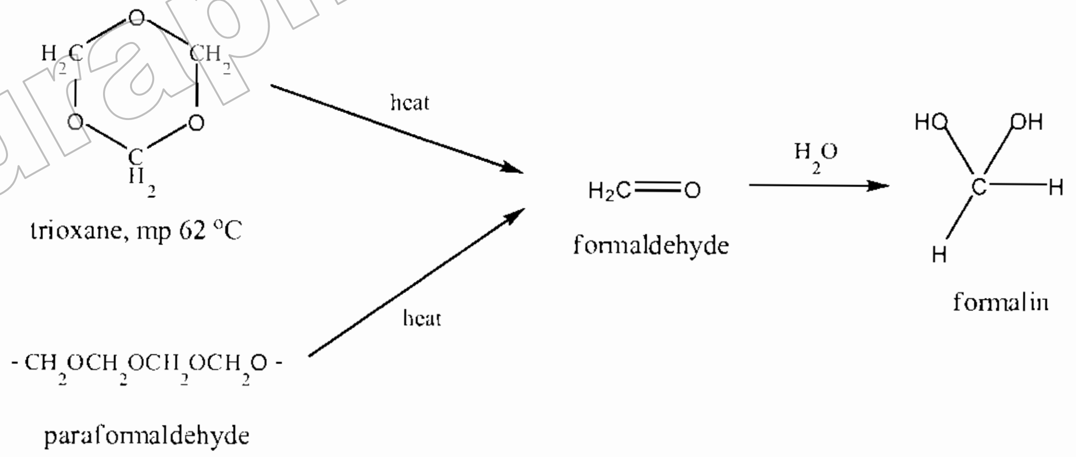
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟอร์มัลดีไฮด์

ฟอร์มัลดีไฮด์ (Fomaldehyde : CH_2O) มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ มีกลิ่นฉุนแสบจมูก ไม่มีสี และติดไฟง่ายที่อุณหภูมิห้อง ชื่ออีกชื่อหนึ่งของฟอร์มัลดีไฮด์ที่รู้จักกันดีคือฟอร์มาลีน (Formalin) ซึ่งฟอร์มาลีนก็คือสารละลายที่ประกอบไปด้วยก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ประมาณ 37% โดยน้ำหนักในน้ำ และมีเมธานอลปนอยู่ประมาณ 10–15% เพื่อป้องกันการเกิดโพลีเมอร์ (โดยปกติสารละลายนี้จะไม่เสถียรเมื่อเก็บไว้นานโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง จะกลายเป็นกรดฟอร์มิก ดังนั้นจะมีการเติมสารยับยั้ง หรือที่เรียกว่าสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวสเตบิไลเซอร์ เช่น เมธานอล 5–15%) โดยน้ำยาฟอร์มาลีนนั้นจะมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว (ศิริพร วันฟั่น, 2550)

คุณสมบัติทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์นี้ จะแตกต่างจากคุณสมบัติของพวกอัลดีไฮด์ทั่วไป เพราะอัลดีไฮด์นี้จะมีไฮโดรเจนเพียงอะตอมเดียวเท่านั้น ที่เกาะกับหมู่ของอัลดีไฮด์ (-CHO) และไม่มีอนุมูลของอัลคิลอยู่ในโมเลกุลอีกด้วย ฟอร์มัลดีไฮด์จะไวต่อปฏิกิริยาเคมีจะรวมตัวกับสารอื่นได้ง่าย การเก็บหรือขนส่งฟอร์มัลดีไฮด์อาจทำให้อยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลีน หรือเป็นไตรเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งก็ได้ ซึ่งเมื่อทำให้ร้อนจะได้ฟอร์มัลดีไฮด์ในสถานะแก๊ส (เกษร พะลัง, 2543)

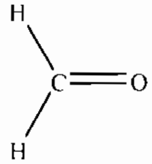


ภาพที่ 2-1 ฟอร์มัลดีไฮด์ในรูปของสารละลายฟอร์มาลีน ไตรเมอร์ และพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง (Wade, 2010)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สูตรโมเลกุล : CH_2O

สูตรโครงสร้างทางเคมี :



ชื่อ IUPAC : Methanal

ชื่อสามัญ Formaldehyde, Methylene Oxide, Oxomethylene, Oxymethylene, Methylaldehyde

ชื่อสามัญสารละลาย : Formalin, Formaldehyde

น้ำหนักโมเลกุล : 30.03

ความหนาแน่น : 0.82 g/cm^3

จุดเดือด : -21°C

จุดหลอมเหลว : -92°C

สภาพการละลายในน้ำ : 55%

ประโยชน์ของฟอร์มัลดีไฮด์

มีการใช้สารฟอร์มาลีนในด้านต่าง ๆ ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2541)

1 ด้านอุตสาหกรรม

1.1 การผลิตเรซินและพลาสติก เช่น Urea Formaldehyde, Melamice-Formaldehyde, Phoenol-Formaldehyde และอื่น ๆ

1.2 ในการสังเคราะห์ urotropire, propagyl alcohol, ยา, วัตถุระเบิด และสีต่าง ๆ เช่น สีคราม(indigo), สีแดง(rose mary), สีอะครีลิก(acrylic dyes) รวมถึงการฟอกหนังและสีตกแต่งอาหาร(dressing)

1.3 ในการย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีย้อมติดแน่นขึ้น

1.4 ในการฟอกสีและการพิมพ์

1.5 ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้

1.6 ในการผสมโลหะเพื่อระงับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1.7 ในอุตสาหกรรมผลิตสิ่งทอ เช่น ใช้ในการรักษาผ้าไม่ให้ย่น ใช้ผลิตผงที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำหนักและความแข็งแรงของไหมสังเคราะห์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.8 ใช้สำหรับถ่ายภาพทำให้เก็บรักษาได้นาน

1.9 อบหรือรมวัสดุต่าง ๆ เพื่อป้องกันแมลง เช่น หนังสัตว์ ขนสัตว์

2 ด้านการเกษตร

2.1 ใช้สำหรับการทำลาย ป้องกันจุลินทรีย์และต้นไม้ที่เป็นโรค

2.2 ป้องกันผลิตผลเกษตรจากการเสียหายระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา

2.3 ใช้ฆ่าเชื้อโรคในดิน

2.4 ใช้ทำความสะอาดสถานที่เก็บอุปกรณ์ เช่น ลังไม้

2.5 ใช้เป็นส่วนผสมของสารละลายที่ใช้เคลือบผักผลไม้จำพวกส้มระหว่างการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการเน่าเสีย

2.6 ใช้เป็นปุ๋ย (urea formaldehyde)

3 ด้านการแพทย์

3.1 ใช้ในการเก็บรักษา anatomical specimens, ดองศพ

3.2 ใช้ทำความสะอาดห้องผู้ป่วย เครื่องมือเครื่องใช้ในการเตรียม และสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ยา วัคซีน

4 ด้านเครื่องสำอาง

4.1 ใช้ในเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เหงื่อออกมาก

4.2 ใช้ในยาสีฟัน ยาบ้วนปาก สบู่ ครีมโกนหนวด เพื่อฆ่าเชื้อ

4.3 ใช้ในน้ำยาดับกลิ่นตัวและอื่น ๆ

ความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์

ความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อสัตว์ทดลองนั้น ได้พบว่าฟอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นสารที่มีความเป็นพิษปานกลาง คือ มีค่าความเป็นพิษ LD_{50} ต่อหนู (rat) ทางกระเพาะอาหารเท่ากับ 385± 8.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปริมาณที่ทำให้คนตายอยู่ระหว่าง 0.50–5.25 กรัม อาการที่เกิดจากความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันของฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อสัตว์ทดลอง โดยการฉีดเข้าภายในกระเพาะอาหาร พบว่าหลังจากที่สัตว์ทดลองได้รับสารเข้าไปจะแสดงอาการตื่นตระหนก ตามด้วยอาการง่วงซึม อ่อนเพลีย หายใจขัด และจะตายในภายใน 2-3 ชั่วโมงแรกที่ได้รับสาร ส่วนสัตว์ทดลองที่รอดชีวิตพบว่ามีอาการเฉื่อยชา ง่วงเหงา เบื่ออาหาร (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2541)

สำหรับความเป็นพิษต่อมนุษย์นั้น ฟอร์มัลดีไฮด์แสดงอาการพิษแบบเฉียบพลันและอาการพิษเรื้อรัง โดยอาการเฉียบพลัน (Acute Effect) เป็นอาการที่ร่างกายแสดงออกมาภายหลังจากได้รับสารเคมีเข้าไปไม่มากนัก ส่วนอาการเรื้อรัง (Chronic Effect) เป็นอาการที่ร่างกายค่อย ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แสดงออกมาซึ่งเป็นผลจากการที่ร่างกายได้รับสารเคมีไปทีละน้อย ๆ สะสมจนมีระดับสารเคมีที่สูงพอจะทำให้เป็นผลเสียต่อร่างกาย ทำให้เกิดโรคได้ โดยมากแล้วพบว่า การสัมผัสกับฟอร์มัลดีไฮด์จะอยู่ในรูปของการสูดเอาไอของฟอร์มัลดีไฮด์เข้าไปหรือสัมผัสทางผิวหนังและดวงตา ซึ่งสามารถจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว โดยจะแสดงอาการต่าง ๆ เช่น แสบตา แสบคอ แสบจมูก ระคายเคืองในปอด แน่นหน้าอก หอบคล้ายเป็นหืด ไอ ปวดศรีษะ ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน ชัก หายใจขัด อาจถึงขั้นเป็นปอดอักเสบ หรือปอดบวมน้ำเฉียบพลัน และอาจเสียชีวิตได้ หากสูดดมเข้าไปปริมาณมาก ๆ อาการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นหลายชั่วโมงหลังจากได้รับสาร หากได้รับปริมาณน้อยเป็นเวลานานจะมีอาการไอ และหายใจติดขัดเพราะหลอดลมอักเสบ โดยปกติแล้วเราสามารถได้กลิ่นที่กระจายอยู่ในอากาศแม้ในระดับความเข้มข้นเพียงแค่ 1 ppm เท่านั้น

กรณีสัมผัสกับสารละลายฟอร์มาลีน จะทำให้ผิวหนังอักเสบ พอง เป็นตุ่มคันหรือเป็นแผลไหม้ ถ้ากระเด็นเข้าดวงตาจะทำลายกระจกตา ทำให้แสบตา ตาพร่ามัวและอาจถึงบอดได้

กรณีกลืนกินสารละลายฟอร์มาลีนเข้าไป จะเกิดอาการเป็นพิษโดยเฉียบพลัน ซึ่งอาการมีตั้งแต่ปวดแสบปวดร้อนอย่างรุนแรงที่ปากและคอ ปวดท้องอย่างรุนแรง อาเจียน อุจจาระร่วง หมดสติ และเสียชีวิตได้

นอกจากนี้ ยังสามารถทำให้เกิดภาวะเจ็บป่วยเรื้อรังจากการที่สัมผัสบ่อย ๆ เป็นเวลานาน หรือได้รับเป็นปริมาณมาก โดยอาจทำให้เป็นโรคมะเร็งโพรงจมูก มะเร็งคอหอย มะเร็งปอด ระคายเคืองต่อผิวหนังอย่างรุนแรง รวมถึงมีผลทำให้เกิดความผิดปกติของระดู และการเจริญพันธุ์ ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารกระตุ้นที่สามารถทำให้ระบบภูมิคุ้มกันของผู้สัมผัสตอบสนองได้ แม้จะเป็นการสัมผัสครั้งแรกก็ตาม และจากการศึกษาพบว่าผู้สัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์เป็นประจำ ประมาณ 1 ใน 20 หรือ 5% จะมีการพัฒนากลายเป็นโรคภูมิแพ้ที่มีอาการคล้ายหอบหืด และภูมิแพ้ทางผิวหนังต่อมาได้ (ศิริพร วันฟั่น, 2550)

ระดับความเป็นพิษของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้

ความเข้มข้น 1 ppm	สามารถทำให้ได้กลิ่น
ความเข้มข้น 2–3 ppm	จะรู้สึกไม่สบาย โดยเฉพาะที่หลอดลม
ความเข้มข้น 4–5 ppm	จะทำให้มีอาการน้ำลายไหล (จำนวนเล็กน้อย) หรือไหลไม่หยุด บางคนอาจทนอยู่ได้ในความเข้มข้นระดับนี้ได้นานถึง 10 – 30 นาที
ความเข้มข้น 10 ppm	จะทำให้มีอาการน้ำลายไหลจำนวนมาก หรือไหลไม่หยุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความเข้มข้น 10–20 ppm จะทำให้หายใจลำบาก จมูก และคอแสบร้อน และอาการแสบร้อนนี้จะขยายไปถึงหลอดลม พร้อมกับมีอาการไอได้

ความเข้มข้น 50-100 ppm จะทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยอย่างรุนแรง (ในระหว่าง 5-10 นาที)

มาตรการทางกฎหมาย (Law measures)

ฟอร์มัลดีไฮด์ จัดเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 2 คือ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออกหรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อน และจะต้องปฏิบัติตามวิธีการและเกณฑ์ที่กำหนดด้วยโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมและการประมง

ในปี ค.ศ.1983 ประเทศนิวซีแลนด์กำหนดให้ผลิตภัณฑ์มีสารฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 5% ต้องมีฉลากระบุว่าเป็นสารพิษ (Poison)

ในปี ค.ศ.1973 ประเทศสวีเดนห้ามใช้และขายสารนี้โดยมิได้รับอนุญาตจาก National Board of Product Control (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2541)

1 มาตรฐานอากาศ

กรมแรงงาน กระทรวงมหาดไทย ได้มีการกำหนดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงาน โดยตลอดระยะเวลาการทำงานไม่เกิน 3 ppm ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในระยะเวลา 30 นาที ไม่เกิน 10 ppm

2 มาตรฐานน้ำ

กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มีค่าไม่เกิน 1 ppm

การปนเปื้อนของฟอร์มัลดีไฮด์ในอาหาร

ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 151 (พ.ศ.2536) เรื่อง กำหนดวัตถุห้ามใช้ในอาหาร ได้กำหนดให้ฟอร์มัลดีไฮด์ สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์และพาราฟอร์มัลดีไฮด์เป็นวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร

มีรายงานจากประเทศต่าง ๆ เช่น อังกฤษ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และอิตาลี ว่าในผักและผลไม้บางชนิด เนื้อสัตว์บางประเภท โดยเฉพาะสัตว์ทะเล และเห็ดหอมมีปริมาณของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในธรรมชาติสูง แต่อย่างไรก็ดีปริมาณที่มีในอาหารเหล่านี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค แต่ฟอร์มาลีนได้ถูกนำมาใช้ในอาหารหลายประเภทด้วยความไม่รู้ถึงอันตรายของสารนี้ ได้มีการนำฟอร์มาลีนผสมน้ำไปราดใส่อาหารบางชนิด เช่น ปลาทู ปลากระเบน เนื้อไก่

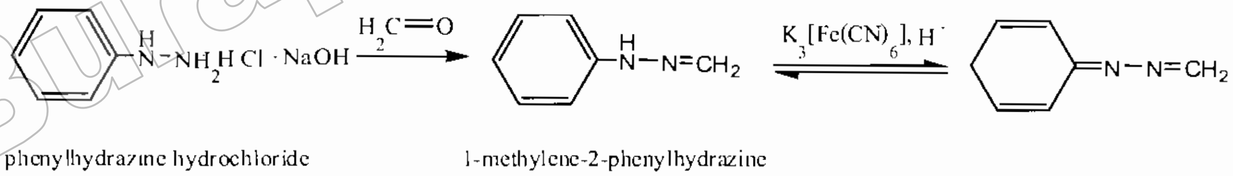
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เนื้อหมู กุ้ง เพื่อป้องกันการเน่าเสีย และยังใช้กับผักหลายชนิด โดยเฉพาะ ผักคะน้า ผักกาดขาว ผักกาดหอม ถั่วฝักยาว แตงกวา หน่อไม้ ยอดมะพร้าว ชะอม ผักกระเฉด ผักชี ตั้งโอ๋ และอื่นๆ โดยอ้างว่าใช้ฆ่าแมลงบนผักได้ดี และยังทำให้ผักสดอยู่ได้นาน อีกทั้งราคายังถูกกว่าสารพิษฆ่าแมลงชนิดอื่น ๆ ด้วย นอกจากใช้ฟอร์มาลีนฉีดผักแล้วยังมีการนำไปแช่ฟอร์มาลีนก่อนจำหน่าย เพื่อให้สดอยู่ได้นาน บางครั้งฟอร์มาลีนอาจมาจากปุ๋ย และสารพิษฆ่าแมลงที่ใช้ด้วย แต่ฟอร์มาลีนที่มีในธรรมชาติหรือที่มาจากปุ๋ย และสารพิษฆ่าแมลงส่วนใหญ่จะมีปริมาณน้อยมาก คือ ไม่เกิน 1 ppm ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ในขณะที่ฟอร์มาลีนที่จงใจฉีดหรือแช่ในผักหรือเนื้อสัตว์นั้น หากใช้ปริมาณมากเกินไป และมีการตกค้าง ย่อมเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคแน่นอน (ชนิพรรณ บุตรยี่, 2535)

การวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ในอาหาร

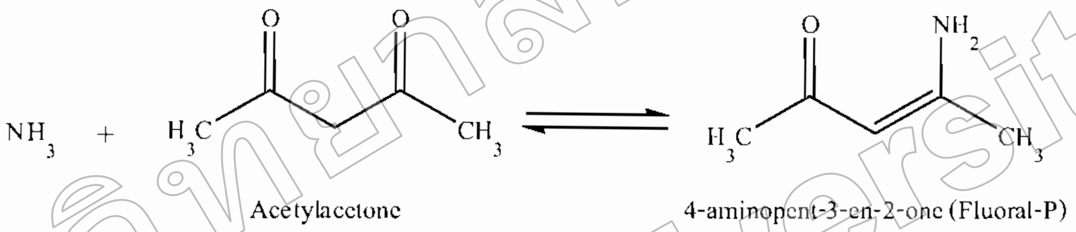
วิธีการทดสอบเอกลักษณ์ฟอร์มัลดีไฮด์มีหลายวิธีแต่มี 3 วิธีที่สามารถตรวจฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณต่ำ คือ วิธีของ British Pharmacopocia (BP), วิธีมาตรฐาน [AOAC(1990)] ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และวิธี Schiff' test

1 **วิธีของ British Pharmacopoeia (BP)** เป็นปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับสารเคมี 3 ชนิด คือ ฟีนิลไฮดราซีน ไฮโดรคลอไรด์ (phenylhydrazine hydrochloride), โพแทสเซียม เฮกซะไซยาโนเฟอเรต (potassium hexacyanoferrate) และกรดเกลือเข้มข้น (conc. hydroclorie) ให้สีแดงหรือสีชมพูในเวลาที่รวดเร็ว ปฏิกิริยาเคมีแสดงดังภาพที่ 2-2 สารที่รบกวนการทดสอบ คือ อะลิฟาติกแอลดีไฮด์ ชุดทดสอบฟอร์มัลดีไฮด์ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ดัดแปลงมาจากวิธีนี้ (กอบทอง ธูปหอม, 2536)

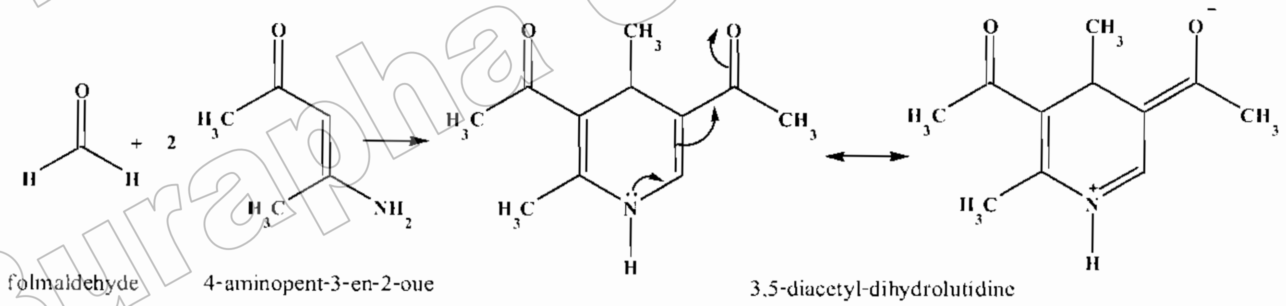


ภาพที่ 2-2 ปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับ ฟีนิลไฮดราซีน ไฮโดรคลอไรด์, โพแทสเซียม เฮกซะไซยาโนเฟอเรต และกรดเกลือเข้มข้น (Rosen, & Mcfarland, 1983)

2 วิธีมาตรฐาน[AOAC(1990)] เป็นวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับแนชส์รีเอเจนต์(Nash's reagent) ซึ่งเป็นสารละลายผสมของอะซิติลอะซิโตน (Acetylacetone), แอมโมเนียมอะซิเตท(Ammonium acetate) และกรดแอซิติก(Acetic acid) ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ไดอะซิติลไดไฮโดรลูติดีน (diacetyldihydrolutidine) ซึ่งมีสีเหลือง ปฏิกิริยาเคมีแสดงดังภาพที่ 2-3 และ 2-4 ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ต้องมีการอุ่นให้ความร้อน จึงไม่สะดวกสำหรับใช้เป็นวิธีตรวจภาคสนาม สารที่รบกวนการวิเคราะห์นี้ คือ อะซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) เพราะแนชส์รีเอเจนต์นี้จะทำปฏิกิริยากับอะซิตัลดีไฮด์ด้วย หากในการทดลองมีอะซิตัลดีไฮด์ในปริมาณที่มาก จะทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์มีความคลาดเคลื่อน (Snell, & Ettre, 1971)



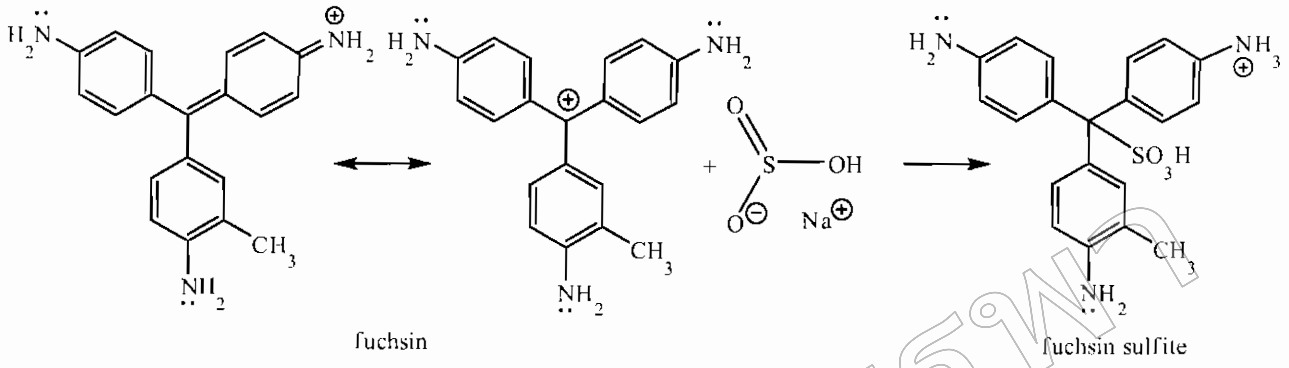
ภาพที่ 2-3 ปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับอะซิติลอะซิโตน (Sousa, Oliveira, Alves, & Andrade, 2009)



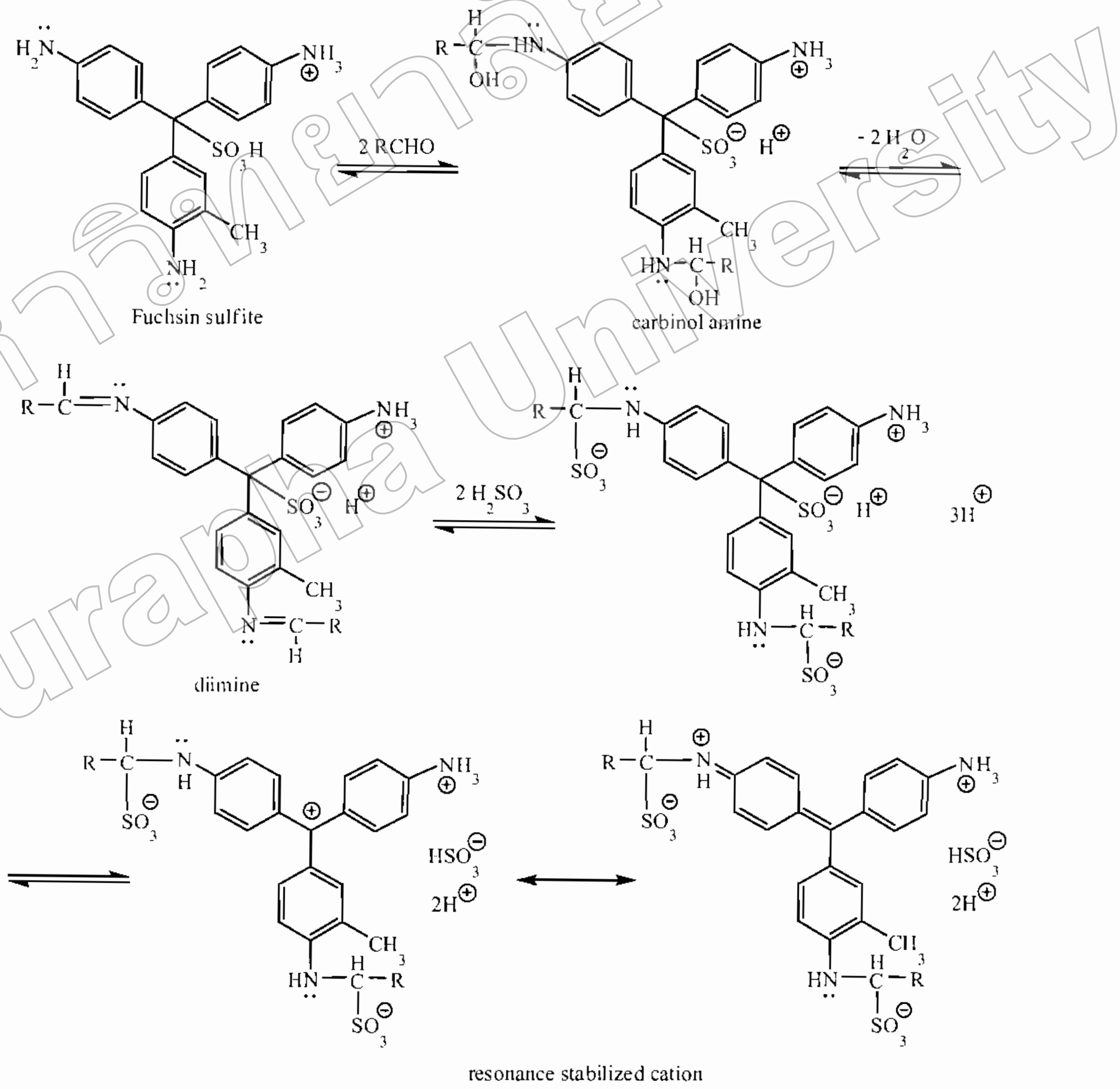
ภาพที่ 2-4 ปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับ Fluor-P (Sousa et al., 2009)

3 วิธี Schiff' test เป็นปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับ fuchsin และโซเดียมไบซัลไฟด์ (sodiumbisulfite, $NaHSO_3$) ในสภาวะกรด ให้สีชมพู น้ำยาที่เตรียมต้องเก็บในที่เย็นไม่ถูกแสง เป็นสารละลายที่ใช้ทดสอบ อัลดีไฮด์ ซึ่งมีความไวมาก การทดสอบวิธีนี้เกิดจาก fuchsin (ซึ่งแต่เดิมเป็นสีชมพู) เมื่อเกิดปฏิกิริยากับโซเดียมไบซัลไฟด์ในสภาวะกรดจะเปลี่ยนเป็น fuchsin sulfite ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ดังแสดงในภาพที่ 2-5 และเมื่อทำปฏิกิริยากับแอลดีไฮด์จะเกิดสารเชิงซ้อนให้สีชมพูกลับมาตามเดิมดังแสดงในภาพที่ 2-6 (ประดินฐ์ มีสุข, 2548)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-5 Decolorization ของ fuchsin กับกรดซัลฟิวริก (Keusch, 2010)



ภาพที่ 2-6 ปฏิกิริยาของ fuchsin กับอัลดีไฮด์ (Keusch, 2010)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

หลักการของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV- Visible Spectrophotometer)

แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ (2552) กล่าวว่า ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณของสารโดยวิธีการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี แต่เดิมเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารที่มีองค์ประกอบเป็นสารที่เราต้องการทราบปริมาณ ในสารละลายกับสีของสารละลายที่ประกอบด้วยสารซึ่งเราทราบความเข้มข้น ต่อมาพบว่าถ้าผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด (Infrared) แสงวิสิเบิล (Visible light) หรือในช่วงแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เข้าไปในสารละลายพบว่าแสงจะถูกดูดกลืน ณ ที่ช่วงความยาวคลื่นบางค่าซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายในสารละลายนั้น การวัดค่าการดูดกลืนของแสงกระทำได้โดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เทคนิคการหาปริมาณของสารแบบนี้เรียกว่า แอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (Absorpion Spectrophotometry) ซึ่งแบ่งออกตามความยาวคลื่นของแสงที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. สเปกโทรโฟโตเมตรีในช่วงแสงอินฟราเรด (Infrared Spectrophotometry) เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นระหว่าง 2.5 ถึง 25 ไมโครเมตร

2. สเปกโทรโฟโตเมตรีในช่วงแสงวิสิเบิล (Visible Spectrophotometry) เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นระหว่าง 380 ถึง 780 นาโนเมตร

3. สเปกโทรโฟโตเมตรีในช่วงแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Spectrophotometry) เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นระหว่าง 200 ถึง 380 นาโนเมตร การดูดกลืนแสงของอินฟราเรดจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สารทางอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ สำหรับการดูดกลืนแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเลต ส่วนมากจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สารทางอนินทรีย์เคมี

1. การดูดกลืนแสงของสารในช่วงแสงวิสิเบิล

สารทางอินทรีย์ และอนินทรีย์จำนวนมากที่สามารถหาปริมาณได้โดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงแสงวิสิเบิล หลักที่สำคัญคือการที่ต้องการหาปริมาณจะต้องมีสีหรือสามารถ ทำปฏิกิริยากับสารอื่นแล้วทำให้เกิดสารที่มีสี ในทางทฤษฎีสารละลายที่มีสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรมีสมบัติดังนี้

1.1 สีของสารควรมีความเข้มข้นมากพอที่จะวัดการดูดกลืนของแสงได้ถึงแม้สารนั้นประกอบด้วยสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นจำนวนเล็กน้อยก็ตาม

1.2 สีของสารที่อยู่ในสารละลายจะต้องอยู่ตัวไม่จางลงอย่างรวดเร็ว

1.3 สีของสารจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงหรือจางลงเมื่อ pH หรืออุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

1.4 สารรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสีกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์จะต้องไม่มีสี หรือไม่ดูดกลืนแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นเดียวกับสารที่มีสีที่เกิดขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.5 ปฏิกิริยาของรีเอเจนต์ ที่ทำให้เกิดสารที่มีสีกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ จะต้องให้สารที่มีสีชนิดเดียวเท่านั้น

แสงวิสิเบิลประกอบด้วยช่วงคลื่นแคบ ๆ ของสเปกตรัม (Spectrum) ช่วงแสงที่มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแต่ละช่วงคลื่นจะมีสีเฉพาะตัวสามารถมองเห็นด้วยตา ช่วงคลื่นของแสงที่กล่าวมานี้ จะมีช่วงคลื่นตั้งแต่ 380 นาโนเมตร (แสงสีม่วง) ถึง 780 นาโนเมตร (แสงสีแดง) ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงสเปกตรัมของแสงที่ตามองเห็น

Wavelength Region (nm)	Colour (absorbed)	Complementary colour (Colour observed)
<380	Ultravilolet	
380-435	Violet	Yellow-green
435-480	Blue	Yellow
480-490	Green-blue	Orange
490-500	Blue-green	Red
500-560	Green	Purple
560-580	Yellow-green	Violet
580-595	Yellow	Blue
595-650	Orange	Green-blue
650-780	Red	Blue-green
>780	Near-infared	

2. กฎการดูดกลืนแสง

กฎการดูดกลืนแสงที่สำคัญมีอยู่ 2 กฎ ในวิชาสเปกโทรสโกปีได้แก่ กฎของแลมเบิร์ต (Lamber's law) และกฎของเบียร์ (Beer's law)

กฎของแลมเบิร์ต มีใจความว่า "เมื่อมีลำแสงเดี่ยวซึ่งเป็นลำแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มข้นของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวอย่างดูดกลืนไว้เป็นสัดส่วนที่เท่ากัน" กฎของเบียร์มีใจความว่า "เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดี่ยวผ่าน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตัวกลางเนื้อเดียวสัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปลผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น"

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและความหนาแน่นของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ตเข้าด้วยกัน กลายเป็นกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต และเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log (P_0/P) = \varepsilon bc$$

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100$$

เมื่อ P_0 หมายถึง ความเข้มข้นของแสงก่อนผ่านตัวกลาง

P หมายถึง ความเข้มข้นของแสงหลังผ่านตัวกลาง

c หมายถึง ความเข้มข้นของแสง (mol/dm^3)

b หมายถึง ความหนาของตัวกลาง (cm)

ε หมายถึง โมลาร์แอบซอร์บติวิตี

A หมายถึง ปริมาณการดูดกลืนแสง

T หมายถึง ปริมาณการส่งผ่านแสง

3. ชนิดของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

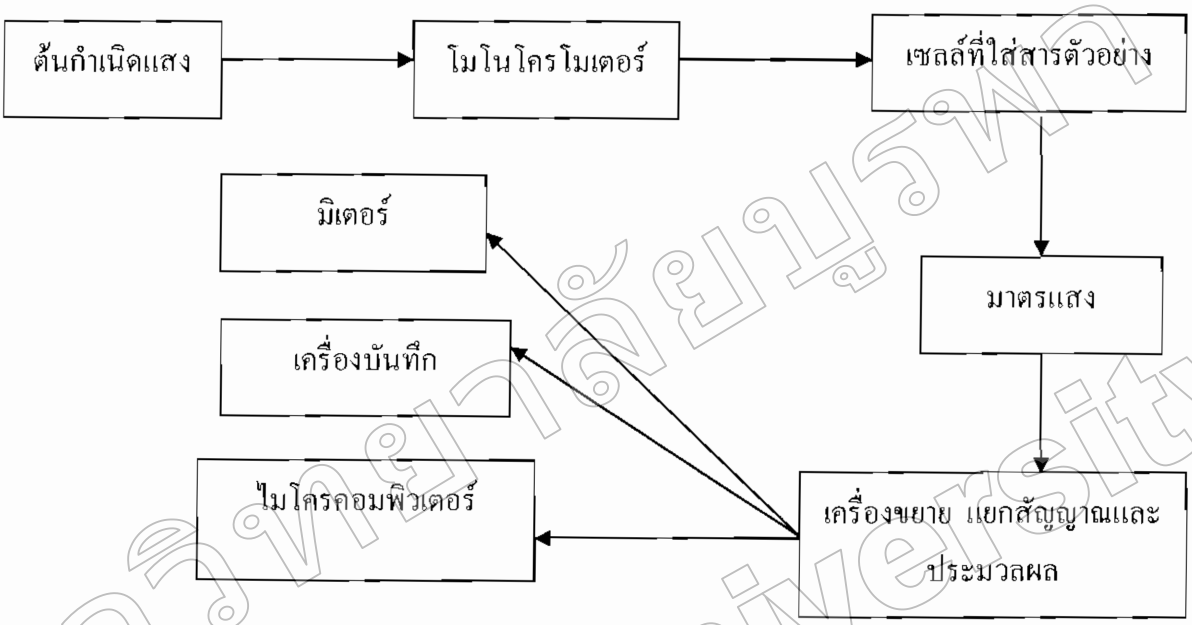
3.1 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว

เครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เป็นหลักการของลำแสงเดี่ยวซึ่งเป็นแบบที่ธรรมดาที่สุด ลำแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านเข้าหน่วยจำแนกช่วงคลื่นของแสง ควบคุมลำแสงให้พอเหมาะด้วยช่อง (Slit) หลังจากแยกช่วงคลื่นของแสงที่ต้องการออกมาแล้ว แสงจะที่ผ่านตรงไปที่เซลล์ของสารละลายลำแสงที่ผ่านเซลล์จะไปกระทบกับผนังของโฟโตเซลล์ทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมา สเกลที่หน่วยตรวจวัดจะบอกในหน่วยของทรานสมิตแทนซ์ และค่าการดูดกลืนแสงในการใช้เครื่องมือแบบนี้เราจะต้องจัดตั้งเครื่องมือให้อ่าน 100 เปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ก่อน โดยใช้สารที่เป็นตัวทำละลายเช่น น้ำกลั่น ถ้าเป็นตัวทำละลายให้นำใส่เซลล์แล้วไปวางกั้นแสง หลังจากนั้นนำเซลล์ที่บรรจุสารละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปวัดค่าการดูดกลืนแลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.2 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงคู่

เป็นการดัดแปลงเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว ให้มีความแม่นยำดีขึ้น โดยที่เซลล์ของสารละลายแบลงค์และเซลล์ของสารละลายจะวัดในเวลาพร้อมกัน



ภาพที่ 2-7 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญญารักษ์ นาคยา (2551) ได้ทำการศึกษาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในอาหารทะเลสดในตลาดสด อำเภอหนองฉาง จังหวัดอุทัยธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างอาหารทะเลสด ได้แก่ กุ้งและหมึก จากร้านค้าจำนวน 6 ร้าน ในตลาดสดเทศบาลและตลาดเศรษฐพานิช ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง คือ เดือนมกราคม ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 เว้นระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง 15 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง วิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยใช้ชุดทดสอบสารฟอร์มาลีนในอาหาร และวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี ผลการศึกษาพบว่า ในตัวอย่างกุ้ง ร้านค้าที่ 1, ร้านค้าที่ 2, ร้านค้าที่ 3, ร้านค้าที่ 4, ร้านค้าที่ 5 และ ร้านค้าที่ 6 มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 0.0206, 0.0906, 0.1312, 0.0744, 0.0327 และ 0.1461 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในตัวอย่างปลาหมึกมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 0.0855, 0.2634, 0.3011, 0.3166, 0.0595 และ 0.5195 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

พรชนก ดูชัยรัมย์ (2546) ได้ศึกษาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในปลาอินทรีย์เค็มที่วางขายในตลาดเทศบาลนครปฐม (ตลาดล่าง) โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ร้าน จำนวน 3 ครั้ง โดยเว้นระยะเวลาการเก็บ 15 วัน แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ปลาอินทรีย์เค็มสด กลุ่มที่ 2 ปลาอินทรีย์เค็มทอด กลุ่มที่ 3 ปลาอินทรีย์เค็มล้างด้วยน้ำแล้วทอดในการทอดปลาอินทรีย์เค็มใช้น้ำมันพืชในการทอด ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าปลาอินทรีย์เค็มสดมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยเฉลี่ย ร้านที่ 1 ร้านที่ 2 และร้านที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.209, 0.312 และ0.244 ppm ตามลำดับ ปลาอินทรีย์เค็มทอดมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยเฉลี่ย ร้านที่ 1, ร้านที่ 2 และร้านที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.243, 0.189 และ 0.203 ppm ตามลำดับ ปลาอินทรีย์เค็มล้างน้ำแล้วทอดมีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยเฉลี่ย ร้านที่ 1, ร้านที่ 2 และร้านที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.662, 0.776 และ 1.020 ppm ตามลำดับ การศึกษาหาร้อยละของการได้กลับคืนมีค่า 104.64 % การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) พบว่าปลาอินทรีย์เค็มสดมีค่า 2.805 % ปลาอินทรีย์เค็มทอดมีค่า 1.705 % ปลาอินทรีย์เค็มล้างด้วยน้ำแล้วทอดมีค่า 0.023 %

ศศิวิมล สุวรรณ, มยุรี จัยวัฒน์ และนงนุช รักสกุลไทย. (2546) ทำการตรวจสอบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในปลาปากคม ปลาตาหวาน และปลาทรายแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบผลิตซูริมิ พบว่าปลาปากคมจะมีฟอร์มัลดีไฮด์สูงกว่าปลาตาหวาน และปลาทรายแดง ซึ่งมีรายงานว่าเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ การเก็บปลาในน้ำแข็งพบว่าปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าลดลง แต่ในสภาวะแช่เยือกแข็งจะมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นไม่แน่นอน ขั้นตอนการล้างน้ำ และการล้างเนื้อปลาบดในผลิตภัณฑ์ซูริมิสามารถลดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีในวัตถุดิบปลาปากคมเริ่มต้นได้ คิดเป็นร้อยละ 49.29 การเก็บรักษาซูริมิโดยการแช่เยือกแข็งจะมีฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นช่วงเดือนแรกแต่หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง ในการผลิตลูกชิ้นผสมผัก ปูเทียม และหมึกหลอด พบว่าการใช้ความร้อนสูงขึ้นและการเยือกแข็งจะทำให้มีฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ซูริมิและผลิตภัณฑ์จากซูริมิที่สุ่มตัวอย่างทางการค้าพบว่ามีฟอร์มัลดีไฮด์ต่ำกว่า 20 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ศิวรส นาคทรัพย์ (2546) ทำการวิจัยเรื่องการหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในปลาทูสด และปลาทูนึ่ง ที่วางขายในตลาดนครปฐม ตลาดบางใหญ่ และตลาดแม่กลอง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ โดยเก็บตัวอย่างตลาดละหนึ่งร้าน ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม ตัวอย่างปลาทูจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปลาทูสด และปลาทูนึ่ง โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในปลาทูสดจากตลาดนครปฐม ตลาดบางใหญ่ และตลาดแม่กลอง มีค่า 119.2, 85 และ 51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในปลาทูนึ่งจากตลาดนครปฐม ตลาด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

บางใหญ่ และตลาดแม่กลองมีค่า 157, 144 และ 158 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาความถูกต้องของการวิจัย (Accuracy) พบว่าร้อยละของการได้กลับคืน (%Recovery) มีค่า 99.17 % และความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (%RSD) ของปลาทูสดมีค่า 0.616% ของปลาทูนึ่งมีค่า 0.225%

อรทัย เสนาธรรม (2540) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในปลาทะเลสด 4 ชนิด คือ ปลาทู ปลานวลจันทร์ ปลาจะละเม็ด และปลาสีกุน โดยวิธี Chomotropic test ใน [AOAC(1975)] พบว่าฟอร์มัลดีไฮด์ในปลาทูมีค่าตั้งแต่ 6.22-13.24 ppm ปลานวลจันทร์มีค่าตั้งแต่ 0.53-14.43 ppm ปลาจะละเม็ดมีค่าตั้งแต่ 7.58-23.09 ppm และปลาสีกุนมีค่าตั้งแต่ 2.68-12.86 ppm

กอบทอง ธูปหอม (2536) ได้ทำการทดสอบฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำแช่อาหารที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ตรวจภาคสนาม วิธีการศึกษาดัดแปลงจากวิธีตรวจเอกลักษณ์ของฟอร์มัลดีไฮด์ใน British Pharmacopoeia (BP) ชุดทดสอบประกอบด้วยเคมีภัณฑ์ 3 ชนิด คือ phenylhydrazine hydrochloride, potassium hexacyanoferrate และกรดเกลือเข้มข้น เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการสอบฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำประปาเปรียบเทียบกับวิธีของ BP และนำไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำแช่อาหาร ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบมีความไวในการตรวจใกล้เคียงกับวิธี BP และความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจได้ในน้ำแช่ผักและน้ำแช่อาหารทะเล คือ 0.5 และ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University