บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนจากเศษเหลือกุ้งโดยใช้เอนไซม์นิวเทรส

4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยโปรตีน

เอนไซม์ คือ โปรตีนที่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากมีกำลังเร่งเฉพาะ โดยเอนไซม์จะลดพลังงานที่ต้องการใช้ในปฏิกิริยา (activated energy) ให้ลดลง ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหลายเท่า สาเหตุที่เอนไซม์สามารถจะลด activated energy ได้ เนื่องจากการที่เอนไซม์รวมตัวกับสารตั้งต้น (substrate) ในลักษณะเฉพาะเจาะจง ทำให้โครงร่างอิเล็กทรอนิก (electronic configuration) ที่อยู่รอบ ๆ จุดที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนไป เอนไซม์สามารถถูกทำลายได้โดยความร้อน กรดแก่ ด่างแก่ โลหะหนัก เช่นเดียวกับโปรตีน นอกจากนี้ เอนไซม์ยังสามารถจะมีปฏิกิริยาเปลี่ยนไปได้ถ้าหากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป เช่น ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -10 ถึง -20 ^{O}C เอนไซม์จะทำงานอย่างช้า ๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเอนไซม์ก็จะมีปฏิกิริยาเร็วขึ้นตามลำดับ โดยทั่ว ๆ ไป เอนไซม์จะมีอุณหภูมิเหมาะสม (optimum temperature) กับการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิเหมาะสมของเอนไซม์ เอนไซม์จะไม่ทำงาน รูปร่างของเอนไซม์ซึ่งเดิมอยู่ในลักษณะโปรตีนที่พันไปมาเป็นรูปก้อนกลม (globular form) จะเริ่มคลายตัวออก ทำให้การทำงานของเอนไซม์เสียไป การสูญเสียการทำงานด้วยความร้อนสูง ๆ นี้จะเกิดขึ้นรวดเร็วมาก (Jens, 1986)

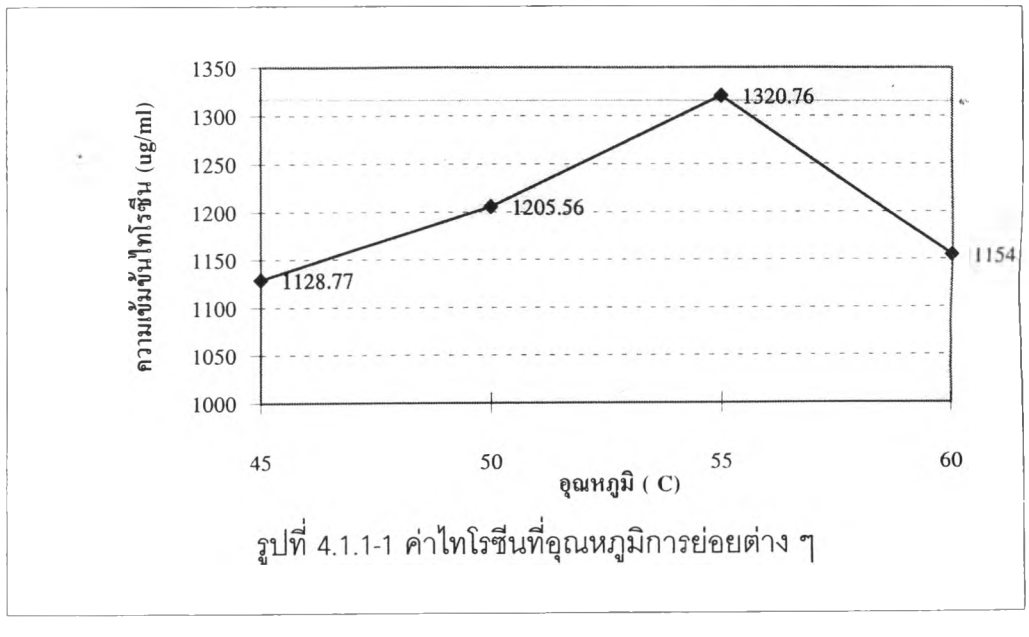
จากผลการทดลองย่อยสารละลายเปลือกกุ้งบด โดยแปรค่าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ 45, 50, 55 และ 60 ^{O}C เพื่อหาค่าอุณหภูมิเหมาะสมของเอนไซม์ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะของเอนไซม์ (Jens, 1986) จากผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นไทโรซีนที่เกิดขึ้น ได้ค่าดังแสดในตารางที่ 4.1.1-1 และรูปที่ 4.1.1-1

ตารางที่ 4.1.1-1 ค่าความเข้มข้นไทโรซีน (μg/ml) เมื่อย่อยสารละลายเปลือกกุ้งบดที่อุณหภูมิการย่อยที่ระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิ (^{O}C)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นไทโรซีน (μg/ml)
45	1128.77 a
50	1205.56 a
55	1320.76 a
60	1154.37 a

-ตัวอักษร a ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์โดย Duncan's New Multiple Range Test

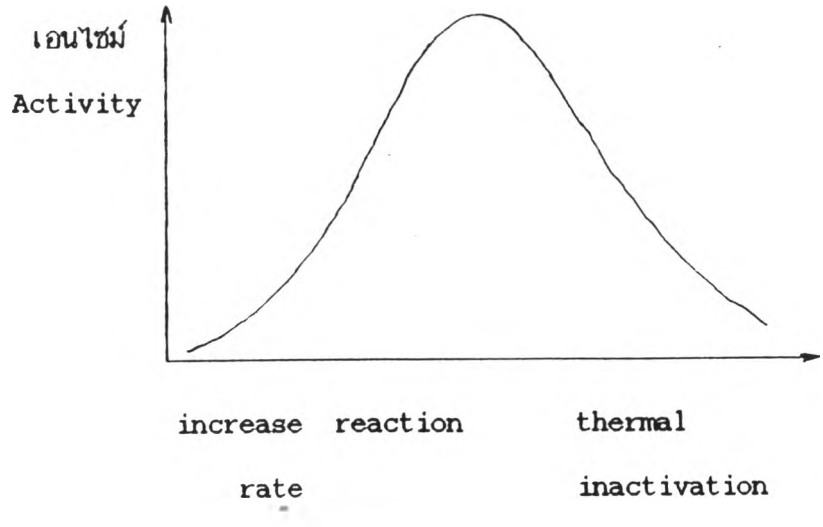
-ค่าความเข้มข้นไทโรซีนที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยเมื่อทดลอง 2 ซ้ำ เก็บ 4 ตัวอย่าง ต่อ 1 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.1-1 ค่าไทโรซีนที่อุณหภูมิการย่อยต่าง ๆ

I 18031663

จากตารางที่ 4.1.1-1 จะเห็นว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการย่อยโปรตีนสูงขึ้น จาก 45 เป็น 50 และ 55 ^{O}C จะได้ค่าความเข้มข้นไทโรซีนเพิ่มขึ้นตามลำดับ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เอนไซม์จะมีปฏิกิริยาเร็วขึ้น จึงทำให้ได้ค่าความเข้มข้นไทโรซีนมากขึ้น ทั้งที่ทำการย่อยโปรตีนที่เวลาเท่ากันที่ 30 นาที เช่นกัน และเมื่อย่อยเปลือกกุ้งบดที่อุณหภูมิสูงขึ้นอีกเป็น 60 ^{O}C พบว่าความเข้มข้นไทโรซีนกลับลดลง เป็นไปได้ว่าที่อุณหภูมิ 60 ^{O}C เป็นช่วงอุณหภูมิที่เอนไซม์เริ่มจะมีอัตราเร็วในการทำงาน (activity) ลดลง และหากมีการเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยให้สูงมากขึ้นไปอีก เอนไซม์จะไม่ทำงานและถูกทำลายได้ในที่สุด สอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Jens, 1986) รูปที่ 4.1.1-2 แสดงถึงผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์



รูปที่ 4.1.1-2 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Jens, 1986)

โดยปกติเอนไซม์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) และช่วงอุณหภูมิที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (increase reaction rate) ในขณะเดียวกันก็มีช่วงอุณหภูมิที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้นไปกว่าค่าอุณหภูมิเหมาะสม อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลง อย่างไรก็ตาม สำหรับผลการทดลองย่อยสารละลายเปลือกกุ้งบดที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 ^{O}C เมื่อนำค่าความเข้มข้น

ไทโรซีนที่ได้มาเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิการย่อยโปรตีน 45, 50, 55 และ 60 ^{O}C ไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นไทโรซีนแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งสอดคล้องกับที่บริษัทผู้ผลิตเอนไซม์นิวเทรสนี้ NOVO Nordisk แนะนำว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์นิวเทรสเท่ากับ 45-55 ^{O}C

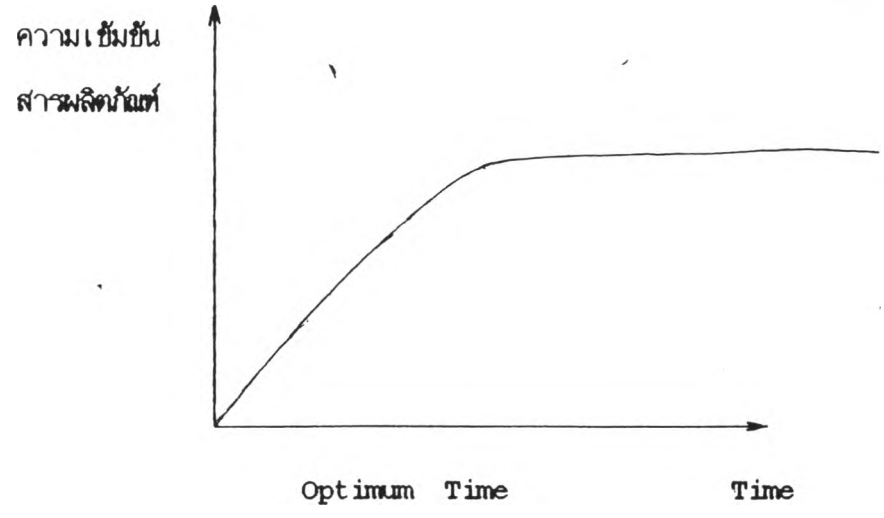
สำหรับงานวิจัยนี้ เลือกใช้อุณหภูมิในการย่อยสารละลายเปลือกกุ้งบดเป็นที่ 55 ^{O}C เนื่องจากให้ค่าความเข้มข้นไทโรซีนมากสุด และเพื่อใช้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่อัตราเร็วสูงสุด

4.1.2 ผลของความเข้มข้นเอนไซม์และเวลาที่ใช้ในการย่อยโปรตีน

เมื่อเอนไซม์ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของเอนไซม์-สารตั้งต้น (ES complex) และเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ในที่สุด ซึ่งสารเชิงซ้อนของเอนไซม์-สารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไปจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้และเข้าสู่ระบบสมดุล คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ

$$E + S \rightleftharpoons ES \longrightarrow E + P$$

ที่ภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์จะคงที่ ดังนั้น จึงต้องหาเวลาที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม (Jens, 1986) รูปที่ 4.1.1-1 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสารที่ภาวะสมดุล



รูปที่ 4.1.2-1 การเปลี่ยนแปลงของสารที่ภาวะสมดุล

นอกจากเวลาในการทำปฏิกิริยาแล้ว อัตราเร็วของปฏิกิริยายังเปลี่ยนไปตามปริมาณของสารตั้งต้น เมื่อให้ปริมาณเอนไซม์และภาวะการทดลองคงที่ ถ้าปริมาณของสารตั้งต้นมีน้อย ทำให้ปริมาณของเอนไซม์ไม่สามารถรวมตัวกับสารตั้งต้นได้ครบถ้วน ดังนั้นจะไม่ได้อัตราเร็วสูงสุด แต่ถ้าเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นอีก โมเลกุลของเอนไซม์ที่เหลือก็สามารถจะทำปฏิกิริยาได้เต็มที่ ทำให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของเอนไซม์-สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ขึ้นมามาก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในปริมาณที่สูงมาก ค่าอัตราเร็วจะไม่เปลี่ยน เพราะโมเลกุลของเอนไซม์ทุกโมเลกุลได้ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นจนหมดแล้ว (Jens, 1986)

จากผลการทดลองย่อยสารละลายเปลือกกุ้งบด โดยแปรค่าความเข้มข้นเอนไซม์ เป็น 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 และ 0.12 % โดยน้ำหนัก และแปรเวลาในการย่อยเป็น 30, 60, 90 และ 120 นาที เมื่อให้ปริมาณสารตั้งต้นคงที่และควบคุมอุณหภูมิขณะย่อยที่ 55 ^{O}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สรุปได้จากขั้นตอนที่ 4.1.1

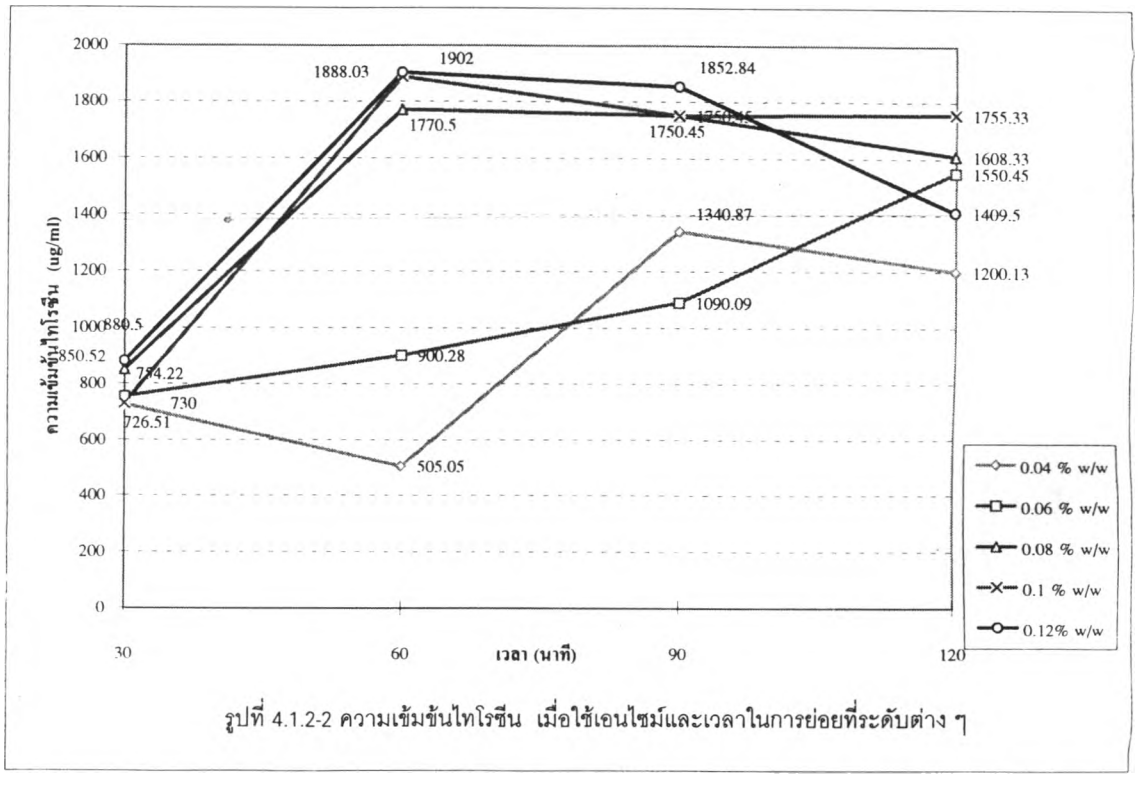
จากผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นไทโรซีนที่เกิดขึ้นได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.1.2-1 และ รูปที่ 4.1.2-2

ตารางที่ 4.1.2-1 ความเข้มข้นไทโรซีน (μg/l) เมื่อใช้เอนไซม์และเวลาในการย่อยที่ระดับต่าง ๆ

เอนไซม์ (%) / เวลา (นาที)	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
30	726.51i	754.22i	850.52i	730.00i	880.50i
60	505.05j	900.28hi	1770.50ab	1888.03a	1902.00a
90	1340.87ef	1090.09gh	1750.45abc	1750.45abc	1852.84a
120	1200.13fg	1550.45cd	1608.33bcd	1755.33abc	1409.50de

-ตัวอักษร a, b, c, ...j ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % วิเคราะห์โดย Duncan's New Multiple Range Test

-ค่าความเข้มข้นไทโรซีนที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยเมื่อทดลอง 2 ซ้ำ เก็บ 4 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ



รูปที่ 4.1.2-2 ความเข้มข้นไทโรซีน เมื่อใช้เอนไซม์และเวลาในการย่อยที่ระดับต่าง ๆ

จากค่าความเข้มข้นไทโรซีน เมื่อนำผลมาคำนวณทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงได้ดังตารางที่ 4.1.2-2

ตารางที่ 4.1.2-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นไทโรซีน เมื่อใช้เอนไซม์และเวลาในการย่อยที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variable	Degree of freedom	Mean square	F-test ratio
เอนไซม์ (A)	4	627808	74.41 *
เวลา (B)	3	1259808	149.32 *
A * B	12	174592.7	20.69 *
Error	19	8436.846	

* แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นเอนไซม์ที่ใช้มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการย่อย และมีผลต่อความเข้มข้นไทโรซีนที่ได้ การเพิ่มเวลาการย่อยมากขึ้น จะได้ค่าไทโรซีนเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นเอนไซม์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะเพิ่มค่าไทโรซีนที่ได้ สอดคล้องตามทฤษฎีที่ว่า เวลาและความเข้มข้นเอนไซม์ เมื่อกำหนดให้ปริมาณสารตั้งต้นคงที่ มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Jens, 1986) และจากผลยังพบว่า ที่เอนไซม์ความเข้มข้นที่ใช้ต่ำ ๆ คือ ที่ 0.04-0.06 % โดยน้ำหนัก ตั้งแต่เวลาการย่อย 30-120 นาที เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะให้ค่าไทโรซีนเพิ่มขึ้น แต่ยังให้ค่าเฉลี่ยไทโรซีนในระดับที่ต่ำ จึงไม่ควรเลือกใช้ และที่ความเข้มข้นเอนไซม์ช่วง 0.08-0.12 % โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาการย่อยเพิ่มมากขึ้น จาก 90 เป็น 120 นาที ค่าไทโรซีนที่ได้กลับลดลง เป็นไปได้ว่าเกิดสารเชิงซ้อนของเอนไซม์-สารตั้งต้นมากเกินไป จึงเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับและจะเข้าสู่ภาวะสมดุลต่อมา เมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ จะพบว่าควรเลือกใช้ภาวะการใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.08 % โดยน้ำหนัก เวลาการย่อย 60-90 นาที หรือ ใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.1 % โดยน้ำหนัก เวลา

การย่อย 60-120 นาที หรือ ใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.12 % โดยน้ำหนัก เวลาการย่อย 60-90 นาที และสำหรับที่ภาวะการใช้เอนไซม์ 0.08 % โดยน้ำหนัก เวลาการย่อย 60 นาที เป็นภาวะที่ใช้ความเข้มข้นเอนไซม์และเวลาในการย่อยน้อยที่สุดที่ยังคงได้ความเข้มข้นไทโรซีนเฉลี่ยในระดับเดียวกับที่ภาวะเหมาะสมอื่น ๆ โดยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ฉะนั้นในแง่การเพิ่มผลผลิตของโรงงาน จึงเลือกที่ภาวะดังกล่าว

4.2 ผลการกำหนดกระบวนการที่เหมาะสมในการแยกไคติน

4.2.1 ผลการสำรวจและคัดเลือกกระบวนการแยกไคติน

กระบวนการแยกไคติน ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการกำจัดแร่ธาตุ และกระบวนการกำจัดโปรตีน โดยทั่วไปกระบวนการแยกไคตินแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การกำจัดโปรตีนก่อนการกำจัดแร่ธาตุ และการกำจัดแร่ธาตุก่อนการกำจัดโปรตีน Bade and Maria (1985) รายงานว่าวิธีที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุมี 3 วิธี ได้แก่ การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเป็นตัวละลายแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีกลไกของปฏิกิริยา ดังนี้

$$2\,HCl + CaCO_3 \longrightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$

วิธีที่ 2 ที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุ คือ การใช้ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ซึ่ง Foster and Hackman ใช้เพื่อให้ภาวะในการกำจัดแร่ธาตุอ่อนลง (mild condition) และ วิธีที่ 3 คือ การใช้เอนไซม์ ตามทฤษฎีเมื่อพิจารณาจากสมบัติทางเคมีและสมการดุลมวลสาร (stoichiometry) จะพบว่า ต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก 2 โมล ในการละลายแร่ธาตุแคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล อนึ่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นที่มีขายในเชิงพาณิชย์จะมีความเข้มข้นที่ 12 นอร์มัล ความหนาแน่น 1.18 ฉะนั้นปริมาณกรดจำนวนน้อยสุด (minimum requirement) ที่ต้องใช้ในการละลายแคลเซียม

คาร์บอเนต 1 โมล เท่ากับ 153 มิลลิลิตร สำหรับปริมาณที่ต้องใช้จริงในอุตสาหกรรม จำนวนกรดที่ต้องใช้น้อยสุดควรเท่ากับเท่าใดนั้นยังไม่มีข้อมูลชัดเจน ทั้งนี้ขึ้นกับแต่ละบริษัท และปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบ เช่น ชนิดวัตถุดิบ เป็นพวกกุ้งหรือปู และแหล่งของวัตถุดิบ เป็นต้น ปริมาณกรดที่ต้องใช้สามารถหาได้จากการทดลอง แต่อย่างไรก็ตาม Muzzararelli, 1977 เสนอว่าอาจสมมติให้ว่ากรดที่ต้องใช้จะเท่ากับ 2 เท่าของกรดที่ต้องใช้ตามทฤษฎี

สำหรับขั้นตอนในการกำจัดโปรตีน Bade และ Maria (1985) รายงานว่า มี 2 วิธี ได้แก่ การใช้สารละลายด่าง โดยมากนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ มีการใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก Cosio และคณะ (1982) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ 11.5 โปรตีนที่มีอยู่จะมีอยู่ได้ 2 รูปแบบ ทั้งในรูปของโปรตีนเอง connective tissue และโปรตีนเชิงซ้อน ซึ่งอยู่รวมกับไคติน หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนต้องไม่ใช้อุณหภูมิสูงจนทำให้กรดอะมิโนเสื่อมสลายหรือคุณค่าลดลง เพราะโปรตีนที่สกัดได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก นอกจากนี้ พบว่าการลดขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน โดยรายงานว่า การลดขนาดวัตถุดิบเป็น 20-60 mesh (0.85-0.25 มิลลิเมตร) สามารถกำจัดโปรตีนได้หมดภายใน 60 นาที ในขณะที่ขนาด 8-20 mesh (2.36-0.85 มิลลิเมตร) จะสามารถกำจัดโปรตีนได้เพียงร้อยละ 65 อย่างไรก็ตาม พบว่าการลดขนาดเป็น 60-100 mesh (0.25-.015 มิลลิเมตร) จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนได้เพียงร้อยละ 13 เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 20-60 mesh นอกจากการใช้สารละลายด่างในการกำจัดโปรตีนแล้ว ยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีนด้วย อย่างไรก็ตาม Bough และคณะ (1978) พบว่า การใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีนในวัตถุดิบจะทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตแซนที่ได้ลดลง

สำหรับการพัฒนาการผลิตไคตินและไคโตแซนนั้น มีการวิจัยและออกแบบกระบวนการผลิตดังกล่าวหลายแห่งทั้งในและต่างประเทศ เช่น งานวิจัยของ Ignacio G Cosio, Robert A. Fisher Paul A. Carroad จากภาควิชา Food Science and

Technology มหาวิทยาลัยแคลิฟอเนียร์ (1982) ศึกษาการผลิตไคตินจากเปลือกกุ้ง การผลิตไคติเนส รวมทั้งการออกแบบกระบวนการผลิต ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 4.2.1-1 ในงานวิจัยของ Ignacio G Cosio, Robert A. Fisher Paul A. Carroad ผลิตไคติน โดยการกำจัดโปรตีนก่อนการกำจัดแร่ธาตุ และเสนอว่าควรบดเปลือกกุ้งให้มีขนาดเล็กลง ที่เหมาะสมเป็นขนาด 20 mesh ภาวะในการกำจัดโปรตีน ใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.5 อุณหภูมิ 30 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้งบด : สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 33.3 กรัม : 1 ลิตร ภาวะในการกำจัดแร่ธาตุ ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 8 % อุณหภูมิ 30 ^{O}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้งบด : สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เท่ากับ 100 กรัม : 1 ลิตร จากวัตถุดิบเปลือกกุ้งบด 1,670 หน่วย จะได้ตะกอนโปรตีน 326 แร่ธาตุ $CaCO_3$ 495 ไคติเนส (singled-cell protein) 68 และไคตินที่ไม่ถูกย่อย 225 หน่วย

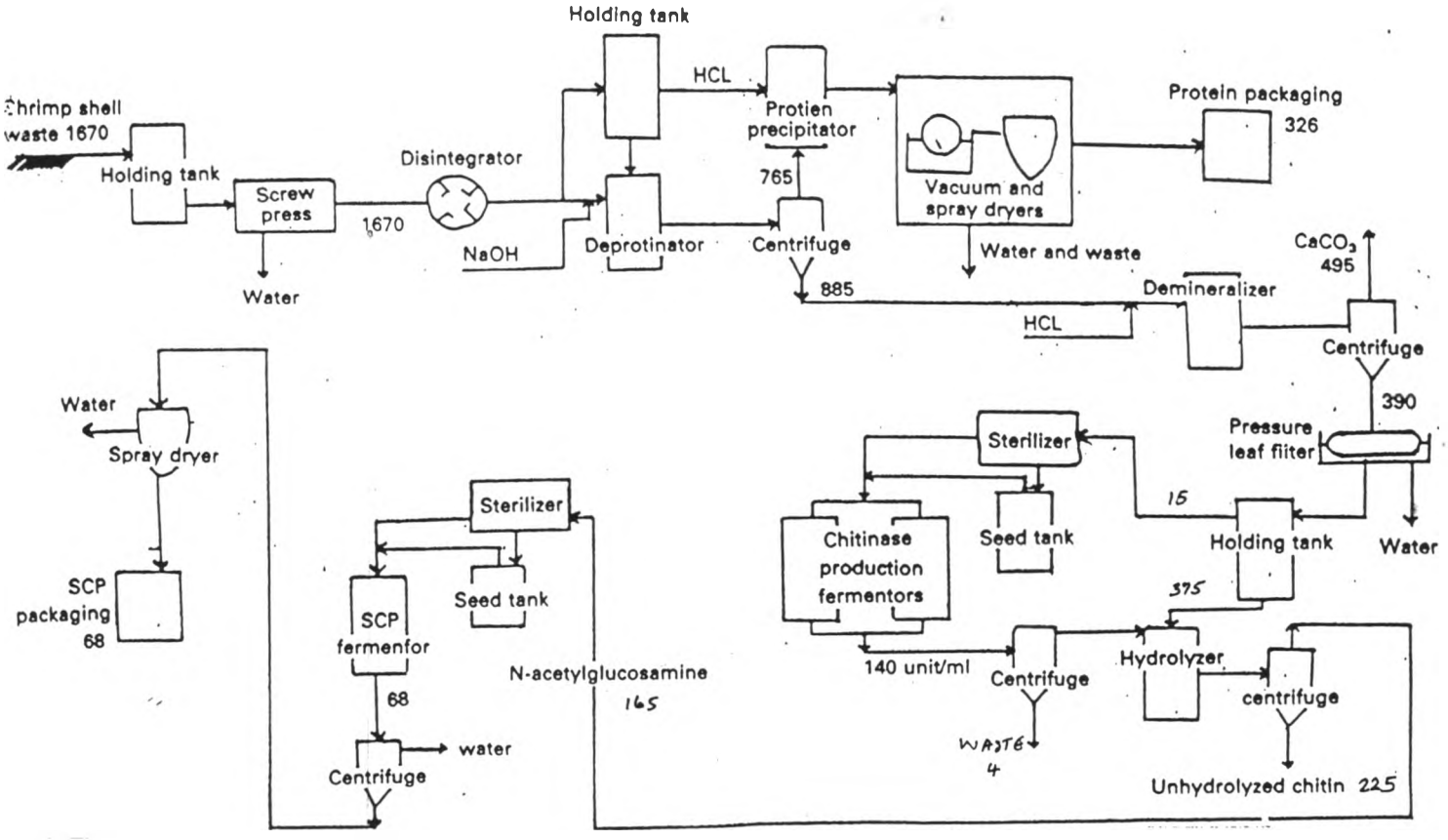
นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของเยาวภา ไหวพริบ จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2534) ศึกษาการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง โดยมีขั้นตอนแสดงในแผนภาพรูปที่ 4.2.1-2 ในงานวิจัยของเยาวภา ผลิตไคตินโดยการกำจัดแร่ธาตุก่อนการกำจัดโปรตีน และใช้เปลือกกุ้งที่บดให้มีขนาดเล็กลงประมาณ 25-35 mesh เป็นวัตถุดิบในการทดลอง ภาวะในการกำจัดแร่ธาตุ ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 M ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้งบด : สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 M เท่ากับ 1 : 10 ภาวะในการกำจัดโปรตีน ใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 M อุณหภูมิ 55 ^{O}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้งบด : สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 M เท่ากับ 1 : 10 หลังจากที่ได้ไคตินแล้วจะผลิตไคโตแซนโดยใช้ NaOH 50 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 140 $\pm$ 10 ^{O}C ภายใต้บรรยากาศกาซไนโตรเจน เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราส่วนไคติน : สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % เท่ากับ 1 : 2

นอกจากการศึกษาการผลิตไคตินในห้องปฏิบัติการแล้ว ยังได้ศึกษาถึงการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เช่น ที่บริษัท Marine Commodities International, Inc. ที่อยู่ Star Route Box 140 Shrimp Harbor Brownsville Tx 78520 USA ซึ่งรับวัตถุดิบจากเท็กซัส และเม็กซิโก มีกำลังการผลิตไคตินเกือบเดือนละ 12 ตัน และไคโตแซนเดือนละ 9 ตัน หรือรวมกำลังการผลิตทั้งปีประมาณ 250 ตัน/ปี แผนภูมิการผลิตของบริษัท Marine Commodities International, Inc. แสดงในรูปที่ 4.2.1-3 ซึ่งไม่ได้เปิดเผยข้อมูลของปริมาณและสภาวะของสารที่ใช้ในการกำจัดโปรตีนและแร่ธาตุ แต่จากแผนภูมิกระบวนการผลิตรูปที่ 4.2.1-3 แสดงให้เห็นว่าจะทำการกำจัดโปรตีนก่อนการกำจัดแร่ธาตุ และมีการปรับ (make-up) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายที่ใช้ในการกำจัดโปรตีนและแร่ธาตุ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สภาวะการผลิตไคตินจากงานวิจัยของเยาวภา โดยพิจารณาจากหลักเกณฑ์ที่ว่าใช้วัตถุดิบพันธุ์กุ้งกุลาดำในประเทศเหมือนกัน ซึ่งกุ้งกุลาดำในประเทศ ส่วนใหญ่มาจากการเพาะเลี้ยง อีกทั้งมีภาวะแวดล้อมในการทดลองอยู่ในประเทศเหมือนกัน ทั้งวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ และอุณหภูมิการทดลอง และมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์มากกว่า ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการจากการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมาใช้ด้วย คือ ให้มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายกรดและด่างที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุและกำจัดโปรตีนตามลำดับ เพื่อให้สามารถใช้สารละลายกรดและด่างได้มากครั้งขึ้น โดยได้มีการทดลองผลิตไคตินเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายกรดและด่างเพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งกับการใช้สารละลายซ้ำ 10 ครั้ง แต่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับครั้งแรกที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกครั้ง พบว่าคุณสมบัติของไคตินที่แยกได้ไม่ต่างกันนัก และสารละลายที่ผ่านการใช้แต่ละครั้งจะมีสีและปริมาณตะกอนในสารละลายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เพื่อการกำจัดแร่ธาตุ เริ่มต้นใช้ที่ความเข้มข้น 1 M วัดปริมาณเนื้อกรด ได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้น เท่ากับ 0.6 คำนวณเป็นปริมาณกรด เท่ากับ -log [H^+] หรือเท่ากับ $10^{-0.6}$ และสารละลายที่ใช้ไปแต่ละครั้งจะ

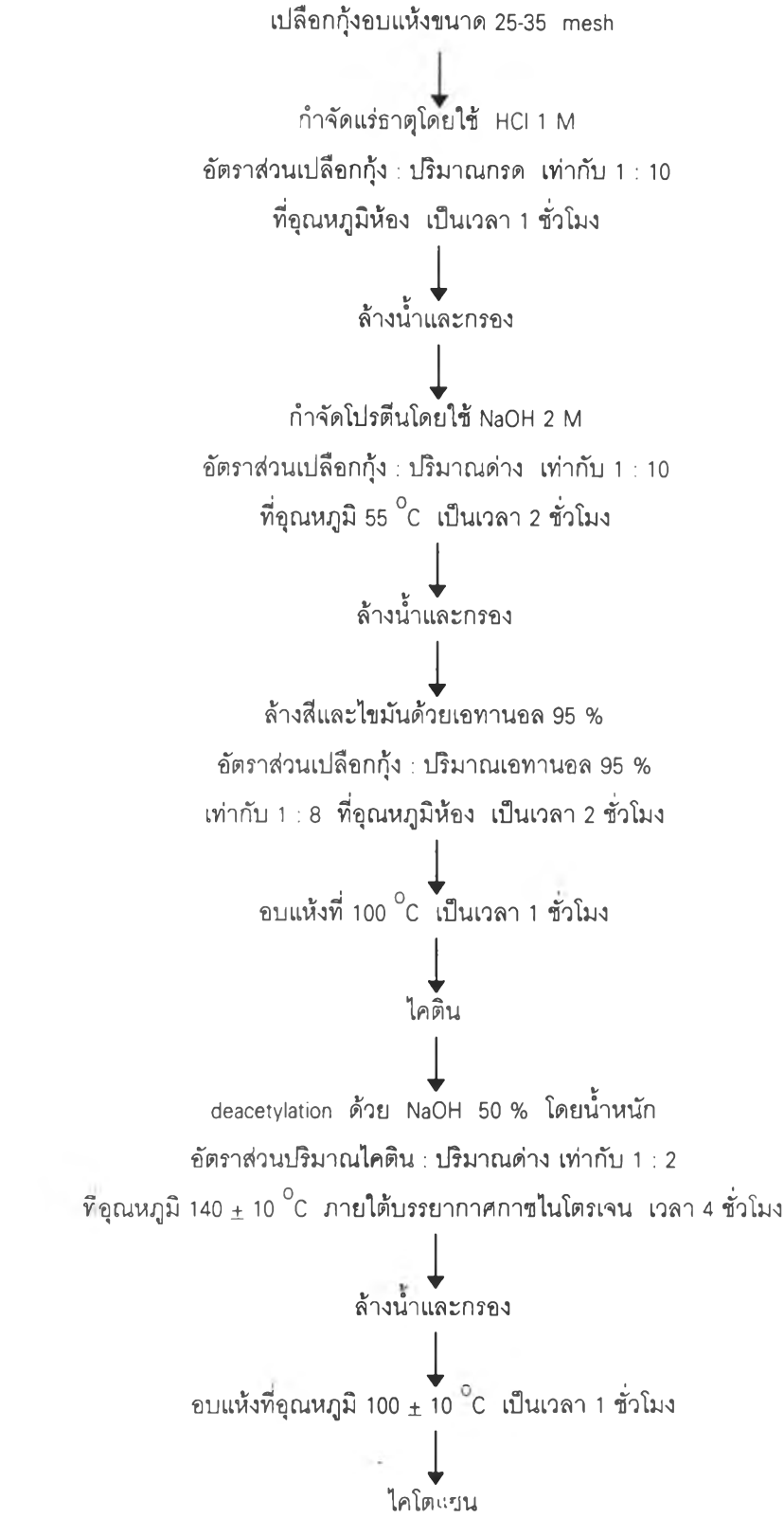
มีค่า pH เพิ่มขึ้นประมาณ 0.2 หรือเนื้อกรดหายไป 0.093 โมล/ลิตร จึงปรับค่า pH ให้เท่ากับค่าเริ่มต้น 0.6 ทุกครั้ง สำหรับสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อการกำจัดโปรตีน ใช้สารละลายเริ่มต้นที่ 2 M ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเริ่มต้น เท่ากับ 13 สารละลายเมื่อใช้ไปแต่ละครั้งค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง จึงไม่มีการปรับหรือเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มแต่อย่างใด จึงเสนอเบื้องต้นว่าสามารถใช้สารละลายกรดและด่างซ้ำได้ 10 ครั้ง ซึ่งจะเป็นการประหยัดสารเคมีกรดไฮโดรคลอริกและด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังทดลองผลิตไคติน เปรียบเทียบระหว่างการกำจัดโปรตีนก่อนการกำจัดแร่ธาตุ กับการกำจัดแร่ธาตุก่อนการกำจัดโปรตีน พบว่าทั้ง 2 กระบวนการสามารถถูกลำดับก่อนหลังได้ โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของไคตินที่ได้ต่างกัน งานวิจัยนี้เลือกการกำจัดแร่ธาตุก่อนการกำจัดโปรตีนและตามภาวะงานวิจัยของเยาวภา ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว และยังพบว่าไม่สามารถลดขั้นตอน โดยการรวมขั้นตอนการกำจัดโปรตีนและการไฮโดรไลซีสย่อยโปรตีนโดยการใช้เอนไซม์นิวเทรสให้เป็น 1 ขั้นตอนได้ เนื่องจากการไฮโดรไลซีนไม่ใช่การกำจัดโปรตีน การไฮโดรไลซีสต้องไม่ทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพไป แต่เป็นการย่อยโมเลกุลก้อนใหญ่ของโปรตีนให้เป็นโมเลกุลสายยาวของเปปไตด์ จนที่สุดเป็นกรดอะมิโนสายสั้น ซึ่งเป็นตัวให้กลิ่นรส กรดอะมิโนยังคงถือเป็นหน่วยย่อยของโปรตีนอยู่

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงได้กำหนดกระบวนการแยกไคตินที่จะใช้สำหรับในงานวิจัยนี้ ตามภาวะและขั้นตอนในรูปที่ 4.2.1-4

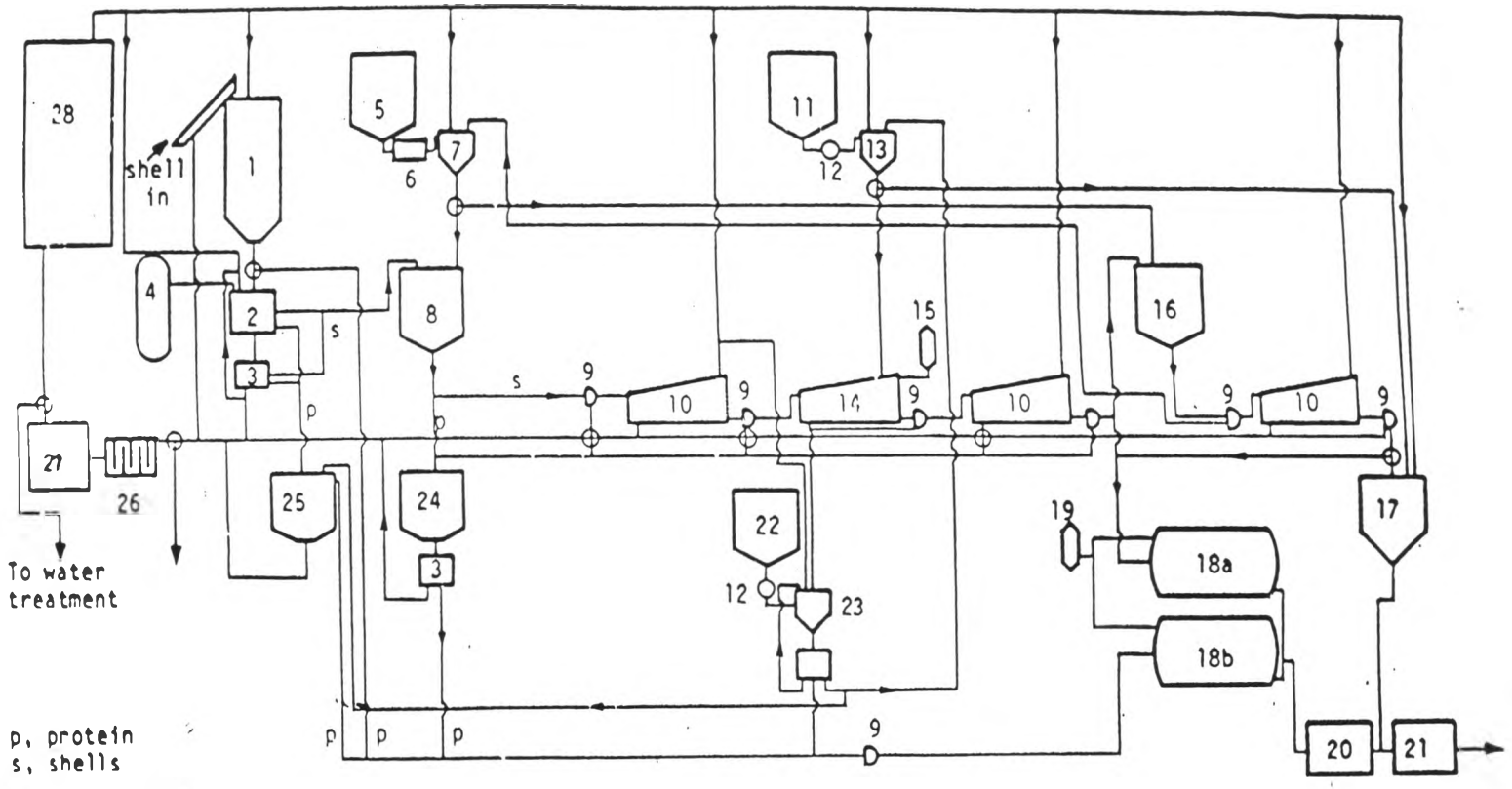


รูปที่ 4.2.1-1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและ mass balance งานวิจัยของ

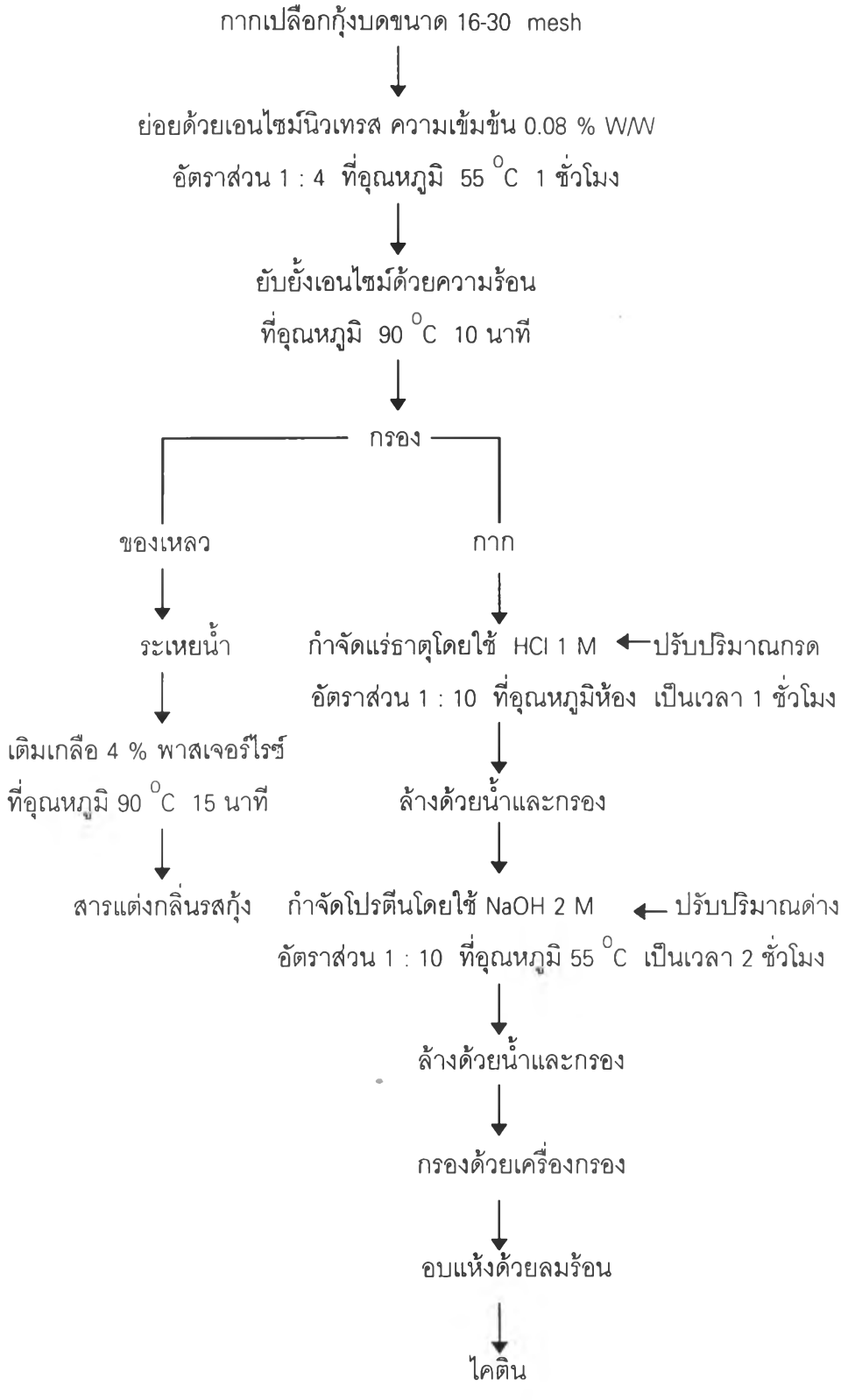
Ignacio G Cosio, Robert A. Fisher Paul A. Carroad (1982)



รูปที่ 4.2.1-2 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตแซน งานวิจัยของเยาวภา ไหวพริบ (2534)



รูปที่ 4.2.1-3 กระบวนการผลิตไคติน ไคโตแซน ของ Marine Commodities International, Inc. (Muzzarelli, 1977)



รูปที่ 4.2.1-4 ขั้นตอนที่ใช้ในการแยกไคตินในงานวิจัยนี้

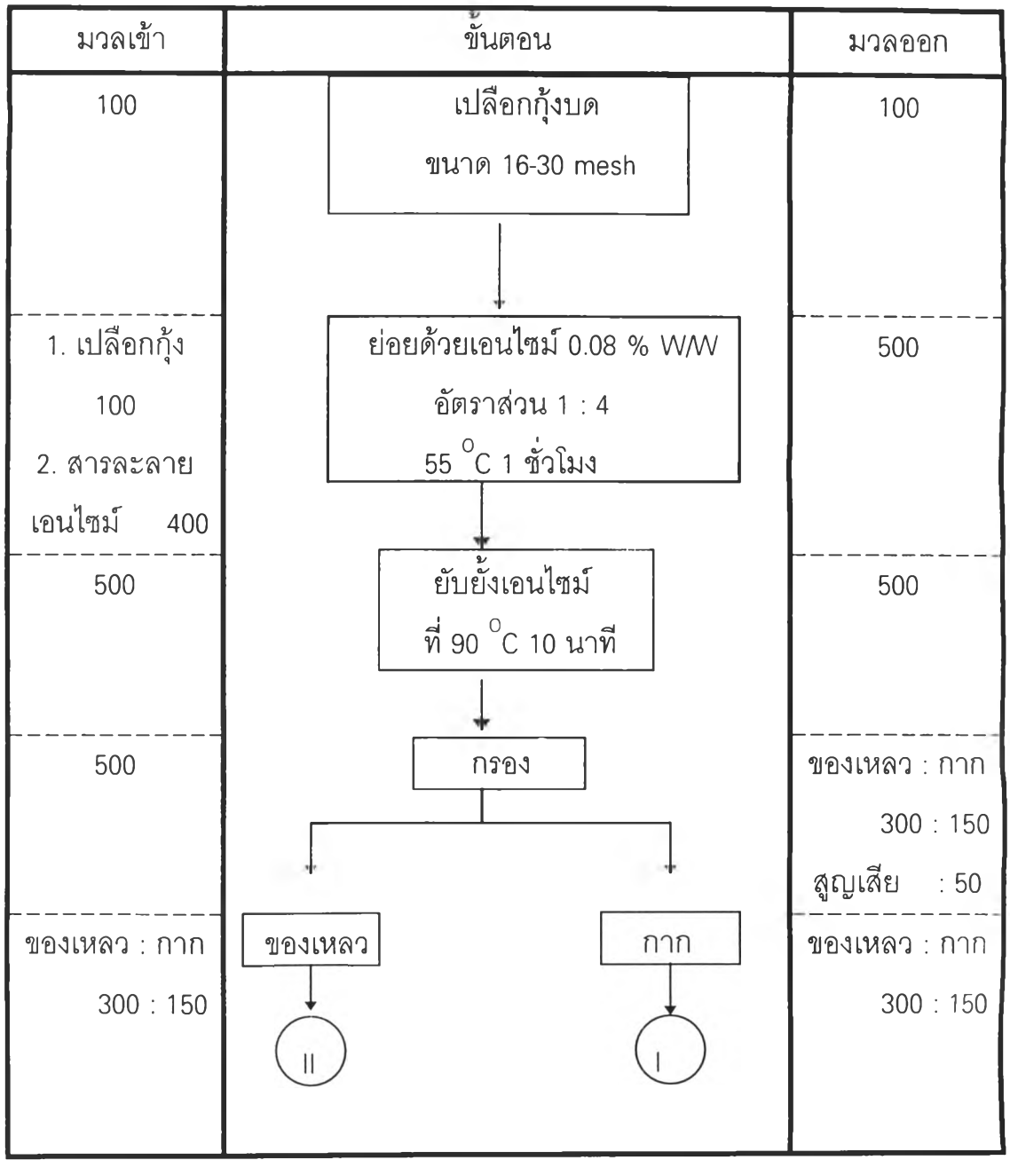
ทำการทดลองรวมทั้งการแยกไคตินและการผลิตสารไฮโดรไลเสตกลิ่นรสกุ้ง และวิเคราะห์ปริมาณไคติน และสมบัติทางเคมีของไคตินที่ได้ ได้ค่า ดังนี้

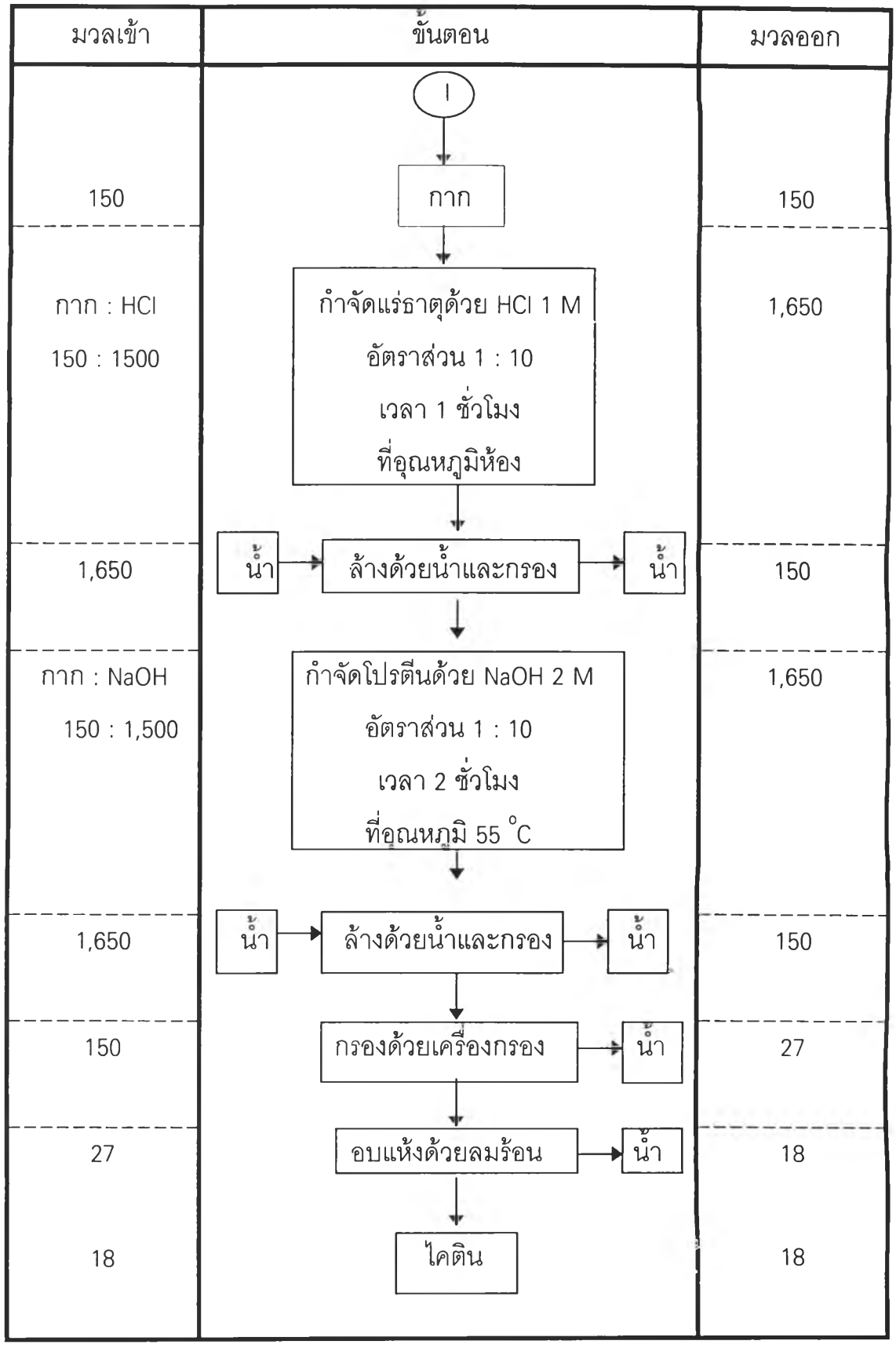
ปริมาณไคติน	เท่ากับ	87.2 %
ปริมาณไนโตรเจน	เท่ากับ	5.15 %
ปริมาณเถ้า	เท่ากับ	0.56 %
ปริมาณความชื้น	เท่ากับ	3.93 %
อื่น ๆ	เท่ากับ	3.16 %

Stelmock และคณะ (1985) ได้ใช้วิธีหาปริมาณไคตินในอาหารทะเลป่นด้วยวิธีที่เรียกว่า Van Soest Acid Detergent Fiber Method โดยอาศัยความรู้ที่ว่าไคตินเป็นองค์ประกอบที่เป็นเส้นใย (fibrous component) ดังนั้นปริมาณเส้นใยในเปลือกกุ้งน่าจะใช้ดูแนวโน้มของปริมาณไคตินในเปลือกกุ้งได้

จากการทดลองหาผลผลิต (yield) ที่จะได้ และปริมาณสารที่ต้องใช้ในแต่ละขั้นตอน เมื่อใช้วัตถุดิบเปลือกกุ้งบดเท่ากับ 100 หน่วย ทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.2.1-1

ตารางที่ 4.2.1-1 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (yield) และปริมาณสารที่ต้องใช้ในแต่ละขั้นตอน




มวลเข้า
ขั้นตอน
มวลออก
I
150
กาก
150
กาก : HCl
150 : 1500
กำจัดแร่ธาตุด้วย HCl 1 M
อัตราส่วน 1 : 10
เวลา 1 ชั่วโมง
ที่อุณหภูมิห้อง
1,650
1,650
น้ำ
ล้างด้วยน้ำและกรอง
น้ำ
150
กาก : NaOH
150 : 1,500
กำจัดโปรตีนด้วย NaOH 2 M
อัตราส่วน 1 : 10
เวลา 2 ชั่วโมง
ที่อุณหภูมิ 55 °C
1,650
1,650
น้ำ
ล้างด้วยน้ำและกรอง
น้ำ
150
150
กรองด้วยเครื่องกรอง
น้ำ
27
27
อบแห้งด้วยลมร้อน
น้ำ
18
18
ไคติน
18

มวลเข้า	ขั้นตอน	มวลออก
300	ของเหลว	300
300	ระเหยน้ำ	75
75	เติมเกลือ 4 % พาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 90 ^{O}C 15 นาที	78
78	สารแต่งกลิ่นรสกุ้ง	78

จากตาราง 4.2.1-1 จะเห็นได้ว่าผลผลิตสุดท้ายจะได้โคติน 18 % และสารแต่งกลิ่นรสกุ้ง 78 % ของเปลือกกุ้งบด

4.3 การออกแบบและคำนวณเบื้องต้นของกระบวนการในระดับอุตสาหกรรม

4.3.1 กำหนดขนาดอุปกรณ์ เครื่องจักรในกระบวนการ

จากข้อมูลที่สอบถามจากโรงงาน กำลังการผลิตของโรงงานประมาณที่วัตถุดิบกุ้งวันละ 20 ตัน จะมีเปลือกกุ้งประมาณวันละ 2,700 กิโลกรัม เมื่อนำมาบดให้มีขนาดเล็กลงจะได้เปลือกกุ้งบดวันละ 2,600 กิโลกรัม นำข้อมูลจากตารางที่ 4.2.1-1 เมื่อใช้วัตถุดิบเปลือกกุ้งบด 100 % มาคำนวณเป็นที่อัตราการผลิตเมื่อใช้เปลือกกุ้งบด 2,600 กิโลกรัม/วัน ได้ผลดังในตารางที่ 4.3.1-1

ตารางที่ 4.3.1-1 ผลผลิตที่ได้ (yield) และปริมาณสารที่ต้องใช้ในแต่ละขั้นตอนที่กำลังผลิตเปลือกกุ้งบด 2,600 กิโลกรัม/วัน

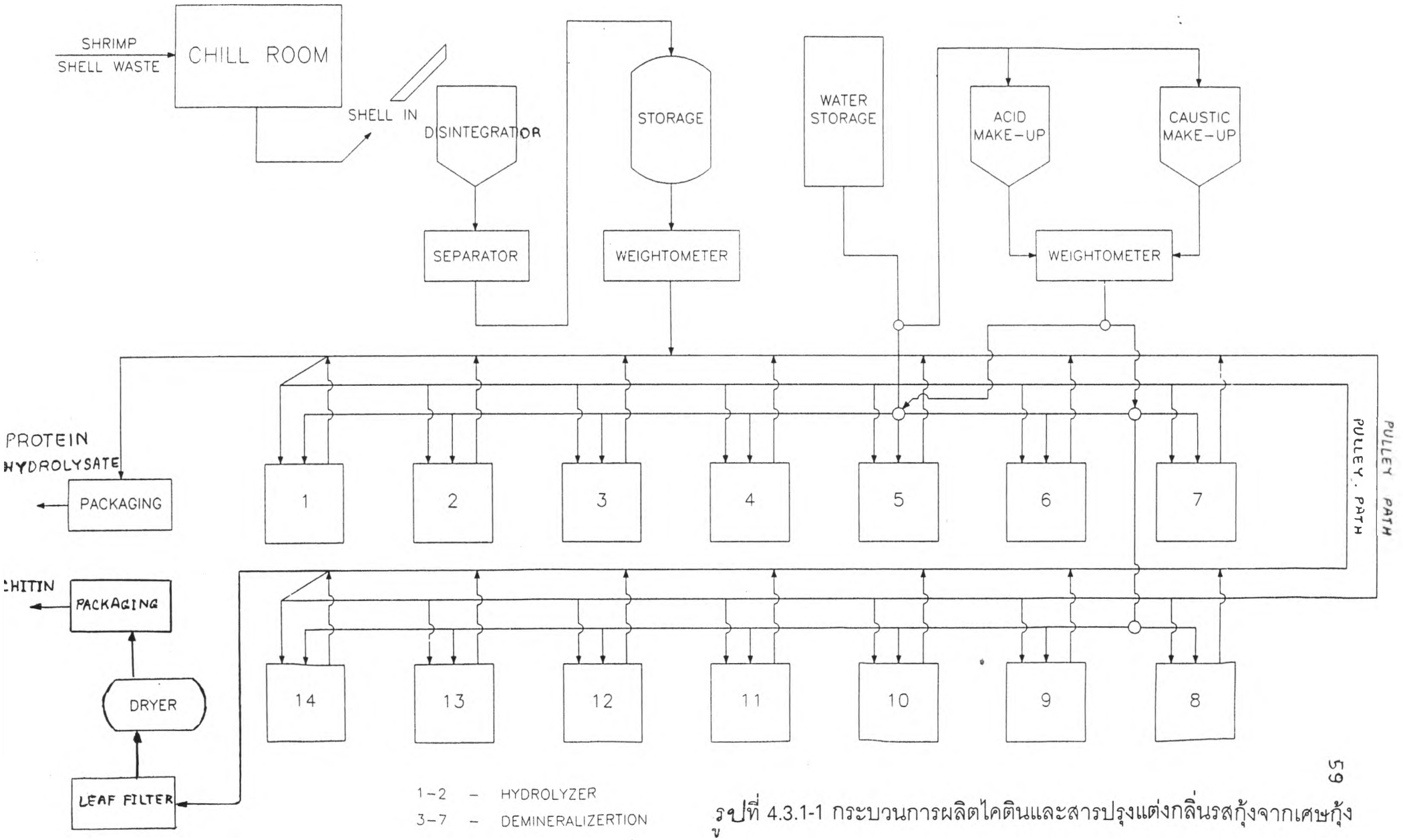
มวลเข้า (กก)	ขั้นตอน	มวลออก (กก)
2,600	เปลือกกุ้งบด ขนาด 16-30 mesh	2,600
1. เปลือกกุ้ง 2,600 2. สารละลาย เอนไซม์ 10,440	ย่อยด้วยเอนไซม์ 0.08 % W/W อัตราส่วน 1 : 4 55 ^{O}C 1 ชั่วโมง	13,000
13,000	ยับยั้งเอนไซม์ ที่ 90 ^{O}C 10 นาที	13,000
13,000	กรอง	ของเหลว : กาก 7,800 : 3,900 สูญเสีย : 1,300
ของเหลว : กาก 7,800 : 3,900	ของเหลว → II กาก → I	ของเหลว : กาก 7,800 : 3,900

มวลเข้า (กก)	ขั้นตอน	มวลออก (กก)
3,900	กาก	3,900
กาก : HCl 3,900 : 39,000	กำจัดแร่ธาตุด้วย HCl 1 M อัตราส่วน 1 : 10 เวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	42,900
42,900	น้ำ → ล้างด้วยน้ำและกรอง → น้ำ	3,900
กาก : NaOH 3,900 : 39,000	กำจัดโปรตีนด้วย NaOH 2 M อัตราส่วน 1 : 10 เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 °C	42,900
42,900	น้ำ → ล้างด้วยน้ำและกรอง → น้ำ	3,900
3,900	กรองด้วยเครื่องกรอง → น้ำ	702
702	อบแห้งด้วยลมร้อน → น้ำ	468
468	ไคติน	468

มวลเข้า (กก.)	ขั้นตอน	มวลออก (กก.)
7,800	ของเหลว	7,800
7,800	ระเหยน้ำ	1,950
1,950	เติมเกลือ 4 % w/w พาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 90 ^{O}C 15 นาที	2,028
2,028	สารแต่งกลิ่นรสกุ้ง	2,028

กระบวนการผลิตไคตินและสารปรุงแต่งกลิ่นรสกุ้งจากเศษกุ้ง ถูกออกแบบดังแสดงในรูปที่ 4.3.1-1 โดยมีรายละเอียดเริ่มจากการเก็บรวบรวมเปลือกกุ้งซึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบ ในห้องเย็นซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีนในเศษกุ้งที่จะทำให้เกิดการเสื่อมของคุณค่าทางอาหารและทำให้โปรตีนสูญเสียไปได้ โดยในแต่ละวันจะรวบรวมเปลือกกุ้งได้ประมาณ 2,700 กิโลกรัม นำเปลือกกุ้งมาบดให้มีขนาดเล็กลง ประมาณ 16-30 mesh เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและประสิทธิภาพในการสัมผัสกับสารละลายได้อย่างทั่วถึง จากเปลือกกุ้ง 2,700 กิโลกรัม เมื่อนำมาบดให้มีขนาดเล็กลง จะมีส่วนสูญเสียประมาณ 4 % ได้เป็นเปลือกกุ้งที่บดแล้ว 2,600 กิโลกรัม (จากตารางที่ 4.3.1-1) ทำการผลิตเป็นแบทช์ โดยนำเปลือกกุ้งบดแล้วบรรจุในตะกร้า (rack) ตะกร้าละ 650 กิโลกรัม จำนวน 2 ตะกร้า ไฮโดรไลซีสวันละ 4 แบทช์ ใช้รอกยกตะกร้าขึ้นเพื่อนำลงในถังไฮโดรไลซีส เปิดใบกวน ไฮโดรไลซีสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วย

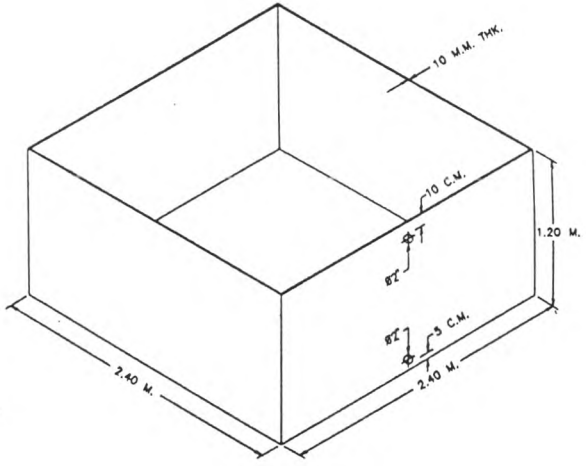
เอนไซม์นิวเทรส 0.08% โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลา ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาปิดใบกวน และยกตะกร้าเปลือกกุ้งขึ้น ของเหลวไฮโดรไลเสตที่ได้ระเหยน้ำออกเพื่อให้กลิ่นรสกุ้งเข้มข้นขึ้น จากนั้นเติมเกลือ 4 % โดยน้ำหนัก กวนให้เกลือละลายให้หมดเพื่อเป็นวัตถุกันเสียและพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะได้เป็นโปรตีนไฮโดรไลเสตเพื่อเป็นสารแต่งกลิ่นรสกุ้ง สำหรับเปลือกกุ้งที่ผ่านการไฮโดรไลซีสแล้ว ในแต่ละวันจะมีประมาณ 3,900 กิโลกรัม (จากตารางที่ 4.3.1-1) โดยทำการผลิตเป็นแบทช์ นำมาบรรจุในตะกร้า ๆ ละ 390 กิโลกรัม จำนวน 5 ตะกร้า ผลิตไคตินวันละ 10 แบทช์ ใช้รอกยกตะกร้าวางลงถังสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 M เพื่อกำจัดแร่ธาตุ (demineralization) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปิดใบกวน เมื่อครบเวลา ปิดใบกวน ยกตะกร้าขึ้นล้างสารละลายกรดที่เหลือค้างด้วยน้ำในถังล้าง หลังจากนั้นใช้รอกยกตะกร้าเปลือกกุ้งขึ้น เพื่อนำลงวางในถังสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 M เพื่อกำจัดโปรตีน (deproteinization) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปิดใบกวน ควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลา ปิดใบกวน ยกตะกร้าขึ้นล้างสารละลายด่างที่เหลือค้างด้วยน้ำในถังล้าง จากนั้นยกตะกร้าขึ้นนำสเลอรีไคตินเข้าเครื่องกรองเพื่อบีบน้ำออก และอบแห้งไคตินด้วยลมร้อน แล้วบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป และจากตารางที่ 4.3.1-1 จะได้ผลผลิตไคตินและสารแต่งกลิ่นรสกุ้งวันละ 468 กิโลกรัม และ 2,028 กิโลกรัม หรือประมาณ 140 ตัน/ปี และ 608 ตัน/ปี ตามลำดับ



รูปที่ 4.3.1-1 กระบวนการผลิตไคตินและสารปรุงแต่งกลิ่นรสกุ้งจากเศษกุ้ง

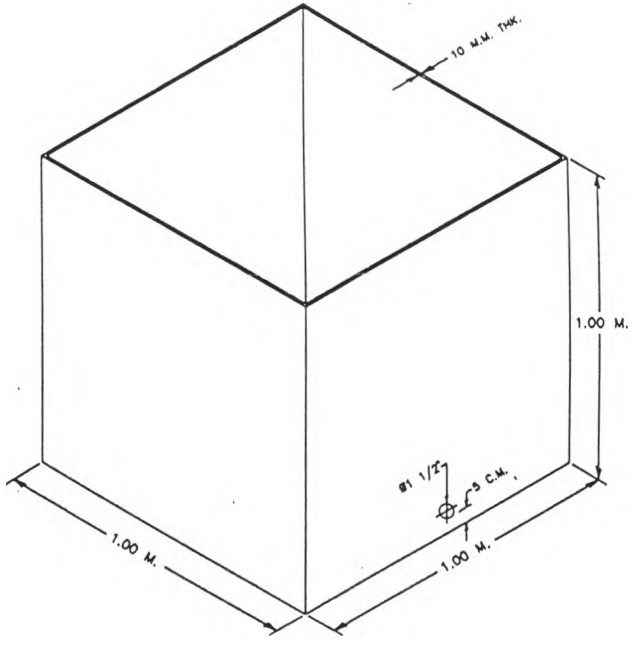
ในการผลิตให้ได้ตามโครงการนั้น ขนาดและจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการใช้สามารถคำนวณหาได้ (แสดงในภาคผนวก ข) โดยในที่นี้จะคำนวณหาอุปกรณ์และเครื่องจักรสำคัญที่ต้องใช้ประจำตลอดเวลาเท่านั้น ซึ่งได้แก่

1. เครื่องบด
2. ถังไฮโดรไลซีส
3. ถังกำจัดแร่ธาตุ
4. ถังกำจัดโปรตีน
5. เครื่องระเหย



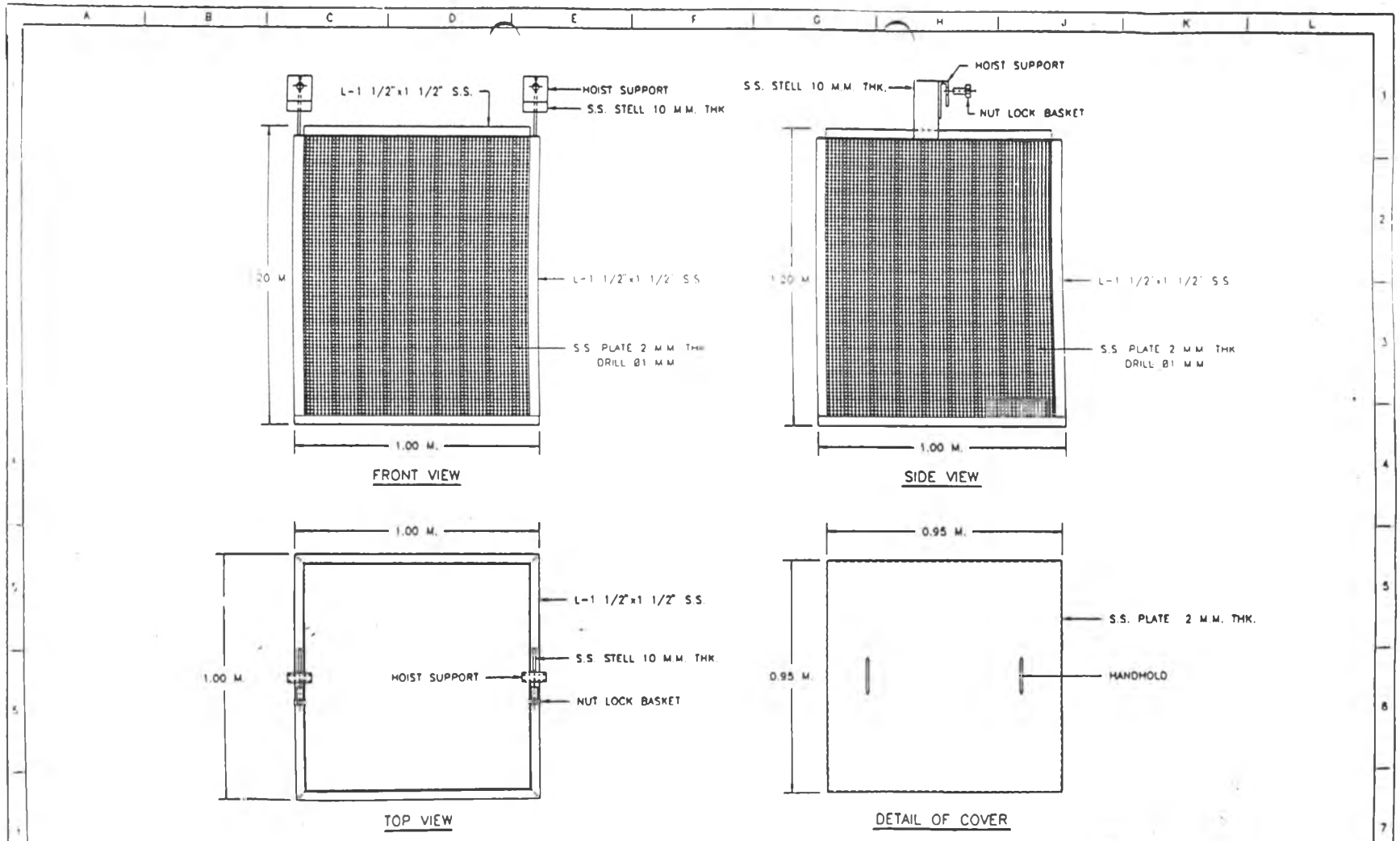
รูปที่ 4.3.1-2 ถังกำจัดแร่ธาตุ ถังกำจัดโปรตีน ถังล้าง ขนาด 7,000 ลิตร

PROJECT/MODIFICATION		TITLE	7000 L. TANK
PROJECT/MOD.No.	COST CENTRE		
	SHEET OF		
SCALE 1:50	DRAWN C) DATE 05-01-98	DRAWING CODE.	– REV. A
	A2 ED DATE	DRAWING No.	



รูปที่ 4.3.1-3 ถังเก็บสารละลายกรดและด่าง ขนาด 1,000 ลิตร

PROJECT/MODIFICATION		TITLE: 1000 L. TANK
PROJECT/MOD No.	; CO.,T CENTRE	
	SHEET OF	
SCALE 1:20	DRAWN ED DATE 05-01-98	DRAWING CODE — REV. A
	APPROVED DATE	DRAWING No.



รูปที่ 4.3.1-4 ตะกร้าบรรจุเปลือกกุ้งบด

4.3.2 วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

4.3.2.1 การประเมินค่าใช้จ่ายของโครงการ

การประเมินค่าใช้จ่ายของโครงการ จะเป็นการศึกษาครอบคลุมไปถึงค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานตามโครงการ เช่น ค่าอุปกรณ์ เครื่องจักรสำคัญที่ใช้ในการผลิต ค่าติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในที่ดินและสิ่งก่อสร้าง ค่าจ้างแรงงาน และค่าโสหุ้ยต่างๆ โดยจะคิดทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการก่อนที่จะเริ่มผลิต และเมื่อมีการผลิตแล้ว โดยคาดว่าจะเริ่มโครงการตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ 2541 เป็นต้นไป และจะเริ่มเดินเครื่องจักรได้ในปีที่ 2 ของโครงการ หรือในปี พ.ศ 2543

ตารางที่ 4.3.2.1-1 การประเมินการจ่ายซื้อสินทรัพย์ อุปกรณ์เครื่องจักร วัสดุและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
1. ค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร -ห้องเย็น ความจุ 100 ตัน ควบคุมอุณหภูมิห้องเย็นที่ 4 องศาเซลเซียส จำนวน 1 ห้อง สำหรับเก็บเปลือกกุ้ง 2,700 กิโลกรัมต่อวัน	3.000
-เครื่องบดเปลือกกุ้ง กำลังการบด 1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มอเตอร์ขนาด 50 KW 220/230 โวลต์ จำนวน 1 เครื่อง	0.534
-ถังไฮโดรไลซีส ความจุ 7,000 ลิตร ขนาด ก*ย*ส เท่ากับ 2.4*2.4*1.2 เมตร จำนวน 2 ถัง ขนาดมอเตอร์ 2 HP	0.402
-ถังกำจัดแร่ธาตุ ความจุ 7,000 ลิตร ขนาด ก*ย*ส เท่ากับ 2.4*2.4*1.2 เมตร จำนวน 5 ถัง ขนาดมอเตอร์ 2 HP	0.886
-ถังกำจัดโปรตีน ความจุ 7,000 ลิตร ขนาด ก*ย*ส เท่ากับ 2.4*2.4*1.2 เมตร จำนวน 5 ถัง ขนาดมอเตอร์ 2 HP	0.886
-ถังล้างน้ำ ความจุ 7,000 ลิตร ขนาด ก*ย*ส เท่ากับ 2.4*2.4*1.2 เมตร จำนวน 2 ถัง ขนาดมอเตอร์ 2 HP	0.354
-ถังเตรียมสารละลายกรด-ด่าง ความจุ 1,000 ลิตร ขนาด ก*ย*ส เท่ากับ 1.0*1.0*1.0 เมตร จำนวน 2 ถัง ขนาดมอเตอร์ 2 HP	0.286
-ตะกร้า ความจุ 1,000 ลิตร ขนาด ก*ย*ส เท่ากับ 1.0*1.0*1.2 เมตร จำนวน 14 ตะกร้า	1.078
-ชุดเครื่องกรองแบบใบ (leaf filter)	0.800
-ชุดเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบสายพาน พร้อมเตาเผาผลิตลมร้อน	1.500
-ชุดควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วย . self acting temperature, steam control & steam trap . single ported globe valve, 50 mm.,pneumatic actuator, 1.4-6 bar . electropneumatic positioner, 4-20 ma	2.500

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
-ชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำเสีย ได้แก่ บ่อพัก ตกตะกอนและกรอง และถังปรับความเป็นกรด-ด่าง ประมาณที่ 25 % ของ อุปกรณ์เครื่องจักรสำคัญในการผลิต หรือเป็นเงิน 0.205* 12.226 = 3.057 ล้านบาท	3.057
รวมค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร	15.283
2. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและอื่น ๆ ก่อนดำเนินการผลิต	
-ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักร ประมาณที่ 20 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร หรือเป็นเงิน เท่ากับ 0.20 * 15.283 = 3.057 ล้านบาท	3.057
-ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบท่อ ติดตั้งคาน และรางทางเดินของรอก ได้แก่ ค่าท่อ วาล์ว ข้อต่อ ข้องอ สามทาง ข้อลด ค่าแรง ประมาณที่ 30 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร หรือเป็นเงิน เท่ากับ = 0.30 * 15.283 = 4.585 ล้านบาท	4.585
-ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไฟฟ้า ประมาณที่ 10 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร หรือเป็นเงิน เท่ากับ = 0.10 * 15.283 = 1.528 ล้านบาท	1.528
-ค่าใช้จ่ายสิ่งก่อสร้าง :ประมาณว่ามีอาคารผลิต 2 หลัง และโกดัง 1 หลัง ขนาดพื้นที่หลังละ 60 *20 ตารางเมตร รวม 3 หลัง ค่าใช้จ่ายตารางเมตรละ 2,000 บาท เป็นเงิน 7.200 ล้านบาท -อาคารสำนักงาน 1 อาคาร 2 ชั้น ขนาดพื้นที่ 16*20 ตารางเมตร ค่าใช้จ่ายตารางเมตรละ 4,000 บาท เป็นเงิน 2.560 ล้านบาท และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าถมที่ ทำถนน ทางเดิน รั้ว ที่จอดรถ เป็นต้น อีกเป็นเงิน 2.500 ล้านบาท รวมประมาณเป็นเงิน 7.200 + 2.560 + 2.500 = 12.260 ล้านบาท	12.260

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
-ค่าเชื้อเพลิง ไฟฟ้า น้ำ ในระหว่างดำเนินโครงการก่อนผลิต ประมาณปีที่ 5 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร หรือเป็นเงิน เท่ากับ 0.05 * 15.283 = 0.764 ล้านบาท	0.764
รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและอื่น ๆ ก่อนดำเนินการผลิต	22.194
3. ต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ รวม 1 + 2 = 15.283 + 22.194 = 37.477 ล้านบาท	37.477
4. เวลาทำงาน = 25 วัน/เดือน * 12 เดือน/ปี = 300 วัน/ปี	
5. ต้นทุนคงที่	
1. ค่าแรงงานในด้านการผลิต รายละเอียดในภาคผนวก ง.1 เป็นเงิน 0.760 ล้านบาท/เดือน * 12 เดือน/ปี หรือเท่ากับ 9.120 ล้านบาท/ปี	9.120
2. ค่าแรงงานในด้านการบริหารทั่วไป รายละเอียดในภาคผนวก ง.2 เป็นเงิน 0.142 ล้านบาท/เดือน * 12 เดือน/ปี หรือเท่ากับ 1.704 ล้านบาท/ปี	1.704
3. ค่าโสหุ้ยต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบริหารทั่วไป ค่ายาและรักษาพยาบาลพนักงาน ค่าบำรุงโรงอาหาร เป็นต้น ประมาณที่ 50 % ของค่าแรงงาน หรือเท่ากับ 0.50 * 10.824 = 5.412 ล้านบาท	5.412

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
4. ค่าเสื่อมราคา -อุปกรณ์เครื่องจักรในการผลิต คิดอายุงาน 10 ปี หรือเท่ากับ 10 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร เท่ากับ 0.10 * 15.283 = 1.528 ล้านบาท -ระบบไฟฟ้า คิดอายุงาน 10 ปี หรือเท่ากับ 10 % ของมูลค่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไฟฟ้า ท่อน้ำ เท่ากับ 0.10 * 1.528 = 0.153 ล้านบาท -อาคารผลิต อาคารสำนักงาน คิดอายุงาน 20 ปี หรือเท่ากับ 5 % ของมูลค่าค่าใช้จ่ายในที่ดินและสิ่งก่อสร้าง เท่ากับ 0.05 * 12.260 = 0.613 ล้านบาท	1.528 0.153 0.613
5. ค่าประกันอัคคีภัย ประมาณที่ 2 % ของต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ หรือเท่ากับ 0.02 * 37.477 = 0.750 ล้านบาท	0.750
6. ค่าภาษีโรงเรือน ประมาณที่ 2 % ของมูลค่าต้นทุนเงินลงทุนโครงการ หรือเท่ากับ 0.02 * 37.477 = 0.750 ล้านบาท	0.750
7. ค่าชิ้นส่วนอะไหล่ของอุปกรณ์ เครื่องจักร ประมาณที่ 5 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร หรือเท่ากับ 0.05 * 15.283 = 0.764 ล้านบาท	0.764
8. ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ประมาณที่ 10 % ของมูลค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร หรือเท่ากับ 0.10 * 15.283 = 1.528 ล้านบาท	1.528
9. ดอกเบี้ยเงินกู้ (แสดงตัวเลขของปี 2542)	3.060

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
10. ชำระเงินต้น (คิดถึงปี พ.ศ 2546)	3.600
ต้นทุนคงที่	28.982
6. ต้นทุนผันแปร	
1) วัตถุดิบ (คำนวณจากข้อมูลตารางที่ 4.3.1-1 กำลังผลิตเปลือกกุ้งบด 2,600 กก/วัน)	
1. เปลือกกุ้ง = 2,700 กก./วัน * 300 วัน/ปี * 5 บาท/กก	4.050
2. เอนไซม์นิวเทรส = (2,600*5) สารละลายเปลือกกุ้ง/วัน* (0.08*10E-2) กก.เอนไซม์/สารละลายเปลือกกุ้ง *2,000 บาท/กก.เอนไซม์ * 300 วัน/ปี = 6,240,000 บาท/ปี	6.240
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เปลือกกุ้ง = 3,900 กก/วัน * 300 วัน/ปี* (1/390) แบทช์/กก. = 3,000 แบทช์/ปี (หรือ 300 เที่ยว/ปี) แบทช์ # 1 HCl conc. (V) = C1V1/C = 1*3,900/12 = 325 ลิตร แบทช์ # 2 ==> 10 HCl ที่ใช้ปรับ/แบทช์ = 0.093 โมล/ลิตร * 3,900 ลิตร = 362.7 โมล มาจาก HCl conc. = 362.7 โมล * 1/12 ลิตร/โมล* 9 แบทช์ = 272 ลิตร ∴ ต้องใช้ HCl conc. ทั้งหมด = 325 + 272 ลิตร/10 แบทช์ = 597 ลิตร * 300 เที่ยว/ปี = 179,100 ลิตร/ปี ∴ ค่าใช้จ่าย HCl conc. = 179,100 ลิตร/ปี * 45 บาท/ลิตร = 8,060,000 บาท/ปี	8.060

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
4. NaOH 2 M มาจาก NaOH = (80*10E-3) กก./ลิตร * 3,900 ลิตร = 312 กก. = 312 kg * 300 เที่ยว/ปี = 93,600 กก./ปี ∴ ค่าใช้จ่าย NaOH = 93,600 กก./ปี * 18 บาท/กก. = 1,685,000 บาท/กก.	1.685
2) วัสดุเบ็ดเตล็ด ประมาณที่ 5 % ของค่าวัตถุดิบ หรือเป็นเงิน เท่ากับ 0.05 * 20.035 = 1.002 ล้านบาท	1.002
3) ค่าเชื้อเพลิงและไฟฟ้า -ค่าเชื้อเพลิง (รายละเอียดในภาคผนวกที่ ค.1) เป็นเงิน 1.245 ล้านบาท -ค่าไฟฟ้า (รายละเอียดในภาคผนวกที่ ค.2) เป็นเงิน 5.485 ล้านบาท	1.245 5.485
4) ค่าบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง ประมาณที่ 40 % ของค่าวัตถุดิบ หรือเป็นเงิน 0.40 * 20.035 = 8.014 ล้านบาท	8.014
ต้นทุนผันแปร	35.781
7. ต้นทุนการผลิต **= ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร = 28.982 + 35.781** **= 64.763 บาท**	64.763

รายการ	ประมาณการ (ล้านบาท)
8. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี	
1. ค่าใช้จ่ายในด้านการขาย (ประมาณที่ 30 % ของต้นทุนการผลิต หรือเท่ากับ 0.30 * 64.763 = 19.429 ล้านบาท)	19.429
2. ค่าใช้จ่ายในด้านการบริหาร (ประมาณที่ 20 % ของต้นทุนการผลิต หรือเท่ากับ 0.20 * 64.763 = 12.953 ล้านบาท	12.953
3. ค่าใช้จ่ายในด้านการวิจัย (ประมาณที่ 5 % ของต้นทุนการผลิต หรือเท่ากับ = 0.05 * 64.763 = 3.238 ล้านบาท)	3.238
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี	100.383

การลงทุนสำหรับโครงการนี้ ซึ่งได้ประมาณไว้เป็นจำนวนเงิน 37.477 บาท นอกจากเงินทุนส่วนหนึ่งจะได้มาจากผู้ถือหุ้นแล้ว เงินทุนอีกส่วนหนึ่งจะได้มาในรูปของเงินกู้จากแหล่งสถาบันการเงินต่าง ๆ เช่น บรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ธนาคารพาณิชย์ต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้สมมติว่าโครงการได้รับความช่วยเหลือด้านเงินกู้จากบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จากนโยบายของบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งให้เงินกู้แก่โครงการอุตสาหกรรมโดยมีหลักเกณฑ์วงเงินกู้ไว้ว่า ปริมาณเงินกู้และส่วนเวินทุนของผู้ถือหุ้นอย่างน้อยที่สุดแล้วควรจะเท่ากัน ซึ่งหมายความว่าวงเงินให้กู้สูงสุดของสถาบันการเงินแห่งนี้ เท่ากับ ครึ่งหนึ่งของต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ จึงได้ตั้งสมมติฐานสำหรับเงินลงทุนของผู้ลงทุนและปริมาณเงินกู้จากบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยไว้ว่า โครงการจะทำการกู้ยืมเงินจำนวน 18 ล้านบาทจากบรรษัทเงินทุนแห่งประเทศไทย เพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารผลิต โกดัง และสำนักงาน พร้อมทั้งการติดตั้งระบบไฟฟ้าและท่อน้ำและค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร (มูลค่าดังกล่าวได้ประมาณไว้รวมทั้งสิ้น 18,738,500 บาท) แต่เพื่อสะดวกในการคำนวณจึงกำหนดให้กู้ยืมเงินเพียง 18 ล้านบาทเท่านั้น) สำหรับค่าใช้จ่ายลงทุนด้านอื่น ๆ จะได้จัดหามาจากผู้ลงทุนหรือผู้ร่วมลงทุนต่อไป และกำหนดสมมติฐานเงื่อนไขการกู้ยืม ดังนี้

ก. ระยะปลอดหนี้ตลอดปี พ.ศ 2541

ข. การชำระเงินกู้ให้ชำระทุกปี เป็นระยะเวลา 5 ปี ๆ ละเท่า ๆ กัน

ค. อัตราดอกเบี้ย 17 % ต่อปี

ตารางที่ 4.3.2.1-2 การชำระเงินกู้และดอกเบี้ย

ปี	เงินต้น	เงินชำระ	เงินกู้คงเหลือ	ดอกเบี้ยชำระ
2542	18	3.6	14.4	3.060
2543	14.4	3.6	10.8	2.448
2544	10.8	3.6	7.2	1.836
2545	7.2	3.6	3.6	1.224
2546	3.6	3.6	0	0.612

จากตารางที่ 4.3.2.1-1 ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ สำหรับโครงการ พิจารณาจำแนกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรของแต่ละปี ได้ดังนี้

● ในปีที่เริ่มโครงการ t = 0 ปี เดือนพฤษภาคม พ.ศ 2541

<u>ต้นทุนคงที่</u>

1. ต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ	37.477	ล้านบาท
ซึ่งรวมถึงค่าอุปกรณ์ เครื่องจักร		
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและอื่น ๆ ก่อนดำเนินการผลิต		
(จากตารางที่ 4.3.2.1-1 เท่ากับ 37.477 ล้านบาท)		
2. เงินเดือนของผู้บริหารโครงการ	0.400	ล้านบาท
(เดือนละ 50,000 บาท)		
3. เงินเดือนวิศวกรโครงการ	0.400	ล้านบาท
(2 คน ๆ ละ 25,000 บาท/เดือน)		
4. เงินเดือนเสมียน พนักงาน	0.240	ล้านบาท
(2 คน ๆ ละ 15,000 บาท/เดือน)		
5. ค่าโสหุ้ยต่าง ๆ	0.750	ล้านบาท
ซึ่งรวมถึงค่าเดินทางติดต่อ ค่าอบรมสัมนา		
ค่าธรรมเนียมในการขออนุญาตขยายโรงงาน		
ค่าใช้จ่ายในการกู้เงิน		
ซึ่งประมาณ 2 % ของต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ		
หรือเท่ากับ 0.02 * 37.477 = 0.750 ล้านบาท		
	39.267	ล้านบาท

● ในปีแรก t = 1 ปี พ.ศ 2542

<u>ต้นทุนคงที่</u>

1. เงินเดือนของผู้บริหารโครงการ	0.660	ล้านบาท
(เดือนละ 55,000 บาท)		
2. เงินเดือนวิศวกรโครงการ	0.660	ล้านบาท
(2 คน ๆ ละ 27,500 บาท/เดือน)		
3. เงินเดือนเสมียน พนักงาน	0.396	ล้านบาท
(2 คน ๆ ละ 16,500 บาท/เดือน)		
4. ค่าประกันอัคคีภัย	0.750	ล้านบาท
5. ค่าภาษีโรงเรือน	0.750	ล้านบาท
6. ค่าโสหุ้ยต่าง ๆ	1.874	ล้านบาท
ซึ่งรวมถึงค่าเดินทางติดต่อ ค่าอบรมสัมนา		
ค่าธรรมเนียมในการขออนุญาตขยายโรงงาน		
ค่าใช้จ่ายในการกู้เงิน และค่าทดสอบก่อนการผลิต		
ซึ่งประมาณ 5 % ของต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ		
หรือเท่ากับ 0.05 * 37.477 = 1.874 ล้านบาท		
7. ดอกเบี้ยเงินกู้ (ปี พ.ศ 2542)	3.060	ล้านบาท
8. ชำระเงินต้น (คิดถึงปี พ.ศ 2546)	3.600	ล้านบาท
	11.750	ล้านบาท

● ในปีที่ 2 ถึงปีที่ 10 t =2 ถึง t = 10 ปี พ.ศ 2543-2551

ต้นทุนคงที่

1. ค่าแรงงานในด้านการผลิต	9.120	ล้านบาท
2. ค่าแรงงานในด้านการบริหารทั่วไป	1.704	ล้านบาท
3. ค่าโสหุ้ยต่าง ๆ (ตารางที่ 4.3.2.1-1)	5.412	ล้านบาท
4. ค่าประกันอัคคีภัย	0.750	ล้านบาท
5. ค่าภาษีโรงเรือน	0.750	ล้านบาท
6. ค่าชิ้นส่วนอะไหล่ของอุปกรณ์ เครื่องจักร	0.764	ล้านบาท
7. ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา	1.528	ล้านบาท
8. ดอกเบี้ยเงินกู้	2.448	ล้านบาท
(คิดถึงปี พ.ศ 2546 และแสดงตัวเลขของปี พ.ศ 2543)		
9. ชำระเงินต้น (คิดถึงปี พ.ศ 2546)	3.600	ล้านบาท
	26.076	ล้านบาท

ต้นทุนผันแปร (คำนวณที่ยอดผลิต 100 %)

1. ค่าวัตถุดิบ	20.035	ล้านบาท
2. ค่าวัสดุเบ็ดเตล็ด	1.002	ล้านบาท
3. ค่าเชื้อเพลิงและไฟฟ้า	6.730	ล้านบาท
4. ค่าบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง	8.014	ล้านบาท
5. ค่าใช้จ่ายในด้านการขาย	19.429	ล้านบาท
ประมาณที่ 30 % ของต้นทุนการผลิต		
หรือเท่ากับ 0.30 * 64.763 = 19.429 ล้านบาท		
6. ค่าใช้จ่ายในด้านการบริหาร	12.953	ล้านบาท
ประมาณที่ 20 % ของต้นทุนการผลิต		
หรือเท่ากับ 0.20 * 64.763 = 12.953 ล้านบาท		

6. ค่าใช้จ่ายในด้านการวิจัย 3.238 ล้านบาท

ประมาณที่ 5 % ของต้นทุนการผลิต

หรือเท่ากับ = 0.05 * 64.763 = 3.238 ล้านบาท

71.401 ล้านบาท

-ปีที่ 2 พ.ศ 2543 ประมาณยอดผลิต 60 %

∴ ต้นทุนผันแปร = 0.60 * 71.401 = 42.841 ล้านบาท

-ปีที่ 3 พ.ศ 2544 ประมาณยอดผลิต 70 %

∴ ต้นทุนผันแปร = 0.70 * 71.401 = 49.981 ล้านบาท

-ปีที่ 4-10 พ.ศ 2545-2551 ยอดผลิต 100 %

∴ ต้นทุนผันแปร = 1* 71.401 = 71.401 ล้านบาท

4.3.2.2 การประเมินเพื่อตัดสินใจในโครงการลงทุน

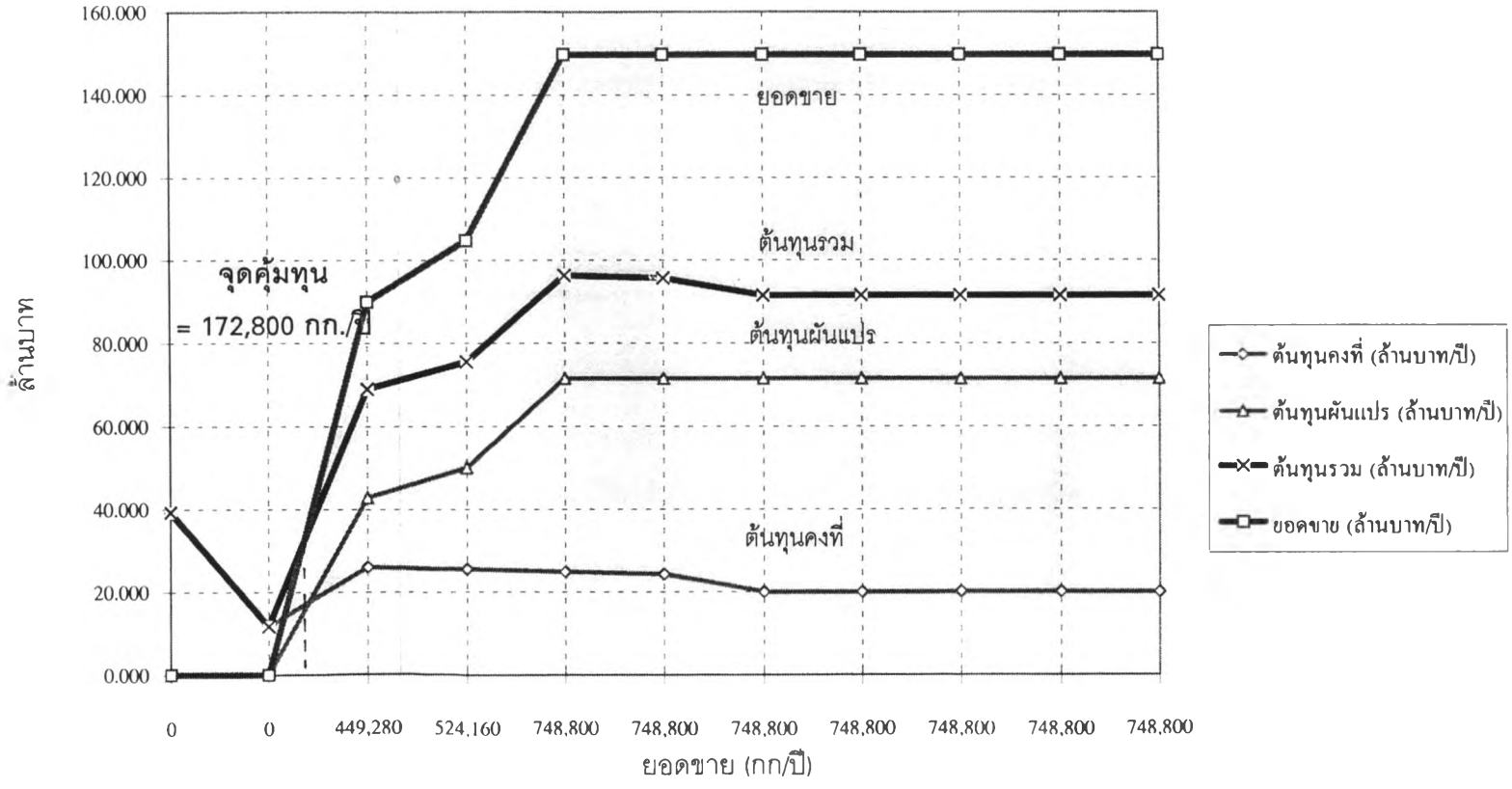
การวิเคราะห์ผลกำไร/ขาดทุนของโครงการ ประมาณว่าใช้เวลาประมาณ 2 ปี (1 ปี 8 เดือน เนื่องจากเริ่มโครงการเดือน พฤษภาคม) สำหรับการเริ่มโครงการโดยที่ยังไม่มีสินค้าออกมาจำหน่าย โดยจะเริ่มโครงการ เดือน พฤษภาคม พ.ศ 2541 ซึ่งจะเป็นงานก่อสร้างอาคารผลิต โกดัง สำนักงาน ติดต่อขออนุญาตขยายโรงงาน สั่งซื้ออุปกรณ์ เครื่องจักร ติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักร และระบบต่าง ๆ ทดสอบการเดินเครื่องก่อนการผลิต และจะเริ่มเดินเครื่องจักร ผลิตสินค้าออกมาจำหน่ายได้ในปี พ.ศ 2543 โดยปริมาณหน่วยที่ผลิตและจำหน่ายจะเพิ่มขึ้น จากปีแรกที่ผลิต พ.ศ 2543 ประมาณที่ 60 % ของกำลังการผลิตสูงสุด หรือเท่ากับ 0.60*2,496*300 เท่ากับ 449,280 กิโลกรัมต่อปี เป็น 70 % ของกำลังการผลิตสูงสุด ในปี พ.ศ 2544 และเป็น 100 % ในปีถัดไป และสินค้าทั้งสารปรุงแต่งกลิ่นรสกุ้ง และไคติน ประมาณราคาจำหน่ายเฉลี่ยที่ 200 บาทต่อกิโลกรัม โดยกำหนดให้มีราคาขายต่ำกว่าราคาสินค้าสารแต่งกลิ่นรสกุ้งและราคาไคตินที่สั่งเข้ามาจำหน่ายจากต่างประเทศ จากข้อมูลที่สอบถามราคาไคตินที่มีค่า degree of acetylation ประมาณ 80 % จากประเทศญี่ปุ่น มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 500 บาท และราคาสารแต่งกลิ่นรสกุ้งจากประเทศสิงค์โปร์ มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 300-500 บาท

วิเคราะห์จุดคุ้มทุนหรือจุดเสมอตัวของโครงการ ซึ่งนับเป็นการวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานที่ใช้ความสัมพันธ์ของยอดขายและต้นทุนรวม ซึ่งได้แก่ ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนผันแปร (Variable Cost) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Analysis) เป็นการวางแผนกำไรและช่วยในการวางแผนการผลิตกับปริมาณยอดขายที่ได้จากการคาดคะเนภายใต้ศักยภาพหรือความสามารถของฝ่ายการตลาดและฝ่ายขายว่าเหมาะสมหรือคุ้มค่าที่จะลงทุนผลิตหรือไม่ เนื่องจากเป็นการพิจารณาที่ระดับที่ยอดขายจะเท่ากับค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น ตารางที่ 4.3.2.2-1 แสดงการวิเคราะห์ผลกำไร/ขาดทุนของโครงการ และรูปที่ 4.3.2.2-1 แลดงจุดคุ้มทุนในการลงทุน สำหรับโครงการนี้มีจุดคุ้มทุนที่ยอดขาย เท่ากับ 172,800 กิโลกรัม/ปี

ตารางที่ 4.3.2.2-1 การวิเคราะห์ผลกำไร/ขาดทุนของโครงการ

ปีที่	ยอดขาย ต่อปี (กก)	ต้นทุนคงที่ (ล้านบาท/ปี)	ต้นทุนผันแปร (ล้านบาท/ปี)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท/ปี)	ยอดขาย (ล้านบาท/ปี)	กำไร/ขาดทุน (ล้านบาท/ปี)	กำไร/ขาดทุน สะสม (ล้านบาท)	ราคาทุน (บาท/กก)
0	0	39.267	0.000	39.267	0.000	-39.267	-39.267	-
1	0	11.750	0.000	11.750	0.000	-11.750	-51.017	-
2	449,280	26.076	42.841	68.917	89.856	20.939	-30.078	153
3	524,160	25.464	49.981	75.445	104.832	29.387	-0.690	144
4	748,800	24.852	71.401	96.253	149.760	53.507	52.817	129
5	748,800	24.240	71.401	95.641	149.760	54.119	106.936	128
*6	748,800	20.028	71.401	91.429	149.760	58.331	165.267	122
*7	748,800	20.028	71.401	91.429	149.760	58.331	223.598	122
*8	748,800	20.028	71.401	91.429	149.760	58.331	281.929	122
*9	748,800	20.028	71.401	91.429	149.760	58.331	340.260	122
*10	748,800	20.028	71.401	91.429	149.760	58.331	398.591	122

* ไม่คิดค่าชำระเงินต้นและดอกเบี้ยเงินกู้



รูปที่ 4.3.2.2-1 จุดคุ้มทุนในการลงทุน

เกณฑ์การตัดสินใจว่าควรจะยอมรับโครงการลงทุนหรือไม่ มีหลายวิธี สำหรับงานวิจัยนี้จะแสดงถึงวิธี ดังนี้

1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)
2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV)
3. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return หรือ IRR)
4. ดัชนีกำไร (Profitability Index หรือ PI)

<u>ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)</u>

เป็นวิธีที่แสดงว่าจำนวนปีที่ธุรกิจคาดว่าจะได้รับเงินสดที่จ่ายลงทุนคืน จากกระแสเงินสดสุทธิที่ได้จากโครงการ วิธีนี้เป็นวิธีแรกที่จะนำมาใช้ในการประเมินโครงการลงทุน จากตารางที่ 4.3.2.2-1 คำนวณระยะเวลาคืนทุน จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}}$$

$$= 4 + (-0.690/53.507)$$

$$\sim 4 \text{ ปี}$$

จะได้ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ประมาณ 4 ปี

เนื่องจากระยะเวลาคืนทุน ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาที่ธุรกิจจะได้รับเงินลงทุนคืนจากโครงการ ดังนั้น หากระยะเวลาคืนทุนสั้นมากเพียงใด ขณะที่ทุกสิ่งคงที่ระยะเวลาคืนทุนจะแสดงถึงสภาพคล่องของโครงการ เนื่องจากกระแสเงินสดที่จะได้รับคืนในระยะยาวจะมีความเสี่ยงมากกว่ากระแสเงินสดที่จะได้รับคืนในระยะสั้น ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นวิธีที่นำมาใช้ประเมินความเสี่ยงของโครงการอย่างคร่าว ๆ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV)

เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนมีข้อเสีย คือ ไม่ได้คำนึงถึงค่าของเงินตามระยะเวลา (Time value of money) ดังนั้น วิธีการที่จะช่วยปรับปรุงประสิทธิผลในการประเมินโครงการวิธีหนึ่ง คือ วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV)

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

โดย CF_t คือ กระแสเงินสดสุทธิที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลา t

k เท่ากับ 20 % เนื่องจากเป็นอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ยอมรับกันทั่ว ๆ ไปในประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งมากกว่าอัตราดอกเบี้ยสูงสุดที่พึงจะได้รับจากการนำเงินไปฝากสถาบันการเงิน

t คือ ปีการดำเนินงาน t = 0 ในปี พ.ศ 2541

n คือ จำนวนปีดำเนินโครงการ

$$NPV = (-39.267)/(1.2)^0 - (11.750)/(1.2)^1 + (20.939)/(1.2)^2 + (29.387)/(1.2)^3 + (53.507)/(1.2)^4 + (54.119)/(1.2)^5 + (58.331)/(1.2)^6 + \ldots\ldots\ldots\ldots + (58.331)/(1.2)^{10}$$

$$= 100.148 \text{ ล้านบาท}$$

หลักการและเหตุผลสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ มูลค่าของธุรกิจเป็นผลรวมของมูลค่าของส่วนต่าง ๆ ของธุรกิจ ถ้าธุรกิจเลือกโครงการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์ ฐานะของผู้ถือหุ้นเดิมจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าธุรกิจจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ราคาหุ้นของธุรกิจจะไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม ถ้าธุรกิจเลือกโครงการที่มีมูล

ค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก ฐานะของผู้ถือหุ้นเดิมจะดีขึ้น จะทำให้เกิดความมั่งคั่งแก่ผู้ถือหุ้นของธุรกิจเพิ่มขึ้น สำหรับโครงการนี้มีค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV เท่ากับ 100.148 ล้านบาท

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Discounted Cash Flow Rate of Return หรือ DCFRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ หมายถึง อัตราลด (Discount Rate หรือ r) ซึ่งทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับที่คาดว่าจะได้รับรวมทั้งโครงการ เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายของโครงการ

กระแสเงินสดรับ = กระแสเงินสดจ่าย

หรือ $$\sum_{t=0}^{n} \frac{Cf_t}{(1+r)^t} = 0$$

Cf_t คือ กระแสเงินสดรับหรือจ่ายสุดท้าย (Net Cash Flow) ในแต่ละปี

t คือ ปีการดำเนินงาน

r คือ อัตราส่วนลด หรืออัตราดอกเบี้ยที่จะทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย

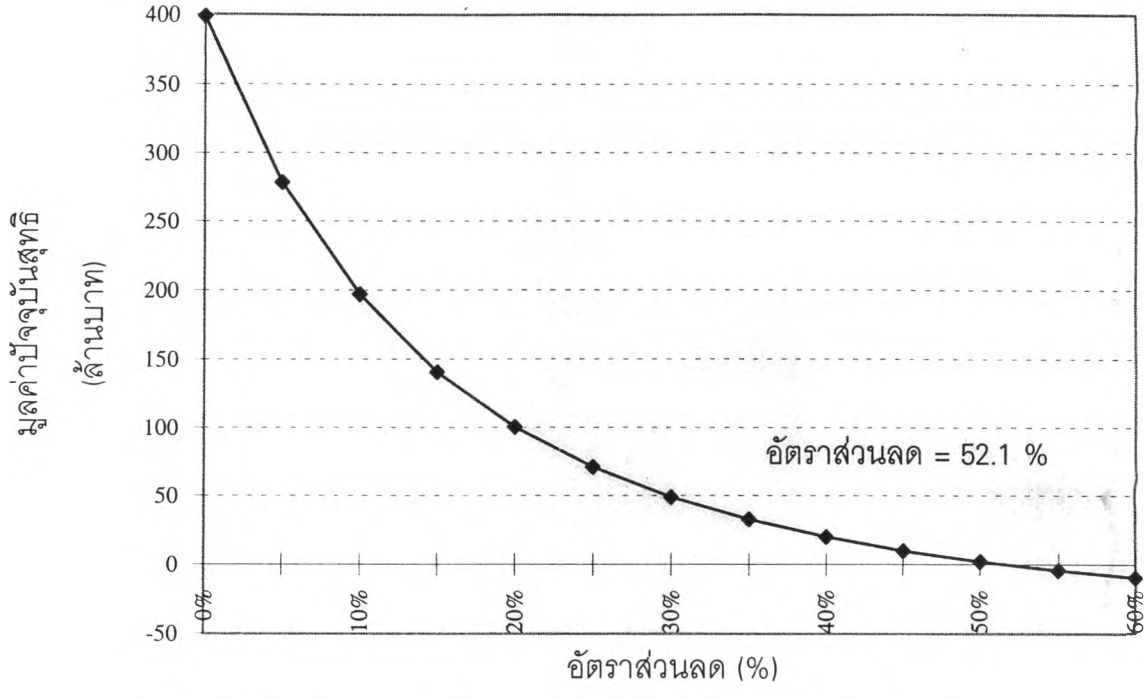
n คือ จำนวนปีดำเนินโครงการ

อัตราส่วนลด : r	NPV	
0 %	398.590	ล้านบาท
5 %	278.218	ล้านบาท
10 %	196.883	ล้านบาท
15 %	140.218	ล้านบาท
20 %	100.148	ล้านบาท
25 %	70.833	ล้านบาท
30 %	49.034	ล้านบาท
35 %	32.520	ล้านบาท
40 %	19.810	ล้านบาท
45 %	9.844	ล้านบาท
50 %	1.949	ล้านบาท
55 %	-4.392	ล้านบาท
60 %	-9.544	ล้านบาท

โดยวิธีการเขียนกราฟ วิธีนี้จะช่วยในการหาค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ โดยทำการสร้างจุด และลากเส้นโค้งที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ และอัตราส่วนลดที่ใช้ในการคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ เส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ เรียกว่า Net Present Value *Profile*

หลักการและเหตุผลสำหรับวิธีอัตราผลตอบแทนของโครงการ คือ บอกให้ทราบว่าโครงการ "คุ้มทุน" หรือไม่ กล่าวคือ ถ้าธุรกิจจำเป็นต้องใช้เงินเพื่อการลงทุนโดยการกู้ยืมจากธนาคาร และเสียดอกเบี้ยในอัตราที่ธนาคารกำหนด อัตราผลตอบแทนของโครงการที่มากกว่าต้นทุนเงินทุนที่ได้มาจากการกู้ยืมเพื่อใช้ในโครงการลงทุน แสดงว่า ธุรกิจจะมีกระแสเงินสดเพียงพอที่จะจ่ายดอกเบี้ยจากการกู้ยืมตลอดอายุโครงการและในปีสิ้นสุดโครงการจะมียอดเงินกู้ที่แตกต่างเป็นบวก ซึ่งเป็นส่วนที่มากกว่าเงินลงทุนและจะมีผลในการเพิ่มมูลค่าหุ้นของธุรกิจ ส่งผลต่อผู้ถือหุ้นของธุรกิจ

จากรูปที่ 4.3.2.2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราส่วนลด สำหรับโครงการนี้ จะมีค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ เท่ากับ 52.1 %



รูปที่ 4.3.2.2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราส่วนลด

ดัชนีกำไร (Profitability Index หรือ PI)

วิธีการประเมินโครงการอีกวิธีหนึ่ง คือ ดัชนีกำไร (Profitability Index หรือ PI) หรือบางครั้งเรียกว่า อัตราส่วนผลประโน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio)

$$PI = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินสดจ่าย}}$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{CIF_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{COF_t}{(1+k)^t}}$$

โดยที่ CIF_t คือ กระแสเงินสดรับที่คาดว่าจะได้รับ หรือผลประโยชน์

COF_t คือ กระแสเงินสดจ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น หรือเงินสดจ่าย

$$PI = [\,(20.939)/(1.2)^2 + (29.387)/(1.20)^3 + (53.507)/(1.2)^4 + (54.119)/(1.2)^5 + (58.331)/(1.2)^6 + \ldots\ldots\ldots\ldots + (58.331)/(1.2)^{10}\,] \,/\, [\,(39.267)/(1.2)^0 + (11.750)/(1.2)^1\,]$$

$$= \frac{149.206}{49.059} = 3.04$$

ดัชนีกำไร แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการหากำไรของโครงการหรือมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ที่จะได้รับต่อเงินสดจ่าย 1 บาท ตามวิธีดัชนีกำไร ธุรกิจจะยอมรับโครงการที่ดัชนีกำไรมากกว่า 1.0 และหากค่าดัชนีกำไรยิ่งสูงมากเพียงใด โครงการนั้นก็จะถูกจัดลำดับในลำดับที่สูงขึ้น สำหรับโครงการนี้ มีค่าดัชนีกำไรเท่ากับ 3.04

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) (ข้อมูลในภาคผนวก จ) โดยการคำนึงถึงกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลเสียต่อโครงการ 3 กรณี คือ

1. เมื่อราคาจำหน่ายของสินค้าไม่เป็นไปตามโครงการ คือ ราคาลดลงจากราคาโครงการ 20 % เท่ากับ 160 บาทต่อกิโลกรัม
2. เมื่อปริมาณการผลิต ตั้งแต่ปี พ.ศ 2545 เป็นต้นไป คงที่ ที่ 80 % ของกำลังการผลิตสูงสุด
3. เมื่อราคาจำหน่ายเป็นไปตามโครงการ แต่ราคาวัตถุดิบสูงกว่าราคาตามโครงการร้อยละ 10

จากผลการวิเคราะห์ความไว สรุปได้ว่า

ตารางที่ 4.3.2.2- ผลการวิเคราะห์ความไว

รายการ	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (ล้านบาท)	อัตราผลตอบแทน (%)	ดัชนีกำไร
1. ราคาจำหน่ายลดลง	5 ปี 8 เดือน	13.055	26	1.27
2. ปริมาณการผลิตลดลง	4 ปี 1 เดือน	67.456	44.5	2.37
3. ราคาวัตถุดิบสูงขึ้น	4 ปี 1 เดือน	91.698	49.4	2.87