



ต้นแบบเปลือกไข่เต่าทะเลไทย : วิเคราะห์โครงสร้างฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุเพื่อการ
อนุรักษ์

โดย

นางสาวสุรัสวดี นวมสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยา

ภาควิชาชีววิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ต้นแบบเปลือกไข่เต่าทะเลไทย : วิเคราะห์โครงสร้างฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุเพื่อการอนุรักษ์

โดย

นางสาวสุรัสวดี นวมสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยา

ภาควิชาชีววิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**MODEL OF THAI MARINE TURTLE EGGSHELL : ANALYSIS OF ULTRASTRUCTURE,
MORPHOLOGY AND ELEMENT FOR CONSERVATION**

By

Suraswadee Nuamsukon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Biology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ต้นแบบเปลือกไข่เต่าทะเลไทย : วิเคราะห์โครงสร้างฐานวิทย์และองค์ประกอบธาตุเพื่อการอนุรักษ์” เสนอโดย นางสาวสุรัสวดี นวมสุคนธ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มยุรา อารีกิจเสรี

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพร ชื่นอิม)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุษบา ปันยารชุน)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กัมปนาท ชาราภูมิ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กมลชนก พานิชการ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มยุรา อารีกิจเสรี)
...../...../.....

50303212 : สาขาชีววิทยา

คำสำคัญ : เตากระ/เตาตนุ/เต่ามะเฟือง/กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผู้วิจัย นวมนุช : ต้นแบบเปลือกไข่เต่าทะเลไทย : วิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุเพื่อการอนุรักษ์. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ. ดร. มยุรา อารีกิจเสรี. 109 หน้า.

การศึกษาโครงสร้างและวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเปลือกไข่เต่าตนุ เตากระและเต่ามะเฟืองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โดยใช้หัวตรวจวัด secondary electron imaging (SEI), backscattered electron imaging (BEI) และ energy dispersive X-ray analysis (EDX) พบว่าเปลือกไข่เต่าทะเลแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นนอก (outer cuticle layer หรือ calcareous layer) ชั้นกลาง (middle layer หรือ middle multistrata layer) และชั้นใน (inner fibrous layer) โดยเปลือกไข่ชั้นนอกมีลักษณะแตกต่างกันในเต่าทะเลแต่ละชนิด เตาตนุและเต่ามะเฟืองมีลักษณะเป็นผลึกหนามแหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี แต่เต่ามะเฟืองมีขนาดของผลึกเล็กและเรียกว่า เตาตนุ ส่วนเต่ากระมีผลึกรูปร่างกลมแทรกระหว่างกลุ่มของผลึกรูปหนามแหลมซึ่งเรียงตัวชิดกันแน่น ส่วนกลางของกลุ่มผลึกยึดติดกับฐานเปลือกไข่ชั้นกลาง บริเวณฐานมีรู (pore) ซึ่งอาจมีรูเดียวหรือหลายรูเชื่อมต่อกับเปลือกไข่ชั้นกลาง เปลือกไข่ชั้นกลางและชั้นในมีลักษณะเป็นโครงสร้างของ เส้นใยสานกัน มีช่องว่างระหว่างเส้นใยเชื่อมกันเป็นร่างแหตลอดทั้งชั้นและพบสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ในเปลือกไข่ชั้นกลาง จากการวัดความหนาของเปลือกไข่แต่ละชั้นของเต่าทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ เตากระและเต่ามะเฟืองเท่ากับ 129.88 ± 14.22 , 117.51 ± 16.19 และ 83.67 ± 17.15 ไมโครเมตร ตามลำดับ ความหนาของเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่าตนุ เตากระและเต่ามะเฟืองเท่ากับ 108.06 ± 13.00 , 118.32 ± 20.06 และ 144.20 ± 2.20 ไมโครเมตร ตามลำดับและความหนาของเปลือกไข่ชั้นในของเต่าตนุ เตากระและเต่ามะเฟืองเท่ากับ 11.38 ± 3.07 , 3.72 ± 0.86 และ 9.69 ± 2.53 ไมโครเมตร ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าทะเลทั้ง 3 ชนิด พบว่าประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) แคลเซียม (Ca) กำมะถัน (S) โซเดียม (Na) คลอรีน (Cl) แมกนีเซียม (Mg) ซิลิกอน (Si) โพแทสเซียม (K) อะลูมิเนียม (Al) ฟลูออรีน (F) และฟอสฟอรัส (P) โดยคาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียมเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก ซึ่งแคลเซียมสะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอกมากที่สุด ($P < 0.05$) พบการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักปริมาณ 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ คือตะกั่ว (Pb) พลาเดียม (Pd) และ โมลิบดีนัม (Mo) ในเปลือกไข่เต่าทั้ง 3 ชนิด นอกจากนั้นพบทองแดง (Cu) ในเปลือกไข่เต่าตนุและเต่ามะเฟืองและพบแคดเมียม (Cd) ในเปลือกไข่เต่าตนุ โดยโลหะหนักที่พบอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ยกเว้น โมลิบดีนัมที่พบในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น นอกจากนี้ยังพบธาตุอื่นๆ คือโบรมีน (Br) และไอโอดีน (I) ผลจากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการเกี่ยวกับการอนุรักษ์เต่าทะเลต่อไป

ภาควิชาชีววิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

50303212 : MAJOR : BIOLOGY

KEY WORDS : *Eretmochelys imbricata*/ *Chelonia mydas*/ *Dermochelys coriacea*/ SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

SURASWADEE NUAMSUKON : MODEL OF THAI MARINE TURTLE EGGSHELL : ANALYSIS OF ULTRASTRUCTURE, MORPHOLOGY AND ELEMENT FOR CONSERVATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. MAYUVA AREEKIJSEREE, Ph.D. 109 pp.

Ultrastructural and elemental analysis of eggshells in 3 marine turtle species; green turtle (*Chelonia mydas*), hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*), and leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*), were studied by scanning electron microscope (SEM) with secondary electron imaging (SEI), backscattered electron imaging (BEI), and energy dispersive X-ray analysis (EDX) detectors. All marine turtle eggshells composed of 3 layers, which were outer cuticle layer or calcareous layer, middle layer or middle multistrata layer, and inner fibrous layer. Generally, morphology of the cuticle layers for all eggshells was thick and porosity. However, there also were different characteristics among 3 eggshell types. The cuticle layers of green turtle eggshell contained loose nodular units forming as clusters of branching needle-like crystals without interlocking attachments. The leatherback turtle eggshells had a cuticle layer which was similar to the green turtle but their crystals were more tapering and smaller. For hawksbill turtles, the cuticle layers contained ball-shape and needle-like crystals. The middle layers and the inner layers consisted of fibers that were firmly forming as network thorough the layers. For the middle layers, sodium chloride was also observed as complexes in the compositions. The outer layer thickness of green turtles, hawksbill turtles, and leatherback turtles were 129.88 ± 14.22 , 117.51 ± 16.19 , and 83.67 ± 17.15 μm , respectively. While the middle layer thickness were 108.06 ± 13.00 , 118.32 ± 20.06 , and 144.20 ± 2.20 μm , respectively, the inner layer thickness of green turtles, hawksbill turtles, and leatherback turtles were 11.38 ± 3.07 , 3.72 ± 0.86 , and 9.69 ± 2.53 μm , respectively. Results from elemental analysis in all 3 marine turtle types showed that they mainly contained carbon (C), oxygen (O), calcium (Ca), sulfur (S), sodium (Na), chlorine (Cl), magnesium (Mg), silicon (Si), potassium (K), aluminium (Al) fluorine (F) and phosphorus (P). Among elements detected, carbon, oxygen, and calcium were found at high percentages. It was found that calcium was accumulated in the outer cuticle layers ($P < 0.05$). Moreover, trace elements, including lead (Pb), palladium (Pd), and molybdenum (Mo), were detected in all 3 eggshell types at the percentages of 0.1-0.5%. Also, copper (Cu) contaminated in leatherback eggshells and cadmium (Cd) was found in green turtle samples. Contaminations of these heavy metals were always seen in the outer layers except for Mo. Finally, there were other elements found in the eggshells which were bromine (Br) and iodine (I). The results from this study would be the fundamental data for further works to management of marine turtle conservation.

Department of Biology

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2009

Student's signature.....

Thesis Advisor' s signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวិทยานิพนธ์นี้ ดิฉันขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มยุรา อารีกิจเสรี ที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะและช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ไขปรับปรุงข้อผิดพลาดในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพร ชื่นอ้อม อาจารย์ ดร. กัมปนาท ธาราภูมิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กมลชนก พานิชการและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญบา ปันยารชุน ที่ได้กรุณาแนะนำและตรวจแก้ไข พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ ทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงาน โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต (สกว.) สัญญาเลขที่ MRG-OSMEP505S192 ที่กรุณาให้การสนับสนุนทุนสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองคำ

ขอขอบคุณศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล หน่วยบัญชาการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนตัวอย่างเปลือกไข่เต่าตนุและเต่ากระที่ผ่านการเพาะฟักแล้ว ซึ่งมีแหล่งวางไข่บริเวณเกาะคราม จ. ชลบุรีและขอขอบคุณอุทยานแห่งชาติ เขาลำปี-หาดท้ายเหมือง อ. ท้ายเหมือง จ. พังงา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนตัวอย่างเปลือกไข่เต่ามะเฟืองที่ผ่านการเพาะฟักแล้วซึ่งมีแหล่งวางไข่บริเวณหมู่เกาะสิมิลัน จ. พังงา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งและป่าชายเลน กลุ่มสัตว์ทะเลหายาก จ.ภูเก็ต ที่กรุณาให้การช่วยเหลือและสนับสนุนตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเลที่ผ่านการเพาะฟักแล้ว

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์พิเศษ พลโท พิศาล เทพสิทธิและคุณนฤมล เตรียมวัฒนา ที่กรุณามอบเงินทุนการศึกษาเพื่อใช้สำหรับเป็นค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงาน ณ กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้

ขอขอบคุณคณาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. อารีย์ ทองภักดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โชคพิสิษฐ์ เทพสิทธิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัลยา ศรีพุทธชาติ อาจารย์วันวลอนงค์ นาคคง และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาชีววิทยาทุกคนที่ให้ความสะดวกในด้านต่างๆ ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด ทำให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฅ

บทที่

1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการศึกษา.....	2
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
	ชีววิทยาเต่าทะเล.....	5
	วงจรชีวิตเต่าทะเล.....	12
	การวางไข่ของเต่าทะเล.....	12
	การพัฒนาของไข่และตัวอ่อนเต่าทะเล	14
	ความทรงจำในแหล่งกำเนิดของลูกเต่าทะเล.....	17
	แหล่งวางไข่ของเต่าทะเลในประเทศไทย.....	18
	งานวิจัยเกี่ยวกับการติดตามการเดินทางของเต่าทะเล	19
	งานวิจัยที่เกี่ยวกับเปลือกไข่.....	20
	งานวิจัยเกี่ยวกับไข่และการเจริญเติบโตของตัวอ่อน	24
	การปนเปื้อนของโลหะหนักและแบคทีเรียในเต่าทะเล	27
	โครงสร้างผลึกอะราโกไนต์และแคลไซต์ที่พบในเปลือกไข่เต่าทะเล.....	28
	หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	29

บทที่	หน้า
3	อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง 37
	ตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเล 37
	วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี 37
	เครื่องมือ 38
	การเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเล 38
	การทำความสะอาดตัวอย่างเปลือกไข่เต่า 38
	การวิเคราะห์ทางสถิติ 40
4	ผลการทดลอง 45
	ศึกษาพื้นฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระ และเต่ามะเฟือง 45
	ความหนาของชั้นเปลือกไข่เต่าทะเล 63
	ชั้นนอก 63
	ชั้นกลาง 64
	ชั้นใน 64
	ศึกษาองค์ประกอบธาตุของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟืองด้วย หัวตรวจวัด EDX 66
	เต่าตนุ 66
	เต่ากระ 66
	เต่ามะเฟือง 66
	ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและ เต่ามะเฟืองโดยใช้หัวตรวจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ 76
5	อภิปรายผลการทดลอง 92
	ศึกษาพื้นฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ 92
	ศึกษาองค์ประกอบธาตุของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟือง 94
	ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและ เต่ามะเฟืองโดยใช้หัวตรวจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ 97
6	สรุปผลการทดลอง 98
	ศึกษาพื้นฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ 98

บทที่	หน้า
ศึกษาองค์ประกอบธาตุของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟือง	98
ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและ เต่ามะเฟืองโดยใช้หัวตรวจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ	99
บรรณานุกรม	100
ประวัติผู้วิจัย	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงเปอร์เซ็นต์ธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่เต่าตนุก่อนเพาะฟักและ หลังเพาะฟักในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น จากงานวิจัยของ Al-Bahry และ คณะ (2009).....	23
2	แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณโดยใช้หัตถตรวจวัด EDX.....	36
3	แสดงจำนวน สถานที่และเวลาที่เก็บตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเล.....	38
4	แสดงความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง.....	63
5	แสดงความหนาของเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง.....	64
6	แสดงความหนาของชั้นในของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง.....	64
7	แสดงความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง	65
8	แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่เต่าตนุ	67
9	แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่เต่ากระ.....	70
10	แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่เต่ามะเฟือง.....	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงลักษณะกระดองด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) และเกล็ดบริเวณส่วนหัวของเต่ากระ	8
2	แสดงลักษณะกระดองด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) และเกล็ดบริเวณส่วนหัวของเต่าตนุ	9
3	แสดงลักษณะกระดองด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) และเกล็ดบริเวณส่วนหัวของเต่าหญ้า.....	11
4	แสดงลักษณะกระดองด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) ของเต่ามะเฟือง	12
5	แสดงโครงสร้างไขสั้วตัวเมีย.....	15
6	แสดงลักษณะท่อนำไข่ (oviduct) ของจระเข้	16
7	แสดงโครงสร้างของเปลือกไข่.....	17
8	แสดงเส้นทางการเดินทางของแม่เต่าทะเลที่มีแหล่งวางไข่ในประเทศไทย	21
9	แสดงลักษณะการกระเจิงของอิเล็กตรอนแบบต่างๆ	32
10	แสดงลักษณะการกระเจิงของ SE, BSE และ X-rays.....	32
11	แสดงส่วนประกอบต่างๆ ภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	33
12	แสดงระดับพลังงานของธาตุ.....	34
13	แสดงลักษณะหัวตรวจวัด EDX.....	35
14	แสดงการเตรียมตัวอย่างบนฐานรองตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์- อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	41
15	แสดงการวางชิ้นเปลือกไข่เต่าทะเลบนเทปคาร์บอนในการศึกษาด้วยกล้อง จุลทรรศน์แบบส่องกราด	42
16	แสดงเครื่องฉาบตัวอย่างด้วยทอง (sputter coater).....	42
17	แสดงการวางตัวอย่างในช่องใส่ตัวอย่าง (chamber) ในเครื่อง SEM.....	43
18	แสดงการแบ่งชั้นต่างๆ ของเปลือกไข่เต่าทะเล.....	43
19	แสดงการวัดความหนาของเปลือกไข่ด้วยโปรแกรม Smile view.....	44
20	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่าตนุ	46

ภาพที่		หน้า
21	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่ากระ	47
22	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง.....	47
23	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นนอกมีผลึกรูปร่างหยาบแหลม รวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมีของเต่าตนุ.....	48
24	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นนอกซึ่งมีผลึกเป็นรูปร่างหยาบ แหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมีของเต่ากระ.....	48
25	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองเป็นผลึก รูปร่างหยาบแหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี.....	49
26	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟือง เป็นผลึกรูปแท่งคล้ายหยาบแหลมรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี.....	49
27	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหยาบแหลมที่รวมกลุ่มแผ่รัศมี ในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองเป็นผลึกรูปแท่งยาวคล้ายทรง กระบอกบางส่วนหักเป็นท่อนสั้นๆ รวมตัวกัน.....	50
28	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหยาบแหลมในเปลือกไข่ ชั้นนอกของเต่าตนุเป็นแผ่นผลึกหลากหลายขนาดเรียงซ้อนทับกันและ ยึดติดกันแน่น	50
29	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหยาบแหลมในเปลือกไข่ ชั้นนอกของเต่ากระ (ถ่ายจากผิวด้านนอกของเปลือกไข่).....	51
30	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุเป็น ผลึกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มหรือก้อนแผ่รัศมี	51
31	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ มีลักษณะ เป็นผลึกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี	52
32	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่าตนุชั้นนอก มีลักษณะ เป็นกลุ่มของผลึกเรียงตัวชิดกันแน่นในแนวระนาบแต่ยังสามารถเห็น ว่าผลึกแบ่งเป็นกลุ่มๆ.....	52
33	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระ มีลักษณะ เป็นผลึกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมีและมีผลึกรูปกลมแทรกระหว่าง กลุ่มผลึกรูปหยาบแหลม	53

ภาพที่		หน้า
34	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระ เป็นกลุ่มของผลึกเรียงตัวชิดกันแน่นในแนวระนาบ ด้านบนมีผลึกเล็กๆ รวมตัวกันเป็นแผ่นบางๆ ทำให้ผิวด้านบนเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระค่อนข้างเสมอกัน.....	53
35	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่ามะเฟืองชั้นนอก มีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกเรียงตัวชิดกันแน่นในแนวระนาบอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผิวด้านบนของเปลือกไข่เต่ามะเฟืองชั้นนอกมีความสูงต่ำไม่เสมอกัน	54
36	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาชั้นของเปลือกไข่ของเต่าตนุ ชั้นนอกมีลักษณะเป็นผลึกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี เรียงตัวชิดกันแน่น	54
37	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาชั้นของเปลือกไข่ของเต่ากระ ชั้นนอกมีลักษณะเป็นผลึกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี เรียงตัวชิดกันแน่น และมีผลึกรูปกลมแทรกกระหว่างกลุ่มผลึกรูปแท่ง.....	55
38	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟือง มีลักษณะเป็นผลึกรูปหนามแหลมรวมเป็นกลุ่มแผ่รัศมี	55
39	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะฐานของกลุ่มผลึกในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ .	56
40	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะฐานของกลุ่มผลึกที่เกิดจากผลึกรูปหนามแหลมรวมตัวแผ่รัศมีในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟือง.....	56
41	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะรู (P=pore) ของเต่ามะเฟืองซึ่งเป็นบริเวณที่ส่วนกลางของกลุ่มผลึกยึดติดกับฐานอาจมีรูเดียวหรือหลายรูเชื่อมต่อกับเปลือกไข่ชั้นกลาง	57
42	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่ามะเฟือง	57
43	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของจุดกำเนิด (PS=primary spherite) ของเต่ามะเฟือง	58
44	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่สานกันเป็นร่างแหของเปลือกไข่ชั้นกลางในเปลือกไข่เต่ามะเฟือง	58

ภาพที่		หน้า
45	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่สานกันเป็นร่างแหและช่องว่างระหว่างเส้นใยในเปลือกไข่ชั้นกลางเต่าตนุ	59
46	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่เรียงตัวสานกันแน่นและช่องว่างระหว่างเส้นใยของเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่ากระ.....	59
47	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่สานกันเป็นร่างแหและช่องว่างระหว่างเส้นใยของเปลือกไข่ชั้นกลางในเปลือกไข่เต่ามะเฟือง	60
48	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไข่ชั้นในของเต่ากระ	60
49	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไข่ชั้นกลาง (middle layer) และชั้นใน (inner fibrous layer) ของเต่าตนุ	61
50	ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไข่ชั้นกลาง (middle layer) และชั้นใน (inner fibrous layer) ของเต่ามะเฟือง.....	61
51	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นใน (ถ่ายจากผิวด้านใน) ของเต่าตนุ....	62
52	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นใน (ถ่ายจากผิวด้านใน) ของเต่ากระ...	62
53	ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นใน (ถ่ายจากผิวด้านใน) ของเต่ามะเฟือง	63
54	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุ	78
55	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุ	79
56	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุ	80
57	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุ	81
58	แสดงลักษณะผลึกในชั้นนอกของเต่าตนุที่ถ่ายโดยใช้หัวตรวจวัด BEI (บน) และ SEI (ล่าง).....	82
59	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ.....	83
60	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ.....	84
61	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ.....	85
62	แสดงลักษณะผลึกในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระที่ถ่ายโดยใช้หัวตรวจวัด BEI (บน) และ SEI (ล่าง)	86
63	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง	87
64	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง	88

ภาพที่		หน้า
65	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง	89
66	แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง	90
67	แสดงลักษณะผลึกในชั้นนอกของเต่ามะเฟืองที่ถ่ายโดยใช้หัวตรวจวัด BEI (บน) และ SEI (ล่าง)	91

สารบัญภาพประกอบ

กราฟที่		หน้า
1	แสดงความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง	65
2	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นนอก ของเต่าตนุ (n = 54)	68
3	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นกลาง ของเต่าตนุ (n = 54).....	68
4	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นใน ของเต่าตนุ (n = 54)	69
5	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นนอก ของเต่ากระ (n = 27).....	71
6	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นกลาง ของเต่ากระ (n = 27).....	71
7	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นใน ของเต่ากระ (n = 27).....	72
8	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นนอก ของเต่ามะเฟือง (n = 30).....	74
9	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นกลาง ของเต่ามะเฟือง (n = 30).....	74
10	แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นใน ของเต่ามะเฟือง (n = 30).....	75

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประชากรของเต่าทะเลลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดวิกฤต อันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การวางอวน การลักลอบขุดไข่เต่าทะเล มลภาวะและการสูญเสียแหล่งวางไข่ มีการใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของเต่าทะเล เช่น เนื้อนำไปประกอบอาหารเพื่อบริโภค ไข่ ตับและเนื้อเยื่อไขมัน นำไปสกัดน้ำมันเพื่อทำสบู่หรือยาสมานแผล กระดอง (carapace) นำไปทำเป็นเครื่องประดับ (Aguirre, 2006) อนุสัญญาว่าด้วยการค้าระหว่างประเทศซึ่งชนิดสัตว์ป่าและพืชป่าที่ใกล้สูญพันธุ์ (Convention of International Trade in Endangered Species, CITES) ประกาศให้เต่าทะเลทุกชนิดพันธุ์เป็นสัตว์ป่าใกล้สูญพันธุ์ในชนิดพันธุ์แนบท้ายบัญชีหมายเลข 1 (APPENDIX I) ซึ่งเป็นชนิดพันธุ์ที่ห้ามทำการค้าโดยเด็ดขาด (กฎกระทรวง, 2546) นานาประเทศได้ทำการศึกษาชีววิทยาและนิเวศวิทยาของเต่าทะเลเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการอนุรักษ์ดียิ่งขึ้น สำหรับประเทศไทยมีหลายหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นเพื่ออนุรักษ์เต่าทะเล

พ.ศ. 2493 - กองทัพเรือออกประกาศตามพระราชบัญญัติว่าด้วยเขตปลอดภัยทางราชการ และให้สงวน บริเวณสถานินทหารเรือสัตหีบบางส่วน ไว้เป็นเขตปลอดภัย ห้ามมิให้ผู้ที่ไม่มีความเกี่ยวข้องรวมทั้งนักท่องเที่ยวเข้าไปในพื้นที่และมอบหมายให้กรมอุทกศาสตร์เป็นหน่วยแรกดำเนินการ

พ.ศ. 2501 - กรมอุทกศาสตร์โอนให้สถานินทหารเรือสัตหีบดำเนินการอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล แต่เนื่องจากผู้บัญชาการสถานินทหารเรือสัตหีบ ในขณะนั้น คือ พล.ร.ต.อนันต์ เนตรโรจน์ ดำรงตำแหน่ง ผู้บังคับการกองการฝึก กองเรือยุทธการอีกตำแหน่งหนึ่ง จึงได้ลงคำสั่งให้กองการฝึก กองเรือยุทธการ เป็นผู้ดำเนินการ

พ.ศ. 2522 - สมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ ทรงมีพระราชดำริให้กรมประมงจัดตั้งโครงการอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลที่เกาะมันใน อ. แกลง จ. ระยอง

พ.ศ. 2522 - กองทัพเรือมอบให้ฐานทัพเรือสัตหีบ โดยกรมกรมต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่งรับผิดชอบการดูแลเกาะครามแทนกองการฝึก กองเรือยุทธการ

พ.ศ. 2535 - กรมป่าไม้ประกาศให้อุทยานแห่งชาติทางทะเลทุกแห่งดำเนินกิจกรรมและการวางแผนการจัดการอนุรักษ์เต่าทะเลทั้งระยะสั้นและระยะยาว โดยกำหนดให้ทำการเพาะเลี้ยงเต่าทะเลเพื่อการศึกษาและการปล่อยตามประเพณีได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนเต่าที่ฟักออกจากไข่

พ.ศ. 2537 - กองทัพเรือก่อตั้งศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลกองทัพเรือ จ. ชลบุรี ซึ่งมีหน่วยงานเฉพาะคือ “หน่วยรักษาทรัพยากรธรรมชาติและอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล (นรต.)” เพื่อปฏิบัติการรักษาคความปลอดภัยบริเวณเกาะคราม เกาะอีร้าและเกาะจาน พร้อมทั้งทำการอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลไทย 2 ชนิด คือ เต่าตนุ (*Chelonia mydas*) และเต่ากระ (*Eretmochelys imbricata*)

พ.ศ. 2538 - กองทัพเรือขยายการอนุรักษ์ไปทางฝั่งอันดามัน กองเรือภาคที่ 3 กองเรือยุทธการ รับผิดชอบที่ชายหาดสนงาม แหลมปอ ฐานทัพเรือพังงา อ. ท้ายเหมือง จ. พังงา

หน่วยรักษาทรัพยากรธรรมชาติและอนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลทำการอนุรักษ์โดยเก็บไข่เต่าจากชายหาด นำมาเพาะฟักและอนุบาลจนแข็งแรง เมื่ออายุครบ 6 เดือนจึงปล่อยกลับคืนสู่ธรรมชาติ ส่วนของเปลือกไข่ที่เหลือจากการเพาะฟักนั้นเป็นสิ่งที่นักวิจัยสนใจนำมาศึกษาให้เกิดเป็นข้อมูลทางวิชาการที่มีคุณค่าเพื่อประโยชน์ทางอนุกรมวิธานและการอนุรักษ์เต่าทะเลไทย

การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ คือการรู้จักใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างฉลาด การใช้ประโยชน์นั้นจะต้องเกิดผลดีต่อประชากรโลกส่วนรวมมากที่สุด จะต้องรู้จักใช้ประโยชน์ให้ได้เป็นเวลานานที่สุด ให้มีการสูญเสียทรัพยากรอย่างเปล่าประโยชน์น้อยที่สุดและต้องกระจายการใช้ประโยชน์ให้ทั่วถึงกัน (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 21: 2539) ปัจจัยสำคัญในการอนุรักษ์คือ ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับชีววิทยา การวางไข่ การอพยพย้ายถิ่น แหล่งหากิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้กำลังทำการศึกษาโดยกองทัพเรือและจัดแสดงพิพิธภัณฑ์เกี่ยวกับชีวิตของเต่าทะเล เพื่อเป็นแหล่งความรู้แก่เยาวชนและผู้สนใจ แต่ยังคงขาดข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างเปลือกไข่เต่าทะเลในเชิงลึก ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาดังโครงสร้าง สันฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุทางด้านคุณภาพและปริมาณของเปลือกไข่เต่าด้วย EDX, BEI และ SEI ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อการจัดจำแนกและใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของเปลือกไข่เต่าทะเลชนิดต่างๆ โดยจะเก็บข้อมูลอย่างละเอียดจากเต่าแต่ละสายพันธุ์ในชายฝั่งทะเลต่างๆ บริเวณอ่าวไทยและอันดามัน แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อดูความสัมพันธ์และเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นความรู้แก่บุคคลที่สนใจต่อไป

2. จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าทะเลอย่างละเอียด
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ธาตุที่ประกอบในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่าทะเล
3. เพื่อจัดทำเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเปลือกไข่เต่าทะเลและศึกษาความเป็นไปได้

ในการใช้โครงสร้างเปลือกไข่เป็นเกณฑ์ในการจัดจำแนกชนิดเต่าทะเล

3. สมมุติฐานของการศึกษา

โครงสร้างและธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าทะเล แต่ละชนิดอาจมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกชนิดของเต่าทะเลของไทยได้ในเบื้องต้น

4. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของเปลือกไข่เต่าทะเล 3 ชนิด คือ เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟืองที่วางไข่บนชายหาดฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างและองค์ประกอบธาตุของเปลือกไข่เต่าทะเลที่วางไข่ที่หาดฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน ซึ่งจะใช้เป็นต้นแบบของเปลือกไข่เต่าทะเลไทย โดยศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้หัวตรวจวัด EDX, BEI และ SEI ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์กับงานอนุกรมวิธาน ในการจัดจำแนกชนิดของเต่าทะเล และยังเป็นข้อมูลที่จะนำไปสู่การศึกษารายละเอียดด้านอื่นๆ ต่อไป เช่น การใช้เปลือกไข่เป็นดัชนีชี้วัดสภาพแวดล้อมในถิ่นอาศัยของเต่าทะเล ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร การปนเปื้อนของสารเคมี และสารพิษที่อาจมีผลกระทบต่อเต่าทะเลและที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยไปใช้ประกอบในการจัดตั้งพิพิธภัณฑเต่าทะเลที่สมบูรณ์แบบเพื่อให้ความรู้แก่เยาวชนและบุคคลที่สนใจต่อไป

นิยามศัพท์เฉพาะ

คำย่อ		คำเต็ม
°C	=	degree celsius
µg Cd/g	=	microgram cadmium per gram
AE	=	auger electron
BaP	=	benzo[a]pyrene
BEI	=	backscattered electron imaging
BSE	=	backscattered electron
CRT	=	cathode ray tube
DMBA	=	7, 12-dimethylbenz[a]anthracene
EDX	=	energy dispersive X-ray analysis
GCECD	=	gas chromatography with electron capture detection
Hg	=	mercury
im	=	inframarginal scale
mOs.mol.kg ⁻¹	=	milli-osmolality mole per kilogram
PAHs	=	polycyclic aromatic hydrocarbons
PCBs	=	polychlorinated biphenyl
PCDDs	=	polychlorinated dibenzodioxins
PCDFs	=	polychlorinated dibenaofurans
Pf	=	prefrontal scales
PNEC	=	the predicted no effect concentrations
po	=	postocular scales or postorbital scales
PTT	=	platform transmitter terminals
r	=	rhamphopheca
SE	=	secondary electron
SEI	=	secondary electron imaging
SEM	=	scanning electron microscopy
TE	=	transmitted electron

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชีววิทยาเต่าทะเล

เต่าเป็นสัตว์เลื้อยคลานเพียงกลุ่มเดียวที่มีชีวิตตั้งแต่ในยุคไครแอสสิกจนถึงยุคปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาน้อยมาก เต่าเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังและมีโครงสร้างแข็ง ห่อหุ้มร่างกายและอวัยวะสำคัญเรียกว่า กระดองซึ่งแปรสภาพมาจากกระดูก เกล็ดที่ห่อหุ้มร่างกายใช้สำหรับป้องกันตัวจากศัตรู มีหัวใจสามห้อง หายใจด้วยปอด มีรูจมูก 2 รูอยู่ทางด้านหน้าส่วนบนของตัว มีหูอยู่บริเวณด้านหลังของตาเหนือมุมปากเล็กน้อย เต่าทะเลมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเท้าทั้ง 4 ให้มีลักษณะเป็นพายเพื่อให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตในน้ำ เต่าแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามลักษณะกระดองและแหล่งที่อยู่อาศัย (บพิธและนันทพร, 2547) ดังนี้

ก. เทอร์เทิล (turtles) เป็นเต่าที่จัดอยู่ในประเภทสะเทินน้ำสะเทินบก เรียกว่า amphibious turtles ซึ่งอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืดและทะเล

ข. เทอร์ราพิน (terrapins) เป็นเต่าน้ำจืดที่มีกระดองแข็ง

ค. เทอร์ทอยส์ (tortoise) เป็นเต่าที่อาศัยบนบก

ง. เทอร์เทิลเปลือกอ่อนนุ่ม (soft-shelled turtles) เป็นเต่าที่มีลักษณะลำตัวไม่มีเกล็ด มีผิวหนังที่คลุมกระดองซึ่งมีความเหนียวคล้ายกับหนัง ได้แก่ ตะพาบน้ำ

เต่าทะเลอาศัยอยู่ในทะเลเขตร้อน มีการดำรงชีวิตอยู่ในน้ำเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นช่วงวางไข่แม่เต่าทะเลจะคลานขึ้นมานบนบก โดยเลือกชายหาดที่เงียบสงบเพื่อขุดหลุมวางไข่และคลานลงสู่ทะเลเช่นเดิม เนื่องจากเต่าทะเลอาศัยอยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลา เต่าทะเลจึงมีวิธีการรักษาสมดุลของของเหลวในร่างกาย โดยมีระบบการขับเกลือแร่ส่วนเกินออกจากร่างกายด้วยการทำงานของไต และเกลือแร่ส่วนเกินจะถูกลำเลียงออกจากร่างกายทางต่อมน้ำตาซึ่งอยู่หลังลูกตาทั้งสองข้างซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นตลอดเวลาดังนั้นในขณะที่เต่าทะเลขึ้นมานบนบกจึงเห็นเมือกไหลออกมาทางตา ซึ่งเมือกที่ขับออกมาในแต่ละครั้งมีปริมาณ 300 ถึง 400 มิลลิออสโมเลลลิติ โมลต่อกิโลกรัม (mOs.mol.kg^{-1}) โดยประกอบด้วย โซเดียมไอออน (Na^+) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) โพแทสเซียม-

ไอออน (K^+) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) (Nicolson, 1989)

เต่าทะเลทั่วโลกพบอยู่ 8 ชนิด (Eckert และคณะ, 1999) คือ

เต่ากระหรือ Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*)

เต่าตนุหรือ Green turtle (*Chelonia mydas*)

เต่าตนุดำหรือ Black turtle (*Chelonia agassizii*)

เต่ามะเฟืองหรือ Leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*)

เต่าหัวม้อนหรือ Loggerhead turtle (*Caretta caretta*)

เต่าหลังแบนหรือ Flatback turtle (*Natator depressus*)

เต่าหญ้าหรือ Olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*)

เต่าหญ้าแอตแลนติกหรือ Kemp's ridley turtle (*Lepidochelys kempii*)

แต่จากการศึกษาลำดับวิวัฒนาการเพื่อจำแนกชนิด (phylogenic) ของเต่าทะเลโดยใช้รหัสพันธุกรรมของไซโตโครม บี (cytochrome b) และรหัสพันธุกรรมในไมโทคอนเดรีย (mtDNA) ด้วย Magic PDR Preps system พบว่าเต่าตนุดำมีลำดับพันธุกรรมที่คล้ายคลึงกับเต่าตนุมากอีกทั้งเต่าตนุดำพบได้เฉพาะทางตอนใต้ของทะเลแปซิฟิกซึ่งมีจำนวนน้อยมาก ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนแนวความคิดของ Mrosovsky (1983) ว่าเต่าตนุดำน่าจะเป็นเต่าตนุแบบดำ (melanistic form) จึงได้จัดเต่าตนุดำเป็นชนิดรอง (subspecies) ของเต่าตนุ ปัจจุบัน IUCN ระบุว่าเต่าทะเลมีทั้งสิ้น 7 ชนิด

ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบเต่าทะเลเพียง 5 ชนิดคือ เต่ากระ เต่าตนุ เต่ามะเฟือง เต่าหญ้าและเต่าหัวม้อน (บุญเลิศ, 2524) แต่หลังจากปี 2530 ถึงปัจจุบันเหลือเพียง 4 ชนิดคือ เต่ากระ เต่าตนุ เต่ามะเฟืองและเต่าหญ้า ที่ยังคงขึ้นมาวางไข่บนชายหาดของไทยทั้งทางฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน บริเวณที่เคยพบเต่าทะเลขึ้นวางไข่ทางฝั่งอ่าวไทย ได้แก่ ชายหาดของ จ. ชลบุรี ตราด นครศรีธรรมราช นราธิวาส ประจวบคีรีขันธ์ และปัตตานี ส่วนทางฝั่งอันดามัน ได้แก่ ชายหาดของ จ. ภูเก็ตและพังงา พบเพียงเล็กน้อยบริเวณชายหาดของ จ. ตรังและสตูล (นิวัติ, 2537)

เต่าทะเลไทยเหลือน้อยมาก ปัจจุบันพบแหล่งวางไข่เต่าทะเลในอ่าวไทยที่ จ. ชลบุรี บริเวณเกาะคราม เกาะอีร้า เกาะจาน และเกาะต่างๆ ซึ่งอยู่ในเขตการดูแลของกองทัพเรือ จ.ระยอง บริเวณเกาะมันในและ จ.นครศรีธรรมราช บริเวณเกาะกระ ส่วนทางฝั่งทะเลอันดามันพบที่หมู่เกาะสิมิลันและหมู่เกาะสุรินทร์ พบบ้างเล็กน้อยที่ จ. พังงาบริเวณหาดท้ายเหมืองและเกาะพระทองและ จ. ภูเก็ต บริเวณหาดในยางและหาดไม้ขาว (นิวัติ, 2537)

เต่าทะเลที่พบรายงานการวางไข่ในประเทศไทยมีทั้งหมด 4 ชนิด จัดอยู่ใน 2 ครอบครัว (Family) (นิวัติ 2537; Eckert และคณะ, 1999) คือ

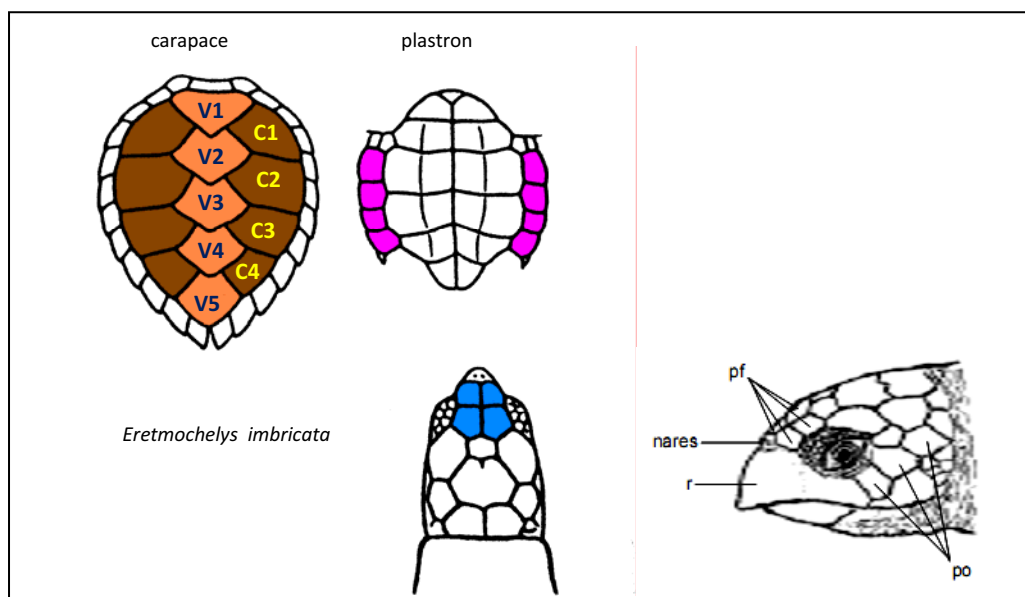
1. Family Cheloniidae มี 3 ชนิด

1.1 เต่ากระ

ชื่อสามัญ Hawksbill turtle

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eretmochelys imbricata*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา จมอยปากแหลม รูน้มนคล้ายปากเหยี่ยว มีเกล็ดบนส่วนหัวตอนหน้า (prefrontal scales) 2 คู่ เกล็ดบนหลังแถวข้าง (costal scales) มีข้างละ 4 เกล็ด ลักษณะเด่นของเต่ากระคือเกล็ดบนกระดองมีลวดลายเป็นริ้วสีและซ้อนกันเห็นได้ชัดเจน (ภาพที่ 1) เต่ากระตัวโตเต็มที่มีความยาวของกระดองประมาณ 71-91 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 60-80 กิโลกรัม ขนาดที่สามารถแพร่พันธุ์ได้มีความยาวกระดองประมาณ 70 เซนติเมตร ไข่ของเต่ากระมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 32-36 มิลลิเมตร จำนวน 110-180 ฟองต่อครั้ง หลุมไข่กว้างประมาณ 70-85 เซนติเมตร เต่ากระอาศัยอยู่ตามแนวปะการังมักกินสัตว์จำพวกฟองน้ำ หอย และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่างๆ เป็นอาหาร แหล่งวางไข่ของเต่ากระพบมากในอ่าวไทย บริเวณเกาะครามน้อย เกาะอีร้าและเกาะจาน จ. ชลบุรีและฝั่งอันดามัน บริเวณหมู่เกาะสุรินทร์ จ. พังงา



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะกระดูกโครงกระดูกด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) และเกล็ดบริเวณส่วนหัวของเต่าทะเล C1-C4 คือเกล็ดบนหลังแถวข้างด้านละ 4 เกล็ด V1-V5 คือเกล็ดบนหลังแถวกลาง (vertebral scales) มี 5 เกล็ดและเกล็ดบนส่วนหัวตอนหน้า (prefrontal scales; pf) จำนวน 2 คู่ (สีน้ำเงิน) เกล็ดส่วนหัวด้านข้าง (postorbital scales หรือ postocular scales; po) ด้านละ 3 เกล็ดและส่วนด้านหน้าของปาก (rhamphopheca; r)

ที่มา : ¹สมเกียรติ และคณะ, กรมป่าไม้, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ, ส่วนอุทยานแห่งชาติทางทะเล, การสำรวจเต่าทะเล (กรุงเทพฯ: 2543), 48.

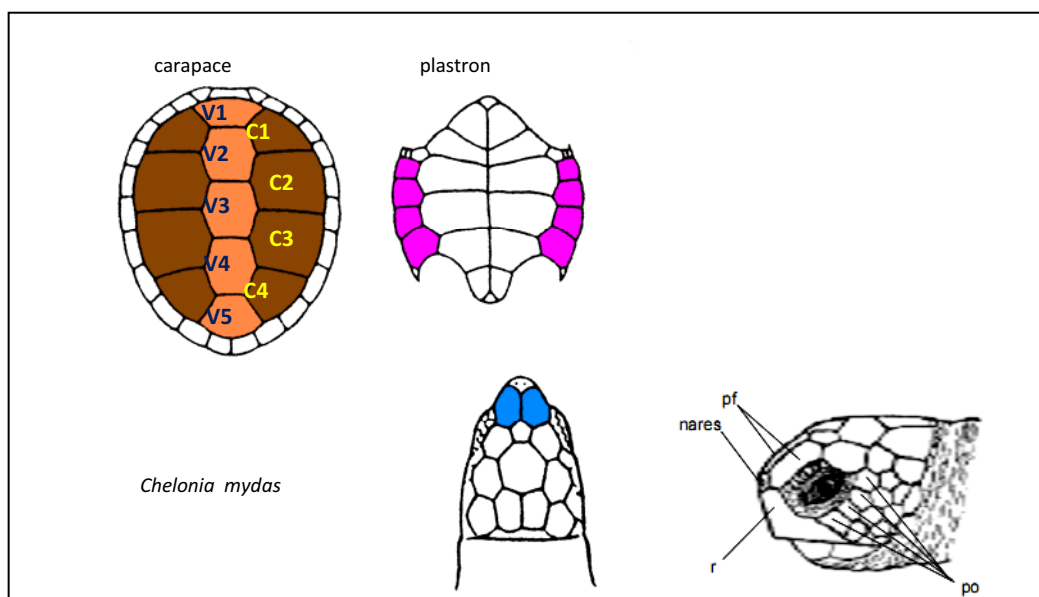
²Eckert และคณะ, Research and management techniques for the conservation of sea turtles (Pennsylvania : Consolidated Graphic Communications, 1999), 235.

1.2 เต่าตนุหรือเต่าแสงอาทิตย์

ชื่อสามัญ Green turtle

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Chelonia mydas*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เกล็ดบนส่วนหัวตอนหน้า (prefrontal scale) จำนวน 1 คู่ เกล็ดบนกระดูกโครงกระดูกแถวข้าง (costal scale) จำนวน 4 เกล็ด ลักษณะขอบของเกล็ดจะเชื่อมต่อกันไม่ซ้อนกัน สีสันและลวดลายสวยงาม โดยมีกระดูกสันหลังคดโค้ง มีลายริ้วสีจางกว่ากระจายจากส่วนกลางเกล็ด โครงกระดูกส่วนใต้ท้องสีเหลืองหรือสีครีมอ่อน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะกระดูกด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) และเกล็ดบริเวณส่วนหัวของแต่ละตัว C1-C4 คือเกล็ดบนหลังแถวข้างด้านละ 4 เกล็ด V1-V5 คือเกล็ดบนหลังแถวกลาง (vertebral scales) มี 5 เกล็ดและเกล็ดบนส่วนหัวตอนหน้า (prefrontal scales; pf) จำนวน 1 คู่ (สีน้ำเงิน) เกล็ดส่วนหัวด้านข้าง (postorbital scales หรือ postocular scales; po) ด้านละ 4 เกล็ดและส่วนด้านหน้าของปาก (rhampophoca; r)

ที่มา : ¹สมเกียรติ และคณะ, กรมป่าไม้, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและ, ส่วนอุทยานแห่งชาติทางทะเล, การสำรวจเต่าทะเล (กรุงเทพฯ: 2543), 48.

²Eckert และคณะ, Research and management techniques for the conservation of sea turtles (Pennsylvania : Consolidated Graphic Communications, 1999), 235.

เต่าตนุโตเต็มที่มีขนาดความยาวกระดองประมาณ 90-100 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 113-182 กิโลกรัม ขนาดที่สามารถแพร่พันธุ์ได้มีความยาวกระดองประมาณ 80 เซนติเมตร ไข่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40-46 มิลลิเมตร จำนวน 110-130 ฟองต่อครั้ง หลุมไข่กว้างประมาณ 100-130 เซนติเมตร เต่าตนุกินพืชเป็นอาหารหลัก ได้แก่ พืชทะเลและสาหร่ายทะเล ชนิดต่างๆ เต่าตนุในวัยอ่อนจะกินทั้งพืชและเนื้อสัตว์เป็นอาหาร เต่าตนุมีแหล่งวางไข่ในอ่าวไทย

บริเวณเกาะคราม จ. ชลบุรีและเกาะกระ จ. นครศรีธรรมราช ส่วนทางฝั่งอันดามันพบบริเวณหมู่เกาะสิมิลัน จ. พังงา

1.3 เต่าหญ้า

ชื่อสามัญ Olive ridley turtle

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lepidochelys olivacea*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา กระดองเรียบสีเทาอมเขียว ส่วนหัวค่อนข้างโต จงอยปากมนใหญ่ คมและแข็งแรง มีเกล็ดบนหัวตอนหน้า (prefrontal scale) จำนวน 2 คู่ และเกล็ดบนกระดองหลังแถวข้าง (costal scale) มีจำนวน 6-8 แผ่น ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของเต่าหญ้า กระดองส่วนท้องแถวกลาง (inframarginal scale) มีรูสำหรับขับถ่ายหรือรูเปิดสำหรับประสาทรับความรู้สึก จำนวน 5 คู่ (ภาพที่ 3) เต่าหญ้าโตเต็มที่มีขนาดความยาวกระดองประมาณ 80 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 80 กิโลกรัม ขนาดที่สามารถแพร่พันธุ์ได้ความยาวกระดองประมาณ 60 เซนติเมตร กินสัตว์ทะเลได้แก่ ปู ปลา กุ้ง และหอยเป็นอาหาร มีแหล่งวางไข่ทางฝั่งทะเลอันดามัน บริเวณหาดทราย จ. ภูเก็ตและพังงา ส่วนทางฝั่งอ่าวไทยไม่มีรายงานการวางไข่ของเต่าหญ้า

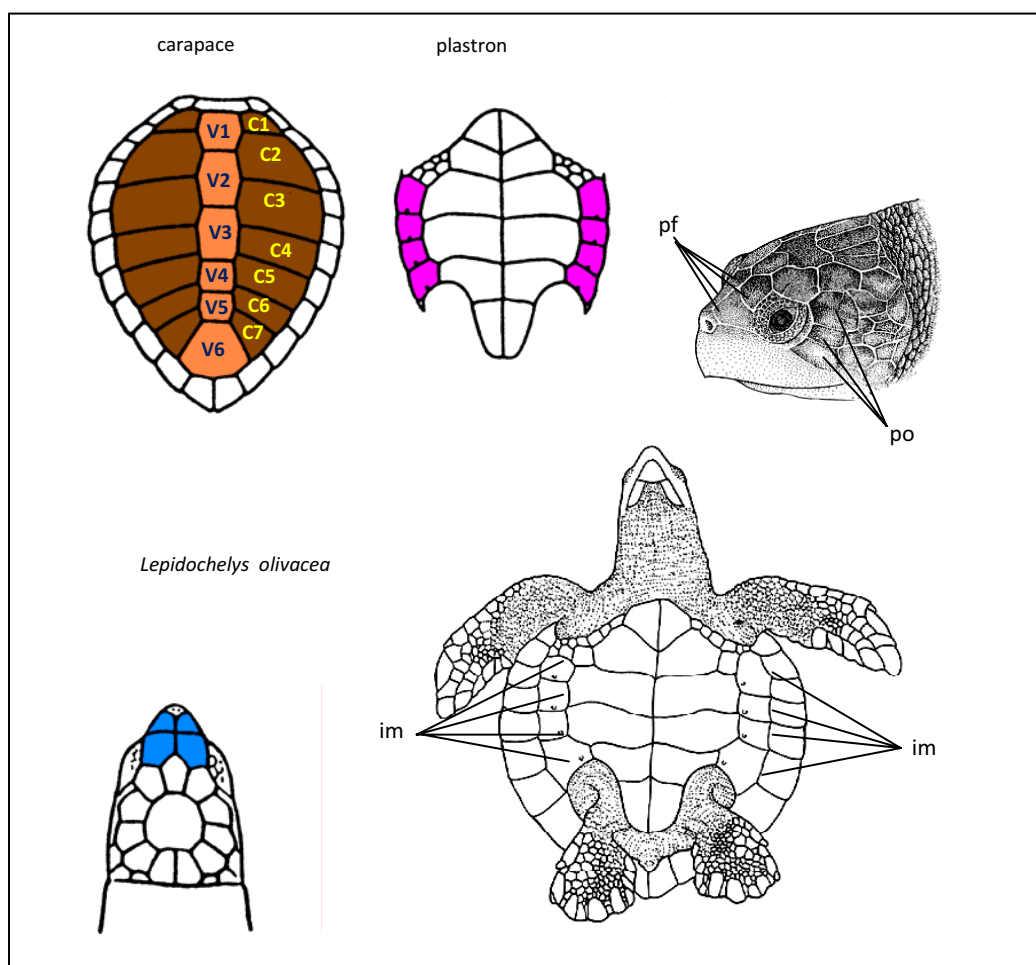
2. Family Dermochelyidae มีเพียงชนิดเดียว คือ

2.1 เต่ามะเฟือง

ชื่อสามัญ Leatherback turtle

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Dermochelys coreacea*

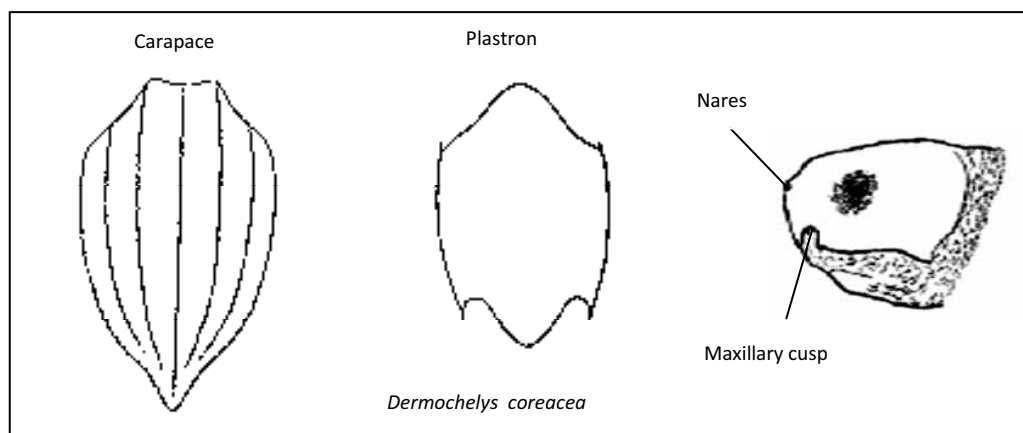
ลักษณะทางสัณฐานวิทยา มีขนาดใหญ่กว่าเต่าทะเลชนิดอื่นๆ กระดอง มีลักษณะเป็นแผ่นหนังหนาสีดำ ไม่มีเกล็ด มีแต้มสีขาวประทั้งตัว กระดองเป็นสันนูนตามแนวความยาวจากส่วนหัวถึงท้ายจำนวน 7 สันส่วนหัวไม่มีเกล็ดปกคลุมจงอยปากด้านบนมีลักษณะเป็นหยัก 3 หยัก (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะกระดูกด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) และเกล็ดบริเวณส่วนหัวของเต่าหญ้า C1-C7 คือเกล็ดบนหลังแถวข้างด้านละ 6-8 เกล็ด V1-V6 คือเกล็ดบนหลังแถวกลาง (vertebral scales) มี 6 เกล็ดและเกล็ดบนส่วนหัวตอนหน้า (prefrontal scales; pf) จำนวน 2 คู่ (สีน้ำเงิน) เกล็ดส่วนหัวด้านข้าง (postorbital scales หรือ postocular scales; po) ด้านละ 3 เกล็ด เกล็ดบนส่วนหัวตอนหน้าจำนวน 2 คู่ (สีน้ำเงิน) และกระดูกส่วนท้องแถวกลาง (inframarginal scale; im) มีรูสำหรับขั้วถ่ายหรือรูเปิดสำหรับประสาทรับความรู้สึก

ที่มา : ¹สมเกียรติ และคณะ กรมป่าไม้, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและ, ส่วนอุทยานแห่งชาติทางทะเล, การสำรวจเต่าทะเล (กรุงเทพฯ: 2543), 48.

²Eckert และคณะ, Research and management techniques for the conservation of sea turtles (Pennsylvania : Consolidated Graphic Communications, 1999), 235.



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะกระดองด้านหลัง (carapace) และด้านท้อง (plastron) ของเต่ามะเฟืองและส่วนหัวแสดงตำแหน่งของรูจมูก (nares) ลักษณะงอยปากส่วนล่างที่ยื่นเข้าไปในงอยปากส่วนบน (maxillary cusp) ใช้สำหรับกัดหรือฉีกอาหาร

ที่มา : ¹สมเกียรติ และคณะ กรมป่าไม้, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ, ส่วนอุทยานแห่งชาติทางทะเล, การสำรวจเต่าทะเล (กรุงเทพฯ: 2543), 48.

²Eckert และคณะ, Research and management techniques for the conservation of sea turtles (Pennsylvania : Consolidated Graphic Communications, 1999), 235.

เต่ามะเฟืองตัวโตเต็มที่มีความยาวกระดองประมาณ 180-250 เซนติเมตร น้ำหนักสูงสุดถึง 1,000 กิโลกรัม ขนาดที่สามารถแพร่พันธุ์ได้มีความยาวกระดองประมาณ 150 เซนติเมตร ไข่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 51-55 มิลลิเมตร จำนวน 80-90 ฟองต่อครั้ง มักกินอาหารจำพวกพืชและสัตว์ที่ลอยตามน้ำ อาหารหลักคือแมงกะพรุน ปัจจุบันพบเต่ามะเฟืองขึ้นวางไข่น้อยมาก พบบ้างบริเวณหาดทรายและหมู่เกาะต่างๆ ฝั่งทะเลอันดามัน จ.พังงาและภูเก็ต ปัจจุบันไม่พบเต่ามะเฟืองขึ้นวางไข่บริเวณอ่าวไทย

2. วงจรชีวิตเต่าทะเล

เมื่อถึงฤดูวางไข่เต่าทะเลจะเดินทางจากแหล่งอาหารไปยังแหล่งผสมพันธุ์ ซึ่งจะมีแหล่งที่แน่นอนของเต่าทะเลแต่ละกลุ่ม เต่าทะเลเพศผู้เมื่อผสมพันธุ์เสร็จแล้วจะเดินทางกลับสู่แหล่งอาหารทันที ส่วนเต่าทะเลเพศเมียจะเดินทางไปยังแหล่งวางไข่ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นถิ่นเดิมที่เต่ากำเนิด จากงานวิจัยพบว่า การเจริญของตัวอ่อนของสัตว์เลื้อยคลานต้องการแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งได้มา

จากไข่แดง (yolk) และ เปลือกไข่ (eggshell) (Packard และคณะ, 1984; Packard และ Packard, 1986; Packard และ Packard, 1991; You และ Wang, 1994) เมื่อลูกเต่าทะเลฟักออกจากไข่ประมาณ 7 วัน ลูกเต่าทะเลทั้งหมดจะขยับตัวพร้อมกันภายในหลุมไข่ เพื่อให้ทรายที่ปิดปากหลุมไข่ยุบตัว และคลานขึ้นจากหลุมพร้อมๆ กัน แล้วจึงคลานลงสู่ทะเลในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดและว่ายน้ำติดต่อกันเป็นเวลาหลายวันซึ่งในช่วงนี้ลูกเต่าจะใช้ไข่แดงที่สะสมอยู่บริเวณท้อง จากนั้นจะหยุดอาศัยลอยตัวอยู่ตามสาหร่ายหรือสิ่งปฏิกูลต่างๆ ที่ลอยน้ำเพื่อหลบศัตรู จากนั้นเดินทางไปสู่แหล่งอาหารในช่วงลูกเต่าแรกเกิดเดินทางไปหากินอยู่บริเวณไหน มีความเป็นอยู่อย่างไรยังไม่ทราบแน่ชัด เนื่องจากจะพบเต่าทะเลเข้ามาหากินตามชายฝั่งเมื่อโตแล้ว จำนวนจากอายุประมาณ 1-2 ปีขึ้นไป เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์ซึ่งใช้เวลานานกว่า 10 หรือ 20 ปีซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความสมบูรณ์ของเต่าทะเลแต่ละตัว แม่เต่าทะเลจะกลับมาวางไข่ในแหล่งเดิมซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงในเต่าทะเลแต่ละชนิด

3. การวางไข่ของเต่าทะเล

เต่าทะเลเป็นสัตว์ที่มีการเดินทางไปอาศัยบริเวณแหล่งอาหารที่ห่างไกลมาก โดยแหล่งอาหารแต่ละแห่งมีเต่าทะเลหลายกลุ่มอาศัยอยู่ด้วยกัน เมื่อถึงฤดูวางไข่เต่าทะเลวัยเจริญพันธุ์จะเดินทางไปผสมพันธุ์ซึ่งจะมีแหล่งที่แน่นอนของเต่าทะเลแต่ละกลุ่ม การผสมพันธุ์เต่าทะเลเพศผู้จะสามารถผสมกับเพศเมียได้หลายตัวในขณะเดียวกันเต่าทะเลเพศเมียจะผสมกับเพศผู้ได้หลายตัวเช่นกัน และเต่าทะเลเพศเมียสามารถเก็บน้ำเชื้อไว้ภายในรังไข่บริเวณท่อนำไข่ส่วนต้น (Xiangkun และคณะ, 2006) ได้ในปริมาณมากพอที่จะผสมกับไข่ตลอดฤดูกาล ดังนั้นการวางไข่ในครั้งต่อไปจึงไม่จำเป็นต้องได้รับการผสมพันธุ์กับเต่าทะเลเพศผู้อีก เมื่อผสมพันธุ์เสร็จแล้วเต่าทะเลเพศผู้จะเดินทางกลับสู่แหล่งอาหารทันที ส่วนเต่าทะเลเพศเมียจะเดินทางสู่แหล่งวางไข่ ซึ่งเชื่อว่าเป็นแหล่งเดิมที่เต่ากำเนิด (นิวัติ, 2537)

เต่าทะเลส่วนใหญ่ขึ้นมาวางไข่ในช่วงที่น้ำขึ้นสูงสุดและวางไข่บนหาดทรายที่เงียบสงบในช่วงเวลากลางคืน แม่เต่าจะเลือกขุดหลุมบริเวณหาดทรายที่สูงกว่าแนวน้ำขึ้นสูงสุด โดยใช้ขาหลังขุดหลุมทรายและกอบทรายขึ้นมาทิ้งบริเวณปากหลุม ความลึกของหลุมไข่ประมาณ 30-50 เซนติเมตร สำหรับเต่ากระ เต่าตนุและเต่าหญ้าและประมาณ 60-80 เซนติเมตร สำหรับเต่ามะเฟือง ลักษณะหลุมไข่มีปากหลุมแคบแต่กันหลุมกว้างกว่า เมื่อแม่เต่าขุดหลุมได้ขนาดตามที่ต้องการแล้วจึงวางไข่ลงในหลุม การวางไข่จะปล่อยไข่ออกจากท่อไข่ครั้งละ 1-3 ฟอง แม่เต่าวางไข่เรื่อยๆ จนหมด ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที จำนวนไข่แต่ละครั้งที่แม่เต่าวางไข่ ประมาณ 70-150 ฟอง

สำหรับเต่ากระ เต่าตนุเต่าหญ้าและ60-130 ฟอง สำหรับเต่ามะเฟือง ขนาดของไข่เต่าทะเลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.5 เซนติเมตร เมื่อแม่เต่าทะเลวางไข่เสร็จแล้วก็จะทำการกลบหลุมไข่ด้วยทราย โดยใช้ขาหลังกวาดทรายและกดทรายให้ยุบลงปิดหลุมไข่จนเต็ม จากนั้นก็จะทำการกลบหลุมให้แน่นโดยใช้กระดองหน้าอก ใช้ขาหน้ายกขึ้นแล้วดับลงมาสลับกันซ้ายขวาหลายๆ ครั้งแล้วจึงเกลี่ยทรายบริเวณที่วางไข่เป็นวงกว้าง เพื่ออำพรางหลุมไข่ที่แท้จริงและคลานลงสู่ทะเล (นิวัติ, 2537)

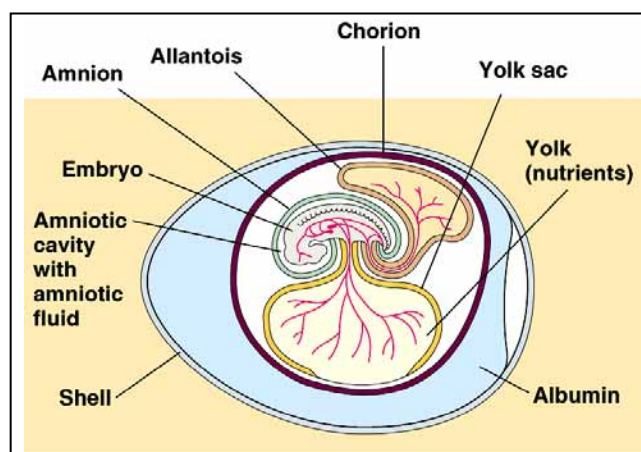
ในแต่ละปีเต่าทะเลแต่ละตัวสามารถวางไข่ได้มากกว่า 1 ครั้ง โดยเว้นช่วงตั้งแต่ 12-40 วัน จำนวนครั้งของการขึ้นวางไข่และจำนวนของไข่ขึ้นอยู่กับชนิดและความสมบูรณ์ของแม่เต่าทะเล เมื่อวางไข่แล้วแม่เต่าทะเลจะกลับมาวางไข่อีกครั้งหนึ่งหลังจากเวลาผ่านไป 2-4 ปี ดังนั้นจำนวนรังที่นับได้ในแต่ละปีจึงเปลี่ยนแปลง (สมเกียรติ และคณะ, 2543)

จำนวนครั้งการขึ้นวางไข่ต่อปีเฉลี่ยของเต่าทะเลชนิดต่างๆ (Limpus, 1993)

เต่ามะเฟือง	วางไข่ได้ 5 ครั้งต่อปี
เต่าตนุ	วางไข่ได้ 5 ครั้งต่อปี
เต่ากระ	วางไข่ได้ 4 ครั้งต่อปี
เต่าหญ้า	วางไข่ได้ 3 ครั้งต่อปี
เต่าหัวมอญ	วางไข่ได้ 4 ครั้งต่อปี

4. การพัฒนาของไข่และตัวอ่อนเต่าทะเล

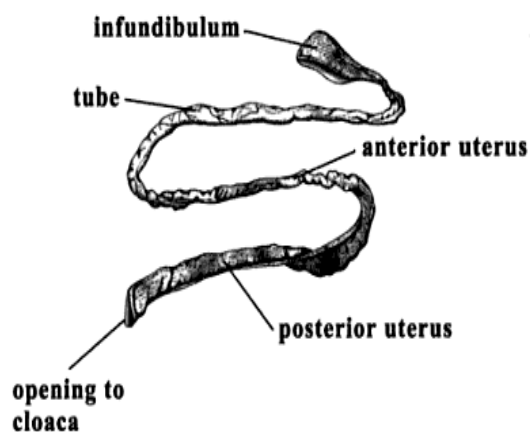
Carpenter (1999) รายงานว่าไข่ของสัตว์เลื้อยคลานคล้ายคลึงกับไข่นก แต่ไข่สัตว์เลื้อยคลานมีไข่ขาวน้อยกว่าไข่นกโดยเฉพาะไข่ตุ๊กแก โครงสร้างของไข่สัตว์เลื้อยคลานประกอบด้วย ตัวอ่อน ถุงหุ้มตัวอ่อนและอัลเลนทอยด์ โครเรียนและถุงไข่แดง ซึ่งเป็นถุงหุ้มภายนอกตัวอ่อน มีไข่แดง ไข่ขาวและเปลือกไข่เป็นแหล่งพลังงานและธาตุอาหารสำคัญต่อการเจริญของตัวอ่อน (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างไข่สัตว์เลื้อยคลานประกอบด้วยตัวอ่อน (embryo) ถุงหุ้มตัวอ่อน (amnion) ถุงอัลเลนทอยด์ (allantois) ถุงหุ้มไข่แดง (yolk sac) และ chorion ซึ่งเป็นถุงหุ้มภายนอกตัวอ่อน (extraembryonic membranes) และมีไข่แดง (yolk) ไข่ขาว (albumin) และเปลือกไข่ (shell) เป็นแหล่งพลังงานและธาตุอาหารแก่ตัวอ่อน

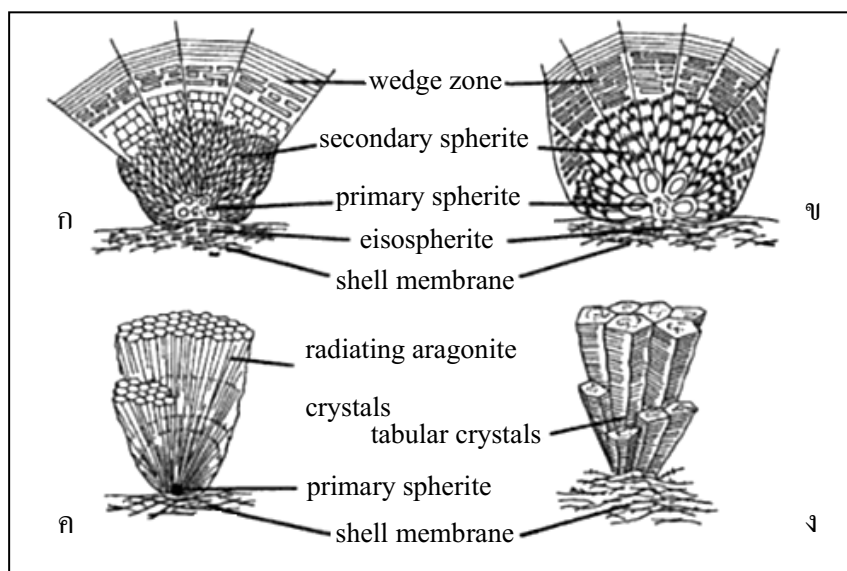
ที่มา : Eckert และคณะ, *Research and management techniques for the conservation of sea turtles* (Pennsylvania : Consolidated Graphic Communications, 1999), 235.

ท่อนำไข่ของสัตว์เลื้อยคลานแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้แก่ infundibulum, anterior uterus และ posterior โดยกระบวนการสร้างไข่เริ่มจากการพัฒนาของถุงไข่ (follicle) ซึ่งมีขนาด 2-3 มิลลิเมตร แล้วค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้นเป็นไข่แดงที่มีขนาด 3-4 เซนติเมตร ซึ่งการพัฒนาของไข่แดงจะเกิดพร้อมๆ กันหลายร้อยใบ ใช้เวลานับ 10 เดือน ไข่แดงที่พัฒนาเต็มที่แล้วชุดแรกจะเคลื่อนตัวสู่ท่อนำไข่ (oviduct) และจะผสมพันธุ์กับน้ำเชื้อของตัวผู้ซึ่งถูกเก็บไว้ในท่อนำไข่ส่วนต้น (Carpenter, 1999; Xiangkun และคณะ, 2008) ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วจะเริ่มมีการเจริญของเซลล์และเคลื่อนไปตามท่อนำไข่โดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อของท่อนำไข่เช่นเดียวกับการบีบตัวของหลอดอาหารและจะกระตุ้นให้สร้างไข่ขาวขึ้นล้อมรอบไข่แดงบริเวณท่อนำไข่ส่วน infundibulum จากนั้นจะสร้างเปลือกไข่หุ้มอีกชั้นหนึ่งบริเวณ anterior uterus (ภาพที่ 6) ใช้เวลาประมาณ 18-24 ชั่วโมง (Carpenter, 1999; Alkindi และคณะ, 2006) ตัวหลายชนิดออกไข่ที่มีเปลือกแข็งและเปลือกไข่มีสองชั้นหลักๆ (Ewert, 1985) ชั้นนอกของเปลือกไข่เรียกว่า calcium layer และชั้นในเรียกว่า membrane layer



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะท่อนำไข่ (oviduct) ของจระเข้ ประกอบด้วย infundibulum ซึ่งเป็นท่อนำไข่ ส่วนต้นเป็นบริเวณที่สร้างไข่ขาว anterior uterus เป็นบริเวณที่มีการสร้างเปลือกไข่และ posterior uterus คือท่อนำไข่ส่วนปลาย

การสร้างเปลือกไข่เริ่มจากจุดกำเนิดหรือ primary spherite (ภาพที่ 7) ซึ่งติดกับเยื่อเปลือกไข่ (shell membrane) และมีการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) เป็นแบบอะราโกไนท์ (aragonite) เรียงตัวในแนวรัศมี (Carpenter, 1999)



ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของเปลือกไข่ (ก) ไข่นกเพนกวิน (ข) ไข่นกกระจอกเทศ (ค) ไข่เต่า (ง) ไข่จระเข้

การพัฒนาของตัวอ่อนจะเกิดที่ตำแหน่งด้านบนของไข่ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไข่แดงมีความเข้มข้นน้อยกว่า ตัวอ่อนจะเจริญถึงระยะบลาสตูล่า (blastula) ในขณะที่อยู่ในท่อหน้าไข่ เมื่อแม่เต่าทะเลวางไข่ ตัวอ่อนเจริญถึงระยะแกสตรูล่า (gastrula) ในระยะนี้ตัวอ่อนยังไม่เจริญยึดติดกับเยื่อเปลือกไข่ซึ่งช่วงนี้ถ้ามีการเคลื่อนย้ายหรือหมุนไข่เต่า ตัวอ่อนในไข่จะหมุนและลอยตัวขึ้นอยู่ด้านบนของไข่แดงเสมอ เนื่องจากบริเวณด้านบนของไข่แดงมีความเข้มข้นต่ำกว่าด้านล่าง เมื่อตัวอ่อนเต่าทะเลเจริญได้ 3-6 ชั่วโมง เริ่มปรากฏเป็นภาพร่างและเริ่มยึดติดกับเยื่อเปลือกไข่ด้านในโดยผนังเยื่อหุ้มตัวอ่อนจะเชื่อมติดกับเยื่อเปลือกไข่ ในระยะนี้จะมองเห็นจุดสีขาวบนเปลือกไข่จากภายนอก ซึ่งเป็นบริเวณที่ตัวอ่อนใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซกับภายนอก ระยะนี้เป็นระยะที่เปราะบางที่สุดสำหรับลูกเต่าทะเล หากเกิดการกระทบกระเทือนหรือเคลื่อนย้ายไข่เต่าทะเล ตัวอ่อนที่ยึดติดกับเยื่อเปลือกไข่หลุดออกและเสียชีวิตโดยง่าย ดังนั้นการเคลื่อนย้ายไข่เต่าทะเลควรกระทำอย่างรวดเร็วภายใน 3-6 ชั่วโมง ก่อนที่ตัวอ่อนจะยึดติดกับเยื่อเปลือกไข่ ตัวอ่อนจะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ บริเวณสีขาวบนเปลือกไข่จะขยายใหญ่ขึ้นจนรอบไข่ (Zhu, 2006) ตัวอ่อนเต่าทะเลเจริญและมีอวัยวะครบทุกส่วนเมื่อเพาะฟักได้ประมาณ 25 วัน เมื่ออายุได้ 35 วันลูกเต่าเจริญเติบโตจนมีสีและภาพร่างที่สมบูรณ์ และฟักออกจากไข่ในวันที่ 40-60 วัน ส่วนเต่าแม่เพียงใช้เวลาประมาณ 60-65 วัน (สมเกียรติ และคณะ, 2543)

ปัจจัยในการเพาะฟักของไข่เต่าทะเลคืออุณหภูมิและความชื้น จากการวิจัยของ Ramsey และ Crews (2009) พบว่าเพศของเต่าแก้วแดง (*Trachemys scripta elegans*) ถูกกำหนดด้วยอุณหภูมิขณะเพาะฟัก ถ้าไข่เพาะฟักที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียสเต่าจะเป็นเพศเมียแต่ถ้าเพาะฟักที่ 26 องศาเซลเซียสเต่าจะเป็นเพศผู้และการเจริญเติบโตของตัวอ่อนแบ่งเป็น 26 ระยะ โดยเริ่มสร้าง urogenital ridge ในระยะที่ 13 และเจริญเป็น bipotential gonad ในระยะ 14-16 ต่อมาเริ่มมีการเจริญของเพศในระยะ 16.5/17-19/21 และพัฒนาไปเป็นอวัยวะเพศในระยะ 20/21 จนกระทั่งฟักเป็นตัว นอกจากนี้ยังพบว่าระดับฮอร์โมน สเตียรอยด์ในไข่แดงและสัดส่วนเพศของเต่าสแนปปี้งมีความสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะเอสโตรเจน เนื่องจากที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ทำให้บทบาทของเอนไซม์อะโรมาเทส (aromatase) เพิ่มขึ้นซึ่งเอนไซม์อะโรมาเทสไปทำให้เกิดการแสดงออกของยีนที่สร้างตัวรับสเตียรอยด์ (steroid receptor) ได้แก่ ตัวรับเอนโดรเจน (androgen receptor) คือ (AR), ER α และ ER β ซึ่ง ER α จะไปยับยั้งการแสดงออกของยีน Sox9, Mis, Dmrt1 และ Sfl ซึ่งเป็นยีนที่ควบคุมการเจริญของเพศผู้ ในขณะที่เอนไซม์อะโรมาเทสไปทำให้เกิดการแสดงออกของยีน ER α /AR, FoxL2 และ Rspo1 ซึ่งไปกระตุ้นการทำงานของ ER β ทำให้มีการเจริญของรังไข่

สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิของหลุมไข่เต่าทะเลได้ทรายอยู่ในช่วง 25-34 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย 29.1 องศาเซลเซียส ในธรรมชาติอัตราการเกิดเป็นตัวของลูกเต่าทะเลปกติประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ลูกเต่าแรกเกิดทั่วไปจะมีขนาดความยาวกระดองประมาณ 4-4.5 เซนติเมตร ส่วนลูกเต่ามะเฟืองแรกเกิดความยาวกระดองประมาณ 6 เซนติเมตร (สำนักงานสลากกินแบ่งรัฐบาล 2547)

5. ความทรงจำในแหล่งกำเนิดของลูกเต่าทะเล

เนื่องจากแหล่งวางไข่เต่าทะเลแต่ละชนิดจะมีแหล่งจำเพาะ จึงเชื่อว่าลูกเต่าทะเลสามารถจดจำแหล่งกำเนิดได้ทันทีที่เกิดและคลานลงสู่ทะเล โดยภายในช่องจมูกและประสาทส่วนหน้าซึ่งเป็นประสาทที่ไวต่อการรับกลิ่นหรือสารเคมีมาก ประสาทสัมผัสนี้จะรับรู้ถึงคุณสมบัติทางเคมีของสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นและบันทึกความทรงจำของแหล่งกำเนิดนั้นไว้ เมื่อลูกเต่าทะเลเจริญเติบโตจนกระทั่งถึงวัยเจริญพันธุ์ก็จะเดินทางกลับมาวางไข่ยังแหล่งกำเนิดเดิม แต่ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่า ความทรงจำต่อแหล่งกำเนิดของลูกเต่าทะเล เกิดในขณะที่ยังตัวออกจากหลุมทรายหรือทันทีที่ลงน้ำ (นิวัติ, 2537)

จากการทดลองศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดทิศทางการเดินทางของลูกเต่าทะเล พบว่ากระแสน้ำแม่เหล็กโลกมีผลต่อการกำหนดทิศทางการเดินทางของลูกเต่าทะเล โดยลูกเต่าทะเลส่วนใหญ่จะว่ายน้ำในทิศทางทวนคลื่นเสมอ จึงสรุปได้ว่าการเดินทางโยกย้ายถิ่น การเดินทางอันยาวไกล และใช้เวลานานของเต่าทะเลในการเดินทางกลับสู่แหล่งวางไข่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเดิมนั้น เต่าทะเลอาศัยกระแสน้ำแม่เหล็กโลกประกอบกับทิศทางของกระแสน้ำในการกำหนดทิศทางการเดินทาง และขณะเดียวกันก็ต้องอาศัยสัญชาตญาณความทรงจำในแหล่งกำเนิดเพื่อกำหนดแหล่งวางไข่ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นแหล่งที่เกิดหรือแหล่งที่ใกล้เคียงกัน (Avens และคณะ, 2004)

6. แหล่งวางไข่ของเต่าทะเลในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยหมู่เกาะสิมิลัน จ.พังงา เป็นแหล่งวางไข่ของเต่าตนุที่ใหญ่ที่สุดด้านทะเลอันดามัน สิมิลัน มาจากภาษาวิเชียรแปลว่า เกาะ หมู่เกาะสิมิลันคือหมู่เกาะทั้งเก้า ซึ่งตั้งชื่อหมายเลขเกาะต่างๆ โดยเรียงจากทิศใต้ขึ้นมาทิศเหนือ ประกอบด้วย เกาะหูง (เกาะหนึ่ง) เกาะปายัง (เกาะสอง) เกาะปาหยัน (เกาะสาม) เกาะเมียง (เกาะสี่) เกาะห้า เกาะหก เกาะปายู (เกาะเจ็ด) เกาะสิมิลัน (เกาะแปด) และเกาะบางู (เกาะเก้า) เนื่องจากหมู่เกาะสิมิลันมีลักษณะเป็น

ชายฝั่งแบบยุบตัวทั้งหมด มีเขาสูงชันเป็นหินแกรนิตอายุประมาณ 65 ล้านปี ชายฝั่งส่วนใหญ่เป็นหน้าผา ไม่มีอ่าวขนาดใหญ่ เกาะที่มีชายหาดมี 4 เกาะ ได้แก่ เกาะหุยง เกาะเมียง เกาะปายู และเกาะลิมิตัน ซึ่งหาดทรายของเกาะทั้งสี่เป็นแหล่งวางไข่ของแม่เต่าตนุที่สำคัญ โดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของแม่เต่าตนุจะขึ้นมาวางไข่บนหาดของเกาะหุยง เนื่องจากมีหาดทรายที่ยาวที่สุดถึง 800 เมตร และมีสภาพภูมิประเทศหน้าและหลังหาดที่เอื้อต่อการวางไข่ของเต่าทะเล นอกจากนี้ยังพบแหล่งวางไข่อื่นๆ ของเต่าตนุ ได้แก่ ในอ่าวไทย บริเวณเกาะคราม จ.ชลบุรีและเกาะกระ จ.นครศรีธรรมราช นอกจากนี้ยังมีแหล่งวางไข่อื่นๆ ได้แก่ แหล่งวางไข่ของเต่ากระ พบทางฝั่งอ่าวไทย บริเวณเกาะครามน้อย เกาะอีร้า เกาะจาน จ. ชลบุรีและฝั่งอันดามัน บริเวณหมู่เกาะสุรินทร์ จ. พังงา แหล่งวางไข่ของเต่าหญ้าและเต่ามะเฟือง พบทางฝั่งทะเลอันดามัน บริเวณหาดทรายใน จ. ภูเก็ตและ จ. พังงา (นิวัติ, 2537)

Chantrapornsyl (1993) ทำการศึกษาสถานภาพของเต่าทะเล 4 ชนิดซึ่งได้รับการอนุรักษ์ของไทย ได้แก่ เต่าตนุ เต่ากระ เต่าหญ้าและเต่ามะเฟือง พบว่าเต่าตนุและเต่ากระมีถิ่นที่อยู่อาศัย บริเวณอ่าวไทย เช่น เกาะคราม เกาะอีร้า เป็นต้น มีฤดูวางไข่ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม ส่วนเต่าหญ้าและเต่ามะเฟือง พบมากทางอันดามัน ได้แก่ เกาะพระทอง เกาะภูเก็ต หมู่เกาะสุรินทร์ หมู่เกาะลิมิตัน และหาดท้ายเหมือง มีฤดูวางไข่ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม จำนวนหลุมไข่ทางทะเลอันดามันจำนวน 360 หลุม (ค.ศ. 1985) ลดลงเหลือ 36 หลุม (ค.ศ. 1995) จำนวนของเต่าตนุและเต่ากระไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ประชากรของเต่าหญ้าและเต่ามะเฟืองกำลังลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น การล่าเพื่อเป็นอาหาร ทำเครื่องประดับหรือติดเครื่องมือสำหรับการประมงและการสูญเสียแหล่งวางไข่ เป็นต้น

7. งานวิจัยเกี่ยวกับการติดตามการเดินทางของเต่าทะเล

การติดตามเส้นทางการเดินทางของเต่าทะเลทำให้ทราบแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่อาศัยของเต่าทะเล ซึ่งจะมีประโยชน์ในการขอความร่วมมือจากประเทศเพื่อนบ้านในการอนุรักษ์เต่าทะเลร่วมกัน นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ในการติดตามสถานะแวดล้อมของแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่อาศัย ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนในเต่าทะเล

Kittiwattanawong และคณะ (2002) ทำการศึกษาพฤติกรรมของเต่าตนุในทะเลอันดามัน โดยใช้การติดตามทางดาวเทียม (PTT) ดำเนินการติดเครื่องส่งสัญญาณให้กับเต่าตนุจำนวน 4 ตัว ที่มีอายุ 6 เดือนและ 32 วัน แล้วปล่อยลงสู่ทะเลบริเวณเกาะภูเก็ตและหมู่เกาะลิมิตัน พบว่าเต่าอายุ 32 วัน มีการว่ายน้ำ 18 ถึง 66 กิโลเมตรต่อวัน ขณะที่เต่าตนุอายุ 6 เดือน มีการว่ายน้ำ 2

ถึง 12 กิโลเมตรต่อวัน มีการขึ้นหายใจที่ผิวหนังเฉลี่ย 9.0 ± 2.0 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน อุณหภูมิบริเวณผิวหนังทะเลประมาณ 29.6 ± 0.1 องศาเซลเซียส และเต่าตนุทั้งสี่ตัวมีแหล่งอาหารอยู่ที่หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย

สุพจน์ และคณะ (2544) ทำการศึกษาและการเดินทางของแม่เต่าทะเลที่มีแหล่งวางไข่ในประเทศไทยโดยใช้เครื่องส่งสัญญาณดาวเทียม โดยได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานของกรมประมงและมหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ดำเนินการติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมบนกระดองหลังของแม่เต่าตนุจำนวน 8 ตัว คือเต่าทะเลฝั่งอ่าวไทย 5 ตัว (เกาะคราม จ.ชลบุรี 4 ตัว, เกาะมันใน จ. ระยอง 1 ตัว) และฝั่งทะเลอันดามัน 3 ตัว (สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล 1 ตัว และเกาะนุ้ย หมู่เกาะสิมิลัน 2 ตัว) ในปี 2543 พบว่าหลังจากวางไข่ แม่เต่าตนุที่วางไข่บริเวณเกาะคราม เดินทางเลียบชายฝั่งไปทางภาคตะวันออกผ่าน จ. ระยองและจ. ตรัง ไปทางแหลมญวนในน่านน้ำของประเทศกัมพูชาและเวียดนาม แต่มีตัวหนึ่งเดินทางข้ามทะเลจีนใต้เข้าสู่ทะเลชูลูประเทศฟิลิปปินส์ แม่เต่าตนุที่วางไข่บริเวณเกาะมันใน มีเส้นทางการเดินทางลงไปทางทิศใต้ ผ่านกลางอ่าวไทยไปยังบริเวณชายฝั่งด้านทิศตะวันออกของรัฐตรังกานู ประเทศมาเลเซีย และบริเวณปลายแหลมมลายูใกล้กับประเทศสิงคโปร์ ส่วนเต่าตนุฝั่งทะเลอันดามัน พบว่ามีการเดินทางต่างทิศทางกันมากโดยตัวที่หนึ่งเดินทางไปหาถิ่นบริเวณเกาะมุก จ. ตรัง ตัวที่สองเดินทางขึ้นเหนือเลียบชายฝั่ง จ. พังงา ก่อนเดินทางขึ้นไป จ. ระนอง ส่วนตัวที่ 3 เดินทางไปทางทิศตะวันตกมุ่งตรงไปทางหมู่เกาะนิโคบา และเดินทางขึ้นเหนือไปอาศัยอยู่บริเวณหมู่เกาะอันดามันของอินเดีย (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงเส้นทางการเดินทางของแม่เต่าทะเลที่มีแหล่งวางไข่ในประเทศไทย

ที่มา : ศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล กองทัพเรือ (SEA TURTLES CONSERVATION CENTER).
ชีววิทยาของเต่าทะเล [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 15 มิถุนายน 2552. ได้จาก <http://www.navy.mi.th/turtles/biologies.htm>

8. งานวิจัยเกี่ยวกับเปลือกไข่

เต่าทะเลออกไข่ที่มีเปลือกแข็งและเปลือกไข่มี 3 ชั้น คือชั้น cuticle ชั้น calcium และชั้น membrane (Ewert 1985) เปลือกไข่เต่าทะเลประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งมีการฟอร์มลักษณะโครงสร้างแบบอะราโกไนท์ (aragonite) (Hirsch, 1983; Kitimasak, 2003)

Kitimasak และคณะ (2003) ศึกษาไข่ของตะพาบมันลาย (*Chitra chitra*) ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยศึกษาความหนาของโครงสร้างเปลือกไข่และธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่โดยใช้ EDX พบว่าเปลือกไข่ตะพาบมันลายประกอบด้วย 3 ชั้นคือ outer calcareous sheet, middle crystalline layer และ inner fibrous layer โดยชั้น calcareous มีลักษณะบางมากและมีรูเชื่อมกับ shell unit ในชั้น crystalline ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดจากจุดกำเนิด (primary spherite) บนชั้น inner fibrous เรียงตัวแบบอะราโกไนท์เป็นรูปพัดและชั้น inner fibrous มีลักษณะเป็นเส้นใยซ้อนกันหลายชั้นและจากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบพบว่าเปลือกไข่ของตะพาบมันลายประกอบด้วย ออกซิเจน (O) 53.0 ± 4.8 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน (C) 35.0 ± 9.2 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) 5.55 ± 0.34 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) 5.4 ± 7.2

เปอร์เซ็นต์ ซิลิกอน (Si) 2.9 ± 1.6 เปอร์เซ็นต์อลูมิเนียม (Al) 2.3 ± 1.1 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม (Na) 0.74 ± 0.3 เปอร์เซ็นต์และโพแทสเซียม (K) 0.17 ± 0.1 เปอร์เซ็นต์

Osborne และ Thompson (2005) ศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ตุ๊กแก 3 ชนิด ได้แก่ *Lampropholis guichenoti*, *Lampropholis delicata* และ *Physignathus lesueurii* พบว่าเปลือกไข่ของตุ๊กแกทั้ง 3 ชนิดมี 3 ชั้น ได้แก่ outer calcareous layer, fibrous shell membrane และ inner boundary layer ชั้น calcareous มีลักษณะบางมากและมีไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียม ชั้น fibrous หนาประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเรียงตัวแบบแคลไซต์ (calcite) และชั้น inner boundary บาง มีลักษณะเป็นเส้นใยซ้อนกัน แต่ใน *P. Lesueurii* มีชั้น amorphous ระหว่างชั้น calcareous กับชั้น fibrous จากการวิเคราะห์ธาตุพบว่าเปลือกไข่ตุ๊กแกประกอบด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอนและกำมะถัน แต่ไม่พบโซเดียมและโพแทสเซียม พบแคลเซียมและแมกนีเซียมเฉพาะในชั้น calcareous

Sahoo และคณะ (1998) ศึกษาธาตุประกอบด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน โพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ในเปลือกไข่ ไ้แดง ไข่ขาวและตัวอ่อนของเต่าหญ้า โดยใช้วิธีการไตเตรตโดยใช้สารเคมี thymolphthalexone เป็นตัวบ่งชี้เนื่องจากมีความไวต่อแคลเซียม พบว่าแคลเซียมเป็นสารอนินทรีย์ที่สำคัญยิ่งต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน โดยแคลเซียมที่ตัวอ่อนใช้ในการเจริญเติบโต 40 เปอร์เซ็นต์ มาจากไข่แดงและ 60 เปอร์เซ็นต์ มาจากเปลือกไข่ ทั้งนี้สัตว์จำพวกนก เต่าและจระเข้ใช้เปลือกไข่เป็นแหล่งของแคลเซียมลำดับที่ 2 โดยแคลเซียมจากเปลือกไข่จะถูกนำมาใช้หลังจากวันที่ 40 ของการเพาะฟักที่อุณหภูมิ 29.5 องศาเซลเซียส ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม พบว่าสัตว์ที่มีการใช้เปลือกไข่เป็นแหล่งของแคลเซียมสำหรับตัวอ่อนจากมากไปน้อยคือนก เต่าและจระเข้ ตามลำดับ

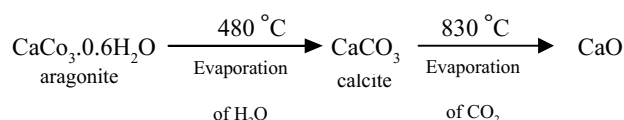
Al-Bahry และคณะ (2009) ศึกษาเปลือกไข่เต่าตนุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเปลือกไข่เต่าตนุมี 3 ชั้น คือชั้นนอก (outer calcareous layer) ชั้นกลาง (compact middle layer with multistrata) และชั้นใน (fibrous innershell membrane) โดยชั้นนอกมีความหนาประมาณ 200.0 ถึง 263.9 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นผลึกที่มีภาพร่างเป็นก้อนกลม (nodular) และหนามแหลม (spicule) โดยผลึกรวมตัวกันเป็นก้อน ซึ่งส่วนกลางของแต่ละกลุ่มก้อนนั้นมีรู (pore) อาจมีรูเดียวหรือหลายรู ซึ่งเกิดจากการสานกันของแท่งผลึกและเส้นใย ส่วนชั้นกลาง หนาประมาณ 106.2 ถึง 131.1 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นโครงสร้างของเส้นใยที่สานกันแน่นทั้งชั้นและชั้นใน หนาประมาณ 2.9 ถึง 3.9 ไมโครเมตร ประกอบด้วยเส้นใยที่สานกันเป็นร่างแห (reticular fiber)

และผลึกของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีรูเปิดของโครงร่างเส้นใยระหว่างชั้นกลางและชั้นในและจากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยหัวตรวจวัด EDX พบคาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่และธาตุองค์ประกอบอื่นๆ ในปริมาณที่น้อยมาก เช่น ซิลิกอน กำมะถัน คลอรีน อะลูมิเนียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียมและอื่นๆ ทั้งก่อนและหลังการเพาะฟัก แต่พบว่าปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่หลังการเพาะฟักในชั้นนอกและชั้นกลางลดลงอย่างมีนัยสำคัญส่วนชั้นในคงที่ เปลือกไข่ชั้นนอกประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต มีโครงสร้างเป็นอะราโกไนท์ 91 เปอร์เซ็นต์ แคลไซต์ 6 เปอร์เซ็นต์และวาทีไรท์ (vaterite) 3 เปอร์เซ็นต์ เปลือกไข่ชั้นกลางประกอบด้วยอะราโกไนท์ 89 เปอร์เซ็นต์และแคลไซต์ 11 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการทำแผนที่ขององค์ประกอบธาตุ (mapping) พบว่าแคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ปริมาณธาตุองค์ประกอบก่อนและหลังการเพาะฟัก สรุปได้ดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่เตาตนุก่อนเพาะฟักและหลังเพาะฟักในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น จากงานวิจัยของ Al-Bahry และคณะ (2009)

ธาตุ	ชั้นนอก			ชั้นกลาง			ชั้นใน		
	ก่อน เพาะ ฟัก (%)	หลัง เพาะ ฟัก (%)	เพิ่มขึ้น (+) / ลดลง (-) (%)	ก่อน เพาะ ฟัก (%)	หลัง เพาะ ฟัก (%)	เพิ่มขึ้น (+) / ลดลง (-) (%)	ก่อน เพาะ ฟัก (%)	หลัง เพาะ ฟัก (%)	เพิ่มขึ้น (+) / ลดลง (-) (%)
คาร์บอน	31.18	40.55	+9.37	43.13	51.38	+8.25	58.62	47.36	-11.26
ออกซิเจน	39.53	34.08	-5.45	39.42	38.68	-0.74	29.09	37.38	+8.29
แคลเซียม	25.32	17.15	-8.17	11.06	2.24	-8.82	6.25	6.60	+0.35
ซิลิกอน	2.30	2.28	-0.02	1.14	2.15	+1.01	0.32	1.39	+1.07
คลอรีน	0.91	1.09	+0.18	0.58	1.01	+0.43	0.72	0.65	-0.07
โซเดียม	0.24	0.50	+0.26	0.41	0.71	+0.30	0.34	0.97	+0.63
โพแทสเซียม	0.20	0.33	+0.13	0.41	0.16	-0.25	0.11	0.27	+0.16

ซึ่งเมื่อคิดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุหลังเผาฟักเทียบกับปริมาณธาตุเริ่มต้นก่อนเผาฟัก พบว่าหลังการเผาฟักคาร์บอนเพิ่มขึ้น 7.89 เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนก่อนเผาฟัก ออกซิเจนเพิ่มขึ้น 4.96 เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนก่อนเผาฟัก แคลเซียมลดลง 37.19 เปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมก่อนเผาฟัก ซิลิกอนเพิ่มขึ้น 3.29 เปอร์เซ็นต์ของซิลิกอนก่อนเผาฟัก คลอรีนลดลง 16.96 เปอร์เซ็นต์ของคลอรีนก่อนเผาฟัก โซเดียมลดลง 46.94 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมก่อนเผาฟักและโพแทสเซียมลดลง 29.53 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมก่อนเผาฟักและจากการทำ thermogravimetry เพื่อศึกษาความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ว่า อะราโกไนต์สามารถเปลี่ยนไปเป็น calcite ได้ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของ Al-Bahry และคณะ (2009) พบว่าอะราโกไนต์เปลี่ยนไปเป็นแคลไซต์ได้เมื่อทำการระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส ความดันปกติ และแคลไซต์เปลี่ยนไปอยู่ในสภาพของแคลเซียมออกไซด์เมื่อระเหยคาร์บอนไดออกไซด์ออกที่ 830 องศาเซลเซียส



Winkler (2006) ศึกษาการจัดแบ่งกลุ่มตามลำดับวิวัฒนาการของเต่าคอยาวในสกุล (genus) *Chelodina*, *Emydura*, *Elseya*, *Acanthochelys*, *Hydromedusa*, *Phrynops*, *Pelomedusa*, *Erymnochelys*, *Peltocephalus* และ *Podocnemis* โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เป็นเกณฑ์ในการจัดจำแนก พบว่าสามารถแยกกลุ่มของเต่าคอยาวได้ถึงระดับสกุลซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกโดยใช้ชุดของยีน 12S rRNA ในไมโทคอนเดรีย

คันสรียา (2540) ศึกษาปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่อการขึ้นวางไข่ของเต่าหญ้าบนหาดทราย จ. ภูเก็ต พบว่าหาดทรายในธรรมชาติที่มีรายงานการวางไข่ของเต่าหญ้ามียาวความกว้าง ความชัน ปริมาณน้ำและเกลือในทรายและขนาดเม็ดทรายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับหาดที่ไม่มีเต่าหญ้าขึ้นวางไข่ จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่าหญ้าจากธรรมชาติและบ่อเลี้ยง พบว่าไข่จากธรรมชาติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่และพลังงานในไข่แดงน้อยกว่าไข่จากบ่อเลี้ยงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความหนาของเปลือก

ไข่ชั้นนอกและเปลือกไข่ในชั้นเนื้อเยื่อของไข่จากธรรมชาติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและไม่มีความแตกต่างในระดับโครงสร้างของเปลือกไข่

9. งานวิจัยเกี่ยวกับไข่และการเจริญเติบโตของตัวอ่อน

ในการเจริญของตัวอ่อนของสัตว์เลื้อยคลานต้องการแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งได้มาจากไข่แดงและเปลือกไข่ (Packard และคณะ, 1984; Packard และ Packard, 1986; Packard และ Packard, 1991; You และ Wang, 1994) ในการเจริญของตัวอ่อนของ *Chinemys reevesii* พบว่าแคลเซียม 54.1 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียม 12.3 เปอร์เซ็นต์ ได้มาจากเปลือกไข่ (You และ Wang, 1994)

Thompson และ Speake (2003) พบว่าองค์ประกอบพื้นฐานของไข่แดงเป็นไขมันและโปรตีนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานและเป็นส่วนสำคัญในการสร้างเนื้อเยื่อของเอ็มบริโอ นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น อนินทรียสาร วิตามิน แคโรทีนอยด์ น้ำและฮอร์โมน ส่วนไอออนของอนินทรียสารบางชนิดมาจากเปลือกไข่

Stewart และ Thompson (2000) รายงานว่าสัตว์ที่ออกลูกเป็นไข่ (oviparous) ตัวอ่อนจะได้รับสารอาหารจากไข่แดงแต่ได้รับแคลเซียมจากเปลือกไข่เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

Cai และคณะ (2007) พบว่าการเจริญเติบโตของตัวอ่อนงูลายสาบคอแดง (*Rhabdophis tigrinus lateralis*) แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกในวันที่ 1 ถึง 10 นับจากวันที่แม่วางไข่เป็นระยะที่ตัวอ่อนเริ่มใช้พลังงานจากไข่แดง ระยะที่สองระหว่างวันที่ 10 ถึง 22 หรือ 23 เอ็มบริโอเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเกิดการลดลงของไข่แดงและระยะที่สามระหว่างวันที่ 22 หรือ 23 จนกระทั่งฟักออกจากไข่เอ็มบริโอเจริญเติบโตยังคงมีการลดลงของไข่แดงอย่างต่อเนื่องถึง 73.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์ของไขมันที่ไม่มีไข้ว และ 57.8 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่นำมาจากไข่ เพื่อการเจริญเติบโตตลอดช่วงที่เพาะฟักและเอ็มบริโอใช้แร่ธาตุจากเปลือกไข่เป็นหลักระหว่างการเจริญเติบโตในช่วงท้ายของการเพาะฟัก

Guirlet และคณะ (2008) ศึกษาความเข้มข้นของธาตุโลหะที่จำเป็นต่อตัวอ่อน ได้แก่ ทองแดง สังกะสีและซีลีเนียม วัดความเข้มข้นของธาตุโลหะปนเปื้อนหรือโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่วและปรอท ในเลือดและไข่ของเต่ามะเฟืองในฤดูวางไข่จาก French Guiana พบว่าความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันในเลือดกับไข่ เนื่องจากการส่งผ่านจากเลือดของแม่เต่าไปยังไข่ ซีลีเนียมมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนโดยทำหน้าที่เป็นตัวพาโปรตีน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแคดเมียมสามารถทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกับซีลีเนียม ในฤดูวางไข่

ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเลือดลดลงขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าในขณะที่แม่เต่ามีการสร้างไข่มีความต้องการแคลเซียมในกระบวนการสร้างไข่ซึ่งมักจะควบคู่ไปกับกระบวนการย่อยสลายของตะกั่ว ทำให้ในเลือดมีความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มสูงขึ้นตลอดฤดูกาลไข่ แต่ความเข้มข้นของโลหะที่เป็นพิษมีน้อยกว่าธาตุโลหะที่จำเป็น

Van Meter และคณะ (2006) ศึกษาผลของสาร PAHs ต่อการรอดชีวิตและเจริญเติบโตของตัวอ่อนเต่าสแนปปิ้ง (*Chelydra serpentina*) สาร PAHs เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำมันดิบ ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำและดิน ทำการศึกษาไข่ของเต่าสแนปปิ้งจาก สหรัฐอเมริกาและแคนาดา ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม 2002 โดยเลือกศึกษา 2 อนุพันธ์ ได้แก่ BaP และ 7, 12- DMBA นำไข่มาเพาะฟักที่อุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส โดยกำหนดสารปนเปื้อนที่ความเข้มข้นต่างๆ น้ำมันดิบ: 1 ไมโครลิตร, 5 ไมโครลิตร, 10 ไมโครลิตร (ในทราย) BaP: 0.02%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.5%, 0.75%, 1.0% (มวลต่อมวล) และ DMBA: 0.02%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.5%, 0.75%, 1.0% (มวลต่อมวล) หลังจากลูกเต่าฟักออกจากไข่ 14 วัน ทำการศึกษาความผิดปกติของลูกเต่า พบว่าลูกเต่ามีการเจริญเติบโตผิดปกติ แบ่งความผิดปกติออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับน้อย ปานกลางและมากดังนี้ ในระดับน้อยลูกเต่ามีลักษณะกระดูกส่วนหลังผิดปกติ หางงอ นิ้วขาด สีซีดหรือมีลำตัวคล้ายลูกศร ในระดับปานกลางลูกเต่ามีความผิดปกติ เช่น ตาบอดหรือปากบิด กระดูกสันหลังโค้งงอและมีการเจริญเติบโตช้าและในระดับมาก ลูกเต่ามีกระเพาะอาหารผิดปกติ ปากบิด มีความผิดปกติของสมอง เช่น น้ำคั่งในโพรงสมอง (hydrocephaly) หรือสมองไม่แบ่งเป็นพู (missing lobes) ลักษณะขากรรไกรผิดปกติ อันเนื่องมาจากขากรรไกรไม่เชื่อมติดกับระบบทางเดินหายใจ ขาดขากรรไกรบนหรือล่าง ไม่มีกระดูก มีความผิดปกติของหัวใจ ตาบอดหรือกระดูกสันหลังไม่เชื่อมติดกัน

Sakai และคณะ (1995) ศึกษาโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) นิกเกิล (Ni) โคบอล (Co) และแคดเมียม (Cd) ในกล้ามเนื้อ ตับ ไต และไข่ของเต่าหัวมน พบว่าปริมาณโลหะหนัก ในตับและไตมากกว่าในกล้ามเนื้อและไข่ จากการวัดปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว; ug g⁻¹ wet wt) ในเปลือกไข่เต่าหัวมน พบเหล็ก 10.6±2.20 แมงกานีส 0.68±0.48 สังกะสี 2.17±0.59 ทองแดง 5.57±0.77 แคดเมียมน้อยกว่า 0.01 และปรอท (Hg) 0.0040±0.0013 ในไข่แดง พบเหล็ก 25.1±2.18 แมงกานีส 0.91±0.42 สังกะสี 34.4±3.18 ทองแดง 1.57±0.07 แคดเมียม 0.026±0.007 และปรอท 0.012±0.003 ในไข่ขาว พบเหล็ก

0.87 ± 0.38 แมงกานีส 0.17 ± 0.30 สังกะสี 0.594 ± 0.584 ทองแดง 0.129 ± 0.083 แคดเมียมน้อยกว่า 0.01 และปรอท 0.0005 ± 0.0002

Bilinski และคณะ (2001) ศึกษาผลของสิ่งแวดล้อมขณะเพาะฟักต่อการสลายแคลเซียมของตัวอ่อนเต่ามะเฟือง โดยทำการเพาะฟักไข่เต่ามะเฟืองในทรายที่มีความชื้น 5 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้อุณหภูมิ 28.5 และ 31.0 องศาเซลเซียส นาน 60 วันและวัดปริมาณแคลเซียมในตัวอ่อนไข่แดงกับไข่ขาวและเปลือกไข่เปรียบเทียบกับปริมาณแคลเซียมเริ่มต้น พบว่าในไข่ที่มีการเจริญของตัวอ่อนปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่ลดลง 42.9 เปอร์เซ็นต์ ในไข่แดงและไข่ขาวลดลง 20.8 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 45 ของการเพาะฟักและเพิ่มขึ้น 0.99 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 60 ของการเพาะฟัก พบว่าในตัวอ่อนที่เพาะฟักที่อุณหภูมิ 28.5 มีปริมาณแคลเซียมมากกว่าไข่ที่เพาะฟักที่ 31.0 องศาเซลเซียสและปริมาณแคลเซียมของตัวอ่อนที่เพาะฟักที่มีความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์มากกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไข่ที่ไม่มีการเจริญของตัวอ่อนพบว่าปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่ลดลง 25.7 เปอร์เซ็นต์และคงที่จากวันที่ 30-60 ส่วนปริมาณแคลเซียมในไข่แดงและไข่ขาวคงที่ในวันที่ 1-30 และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในวันที่ 30-60

Bishop และคณะ (1998) ศึกษาการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่อความผิดปกติของการเจริญเติบโตของตัวอ่อนเต่าสแนปปิงจากทะเลสาบเกรท แม่น้ำลอเรนซ์ ในปี ค.ศ. 1989-1991 พบว่าเกิดความผิดปกติของการเจริญเติบโตในไข่ที่มีการปนเปื้อน organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyl (PCBs), polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) และปรอท นอกจากนี้ตรวจพบ 7-ethoxyresorufin, O-deethylase และ cytochrome P450 ในตับแสดงว่าสารปนเปื้อนก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์

Brasfield และคณะ (2004) ศึกษาผลจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินต่อการเจริญของตัวอ่อนและขนาดตัวอ่อนตามธรรมชาติ และระดับไทรอยด์ฮอร์โมน ได้แก่ thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) ของ fence lizard (*Sceloporus undulatus*) จาก Arkansas ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำการศึกษาโดยเตรียมสารละลายแคดเมียมจากแคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) ความเข้มข้น 0, 1.48, 14.8, 148, 1,480 และ 14,800 ไมโครกรัมแคดเมียมต่อกรัม (μg Cd/g) เพาะฟักที่อุณหภูมิ 28 ± 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 1480 และ 14800 ไมโครกรัมทำให้ตัวอ่อนตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 1480 ไมโครกรัมตัวอ่อนตายภายใน 35.80 ± 10.90 วัน และที่ความเข้มข้น 14800 ไมโครกรัมตัวอ่อนตายภายใน 2.70 ± 1.19 วันซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมไม่ได้ส่งผลต่อขนาดและน้ำหนักของตัวอ่อน แต่มีผลต่อระดับไทรอยด์ฮอร์โมนทั้ง T_3 ($P=0.593$) และ T_4 ($P=0.082$) ทำให้อัตราส่วนของไทรอยด์ฮอร์โมน T_3 ต่อ T_4 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

($P=0.042$) ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าแคดเมียมสามารถผ่านเยื่อเปลือกไข่ได้โดยวิธี active-transport พร้อมกับน้ำ

Alava และคณะ (2006) รายงานว่าพบการปนเปื้อนของ PCBs และสารกำจัดวัชพืชในไข่เต่าหัวหมอนและนำไปเพาะฟักเพื่อทำการศึกษากิจกรรมเมตาบอลิซึมของเต่าหัวหมอน 3 ระยะ คือ ระยะแรก ระยะกลางและระยะสุดท้ายพบว่าในระยะแรกและระยะกลาง มีปริมาณของ PCBs และสารกำจัดวัชพืชไม่แตกต่างกัน ในระยะสุดท้ายปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าปริมาณของ PCBs และสารกำจัดวัชพืชเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า โดยใช้วิธีการวัดด้วย GC/MS

Tryfonas (2006) ศึกษาไข่ของเต่าแก้วแดง (*Trachemys scripta elegans*) บริเวณแม่น้ำฮิลลินอยส์พบโลหะหลายชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม แคดเมียม โครเมียม แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว วาเลเดียม สตรอนเทียม ทองแดงและสังกะสี จากการศึกษาในไข่ขาวและไข่แดงพบ สังกะสี ($24.2 \pm 13 \text{ mg kg}^{-1}$) อะลูมิเนียม (2.21 ± 2) สตรอนเทียม (1.8 ± 1.1) แมงกานีส (1.1 ± 0.6) และทองแดง (0.9 ± 0.5) ส่วนในเปลือกไข่พบสังกะสี (6.8 ± 3.9) สตรอนเทียม (3.7 ± 3.1) ทองแดง (1.9 ± 1.3) โครเมียม (1.6 ± 1.5) วาเลเดียม (1.6 ± 1.4) ตะกั่ว (1.3 ± 0.7) นิกเกิล (1.3 ± 0.9) แมงกานีส (1.0 ± 0.8) และแคดเมียม (0.16 ± 0.11)

Gómara และคณะ (2007) รายงานการปนเปื้อนของสาร PCB, DDT อาร์เซนิกและโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ในไข่ของ *Chamaeleo chamaeleon* จากตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสเปน พบมีการปนเปื้อนของสังกะสี 5605-13290 นาโนกรัมต่อน้ำหนักตัว และมีการปนเปื้อนของทองแดงปริมาณ 1487-4361 นาโนกรัมต่อน้ำหนักตัว

11. การปนเปื้อนของโลหะหนักและแบคทีเรียในเต่าทะเล

Lam (2006) รายงานว่าพบโลหะหนักในเปลือกไข่เต่าตนุ ได้แก่ ซิลเวอร์ ซีลีเนียม สังกะสี โปรทและตะกั่ว สถาบันกำหนดความเข้มข้นที่ไม่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิต (PNEC) ได้กำหนดความเข้มข้นของโลหะหนัก (นาโนกรัมต่อน้ำหนักตัว; ng/g wet weight) ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายในไข่เต่าตนุ ดังนี้ ตะกั่ว (1000) ซีลีเนียม (340-6000) และนิกเกิล (17)

Maffucci และคณะ (2005) รายงานว่าพบโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) โปรท (Hg) ซีลีเนียม (Se) และสังกะสี (Zn) ใน ตัว เต่าและกล้ามเนื้อของเต่าหัวหมอนแถบตะวันตกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศอิตาลี

García-Fernández (2008) พบโลหะหนัก คือแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ในเนื้อเยื่อ ตับ ไต กล้ามเนื้อขาหน้า สมองและกระดูกสันหลังของเต่าหัวฉ้อนแถบตะวันตกเฉียงใต้ของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศสเปน

Aguirre (2006) รายงานว่าพบการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและลบในเต่าทะเลจากฮาวายและออสเตรเลีย แกรมลบคือ *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus* spp., *Chlamydophila* spp., *Flavobacterium* spp., *Leptospira* spp., *Pseudomonas fluorescens*, *Salmonella* spp., *Vibrio alginolyticus* แกรมบวก ได้แก่ *Mycobacterium* spp. ปรสิตร (Brucella spp., Cryptosporidium parvum, Entamoeba invadens, Entamoeba histolytica, Toxoplasma gondii) โลหะหนักคือ แคดเมียม ปรอท ตะกั่วและสารประกอบอินทรีย์คือ DDT, PCBs และ Chlordane

การปนเปื้อนสารบางชนิดอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของแม่เต่าทะเล อันจะส่งผลต่อการสร้างไข่ ซึ่งอาจมีผลต่อการรอดชีวิตและสุขภาพของลูกเต่าทะเล ซึ่งอาจใช้เปลือกไข่เป็นดัชนีชี้วัดสภาพแวดล้อมในแหล่งที่อยู่อาศัยของเต่าทะเล รวมทั้งอาหารที่เต่าทะเลกินว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่

12. โครงสร้างผลึกอะราโกไนต์และแคลไซต์ที่พบในเปลือกไข่เต่าทะเล

อะราโกไนต์

สูตรเคมีคือ CaCO_3 มีระบบผลึกแบบ orthorhombic ลักษณะผลึกมี 4 แบบคือ

ก. พีรามิดภาพเข็ม เป็นปริซึมแนวตั้งส่วนปลายถูกตัดโดยรูปผสมของพีรามิดคู่และปริซึมมักเกิดเป็นกลุ่มแผ่รัศมี

ข. แท่ง เป็นระนาบเด่นซึ่งถูกตัดด้วยระนาบและปริซึมทรงเตี้ยในระนาบ

ค. ปริซึมภาพหกเหลี่ยมตัดปลายด้วยระนาบฐาน ภาพผลึกเกิดจากการแทรกในแนวระนาบทั้ง 3 แนว

ง. ทิศทางที่ต่างกัน เนื่องจากมุมของปริซึมไม่เท่ากับ 60 องศา หน้าประกอบหน้าแฝดของปริซึมมักทำมุมกลับ ($>180^\circ$ องศา) และพบผลึกภาพใดหรือภาพแท่ง มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.95 อาจไม่มีสี ขาว เหลืองอ่อนหรือสีพื้นอ่อนๆ อะราโกไนต์มีความสัมพันธ์กับแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์ ซึ่งถ้ามีสตรอนเทียมหรือตะกั่ว เพียงเล็กน้อยเข้าแทนที่แคลเซียม

ในโครงสร้างแคลไซต์จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นอะราโกไนต์ได้ ในสถานะความดันสูง อุณหภูมิต่ำ อะราโกไนต์เสถียรมากกว่าแคลไซต์แต่ในสภาวะปกติแคลไซต์เสถียรมากกว่าอะราโกไนต์

แคลไซต์

สูตรเคมีคือ CaCO_3 มีระบบผลึกแบบ hexagonal-R ผลึกมีหลายภาพร่างและค่อนข้างซับซ้อน ภาพร่างที่โดดเด่นมี 3 แบบคือ แบบแท่ง แบบแปดหน้าและแบบสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 โครงสร้าง calcite ประกอบด้วย CaO 56.0 เปอร์เซ็นต์และ CO_2 จำนวน 44.0 เปอร์เซ็นต์ อาจเกิดการแทนที่ของแคลเซียมด้วยแมกนีเซียไอออน เฟอร์รัสไอออน และแมกนีเซียไอออน

13. หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

เกิดจากการที่อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron beam) จากแหล่งกำเนิดคือ electron gun ซึ่งลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นจนมีพลังงานประมาณ 2-40 กิโลโวลต์และเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กโดยคอนเดนเซอร์เลนส์ (condenser lens) จนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-10 มิลลิเมตรและสแกนนิ่งคอยล์ (scanning coil) จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกขั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบเฟรมการกวาดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า raster scan และเมื่อครบเฟรมแล้วก็จะไปเริ่มสแกนที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละเฟรมจะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอน จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่างโดย objective lens (แม้น, 2534) (ภาพที่ 9) วิ่งไปกระทบพื้นผิวของวัตถุ ทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในภาพแบบต่างๆ (ภาพที่ 10) แบ่งได้สองกลุ่มคือ

13.1 การกระเจิงของอิเล็กตรอนแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic scattering)

- Secondary electron (SE)
- X-Rays
- Auger electron (AE)
- Phonons
- Transmitted electron (TE)
- Cathodoluminescence

13.2 การกระเจิงของอิเล็กตรอนแบบยืดหยุ่น (Elastic scattering)

- Back scattered electron (BSE)

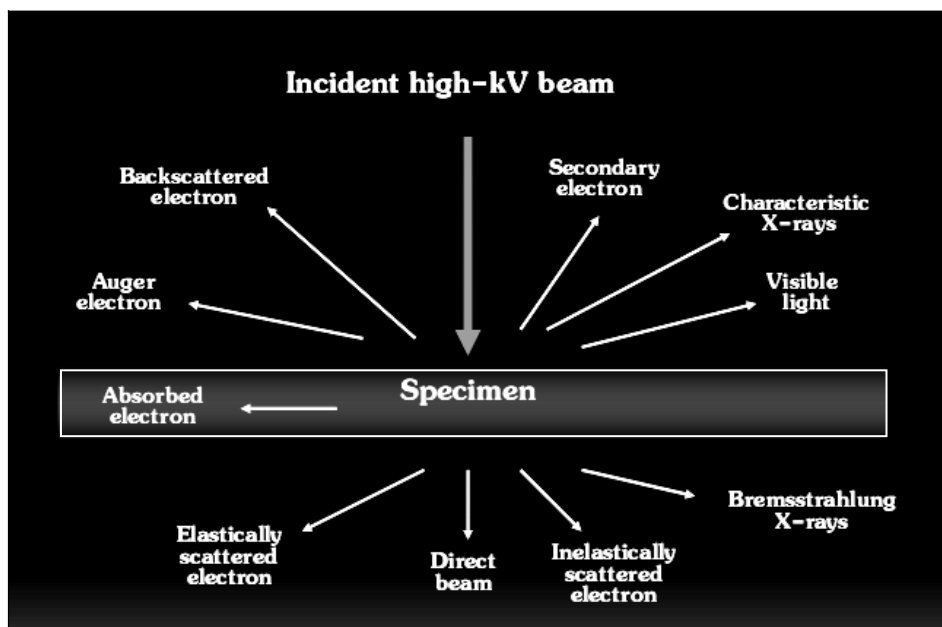
สัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ทางชีววิทยาในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง-
กราดมี 3 ชนิดคือ (Toya และคณะ, 1986)

ก. Secondary electrons (SE) เป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำที่เกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิ
ชนทำให้อิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา โดยจะหลุดออกจากผิวตัวอย่างที่ความลึกจากพื้นผิว
ไม่เกิน 10 นาโนเมตร ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ความเข้มของ SE จะขึ้นกับมุมที่อิเล็กตรอน
ปฐมภูมิตกใส่และสภาพพื้นผิวตัวอย่าง ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ภาพที่ได้จาก SE เรียกว่า
Secondary electron image (SEI)

ข. Back scattered electrons (BSE) คืออิเล็กตรอนปฐมภูมิที่กระเจิงกลับออกมาจากผิว
ตัวอย่าง กล่าวคือ เมื่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าใกล้หรือเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมบนผิวตัวอย่าง
ก็จะเกิดการเปลี่ยนทิศทางกระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง โดย BSE จะเกิดมากกับธาตุที่มีเลข
อะตอมสูง ความเข้มของสัญญาณ BSE จะขึ้นกับมุมที่อิเล็กตรอนปฐมภูมิตกใส่ตัวอย่าง และยัง
ขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุที่ผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก BSE เรียกว่า Backscattered electron image
(BEI)

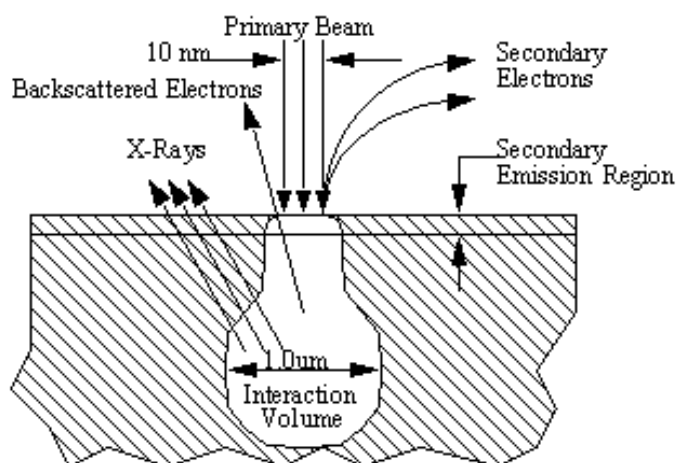
ค. Characteristic X-rays เกิดจากการที่เมื่ออิเล็กตรอนวงในของธาตุตัวอย่างถูกชน
โดยอิเล็กตรอนปฐมภูมิจนหลุดออกไป ก็จะเป็นระดับชั้นพลังงานที่ว่าง ทำให้อิเล็กตรอนที่
ระดับพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานลง พร้อมกันนี้ก็จะปล่อยพลังงานในภาพรังสีเอกซ์ออกมา
พลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้จะมีภาพแบบของระดับพลังงานเฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุ
เรียกว่า Characteristic X-rays ดังนั้นจึงสามารถทำให้วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่ผิวตัวอย่างโดย
อาศัยประโยชน์จากการวิเคราะห์พลังงานหรือความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้น

ภายในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดจะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับ
และเปลี่ยนอิเล็กตรอนอันดับสองให้เป็นสัญญาณอิเล็กตรอน (electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไป
ยังจอภาพ (cathode ray tube; CRT) การสแกนใน CRT จะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ raster
scan พร้อม ๆ กับการสแกนของลำอิเล็กตรอนในกล้อง ซึ่งความสว่างของจุดอิเล็กตรอนบน
หน้าจอภาพ CRT จะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจากเครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) ที่ขยาย
สัญญาณจากหัวตรวจวัดที่รับสัญญาณอิเล็กตรอนในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำ
อิเล็กตรอนมาก เมื่อส่งลงบนจอภาพ CRT (ภาพที่ 11) ก็จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้า
สัญญาณเบาก็จะได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยบนจอ CRT จะทำการ
เรียงจุดของสัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบแฟรมก็จะทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้ โดยภาพที่
ออกมานั้นจะมีลักษณะ 3 มิติ



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะการกระเจิงของอิเล็กตรอนแบบต่างๆ

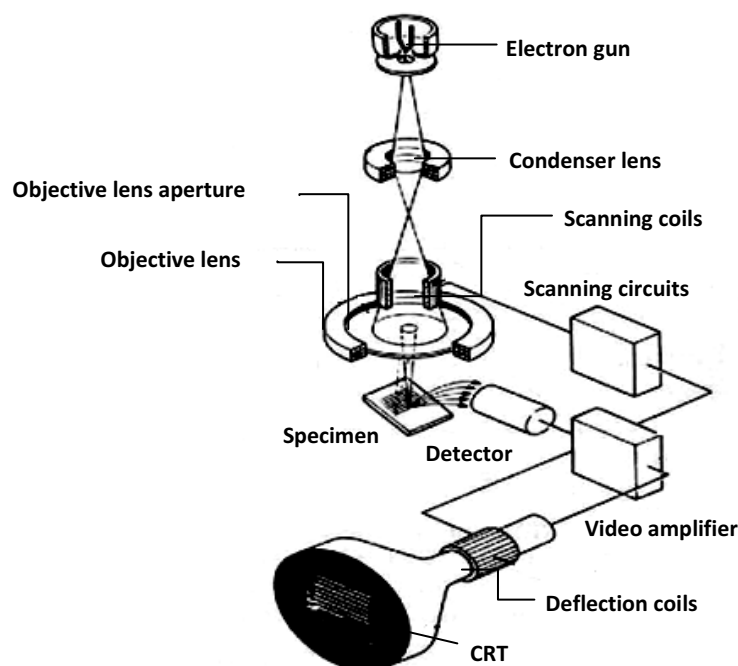
ที่มา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 11 มิถุนายน 2552. ได้จาก <http://www.mut.ac.th/~vet/histo-html>.



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะการกระเจิงของ SE, BSE และ X-rays ในระดับความลึกของตัวอย่างในระดับที่ต่างกัน

ที่มา : วิชาการดอทคอม, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 5 กรกฎาคม 2552.

ได้จาก <http://www.vcharkarn.com>.



ภาพที่ 11 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา : [Scanning electron microscopy](http://biologyweb.esmartstudent.com/course.html) [Online], accessed 21 May 2009. Available from
<http://biologyweb.esmartstudent.com/course.html>.

การวิเคราะห์ธาตุโดยใช้หัวตรวจวัด EDX แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ก. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ คือการอ่านค่าพลังงานของรังสีเอกซ์บนสเปกตรัมการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดได้ซึ่งจะรายงานค่าความเข้มของรังสีบนแกนตั้งและค่าพลังงานของรังสีบนแกนนอน พลังงานของรังสีเอกซ์ที่คายออกมาเนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุหนึ่งๆ (ภาพที่ 12) จะมีความเฉพาะเจาะจงแยกแยะจากธาตุอื่นๆ ได้ แม้ว่าจะมีการซ้อนทับกันของตำแหน่งพีค แต่ส่วนใหญ่สามารถทราบได้ว่ามีธาตุใดเป็นส่วนประกอบ โดยพิจารณาจากตำแหน่งและความเข้มของพีคข้างเคียง (ภาพที่ 13)

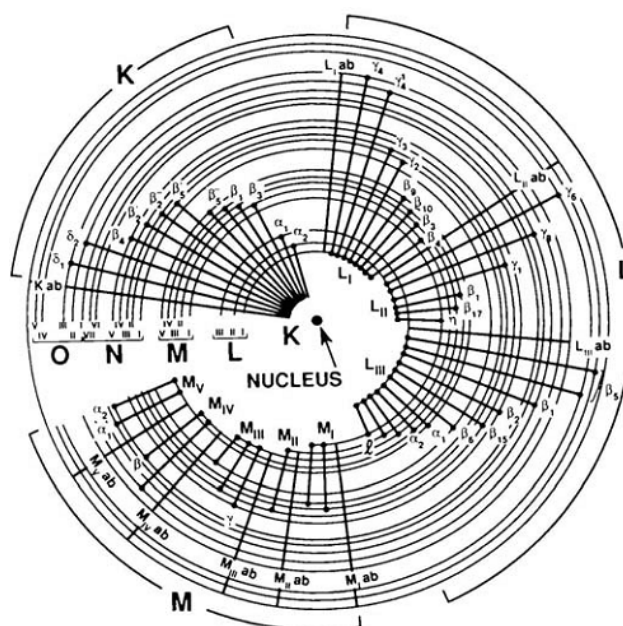
ข. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ นิยมทำโดยวัดปริมาณรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารมาตรฐาน ซึ่งอาจเป็นสารบริสุทธิ์หรือของผสมที่ทราบส่วนประกอบแน่นอน เปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารตัวอย่างซึ่งการวัดต้อง

ทำในสถานะของลำอิเล็กตรอนและสถานะอื่นๆ ภายในกล้องจุลทรรศน์เหมือนกัน โดยใช้หัวตรวจวัด EDX และแสดงผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณเป็นตารางของธาตุที่ตรวจพบ โดยจับสัญญาณได้จากอิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมของธาตุในระดับพลังงาน K, L, M, N หรือ O ซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์โดยอะตอม (ตารางที่ 1)

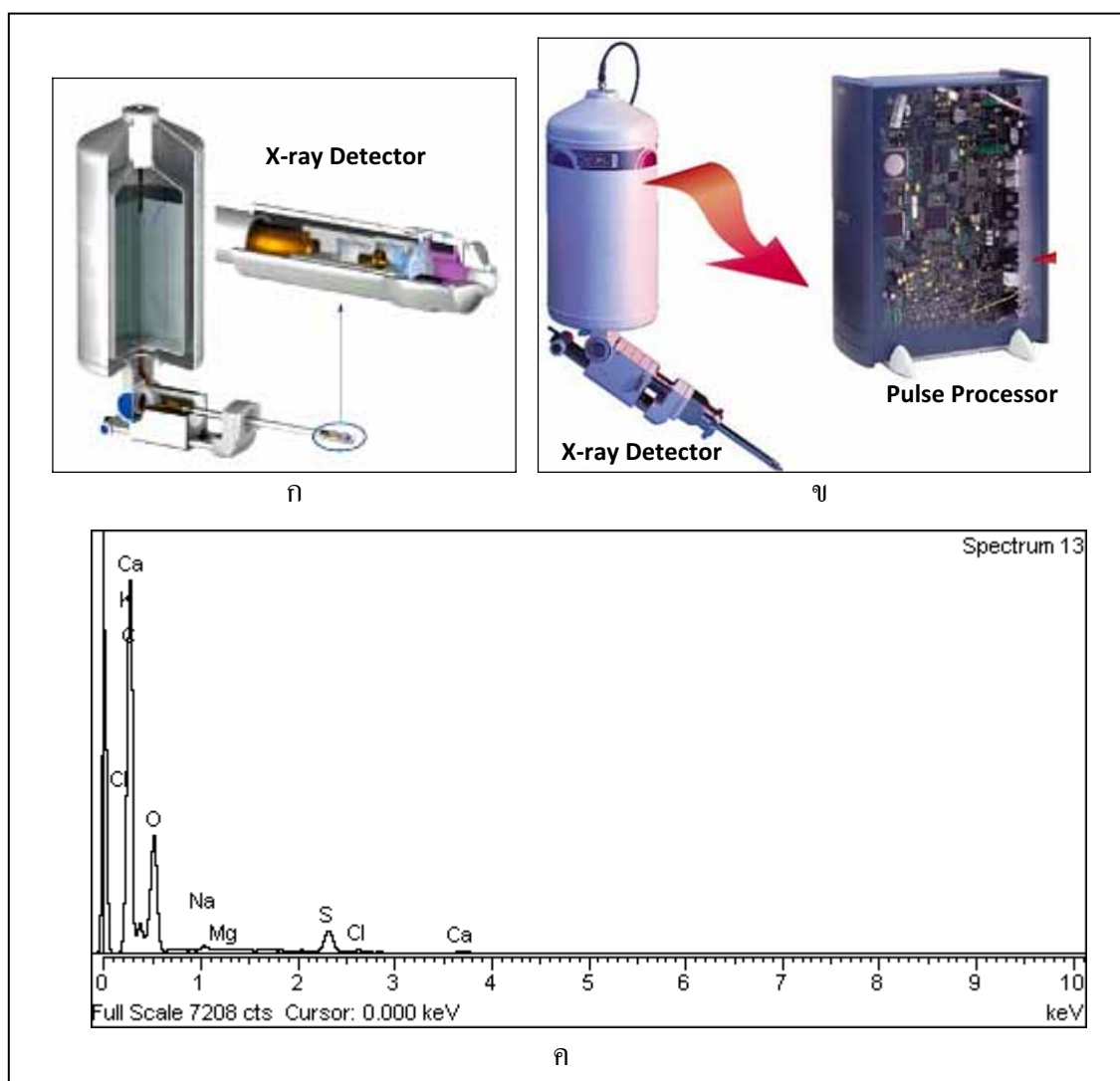
การวิเคราะห์ธาตุโดยใช้หัวตรวจวัด EDX แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการวิเคราะห์เฉพาะจุดและการวิเคราะห์แบบบริเวณรวม

ก. การวิเคราะห์เฉพาะจุด (point analysis) คือการวิเคราะห์ที่จุดเพียงจุดเดียวตลอดการวิเคราะห์ กำหนดครีสมิในการวิเคราะห์ประมาณ 1 ไมโครเมตรและลึกจากผิวตัวอย่างประมาณ 1 ไมโครเมตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์จุดละ 120 วินาที

ข. การวิเคราะห์แบบบริเวณรวม (region analysis) คือการวิเคราะห์โดยกราดลำอิเล็กตรอนลงบนผิวตัวอย่างในพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานกำหนดและลึกจากผิวตัวอย่างประมาณ 1 ไมโครเมตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์พื้นที่ละ 120 วินาที



ภาพที่ 12 แสดงระดับพลังงานของธาตุจากอิเล็กตรอนวงในถึงวงนอกคือ K, L, M, N และ O ตามลำดับ ซึ่งระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นจากอิเล็กตรอนวงในสู่วงนอก
ที่มา : วิชาการคอตคอม, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 5 กรกฎาคม 2552. ได้จาก <http://www.vcharkarn.com>.



ภาพที่ 13 (ก) แสดงลักษณะหัวตรวจวัด EDX ที่ต่อกับถังไนโตรเจนเหลว (ข) เมื่อหัวตรวจวัดรับพลังงานของรังสีเอกซ์ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของธาตุเมื่อถูกอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งชนแล้วจะส่งสัญญาณไปยัง pulse processor เพื่อแปลงสัญญาณและประมวลผลแสดงออกมาเป็น (ค) สเปกตรัมการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์

ที่มา : JEOL Ltd. JEOL JSM-6460LV [Online], accessed 16 March 2009. Available from <http://www.jeol.com>.

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ โดยใช้หัวตรวจวัด EDX โดยอักษรตัว K ในช่อง element ด้านหลังธาตุคือระดับพลังงานของอะตอมของธาตุที่หลุดออกเมื่อชนกับ อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิด

Spectrum processing : No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed

(Normalised) Number of iterations = 4

Element	Weight%	Atomic%
C K	62.37	70.23
O K	32.77	27.70
Na K	0.35	0.21
Si K	0.55	0.26
S K	2.96	1.25
Cl K	0.27	0.10
Ca K	0.73	0.24
Totals	100.00	

บทที่ 3

อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง

1. ตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเล

ตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเลได้รับการอนุเคราะห์จาก 4 แหล่ง คือศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล หน่วยบัญชาการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง อ. สัตหีบ จ. ชลบุรี ศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลกรมประมง เกาะมันใน อ. แกลง จ. ระยอง อุทยานแห่งชาติเขาลำปี-หาดท้ายเหมือง อ. ท้ายเหมือง จ. พังงาและสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งและป่าชายเลน กลุ่มสัตว์ทะเลหายาก จ. ภูเก็ต ซึ่งศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล หน่วยบัญชาการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง อ. สัตหีบ จ. ชลบุรี เป็นแหล่งเพาะฟักเปลือกไข่เต่าตนุและเต่ากระที่มีแหล่งวางไข่บริเวณเกาะคราม ส่วนอุทยานแห่งชาติเขาลำปี-หาดท้ายเหมือง อ. ท้ายเหมือง จ. พังงาและสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งและป่าชายเลน กลุ่มสัตว์ทะเลหายาก จ. ภูเก็ต เป็นแหล่งเพาะฟักไข่เต่าตนุและเต่ามะเฟืองที่มีแหล่งวางไข่บริเวณหมู่เกาะสิมิลัน

1.1 เต่ากระ (*Eretmochelys imbricata*)

- เก็บเดือนพฤษภาคมและเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 จากศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลหน่วยบัญชาการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง อ. สัตหีบ จ. ชลบุรี

1.2 เต่าตนุ (*Chelonia mydas*)

- เก็บเดือนมีนาคม พ.ศ. 2550 จากศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเล หน่วยบัญชาการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง อ. สัตหีบ จ. ชลบุรี

- เก็บเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 จากศูนย์อนุรักษ์พันธุ์เต่าทะเลกรมประมง เกาะมันใน อ. แกลง จ. ระยอง

1.3 เต่ามะเฟือง (*Dermochelys coriacea*)

- เก็บเดือนมีนาคม พ.ศ. 2550 และเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 จากอุทยานแห่งชาติเขาลำปี-หาดท้ายเหมือง อ. ท้ายเหมือง จ. พังงา

ตารางที่ 3 แสดงจำนวน สถานที่และเวลาที่เก็บตัวอย่างเปลือกไขเต่าทะเลสำหรับการวิจัยนี้

ตัวอย่างที่	ชนิดของเต่าทะเล	เวลาที่เก็บ	แหล่งที่เก็บ	จำนวน (ฟอง)	รวม
1	เต่าตนุ	มี.ค. 50	จ.ชลบุรี	12	18
2	เต่าตนุ	พ.ค. 50	จ.ระยอง	6	
3	เต่ากระ	พ.ค. 50	จ.ชลบุรี	3	9
4	เต่ากระ	ธ.ค. 50	จ.ชลบุรี	6	
5	เต่ามะเฟือง	มี.ค. 50	จ.พังงา	3	10
6	เต่ามะเฟือง	ธ.ค. 51	จ. พังงา	7	
รวม				37	37

2. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) ไนโตรเจนเหลว
- 2) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Fujifilm รุ่น FINEPIX Z20fd
- 3) แผ่นวัดขนาด
- 4) ปากคืบ
- 5) จานเพาะเชื้อ
- 6) ถุงซิปล
- 7) ฐานรองตัวอย่าง (stub)
- 8) เทปคาร์บอน (carbon tape) copper conductive tape 1/4"×18 yds Scotch 1181
- 9) กรรไกร

3. เครื่องมือ

- 1) เครื่องดูดความชื้น (desicator)
- 2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JEOL JSM-6460LV
- 3) หัวตรวจวัด Back-scattered electron imaging (BEI)
- 4) หัวตรวจวัด Energy dispersive X-ray analysis (EDX)
- 5) หัวตรวจวัด Secondary electron imaging (SEI)
- 6) เครื่องฉาบผิวตัวอย่าง (Sputter coater) รุ่น SPI Module Sputter-Coater
- 7) เครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonicator) รุ่น Crest Ultrasonic Cleaner (3Qt.)

4. การเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเล

4.1 การทำความสะอาดตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเล

- 1) ทำความสะอาดตัวอย่างเปลือกไข่ด้วยน้ำกลั่นโดยใช้เครื่องล้างความถี่สูง
- 2) ทำตัวอย่างเปลือกไข่ให้แห้ง โดยเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นจนแห้งสนิท
- 3) เก็บตัวอย่างเปลือกไข่ที่แห้งสนิทแล้วบรรจุถุงเก็บตัวอย่าง เขียนรหัส ชนิดของเต่าและวันที่เก็บ

4) บันทึกรายละเอียดต่างๆ ได้แก่ ชนิดเต่าทะเล ชื่อผู้เก็บ สถานที่เก็บ วันที่เก็บ อายุ ขนาดและน้ำหนักของแม่เต่า (ถ้ามี)

4.2 การเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่เต่าทะเลเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1) หักชิ้นตัวอย่างๆ ละ 3 ชิ้น โดยสุ่ม ขนาด 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร ตัดลงบนฐานรองตัวอย่างอะลูมิเนียมด้วยเทปคาร์บอน โดยตั้งให้ด้านที่หักใหม่อยู่ด้านบน เพราะจะได้หน้าตัดที่เรียบและสมบูรณ์ (ภาพที่ 14) เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2) ศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้หัวตรวจวัด EDX ในการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเปลือกไข่ภายใต้ระบบสุญญากาศสูง

3) ใช้เครื่องฉาบผิวด้วยทองคำฉาบผิวตัวอย่างเพื่อให้สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ ใช้กระแสไฟฟ้า 10–15 มิลลิแอมแปร์ นาน 2 นาที จะได้ทองคำหนาประมาณ 20 นาโนเมตร (ภาพที่ 15) ตัวอย่างที่ศึกษาด้วยหัวตรวจวัด EDX ไม่ต้องฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองคำและวางตัวอย่างในช่องใส่ตัวอย่างภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 16)

4) ศึกษาโครงสร้างของเปลือกไข่อย่างละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ถ่ายภาพด้วยหัวตรวจวัด SEI ภายใต้ระบบสุญญากาศสูง เพื่อศึกษาโครงสร้างด้านใน ด้านนอกและด้านตั้งฉากของเปลือก

5) ศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของเปลือกไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โดยใช้หัวตรวจวัด BEI ภายใต้ระบบสุญญากาศสูง

6) วัดความหนาของเปลือกไข่ชั้นต่างๆ ดังนี้

- ชั้น cuticle layer เป็นชั้นที่ปกคลุมผิวนอกของเปลือกไข่ทั้งหมด
- ชั้น calcium layer หรือ middle layer
- ชั้น membrane layer หรือ inner fibrous layer

ทำการวัดขนาดความหนาของเปลือกไข่เตาตุนุ เต่ากระและเต่ามะเฟืองในแต่ละชั้น (ภาพที่17) ด้วยโปรแกรม Smile view และนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความหนาแต่ละชั้นในเต่าทั้งสามชนิด

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

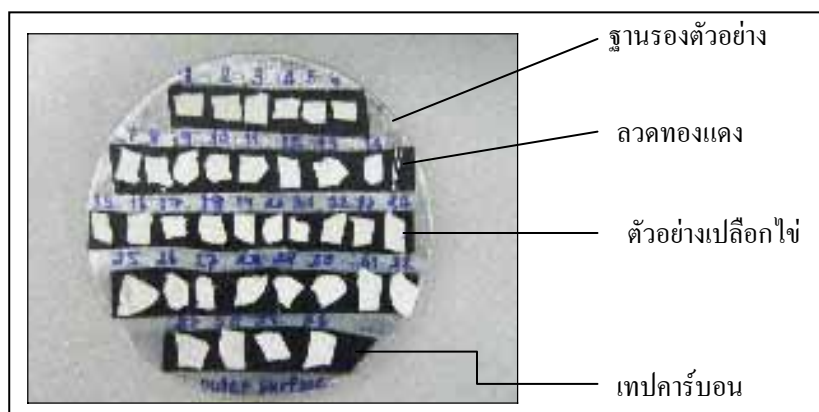
5.1 ข้อมูลที่นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ

1) เพอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบในเปลือกไข่ เปรียบเทียบความแตกต่างของธาตุในเปลือกไข่แต่ละชั้นของเต่าชนิดเดียวกันและเปรียบเทียบความแตกต่างของธาตุในเปลือกไข่เต่าแต่ละชนิด

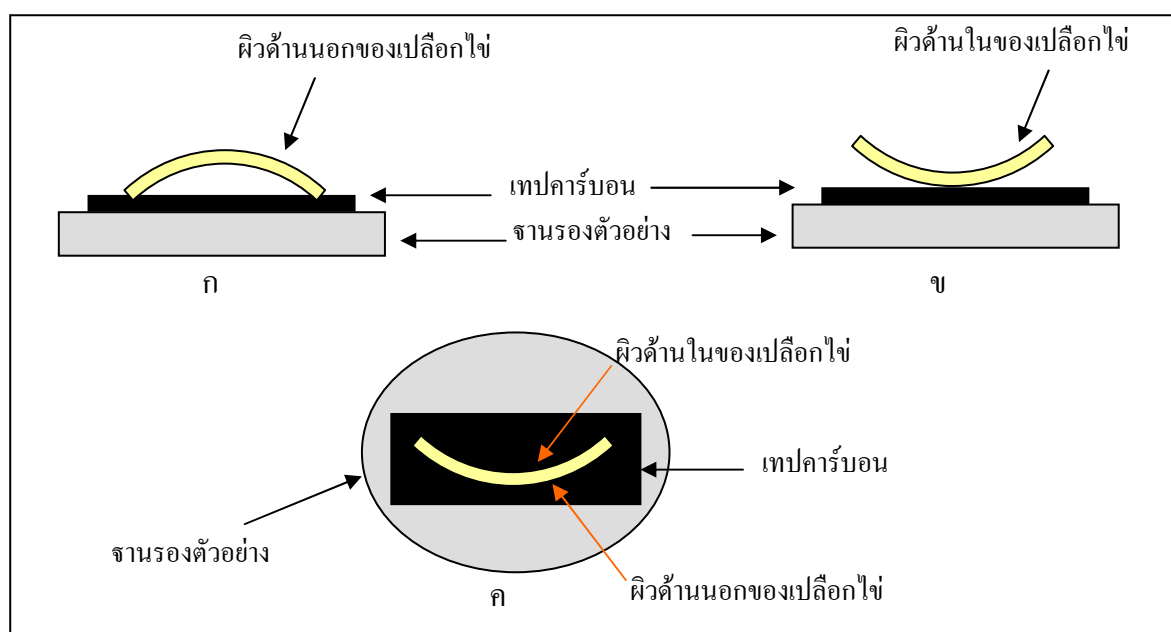
2) ความหนาของเปลือกไข่ เปรียบเทียบความหนาของเปลือกไข่แต่ละชั้นของเต่าชนิดเดียวกันและเปรียบเทียบความหนาของเปลือกไข่เต่าแต่ละชนิด

5.2 วิธีวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS for window

- 1) ทำการทดสอบการแจกแจงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่
- 2) ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลว่าแตกต่างกันหรือไม่โดยใช้ Levene's test
- 3) ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและมีความแปรปรวนเท่ากันทำการวิเคราะห์โดยใช้ one-way ANOVA หากมีการวัดซ้ำในตัวอย่างเดิมใช้ ANOVA แบบวัดซ้ำและจัดกลุ่มโดยใช้ Duncan's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งทำการแบ่งกลุ่มจากน้อยไปหามาก (a, b, c,...)
- 4) ถ้าข้อมูลมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกันทำการวิเคราะห์โดยใช้ Nonparametric Kruskal-Wallis test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 14 แสดงการเตรียมตัวอย่างบนฐานรองตัวอย่างเพื่อศึกษาค้นคว้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



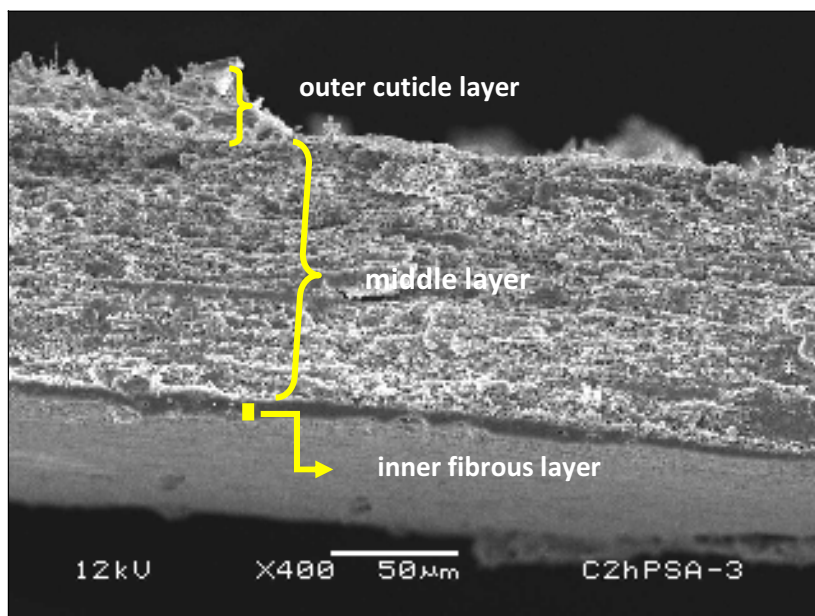
ภาพที่ 15 แสดงการวางชิ้นเปลือกไข่แต่ละเลนบนเทปคาร์บอนในการศึกษาค้นคว้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) ผิวด้านนอก (ข) ด้านในและ (ค) ด้านข้าง (ส่วนหนา) ของเปลือกไข่เมื่อมองจากด้านบน



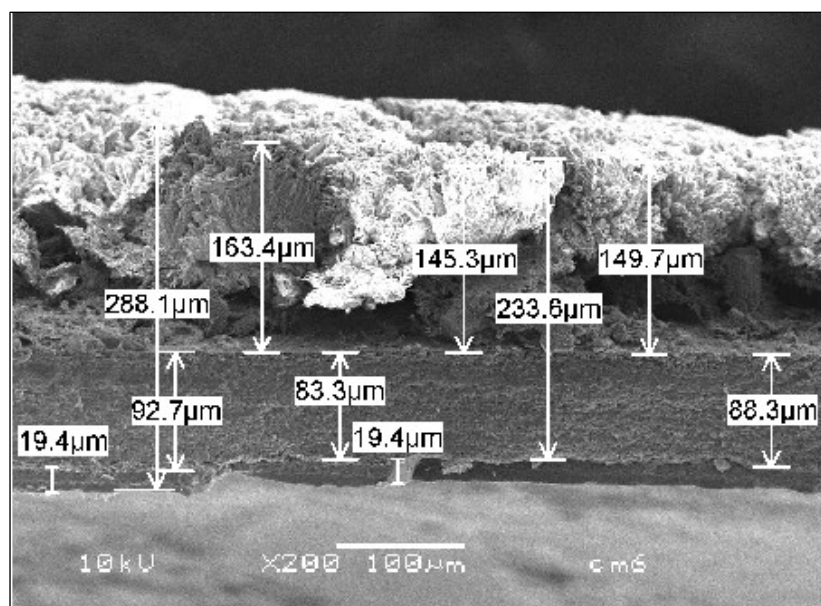
ภาพที่ 16 แสดงเครื่องฉายตัวอย่างด้วยทองคำ



ภาพที่ 17 แสดงการวางตัวอย่างในช่องใส่ตัวอย่างในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ 18 แสดงการแบ่งชั้น ของเปลือกไข่เต่าทะเล โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือชั้นนอก (outer cuticle layer) ชั้นกลาง (middle layer) และชั้นใน (inner fibrous layer)



ภาพที่ 19 แสดงการวัดความหนาของเปลือกไข่ด้วยโปรแกรม Smile view

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. ศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระ และเต่ามะเฟือง

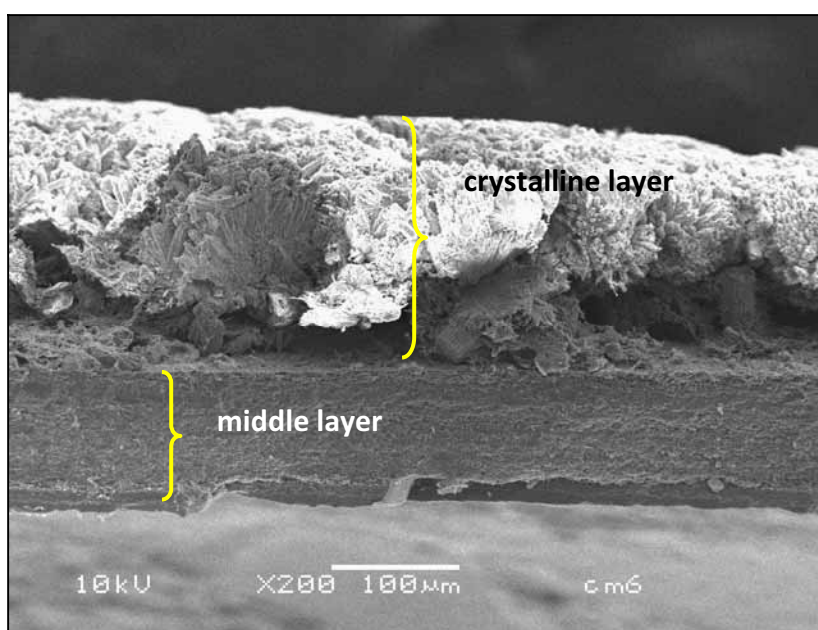
1.1 ผลการศึกษาเปลือกไข่เต่า 3 สายพันธุ์ คือเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟืองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเปลือกไข่เต่าทะเลประกอบด้วย 3 ชั้น คือชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน แต่ถ้าศึกษาที่กำลังขยายน้อยกว่า 400 เท่าจะทำให้มองเห็นเปลือกไข่ชั้นในได้ไม่ชัดเจนแยกได้เพียง 2 ชั้นคือ ชั้นนอกและชั้นกลาง (ภาพที่ 20-22)

1.1.1 เปลือกไข่ชั้นนอก เรียกว่า outer cuticle layer หรือ crystalline layer ที่ผิวหนังด้านบนมีลักษณะแตกต่างกันในเต่าทะเลแต่ละชนิด หากสัมผัสด้วยมือเปล่าจะรู้สึกสากมือ ส่วนเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองเมื่อดูด้วยตาเปล่ามีลักษณะเป็นสีขาวคล้ายผลึกเกลือ แข็งและหลุดออกได้ง่าย เมื่อศึกษาด้านข้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้หัวตรวจวัด SEI พบว่าเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าทะเลทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะเป็นผลึกหนามแหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี (ภาพที่ 23-26) โดยเต่ามะเฟืองมีขนาดของผลึกรูปหนามแหลมเล็กและเรียกว่าเต่าตนุ (ภาพที่ 27-28) ลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหนามแหลมในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระ (ถ่ายจากผิวหนังด้านนอกของเปลือกไข่) มีลักษณะเป็นแผ่นผลึกขนาดเล็กกว่าของเต่าตนุเรียงซ้อนทับกันและยึดติดกันแน่นและมีผลึกรูปร่างกลมขนาดเล็กประมาณ 0.2 ไมโครเมตรรวมอยู่ด้วย (ภาพที่ 29) เมื่อพิจารณากลุ่มผลึกในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าทั้ง 3 ชนิด พบว่าพื้นผิวของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุมีลักษณะขรุขระ กลุ่มผลึกมีขนาดใกล้เคียงกัน เรียงตัวชิดกันบนระนาบเดียวกันและมีการกระจายตัวของกลุ่มผลึกอย่างสม่ำเสมอ (ภาพที่ 30-32) ส่วนเต่ากระมีผลึกรูปร่างกลมแทรกระหว่างกลุ่มของผลึกรูปหนามแหลม (ภาพที่ 33) ซึ่งเรียงตัวชิดกันแน่นทำให้เมื่อดูจากผิวหนังด้านนอกของเปลือกไข่จะเห็นว่าเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระมีลักษณะค่อนข้างเสมอกัน (ภาพที่ 34) ในขณะที่กลุ่มผลึกของเปลือกไข่เต่ามะเฟืองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงต่ำแตกต่างกันทำให้เมื่อถ่ายภาพจากผิวหนังด้านนอกของเปลือกไข่โดยใช้หัวตรวจวัด SEI พบว่าผิวเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองขรุขระ ไม่เสมอกัน (ภาพที่ 35) บริเวณฐานของกลุ่มผลึกยึดติดกับเปลือกไข่ชั้นกลาง (ภาพที่ 36-38) ซึ่งมีรู (pore) ขนาดประมาณ 5-20 ไมโครเมตร เชื่อมต่อกับเปลือกไข่ชั้นกลางมีรูเดียว

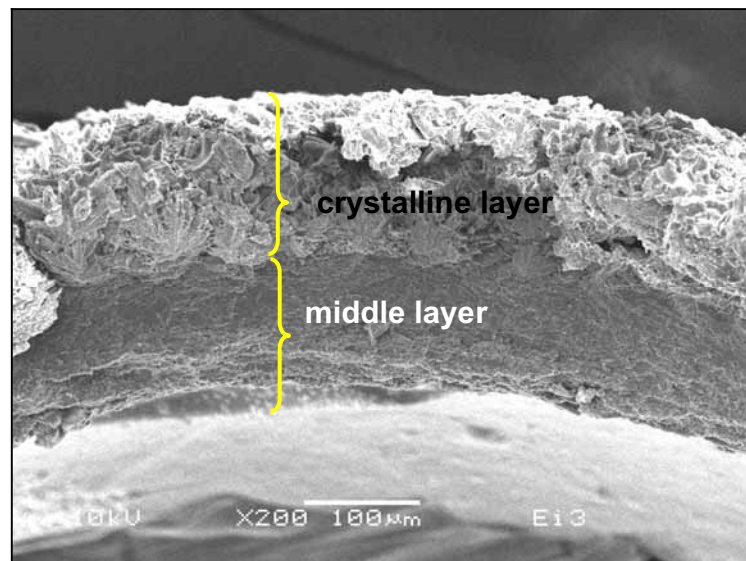
หรือหลายรูในเต้าทั้ง 3 ชนิด (ภาพที่ 39-41) ส่วนกลางของกลุ่มผลึกยึดติดกับฐานซึ่งเป็นส่วนบนของเปลือกไข่ชั้นกลาง กลุ่มผลึกเกิดจากจุดกำเนิด (primary spherite) (ภาพที่ 42-43) ซึ่งติดกับเปลือกไข่ชั้นกลางและมีการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต (แคลเซียมคาร์บอเนต) หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) เป็นแบบอะราโกไนต์เรียงตัวในแนวรัศมี กลุ่มผลึกมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบติดต่อกัน เต้าตุนและเต้ากระมีความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกและชั้นกลางใกล้เคียงกันแต่เปลือกไข่ชั้นนอกของเต้ามะเฟืองบางกว่าเปลือกไข่ชั้นกลาง

1.1.2 ชั้นกลาง เรียกว่า middle layer หรือ middle multistrata layer มีลักษณะเป็นโครงสร้างของเส้นใยขนาดประมาณ 0.3-2.0 ไมโครเมตร (ภาพที่ 44) สานกันเป็นร่างแห โดยมีช่องว่างระหว่างเส้นใย (ภาพที่ 45-47) มีลักษณะคล้ายรูพรุนในฟองน้ำซึ่งเป็นเส้นทางการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างตัวอ่อนภายในไข่กับสิ่งแวดล้อมภายนอก

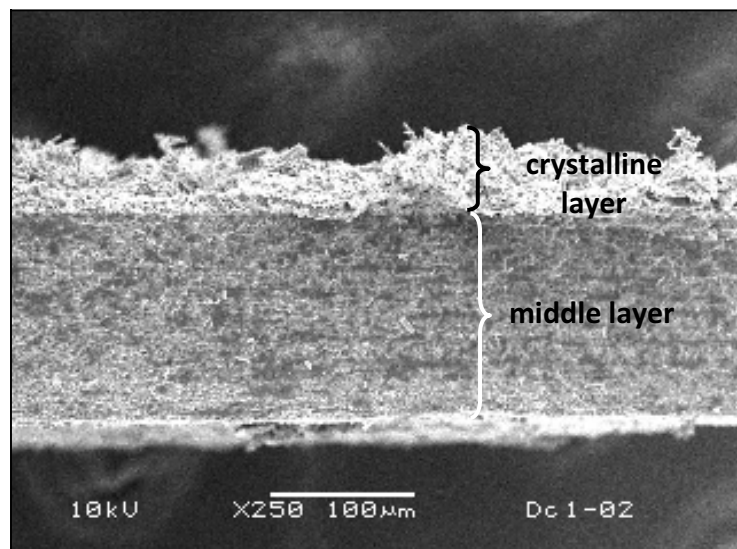
1.1.3 ชั้นใน เรียกว่า inner fibrous layer ประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตรสานกันแน่นมาก มีขนาดบางกว่าชั้นอื่นๆ (ภาพที่ 48-53)



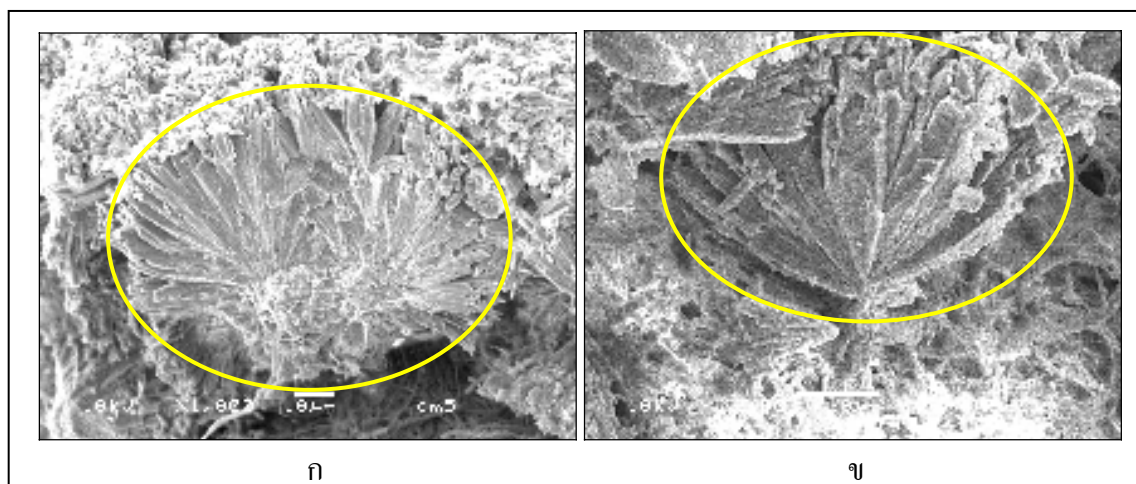
ภาพที่ 20 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต้าตุน มองเห็นและแยกได้ชัดเจน 2 ชั้น คือชั้นนอก (crystalline layer) มีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกรวมกันเป็นกระจุกแผ่รัศมี คล้ายรูปพัดและชั้นกลาง (middle layer) หนาและอัดตัวกันแน่น (——— 100 ไมโครเมตร)



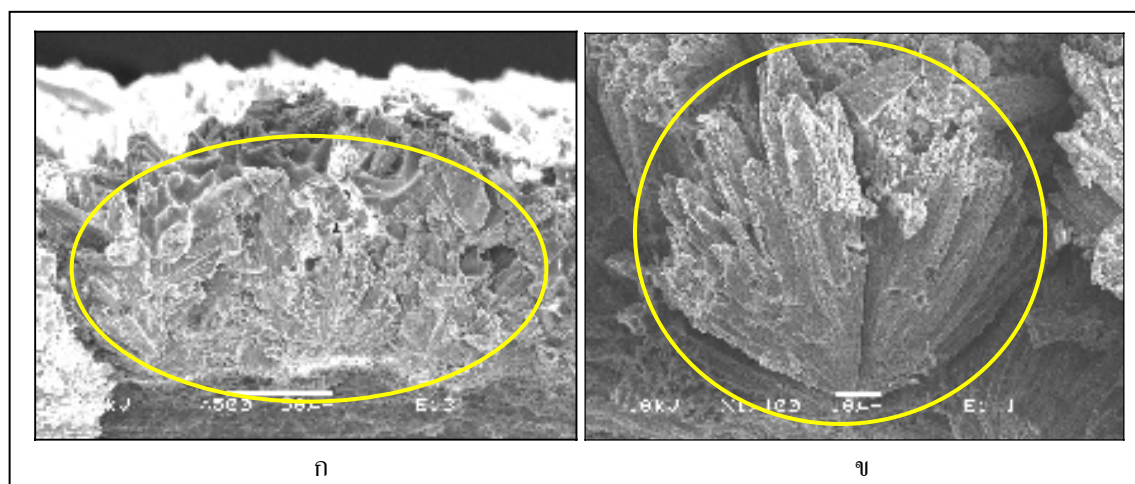
ภาพที่ 21 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่ากระ มองเห็นและแยกได้ชัดเจน 2 ชั้น คือชั้นนอก (crystalline layer) มีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกรวมกันเป็นกระจุกแผ่รัศมี คล้ายรูปพัดและชั้นกลาง (middle layer) หนาและอัดตัวกันแน่น (——— 100 ไมโครเมตร)



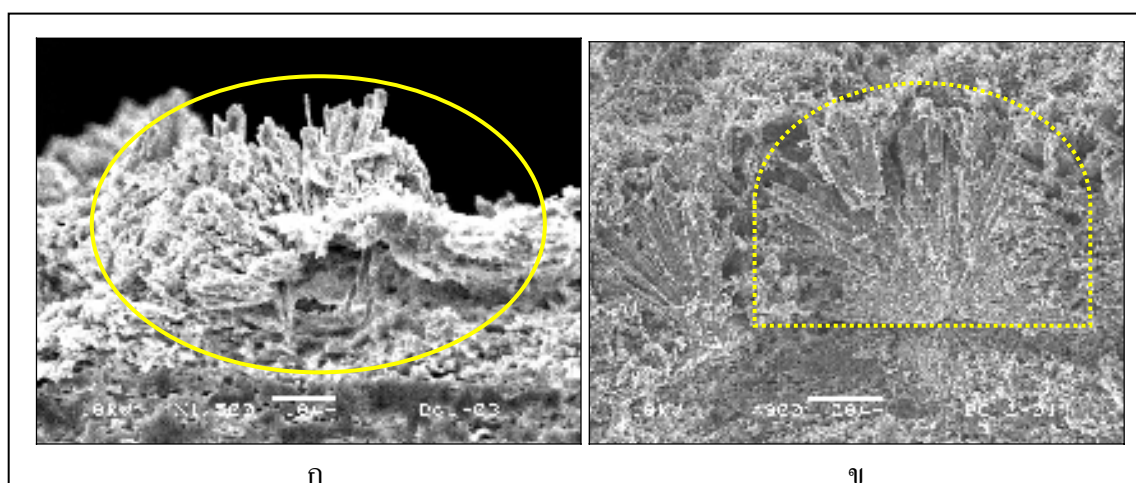
ภาพที่ 22 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง แยกได้ชัดเจน 2 ชั้นคือ ชั้นนอก (crystalline layer) มีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกรวมกันเป็นกระจุกแผ่รัศมีคล้ายรูป พัดและชั้นกลาง (middle layer) หนาและอัดตัวกันแน่น (————— 100 ไมโครเมตร)



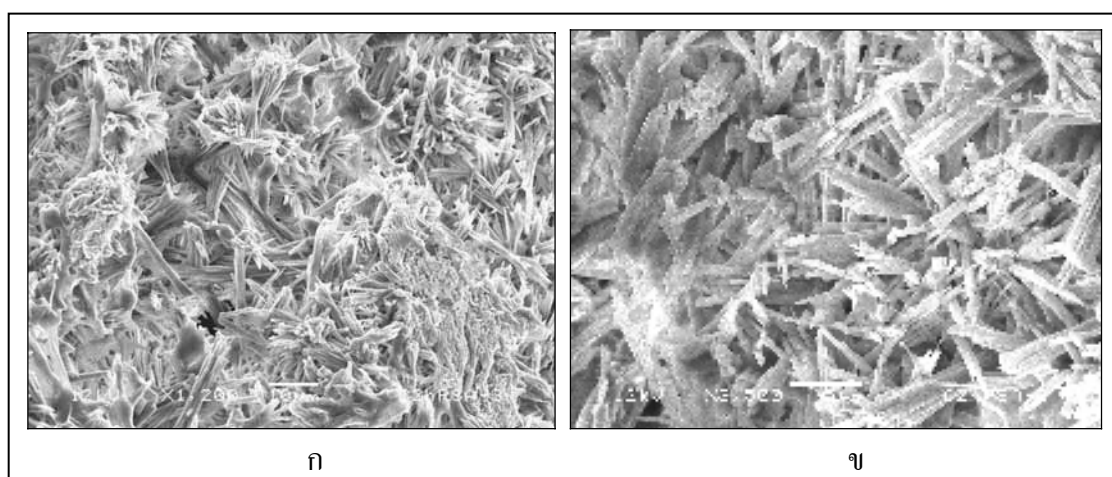
ภาพที่ 23 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไขชั้นนอกมีผลึกรูปร่างหนามแหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมีของเตาตะกั่ว (ก) — 10 ไมโครเมตร (ข) — 10 ไมโครเมตร



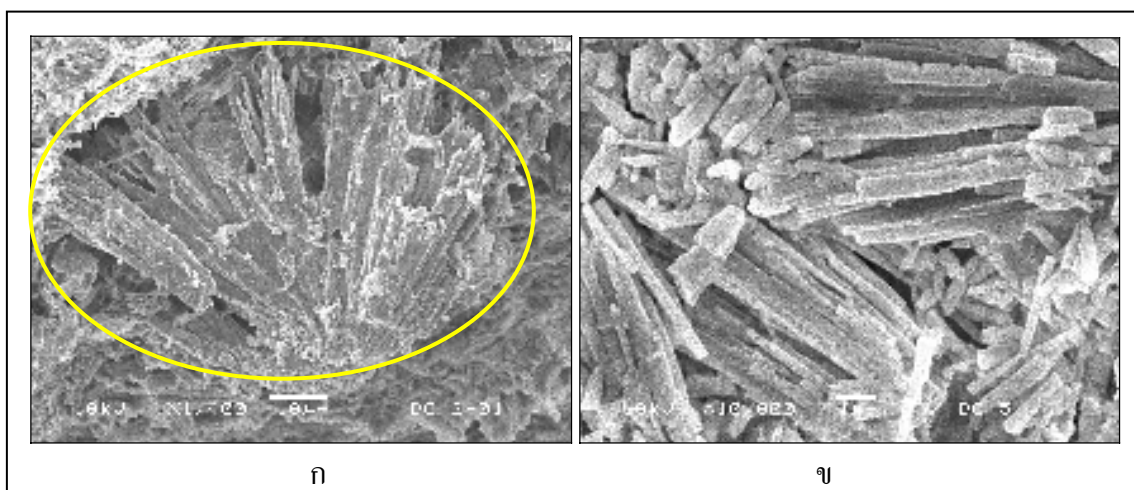
ภาพที่ 24 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไขชั้นนอกซึ่งมีผลึกเป็นรูปร่างหนามแหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมีของเตากระ (ก) — 50 ไมโครเมตร (ข) — 10 ไมโครเมตร



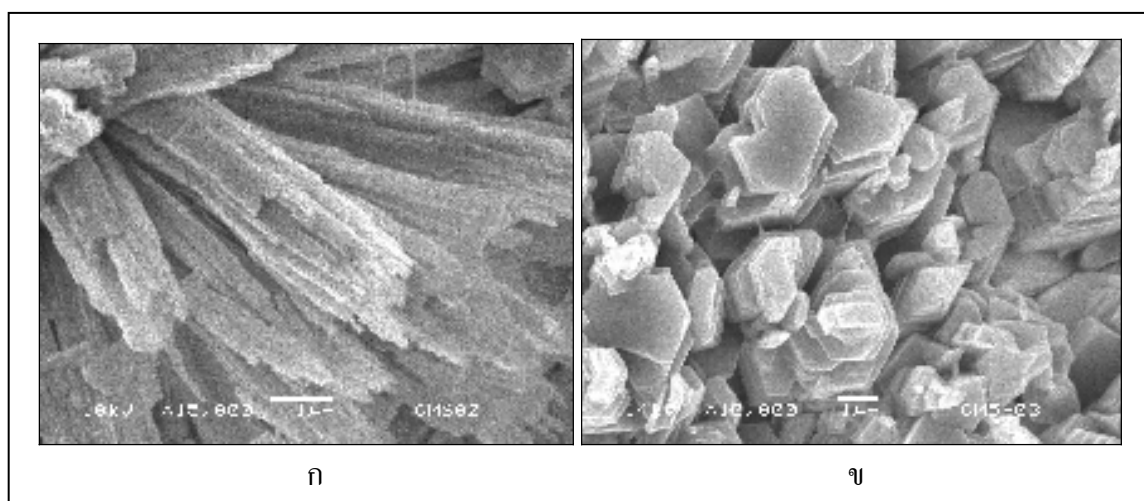
ภาพที่ 25 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข้นอกของเต่ามะเฟือง เป็นผลึกรูปร่างนาม
แหลมรวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี (ก) — 10 ไมโครเมตร (ข) — 20 ไมโครเมตร



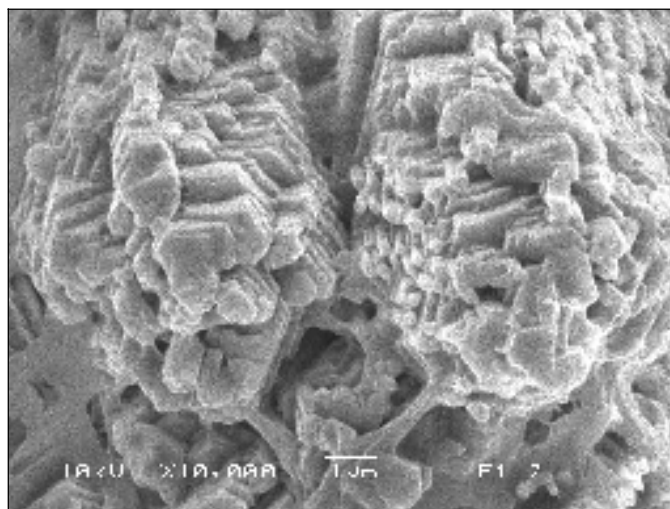
ภาพที่ 26 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข้นอกของเต่ามะเฟืองเป็นผลึกรูปแท่ง
คล้ายหนามแหลมรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี (ก) — 10 ไมโครเมตร (ข) — 5
ไมโครเมตร



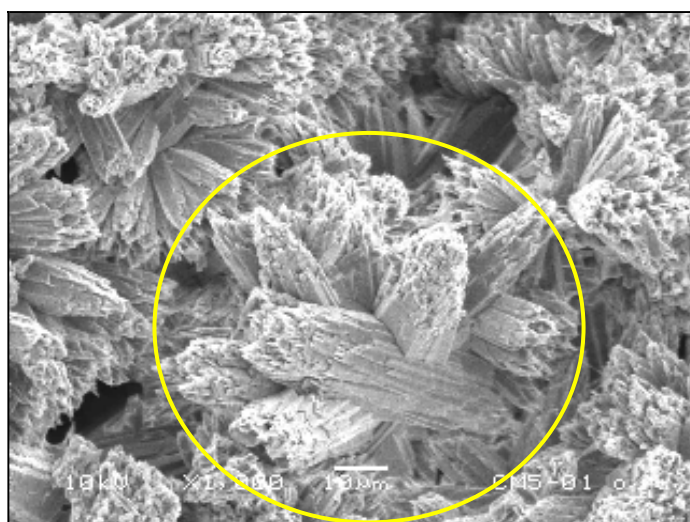
ภาพที่ 27 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหนามแหลมที่รวมกลุ่มแผ่รัศมีในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองเป็นผลึกรูปแท่งยาวคล้ายทรงกระบอกบางส่วนหักเป็นท่อนสั้นๆ รวมตัวกัน (ก) — 10 ไมโครเมตร (ข) — 1 ไมโครเมตร



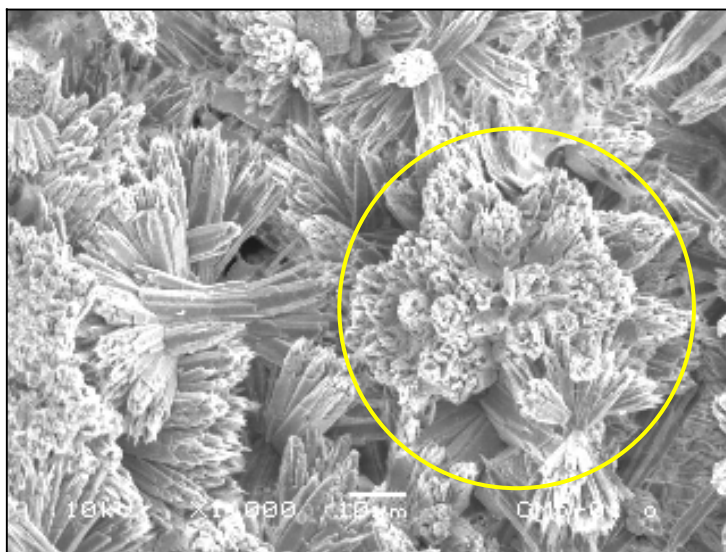
ภาพที่ 28 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหนามแหลมในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ เป็นแผ่นผลึกหลากหลายขนาดเรียงซ้อนทับกันและยึดติดกันแน่น (ก) ถ่ายจากด้านข้าง — 1 ไมโครเมตร (ข) ถ่ายจากด้านนอก — 1 ไมโครเมตร



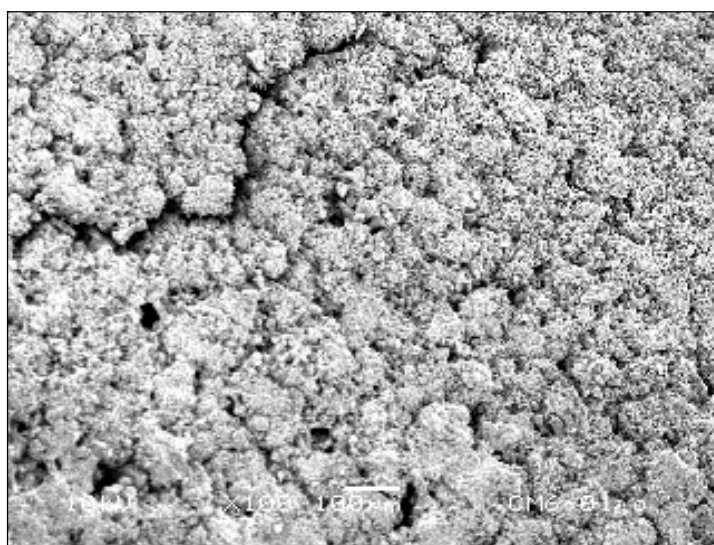
ภาพที่ 29 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกรูปหนามแหลมในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระ (ถ่ายจากผิวด้านนอกของเปลือกไข่) มีลักษณะเป็นแผ่นผลึกขนาดเล็กกว่าของเต่าตนุเรียงซ้อนทับกันและยึดติดกันแน่นและมีผลึกรูปร่างกลมขนาดเล็กประมาณ 0.2 ไมโครเมตรรวมอยู่ด้วย (— 1 ไมโครเมตร)



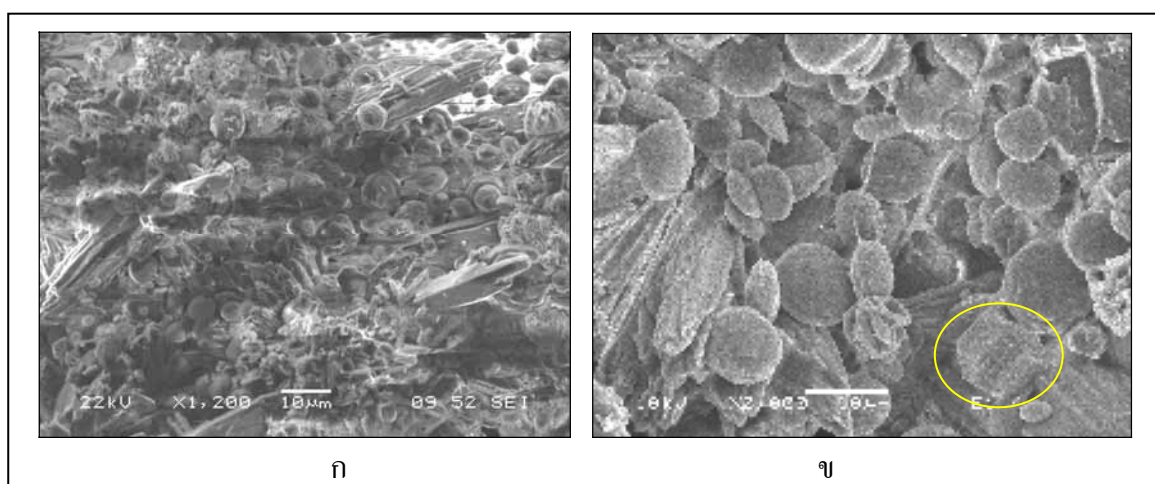
ภาพที่ 30 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุเป็นผลึกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มหรือก้อนแผ่รัศมี (— 10 ไมโครเมตร)



ภาพที่ 31 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไขชั้นนอกของเต่าตนุ มีลักษณะเป็นผลึกรูป
แท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี (— 10 ไมโครเมตร)



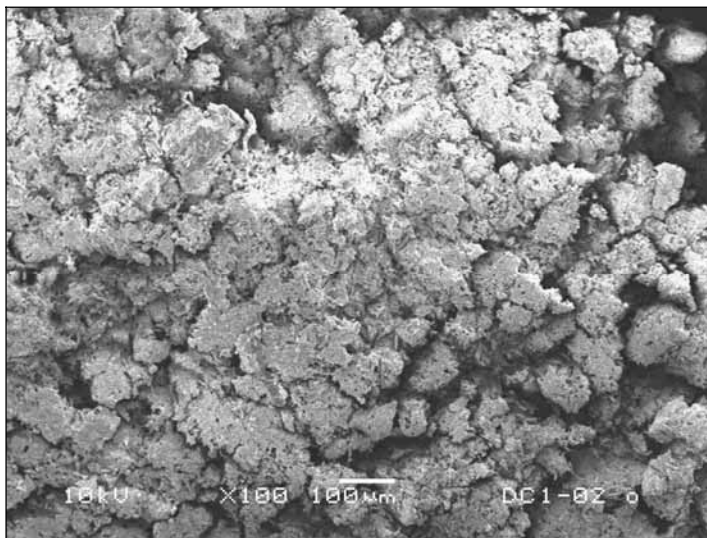
ภาพที่ 32 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไขเต่าตนุชั้นนอก มีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึก
เรียงตัวชิดกันแน่นในแนวระนาบแต่ยังสามารถเห็นว่าผลึกแบ่งเป็นกลุ่มๆ (— 100
ไมโครเมตร)



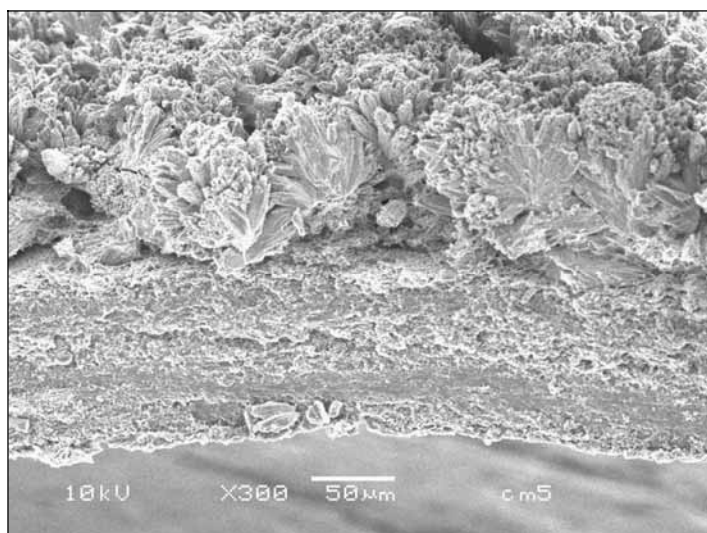
ภาพที่ 33 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไขชั้นนอกของเต่ากระ มีลักษณะเป็นผลิกรูป
แท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมีและมีผลิกรูปกลมแทรกกระหว่างกลุ่มผลิกรูปหนามแหลม
(ก) — 10 ไมโครเมตร (ข) — 10 ไมโครเมตร ในวงกลมคือฟลักแคลเซียม-
คาร์บอเนตแบบแคลไซต์



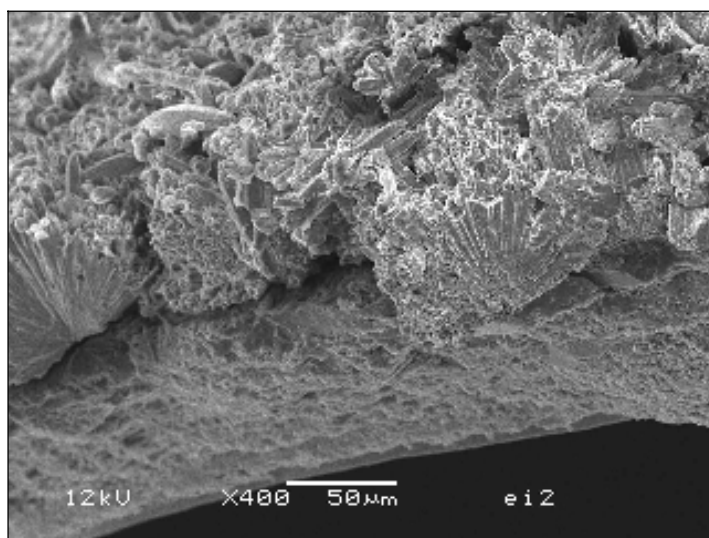
ภาพที่ 34 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไขชั้นนอกของเต่ากระ เป็นกลุ่มของผลึกเรียง
ตัวชิดกันแน่นในแนวระนาบ ด้านบนมีผลึกเล็กๆ รวมตัวกันเป็นแผ่นบางๆ ทำให้ผิว
ด้านบนเปลือกไขชั้นนอกของเต่ากระค่อนข้างเสมอกัน (— 100 ไมโครเมตร)



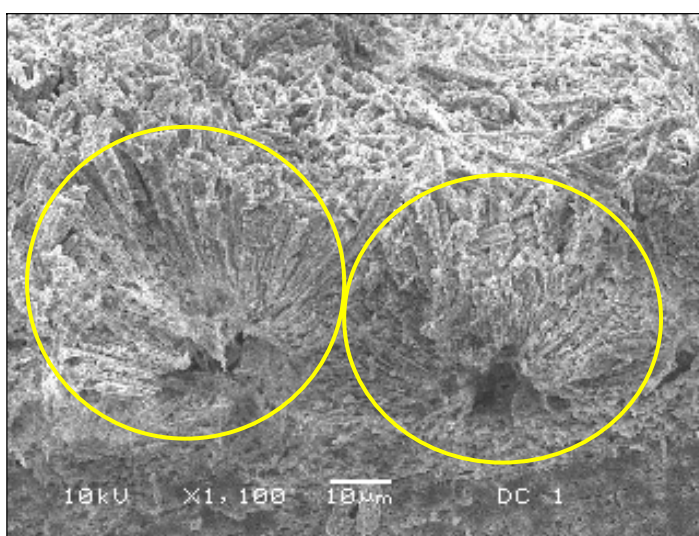
ภาพที่ 35 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่เต่ามะเฟืองชั้นนอก มีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกเรียงตัวชิดกันแน่นในแนวระนาบอย่างไม่สม่ำเสมอทำให้ผิวด้านบนของเปลือกไข่เต่ามะเฟืองชั้นนอกมีความสูงต่ำไม่เสมอกัน (— 100 ไมโครเมตร)



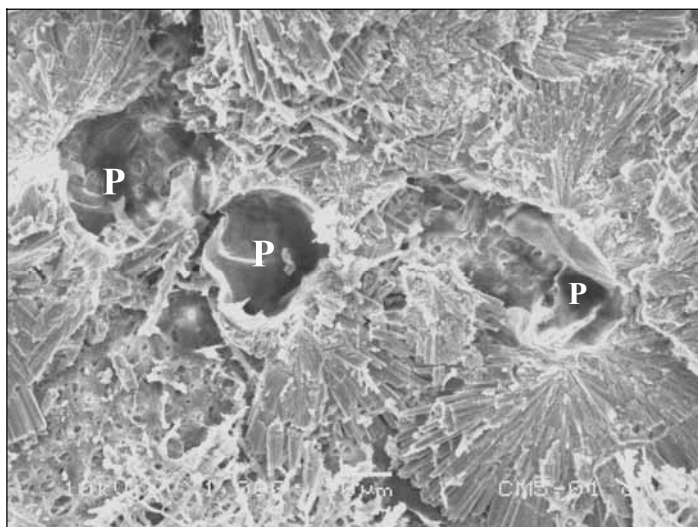
ภาพที่ 36 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาชั้นของเปลือกไข่ของเต่าตนุ ชั้นนอกมีลักษณะเป็นผลึก รูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี เรียงตัวชิดกันแน่น (— 50 ไมโครเมตร)



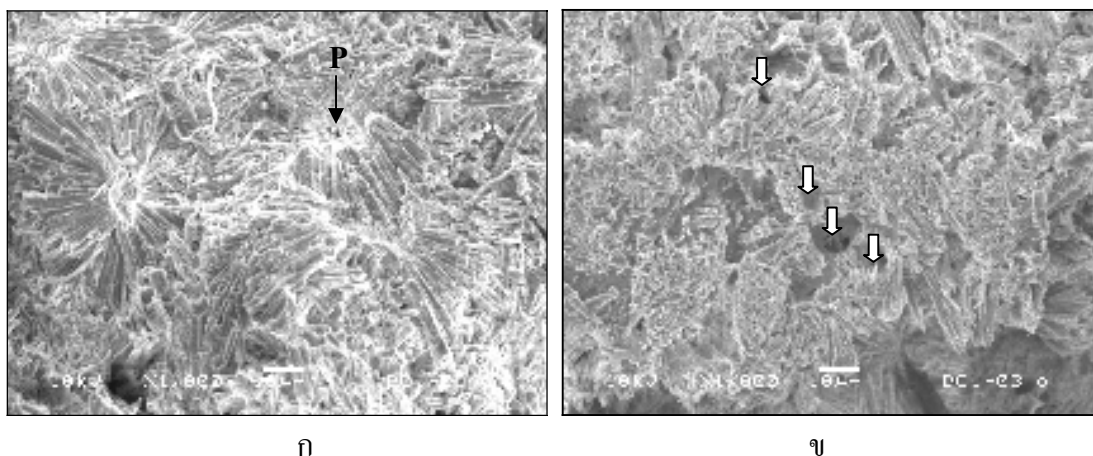
ภาพที่ 37 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาชั้นของเปลือกไข่ของเต่ากระ ชั้นนอกมีลักษณะเป็นผลิกรูปแท่งรวมกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี เรียงตัวชิดกันแน่นและมีผลิกรูปกลมแทรกระหว่างกลุ่มผลิกรูปแท่ง (— 50 ไมโครเมตร)



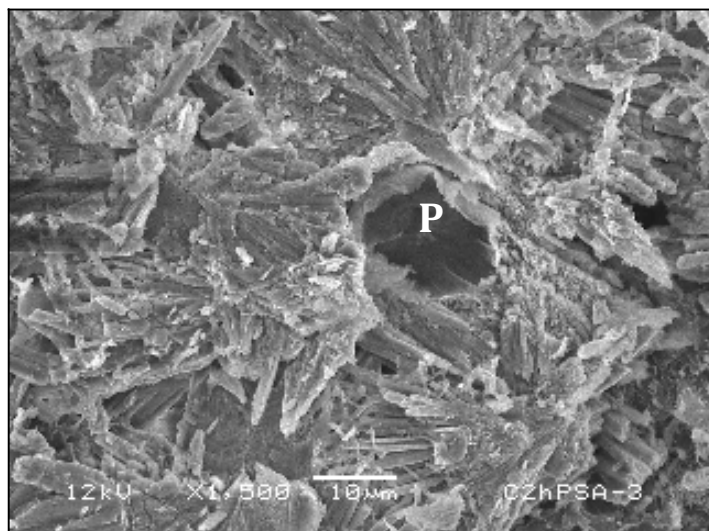
ภาพที่ 38 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟือง มีลักษณะเป็นผลิกรูปหนามแหลมรวมเป็นกลุ่มแผ่รัศมี มีขนาดของกลุ่มผลิกลึกที่สุดเมื่อเทียบกับเต่าตนุและเต่ากระ (— 10 ไมโครเมตร)



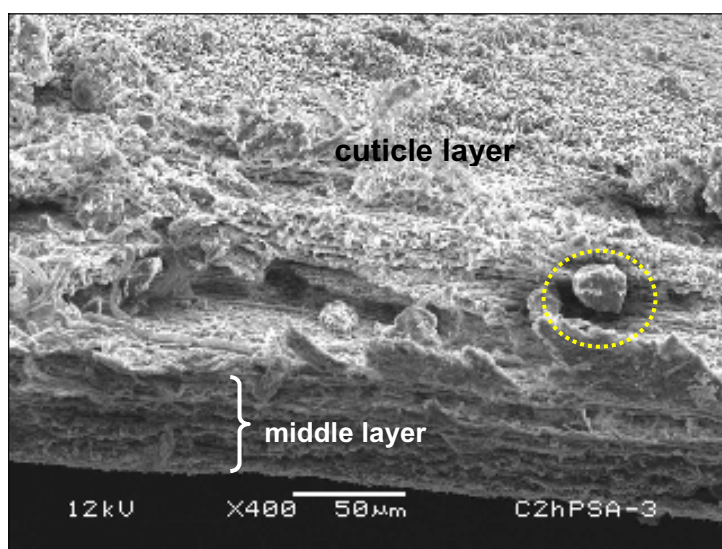
ภาพที่ 39 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะฐานของกลุ่มผลึกในเปลือกไข่ชั้นนอกของเตาต้มมีรู (P=pore) อยู่บริเวณส่วนกลางของฐานที่ยึดติดกับเปลือกไข่ชั้นกลาง โดยรูจะเชื่อมต่อระหว่างเปลือกไข่ชั้นนอกและชั้นกลางซึ่งเป็นช่องทางสำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของเปลือกไข่ (— 10 ไมโครเมตร)



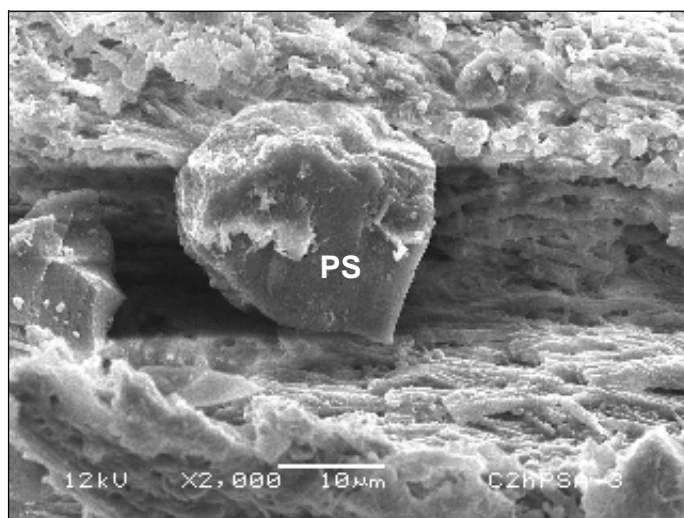
ภาพที่ 40 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะฐานของกลุ่มผลึกที่เกิดจากผลึกรูปหนามแหลมรวมตัวแผ่รัศมีในเปลือกไข่ชั้นนอกของเตาต้มมีรู โดยบริเวณฐานของกลุ่มผลึกมีรู (P=pore) อาจมีรูเดียวหรือหลายรูเชื่อมต่อระหว่างเปลือกไข่ชั้นนอกและชั้นกลางซึ่งเป็นช่องทางการแลกเปลี่ยนก๊าซของตัวอ่อนภายในไข่กับสิ่งแวดล้อม (ก) — 10 ไมโครเมตร (ข) — 10 ไมโครเมตร



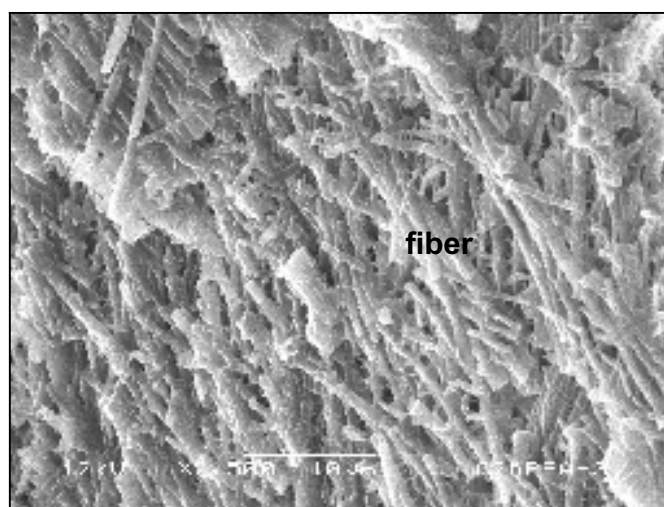
ภาพที่ 41 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะรู (P=pore) ของเต่ามะเฟืองซึ่งเป็นบริเวณที่ส่วนกลางของกลุ่มฟลิกซ์ติดกับฐานอาจมีรูเดียวหรือหลายรูเชื่อมต่อกับเปลือกไขชั้นกลาง (—— 10 ไมโครเมตร)



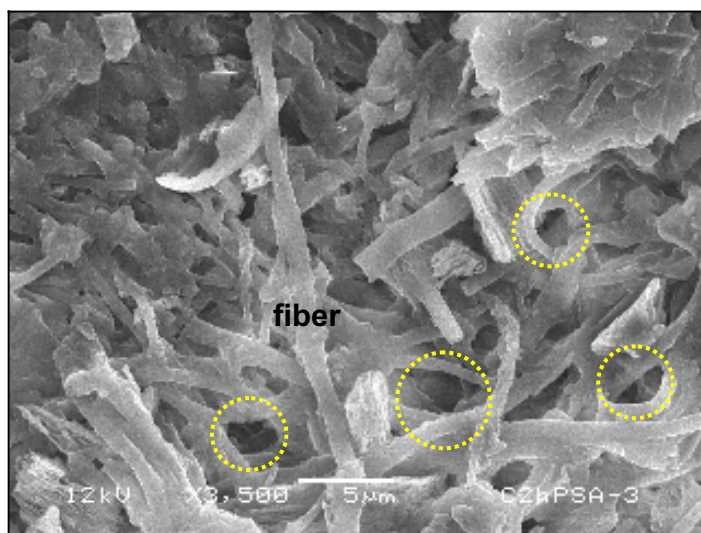
ภาพที่ 42 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไขชั้นกลางของเต่ามะเฟือง มีลักษณะเป็นเส้นใยที่สานกันแน่นเรียงตัวเป็นชั้นๆ ติดกัน บริเวณระหว่างเปลือกไขชั้นนอกและชั้นกลาง มีส่วนของจุดกำเนิด (primary spherite) (⊙) (—— 50 ไมโครเมตร)



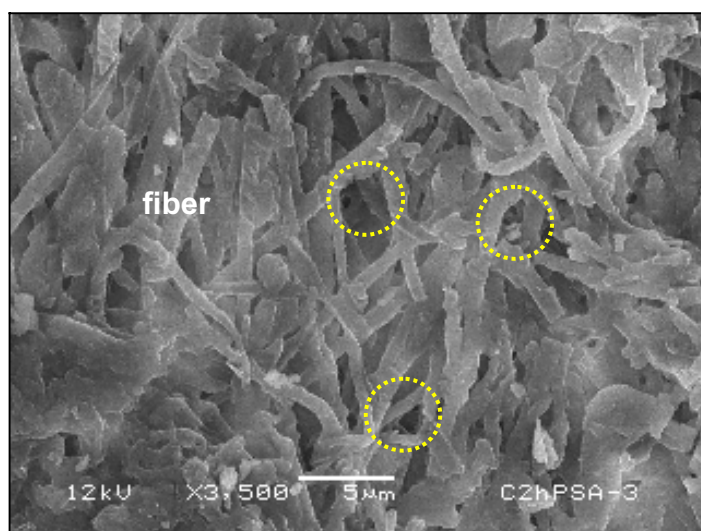
ภาพที่ 43 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาของจุดกำเนิด (PS=primary spherite) ของเต่ามะเฟือง อยู่ระหว่างเปลือกไข่ชั้นบนและชั้นกลาง (————— 10 ไมโครเมตร)



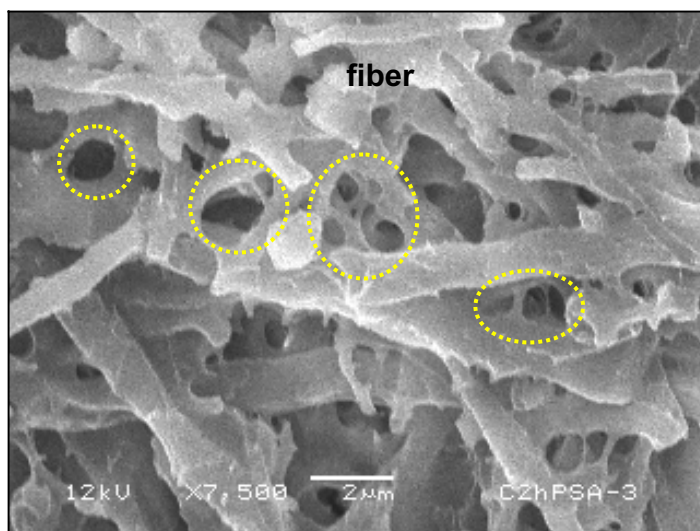
ภาพที่ 44 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่สานกันเป็นร่างแหของเปลือกไข่ชั้นกลางในเปลือกไข่เต่ามะเฟือง (————— 10 ไมโครเมตร)



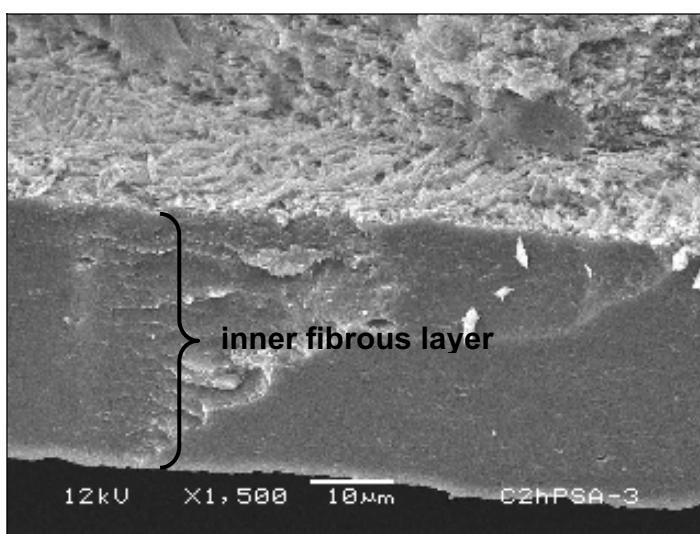
ภาพที่ 45 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่สานกันเป็นร่างแหและช่องว่างระหว่างเส้นใย (○) ในเปลือกไข่ชั้นกลางเตาตุ (— 5 ไมโครเมตร)



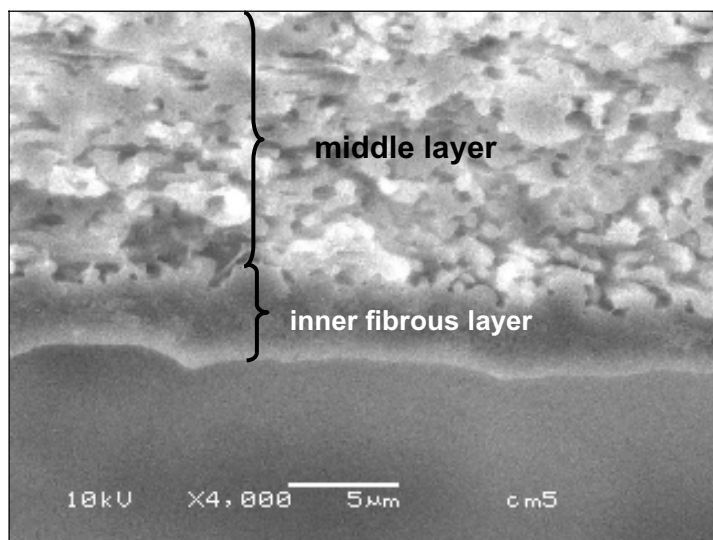
ภาพที่ 46 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่เรียงตัวสานกันแน่นและช่องว่างระหว่างเส้นใย (○) ของเปลือกไข่ชั้นกลางของเตากระ (— 5 ไมโครเมตร)



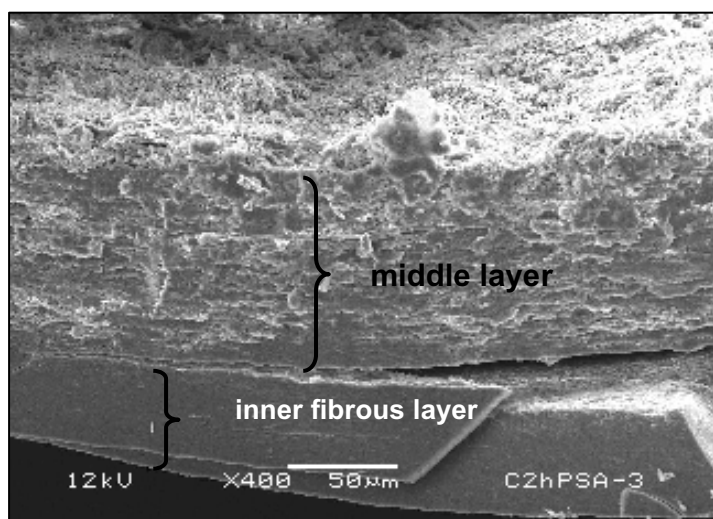
ภาพที่ 47 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเส้นใย (fiber) ที่สานกันเป็นร่างแหและช่องว่างระหว่างเส้นใย (○) ของเปลือกไข่ชั้นกลางในเปลือกไข่เต่ามะเฟือง (—— 2 ไมโครเมตร)



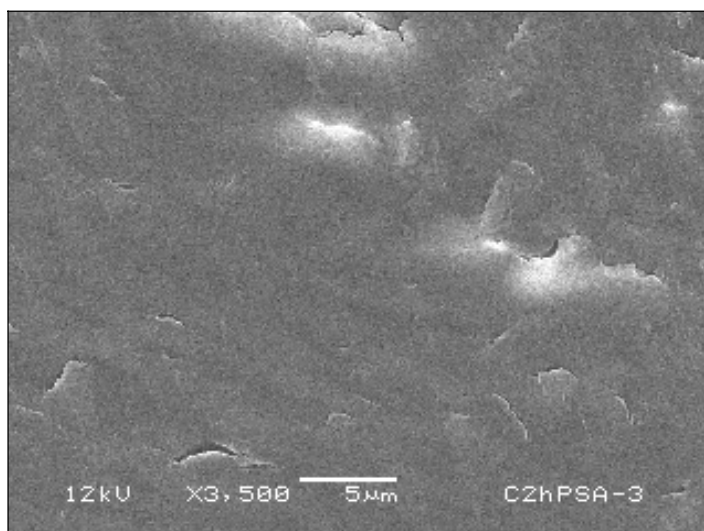
ภาพที่ 48 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไข่ชั้นในของเต่ากระ (—— 10 ไมโครเมตร)



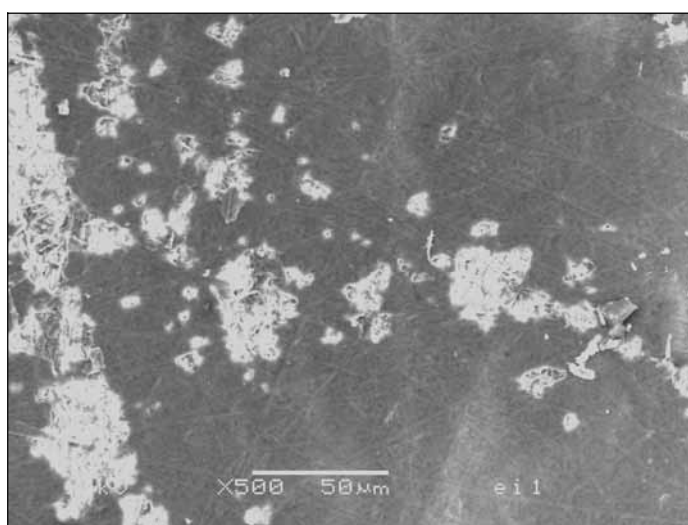
ภาพที่ 49 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไขชั้นกลาง (middle layer) และชั้นใน (inner fibrous layer) ของเต้าตุน (——— 5 ไมโครเมตร)



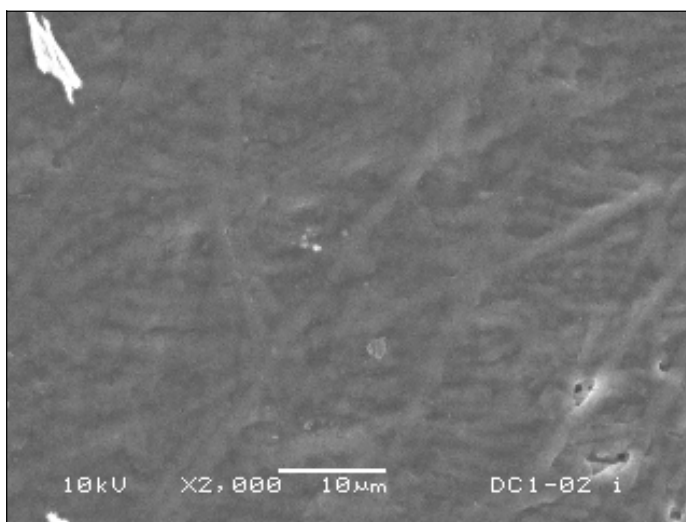
ภาพที่ 50 ภาพจาก SEI แสดงสัณฐานวิทยาเปลือกไขชั้นกลาง (middle layer) และชั้นใน (inner fibrous layer) ของเต้ามะเฟือง (——— 50 ไมโครเมตร)



ภาพที่ 51 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไขชั้นใน (ถ่ายจากผิวด้านใน) ของเต่าตนุ เป็นเส้นใยขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร สานกันแน่นทั้งชั้น ผิวด้านในมีลักษณะเรียบ (———— 5 ไมโครเมตร)



ภาพที่ 52 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไขชั้นใน (ถ่ายจากผิวด้านใน) ของเต่ากระ เป็นเส้นใยขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร สานกันแน่นทั้งชั้น ผิวด้านในมีลักษณะเรียบและบางทำให้เห็นเส้นใยของเปลือกไขชั้นกลาง (———— 50 ไมโครเมตร)



ภาพที่ 53 ภาพจาก SEI แสดงลักษณะเปลือกไข่ชั้นใน (ถ่ายจากผิวด้านใน) ของเต่ามะเฟืองเป็นเส้นใยขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร สานกันแน่นทั้งชั้น ผิวด้านในมีลักษณะเรียบและบางทำให้เห็นเส้นใยของเปลือกไข่ชั้นกลาง (————— 10 ไมโครเมตร)

1.2 ความหนาของชั้นเปลือกไข่เต่าทะเล

1.2.1 ชั้นนอก

จากการวัดความหนาของชั้นนอกของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟืองเท่ากับ 129.88 ± 14.22 , 117.51 ± 16.19 และ 83.67 ± 17.15 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าทะเลทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 4 แสดงความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง

ชนิดเต่าทะเล	N	ความหนา (Mean $\pm$ S.D.; ไมโครเมตร)
เต่าตนุ	54	$129.88 \pm 14.22c$
เต่ากระ	27	$117.51 \pm 16.19b$
เต่ามะเฟือง	30	$83.67 \pm 17.15a$

*a, b, c แบ่งกลุ่มความแตกต่างจากน้อยไปมากโดยใช้ Duncan's test ($P < 0.05$)

1.2.2 ชั้กลาง

จากการวัดความหนาของชั้นกลางของของเต้านุ เต่ากระและเต่ามะเฟืองเท่ากับ 118.32 ± 20.06 , 108.06 ± 13.00 และ 144.20 ± 2.20 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความหนาของเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่าทะเลทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 5 แสดงความหนาของเปลือกไข่ชั้นกลางของเต้านุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง

ชนิดเต่าทะเล	N	ความหนา (Mean $\pm$ S.D.; ไมโครเมตร)
เต้านุ	54	$118.32 \pm 20.06b$
เต่ากระ	27	$108.06 \pm 13.00a$
เต่ามะเฟือง	30	$144.20 \pm 2.20c$

*a, b, c แบ่งกลุ่มความแตกต่างจากน้อยไปมากโดยใช้ Duncan's test ($P < 0.05$)

1.2.3 ชั้ใน

จากการวัดความหนาของเปลือกไข่ชั้นในของเต้านุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง เท่ากับ 3.72 ± 0.86 , 11.38 ± 3.07 และ 9.69 ± 2.53 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความหนาของเปลือกไข่ชั้นในของเต่าทะเลทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 6 แสดงความหนาของเปลือกไข่ชั้นในของเต้านุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง

ชนิดเต่าทะเล	N	ความหนา (Mean $\pm$ S.D.; ไมโครเมตร)
เต้านุ	54	$3.72 \pm 0.86a$
เต่ากระ	27	$11.38 \pm 3.07c$
เต่ามะเฟือง	30	$9.69 \pm 2.53b$

*a, b, c แบ่งกลุ่มความแตกต่างจากน้อยไปมากโดยใช้ Duncan's test ($P < 0.05$)

1.2.4 ความหนาของเปลือกไข่เต่าทะเลรวมทั้ง 3 ชั้น

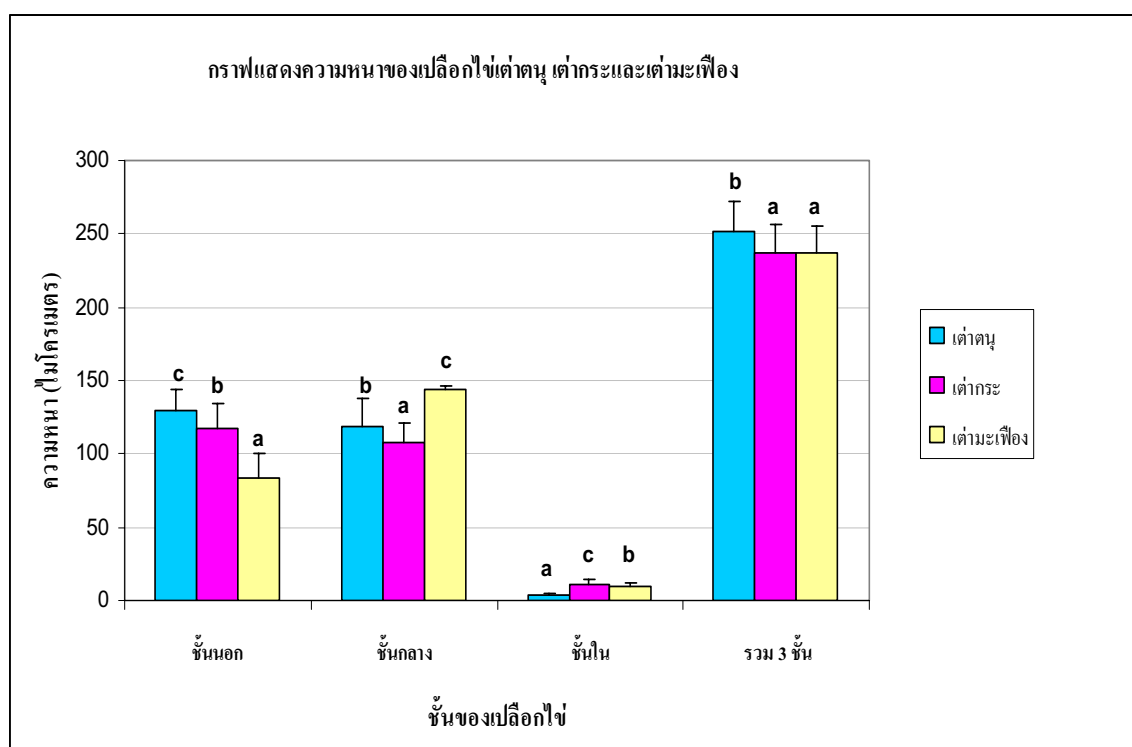
ความหนาของเปลือกไข่รวมทั้ง 3 ชั้นของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง เท่ากับ 251.92 ± 20.86 , 236.94 ± 19.28 และ 237.57 ± 18.23 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ากระและเต่ามะเฟืองน้อยกว่าเต่าตนุอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 7 แสดงความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง

ชนิดเต่าทะเล	N	ความหนา (Mean $\pm$ S.D.; ไมโครเมตร)
เต่าตนุ	54	$251.92 \pm 20.86b$
เต่ากระ	27	$236.94 \pm 19.28a$
เต่ามะเฟือง	30	$237.57 \pm 18.23a$

*a, b แบ่งกลุ่มความแตกต่างจากน้อยไปมากโดยใช้ Duncan's test ($P < 0.05$)

กราฟที่ 1 แสดงความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง



*a, b, c แบ่งกลุ่มความแตกต่างจากน้อยไปมากโดยใช้ Duncan's test ($P < 0.05$)

2. ศึกษาธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟืองด้วยหัวตรวจวัด EDX

2.1 เต่าตนุ

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่เต่าตนุจำนวน 18 ฟอง ศึกษาฟองละ 3 ชั้น พบว่าประกอบด้วยธาตุเรียงจากมากไปน้อยคือ คาร์บอน ออกซิเจน แคลเซียม กำมะถัน ฟลูออรีน โมลิบดีนัม โบรมีน อะลูมิเนียม โซเดียม ทองแดง ตะกั่ว คลอรีน ซิลิกอน โพแทสเซียม พาลาเดียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ไอโอดีนและแคดเมียม ตามลำดับ (ตารางที่ 5) โดยธาตุองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่เต่าทะเลคือ คาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียม ซึ่งจากการทดลองพบว่าแคลเซียมมีการสะสมในเปลือกไข่ชั้นนอกมากกว่าเปลือกไข่ชั้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และพบโลหะหนัก 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ คือ โมลิบดีนัม ทองแดง ตะกั่ว พาลาเดียมและแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่พบอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ยกเว้น โมลิบดีนัมที่พบในทุกชั้นของเปลือกไข่ ผลจากการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาความแตกต่างของเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้นจากไข่ฟองเดียวกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

2.2 เต่ากระ

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่เต่ากระจำนวน 9 ฟอง ศึกษาฟองละ 3 ชั้น พบว่าเปลือกไข่เต่ากระประกอบด้วยธาตุเรียงจากมากไปน้อยคือ คาร์บอน ออกซิเจน แคลเซียม อะลูมิเนียม โบรมีน กำมะถัน ฟลูออรีน ตะกั่ว โซเดียม คลอรีน โมลิบดีนัม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส ไอโอดีน ซิลิกอน พาลาเดียมและโพแทสเซียม ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยธาตุองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่เต่าทะเลคือ คาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียม ซึ่งจากการทดลองพบว่าแคลเซียมมีการสะสมในเปลือกไข่ชั้นนอกมากกว่าเปลือกไข่ชั้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และพบโลหะหนัก 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ คือ โมลิบดีนัม ตะกั่วและพาลาเดียม ซึ่งส่วนใหญ่พบอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ยกเว้น โมลิบดีนัมที่พบในทุกชั้นของเปลือกไข่ ผลจากการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาความแตกต่างของเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้นจากไข่ฟองเดียวกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

2.3 เต่ามะเฟือง

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่เต่ามะเฟืองจำนวน 10 ฟอง ศึกษาฟองละ 3 ชั้น พบว่าเปลือกไข่เต่ามะเฟืองประกอบด้วยธาตุ เรียงจากมากไปน้อยคือ คาร์บอน ออกซิเจน แคลเซียม กำมะถัน โบรมีน พาลาเดียม อะลูมิเนียม ตะกั่ว โมลิบดีนัม ไอโอดีน ทองแดง ซิลิกอน คลอรีน โซเดียม ฟลูออรีน ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ตามลำดับ (ตารางที่ 7) โดยธาตุองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่เต่าทะเลคือ คาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียม ซึ่งจากการทดลองพบว่าแคลเซียมมีการสะสมในเปลือกไข่ชั้นนอกมากกว่าเปลือกไข่ชั้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

($P < 0.05$) และพบโลหะหนัก 0.22-0.50 เปอร์เซ็นต์ คือพลาเดียม ตะกั่ว โมลิบดีนัมและทองแดง ซึ่งส่วนใหญ่พบอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ยกเว้น โมลิบดีนัมที่พบในทุกชั้นของเปลือกไข่ ผลจากการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาความแตกต่างของเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้นจากไข่ฟองเดียวกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

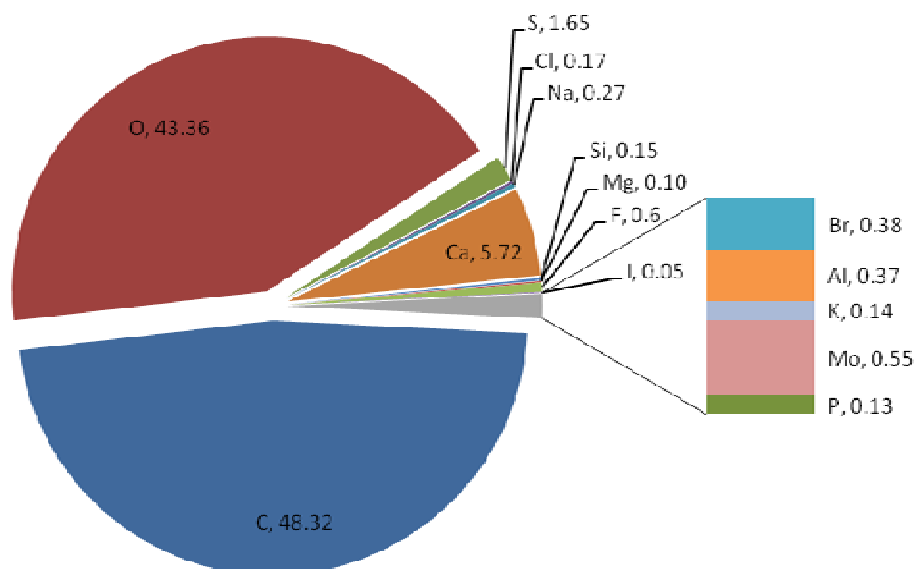
ตารางที่ 8 แสดงธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่เต่านุ

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์ธาตุในเปลือกไข่ (mean $\pm$ S.D.)			
	ชั้นนอก	ชั้นกลาง	ชั้นใน	รวม
C	48.32 $\pm$ 17.19a	62.35 $\pm$ 7.28b	57.44 $\pm$ 8.05b	54.85 $\pm$ 13.77
O	43.36 $\pm$ 11.33b	33.09 $\pm$ 8.21a	38.53 $\pm$ 9.02b	39.33 $\pm$ 10.47
Ca	5.72 $\pm$ 9.67b	0.36 $\pm$ 0.97a	0.41 $\pm$ 1.44a	2.54 $\pm$ 6.70
S	1.65 $\pm$ 1.83	3.31 $\pm$ 4.31	2.07 $\pm$ 2.34	2.16 $\pm$ 2.73
F	0.60 $\pm$ 0.75	0.41**	0.26 $\pm$ 0.07	0.49 $\pm$ 0.62
Mo	0.55 $\pm$ 0.46	0.17 $\pm$ 0.13	0.24 $\pm$ 0.22	0.34 $\pm$ 0.09
Br	0.38 $\pm$ 0.53	0.06**	-	0.30 $\pm$ 0.45
Al	0.37 $\pm$ 0.49b	0.04 $\pm$ 0.02a	0.05 $\pm$ 0.05a	0.21 $\pm$ 0.38
Na	0.27 $\pm$ 0.67	0.37 $\pm$ 0.84	0.18 $\pm$ 0.18	0.96 $\pm$ 1.23
Cu	0.21 $\pm$ 0.14	-	-	0.21 $\pm$ 0.14
Pb	0.20 $\pm$ 0.09	-	-	0.21 $\pm$ 0.07
Cl	0.17 $\pm$ 0.27a	0.42 $\pm$ 0.67b	0.14 $\pm$ 0.29a	0.21 $\pm$ 0.39
Si	0.15 $\pm$ 0.22	0.15 $\pm$ 0.10	0.28 $\pm$ 0.65	0.21 $\pm$ 0.46
K	0.14 $\pm$ 0.14	0.14 $\pm$ 0.16	0.09 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.12
Pd	0.14**	-	-	0.14**
P	0.13 $\pm$ 0.11	0.06 $\pm$ 0.09	0.26 $\pm$ 0.29	0.17 $\pm$ 0.22
Mg	0.10 $\pm$ 1.35b	0.05 $\pm$ 0.03a	0.14 $\pm$ 0.08b	0.10 $\pm$ 0.10
I	0.05**	-	0.10**	0.08 $\pm$ 0.04
Cd	0.08**		0.12**	0.10 $\pm$ 0.03

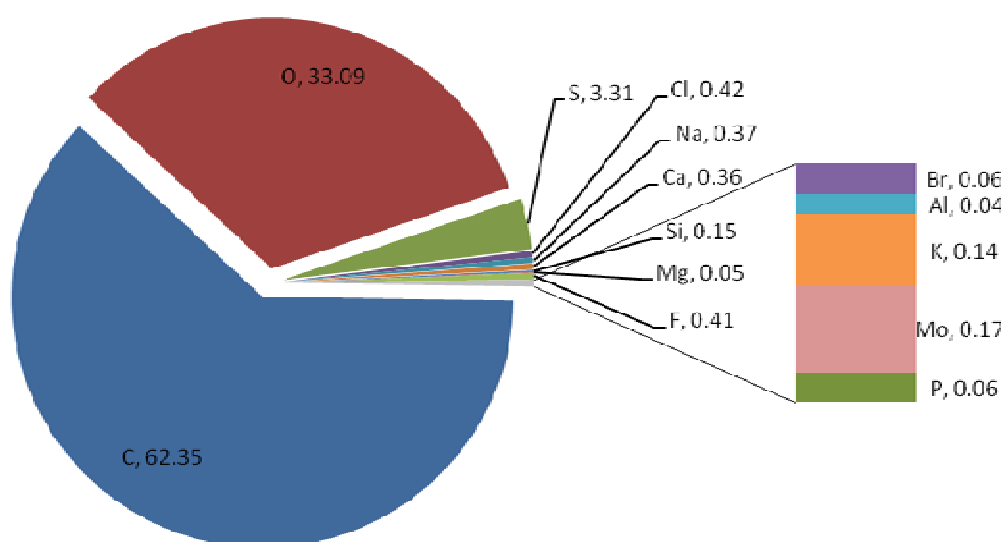
*a, b แบ่งกลุ่มความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ธาตุในแต่ละชั้นจากน้อยไปมากโดยใช้ Kruskal-Wallis's test ($P < 0.05$)

**ตัวอย่างที่พบมีจำนวนน้อยเกินไป (1-2 ชั้น) ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ทางสถิติได้

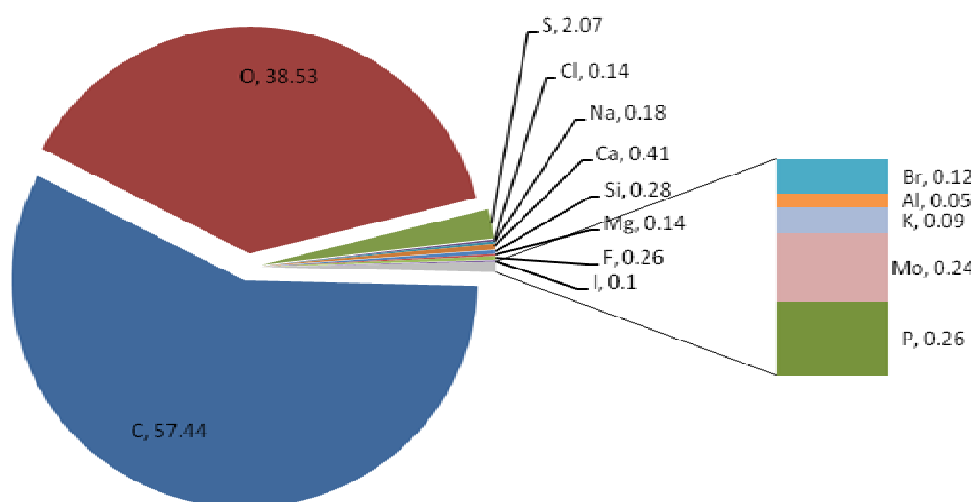
กราฟที่ 2 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ
(n = 54)



กราฟที่ 3 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่าตนุ
(n = 54)



กราฟที่ 4 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นในของเต่าตนุ
(n = 54)



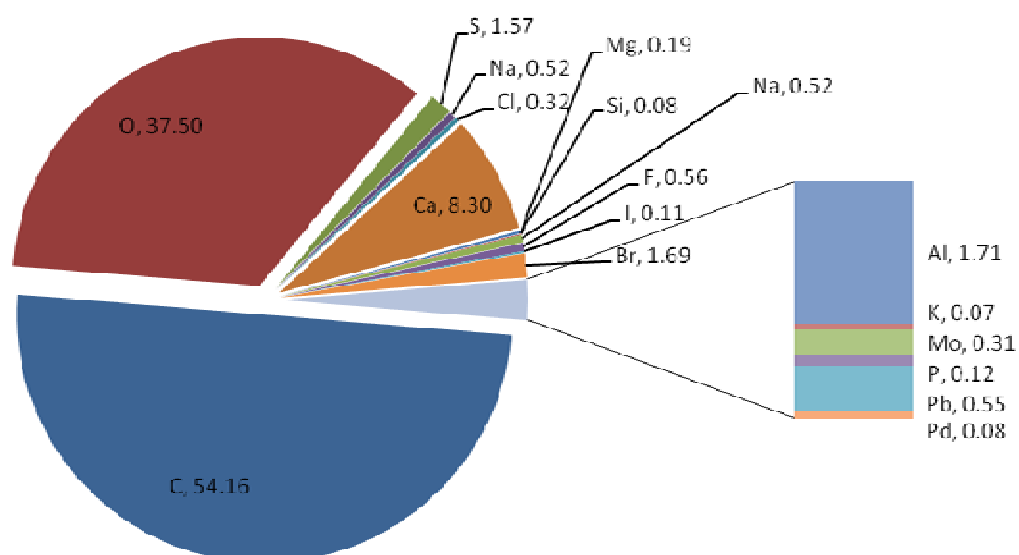
ตารางที่ 9 แสดงธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่เต่ากระ

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์ธาตุในเปลือกไข่ (mean±S.D.)			
	ชั้นนอก	ชั้นกลาง	ชั้นใน	รวม
C	54.16±19.03	63.38±7.38	58.67±9.59	57.76±14.00
O	37.50±15.45	31.93±5.79	36.18±9.58	35.95±11.84
Ca	8.30±19.68	0.32±0.58	0.51±1.14	3.72±13.07
Al	1.71±3.28b	0.03±0.01a	0.06±0.05a	0.88±2.43
Br	1.69±2.77	0.03**	-	1.42±2.56
S	1.57±1.26	2.13±0.88	2.31±2.05	1.98±1.60
F	0.56±0.34	-	0.08±0.08	0.32±0.34
Pb	0.55±0.62	-	-	0.55±0.62
Na	0.52±0.86	1.23±1.48	1.23±1.33	0.96±1.23
Cl	0.32±0.61	0.77±0.79	1.14±1.51	0.72±1.11
Mo	0.31±0.26	0.30±0.26	0.56±0.45	0.39±0.34
Mg	0.19±0.16	0.27±0.29	0.04±0.48	0.30±0.35
P	0.12±0.08b	0.04±0.01a	0.09±0.17a	0.09±0.13
I	0.11±0.02	0.13±0.04	0.09±0.03	0.11±0.03
Si	0.08±0.05	0.06±0.03	0.19±0.42	0.12±0.27
Pd	0.08**	-	-	0.08**
K	0.07±0.09	0.06±0.04	0.07±0.03	0.07±0.06

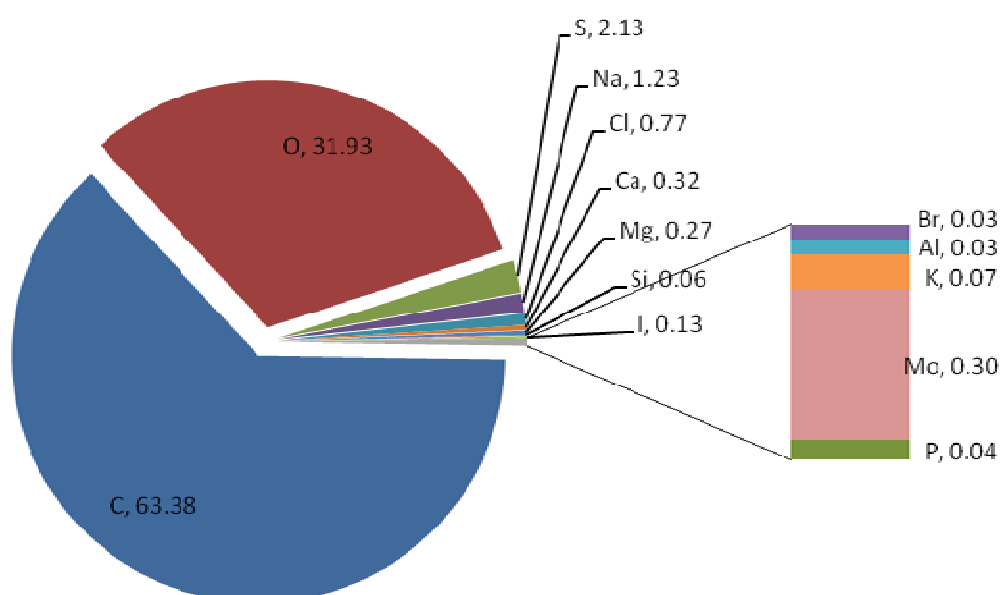
*a, b แบ่งกลุ่มความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ธาตุในแต่ละชั้นจากน้อยไปมากโดยใช้ Kruskal-Wallis's test ($P<0.05$)

**ตัวอย่างที่พบมีจำนวนน้อยเกินไปไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ทางสถิติได้

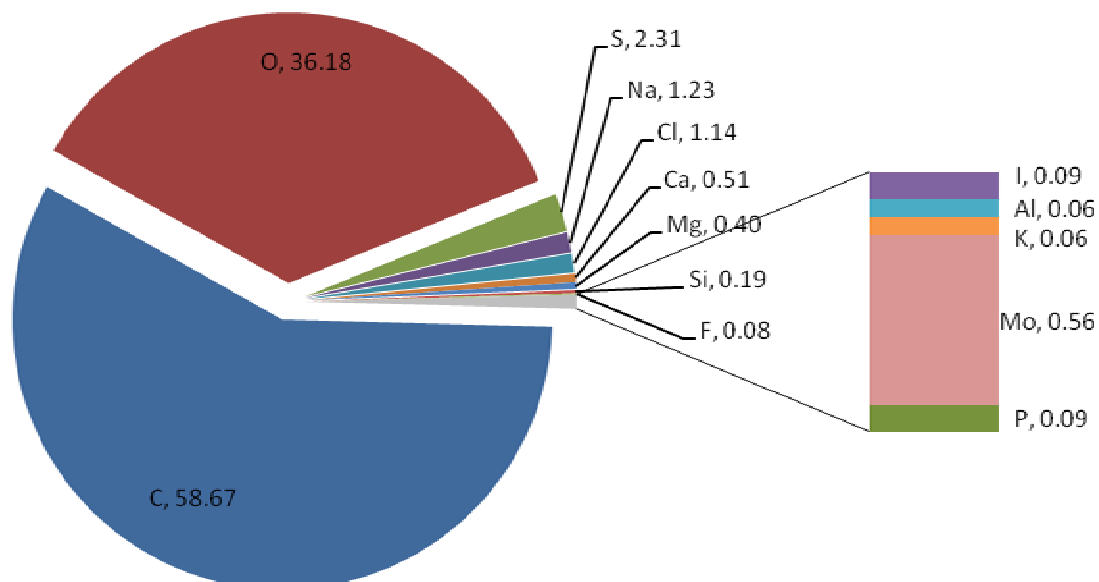
กราฟที่ 5 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นนอกของ
เต่ากระ (n = 27)



กราฟที่ 6 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นกลางของ
เต่ากระ (n = 27)



กราฟที่ 7 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นในของเต่ากระ
(n = 27)



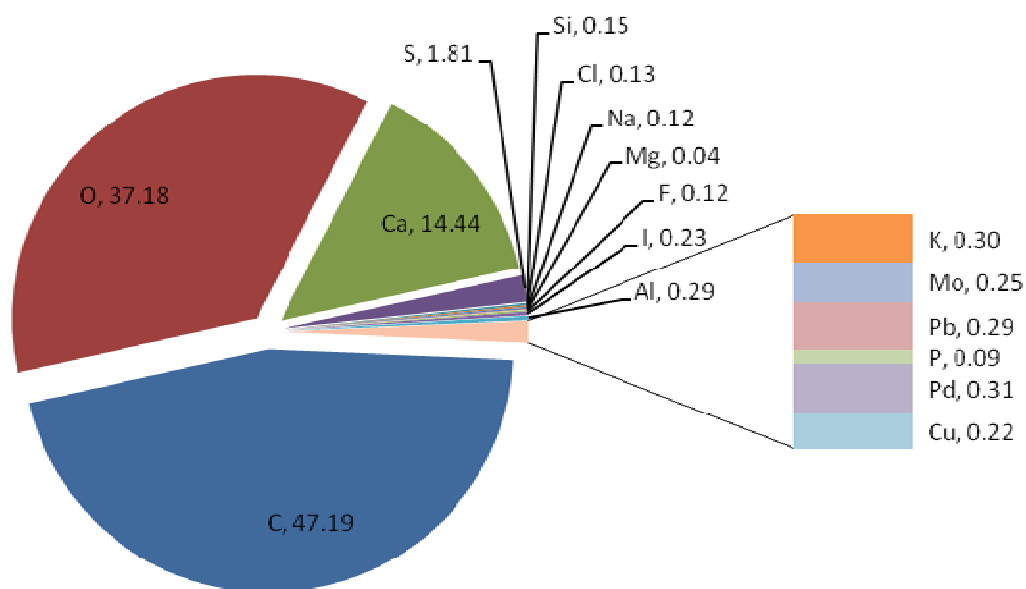
ตารางที่ 10 แสดงธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่เต่ามะเฟือง

ธาตุ	เปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ (mean±S.D.)			
	ชั้นนอก	ชั้นกลาง	ชั้นใน	รวม
C	47.19±22.54	47.29±14.15	50.32±15.33	48.46±18.05
O	37.18±8.96	41.52±9.25	43.80±13.74	40.70±11.34
Ca	14.44±15.13b	8.35±6.75ab	3.09±5.24a	8.42±11.29
S	1.81±1.26	2.15±1.70	1.95±1.48	1.93±1.42
Br	0.39±0.30	-	-	0.39±0.30
Pd	0.31**	-	-	0.31**
K	0.30±0.28	0.07±0.05	0.07±0.06	0.12±0.16
Al	0.29±0.85	0.02±0.01	0.07±0.06	0.16±0.57
Pb	0.29±0.10	-	-	0.29±0.10
Mo	0.25±0.23a	0.45±0.14b	0.57±0.29b	0.41±0.28
I	0.23±0.12	0.21±0.10	0.13±0.08	0.19±0.10
Cu	0.22±0.22	-	-	0.22±0.22
Si	0.15±1.78	0.11±0.79	0.23±0.15	0.18±0.15
Cl	0.13±0.29	0.05±0.03	0.06±0.05	0.09±0.20
Na	0.12±0.09	0.1±0.05	0.13±0.10	0.12±0.08
F	0.12±0.07	0.23±0.13	0.34±0.25	0.25±0.19
P	0.09±0.10	0.03**	0.06±0.05	0.07±0.07
Mg	0.04±0.03	0.04±0.02	0.08±0.05	0.06±0.04

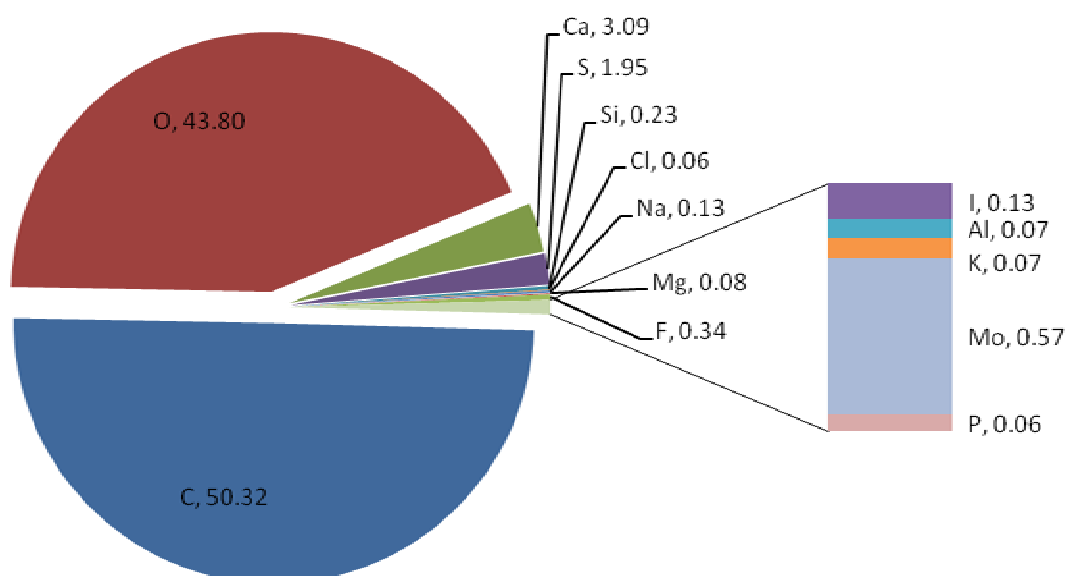
*a, b แบ่งกลุ่มความแตกต่างของธาตุองค์ประกอบเป็นเปอร์เซ็นต์ในแต่ละชั้นจากน้อยไปมากโดยใช้ Kruskal-Wallis's test ($P < 0.05$)

**ตัวอย่างที่พบมีจำนวนน้อยเกินไปไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ทางสถิติได้

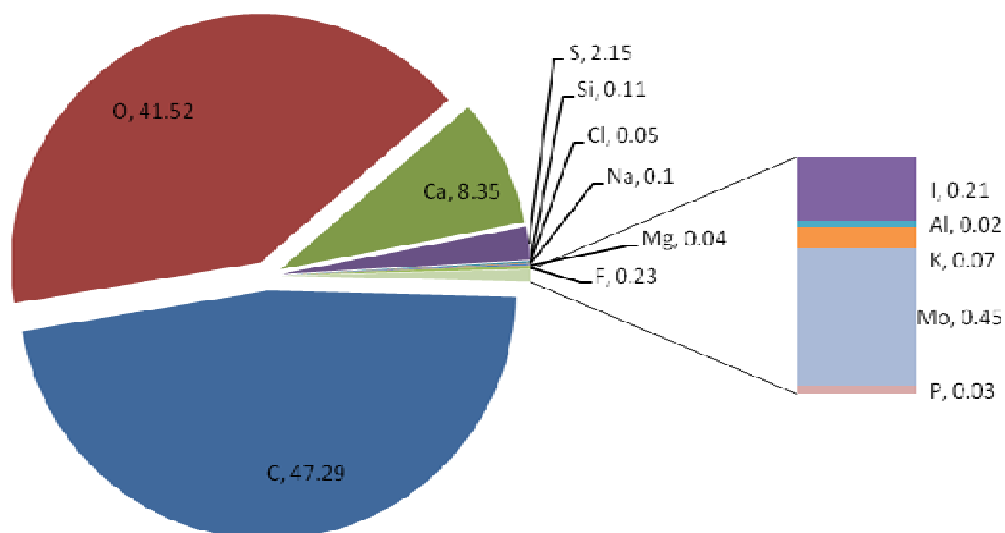
กราฟที่ 8 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นนอกของ
เต่ามะเฟือง (n = 30)



กราฟที่ 9 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นกลางของ
เต่ามะเฟือง (n = 30)



กราฟที่ 10 แสดงสัดส่วนธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในเปลือกไข่ชั้นในของ
เต่ามะเฟือง (n = 30)



3. ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟืองโดยใช้ หัตถรจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ (Mapping)

3.1 เต่าตนุ

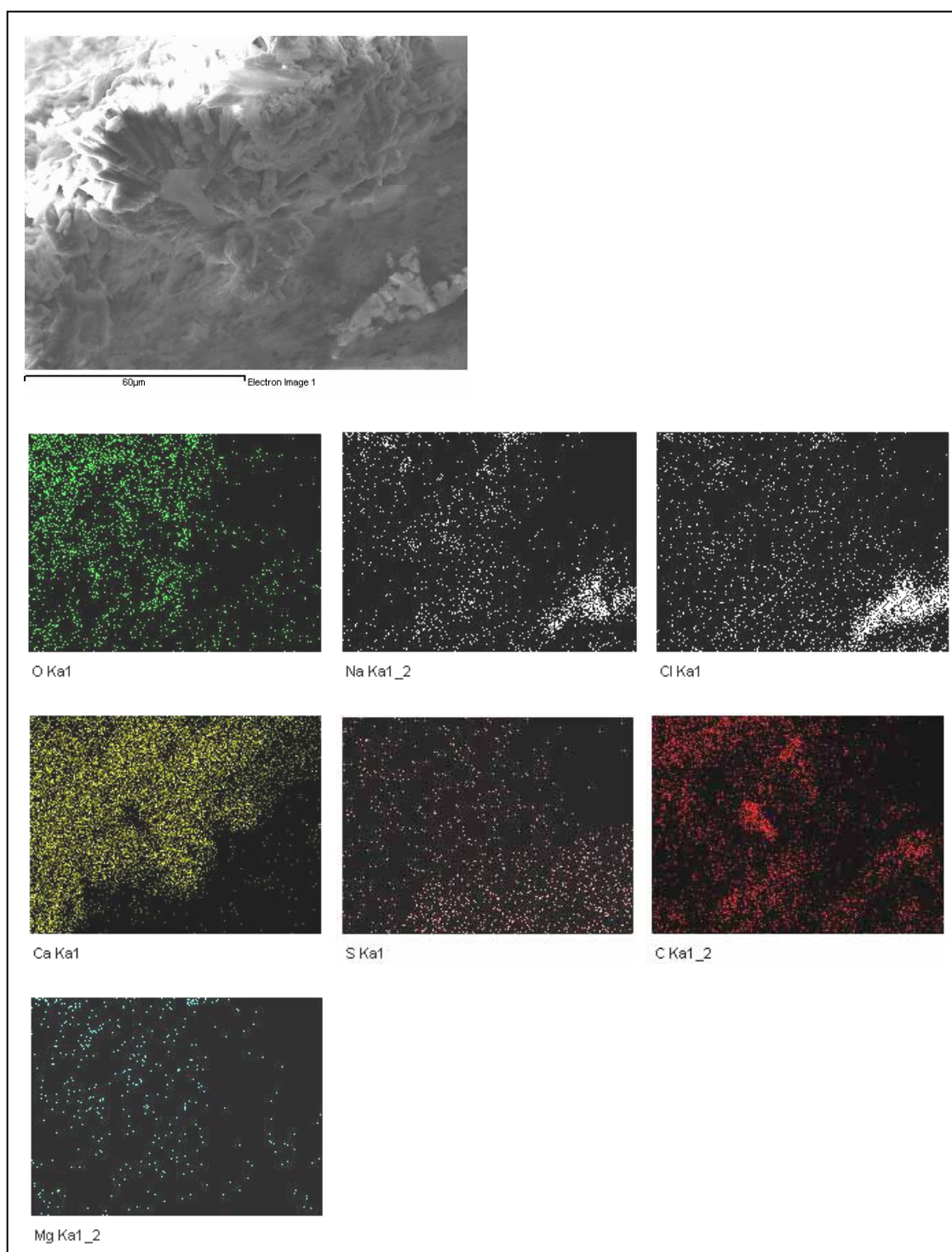
กลุ่มของผลึกในชั้นนอกมีจุดกำเนิด ซึ่งเป็นฐานอยู่บนชั้นกลาง (ภาพที่ 54) ซึ่งผลจากการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบพบว่าจุดกำเนิดของกลุ่มผลึกคือธาตุคาร์บอนและพบว่าเปลือกไข่ เต่าตนุประกอบด้วยธาตุออกซิเจน คาร์บอนและแคลเซียมเป็นหลักอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตและพบว่าการกระจายตัวของแคลเซียมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอกเป็นส่วนใหญ่ ส่วนคาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม คลอรีน อะลูมิเนียม กำมะถัน แมกนีเซียมและฟอสฟอรัสมีการกระจายตัวของธาตุทั่วไปในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น แต่พบว่าโซเดียมและคลอรีนมีการสะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นกลางในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มากกว่าเปลือกไข่ชั้นอื่นๆ (ภาพที่ 55-57) ส่วนผลการตรวจวัดด้วย BEI พบว่าโครงสร้างของเปลือกไข่ของเต่าตนุอยู่ในรูปสารประกอบเดียวกันเนื่องจากภาพถ่ายจากการใช้หัตถรจวัด BEI มีลักษณะเป็นพื้นผิวที่มีความเปรียบต่าง (contrast) และความสว่าง (bliness) ของทุกบริเวณเหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุด้วย EDX และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบที่แสดงให้เห็นว่าเปลือกไข่เต่าตนุประกอบด้วยธาตุออกซิเจน คาร์บอนและแคลเซียมเป็นหลักอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (ภาพที่ 58)

3.2 เต่ากระ

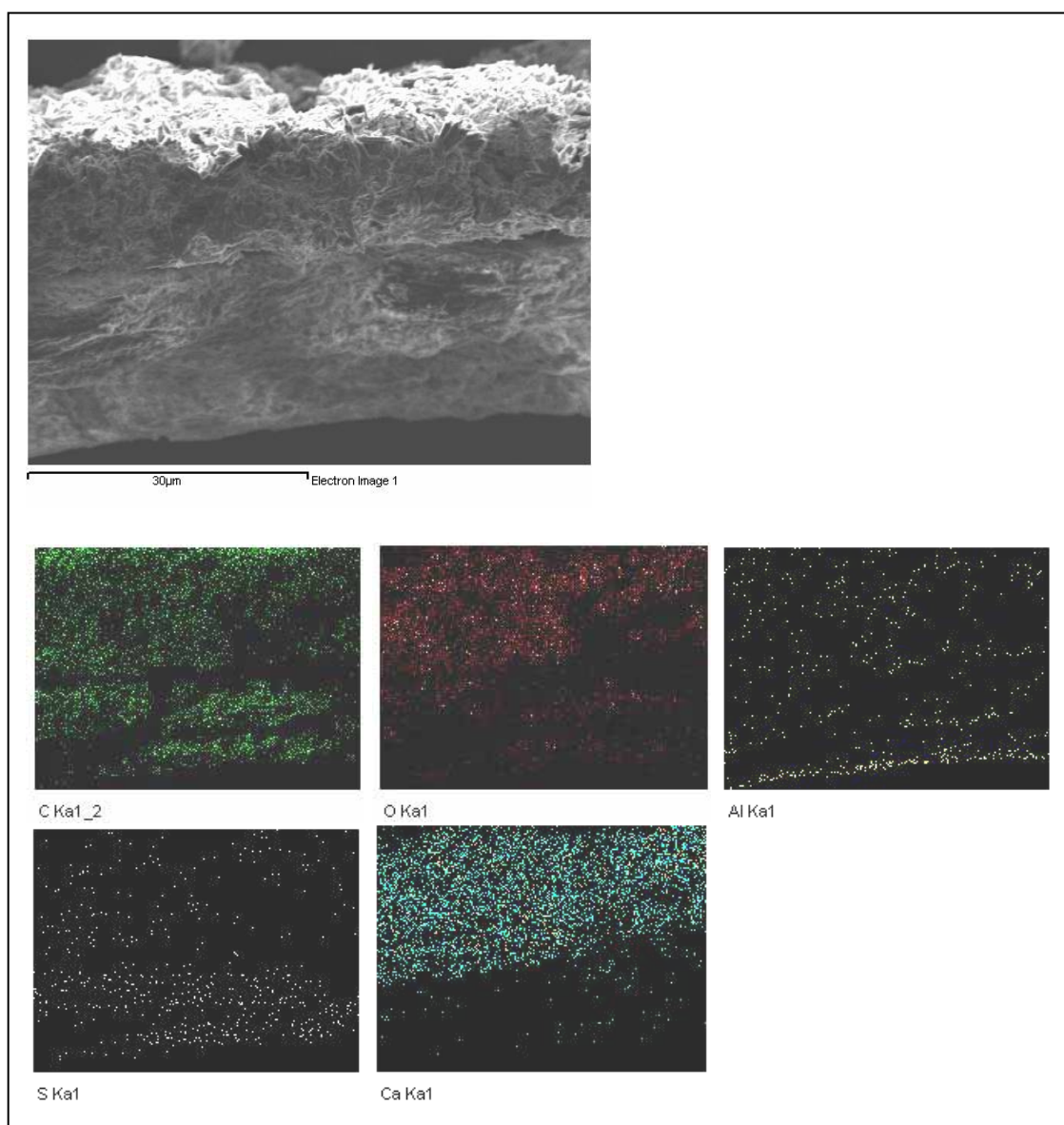
ผลจากการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบพบว่าเปลือกไข่เต่ากระประกอบด้วยธาตุออกซิเจน คาร์บอนและแคลเซียมเป็นหลักอยู่ในรูปของสารประกอบ แคลเซียมคาร์บอเนตและพบว่าการกระจายตัวของแคลเซียมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอกเป็นส่วนใหญ่ ส่วนคาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม คลอรีน อะลูมิเนียม กำมะถัน แมกนีเซียมและฟอสฟอรัสมีการกระจายตัวของธาตุทั่วไปในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น (ภาพที่ 59-61) และผลการตรวจวัดด้วย BEI พบว่าโครงสร้างของเปลือกไข่ของเต่ากระอยู่ในรูปสารประกอบเดียวกันเนื่องจากภาพถ่ายจากการใช้หัตถรจวัด BEI มีลักษณะเป็นพื้นผิวที่มีความเปรียบต่างและความสว่างของทุกบริเวณเหมือนกันซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุด้วย EDX และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบที่แสดงให้เห็นว่าเปลือกไข่เต่ากระประกอบด้วยธาตุออกซิเจน คาร์บอนและแคลเซียมเป็นหลักอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (ภาพที่ 62)

3.3 เต่ามะเฟือง

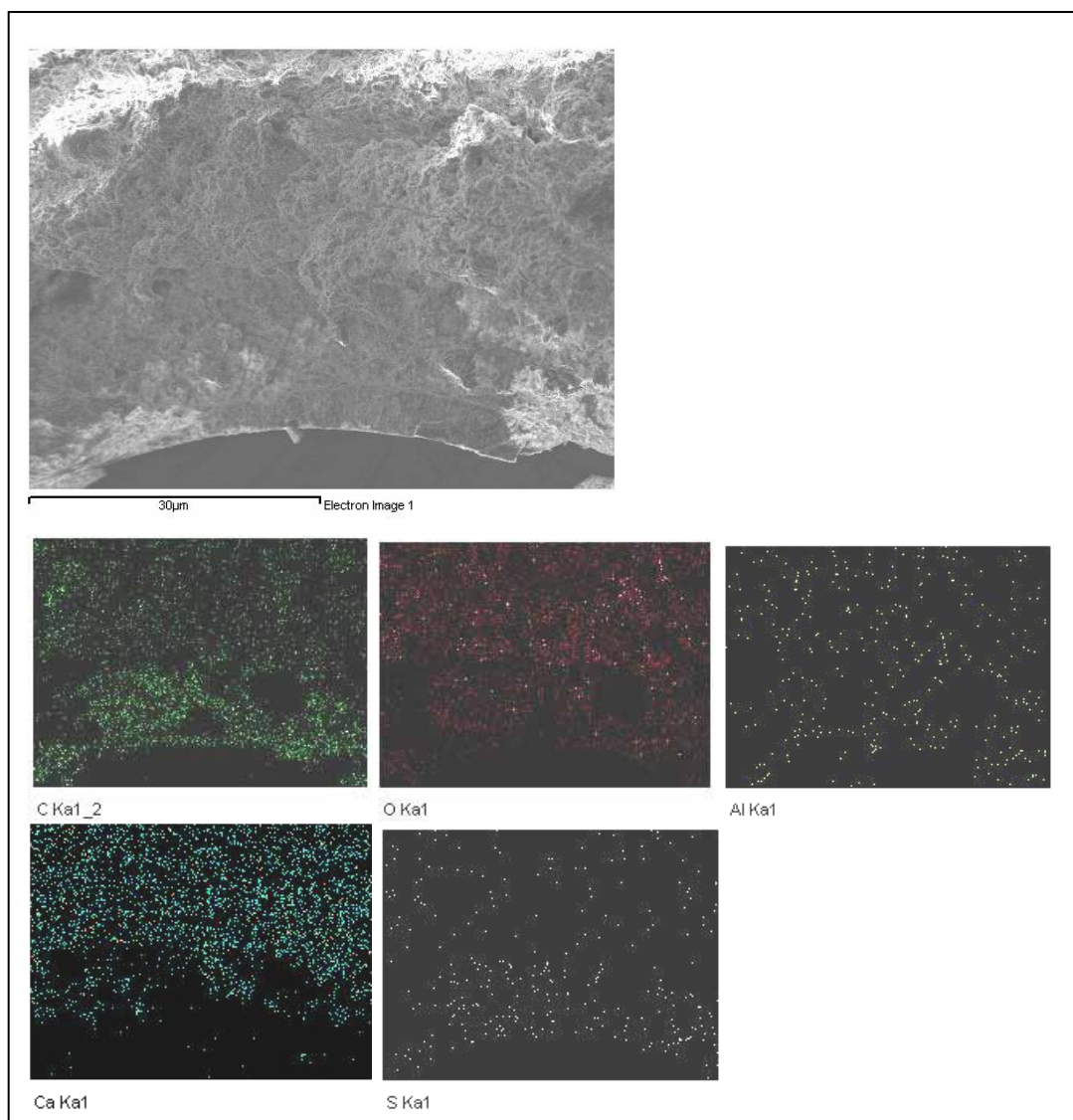
ผลจากการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบพบว่าเปลือกไข่เต่ามะเฟืองประกอบด้วยธาตุออกซิเจน คาร์บอนและแคลเซียมเป็นหลักอยู่ในรูปของสารประกอบ แคลเซียมคาร์บอเนตและพบว่าการกระจายตัวของแคลเซียมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอกเป็นส่วนใหญ่ ส่วนคาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม คลอรีน อะลูมิเนียม กำมะถัน แมกนีเซียมและฟอสฟอรัสมีการกระจายตัวของธาตุทั่วไปในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น (ภาพที่ 63-67) และผลการตรวจวัดด้วย BEI พบว่าโครงสร้างของเปลือกไข่ของเต่ามะเฟืองอยู่ในรูปสารประกอบเดียวกันเนื่องจากภาพถ่ายจากการใช้หัวตรวจวัด BEI มีลักษณะเป็นพื้นผิวที่มีความเรียบต่างและความสว่างของทุกบริเวณเหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุด้วย EDX และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบที่แสดงให้เห็นว่าเปลือกไข่เต่ามะเฟืองประกอบด้วยธาตุออกซิเจน คาร์บอนและแคลเซียมเป็นหลักอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (ภาพที่ 68)



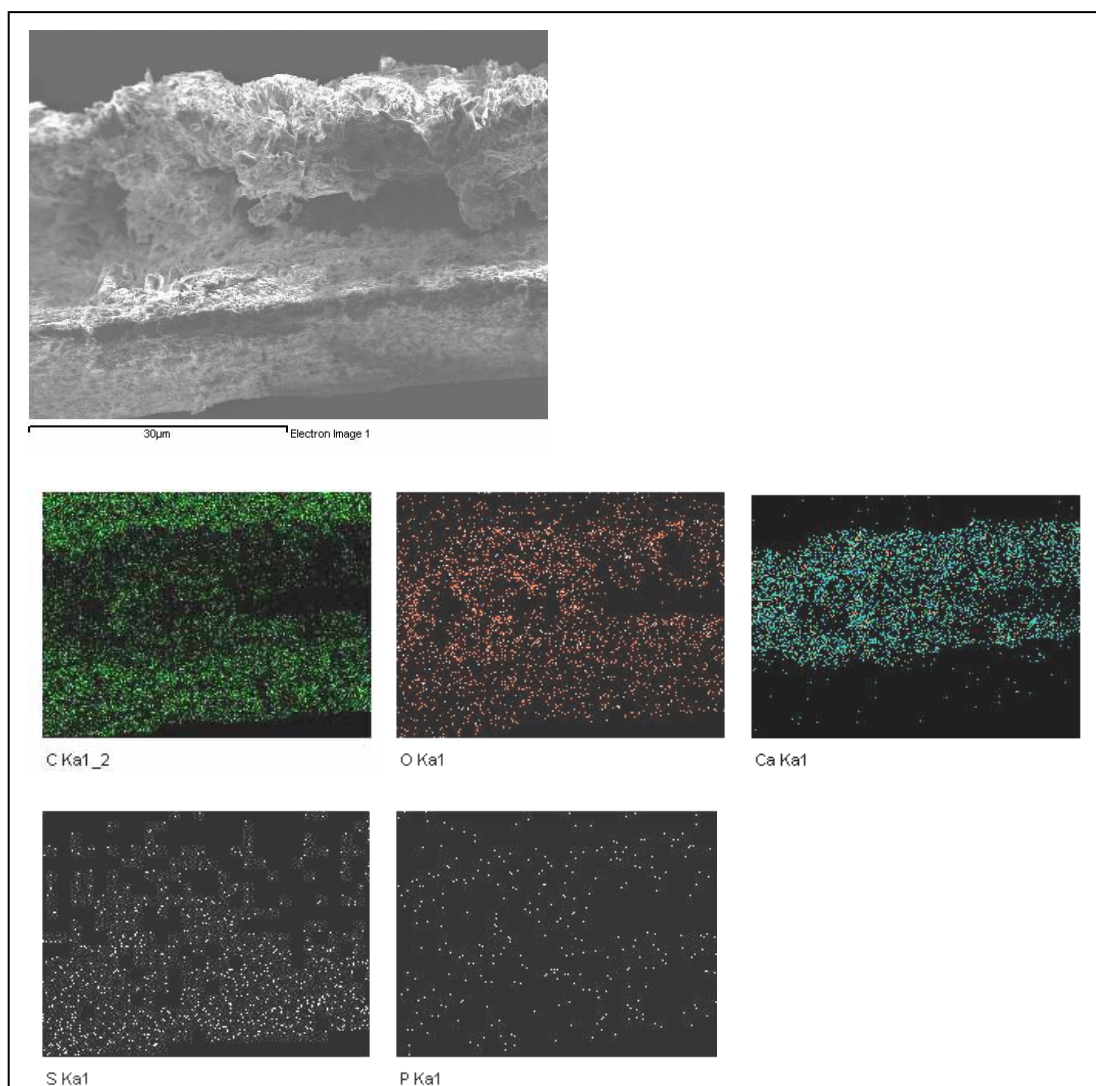
ภาพที่ 54 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุพบว่าคาร์บอนออกซิเจน กำมะถันและแมกนีเซียม กระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไข่ทุกชั้น แคลเซียมส่วนใหญ่สะสม อยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ส่วนโซเดียมและคลอรีนพบมากในเปลือกไข่ชั้นกลางในรูปของ โซเดียมคลอไรด์



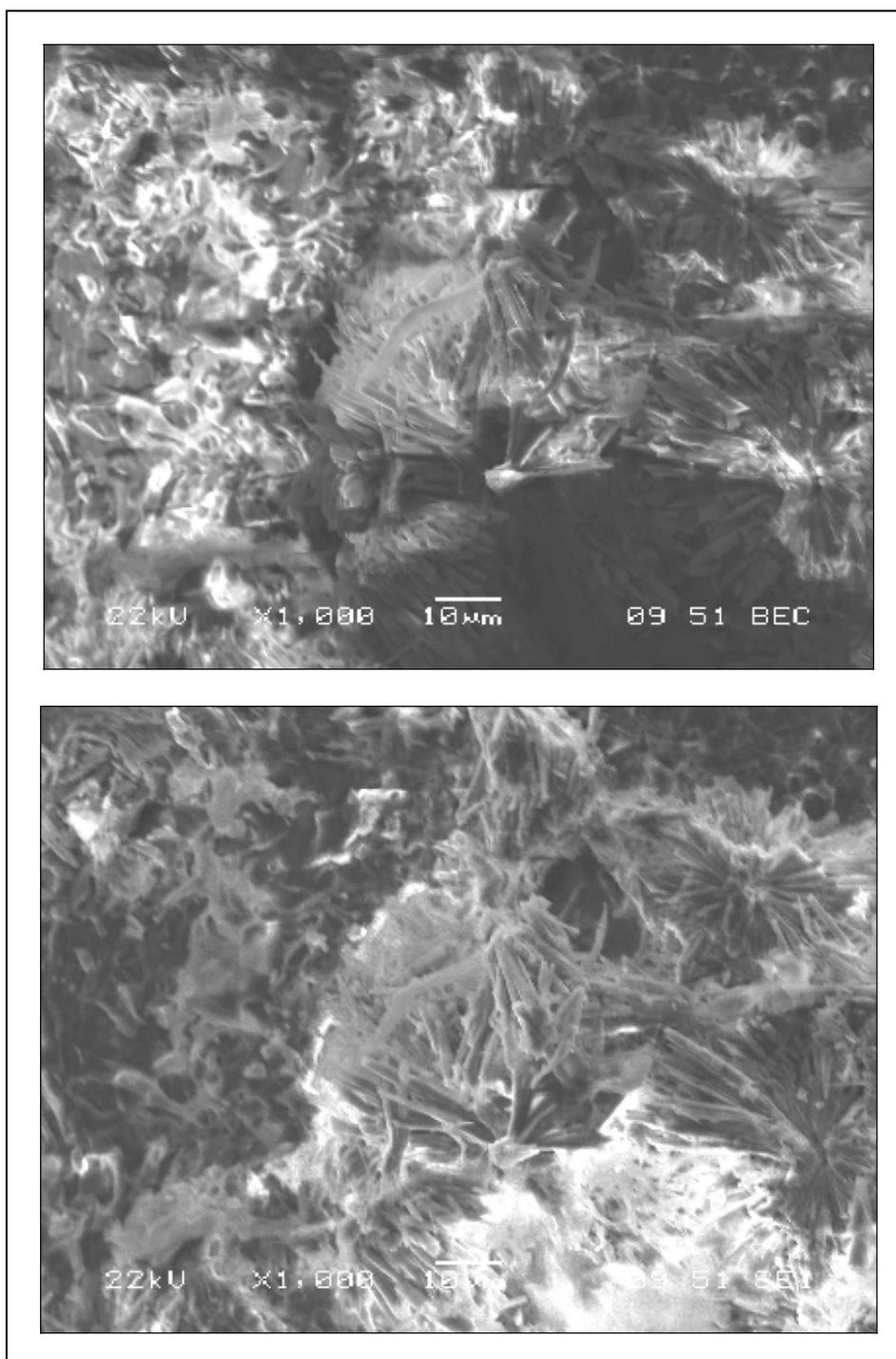
ภาพที่ 55 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุ พบว่าแคลเซียม ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียมและ กำมะถัน กระจายตัวทั่วไปในทุกชั้นของเปลือกไข่



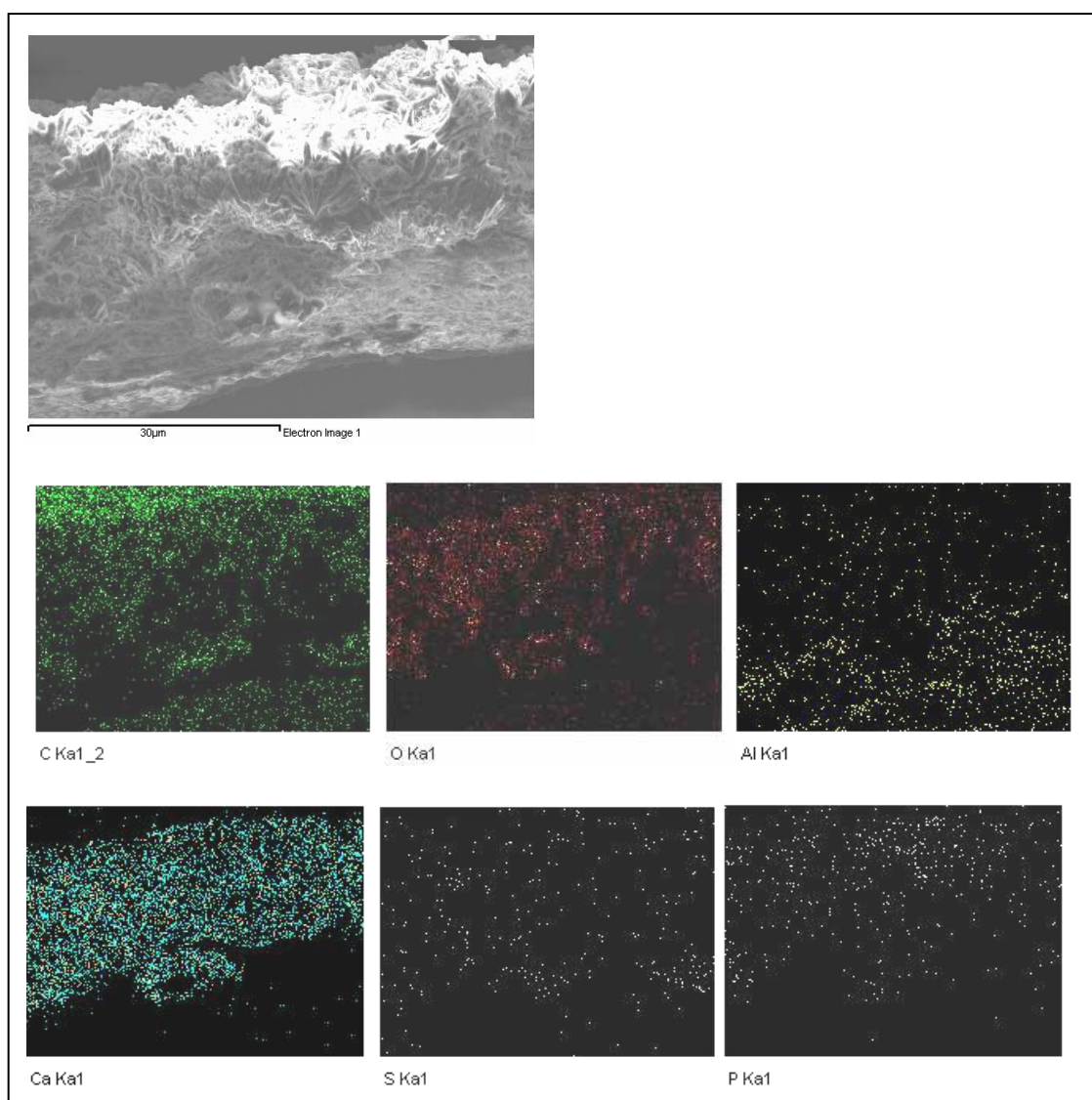
ภาพที่ 56 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไม้เต่าตนุ พบว่าแคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไม้ชั้นนอก ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียมและกำมะถัน กระจายตัวทั่วไปในทุกชั้นของเปลือกไม้



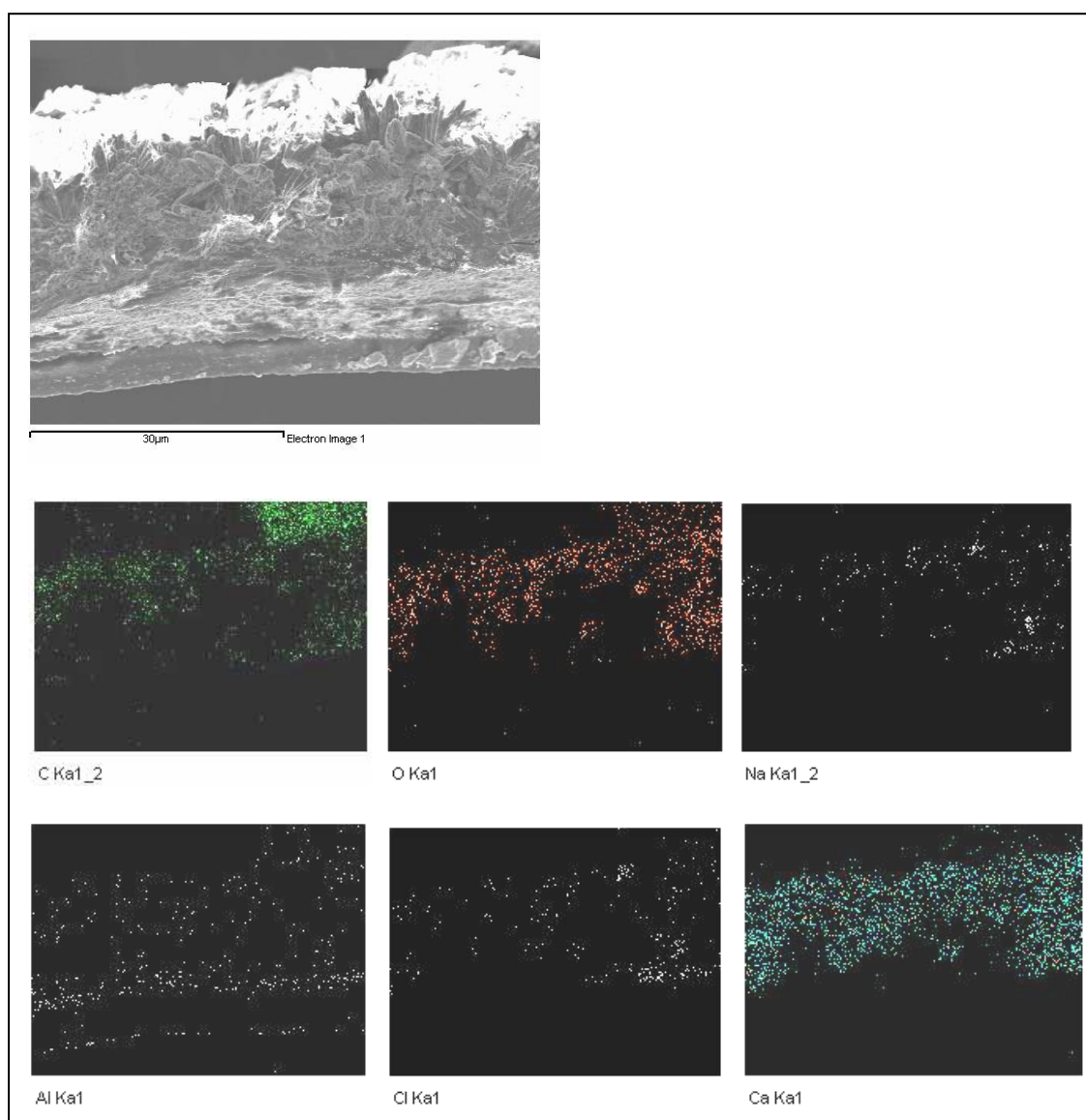
ภาพที่ 57 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่าตนุ พบว่าแคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ฟอสฟอรัสและกำมะถัน กระจายตัวทั่วไปในทุกชั้นของเปลือกไข่



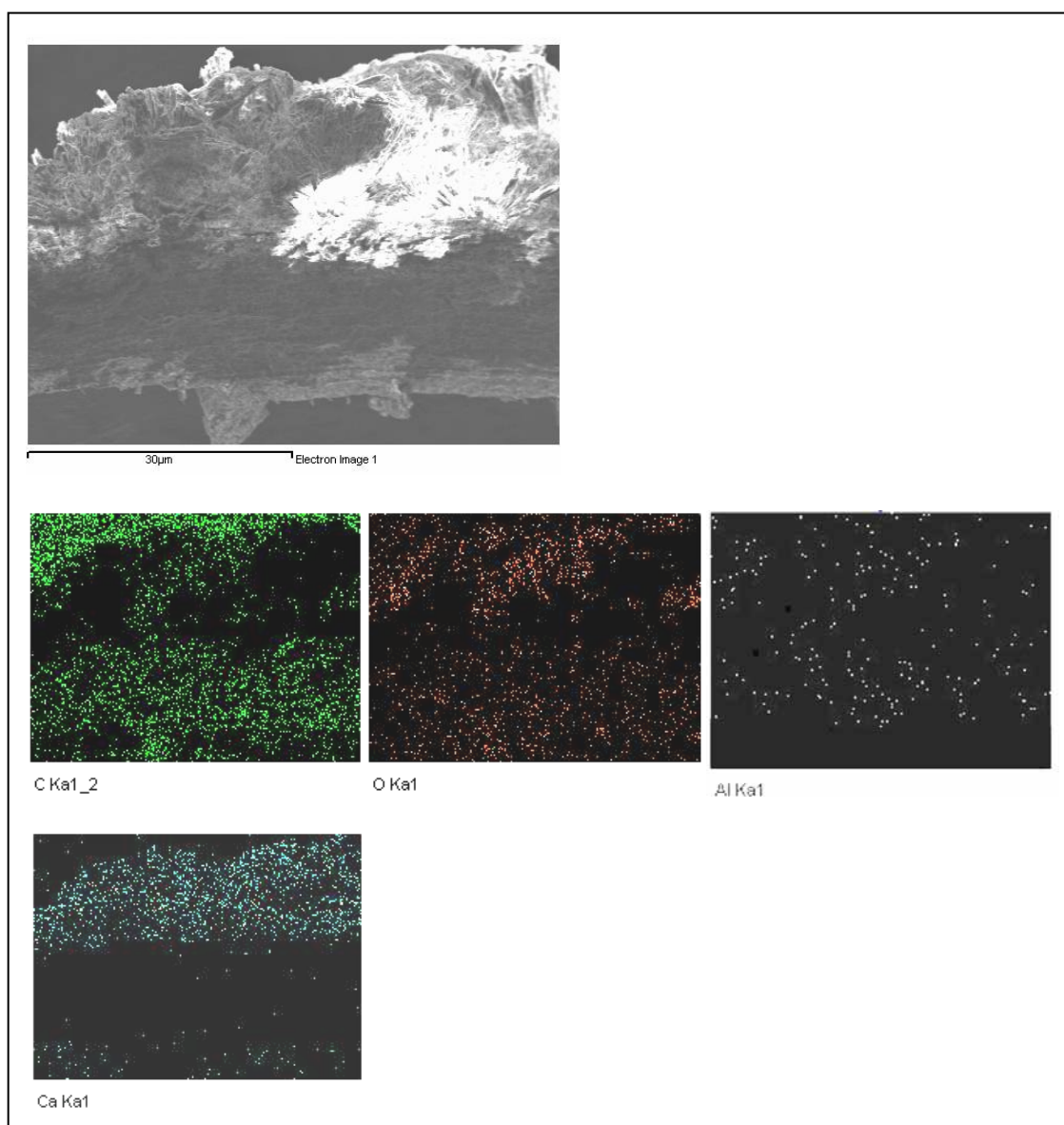
ภาพที่ 58 แสดงลักษณะผลึกในชั้นนอกของแท่งที่ถ่ายโดยใช้หัวตรวจวัด BEI (บน) และ SEI (ล่าง) สอดคล้องกับผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ พบว่าเปลือกไขชั้นนอกประกอบด้วยแคลเซียม คาร์บอนและออกซิเจนอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต



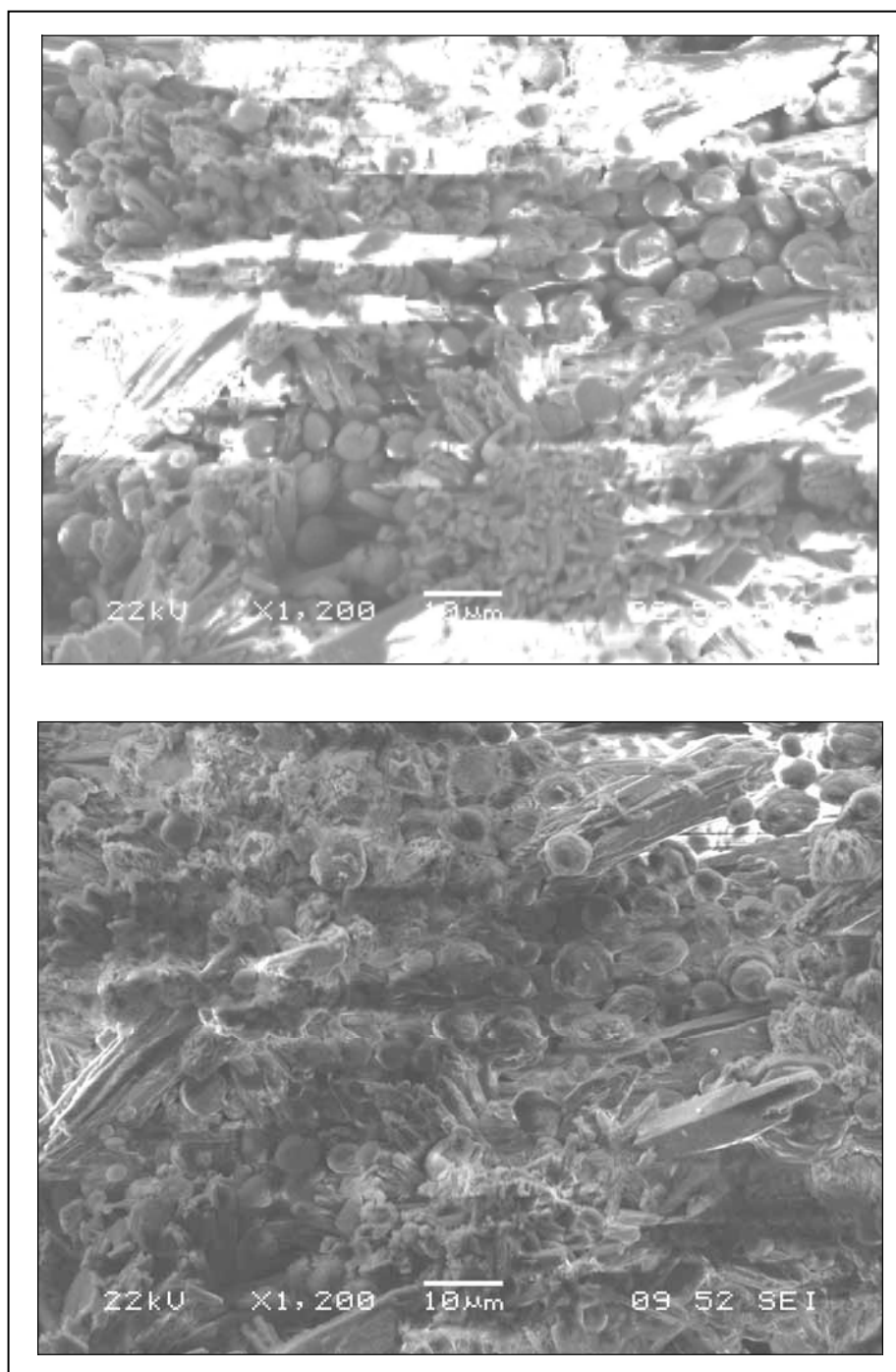
ภาพที่ 59 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ พบว่าแคลเซียม ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ฟอสฟอรัสและกำมะถัน กระจายตัวทั่วไปในทุกชั้นของเปลือกไข่



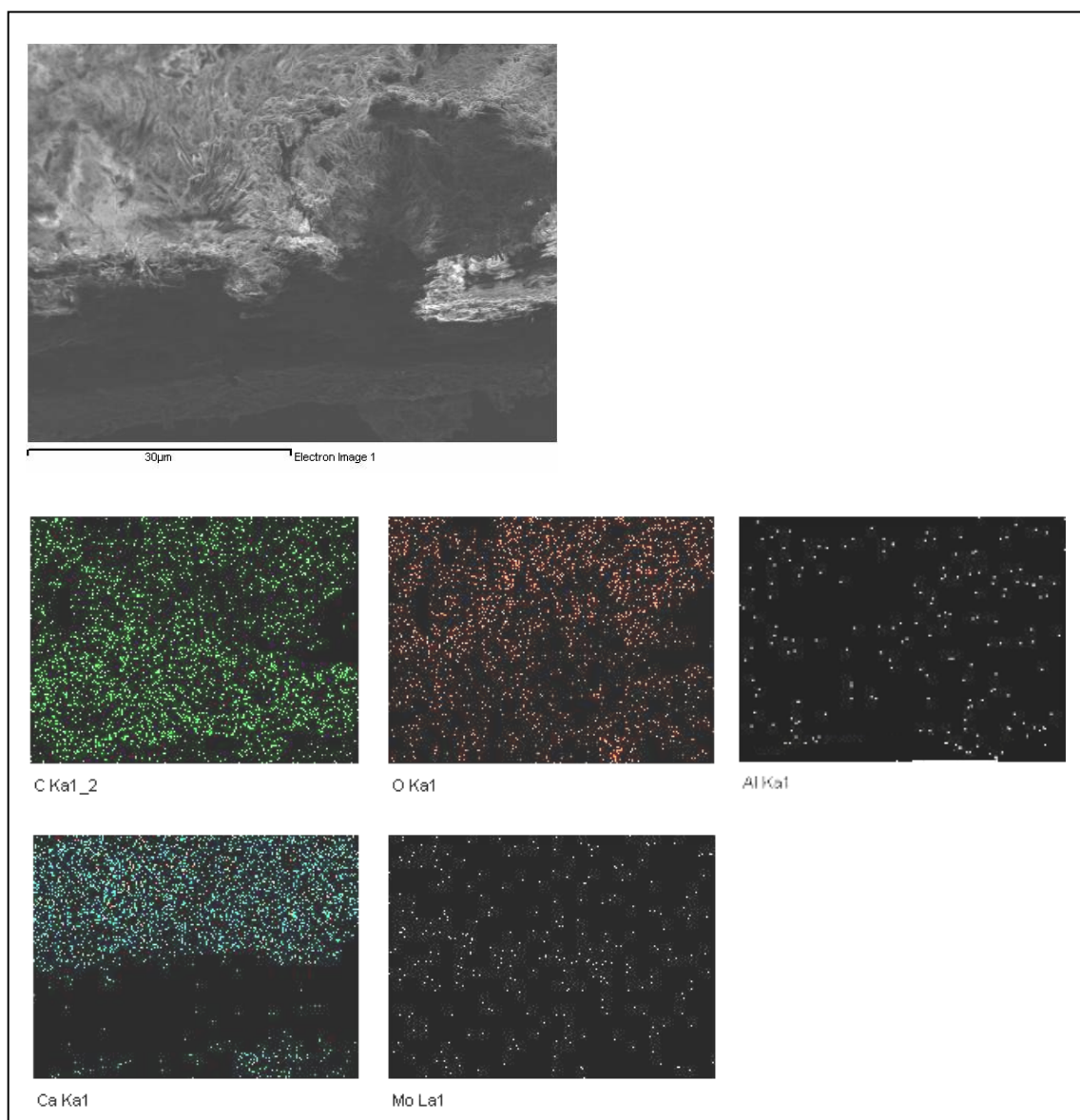
ภาพที่ 60 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ พบว่าแคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก โซเดียมและคลอรีนกระจายทั่วไปในเปลือกไข่ โดยเฉพาะชั้นกลางในรูปของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียมและกำมะถัน กระจายตัวทั่วไปในทุกชั้นของเปลือกไข่



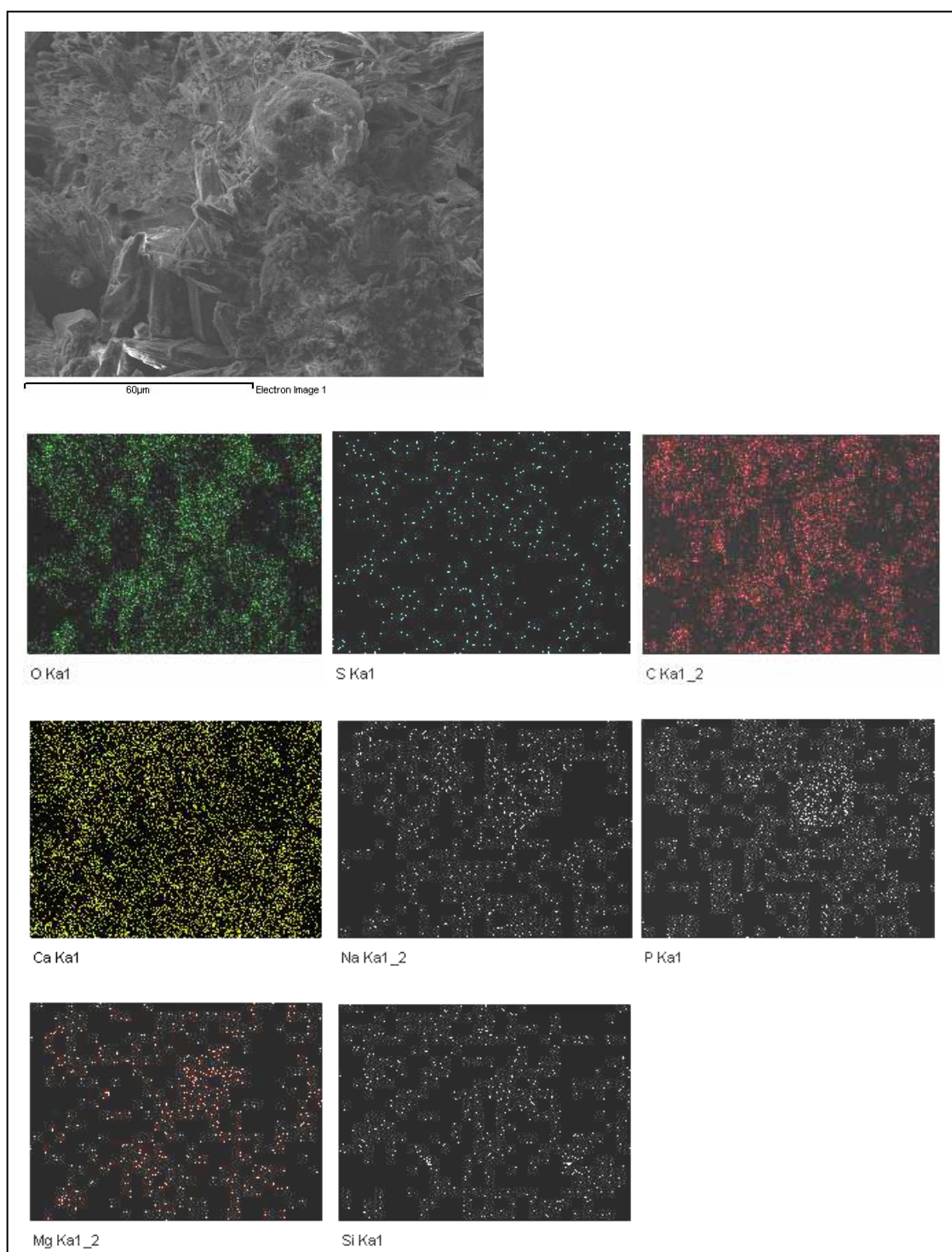
ภาพที่ 61 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ากระ พบว่าคาร์บอน ออกซิเจนและอะลูมิเนียมกระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไข่ทุกชั้น แคลเซียมส่วนใหญ่สะสม อยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก



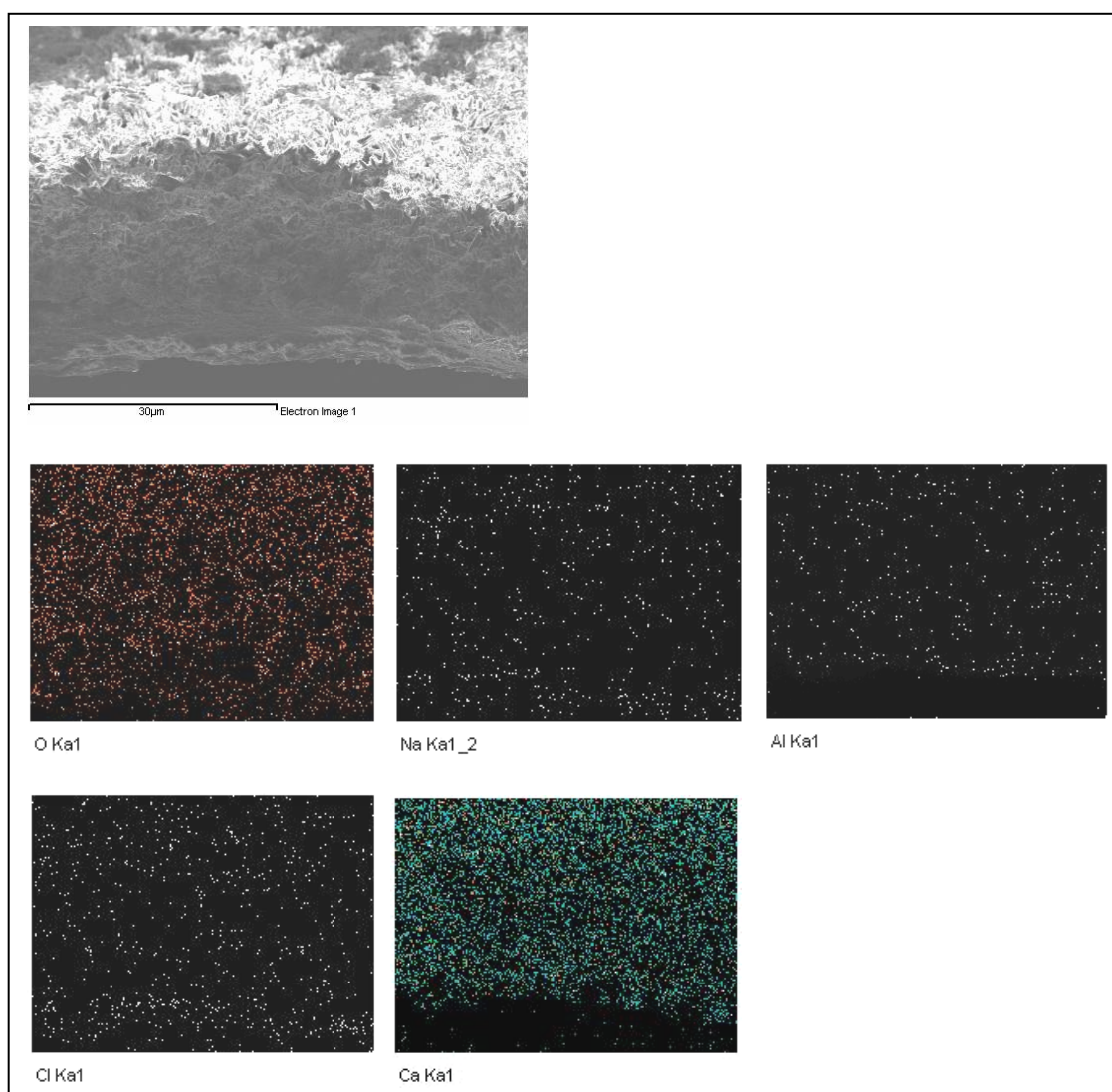
ภาพที่ 62 แสดงลักษณะผลึกในเปลือกไข่ชั้นนอกของแต่ละที่ถ่ายโดยใช้หัวตรวจวัด BEI (บน) และ SEI (ล่าง) ไม่มีความแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าผลึกรูปหนามแหลมและรูปกลมเป็นสารประกอบชนิดเดียวกัน สอดคล้องกับผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ เปลือกไข่ชั้นนอกประกอบด้วยแคลเซียม คาร์บอนและออกซิเจนอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต



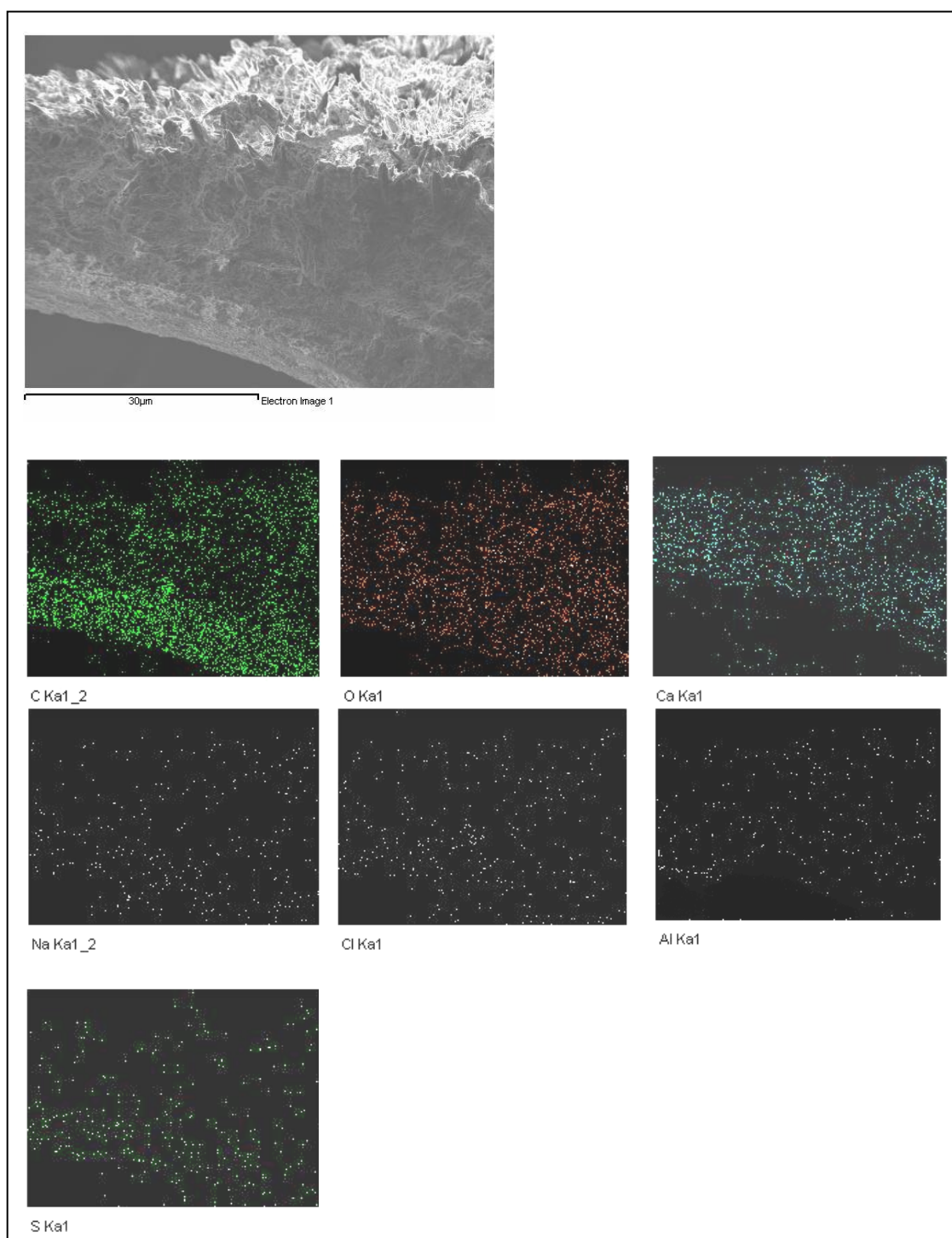
ภาพที่ 63 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง พบว่าคาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียมและโมลิบดีนัม กระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไข่ทุกชั้น แคลเซียม ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก



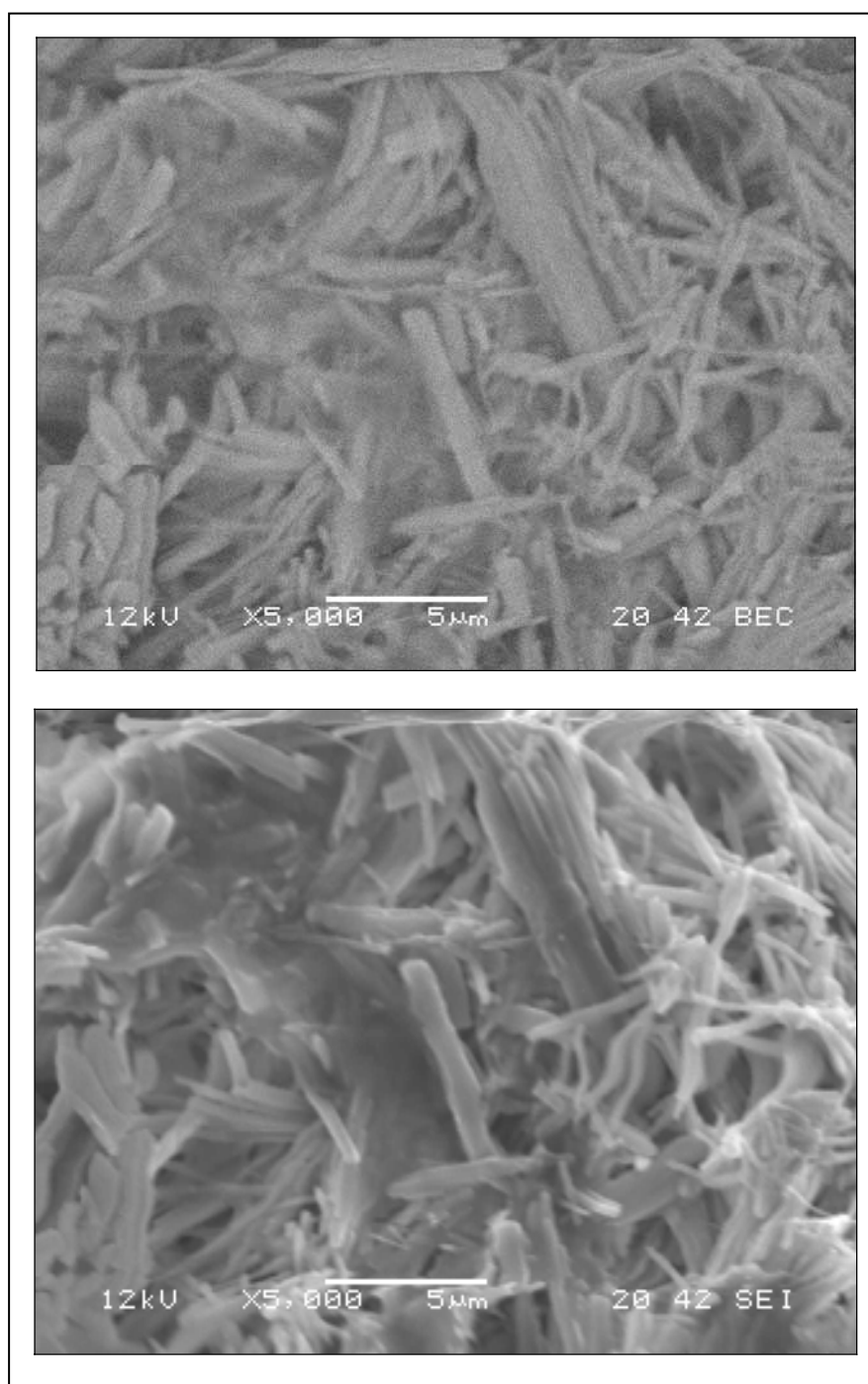
ภาพที่ 64 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง พบว่าคาร์บอนและออกซิเจนกระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไข่ทุกชั้น แคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก โซเดียมและคลอรีนพบมากในเปลือกไข่ชั้นกลางในรูปของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์



ภาพที่ 65 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไม้ตามะเฟือง พบว่าคาร์บอน ออกซิเจนและอะลูมิเนียมกระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไม้ทุกชั้น แคลเซียมส่วนใหญ่สะสม อยู่ในเปลือกไม้ชั้นนอก โซเดียมและคลอรีนพบมากในเปลือกไม้ชั้นกลางในรูปของ สารประกอบโซเดียมคลอไรด์



ภาพที่ 66 แสดงผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบของเปลือกไข่เต่ามะเฟือง พบว่าคาร์บอนและออกซิเจนกระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไข่ทุกชั้น แคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก โซเดียมและคลอรีนพบมากในเปลือกไข่ชั้นกลางในรูปของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์



ภาพที่ 67 แสดงลักษณะผลึกในชั้นนอกของเต่ามะเฟืองที่ถ่ายโดยใช้หัวตรวจวัด BEI (บน) และ SEI (ล่าง) ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองเป็นสารประกอบชนิดเดียวกันสอดคล้องกับผลของการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ เปลือกไข่ชั้นนอกประกอบด้วยแคลเซียม คาร์บอนและออกซิเจนอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. ศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง

1.1 ชั้นของเปลือกไข่เต่าทะเล

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟืองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดด้วยหัวตรวจวัด SEI พบว่าเปลือกไข่เต่าทะเลมี 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Al-Bahry (2009) ที่ทำการศึกษาเปลือกไข่เต่าตนุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเปลือกไข่เต่าตนุประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน เปลือกไข่ชั้นนอกมีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกรูปหอนามแหลมรวมตัวกันแผ่ออกในแนวรัศมี เมื่อดูจากด้านข้างของเปลือกไข่พบว่าหน้าตัดมีลักษณะคล้ายรูปพัด ซึ่งลักษณะกลุ่มผลึกจะแตกต่างกันในเต่าแต่ละชนิด คือเต่าตนุและเต่ามะเฟืองมีลักษณะผลึกรูปร่างหอนามแหลมเท่านั้นที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี แต่เต่ากระมีผลึกรูปร่างกลมแทรกอยู่ระหว่างกลุ่มของผลึกรูปหอนามแหลมซึ่งเรียงตัวชิดกันแน่น ส่วนผลึกในเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่ามะเฟืองมีขนาดของผลึกเล็กและเรียกว่าของเต่าตนุ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของกลุ่มผลึกของเต่ามะเฟืองไม่เท่ากัน ในขณะที่เปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุมีลักษณะการรวมกลุ่มของผลึกที่ค่อนข้างสม่ำเสมอมีขนาดความสูงต่ำที่ใกล้เคียงกันเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (สันสรียา, 2540) บริเวณฐานของกลุ่มผลึกยึดติดกับเปลือกไข่ชั้นกลางมีแท่งผลึกเรียงตัวกันและแผ่ออกเป็นวงกลม (สันสรียา, 2540) ซึ่งมีรู (pore) เชื่อมต่อกับเปลือกไข่ชั้นกลางพบได้ทั้งที่มีรูเดียวและหลายรูในเต่าทั้ง 3 ชนิด โดยในเปลือกไข่ชั้นกลางมีลักษณะเป็นเส้นใยสานกันแน่นและมีช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้เกิดเป็นช่องว่างแบบร่างแหคล้ายรูพรุนในฟองน้ำทำหน้าที่เป็นเส้นทางการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างตัวอ่อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ส่วนเปลือกไข่ชั้นในมีลักษณะเป็นโครงสร้างเส้นใยมีการสานกันเป็นร่างแห (reticular fiber) แน่นทั้งชั้น โดยเปลือกไข่ชั้นในมีการสานกันแน่นกว่าเปลือกไข่ชั้นกลาง (สันสรียา, 2540; Carpenter, 1999; Osborne และ Thompson, 2005; Al-Bahry, 2009) ในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นผลึกรูปเข็มเรียงตัวแบบอะราโกไนท์ ซึ่งเกิดจากจุดกำเนิดบนเปลือกไข่ชั้นกลางโดย

การชักนำของแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) และน้ำ โดยมีการตกผลึกของผลึกรูปเข็มหรือหนามแหลมรอบจุดศูนย์กลางทำให้เกิดเป็นกลุ่มผลึกแผ่ออกในแนวรัศมี (Solomon และ Baird, 1976; Baird และ Solomon, 1979; Packard และ Packard, 1988) เนื่องจากเปลือกไข่ที่นำมาศึกษาเป็นเปลือกไข่ที่ได้จากธรรมชาติจึงพบว่าการตกผลึกในรูปแบบอะราโกไนท์เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Baird และ Solomon (1979) ทำการศึกษาลักษณะของเปลือกไข่เต่าตนุจากธรรมชาติและไข่เต่าจากบ่อเลี้ยงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเปลือกไข่เต่าตนุจากธรรมชาติมีการตกผลึกแบบอะราโกไนท์เท่านั้น ส่วนเปลือกไข่เต่าจากบ่อเลี้ยงมีการตกผลึกในรูปแบบแคลไซต์ด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสารอาหารที่แม่เต่าได้รับ ในสภาพปกติปริมาณสารอาหารและแคลเซียมในสัดส่วนที่เหมาะสมเพียงพอสำหรับกระบวนการสร้างไข่ แต่ถ้าแม่เต่าทะเลได้รับสารอาหารและแคลเซียมในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป อาจส่งผลต่อกระบวนการสร้างเปลือกไข่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเปลือกไข่ได้ (Romanoff และ Romanoff, 1949; Packard และ Packard, 1988) นอกจากนี้การตกผลึกของแคลไซต์หรืออะราโกไนท์ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากค่าความเป็นกรด่างและการเปลี่ยนแปลงของไอออน เช่น ฟอสเฟต-ไอออน (PO_4^{3-}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นต้น เนื่องจากไอออนดังกล่าวข้างต้นเป็น ตัวชักนำให้เกิดการตกผลึกแคลไซต์ในกระบวนการสร้างเปลือกไข่ (Solomon และ Baird, 1976)

1.2 ความหนาของชั้นเปลือกไข่เต่าทะเล

ผลจากการวัดความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง พบว่าเปลือกไข่ของเต่ากระและเต่ามะเฟืองบางกว่าเต่าตนุอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟืองเท่ากับ 251.92 ± 20.86 ไมโครเมตร 236.94 ± 19.28 ไมโครเมตรและ 237.57 ± 18.23 ไมโครเมตร ตามลำดับ ความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าตนุ เต่ากระและ เต่ามะเฟือง เท่ากับ 129.88 ± 14.22 ไมโครเมตร 117.51 ± 16.19 ไมโครเมตรและ 83.67 ± 17.15 ไมโครเมตร ตามลำดับ ความหนาของเปลือกไข่ชั้นกลางของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง เท่ากับ 118.32 ± 20.06 ไมโครเมตร 108.06 ± 13.00 ไมโครเมตรและ 144.20 ± 2.20 ไมโครเมตร ตามลำดับ และความหนาของเปลือกไข่ชั้นในโดยประมาณ ของเต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง เท่ากับ 3.72 ± 0.86 ไมโครเมตร 11.38 ± 3.07 ไมโครเมตรและ 9.70 ± 2.53 ไมโครเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Al-Bahry (2009) ศึกษาเปลือกไข่ก่อนฟักของเต่าตนุ ชั้นนอกมีความหนาประมาณ 200.00 ถึง 263.90 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นผลึกที่มีรูปร่างเป็นก้อนกลมและหนามแหลมโดยผลึกรวมตัวกันเป็นก้อน ซึ่งส่วนกลางของแต่ละกลุ่มก้อนนั้นมีรู อาจมีรูเดียวหรือหลายรู ซึ่งเกิดจากการสานกันของแท่งผลึกและเส้นใย ส่วนชั้นกลางหนาประมาณ 106.20

ถึง 131.10 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นโครงสร้างของเส้นใยที่สานกันแน่นทั้งชั้นและชั้นใน หนาประมาณ 2.90 ถึง 3.90 ไมโครเมตร ประกอบด้วยเส้นใยที่สานกันเป็นร่างแหและมีรูเปิดของโครงร่างเส้นใยระหว่างชั้นกลางและชั้นใน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าเปลือกไข่ชั้นในของเต่าทั้ง 3 ชนิด บางกว่าเปลือกไข่ชั้นนอกและชั้นกลางอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เปลือกไข่เต่าตนุและเต่ากระมีความหนาของเปลือกไข่ชั้นนอกมากกว่าชั้นกลางและชั้นในอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนเต่ามะเฟืองมีความหนาของเปลือกไข่ชั้นกลางมากกว่าชั้นนอกและชั้นในอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ความหนาของเปลือกไข่เต่าทั้ง 3 ชนิดในแต่ละชั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานได้แต่ต้องใช้ร่วมกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่นๆร่วมด้วย

2. ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระ และเต่ามะเฟือง

จากการศึกษาพบว่าเปลือกไข่เต่าตนุประกอบด้วยธาตุจากมากไปน้อยดังนี้ คาร์บอน (48.0-63.0%) ออกซิเจน (33.0-44.0%) แคลเซียม (0.36-5.72%) กำมะถัน (1.65-3.31%) โซเดียม (0.18-0.37%) คลอรีน (0.14-0.42%) ซิลิกอน (0.15-0.28%) และแมกนีเซียม (0.05-0.14%) (Sahoo และคณะ, 1998; Kitimasak และคณะ, 2003; Osborne และ Thompson, 2005; Al-Bahry, 2009) โดยมีคาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียมเป็นธาตุองค์ประกอบหลักสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Al-Bahry (2009) ซึ่งทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเปลือกไข่เต่าตนุด้วย EDX พบว่าเปลือกไข่เต่าตนุประกอบด้วยคาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่และธาตุองค์ประกอบอื่นๆ ในปริมาณที่น้อยมาก เช่น ซิลิกอน กำมะถัน คลอรีน อะลูมิเนียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียมและอื่นๆ จากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น พบว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเปลือกไข่ชั้นนอกน้อยที่สุดแต่มีเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมมากที่สุดสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Al-Bahry (2009) ที่ศึกษาโดยใช้วิธีการทำแผนที่ธาตุพบว่าแคลเซียมส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ส่วนชั้นกลางและชั้นในมีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนและแคลเซียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ปริมาณออกซิเจนในเปลือกไข่ชั้นกลางน้อยกว่าชั้นนอกและชั้นในอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ปริมาณกำมะถันพบมากในเปลือกไข่ชั้นกลาง ชั้นในและชั้นนอก

ตามลำดับ ปริมาณคลอรีนในเปลือกไข่ชั้นกลางมากกว่าชั้นนอกและชั้นในอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณโซเดียม ซิลิกอนและแมกนีเซียมไม่แตกต่างกันในแต่ละชั้น (Sahoo 1998, Al-Bahry 2009) พบการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักคือ ตะกั่ว พาลาเดียมและโมลิบดีนัม ปริมาณ 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ ในเปลือกไข่เตาทั้ง 3 ชนิด พบทองแดงในเปลือกไข่เตาต้นและเตาแม่เพียง พบแคดเมียมในเปลือกไข่เตาต้น โดยโลหะหนักที่พบมักพบอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ยกเว้นโมลิบดีนัมพบในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้นและพบธาตุอื่นๆ คือโบรมีนและไอโอดีน การปนเปื้อนของโลหะหนักน่าจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสร้างเปลือกไข่เนื่องจากสภาพแวดล้อมบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหาร เช่น น้ำทะเลบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักซึ่งเมื่อน้ำทะเลเข้าสู่ตัวของเตาทะเลโลหะหนักที่ปนเปื้อนอาจเข้าไปจับกับไอออนหรือธาตุในร่างกายและสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆ เมื่อมีกระบวนการสร้างเปลือกไข่มีความต้องการใช้ธาตุซึ่งอาจรวมตัวอยู่กับโลหะหนัก จึงมีการสลายสารประกอบดังกล่าวเพื่อใช้ในกระบวนการสร้างไข่ขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดไอออนของโลหะหนักซึ่งสามารถจับกับธาตุในขณะที่กำลังสร้างเปลือกไข่ได้ จากผลการศึกษาพบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอกคาดว่าโลหะหนักดังกล่าวคือ ตะกั่ว พาลาเดียม ทองแดง และแคดเมียมน่าจะจับกับแคลเซียมได้ดีจึงตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักข้างต้นใน เปลือกไข่ชั้นนอกซึ่งมีแคลเซียมสะสมอยู่มากสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Guirlet และคณะ (2008) ศึกษาความเข้มข้นของธาตุโลหะที่ไม่เป็นพิษ ได้แก่ ทองแดง สังกะสีและซิลิเนียม ความเข้มข้นของธาตุโลหะที่เป็นพิษ ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่วและปรอทในเลือดและไข่ของเตาแม่เพียงในฤดูวางไข่ พบว่าความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันในเลือดกับไข่ เนื่องจากการส่งผ่านจากเลือดของแม่เตาไปยังไข่ โดยซิลิเนียมมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนโดยทำหน้าที่เป็นตัวพาโปรตีน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแคดเมียมสามารถทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกับซิลิเนียม ในฤดูวางไข่ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเลือดลดลงขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าในขณะที่แม่เตามีการสร้างไข่มีความต้องการแคลเซียมในกระบวนการสร้างไข่ซึ่งมักจะควบคู่ไปกับกระบวนการสลายของตะกั่ว ทำให้ในเลือดมีความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มสูงขึ้นตลอดฤดูวางไข่ แต่ความเข้มข้นของโลหะที่เป็นพิษมีน้อยกว่าธาตุโลหะ

ที่ไม่เป็นพิษ ซึ่งโลหะที่ปนเปื้อนบางชนิดอาจส่งต่อการเจริญของตัวอ่อนเนื่องจากโลหะหนักจะมีผลต่อการเจริญของตัวอ่อนและระดับฮอร์โมนไทรอยด์ ทั้ง thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) ทำให้อัตราส่วนของไทรอยด์ฮอร์โมน T_3 ต่อ T_4 ลดลงเป็นสาเหตุให้ตัวอ่อนตาย โดยซึ่งโลหะหนักส่งผ่านเข้าสู่ตัวอ่อนโดยวิธี active-transport พร้อมกับน้ำซึ่งการปนเปื้อนในดินและน้ำส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิตของตัวอ่อนได้ (Brasfield และคณะ, 2004; Van Meter 2006) จึงอาจใช้ไข่เต่าทะเลเป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลได้

เปลือกไข่เต่ากระประกอบด้วยธาตุจากมากไปน้อย ดังนี้ คาร์บอน (54.16-63.38%) ออกซิเจน (31.93-37.50%) แคลเซียม (0.32-8.30%) กำมะถัน (1.57-2.31%) โซเดียม (0.52-1.23%) คลอรีน (0.32-1.14%) แมกนีเซียม (0.04-0.27%) และซิลิกอน (0.06-0.19%) เปลือกไข่เต่ามะเฟืองประกอบด้วยธาตุจากมากไปน้อย ดังนี้ คาร์บอน (47.19-50.32%) ออกซิเจน (37.18-43.80%) แคลเซียม (3.09-14.44%) กำมะถัน (1.81-2.15%) ซิลิกอน (0.17-0.23%) คลอรีน (0.05-0.13%) โซเดียม (0.10-0.13%) และแมกนีเซียม (0.04-0.08%) (Sahoo และคณะ, 1998; Kitimasak และคณะ, 2003; Osborne และ Thompson, 2005; Al-Bahry, 2009)

แคลเซียมซึ่งจัดเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนพบมากที่สุดที่เปลือกไข่ชั้นนอกสอดคล้องกับรายงานของ Bustard และ Greenham (1968) กล่าวว่ากระบวนการย่อยสลายเกิดโดยคาร์บอนไดออกไซด์จากตัวอ่อนถูกส่งออกภายนอกเปลือก ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งจะไปเปลี่ยนรูปแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในเปลือกชั้นนอกให้อยู่ในรูปแคลเซียมไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นรูปที่สามารถดูดซึมได้ง่าย

3. ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่ากระ เต่าตนุและเต่ามะเฟืองโดยใช้หัวตรวจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ

ผลการศึกษาองค์ประกอบธาตุในเปลือกไข่เต่าทั้ง 3 ชนิดโดยใช้หัวตรวจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุโดยใช้หัวตรวจวัด EDX คือเปลือกไข่ชั้นนอกของเต่าทะเลเป็นสารประกอบเดียวกันทั้งชั้น นั่นคือแคลเซียมคาร์บอเนต (สันสรียา, 2540; Solomon และ Baird, 1976; Baird และ Solomon, 1979; Packard และ Packard, 1988; Al-Bahry, 2009) เนื่องจากผลการศึกษาโดยใช้หัวตรวจวัด BEI ปรากฏว่าเปลือกไข่เต่าทะเลมีองค์ประกอบของฟิวเปลือกไข่เหมือนกันเนื่องจากภาพแสดงความเปรียบต่างและความสว่างของทุกบริเวณเหมือนกัน นอกจากนั้นการศึกษาโดยการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบแสดงให้เห็นว่าธาตุคาร์บอน ออกซิเจน กำมะถัน อะลูมิเนียม โซเดียม ฟอสฟอรัส โมลิบดีนัม คลอรีนและแมกนีเซียมมีการกระจายทั่วทั้ง 3 ชั้น ส่วนแคลเซียมส่วนใหญ่สะสมในเปลือกไข่ชั้นนอก (Al-Bahry, 2009) สอดคล้องกับผลการศึกษาด้วย EDX และ BEI

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

1. ศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างอย่างละเอียดของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระ และเต่ามะเฟือง

เปลือกไข่เต่าทะเลมี 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นนอก เรียกว่า outer cuticle layer หรือ calcareous layer ชั้นกลาง เรียกว่า middle layer หรือ middle multistrata layer และชั้นใน เรียกว่า inner fibrous layer ความหนาของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระและเต่ามะเฟือง เท่ากับ 154.35 ± 21.47 , 210.78 ± 24.37 และ 213.19 ± 21.14 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยเปลือกไข่ชั้นนอกมีลักษณะเป็นกลุ่มของผลึกรูปหนามแหลมรวมตัวกันแผ่ออกในแนวรัศมี เมื่อดูจากด้านข้างของเปลือกไข่พบว่า มีลักษณะคล้ายรูปพัด ซึ่งลักษณะกลุ่มผลึกจะแตกต่างกันในเต่าแต่ละชนิดคือเต่าตนุและ เต่ามะเฟือง มีลักษณะผลึกรูปรางหนามแหลมเท่านั้นที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มแผ่รัศมี แต่เต่ากระมีผลึกรูปรางกลม แทรกระหว่างกลุ่มของผลึกรูปหนามแหลมซึ่งเรียงตัวชิดกันแน่น บริเวณส่วนกลางของกลุ่มผลึกยึดติดกับฐานซึ่งเป็นส่วนบนของเปลือกไข่ชั้นกลาง เกิดการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตจากจุดกำเนิดบนเปลือกไข่ชั้นกลางโดยการชักนำของแมกนีเซียมคาร์บอเนตและน้ำ บริเวณที่กลุ่มผลึกยึดติดกับฐานมีรูซึ่งอาจมีรูเดียวหรือหลายรูเชื่อมต่อกับเปลือกไข่ชั้นกลาง เปลือกไข่ชั้นกลางมีลักษณะเป็นโครงสร้างของเส้นใยสานกันเป็นร่างแห มีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่สานกันซึ่งเชื่อมต่อกับเปลือกไข่ชั้นใน สำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างตัวอ่อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอกและมีสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ ส่วนเปลือกไข่ชั้นในประกอบด้วยเส้นใยสานกันแน่นมาก จากผลการทดลองสามารถใช้ข้อมูลของสัณฐานวิทยาและโครงสร้างของเปลือกไข่เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของเต่าทะเลได้ แต่ต้องใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับชีววิทยาของเต่าทะเล รายงานการขึ้นวางไข่ของเต่าทะเลในแต่ละท้องที่ เป็นต้น

2. ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เต่าตนุ เต่ากระ และเต่ามะเฟือง

เปลือกไข่เต่าตนุประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน แคลเซียม กำมะถัน โซเดียม คลอรีน ซิลิกอนและแมกนีเซียม โดยคาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียมเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก อยู่ในรูปของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตแบบอะราโกไนต์ โดยเฉพาะแคลเซียมซึ่งจัดเป็นธาตุที่มี

ความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ส่วนธาตุอื่นๆ กระจายอยู่ทั่วไปในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้นและมีเปอร์เซ็นต์น้อย ในเปลือกไข่ชั้นกลางมีสารประกอบของโซเดียมคลอไรด์ นอกจากนี้พบการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักปริมาณ 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์คือ ตะกั่ว พลาเดียมและโมลิบดีนัม ในเปลือกไข่เตาทั้ง 3 ชนิด พบทองแดงในเปลือกไข่เตาตนุและเตา มะเฟือง และพบแคดเมียมในเปลือกไข่เตาตนุ โดยโลหะหนักที่พบมักพบอยู่ในเปลือกไข่ชั้นนอก ยกเว้น โมลิบดีนัมพบในเปลือกไข่ทั้ง 3 ชั้น และพบธาตุอื่นๆ คือโบรมีนและไอโอดีน

3. ศึกษาองค์ประกอบธาตุในแต่ละชั้นของเปลือกไข่เตากระ เตาตนุและเตามะเฟืองโดยใช้ หัวตรวจวัด BEI และการทำแผนที่ธาตุองค์ประกอบ

ธาตุคาร์บอน ออกซิเจนและแคลเซียมเป็นธาตุองค์ประกอบหลักในเปลือกไข่เตาทะเล โดยมีการกระจายตัวของธาตุต่างกัน คาร์บอน ออกซิเจน กำมะถัน ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม กระจายตัวอยู่ทั่วไปในทั้ง 3 ชั้นของเปลือกไข่เตาทะเล แคลเซียมพบมากในเปลือกไข่ชั้นนอก ซึ่งจะรวมตัวกับคาร์บอนและออกซิเจนเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปแบบอะราโกไนต์ ส่วนโซเดียมและคลอรีนกระจายอยู่ในเปลือกไข่ชั้นกลางเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะรวมตัวกันเป็น สารประกอบโซเดียมคลอไรด์

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กำธน สินธวานนท์. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 21. ด้านสุขภาพการพิมพ์, 2539. 335.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กฎกระทรวง กำหนดให้สัตว์ป่าบางชนิดเป็นสัตว์ป่าคุ้มครอง. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 120 ตอนที่ 74ก, 2546.
- บพิธ จารุพันธ์ และ นันทพร จารุพันธุ์. สัตววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, 2547. 458.
- บุญเลิศ ผาสุก. เต่าทะเลและการอนุรักษ์ วารสารการประมง 34 (2524.): 253-265.
- นิวัติ เรืองพานิช. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (โครงการตำราชุดการจัดการและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เล่ม 1 คณะวนศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สหมิตรออฟเซต, 2537. 410.
- แม่น อมรสิทธิ์. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ กรุงเทพฯ, 2534. 886.
- สำนักงานสลากกินแบ่งรัฐบาล. บ้านของเต่าทะเล. บริษัท มาสเตอร์ คีย์ จำกัด, 2547. 84 หน้า.
- สมเกียรติ สุนทรพิทักษ์กุล, วีระชาติ เทพพิพิธ และทิพวรรณ เศรษฐพรศรี. การสำรวจเต่าทะเล. กรมป่าไม้สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ส่วนอุทยานแห่งชาติทางทะเล กรุงเทพฯ. 2543. 48.
- ศันสรียา วังกุลางกูร. การศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมของแหล่งวางไข่และสถานวิทยาของเปลือกไข่เต่าหญ้า *Lepidochelys olivacea* จากธรรมชาติและจากบ่อเลี้ยง. ปริญญา มหบัณฑิต. สาขาวิชาสัตววิทยา ภาควิชาชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540. 127.

ภาษาต่างประเทศ

- Aguirre A.A., G.H. Balazs, B. Zimmerman and F.D. Galey. Organic contaminants and trace metals in the tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) afflicted with fibropapillomas in the Hawaiian Islands. Mar. Pollut. Bull. 28 (1994a): 109 -114.
- Aguirre A.A. and G.M. Tabor. Introduction: marine vertebrates as sentinels of marine ecosystem health. EcoHealth 1 (2004): 236-238.

- Aguirre A.A., S.C. Gardner, J.C. Marsh, S.G. Delgado, C.J. Limpus and W.J. Nichols. Hazards associated with the consumption of sea turtle meat and eggs: A review for health care workers and the general public. EcoHealth. 3 (2006): 141-153.
- Alava J.J., J.M. Keller, J.R. Kucklick, J. Wyneken, L. Crowder and G.I. Scott. Loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) egg yolk concentrations of persistent organic pollutants and lipid increase during the last stage of embryonic development. Sci. Total Environ. 367 (2006): 170-181.
- Al-Bahry S.N., I.Y. Mahmoud, I.S. Al-Amri, T.A. Ba-Omar, K.O. Melgheit and A.Y. Al-Kindi. Ultrastructural features and elemental distribution in eggshell during pre and post hatching periods in the green turtle, *Chelonia mydas* at Ras Al-Hadd, Oman. Tissue and Cell 41 (2009): 214-221.
- Alkindi A.Y.A., I.Y. Mahmoud, M.J. Woller and J.L. Plude. Oviductal morphology in relation to hormonal levels in the snapping turtle (*Chelydra serpentina*). Tissue and Cell 38 (2006): 19-33.
- Avens L. and K.J. Lohmann. Navigation and seasonal migratory orientation in juvenile sea turtles. J. Exp. Biol. 207 (2004): 1771-1778.
- Baird T. and S.E. Solomon. Calcite and aragonite in the egg shell of *Chelonia mydas* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 36 (1979): 295-303.
- Bilinski J.J., R.D. Reina, J.R. Spotila and F.V. Paladino . The effects of nest environment on calcium mobilization by leatherback turtle embryos (*Dermochelys coriacea*) during development. Comp. Biochem. Physiol. A. 130 (2001): 151-162.
- Bishop C.A., P. Ng, K.E. Pettit, S.W. Kennedy, J.J. Stegeman, R.J. Norstrom and R.J. Brooks. Environmental contamination and developmental abnormalities in eggs and hatchlings of the common snapping turtle, *Chelydra serpentina serpentina* from the Great Lakes-St Lawrence River Basin (1989-91). Environ. Pollut. 101 (1998): 143-156.
- Booth D.T. Incubation of turtle eggs at different temperatures: Do embryos compensate for temperature during development. Physiol. Zool. 71 (1998): 23-26.
- Booth D.T. Incubation of rigid-shelled turtle eggs: Do hydric conditions matter. J. Comp. Physiol. B. 172 (2002): 627-633.

- Bowen B.W., W.S. Nelson and J.C. Avise. A molecular phylogeny for marine turtles: Trait mapping, rate assessment, and conservation relevance. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 90 (1993): 5574-5577.
- Brasfield S.M., K. Bradham, J.B. Wells, L.G. Talent, R.P. Lanno and D.M. Janz. Development of a terrestrial vertebrate model for assessing bioavailability of cadmium in the fence lizard (*Sceloporus undulates*) and in ovo effects on hatchling size and thyroid function. Chemosphere 54 (2004): 1643-1651.
- Bustard R. and P. Greenham. Physical and chemical factor affecting hatching in the green sea turtle *Chelonia mydas* L. Ecology 49 (1968): 269-276.
- Cai Y., T. Zhou and X. Ji. Embryonic growth and mobilization of energy and material in oviposited eggs of the red-necked keelback snake, *Rhabdophis tigrinus lateralis*. Comp. Biochem. Physiol. A. 147 (2007): 57-63.
- Carpenter K. Making an Egg. Eggs, Nests and Baby Dinosaurs. Indiana University Press. 1999. 85-97.
- Chantrapornsy S. and O. Bhatiyasevi. Nesting behavior and some biological aspects of olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) in captivity. Phuket mar. biol. Cent. Res. Bull. 59 (1994): 27-31.
- Clifford A.H. Concentrations of chromium, manganese, and lead in air and in avian eggs. Environ. Pollut. 120 (2002): 201-206.
- Devkota B. and G.H. Schmidt. Effects of heavy metals (Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}) during the embryonic development of acridid grasshoppers (Insecta Caelifera). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 36 (1999): 405-414.
- Drake D.L. and J.R. Spotila. Thermal tolerances and the timing of sea turtle hatchling emergence. J. Therm. Biol. 27 (2002): 71-81.
- Du W.G. and X. Ji. The effects of incubation thermal environments on size, locomotor performance and early growth of hatchling soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*. J. Therm. Biol. 28 (2003): 279-286.
- Eckert K.L., K.A. Bjorndal, F.A. Abreu-Grobois and M. Donnelly. Research and management techniques for the conservation of sea turtles. Consolidated Graphic Communications, Pennsylvania U.S.A. 1999. 235.

- Ewert M.A. Embryology of turtles In: Grans C., Billertt F., Maderson P.F.A. (Eds.), Biology of the Reptilian. Wiley, New York 14 (1985): 75-267.
- Fordham D.A., A. Georges and B. Corey. Optimal conditions for egg storage, incubation and post-hatching growth for the freshwater turtle, *Chelodina rugosa*: Science in support of an indigenous enterprise. Aquaculture 270 (2007): 105-114.
- Franzellitti S., C. Locatelli, G. Gerosa, C. Vallini and E. Fabbri. Heavy metals in tissues of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the northwestern Adriatic Sea. Comp. Biochem. Physiol. C, 138 (2004): 187-194.
- Gómara B., G. Gómez, C. Díaz-Paniagua, A. Marco and M.J. González. PCB, DDT, arsenic, and heavy metal (Cd, Cu, Pb, and Zn) concentrations in chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*) eggs from Southwest Spain. Chemosphere 68 (2007): 25-31.
- Guirlet E., K. Das and M. Girondot. Maternal transfer of trace elements in leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) of French Guiana. Aquat. Toxicol. 88 (2008): 267-276.
- Hays G.C., A.C. Broderick, F. Glen and B.J. Godley. Change in body mass associated with long-term fasting in a marine reptile: the case of green turtles (*Chelonia mydas*) at Ascension Island. Can. J. Zool. 80 (2002): 1299-1302.
- Hirsch K.F. Contemporary and fossil chelonian eggshells. Copeia 2 (1983): 382-397.
- Houghton J.D.R., A.E. Myers, C. Lloyd, R.S. King, C. Isaacs and G.C. Hays.. Protracted rainfall decreases temperature within leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) clutches in Grenada, West Indies: Ecological implications for a species displaying temperature dependent sex determination. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 345 (2007): 71-77.
- Kitimasak W., K. Thirakhupt and D.L. Moll. Eggshell structure of the siamese narrow-headed softshell turtle *Chitra chitra* Nutphand, 1986 (Testudines: Trionychidae). Science Asia 29 (2003): 95-98.
- Kittiwattanawong K., S. Chantrapornsyl, W. Sakamoto and N. Arai. Tracking of green turtles *Chelonia mydas* in the Andaman sea using platform transmitter terminals. Phuket mar. biol. Cent. Res. Bull. 64 (2002): 81-87.
- Kobayashi N. and H. Okamura. Effects of heavy metals on sea urchin embryo development. Part 1. Tracing the cause by the effects. Chemosphere 55 (2004): 1403-1412.

- Lam J.C.W., S. Tanab, S.K.F. Chan, M.H.W. Lam, M. Martin and P.K.S. Lam. Levels of trace elements in green turtle eggs collected from Hong Kong: Evidence of risks due to selenium and nickel. Environ. Pollut. 144 (2006): 790-801.
- Limpus C. A marine resource case study: climate change and sea level rise probable impacts on marine turtles, p. 157. In: Hay J. E. and Kaluwin C. (Eds). Climate Change and Sea Level Rise in the South Pacific Region. Australia. 1993.
- Lin L.H., H. Li, H. An and X. Ji. Do temperature fluctuations during incubation always play an important role in shaping the phenotype of hatchling reptiles. Journal of Thermal Biology. 2008.
- Maffucci F., F. Caurant, P. Bustamante and F. Bentivegna. Trace elements (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). Chemosphere 58 (2005): 535-542.
- Mahmoud I.Y., J.R. Paulson, M. Dudley, J.S. Patzlaff and A.Y.A. Al-Kindi. Secretory proteins in the reproductive tract of the snapping turtle, *Chelydra serpentina*. Comp. Biochem. Physiol. A 139 (2004): 487-494.
- Mascarenhas R., R. Santos and D. Zeppelini. Plastic debris ingestion by sea turtle in Paraíba, Brazil. Mar. Pollut. Bull. 49 (2004): 354-355.
- Mazaris A.D., A.S. Kallimanis, S.P. Sgardelis and J.D. Pantis. Do long-term changes in sea surface temperature at the breeding areas affect the breeding dates and reproduction performance of Mediterranean loggerhead turtles? Implications for climate change. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 367 (2008): 219-226.
- Mrosovsky N. Ecology and nest-site selection of leatherback turtles *Dermochelys coriacea*. Biol. Cons. 26 (1983): 47-56.
- Nechaeva M.V., I.G. Makarenko, E.B. Tsitrin and N.P. Zhdanova. Physiological and morphological characteristics of the rhythmic contractions of the amnion in veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*) embryogenesis. Comp. Biochem. Physiol. A 140 (2005): 19-28.
- Nicolson S.W. and P.L. Lutz. Salt gland function in the green sea turtle *Chelonia mydas*. J. exp. Biol. 144 (1989): 171-184.

- Osborne L. and M.B. Thompson. Chemical composition and structure of the eggshell of three oviparous lizards. Copeia 3 (2005): 683-692.
- Packard G.C., T.L. Taigen, M.J. Packard and T.J. Boardman. Changes in mass of eggshell turtles (*Trionyx spiniferus*) incubate under hydric conditions simulating those of natural nests. J. Zool. A 193 (1981): 81-90.
- Packard M.J., J.B. Iverson and G.C. Packard. Morphology of shell formation in eggs of the turtle *Kinosternon flavescens*. J. Morphol. 181 (1984): 21-28.
- Packard M.J. and G.C. Packard. The effect of water balance of eggs on growth and calcium metabolism of embryonic painted turtles (*Chrysemys picta*). Physiol. Zool. 59 (1986): 398-405.
- Packard G.C. and M.J. Packard. The Physiological Ecology of Reptilian Eggs and Embryos. In C. Gans and R.B. Huey (eds.), Biology of Reptila. 16 (1988). New York: Alan r. Liss, Inc.
- Packard M.J., M.J. Packard and G.C. Packard. Sources of calcium, magnecium and phosphorus for embryonic softshell turtles (*Trionyx piniferus*). J. Exp. Zool. 258 (1991): 151-157.
- Pike D.A. Environmental correlates of nesting in loggerhead turtles, *Caretta caretta*. Anim. Behav. 76 (2008): 603-610.
- Pina C.I., M. Simoncini, P. Siroski and A. Larriera. Storage of *Caiman latirostris* (Crocodylia: Alligatoridae) eggs in harvest containers: Effects on hatchability. Aquaculture 271 (2007): 271-274.
- Ramsey M. and D. Crews. Review: Steroid signaling and temperature-dependent sex determination-Reviewing the evidence for early action of estrogen during ovarian determination in turtles. Semin. Cell Dev. Biol. 20 (2009): 283-292.
- Romanoff A.L. and A.J. Romanoff. The Avian Egg. New York: John Wiley & Sons Inc. 1949. 918.
- Sahoo G., R.K. Sahoo and P. Mohanty-Hejmadi. Calcium metabolism in olive ridley turtle eggs during embryonic development. Comp. Biochem. Physiol. A 121 (1998): 91-97.
- Sakai H., H. Ichihashi, H. Suganuma and R. Tatsukawa. Heavy metal monitoring in sea turtles using eggs. Mar. Polut. Bull. 30 (1995): 347-353.

- Solomon S.E. and T. Baird . Studies on the egg shell (Oviducal and Oviposited) of *Chelonia mydas* L. . J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 22 (1976): 15-16.
- South Sea Research Institute (SSRI) and Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI), Geoje, Korea. Biochemical Responses of Fish to Oil Spills and Other Marine Pollutants, 3-14 November 2008. 117.
- Stewart J.R. and M.B. Thompson. Review: Evolution of placentation among squamate reptiles: recent research and future directions. Comp. Biochem. Physiol. A 127 (2000): 411-431.
- Storelli M.M., A. Storelli, R.D. Addabbo, C. Marano, R. Bruno and G.O. Marcotrigiano. Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. Environ. Pollut. 135 (2005): 163-170.
- Swaileh, K.M. and R. Sansur. Monitoring urban heavy metal pollution using the House Sparrow (*Passer domesticus*). Environ. Monit. 8 (2006): 209-213.
- Thompson M.B., B.K. Speake, K.J. Russell, R.J. McCartney and P.F. Surai. Changes in fatty acid profiles and in protein, ion and energy contents of eggs of the Murray short-necked turtle, *Emydura macquarii* (Chelonia, Pleurodira) during development. Comp. Biochem. Physiol. A. 122 (1999): 75-84.
- Thompson M.B. and B.K. Speake. Review: Energy and nutrient utilization by embryonic reptiles. Comp. Biochem. Physiol. A 133 (2003): 529-538.
- Tryfonas A.E., J.K. Tucker, P.E. Brunkow, K.A. Johnson, H.S. Hussein, Z.Q. Lin. Metal accumulation in eggs of red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) in the Lower Illinois River. Chemosphere 63 (2006): 39-48.
- Wack C.L., S.F. Fox, E.C. Hellgren and M.B. Lovern. Effects of sex, age, and season on plasma steroids in free-ranging Texas horned lizards (*Phrynosoma cornutum*). Gen. Comp. Endocrin. 155 (2008): 589-596.
- Wallace B.P., P.R. Sotherland, P.S. Tomillo, S.S. Bouchard, R.D. Reina, J.R. Spotila and F.V. Paladino. Egg components, egg size, and hatchling size in leatherback turtles. Comp. Biochem. Physiol. A. 145 (2006): 524-532.
- Winkler J.D. Testing phylogenetic implications of eggshell characters in side-necked turtles (Testudines: Pleurodira). Zoology 109 (2006): 127-136.

- Van Meter R.J., J.R. Spotila and H.W. Avery. Polycyclic aromatic hydrocarbons affect survival and development of common snapping turtle (*Chelydra serpentina*) embryos and hatchlings. Environ. Pollut. 142 (2006): 466-475.
- Xiangkun H., S. Li, L. Meiyang, B. Huijun, H. Nainan and C. Qiusheng. Seasonal changes of sperm storage and correlative structures in male and female soft-shelled turtles, *Trionyx sinensis*. Anim.Reprod. Sci. 108 (2008): 435-445.
- You W.H. and P.C. Wang. Study on calcium and magnesium metabolism on embryonic development of *Chinemys reevesii*. Chinese J. Zool. 29 (1994a): 20-22.
- Zhu X.P., C.Q. Wei, W.H. Zhao, H.J. Du, Y.L. Chen and J.F. Gui. Effects of incubation temperatures on embryonic development in the Asian yellow pond turtle. Aquaculture 259 (2006): 243-248.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวสุรัสวดี นวมสุคนธ์
ที่อยู่	111 หมู่ที่ 11 ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนประจวบวิทยาลัย พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2550 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยานิพนธ์เรื่อง “ต้นแบบเปลือกไข่เต่าทะเลไทย : วิเคราะห์โครงสร้าง สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุเพื่อการอนุรักษ์”
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2549 ผู้ช่วยสอน ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นักวิทยาศาสตร์ สาขาชีววิทยา ศูนย์ปฏิบัติการกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

ผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. Nuamsukon S., T. Chuen-Im, P. Peng-Pan, S. Rattanayuvakorn and M. Areekijserree. (2008) Juvenile Sea Turtles Conservation: Analysis of Structure, Element of Eggshell, Microbiological Investigation. Challenge to Life Sciences: *Molecules and Cells*. The 9th International Congress on Cell Biology & The 20th Annual Conference of the Korean Society for Molecular Biology in conjunction with The 11th Annual Conference of Asia-Pacific International Molecular Biology Network October 7-10, 2008 COEX, Seoul, Korea.
2. Nuamsukon S., T. Chuen-Im, S. Rattanayuvakorn, K. Panishkan, N.A. Narkkong and M. Areekijserree. Thai Marine Turtle Eggshell: Morphology, Ultrastructure and Composition. Proceedings of the 26th MST Annual Conference 28-30 January 2009, Chiangmai, Thailand.

3. Nuamsukon S., T. Chuen-Im, S. Rattanayuvakorn, K. Panishkan, N.A. Narkkong and M. Areekijserree. Thai Marine Turtle Eggshell: Morphology, Ultrastructure and Composition. Journal of Microscopy Society of Thailand 23;1 (2009): 52-56.
4. Nuamsukon S., T. Chuen-Im, and M. Areekijserree. Model of Thai Marine Turtle Eggshell: Analysis of Structure, Morphology and Element for Conservation. 1-3 April 2009. Pattaya, Thailand.
5. Areekijserree M., S. Nuamsukon, T. Chuen-Im, N.A. Narkkong and K. Sribuddhachart. Microanalysis on Ultrastructure and Elemental Composition of Green Turtles (*Chelonia mydas*) Eggshells. Proceedings of the 27th MST Annual Conference, 20-22 January 2010, Samui, Thailand.
6. Nuamsukon S., T. Chuen-Im, and M. Areekijserree Ultrastructure and Elemental Composition in Post Hatching of Green Turtle, Hawksbill Turtle, and Leatherback Turtle Eggshells. 30 March -1 April 2010, Pattaya, Thailand.