

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด

STUDY PRODUCTION OF CALCIUM CHLORIDE FROM EGG SHELL

โดย

นายปริชา ทำเสนา

รฟ  
ร/467ก  
2545

เลขที่.....  
เลขทะเบียน 49821  
รับ, เดือน, ปี 31 ส.ค. 2547

b.....  
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b112

## บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

ปีการศึกษา 2545

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด		
	Study Production of Calcium Chloride From Egg Shell		
ชื่อ-สกุล	นายปรีชา	ท่าเลนา	
สาขาวิชา	อุตสาหกรรมเกษตร		ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สราวุธ	อินทรเทศ	

### บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด โดยนำเปลือกไข่มาทำการสกัดหาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีอยู่ในเปลือกไข่ พบว่าขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแคลเซียมคลอไรด์ คือการนำเปลือกไข่มาอบแห้งแล้วนำไปบดให้ละเอียดแล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไปทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่ที่บดเรียบร้อยแล้ว ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุด คือใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 % (w/v) ปริมาณ 100 มล. (น้ำหนัก/ปริมาตร) เติกลงไปในเปลือกไข่ 10 กรัม และ 20 กรัม ปล่อยให้ทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้กรดแยกเกลือแคลเซียมคลอไรด์ออกมา จากนั้นนำไปแยกส่วนของเหลวและของแข็งออกจากกันโดยใช้หลอดฉีดยาดูดส่วนใสแล้วให้ความร้อน 60°ซ นาน 20 นาที เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง 1774 xg เป็นเวลานาน 10 นาที ดูเอาส่วนใสมาทำการระเหยให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 - 115°ซ จนได้ผลึกของแคลเซียมคลอไรด์ออกมา วิธีการสกัดนี้จะได้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ด 10 กรัม และ 20 กรัม คือ 3.454 และ 8.136 จากเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม และ 20 กรัม คือ 2.880 และ 7.873

เมื่อนำแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากการสกัดจากเปลือกไข่มาทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างในคุณลักษณะทางกายภาพของแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้นั้น พบว่าแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ดนั้น ไม่มีความแตกต่างทางด้านกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จะพบว่าปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดจากเปลือกไข่เป็ดจะมีปริมาณสูงกว่าเปลือกไข่ไก่ เท่ากับ 1.32 % และ 5.86 % จากผลผลิตที่สกัดได้ และแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้เมื่อนำไปทดสอบ กับแดงกวาโดยนำแดงกวานั้นไปคองเป็นระยะเวลา 7 วันพบว่าแดงกวานั้นมีความแข็ง และกรอบ ขึ้น จากแดงกวาที่คองโดยไม่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดไปคองพบว่า แแดงกวานั้นมีความนุ่มและ เนื้อสัมผัสด้านในมีลักษณะเป็นน้ำ แสดงว่าแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้นั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ แคลเซียมคลอไรด์ทางการค้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จล่วงไปด้วยดี โดยได้รับการช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านด้วยกัน โดยเฉพาะท่านอาจารย์ศราวุธ อินทรเทศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งข้อบกพร่องแนวทางการแก้ไขต่าง ๆ เพื่อให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขอขอบคุณภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่ได้อนุเคราะห์ช่วยเหลือในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่ ๆ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ที่ให้ยืมอุปกรณ์และให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์เป็นอย่างดีในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ และที่สำคัญอย่างยิ่งขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ชั้นปีที่ 2 (ต่อเนื่อง) จากสาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่ได้ช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์

ความคิดของปัญหาพิเศษฉบับนี้ ขอมอบให้กับบิดา มารดาผู้ให้กำเนิดและเป็นทุกสิ่งทุกอย่างในชีวิต พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนในครอบครัว อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ เพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและร่วมแก้ไขปัญหา ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่กรุณาให้ความสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังใจกำลังทรัพย์จนทำให้ปัญหาพิเศษสำเร็จล่วงไปด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ปรีชา ท่าเสนา

กันยายน 2545

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษ .....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของปัญหา .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>บทที่ 2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>3</b>
2.1 โครงสร้างของไข่ทั้งฟอง .....	3
2.2 ลักษณะภายในของไข่ .....	4
2.3 คุณสมบัติของไข่ทั้งเปลือก .....	10
2.4 คุณสมบัติของเปลือกหิมนปูน .....	12
2.5 แคลเซียมคลอไรด์ .....	13
2.6 คุณสมบัติทางหน้าที่และประโยชน์จากแคลเซียมคลอไรด์ .....	16
<b>บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ .....</b>	<b>18</b>
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	18
3.2 วิธีการ .....	19
3.3 สถานที่ทำการวิจัย .....	21
3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย .....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	22
บทที่ 5 สรุปลงและข้อเสนอแนะ .....	31
บรรณานุกรม .....	32
ภาคผนวก .....	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สัตว์ส่วนไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิด .....	4
2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ .....	7
3 องค์ประกอบต่าง ๆ ของเปลือกไข่ .....	7
4 ผลการทดลองปริมาณ $\text{CaCl}_2$ ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม.....	23
5 ผลการทดลองปริมาณ $\text{CaCl}_2$ ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่ไก่ 20 กรัม.....	24
6 ผลการทดลองปริมาณ $\text{CaCl}_2$ ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่เป็ด 10 กรัม.....	25
7 ผลการทดลองปริมาณ $\text{CaCl}_2$ ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่เป็ด 20 กรัม.....	26
8 การเปรียบเทียบปริมาณ $\text{CaCl}_2$ จากปริมาณเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 10 กรัม ....	27
9 การเปรียบเทียบปริมาณ $\text{CaCl}_2$ จากปริมาณเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 20 กรัม ....	27
10 ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการสกัด $\text{CaCl}_2$ จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 10 กรัม....	29
11 ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการสกัด $\text{CaCl}_2$ จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 20 กรัม.....	29

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของไข่ .....	3
2 เปลือกไข่ผ่าตามหน้าตัดด้านข้างขยายใหญ่จากของจริง .....	6
3 แหล่งของแคลเซียมคาร์บอเนต ในการสร้าง $\text{CaCO}_3$ ของเปลือกไข่ และการผ่านของแร่ธาตุต่าง ๆ.....	9
4 ลักษณะ โครงสร้างของเปลือกไข่ที่สมบูรณ์ .....	10
5 โครงสร้างของแคลเซียมคลอไรด์ .....	13
6 ผังการผลิตแคลเซียมคลอไรด์ จากเปลือกไข่ .....	20
7 ปริมาณของ $\text{CaCl}_2$ ในแต่ละทริทเมนต์ในปริมาณของเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม.....	23
8 ปริมาณของ $\text{CaCl}_2$ ในแต่ละทริทเมนต์ในปริมาณของ เปลือกไข่ไก่ 20 กรัม ...	24
9 ปริมาณของ $\text{CaCl}_2$ ในแต่ละทริทเมนต์ในปริมาณของเปลือกไข่เป็ด 10 กรัม ...	25
10 ปริมาณของ $\text{CaCl}_2$ ในแต่ละทริทเมนต์ในปริมาณของเปลือกไข่เป็ด 20 กรัม...	26
11 ลักษณะของ $\text{CaCl}_2$ ที่สกัดได้จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด.....	28

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ไข่เป็นอาหารที่ย่อยง่าย มีรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารสูงจึงนิยมนำรับประทานกันทั่ว โดยทั่วไปในลักษณะ สุก ดิบ หรือใช้เป็นส่วนผสมของอาหารต่าง ๆ เช่น ขนมเค้ก บะหมี่ น้ำสลัด เป็นต้น ไข่ที่นิยมนำรับประทานมากที่สุดคือ ไข่ไก่ โดยปกติไข่แต่ละฟองจะมีน้ำหนักประมาณ 40 – 60 % เป็นเปลือกไข่และเยื่อหุ้มเนื้อไข่ประมาณ 11 % มีไข่ขาวประมาณ 58 % และไข่แดงประมาณ 31 % ในเปลือกไข่ทั้งฟองจะมีอนินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบถึง 95 % ในจำนวนนี้จะมีแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ประมาณ 94 – 97 % มีสารอินทรีย์และเม็ดสีประเภทต่าง ๆ 3 – 6 % (พวงพร โชติกไกร, 2542 : 169)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเปลือกไข่มีปริมาณของแคลเซียมที่สามารถนำมาสกัดเป็นแคลเซียมคลอไรด์ได้และแคลเซียมคลอไรด์โดยตามธรรมชาติจะมีอยู่หลายรูปแบบทั้ง แอนไฮโดรอสแคลเซียมคลอไรด์ (anhydrous calcium chloride ;  $\text{CaCl}_2$ ), ไฮเดรตแคลเซียมคลอไรด์ (hydrated calcium chloride ) calcium chloride monohydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) และ calcium chloride dihydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ในแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามลักษณะทางเคมี (Food and Nutrition Board Division of Biological Science, 1981 : 320 )

โดยทั่วไปการใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่มักจะนิยมนำมาใช้ในรูปของอาหารสัตว์หรือปุ๋ย โดยการนำไปตากแห้งแล้วบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้สัตว์ได้อีก แต่จากการนำเอาเปลือกไข่มาทำเป็นอาหารสัตว์หรือปุ๋ยนั้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำและเป็นการใช้เปลือกไข่อย่างไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ตามองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่จะเห็นว่าปริมาณของเกลือแคลเซียมอยู่มากจึงควรหาวิธีใช้ประโยชน์จากเกลือแคลเซียมเหล่านี้โดยทำการสกัดแคลเซียมออกมาให้อยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์เพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีกมากมาย เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความเข้มข้น(thickener) ในผลิตภัณฑ์นมข้นหวาน, นมผง ธรรมชาติและครีมผง เป็นสารให้ความแน่นเนื้อ (firming agent) ในผักและผลไม้เพื่อให้เกิดการคงรูป ได้แก่ แดงกวาดอง ผลไม้ดองและผลไม้แช่อิ่ม ในแฮมและเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบ (งานควบคุมมาตรฐาน กองควบคุมอาหาร, 2530 : 81)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดแคลเซียมในเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ดให้อยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์
2. เพื่อศึกษาปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ในเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด
3. เพื่อศึกษาความแตกต่างของแคลเซียมคลอไรด์ระหว่างเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด

## 1.3 ขอบเขตของปัญหา

ศึกษาวิธีการสกัดแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด เพื่อเปรียบเทียบปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์และความแตกต่างของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

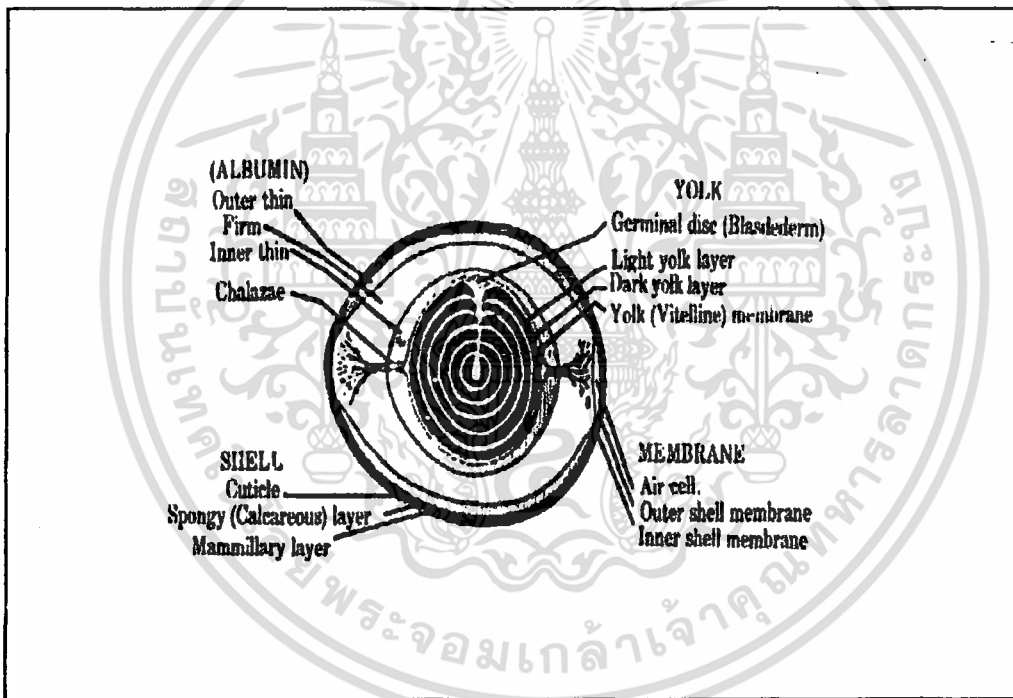
1. ทราบวิธีและขั้นตอนในการสกัดแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด
2. ได้ทราบข้อแตกต่างของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ในปริมาณที่แตกต่างกันระหว่างไข่ไก่และไข่เป็ด
3. แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่สามารถนำไปใช้เป็นสารที่เพิ่มเติมลงในอาหารต่างๆ เพื่อให้เกิดคุณลักษณะที่ดีขึ้น

## บทที่ 2

### การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โครงสร้างของไข่ทั้งฟอง (structure of the egg)

โครงสร้างไข่ทั้งฟองของสัตว์ปีกต่าง ๆ รวมทั้งเป็ด ไก่ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ มีสัดส่วนใกล้เคียงกันทุกฟอง จะมีปริมาณต่างกันตามขนาดและชนิดของสัตว์ปีก



ภาพที่ 1 โครงสร้างของไข่

ที่มา : พวงพร โชติกไกร, 2542 : 168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1** สัดส่วนไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิด

ชนิด	น้ำหนัก (กรัม)	ไข่ขาว (%)	ไข่แดง (%)	เปลือกไข่ (%)
ไข่ห่าน	200	52.5	35.1	12.4
ไข่เป็ด	80	52.6	35.4	12.0
ไข่ไก่	58	55.8	31.9	12.3
ไข่นกพิราบ	17	74.0	17.9	8.1

ที่มา : สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2522 : 10

## 2.2 ลักษณะภายในของไข่

ไข่ทั้งฟองแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ ส่วนที่อยู่ใต้เปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ ใช้เป็นอาหาร ได้แก่ ไข่ขาวและไข่แดง ซึ่งมีอยู่ประมาณ 89 % ของน้ำหนักทั้งเปลือกไข่ ส่วนที่หลักของเปลือกไข่ คือ ช่วยรักษาคุณภาพภายในของไข่ไม่ให้เสื่อมเสียได้ง่าย

### เปลือกไข่

ไข่ที่ออกมาใหม่ ๆ เปลือกไข่จะค่อนข้างโปร่งแสง ต่อมาจะค่อย ๆ ขุ่นทึบแสงลงถ้าใช้เครื่องส่องไข่ส่องดูจะเห็นมีลักษณะตามที่แสงผ่านเป็นจุดเล็ก ๆ ในบริเวณใต้เปลือก ทั้งนี้เนื่องจากการรวมตัวของโปรตีนจนเป็นชั้นหรือเป็นแผ่น ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยเก็บรักษาความชื้นและยังเป็นส่วนที่แสงผ่านได้

เปลือกไข่เป็นหินปูนแข็งเรียบติดแน่นอยู่กับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก ซึ่งเยื่อเปลือกไข่และเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอกนี้จะแยกออกได้ยาก ความหนาของเปลือกมักขึ้นอยู่กับขนาดของไข่ ไข่ใหญ่มีเปลือกหนากว่าไข่เล็ก หน้าที่ของเปลือกไข่โดยธรรมชาติต้องทนรับน้ำหนักของแม่พันธุ์เวลากกฟักไข่ และมีความบางพอที่จะให้ลูกไก่จะเจาะดินออกไปจากเปลือกนี้ได้ ถ้าเปลือกไข่แบบที่ไม่มี ความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักกดทับหรือกระทบกระเทือน

เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นสำคัญ 2 ชั้นคือ เปลือกชั้นนอก (spongy layer) และเปลือกชั้นใน (mamillary layer) ชั้นนอกเป็นรูปแคลเซียมในผลึกของหินปูน (calcite) ตั้งตรงกับแกนยาวของผลึกกับผิวเปลือก เป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุดและแน่นที่สุด ถัดเข้าไปชั้นในนั้นแร่ธาตุต่าง ๆ ของเปลือกไม่อยู่ในรูปผลึก แต่มีส่วนผสมเป็นสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟต

เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนี้เป็นชั้นนอกที่ฉาบติดกับเปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่ผนึกกันแน่น และมีรูเล็ก ๆ จำนวนมากเชื่อมโยงจากชั้นในมาเปิดที่ชั้นนี้เป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำแต่แข็งแรงมาก

เมื่อถูกกรดละลายแคลเซียมออกไปชั้นนี้จะอ่อนนุ่มคล้ายกับฟองน้ำ ส่วนประกอบของชั้นนี้เมื่อย้อมด้วยยีสโปรตีน (protein staining) จะเห็นว่าเป็นมันไม้ทั่วผิวเปลือก แต่จะมีมากขึ้นตอนที่ติดกับเปลือกชั้นใน สีนี้นำให้เห็นเปลือกชั้นนอกนี้แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามลักษณะของเส้นใยโปรตีน (matrix fiber) คือชั้นที่อยู่ข้างในมีเส้นใยมากกว่าชั้นกลาง ชั้นนอกมีเส้นใยน้อยที่สุด

เปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่บางของเปลือกไข่ อยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก ประกอบด้วย ปุ่มพื้นเปลือกลักษณะหยาบ ๆ (mammilla) ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตั้งแต่ทรงรูปไข่ถึงทรงกลม ปุ่มเหล่านี้ผนึกเป็นชั้นเดียวอยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ ปลายปุ่มผายออกไปเปิดที่เยื่อหุ้มไข่ชั้นในเป็นทางผ่านของอากาศให้กระจายไปทั่วเปลือกชั้นนี้ ไปสู่บริเวณปลายปุ่มพื้นเปลือก ดังแสดงในภาพที่ 1 และถ้าผ่าเปลือกไข่ไปแช่กรดอย่างอ่อน (weak acid) ส่วนที่เป็นแคลเซียมกับเกลือแร่ต่าง ๆ จะละลายออกไปจะเหลือแต่พื้นเปลือก (matrix) เยื่อเปลือกไข่ติดแน่นอยู่กับเปลือกไข่ แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เยื่อชั้นในซึ่งอยู่ล้อมรอบไข่ขาว และเยื่อชั้นนอกอยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือก เยื่อชั้นนี้จะผนึกแน่นกับเปลือกชั้นใน เยื่อเปลือกไข่นี้มีเม็ดสีพอร์ฟิริน (porphyrin pigment) อยู่เล็กน้อย ทำให้เยื่อเปลือกไข่มีสีชมพูอ่อน (albuminous cementing material) โยงยึดกันระหว่างเส้นใยโปรตีนเหล่านี้

ผิวนอกของเปลือกไข่จะมีเยื่อมีวชิเนเคลือบติดแน่น เรียกว่า เคลือบผิวไข่ (cuticle) ซึ่งจะมีคุณสมบัติให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ นอกจากนี้ ที่เปลือกไข่ยังมีเม็ดสี (pigment) ซึ่งเกิดจากเม็ดโลหิตแดงและพบเม็ดสีนี้ที่เยื่อเปลือกไข่บ้างเล็กน้อย โดยเม็ดสีเหล่านี้ปะปนอยู่กับเกลือแคลเซียมของเปลือกไข่และพบเม็ดสีนี้ที่เปลือกไข่ชั้นนอกมากกว่าเปลือกไข่ชั้นใน

### เยื่อหุ้มไข่

เยื่อหุ้มไข่มี 2 ชั้นคือ outer shell membrane เป็นเยื่อที่อยู่ติดกับเปลือกไข่ inner shell membrane เป็นเยื่อที่อยู่ติดกับไข่ขาว เยื่อทั้ง 2 ชั้นนี้จะอยู่ติดกันตลอด จะไปแยกกันตรงด้านป้านของไข่ซึ่งมีโพรงอากาศ ขนาดของโพรงอากาศแสดงถึงคุณภาพของไข่ที่ออกมาใหม่ ๆ จะมีโพรงอากาศขนาดเล็กซึ่งถือว่ามีความปกติ เมื่อทำการเก็บไข่ไว้ ไข่จะสูญเสีย น้ำ ทำให้โพรงอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งถือว่ามีความผิดปกติ

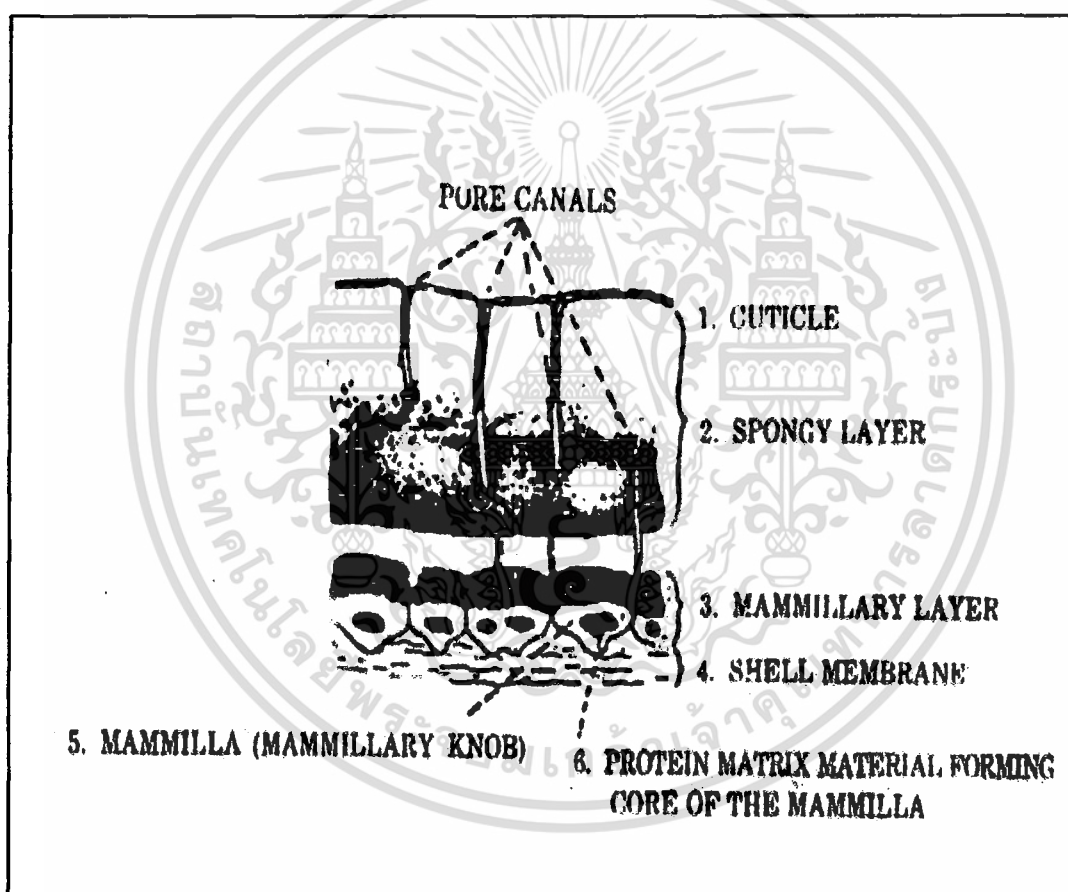
### ไข่ขาว

มีลักษณะเป็นเมือกและข้น ประกอบด้วยน้ำและ โปรตีนเป็นส่วนใหญ่ มีไขมันบ้างเล็กน้อย โปรตีนไข่ขาวมี 9 ชนิด ชนิดที่มีปริมาณสูง ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) โอวาอัลบูมิน (ovalbumin) และคอนอัลบูมิน (conalbumin) ส่วนไลโซไซม์ (lysozyme) มีหน้าที่ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ผ่านเข้ามาในเปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ไข่แดง

ไข่แดงจะมีปริมาณของโปรตีนและไขมันสูงกว่าไข่ขาว จะมีเยื่อหุ้มไข่แดง เรียกว่า yolk (vitelline) membrane ทำให้ไข่แดงคงรูปร่างอยู่ได้ ถัดเข้ามาจะเห็นว่าไข่แดงมีชั้นสีเหลืองอ่อน (light yolk layer) และสีเหลืองเข้ม (dark yolk layer) สลับกัน การที่ไข่แดงมีสีเหลืองเนื่องจากเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่มีอยู่หลายชนิด เช่น ครีฟโตแซนทิน (cryptoxanthin) แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) และคาโรทีน (carotenes)



ภาพที่ 2 เปลือกไข่ผ่าตามหน้าตัดด้านข้างขยายใหญ่จากของจริง

ที่มา : พวงพร โชติกไกร, 2542 : 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่**

	ทั้งฟอง (%)	ไข่ขาว (%)	ไข่แดง (%)	เปลือกไข่ (%)
เปอร์เซ็นต์	100.0	58.00	31.0	11.0
น้ำ	65.5	88.00	48.0	-
โปรตีน	11.8	11.00	17.5	-
ไขมัน	11.0	0.02	32.5	-
เถ้า	11.7	0.80	2.0	-
CaCO <sub>3</sub>	-	-	-	94.0
MgCO <sub>3</sub>	-	-	-	1.0
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	-	-	-	1.0
อินทรีย์วัตถุ	-	-	-	4.0

ที่มา : Stadelman and Cotterill, 1997 : 130

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า อินทรีย์วัตถุในเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 94 % และแคลเซียมฟอสเฟต 1 % และ แมกนีเซียมคาร์บอเนต 1 %

**ตารางที่ 3 องค์ประกอบต่างๆ ของเปลือกไข่**

ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณ (%)
น้ำ	0.1	1.6
วัตถุแห้ง	6.0	98.4
อินทรีย์วัตถุ	0.2	3.3
โปรตีน	0.2	3.3
ไขมัน	น้อยมาก	0.03
อนินทรีย์วัตถุ	5.8	95.1
รวม	6.1	100

ที่มา : สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2522 : 86

จากตารางจะเห็นว่า เปลือกไข่มีปริมาณของอนินทรีย์วัตถุอยู่ถึง 95.1 % ส่วนโปรตีนและ

ไขมันนั้นในเปลือกไข่จะมีปริมาณน้อยมากคือ 3.3 % และ 0.03 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างเปลือกไข่ (the egg shell formation) เมื่อฟองไข่ที่ถูกหุ้มด้วยเปลือกไข่เคลื่อนเข้าสู่ uterus ต่อมาสร้างไข่ (shell gland) ที่ผนังของ uterus ก็จะสร้างเปลือกไข่ขึ้นห่อหุ้มฟองไข่จนเสร็จสมบูรณ์ เปลือกไข่มีส่วนประกอบเกือบทั้งหมดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เปลือกไข่ด้านในจะติดสนิทอยู่กับเยื่อเปลือกไข่ด้วย โครงสร้างชั้นในสุดที่เรียกว่า basal cap โดยจะฝังติดอยู่ในเยื่อเปลือกไข่ชั้นนอกจะพบแคลเซียมที่เปลือกไข่ในชั้นนี้

ลักษณะ โครงสร้างของเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีลักษณะเป็นแท่ง ๆ มาต่อกันตรงรอยต่อระหว่างแท่งจะไม่สนิทจึงมีช่องว่างหรือรูพรุน (pores) มากมายบนเปลือกไข่ ซึ่งมีประโยชน์ในการแลกเปลี่ยนก๊าซและการระเหยน้ำออกจากฟองไข่

เคลือบผิวไข่ เป็นชั้นเยื่อมีวุ้นที่ฉาบบางที่เคลือบอย่างแน่นกับผิวนอกของเปลือกมีคุณสมบัติให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ ถ้าหยดเกลือเงินบนสิ่งเคลือบผิวไข่นี้จะเห็นเป็นปุ่ม ๆ แถบรุของเปลือก และปุ่ม ๆ เหล่านี้มีมากในไข่ที่ไม่ใช่เปลือกสีขาว ถ้าหยดสีชนิดละลายในไขมัน (fat stain) ลงบนผิวไข่เมื่อจะเห็นมีไขมันจุดเล็ก ๆ อยู่บนผิวนอกของเคลือบผิวไข่ ไข่ที่มีจุด ๆ บนผิว เพราะที่เคลือบผิวชั้นในมีเม็ดสี (pigment granules) ที่ปากรูเปลือกตรงส่วนพื้นเปลือกไข่ด้านใน (plaque of matrix) ก็เป็นส่วนของเคลือบผิวไข่เพราะมันไปติดต่อกันอันหนึ่งอันเดียวกับเคลือบผิวไข่ชั้นใน ถ้าฉีดยาเมทิลีนบลู (methylene blue) เข้าไปข้างในไข่แล้วปล่อยให้ค่อย ๆ ซึมไปตลอดยังรูเปลือกทั่วไป จะเห็นรูเหล่านี้เป็นรูรูปไข่ล้อมติดสีแก่แต่ที่อื่นที่ไม่ใช่รูเปลือก (intervening area) จะไม่ดูสีเนื้อที่รู (plaques) ต่าง ๆ เหล่านี้ประมาณ 1.5 % ของผิวพื้นไข่

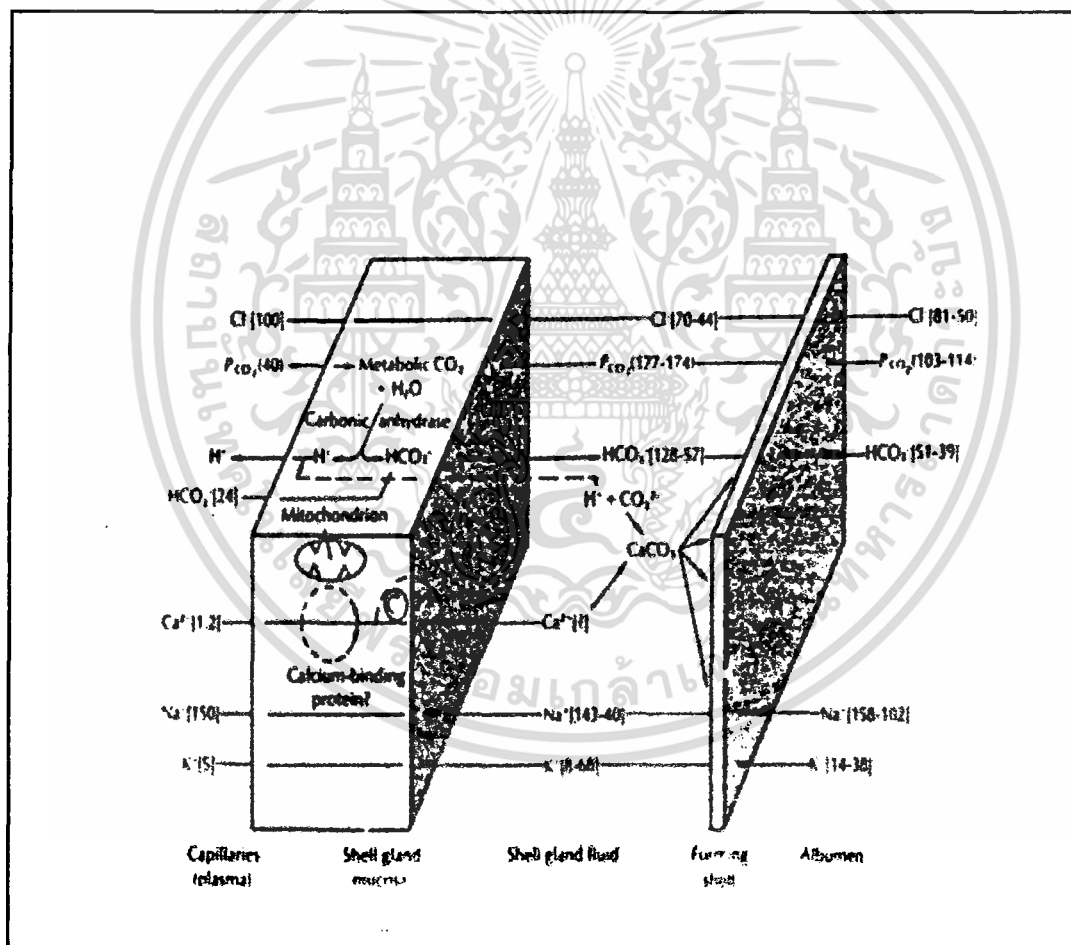
เม็ดสีที่เปลือกไข่ (pigments) สีที่เปลือกไข่เกิดจากวัตถุดิบของเม็ดโลหิตแดง และยังมีที่เยื่อเปลือกไข่อีกเล็กน้อย เปลือกไข่สีขาวบริสุทธิ์ก็ยังมีเม็ดสีอย่างเดียวหรือหลายอย่างที่เรารู้จักเปลือกไข่มีสีนั้นเพราะเม็ดสีเหล่านี้อยู่ปะปนกับเกลือแคลเซียมของเปลือกไข่ และส่วนใหญ่จะกระจายบนผิวเปลือกชั้นนอก ส่วนที่เปลือกผิวชั้นในโดยมากจะมีเม็ดสีอยู่น้อย

รูเปลือกไข่ (pores) มีลักษณะเป็นรูรูต่าง ๆ ตั้งแต่รูไข่ถึงกลม รูเปลือกเชื่อมโยงจากภายนอกเข้าไปถึงเยื่อเปลือกไข่ ขนาดของรูมีขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่มองเห็นด้วยตาเปล่าไปจนถึงขนาดเล็กมากต้องส่องดูด้วยกล้องขยาย รูเหล่านี้มีอยู่เป็นระยะ ๆ และไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยธรรมดาจำนวนรูที่เปลือกไข่มีอยู่อย่างน้อยประมาณ 7,500 รู ไข่ห่านมีจำนวนรูน้อยกว่าไข่ไก่ ไข่เป็ดมีจำนวนรูต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าของไข่ไก่ แม้ในไข่ต่างพันธุ์กันก็มีจำนวนรูต่างกันมาก

ขนาดและรูปร่างของรูที่เปลือกไข่ รูปร่างและขนาดรูที่เปลือกไข่ มีรูปร่างที่แตกต่างกันมาก ตั้งแต่เล็กจนใหญ่ ตั้งแต่รูปริถึงกลม รูขนาดใหญ่มีขนาด 0.022 – 0.029 มิลลิเมตร ส่วนรูเล็กที่สุดมีขนาด 0.38 – 0.054 มิลลิเมตร รูเหล่านี้โดยมากเป็นรูปไข่ ตอนที่รูนี้ตีบเล็กที่สุดจะวัดจากด้านนอกได้ประมาณ 0.013 มิลลิเมตร และที่ด้านในประมาณ 0.006 มิลลิเมตร รูเหล่านี้เชื่อมโยง

ระหว่างเปลือกชั้นนอกกับระบบเชื่อมโยงของช่องอากาศ ที่เปลือกชั้นในตอนที่เริ่มผ่านเปลือกชั้นนอกออกมานั้นจะมีขนาดเล็กที่สุดแล้วมาเปิดกว้างเป็นแฉกผายออกที่บริเวณผิวของเปลือกชั้นนอกในไข่ใหม่บางรูที่ปากรูตันหรือถูกอุดด้วยนวลไข่ (bloom) ฉะนั้นการขัดสีผิวไข่จึงเป็นสาเหตุให้ปากรูถูกเปิดมากขึ้น ทำให้น้ำในไข่ระเหยออกง่ายขึ้นและจุลินทรีย์จากภายนอกเข้ามาทำลายไข่ได้สะดวกขึ้น

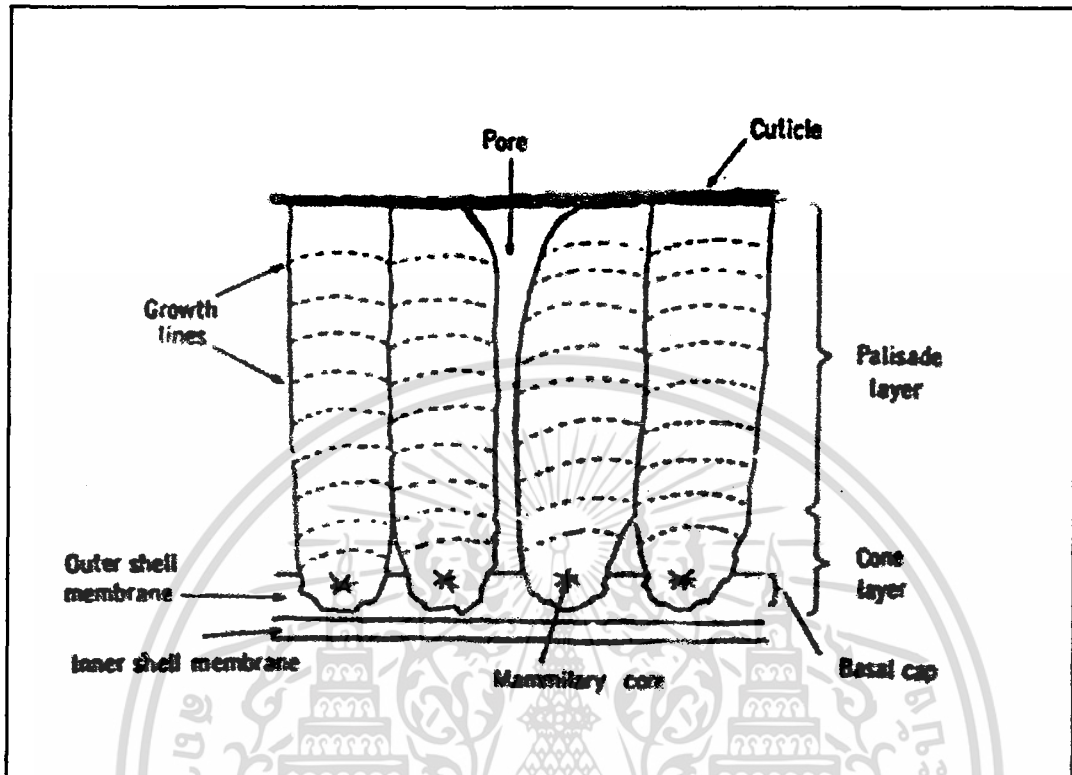
รูต่าง ๆ บนเปลือกจะถูกอัดด้วยเส้นใยของโปรตีน ซึ่งยึดติดกันได้เช่นเดียวกับเยื่อเปลือกไข่ เส้นใยโปรตีนเหล่านี้จะถูกกระชกรูและปากรูเป็นรูปทรงอยู่ได้ บริเวณผิวไข่ที่มีเส้นใยโปรตีนและรูเปลือกไข่รอบ ๆ รูเหล่านี้เรียกว่า Plaque หรือเรียกว่าปากบนรูผิวไข่



**ภาพที่ 3** แหล่งของแคลเซียมคาร์บอเนตในการสร้าง CaCO<sub>3</sub> ของเปลือกไข่ และการผ่านของแร่ธาตุต่าง ๆ

ที่มา : วรวิทย์ วณิชชาติ, 2531 : 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 ลักษณะ โครงสร้างของเปลือกไข่ที่สมบูรณ์

ที่มา : วรวิทย์ วณิชชาติ, 2531 : 26

### 2.3 คุณสมบัติของไข่ทั้งเปลือก

1. ความถ่วงจำเพาะของไข่ ไข่ที่มีรูปทรงและเปลือกปกติจะมีความถ่วงจำเพาะ 1.095 และไข่ที่มีรูปทรงผิดปกติ เช่น ยาว กลม ป้าน จะอยู่ระหว่าง 1.080 – 1.090 ความหนาของเปลือกมีส่วนเพิ่มความถ่วงจำเพาะให้สูงขึ้น เช่น เปลือกมีความหนา 0.28 – 0.30 มิลลิเมตร จะมีความถ่วงจำเพาะ 1.090

2. ความทนทานแรงกด (breaking strength) ของไข่มีความสำคัญทั้งทางชีววิทยาและทางเศรษฐกิจ ไข่ที่มีความทนทานแรงกดได้สูงก็จะไม่บวมแตกง่าย ความทนทานแรงกดนี้คือความแข็งแรงของเปลือกที่ทนต่อการรับน้ำหนักที่กดหรืออัดจนถึงเริ่มแตกเพราะเหตุนี้เปลือกจึงเป็นทั้งทำหน้าที่ช่วยป้องกันคุ้มครองให้เชื้อตัวอ่อนเจริญเติบโตอยู่ได้ต่อไป และยังคุ้มครองมิให้ไข่เสื่อมเสียก่อนถึงเวลาใช้ประโยชน์

3. ความทนแรงกระทบ (cracking strength) เป็นคุณสมบัติทนทานแรงกระทบกระแทกที่ทนต่อกำลังที่จะทำให้ไข่ร้าว หรือเรียกว่าไข่บรู๊ว (crack) หรือไข่แตกไข่ข้างไหล (check).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัตินี้ช่วยให้ใบทนทานต่อแรงกระทบกระแทกระหว่างการขนส่ง วิธีการวัดทำได้ง่ายกว่า และใช้แรงน้อยกว่าการวัดคุณสมบัติทนทานแรงกด อาจทำได้โดยการใช้เครื่องมือเคาะหรือตบใบ ตามปกติมีความทนทานต่อแรงกระทบได้ประมาณ 60 ไดน์ (dynes) ต่อวินาที เปลือกใบที่หนาขึ้น ก็มีแรงทนทานแรงกระแทกสูงขึ้น

4. คุณสมบัติให้แสงผ่านได้ (optical properties) ความใสหรือคุณสมบัติที่จะให้แสงผ่าน ใบทั้งฟองได้ (transparency) นั้น ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือก ถัดไปคือไขขาวชั้นและ ไขแดง ถ้าวัดด้วยเครื่องวัดแสงจากหลอดไฟรถยนต์ 36 แรงเทียน ส่องบนพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ของเปลือกใบให้ลำแสงผ่าน ไขแดงออกไปอีกด้านหนึ่ง จะได้ค่าของแสงเป็นอัตราส่วนของแสงที่ ดันทาง 0.007 – 0.057 ที่ด้านแหลมของใบ 0.004 – 0.24

5. คุณสมบัติเรืองแสง (fluorescence) มาจากสารพorphyrin (porphyrin) ตัดมาจากท่อใบ ของแม่ และกระจายอยู่บนผิวใบ ของใบใหม่ เปลือกใบสีเขียวถ้ายังใหม่อยู่จะเรืองแสงสีม่วงแกมแดง ถ้าใบนั้นเก็บไว้นานขึ้นหรือถูกแสงสว่างมากอยู่นาน ๆ จะเรืองแสงเป็นสีน้ำเงินแกมแดง

6. คุณสมบัติทางอุณหภูมิต (thermal properties) ความร้อนที่เกิดจากใบ (heat production) ไขลมหรือไขที่ไม่มีเชื้อก็มีความร้อนในตัววัดได้ 0.072 กรัมต่อแคลอรีต่อวัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการ เปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในใถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีก็ยิ่งมากขึ้น สำหรับไขที่มี เชื้อที่เริ่มเข้าสู่ที่กระยะชั่วโมงแรก ๆ มันจะดูดความร้อนมากกว่าปล่อยออกมา ปริมาณความร้อนภายในไข (thermal capacity) ความร้อนจำเพาะของไขต่ำกว่าของน้ำ (0.99) ไขมีความจำเพาะ 0.722 แคลอรีต่อกรัมต่อดีกรีฟาร์เรนไฮต์ อุณหภูมิเยือกแข็งของไข (freezing temperature) ตามปกติไขขาวจะเยือกแข็งด้วยความเย็นที่ 0.424 องศาเซลเซียส ไขแดงเยือกแข็งที่ 0.587 องศาเซลเซียส ไขทั้งฟองเยือกแข็งที่อุณหภูมิต (-15) ถึง 2.0 องศาเซลเซียส

7. การถ่ายเทอากาศของไข (gaseous exchanges) ภายในไขมีการแลกเปลี่ยนถ่ายเท อากาศกับภายนอก โดยวิธีดูดออกซิเจนเข้าไปและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทำนอง เดียวกับสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ไขไม่มีเชื้อจะไม่มีการแลกเปลี่ยนอากาศมาก ไขมีเชื้อต้องการ ออกซิเจน 1.7 มิลลิกรัมต่อวัน ที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ก็เพื่อจะเอาไปใช้ในการ เมทาโบลิซึม แม้ไขไม่มีเชื้อก็ต้องการออกซิเจนวันละประมาณ 0.15 กรัม และถ่าย คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาวันละประมาณ 3.8 มิลลิกรัม ไขไม่มีเชื้อถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ ออก เนื่องจากการสลายตัวทางเคมี (chemical decomposition) การถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ของ ไขไม่มีเชื้อนั้นเนื่องมาจากการเมทาโบลิซึมที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ การถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ของไข ใหม่อาจเนื่องจากการแยกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (free carbon dioxide) จากไขขาว ใน

เวลาเดียวกันก็ทำให้ พีเอช (pH) ของไข่เพิ่มขึ้น และสาเหตุอีกอย่างหนึ่งอาจเนื่องจากวัตถุดิบบางอย่างที่มีความเป็นกรดในไข่เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนตของเปลือกไข่

8. การถ่ายเทของน้ำในไข่ (water exchange) ทันทีที่ไข่ออกพ้นจากแม่แล้ว พอถูกอากาศ น้ำในไข่ก็เริ่มระเหย บนเปลือกไข่มีเนื้อที่รู ทั้งหมดรวมกันประมาณ 140 ตารางมิลลิเมตร อัตราการระเหยนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของเปลือกไข่ เชื้อหุ้มไข่ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ โดยทั่วไปน้ำจะระเหยออกจากเปลือกไข่ไปประมาณวันละ 0.015 กรัม สำหรับไข่ที่เก็บไว้ในที่ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% แต่อุณหภูมิฟักไข่ 37.5 องศาเซลเซียส ที่มีอากาศเคลื่อนตัวตลอดเวลา 2.6 ฟุต ต่อวินาที ไข่จะสูญเสียน้ำหนักไปวันละ 0.01 กรัม ในระดับที่สูง การสูญเสียน้ำหนักก็จะมีมากขึ้น

#### 2.4 คุณสมบัติของเปลือกหินปูน

เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความแน่น ความแข็งแรง การซึมผ่านได้ของของเหลว และก๊าซต่าง ๆ ตลอดจนการให้แสงหรือรังสีผ่าน

2.4.1 ความแน่น (density) ของเปลือกไข่มีประมาณ 2.14 – 2.47 ที่ปลายข้างแหลม ความแน่นน้อยที่สุด 2.30 ตอนกลาง 2.15 ด้านป้าน 2.48

2.4.2 ความแข็งแรงที่ทนต่อแรงเจาะ (resistance to puncture) ความแข็งแรงของเปลือกไข่ที่ทนต่อแรงเจาะสามารถทนต่อน้ำหนักกดเจาะ 3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 48.3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แตกต่างกันแล้วแต่พันธุ์และร่างกายของพ่อพันธุ์แม่พันธุ์แต่ละตัวค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเปลือกกับความแข็งแรงที่ทนต่อแรงเจาะ เท่ากับ 0.834 – 0.011

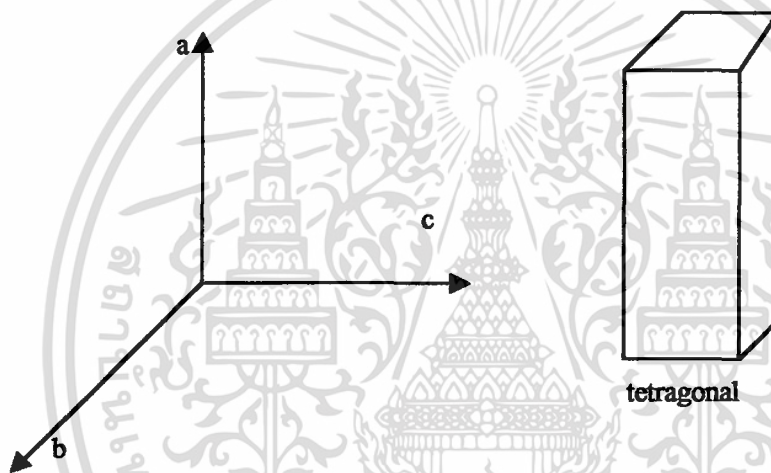
2.4.3 การซึมผ่านได้ของไอน้ำกับก๊าซ (permeability) รูที่เปลือกไข่นั้นไม่ใช่จะเป็นทางที่น้ำและก๊าซผ่านเข้าออก จำนวนรูที่เปลือกไข่ยังเป็นสิ่งสำคัญต่อชีวิตของลูกอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตและยังรักษาคุณภาพของไข่อีกด้วย

2.4.4 การให้แสงผ่าน (light transmission ability) ของเปลือกไข่มีความสำคัญตอนส่องคัดไข่ ในระหว่างผลิตหินปูนที่เปลือกโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เปลือกชั้นในจะมีน้ำอยู่ด้วย น้ำนี้ช่วยให้แสงผ่านเปลือกได้ง่ายขึ้น

2.4.5 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (adsorption of carbon dioxide) จะมีน้อยมาก วัดอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส บรรยากาศ 160 มิลลิลิตร ปรากฏว่ามีไม่เกิน 0.01 เซนติเมตร ต่อเปลือกไข่ 1 กรัม

## 2.5 แคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride ,  $\text{CaCl}_2$  ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) โดยทั่วไปแคลเซียมคลอไรด์ จะอยู่ในรูป tetragonal โดยระบบผลึกนี้จะมีด้านเท่ากันสองด้าน ส่วนด้านที่สามมีความยาวต่างออกไป ปกติแคลเซียมคลอไรด์ตามธรรมชาติมีหลายรูปแบบ ทั้ง calcium chloride anhydrous ( $\text{CaCl}_2$ ), calcium chloride monohydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), calcium chloride dihydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), calcium chloride tetrahydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) โดยทั่วไปลักษณะของแคลเซียมคลอไรด์จะอยู่ในรูป tetragonal ในระบบนี้ผลึกของแคลเซียมคลอไรด์จะมีด้านยาวเท่ากันสองด้าน ส่วนด้านที่สามมีความยาวต่างออกไป ( $a = b = c$ ) ทั้งสามด้านทำมุม  $90^\circ$  ซึ่งกันและกัน



ภาพที่ 5 โครงสร้างของแคลเซียมคลอไรด์

ที่มา : กฤษณา ชูติมา, 2538 : 153

แคลเซียมคลอไรด์มีคุณลักษณะเป็นผลึกหรือเม็ดสีขาว แข็ง ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นได้ดี สารนี้ 1 กรัม ละลายได้ในน้ำ 1.2 มิลลิลิตร ที่  $25^\circ \text{C}$  หรือในน้ำเดือด 0.7 มิลลิลิตร หรือในแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตรที่  $25^\circ \text{C}$  หรือในแอลกอฮอล์เดือด 2 มิลลิลิตร สารละลายเข้มข้น 1 : 20 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 4.5 – 8.5 (งานควบคุมมาตรฐาน กองควบคุมอาหาร, 2530 : 245)

ในทางการค้ามักผลิตแคลเซียมคลอไรด์ที่เป็นของแข็งออกมาในรูปแบบแผ่นเกล็ดเล็ก ๆ (flake) และเป็นแบบเม็ดกลม (pallet) โดยแบบ flake ผลิตจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ถูกทำให้เข้มข้นขึ้นในตัวทำละลายแบบสูญญากาศ จนกระทั่งสารละลายมีความเข้มข้น 60 % โดยน้ำหนักแคลเซียมคลอไรด์ ณ จุดนี้ของเหลวชั้นจะถูกถ่ายมายังหม้อระบบเปิดแล้วทำการระเหยต่อไป จนกระทั่งได้ความเข้มข้นของสารละลาย 73 % สารละลายร้อนนี้จะถูกทำให้เป็นของแข็งบนพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวที่เย็นของลูกกลิ้งที่หมุนอยู่ตลอดเวลา ของแข็งที่จะเป็นแผ่นแล้วนี้สามารถสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อทำให้แห้ง จากนั้นจะทำให้แตกเป็นแผ่นเกล็ดเล็ก ๆ ซึ่งจะมีแคลเซียมคลอไรด์อยู่ 77 % ส่วนแบบ pallet ผลิตได้โดยนำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นอย่างน้อย 50 % มาฉีดพ่นลงสู่ semi-anhydrous particle ของแคลเซียมคลอไรด์ในถังแบบหมุนได้ ผลิตภัณฑ์ที่จะได้อยู่ในรูปเม็ดกลม ๆ แล้วจึงทำให้แห้ง นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ไม่ว่าจะ เป็นแบบ flake หรือ pallet ทำให้แห้งในขั้นตอนหลังสุด จะเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยากและมีปัญหา มากสามารถตัดกระบวนการขั้นสุดท้ายออกได้โดยนำกระบวนการ spray drying มาใช้แทน (Bowden และ Terry, 1996 : 115)

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตแคลเซียมคลอไรด์และ โซเดียมคลอไรด์ซึ่งดำเนินในเครื่องระเหยแบบ multiple effect จะใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน ระหว่างขั้นตอนแรกของการระเหย ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 14 – 15 % โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 104°ซ จากนั้นของเหลวที่มีแคลเซียมคลอไรด์เป็นองค์ประกอบซึ่งมีความเข้มข้นดังกล่าวจะถูกส่งไปยังชุดที่ทำให้การระเหยต่อจนสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 17 – 18 % โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 90°ซ จากนั้นก็จะส่งของเหลวนี้ไประเหยต่อจนมีความเข้มข้นเพิ่มของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 38 – 40 % โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 75°ซ ภายใต้ความดัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เช่นนั้นจะทำให้โซเดียมคลอไรด์ตกตะกอนได้ และแยกออกมาจากของเหลวสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะถูกทำให้เข้มข้นอีกต่อไปโดยการระเหยภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 80 – 100°ซ จนกระทั่งตกผลึกออกมาเป็นผลึกของแคลเซียมคลอไรด์ในรูป  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  แต่วิธีนี้อาจเกิดตะกอนของยิบซัมบนพื้นผิวให้ความร้อนของชุดระเหย อันเนื่องมาจากมีซัลเฟต อีออนปนอยู่ในของเหลวที่ได้จากการกลั่นนั้นตะกอนนี้ จะไปลดประสิทธิภาพของเครื่องระเหย ดังนั้นของเหลวที่มาจากการผลิตแอม โมเนีย โซดาแอชก่อนนำเข้าสู่เครื่องระเหยต้องนำไปแยกของแข็งออกก่อนโดยการตกตะกอน กระบวนการต่าง ๆ ถ้าต้องการทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ขึ้นโดยปราศจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายอยู่อาจทำได้โดยการทำ carbonization จากนั้นเข้าสู่เครื่องระเหยแบบ multiple effect ตัวระเหยดังกล่าวจะทำการระเหยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อยู่ข้างในจนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ได้ 28 – 45 % โดยน้ำหนัก จากนั้นของเหลวที่ได้จากการกลั่นซึ่งเป็นของใหม่จะถูกผสมลงในเครื่องระเหยในแต่ละตัว จำนวนของใหม่ที่ใส่ไปในเครื่องระเหยแต่ละตัวจะถูกรักษาระดับไว้ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ในสารละลายผสมระหว่างอยู่ในกระบวนการระเหยที่ 28 – 45 % โดยน้ำหนักการผสมและระเหยของเหลวนี้ ผลก็คือ โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะตกตะกอนออกมาจากเครื่องระเหยในลักษณะเหมือน pulp ซึ่งส่วนที่เป็นของเหลวจะเป็นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแยกสารละลายแคลเซียมออกมาโดยนำไปผ่านเครื่องหมุนเหวี่ยงจะได้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 28 – 45 % โดยน้ำหนัก อาจนำไปใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าได้เลย หรือจะนำมาระเหยจนมีความเข้มข้น 70 – 72 % โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปบนพื้นผิวที่เย็น แคลเซียมคลอไรด์จะตกผลึกออกมาเป็นของแข็ง (Forsythe, 1975 : 105-108)

การศึกษากระบวนการผลิตแคลเซียมคลอไรด์แบบไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล (anhydrate calcium chloride) และแบบมีน้ำเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล (hydrate calcium chloride) ในรูปผง (powder) และในรูปเม็ด (granule) โดยใช้ spray drying ซึ่งสามารถเตรียมแคลเซียมคลอไรด์แบบผงหรือแบบเม็ดนี้ให้ความชื้นตั้งแต่ 25 % โดยน้ำหนักจนถึงน้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก คุณสมบัติของแคลเซียมคลอไรด์ทั้งแบบผงและแบบเม็ดเป็นที่ต้องการมากเพราะแบบผงละลายในน้ำได้รวดเร็วเนื่องจากมีพื้นผิวของ particle มากซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปใช้ในการผสมคอนกรีตและกระบวนการเคมีอื่นๆ ส่วนแคลเซียมคลอไรด์แบบเม็ดมีความหนาแน่นของ particle และมี bulk density สูง การเกาะติดกับน้ำแข็งดี พื้นผิวเรียบซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่มากที่จะสัมผัสกับน้ำแข็งในการทำ ice melting

สำหรับวัตถุดิบที่จะนำมาทำแห้งแบบ spray drying ควรเลือกใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 35 % โดยน้ำหนัก นอกจากแคลเซียมคลอไรด์แล้ว สิ่งปลอมปนอื่นๆ เช่น โซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์อนุญาตให้มีได้ไม่เกิน 6 % โดยน้ำหนัก แหล่งของแคลเซียมคลอไรด์ ที่นำมาเป็นวัตถุดิบส่วนมากมักใช้เกลือที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือของเหลวที่ได้จากการกลั่นจากกระบวนการผลิตแอมโมเนียมโซดาเป็นแหล่งของแคลเซียมคลอไรด์ เพราะหาง่ายและสะดวก สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ 5 % โดยน้ำหนักสามารถใช้ได้ แต่ควรเลือกใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นอย่างน้อย 50 % ในการใช้ความเข้มข้นสูงมาก ๆ อาจไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจและยังเป็นของเหลวมีปริมาณของแข็งละลายอยู่มากเท่าใดยิ่งจะทำให้หัวฉีดพ่นสึกกร่อนได้เร็วเท่านั้น

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะถูก spray ผ่านหัวฉีดเข้าสู่ drying chamber ของเครื่องทำแห้ง หยดสารละลายที่เกิดขึ้นจะสัมผัสกับก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงที่จะทำให้ไน้ระเหยออกไปจากสารละลายแล้วเกิด particle ของแคลเซียมคลอไรด์แบบ anhydrous หรือแบบ hydrate โดยปกติสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ควรทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะมีการฉีดพ่นผ่านหัวฉีด เพราะจะทำให้ฉีดพ่นได้ง่ายขึ้น

สำหรับก๊าซที่ใช้ทำให้สารละลายแห้ง จะถูกป้อนเข้ามาทางส่วนบนของ drying chamber แล้วสัมผัสกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ถูกฉีดพ่นลงมาในทิศทางเดียว ก๊าซที่ใช้ในการทำแห้งจะต้องไม่เป็นก๊าซที่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคลอไรด์ เช่น อากาศ ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์

เพื่อความประหยัดควรเลือกใช้อากาศมากที่สุด ก๊าซที่ใช้จะต้องแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ต้องต่ำกว่า 40 % จึงจะเพียงพอสำหรับกระบวนการนี้ และก๊าซนี้ต้องมีอุณหภูมิอย่างน้อย 400° ฟ จึงจะทำให้แคลเซียมคลอไรด์ที่ได้เป็นแบบมีน้ำเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล และต้องใช้ก๊าซร้อนประมาณ 700° ฟ เพื่อผลิตแคลเซียมคลอไรด์แบบไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ส่วนหัวฉีดที่ใช้ควรจะเป็นหัวฉีดที่ทำให้เกิดการพ่นฝอยแบบละเอียด แล้วใช้ความดันประมาณ 2000 – 3000 psi. ถ้าการฉีดพ่นแบบฝอยหยาบ จะทำให้ได้แคลเซียมคลอไรด์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลปริมาณสูง

การใช้กระบวนการนี้จะทำให้แคลเซียมคลอไรด์ที่ได้มีปริมาณน้ำในช่วง 25 % จนถึงน้อยกว่า 1 % ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ป้อนเข้าไปในตอนแรก ขนาดของหัวฉีดพ่น อุณหภูมิ และความชื้นของก๊าซที่ใช้ในการทำแห้ง ผงแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะปะปนอยู่กับก๊าซ จากนั้นถูกถ่ายมาที่เครื่องแยกก๊าซกับของแข็งออกจากกัน เช่น เครื่อง cyclone separator จึงจะได้ผงแคลเซียมคลอไรด์ออกมา ในจุดนี้สามารถผลิตแคลเซียมคลอไรด์แบบ anhydrous ได้โดยการทำแห้งผงแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้นี้ด้วยเครื่อง fluidize bed dryer นอกจากรูปผงแล้วอาจอยู่ในรูปเม็ด granule ได้อีก โดยอัดผงแคลเซียมคลอไรด์ เครื่องอัดแรงกล ซึ่งจะอัดผงแคลเซียมคลอไรด์ให้เป็นแผ่นบาง ๆ มีความหนาประมาณ 1/16 ถึง 3/8 นิ้ว วิธีอัดผงแคลเซียมคลอไรด์ คือผ่านผงแคลเซียมคลอไรด์ด้วยความดัน 2000 – 3500 psi. โดยปกติความดันไม่ควรใช้เกิน 4000 psi. เพราะแผ่นบาง ๆ ของแคลเซียมคลอไรด์อาจขาดได้ อุณหภูมิของผงแคลเซียมคลอไรด์ก่อนเข้าเครื่องอัดไม่ควรน้อยกว่า 200° ฟ อุณหภูมิที่ได้ดีที่สุด คือ 275° ฟ ผงแคลเซียมคลอไรด์ที่ผลิตจากกระบวนการอื่น ๆ นอกเหนือจากการใช้ spray drying สามารถทำให้อยู่ในรูปแบบเม็ดโดยวิธีนี้และเครื่องมือ จากนั้นป้อนผ่านแคลเซียมคลอไรด์นี้เข้าสู่เครื่องที่ทำให้แตกออกเป็นแผ่นเล็ก ๆ (flake breaker) particle ของแคลเซียมคลอไรด์ที่ออกจากเครื่องนี้จะถูกส่งไปยังเครื่องบด (crusher) ซึ่งหลังจากการบดแล้วเสร็จจะคัดเลือกแคลเซียมคลอไรด์เฉพาะเม็ดขนาดตามที่ต้องการ ส่วนเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกส่งกลับไปยังเครื่องอัด และเม็ดที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการจะถูกส่งไปยังเครื่องบดอีกครั้ง

## 2.6 คุณลักษณะทางหน้าที่และประโยชน์จากแคลเซียมคลอไรด์มีดังนี้

1. ใช้เป็นสารทำให้ข้น (thickener) ในผลิตภัณฑ์นมบางชนิด ได้แก่
  - นมข้นหวาน และนมข้นไม่หวานขาดมันเนย
  - นมผงธรรมดา นมผงพร้อมมันเนย และนมผงขาดมันเนย
  - ครีมผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้เป็นสารให้ความแน่นเนื้อ (firming agent) เพื่อให้เกิดการคงรูปในผลิตภัณฑ์ต่อไป
  - ถั่วลันเตาอ่อนบรรจุในกระป๋อง
  - แดงกวาดอง
  - ผลไม้ดอง หรือ แซลิม
  - แยมและเยลลี่ที่มีผลไม้เป็นส่วนผสม

แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง เช่น แคลเซียมคลอไรด์ช่วยเพิ่มความเร็ว และเพิ่มผลผลิตในการผลิต maroille cheese โดยใช้ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 1 กรัม ต่อน้ำนม 1 ลิตร และพบว่าแคลเซียมคลอไรด์สามารถเพิ่มค่าแอกติวิตีของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการตกตะกอน (coagulation enzyme) จึงสามารถนำแคลเซียมคลอไรด์มาเติมในนมเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของ rennet casein ได้เร็วขึ้น ถ้าเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำนมที่จะนำไปผลิตโยเกิร์ตในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป จะลดความแข็ง (firmness) ของโยเกิร์ตลงได้ แต่ถ้าเติมในปริมาณปานกลางจะช่วยปรับปรุงความแข็งของโยเกิร์ตให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะน้ำนมที่ผ่านความร้อนสูงมากจนแคลเซียมในน้ำตกตะกอนลดปริมาณลง

Shalunova และคณะ(1990 : 98 - 110) พบว่าเมื่อบรรจุส่วนผสมต่าง ๆ ของไส้กรอกที่ผสมกันจนได้ที่แล้วบรรจุลงใน cellulose casing จากนั้นจุ่มไส้กรอกนี้ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % ที่ 10 °ซ 8 ชั่วโมง จะช่วยปรับปรุงความหนืด (consistency) ของไส้กรอกให้ดีขึ้น

แคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการผลิตแยมและเยลลี่แทนเพคตินซึ่งหาได้ยากในประเทศญี่ปุ่น โดยปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับความสุกของผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบ แต่โดยรวมแล้วปริมาณสูงสุดต้องไม่เกิน 0.1 % ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด และพบการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นน้ำยาให้ความเย็น refrigerant แก่แดงกวาในการแช่แข็งแดงกวาเพื่อให้แดงกวมเนื้อที่แข็งมากขึ้น

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการ

##### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

###### 3.1.1 วัสดุ

1. เปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด	จำนวนอย่างละ	250	กรัม
2. กรด ไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	จำนวน	650	มิลลิลิตร
3. น้ำกลั่น	จำนวน	5	ลิตร

###### 3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบ hot air oven	จำนวน	1	เครื่อง
2. เครื่องบด	จำนวน	1	เครื่อง
3. โกร่ง	จำนวน	2	ตัว
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง	จำนวน	1	เครื่อง
5. ตู้ดูดควัน	จำนวน	1	ตู้
6. หลอดทดลอง	จำนวน	30	หลอด
7. ปีกเกอร์	จำนวน	10	อัน
8. เข็มฉีดยาชนิดแก้ว ขนาด 5 CC.	จำนวน	3	หลอด
9. บีเปด	จำนวน	10	หลอด
10. แผ่นกระจายความร้อน (hot plate)	จำนวน	3	เครื่อง
11. โถดูดความชื้น	จำนวน	1	โถ
12. เครื่องชั่งละเอียด	จำนวน	1	เครื่อง
13. ถังพลาสติก ขนาด 4 x 6 นิ้ว	จำนวน	20	ถัง
14. นาฬิกาจับเวลา	จำนวน	2	เรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 วิธีการ

### 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่

นำเปลือกไข่มาล้างทำความสะอาด และผิวด้านในต้องปราศจากเมือกขาวและน้ำค้างไข่ ผึ่งแดดจนแห้งเพื่อเป็นการกำจัดน้ำส่วนเกินที่ติดมาจากการล้าง ทูบเปลือกไข่ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบในเครื่องอบแห้งแบบ hot air oven ที่อุณหภูมิ 85° ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อผ่านการอบเปลือกไข่แล้วนำมาบดเป็นผงเปลือกไข่ด้วยเครื่องบด ทำการบดให้ละเอียด แล้วร่อนเอาผงเปลือกไข่ที่ละเอียดด้วยโกร่งและเก็บผงเปลือกไข่ในถุงพลาสติกใส่ไว้ในโถดูดความชื้น

### 3.2.2 การผลิตแคลเซียมคลอไรด์

3.2.2.1 นำเปลือกไข่ที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้วซึ่งปริมาณที่จะใช้ใส่ลงในบีกเกอร์

3.2.2.2 เติมน้ำไฮโดรคลอริก ให้ทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้แคลเซียมละลายออกมาและคนทุก ๆ 30 นาที

3.2.2.3 ใช้กระบอกตวงแบ่งของเหลวที่ได้ใส่ในหลอดทดลองเพื่อเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง นาน 10 นาที

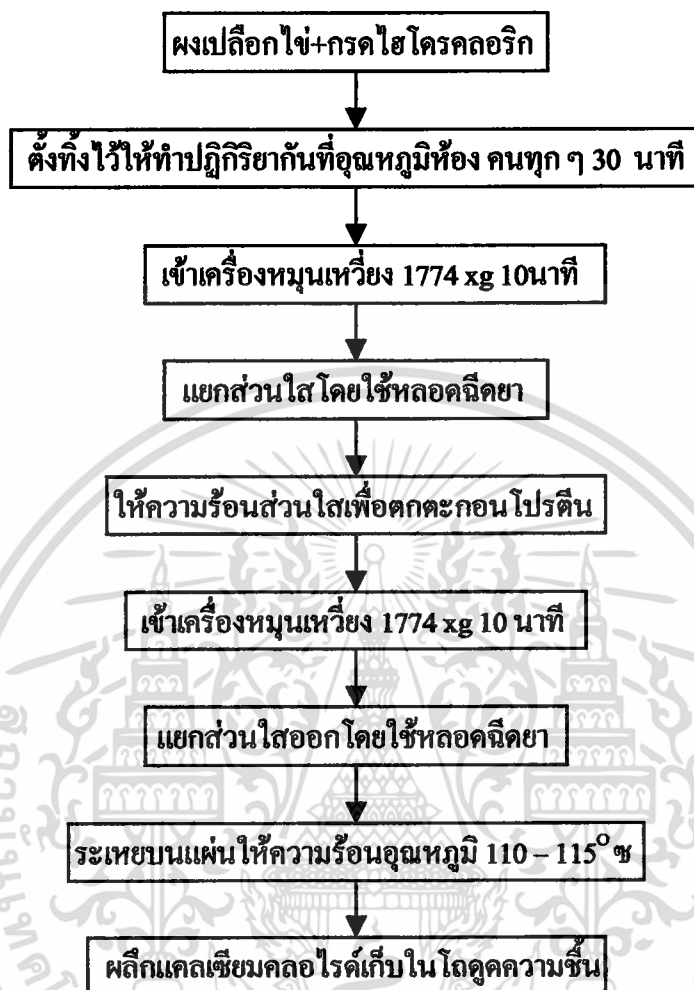
3.2.2.4 แยกของแข็งและของเหลวออกจากกัน โดยใช้หลอดฉีดยาดูดส่วนที่ใสไว้ในหลอดทดลอง

3.2.2.5 นำส่วนที่ใสไปตกตะกอนเอาโปรตีนจากเปลือกไข่ที่ติดมาโดยใช้แผ่นกระจายความร้อน (hot plate)

3.2.2.6 จากนั้นนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้งเพื่อให้ตะกอนของแข็งและของเหลวแยกจากกัน

3.2.2.7 ดูดส่วนที่ใสโดยใช้หลอดฉีดยา แล้วนำไประเหยกรดออกเพื่อให้แคลเซียมคลอไรด์ตกผลึกออกมา โดยใช้แผ่นกระจายความร้อน (hot plate)

3.2.2.8 ผลึกแคลเซียมคลอไรด์ใส่ถุงพลาสติก เก็บในโถดูดความชื้น



ภาพที่ 6 ผังการผลิตแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่

- 3.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการผลิตแคลเซียมคลอไรด์ในการทดลองแต่ละครั้ง เพื่อหาความแตกต่างของปริมาณผงเปลือกไข่ที่ใช้ในแต่ละระดับของการทดลอง
- 3.2.4 การหา % yield ของแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้โดยเทียบกับน้ำหนักของเปลือกไข่ หลังทำให้แห้งและบดละเอียดแล้ว โดยเก็บแคลเซียมคลอไรด์ขณะร้อนลงในภาชนะเก็บตัวอย่างแล้วใส่ในโถดูดความชื้นจนเย็น นำไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ % yield ใช้สูตรดังนี้

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักของแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากการผลิต}}{\text{น้ำหนักของผงเปลือกไข่แห้งที่เป็นวัตถุดิบ}} \times 100$$

### 3.3 สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการทางอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ห้องปฏิบัติการทางเทคโนโลยีการเกษตร-การผลิตสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ตั้งแต่ วันที่ 3 เดือนมิถุนายน 2545 – วันที่ 30 กันยายน 2545

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาวิธีการสกัดแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด พบว่าขั้นตอนในการสกัดแคลเซียมคลอไรด์ ในช่วงระยะเวลาที่ปล่อยให้กรดทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่นั้นขณะที่ผสมกรดลงไปกับเปลือกไข่จะเกิดฟองก๊าซของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทันที หากทำปฏิกิริยากันต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงจะไม่พบฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้อีก ในการทดลองสังเกตการเกิดฟองก๊าซเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จะยังพบฟองก๊าซนี้อยู่ แต่เวลาผ่านไป 2 ½ ชั่วโมง จะไม่พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้เลยแม้แต่จะใช้การคนเข้ามาช่วยก็ยังไม่เกิดขึ้น นอกจากการทำปฏิกิริยาของกรดกับเปลือกไข่แล้วเศษของเปลือกไข่ที่ทำปฏิกิริยานั้นก็ไม่มีเศษเหลือหรือมีเพียงเล็กน้อยของเปลือกไข่เป็ดแต่เปลือกไข่ไก่นั้นไม่มีเหลือเลย ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการปล่อยให้กรดทำปฏิกิริยากันกับผงเปลือกไข่ควรจะเป็นเวลาประมาณ 2 – 2 ½ ชั่วโมง และปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่จะให้ 2 , 3 , 4 , 5 และ 6 เปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรคลอริก พบว่าปริมาณกรดที่ใช้ 2 % นั้นเมื่อปล่อยให้ทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่ไปจนถึง 2 ชั่วโมง สังเกตเห็นว่ายังมีเศษของเปลือกไข่อยู่มากกว่า 3 % และ 4 % ของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ และพบว่าปริมาณที่กรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยาพอดีกับเปลือกไข่ คือ 5 % ไม่มีเศษของเปลือกไข่เหลืออยู่หรือมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 % , 3 % และ 4 % ของกรด แต่ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริก 6 % นั้นพบว่าไม่มีเศษของเปลือกไข่เหลืออยู่เลยและสังเกตเห็นว่าปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้นั้นมีลักษณะของสีคล้ำมากจนเกินไป เพราะว่าปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกมีความเข้มข้นมากจนเกินไปจึงทำให้เกิดปฏิกิริยานานจนสีเปลี่ยนไปจาก ปริมาณ 5 % ของกรดที่ใช้ สีของผลึกแคลเซียมคลอไรด์ จะมีสีขาวนวลจากเปลือกไข่ไก่และสีขาวจากเปลือกไข่เป็ดซึ่งสีจะคล้าย ๆ กันเมื่อนำมาบดให้ละเอียด จะพบว่ามีสีที่ใกล้เคียงกันมากแทบจะแยกไม่ออก แต่ผลึกแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดจะเป็นเกล็ดและหยาบ เมื่อสัมผัสจะพบว่ามีลักษณะคล้ายกับผลึกของน้ำตาลแต่จะเล็กกว่าผลึกของน้ำตาล แต่ผลึกของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่จะเป็นผลึกเหมือนกับไข่เป็ดแต่ละเม็ดกว่าสีจะคล้ำกว่าไข่เป็ดเล็กน้อย เมื่อสัมผัสจะพบว่าผลึกจะคล้ายกับเกล็ดผงของโมโนไฮเดรตกลูตามิค สีจะเข้มกว่าเล็กน้อย ระยะเวลาที่ให้ความร้อนในการระเหยนั้นใช้เวลา 1- 2 ชั่วโมง และ

จะตกเป็นผลึกออกมา แล้วปล่อยให้เย็นนำไปบรรจุในถุงพลาสติกชนิดกึ่งทึบใน โถดูดความชื้น 4-5 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่ได้ เพื่อนำไปหา % yield และนำไปทดลองกับเตงกวา โดยนำเตงกวานั้น ไปดองเพื่อเปรียบเทียบกับความแน่นเนื้อของเตงกวาดองที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้กับเตงกวาที่ไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์

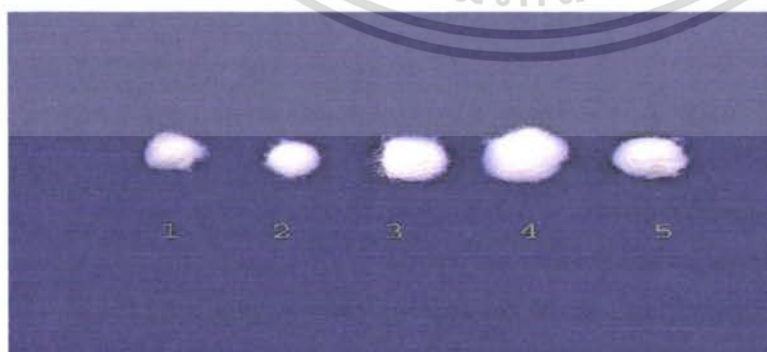
ตารางที่ 4 ผลการทดลองปริมาณของ  $\text{CaCl}_2$  ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม

การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรดHCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		ผลผลิตของ $\text{CaCl}_2$ (g)		
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	2	10 : 10	10 : 0.357	1.503	1.534	1.518
2	3	10 : 15	10 : 0.476	2.016	2.131	2.073
3	4	10 : 20	10 : 0.535	2.578	2.468	2.532
4	5	10 : 25	10 : 0.624	2.886	2.875	2.880
5	6	10 : 30	10 : 0.741	2.689	2.567	2.635

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

จากตารางผลการทดลองที่ 4 พบว่า ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุดคือ 2.88 กรัม จากปริมาณของเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม เท่ากันทุก 5 การทดลองและยังเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ คือ 5 % ของ hydrochloric acid เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของเปลือกไข่ไก่ที่เท่ากันในแต่ละการทดลอง แสดงว่าปริมาณเปลือกไข่ไก่ 10 กรัมและใช้กรดไฮโดรคลอริก 5 % จะทำปฏิกิริยากันจนสำเร็จและให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุด



ภาพที่ 7 ปริมาณของ  $\text{CaCl}_2$  ในแต่ละทริทเมนต์ ในปริมาณของเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการทดลองปริมาณของ  $\text{CaCl}_2$  ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่ไก่ 20 กรัม

การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรด HCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		ผลผลิตของ $\text{CaCl}_2$ (g)		
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	2	20 : 10	20 : 0.357	2.312	2.236	2.274
2	3	20 : 15	20 : 0.476	2.146	2.289	2.217
3	4	20 : 20	20 : 0.535	5.832	5.785	5.808
4	5	20 : 25	20 : 0.624	7.934	7.831	7.873
5	6	20 : 30	20 : 0.741	6.193	5.935	6.064

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้  
w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

จากตารางผลการทดลองที่ 5 จะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ผลิตได้สูงสุด คือ 7.873 จากปริมาณของเปลือกไข่ไก่ 20 กรัม คือ เท่ากันทุก 5 การทดลองและยังเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ คือ 5 % ของ hydrochloric acid เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของเปลือกไข่ไก่ที่เท่ากันในแต่ละการทดลอง แสดงว่าปริมาณเปลือกไข่ไก่ 20 กรัม และใช้กรดไฮโดรคลอริก 5 % จะทำปฏิกิริยากันจนสำเร็จและให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางการทดลองที่ 4 จะพบว่าปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่ไก่ 10 กรัม นั้น คือ 5 % และให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้ก็สูงสุดเหมือนกับตารางการทดลองที่ 5



ภาพที่ 8 ปริมาณของ  $\text{CaCl}_2$  ในแต่ละทรีเมนต์ในปริมาณของเปลือกไข่ไก่ 20 กรัม

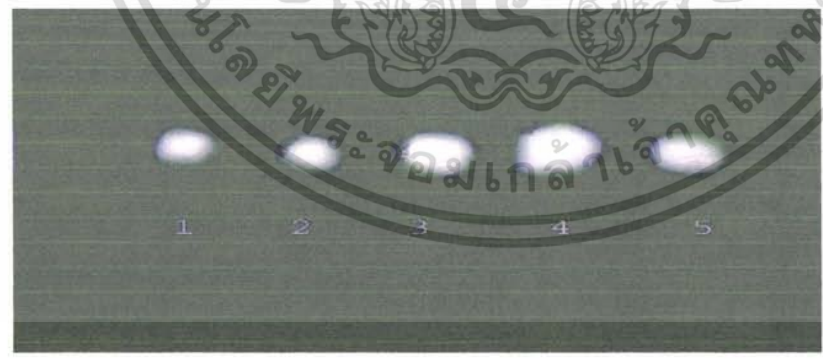
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ผลการทดลองปริมาณของ CaCl<sub>2</sub> ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่เป็ด 10 กรัม

การทดลองที่	การความเข้มข้นของกรดHCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		ผลผลิตของ CaCl <sub>2</sub> (g)		
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	2	10 : 10	10 : 0.357	1.439	1.542	1.481
2	3	10 : 15	10 : 0.476	1.950	1.976	1.963
3	4	10 : 20	10 : 0.535	2.438	2.856	2.647
4	5	10 : 25	10 : 0.624	3.542	3.367	3.454
5	6	10 : 30	10 : 0.741	2.645	2.635	2.640

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้  
w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

จากตารางที่ 6 จะพบว่า การทดลองที่ 4 ใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก 5 % จะให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ 3.454 กรัม ซึ่งมีปริมาณสูงที่สุดที่ใช้เปลือกไข่เป็ด 10 กรัม และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 4 จะเห็นว่าปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ทำปฏิกิริยากันกับเปลือกไข่ใก้นั้น จะใช้กรดไฮโดรคลอริก 5 % เหมือนกันและให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 2.880 กรัม ซึ่งปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดจะมีปริมาณ CaCl<sub>2</sub> สูงกว่า



ภาพที่ 9 ปริมาณของ CaCl<sub>2</sub> ในแต่ละทริทเมนต์ ในปริมาณของเปลือกไข่เป็ด 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

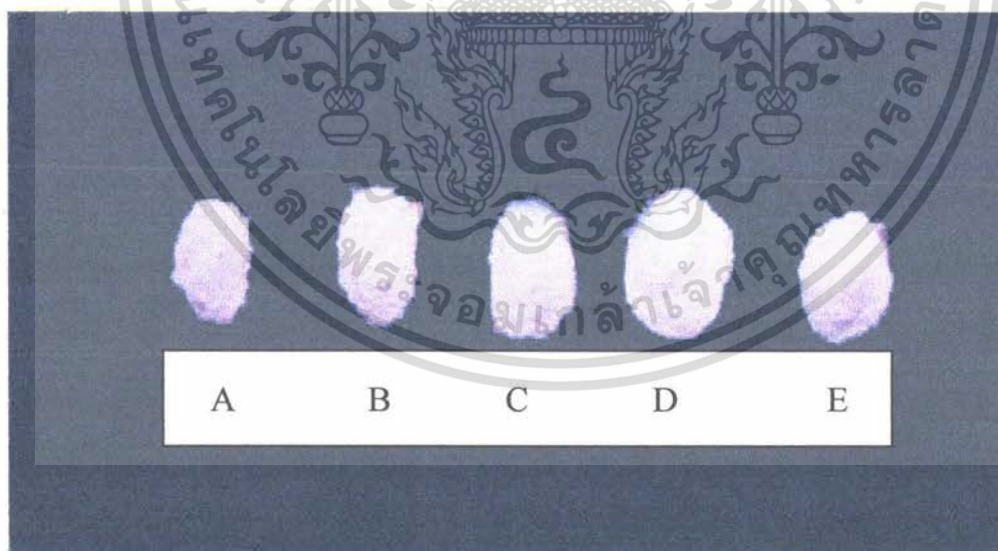
ตารางที่ 7 ผลการทดลองปริมาณของ  $\text{CaCl}_2$  ที่ใช้ปริมาณเปลือกไข่เปิด 20 กรัม

การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรด HCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		ผลผลิตของ $\text{CaCl}_2$ (g)		
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	2	20 : 10	20 : 0.357	2.345	2.867	2.606
2	3	20 : 15	20 : 0.476	4.132	4.319	4.225
3	4	20 : 20	20 : 0.535	4.987	5.735	5.361
4	5	20 : 25	20 : 0.624	8.032	8.241	8.136
5	6	20 : 30	20 : 0.741	6.021	6.316	6.168

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

จากตารางผลการทดลองที่ 6 และตารางที่ 7 พบว่าปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้นั้นจะใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 % ทั้งสองผลการทดลองและยังได้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุดคือ 3.454 กรัม และ 8.136 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 10 ปริมาณของ  $\text{CaCl}_2$  ในแต่ละทริทเมนต์ ในปริมาณของเปลือกไข่เปิด 20 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบปริมาณ  $\text{CaCl}_2$  จากปริมาณเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 10 กรัม

การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรดHCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกกรด (w/v-sol <sup>n</sup> )	เปลือกไข่ ต่อกกรด (w/w-HCl)	$\text{CaCl}_2$ ผงเปลือกไข่ไก่ (g)	$\text{CaCl}_2$ ผงเปลือกไข่เป็ด (g)
1	2	10 : 10	10 : 0.357	1.518	1.481
2	3	10 : 15	10 : 0.476	2.073	1.963
3	4	10 : 20	10 : 0.535	2.532	2.647
4	5	10 : 25	10 : 0.624	2.886	3.454
5	6	10 : 30	10 : 0.741	2.628	2.640

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

จากตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ระหว่างผงเปลือกไข่ไก่และผงเปลือกไข่เป็ด พบว่าปริมาณ  $\text{CaCl}_2$  ในเปลือกไข่เป็ดจะมีปริมาณสูงกว่าเปลือกไข่ไก่ ซึ่งจะได้จากการทดลองที่ 4 นั้นจะมีปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดสูงกว่าเปลือกไข่ไก่ แสดงว่าการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเปลือกไข่นั้นมีการทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์จึงทำให้ได้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุดในการทดลองนี้

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณ  $\text{CaCl}_2$  จากปริมาณเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 20 กรัม

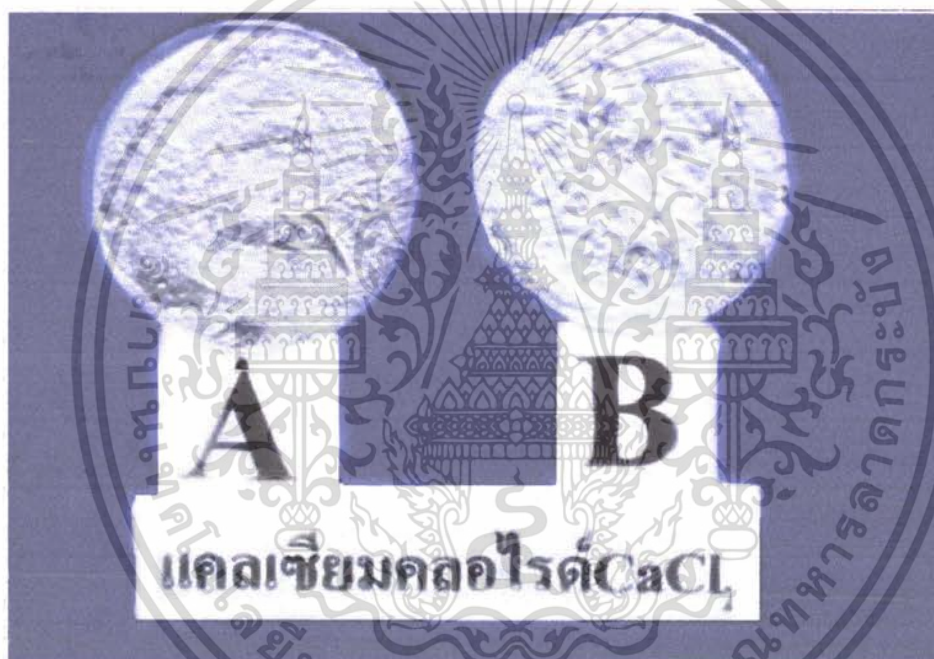
การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรดHCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกกรด (w/v-sol <sup>n</sup> )	เปลือกไข่ ต่อกกรด (w/w-HCl)	$\text{CaCl}_2$ เปลือกไข่ไก่ (g)	$\text{CaCl}_2$ เปลือกไข่เป็ด (g)
1	2	20 : 10	20 : 0.357	2.274	2.606
2	3	20 : 15	20 : 0.476	2.217	4.225
3	4	20 : 20	20 : 0.535	5.808	5.361
4	5	20 : 25	20 : 0.624	7.873	8.136
5	6	20 : 30	20 : 0.741	6.064	6.168

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ระหว่างผงเปลือกไข่ไก่ และผงเปลือกไข่เป็ด พบว่าปริมาณ  $\text{CaCl}_2$  ในเปลือกไข่เป็ดจะมีปริมาณสูงกว่าเปลือกไข่ไก่ ซึ่งจะได้จากการทดลองที่ 4 โดยใช้ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริก 5 % สามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับปริมาณของเปลือกไข่ 20 กรัม และมีปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดสูงกว่าเปลือกไข่ไก่ แสดงว่าอัตราส่วนระหว่างเปลือกไข่กับปริมาณกรดไฮโดรคลอริกเหมาะสมกันจึงทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเปลือกไข่นั้นมีการทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์จึงทำให้ได้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุดในการทดลองนี้



ภาพที่ 11 ลักษณะของ  $\text{CaCl}_2$  ที่สกัดได้ คือ A = แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่ และ B = แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ด

หลังจากที่ได้แคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ดแล้ว เมื่อนำแฉกวางไปคองและเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไป จะพบว่าเมื่อคองแฉกวางไป 7 วัน ลักษณะของแฉกวางที่เติมแคลเซียมคลอไรด์นั้น มีสีคล้ำเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแฉกวางที่ไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ ผิวของเนื้อแฉกวางเมื่อใช้นิ้วกดลงไปจะไม่เป็นรอยบุ๋มมากจนเกินไป และเมื่อใช้มีดผ่าเนื้อแฉกวางออกพบว่า เนื้อแฉกวางไม่มีน้ำเยิ้มออกมาเมื่อเทียบจากแฉกวางที่ไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ จะมีน้ำไหลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มานาน แสดงว่าแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ที่สกัดได้มีคุณสมบัติเพิ่มความแน่นเนื้อให้กับผักและผลไม้ดองได้

การศึกษาปริมาณผลผลิต (% yield) ที่ได้จากการสกัดแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด พบว่า % yield ของการผลิตแคลเซียมคลอไรด์ที่ศึกษานี้อยู่ในระดับหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการสกัด  $\text{CaCl}_2$  จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 10 กรัม

การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรด HCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		% yield	
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
1	2	10 : 10	10 : 0.357	15.78	14.81
2	3	10 : 15	10 : 0.476	20.73	19.65
3	4	10 : 20	10 : 0.535	25.32	26.47
4	5	10 : 25	10 : 0.624	28.68	34.54
5	6	10 : 30	10 : 0.741	26.28	26.40

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้  
w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

ตารางที่ 11 ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการสกัด  $\text{CaCl}_2$  จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด 20 กรัม

การทดลองที่	ความเข้มข้นของกรด HCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		% yield	
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
1	2	20 : 10	20 : 0.357	11.37	13.03
2	3	20 : 15	20 : 0.476	11.08	21.12
3	4	20 : 20	20 : 0.535	29.04	26.80
4	5	20 : 25	20 : 0.624	39.36	40.68
5	6	20 : 30	20 : 0.741	30.32	30.84

หมายเหตุ w/v-sol<sup>n</sup> หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้  
w/w-HCl หมายถึง น้ำหนักผงเปลือกไข่ต่อน้ำหนักเนื้อกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

จากตารางแสดงปริมาณ % yield ที่ผลิตได้ของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการผลิตของเปลือกไข่ 10 กรัมต่อปริมาณกรดไฮโดรคลอริก

ที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดจะให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงกว่าเปลือกไข่ไก่ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 % (w/v) และใช้อัตราส่วนของเปลือกไข่ต่อกรด 20 : 25 (w/v-sol<sup>1</sup>) จะได้แคลเซียมคลอไรด์ปริมาณผลผลิต 34.54 % และเมื่อเพิ่มปริมาณของผงเปลือกไข่เป็น 20 กรัม ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ที่ผลิตได้สูงที่สุด คือ แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดผลิตได้ 40.68 % จากผลผลิตที่สกัดได้ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 % (w/v) ใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกไข่กับกรดไฮโดรคลอริก 20 : 25 (w/v-sol<sup>1</sup>)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสกัดแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด พบว่าขั้นตอนที่เหมาะสมในการสกัดคือ ล้างเปลือกไข่ให้สะอาด ผึ่งแดดให้แห้งอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ  $85^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นบดเป็นชิ้นเล็กแล้วเข้าเครื่องบดจนละเอียดหรือให้มีขนาดเล็ประมาณ 0.2 มิลลิเมตร แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 5 % (w/v) ลงในผงเปลือกไข่ด้วยอัตราส่วนเปลือกไข่ต่อกรด 10 : 0.624 (w/w-HCl) คนทุก ๆ ครั้งชั่วโมง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นแยกเอาสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ออกจากเปลือกไข่ที่ทำปฏิกิริยากันไม่หมดเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกเอาส่วนที่ใส นาน 10 นาที แล้วนำมาระเหยในตู้ดูดควันจนแห้งตกเป็นผลึกของแคลเซียมคลอไรด์ออกมา

จากผลการทดลองเมื่อนำปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ดมาเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตที่ได้ คือ ปริมาณของเปลือกไข่ 10 กรัมต่อปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมจากเปลือกไข่ที่ให้แคลเซียมคลอไรด์สูง คือเปลือกไข่เป็ดใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 5 % (w/v) ได้แคลเซียมคลอไรด์ 3.454 แต่ไข่ไก่จะได้ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 2.880 และเมื่อได้เพิ่มปริมาณของผงเปลือกไข่เป็น 20 กรัม และจะได้ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ดและไข่ไก่ 8.136 และ 7.873 ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดจากเปลือกไข่เป็ดและไข่ไก่จะมีปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันหรือ ไม่มีความแตกต่างกันแต่อย่างใดขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุด แต่แคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้นั้นจะอยู่ระหว่างแคลเซียมคลอไรด์แอนไฮไดรตและแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต โดยไม่สามารถบอกได้ว่าปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ชนิดใดอยู่ในปริมาณที่เท่าไร และไม่ทราบอัตราส่วนของแคลเซียมคลอไรด์แอนไฮไดรตกับแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรตว่ามีอัตราส่วนเท่าไร ส่วนคุณสมบัติของแคลเซียมคลอไรด์ที่ผลิตได้นั้นเมื่อทดสอบกับผลิตภัณฑ์อาหารสามารถใช้เป็นตัวเพิ่มความแน่นเนื้อให้กับผักคองได้ เช่น แดงกวาคอง เนื้อสัมผัสจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปและเปรียบเทียบกับแดงกวางที่ไม่ใช่แคลเซียมคลอไรด์ พบว่าเนื้อสัมผัสจะนิ่มกว่าที่เติมลงไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรปรับปรุงวิธีหรือขั้นตอนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกกับเปลือกไข่ ให้มีความสมดุลกันหรือทำปฏิกิริยาแบบสมบูรณ์เพื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์มากขึ้น และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกควรอยู่ในรูป (form) เดียวกัน ถ้ามีการผลิตทางการค้าหรือเพิ่มการผลิตมากขึ้นควรใช้เครื่องมือที่มีความสามารถในการทนกรดได้ดี และหาวิธีทำให้แคลเซียมคลอไรด์ ที่สกัดได้นั้นมีความบริสุทธิ์และสามารถนำไปใช้ได้กันเพิ่มมากขึ้น ในการผลิตแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่นั้นถ้าผลิตในปริมาณมาก ๆ ควรจะอยู่ในการคุ้มครองของกระทรวงสาธารณสุขเพื่อเป็นไปตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ทั้งนี้เพื่อเป็นการยอมรับในด้านกฎหมายและด้านการใช้ประโยชน์สูงสุด และมีการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น



## บรรณานุกรม

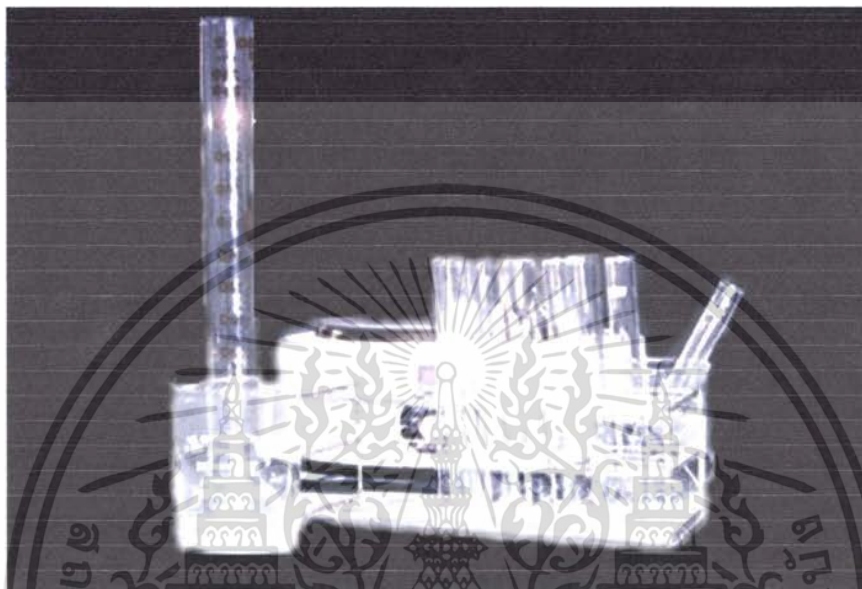
- กฤษณา ชูติมา. 2538. หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 424 น.
- งานควบคุมมาตรฐาน กองควบคุมอาหาร. 2530. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 กฎกระทรวงสาธารณสุข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 891 น.
- พวงพร โชติกไกร. 2542. จุลชีววิทยาของอาหารและนม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 344 น.
- วิริยะ สิริสิงห์. 2541. 110 ชนิด คุณสมบัติและการค้นพบ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อักษรวัฒนา. 140 น.
- รววิทย์ วณิชภิกษาคติ. 2531. ไข่และการฟักไข่. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์วังเจียว. 240 น.
- สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2522. ไข่และเนื้อไก่. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 396 น.
- Bowden, J.H. and C.T. Terry. 1996. Process for the Preparation of Granular Calcium Chloride . U.S. Patent . 863 p.
- Food and Nutrition Board Division of Biological Science. 1981. Food Chemical Codex. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A. 735 p.
- Forsythe, R.H. 1975 . Egg in the Food Industry Cereal Science to day. 211-216 p.
- Shalunova, G.I., V.S. baranov, V.I. Trofimova and N.I . Brunnek. 1990. Manufacture of Sausage. U.S.S.R. Patent. 248 - 589 p.
- Stadelman, W.J. and O.J. Cotterill. 1977. Egg Science and Technology. AVI. Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, U.S.A. 323 p.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ก

แสดงรูปภาพชุดอุปกรณ์และขั้นตอนในการสกัดเคสซีมจากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด



ภาพผนวกที่ 1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

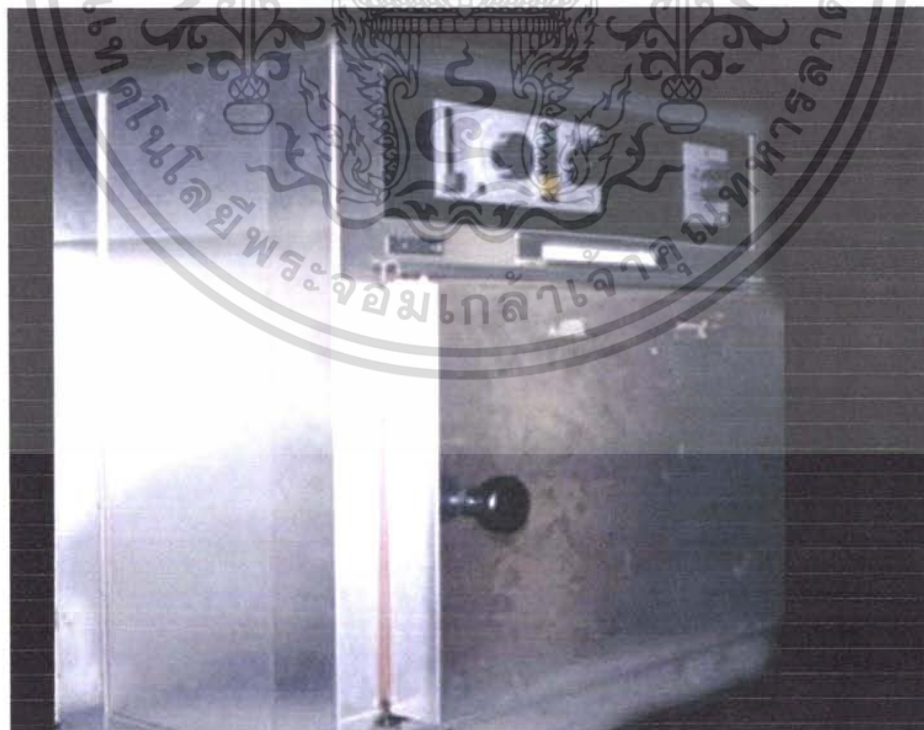


ภาพผนวกที่ 2 เครื่องหมนเหวียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 3 ตู้ดูดควัน



ภาพผนวกที่ 4 ตู้อบลมร้อนแบบ hot air oven

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

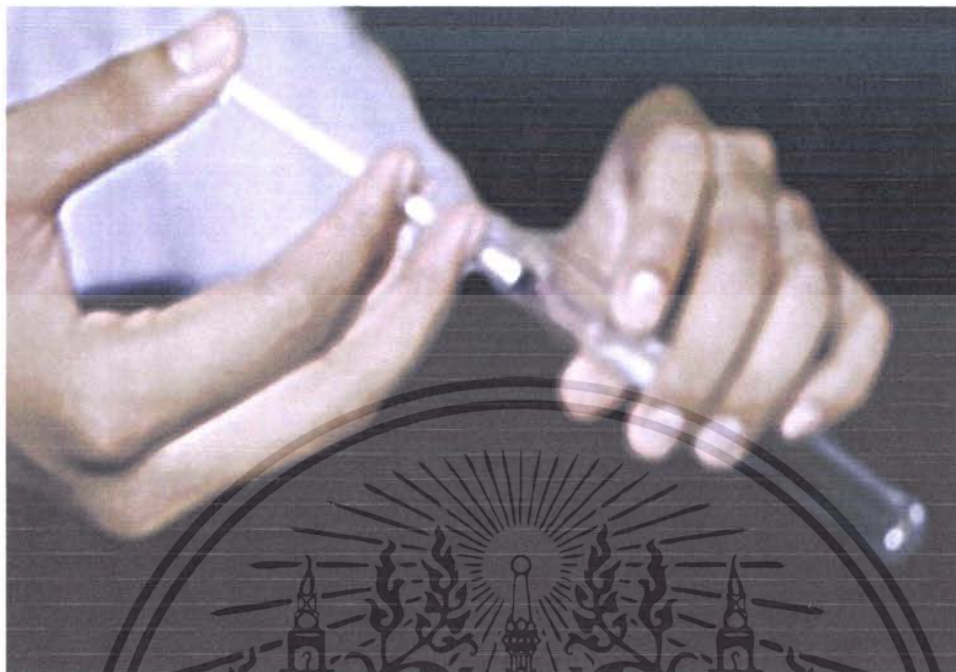


ภาพผนวกที่ 5 วัสดุคืบที่ใช้ในการทดลอง คือ เปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด



ภาพผนวกที่ 6 การทำปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

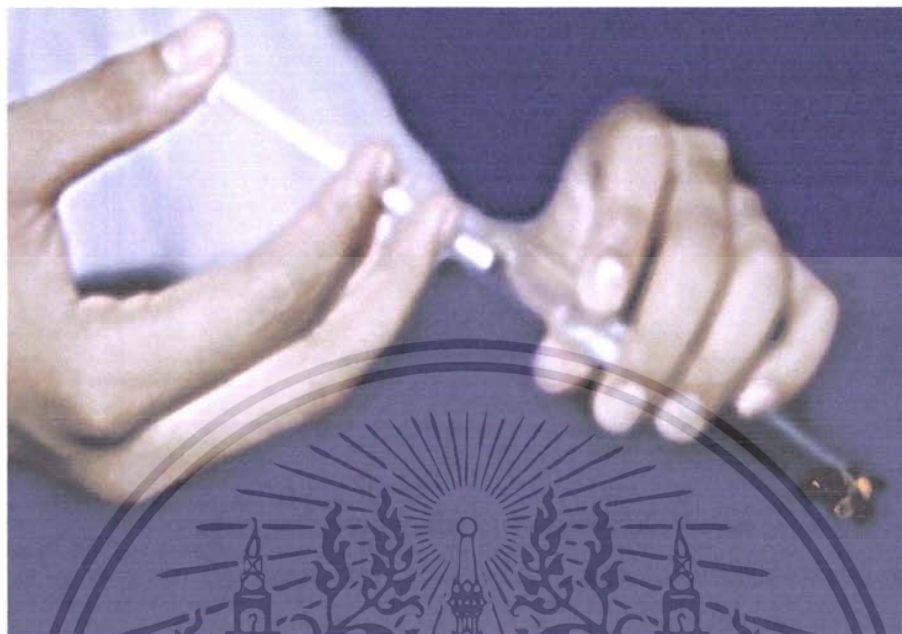


ภาพผนวกที่ 7 จุดผ่านใสเพื่อเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง



ภาพผนวกที่ 8 ต้มเพื่อให้โปรตีนตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 9 ดูดควันไต่จากการตักตะกอนของโปรตีนเพื่อนำไประเหยกรดออก



ภาพผนวกที่ 10 ระเหยกรดออกเพื่อให้แคลเซียมคลอไรด์ตกผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 11 A = แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่  
B = แคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่เป็ด



ภาพที่ 12 เก็บแคลเซียมคลอไรด์ใน โถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณเนื้อกรด ไฮโดรคลอริก ที่ใช้ต่อเปลือกไข่ 1 กรัม



MW ของ HCl = 36.455

MW ของ  $\text{CaCO}_3$  = 100.089

2 mole ของ HCl ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{CaCO}_3$  1 mole  
เปลือกไข่ 1 กรัม มีแคลเซียมคาร์บอเนต 0.9574 กรัม

$\text{CaCO}_3$  100.089 กรัม เป็น 1 mole

$\text{CaCO}_3$  1 กรัม เป็น 0.0099 mole

1 mole  $\text{CaCO}_3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 2 mole HCl

0.0099 mole  $\text{CaCO}_3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.0199 mole HCl

HCl 1 mole มีน้ำหนัก 36.455 กรัม

HCl 0.0199 mole มีน้ำหนัก 0.7254 กรัม

ดังนั้น 1 กรัม  $\text{CaCO}_3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ เนื้อกรด HCl 0.7254 กรัม

ซึ่งก็คือ 1 กรัม  $\text{CaCO}_3$  ของเปลือกไข่ทำปฏิกิริยาพอดีกับเนื้อกรด HCl 0.694 กรัม

### ภาคผนวก ก

การคำนวณการหาปริมาณผลผลิตของแคลเซียมคลอไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกไข่

สูตรคำนวณหา % yield มีดังนี้

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักของแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากกระบวนการผลิต}}{\text{น้ำหนักของผงเปลือกไข่แห้งที่เป็นวัตถุดิบ}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \% \text{ yield} &= \frac{3.454}{10} \times 100 \\ &= 34.54 \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้าใช้ปริมาณของเปลือกไข่ 10 จะได้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุด 34.54 %  
ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก ที่ 1 และ ตารางภาคผนวก ก ที่ 2 ดังต่อไปนี้

ตารางภาคผนวก ก ที่ 1 % yield ที่ผลิต  $\text{CaCl}_2$  จากเปลือกไข่ 10 กรัม

การทดลองที่	การเพิ่มความเข้มข้นของกรด HCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		% yield	
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
1	2	10 : 10	10 : 0.357	15.78	14.81
2	3	10 : 15	10 : 0.476	20.73	19.65
3	4	10 : 20	10 : 0.535	25.32	26.47
4	5	10 : 25	10 : 0.624	28.68	34.54
5	6	10 : 30	10 : 0.741	26.28	26.40

ตารางภาคผนวก ก ที่ 2 % yield ผลิตที่  $\text{CaCl}_2$  จากเปลือกไข่ 20 กรัม

การทดลองที่	การเพิ่มความเข้มข้นของกรด HCl (%)	เปลือกไข่ ต่อกรด		% yield	
		(w/v-sol <sup>n</sup> )	(w/w-HCl)	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
1	2	20 : 10	20 : 0.357	11.37	13.03
2	3	20 : 15	20 : 0.476	11.08	21.12
3	4	20 : 20	20 : 0.535	29.04	26.80
4	5	20 : 25	20 : 0.624	39.36	40.68
5	6	20 : 30	20 : 0.741	30.32	30.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้