

บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร

2.1 น้ำมันฝรั่ง

ปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคอาหารแบบตะวันตก เช่น อาหารจานด่วน และขนมขบเคี้ยว ซึ่งอาหารดังกล่าวนิยมใช้มันฝรั่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้มันฝรั่งเป็นที่ต้องการอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมันฝรั่งซึ่งต้องการมันฝรั่งในการผลิต ปีละ 119,501 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552)

การปลูกมันฝรั่งในประเทศไทยสามารถปลูกได้ใน 2 ฤดู ดังนี้

- 1) ฤดูแล้ง เป็นฤดูปลูกมันฝรั่งในเขตพื้นที่ราบ ช่วงที่เหมาะสมคือ กลางเดือนตุลาคม ถึง กลางเดือนธันวาคม และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม
- 2) ฤดูฝน เป็นฤดูการปลูกมันฝรั่งในเขตพื้นที่ภูเขาสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 800 เมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นเขตที่มีอุณหภูมิต่ำเหมาะกับการปลูกมันฝรั่ง การปลูกแบ่งเป็น 2 รุ่น คือ รุ่นหนึ่งปลูกเดือนมีนาคม-เมษายน เก็บเกี่ยวเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม และรุ่นสองปลูกเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม เก็บเกี่ยวเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน

2.1.1 พันธุ์มันฝรั่ง

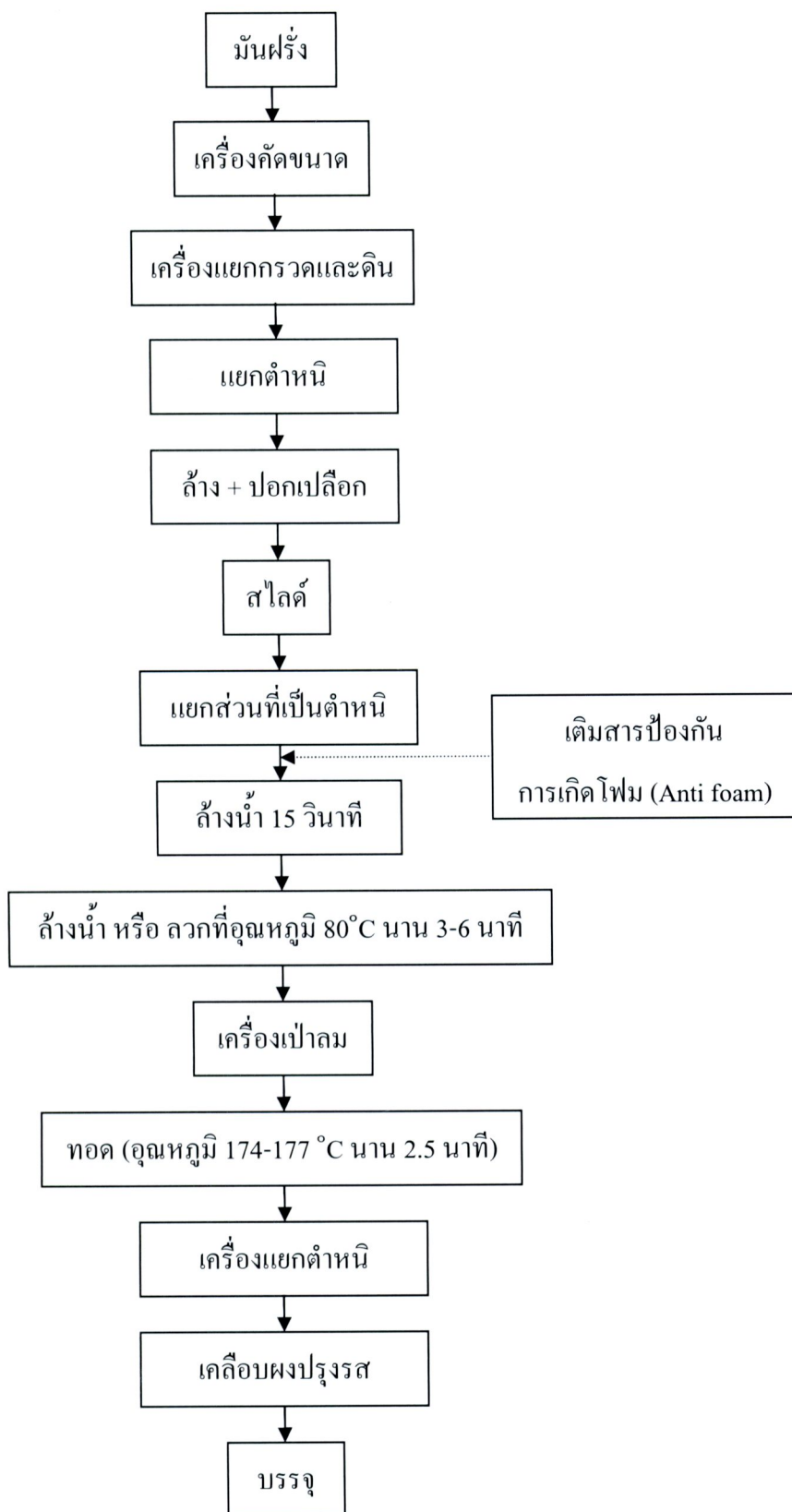
ปัจจุบันมันฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ มันฝรั่งบริโภคสด และมันฝรั่งส่งโรงงานแปรรูป ดังนั้นพันธุ์ที่ใช้ปลูกจึงแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ พันธุ์มันฝรั่งที่ปลูกมากในประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552) ได้แก่

- 1) พันธุ์สปุนต้า (Spunta) เป็นพันธุ์สำหรับการบริโภคสดจัดเป็นพันธุ์เบาปานกลาง มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน มันฝรั่งพันธุ์นี้เจริญเติบโตเร็ว ทรงต้นสูง ทรงพุ่มแน่น ใบเล็ก ทนแล้งได้ดี โคนต้นสีม่วง ดอกขาว หัวรูปร่างยาวและมีขนาดใหญ่ ผิวเรียบสีเหลือง ตาดิน เนื้อสีเหลือง และให้ผลผลิตต่อไร่สูง
- 2) พันธุ์แอตแลนติก (Atlantic) เป็นพันธุ์สำหรับการแปรรูป มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 80-90 วัน มันฝรั่งพันธุ์นี้ทรงต้นตั้งตรง พุ่มหนา ใบใหญ่สีเขียวเข้ม หัวกลมขนาดปานกลางถึงเล็ก ผิวสีเหลืองอ่อนเป็นร่างแหเล็กน้อย เนื้อสีขาวครีม และให้ผลผลิตต่อไร่สูงเช่นเดียวกับพันธุ์สปุนต้า

2.1.2 การตลาดและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดมีอัตราการเติบโตของการบริโภคสูงที่สุดในตลาดขนมขบเคี้ยว โดยในปี 2001 ประเทศสหรัฐอเมริกามีการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด 11,300 ล้านกิโลกรัม และมีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด 165 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (Economic Research Service, 2004) โรงงาน

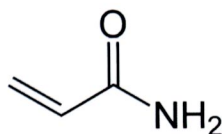
อุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดใช้วิธีทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep frying) (Blumenthal, 1996) กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

2.2 สารประกอบอะคริลาไมด์

สารประกอบอะคริลาไมด์ หรือ 2-propenamamide เป็นสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ในสารละลายที่มีขี้ว เช่น น้ำ เอทานอล อีเทอร์ และคลอโรฟอร์ม เป็นต้น สารประกอบนี้มักพบในรูปของโพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) ซึ่งถูกใช้ในอุตสาหกรรมการกำจัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง การผลิตสี รวมถึงการเป็นสาร Thickeners ในการทำ Gel electrophoresis และสามารถพบได้ในควันทูหรี (Smith และคณะ, 2000) หน่วยงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (IARC) จัดให้สารอะคริลาไมด์เป็นสารก่อมะเร็ง อาทิมะเร็งในช่องปาก หลอดอาหาร ก่อเสียง ลำไส้ใหญ่ เต้านม และรังไข่ เป็นต้น โครงสร้างของสารประกอบอะคริลาไมด์ แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบอะคริลาไมด์

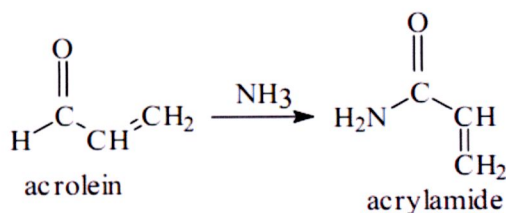
(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Acrylamide-2D-skeletal.png>)

2.2.1 ทฤษฎีการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์

การเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์ในอาหาร อธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) เกิดจากสารอะโครลีน (Acrolein)

สารอะโครลีนเป็นสารที่มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับสารประกอบอะคริลาไมด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Transformation ของหมู่ลิปิดโดยทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย (NH₃) ที่เกิดจาก Degradation ของกรดอะมิโนและโปรตีน กลายเป็นสารประกอบอะคริลาไมด์ (Gokmen และคณะ, 2007) แสดงในรูปที่ 2.3

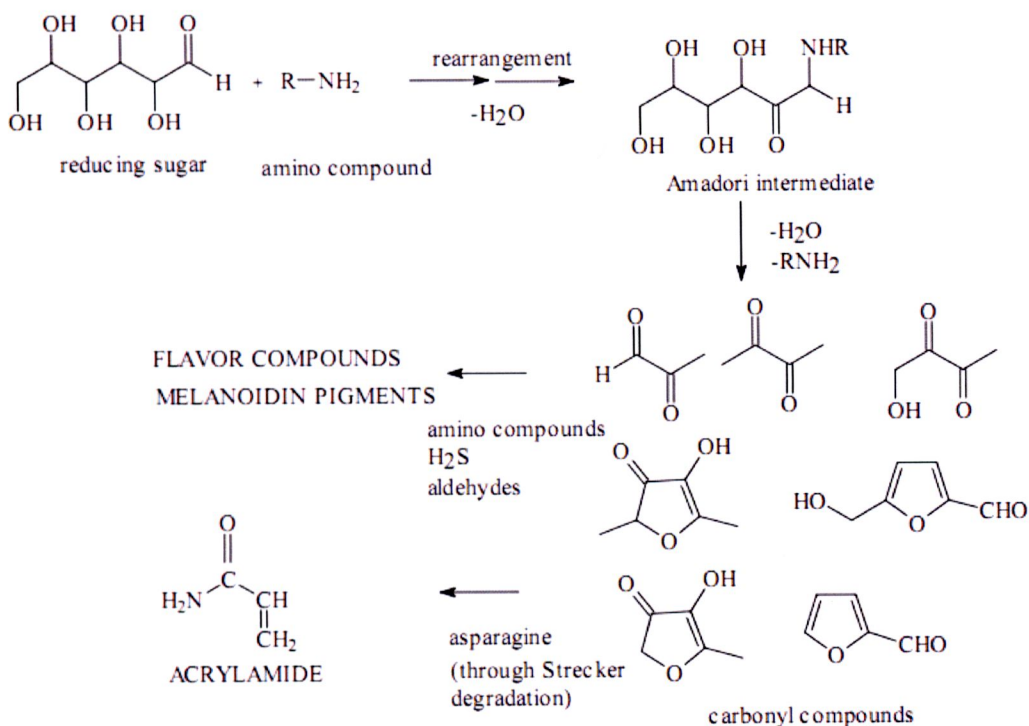


รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์จากสารอะโครลีน (Tezer และ Ozkan, 2001)

2) เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

Tareke และคณะ (2002) พบว่าสารประกอบอะคริลาไมด์เกิดขึ้นในอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตสูงที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C สำหรับอาหารดังกล่าวที่ไม่ผ่านความร้อนไม่พบการเกิดขึ้นของสารประกอบอะคริลาไมด์ จึงกล่าวได้ว่าสารประกอบอะคริลาไมด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการให้ความร้อนอาหารจำพวกที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งต่อมาพบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้คือปฏิกิริยาเมลลาร์ด

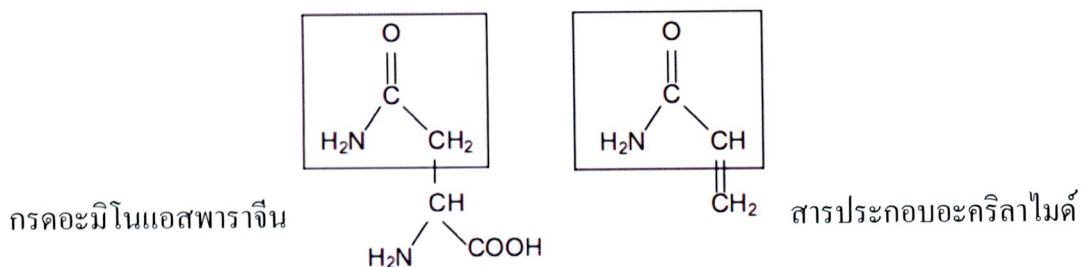
ปฏิกิริยาเมลลาร์ดหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์และพบได้ในกระบวนการผลิตอาหารหลายประเภท เช่น การอบขนมปัง การลวกเมล็ดกาแฟ การทอด การปิ้ง การย่างอาหาร เป็นต้น ปฏิกิริยามีผลทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ ปฏิกิริยาเริ่มต้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิง (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล D-glucose) และกรดอะมิโนอิสระ (Fennema, 1996) ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดปฏิกิริยา Strecker degradation ของกรดอะมิโนซึ่งทำให้เกิดการ Decarboxylation และ Deamination เกิดเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ (Aldehyde) และเปลี่ยนกลายเป็นสารประกอบอะคริลาไมด์ในที่สุด (รูปที่ 2.4) ซึ่งจากงานวิจัยของ Mottram และคณะ (2002) พบว่าเมื่อกรดอะมิโนในกลุ่มของกรดอะมิโนแอสพาราจिन (มี Side chain เป็นหมู่เอไมด์) เกิดปฏิกิริยา Strecker degradation ทำให้เกิดหมู่ไดคาบอนิลซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบอะคริลาไมด์ (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 การเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

(ดัดแปลงจาก Mottram และคณะ, 2002)

Mottram และคณะ (2002) พบว่าเมื่อกรดอะมิโนชนิดอื่น นอกเหนือจากกรดอะมิโนแอสพาราจีนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลกลูโคสจะเกิดสารอะคริลาไมด์ในปริมาณน้อยมาก (0.5 – 1 มิลลิกรัม/โมล) ซึ่งแตกต่างจากกรดอะมิโนแอสพาราจีนซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบอะคริลาไมด์มากถึง 221 มิลลิกรัม/โมล ที่อุณหภูมิ 185 °C เนื่องจากโครงสร้างใน Side chain ของกรดอะมิโนแอสพาราจีนมีความใกล้เคียงกับสารประกอบอะคริลาไมด์ แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบโครงสร้างของสารประกอบอะคริลาไมด์และกรดอะมิโนแอสพาราจีน

(ดัดแปลงจาก Mottram และคณะ, 2002)

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์

1) ปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนแอสพาราจีนในมันฝรั่ง

Stadler และคณะ (2002) พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและกรดอะมิโนแอสพาราจีนมีผลต่อการเพิ่มสารประกอบอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

2) กระบวนการผลิต

Tareke และคณะ (2002) พบว่าสารประกอบอะคริลาไมด์เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการปรุงอาหารเพิ่มขึ้น ขณะที่อาหารที่ไม่ผ่านการปรุงด้วยความร้อนจะไม่พบสารประกอบอะคริลาไมด์

Becalski และคณะ (2003) พบว่าอุณหภูมิมากกว่า 100 °C เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์ในอาหาร

Mottram และคณะ (2002) พบว่าการเพิ่มของสารประกอบอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 120-170 °C แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้สารประกอบอะคริลาไมด์ที่เกิดขึ้นลดลง เนื่องจากสารประกอบอะคริลาไมด์สลายตัวหรือเกิด Polymerization ที่อุณหภูมิ 175 °C

2.2.3 การลดการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์

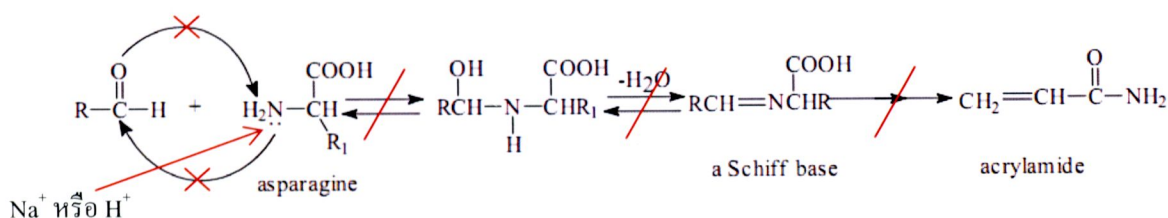
สารประกอบอะคริลาไมด์สามารถทำการลดได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น

1) การลวกและการล้างน้ำ

Pedreschi และคณะ (2004) พบว่าปริมาณสารประกอบอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดลดลงเมื่อล้างหรือลวกมันฝรั่งสดก่อนการทอด เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซิงถูกละลายและแพร่ออกจากมันฝรั่งสดในระหว่างการลวกและการล้างน้ำ

2) pH

Mestdagh และ คณะ (2007) ใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดอะซิติก และกรดแลคติก กับตัวอย่างอาหารแป้งมันฝรั่งที่ใช้เป็นแบบจำลอง โดยอบที่ 170 °C นาน 6 นาที พบว่ากรดอินทรีย์สามารถลดปริมาณสารประกอบอะคริลาไมด์ได้ เนื่องจากค่า pH ในมันฝรั่งมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทั้งนี้สภาวะความเป็นกรดยับยั้งปฏิกิริยา Schiff base formation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยา Strecker degradation โดยโปรตอนของกรดจับกับหมู่เอมีนของกรดอะมิโน (-NH₂) กลายเป็น Nonnucleophilic amine (NH₃⁺) ทำให้ปฏิกิริยาไม่ดำเนินต่อไปและไม่เกิดสารประกอบอะคริลาไมด์ แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการยับยั้ง Schiff base formation (ดัดแปลงจาก Jung และคณะ, 2003)

3) ไอออนบวก (Cation)

Park และคณะ (2005) ทดสอบการลดลงของสารประกอบอะคริลาไมด์โดยใช้เกลือแคลเซียมหรือโซเดียม โดยไอออนบวกของเกลือจับกับหมู่เอมีนของกรดอะมิโน (-NH₂) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยา Schiff base formation (รูปที่ 2.6) เช่นเดียวกับกรดอินทรีย์

4) กรดอะมิโน

Claeys และคณะ (2005) ศึกษาการลดลงของสารประกอบอะคริลาไมด์โดยใช้กรดอะมิโนไกลซีน (glycine) และไลซีน (L-lysine) พบว่ากรดอะมิโนไกลซีน และไลซีน ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ สามารถลดสารประกอบอะคริลาไมด์ลง 63% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากกรดอะมิโนไกลซีนและไลซีนจะแย่งจับกับน้ำตาลกลูโคสแทนกรดอะมิโนแอสพาราจีนทำให้ปริมาณสารประกอบอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดลดลง

5) สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

Ou และคณะ (2010) ศึกษาการลดลงของสารประกอบอะคริลาไมด์โดยใช้สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น tert-butyl hydroquinone (TBHQ), butylated hydroxyl anisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), ferulic acid, epigallocatechin gallate (EGCG) และวิตามินซี (vitamin C) โดยผลการศึกษาพบว่า สารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในรูปออกซิไดซ์ (oxidized antioxidants) สามารถจับกับหมู่เอมีนของกรดอะมิโน ($-NH_2$) เกิดการยับยั้งปฏิกิริยา Schiff base formation (รูปที่ 2.6) เช่นเดียวกับกรดอินทรีย์

6) สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)

Akdeniz และคณะ (2006) ศึกษาการลดการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์ในเฟรนฟราย (French fries) โดยใช้สารละลายไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ เพคติน และอัลจิเนต พบว่าสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้น 2% (w/v) ลดปริมาณสารประกอบอะคริลาไมด์ในเฟรนฟรายมากกว่า 50% เนื่องจากสารละลายไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติเป็นเจลช่วยลดการถ่ายโอนความร้อนของอาหารกับน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด และลดการดูดซับน้ำมัน

7) การใช้เอนไซม์แอสพาราจิ้นเนส

กรดอะมิโนแอสพาราจิ้นเป็นสารตั้งต้นของการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด เอนไซม์แอสพาราจิ้นเนสมีคุณสมบัติในการย่อยแอสพาราจิ้นกลายเป็นกรดแอสพาทิก สามารถช่วยลดการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์ (Amrein และคณะ, 2003)

2.2.4 การวิเคราะห์สารประกอบอะคริลาไมด์

2.2.4.1 หลักการของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC)

แก๊สโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคที่แยกสารผสมที่สามารถถูกเปลี่ยนให้อยู่ในสถานะแก๊ส ผ่านเข้าคอลัมน์ที่เป็นเฟสคงที่ (Stationary phase) เพื่อเกิดการแยกโดยอาศัยแก๊สพา (Carrier gas) หรือเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ซึ่งมีหน้าที่ในการพาสารไปตามคอลัมน์ สารผสมจะเกิดการแยกกันขึ้น

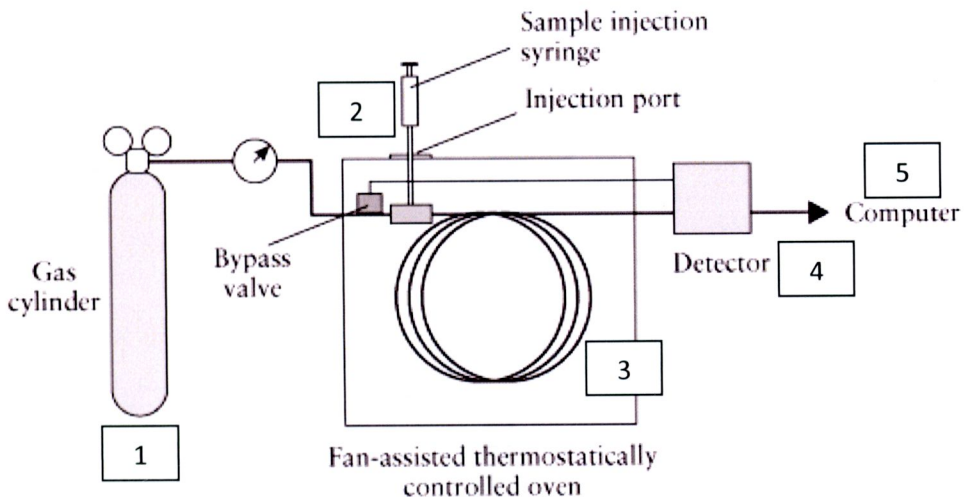
แก๊สโครมาโทกราฟีแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี (คณิต กฤษณ์กูร, 2536) คือ

1) Gas-solid chromatography (GSC) เฟสคงที่เป็นของแข็งที่สามารถดูดซับ (physical adsorption) สารที่เป็นแก๊สซึ่งต้องการแยกได้ เช่น Molecular sieves, Silica gel, Alumina และ Activated carbon เป็นต้น

2) Gas-liquid chromatography (GLC) ใช้หลักการกระจายตัว (partitioning) ของสารระหว่างแก๊สตัวพา กับเฟสคงที่ของเหลวที่เคลือบอยู่บนผิวของ Solid support หรือที่ผนังของแคปิลลารีคอลัมน์

องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ประกอบด้วยส่วนหลัก 5 ส่วน (รูปที่ 2.7) คือ



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

(<http://www.kmitl.ac.th/sisc/GC-MS/pics/GC.GIF>)

1) แก๊สพา (Carrier gas) แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สตัวพาจะต้องไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Chemically inert) เช่น He, N₂, H₂ และ Air

2) ส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injection port) เป็นส่วนที่นำสารตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ โดยสามารถปรับอุณหภูมิได้เพื่อให้ตัวอย่างกลายเป็นไอแต่ต้องไม่ร้อนเกินไปจนทำให้ตัวอย่างสลายตัว โดยทั่วไปควรตั้งอุณหภูมิของ Injection port ให้สูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่างประมาณ 20 °C

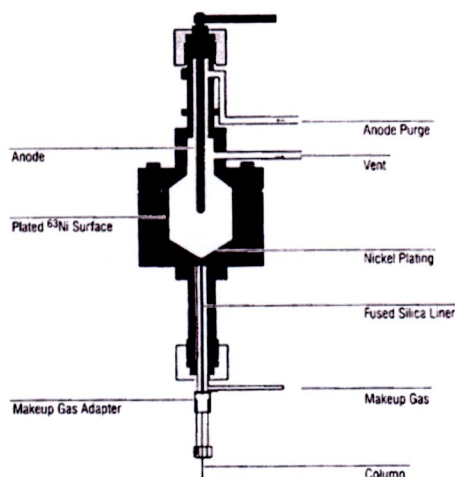
3) คอลัมน์ (Column) คอลัมน์มีความสำคัญต่อการแยกสาร เมื่อแก๊สผสมหรือไอของสารที่ปนกันอยู่ในสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ เฟสคงที่บรรจุในคอลัมน์นั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกแก๊สหรือเป็นตัวแยกไอที่ผสมเหล่านั้นออกเป็นส่วนๆ

4) เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (Detector) เครื่องตรวจวัดสัญญาณที่ใช้ในเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีจะมีลักษณะเฉพาะในการตอบสนองของสารแต่ละประเภทแตกต่างกัน

เครื่องตรวจวัดสัญญาณที่นิยมใช้มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับประเภทของตัวอย่าง อาทิ เครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอน (Electron Capture Detector or ECD) เครื่องชนิดนี้เป็นเครื่องตรวจวัดสัญญาณที่มีความไวสูงกับธาตุที่มีอิเล็กตรอนเนกาติวิตีสูง โดยเครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอนจะประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีบีตา (Beta radiation) อาทิ ⁶³Ni หรือ ³H ไว้ในเซลล์ (รูปที่ 2.8) เมื่อ N₂ ซึ่งเป็นแก๊สตัวพาผ่านรังสีบีตาจะเกิดการแตกตัวให้อิเล็กตรอนอิสระออกมา (Ionization) แก๊สเกิดเป็นไอออนลบ อิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก (Anode) เมื่อโมเลกุลผ่านของสารเข้าสู่เซลล์ โมเลกุลของสารจะจับอิเล็กตรอนไว้บางส่วน ทำให้วัดกระแสไฟฟ้า

ได้ลดลง การลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของสารที่ผ่านเข้าไปซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เป็นสัญญาณส่งไปยังเครื่องบันทึก

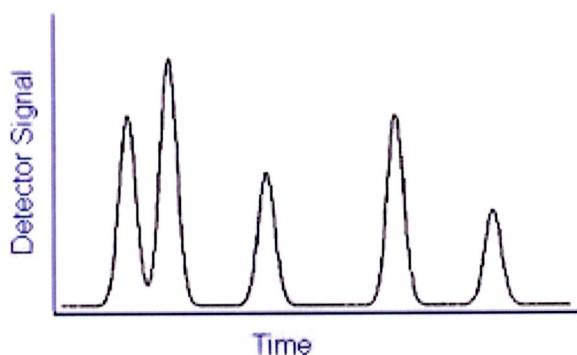
เครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอน เป็น Selective detector ใช้ได้กับสารประกอบที่จับอิเล็กตรอนได้ดี (EN สูง) ดังนั้นเครื่องตรวจวัดสัญญาณชนิดนี้จึงมี Sensitivity สูงสำหรับตัวอย่างที่จับอิเล็กตรอนได้ดี โดยที่ตัวอย่างต้องอยู่ในรูปของสารละลายใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของเครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอน (Electron Capture Detector)

(<http://www.clu-in.org/char/technologies/images/ecd.GIF>)

5) ส่วนการประมวลผล (Recorder and data processing) การประมวลผลเป็นการพล็อตปริมาณของสัญญาณของเครื่องตรวจวัดสัญญาณ (Signal of detector) เป็นแกน y เทียบกับ แกน x ซึ่งเป็นเวลาของสารที่อยู่ในคอลัมน์ (Time) ลักษณะของกราฟไม่มีสัญญาณของตัวอย่างจะเป็นเส้นเรียบ เรียกว่า baseline และตัวอย่างที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นพีกทั้งหมดนี้รวมเรียกว่า โครมาโทแกรม (Chromatogram) (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 ลักษณะ โครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

(<http://jr.stryker.tripod.com/pchem/graphics/chromatogram.jpg>)

2.2.4.2 การวิเคราะห์สารประกอบอะคริลาไมด์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

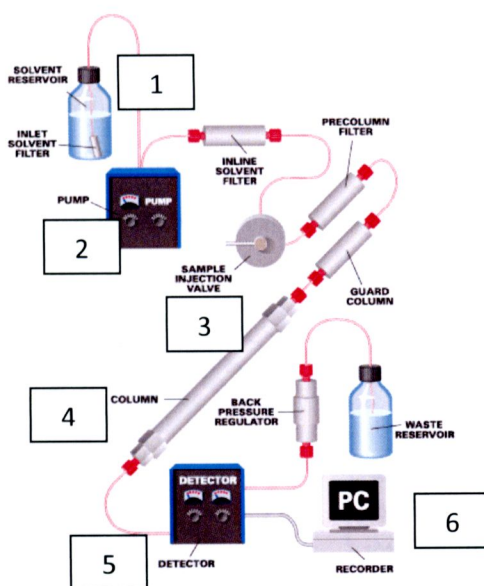
Zhang และคณะ (2006) วิเคราะห์สารประกอบอะคริลาไมด์ในอาหารทอด เช่น ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด และปีกไก่ทอด เป็นต้น โดยเปรียบเทียบเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีโดยใช้เครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอนกับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) พบว่าการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอนให้ผลของการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบอะคริลาไมด์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี นอกจากนี้การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบจับอิเล็กตรอนมีข้อดี อาทิ ราคาถูก ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Clean up step) และ Sensitivity สูงกว่าเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี เป็นต้น

2.2.4.3 หลักการของเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิกวิดโครมาโทกราฟี (High-performance liquid chromatography, HPLC)

ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิกวิดโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคแยกสารผสมที่อยู่ในสถานะของเหลวที่ผ่านเข้าคอลัมน์ซึ่งเป็นเฟสคงที่ (Stationary phase) เพื่อให้เกิดการแยกโดยอาศัยการพาไปของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ซึ่งมีหน้าที่ในการพาสารไปตามคอลัมน์ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการแยกของสารผสม (แม้น อมรสิทธิ์, 2535)

องค์ประกอบของเครื่องลิกวิดโครมาโทกราฟ

เครื่องลิกวิดโครมาโทกราฟ ประกอบด้วยส่วนหลัก 5 ส่วน (รูปที่ 2.10) คือ



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของเครื่องลิกวิดโครมาโทกราฟ

(<http://www.idex-hs.com/support/upchurch/i/hplcDiagram.gif>)

1) ตัวทำละลาย (Mobile phase) ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง เฟสเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่เฟสคงที่ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ โดยกระบวนการแยกจะเกิดขึ้นภายในคอลัมน์

2) ปั๊ม (Pump) ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลายซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบเครื่องกลวัดโครมาโทกราฟี

3) ส่วนฉีดสารตัวอย่าง (Injector) ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบเครื่องกลวัดโครมาโทกราฟี

4) คอลัมน์ (Column) เป็นส่วนที่บรรจุด้วยเฟสคงที่ที่อยู่ในลักษณะเป็นของแข็งหรือเจล ทำให้เกิดกระบวนการแยกองค์ประกอบของสารที่สนใจโดยกระบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่างเฟสเคลื่อนที่กับเฟสคงที่

5) เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวตรวจวัดสัญญาณ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยก

6) ส่วนการประมวลผล (Recorder and data processing) การประมวลผลจะเป็นการพล็อตปริมาณของสัญญาณของเครื่องตรวจวัดสัญญาณ (Signal of detector) กับเวลาเช่นเดียวกับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

2.2.4.4 การวิเคราะห์สารประกอบอะคริลาไมด์ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (HPLC-MS)

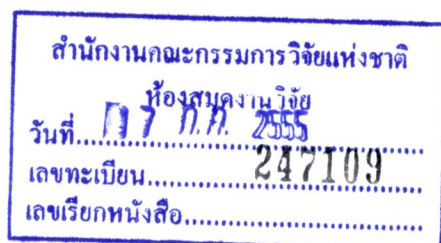
Pedreschi และคณะ (2004) ศึกษาวิธีการลดการเกิดสารประกอบอะคริลาไมด์ด้วยการลดการแช่แข็งและการใช้กรดซิตริก ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดโดยวิเคราะห์สารประกอบอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดด้วยเทคนิค HPLC-MS-MS

Tuta และคณะ (2010) ศึกษาผลของการลดสารประกอบอะคริลาไมด์ในเฟรนฟรายด้วยวิธีการละลายน้ำแข็งโดยใช้ไมโครเวฟ (Microwave pre-thawing) โดยวิเคราะห์สารประกอบอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดด้วยเทคนิค HPLC-MS

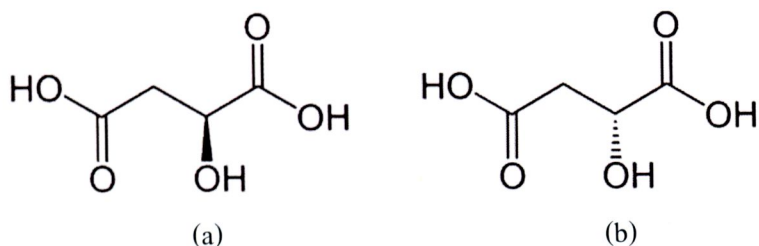
2.3 วัตถุเจือปนอาหาร

2.3.1 กรดมาลิก

กรดมาลิก ($C_4H_6O_5$) เป็นกรดที่พบตามธรรมชาติในผักผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล แอปริคอต กว๊าย เชอร์รี่ องุ่น แครอท เบอร์รี่ และผลไม้ตระกูลส้ม เป็นต้น กรดมาลิกเป็นสารอินทรีย์ มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาวแบบไตรคลินิก (Triclinic) กรดมาลิกที่สังเคราะห์ขึ้นและจำหน่ายทางการค้า



จะอยู่ในรูปของ ดี และแอลไอโซเมอร์ (D- และ L-isomers) และ D-malic acid (รูปที่ 2.11) ในขณะที่กรดมาลิกที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปลีโวโรเทโทรี แอล-มาลิกแอซิด (L-levorotatory L-malic acid)



รูปที่ 2.11 โครงสร้าง L-malic acid (a) และ D-malic acid (b)

(http://www.bmrw.wisc.edu/metabolomics/standards/L_malic_acid/lit/3449.png)

(<http://www.lookchem.com/300w/201001/img/636-61-3.jpg>)

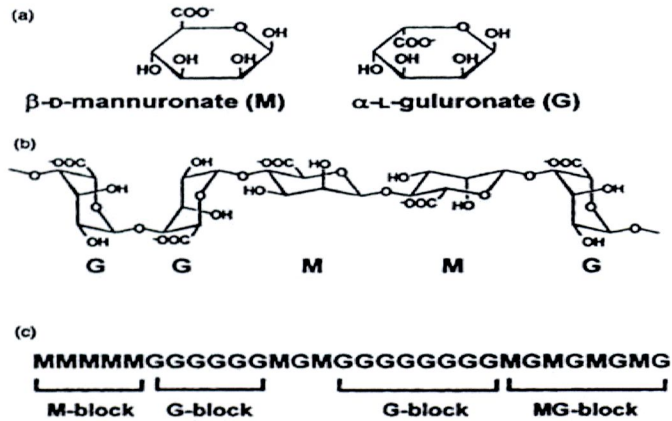
กรดมาลิกมีคุณสมบัติให้รสเปรี้ยวกลมกล่อมกว่ากรดชนิดอื่น มีความเปรี้ยวมากกว่ากรดซิตริกแต่น้อยกว่ากรดฟิวมาริก นิยมนำมาปรุงแต่งในอาหารโดยขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทำงาน (ศิวาพร ศิวเวช, 2535) อาทิ

- ปรับปรุงกลิ่นรสชาติ เช่น แยม เยลลี่ เครื่องดื่มประเภทไม่มีแอลกอฮอล์ เครื่องดื่มประเภทไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ และผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นผลไม้
- สารเพิ่มความเป็นกรดในอาหาร (Acidulants) เช่น อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์สับปะรดและมะเขือเทศกระป๋อง
- เป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ

2.3.2 โอลิโกแซ็กคาไรด์

อลิโกแซ็กคาไรด์หรืออลิกัน ($\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$)_n สกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ได้แก่ *Macrocystis pyrifera* มีอลิกันประมาณ 14-19 % และ *Laminaria cloustoni* และ *Laminaria digitata* มี อลิกันประมาณ 15-40% ปริมาณอลิกันที่พบขึ้นกับชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต สาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่วไปในโลก ประเทศที่ผลิตอลิกันมาก คือ อเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น อลิกันเป็น Unbranched binary copolymer ของ 1,4-b-D-mannuronic acid (M) และ L-guluronic acid (G) ในโมเลกุลประกอบด้วย Homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ M-blocks ตามลำดับและยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks (รูปที่ 2.12) สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของอลิกัน เช่น ถ้าโพลีเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงอลิกันจะมีคุณสมบัติเป็นเจลแข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวก (Polyvalent metal cation) แต่ถ้า โพลีเมอร์มี M ปริมาณสูงอลิกันมีแนวโน้ม

เกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่าอัลจินตที่ผลิตจำหน่ายทางการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่นอนุพันธ์ของเกลือ Ca^{2+} , K^+ , Na^+ และ NH_4^+ นอกจากนี้ยังมีในรูปของ Propylene glycol alginate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของ Alginic acid กับ Propylene oxide ภายใต้อุณหภูมิ ความดัน อนุพันธ์เหล่านี้ละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายอัลจินตขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และมีโลหะประจุบวก



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของอัลจินต (Alginate) ชนิดต่างๆ

(Phillips และ Williams, 2000)

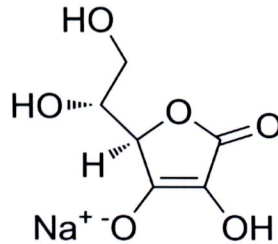
อัลจินตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 โดยเติมในอาหารกระป๋อง บางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัวทำให้อิมัลชันคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารยับยั้งการเกิด Syneresis (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) ตัวอย่างการใช้ประโยชน์อัลจินตมีดังนี้

- โซเดียมอัลจินตใช้เป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวแช่เย็นเพื่อให้เกิดความคงตัวระหว่าง Freeze-thaw
- ใช้เคลือบผิวชิ้นเนื้อปลา ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด Freeze burn กับชิ้นเนื้อปลา
- ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม Frozen dessert, Sherbet, Processed Cheese และใช้เป็น Alginate gel restructured products เช่น Onion rings และ Shrimp-like fish products

2.3.3 โซเดียมอิริทโรเบต

โซเดียมอิริทโรเบต ($\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6$) เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ และเครื่องดื่มน้ำ (รูปที่ 2.13) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โซเดียมอิริทโรเบตเป็นเกลือโซเดียมของกรดอิริทโรบิก (Erythorbic acid) ในสถานะผลึกแห้งไม่เกิดปฏิกิริยาแต่ในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกับออกซิเจนในบรรยากาศ และสารออกซิไดซ์อื่นๆ โซเดียมอิริทโรเบตมีโครงสร้าง

คล้ายวิตามินซี มีคุณสมบัติเพิ่มความคงตัว เพิ่มรสชาติ และป้องกันการเกิด Carcinogenic nitrosamines นอกจากนี้โซเดียมอีริทโธเบตเร่งปฏิกิริยารีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรก ออกไซค์ และรักษาความสดของสีใช้ในโบโลน่า เนื้อสัตว์ เครื่องดื่ม ขนมอบ และสลัดมันฝรั่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ จุณชนี วีระเจตปดิษฐ์, 2545)

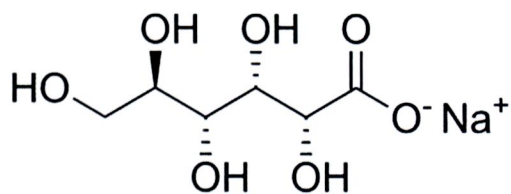


รูปที่ 2.13 โครงสร้างของโซเดียมอีริทโธเบต

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Sodium_erythorbate.png)

2.3.4 โซเดียมกลูโคเนต

โซเดียมกลูโคเนต ($\text{NaC}_6\text{H}_{11}\text{O}_7$) เป็นเกลือโซเดียมของกรดกลูโคนิก ได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคส (รูปที่ 2.14) โดยสารนี้ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารมีคุณสมบัติเป็น Chelating agents เพื่อให้ อาหารคงรูป ทำให้เนื้อเยื่อของพืช ผัก คงสภาพโดยการรักษาระดับของน้ำภายในไว้ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อ ทำให้มีความสด แข็ง และกรอบตามสภาพธรรมชาติเดิม นอกจากนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ จุณชนี วีระเจตปดิษฐ์, 2545)



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของโซเดียมกลูโคเนต

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Sodium_gluconate.svg/512px-](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Sodium_gluconate.svg/512px-Sodium_gluconate.svg.png)

[Sodium_gluconate.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Sodium_gluconate.svg/512px-Sodium_gluconate.svg.png))