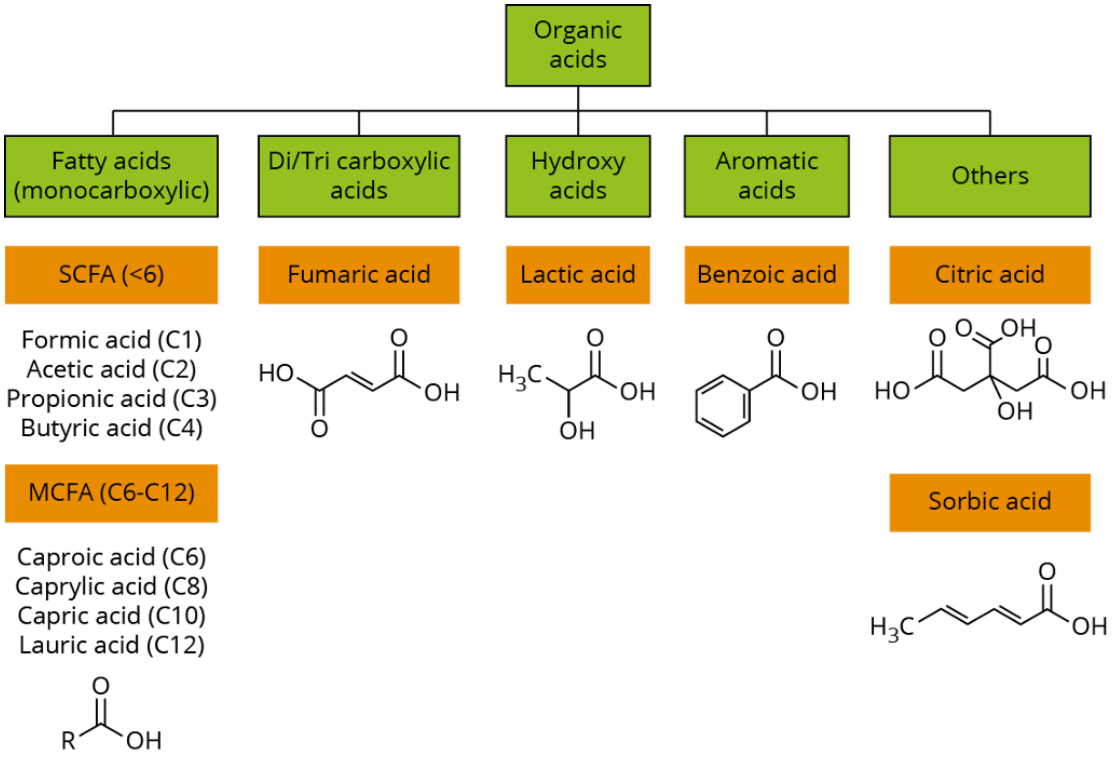
ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมการผลิตกรดอินทรีย์

○ ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ (Organic Acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด กรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด คือกรดคาร์บอกซิลิกซึ่งความเป็นกรดมีความสัมพันธ์กับหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) กรดซัลโฟนิกที่มีหมู่ฟังก์ชัน (–SO_2OH) ซึ่งมีความเป็นกรดที่ค่อนข้างแรงกว่า แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ในโครงสร้าง ก็สามารถทำหน้าที่เป็นกรดได้เช่นเดียวกันแต่จะมีความเป็นกรดที่อ่อนกว่ามาก

รูปที่ 1 ตัวอย่างกรดอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติและในอุตสาหกรรม



ที่มา: Misset Uitgeverij B.V.

○ การผลิตกรดอินทรีย์

การผลิตกรดอินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการหมักโดยแบคทีเรียและวิธีทางเคมี

1. **วิธีการหมักโดยแบคทีเรีย** โดยการสังเคราะห์กรดอินทรีย์จะใช้เอนไซม์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้นย่อยแหล่งอาหารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น แป้งมัน ข้าว น้ำผลไม้ น้ำตาล กลูโคส หรือแล็กโทส โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์จะมีอยู่หลายประเภทซึ่งมีความจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์ปลายทางแสดงตัวอย่างใน***ตารางที่ 1***

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์

ผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างชนิดของแบคทีเรีย/ยีสต์ที่ใช้ในการหมัก
กรดแลคติก (Lactic Acid)	*Lactobacillus, Leuconostoc, Pediococcus, Streptococcus (Aerococcus, Alloiococcus, Enterococcus)*
กรดแอซิติ (Acetic Acid)	*Saccharomyces cerevisiae, Acetobactor sp.*

ในกระบวนการผลิตกรดอินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการหมัก (Fermentation) จะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญต่าง ๆ หลายขั้นตอนขึ้นอยู่กับประเภทของกรดอินทรีย์ โดยในที่นี้ จะกล่าวถึงตัวอย่างการผลิตกรดแอซิติกด้วยกระบวนการหมักในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

- **การหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ (Alcohol fermentation)** การหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ เป็นกระบวนการหมักแป้งหรือน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 30 ºC นาน 72-78 ชั่วโมง ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

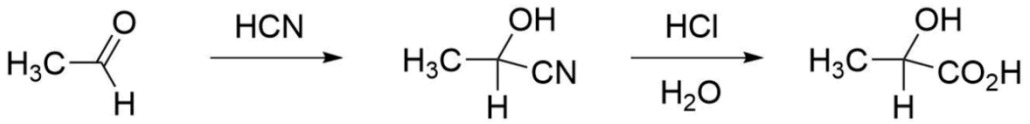
- **การหมักแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติก (Acetic fermentation)** การหมักแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติก เป็นกระบวนหมักแบบใช้ออกซิเจน โดยใช้แบคทีเรีย *Acetobactor sp.* เปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติก ในช่วงอุณหภูมิการหมัก ประมาณ 15-34 ºC ดังสมการ

$$2C_2H_5OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$$

รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการผลิตกรดอะซิติกด้วยวิธีการหมัก

ที่มา: thebiologynotes

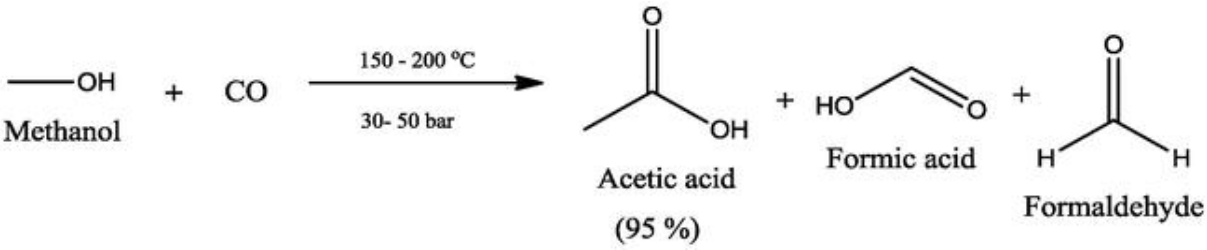
2. วิธีทางเคมี โดยการสังเคราะห์กรดอินทรีย์จะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์จะแตกต่างกันส่งผลให้กลไกในการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกันไปด้วย ตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีในการผลิตกรดแลคติก ได้แก่



Lactic acid

ที่มา: Fomich, M. 2019

หรือปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

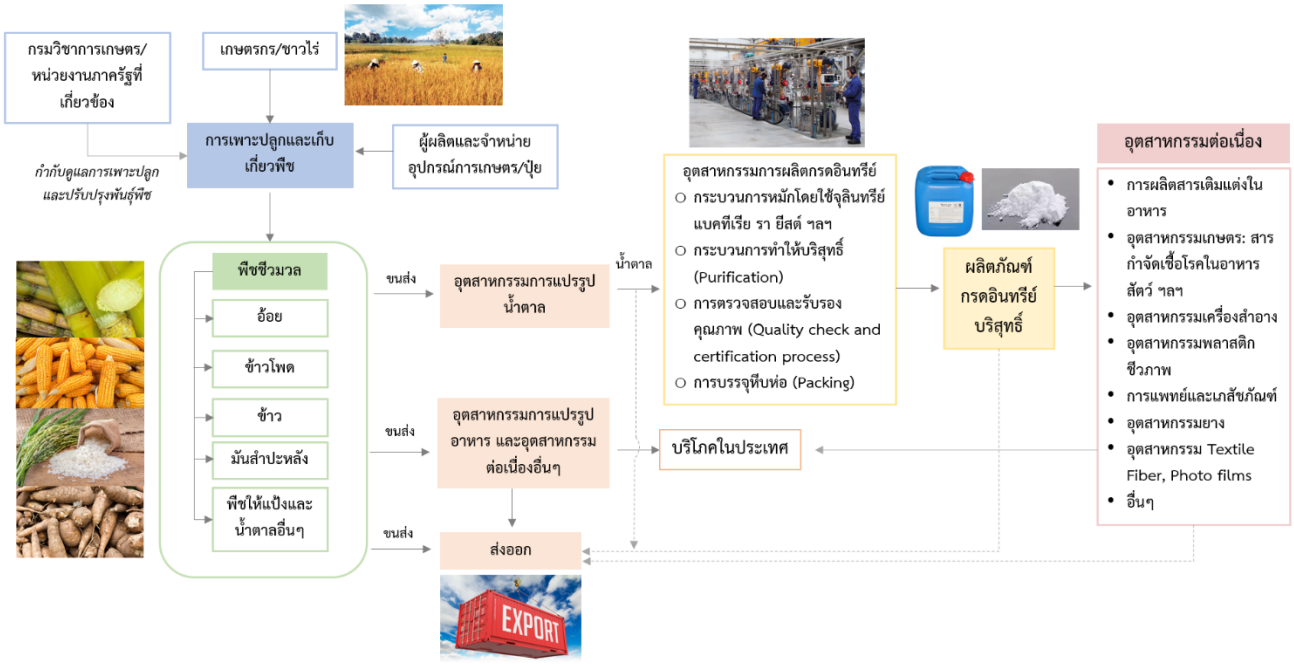


ที่มา: Deshmukh, G. 2020

- **การวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปกรดอินทรีย์**

จากการศึกษาและรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบ กระบวนการผลิต และรูปแบบการใช้งานของกรดอินทรีย์ ข้างต้น จะเห็นได้ว่า กรดอินทรีย์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนทางทางชีวภาพและต้องอาศัยกระบวนการทางชีวภาพ (Bioprocess) และเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการผลิต และแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้กลายเป็นกรดอินทรีย์เป้าหมาย ซึ่งกรดอินทรีย์ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพมีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องจำนวนมาก โดยจากข้อมูลทั้งหมด สามารถวิเคราะห์เป็นแผนภาพห่วงโซ่อุปทานของการผลิตกรดอินทรีย์ได้ดัง***รูปที่ 3***

รูปที่ 3 ห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมการผลิตกรดอินทรีย์



จากการวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานของกรดอินทรีย์ Organic acid industry supply chain) พบว่า มีองค์ประกอบ 3 ส่วนที่สำคัญ คือ

○ **อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream)** เป็นอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปชีวมวล (Biomass) สำคัญสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต โดยพืชที่สำคัญสำหรับใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์มีหลายประเภทซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่ให้สารประกอบคาร์บอนในกลุ่มแป้งและน้ำตาล อาทิ อ้อย มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด ฯลฯ โดยหลังจากการเก็บเกี่ยว พืชเหล่านี้จะถูกรวบรวมไปเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นแป้งและน้ำตาล ซึ่งวัตถุดิบที่พร้อมสำหรับเข้าสู่กระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม

○ **อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Intermediate)** เป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปชีวมวลจากภาคการเกษตรเป็นกรดอินทรีย์ ผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Pretreatment) ให้มีความพร้อมก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการหมักด้วยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยในขั้นตอนของการหมักจะต้องมีการควบคุมสภาวะของกระบวนการ (Reaction condition) ให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิต รวมถึงมีขั้นตอนของการคัดแยกและทำให้บริสุทธิ์ (Purification process) ที่มีประสิทธิภาพ จนได้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีความบริสุทธ์สามารถนำไปใช้ต่อยอดในอุตสาหกรรมขั้นปลายได้

○ **อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream)** เป็นการแปรรูปกรดอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมปลายทาง โดยจากข้อมูลการศึกษาการใช้ประโยชน์ของกรดอินทรีย์ พบว่า มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมปลายทางจำนวนมาก อาทิ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยเพื่อ

การเกษตร อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมยาและเภสัชภัณฑ์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมกรรมยาง อุตสาหกรรมการผลิตกาว เป็นต้น

- **การใช้ประโยชน์กรดอินทรีย์ในภาคอุตสาหกรรม**

ปัจจุบันกรดอินทรีย์ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มมากมาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร (Food industry) ซึ่งกรดอินทรีย์ เป็นหนึ่งในสารเติมแต่งอาหาร (Food-additives) เพื่อปรับปรุงรสชาติและถนอมอาหาร นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอินทรีย์นอกเหนือกจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร (Non-food industry) อาทิ อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมพลาสติก ฯลฯ โดยมีตัวอย่างการใช้ประโยชน์กรดอินทรีย์ในภาคอุตสาหกรรมดังแสดงใน***ตารางที่ 2***

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์กรดอินทรีย์ในภาคอุตสาหกรรม

กรดอินทรีย์	รูปแบบการใช้งาน/ประโยชน์ (โดยสังเขป)
กรดแลคติก (Lactic acid) 	• **อุตสาหกรรมอาหาร:** อุตสาหกรรมอาหารถือเป็นอุตสาหกรรมที่นำกรดแลคติกมาใช้ประโยชน์มากที่สุด ซึ่งกรดแลคติกที่ใช้ สามารถผลิตขึ้นได้เองหรือได้จากการเติมในกระบวนการหมักอาหารในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ขนมปัง เบียร์ เนยเทียม ผักผลไม้ดอง ไส้กรอก และเครื่องดื่มบางชนิด เป็นต้น นอกจากนั้นยังใช้เติม ในอาหารเพื่อให้มีกลิ่นและรสเปรี้ยวที่น่ารับประทานหรือเพื่อป้องกันการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ทำให้อาหารบูดเน่า • **อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง:** ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว กรดแลคติกในโลชั่นหรือครีมบำรุงผิวจะทำให้เกิดกระบวนการที่ทำให้ผิวหนังชั้นบนสุดหลุดออกและ ทำให้ผิวชั้นต่อไปปรากฏขึ้นมาแทนผิวเดิม (Chemical exfoliation) ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้จุดด่างดำจางลง รอยเหี่ยวย่นตื้นขึ้น และรอยไหม้จากแสงแดดหลุดลอกออกไป • **อุตสาหกรรมพลาสติก:** ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพกำลังเป็นที่สนใจ เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) ซึ่งกรดแลคติกสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA)
กรดน้ำส้ม หรือ กรดอะซิติก (Acetic acid)	• **อุตสาหกรรมอาหาร:** กรดอะซิติก ถูกใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อป้องกันการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารบูดเน่า ใช้เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างของอาหาร และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร นอกจากนั้น ยังใช้เพื่อการเพิ่มรสเปรี้ยวในอาหารเป็นสำคัญ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ต้องการรสเปรี้ยวมากหรือน้อย หากใช้ความเข้มข้นมากจะ

กรดอินทรีย์	รูปแบบการใช้งาน/ประโยชน์ (โดยสังเขป)
	ทำให้เกิดรสเปรี้ยวมาก อาหารที่มีการใช้กรดอะซิติก ได้แก่ น้ำสลัด ผักดอง ผลไม้ดอง และซอสชนิดต่าง ๆ เป็นต้น • **ด้านการเกษตร**: กรดอะซิติก ถูกใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาควบคุมเชื้อรา น้ำหมักชีวภาพ หรือผสมน้ำฉีดพ่น เพื่อใช้ควบคุมเชื้อราในแปลงผัก และผลไม้ • **ด้านการแพทย์:** กรดอะซิติกเข้มข้นถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ โดยนำกรดอะซิติกมาเจือจางร่วมกับสารประกอบอื่น ได้แก่ สารประกอบโพรไพลีนไกลคอล (Propylene glycol) สารละลายอะลูมิเนียม อะซิเตรท (Aluminium acetate) สารละลายกรดบอริก (Boric acid) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium sulfate) สารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) น้ำบริสุทธิ์
กรดฟอร์มิก (Formic acid)	ใช้ในทางการเกษตร เป็นสารกำจัดเชื้อโรคในอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมยาง การผลิตกาวลาเทกซ์
กรดมะนาว (Citric Acid Monohydrate)	ใช้ปรุงแต่ง กลิ่นรส (Flavoring agent) ปรับให้อาหารมีรสเปรี้ยว ใช้ในเครื่องปรุงรส (Seasoning) ลูกอม ลูกกวาด สารควบคุมความเป็นกรด (Acid regulator) เป็นสารกันหืน (antioxidant) เป็นสารกันเสีย (preservative) เป็นสารจับโลหะ (Chelating agent) เป็นสารทำความสะอาด (Cleaning agent)
กรดออกซาลิก (Oxalic acid)	กรดออกซาลิกถือเป็นกรดที่เป็นโทษต่อร่างกายมนุษย์ แต่ก็นำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน อาทิ ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาฆ่าเชื้อ ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด ใช้เป็นสารเคมีสำหรับเติมเพื่อฆ่าเชื้อโรคในระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น
กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid)	ผสมกับโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) และขายเป็นผงฟูที่ใช้เป็นหัวเชื้อในการเตรียมอาหาร กรดจะถูกเพิ่มเข้าไปในอาหารเพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และให้รสเปรี้ยวที่โดดเด่น