาปริมาณสารไนโตรซามีนในสารละลายตัวอย่าง

สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรซามีน (external standard) กับพื้นที่ใต้กราฟ (peak area) คำนวณค่าความเข้มข้นของสารไนโตรซามีนในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้ linear regression equation ($y = ax + b$) หน่วยเป็น mg/L จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของไนโตรซามีน ที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณปริมาณไนโตรซามีนหน่วยเป็น $\mu\text{g/g}$ ในตัวอย่างดังสมการ (จิรากร โกชัยเสวี, 2549)

$$\text{สูตร} \quad C_s = \frac{S \cdot V}{W}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง
 S = ความเข้มข้นของสารในสารละลายตัวอย่าง
 V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง
 W = น้ำหนักตัวอย่าง

2.3.3 การทดสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์

2.3.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

นำ กราฟมาตรฐานที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ซึ่งต้องได้ค่า ≥ 0.995 จึงจะยอมรับได้ (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534)

2.3.3.2 ความเที่ยง (Precision)

โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน 10 ซ้ำ แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% relative standard deviation, %RSD) ซึ่งเกณฑ์การยอมรับของ %RSD ต้องมีค่าไม่เกิน 10% จึงจะถือว่าวิธีวิเคราะห์นั้นมีความเที่ยง (APHA, AWWA and WEF, 2005; แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534)

$$\%RSD = \frac{SD}{\text{Mean}} \times 100$$

เมื่อ SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
 Mean = ค่าเฉลี่ย

2.3.3.3 ความแม่นยำ (Accuracy)

การหาค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของสารที่วิเคราะห์โดยการเติม (spike) สารละลายมาตรฐานในโตรซามีนลงไปในส่วนถุงมืออย่างที่ระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้จากชิ้นส่วนถุงมืออย่างทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ถุงมือยางธรรมชาติมีแป้งชนิดบาง (3 ยี่ห้อ) ถุงมือยางธรรมชาติไม่มีแป้งชนิดบาง ถุงมือยางไนไตรล์ และถุงมือยางธรรมชาติไม่มีแป้งชนิดหนา (2 ยี่ห้อ) นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ NDBA แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของสารมาตรฐาน (% recovery) ในชิ้นส่วนถุงมืออย่าง

$$\% \text{ recovery} = \frac{(C_s - C_u)}{C} \times 100$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นที่วัดได้ของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานลงไป

C_u = ความเข้มข้นที่วัดได้ของตัวอย่าง

C = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป

ค่า % recovery ที่ได้ควรอยู่ในช่วง 80-120 (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534)

2.3.3.4 ขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection, LOD) และ ขีดจำกัดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (limit of quantitation, LOQ)

Limit of detection (LOD) เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่สามารถตรวจพบได้ LOD คือปริมาณสารที่ให้สัญญาณเป็น 3 เท่าของสัญญาณรบกวน

Limit of quantitation (LOQ) เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยที่มีความแม่นยำและความเที่ยงเป็นที่ยอมรับได้ LOQ คือปริมาณสารที่ให้สัญญาณเท่ากับ 10 เท่าของสัญญาณรบกวน

LOD และ LOQ หาได้โดยการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นน้อยที่สุดจำนวน 10 ซ้ำ หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) และนำค่า SD มาคำนวณโดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{LOD} = 3\text{SD}$$

$$\text{LOQ} = 10\text{SD}$$

โดยค่า SD จำนวนจากสูตร
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

เมื่อ s = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n = จำนวนข้อมูล

x_i = ค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้ง

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายๆ ครั้ง

(แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534; Long and Wineford, 1983)

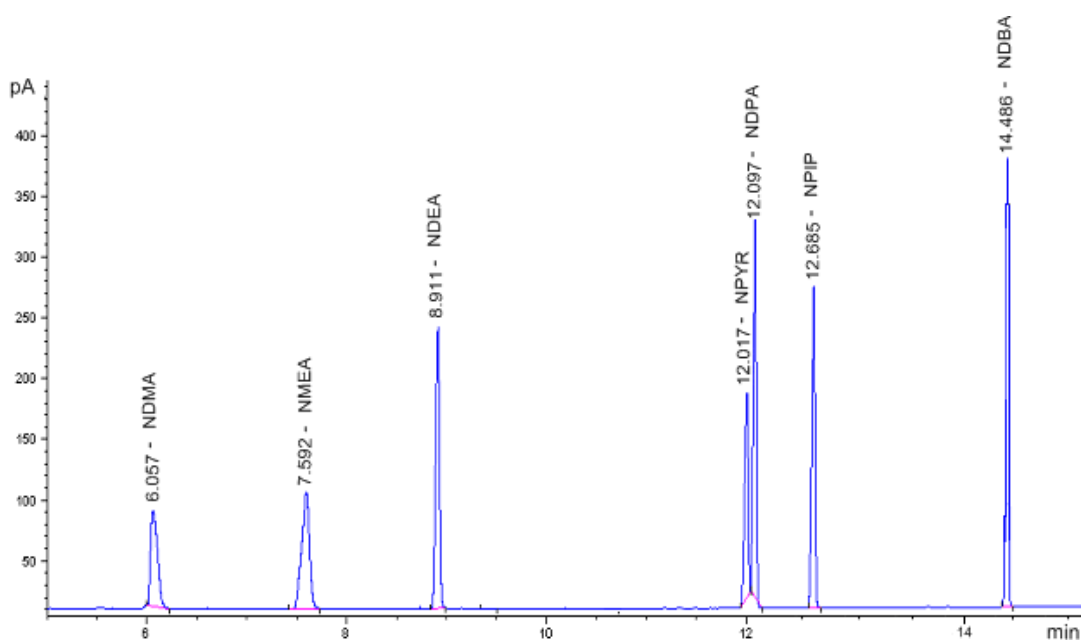
2.3.4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำเสนอข้อมูลด้วยกราฟแท่ง วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) ได้แก่วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองด้วย One-Way ANOVA และ Tukey test และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้ independent sample t-test การประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC (Statistical Package for the Social Science/Personal Computer) version 11.5

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

โครมาโทแกรมจากการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนด้วยเครื่อง gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID) ปรากฏพีคของไนโตรซามีน 7 ชนิด ได้แก่ N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-Nitroso-N-methylethylamine (NMEA), N-nitrosodiethylamine (NDEA), N-Nitrosopyrrolidine (NPYR), N-Nitrosodi-N-propylamine (NDPA), N-nitrosopiperidine (NPIP) และ N-Nitrosodibutylamine (NDBA) โดยมี retention time (RT) เท่ากับ 6.05 ± 0.05 , 7.59 ± 0.05 , 8.91 ± 0.05 , 12.01 ± 0.05 , 12.10 ± 0.05 , 12.68 ± 0.05 และ 14.48 ± 0.05 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-1 ซึ่งพีคที่ได้แยกกันชัดเจน มีพีคของสารอื่นรบกวนน้อย



ภาพประกอบที่ 3-1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

การวิเคราะห์ไนโตรซามีนที่สกัดจากถุงมือยางชนิดต่างๆ ด้วย GC-FID ได้แก่ ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง (3 ยี่ห้อ) ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง และถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง (2 ยี่ห้อ) พบเฉพาะไนโตรซามีนชนิด N-nitrosodibutylamine (NDBA) เท่านั้น ที่ได้แสดงในภาพประกอบที่ 3-2 ถึง 3-5 โดยปรากฏพีกตรงกับพีกของ NDBA ในสารละลายมาตรฐาน ที่ เวลา 14.48 ± 0.05 นาที ซึ่ง NDBA เป็นสารที่อาจทำลายระบบหายใจ ดวงตา ผิวหนัง และอาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ แต่ระดับความเป็นพิษของ NDBA ต่ำกว่า NDMA และ NDEA (Fernlof and Darnerud, 1996 และ USEPA, 2009) สาเหตุของการตกค้างของ NDBA ในผลิตภัณฑ์ถุงมือนั้นส่วนใหญ่เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กับเอมีนทุดิยูมิ โดยแหล่งที่มาที่สำคัญของเอมีนทุดิยูมิในอุตสาหกรรมยางคือสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (sulfur accelerator) ที่มีหมู่เอมีนทุดิยูมิอยู่ในโครงสร้าง เช่น กลุ่มไทยูเรม ได้แก่ tetra-N-butyl thiuram disulfide (TBTD) และกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมท ได้แก่ Zinc N,N-dibutyldithiocarbamate (ZDBC) (กนกทิพย์ บุญเกิด, 2551) และเคยมีรายงานการวิจัยในประเทศจีนที่ตรวจพบ NDBA ในถุงมือยางปราศจากเชื้อเท่ากับ 0.07-0.13 ไมโครกรัมต่อกรัม ถุงมือตรวจโรค 0.09-0.18 ไมโครกรัมต่อกรัม และถุงมือที่ใช้ในครัวเรือน 0.09-0.66 ไมโครกรัมต่อกรัม (Feng *et al.*, 2009)

3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ (Method validation)

จากการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดของ NDBA ที่วิธีการวิเคราะห์สามารถตรวจพบได้ โดยทำการวิเคราะห์ 10 ครั้ง ได้ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) เท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 5.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าวิธีการวิเคราะห์นี้มีความเที่ยง (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม , 2534; APHA, AWWA and WEF, 2005; FDA, 2005) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ในกราฟมาตรฐานมีค่ามากกว่า 0.995 ดังแสดงในภาคผนวกภาพประกอบที่ ก-7 และ ก-8 ถือว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดี (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534; FDA, 2005)

3.1.1 ค่าความแม่นยำของการสกัดสาร NDBA จากตัวอย่างถูงมื่ออย่าง

ความแม่นยำของการสกัดสาร NDBA ในตัวอย่างถูงมื่ออย่างสามารถแสดงได้ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของ NDBA จากการสกัดตัวอย่างชิ้นส่วนถูงมื่ออย่างชนิดต่างๆ

ชนิดของถูงมื่ออย่าง	C (µg/g)	Cu (µg/g)	Cs (µg/g)	% recovery
ถูงมื่ออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1	1.30	1.32±0.01	2.49±0.04	88.84±2.75
ถูงมื่ออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 2	0.20	ND	0.18±0.01	89.20±4.34
ถูงมื่ออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 3	0.08	0.06±0.01	0.12±0.04	82.00±4.83
ถูงมื่ออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง	0.30	0.25±0.04	0.49±0.05	85.71±2.12
ถูงมื่ออย่างในไทรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง	1.00	0.93±0.11	1.80±0.03	86.48±3.80
ถูงมื่ออย่างธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อที่ 1	1.00	0.93±0.07	1.81±0.04	88.16±4.30
ถูงมื่ออย่างธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อที่ 2	0.20	ND	0.17±0.01	87.40±3.77

ND = not detected (< 0.004 µg/g)

จากตารางที่ 3-1 ค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างถูงมื่ออย่างทั้ง 7 กลุ่ม มีค่าอยู่ระหว่าง 82.00-89.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 83 เปอร์เซ็นต์ที่เป็นเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของการสกัดสาร NDBA ในตัวอย่างเนื้อ (Yurchenko, 2006) โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วง 80-120 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าการสกัดตัวอย่างถูงมื่ออย่างทั้ง 7 กลุ่ม มีค่าความแม่นยำในช่วงที่ยอมรับได้ (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534; FDA, 2005)

3.1.2 ความแม่นยำของการสกัดสาร NDBA ในน้ำ

ผลการค่าความแม่นยำของการสกัดสาร NDBA ในตัวอย่างน้ำที่เตรียมจากการเติมสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนลงในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.50-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของการสกัด NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5-10 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำ

ความเข้มข้นของ NDBA ที่เติมลงไป (mg/L)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	% recovery
0.50	0.45±0.02	89.80±4.66
5.00	4.38±0.25	87.50±4.91
10.00	8.45±0.23	84.54±2.23

จากตารางที่ 3-2 ค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับในน้ำกลั่นมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 84.54-89.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วง 80-120 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในช่วงความเข้มข้น 0.5-10 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแม่นยำที่สามารถยอมรับได้

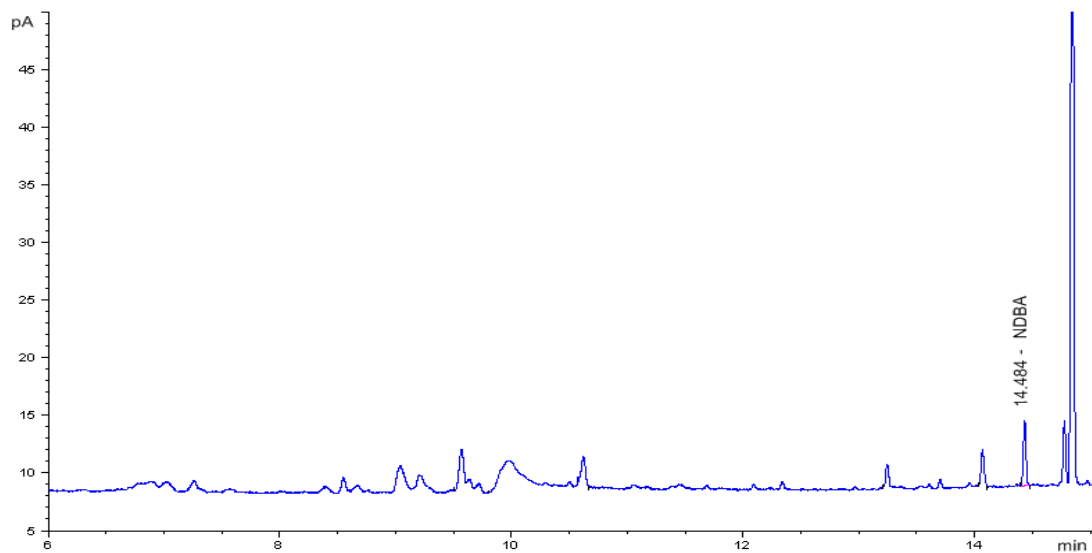
3.1.3 ความแม่นยำของการสกัดสาร NDBA ในน้ำมันปาล์ม

ผลการหาความแม่นยำของการสกัด NDBA ในน้ำมันปาล์มโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนในน้ำมันปาล์มในช่วงความเข้มข้น 0.50-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3-3

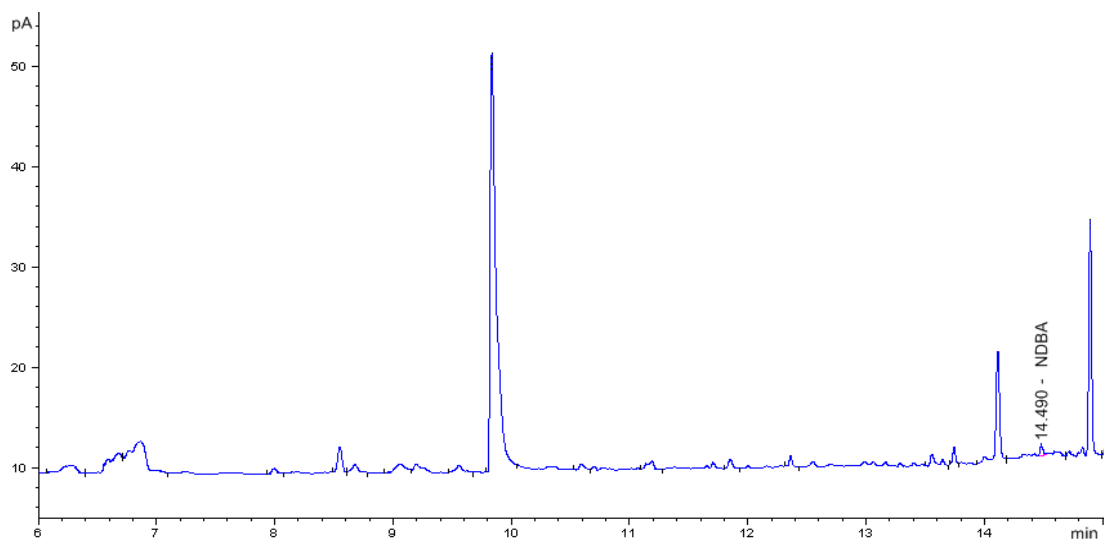
ตารางที่ 3-3 ค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของการสกัด NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำมันปาล์ม

ความเข้มข้นของ NDBA ที่เติมลงไป (mg/L)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	% recovery
0.50	0.44±0.03	87.20±6.67
5.00	4.20±0.15	83.88±2.92
10.00	8.37±0.42	83.73±4.15

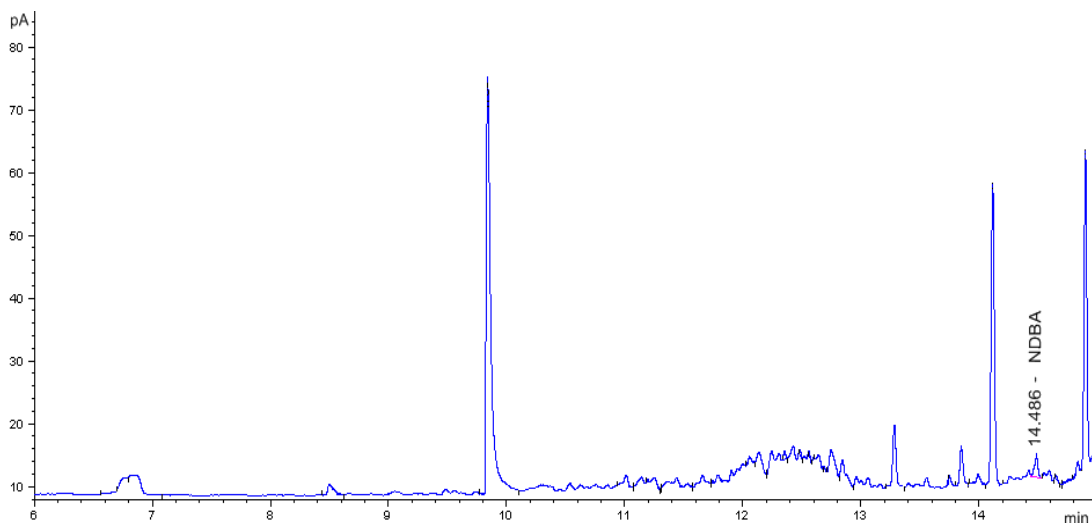
จากตารางที่ 3-3 ค่าเปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของ NDBA ในน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 83.73-87.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วง 80-120 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าการวิเคราะห์ด้วยน้ำมันปาล์มในช่วงความเข้มข้น 0.5-30 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแม่นยำที่สามารถยอมรับได้



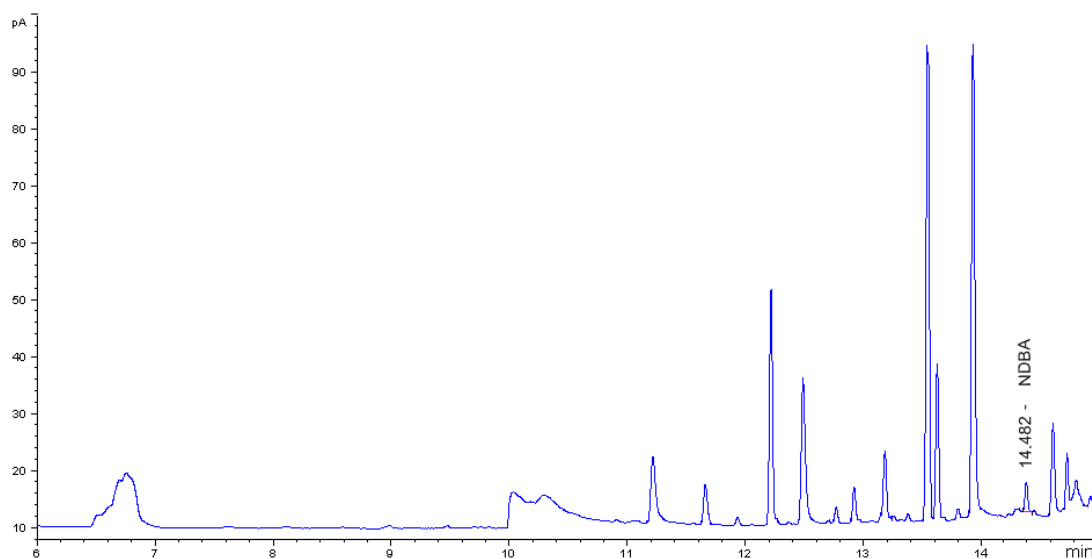
ภาพประกอบที่ 3-2 โครมาโทแกรมแสดงพีคของ NDBA จากถูงมีอย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง (ความเข้มข้น = 3.72 มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพประกอบที่ 3-3 โครมาโทแกรมแสดงพีคของ NDBA จากถูงมีอย่างธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง (ความเข้มข้น = 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพประกอบที่ 3-4 โครมาโทแกรมแสดงพีคของ NDBA จากถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มี
แป้ง (ความเข้มข้น = 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพประกอบที่ 3-5 โครมาโทแกรมแสดงพีคของ NDBA จากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่
มีแป้ง (ความเข้มข้น = 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.2 ผลการวิเคราะห์ NDBA ในถุงมือยางชนิดต่างๆ

การวิเคราะห์หาปริมาณสาร NDBA ในถุงมือยางชนิดต่างๆ ได้แก่ ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง (3 ยี่ห้อ) ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง และถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง (2 ยี่ห้อ) โดยการสกัดซ้ำ 4 ครั้งด้วยตัวทำละลาย เฮกเซนและ ไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 60:40 (v/v) ปริมาตรครั้งละ 50 มิลลิลิตร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ระดับ NDBA ในถุงมือยางชนิดต่างๆ (n-10)

ตัวอย่างถุงมือยาง	ปริมาณ NDBA ($\mu\text{g/g}$)
ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1	2.08 \pm 0.10
ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 2	ND
ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 3	0.06 \pm 0.01
ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง	0.40 \pm 0.04
ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง	1.02 \pm 0.10
ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อที่ 1	1.05 \pm 0.08
ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อที่ 2	ND

ND = not detected (< 0.004 $\mu\text{g/g}$)

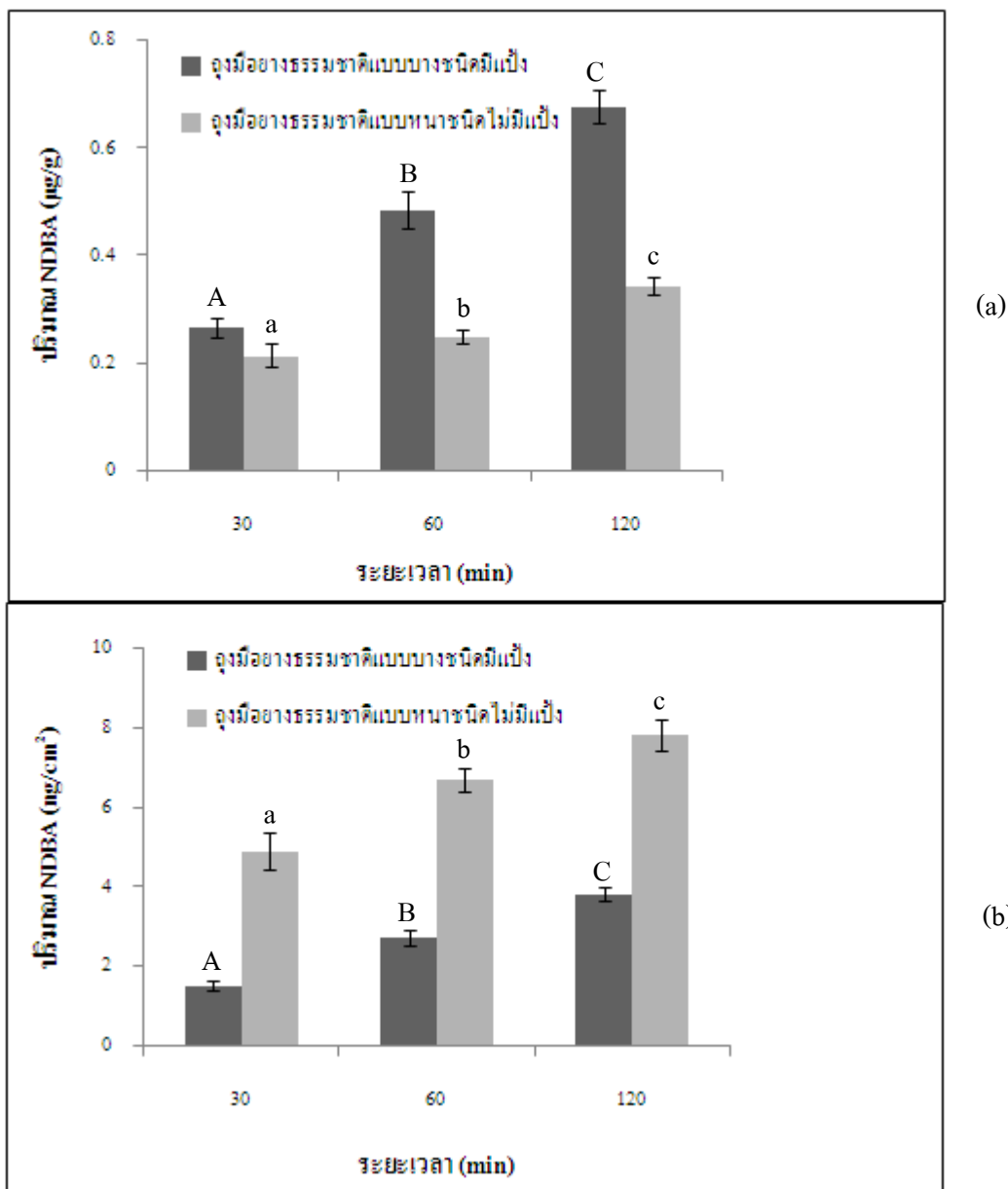
จากตารางที่ 3-4 ปริมาณ NDBA ในถุงมือยางชนิดต่างๆ พบ NDBA อยู่ในช่วงตั้งแต่ ตรวจไม่พบ ถึง 2.08 \pm 0.10 ไมโครกรัมต่อกรัม จะเห็นว่าปริมาณ NDBA ที่พบมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับปริมาณ NDBA ที่เคยมีรายงานในประเทศจีน คือ 0.07-0.66 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งพบสูงกว่าไนโตรซามีนชนิด NDMA และ NDEA (Feng *et al.*, 2009) อาจเนื่องจากในกระบวนการผลิตถุงมือยางมีการเติมสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่มีหมู่เอมีนทุติยภูมิอยู่ในโครงสร้างชนิดที่ก่อให้เกิดไนโตรซามีนชนิด NDBA เช่น ZDBC ซึ่งสารไนโตรซามีนชนิด NDBA มีความสามารถก่อมะเร็งต่ำกว่า NDMA และ NDEA (Fernlof and Darnerud, 1996)

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยาง

ในการศึกษาปัจจัยที่อาจมีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยาง ได้แก่ ระยะเวลาในการสัมผัส อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง การสัมผัสกับน้ำมันปาล์ม และการสัมผัสกับ เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1 และถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อที่ 1 เป็นตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งถุงมือทั้งสองชนิดนี้เป็นถุงมือยางที่พบ NDBA ในปริมาณสูงที่สุด และเป็นถุงมือยางที่นิยมนำมาใช้ในงานที่ต้องสัมผัสอาหารอย่างแพร่หลาย

3.3.1 ผลของระยะเวลาที่ใช้สัมผัสต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยาง

เมื่อให้ชิ้นส่วนถุงมือยางสัมผัสกับน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าปริมาณเฉลี่ยของ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งเท่ากับ 0.27 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อกรัม เมื่อต้องการคิดต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือสามารถทำได้โดยนำค่าความเข้มข้นของ NDBA ที่วิเคราะห์ได้อยู่ในหน่วยนาโนกรัมต่อกรัมมาแปลงให้อยู่ในหน่วยนาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยถุงมือยางแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อนี้มีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 178 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม จะได้ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาเท่ากับ 1.50 ± 0.11 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งพบว่าปริมาณเฉลี่ยของ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาเท่ากับ 0.22 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อกรัม เมื่อคิดต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือโดยถุงมือยางแบบหนาชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อนี้มีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 44 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม พบว่าปริมาณเฉลี่ยของ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 4.89 ± 0.47 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะเห็นว่า NDBA เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งได้มากกว่าถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งเมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ แต่ถ้าเปรียบเทียบกับปริมาณ NDBA ต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ จะพบว่า NDBA เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งน้อยกว่าถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-6 ซึ่งการคิดต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือมีความสมเหตุสมผลมากกว่าการคิดต่อมวลของถุงมือ เพราะปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาย่อมขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่ามวลของถุงมือ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะรายงานเป็นปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ



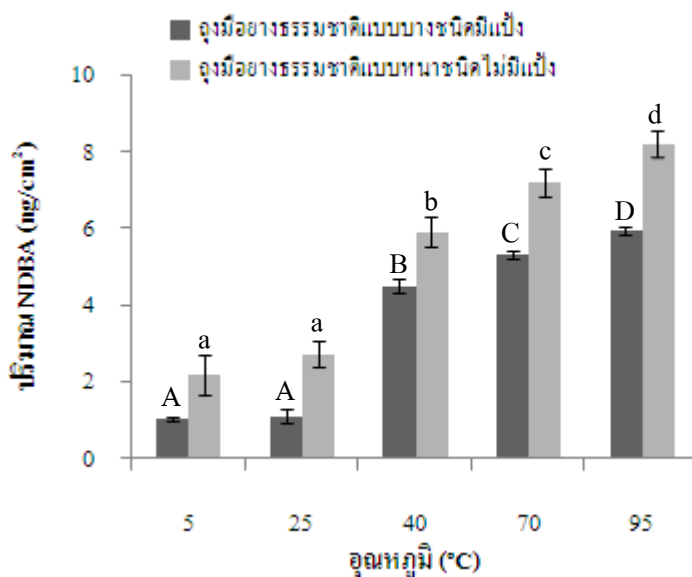
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มชนิดเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 ภาพประกอบที่ 3-6 กราฟแสดงปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) เปรียบเทียบกับกราฟแสดงปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) ที่ระยะเวลาต่างๆ ($n=5$)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้นและถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 30 นาที เป็น 60 นาที และ 120 นาที จะเห็นว่าปริมาณเฉลี่ยของ NDBA เคลื่อนย้ายออกมาสูงขึ้นตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่าการเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสในช่วง 30-

120 นาที จะทำให้การแพร่กระจายออกมาของ NDBA ที่อยู่ในเนื้อถุงมืออย่างแปรผันตามระยะเวลาที่สัมผัสจนกว่าจะถึงจุดสมดุลของการแพร่ คือสถานะที่ความเข้มข้นของ NDBA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในน้ำชะและในเนื้อถุงมือ ไม่ว่าจะมีการสัมผัสที่นานขึ้นเพียงใด (Martha and Wells, 2009) อย่างไรก็ตาม ในการทดลองต่อไปจะใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ในการศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้าย NDBA ออกมาจากถุงมือยาง เนื่องจากในชีวิตประจำวันการใช้ถุงมือยางสัมผัสกับอาหารนั้นใช้ระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นเพื่อให้สัมพันธ์กับความเป็นจริงและสอดคล้องกับข้อกำหนดของ EU ที่ระบุไว้ว่า หากความเป็นจริงที่เราใช้เวลาในการสัมผัสกับอาหาร น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 นาที ให้ใช้ระยะเวลา 30 นาที ในการทดสอบการเคลื่อนย้ายออกมาของสารปนเปื้อนจากผลิตภัณฑ์สัมผัสอาหาร (EU communities, 1993)

3.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

เมื่อให้ชิ้นส่วนถุงมือยางสัมผัสกับน้ำกลั่นที่ อุณหภูมิ 5, 25, 40, 70 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-7



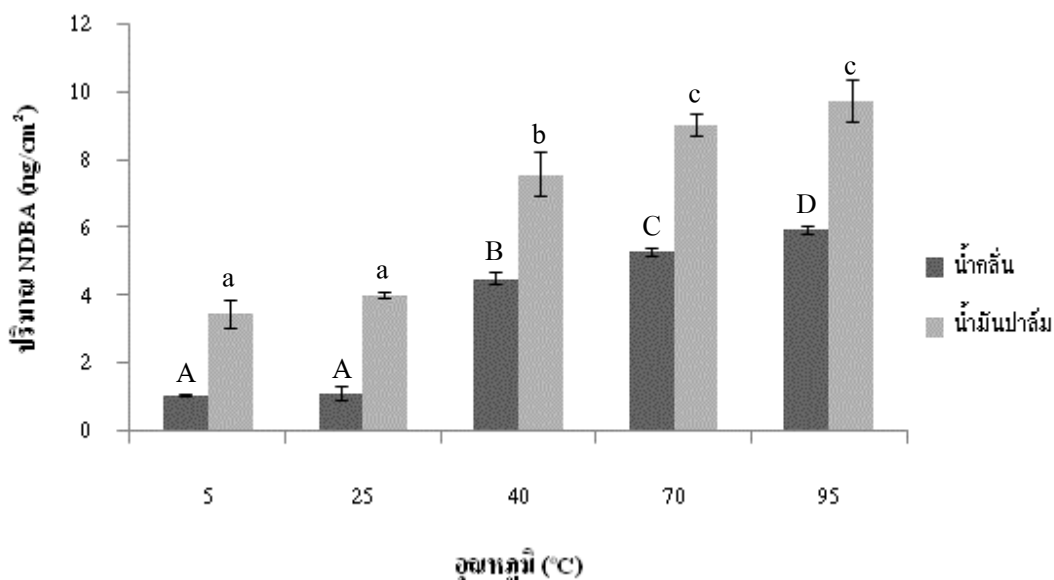
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในถุงมือชนิดเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพประกอบที่ 3-7 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางสู่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ($n=5$)

จากภาพประกอบที่ 3-7 จะเห็นว่าผลการทดลองกับถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 40, 70, และ 95 องศาเซลเซียส NDBA เคลื่อนย้ายออกมาในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการทดลองในถุงมือ

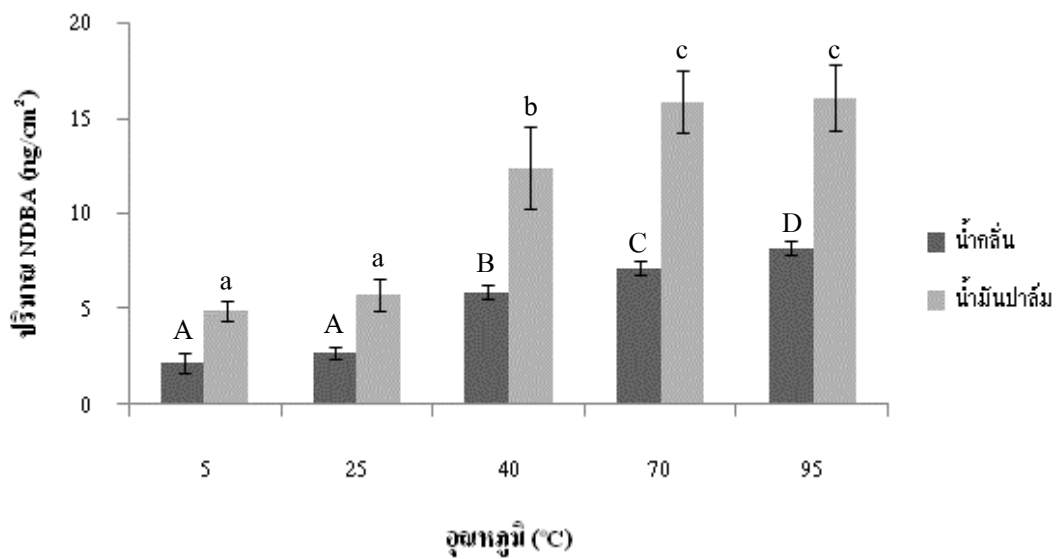
ยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งพบว่าที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ($p>0.05$) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 40 จนถึง 95 องศาเซลเซียส NDBA เคลื่อนย้ายออกมาในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับในถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะเกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางทั้งสองชนิด พบว่าถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งมีปริมาณ NDBA เคลื่อนย้ายออกมาสูงกว่าในถุงมือยางธรรมชาติมีแป้งชนิดบางทุกตัวอย่าง

3.3.3 ผลของไขมันต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาเมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นกับที่เคลื่อนย้ายออกมาเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มจากถุงมือยางทั้งสองชนิด พบว่า NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่ น้ำมันปาล์มมีปริมาณสูงกว่าที่เคลื่อนย้ายออกมาสู่ น้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) เนื่องจากน้ำมันปาล์มสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อถุงมือยางได้ดีกว่าน้ำและ NDBA ยังเป็นสารที่มีขั้วต่ำ จึงสามารถละลายได้ดีในน้ำมันปาล์มทำให้ถูกชะออกมาได้มากขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-8 และ 3-9



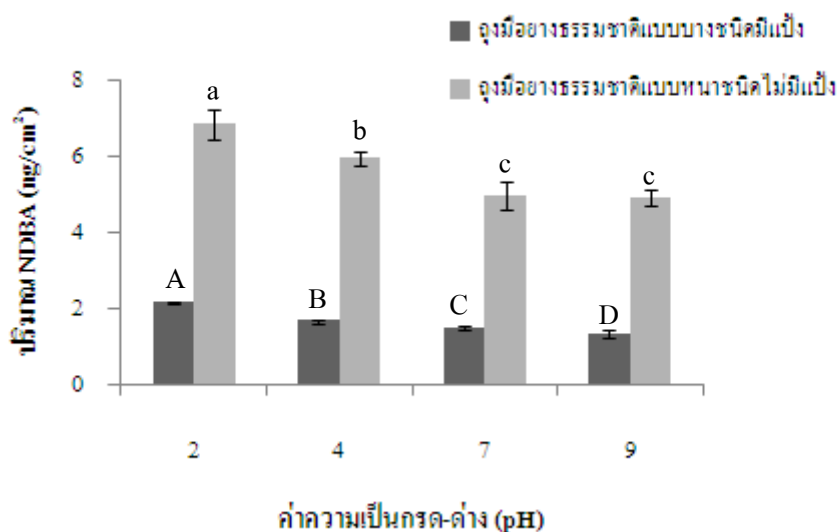
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกัน ในถุงมือชนิดเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพประกอบที่ 3-8 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้ง ในน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ ($n=5$)



หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในถุงมือชนิดเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 ภาพประกอบที่ 3-9 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มี
 แป้งในน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ (n=5)

3.3.4 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA จากถุงมือยางที่ใช้ สัมผัสอาหาร

การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA ในถุงมือ
 ยาง โดยให้ชิ้นส่วนของถุงมือยางสัมผัสกับน้ำกลั่นที่ปรับค่าพีเอช ให้เท่ากับ 2, 4, 7, และ 9 เป็น
 เวลา 30 นาที มีผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.10

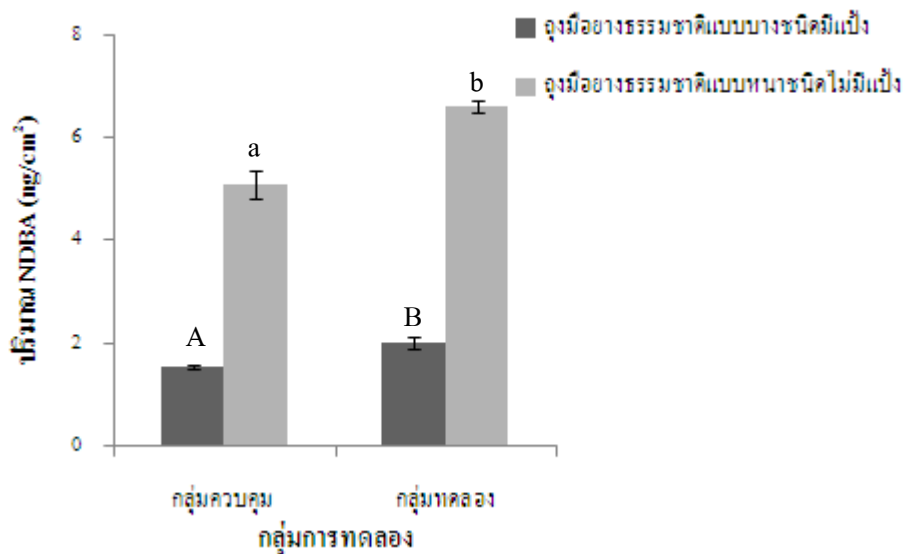


หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในถุงมือชนิดเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 ภาพประกอบที่ 3-10 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างที่มีเชื้อต่างๆ (n=5)

จากภาพประกอบที่ 3-10 พบว่าเมื่อสารละลายเป็นกรดมากขึ้น NDBA เคลื่อนย้ายออกมามากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ พีเอช 7 และ 9 ของปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างธรรมชาติแบบหนาชชนิดไม่มีแป้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะของพอลิเมอร์ในยางทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะ และเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลของยาง จึงทำให้ NDBA แพร่ออกมาได้ง่ายกว่าในสภาวะเป็นกลาง

3.3.5 ผลของการสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ต่อการชะออกมาของ NDBA จากถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร

เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จึงนิยมนำมาใช้ฉีดพ่นหรือจุ่มฆ่าเชื้อบนถุงมือก่อนใช้งานในโรงงานแปรรูปอาหาร ในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ต่อการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA ในถุงมืออย่างด้วยการสเปรย์เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ลงบนชิ้นส่วนถุงมืออย่าง แล้วนำชิ้นส่วนถุงมืออย่างไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้สเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ก่อนการสัมผัสกับน้ำกลั่น ผลการทดลองได้แสดงในภาพประกอบที่ 3-11



หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในถุงมือชนิดเดียวกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 ภาพประกอบที่ 3-11 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างหลังการสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วแช่ในน้ำกลั่นเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($n=5$)

ผลการทดลองพบว่า NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างทั้งสองชนิด หลังจากสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์ สามารถซึมผ่านผิวของถุงมืออย่างได้ดี สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 67.9 เปอร์เซ็นต์ ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บนถุงมือ PVC แล้วนำมาสัมผัสกับอาหารพบว่าปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ DEHP มากกว่าการไม่ได้ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อบนถุงมือก่อนสัมผัสกับอาหาร (Tsumura *et al.*, 2000) และ NDBA สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) จึงเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวของถุงมือได้ง่าย และเมื่อนำถุงมือไปแช่ในน้ำกลั่น NDBA ก็จะสามารถเคลื่อนย้ายสู่น้ำกลั่นได้สูงกว่ากลุ่มควบคุม

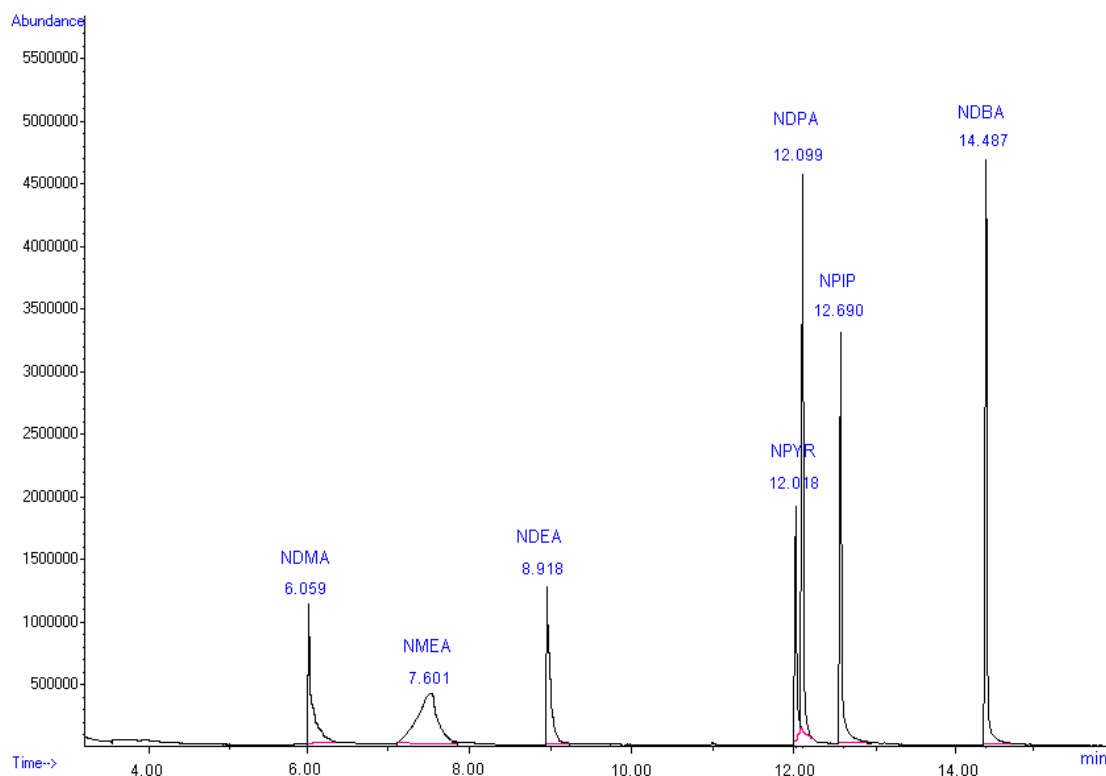
ในการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารไนโตรซามีนชนิด N-nitrosodibutylamine (NDBA) ที่ยินยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร สามารถคำนวณได้จากค่า health reference levels (HRL) คือ 6 นาโนกรัมต่อลิตรในน้ำดื่มต่อวัน (กำหนดให้ปริมาณการบริโภคน้ำดื่ม 2 ลิตรต่อวัน) (USEPA, 2009) และพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือมีค่าประมาณ 370 ตารางเซนติเมตร จะได้ปริมาณ NDBA ที่ยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างได้ไม่เกิน $(6 \times 2) / 370 = 0.03$ นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน พบว่าปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมืออย่างที่สภาวะต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ – 16.12 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งถุงมืออย่างบาง

ยี่ห้อที่มีค่ามากกว่า 0.03 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงว่าถ้าใช้ถุงมือแบบนี้สัมผัสกับน้ำดื่ม เช่น น้ำผลไม้ น้ำที่ใช้ประกอบอาหาร อาจมีการเคลื่อนย้ายของ NDBA ออกมาจากถุงมืออย่างบางยี่ห้อใน ปริมาณที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพได้

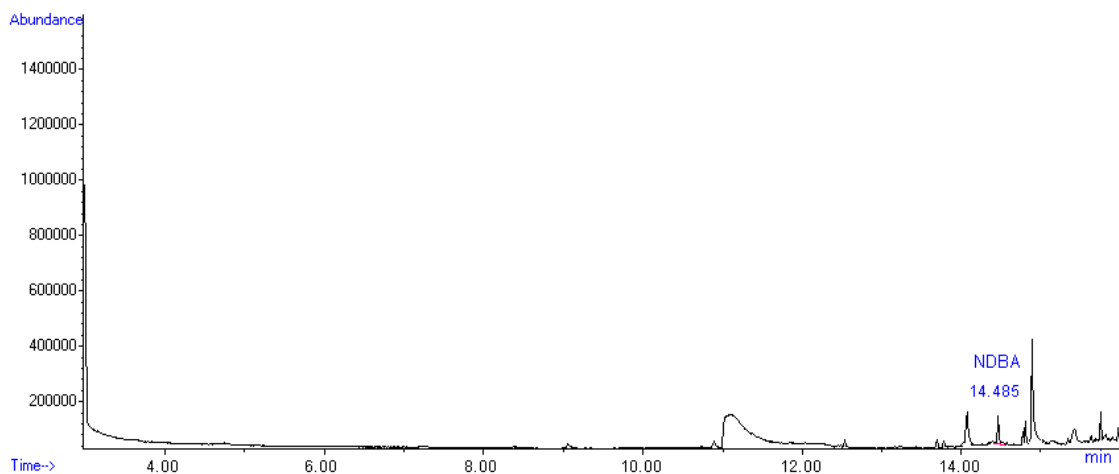
3.4 การตรวจยืนยันผลด้วยเทคนิค Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)

การตรวจยืนยันผลการวิเคราะห์ไนโตรซามีน ใช้เครื่อง gas chromatograph–mass spectrometer (GC-MS) โดยคอลัมน์ที่ใช้คือ capillary column ชนิด 5 % phenyl methyl siloxane (HP-MS) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร (Agilent, USA) สภาพที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ตั้งอุณหภูมิ injector ที่ 250 องศาเซลเซียสและ detector ที่ 300 องศาเซลเซียส ตั้งอุณหภูมิ oven เริ่มต้นที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที เพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึง 100 องศาเซลเซียส คงไว้ 1 นาที และเพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 15 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึง 250 องศาเซลเซียส คงไว้ 2 นาที (Jurado-Sanchez, *et al.*, 2007) หากความเข้มข้นของ NDBA ที่เครื่องสามารถแสดงพิก NDBA ได้ อย่างชัดเจน โดยทำการวิเคราะห์ 10 ครั้ง ได้ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 2.82 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) เท่ากับ 9.42 ไมโครกรัมต่อลิตร

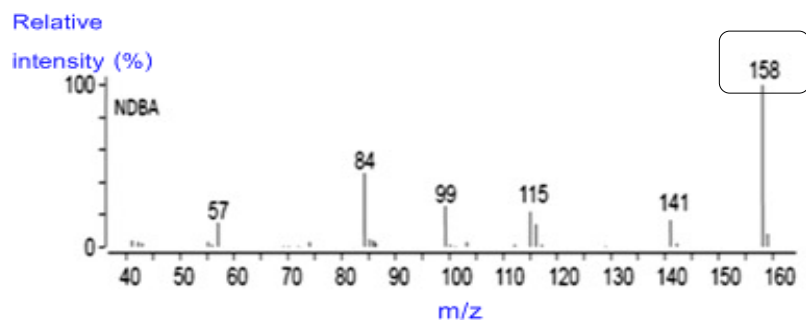
โครมาโทแกรมที่ได้จากการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีน ด้วยเครื่อง GC-MS ปรากฏพิกของไนโตรซามีน 7 ชนิด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-12 ได้แก่ N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitroso-N-methylethylamine (NMEA), N-nitrosodiethylamine (NDEA), N-nitrosopyrrolidine (NPYR), N-nitrosodi-N-propylamine (NDPA), N-nitrosopiperidine (NPIP) และ N-Nitrosodibutylamine (NDBA) โดยมี retention time (RT) เท่ากับ 6.06 ± 0.05 , 7.60 ± 0.05 , 8.92 ± 0.05 , 12.02 ± 0.05 , 12.10 ± 0.05 , 12.69 ± 0.05 และ 14.49 ± 0.05 นาที ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ยืนยันชนิดของไนโตรซามีนที่พบในถุงมืออย่างชนิดต่างๆด้วยเครื่อง GC-MS แปลผลโดยการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของ Wiley 275 ที่มี quality match 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยยืนยันได้ว่าพบเพียงไนโตรซามีนชนิด NDBA เท่านั้น ตัวอย่างโครมาโทแกรมและแมสสเปกตรัม (mass spectrum) ของ NDBA ในตัวอย่างสกัดจากถุงมืออย่าง ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-13 และ 3-14 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 3-12 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานใน โตรชามินที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS



ภาพประกอบที่ 3-13 โครมาโทแกรมแสดงพีคของ NDBA ที่ได้จากการตรวจวัดน้ำชะตัวอย่างถุงมือยางจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS



ภาพประกอบที่ 3-14 แมสสเปกตรัม (mass spectrum) ของ NDBA จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS

จากภาพประกอบที่ 3-13 ปรากฏพีคของไนโตรซามีนพีคเดียวคือพีคของ NDBA ที่ retention time (RT) เท่ากับ 14.48 ± 0.05 นาที ซึ่งมี retention time ตรงกับพีคของสารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนชนิด NDBA และจากภาพประกอบที่ 3-14 การวิเคราะห์ยืนยันชนิดของไนโตรซามีนในถุงมืออย่างชนิดต่างๆด้วยเครื่อง GC-MS โดยการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของ Wiley 275 ที่มี quality match 80 เปอร์เซนต์ขึ้นไป โดยน้ำหนักมวลต่อประจุที่ใช้ยืนยันคือ 158

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ไนโตรซามีน (nitrosamine) ในตัวอย่างถุงมือยาง โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) ซึ่งได้รับการดัดแปลงมาจากวิธีของ Jurado และคณะ (2007) โดยการสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลาย hexane : dichloromethane (60:40, v/v) แล้วจัดสารปนเปื้อนด้วยวิธีการ solid phase extraction (SPE) โดยใช้ Florisil เป็นตัวดูดซับ จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID) โดยคอลัมน์ที่ใช้คือ capillary column ชนิด 5% phenyl methyl siloxane จากการวิเคราะห์ตัวอย่างถุงมือยางชนิดต่างๆที่ใช้สัมผัสอาหาร พบไนโตรซามีนเพียงชนิดเดียว คือ N-nitrosodibutylamine (NDBA) โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) เท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 5.80 เปอร์เซ็นต์ และ เปอร์เซ็นต์การได้คืนกลับของ NDBA มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความน่าเชื่อถือ

4.1.1 ปริมาณ NDBA จากการสกัดในเนื้อถุงมือยางชนิดต่างๆ

จากการวิเคราะห์ NDBA ในเนื้อถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร ได้แก่ ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้น ถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้น ถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้น ถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้น พบว่าปริมาณเฉลี่ยของ NDBA อยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ - 2.08 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อกรัม ทั้งนี้ปริมาณ NDBA ที่พบในถุงมือยางขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากผลการวิเคราะห์ถุงมือชนิดเดียวกันแต่ยี่ห้อต่างกัน พบว่าบางยี่ห้อที่ตรวจไม่พบ บางยี่ห้อที่พบในปริมาณมาก อาจเป็นเพราะในการผลิตถุงมือยางแต่ละยี่ห้อมีการเติมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาของรูป อย่างเช่น ZDBC แตกต่างกันมากทำให้เกิด NDBA ไม่เท่ากัน

4.1.2 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากตัวอย่างถุงมือยางที่สภาวะต่างๆ

- เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสนานขึ้นมีผลทำให้ NDBA เคลื่อนย้ายออกมาได้มากขึ้นจนกว่าจะถึงจุดสมดุล
- การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการสัมผัสทำให้ NDBA เคลื่อนที่ออกมาจากถุงมือยางได้มากขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

- การสัมผัสกับไขมัน เช่น น้ำมันปาล์ม จะเพิ่มปริมาณการเคลื่อนย้ายของ NDBA ออกจากถุงมือยาง เนื่องจาก NDBA สามารถละลายได้ดีในไขมัน
- ในสถานะที่มีความเป็นกรด จะเพิ่มปริมาณการเคลื่อนย้ายออกของ NDBA จากถุงมือยาง คือ ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาแปรผกผันกับค่าพีเอช
- การสเปรย์เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ลงบนถุงมือยาง ทำให้ NDBA เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางได้เพิ่มขึ้น เนื่องจาก NDBA สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้บริโภค

การใช้ถุงมือยางสัมผัสอาหารหลังจากสวมถุงมือแล้วควรล้างน้ำสะอาดหรือน้ำอุ่นเพื่อชะไนโตรซามีนออกไปบางส่วน ก่อนใช้ถุงมือสัมผัสกับอาหาร และควรหลีกเลี่ยงการกระทำเหล่านี้ในการใช้ถุงมือยางสัมผัสอาหาร โดยอาจใช้ช้อนส้อม ทัพพี หรือคีบอาหารแทน

- การสัมผัสกับอาหารเป็นระยะเวลานาน
- การสัมผัสกับอาหารที่อุณหภูมิสูง
- การสัมผัสกับอาหารที่มีปริมาณไขมันสูง
- การสัมผัสกับอาหารที่มีความเป็นกรดสูง
- การสัมผัสกับเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ก่อนสัมผัสกับอาหาร

4.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ควรมีการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารไนโตรซามีนที่ยอมให้เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร เท่ากับ 0.03 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค

4.2.3 ข้อเสนอแนะต่อผู้ประกอบการโรงงานผลิตถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ในการผลิตถุงมือยางหากต้องการลดปริมาณสารไนโตรซามีนชนิด N-Nitrosodibutylamine (NDBA) ที่ตกค้างในถุงมือยาง ควรหลีกเลี่ยงหรือลดการใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้ยางคงรูป ที่มีหมู่เอมีนทุติยภูมิอยู่ในโครงสร้าง เช่น กลุ่มไทยูเรม ได้แก่ tetra-N-butyl thiuram disulfide (TBTD) และกลุ่มไดไทโอคาร์บามेट ได้แก่ zinc N,N-dibutyl dithiocarbamate (ZDBC) นอกจากนี้อาจเพิ่มกระบวนการล้างมือด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างสารตกค้างออกไปบางส่วน

4.2.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ควรมีการศึกษาการชะออกมาของไนโตรซามีน ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ของเล่นเด็กที่ทำด้วยยาง จุกนมยาง ถูยางอนามัย วัสดุหรือเครื่องมือแพทย์ที่ทำด้วยยาง

เอกสารอ้างอิง

กนกทิพย์ บุญเกิด. 2551. ไนโตรซามีนในอุตสาหกรรมยาง. วารสารยางพารา 1, 5-10.

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำอย่างขั้น (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.pcd.go.th/public/pubblcation/en> (12 เมษายน 2553).

กรมควบคุมมลพิษ 2554. N-Nitrosodibutylamine; NDBA. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.lookchem.com/cas-924/924-16-3.html> (11 มีนาคม 2555).

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2552. การวิเคราะห์ไนโตรซามีนและสารเคมีต้องห้ามอื่นในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและจุกนมยาง (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.thaicosmetic.org/dev/index.php?option=com> (10 เมษายน 2553).

กระทรวงพาณิชย์. 2553. สถานการณ์และแนวโน้ม : ถูมือยาง และถุงยางคุมกำเนิด (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.exim.go.th/doc/newsCenter/10191.pdf> (20 พฤษภาคม 2553).

กัจพันธ์ สกุลแก้ว และอมร พงษ์มะลิวัลย์. 2547. รายงานการวิจัยเรื่องการเสื่อมสภาพของยาง. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

กัจจรเดช กิจมันเจริญกุล. 2552. กระบวนการเชิงนวัตกรรมสำหรับผลิตน้ำยางคงรูปอิสระ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2553. ข่าวสารด้านยาและผลิตภัณฑ์สุขภาพ ฉบับที่ 1 (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://fda.go.th/vigilance/bulletin.html> (1 กรกฎาคม 2553).

จักรพันธ์ ปัญจะสุวรรณ. 2542. พิษภัยในอาหาร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

- จินตนา ลีกิจวัฒน์. 2551. รายงานการวิจัยเรื่องถุงมือยาง. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- จิรากร โกศัยเสวี ศิริพันธ์ สุขมาก พนิดา ไชยยันต์บูรณ์ และคณะ. 2549. รายงานผลวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนาระบบการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในห้องปฏิบัติการ. กรมวิชาการเกษตร.
- ชุติมา ศรีวิบูลย์. 2546. การวิเคราะห์โดยเครื่องโครมาโทกราฟี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ัชชมนต์ แดงกนิษฐ์ และ นุชนาถ ฐ ระนอง. 2550. การวิจัยการใช้สารเคมีที่เหมาะสมในการผลิตยาง. สถาบันวิจัยยาง.
- นฤมล วชิรปัทมา และ นฤมล นิลรัตน์สุวรรณ. 2545. รายงานการวิจัยเรื่องการหาไนโตรซามีนในแหนมโดยเทคนิค high performance liquid chromatography. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปวีณา เครือนิล. 2553. ไนโตรซามีนในเครื่องสำอาง. (ออนไลน์) ค้นหาได้จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_12_2551_Nitrosamine.pdf. (24 สิงหาคม 2553).
- ประสงค์ คุณานุกวัฒน์ชัยเดช. 2549. สารก่อมะเร็งไนโตรซามีน. จดหมายข่าวชีวเคมี 7(1): 4-8.
- ผลชิต บัวแก้ว. 2531. การผลิตน้ำยางข้น. ฝ่ายพัฒนาการผลิตและถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์วิจัยยางสงขลา.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย และชาคริต ลิริสิงห์. 2550. ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. 2541. ยางธรรมชาติและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางของประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์ 50(1), 29-37.

ภาณี ทรัพย์ประเสริฐและ อรพินท์ เจียรถาวร. 2549. รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการ clean-up สารไนโตรซามีนที่สกัดได้จากไส้กรอกด้วยเทคนิคการสกัดแบบการใช้ความร้อน. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

วิทยาลัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551. การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อประเมินการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร. (ออนไลน์) ค้นหาได้จาก <http://pack.cutip.net/foodcon/gen.php?page=13> (29 ตุลาคม 2551).

วารารณ์ ขจรไชยกุล. 2536. อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. เอกสารวิชาการเรื่องยาง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิภาวี พัฒนกุล. 2554. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง.

วิไลฐศักดิ์ วุฒิอดิเรก. 2553. สารก่อมะเร็งจากอาหารปิ้งย่างทอด. (ออนไลน์) ค้นหาได้จาก http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxin/a_tx_1_001c.asp?info_id=77. (14 กรกฎาคม 2553).

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.969) หุ่นมยางสำหรับขูดนม. กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2505-2553) ถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร.

สุมาลี ทั้งพิทยกุลม. 2554. มาตรฐานบรรจุภัณฑ์อาหาร. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กรุงเทพมหานคร.

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

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. 2547. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

หน่วยเทคโนโลยียาง. 2549. ยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (สาธายา).

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

Biaudet, H., Mavelle, T. and Debry, G. 1994. Mean daily intake of N-nitrosodimethylamine from foods and beverages in France in 1987-1992. Food and Chemical Toxicology 32(5), 417-421.

Diekhoff, G. 1992. Statistics for the Social and Behavioral Sciences: Univariate, Bivariate, Multivariate. Dubuque, Iowa:W. C. Brown.

Eurachem. 1998. The fitness for purpose of analytical methods: A laboratory guide to method Validation and Related Topics. Eurachem Guide 63, 6-74.

European Commission Directive. 1993. Council Directive 82/711/EEC of 18 October 1982 laying down the basic rules necessary for testing migration of the constituents of plastic materials and articles intended to come into contact with foodstuffs. Official Journal of the European Communities L90/25, 22-25.

- European Committee for Standardization. 1999. EN 12868 Child use and care articles. Methods for determining the release of N-nitrosamines and N-nitrosatable substances from elastomer or rubber teats and soothers. Dansk Standard.
- Fernlof, G. and Darnerud, P. O. 1996. N-nitroso compounds and precursors in food-level, intake and health effect data and evaluation of risk. Livmedelsverkets Rapport 15, 47-61.
- Feng, D., Wang, H., Cheng, X., et al. 2009. Detection and toxicity assessment of nitrosamines migration from latex gloves in the Chinese market. International Journal of Hygiene and Environment Health 212, 533–540.
- Fiddler, W., Pensabene, J.W. and Kimoto, W.I. 1985. Investigation of volatile nitrosamines in disposable protective gloves. American Industrial Hygiene Association Journal 46(8), 463– 465.
- Gonlag, A. 2003. Environmental issues and challenges in the European latex industry. (online) Available from: [http : // www. Rubber-stiching. Ind. Tno. NI/ art 6 nr 17. html](http://www.Rubber-stiching.Ind.Tno.Nl/art6nr17.html) (12 May 2010).
- Jakszyn, P. and Gonzalez, C.A. 2006. Nitrosamine and related food intake and gastric and oesophageal cancer risk : A systematic review of the epidemiological evidence. World Journal Gastroenterology 12(27), 4296-4303.
- Jurado-Sanchez, B., Ballesteros , E., Gallego, M. 2007. Comparison of the sensitivities of seven N-nitrosamines in pre-screened waters using an automated preconcentration system and gas chromatography with different detectors. Journal of Chromatography A 1154 , 66– 73.
- Jurtchenko, S., Tenno, T., Molder, U., and Reinik, M. 2002. Determination of volatile N-nitrosamines by gas chromatography–mass spectrometry with positive-ion chemical

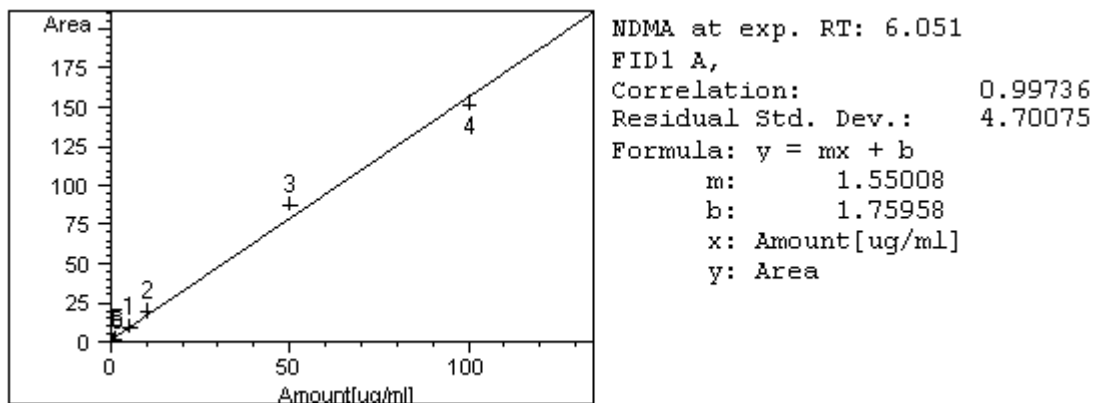
- ionization. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry 51(3), 169–184.
- Leivadara, S. V., Nikolaou, A. D. and Lakkas, T. D. 2007. Determination of organic compounds In bottled water. Food Chemistry 108, 277-286.
- Long, G. L. and Wineforder, J. D. 1983. Limit of detection: A close look at the IUPAC definition. Analytical Chemistry 55, 712-724.
- Montesano, R. and Bartch, H. 1976. Mutagenic and carcinogenic N-nitrosocompounds: Possible environmental hazards. DNA Repair 32, 179-228.
- Oury, B., Limasset, J.C. and Protois, J.C. 1997. Assessment of exposure to carcinogenic N-nitrosamines in the rubber industry. International Archives of Occupational and Environmental Health 70, 261-271.
- Raoul, S., Gremaud, E., Biaudet, H. and Tureski, R. 1997. Rapid solid-phase extraction method for the detection of volatile nitrosoamines in food. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45, 4706–4713.
- Rath, S., and Reyes, FG, Reyes. 2009. Nitrosamines. In: Nollet, LML., and Toldra, F.(eds.) Handbook of Processed Meats and Poultry Analysis. Valencia, Spain. Taylor & Francis Group.
- Rostkowska, K. 1998. Formation and metabolism of N-nitrosamines. Polish Journal of Environmental Studies 7(6), 321-325.
- Sen, N. P. and Seaman, S. 1981. Volatile N-nitrosamines in dried foods. Journal Association of Official Analytical Chemists 64(5), 1238–1242.

- Tsumura, Y., Ishimitsu, S., Saito, I., et al. 2000. Di(2-ethyl) phthalate contamination of retail packed lunches caused by PVC glove used in the preparation of foods. National Institute of Health Sciences 18, 569-579.
- USEPA. 2004. Determination of nitrosamines in drinking water by solid phase extraction and capillary column gas chromatography with large volume injection and chemical ionization tandem mass spectrometry (MS/MS). Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OHIO.
- USEPA. 2009. Final Contaminant Candidate List 3 Chemicals: Classification of the PCCL to CCL. Office of Water (4607M). EPA 815-R-09-008.
- USEPA. 1989. Evaluation of sample extract cleanup using solid-phase extraction cartridges, Project report.
- Tricker, A. R. and Preussmann, R. 1991. Carcinogenic *N*-nitrosamines in the diet: occurrence, formation, mechanisms and carcinogenic potential. Mutation Research 259, 277–289.
- Yurchenko, S. 2006. Determination of some carcinogenic contaminants in food. Tartu University. Tartu, Estonia.
- Zaboikin, M., Srinivasakumar, N., and Schuening, F. 2006. Gene therapy with drug resistance genes. Division of Hematology/Oncology, Department of Medicine, Vanderbilt University. Nashville, TN, USA.

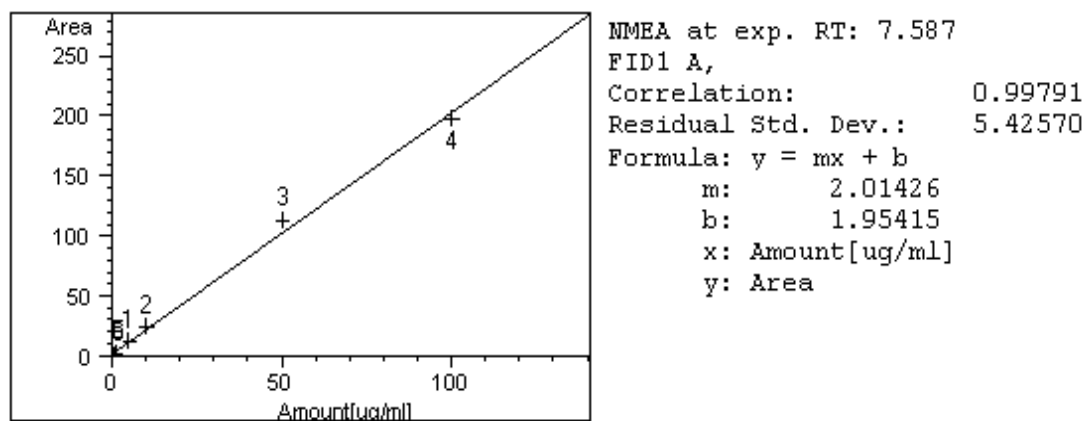
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

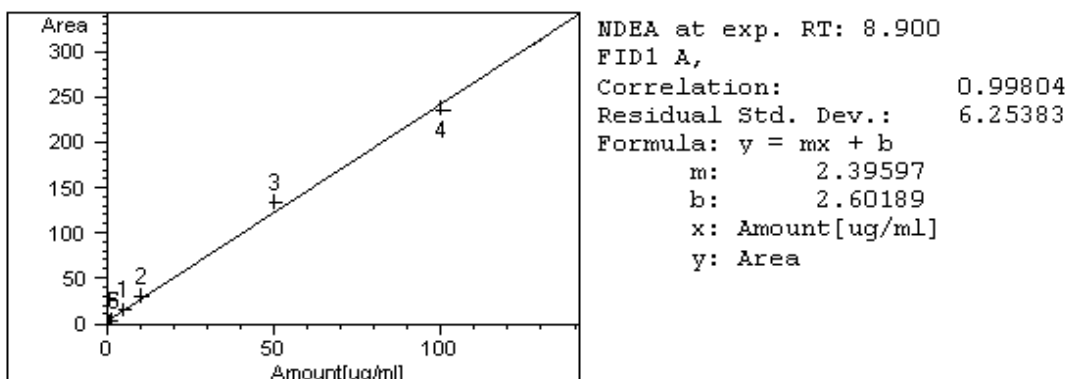
Calibration curve ของสารไนโตรซามีน



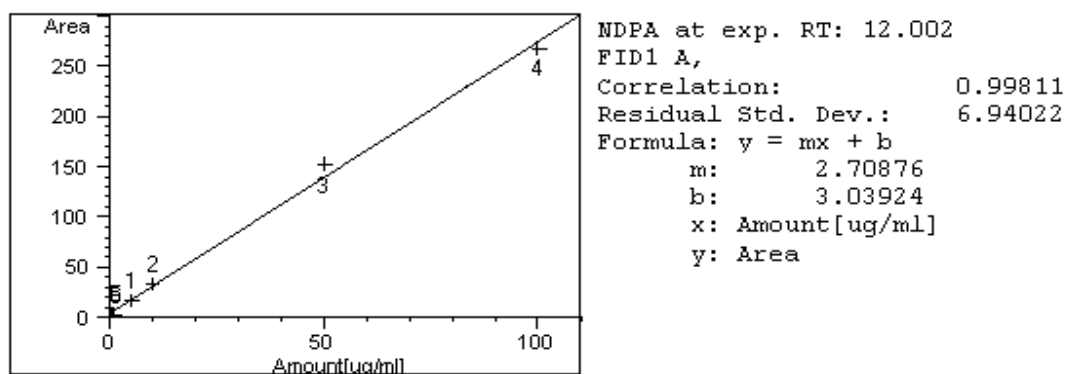
ภาพประกอบที่ ก-1 Calibration curve ของ NDMA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



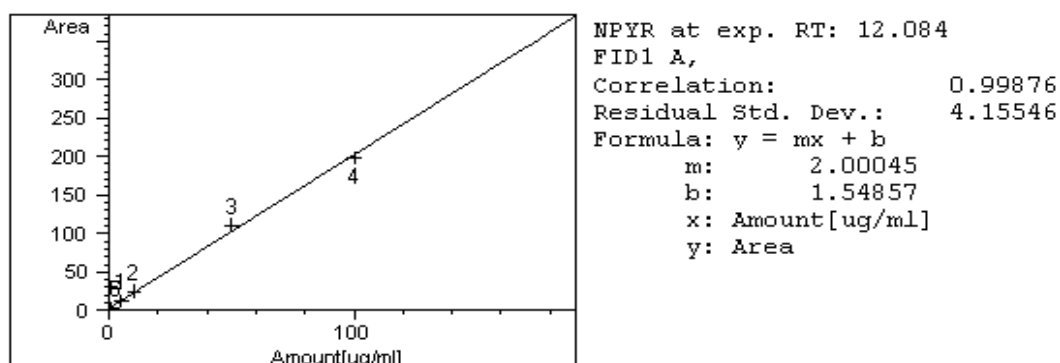
ภาพประกอบที่ ก-2 Calibration curve ของ NMEA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



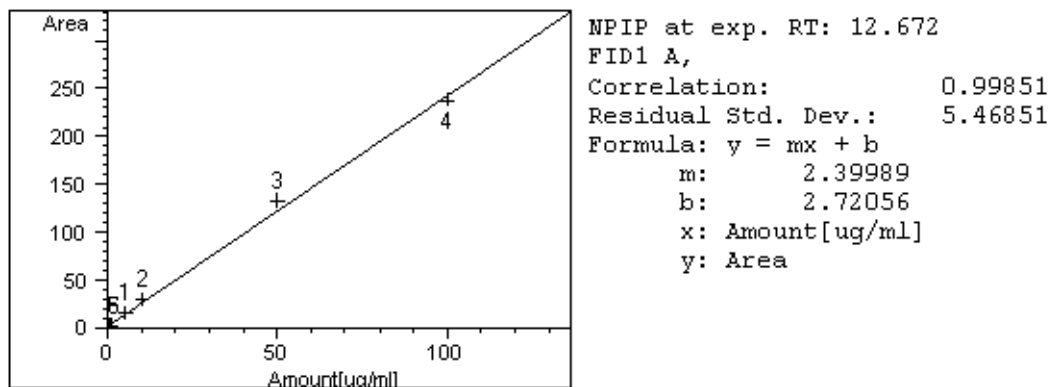
ภาพประกอบที่ ก-3 Calibration curve ของ NDEA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



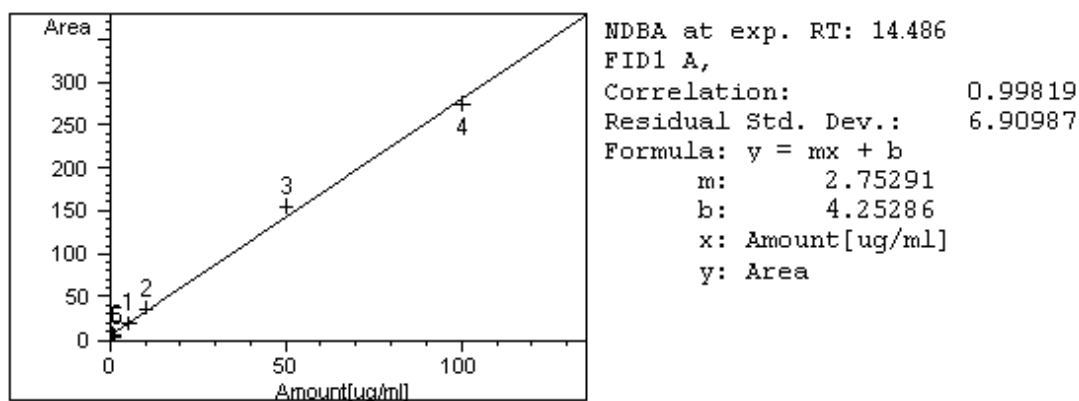
ภาพประกอบที่ ก-4 Calibration curve ของ NDPA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



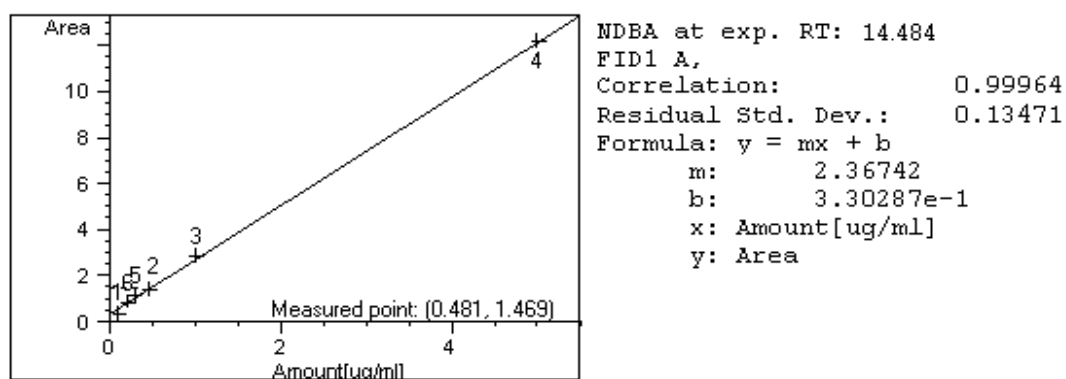
ภาพประกอบที่ ก-5 Calibration curve ของ NPYR ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพประกอบที่ ก-6 Calibration curve ของ NPIP ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพประกอบที่ ก-7 Calibration curve ของ NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 5, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพประกอบที่ ก-8 Calibration curve ของ NDBA ที่ระดับความเข้มข้น 0.03, 0.1, 0.3, 0.5, 1 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ข
ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร

ตารางที่ ข-1 ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1

จำนวน ตัวอย่างที่	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	สกัดครั้งที่ 1	สกัดครั้งที่ 2	สกัดครั้งที่ 3	สกัดครั้งที่ 4	รวม
1	3.72	1.61	0.33	0.03	5.69
2	3.33	1.21	0.34	0.04	4.92
3	3.32	1.66	0.33	0.03	5.34
4	3.22	1.64	0.45	0.03	5.34
5	3.32	1.58	0.43	0.03	5.35
6	3.38	1.54	0.29	0.03	5.24
7	3.14	1.57	0.39	0.05	5.15
8	3.08	1.39	0.30	0.05	4.82
9	3.19	1.50	0.44	0.04	5.17
10	3.20	1.42	0.37	0.09	5.08
ค่าเฉลี่ย \pm SD	3.29 \pm 0.18	1.51 \pm 0.14	0.37 \pm 0.06	0.04 \pm 0.02	5.21 \pm 0.25

ตารางที่ ข-2 ปริมาณ NDBA จากการสกัดงมื่ออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 3

จำนวน ตัวอย่างที่	ปริมาณ NDBA (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)				รวม
	สกัดครั้งที่ 1	สกัดครั้งที่ 2	สกัดครั้งที่ 3	สกัดครั้งที่ 4	
1	0.10	ND	ND	ND	0.10
2	0.13	ND	ND	ND	0.13
3	0.14	ND	ND	ND	0.14
4	0.16	ND	ND	ND	0.16
5	0.15	ND	ND	ND	0.15
6	0.17	ND	ND	ND	0.17
7	0.13	ND	ND	ND	0.13
8	0.12	ND	ND	ND	0.12
9	0.16	ND	ND	ND	0.16
10	0.14	ND	ND	ND	0.14
ค่าเฉลี่ย \pm SD	0.14 \pm 0.02	ND	ND	ND	0.14 \pm 0.02

ND = not detected

ตารางที่ ข-3 ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง

จำนวน ตัวอย่างที่	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	สกัดครั้งที่ 1	สกัดครั้งที่ 2	สกัดครั้งที่ 3	สกัดครั้งที่ 4	รวม
1	0.67	0.26	0.03	ND	0.96
2	0.59	0.32	0.03	ND	0.94
3	0.53	0.31	0.03	ND	0.87
4	0.63	0.41	0.03	ND	1.07
5	0.85	0.36	0.03	ND	1.24
6	0.58	0.28	0.04	ND	0.90
7	0.61	0.32	0.08	ND	1.01
8	0.57	0.39	0.03	ND	0.98
9	0.64	0.31	0.03	ND	0.98
10	0.66	0.23	0.08	ND	0.97
ค่าเฉลี่ย \pm SD	0.63 \pm 0.09	0.32 \pm 0.06	0.04 \pm 0.02	ND	0.99 \pm 0.11

ND = not detected

ตารางที่ ข-4 ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง

จำนวน ตัวอย่างที่	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร)				รวม
	สกัดครั้งที่ 1	สกัดครั้งที่ 2	สกัดครั้งที่ 3	สกัดครั้งที่ 4	
1	2.37	0.09	0.07	ND	2.50
2	2.38	0.23	0.06	ND	2.67
3	1.87	0.36	0.05	ND	2.28
4	2.06	0.38	0.03	ND	2.47
5	2.28	0.37	0.06	ND	2.71
6	2.44	0.62	0.05	ND	3.11
7	1.91	0.36	0.06	ND	2.33
8	2.05	0.17	0.07	ND	2.25
9	2.19	0.38	0.06	ND	2.63
10	2.16	0.39	0.04	ND	2.59
ค่าเฉลี่ย ± SD	2.17±0.20	0.33±0.14	0.05±0.01	ND	2.55±0.25

ND = not detected

ตารางที่ ข-5 ปริมาณ NDBA จากการสกัดถุงมือยางธรรมชาติแบบหนานชนิดไม่มีแป้งยี่ห้อ 1

จำนวน ตัวอย่างที่	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	สกัดครั้งที่ 1	สกัดครั้งที่ 2	สกัดครั้งที่ 3	สกัดครั้งที่ 4	รวม
1	2.45	0.21	0.07	ND	2.73
2	2.05	0.18	0.09	ND	2.32
3	2.35	0.32	0.12	ND	2.79
4	2.41	0.15	0.06	ND	2.62
5	2.18	0.22	0.07	ND	2.47
6	2.64	0.26	0.09	ND	2.99
7	2.43	0.21	0.06	ND	2.7
8	2.04	0.19	0.06	ND	2.29
9	2.37	0.25	0.08	ND	2.59
10	2.34	0.20	0.05	ND	2.62
ค่าเฉลี่ย \pm SD	2.33 \pm 0.19	0.22 \pm 0.05	0.07 \pm 0.02	ND	2.62 \pm 0.21

ND = not detected

ตารางที่ ข-6 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาเมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นจากถุงมือยาง ที่ระยะเวลา
ต่าง ๆ

ชนิดถุงมือ	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ เคลื่อนย้ายออกมาจากชิ้นส่วนถุงมือยาง ในตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
		1	2	3	4	5	
ถุงมือยางแบบบาง	30	0.63	0.74	0.62	0.66	0.69	0.67 \pm 0.05
	60	1.21	1.30	1.14	1.11	1.29	1.21 \pm 0.09
	120	1.76	1.62	1.78	1.61	1.71	1.70 \pm 0.08
ถุงมือยางแบบหนา	30	0.57	0.56	0.58	0.45	0.53	0.54 \pm 0.05
	60	0.72	0.72	0.76	0.70	0.78	0.74 \pm 0.03
	120	0.88	0.79	0.86	0.91	0.87	0.86 \pm 0.04

ตารางที่ ข-7 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางเมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ
ต่างๆ

ชนิดถุงมือ	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ถูก เคลื่อนย้ายออกมาจากชิ้นส่วนถุงมือยาง ในตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย ± SD
		1	2	3	4	5	
ถุงมือยางแบบบาง	5	0.47	0.46	0.48	0.45	0.46	0.46±0.01
	25	0.51	0.49	0.50	0.50	0.49	0.50±0.01
	40	2.16	1.98	1.93	1.96	2.04	2.01±0.09
	70	2.38	2.39	2.33	2.30	2.44	2.37±0.05
	95	2.65	2.56	2.68	2.66	2.70	2.65±0.05
ถุงมือยางแบบหนา	5	0.21	0.25	0.34	0.22	0.20	0.24±0.06
	25	0.34	0.28	0.31	0.33	0.25	0.30±0.04
	40	0.68	0.70	0.63	0.59	0.66	0.65±0.04
	70	0.79	0.77	0.74	0.84	0.82	0.79±0.04
	95	0.93	0.88	0.89	0.96	0.87	0.91±0.03

ตารางที่ ข-8 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ
ต่างๆ

ชนิดถุงมือ	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ เคลื่อนย้ายออกมาจากชิ้นส่วนถุงมือยาง ในตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย ± SD
		1	2	3	4	5	
ถุงมือยางแบบบาง	5	1.22	1.53	1.72	1.54	1.68	1.54±0.19
	25	1.79	1.86	1.78	1.80	1.77	1.80±0.02
	40	3.44	3.62	3.66	3.01	3.16	3.38±0.28
	70	3.87	4.13	4.21	3.97	3.94	4.02±0.14
	95	4.49	4.44	4.65	4.27	3.92	4.35±0.28
ถุงมือยางแบบหนา	5	0.53	0.45	0.57	0.55	0.61	0.54±0.06
	25	0.62	0.53	0.59	0.66	0.78	0.64±0.08
	40	1.21	1.24	1.28	1.65	1.69	1.41±0.21
	70	1.58	1.92	1.55	1.93	1.77	1.75±0.16
	95	1.52	1.94	1.63	1.93	1.85	1.77±0.17

ตารางที่ ข-9 ปริมาณ NDBA เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง ที่ pH ต่างๆ

ชนิดถุงมือ	pH	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ เคลื่อนย้ายออกมาจากชิ้นส่วนถุงมือยาง ในตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
		1	2	3	4	5	
ถุงมือยางแบบบาง	2	0.93	0.95	0.98	0.96	0.97	0.96 \pm 0.02
	4	0.74	0.76	0.72	0.76	0.71	0.74 \pm 0.02
	7	0.61	0.67	0.69	0.65	0.67	0.66 \pm 0.03
	9	0.58	0.65	0.54	0.53	0.61	0.58 \pm 0.05
ถุงมือยางแบบหนา	2	0.81	0.71	0.73	0.72	0.79	0.75 \pm 0.04
	4	0.68	0.67	0.65	0.63	0.64	0.65 \pm 0.02
	7	0.47	0.57	0.58	0.55	0.56	0.55 \pm 0.04
	9	0.56	0.57	0.53	0.52	0.53	0.54 \pm 0.02

ตารางที่ ข-10 ปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยางหลังจากสเปรย์ด้วย เอทริล แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์

ชนิดถุงมือ	กลุ่ม การทดลอง	ปริมาณ NDBA (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ เคลื่อนย้ายออกมาจากชิ้นส่วนถุงมือยาง ในตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
		1	2	3	4	5	
ถุงมือยางแบบบาง	กลุ่มควบคุม	0.67	0.69	0.65	0.68	0.69	0.68 \pm 0.02
	กลุ่มทดลอง	0.88	0.83	0.85	0.87	0.97	0.88 \pm 0.05
ถุงมือยางแบบหนา	กลุ่มควบคุม	0.57	0.59	0.55	0.58	0.51	0.56 \pm 0.03
	กลุ่มทดลอง	0.71	0.72	0.75	0.73	0.72	0.73 \pm 0.02

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA ถูงมีอย่างชนิดต่างๆที่ใช้
สัมผัสดอาหาร ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA

ANOVA

concentration (mg/L)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	150.006	4	37.501	1036.685	.000
Within Groups	1.628	45	.036		
Total	151.634	49			

ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDPA ถู่มืออย่างชนิดต่างๆที่ใช้
สัมผัสอาหาร ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: concentration (mg/L)

Tukey HSD

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A	C	5.06900*	.08506	.000	4.8273	5.3107
	D	4.21700*	.08506	.000	3.9753	4.4587
	E	2.65500*	.08506	.000	2.4133	2.8967
	F	2.59700*	.08506	.000	2.3553	2.8387
C	A	-5.06900*	.08506	.000	-5.3107	-4.8273
	D	-.85200*	.08506	.000	-1.0937	-.6103
	E	-2.41400*	.08506	.000	-2.6557	-2.1723
	F	-2.47200*	.08506	.000	-2.7137	-2.2303
D	A	-4.21700*	.08506	.000	-4.4587	-3.9753
	C	.85200*	.08506	.000	.6103	1.0937
	E	-1.56200*	.08506	.000	-1.8037	-1.3203
	F	-1.62000*	.08506	.000	-1.8617	-1.3783
E	A	-2.65500*	.08506	.000	-2.8967	-2.4133
	C	2.41400*	.08506	.000	2.1723	2.6557
	D	1.56200*	.08506	.000	1.3203	1.8037
	F	-.05800	.08506	.959	-.2997	.1837
F	A	-2.59700*	.08506	.000	-2.8387	-2.3553
	C	2.47200*	.08506	.000	2.2303	2.7137
	D	1.62000*	.08506	.000	1.3783	1.8617
	E	.05800	.08506	.959	-.1837	.2997

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

โดย A: ถู่มืออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 1, C: ถู่มืออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งยี่ห้อที่ 3, D: ถู่มืออย่างธรรมชาติแบบบางชนิดไม่มีแป้ง, E: ถู่มืออย่างไนไตรล์แบบบางชนิดไม่มีแป้ง และ F: ถู่มืออย่างธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้ง

ตารางที่ ค-3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่าง ๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way
 ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.355	2	6.677	250.275	.000
Within Groups	.320	12	.027		
Total	13.675	14			

ตารางที่ ค-4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons
 ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) Time	(J) Time	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30.00	60.00	-1.21798*	.10331	.000	-1.4936	-.9424
	120.00	-2.31011*	.10331	.000	-2.5857	-2.0345
60.00	30.00	1.21798*	.10331	.000	.9424	1.4936
	120.00	-1.09213*	.10331	.000	-1.3677	-.8165
120.00	30.00	2.31011*	.10331	.000	2.0345	2.5857
	60.00	1.09213*	.10331	.000	.8165	1.3677

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

ตารางที่ ค-5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่าง ๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-
 Way ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.046	2	11.023	68.753	.000
Within Groups	1.924	12	.160		
Total	23.970	14			

ตารางที่ ค-6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ระยะเวลา (นาที) ต่าง ๆ ทดสอบ Multiple
 Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) Time	(J) Time	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30.00	60.00	-1.80000*	.25324	.000	-2.4756	-1.1244
	120.00	-2.94545*	.25324	.000	-3.6211	-2.2698
60.00	30.00	1.80000*	.25324	.000	1.1244	2.4756
	120.00	-1.14545*	.25324	.002	-1.8211	-.4698
120.00	30.00	2.94545*	.25324	.000	2.2698	3.6211
	60.00	1.14545*	.25324	.002	.4698	1.8211

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

ตารางที่ ค-7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm²) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่อุณหภูมิ (°C) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way
 ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	110.305	4	27.576	1902.706	.000
Within Groups	.290	20	.014		
Total	110.594	24			

ตารางที่ ค-8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm²) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่อุณหภูมิ (°C) ต่าง ๆ ทดสอบ Multiple
 Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) Temperature	(J) Temperature	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	25.00	-.07640	.07614	.851	-.3042	.1514
	40.00	-3.48315*	.07614	.000	-3.7110	-3.2553
	70.00	-4.27865*	.07614	.000	-4.5065	-4.0508
	95.00	-4.91236*	.07614	.000	-5.1402	-4.6845
25.00	5.00	.07640	.07614	.851	-.1514	.3042
	40.00	-3.40674*	.07614	.000	-3.6346	-3.1789
	70.00	-4.20225*	.07614	.000	-4.4301	-3.9744
	95.00	-4.83596*	.07614	.000	-5.0638	-4.6081
40.00	5.00	3.48315*	.07614	.000	3.2553	3.7110
	25.00	3.40674*	.07614	.000	3.1789	3.6346
	70.00	-.79551*	.07614	.000	-1.0233	-.5677
	95.00	-1.42921*	.07614	.000	-1.6571	-1.2014
70.00	5.00	4.27865*	.07614	.000	4.0508	4.5065
	25.00	4.20225*	.07614	.000	3.9744	4.4301
	40.00	.79551*	.07614	.000	.5677	1.0233
	95.00	-.63371*	.07614	.000	-.8615	-.4059
95.00	5.00	4.91236*	.07614	.000	4.6845	5.1402
	25.00	4.83596*	.07614	.000	4.6081	5.0638
	40.00	1.42921*	.07614	.000	1.2014	1.6571
	70.00	.63371*	.07614	.000	.4059	.8615

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

ตารางที่ ค-9 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm²) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบหนานชนิดไม่มีแป้งที่อุณหภูมิ (°C) ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way
 ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	143.215	4	35.804	228.736	.000
Within Groups	3.131	20	.157		
Total	146.346	24			

ตารางที่ ค-10 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm²) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบหนานชนิดไม่มีแป้งที่อุณหภูมิ (°C) ต่าง ๆ ทดสอบ Multiple
 Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) Temperature	(J) Temperature	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	25.00	-.52727	.25022	.256	-1.2760	.2215
	40.00	-3.70909*	.25022	.000	-4.4579	-2.9603
	70.00	-4.98182*	.25022	.000	-5.7306	-4.2331
	95.00	-6.01818*	.25022	.000	-6.7669	-5.2694
25.00	5.00	.52727	.25022	.256	-.2215	1.2760
	40.00	-3.18182*	.25022	.000	-3.9306	-2.4331
	70.00	-4.45455*	.25022	.000	-5.2033	-3.7058
	95.00	-5.49091*	.25022	.000	-6.2397	-4.7421
40.00	5.00	3.70909*	.25022	.000	2.9603	4.4579
	25.00	3.18182*	.25022	.000	2.4331	3.9306
	70.00	-1.27273*	.25022	.000	-2.0215	-.5240
	95.00	-2.30909*	.25022	.000	-3.0579	-1.5603
70.00	5.00	4.98182*	.25022	.000	4.2331	5.7306
	25.00	4.45455*	.25022	.000	3.7058	5.2033
	40.00	1.27273*	.25022	.000	.5240	2.0215
	95.00	-1.03636*	.25022	.004	-1.7851	-.2876
95.00	5.00	6.01818*	.25022	.000	5.2694	6.7669
	25.00	5.49091*	.25022	.000	4.7421	6.2397
	40.00	2.30909*	.25022	.000	1.5603	3.0579
	70.00	1.03636*	.25022	.004	.2876	1.7851

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

ตารางที่ ค-11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ
ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	166.657	4	41.664	189.060	.000
Within Groups	4.408	20	.220		
Total	171.065	24			

ตารางที่ ค-12 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm^2) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ต่างๆ ทดสอบ
Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) Temperature	(J) Temperature	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	25.00	-.58876	.29690	.309	-1.4772	.2997
	40.00	-4.13483*	.29690	.000	-5.0233	-3.2464
	70.00	-5.58652*	.29690	.000	-6.4750	-4.6981
	95.00	-6.32809*	.29690	.000	-7.2165	-5.4396
25.00	5.00	.58876	.29690	.309	-.2997	1.4772
	40.00	-3.54607*	.29690	.000	-4.4345	-2.6576
	70.00	-4.99775*	.29690	.000	-5.8862	-4.1093
	95.00	-5.73933*	.29690	.000	-6.6278	-4.8509
40.00	5.00	4.13483*	.29690	.000	3.2464	5.0233
	25.00	3.54607*	.29690	.000	2.6576	4.4345
	70.00	-1.45169*	.29690	.001	-2.3401	-.5632
	95.00	-2.19326*	.29690	.000	-3.0817	-1.3048
70.00	5.00	5.58652*	.29690	.000	4.6981	6.4750
	25.00	4.99775*	.29690	.000	4.1093	5.8862
	40.00	1.45169*	.29690	.001	.5632	2.3401
	95.00	-.74157	.29690	.131	-1.6300	.1469
95.00	5.00	6.32809*	.29690	.000	5.4396	7.2165
	25.00	5.73933*	.29690	.000	4.8509	6.6278
	40.00	2.19326*	.29690	.000	1.3048	3.0817
	70.00	.74157	.29690	.131	-.1469	1.6300

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

ตารางที่ ค-13 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm²) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบนาชนิคไม่มีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ (°C) ต่างๆ
 ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	589.314	4	147.329	65.511	.000
Within Groups	44.979	20	2.249		
Total	634.293	24			

ตารางที่ ค-14 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ NDBA (ng/cm²) ที่เคลื่อนย้ายออกมาจากถุงมือยาง
 ธรรมชาติแบบนาชนิคไม่มีแป้งเมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ (°C) ต่างๆ ทดสอบ
 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) Temperature	(J) Temperature	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	25.00	-.85455	.94846	.893	-3.6927	1.9836
	40.00	-7.92727*	.94846	.000	-10.7654	-5.0891
	70.00	-10.98182*	.94846	.000	-13.8200	-8.1437
	95.00	-11.20000*	.94846	.000	-14.0381	-8.3619
25.00	5.00	.85455	.94846	.893	-1.9836	3.6927
	40.00	-7.07273*	.94846	.000	-9.9109	-4.2346
	70.00	-10.12727*	.94846	.000	-12.9654	-7.2891
	95.00	-10.34545*	.94846	.000	-13.1836	-7.5073
40.00	5.00	7.92727*	.94846	.000	5.0891	10.7654
	25.00	7.07273*	.94846	.000	4.2346	9.9109
	70.00	-3.05455*	.94846	.031	-5.8927	-.2164
	95.00	-3.27273*	.94846	.019	-6.1109	-.4346
70.00	5.00	10.98182*	.94846	.000	8.1437	13.8200
	25.00	10.12727*	.94846	.000	7.2891	12.9654
	40.00	3.05455*	.94846	.031	.2164	5.8927
	95.00	-.21818	.94846	.999	-3.0563	2.6200
95.00	5.00	11.20000*	.94846	.000	8.3619	14.0381
	25.00	10.34545*	.94846	.000	7.5073	13.1836
	40.00	3.27273*	.94846	.019	.4346	6.1109
	70.00	.21818	.94846	.999	-2.6200	3.0563

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

ตารางที่ ค-15 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
ธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.997	3	.666	123.165	.000
Within Groups	.086	16	.005		
Total	2.083	19			

ตารางที่ ค-16 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
แบบบางชนิดมีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey
(HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2.00	4.00	.49438*	.04649	.000	.3614	.6274
	7.00	.67416*	.04649	.000	.5411	.8072
	9.00	.84494*	.04649	.000	.7119	.9780
4.00	2.00	-.49438*	.04649	.000	-.6274	-.3614
	7.00	.17978*	.04649	.007	.0468	.3128
	9.00	.35056*	.04649	.000	.2176	.4836
7.00	2.00	-.67416*	.04649	.000	-.8072	-.5411
	4.00	-.17978*	.04649	.007	-.3128	-.0468
	9.00	.17079*	.04649	.010	.0378	.3038
9.00	2.00	-.84494*	.04649	.000	-.9780	-.7119
	4.00	-.35056*	.04649	.000	-.4836	-.2176
	7.00	-.17079*	.04649	.010	-.3038	-.0378

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

ตารางที่ ค-17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
ธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA

ANOVA

Concentration					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.434	3	4.145	41.362	.000
Within Groups	1.603	16	.100		
Total	14.038	19			

ตารางที่ ค-18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยาง
ธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งที่ pH ต่างๆ ทดสอบ Multiple Comparisons ด้วยวิธี
Tukey (HSD)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Concentration

Tukey HSD

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2.00	4.00	.89091*	.20021	.002	.3181	1.4637
	7.00	1.87273*	.20021	.000	1.2999	2.4455
	9.00	1.90909*	.20021	.000	1.3363	2.4819
4.00	2.00	-.89091*	.20021	.002	-1.4637	-.3181
	7.00	.98182*	.20021	.001	.4090	1.5546
	9.00	1.01818*	.20021	.001	.4454	1.5910
7.00	2.00	-1.87273*	.20021	.000	-2.4455	-1.2999
	4.00	-.98182*	.20021	.001	-1.5546	-.4090
	9.00	.03636	.20021	.998	-.5364	.6092
9.00	2.00	-1.90909*	.20021	.000	-2.4819	-1.3363
	4.00	-1.01818*	.20021	.001	-1.5910	-.4454
	7.00	-.03636	.20021	.998	-.6092	.5364

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

ตารางที่ ค-19 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยางธรรมชาติแบบบางชนิดมีแป้งหลังจากสัมผัสกับเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ กับกลุ่มควบคุม

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
concentration	Equal variances assumed	1.986	.196	-8.089	8	.000	-.45843	.05667	-.58911	-.32774
	Equal variances not assumed			-8.089	4.765	.001	-.45843	.05667	-.60629	-.31056

ตารางที่ ค-20 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเคลื่อนย้ายออกมาของ NDBA (ng/cm²) จากถุงมือยางธรรมชาติแบบหนาชนิดไม่มีแป้งหลังจากสัมผัสกับเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ กับกลุ่มควบคุม

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
concentration	Equal variances assumed	2.319	.166	-10.584	8	.000	-1.50909	.14259	-1.83789	-1.18029
	Equal variances not assumed			-10.584	5.748	.000	-1.50909	.14259	-1.86173	-1.15645

ภาคผนวก ง

ประมวลภาพขั้นตอนการทดลองและภาพเปรียบเทียบผลการทดลอง



ภาพประกอบที่ ง-1 ขั้นตอนการปรับอุณหภูมิตัวอย่าง ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)



ภาพประกอบที่ ง-2 ขั้นตอนการสกัดแยกน้ำกลั่นออกจากสารละลายตัวอย่างด้วยกรวยแยก (separatory funnel)



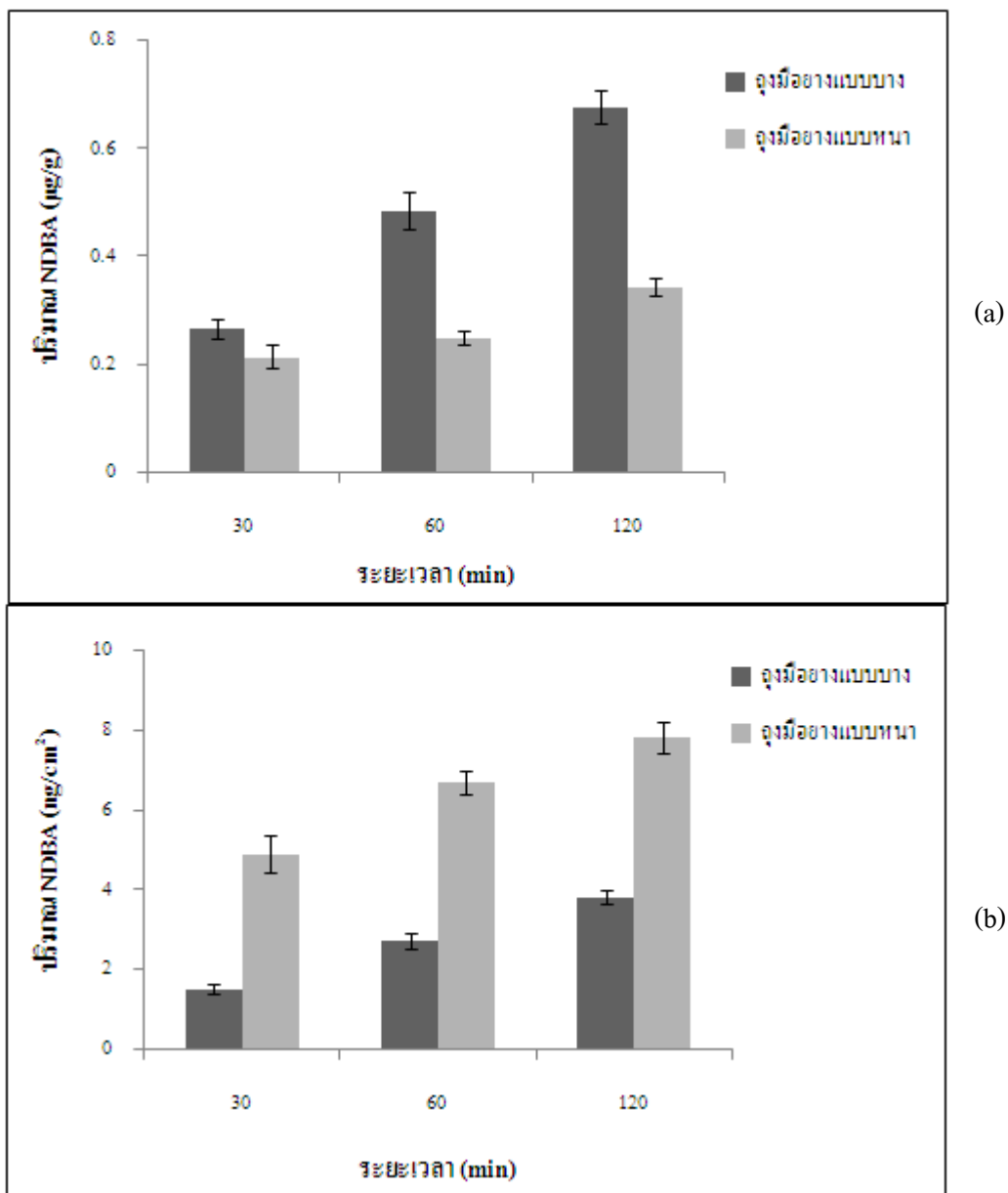
ภาพประกอบที่ ง-3 ขั้นตอนการสกัดแยกน้ำมันปลาออกมาจากสารละลายตัวอย่างด้วยกรวยแยก (separatory funnel)



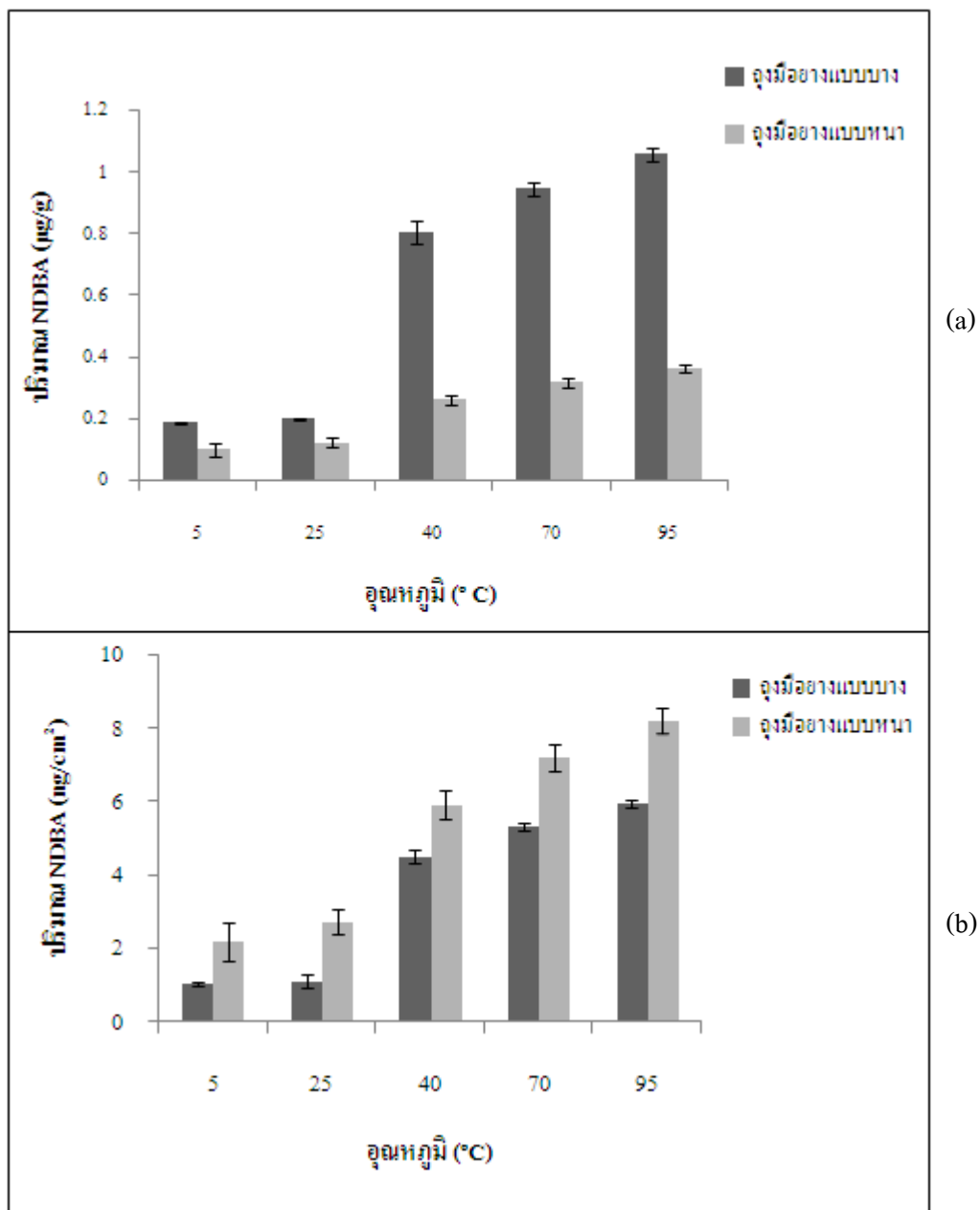
ภาพประกอบที่ ง-4 ขั้นตอนการลดปริมาตรสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)



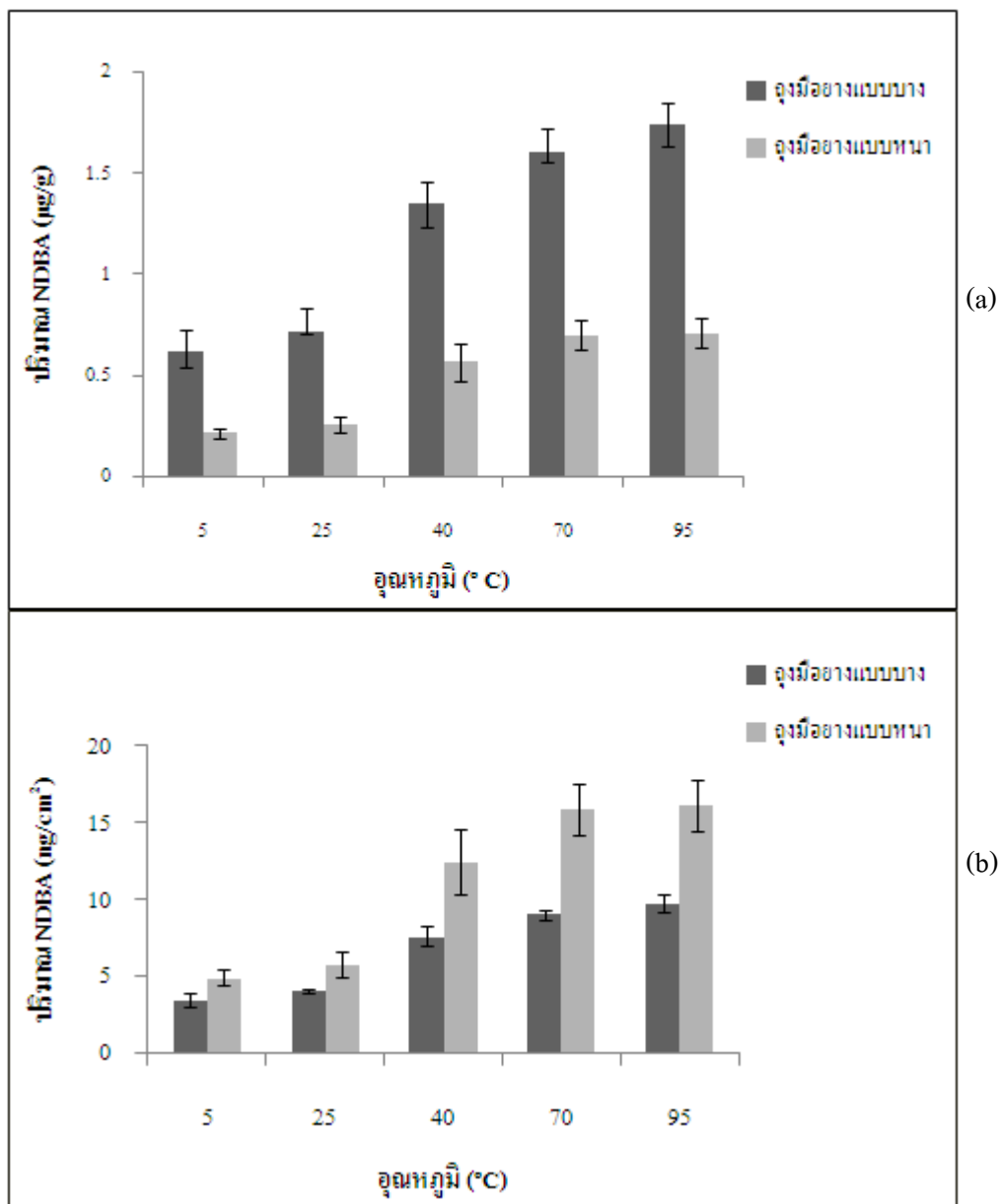
ภาพประกอบที่ ง-5 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction, SPE)



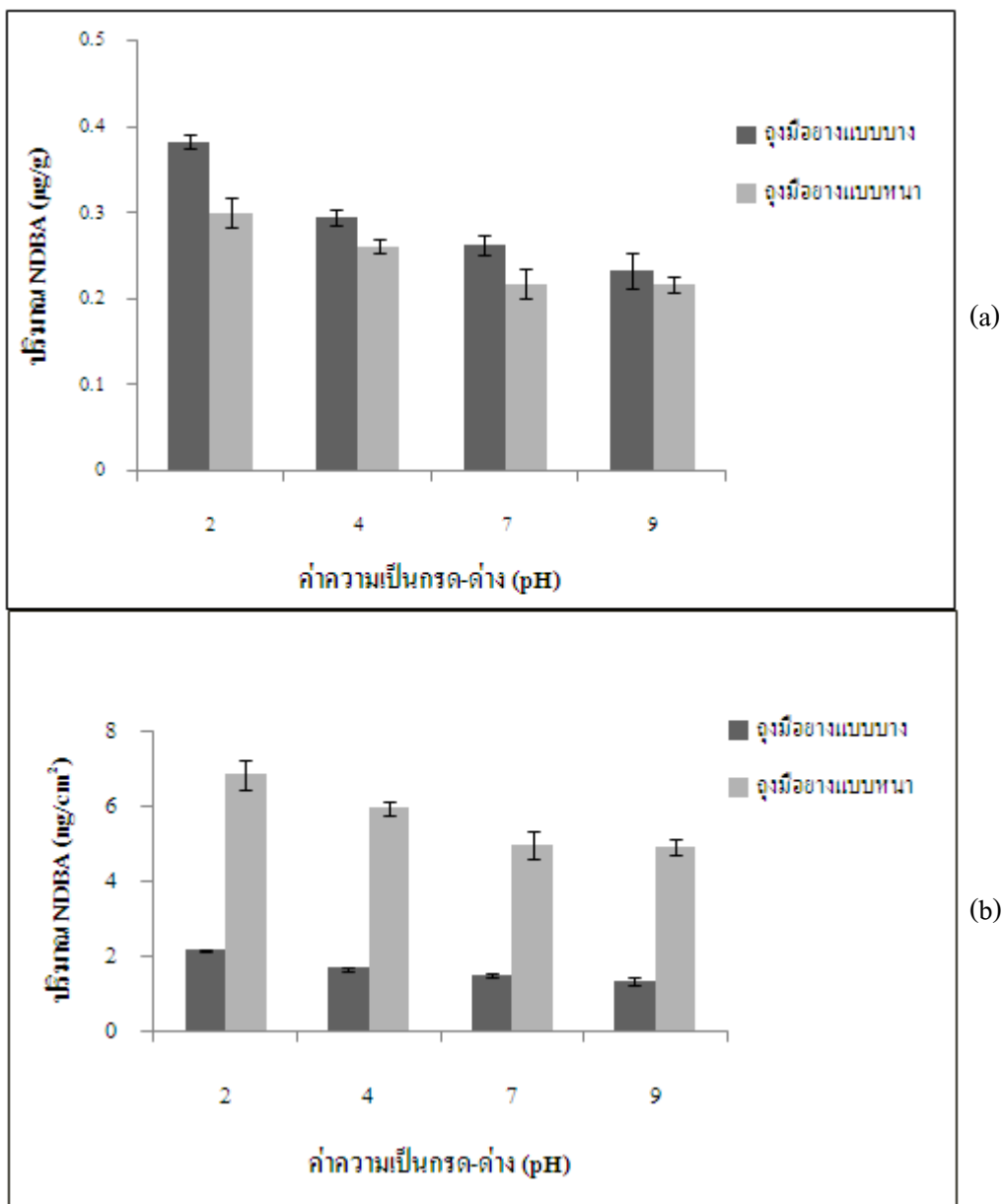
ภาพประกอบที่ ๖-6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างๆ



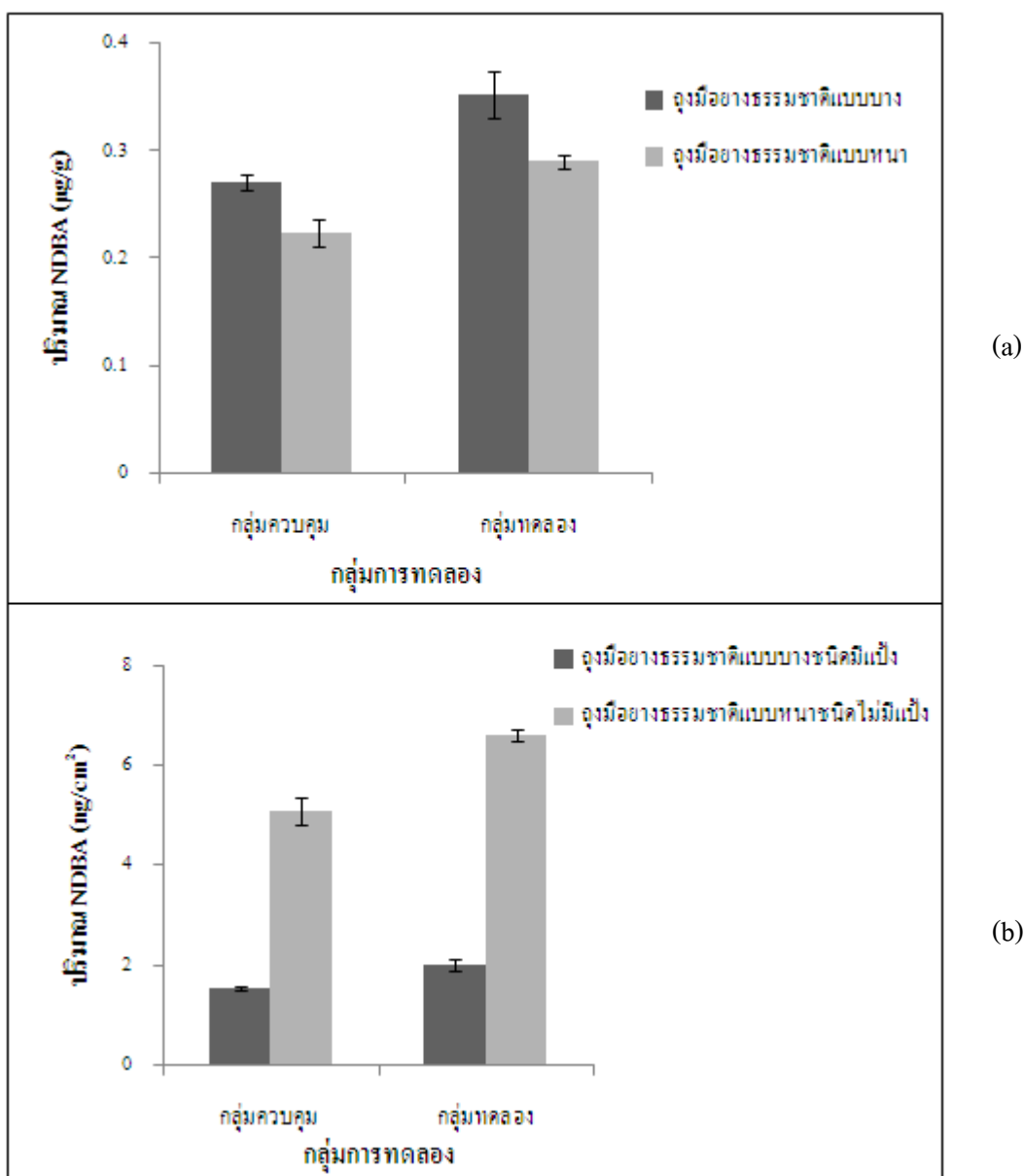
ภาพประกอบที่ ๗-7 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพประกอบที่ ๘-๘ กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพประกอบที่ ๙-๑ กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่ถูกชะออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) เมื่อสัมผัสกับน้ำกลั่นที่ pH ต่างๆ



ภาพประกอบที่ 10 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยน้ำหนักของถุงมือ (a) และปริมาณ NDBA ที่เคลื่อนย้ายออกมาต่อหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัสของถุงมือ (b) หลังการสเปรย์ด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วแช่ในน้ำกลั่น นาน 30 นาที โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวกนกรัตน์ เชิญทอง		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210920001		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	สถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี-ชีววิทยา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552	

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

กนกรัตน์ เชิญทอง และบรรจง วิทย์วิรศักดิ์. ปัจจัยที่มีผลต่อการชะออกของไนโตรชามินจากถุง
มือยางสัมผัสอาหาร. ในเอกสารประชุมวิชาการพะเยาวิจัยครั้งที่ 1. วันที่ 12 –13
มกราคม 2555. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.