บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการขยายตัวค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีอุตสาหกรรมหลายประเภทเกิดขึ้น จังหวัดสงขลาเป็นอีกจังหวัดหนึ่งทางภาคใต้ที่มีการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2547-2549 มีโรงงานอุตสาหกรรม 1,864 โรงงาน 1,938 โรงงาน และ 1,988 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) ตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโรงงานที่เกี่ยวข้องกับยางพาราและการทำประมง (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา, 2540) ยางพาราจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอันดับหนึ่งของภาคใต้ โดยเฉพาะที่จังหวัดสงขลามีพื้นที่ปลูกยางพารามากเป็นอันดับสองของประเทศ ทำรายได้ให้แก่จังหวัดประมาณ 3,998.9 ล้านบาทต่อปี (ศูนย์วิเคราะห์และทดสอบสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมภาคใต้, 2540) ในขณะเดียวกันการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมยางพาราได้ก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมทางด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน โดยเฉพาะปัญหามลภาวะทางน้ำจะพบปัญหาบ่อยที่สุด

ในจังหวัดสงขลามีโรงงานอุตสาหกรรมยางดิบและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางหลายแห่งที่ดำเนินการ โดยมีคลองอู่ตะเภาและคลองสาขาเป็นแหล่งระบายน้ำทิ้งหลัก คลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตน้ำประปาในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ อำเภอเมืองสงขลา และอำเภอสิงหนคร จากข้อมูลปริมาณน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมในปี 2544 พบว่า คลองอู่ตะเภาต้องรองรับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราสูงถึงวันละ 30,240 ลูกบาศก์เมตร จากปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้งสิ้น 37,750 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12, 2545) และพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางที่ระบายน้ำทิ้งลงสู่คลองอู่ตะเภาทุกแห่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง ซึ่งมีการใช้วัตถุดิบหลายชนิดในกระบวนการผลิต เช่น ซิงค์ออกไซด์ zinc-N-diethyl dithiocarbamate (ZDC) zinc-2-mercaptobenzthiazole (ZMBT) bentonite vultamol (ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ และคณะ, 2541) อย่างไรก็ตามเคยมีรายงานก่อนหน้านี้ว่ามีสารเคมีหลายชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีฤทธิ์เป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง (Sullivan Jr *et al.*, 2001) และเนื่องจากการตรวจวัดคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะตรวจวัดเพียงค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน เช่น อุณหภูมิ สีหรือกลิ่น ค่าทีดีเอส สารแขวนลอย ค่าบีโอดี 5 วันที่อุณหภูมิ

20°C ค่าซีโอดี แต่ทั้งนี้มิได้มีการตรวจหาสารก่อกลายพันธุ์ จึงมีข้อกังวลว่าของเสียหรือน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางเหล่านี้มีสารก่อกลายพันธุ์หรือสารก่อมะเร็งปล่อยลงสู่คลองอู่ตะเภาด้วยหรือไม่

สารก่อกลายพันธุ์สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ โดยทำให้การทำงานของยีนผิดปกติไป ยีนอาจทำงานมากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ สารก่อกลายพันธุ์ส่วนมากมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็งด้วย (ปลื้มจิต บุณยพิพัฒน์, 2534) ปัจจุบันมีการทดสอบความสามารถก่อกลายพันธุ์ของสารเคมีต่าง ๆ ด้วยวิธีการหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่ใช้เวลาน้อย มีความไว ไม่ยุ่งยาก ประหยัด แม่นยำสูง และเป็นวิธีที่ยอมรับและเชื่อถือได้ คือ Ames' test (Ames *et al.*, 1975) และที่สำคัญคือสารก่อมะเร็งประมาณร้อยละ 90 แสดงคุณลักษณะเป็นสารก่อกลายพันธุ์ด้วย (McCann and Ames, 1976) โดยแบคทีเรียที่นิยมใช้ คือ *Salmonella typhimurium* ที่ปกติไม่สามารถสังเคราะห์ฮิสทีดีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนได้ แต่เมื่อเลี้ยงแบคทีเรียในสารที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ก็จะทำให้แบคทีเรียกลายพันธุ์สามารถสร้างฮิสทีดีนได้เอง ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปราศจากฮิสทีดีนได้ ในการทดสอบส่วนหนึ่งมีการเติมเอนไซม์ของระบบเมแทบอลิซึม (S9 fraction) ลงไปด้วย เพื่อให้สารเคมีซึ่งโดยปกติตัวมันเองไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ แต่เมื่อถูกย่อยสลายไปเป็นเมแทโบไลต์ก่อน โดยขบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์จึงแสดงฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ เอนไซม์นี้เตรียมจากตับของหนูทดลองที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสารเคมีให้สร้างเอนไซม์เพิ่มขึ้น Ames' test จึงเป็นวิธีการทดสอบความสามารถก่อกลายพันธุ์ในสถานการณ์จำลองการย่อยสลายสารเคมีในร่างกายสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, 2534)

หากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราเหล่านี้มีสารก่อกลายพันธุ์เกิดขึ้น ก็ย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อสายพันธุกรรมหรือยีนของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ และต่อมนุษย์ที่เป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุดของห่วงโซ่อาหาร จึงเป็นที่น่าสนใจว่าน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมยางพาราจังหวัดสงขลาที่มีการระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะนั้นสามารถก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ได้หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียงกับโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา รวมถึงใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการป้องกันแก้ไขต่อไป

2. การตรวจเอกสาร

2.1 คำจำกัดความ (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, 2534)

การกลายพันธุ์ (mutation) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือชนิดของเบสของดีเอนเอที่ผิดปกติไปจากเดิม โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เมื่อถูกนำไปถอดรหัสจะทำให้ได้สิ่งที่ผิดไปจากธรรมชาติ

สารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) หมายถึง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ในสายดีเอนเอเพิ่มขึ้นในระดับที่ผิดปกติ

Ames' test หมายถึง การทดสอบการกลายพันธุ์แบบย้อนกลับ (backward or reverse mutation) ในแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* เนื่องจากแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ได้ถูกทำให้กลายพันธุ์ไปจนไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนฮิสทีดีนได้ ทำให้ไม่สามารถเจริญในตัวกลางที่ขาดกรดอะมิโนชนิดนี้ เรียกว่า "histidine dependent" (His^-) สารทดสอบที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จะทำให้แบคทีเรียชนิดนี้เกิดการกลายพันธุ์ย้อนกลับ สามารถสร้างฮิสทีดีนได้เองเป็น "histidine independent" (His^+)

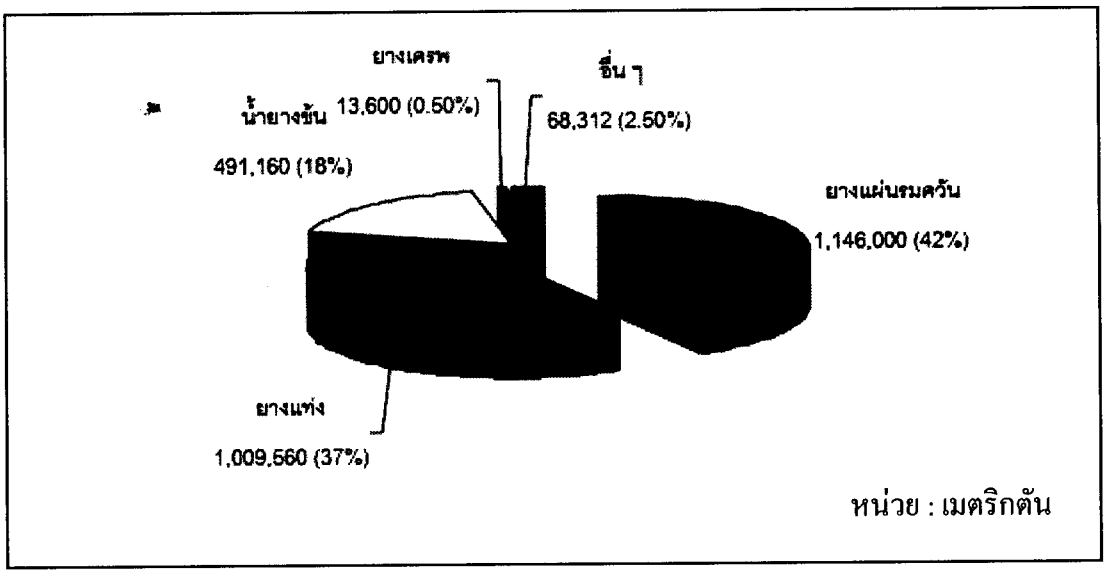
2.2 อุตสาหกรรมยาง

2.2.1 อุตสาหกรรมยางในประเทศไทย

อุตสาหกรรมยางพารานับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศ ทั้งในด้านของการจ้างงานและการส่งออก โดยในด้านของการจ้างงานปี พ.ศ.2545 อุตสาหกรรมนี้มีการจ้างงานถึง 106,844 คน จากจำนวนโรงงานทั้งสิ้น 1,518 แห่ง ส่วนในด้านของการส่งออกมีมูลค่าเพิ่มขึ้นทุกปี โดยประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติของโลกในปัจจุบันมีกว่า 22 ประเทศ แต่แหล่งผลิตที่สำคัญจะกระจุกตัวอยู่ที่ 3 ประเทศ คือ ประเทศไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ในจำนวนนี้ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิต และผู้ส่งออกยางธรรมชาติหรือยางแปรรูปพื้นฐานรายใหญ่ที่สุดในโลก โดยมีปริมาณการผลิตประมาณ 2.5 ล้านตัน/ปี คิดเป็น 1 ใน 3 ของการผลิตยางพาราในโลก (ร้อยละ 32) รองลงมาคือ อินโดนีเซีย (ร้อยละ 25) และมาเลเซีย (ร้อยละ 17) พื้นที่ปลูกยางของประเทศไทยส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคใต้ ที่เหลือกระจายอยู่ในภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทยจะมีอยู่ 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครพ และน้ำยางข้น (ภาพประกอบ 1) ผลผลิตยางธรรมชาติที่ผลิตได้มากกว่าร้อยละ 90 จะทำการส่งออก ที่เหลือไม่ถึงร้อยละ 10 จะนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่เป็นอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่ ยางยานพาหนะ ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น ผลิตภัณฑ์รองเท้า และผลิตภัณฑ์ยางอุตสาหกรรม เป็นต้น

พบว่า อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางนี้จะเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตเพื่อการส่งออกประมาณร้อยละ 80 ของการผลิต ยกเว้นยางรถยนต์ที่ผลิตเพื่อใช้ในประเทศถึงร้อยละ 80

การส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางในปี 2546 มีมูลค่ารวมทั้งสิ้นประมาณ 4,149.8 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งแบ่งออกเป็นมูลค่ายางแปรรูปพื้นฐานร้อยละ 64.4 และผลิตภัณฑ์ยางร้อยละ 35.6 จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมนี้ทำรายได้ให้กับประเทศได้ปีละจำนวนมาก และอัตราการขยายตัวของการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2548)



ภาพประกอบ 1 ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทยแยกตามประเภท
(ที่มา : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2548)

อุตสาหกรรมยางในประเทศไทย ประกอบด้วยอุตสาหกรรม 2 ส่วน คือ

2.2.1.1 อุตสาหกรรมแปรรูปขั้นต้น เป็นการแปรรูปน้ำยางสดที่ได้จากต้นยางพาราไปเป็นผลิตภัณฑ์ยางขั้นต้นหรือยางดิบ เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางขั้นต้นนี้จะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

ก. ยางแห้งชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางเครพ

ข. น้ำยางข้น (concentrated latex) โดยการทำให้น้ำยางสดมีความเข้มข้นสูงขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมในทางอุตสาหกรรม โดยยางธรรมชาติที่ผลิตมากที่สุด ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน รองลงมา คือ ยางแท่งและน้ำยางข้น ตามลำดับ

2.2.1.2 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ ชิ้นส่วนยานยนต์ สายพาน ท่อยาง ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทยเริ่มมีการขยายตัว

และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากประมาณ 24,500 ล้านบาท ใน พ.ศ.2540 เป็น 34,134 ล้านบาท ใน พ.ศ.2542 และ 42,000 ล้านบาท ใน พ.ศ. 2543 และใน พ.ศ.2544 สามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ยางทำรายได้ให้ประเทศเกือบ 50,000 ล้านบาท (ศูนย์วิจัยสถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543)

2.2.2 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางจะนำยางแปรรูปขั้นต้น ทั้งในรูปของยางแห้งชนิดต่าง ๆ และน้ำยางข้นมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

ก. ชิ้นส่วนยางที่ใช้ในรถยนต์และรถจักรยานยนต์

ข. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น

ค. ผลิตภัณฑ์จากยางแห้งอื่น ๆ

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยางที่ใช้ในรถยนต์และรถจักรยานยนต์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ชิ้นส่วนที่เป็นยางรถยนต์และรถจักรยานยนต์ และชิ้นส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ ยางรองแท่นเครื่อง ปะเก็น ท่อยาง และสายพาน ในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์และยางรถจักรยานยนต์จะมีการใช้ยางธรรมชาติมากที่สุด กล่าวคือ ประมาณครึ่งหนึ่งของยางธรรมชาติที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมจะถูกนำมาใช้ในการผลิตยางรถยนต์ และยางรถจักรยานยนต์ โรงงานผลิตยางรถยนต์ มีจำนวนไม่มากราย และมักมีขนาดใหญ่ ขณะที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนประกอบยางจะมีจำนวนมาก มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่

ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น จะมีผลิตภัณฑ์อยู่หลายประเภท ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย หัวนมยาง ยางยืด ลูกโป่ง กาวน้ำยาง ตุ๊กตายาง ฟองน้ำรองพรม ที่นอนยาง และดอกไม้ประดิษฐ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ถุงมือยาง และถุงยางอนามัย

ผลิตภัณฑ์จากยางแห้งอื่น ๆ (ยางแท่ง ยางเครพ และยางแผ่น) ได้แก่ ยางรัดของ รองเท้าและพื้นรองเท้า ลูกบอลยาง กระเบื้องยาง แผ่นยางรองพื้น แม่พิมพ์ยาง สายพานยาง ยางแผ่นบุถังและท่อ ท่อยาง สายยาง เป็นต้น

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ยาง ถุงมือยางมีมูลค่าส่งออกเป็นอันดับหนึ่ง โดยมีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 127.5 ล้านเหรียญสหรัฐในไตรมาสที่ 2 ของปี 2546 ซึ่งมีสัดส่วนมูลค่าการส่งออกเป็นร้อยละ 34.6 ของการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางทั้งหมดของประเทศไทย และยางยานพาหนะมีมูลค่าการส่งออกมากเป็นอันดับสองของการส่งออกด้วยสัดส่วนมูลค่าการส่งออกร้อยละ 31.3 (หน่วยเทคโนโลยียาง, 2545)

ในปี พ.ศ.2550 คาดว่าผลผลิตยางทั้งประเทศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่กรีดยางได้เพิ่มขึ้นในทุกภาค และราคายางที่จูงใจให้เกษตรกรกรีดยางเพิ่มขึ้น ส่วนการส่งออกยางขั้นต้นคาดว่าจะมีแนวโน้มทรงตัว สำหรับการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางคาดว่า ในปี 2550 จะมีการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.2.3 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง น้ำยางข้นจะถูกเตรียมโดยผสมสารเคมี แม่พิมพ์รูปมือที่ผ่านการทำความสะอาด และเป่าแห้งแล้วจะจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมี ค่อย ๆ ยกแบบพิมพ์ขึ้น โดยพยายามให้น้ำยางจับตัวที่ผิวของแบบพิมพ์ถุงมือให้สม่ำเสมอ แล้วจึงนำไปอบถอดออกจากแบบพิมพ์ ล้างทำความสะอาด นำเข้าอบให้คงรูป การอบมีทั้งแบบที่ใช้เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า และแบบที่ใช้ไอน้ำ จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพและบรรจุเพื่อจัดจำหน่าย

หลักการจุ่มแบบพิมพ์ที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ

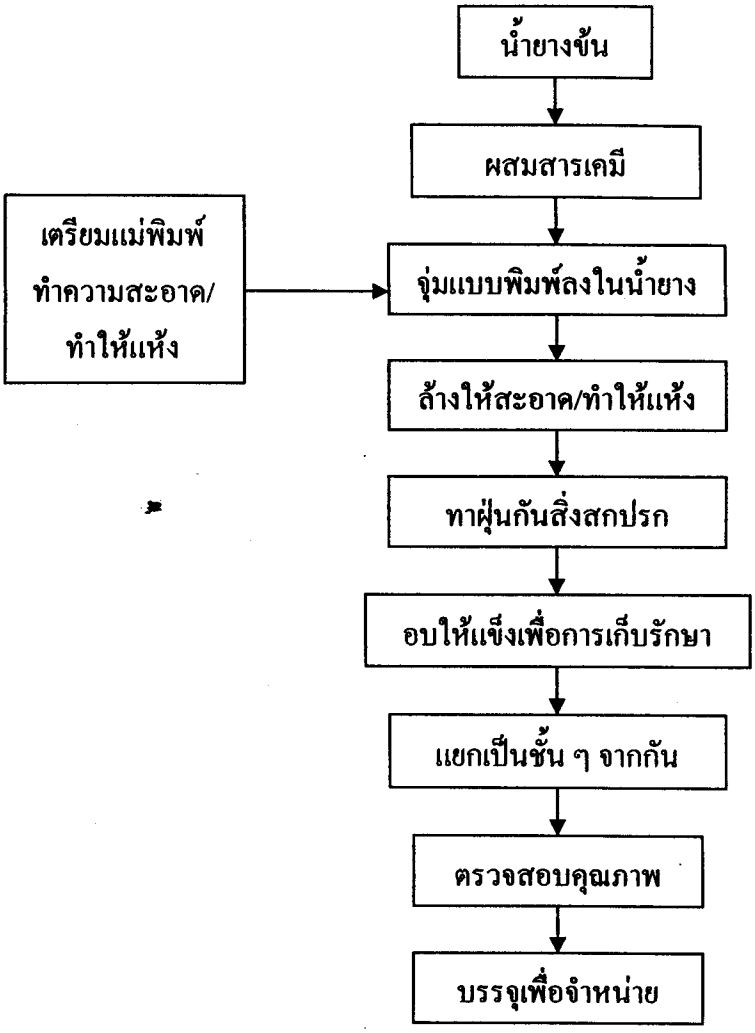
ก. การจุ่มแบบง่าย (simple dipping หรือ straight dip)

ข. การจุ่มแบบใช้สารช่วยในการจับตัวของยาง

ค. การจุ่มแบบที่ใช้ความร้อนช่วยกระตุ้น (heat-sensitive dipping)

การทำถุงมือทางการแพทย์มักนิยมใช้วิธีการจุ่มแบบพิมพ์โดยการใช้สารช่วยในการจับตัว (coagulant) ซึ่งสารที่นิยมใช้โดยทั่วไป เช่น แคลเซียมคลอไรด์หรือแคลเซียมไนเตรท โดยความหนาของยางที่ได้จากการจุ่มขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มข้นของสารช่วยในการจับตัว ความเข้มข้นของน้ำยาง ระยะเวลาที่จุ่ม ความหนืดของน้ำยาง และความเสถียรของน้ำยาง

สำหรับสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ กำมะถัน zinc-N-diethyl dithiocarbamate (ZDC) zinc-2-mercaptobenzthiazole (ZMBT) bentonite vultamol สารกันเชื่อม เช่น 2,6-Di-*tert*-butyl-*p*-cresol (BHT) กรดลอริก (lauric acid) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เอนไซม์ KP-3939 โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate) แคลเซียมคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม กรดฟอสโฟทังสติก (phosphotungstic acid, PTA) กรดไตรคลอโรอะซิติก (trichoroacetic acid, TCA) คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต (copper sulfate pentahydrate) โฟลิน-ซิโอคัลโต รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteau reagent) ไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต (tri-sodium citrate dihydrate) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก Bovine serum albumin (ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ และคณะ, 2541)



ผังการผลิตถุงมือยาง

ภาพประกอบ 2 กระบวนการผลิตถุงมือยาง
(ที่มา : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2548)

จากขั้นตอนการผลิตจะเห็นได้ว่ามีสารเคมีหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง แม้ว่าสารเคมีส่วนใหญ่ไม่ได้จัดเป็นสารก่อกลายพันธุ์โดยตรง แต่จากรายงานการศึกษาของ Mortelmans และ Zeiger (2000) พบว่า มีสารเคมีบางชนิดสามารถถูกเปลี่ยนแปลงโดยระบบเมแทบอลิซึมของร่างกายโดยเอนไซม์ในตับ หรือเมื่อปล่อยสารเคมีเหล่านั้นลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้วอาจไปทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารก่อกลายพันธุ์ได้

2.3 น้ำทิ้ง

น้ำทิ้ง (effluent) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ซึ่งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ได้แก่ ความเป็นกรดและด่าง (pH value), ค่าทีดีเอส (TDS หรือ total dissolved solids), สารแขวนลอย (suspended solids), อุณหภูมิ (temperature), สีหรือกลิ่น, ซัลไฟด์ (sulfide as H_2S), ไซยาไนด์ (cyanide as HCN), น้ำมันและไขมัน (fat, oil and grease), ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde), สารประกอบฟีนอล (phenols), คลอรีนอิสระ (free chlorine), สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (pesticide), ค่าบีโอดี 5 วันที่อุณหภูมิ 20°C (biochemical oxygen demand : BOD), ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ total Kjeldahl nitrogen), ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand : COD) และโลหะหนัก (heavy metal) ได้แก่ สังกะสี (Zn), โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (hexavalent chromium), โครเมียมชนิด ไตรวาเล้นท์ (trivalent chromium), ทองแดง (Cu), แคดเมียม (Cd), แบเรียม (Ba), ตะกั่ว (Pb), นิคเกิล (Ni), แมงกานีส (Mn), อาร์เซนิค (As), เซเลเนียม (Se), ปรอท (Hg)

จะเห็นว่าจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ดังกล่าวนั้นยังไม่พบว่ามีการกำหนดค่ามาตรฐาน หรือการตรวจหาสารก่อกลายพันธุ์ในน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าหากมีการปล่อยสารปนเปื้อนที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ อาจจะส่งผลให้เกิดการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและส่งผลต่อมนุษย์ได้ จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจหากได้มีการตรวจสอบหาสารก่อกลายพันธุ์ดังกล่าวในน้ำทิ้ง โดยเฉพาะน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2.4 การทดสอบสารก่อกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์อาจเกิดในยีนเดี่ยว (single gene) หรือยีนส่วนใหญ่ของดีเอนเอ เมื่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมปรากฏในดีเอนเอของเซลล์ร่างกาย การกลายพันธุ์จะถูกจำกัดอยู่กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสารก่อกลายพันธุ์ แต่ในกรณีที่การกลายพันธุ์ปรากฏในดีเอนเอของ

เซลล์สืบพันธุ์ หรือสารตั้งต้นของเซลล์สืบพันธุ์อาจถ่ายทอดสู่ลูกหลาน (วราภรณ์ บูรณานนท์, 2547) ซึ่งการกลายพันธุ์ของเซลล์ อาจทำให้การทำงานของยีนผิดปกติไป อาจออกมาในรูปของการที่ยีนทำงานมากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ และพบว่าสารก่อกลายพันธุ์ส่วนมากมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็งด้วย สำหรับวิธีการทดสอบสารก่อกลายพันธุ์ มีหลายวิธีด้วยกัน (ปลื้มจิต บุณยพิพัฒน์, 2534) ได้แก่

2.4.1 การทดสอบในหลอดแก้ว (*in vitro* testing) เป็น short-term assay ได้แก่ Ames' test, DNA unscheduled test, การทดลองในแมลงหวี่หรือเซลล์เพาะเลี้ยง เป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อคัดกรองสารก่อกลายพันธุ์

2.4.2 การทดลองในสัตว์ (animal bioassay) นิยมกันมากเพราะมีความใกล้เคียงกับมนุษย์มาก โดยเฉพาะการใช้สัตว์ทดลองที่เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม แต่การทดสอบวิธีนี้ต้องใช้สัตว์ทดลองจำนวนมาก ใช้เวลานาน สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ขนาดของสารที่ใช้ทดลองในสัตว์มักสูงกว่าปริมาณที่คนได้รับจริง มีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ และมีความไวต่ำ (ประมาณร้อยละ 57)

วิธีทดสอบที่นิยมแพร่หลายมาก คือ วิธีทดสอบการกลายพันธุ์โดยอาศัยแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* เรียกว่า Ames' test เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย นิยมใช้ตรวจสอบการกลายพันธุ์แบบระยะสั้น มีความไวสูง สะดวก รวดเร็ว ราคาถูก สามารถตรวจสอบสารได้ครั้งละมาก ๆ และให้ผลเร็วกว่าการทดลองในสัตว์ โดยสามารถรู้ผลอย่างคร่าว ๆ ได้ใน 2-3 วัน อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสารที่มีคุณสมบัติเป็น pro-mutagen ได้อีกด้วย (สมชัยยา สุริฉันท์, 2547) และกำหนดให้ใช้เป็นวิธีแรกในการตรวจสอบการกลายพันธุ์จากผลของสารเคมีทางการแพทย์และทางเกษตรกรรม ซึ่งมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับผลการก่อมะเร็งของสารเคมีทั้งในสัตว์ทดลองและในคน (Montesano *et al.*, 1989)

หลักการของ Ames' test คือ ผสมแบคทีเรียชนิดเฉพาะกับสารที่ต้องการทดสอบและโคแฟกเตอร์บางอย่าง แบคทีเรียชนิดเฉพาะนี้เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถเจริญเป็นโคโลนีให้เห็นได้เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในตัวกลางที่ขาดกรดอะมิโนฮิสทีดีน เพราะว่าเป็นแบคทีเรียชนิดที่ต้องการกรดอะมิโนฮิสทีดีนในการเจริญเติบโต (histidine dependent, His^-) เนื่องจากดีเอนเอของมันไม่สามารถสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการสังเคราะห์กรดอะมิโนฮิสทีดีน เมื่อเลี้ยงแบคทีเรียในสารที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ สารดังกล่าวสามารถไปเปลี่ยนแปลงเบสในสายดีเอนเอเกิดความผิดปกติขึ้น คือแบคทีเรียสามารถสร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีนขึ้นมาใช้เอง ไม่ต้องพึ่งพาจากตัวกลางอีกต่อไป (histidine independent, His^+) ทำให้แบคทีเรียเจริญจนเห็นเป็นโคโลนี เรียกว่า โคโลนีกลายพันธุ์ (revertant colony) โดยอาศัยหลักการนี้ เมื่อต้องการทดสอบสารก่อกลายพันธุ์ใด ๆ จะนำแบคทีเรีย

ไปเลี้ยงในตัวกลางที่มีสารดังกล่าวอยู่ หากแบคทีเรียสามารถเจริญจนเห็นเป็นโคโลนีกลายพันธุ์ได้ แสดงว่า สารดังกล่าวเป็นสารก่อกลายพันธุ์

การทดสอบการกลายพันธุ์โดยวิธี Ames' test ใช้แบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเบสเกิดกับเบสกวานีน (guanine) และไซโตซีน (cytosine) [G-C base pair] ยกเว้นสายพันธุ์ TA 102 เบสที่เปลี่ยนแปลงคืออะดีนีน (adenine) และธัยมิดีน (thymidine) [A-T base pair] สำหรับสายพันธุ์ของแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* มีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ TA 97, TA 98, TA 100, TA 102, TA 104, TA 1535, TA 1537 หรือ TA 1538 แต่สายพันธุ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ สายพันธุ์ TA 98 และสายพันธุ์ TA 100 (Le Curieux *et al*, 1995) โดยสายพันธุ์ TA 98 ใช้ในการทดสอบสารก่อกลายพันธุ์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (เพิ่มหรือลด) จำนวนคู่เบสในดีเอนเอที่มีผลต่อการแปลรหัสของ mRNA เป็นกรดอะมิโนผิดไปจากเดิมตั้งแต่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของเบสเป็นต้นไป อันส่งผลให้ได้โปรตีนที่ผิดปกติไป เรียก frameshift mutagens และสายพันธุ์ TA 100 สำหรับการทดสอบสารก่อกลายพันธุ์ที่คู่เบสเดิมถูกแทนที่โดยคู่เบสคู่อื่นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคู่เบสในดีเอนเอ แต่จำนวนของคู่เบสยังคงเท่าเดิม เรียก base-pair substitution mutagens (U.S. Food and Drug Administration, 2000) แบคทีเรียเหล่านี้เป็นแบคทีเรียที่กลายพันธุ์ไป โดยเกิดการกลายพันธุ์แบบ point mutation ของยีนที่จะสร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีน จึงต้องการกรดอะมิโนฮิสทีดีนเสมอเพื่อการเจริญเป็นโคโลนี (His$^-$, อาจเรียกว่าเป็น histidine auxotroph)

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบนี้ นอกจากต้องอาศัยกรดอะมิโนฮิสทีดีนแล้ว ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ทำให้แบคทีเรียมีความไวต่อการเกิดการกลายพันธุ์ (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, 2534) ได้แก่

ก. rfa mutation คือการทำให้แบคทีเรียขาดสารไลโปโพลีแซคคาไรด์ที่เคลือบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้สารกลายพันธุ์ที่มีโมเลกุลใหญ่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปในตัวแบคทีเรียได้

ข. uvrB mutation คือการทำให้แบคทีเรียขาดระบบซ่อมแซมดีเอนเอที่ผิดปกติ (loss of DNA excision reparing system) ดังนั้นเมื่อมีดีเอนเอกลายพันธุ์เกิดขึ้นจะไม่ถูกซ่อมแซมให้ดีเหมือนเดิม ทำให้ดีเอนเอผิดปกตินี้ถูกนำไปถ่ายทอดได้

ค. R factor คือการเติมพลาสมิด ชนิด pKM 101 หรือ pAQ1 เข้าไปในแบคทีเรียเพื่อช่วยให้แบคทีเรียมีความไวต่อการถูกเปลี่ยนแปลงโดยสารก่อกลายพันธุ์ได้มากขึ้น

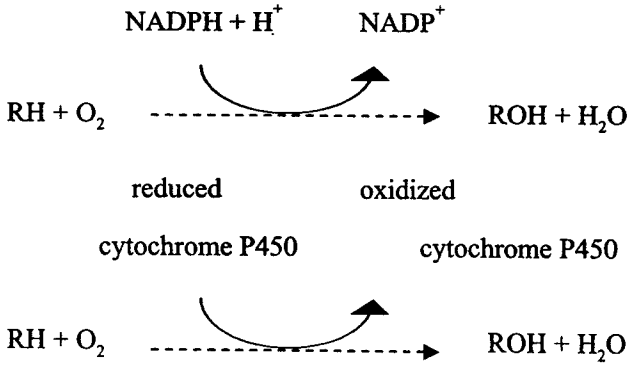
นอกจากนี้ การทดสอบ Ames' test ยังมีการเพิ่มระบบการกระตุ้นด้วยเอนไซม์ที่ได้จากตับหนู (S9 fraction) เข้าไปในการทดลองด้วย เนื่องจากสารแปลกปลอมที่เป็นพิษต่อร่างกายเมื่อเข้าไปในร่างกายต้องถูกเปลี่ยนแปลงโดยระบบเมแทบอลิซึมของร่างกาย ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยในการสลายความเป็นพิษต่อร่างกาย ขณะเดียวกันอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นการกระตุ้น

ความเป็นพิษต่อร่างกาย ระบบนี้อาศัยเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ที่อยู่ในเซลล์ ซึ่งสารเคมีต่าง ๆ เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะต้องถูกเปลี่ยนแปลงโดยขบวนการเมแทบอลิซึม (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, 2534) ได้แก่

1) Phase I reaction

Phase I reaction เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสารเคมีต่าง ๆ โดยอาศัยเอนไซม์ microsomal mixed function oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ของ microsome จาก endoplasmic reticulum ของเซลล์ ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นการออกซิไดส์โดยเติมออกซิเจนแก่สับสเตรทซึ่งหมายถึงสารเคมีต่าง ๆ ทั้งนี้เพราะสารเคมีเหล่านี้ส่วนมากจะไม่สามารถละลายน้ำ ทำให้ยากต่อการขับออกจากร่างกาย จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ระบบนี้ทำให้เปลี่ยนสถานะของสารเคมีจาก lipophilic เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีขึ้น (hydrophilic) นอกจากนี้ยังเป็นการเปลี่ยนสารเคมีเพื่อกลายเป็นสับสเตรทของเอนไซม์ใน phase II reaction ให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง จนสามารถกำจัดความเป็นพิษของสารเคมีได้ ปฏิกิริยาของ phase I และ phase II คือปฏิกิริยาในระบบกำจัดพิษของสารแปลกปลอมของร่างกาย (detoxification mechanism)

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดเพื่อเป็นการกำจัดความเป็นพิษของสารเคมี (detoxification) ในบางกรณีผลที่เกิดขึ้นหรือสารตัวกลางที่เกิดจากปฏิกิริยาอาจกลายเป็นสารที่มีพิษมากกว่าสารเคมีต้นแบบ ซึ่งทำให้เกิดพิษ (intoxication) เรียกว่าเกิด activation ปฏิกิริยาที่เกิดใน phase I reaction อาศัย cytochrome P450 โดยที่อิเล็กตรอนที่ใช้ในการรีดิวซ์ cytochrome P450 ได้มาจาก NADPH ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องแสดงได้โดยสรุป ดังนี้



2) Phase II reaction

Phase II reaction เป็นปฏิกิริยา conjugation ซึ่งจะ conjugate สารเคมีหรือสารตัวกลางที่ได้จาก phase I reaction กับ conjugating agents ของร่างกาย เช่น กลูตาธัยโอน กลัยซีน กลูคิวโรนายด์ ซัลเฟต ฯลฯ ผลที่เกิดขึ้นจะมีความเป็นขั้วมากขึ้นและพิษน้อยลง

ชนิดของปฏิกิริยาแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1

activated conjugating agent + substrate ----------→ conjugated product

แบบที่ 2

activated substrate + amino acid ----------→ conjugated product

การทดสอบสารก่อกลายพันธุ์โดยเติมเอนไซม์เข้าไป ทำให้สารก่อกลายพันธุ์ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้โดยเอนไซม์ที่พบในร่างกาย ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียไม่มีระบบการกระตุ้นดังกล่าว การทดสอบ Ames' test จึงคล้ายกับการจำลองสถานการณ์การเกิดเมแทบอลิซึมของสารพิษจนสามารถเปลี่ยนแปลงดีเอนเอให้ผิดปกติไปได้ เหมือนกับที่อาจเกิดในร่างกายมนุษย์ (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, 2534) วิธี Ames' test จึงเป็นวิธีการดัดแปลงให้ทดสอบได้ทั้งกับสารเคมีที่เป็นสารก่อกลายพันธุ์โดยตรงและสารก่อกลายพันธุ์โดยอ้อมที่จำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์จากตับ (Araki *et al*, 1984)

มีหลายรายงานที่ใช้วิธี Ames' test ตรวจสอบสารต้องสงสัยและยืนยันฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ และสรุปว่าประมาณร้อยละ 90 ของสารก่อมะเร็ง แสดงคุณลักษณะเป็นสารก่อกลายพันธุ์ด้วย (McCann and Ames, 1976) ดังนั้นห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพส่วนใหญ่จึงนำเทคนิคนี้ไปใช้ตรวจสอบสารเคมีจากสิ่งแวดล้อมและสารที่สงสัยว่าจะเป็นสารก่อมะเร็ง ในลักษณะที่เป็น screening test (ประสงค์ คุณานุวัฒน์ชัยเดช, 2525) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าวิธีการตรวจสอบสารก่อมะเร็งที่มีคุณลักษณะเป็นสารก่อกลายพันธุ์โดย Ames' test นี้ เป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำเอามาใช้ในวงการวิทยาศาสตร์การแพทย์ และงานด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม สารที่ให้ผลบวกต่อการทดลองด้วยวิธีนี้ ควรที่จะทำการทดสอบฤทธิ์ของสารพันธุพิษในเซลล์หรือในอวัยวะของร่างกาย (in *vivo* test) ของสัตว์หรือคนร่วมไปด้วย เพื่อพิสูจน์และสนับสนุนผลการทดสอบต่อไป (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, 2534)

2.5 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ.1976 มีรายงานการตรวจพบมะเร็งกระเพาะปัสสาวะในกลุ่มคนงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมยางพารา ประเทศสหรัฐอเมริกา และจากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าสารเคมีกลุ่ม aromatic amines ที่ใช้ในโรงงาน เช่น 2-naphthylamine มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (Clayson, 1976)

การศึกษาทางระบาดวิทยาในปี ค.ศ.1980 แสดงให้เห็นว่าผู้ที่ทำงานในอุตสาหกรรมยางพารามีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสัมผัสสารเคมีนับร้อยชนิดทั้งที่เป็นสาร

ก่อมะเร็งและที่สงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็ง และตรวจพบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์สูงอย่างมีนัยสำคัญในปัสสาวะของคนที่ทำงานในโรงงานยางทั้งในกลุ่มสูบและไม่สูบบุหรี่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Falck *et al.*, 1980)

ปี ค.ศ.1997 มีรายงานผู้ที่ทำงานล้อยางรถยนต์มีโอกาสสัมผัสกับสารก่อกลายพันธุ์อีกหลายชนิด เช่น benzo (a) pyrene, benzfluoranthene, naphthalene และ acetonaphthene ทั้งยังตรวจพบปริมาณของสาร mercapturate ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมในเม็ดเลือดขาวได้ในปัสสาวะคนงานในระดับสูง (Duinska *et al.*, 1997)

ในปี ค.ศ.1997 มีการศึกษาการสัมผัสสารระเหยกลุ่ม nitrosamines ของคนงานในโรงงานยางจำนวน 24 แห่ง ระหว่างปี ค.ศ.1992 – 1995 พบว่า มีคนงานจำนวน 709 คน ได้รับสารระเหยกลุ่มนี้จากการตรวจวัดในพื้นที่ทั่วไปหรือบริเวณเฉพาะตามขั้นตอนในการผลิตที่มีโอกาสสัมผัสโดยการหายใจ ซึ่งพบ N-nitrosodimethylamine เป็นสารสำคัญของ nitrosamine ทั้งหมด (Oury *et al.*, 1997)

ปี ค.ศ.1999 มีการนำฝุ่นในโรงงานยางพารา ประเทศอิตาลี บริเวณที่มีการผสมและการรีดยางเป็นแผ่นโดยลูกกลิ้งที่เรียกกันว่าคาเล็นเดอร์ (calendering) ทดสอบสารก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames' test โดยเชื้อ *Salmonella typhimurium* (TA 98, TA 98NR, TA 100, YG 1021) ทั้งในสภาวะที่ถูกและไม่ถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ และทำการวิเคราะห์ฝุ่นด้วย high-performance liquid chromatography (HPLC) พบ polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) และเมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) พบสารประกอบของ azulene derivative, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethylquinoline, N-methyl N-phenylbenzenamine, diphenylamine, bis(2-ethylhexyl)-phthalate และ bis(methyl-propyl)-phthalate ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารก่อกลายพันธุ์แบบ frameshift mutation ที่พบได้ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม (Fracasso *et al.*, 1999)

ในปี ค.ศ.1999 ได้มีการศึกษาอัตราการตายของคนงานเยอรมันเพศชายที่ทำงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตยางล้อรถยนต์ จำนวน 11,633 คน ตั้งแต่ มกราคม 1981 จนถึง ธันวาคม 1991 โดยศึกษาพื้นที่ 6 แห่งภายในโรงงาน ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ยาง ผลิตภัณฑ์ล้อยางรถยนต์ การเก็บและขนส่ง การซ่อมบำรุง และบริเวณอื่น ๆ พบว่า อัตราการตายของคนงานระหว่างมะเร็งช่องท้องและมะเร็งปอดมีความสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะในส่วนที่มีการชั่งน้ำหนักและผสมของอุตสาหกรรมยางจะมีอัตราการตายของคนงานระหว่างมะเร็งช่องท้องและมะเร็งปอดที่มีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งชี้ให้เห็นถึงปัจจัยเสี่ยง คือ asbestos และ carbon black (Straif *et al.*, 1999)

ปี ค.ศ.2000 มีการตรวจสอบสารก่อกลายพันธุ์หรือสารก่อมะเร็งของมลภาวะทางอากาศของโรงงานยาง 4 แห่ง พบว่า อนุภาคของอากาศส่วนใหญ่ประกอบด้วย nitrosamine และ

polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ซึ่งมีความสามารถในการก่อกลายพันธุ์ด้วย (Monarca *et al.*, 2001)

และในปี ค.ศ.2000 มีรายงานการตรวจพบสารก่อกลายพันธุ์กลุ่ม nitroarenes และ aromatic amines ในฝุ่นและฟูมของโรงงานล้อยางรถยนต์ 2 แห่ง ในประเทศเนเธอร์แลนด์และสวีเดนในบริเวณรอบ ๆ ที่มีการผสมและบริเวณแผนกต่าง ๆ โดยใช้ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ YG1021, YG1024 และ YG1041 (Vermeulen *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอีกหลายงานวิจัยด้วย *Salmonella* mutagenicity assay (Ames' test) ที่แสดงให้เห็นว่าในน้ำดื่มมีสารก่อกลายพันธุ์หรือสารก่อมะเร็ง ถ้าน้ำดื่มนั้นได้รับมาจากน้ำผิวดินและมีการเติมคลอรีน (Monarca *et al.*, 1997)

การทดสอบความสามารถก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames' test ได้ถูกออกแบบให้หาสารเคมีที่เหนี่ยวนำให้เกิดการก่อกลายพันธุ์ ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในอากาศ แม่น้ำ ทะเลสาบ น้ำทิ้งจากแหล่งอุตสาหกรรมและน้ำดื่ม (Mamber *et al.*, 1993 ; Park *et al.*, 2000 ; Cerna *et al.*, 1998)

ในปี ค.ศ.1986 ได้มีการศึกษาความสามารถก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames' test ในน้ำผิวดิน น้ำทิ้ง และน้ำดื่มในแม่น้ำ Rhine จำนวน 46 ตัวอย่าง ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ค.ศ.1986 พบว่า 9.7% ของตัวอย่างน้ำมีสารก่อกลายพันธุ์ (Mersh-Sundermann *et al.*, 1988)

ปี ค.ศ.2000 ในประเทศตุรกีมีการศึกษาความสามารถก่อกลายพันธุ์ของตัวอย่างน้ำและตะกอนจากแม่น้ำ Porsuk โดยใช้แบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA 98 และ TA 100 พบว่ามีสารก่อกลายพันธุ์ในตัวอย่างทั้งในการทดสอบด้วยแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* ทั้ง 2 สายพันธุ์ (Kutlu *et al.*, 2004)

ในปี ค.ศ.2003 มีการศึกษาความสามารถก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธี Ames' test โดยใช้แบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม น้ำผิวดินจากบริเวณที่มีอุตสาหกรรม และแม่น้ำ Aligarh ในประเทศอินเดีย พบว่าสายพันธุ์ที่มีความไวที่สุดในการทดสอบ คือ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA 98 และ TA 100 (Habib and Ahmad, 2003)

สำหรับในประเทศไทย มีการนำวิธี Ames' test มาใช้ในการวิเคราะห์หาสารก่อกลายพันธุ์ โดยมีการศึกษาหาสารก่อกลายพันธุ์ของน้ำจากแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปาหมู่บ้าน รวม 10 แห่ง โดยใช้ *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA 98 ตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ผลการตรวจวิเคราะห์พบว่าคุณภาพน้ำดิบจากทุกแหล่งยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการนำไปผลิตประปา และตรวจไม่พบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของน้ำ (วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ และคณะ, 2546)

3. วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบความสามารถก่อกลายพันธุ์แบคทีเรียของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง ที่ปล่อยลงสู่คลองอู่ตะเภาในจังหวัดสงขลา

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

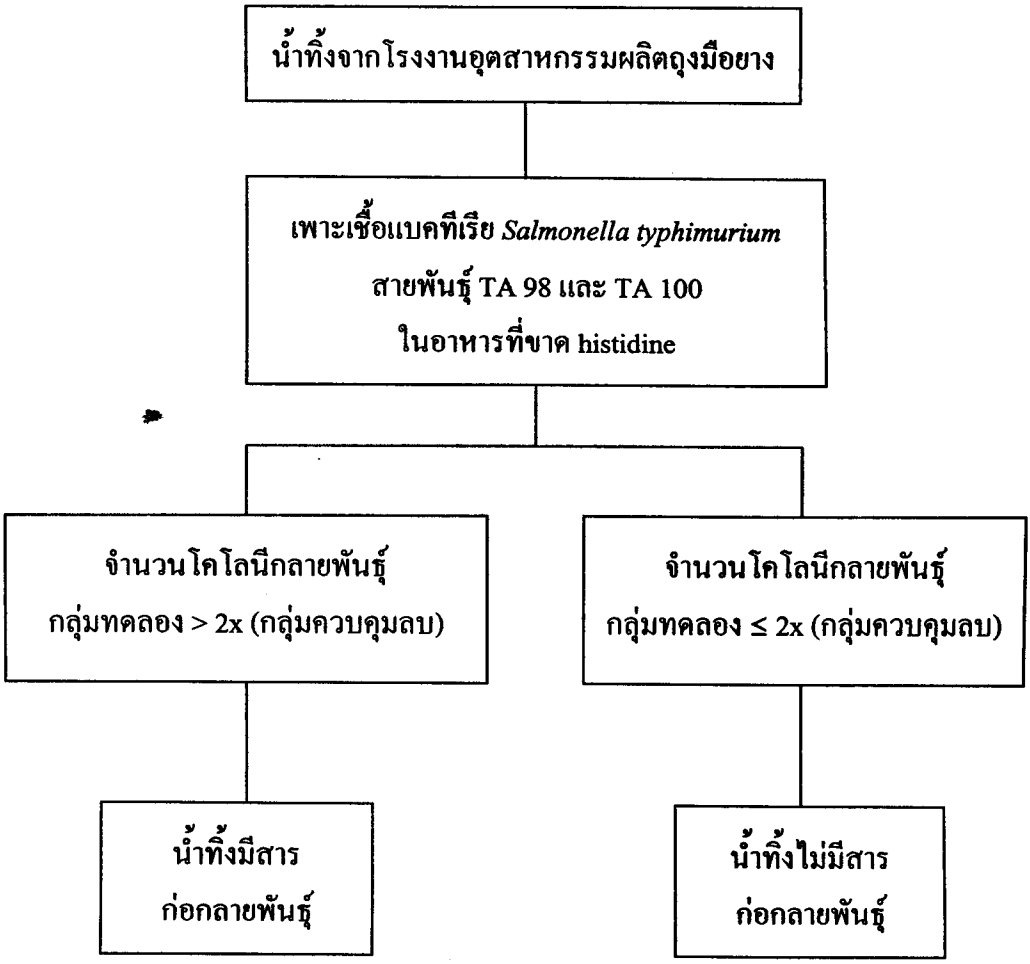
4.1 เป็นข้อมูลการคัดกรองสารก่อกลายพันธุ์เบื้องต้น เพื่อตรวจหาสารก่อกลายพันธุ์ด้วยวิธีทดสอบในเซลล์เพาะเลี้ยงสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและหนูทดลองต่อไป

4.2 เป็นข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่หรือหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาทบทวนมาตรการควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพารา ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ

4.3 เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและระบบนิเวศจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราในแหล่งน้ำสาธารณะ

4.4 เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาวิจัยเชิงลึก เพื่อระบุสารเคมีและขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์และแนวทางการป้องกัน

5. กรอบแนวคิด



ภาพประกอบ 3 กรอบแนวคิดของการวิจัย

6. ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านพื้นที่ จะทำการศึกษาความสามารถในการก่อกลายพันธุ์แบคทีเรียของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางในจังหวัดสงขลา ที่มีการระบายลงสู่คลองอู่ตะเภา

ตัวแปรที่ศึกษา

6.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำทิ้ง

6.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่กลายพันธุ์

ขอบเขตด้านเนื้อหา ทำการวิเคราะห์ความสามารถก่อกลายพันธุ์แบคทีเรียของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง