

การสะสมของรังกะสีในปะการังเขากวางโดยใช้รังกะสี-65 เป็นเรดิโอเทรเซอร์



นายอนันท์ โคมณี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOACCUMULATION OF ZINC IN SCLERACTINIAN CORAL
USING ZINC-65 AS RADIOTRACER



Mr. Anan Omanee

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสะสมของสังกะสีในปะการังเขากวางโดยใช้สังกะสี-65
เป็นเรดิโอเทรเซอร์

โดย

นายอนันท์ โอมณี


สาขาวิชา

นิเวศวิทยาระบบนิเวศ


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

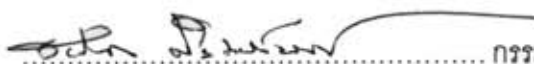

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนรินทร์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

นายอนันท์ โอมณี : การสะสมของสังกะสีในปะการังเขากวางโดยใช้สังกะสี-65 เป็น
เรดิโอเทรเซอร์.(BIOACCUMULATION OF ZINC IN SCLERACTINIAN CORAL
USING ZINC-65 AS RADIOTRACER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, 125 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการสะสมเชิงชีววิทยาของธาตุสังกะสีในปะการังเขากวาง (*Acropora formosa*) ภายใต้สภาวะควบคุมหลายเงื่อนไขในห้องปฏิบัติการและในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยการใช้สังกะสี-65 เป็นเรดิโอเทรเซอร์ การวิจัยนี้ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้คือ ประการแรก การสะสมสังกะสี-65 ของปะการังมีรูปแบบเป็นเชิงเส้น ความเข้มข้นสูงสุดและอัตราการสะสมต่อชั่วโมงของธาตุสังกะสีที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 400 (CFm) และ 4 เท่าของความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทะเลตามลำดับ การสะสมของธาตุสังกะสีในเนื้อเยื่อมีรูปแบบเหมือนกับในโครงสร้าง โดยมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงสุด และอัตราการสะสมประมาณ 47,700 และ 450 เท่าของความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทะเลตามลำดับ การรับธาตุสังกะสี-65 ออกจากโครงสร้างและเนื้อเยื่อในช่วงเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง มีรูปแบบเป็น Two-Component Exponential Model โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของสังกะสี-65 สำหรับการขับออกอย่างรวดเร็วประมาณ 1 ชั่วโมง และอย่างช้าประมาณ 200 และ 60 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพการคงอยู่ร้อยละประมาณ 54 และ 80 ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทะเลเกิน 500 นาโนโมลาร์ต่อลิตร อัตราการสะสมของธาตุสังกะสีลดลงทั้งในเนื้อเยื่อและในโครงสร้าง โดยทำที่สุดพบว่าเมื่อปะการังอยู่ในที่มีอัตราการสะสมของธาตุสังกะสีลดลงทั้งในเนื้อเยื่อและในโครงสร้าง เหลือเพียงร้อยละ 50 จากผลการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าปะการังเขากวางสะสมธาตุสังกะสีจากน้ำทะเลได้ดีและมีครึ่งชีวิตทางชีววิทยาที่ค่อนข้างยาว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ปะการังเขากวางเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เพื่อวัดและประเมินคุณภาพของน้ำทะเลในพื้นที่ที่มีแนวโน้มในการเกิดมลภาวะ

ภาควิชา.....นิเวศวิทยาทะเลในไทย.....
สาขาวิชา.....นิเวศวิทยาทะเลในไทย.....
ปีการศึกษา.....2553.....

ลายมือชื่อนิสิต.....อนันท์ โอมณี.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....นเรศร์ จันทน์ขาว.....

5070638321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : BIOACCUMULATION / Zinc/ *Acropora formosa* / Radiotracer

ANAN OMANEE : BIOACCUMULATION OF ZINC IN SCLERACTINIAN
CORAL USING ZINC-65 AS RADIOTRACER. ADVISOR :
ASSOC.PROF.NARES CHANKOW, 125 pp.

The objective of this research is to investigate bioaccumulation of zinc in Scleractinian Coral (*Acropora formosa*), in laboratory under various controlled conditions and in natural environment, using Zn-65 as the radiotracer. From this investigation, the following conclusions could be made. Firstly, The bioaccumulation of Zn-65 exhibited linear model. The maximum concentration factor (CF_m) at the end of the exposure period (96 hr) was approximately 400 times or the uptake rate of 4 CF.hr⁻¹. The accumulation of Zn in tissue was found to be in the same pattern as in skeleton with the maximum concentration and the uptake rate of approximately 47,700 (CF_m) and 450 CF.hr⁻¹. Loss kinetic of Zn-65 from skeleton and tissue followed over a 96-hr period exhibited a two-component exponential model with biological half-lives of the short components of about 1 hour and that of the long component of about 200 and 60 hours while the retention efficiency of Zn-65 were about 54 and 80 respectively. The uptake rates in both skeleton and tissue started to decrease when Zn concentration in sea water was above 500 nM per liter. Lastly, the accumulation rate in both skeleton and tissue decreased by 50 % when the coral was grown in the dark. From the above results, it could be concluded that the Scleractinian Coral could efficiently accumulate Zn in both skeleton and tissue and remained with a relatively long half-lives. It is, therefore, possible to use the Scleractinian Coral as a bioindicator for measurement and evaluation of sea water quality in potential polluted areas.

Department : Nuclear Technology Student's Signature Anan Omanee
Field of Study : Nuclear Technology Advisor's Signature Nares Chanka
Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งได้รับการแก้ไขข้อบกพร่องจาก รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ และรองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณชนินชฎา ศรีสุขสวัสดิ์ ผู้เชี่ยวชาญด้าน วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ผู้ซึ่งดูแลและ สนับสนุนตลอดการวิจัย ให้คำปรึกษา แนะนำทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ รวมทั้งการตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคุณบุญสม พรเทพเกษมสันต์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือ ให้ คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มีโครงการร่วมผลิต บุคลากรทางด้านนิวเคลียร์ และได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านจากภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ที่ถ่ายทอด ความรู้และคำปรึกษาในด้านต่างๆ แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยีนิวเคลียร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่อการเรียนมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเลและป่า ชายเลน จังหวัดภูเก็ต ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ตลอดจนตัวอย่างสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณ คุณนิพนธ์ พงศ์สุวรรณ นักวิชาการประมงชำนาญการพิเศษ รวมทั้งเจ้าหน้าที่สถาบันฯ ทุกท่านที่ ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจใน การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และสนับสนุนด้านการศึกษาโดยตลอด ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และ ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี.....	7
2.1.1 หลักการ.....	7
2.1.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี.....	8
2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี.....	9
2.2 การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High purity germanium detector, HPGe).....	11
2.2.1 หลักการวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe.....	11
2.2.2 ระบบการวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมา.....	12
2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี.....	14
2.2.4 การหาค่าประสิทธิภาพการวัด.....	15
2.2.5 การคำนวณค่ามัมตภาพรังสี.....	15

2.3	การออกแบบการทดลองระบบนิเวศน์ทางทะเลด้วยเทคนิคตัวติดตามทางรังสี...	16
2.3.1	ผู้ทดลองสารกัมมันตรังสี.....	16
2.3.2	สารกัมมันตรังสี.....	17
2.3.3	การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสี.....	17
2.3.4	การทดลองระบบนิเวศน์ที่มีความซับซ้อน (Mesocosm).....	17
2.3.5	แนวปฏิบัติทั่วไปสำหรับออกแบบการทดลองนิเวศวิทยาทางทะเล..	18
2.4	กลไกและแบบจำลองการสะสมโลหะหนักของสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลัง.....	18
2.5	ธาตุสังกะสี (Zinc)	21
2.5.1	คุณสมบัติของสังกะสี (Properties of zinc).....	21
2.5.2	การใช้ประโยชน์ของสังกะสี (Use of zinc).....	22
2.5.3	ผลของสังกะสีในสิ่งมีชีวิต (Biological effects of zinc on organisms)	23
2.5.4	การแพร่กระจายและปริมาณสังกะสีในธรรมชาติ.....	24
2.5.5	ไอโซโทปของสังกะสี.....	26
2.5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสังกะสีกับปะการัง.....	28
2.6	ปะการัง.....	29
2.6.1	ลักษณะทางชีววิทยาของปะการัง.....	30
2.6.2	ปะการังเขากวาง.....	32
2.6.3	ปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของปะการัง.....	34
2.6.4	การสืบพันธุ์ของปะการัง.....	34
2.6.5	ประโยชน์ของแนวปะการัง.....	34
2.7	การใช้ประโยชน์ปะการังเพื่อการตรวจติดตามสภาวะแวดล้อม.....	35
2.8	ความเหมาะสมในการเป็นดัชนีทางชีวภาพของปะการัง.....	36
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและวิธีดำเนินการวิจัย.....		37
3.1	การเก็บตัวอย่างและเตรียมการวิจัย.....	37
3.1.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	37
3.1.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.2	เงื่อนไขการวิจัย.....	40

3.3	การดำเนินการวิจัย.....	41
3.3.1	การรับและขับสังกะสี-65 ในตัวอย่างปะการัง.....	41
3.3.2	อิทธิพลของสังกะสีในน้ำทะเลที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	42
3.3.3	อิทธิพลของแสงต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	44
3.3.4	การสกัดเนื้อเยื่อปะการัง.....	44
3.3.5	การเตรียมตัวอย่างกัมมันตรังสีมาตรฐาน.....	45
3.3.6	การวัดปริมาณรังสีในตัวอย่างปะการัง.....	46
3.4	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
3.4.1	การรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในปะการัง.....	49
3.4.2	การขับสังกะสี-65 ออกจากปะการัง.....	50
3.5	วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในเนื้อเยื่อปะการัง ด้วยวิธี Microtiter plates โดยวิธีของ Bradford.....	51
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....		57
4.1	ผลการตรวจวัดคุณภาพของน้ำทะเลที่ใช้ในการวิจัย.....	57
4.2	การรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในตัวปะการัง.....	58
4.3	การขับสังกะสี-65 ออกจากปะการัง.....	60
4.4	อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	62
4.5	อิทธิพลของแสงต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	64
4.6	การรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในเนื้อเยื่อปะการัง.....	65
4.7	การขับสังกะสี-65 ออกจากเนื้อเยื่อปะการัง.....	68
4.8	อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 เข้าสู่เนื้อเยื่อปะการัง.....	71
4.9	อิทธิพลของแสงต่อการรับสังกะสี-65 เข้าสู่เนื้อเยื่อปะการัง.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....		73
5.1	สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	73

5.1.1	การรับและขับออกของสังกะสี-65 ในปะการัง.....	73
5.1.2	อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง.....	76
5.1.3	อิทธิพลของแสงต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง.....	77
5.1.4	สรุปผลการวิจัย.....	78
5.1.5	การใช้ประโยชน์จากการวิจัย.....	79
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	80
	รายการอ้างอิง.....	83
	ภาคผนวก.....	89
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสังกะสี.....	22
2.2	แสดงไอโซโทปที่น่าสนใจของสังกะสี.....	27
2.3	แสดงค่าการสลายตัวของสังกะสี-65.....	28
4.1	ผลการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย.....	57
4.2	ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการ ทดลองการรับสังกะสี -65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	58
4.3	ค่าพารามิเตอร์ของการสะสมสังกะสี-65 ของปะการังทั้งโคโลนี.....	59
4.4	ร้อยละของสังกะสี-65 ที่เหลือสะสมในตัวปะการังจากการทดลองการขับ สังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	61
4.5	ค่าพารามิเตอร์ของการขับสังกะสี-65 ของปะการังทั้งโคโลนี.....	63
4.6	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g protein) ในเนื้อเยื่อปะการัง จากการสะสมสังกะสี-65 เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.....	66
4.7	ค่าพารามิเตอร์ของการสะสมสังกะสี-65 ในเนื้อเยื่อของปะการังทั้งโคโลนี.....	67
4.8	ร้อยละของสังกะสี-65 ที่เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองการขับ สังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	68
4.9	ค่าพารามิเตอร์ของการขับสังกะสี-65 ของเนื้อเยื่อปะการัง.....	70
ตารางผนวกที่		
1	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในตัวปะการังจากการทดลอง การรับสังกะสี -65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	91
2	ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการทดลองการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ของปะการังเป็น ระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	94
3	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 (Bq/g) ที่เหลือสะสมในตัวปะการังจาก การทดลองการขับออกของสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	94

ตารางผนวกที่	หน้า	
4	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในตัวปะการังจากการทดลอง ผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	95
5	ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการทดลองผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการ รับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	96
6	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการทดลอง อิทธิพลของแสงต่อการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ของปะการัง.....	96
7	ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการทดลองอิทธิพลของแสงต่อการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ของปะการัง.....	97
8	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีนที่สะสมในตัว ปะการังจากการทดลองการรับสังกะสี -65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	98
9	ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein) ในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองการรับสังกะสี -65 เป็น ระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	100
10	ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการทดลองการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ในเนื้อเยื่อปะการัง เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	101
11	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein) ที่ เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองการขับออกของสังกะสี-65 เป็น ระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	101
12	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g. protein) ที่เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองการขับออก ของสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง.....	102
13	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g. protein) ที่ สะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการ รับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	102
14	ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein) ที่สะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองผลของความ เข้มข้นของสังกะสีต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง.....	104

ตารางผนวกที่		หน้า
15	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g. protein) ที่สะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองอิทธิพลของแสงต่อการรับเข้าสังกะสี-65 ของปะการัง.....	105
16	ขีดจำกัดของการวัด (Lower Limit of Detection : LLD) ของตัวอย่าง.....	105
17	ประสิทธิภาพการตรวจวัด (Efficiency) ของตัวอย่าง.....	106



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างการใช้เทคนิคตัวติดตามทางรังสีเพื่อศึกษาพลวัตน์ของระบบ.....	8
2.2	ภาคตัดขวางของหัววัดรังสีแบบ Coaxial HPGe.....	11
2.3	การเกิดไอออนไนเซชัน และกลไกการเกิดคู่อิออนของผลึกเจอมาเนียม.....	12
2.4	ระบบอุปกรณ์การวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมา	14
2.5	กลไกการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต.....	20
2.6	ทางผ่านการได้รับโลหะหนักของสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังและปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสะสมโลหะหนัก.....	21
2.7	โครงสร้างภายในปะการัง.....	31
2.8	ปะการังเขากวาง.....	32
2.9	ปะการังเขากวางก้านยาว (<i>Acropora formosa</i>).....	33
3.1	การเลี้ยงปะการังภายใต้แสงธรรมชาติ.....	39
3.2	ปะการังเขากวาง <i>Acropora Formosa</i> ที่ใช้ในการวิจัย.....	39
3.3	การคัดขนาดปะการัง.....	39
3.4	ขนาดปะการังเพื่อการวิจัย.....	40
3.5	แสดงสภาวะเงื่อนไขการวิจัย.....	40
3.6	การวิจัยการรับรังสี-65 เข้าสะสมในปะการัง.....	41
3.7	สภาวะทดลองการขับรังสี-65 ออกของปะการัง.....	42
3.8	การทดลองอิทธิพลของรังสีในน้ำทะเลที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับรังสี-65 ของปะการัง.....	43
3.9	การสกัดเนื้อเยื่อปะการัง.....	45
3.10	น้ำทะเลกัมมันตรังสีมาตรฐาน.....	45
3.11	ปะการังกัมมันตรังสีมาตรฐาน.....	46
3.12	ระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดชนิด HPGe.....	47
3.13	แผ่นทำปฏิกิริยา ชนิด 96 หลุม (96-well microplates).....	53

ภาพที่	หน้า	
3.14	แสดงการปิเปต standard, แบลงค์ (น้ำกลั่น) และ ตัวอย่าง ปริมาตร 10 µl ลงในแผ่นทำปฏิกิริยา ฯ.....	53
3.15	แสดงไดอะแกรมการปิเปต standard, แบลงค์ (น้ำกลั่น) และ ตัวอย่าง ปริมาตร 10 µl ลง ในแผ่นทำปฏิกิริยา ฯ.....	54
3.16	แสดงการปิเปต dye reagent ปริมาตร 200 µl ลงในแผ่นทำปฏิกิริยาฯ.....	54
3.17	ตัวอย่างรอกการวิเคราะห์.....	55
3.18	แสดงการนำตัวอย่างเข้าเครื่อง Microplate Reader.....	55
3.19	แสดงการนำตัวอย่างเข้าเครื่อง Microplate Reader.....	56
4.1	รูปแบบการสะสมสังกะสี-65 ในตัวปะการังที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง.....	60
4.2	ร้อยละของสังกะสี-65 ที่คงเหลือสะสมจากการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกจาก ปะการัง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.....	62
4.3	อัตราการรับสังกะสี-65 ของปะการังที่ความเข้มข้นของสังกะสีระดับต่างๆ.....	64
4.4	อัตราการรับสังกะสี-65 ของปะการังภายใต้สภาวะให้แสงกับไม่ให้แสง.....	65
4.5	รูปแบบการสะสมสังกะสี-65 ในเนื้อเยื่อปะการังที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง..	67
4.6	ร้อยละของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน ที่คงเหลือสะสมจากการขับสังกะสี ออกจากเนื้อเยื่อปะการัง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง.....	69
4.7	อัตราการรับสังกะสี-65 ของเนื้อเยื่อปะการังที่ความเข้มข้นของสังกะสีระดับ ต่างๆ.....	71
4.8	อัตราการรับสังกะสี-65 ของเนื้อเยื่อปะการังภายใต้สภาวะให้แสงกับไม่ให้แสง..	72
 ภาพผนวกที่		
1	ใบรับรองค่ากัมมันตภาพของสารละลายกัมมันตรังสีมาตรฐาน.....	110
2	ใบรับรองผลการทดสอบสังกะสีในตัวอย่างปะการังและน้ำทะเลโดยวิธี ICPMS.....	112

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะความปนเปื้อนของมลพิษในทะเลหรือมหาสมุทร เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ บนชายฝั่งและในทะเล เช่น เกษตรกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง อุตสาหกรรม การขุดเจาะ น้ำมันและก๊าซธรรมชาติในทะเล ล้วนเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยเฉพาะการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมทำให้มีการนำโลหะหนักมาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้น ซึ่งหากไม่มีการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียและมาตรการกำกับควบคุมที่ดีพอแล้ว โลหะหนักเหล่านี้อาจแพร่ออกสู่สิ่งแวดล้อม ที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง หรือกากอุตสาหกรรม และถูกชะล้างพัดพาลงสู่ทะเลในที่สุด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว

โลหะหนักมีศักยภาพสูงในการเกิดพิษ โดยทั่วไปพบโลหะหนักปรากฏอยู่ในระบบนิเวศ (ดิน น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิต) ในระดับความเข้มข้นต่ำ ซึ่งหากโลหะหนักมีความเข้มข้นเกินกว่าระดับปกติที่มีอยู่ในธรรมชาติแม้แต่เพียงเล็กน้อยแล้ว ก็จะสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาพทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในแง่ต่างๆ

ปะการัง (coral) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กประเภทหนึ่งที่แตกต่างจากสิ่งมีชีวิตประเภทอื่นๆ ได้ที่ท้องทะเล มีโครงสร้างเป็นหินปูนห่อหุ้มตัวอันอ่อนนุ่มของปะการังไว้เป็นชั้นนอก ซึ่งโครงสร้างหินปูนนี้เกิดจากชีวิตเล็กๆ ของปะการังได้สร้างขึ้นเป็นรูปทรงต่างๆ มีทั้งเป็นแผ่น เป็นก้อน หรือมีกิ่งก้าน และแผ่ขยายออกไปเรื่อยๆ จนกลายเป็นแนวปะการังอยู่ใต้ท้องทะเล

แนวปะการังเป็นระบบนิเวศที่มีความซับซ้อนและเปราะบาง มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงที่สุดในทะเล มีกลุ่มของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์อาศัยอยู่ร่วมกันเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ แนวปะการังยังทำให้น้ำทะเลมีความสมดุลทางเคมีและอยู่ในสภาพที่ดี ไม่เพียงแต่ในเชิงนิเวศวิทยาและการประมงแล้วยังมีคุณค่าด้านการท่องเที่ยวด้วยส่งผลให้เกิดกิจกรรมต่างๆ ที่ตามมากับการพัฒนาการท่องเที่ยวมากมาย

การเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วและการเร่งรัดการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรเป็นจำนวนมากพร้อมๆ กัน ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง หรือการใช้ทรัพยากรทางทะเลเพื่อการท่องเที่ยว ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหามลพิษของน้ำชายฝั่ง ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพน้ำและทัศนียภาพของการเป็นแหล่งท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลโดยเฉพาะแนวปะการังซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณชายฝั่งเพียง 200 เมตร ซึ่งปะการังเป็นสัตว์ที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและเจริญเติบโตช้า ดังนั้นเมื่อเกิดความเสื่อมโทรมจะใช้เวลานานในการฟื้นคืนสู่สภาพเดิม แนวปะการังจึงได้รับการคุ้มครองเป็นเขตรักษาพันธุ์สัตว์น้ำตามพระราชบัญญัติการประมง พ.ศ.2490[1] และเนื่องจากปะการังมีความอ่อนไหวและเห็นผลชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ดำรงชีวิต การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสรีระวิทยาของปะการัง โดยเฉพาะปะการัง มีอุปนิสัยในการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่เสถียรมากๆ ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุในน้ำทะเลก็จะส่งผลต่อการดำรงชีวิตของปะการังได้

สังกะสี เป็นโลหะทรานซิชัน มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์ มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่ของโปรตีนและเอ็นไซม์หลายชนิด โดยถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับเอ็นไซม์มากกว่า 300 ชนิด [2] นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการควบคุมลักษณะของยีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่าน Transcription factors หรือ zinc-finger proteins การมีสุขภาพที่ดี (Vitality) หรือการรอดชีวิต (Mortality) ของปะการังซึ่งเป็นที่ยอมรับในหมู่นักวิจัยว่าเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสุขภาพ (Health) ของปะการัง อาจสามารถวัดได้โดยดูจากความสามารถของปะการังในการรับเอาธาตุอาหารที่จำเป็นเข้าไปในร่างกาย การที่ปะการังไม่สามารถสกัดโลหะซึ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เช่นสังกะสี (Zn) จากน้ำทะเลได้ ทำให้ไม่สามารถผลิตเอ็นไซม์ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการสร้างแนวซีเมนต์ได้ ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีโลหะชนิดนั้นๆ ละลายอยู่ในน้ำทะเลน้อยเกินไปหรือมากเกินไป แนวคิดนี้จะถูกนำมาใช้ในการติดตามตรวจสอบสุขภาพของปะการัง โดยการทดสอบความสามารถในการสกัด ดูดจับ ธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต (essential element) จากน้ำทะเลของปะการัง

ในการวิจัยนี้จะใช้เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี หรือเทคนิคตามรอยรังสี (Radiotracer Technique) ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายเพื่อศึกษาศักยภาพของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในระบบนิเวศน์ทางทะเล เช่น ปลา หอย สาหร่ายทะเล เพื่อศึกษาสภาวะความปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งที่เกิดจากการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โรงงานนิวเคลียร์ ตลอดจนสามารถบ่งชี้ถึงความปนเปื้อนของสภาวะแวดล้อม อันเนื่องมาจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์หรือการระบายทิ้งกากกัมมันตรังสีลงสู่ท้องทะเล[3] การนำเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี มาใช้ในการวิจัยนี้จะทำให้ได้ข้อมูลด้านอัตราความเร็ว (kinetics) ซึ่งจำเป็นในการประเมินความว่องไวของเมตาบอลิซึมของปะการังในการรับเอาธาตุอาหารที่จำเป็นเข้าไปในร่างกายซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ การนำเอาเทคนิคเชิงนิวเคลียร์โดยอาศัยไอโซโทปรังสีของโลหะหนักที่จะศึกษาแทนการใช้ธาตุเสถียร ปริมาณของไอโซโทปที่จะเติมในระบบจะมีค่าความเข้มข้นรังสีไม่เกิน 30 kBq/L ทำให้สามารถจำลองสภาพการทดลองให้เข้าใกล้สภาพธรรมชาติได้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาความสามารถของการสะสมสังกะสีในปะการังเขากวาง (*Acropora Formosa*) จากสังกะสีในรูปสารละลายโดยใช้สภาพจำลองตามธรรมชาติในห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคเรดิโอเทรเซอร์
2. เพื่อศึกษาการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆของปะการังเขากวางได้แก่ในโครงหินปูนและเนื้อเยื่อปะการังกับสาหร่ายที่ฝังตัวอยู่

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำทะเลและปะการังเขากวาง จากบริเวณเกาะภูเก็ตที่ระดับความลึกของแนวปะการังเขากวาง โดยวิธี ICP/MS
2. ศึกษาความสามารถของการสะสมสังกะสีในปะการังเขากวาง จากสังกะสีในรูปสารละลายโดยใช้สภาพจำลองตามธรรมชาติในห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคเรดิโอเทรเซอร์

3. ศึกษาการสะสมสังกะสีในส่วนต่างๆ ของปะการังเขากวาง ได้แก่ในโครงหินปูนและเนื้อเยื่อปะการังกับสาหร่ายที่ฝังตัวอยู่

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบระบบเลี้ยงปะการัง เพื่อใช้ทดลองกับสารรังสี (hot aquarium) โดยจัดให้มีสภาพใกล้เคียงสภาพธรรมชาติมากที่สุด
3. ดำเนินการเก็บตัวอย่างปะการัง โดยคัดเลือกชนิดปะการังเขากวาง (*Acropora fomofa*)
4. ดำเนินการวิจัย
5. สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะหรือธาตุอาหารอื่น ๆ ในน้ำทะเลต่อคุณภาพและสุขภาพของปะการัง รวมทั้งผลอันเนื่องมาจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์หรือการระบายทิ้งกากกัมมันตรังสี

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. EPA 1998 guidance document on Development of Biological Criteria for Coral Reef Ecosystem Assessment โดย Jameson SC และคณะ[4] กำหนดดัชนีชี้วัด (indicator) ในการประเมินระบบนิเวศของปะการังไว้ 2 จำพวก คือ 1) กลุ่มปะการังที่สร้างแนวได้ (Scleractinian Coral Bioindicators (true stony corals)) และ 2) กลุ่มสิ่งมีชีวิตอื่น (Non-coral Bioindicators) หนึ่งในดรรชนีบ่งชี้ในกลุ่มปะการังที่สร้างแนวได้ (Scleractinian Coral Bioindicators) คือการทดสอบการสะสมของโลหะและฟอสฟอรัส (Bioaccumulation of metals and phosphorus) ในโครงร่าง (skeleton) ของปะการัง ซึ่งผลการศึกษาของ Hanna and Muir (1990)[5] พบว่าปะการังต่างชนิดกันมีความสามารถในการรับโลหะหนักได้ไม่

เท่ากันแม้อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน จากผลการทดลองนี้จะเป็นไปได้ว่าปะการังชนิดเดียวกัน ก็จะมีความสามารถในการรับโลหะหนัก ไม่เท่ากันถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

2. Boisson F. และคณะ (2004) [6] ศึกษาพฤติกรรมการรับเอาสังกะสี ของปะการังที่สร้างแนวได้ (scleractinian coral) ชนิด *Stylophora pistillata* ศึกษาการสะสม (uptake) และพฤติกรรม (behaviour) ของ สังกะสี ใน *Stylophora pistillata* โดยเทคนิคตัวติดตามรังสี พบว่าปะการังรับสังกะสีเข้าสู่ร่างกายโดยตรงโดยไม่ผ่านกระบวนการขนส่ง (transport process) พบว่าสังกะสีเกือบทั้งหมดสะสมในเนื้อเยื่อปะการัง (coral tissues) มีเพียง 3-17 % ที่สะสมในโครงร่าง (skeleton) และ สาหร่ายซูซันเทลลี (Zooxanthalle) มีบทบาทสำคัญในการสกัดสังกะสีของปะการัง เมื่อวัดความสามารถในการสังเคราะห์แสง พบว่าการเพิ่มปริมาณของสังกะสี ในสภาพแวดล้อมจะช่วยเร่งความสามารถในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในตัวปะการังผ่านทางกระบวนการเร่งกิจกรรมของการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในตัวปะการัง ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มความสามารถในการสร้างแนวหินปูนของปะการัง

3. Ferrier-Pages C. และคณะ (2005) [2] ศึกษาการสะสมโลหะสังกะสีในปะการังที่สร้างแนวได้ (scleractinian coral) ชนิด *Stylophora pistillata* พบว่าสังกะสีเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับปะการัง ทั้งในด้านการสังเคราะห์แสงและการเสริมโครงสร้าง จากผลงานศาสตร์การรับเข้าของสังกะสีในเนื้อเยื่อปะการัง *S. pistillata* พบว่ามีสองลักษณะคือ ที่ความเข้มข้นสูงจะเป็นลักษณะการแพร่กระจายเข้าโดยตรง (linear component) แต่ที่ความเข้มข้นต่ำจะอยู่ในลักษณะการใช้ตัวกลางเป็นตัวพา (active carrier-mediated component) สำหรับค่า affinity ของตัวพานั้นมีค่าน้อยมาก ($K_m=28 \text{ pmol/l}$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ปะการังปรับตัวได้ดีในน้ำทะเลที่มีระดับสังกะสีต่ำ ในส่วนของการสะสมสังกะสีในโครงสร้างปะการัง พบเป็นเส้นตรง ทั้งนี้ระดับดังกล่าวขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้เพาะเลี้ยงปะการังและค่าความเข้มข้นของสังกะสีละลาย (dissolved zinc) นอกจากนี้ยังพบว่าแสงมีส่วนในการกระตุ้นการรับเข้าสังกะสี สันนิษฐานว่า เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซันเทลลี (Zooxanthalle) ในกรณีที่เติมสังกะสี 10 นาโนโมลาร์ ลงในน้ำทะเลที่ใช้เพาะเลี้ยงปะการัง พบว่าทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของ *S. pistillata* เพิ่มขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า ปะการังที่อาศัยในเขตทะเลที่มีปริมาณธาตุอาหารน้อย (oligotrophic) อาจจะมีธาตุอาหารที่เป็นโลหะ เช่นสังกะสีในปริมาณจำกัด

4. Alain Geffard และคณะ (2002)[7] ศึกษาความสามารถในการสกัด และสะสมโลหะ แคดเมียม ทองแดง และ สังกะสี จากตะกอนที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักของตัวอ่อนของ *Mytilus galloprovincialis* พบว่าตัวอ่อนสามารถสกัดและสะสมโลหะทั้งสามชนิดได้ดี เมื่อวัดปริมาณ metallothionene พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณของโลหะทั้งสามชนิด

5. นิคม ประเสริฐเขียวชาญ (2551)[8] ศึกษาการสะสมและการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสี ปรอท-203 ซีเซียม-134 สทรอนเชียม-85 สังกะสี-65 โคบอลต์-57 และ โครเมียม-51 ใน หอยแครง (*Anadara granosa*) ด้วยเทคนิคตัวติดตามรังสี ในสภาพจำลองธรรมชาติในห้องปฏิบัติการ พบว่า หอยแครงมีการรับและสะสมปรอท สังกะสี โคบอลต์ และ โครเมียม ได้ดี และเป็นระยะเวลาสั้น มีรูปแบบเป็น one- component first- order kinetic model แต่ไม่พบการสะสมของสทรอนเชียม และซีเซียม การกระจายตัวของธาตุพบว่า โครเมียมและโคบอลต์มีการสะสมมากที่สุด ส่วนปรอทสะสมที่อวัยวะทั้งตัวเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่สังกะสีมีการสะสมที่เปลือกและเนื้อใกล้เคียงกัน ในส่วนของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีพบว่า โคบอลต์ ปรอทและ สังกะสี มีการขับออกอย่างรวดเร็วและมีรูปแบบเป็น two -component exponential model โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีอย่างรวดเร็วเท่ากับ 5.8 , 5.1 และ 8 วัน ในขณะที่อย่างช้าเท่ากับ 124.6 , 99.2 และ 118.8 วัน ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการคงอยู่ ร้อยละ 76.1, 87.7 และ 16.6 ตามลำดับ ส่วนรูปแบบการขับโครเมียมเป็นแบบเป็น one -component exponential model มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสี ออกเท่ากับ 15 วัน

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี (Radiotracer technique)

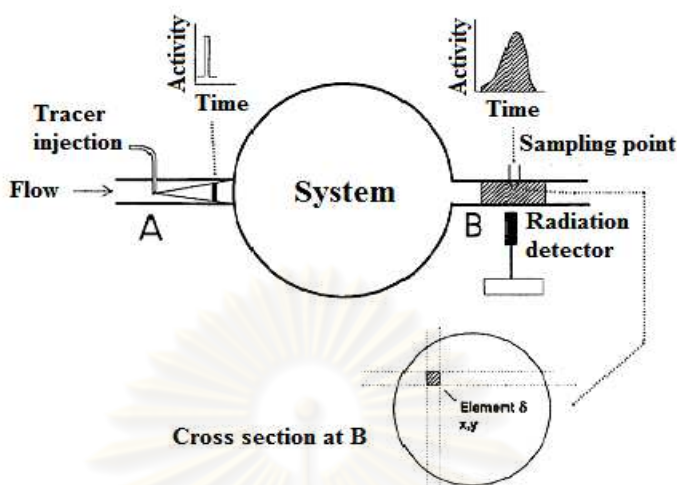
2.1.1 หลักการ

เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี หรือเทคนิคตามรอยรังสี คือการใช้สารไอโซโทปหรือสารกัมมันตรังสีปริมาณน้อยสำหรับค้นคว้าวิจัยสารพิษในแง่ความเป็นไปต่างๆ หรือกระบวนการทางชีวภาพ เคมี หรือกระบวนการอื่นๆ โดยติดตามการเคลื่อนที่ของสารกัมมันตรังสีในกระบวนการนั้น เป็นเทคนิคทางนิวเคลียร์ที่มีประสิทธิภาพและมีการประยุกต์ใช้ในหลายสาขา ได้แก่ เคมี ชีววิทยา การเกษตร การแพทย์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและทางอุตสาหกรรม โดยหลักการพื้นฐานของเทคนิคนี้ประกอบด้วย

2.1.1.1 การเติมสารละลายกัมมันตรังสีที่ทราบปริมาณซึ่งอาจอยู่ในรูปที่เหมาะสมของไอออนในสารละลายหรือในรูปการติดฉลากด้วยนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสารประกอบ (radioactive-labeled compound) ในระบบที่ต้องการศึกษาในเชิงพลวัต (dynamic)

2.1.1.2 การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีตามรอยที่เคลื่อนย้ายในระบบ โดยอาจสัมพันธ์กับเวลา ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ หรือตำแหน่งการเคลื่อนย้ายของสารกัมมันตรังสีตามรอย ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1 ซึ่งการตรวจวัดสามารถทำได้ ณ พื้นที่หรือเก็บตัวอย่างมาตรวจวัดรังสีในห้องปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้เทคนิคตัวติดตามทางรังสีเพื่อศึกษาพลวัตน์ของระบบโดยเติมสารตามรอยรังสีที่ตำแหน่ง A และตรวจวัดที่ตำแหน่ง B

ที่มา : Kolbe (2007)[10]

2.1.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี

เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสีหรือเทคนิคตามรอยรังสี ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การนำนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามรอยเข้าสู่ระบบโดยใช้วิธีติดฉลาก เช่น การใช้ เทคนิคเซียม-99m (^{99m}Tc) ในรูปสารเภสัชรังสี ^{99m}Tc -DTPA ฉีดเข้าในร่างกายผู้ป่วยเพื่อวินิจฉัยพยาธิสภาพของตับ หรือจะนำนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามรอยผสมเข้ากับองค์ประกอบของระบบโดยตรง เช่น การฉีด Na^{131}I เข้าไปผสมกับของเหลวภายในท่อในงานบำรุงรักษาท่อส่งของเหลวในโรงงานอุตสาหกรรม [9]

ด้านงานปศุสัตว์และการเกษตรมีการนำเทคนิคตัวติดตามทางรังสีมาประยุกต์เพื่อค้นคว้าวิจัยสารพิษในแง่ความเป็นไปต่างๆ หรือกระบวนการทางชีวภาพ เคมี หรือกระบวนการอื่นๆ โดยติดตามการเคลื่อนที่ของสารกัมมันตรังสีในกระบวนการนั้น เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทาง Kinetics เช่น การสะสม การเคลื่อนย้าย หรือผลของการตกค้างในร่างกายโดยส่วนใหญ่จะมุ่งไปที่สารเคมีที่ใช้งานปศุสัตว์และการเกษตรเพื่อควบคุมประสิทธิภาพที่อาศัยอยู่ภายนอกร่างกายหรือทำลายพาหะเพื่อตัดวงจรชีวิตของเชื้อ เช่น การใช้ยาฆ่าแมลงกำจัดเห็บ การใช้ยาฆ่าหอยเพื่อทำลาย

ระยะตัวอ่อนของพยาธิที่มีหอยน้ำจืดเป็นพาหะ ดังนั้นเพื่อให้มีความปลอดภัยเมื่อมีการใช้สารเหล่านี้ก็ต้องมีการศึกษาว่ามีสารดังกล่าวตกค้างในสัตว์เลี้ยงในระดับที่จะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือไม่ สารเคมีนั้นตกค้างอยู่ในอวัยวะส่วนใดหรือถูกขับออกจากร่างกายทางใดบ้าง และหลังจากได้รับสารก็วันจึงควรนำผลิตภัณฑ์ไปใช้เพื่อการบริโภค เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายรวดเร็วให้ความละเอียดถูกต้องและความไวในการตรวจวิเคราะห์ที่ต้องการความแม่นยำสูงโดยอาศัยหลักการตรวจนับไอโซโทปรังสีที่ตกค้าง ของสารไอโซโทปที่ติดฉลากกับสารที่ต้องการตรวจนั้นในอวัยวะหรือสิ่งคัดหลั่งต่างๆ ตัวอย่างเช่น การศึกษาการตกค้าง Lindane ซึ่งเป็น pesticides ที่ใช้กับเปิดไก่เพื่อตรวจดูการตกค้างในกล้ามเนื้อสมองและไข้แดง การตรวจดูการตกค้างและการเปลี่ยนแปลงในร่างกายและน้ำนมของสารกำจัดเห็บ Coumaphos สารไอโซโทปที่นิยมใช้คือคาร์บอน-14 และตรีเทียม [11]

นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการสะสมมลสารของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในระบบนิเวศของทะเล เช่น ปลาทะเล หอยทะเล หรือสาหร่ายทะเล เพื่อประเมินความสามารถของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ ในการเป็นดัชนีบ่งชี้ชีวภาพของการปนเปื้อนมลสารในสิ่งแวดล้อมชายฝั่งทะเล[3,12,13]

การศึกษาระบบด้วยเทคนิคตามรอยรังสี อาจใช้ไอโซโทปรังสีที่ต้องผลิตขึ้นมา (artificial radionuclides) ได้แก่ โคบอลต์-57, โครเมียม-51และแคดเมียม-109 เป็นต้น หรืออาจใช้ไอโซโทปรังสีที่มีในธรรมชาติ (natural radionuclides) ได้แก่ คาร์บอน-13 ออกซิเจน-18 และไนโตรเจน-15 เป็นต้น

2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี

แม้ว่าเทคนิคตัวติดตามทางรังสีจะมีประโยชน์และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายสาขา อย่างไรก็ตาม เทคนิคตัวติดตามทางรังสีย่อมมีทั้งข้อดีและข้อเสียเช่นเดียวกับเทคนิคอื่นๆ [14,10] กล่าวคือ

2.1.3.1 ข้อดี

ก. การตรวจวัดไม่ส่งผลกระทบต่อระบบที่ศึกษาซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีอย่างมากของเทคนิคนี้ ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการใช้สารติดตามชนิดอื่น

ข. สามารถศึกษาระบบในเชิงพลวัต (dynamic) ในสถานะคงตัว (steady state) หรือในสภาวะสมดุลได้

ค. สามารถศึกษาการเคลื่อนที่และปรากฏการณ์แลกเปลี่ยนของธาตุซึ่งจะทำให้ทราบข้อมูลด้านสถานะภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของธาตุที่เคลื่อนย้ายในระบบ

ง. ไม่ทำให้สถานะภาพของสถานะคงตัวเสียไป ซึ่งแตกต่างจากการใช้ stable isotopic tracer นั่นคือ เมื่อต้องการตรวจวัด ต้องนำตัวอย่างบางส่วนออกจากระบบมาตรวจวัด ซึ่งเป็นการรบกวนสถานะภาพคงตัว

จ. ใช้สารติดตามปริมาณน้อยมากได้ นั่นคือ สามารถดำเนินการทดลองกับระบบที่เกี่ยวข้องกับงานศึกษาทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศด้วยการใช้สารติดตามในปริมาณไม่เกินระดับที่มีในธรรมชาติ ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบที่ศึกษา

ข. มีขั้นตอนดำเนินการไม่ซับซ้อนและข้อมูลที่ได้เข้าใจง่าย

ค. การตรวจวัดสะดวก รวดเร็วและไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

ช. สามารถทดลองในภาคสนามได้

ซ. มีความไวต่อการตรวจวัดดี

2.1.3.2 ข้อเสีย

ก. สารติดตามรังสีแม้ว่าจะใช้ในปริมาณน้อยแต่มีราคาแพง

ข. ต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในการปฏิบัติงานกับสารกัมมันตรังสี

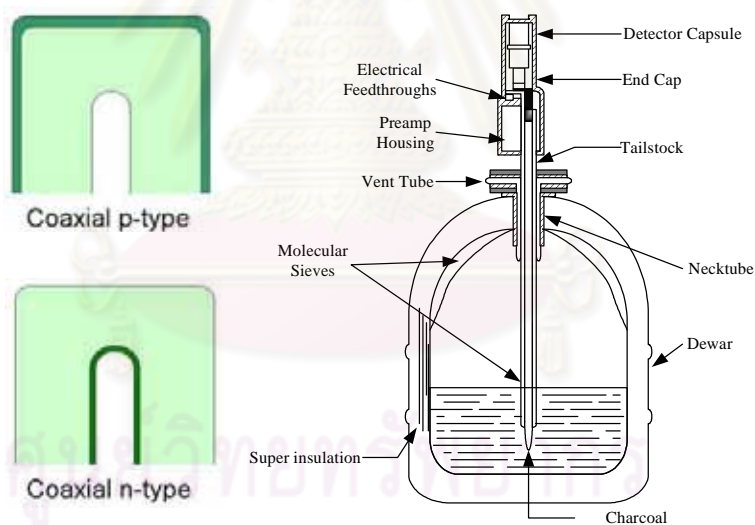
ค. ต้องได้รับใบอนุญาตครอบครองและใช้สารกัมมันตรังสี

ง. เก็บไว้ใช้ในระยะเวลาไม่ได้โดยเฉพาะนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามรอยที่มีครึ่งชีวิตสั้นเพราะกัมมันตภาพรังสีสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จะต้องวางแผนการทดลองที่ดี

จ. มีความเสี่ยงได้รับอันตรายจากรังสีถ้าขาดความรู้ด้านการป้องกันรังสี

2.2 การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High purity germanium detector, HPGe)

หัววัดรังสีแบบ HPGe เป็นหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ ทำขึ้นจากผลึกเจอร์มาเนียมที่มีคุณภาพสูงรูปทรงกระบอก ที่ผิวด้านนอกแพร์ (diffusion) ด้วยลิเทียมส่วนด้านในปลูกไอออน (ion implantation) ของโบรอน เรียกว่าหัววัดรังสีชนิดพี (P-type) หรือเป็นผลึกเจอร์มาเนียมรูปทรงกระบอก ซึ่งแพร์ด้วยลิเทียมไว้ที่ผิวด้านใน ส่วนด้านนอกปลูกไอออน (ion implantation) ของโบรอน เรียกว่าหัววัดรังสีชนิดเอ็น (N-type) โครงสร้างอะตอมของเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูงต้องการอุณหภูมิต่ำๆ เพื่อที่จะรักษาให้ผลึกหัววัดอยู่ที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียสและหัววัดจะทำงานในสภาวะอุณหภูมิดังกล่าว ดังนั้น เมื่อใช้งานต้องมีระบบทำความเย็นและถังเก็บไนโตรเจนเหลว [15] ลักษณะของหัววัดรังสีแบบ HPGe แสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



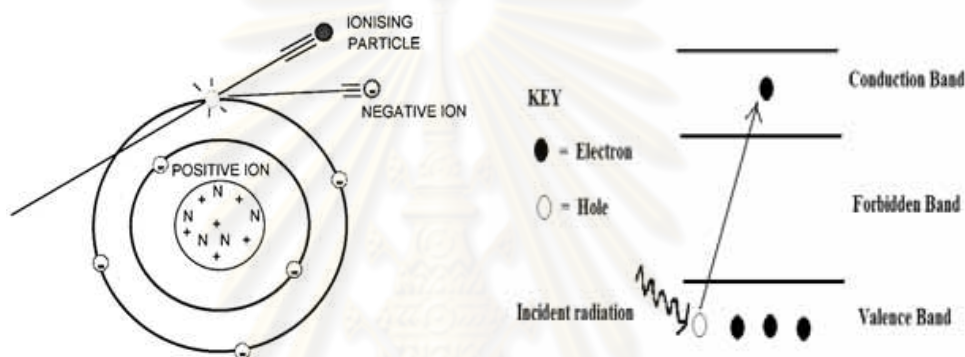
รูปที่ 2.2 ภาคตัดขวางของหัววัดรังสีแบบ Coaxial HPGe

ที่มา : http://www.tint.or.th/adv/phys_oap/labs/kmitt_gamma%20spect-2.pdf

2.2.1 หลักการวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมาด้วยหัววัด HPGe

การวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่มีอยู่ในตัวอย่างด้วยหัววัด HPGe มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อกัมมันตภาพรังสีแกมมาตกกระทบบนหัววัด หัววัดจะได้รับพลังงานจากรังสี โดยอะตอมของวัสดุของหัววัด (Ge) จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) การเกิดการแตกตัว

เป็นไอออนดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้ อิเล็กตรอนซึ่งปกติอยู่ในชั้นระดับพลังงาน valence band เมื่อได้รับพลังงานรังสีจะเคลื่อนที่ขึ้นไปอยู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้นคือ conduction band โดยเหลือช่องว่างที่ valence band ที่เรียกว่า hole ดังนั้น หลังการเกิดการแตกตัวเป็นไอออนของหัววัดนี้ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ electron-hole pair หรือเปรียบได้กับการเกิดคู่ของไอออนขึ้นมา (ภาพที่ 2) โดยปริมาณคู่ไอออนที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณกัมมันตภาพรังสีและเมื่อให้ความต่างศักย์กับหัววัดคู่ไอออนจะเคลื่อนย้ายทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า (pulse) ซึ่งสามารถตรวจวัดได้



รูปที่ 2.3 การเกิดไอออนไนเซชัน (ก) และกลไกการเกิดคู่ไอออนของผลึกเจอร์มาเนียม (ข)

ที่มา: IAEA and ANSTO (2006)[16]

2.2.2 ระบบการวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมา

ระบบการวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมา ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก (รูปที่ 2.4)

ดังนี้ [17]

2.2.2.1 หัววัดรังสีทำจากธาตุเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (high purity germanium: HPGe) โดยเมื่อพลังงานของรังสีมาตกกระทบที่หัววัดจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับพลังงานที่หัววัดได้

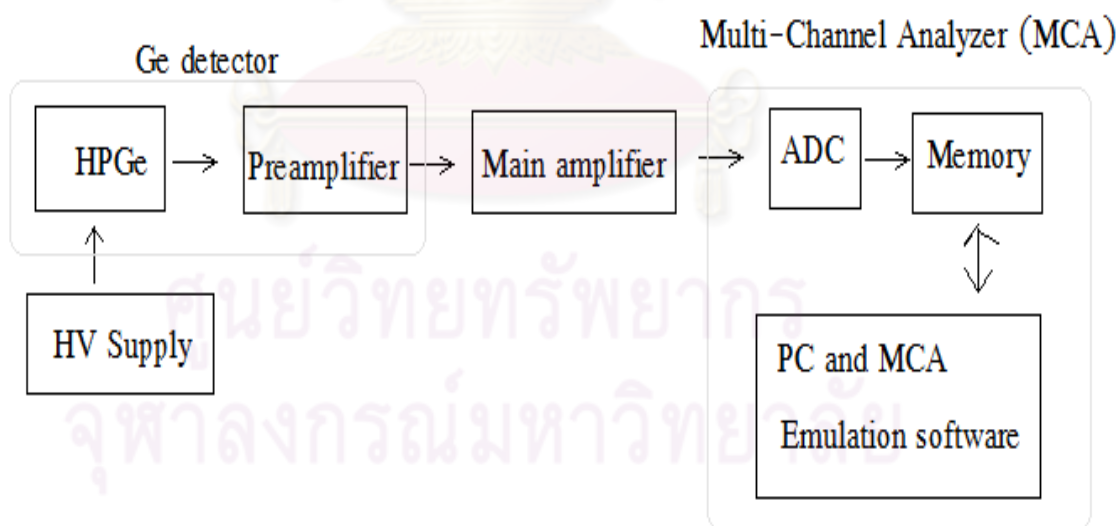
2.2.2.2 แหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (high voltage power supply: HV supply) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงเพื่อกักเก็บตัวพาประจุที่เกิดขึ้นภายในผลึกเจอร์มาเนียม

2.2.2.3 ภาคขยายส่วนหน้า (pre-amplifier) ทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดและเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือสัญญาณพัลส์ (pulse) โดยขนาดของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับประจุ

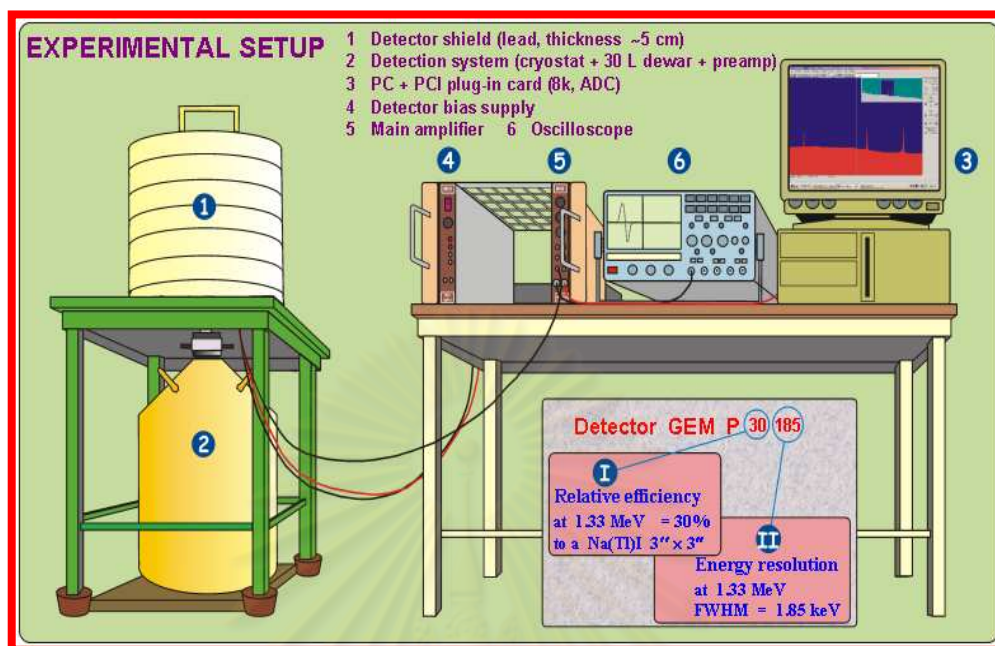
2.2.2.4 ภาคขยายหลัก (main amplifier) เป็นส่วนรับสัญญาณแล้วนำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูงเอทพุทที่ได้จากภาคขยายหลัก

2.2.2.5 ADC (analog-to-digital convertor) ตัวเปลี่ยนความสูงของสัญญาณอนาลอกที่มาจากภาคขยายหลักให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะเป็นตัวระบุตำแหน่งการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำของระบบ

2.2.2.6 อุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (multichannel analyzer: MCA) จะประกอบอยู่ในระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็น MCA board โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานรวมทั้งวิเคราะห์สเปกตรัม



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 (ก) ระบบอุปกรณ์การวัดกัมมันตภาพรังสีแกมมา แผนผังแสดงอุปกรณ์

(ข) ภาพแสดงระบบอุปกรณ์การวัด

ที่มา: http://www-np.ucy.ac.cy/radio_isotopes/wwwen/gamma/gamma_setup.html

2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี

ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีแกมมาจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักที่สำคัญคือ

2.2.3.1 การวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่าง

เพื่อวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ปลดปล่อยพลังงานนั้นออกมาด้วยการเปรียบเทียบพลังงาน (energy calibration) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของกัมมันตภาพรังสีแกมมากับ channel number ของสเปกตรัมที่วัดได้ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สารกัมมันตรังสีหลายชนิดและแต่ละชนิด ควรมีพลังงานที่แยกจากกันชัดเจน

และครอบคลุมพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องตรวจวัดปริมาณโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน

2.2.3.2 การประเมินหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาหลังทราบชนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี โดยอาศัยค่าประสิทธิภาพการวัด

2.2.4 การหาค่าประสิทธิภาพการวัด

การหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีของตัวอย่าง ต้องทราบค่าประสิทธิภาพการวัดของนิวไคลด์กัมมันตรังสีนั้นๆ ซึ่งค่าประสิทธิภาพการวัดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ตำแหน่งการวางตัวอย่างบนหัววัด ขนาด รูปทรงและเมทริกซ์ของตัวอย่าง ชนิดและการกระจายตัวของสารกัมมันตรังสีในตัวอย่าง โดยประสิทธิภาพการวัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\epsilon_E = \frac{R_E}{A(t) * P_\gamma} \quad (2.1)$$

โดยที่

ϵ_E = ค่าประสิทธิภาพของการนับวัดที่พลังงาน

R_E = ค่าอัตราการนับวัดสุทธิ (counts/ วินาที)

$A(t)$ = ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีมาตรฐานเมื่อเวลาทำการทดลอง

P_γ = คือค่าโอกาสการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ซึ่งมีการแผ่รังสีแกมมา มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

2.2.5 การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสี

เมื่อทราบค่าประสิทธิภาพการวัดของแต่ละชนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในตัวอย่าง เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่าง จึงสามารถนำค่ากัมมันตภาพรังสีที่ตรวจวัดได้มาคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีจากสมการ 2.2

$$\text{Activity} = \frac{(\text{net peak area /time})}{\epsilon_E * \text{Weight} * P_\gamma} \quad (2.2)$$

2.3 การออกแบบการทดลองระบบนิเวศทางทะเลด้วยเทคนิคตัวติดตามทางรังสี

งานเฝ้าตรวจติดตามทางรังสี (radiological monitoring) และงานศึกษาด้านนิเวศวิทยาทางทะเลของพื้นที่ก่อตั้งโรงงานนิวเคลียร์หรือสถานปฏิบัติการทางรังสี มักประสบปัญหาในการหาค่า CF และค่าระยะเวลาการขับออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ ณ บริเวณนั้นๆ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมทางทะเลในธรรมชาติ มีปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในน้ำและในสิ่งมีชีวิตต่ำมาก หรือต่ำกว่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด นอกจากนี้ การศึกษาข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ของพฤติกรรมกรับและสะสมนิวไคลด์กัมมันตรังสี ไม่สามารถดำเนินการทดลองในภาคสนามได้เนื่องจากความซับซ้อนของระบบนิเวศในธรรมชาติและยากต่อการควบคุมและดำเนินการทดลองโดยเฉพาะปัจจัยทางด้านอุณหภูมิ ความเค็ม และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเล ดังนั้น การศึกษาข้อมูลดังกล่าว จึงต้องดำเนินการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยมีอุปกรณ์หลักที่สำคัญดังนี้ [18]

2.3.1 ตู้ทดลองสารกัมมันตรังสี

สิ่งที่สำคัญและยากที่สุดของงานทดลองกับสิ่งมีชีวิตในห้องปฏิบัติการคือ การเลี้ยงสัตว์ทดลองให้มีชีวิตอยู่ได้ด้วยสุขภาพที่แข็งแรงสมบูรณ์เหมือนการอาศัยในธรรมชาติ โดยปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในห้องทะเล ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็มของน้ำทะเลแสงสว่าง อาหารและสารอาหารและปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพ ดังนั้น จะต้องทดลองเลี้ยงสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ (animal acclimation) เป็นลำดับแรกโดยใช้น้ำทะเลที่มีระบบการหมุนเวียนแบบเปิด (open-circulation system) สำหรับการทดลองกับสารกัมมันตรังสีนั้นจะต้องดำเนินการในระบบปิด (close-circulation system) เพื่อป้องกันการสูญหายของสารกัมมันตรังสี ดังนั้น ในห้องปฏิบัติการจะต้องมีตู้ทดลองอย่างน้อย 2 ตู้ ได้แก่ ตู้ทดลองสำหรับเลี้ยงสัตว์ทดลองในสภาวะจำลองธรรมชาติและตู้ทดลองขนาดเล็กที่ใช้สำหรับงานทดลองกับสารกัมมันตรังสี และเมื่อเลี้ยงสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการได้ในระยะหนึ่งแล้ว จึงคัดเลือกสัตว์ทดลองที่มีสุขภาพดีมาใช้ทดลอง ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปประมวลผลในสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติที่เป็นจริงได้

2.3.2 สารกัมมันตรังสี

การเลือกใช้สารกัมมันตรังสีเป็นสารตามรอย ควรพิจารณาค่าครึ่งชีวิตให้เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาที่จะดำเนินการทดลอง ซึ่งอาจใช้สารกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตในระดับวัน สัปดาห์หรือเดือน และควรเลือกใช้สารกัมมันตรังสีที่ให้กัมมันตภาพรังสีแกมมา เนื่องจากมีข้อดีคือสามารถวัดค่ากัมมันตภาพได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง (non-destructive measurement) สามารถวัดปริมาณการสะสมในร่างกายสัตว์ทดลองและนำมาตรวจวัดซ้ำได้ อีกทั้งสามารถใช้สัตว์ทดลองตัวเดียวกันไปศึกษาได้ตลอดช่วงการทดลอง ซึ่งเป็นการลดจำนวนสัตว์ทดลองที่ต้องใช้ในการศึกษา

2.3.3 การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสี

การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสี สิ่งสำคัญประการหนึ่งคือหัววัดรังสี โดยควรเลือกหัววัดที่มีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดสัตว์ทดลอง โดยปกติ หัววัดที่มีจำหน่ายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 หรือ 15 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะกับสัตว์ทดลองขนาดเล็ก เช่น หอย ปู และกุ้ง เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับสัตว์ทดลองขนาดใหญ่ หรือขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในปริมาณมากในการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีเช่น ปลา สหรัยทะเล และหอยทะเล เป็นต้น

2.3.4 การทดลองระบบนิเวศที่มีความซับซ้อน (Mesocosm)

ระบบนิเวศทางธรรมชาติจะมีความซับซ้อน และเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบย่อยของระบบหลายส่วน (compartment) เช่น น้ำทะเล ดินตะกอน สิ่งมีชีวิตที่เป็นเหยื่อ ผู้ล่า ลำดับแรกและลำดับถัดไป การทดลองที่มีระบบย่อยหลายระบบอยู่ร่วมกัน จะมีความซับซ้อนและอธิบายข้อมูลจากผลการทดลองได้ยาก ดังนั้น การออกแบบการทดลองการรับและสะสมสารกัมมันตรังสีและการส่งผ่านห่วงโซ่อาหารไปยังสิ่งมีชีวิตในลำดับถัดไป มักจะดำเนินการศึกษาโดยแยกการทดลองออกเป็นส่วนๆ ในแต่ละลำดับขั้น เช่น น้ำทะเลกับแพลงก์ตอน หรือแพลงก์ตอนกับหอย เป็นต้น

2.3.5 แนวปฏิบัติทั่วไปสำหรับออกแบบการทดลองนิเวศวิทยารังสีทางทะเล

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการคาดคะเนผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติ การออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงต้องคำนึงถึงประเด็นต่างๆ ดังนี้ [9]

2.3.5.1 ต้องทราบ physico-chemical form ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามรอยและสารปนเปื้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การทดลอง

2.3.5.2 ชนิดของระบบที่ศึกษาเป็นระบบเปิดหรือระบบปิดและควรทราบขอบเขตและจำนวนของระบบย่อย หรือ compartment ของระบบที่ศึกษา

2.3.5.3 เพื่อความสะดวกและไม่ให้เกิดความสับสนควรใช้สัญลักษณ์และเครื่องหมายที่ระบุใน International Commission on Radiation Units [19]

2.3.5.4 ก่อนดำเนินการทดลองระบบที่จำลองขึ้นมาต้องอยู่ในสภาวะสมดุลและถ้าไม่เกิดสภาวะสมดุลต้องระบุสาเหตุและต้องดำเนินการตรวจสอบสภาวะการทดลองอย่างต่อเนื่อง

2.3.5.5 ปัจจัยทางสรีระและพฤติกรรมของสัตว์ทดลองมีผลต่อการทดลอง เช่น พฤติกรรมของสัตว์ทดลองภายใต้สภาวะการทดลองในห้องปฏิบัติการ ขนาดและอายุ การเติบโต อัตราการรับอาหาร ภาวะการเจริญพันธุ์ ความสามารถในการควบคุมไอออนของสิ่งมีชีวิต การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของธาตุและการลอกคราบ เป็นต้น ในการศึกษาจึงต้องคำนึงถึงการควบคุมและการตรวจสอบปัจจัยเหล่านี้ด้วย

2.3.5.6 ควรควบคุมหรือดำเนินการตรวจสอบเงื่อนไขทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ การดูดซับของนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามรอยหรือธาตุอื่นๆ ตามผนังภาชนะทดลอง และสารปนเปื้อน เป็นต้น

2.4 กลไกและแบบจำลองการสะสมโลหะหนักของสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลัง

Wang *et al.* (1996)[20] และ Blust (2002)[21] ได้กล่าวถึง กลไกการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเมื่อสิ่งมีชีวิตได้สัมผัส คือ เมื่อสิ่งมีชีวิตสัมผัสกับโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำทะเล ทางผ่านที่

โลหะหนักเข้าสู่เซลล์ร่างกาย ส่วนมากเกิดจากโลหะหนักเคลื่อนย้ายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยกระบวนการ passive diffusion ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีในน้ำกับภายในเนื้อเยื่อ (concentration gradient) นอกจากนี้ ยังมีกลไกอื่นอีกดังแสดงในรูปที่ 2.5 ได้แก่

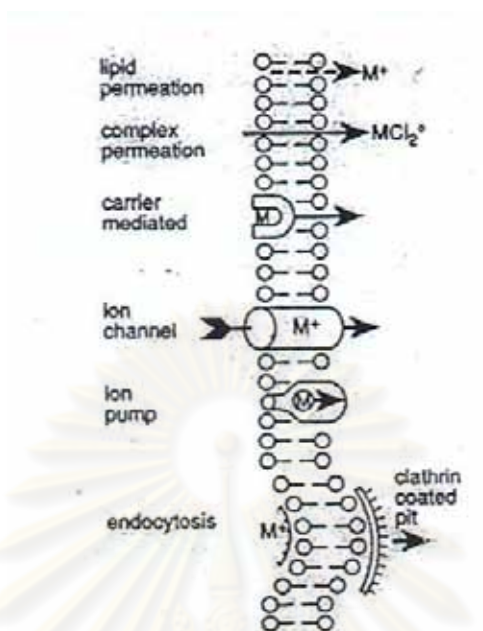
2.4.1 Carrier-facilitated transport เป็นการเคลื่อนย้ายของไอออนของโลหะหนักโดยที่ไอออนของโลหะหนักนี้จะไปจับกับโปรตีนบนเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane protein) ที่มีสมบัติละลายในไขมัน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวพา หรือ carrier จากนั้น จะเกิดการแพร่ไปทางอีกด้านหนึ่ง หรือเข้าสู่สารละลายภายในเซลล์

2.4.2 Ion channel transport เป็นการเคลื่อนย้ายเข้าทางผ่านที่ประกอบด้วยสารประกอบโปรตีนที่มีโครงสร้างหลักที่ชอบน้ำ (hydrophilic core) โดยที่ไอออนของโลหะหนักจะถูกเคลื่อนย้ายผ่านโครงสร้างนี้ โดยไม่มีการจับกับ specific sites แต่จะเคลื่อนที่ผ่านด้วยวิธีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบไอออนของโลหะ (losing of hydration)

2.4.3 Passive diffusion ของสารประกอบไร้ขั้ว เป็นการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักเข้าสู่เซลล์ เนื่องจากโลหะหนักเกิดเป็นสารประกอบในรูปไม่มีขั้วที่สามารถละลายเข้ากับไขมันได้ (lipophilic metal forms) เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น $[HgCl_2]_0$ สารประกอบนี้จะละลายเข้ากับชั้นไขมัน (lipid-bilayer) ของเยื่อหุ้มเซลล์

2.4.4 Endocytosis เป็นการโค้งตัวของเยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะคล้ายอ่าวเพื่อให้โลหะหนักเคลื่อนย้ายเข้าสู่ภายในเซลล์

ศูนย์วิจัยทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 กลไกการเคลื่อนย้ายของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ที่มา: Symkiss and Tylor (1989)[22]

เมื่อไอออนเคลื่อนย้ายเข้าสู่ภายในเซลล์แล้ว จะเกิดการจับกับโปรตีนที่มีความสามารถในการจับสูง (high affinity) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ในไซโตพลาสซึม ความสามารถจับกับไอออนสูงภายในเซลล์ทำให้ทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถรับ และสะสมไอออนไว้ในร่างกายได้ ถึงแม้ว่า ภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตจะมีความเข้มข้นของไอออนสูง แต่ก็มีความเข้มข้นของไอออนของโซเดียมและโพแทสเซียมเป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะไม่แย่งจับกับโปรตีนหรือ complexing agents ในเซลล์ จากแนวความคิดการเคลื่อนย้ายของไอออนที่เข้าสู่เซลล์สิ่งมีชีวิตดังกล่าวข้างต้น ได้มีผู้สนใจเสนอแบบจำลองเพื่อใช้ในการคาดคะเนการเคลื่อนย้ายประกอบด้วย 2 ทางผ่านคือ จากการเคลื่อนย้ายผ่านทางสารละลายและการเคลื่อนย้ายผ่านการกินอาหาร ทั้งนี้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาได้ให้ความสำคัญกับลักษณะทางสรีระวิทยาของสิ่งมีชีวิต หรือเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็น bioenergetic-based kinetic model [20,23,24] ดังสมการที่ 2.3

$$\frac{dc}{dt} = (k_u \times C_w) + (AE \times IR \times C_f) - (k_e + g) \times C \quad (2.3)$$

โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของไอออนที่เข้าสู่เซลล์ในเวลา t (ไมโครกรัมต่อกรัม)

k_u คือ ค่าคงที่อัตราการรับโลหะหนักจากสภาวะน้ำทะเล (ลิตรต่อกรัมต่อวัน)

C_w คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักจากสภาวะน้ำทะเล (ไมโครกรัมต่อลิตร)

AE คือ ประสิทธิภาพการคงอยู่จากการกินอาหารที่มีโลหะหนัก (Assimilation efficiency from ingested food)

IR คือ อัตราการกินของสัตว์ทดลอง (ingestion rate) (มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน)

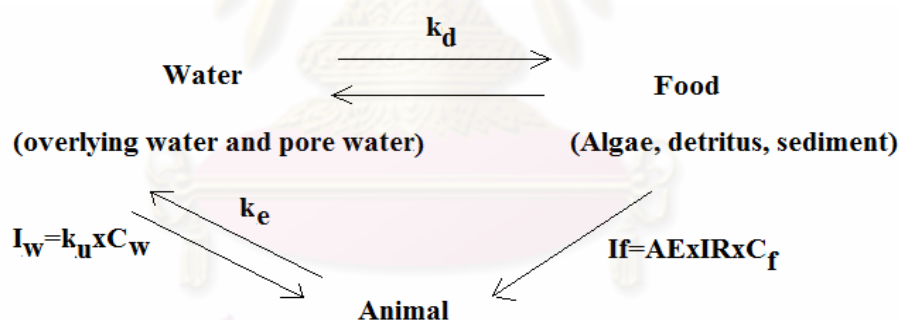
C_f คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในอาหารที่กิน (ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม)

k_e คือ ค่าคงที่อัตราการขับโลหะหนักออก (ต่อวัน)

g คือ ค่าคงที่อัตราการเจริญเติบโต (ต่อวัน)

t คือ เวลา (วัน)

แบบจำลองดังกล่าวนี้มีสมมติฐานคือ การสะสมโลหะหนักแต่ละทางผ่านเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณโลหะหนักในแต่ละทางผ่าน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ทางผ่านการได้รับโลหะหนักของสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังและปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสะสมโลหะหนัก

ที่มา: Wang and Fisher (1999)[20]

2.5 ธาตุสังกะสี (Zinc)

2.5.1 คุณสมบัติของสังกะสี (Properties of zinc)

สังกะสี หรือ ซิงค์ คือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 30 เป็นโลหะทรานซิชัน สีเทาอ่อนแกมน้ำเงิน สัญลักษณ์คือ Zn สังกะสีอยู่ในตารางธาตุหมู่ 12 เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความ

ไวต่อปฏิกิริยาเคมีพอสมควรกับออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา ในธรรมชาติมักจะพบสังกะสีในรูปของแร่หลายชนิด คือ แร่เฮมิโมไฟต์ $[Zn_4(Si_2O_7)(OH) \cdot 2 \cdot H_2O]$ แร่สมิตซอไนต์ $(ZnCO_3)$ แร่ซิงค์ไคต์ (ZnO) และแร่สฟาเลอไรต์ (ZnS) คุณสมบัติทางกายภาพของสังกะสีดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสังกะสี [25]

คุณสมบัติทางกายภาพ	
เฟส	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	7.14 ก./ซม. ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	6.57 ก./ซม. ³
จุดหลอมเหลว	692.68 K (419.53 °C)
จุดเดือด	1180 K (907 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	7.32 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	123.6 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 25.390 J/(mol·K)

ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

2.5.2 การใช้ประโยชน์ของสังกะสี (Use of zinc)

สังกะสีใช้ในอุตสาหกรรมโลหะหลายชนิด เช่น ใช้ชุบโลหะเพื่อป้องกันการเกิดสนิม ใช้ชุบแผ่นเหล็กเพื่อมุงหลังคาบ้าน ทำถังบรรจุน้ำ ใช้ทำกล่องในถ่านไฟฉายซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ (แอโนด) ใช้ทำโลหะผสม เช่น ทองเหลือง (ทองแดง + สังกะสี) ซิงค์ออกไซด์ใช้ในการเตรียมสีใช้เป็นตัวเร่งในการผลิตยางรถยนต์ ซิงค์คลอไรด์ใช้รักษาเนื้อไม้ให้คงทน[26]

2.5.3 ผลของสังกะสีในสิ่งมีชีวิต (Biological effects of zinc on organisms)

สังกะสีเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญทางด้านสุขภาพและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่ของโปรตีนและเอนไซม์มากกว่า 300 ชนิด เช่น carboxy peptidase , alkaline phosphatas , carbonic anhydrase[2] superoxide dismutaselactase, dehydrogenase, และ glutamate dehydrogenase , สำหรับมนุษย์ สังกะสีเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายมนุษย์จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการทางเคมี โดยถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับเอนไซม์ (Enzyme) หลายชนิดในร่างกายและปฏิกิริยาเหล่านี้ก็ล้วนมีความสำคัญต่อการทำงานของทุกอวัยวะและทุกระบบ (System) ในร่างกาย ที่เห็นได้ชัดได้แก่การมีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการเจริญเติบโตตามปกติของมนุษย์, เกี่ยวข้องกับการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ (Tissue), ระบบสืบพันธุ์ (Sexual Function), ระบบภูมิคุ้มกัน (Immune System), การกำจัดสารพิษและสารตกค้างต่างๆ ในร่างกาย (Detoxification), กระบวนการในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต, ขบวนการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (Nucleic acids) หรือสารทางพันธุกรรม DNA ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในขบวนการการรักษาแผล หรือสมานแผล (Wound Healing) หลังการผ่าตัด หรือบาดเจ็บ, เกี่ยวข้องกับการทำงานของต่อมลูกหมากในผู้ชาย (Prostate Grand) และยังเกี่ยวข้องในขบวนการของอวัยวะอื่นๆ ในร่างกายอีกมาก สังกะสีพบมากในตับ, ไต, ตับอ่อน, ลูกอัณฑะ, รังไข่, ฤๅน้ำดี, ผิวหนังและในลูกตา บริเวณ tapelum lucidum พบว่าประมาณร้อยละ 90 ของสังกะสี ในร่างกายอยู่ที่กระดูกและกล้ามเนื้อ อีกร้อยละ 10 อยู่ที่ ตับอ่อน ตับ เลือด โดยส่วนที่อยู่ในเม็ดเลือดนั้น ร้อยละ 80 อยู่ในเม็ดเลือดแดง และร้อยละ 20 อยู่ในน้ำเลือด ในร่างกายสังกะสีจะอยู่ในรูปของ Matallothioneins ร่างกายดูดซึมสังกะสีในระบบทางเดินอาหาร โดยผ่านทางผนังภายในของลำไส้ และมีการขับออกจากร่างกายโดยทางอุจจาระ โดยผ่านผนังของลำไส้และน้ำในตับอ่อน เมื่อร่างกายขาดสังกะสีจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตช้าลง, เบื่ออาหาร, กระดูกผิดปกติ, ผอมร่าง, แผลสมานยาก, การเจริญพันธุ์ลดลงทั้งในเพศชายและเพศหญิง เพิ่มการเกิดเนื้องอกและพฤติกรรมผิดปกติ [27] ในขณะเดียวกัน การได้รับสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดตะคริวในช่องท้อง (stomach cramp) คลื่นไส้ อาเจียน ผลในระยะยาว ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง และโรคตับ [4]

2.5.4 การแผ่กระจายและปริมาณสังกะสีในธรรมชาติ

ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติจะมีธาตุสังกะสีปรากฏอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิตที่มีความเข้มข้นต่างกัน เช่น สังกะสีในน้ำทะเลมีค่าระหว่าง 0.6-5 ส่วนในล้านส่วน (ppb) ในแม่น้ำทั่วไป มีค่าเท่ากับ 5-10 ppb , สหรัย 20-700 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ,ปลาและหอยทะเล 3-25 ppm ,หอยนางรม 100-900 ppm และ กุ้งมังกร 7-50 ppm ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดค่าปริมาณต่ำสุดของสังกะสีในน้ำไว้ไม่เกิน 5 $\text{mgZn}^{2+}/\text{L}$ [28] เช่นเดียวกับกระทรวงอุตสาหกรรมของไทยได้กำหนดถึงความเข้มข้นสูงสุดของสังกะสีที่อนุญาตให้ตรวจพบได้ในน้ำดื่ม คือไม่เกิน 3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) [29] ขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของสังกะสีในธรรมชาติ เช่น บริเวณแม่น้ำอาร์เจนตินา พบปริมาณสังกะสีละลายอยู่ในช่วง 0.06-0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสังกะสีทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.08-0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร[30] สำหรับประเทศไทย ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยบริเวณอ่าวไทยตอนบนในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 12.9 ไมโครกรัมต่อลิตร และในฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนล่างจะอยู่ที่ 7.10 ไมโครกรัมต่อลิตร [31] ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในแม่น้ำเช่น แม่น้ำบางปะกง เจ้าพระยาและแม่กลอง มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.146 - 1.604 , 0.008 - 0.141 และ 7.72 - 9.52 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังตรวจพบสังกะสีในปริมาณค่อนข้างสูงในคลองบางสายของกรุงเทพมหานคร คือ คลองประปา (0.043 – 7.726 มก./ล) , คลองแสนแสบ (0 - 10.165 มก/ล) , คลองพระโขนง (0.108 – 3.834 มก/ล) , คลองประเวศบุรีรมณ์ (0.034 – 2.127 มก/ล) , คลองลาดพร้าว (0.056 – 10.046 มก./ล และคลองเปรมประชากร (0.111 – 31.313 มก./ล)[26]

สังกะสีเป็นแร่ที่พบค่อนข้างมากบนเปลือกโลก โดยเฉลี่ยประมาณ 70 ไมโครกรัมต่อกรัม ($\mu\text{g/g}$) และมีค่าแตกต่างกันในดินที่ปราศจากมลพิษ มีค่าอยู่ในช่วง 10 – 300 $\mu\text{g/g}$ [32] Lukin และคณะ (2003)[33] ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในผิวดินบริเวณทะเลสาบประเทศแคนาดา พบว่ามีความเข้มข้น 261 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตะกอนดินในประเทศไทย ผลการศึกษาบริเวณแม่น้ำปิงและแม่น้ำน้ำขกลาง (Namklang) พบอยู่ในช่วง 22.67 – 84.17 และ 52.00 ไมโครกรัมต่อกรัม ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ [26]

ปริมาณสังกะสีในตะกอนทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลแดงที่อ่าว Quseir ,Safaga และ Hurghada ประเทศอียิปต์ มีค่าความเข้มข้นของสังกะสีเฉลี่ยที่ 21.35 ,15.39 และ 9.05 ppm ตามลำดับ และปริมาณสังกะสีในแนวปะการังบริเวณดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 2.9 - 8.9 , 2.2-3.71 และ 2.42-6.58 ppm ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณ Wadi El-Gemal อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ 2.03-15.8 ppm สำหรับการสะสมสังกะสีในปะการังเขากวางที่ทะเลแดงบริเวณ Wadi El-Gemal พบว่า *Acropora humilis* มีปริมาณสังกะสีสะสมเท่ากับ 8.5 ppm, *Acropora hemprichii* 7.3 ppm และ *Acropora hyacinthus* 15.8 ppm[34]

Ferrier-Pages และคณะ [2] ได้รายงานถึงปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีละลายในน้ำทะเล พบว่ามีปริมาณต่ำมากโดยเฉพาะในบริเวณมหาสมุทรเปิดซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.1 nM สำหรับมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งนั้น ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ.2549) ได้กำหนดปริมาณสังกะสีบริเวณน้ำทะเลชายฝั่งและบริเวณแนวปะการังไว้ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลิตร[35] สำหรับสังกะสีที่แพร่กระจายบนเปลือกโลกนั้น เกิดจากแหล่งต่างๆ ดังนี้[36]

2.5.4.1 สังกะสีในหินอัคนี (Igneous Rock)

สังกะสีที่เกิดอยู่ในหินอัคนี อยู่ในรูปของ Sphalerite (ZnS) และสามารถเกิดรวมกับแร่จำพวก Ferro-Magnesium โดยสังกะสีจะไปแทนที่ Fe^{2+} และ Mg^{2+} ion ในแร่เหล่านั้น แร่ที่สำคัญที่สุดของสังกะสีคือ Sphalerite (ZnS) แร่นี้จะเกิดอยู่เป็นเม็ดเล็กๆ ซึ่งเป็นผลจากขบวนการ magmatic differentiation ในขณะที่ magma ยังร้อนและหลอมเหลวอยู่ ปริมาณของสังกะสีในหินอัคนีมีค่าระหว่าง 30 – 130 ppm ขึ้นอยู่กับหินชนิดต่างๆ ใน Ultrabasic rock ประมาณ 50 ppm. Basic rock ประมาณ 105 ppm ในแกรนิตประมาณ 60 ppm และใน Syenite ประมาณ 130 ppm

2.5.4.2 สังกะสีในหินชั้น (Sedimentary rock)

การแพร่กระจายของสังกะสีในหินชั้นมีค่าแตกต่างกันมากตามลักษณะของหิน ปริมาณของสังกะสีในหินดินดานและหินทรายมีค่าใกล้เคียงกับในหินอัคนี ปริมาณของสังกะสีในหินดินดานเฉลี่ยประมาณ 95 ppm ในหินทรายประมาณ 16 ppm และในหินพวก Carbonate ประมาณ 20 ppm ส่วนในดินตะกอนในท้องทะเลเล็ก ๆ จะมีปริมาณของสังกะสีสูงประมาณ 165 ppm โดยสังกะสีจะถูกดูดด้วยแร่ clay และบางที่ก็ตกตะกอนรวมกับแร่พวก limonite ส่วนในดินทั่ว ๆ ไป จะมีสังกะสีอยู่ตั้งแต่ 10 -300 ppm โดยเฉลี่ยประมาณ 50 ppm

2.5.4.3 สังกะสีในหินแปร (Metemorphic rock)

ในขณะที่หินเปลี่ยนสภาพเป็นหินแปรโดยวิธีการใด ๆ ก็ตาม ทำให้เกิดกระบวนการผันกลับ (Retrgressive Metarmorphic transformation) ทำให้เกิดแร่พวก Biotite และ Hornblend ซึ่งจะทำให้ Zn , Pb, Mn, และ Ti แยกตัวออกมาจากหินเดิมและจะรวมตัวเป็นแร่ใหม่จำพวก Heterotite ($ZnMn_2O_4$) Gagnite ($ZnAl_2O_4$) และ Franklinite $ZnMnFe^{2+}(Fe^{3+}, Mn^{3+})_2O_4$

2.5.4.4 สังกะสีในน้ำทะเล

สังกะสีที่ละลายอยู่ในน้ำ อยู่ในลักษณะของ Zn^{2+} , $ZnSO_4$ และ $ZnCl_2$ ในขณะที่เกิดการผุกร่อนของหิน สารประกอบเหล่านี้จะถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำบนผิวโลกและน้ำใต้ดินบางส่วนจะไปสู่ทะเล สังกะสีที่ละลายในน้ำทะเลอยู่ในรูปของ Zn^{2+} หรือ $ZnSO$ และเกิดการรวมตัวกับ carbonate เกิดแร่ Smithsonite ขึ้น ส่วนในบริเวณทะเลลึก ซึ่งมี S^{2-} อยู่สูงก็จะเกิด ZnS นอกจากนี้ ปริมาณของสังกะสีจะมีค่าค่อนข้างสูงในบริเวณแหล่งฟอสเฟต ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกระบวนการทางชีวภาพ (Organic process)

2.5.5 ไอโซโทปของสังกะสี

ในธรรมชาติมีสังกะสีเสถียรอยู่ 5 ไอโซโทป คือ สังกะสี-64 (Zn-64,48.6%) สังกะสี-66 (Zn-66,27.9%) สังกะสี-67 (Zn-67,4.1%) สังกะสี-68 (Zn-68,18.8%) และสังกะสี-70 (Zn-70,0.6% , 5E+14 Y) นอกจากนี้ยังมีไอโซโทปที่ไม่เสถียรของสังกะสีอีก 24 ไอโซโทป เช่น สังกะสี-54(Zn-54) , สังกะสี-55(Zn-55) , สังกะสี-56(Zn-56) , สังกะสี-57(Zn-57), สังกะสี-58

(Zn-58), สังกะสี-59(Zn-59), สังกะสี-60 (Zn-60), สังกะสี-61(Zn-61), สังกะสี-62(Zn-62), สังกะสี-63(Zn-63) และสังกะสี-65(Zn-65) เป็นต้น [37] โดยไอโซโทปที่น่าสนใจของสังกะสีแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงไอโซโทปที่น่าสนใจของสังกะสี [25]

ไอโซโทปของสังกะสี					
isotope	NA	ครึ่งชีวิต	DM	DE (MeV)	DP
⁶⁴ Zn	48.60%	Zn เสถียร โดยมี 34 นิวตรอน			
⁶⁵ Zn	syn	244.26 วัน	ϵ	-	⁶⁵ Cu
			γ	1.1155	-
⁶⁶ Zn	27.90%	Zn เสถียร โดยมี 36 นิวตรอน			
⁶⁷ Zn	4.10%	Zn เสถียร โดยมี 37 นิวตรอน			
⁶⁸ Zn	18.80%	Zn เสถียร โดยมี 38 นิวตรอน			
⁶⁹ Zn	syn	56.4 นาที	β^-	0.906	⁶⁹ Ga
⁷⁰ Zn	0.60%	Zn เสถียร โดยมี 40 นิวตรอน			

ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

2.5.5.1 สังกะสี - 65

สังกะสี-65 (Zn-65) เป็นไอโซโทปหนึ่งของสังกะสี มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 244.26 วัน สลายตัวแบบจับอิเล็กตรอนในชั้นเค (e⁻ Capture) และให้อนุภาคบีตาบวก (Beta⁺) พลังงานสูงสุดสำหรับอนุภาคบีตา คือ 0.330 MeV และพลังงานของโฟตอน คือ 1.115 MeV การสลายตัวของสังกะสี-65 แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการสลายตัวของสังกะสี-65

Nuclide	Decay Mode	Half-life(d)	Emission ID	Energy (keV)	Emission Probability
Zn-65	EC	244.26	Cu K α	8.03 - 8.05	0.347
			Cu K β	8.90 - 8.98	0.0482
				511.00	0.0284
				1115.539	0.506

ที่มา : <http://www-nds.iaea.org/reports-new/tecdocs/iaea-tecdoc-0619.pdf>

สังกะสี-65 เป็นสารกัมมันตภาพรังสีที่ให้รังสีแกมมาซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิต โดยระดับความเป็นพิษของสังกะสี-65 มี 3 ระดับตามความแรงรังสีคือ ระดับ C (ระดับต่ำสุด) ช่วงความแรงรังสีตั้งแต่ 0.010 ถึง 2 มิลลิคูรี (mCi) , ระดับ B (ระดับปานกลาง) ช่วงความแรงรังสีมากกว่า 2 ถึง 100 mCi และ ระดับ A (ระดับสูงสุด) ช่วงความแรงรังสีมากกว่า 100 mCi [38] ซึ่งโอกาสการรับสังกะสี -65 เข้าสู่ร่างกายประกอบด้วย การหายใจ การกลืนกินทางปาก การดูดซึมผ่านผิวหนังและการเข้าทางบาดแผลที่เปิดอยู่ เมื่อรังสีผ่านเข้าสู่ร่างกายจะไปมีผลต่อไขกระดูกโดยตรงซึ่งเป็นอวัยวะที่ไวต่อรังสีที่สุด[39] นอกจากนี้ สังกะสี-65 ยังมีการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านงานวิจัยและการแพทย์ โดยใช้เป็นตัวติดตามทางรังสี ซึ่งเป็นเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ (Radiotracer technique) [38]

2.5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสังกะสีกับปะการัง

ปะการังเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ร่วมกับสาหร่ายเซลล์เดียวกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลท ที่เรียกว่า ซูซานเทลลี (Zooxanthellae) แบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) ผลของการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซานเทลลีทำให้ปะการังได้รับอาหารและพลังงานรวมทั้งสามารถสกัดไบคาร์บอเนต (bicarbonate) จากน้ำทะเลเพื่อสร้างโครงร่างหินปูนของปะการัง สังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ปะการังสังเคราะห์ขึ้นเพื่อทำให้ปะการังสามารถดูดซึมไบคาร์บอเนตจากน้ำทะเลเข้าสู่เนื้อเยื่อของปะการังได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้ การที่ปะการังดูดซึมไบคาร์บอเนต

อาจเป็นผลมาจากการมีธาตุสังกะสีในสิ่งแวดล้อมทางทะเล นอกจากนี้ในบริเวณทะเลเขตร้อนซึ่งมีปริมาณของธาตุอาหารต่ำ จะพบว่าปริมาณสังกะสีต่ำมากซึ่งอาจเพียงพอต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการสร้างหินปูนของปะการัง ในทางตรงกันข้าม บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีกิจกรรมต่างๆมากมายของมนุษย์ ปะการังอาจจะได้รับผลกระทบจากพิษโลหะหนักนั้นได้ [40]

2.6 ปะการัง

ปะการัง (coral) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังอยู่ในกลุ่มเดียวกับแมงกระพุน ดอกไม้ทะเล และกัลปังหา โดยจัดอยู่ในไฟลัมไนดาเรีย (Phylum Cnidaria) มีการดำรงชีวิต 2 แบบ ได้แก่ อยู่ตัวเดียว (solitary) หรืออยู่รวมกันเป็นโคโลนี และสามารถจัดจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1 ปะการังที่สร้างหินปูนได้ช้าหรือไม่มีการสร้างหินปูนเลย เรียกปะการังกลุ่มนี้ว่า ahermatypic coral เป็นปะการังที่ไม่มีโครงสร้างแข็งและมีการเจริญเติบโตช้าจึงไม่สามารถสร้างเป็นแนวปะการัง

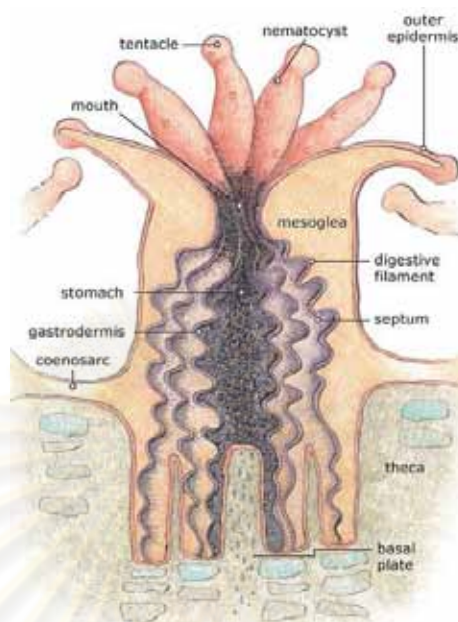
2 ปะการังที่สามารถสร้างหินปูนเป็นโครงสร้างภายนอกได้โดยอาศัยแคลเซียมจากน้ำทะเลและจากสาหร่ายซูซันเทลลี (Zooxanthellae) ซึ่งเป็นสาหร่ายในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการังโดยมีความสัมพันธ์กันแบบพึ่งพาอาศัยกัน ปะการังกลุ่มนี้จะมีการเจริญเติบโตได้ดี สามารถเจริญสร้างเป็นแนวปะการังขนาดใหญ่ได้ เรียกปะการังกลุ่มนี้ว่า hermatypic coral ซึ่งแพร่กระจายในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนในบริเวณที่มีความลึกของน้ำทะเลไม่ลึกนักเนื่องจากสาหร่ายซูซันเทลลีต้องการแสงในการสังเคราะห์แสง ปะการังในกลุ่มนี้มีรูปร่างหลายแบบได้แก่ ภาพร่างเป็นแท่งทรงกระบอก (columnar) กิ่งก้าน (branching) แผ่นแบนเป็นแผ่นคล้ายโต๊ะ (laminar หรือ plate-like) ทรงกลมเป็นก้อน (massive) แผ่นเป็นแผ่นซ้อนกันคล้ายดอกกะหล่ำ (foliaceous) แผ่นเป็นแผ่นกว้างเคลือบอยู่บนหิน (encrusting) และอยู่โดดเดี่ยวเป็นอิสระ (solitary หรือ free-living) มีรูปร่างคล้ายเห็ด ในประเทศไทยมีรายงานการพบปะการังในกลุ่มนี้มากกว่า 250 ชนิด ดังนั้นลักษณะและรายละเอียดทางชีววิทยาส่วนใหญ่จึงหมายถึงปะการังในประเภทนี้ที่สามารถสร้างเป็นแนวปะการังได้ [41]

2.6.1 ลักษณะทางชีววิทยาของปะการัง

รูปร่างลักษณะ ปะการังมีรูปร่างลักษณะคล้ายกับดอกไม้ทะเล (sea anemones) มาก ต่างกันเพียงแต่ปะการังสามารถสร้างรูปร่าง หรือโครงร่างที่เป็นหินปูนได้ เรียกว่าปะการังแท้ ซึ่งปะการังแท้สามารถแยกได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มที่เรียกว่า โพลิป (Polyp) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกปลายตัน ด้านบนมีปากอยู่ตรงกลาง และมีหนวด (tentacle) อยู่รอบปากเป็นจำนวน 6 หรืออนุกรมของ 6 เท่านั้น ซึ่งแต่ละกิ่งก้านหรือก้านของปะการังอันประกอบเป็นหมู่เกาะหรือแนวหินใหญ่นั้นมีโพลิปอยู่นับพัน ๆ แสน ๆ ตัว ซึ่งโพลิปนี้เองเป็นผู้สร้างโครงหินปูนหุ้มตัวเองแล้วประกอบกันเป็นต้นหรือก้อนปะการังใหญ่ ส่วนที่สองเป็นโครงสร้างหินปูนแข็งที่โพลิป สร้างพยางค์ของมัน เรียกว่า คอรอลไลต์ (Corallite) คอรอลไลต์มีลักษณะเหมือนเป็นพิมพ์ของ โพลิป ถ้าปะการังตายแม้ส่วนโพลิปจะเน่าเปื่อยหลุดไปก็ยังคงดูลักษณะของปะการังได้จากคอรอลไลต์ที่เหลืออยู่ การจำแนกชนิดของปะการังจึงจำเป็นต้องแยกจากคอรอลไลต์เท่านั้น

ปะการังแท้เป็นสัตว์ที่มีเนื้อเยื่อสองชั้น คือชั้น Endodermis และชั้น Ectod ซึ่งพบว่าในเนื้อเยื่อชั้น Endodermis นี้จะมีสาหร่ายเซลล์เดียวกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตขนาดเล็กกว่า 1/10 มม. ที่เรียกว่า ซูซซานเทลลี (Zooxanthellae) อาศัยอยู่ร่วมด้วย สาหร่ายซูซซานเทลลีนี้เป็นตัวสร้างอาหารให้แก่ตัวปะการังโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง ประมาณร้อยละ 98 ของอาหารที่ปะการังใช้ในการดำรงชีวิตได้มาจากการสังเคราะห์แสงของซูซซานเทลลีนี้เอง ในขณะที่อาหารส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 2 ได้จากการล่าเหยื่อของปะการังเอง โดยโพลิปจะยืดตัวออกพร้อมกับขยายหนวดคอยดักจับแพลงก์ตอนและอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่ล่องลอยอยู่ในน้ำทะเล

การสร้างโครงร่างแข็งหินปูนเป็นการทำงานร่วมกันของตัวปะการังและซูซซานเทลลี กล่าวคือซูซซานเทลลีจะหลั่งสารบางชนิดออกมาให้ปะการังเพื่อให้ปะการังใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่ปะการังสกัดมาจากน้ำทะเลทำให้กลายเป็นหินปูนขึ้นมา จากการที่สาหร่ายซูซซานเทลลีมีผลต่อการเจริญเติบโตต่อปะการังมากทำให้มีมีผลต่อแหล่งที่ปะการังจะเจริญเติบโตได้ด้วย เพราะซูซซานเทลลีเป็นพืชที่ต้องการแสงที่เหมาะสมในระดับความลึกที่แสงส่องถึง มีความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 15 -20 % ของความเข้มแสงที่ผิวน้ำทะเล[42]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายในปะการัง

ที่มา : http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/coral01_intro.html

การเจริญเติบโตของปะการัง อัตราการเจริญเพิ่มขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของตัวปะการังแต่ละกลุ่ม หมายถึงการสะสมแคลเซียมคาร์บอเนตในตัวปะการังเอง จากการทดลองศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของปะการัง พบว่า พวกปะการังเขากวาง *Acropora formosa* ทางฝั่งตะวันตกของเกาะภูเก็ตยาวขึ้นประมาณปีละ 8 ซม. ส่วนพวกที่เป็นหัว ได้แก่ *Porites lutea* โตขึ้นประมาณปีละ 1-2 ซม. แต่เมื่อนำมาเทียบเป็นน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้นแล้ว จะพบว่าพวกหัวมีน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าพวกที่เป็นกิ่งก้าน

การกินอาหาร ปะการังเป็นพวกสัตว์ประเภทกินสัตว์ขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร (micro-carnivores) หนวดรอบๆ ปากของปะการังมีหน้าที่จับเหยื่อ หรืออาหารพวกแพลงตอนสัตว์ในน้ำ ที่ปลายหนวดจะมีเซลล์ซึ่งมีโครงสร้างที่มีสารพิษอยู่ (nematocyst) ซึ่งทำหน้าที่ฆ่าแล้วหนวดจะส่งอาหารที่จับได้ไปยังปากซึ่งจะมีขน (cilia) และกล้ามเนื้อส่งอาหารผ่านต่อไปยังหลอดอาหาร (esophagus) และผนังลำไส้ก็จะส่งน้ำย่อยออกมาย่อยเหยื่อต่อไป แล้วจึงดูดซึมอาหารไปใช้

การขับถ่ายของเสีย ปะการังเมื่อกินอาหารแล้วจะขับของเสีย ได้แก่ พวกไนโตรเจน และ ฟอสเฟตออกมา ซึ่งของเสียเหล่านี้ถูกสาหร่ายที่ฝังตัวอยู่ในชั้นแกสโตรเดอริมิส (gastrodermis) นำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง จึงมักพบว่าสาหร่ายพวกไนโตรเจนและฟอสเฟต เนื้อแนวปะการังมีน้อยกว่าในบริเวณใกล้เคียงอย่างเห็นได้ชัดเจน[41]

2.6.2 ปะการังเขากวาง

ปะการังเขากวาง (Staghorn coral) เป็นปะการังประเภทที่สร้างหินปูนกลุ่มมีกิ่งก้าน (branching Corals) ซึ่งมีลักษณะกิ่งยาวเห็นได้ชัด เป็นปะการังในสกุล *Acropora* อยู่ในครอบครัว Acroporidae พบแพร่กระจายอยู่ทั่วโลกโดยเฉพาะในเขตอินโดแปซิฟิก มีความหลากหลายของชนิดสูง ประเทศไทยพบทั่วไปทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน เป็นสกุลหลักที่พบทั่วไปในอ่าวไทย และเป็นชนิดเด่นที่พบในบริเวณที่มีน้ำใสหรือในที่ลึก (reef slope) หรือแนวปะการังที่อยู่นอกฝั่ง [43] ปะการังสกุล *Acropora* โคลินีมีลักษณะเป็นซอกที่มีกิ่งก้านแตกออกคล้ายเขากวาง มีตัวปะการังที่อยู่ปลายยอดของกิ่ง มีขนาดใหญ่และมักมีสีส้มแตกต่างกัน ส่วนตัวปะการังด้านข้างมีผนังเจริญดีเฉพาะด้าน นอกทำให้มีลักษณะคล้ายเกล็ด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละโคโลนีแตกต่างกัน อาจมีความกว้างมากกว่าหนึ่งเมตร



รูปที่ 2.8 ปะการังเขากวาง

2.6.2.1 *Acropora formosa* (Dana,1846)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Acropora formosa* (Dana 1846)

ชื่อท้องถิ่น : ปะการังเขากวางก้านยาว

ชื่อสามัญ : Staghorn coral

อาณาจักร : Animal

ไฟลัม : Cnidaria

ต่ำกว่าระดับไฟลัม : Anthozoa

ชั้น : Anthozoa

อันดับ : Scleractinia

ต่ำกว่าระดับอันดับ : Astrocoeniina

วงศ์ : Acroporidae

สกุล : *Acropora*

ผู้ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์และปีที่ตีพิมพ์ : (Dana, 1846)

รูปร่าง/ลักษณะ : ลักษณะของโคโลนีจะเป็นกิ่งยืดยาวออกไปเป็นแท่งๆ คล้ายเขากวาง มักจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มบนพื้นทรายหรือพื้นแข็ง โดยบริเวณปลายกิ่งจะมีคอร์อลไลท์ขนาดใหญ่เป็นทรงกระบอก ส่วนด้านข้างรอบกิ่งจะมีคอร์อลไลท์ขนาดเล็กล้อมรอบ ปะการังเขากวางสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ[45]



รูปที่ 2.9 ปะการังเขากวางก้านยาว (*Acropora formosa*)

2.6.3 ปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของปะการัง

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปะการัง เช่น สภาพพื้นที่ของทะเลที่ค่อนข้างมั่นคง และแข็งเหมาะต่อการลงเกาะของปะการัง น้ำทะเลต้องใสและสะอาด เพื่อให้ได้ปริมาณแสงที่เพียงพอต่อการสังเคราะห์พลังงานให้แก่ปะการัง จึงมักไม่พบปะการังในบริเวณที่มีแสงน้อยเกินไป เช่น ในที่ลึก และปริมาณตะกอนในน้ำทะเลต้องไม่มากเกินไปเพราะตะกอนจะลดปริมาณแสงที่ส่องลงมาในน้ำ มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซวานเทลลีทำให้อัตราการสะสมหินปูนลดลง ปะการังจึงโตช้ากว่าปกติ นอกจากนี้ต้องมีธาตุอาหารที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโต อยู่ในเขตร้อนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-33 องศาเซลเซียส เป็นเขตที่กระแสน้ำไม่อ่อนหรือแรงเกินไป ความเค็มของน้ำประมาณ 28-34 ส่วนในพันส่วน (ppt) จากปัจจัยที่กล่าวมาจึงพบแนวปะการังเฉพาะบริเวณที่ตื้น (0-80 เมตร) ของทะเลในเขตร้อนเท่านั้น [41]

2.6.4 การสืบพันธุ์ของปะการัง มี 2 วิธี ได้แก่ แบบอาศัยเพศ และแบบไม่อาศัยเพศ

2.6.4.1 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เป็นการสืบพันธุ์ที่เกิดจากการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ออกมาผสมกัน การผสมเกิดขึ้นในตัวของปะการัง โพลีปของปะการังอาจเป็น hermaphrodite หรือ dioecious ก็ได้

2.6.4.2 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เป็นการสืบพันธุ์ที่เกิดโพลีปใหม่โดยไม่ได้อาศัยเซลล์สืบพันธุ์ พบ 2 แบบ ได้แก่ เกิดโพลีปใหม่จากการแยกออกของโพลีปเดิม และการแยกตัวใหม่ที่เกิดขึ้นภายนอกของหนวดของตัวเดิม โดยเกิดมาจาก coenosarc หรือ edge zone

2.6.5 ประโยชน์ของแนวปะการัง

2.6.5.1 เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย หลบภัย และแหล่งหากินของสิ่งมีชีวิตนานาชนิด

2.6.5.2 เป็นแหล่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดสมดุลงทางเคมีของมหาสมุทรและของโลก

2.6.5.3 เป็นแนวป้องกันการกัดเซาะและพังทลายของชายฝั่งทะเล

2.6.5.4 เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ

2.7 การใช้ประโยชน์ปะการังเพื่อการตรวจติดตามสภาวะแวดล้อม

ปะการังเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถใช้เป็นดัชนีทางชีวภาพบ่งบอกคุณภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเลได้ เนื่องจากปะการังมีโอกาสรับโลหะในปริมาณสูงจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การขุดลอกท่าเรือ หรือการปล่อยทิ้งของเสีย[45] และส่งผลต่อปะการัง เช่น ธาตุสังกะสี สามารถเข้าแทนที่แคลเซียมหรือรวมตัวกับสารอินทรีย์ต่างๆ ในโครงสร้างของปะการัง ดังนั้น จึงสามารถศึกษาการสะสมโลหะดังกล่าวจากแถบการเจริญเติบโตของปะการังได้ [2] ทั้งนี้ Lagadic *et al.* (1998)[46] และ Read (2002)[47] กล่าวถึง คุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมแก่การเป็นดัชนีทางชีวภาพที่ดีเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อม ดังนี้

- 2.7.1 สามารถสะสมมลสารได้และไม่ถึงแก่ความตาย
- 2.7.2 ทราบพื้นที่ที่แพร่กระจายและที่อยู่อาศัย
- 2.7.3 มีปริมาณเพียงพอและสามารถพบและจับได้ง่าย
- 2.7.4 มีขนาดพอเหมาะและสามารถควบคุมได้
- 2.7.5 เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีอายุค่อนข้างยาวเพื่อเหมาะแก่การสุ่มตรวจวัด
- 2.7.6 เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการสะสมมลสารได้ดี โดยปริมาณการสะสมของมลสารควรมีความสัมพันธ์กับปริมาณมลสารที่ละลายในน้ำ
- 2.7.7 สิ่งมีชีวิตประเภทเดียวกัน (species) ทุกชนิดที่จะใช้ในการสำรวจควรมีรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมลสารที่มีสะสมในร่างกายและในน้ำแบบเดียวกันในทุกพื้นที่และสภาวะแวดล้อมที่ศึกษา
- 2.7.8 มีข้อมูลจากการศึกษาในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันที่มีที่อยู่อาศัยในบริเวณต่างๆ มากเพียงพอ

2.8 ความเหมาะสมในการเป็นดัชนีทางชีวภาพของปะการัง

ลักษณะสำคัญที่ทำให้ปะการังสามารถนำมาใช้ในการศึกษาหรือใช้เป็นดัชนีทางชีวภาพ [5] ได้แก่

- 2.8.1 มีความทนทานต่อธาตุพิษในระดับสูงและไม่ถึงแก่ความตาย
- 2.8.2 เป็นสัตว์ที่อยู่อาศัยแน่นอน ไม่เคลื่อนที่
- 2.8.3 พบได้ทั่วไปในบริเวณศึกษา
- 2.8.4 ช่วงอายุมากพอสำหรับการศึกษา
- 2.8.5 มีขนาดเพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ทั้งโครงสร้างและเนื้อเยื่อ
- 2.8.6 การศึกษาถึงผลกระทบจากธาตุพิษของปะการังทั้งในห้องปฏิบัติการและในธรรมชาติมีความสัมพันธ์กัน
- 2.8.7 มีแถบช่วงอายุในโครงสร้างปะการังที่สามารถบันทึกประวัติสิ่งแวดล้อมได้
- 2.8.8 เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตทางทะเลที่สามารถสกัดคาร์บอนเนตจากน้ำทะเลและทำให้เป็นโครงสร้างขึ้นมาได้ และพบแพร่กระจายทั่วไป นอกจากนี้ มีความสำคัญด้านการศึกษเกี่ยวกับตะกอนและอายุสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บตัวอย่างและเตรียมการวิจัย

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- 3.1.1.1 ตู้ทดลองรังสี ขนาดความจุ 30 ลิตร
- 3.1.1.2 น้ำทะเล
- 3.1.1.3 บั้มเติมอากาศ
- 3.1.1.4 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 มิลลิกรัม (Metler AT201)
- 3.1.1.5 กรรไกรและมีดผ่าตัด (ARCO)
- 3.1.1.6 ไม้บรรทัด / เวอร์เนีย
- 3.1.1.7 อุปกรณ์วางสัตว์ทดลอง (Rack)
- 3.1.1.8 เครื่องวัดค่าความเค็ม (ATAGO Salinometer)
- 3.1.1.9 เครื่องตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (Model pH 615, Consort N.V.)
- 3.1.1.10 ชุดหลอดไฟให้แสงสว่าง ขนาด 400 วัตต์
- 3.1.1.11 เครื่องวัดค่าความเข้มแสง (HOBO)
- 3.1.1.12 เครื่องวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงาน (Gamma spectrometry, ORTECT-Connection -32) ต่อกับ Multichannel analyzer (Meastro-32)
- 3.1.1.13 ถังบรรจุกากกัมมันตรังสี
- 3.1.1.14 หลอดเก็บตัวอย่าง
- 3.1.1.15 บีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 3.1.1.16 สารกัมมันตรังสี สังกะสี-65 ผลิตโดย Isotope Products Laboratories ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.1.17 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 กับ โคบอลต์-60
- 3.1.1.18 ซิงค์ซัลเฟต (BDH)

- 3.1.1.19 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Merck)
- 3.1.1.20 Dye reagent (ชุดตรวจโปรตีน , Bio-Rad cat.No. 500-0006)
- 3.1.1.21 ไมโครปิเปต ขนาด 0.5-10 μ l, 2-20 μ l และ 50-200 μ l (Biohit)
- 3.1.1.22 ไมโครปิเปต ขนาด 30-300 μ l ชนิด 8 หัวจ่าย (Eppendorf)
- 3.1.1.23 ปิเปตทิป ขนาด 1-200 μ l (Axygen)
- 3.1.1.24 ตู้แช่แข็ง อุณหภูมิตั้งที่ -30 องศาเซลเซียส
- 3.1.1.25 แผ่นทำปฏิกิริยา ชนิด 96 หลุม (96-well Microplates , Millipore)
- 3.1.1.26 เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท (Microplate reader ; Tecan model infinite M200)
- 3.1.1.27 เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer GENIE 2 Model G650E, Scientific Industries)
- 3.1.1.28 dilution tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
- 3.1.1.29 Bovine Serum Albumin (BSA)
- 3.1.1.30 ภาชนะใส่สารละลายสำหรับไมโครปิเปตชนิดหลายช่องดูดจ่าย (Multichannel Disposable solution basin)
- 3.1.1.31 Test tube rack ชนิด 96 หลุม
- 3.1.1.32 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic bath, Sonicor)

3.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการวิจัยโดย เก็บตัวอย่างปะการังจากบริเวณสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน จังหวัดภูเก็ต ที่ระดับน้ำลึก 5 เมตร ใช้กรรไกรตัดส่วนปลายปะการังให้มีความยาวจากส่วนยอดประมาณ 5 ± 1 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย 4.7 ± 1.1 กรัม จำนวนประมาณ 200 ตัวอย่าง นำมาเลี้ยงในตู้เลี้ยงที่น้ำไหลผ่าน ภายใต้แสงธรรมชาติ เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อปรับสภาพและรักษาแผลที่ถูกตัด



รูปที่ 3.1 การเลี้ยงปะการังภายใต้แสงธรรมชาติ



รูปที่ 3.2 ปะการังเขากวาง *Acropora Formosa* ที่ใช้ในการวิจัย



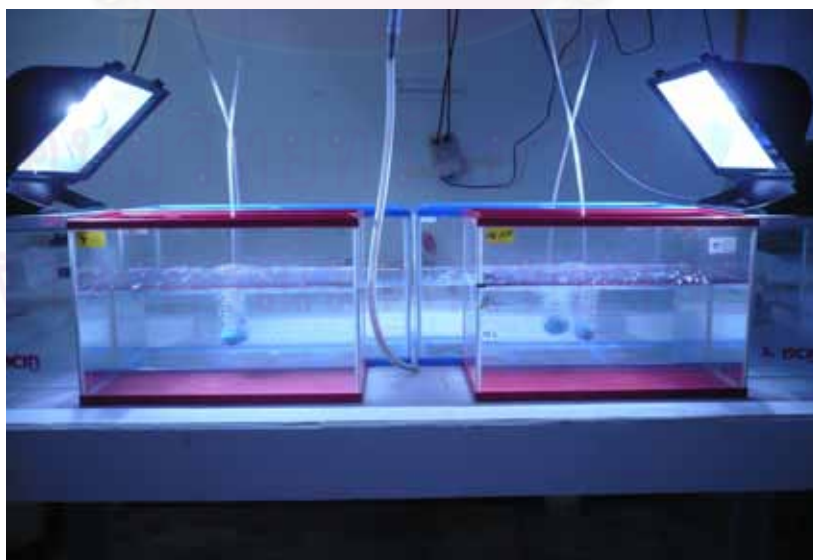
รูปที่ 3.3 การคัตขนาดปะการัง



รูปที่ 3.4 ขนาดปะการังเพื่อการวิจัย

3.2 เงื่อนไขการวิจัย

เงื่อนไขการวิจัยดังนี้ จัดชุดทดลองจำนวน 2 ชุด โดยมีตู้ทดลองขนาดความจุ 30 ลิตร ความเข้มข้นของสารรังสีมาตรฐานสังกะสี-65 ในน้ำทะเล ~ 1 เบ็กเคอเรลต่อมิลลิลิตร (Bq/ml) สำหรับการทดลองรูปแบบการสะสม (uptake) และ 2.6 ± 0.06 Bq/ml สำหรับการทดลองอิทธิพลของความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทะเลและอิทธิพลของแสงต่อศักยภาพการสะสมธาตุสังกะสีในปะการัง อุณหภูมิน้ำทะเล 29-30 องศาเซลเซียส ค่าความเค็มน้ำทะเล 32-34 ส่วนในพัน (ppt) ความเข้มแสง 7500-10000 Lux ช่วงเวลาให้แสงสว่าง 12:12 ชั่วโมง



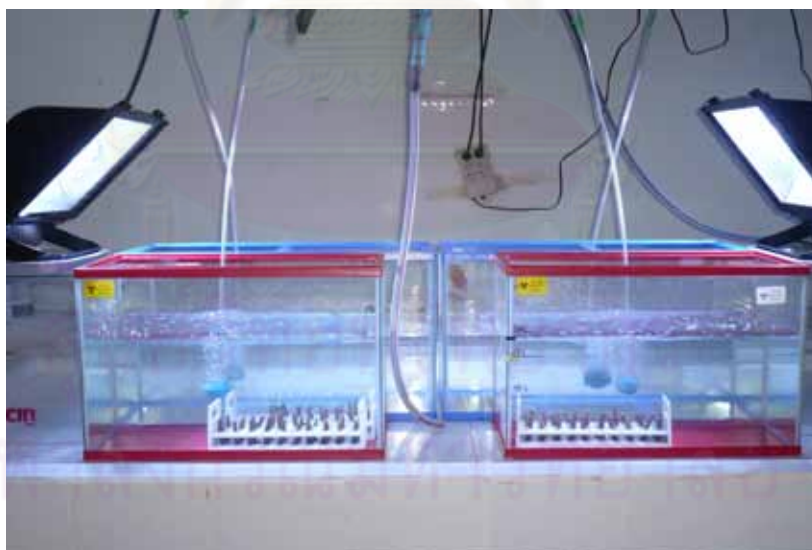
รูปที่ 3.5 แสดงสภาวะเงื่อนไขการวิจัย

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การรับและขับสังกะสี-65 ในตัวอย่างปะการัง

3.3.1.1 การรับสังกะสี-65 (uptake experiment)

การศึกษารูปแบบการรับสังกะสี-65 ของปะการัง โดยนำปะการัง จำนวน 30 ตัวอย่าง ใส่ลงในตู้ทดลองที่เตรียมไว้ตามเงื่อนไขการทดลองพร้อมติดตั้งระบบเติมอากาศ ที่ช่วงเวลา 0, 2, 4, 8, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำทะเลจำนวน 40 มิลลิลิตร (ml) ใส่หลอดทดลอง ขนาด 50 ml และสุ่มเก็บตัวอย่างปะการังจำนวน 3 ตัวอย่าง นำไปแช่ในปิเปกเกอร์ที่บรรจุน้ำทะเลที่ปราศจากรังสีเป็นเวลา 30 นาที นำขึ้นจากน้ำ ชับให้แห้ง ใส่หลอดทดลองขนาด 50 ml นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส เปลี่ยนตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองทุก 24 ชั่วโมง เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสังกะสี-65 ในตู้ทดลองให้คงที่ตลอดช่วงเวลาของการทดลอง ทำซ้ำ 2 ครั้ง



รูปที่ 3.6 การทดลองการรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในปะการัง

3.3.1.2 การขับสังกะสี-65 (Loss experiment)

การศึกษารูปแบบการขับสังกะสี-65 ของปะการัง จัดรูปแบบการทดลอง เช่นเดียวกับการรับสังกะสี-65 แต่ไม่เก็บตัวอย่าง เมื่อครบ 96 ชั่วโมง นำปะการังจำนวน 30 ตัวอย่าง ไปเลี้ยงในตู้ทดลองโดยให้น้ำทะเลปราศจากรังสีไหลผ่าน เก็บตัวอย่างปะการัง หลังจากเริ่มการทดลองที่เวลา 0, 4, 6, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างปะการัง จำนวน 3 ตัวอย่าง จากแต่ละตู้ ทุกช่วงเวลา นำไปแช่ในน้ำทะเลปราศจากรังสี ปริมาตร 100 ml นาน 30 นาที นำขึ้นจากน้ำ ขับให้แห้ง ใส่หลอดทดลองขนาด 50 ml (1หลอด/1ตัวอย่าง) นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ - 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.7 สภาวะทดลองการขับสังกะสี-65 ออกของปะการัง

3.3.2 อิทธิพลของสังกะสีในน้ำทะเลที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

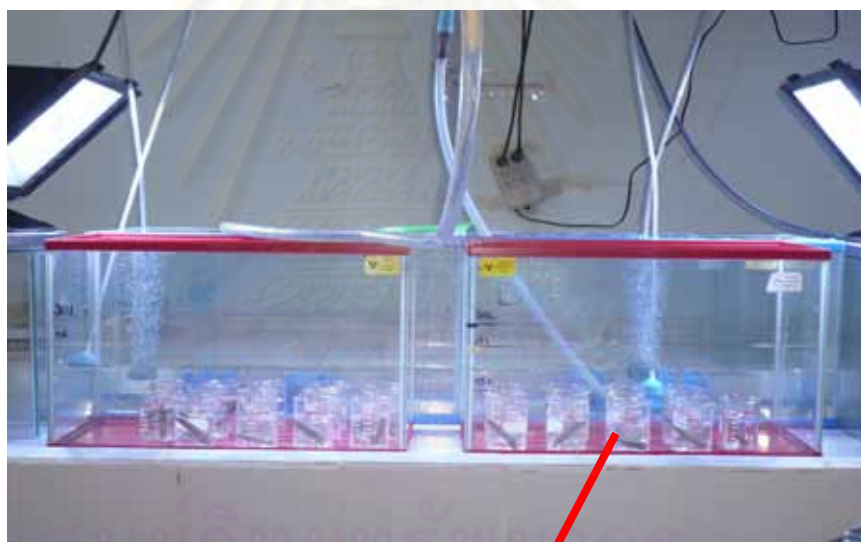
การศึกษอิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการังดำเนินการทดลองดังนี้

3.3.2.1 เตรียมบีกเกอร์ ขนาด 150 ml 2 ชุด ๆ ละ 24 ใบ ใส่น้ำทะเล 100 ml เติม $ZnSO_4$ ให้มีความเข้มข้น 5, 15, 25, 55, 100, 2000 และ 5000 นาโนโมลาร์ต่อลิตร (nmol/L) จำนวนอย่างละ 3 ใบ (ตรวจสอบความเข้มข้นของสังกะสี (stable Zn) โดย ICP/MS)

3.3.2.2 หยดสารรังสี สังกะสี-65 ให้มีความเข้มข้น $2.6 + 0.06$ Bq/ml จากนั้นนำตัวอย่างปะการังแช่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ตัวอย่าง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างปะการังออกจากบีกเกอร์ นำไปแช่ในน้ำทะเลปราศจากรังสี ปริมาตร 100 ml นาน 30 นาที

3.3.2.3 นำตัวอย่างปะการังขึ้นจากน้ำ ชับน้ำให้แห้ง ใส่หลอดทดลองขนาด 50 ml นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส

3.3.2.4 วัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างปะการัง



รูปที่ 3.8 การทดลองอิทธิพลของสังกะสีในน้ำทะเลที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

3.3.3 อิทธิพลของแสงต่อการรับรังสี-65 ของปะการัง

การศึกษาอิทธิพลของแสงต่อการรับรังสี-65 ของปะการัง ดำเนินการทดลอง ดังนี้

3.3.3.1 เตรียมบีกเกอร์ ขนาด 150 ml จำนวน 20 ใบ ใส่น้ำทะเล 60 ml ในแต่ละใบ

3.3.3.2 หยดสารรังสี สังกะสี-65 ให้มีความเข้มข้น $2.6 + 0.06$ Bq/ml นำตัวอย่างปะการังแช่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ตัวอย่าง

3.3.3.3 แบ่งบีกเกอร์ครึ่งหนึ่งไปไว้ในที่มืด อีกครึ่งหนึ่งไว้ในที่สว่าง แช่ไว้ 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างปะการังออกจากบีกเกอร์ นำไปแช่ในน้ำทะเลปราศจากรังสีปริมาณ 100 ml นาน 30 นาที

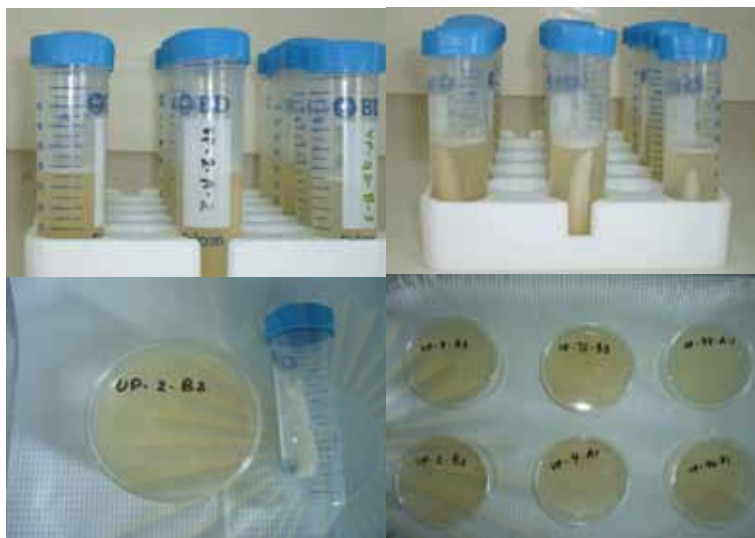
3.3.3.4 นำตัวอย่างปะการังขึ้นจากน้ำ ซับให้แห้ง ใส่หลอดทดลองขนาด 50 ml นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส

3.3.3.5 วัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างปะการัง

3.3.3.6 วิเคราะห์ผลและประเมินค่าทางสถิติโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างประสิทธิภาพการรับเข้ารังสี-65 ระหว่างให้แสงและไม่ให้แสง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

3.3.4 การสกัดเนื้อเยื่อปะการัง

การสกัดเนื้อเยื่อปะการัง ดำเนินการโดยนำตัวอย่างปะการัง (whole colony) หลังจากวัดรังสีแล้ว มาสกัดเนื้อเยื่อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใส่ตัวอย่างในหลอดทดลอง ขนาด 50 ml เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ปริมาตร 25 ml สกัดในเครื่อง Ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ค้างคืน จากนั้นนำตัวอย่างปะการังออกจากหลอด ล้างด้วยน้ำความบริสุทธิ์สูง (Milli-Q water) ปริมาตร 25 ml นำสารละลายตัวอย่างเนื้อเยื่อปะการังมารวมกัน หลังจากนั้นนำไปวัดปริมาณรังสี



รูปที่ 3.9 การสกัดเนื้อเยื่อปะการัง

3.3.5 การเตรียมตัวอย่างกัมมันตรังสีมาตรฐาน

3.3.5.1 น้ำทะเลกัมมันตรังสีมาตรฐาน

บรรจุน้ำทะเลปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในภาชนะทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 3.5 เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลายกัมมันตรังสีมาตรฐานสังกะสี-65 74.07585 kBq ลงในตัวอย่างน้ำทะเลเปิดฝาภาชนะและปิดแนวประกบของฝา ด้วยแผ่นพาราฟินเพื่อป้องกันสารละลายรังสีไหลออก จากนั้นปิดฉลากรังสีบนภาชนะบรรจุ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 น้ำทะเลกัมมันตรังสีมาตรฐาน

3.3.5.2 ปะการังกัมมันตรังสีมาตรฐาน

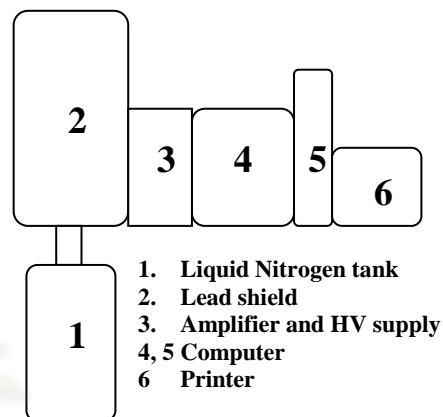
ล้างปะการังให้สะอาด และตากให้แห้ง จากนั้นเติมสารละลายกัมมันตรังสีมาตรฐานสังกะสี-65 ปริมาณ 73.63095 kBq ลงในตัวปะการัง จัดวางบริเวณกึ่งกลางหลอดทดลองที่มีขนาดความจุ 50 ml ปิดฝาหลอดทดลอง และปิดฉลากรังสีบนหลอดทดลองดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ปะการังกัมมันตรังสีมาตรฐาน

3.3.6 การวัดปริมาณรังสีในตัวอย่างปะการัง

กัมมันตภาพรังสีของสังกะสี-65 วิเคราะห์โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี (gamma spectrometry) ที่พีคพลังงาน 1115.55 keV บนหัววัดชนิด HPGe spectrometry (ORTEC-Connection-32) ชนิด n-type ประสิทธิภาพสัมพัทธ์เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์และ p-type ประสิทธิภาพสัมพัทธ์ เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ขนาดหัววัด 3.75 นิ้ว ต่อกับ Multichannel analyzer (Meastro-32) ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดชนิด HPGe

การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณรังสีแกมมาของตัวอย่างประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักที่สำคัญคือ

3.3.6.1 ทำการวัดตัวอย่างมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด โดยใช้เวลา 10 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 5 % ที่ 1 SD จากนั้นดำเนินการปรับเทียบพลังงาน (energy calibration)

3.3.6.2 หาประสิทธิภาพการตรวจวัด โดยอาศัยน้ำหนักของสารละลายกัมมันตรังสีมาตรฐานที่เติมในตัวอย่างแต่ละชนิด และนำข้อมูลจากใบรับรองของสารละลายกัมมันตรังสีมาตรฐานมาคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่เติมในตัวอย่างมาตรฐานและนำค่ากัมมันตภาพรังสีที่วัดได้จากตัวอย่างมาตรฐานมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการวัดจากสูตร

$$\epsilon_E = \frac{R_E}{A(t) * P_\gamma} \quad (3.1)$$

ϵ_E = ค่าประสิทธิภาพของการนับวัดที่พลังงาน

R_E = ค่าอัตราการนับวัดสุทธิ (counts/ วินาที)

$A(t)$ = ความแรงรังสีของสังกะสี-65 เมื่อเวลาทำการทดลอง

P_γ = โอกาสในการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี

3.3.6.3 ทำการตรวจวัดรังสีแกมมาของสังกะสี-65 ในตัวอย่างปะการังทั้งตัว และเนื้อเยื่อ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 600 วินาที คำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) จากนั้นหาค่ากัมมันตภาพรังสีจากสูตร

$$\text{Activity} = \frac{\text{net peak area/time}}{\epsilon_E \times \text{weight} \times P_\gamma} \quad (3.2)$$

คำนวณหาค่า Lower Limit of Detection (LLD) จากสูตร

$$\text{LLD} = \frac{4.66S_b}{\epsilon_E P_\gamma} \quad (3.3)$$

เมื่อ

S_b คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับวัดสุทธิ

ϵ_E คือค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 สำหรับสังกะสี-65

P_γ คือค่าโอกาสการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีซึ่งมีการแผ่รังสีแกมมาซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยการรับและการขับสังกะสี-65 ของปะการังที่ระยะเวลาใดๆ จะทำการคำนวณค่า concentration factor (CF) ของข้อมูลการวิจัยรับสังกะสี-65 และคำนวณร้อยละของ ค่ากัมมันตภาพที่เหลือสะสมในปะการังจากการวิจัยการขับสังกะสีออก จากนั้นข้อมูลทั้งสองชุดจะนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบถดถอยเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของจลนพลศาสตร์การสะสม (uptake kinetic parameters) และการขับสังกะสีออก (loss kinetic parameters) ประกอบด้วยค่า CF ที่สภาวะสมดุล ค่าอัตราการรับ ค่าคงที่อัตราการรับ ค่าประสิทธิภาพคงเหลือ ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพและค่าคงที่อัตราการขับสังกะสี-65 จะทำการวิเคราะห์โดยอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่ายของการรับและขับมลสาร (Kinetic model) (13) ทั้งนี้ จะใช้โปรแกรมสถิติ statistica version 7.1 (48) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การรับสังกะสี-65 เข้าสู่สมในปะการัง

การรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากน้ำทะเล และเก็บสะสมไว้ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตสามารถอธิบายด้วยการเปลี่ยนแปลงของค่า CF ต่อเวลา โดยที่ค่า CF คือ อัตราส่วนของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สะสมในสัตว์ทดลองต่อค่ากัมมันตภาพรังสีในน้ำ

$$CF = \frac{\text{ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสัตว์ทดลองต่อน้ำหนัก (เบ็กเคอเรลต่อกรัม)}}{\text{ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในน้ำทะเลต่อน้ำหนัก (เบ็กเคอเรลต่อกรัม)}} \quad (3.4)$$

การรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีของสิ่งมีชีวิตเข้าสู่ร่างกายสามารถอธิบายด้วยสมการ one-component first-order kinetic model

$$CF_t = CF_{eq} (1 - e^{-k_u t}) \quad (3.5)$$

โดยที่

CF_t คือ ค่า concentration factor ที่เวลา t

CF_{eq} คือ ค่า concentration factor ที่สภาวะสมดุล

k_u คือ ค่า uptake rate constant (ต่อชั่วโมง)

t คือ เวลา (ชั่วโมง)

ที่สภาวะสมดุล สามารถคำนวณค่าอัตราการรับนิวไคลด์กัมมันตรังสี (uptake rate: k) ได้ดังนี้

$$CF_{eq} = k/k_u \quad (3.6)$$

โดยที่

CF_{eq} คือ ค่า concentration factor ที่สภาวะสมดุล

k_u คือ ค่า uptake rate constant (ต่อชั่วโมง)

k คือ ค่าอัตราการรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีเข้าสู่สมในร่างกาย (ต่อโม่ง)

สำหรับกรณีที่สิ่งมีชีวิตรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีเข้าสู่สมในร่างกายได้อย่างต่อเนื่องและไม่ปรากฏสภาวะสมดุลจะอธิบายการรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีด้วยสมการ

$$CF_t = kt \quad (3.7)$$

โดยที่

CF_t	คือ	ค่า concentration factor ที่เวลา t
K	คือ	ค่าอัตราการรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีเข้าสู่สะสมในร่างกาย (ต่อชั่วโมง)
t	คือ	เวลา (วัน)

3.4.2 การขับสังกะสี-65 ออกจากปะการัง

การขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิตสามารถอธิบายด้วย

สมการ single-component exponential model

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3.8)$$

โดยที่

A_0	คือ	ร้อยละของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เหลือสะสมที่ระยะเวลาเริ่มต้น
A_t	คือ	ร้อยละของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เหลือที่เวลา t
λ	คือ	ค่า biological depuration rate constant (ต่อวัน)
t	คือ	เวลา (วัน)

หรือ two-component exponential model

$$A_t = A_{os} e^{-\lambda_s t} + A_{ol} e^{-\lambda_l t} \quad (3.9)$$

โดยที่

A_{os}	คือ	ร้อยละของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เหลือสะสมที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกโดยใช้เวลานั้นๆ
A_{ol}	คือ	ร้อยละของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เหลือสะสมที่ระยะเวลาเริ่มต้นของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกโดยใช้เวลานาน
A_t	คือ	ร้อยละของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เหลือที่เวลา t

λ_s	คือ	ค่า biological depuration rate constant ของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีในช่วงที่ใช้เวลานั้น (ต่อชั่วโมง)
λ_l	คือ	ค่า biological depuration rate constant ของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีในช่วงที่ใช้เวลานาน (ต่อชั่วโมง)
S	คือ	สัญลักษณ์กำกับส่วนของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกโดยใช้เวลานั้นๆ (short component)
I	คือ	สัญลักษณ์กำกับส่วนของการขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกโดยใช้เวลานาน (long component)
t	คือ	เวลา (ชั่วโมง)

ระยะเวลาที่สิ่งมีชีวิตสามารถขับนิวไคลด์กัมมันตรังสีออกจากร่างกายครึ่งหนึ่งของปริมาณที่สะสมในร่างกายหรือค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (biological half life, $T_{b,1/2}$) สามารถคำนวณได้จากค่า biological depuration rate constant โดยที่

$$T_{b,1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (3.11)$$

โดยที่

$T_{b,1/2}$	คือ	ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (ชั่วโมง)
λ	คือ	ค่า biological depuration rate constant (ต่อชั่วโมง)

3.5 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในเนื้อเยื่อปะการัง ด้วยวิธี Microtiter plates โดยวิธีของ Bradford

3.5.1 การเตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve)

3.5.1.1 ผสม Bovine Serum Albumin (BSA) ความเข้มข้น 2000 $\mu\text{g/ml}$ กับ น้ำกลั่น (DDI water) ใน dilution tube ตามอัตราส่วน ตามตาราง

Vial	DDI water.	Volume of BSA	ความเข้มข้น BSA
A	0 μ l	300 μ l จากstock	2000 μ g/ml
B	125 μ l	375 μ l จากstock	1500 μ g/ml
C	325 μ l	325 μ l จากstock	1000 μ g/ml
D	175 μ l	175 μ l จากหลอด B	750 μ g/ml
E	325 μ l	325 μ l จากหลอด C	500 μ g/ml
F	326 μ l	325 μ l จากหลอด E	250 μ g/ml
G	327 μ l	325 μ l จากหลอด F	125 μ g/ml
H	400 μ l	100 μ l จากหลอด A	25 μ g/ml
I	400 μ l	0	0 μ g/ml

3.5.2. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

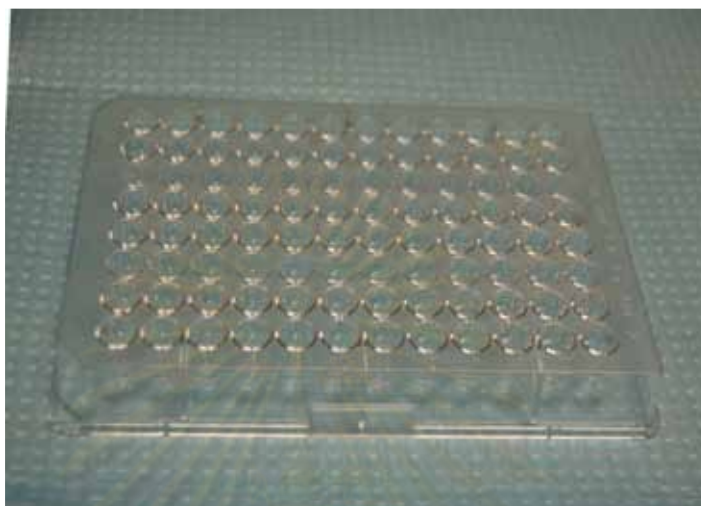
ใน dilution tube เตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ 2 ชุด ชุดแรกไม่เจือจาง ชุดที่ 2 เจือจางด้วยอัตราส่วน 1 : 1 (DDI water : ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง	ตัวอย่าง + น้ำกลั่น
2	1+1

3.5.3 การเตรียม Dye Reagent

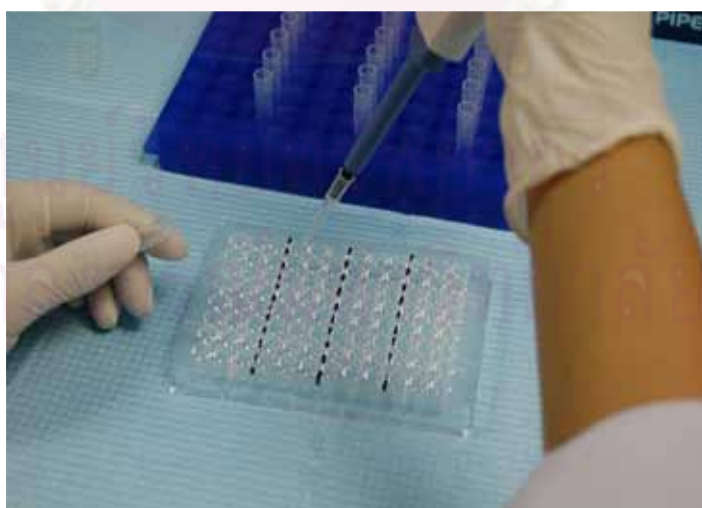
เตรียม Dye Reagent โดยผสม Dye Reagent กับน้ำกลั่นในอัตราส่วนผสมโดยปริมาตร ระหว่าง Dye reagent ต่อน้ำกลั่น 1:4 กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง whatman #1 หรือเทียบเท่า

3.5.4 เตรียมแผ่นทำปฏิกิริยา ชนิด 96 หลุม (96-well microplates ,Millipore)

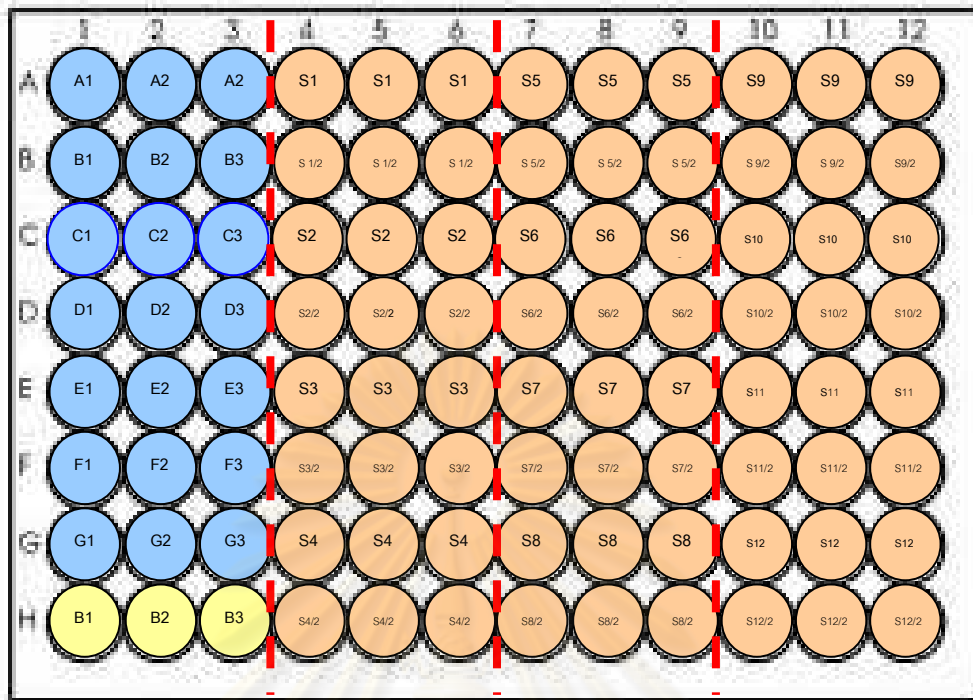


รูปที่ 3.13 แผ่นทำปฏิกิริยา ชนิด 96 หลุม (96-well microplates)

3.5.5 ปิเปต standard, แบลงค์ (น้ำกลั่น) และ ตัวอย่าง ปริมาตร 10 μ l ลงในแผ่นทำปฏิกิริยา ฯ โดยมีผังการปิเปต ดังรูปที่ 3.15



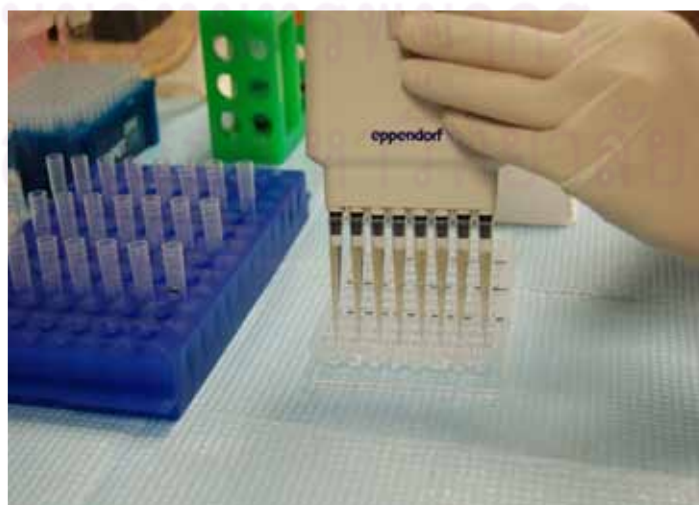
รูปที่ 3.14 แสดงการปิเปต standard, แบลงค์ (น้ำกลั่น) และ ตัวอย่าง ปริมาตร 10 μ l ลงในแผ่นทำปฏิกิริยา ฯ



● = BSA standard ● = ตัวอย่าง ● = Blank

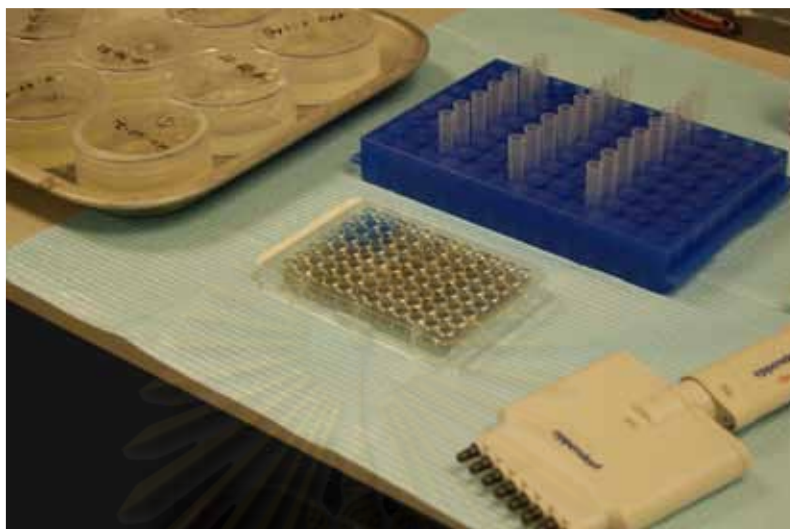
รูปที่ 3.15 แสดงไดอะแกรมการปิเปต standard, แบลงค์ (น้ำกลั่น) และ ตัวอย่าง ปริมาตร 10 μ l ลงในแผ่นทำปฏิกิริยา ฯ

3.5.6 เติม dye reagent ปริมาตร 200 μ l ลงในแผ่นทำปฏิกิริยาฯ ที่เติมตัวอย่างไว้แล้ว โดยใช้ multi-channel pipet ชนิด 8 หัวจ่าย ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการปิเปต dye reagent ปริมาตร 200 μ l ลงในแผ่นทำปฏิกิริยาฯ

3.5.8 วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนการวิเคราะห์ประมาณ 5 นาที



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างของการวิเคราะห์

3.5.9 นำมาอ่านค่าด้วยเครื่อง Microplate Reader ที่ช่วงความยาวคลื่น 595 nm



รูปที่ 3.18 แสดงการนำตัวอย่างเข้าเครื่อง Microplate Reader



รูปที่ 3.19 แสดงการนำตัวอย่างเข้าเครื่อง Microplate Reader

3.5.10 นำค่าที่ได้มา plot กราฟมาตรฐาน และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง

3.5.11 คำนวณปริมาณโปรตีน จากความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

$$\text{โปรตีนทั้งหมดในสารละลาย 50 ml} = \frac{\text{โปรตีนในสารละลาย } (\mu\text{g/ml}) \times 50 \text{ ml}}{1000}$$

$$= \text{mg.protein} / \text{โปรตีนทั้งหมด}$$

3.5.12 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีต่อปริมาณโปรตีน

$$\frac{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq) ในเนื้อเยื่อปะการัง 50 ml}}{\text{mg.protein}}$$

$$= \text{Bq} / \text{mg.protein}$$

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพของน้ำทะเลที่ใช้ในการวิจัย

ผลการตรวจวัดคุณภาพของน้ำทะเลและเงื่อนไขต่าง ๆ ตลอดช่วงเวลาของการวิจัย ประกอบด้วย ค่ากัมมันตภาพ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิ และความเข้มแสง ปრაกฏผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิจัย

พารามิเตอร์	การวิจัย		
	การรับและขับออก สังกะสี-65	ผลของความเข้มข้น	อิทธิพลของแสง
กัมมันตภาพ (Bq/ml)	0.8 ± 0.07	2.6 ± 0.06	2.6 ± 0.06
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7 ± 1	7 ± 1	7 ± 1
ความเค็ม	30 ± 1	30 ± 1	30 ± 1
อุณหภูมิ	29 ± 0.36	29 ± 0.36	29 ± 0.36
ความเข้มแสง	7500 ± 2500 Lux	7500 ± 2500 Lux	7500 ± 2500 Lux
ระยะเวลา	96 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในตัวอย่งน้ำทะเลและเนื้อเยื่อปะการังเขากวาง โดยวิธี ICP/MS พบว่าปริมาณสังกะสีในตัวอย่งน้ำทะเลมีค่าน้อยกว่า 0.0030 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสังกะสีในเนื้อเยื่อปะการังมีค่าเท่ากับ 7.822 ± 1.790 ไมโครกรัม/กรัม

4.2 การรับรังสี-65 เข้าสู่สมในปะการัง

ผลการศึกษาการรับรังสี-65 เข้าสู่สมในปะการัง ปรากฏดังในตารางผนวกที่ 1-2 และ ข้อมูลจากการประมาณค่าการสะสมของรังสี-65 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

จากการทดลองให้ปะการังมีการรับรังสี-65 เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าปะการังมีการรับ รังสี-65 เข้าสู่สมในร่างกายได้ดี (รูปที่ 4.1) มีปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการ สัมผัสกับสารกัมมันตรังสี เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถรับ รังสี-65 เข้าสู่สมในร่างกายได้เท่ากับ 340.644 ± 46.848 Bq/g (ตารางที่ 4.2) หรือคิดเป็น 405 เท่าของระดับความเข้มข้นของรังสี-65 ที่เติมลงในน้ำทะเลในตู้ทดลองรังสี หรือมีค่า CF เฉลี่ยเท่ากับ 405.45 ± 55.76 (ตารางผนวกที่ 3)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของรังสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการทดลอง การรับรังสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/g) ในปะการังทั้งโคโลนี
0	0.005 ± 0.016
2	8.889 ± 2.465
4	17.677 ± 3.551
8	34.016 ± 14.333
24	54.272 ± 11.636
48	146.878 ± 89.675
72	215.737 ± 86.147
96	340.644 ± 46.848

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (n=6)

SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รูปแบบการสะสมรังสี-65 ที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง มีการสะสมในลักษณะเพิ่มขึ้นและต่อเนื่อง โดยไม่ปรากฏการเข้าสู่ภาวะสมดุล และมีรูปแบบเชิงเส้น (Simple Linear model) จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมสถิติ STATISTICA 7.1 [48] พบว่า ประการังมีค่าอัตราการรับเท่ากับ 3.9036 เท่าของปริมาณในน้ำทะเลต่อชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์ของสมการ แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของการสะสมรังสี-65 ของปะการังทั้งโคโคนี้

นิวไคลด์ กัมมันตรังสี	รูปแบบ	CFm	K(SE)	R ²	p-value
รังสี-65	L	405.45	3.9036(0.171)	0.92695	< 0.0005

หมายเหตุ

L = Linear uptake model

$$CF = \frac{\text{ค่ากัมมันตภาพรังสีในปะการังต่อน้ำหนักปะการัง (Bq/g)}}{\text{ค่ากัมมันตภาพรังสีในน้ำทะเลต่อน้ำหนักน้ำทะเล (Bq/g)}}$$

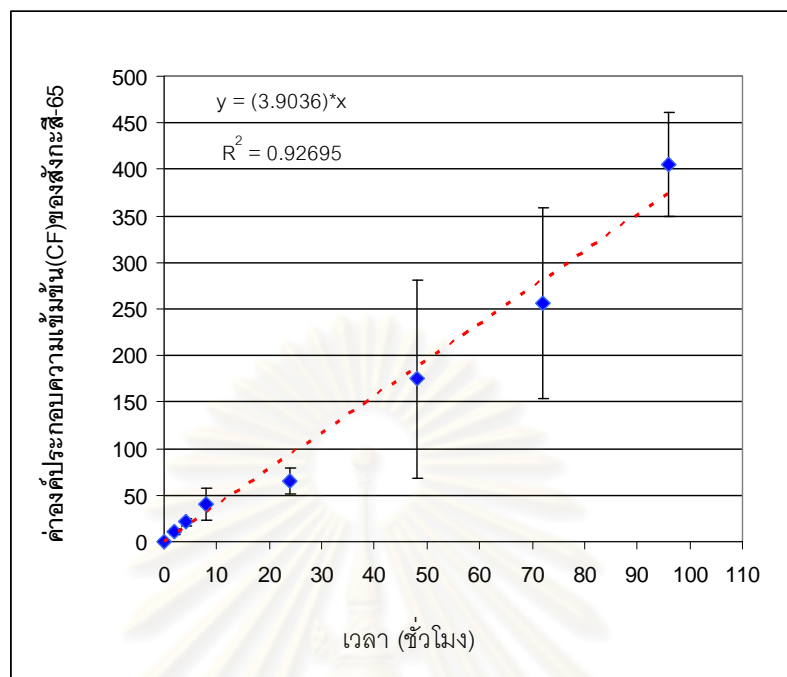
CFm = ค่า concentration factor จากการทดลองการรับรังสี-65 ที่เวลา 96 ชั่วโมง

k = ค่าอัตราการรับ (ต่อชั่วโมง)

SE = Asymptotic standard error

R² = determination of coefficient

P = probability of the model adjustment



รูปที่ 4.1 รูปแบบการสะสมสั้งกะสี-65 ในปะการังที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง

(ค่าองค์ประกอบความเข้มข้น (CF) ; mean \pm SD, n=6)

4.3 การขับสั้งกะสี-65 ออกจากปะการัง

ผลการศึกษาการขับสั้งกะสี-65 ออกจากปะการัง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีลักษณะการขับออกอย่างต่อเนื่อง ร้อยละของการขับออกพบว่า ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเริ่มช้าลงในเวลาต่อมา เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถขับสั้งกะสี-65 ออกจากร่างกายได้ร้อยละ 65.76 (ตารางที่ 4.4)

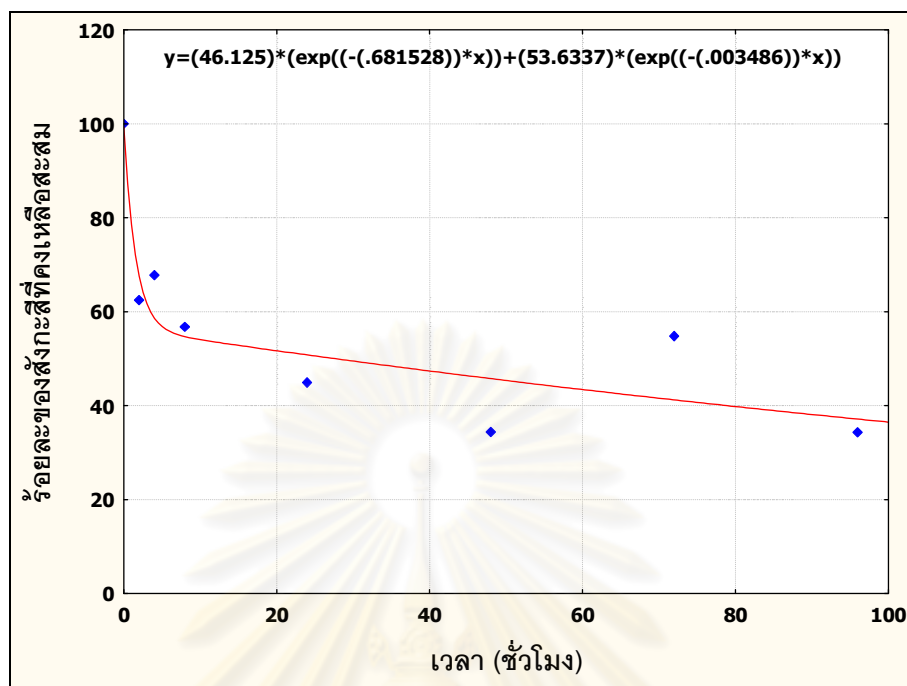
ตารางที่ 4.4 ร้อยละของสังกะสี-65 ที่เหลือสะสมในปะการังจากการทดลองการขับสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	ร้อยละของสังกะสี-65 ที่เหลือสะสมในปะการัง
	ร้อยละ \pm SD
0	100 \pm 0
2	50.767 \pm 21.170
4	67.743 \pm 17.444
8	56.775 \pm 21.408
24	44.908 \pm 11.234
48	34.341 \pm 8.757
72	62.340 \pm 13.643
96	34.238 \pm 6.963

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (n=6)

SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รูปแบบการขับออกของสังกะสี-65 ที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง มีทิศทางการขับออกในลักษณะลดลงอย่างต่อเนื่อง ไม่ปรากฏการเข้าสู่ภาวะสมดุล และมีรูปแบบ two-component exponential model (รูปที่ 4.2) โดยช่วงเริ่มต้น (8 ชั่วโมงแรก) ปะการังจะขับสังกะสี-65 อย่างรวดเร็วคิดเป็นร้อยละ 46.12 มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างรวดเร็ว ($Tb_{1/2}$ shr) เท่ากับ 1 ชั่วโมง ที่เหลือจะถูกขับออกอย่างช้าๆ โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างช้าๆ ($Tb_{1/2}$ lhr) เท่ากับ 199 ชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์ของสมการ วิเคราะห์โดยโปรแกรมสถิติ STATISTICA 7.1 [48] แสดงไว้ในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ร้อยละของสังกะสี-65 ที่คงเหลือสะสมจากการขับนิวโคเลดท์กัมมันตรังสี
ออกจากปะการังเป็นเวลา 96 ชั่วโมง (mean, n=6)

4.4 อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

จากการทดลองผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อประสิทธิภาพการรับสังกะสี-65 ของปะการัง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีสูงเกิน 500 นาโนโมลาร์ต่อลิตร (nmol/L) มีผลทำให้ประสิทธิภาพการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ลดลง ดังรูปที่ 4.3

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของการขับสังกะสี-65 ของปะการังทั้งตัว

นิวเคลอ์กัมมันตรังสี	รูปแบบ	$A_{0s},(SE) \%$	$\lambda_s(SE)$	$Tb_{1/2}shr$	$P\text{-value}$	$A_{0l},(SE) \%$	$\lambda_l(SE)$	$Tb_{1/2}lhr$	R^2	$P\text{-value}$
สังกะสี-65	T	46.13(7.58)	0.68(0.34)	1.017	< 0.05	53.63(5.14)	0.0035(0.0019)	198.61	0.821	< 0.05

T = two-component loss model

A_{0s} = สัดส่วน short component

A_{0l} = สัดส่วน long component

SE = asymptotic standard error

p-value = probability of the model adjustment

λ_s = biological depuration rate constant ของการขับสังกะสี-65 ในช่วงที่ใช้เวลาสั้น (ต่อชั่วโมง)

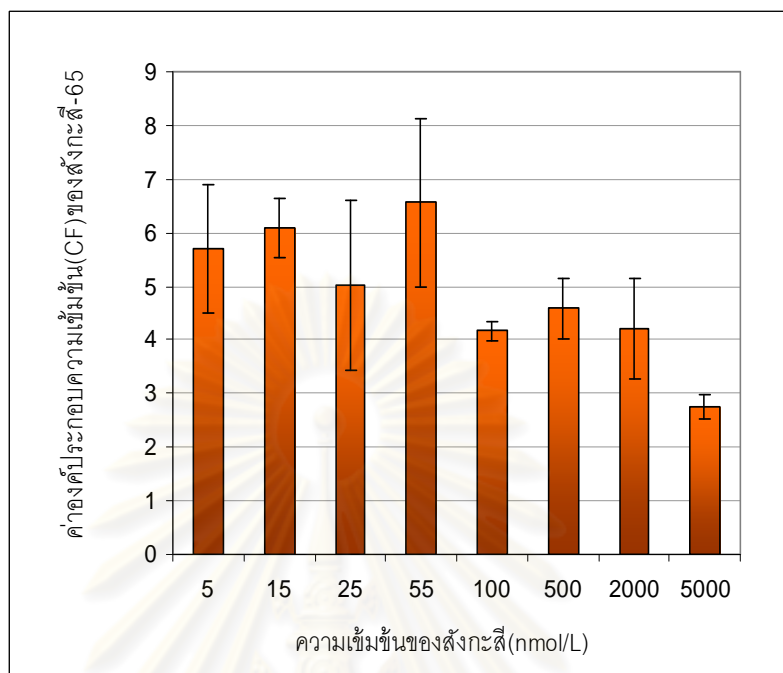
λ_l = biological depuration rate constant ของการขับสังกะสี-65 ในช่วงที่ใช้เวลานาน (ต่อชั่วโมง)

$Tb_{1/2}lhr$ = ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างรวดเร็ว

$Tb_{1/2}s hr$ = ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างช้า

R^2 = determination of coefficient

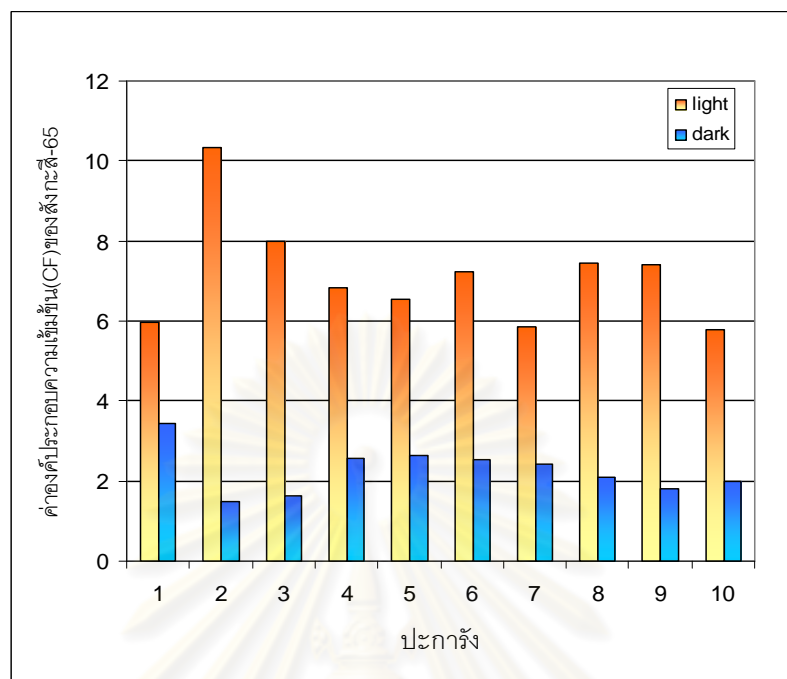
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 อัตราการรับสังกะสี-65 ของปะการังที่ความเข้มข้นของสังกะสีระดับต่างๆ
(mean \pm SD, n=3)

4.5 อิทธิพลของแสงต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

จากการทดลองประสิทธิภาพการรับสังกะสี-65 ของปะการังในขณะให้แสงกับไม่ให้แสงเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าปะการังกลุ่มที่ให้แสงมีการรับสังกะสี-65 ได้ดีกว่ากลุ่มทดลองในที่มืดอย่างมีนัยสำคัญ (t -test, $p < 0.05$) (รูปที่ 4.4) โดยแสงมีผลต่อประสิทธิภาพการรับสังกะสี-65 ของปะการัง ในสัดส่วน 2 เท่า



รูปที่ 4.4 อัตราการรับรังสี-65 ของปะการังภายใต้สภาวะให้แสงกับไม่ให้แสง
(mean , n=3)

4.6 การรับรังสี-65 เข้าสู่สมในเนื้อเยื่อปะการัง

ผลการศึกษาการสะสมของรังสี-65 ในส่วนของเนื้อเยื่อปะการัง พบว่ารังสี-65 เข้าสู่สมในเนื้อเยื่อปะการังได้ดี (รูปที่ 4.5) การสะสมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถรับรังสี-65 เข้าสู่สมในเนื้อเยื่อได้เท่ากับ 38297.053 ± 13751.213 Bq/g protein หรือคิดเป็น 47633 เท่า ของระดับความเข้มข้นของรังสี-65 ที่เติมลงในน้ำทะเลในตู้ทดลองรังสี หรือมีค่า CF เฉลี่ยเท่ากับ 47633.15 ± 17103.5 (ตารางผนวกที่ 10)

ตารางที่ 4.6 ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g protein) ในเนื้อเยื่อปะการัง จากการสะสมสังกะสี-65 เป็นเวลา 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/g protein) ในเนื้อเยื่อปะการัง		
0	0.001	±	6.792
2	762.214	±	144.622
4	1361.100	±	337.116
8	2498.866	±	861.339
24	4407.352	±	1611.334
48	11326.505	±	7122.953
72	24546.828	±	16795.078
96	38297.053	±	13751.213

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (n=6)

รูปแบบการสะสมสังกะสี-65 ในส่วนของเนื้อเยื่อปะการัง มีลักษณะแบบเชิงเส้น (Simple Linear model) เช่นเดียวกับโครงสร้างปะการัง มีค่าอัตราการสะสมเท่ากับ 449.192 เท่าของปริมาณในน้ำทะเลต่อชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์ของสมการ [48] แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของการสะสมสังกะสี-65 ในเนื้อเยื่อของปะการังทั้งตัว

นิวไคลด์ กัมมันตรังสี	รูปแบบ	CF (96t)	K(SE)	R ²	p-value
สังกะสี-65	L	47633.151	449.192(13.168)	0.854	< 0.0005

หมายเหตุ

L = Linear uptake model

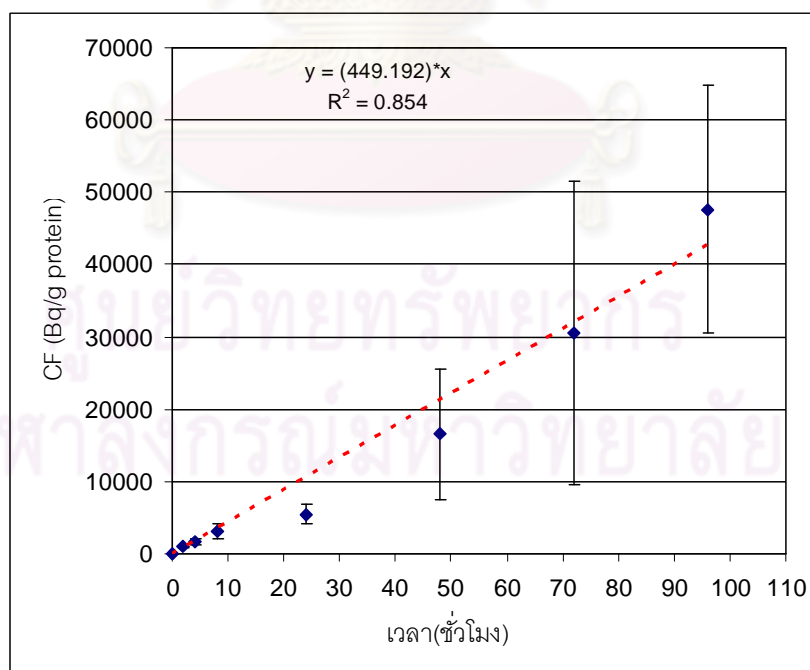
CF = ค่า concentration factor จากการทดลองการรับสังกะสี-65 ที่เวลา 96 ชั่วโมง

k = ค่าอัตราการรับ (ต่อชั่วโมง)

SE = Asymptotic standard error

R² = determination of coefficient

P = probability of the model adjustment



รูปที่ 4.5 รูปแบบการสะสมสังกะสี-65 ในเนื้อเยื่อปะการังที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง

(mean ± SD, n=6)

4.7 การขับสังกะสี-65 ออกจากเนื้อเยื่อปะการัง

ผลการศึกษาการขับสังกะสี-65 ออกจากเนื้อเยื่อปะการัง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับในโครงสร้างปะการัง โดยปะการังขับสังกะสีออกอย่างต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถขับสังกะสี-65 ออกจากเนื้อเยื่อได้ร้อยละ 68.72 (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 ร้อยละของสังกะสี-65 ที่เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการทดลองการขับสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

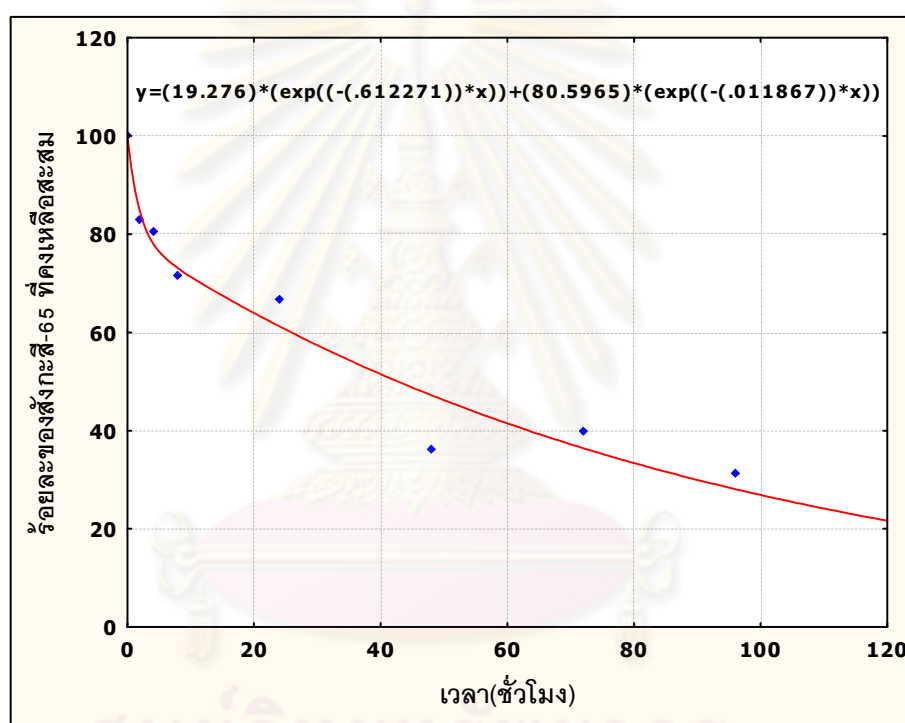
ชั่วโมงที่	ร้อยละของสังกะสี-65 ที่เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการัง
	ร้อยละ \pm SD
0	100 \pm 0.000
2	83.166 \pm 19.530
4	80.493 \pm 28.891
8	71.532 \pm 11.582
24	66.579 \pm 8.898
48	36.408 \pm 6.429
72	39.679 \pm 6.285
96	31.280 \pm 8.059

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (n=6)

SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รูปแบบการขับออกของสังกะสี-65 ในส่วนของเนื้อเยื่อปะการัง ที่ระยะเวลาทดลอง 96 ชั่วโมง มีทิศทางการขับออกในลักษณะลดลงอย่างต่อเนื่อง และไม่ปรากฏการเข้าสู่ภาวะสมดุล มีรูปแบบลักษณะแบบ two-component exponential model (รูปที่ 4.6) เมื่อทำการวิเคราะห์

โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (STATISTICA7.1) [48] เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของการขับสังกะสี-65 ออก (loss kinetic parameters) พบว่า ช่วงเริ่มต้น (4 ชั่วโมงแรก) ปะการังจะขับสังกะสี-65 อย่างรวดเร็ว (A_0s) คิดเป็นร้อยละ 19.28 มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างรวดเร็ว ($Tb_{1/2s}$) เท่ากับ 1 ชั่วโมง ที่เหลือจะถูกขับออกอย่างช้าๆ โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างช้า ($Tb_{1/2l}$) เท่ากับ 58 ชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์ของสมการ แสดงไว้ในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.6 ร้อยละของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน ที่คงเหลือสะสมจากการขับสังกะสี ออกจากเนื้อเยื่อปะการัง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง (mean, n=6)

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ของการขับสังกะสี-65 ของเนื้อเยื่อปะการัง

นิวไคลด์กัมมันตรังสี	รูปแบบ	$A_{0s},(SE) \%$	$\lambda_s(SE)$	$Tb_{1/2}shr$	$P\text{-value}$	$A_{0l},(SE) \%$	$\lambda_l(SE)$	$Tb_{1/2}lhr$	R^2	$P\text{-value}$
สังกะสี-65	T	19.28(9.54)	0.61(0.80)	1.132	< 0.05	80.60(7.30)	0.012(0.0026)	58.39	0.821	< 0.05

T = two-component loss model

A_{0s} = สัดส่วน short component

A_{0l} = สัดส่วน long component

SE = asymptotic standard error

P-value = determination of adjustment

λ_s = biological depuration rate constant ของการขับสังกะสี-65 ในช่วงที่ใช้เวลานั้น (ต่อชั่วโมง)

λ_l = biological depuration rate constant ของการขับสังกะสี-65 ในช่วงที่ใช้เวลานาน (ต่อชั่วโมง)

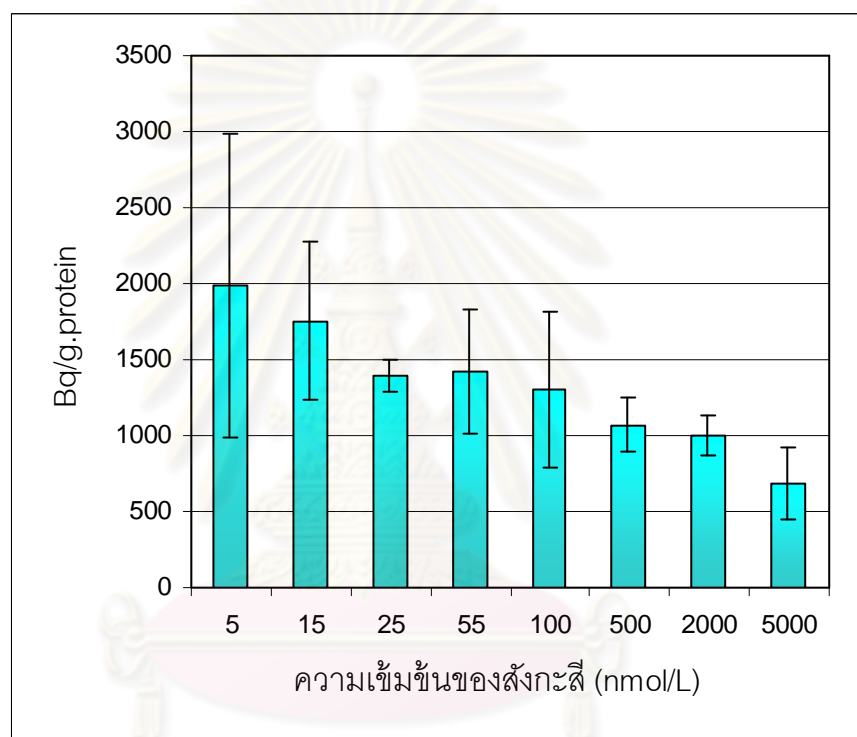
$Tb_{1/2}lhr$ = ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างรวดเร็ว

$Tb_{1/2}s hr$ = ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างช้า

R^2 = determination of coefficient

4.8 อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการรับสังกะสี-65 เข้าสู่เนื้อเยื่อปะการัง

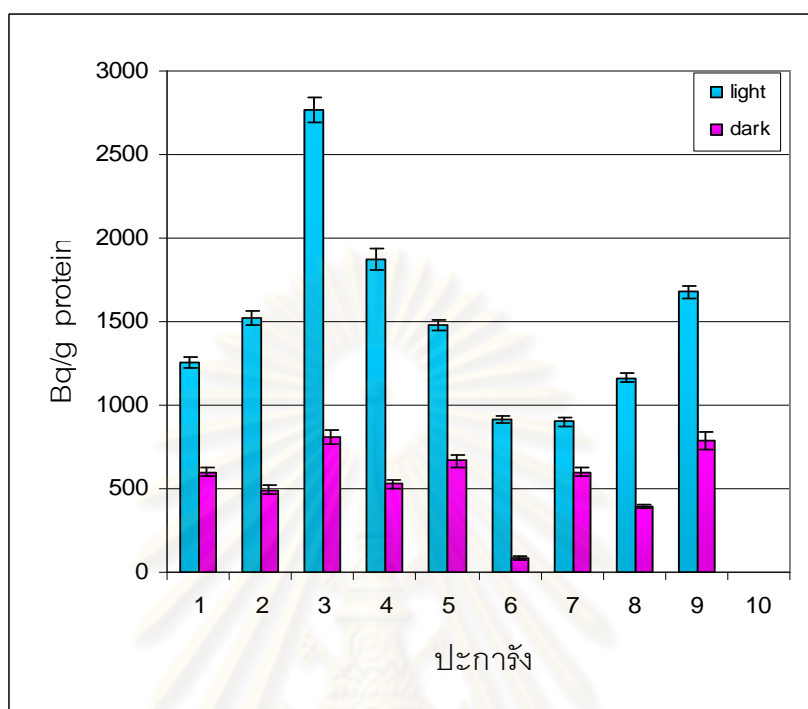
จากการวิจัยผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อประสิทธิภาพการรับสังกะสี-65 ของปะการังในส่วนของเนื้อเยื่อ พบว่า ประสิทธิภาพการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ลดลง เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีสูงเกิน 500 (nmol/l) เช่นเดียวกับผลการทดลองในโครงสร้างปะการัง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 อัตราการรับสังกะสี-65 ของเนื้อเยื่อปะการังที่ความเข้มข้นของสังกะสีระดับต่างๆ ลดลงตามลำดับ (mean ± SD, n=3)

4.9 อิทธิพลของแสงต่อการรับสังกะสี-65 เข้าสู่เนื้อเยื่อปะการัง

ผลการศึกษากการรับสังกะสี-65 ของปะการังในส่วนของเนื้อเยื่อ ในขณะที่ให้แสงกับไม่ให้แสง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับการสะสมในโครงสร้างปะการัง โดยปะการังกลุ่มที่ให้แสงมีการรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในเนื้อเยื่อได้ดีกว่ากลุ่มทดลองในที่มืดอย่างมีนัยสำคัญ (t -test, $p < 0.05$) (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 อัตราการรับสังกะสี-65 ของเนื้อเยื่อปะการังภายใต้สภาวะให้แสงกับไม่ให้แสง
(mean \pm SD, n=3)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะหรือธาตุอาหารอื่นๆ ในน้ำทะเลต่อคุณภาพและสุขภาพของปะการัง ด้วยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ชนิดตัวติดตามทางรังสี ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกลำบากมาใช้เพื่อศึกษาศักยภาพของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในระบบนิเวศทางทะเล ในการรับมลสารเข้าสะสมและการขับมลสารออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ สำหรับการวิจัยนี้ได้ศึกษาการสะสมธาตุสังกะสีในปะการังเขากวาง (*Acropora Formosa*) จากสังกะสีในรูปสารละลาย โดยใช้สภาพจำลองตามธรรมชาติ สามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 การรับและขับออกของสังกะสี-65 ในปะการัง

จากการวิจัยนี้ พบว่า ปะการัง *A.formosa* มีความสามารถในการสะสมสังกะสี-65 ได้ดี จากการศึกษาการสะสมเป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าปะการังรับสังกะสี-65 เข้าสะสมเพิ่มขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ปรากฏการเข้าสู่ภาวะสมดุล มีรูปแบบการสะสมเป็นแบบเชิงเส้น จากการทดลอง 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถรับสังกะสีเข้าสะสมไว้ได้สูงสุด 340.644 ± 46.848 Bq/g หรือ 405 เท่าของกัมมันตภาพที่มีในน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง ในขณะที่การรับเข้าสังกะสีสู่เนื้อเยื่อมีลักษณะแบบเดียวกันคือ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและไม่ปรากฏการเข้าสู่สมดุล โดยตลอดระยะเวลา 96 ชั่วโมงของการทดลอง สามารถรับสังกะสีเข้าสะสมในเนื้อเยื่อไว้ได้ 38297.053 ± 13751.213 Bq/g protein หรือ 47633 เท่าของกัมมันตภาพที่มีในน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการขับสังกะสีออก พบว่ามีลักษณะการขับออกอย่างต่อเนื่อง และมีรูปแบบเป็น two-component exponential มีค่าการขับออกอย่างรวดเร็วร้อยละ 46.13 ประสิทธิภาพการคงอยู่ในช่วงการขับออกอย่างรวดเร็วมีค่าร้อยละ 53.63 ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างรวดเร็ว เท่ากับ 1 ชั่วโมง และอย่างช้า เท่ากับ 199 ชั่วโมง ในส่วนของเนื้อเยื่อปะการัง ค่าการขับออกอย่างรวดเร็วร้อยละ 19.28 ประสิทธิภาพการคงอยู่ในช่วงการขับออกอย่างรวดเร็วมีค่าร้อยละ 80.59 โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65

ออกอย่างรวดเร็ว เท่ากับ 1 ชั่วโมง และอย่างช้าเท่ากับ 58 ชั่วโมง ผลการวิจัยนี้ บ่งชี้ว่าสังกะสีเข้าสู่สมในส่วนของเนื้อเยื่อมากกว่าในโครงสร้างปะการัง เนื่องจากปริมาณการสะสมของสังกะสีในเนื้อเยื่อมากกว่าในโครงสร้าง และประสิทธิภาพการคงอยู่ในช่วงการขับออกอย่างรวดเร็ว พบว่าในส่วนของเนื้อเยื่อปะการังมีค่าการขับสังกะสีออกอย่างรวดเร็วในปริมาณน้อย (ร้อยละ 19.28) ในขณะที่โครงสร้างปะการังมีค่าประสิทธิภาพการคงอยู่ในช่วงการขับออกอย่างรวดเร็วร้อยละ 53.63 ซึ่งกล่าวได้ว่า โครงสร้างปะการังมีการขับสังกะสีออกอย่างรวดเร็วในปริมาณมาก (ร้อยละ 43.13) การขับสังกะสี-65 ออกจากปะการัง จะใช้เวลา 1 ชั่วโมง ถึง 8 วัน (199 ชั่วโมง) นั่นคือปะการังสามารถสะสมสังกะสี-65 ได้ดี การรับและขับออกของสังกะสี-65 ในปะการังชนิดนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับปะการังชนิดอื่นที่พบว่าสามารถรับสังกะสีและสะสมไว้ในร่างกายได้ดี [2,5,45]

โดย Ferrier-Pages C. และคณะ (2005)[2] ได้ศึกษาการสะสมสังกะสีในปะการังแข็งชนิด *Stylophora pistillata* เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า ปะการังสะสมสังกะสีได้ดี และต่อเนื่อง มีรูปแบบการสะสมแบบเชิงเส้น (Simple Linear model) เช่นเดียวกับการวิจัยนี้ ในส่วนของการทดลองการขับสังกะสีออก พบว่า มีลักษณะแบบเดียวกัน คือมีรูปแบบเป็น two-component exponential model ซึ่งในช่วงเริ่มต้น สังกะสีถูกขับออกอย่างรวดเร็วถึง 30 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุอาจเกิดจากสังกะสีไปสะสมที่บริเวณเมือกภายนอกโครงสร้างของปะการัง ซึ่งเมือกดังกล่าวมีคุณสมบัติสามารถดักจับโลหะได้ อีก 70 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือ ถูกขับออกโดยกระบวนการ metabolism ของปะการัง โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพสำหรับการขับสังกะสี-65 ออกอย่างรวดเร็ว เท่ากับ 4 ชั่วโมง และอย่างช้าเท่ากับ 1 เดือน (720 ชั่วโมง) ซึ่งการขับสังกะสีออกของปะการังที่เป็นไปอย่างช้าๆ สาเหตุอาจเนื่องมาจากสังกะสีส่วนมากสะสมในส่วนของเนื้อเยื่อปะการัง คณะวิจัย ยังพบว่า การขับสังกะสีออกของปะการังขึ้นอยู่กับ 3 องค์ประกอบ คือ ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ โครงสร้างของปะการังและการตอบสนองต่อธาตุโลหะในช่วงเวลาการสัมผัส แต่จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การรับและสะสมธาตุโลหะต่างๆ ของปะการัง เช่น สตรอนเชียม แมกนีเซียม รวมทั้งสังกะสี มีลักษณะการสะสมแบบเดียวกัน คือสะสมในส่วนของโครงสร้างของปะการัง ซึ่งสามารถดูร่องรอยการสะสมธาตุโลหะจากโครงสร้างนั้นได้ (skeleton records)

ร่องรอยดังกล่าว สันนิษฐานว่าเกิดจากการรับและสะสมธาตุโลหะ เช่น สังกะสี เข้าสู่โครงสร้างของปะการังแล้วไม่ถูกขับออก เกิดการสะสมและรวมตัวกับโครงสร้างใหม่ที่เกิดขึ้นมา

Hanna และ Muir (1989)[5] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสะสมธาตุโลหะในโครงสร้างและเนื้อเยื่อของปะการัง 3 ชนิด คือ *Porites lutes*, *Goniastrea retiformis* และ *Pocillopora verrucosa* จากแหล่งที่มีมลพิษและไม่มีมลพิษ พบว่า ปะการังทั้ง 3 ชนิดมีการรับและสะสมธาตุโลหะได้ดี ทั้งในส่วนของโครงสร้างและเนื้อเยื่อ โดยพบการสะสมในเนื้อเยื่อมากกว่าในโครงสร้าง เช่น พบการสะสมสังกะสี ในเนื้อเยื่อมากกว่าในโครงสร้างถึง 150 เท่า ในขณะที่การทดลองนี้พบการสะสมสังกะสี ในเนื้อเยื่อมากกว่าในโครงสร้าง 112 เท่า นอกจากนี้ ผลการศึกษา ยังพบว่าปะการังที่อยู่ในแหล่งมลพิษมีค่าการสะสมธาตุโลหะสูงกว่าปะการังในพื้นที่ปลอดมลพิษ และพบว่าความแตกต่างระหว่างชนิดของปะการังมีผลต่อการรับธาตุโลหะเข้าสู่สะสมในร่างกายทั้งในโครงสร้างและเนื้อเยื่อเช่นกัน แม้อยู่ในสิ่งแวดล้อมเดียวกัน

ขณะที่ Esslemont (2000)[45] ได้ศึกษาศักยภาพของปะการัง *Goniastrea aspera*, *P. danicornis* และ *A. formosa* ต่อการรับและสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล โครเมียม และ สังกะสี จาก 3 แหล่ง พบว่า ปะการังทั้ง 3 ชนิดมีการรับและสะสมโลหะหนักได้ดี ทั้งในเนื้อเยื่อและโครงสร้างปะการัง โดยเฉพาะเนื้อเยื่อ พบการสะสมมากกว่าในโครงสร้างของปะการังทั้ง 3 ชนิด แต่การสะสมในโครงสร้างปะการังมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อไม่สัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม และพบว่า ปะการังชนิดเดียวกัน มีการรับและสะสมโลหะหนักได้ไม่เท่ากัน อาจเกิดจากปัจจัยการเจริญเติบโตและการกระจายตัวของอนุภาคหรือโลหะไม่สม่ำเสมอ การสะสมโลหะหนักในปะการัง เกิดจากกระบวนการส่งผ่านโลหะระหว่างเนื้อเยื่อและโครงสร้าง กระบวนการดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของปะการัง, ประสิทธิภาพของโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่ปะการัง, ความทนทานต่อโลหะหนักของปะการังและปริมาณของสาหร่ายซูซันเทลลี (Zooxanthalle) ในปะการังแต่ละชนิด นอกจากนี้ พบว่าการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อปะการังมีขีดจำกัด หากสิ่งแวดล้อมมีปริมาณโลหะหนักสูง จะเกิดการถ่ายเทโลหะหนัก

จากเนื้อเยื่อสู่โครงสร้างปะการัง กลไกดังกล่าวสันนิษฐานว่าอาจเป็นผลมาจากสาหร่าย
ซูซันเทลลี (Zooxanthalle)

นอกจากนี้ Esslemont (2000)[45] รายงานว่า ในการศึกษาและเฝ้าระวัง
สิ่งแวดล้อมถึงผลกระทบที่เกิดจากโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ควรศึกษาที่โครงสร้าง
ของปะการัง เพราะมีการแสดงค่าที่แปรผันตรงกับสิ่งแวดล้อม, การเก็บตัวอย่างทำได้ง่าย, ใช้
ตัวอย่างน้อย, ไม่ทำลายตัวอย่าง และสะดวกต่อการวิเคราะห์ การศึกษานี้รายงานว่า โครงสร้าง
ของปะการังสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมได้อย่างน่าเชื่อถือมากกว่า
เนื้อเยื่อ ในขณะที่เนื้อเยื่อปะการังจะมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ทางชีวภาพเพื่อหาขอบเขต
ของช่วงขีดจำกัดในการรับเข้าโลหะของปะการัง

5.1.2 อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง

จากการวิจัยผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อประสิทธิภาพการรับสังกะสี-65
ของปะการัง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีสูงเกิน 500 nmol/L มีผลทำให้ประสิทธิภาพการ
รับสังกะสี-65 ลดลง ทั้งในส่วนของโครงสร้างและเนื้อเยื่อปะการัง สอดคล้องกับผลการวิจัยการ
สังเคราะห์แสง (Photosynthesis measurement) พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสังกะสีที่มีผลต่อ
ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (The lowest observed effect concentration (LOEC) เท่ากับ 500
nmol/L [49] ขณะที่ผลการศึกษาของ Ferrier-Pages C. และคณะ (2005)[2] พบว่า การเพิ่มขึ้น
ของสังกะสีในโครงสร้างปะการังเปรียบเทียบกับในเนื้อเยื่อ มีค่าคงที่ในช่วงความเข้มข้น 5-10
nmol/L (3-3.9 %) และเพิ่มสูงขึ้นในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 500 nmol/L (7%) ถึง 5000 nmol/L
(18 %) การเพิ่มขึ้นของสังกะสีในโครงสร้างที่ความเข้มข้นของสังกะสีสูง สันนิษฐานว่า เกิดจาก
กระบวนการขจัดพิษ (detoxification) ออกจากเนื้อเยื่อของปะการัง เช่นเดียวกับกระบวนการขจัด
พิษของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrates) สอดคล้องกับรายงานของ Esslemont
(2000)[45] ที่พบว่า จะเกิดการถ่ายเทโลหะหนักจากเนื้อเยื่อสู่โครงสร้างปะการัง ในกรณีที่มี
ปริมาณโลหะหนักสูงในน้ำทะเล ดังนั้น บริเวณแหล่งมลพิษที่มีระดับความเข้มข้นของธาตุโลหะ

หนักสูง จะพบการสะสมในโครงสร้างและเนื้อเยื่อของปะการังในระดับสูง โดยเฉพาะในโครงสร้างและส่งผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของปะการัง [45]

รูปแบบการรับและสะสมสังกะสี ของปะการังจากอิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ มี 2 ลักษณะคือ ที่ความเข้มข้นสูง (มากกว่า 500 nmol/L) จะเป็นลักษณะการแพร่กระจายเข้าโดยตรง (linear component) ขณะที่ความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 500 nmol/L) จะอยู่ในลักษณะการใช้ตัวกลางเป็นตัวพา (active carrier-mediated component) [2] ซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายของไอออนของสังกะสี โดยที่ ไอออนของสังกะสีนี้ จะไปจับกับโปรตีนบนเยื่อหุ้มเซลล์ (membraine protein) ที่มีสมบัติละลายในไขมัน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวพา หรือ carrier จากนั้นจะเกิดการแพร่ไปทางอีกด้านหนึ่ง หรือเข้าสู่สารละลายภายในเซลล์เนื้อเยื่อปะการัง[20,21] สภาวะดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ปะการังปรับตัวได้ดีในน้ำทะเลที่มีระดับสังกะสีต่ำ [2]

5.1.3 อิทธิพลของแสงต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง

จากการวิจัยการรับเข้าสังกะสี-65 ของปะการังในขณะให้แสงกับไม่ให้แสง พบว่าปะการังกลุ่มทดลองที่ให้แสงมีการรับและสะสมสังกะสี-65 ได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ให้แสงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งในส่วนของโครงสร้างและเนื้อเยื่อปะการัง สอดคล้องกับการวิจัยของ Ferrier-Pages C. และคณะ (2005)[2] ที่พบว่าแสงมีส่วนในการกระตุ้นการรับเข้าสังกะสีของปะการัง *S. pistillata* สันนิษฐานว่า เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซันเทลลี (Zooxanthalle) นอกจากนี้พบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำทะเลมีผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของปะการัง เช่น ในกรณีที่เติมสังกะสี 10 nmol/L ลงในน้ำทะเลที่ใช้ทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของ *S. pistillata* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความเข้มข้นมากกว่า 500 nmol/L มีผลทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของปะการัง *A. Formosa* ลดลง[49] เช่นเดียวกับการทดลองนี้

5.1.4 สรุปผลการวิจัย

5.1.4.1 ปะการัง *A. formosa* มีความสามารถในการสะสมสังกะสี-65 ได้ดี ทั้งในโครงสร้างหินปูนและเนื้อเยื่อ มีการสะสมเพิ่มขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ปรากฏแนวโน้มการเข้าสู่ภาวะสมดุล รูปแบบการสะสมของสังกะสี-65 ของปะการังเป็นแบบเชิงเส้น (Simple Linear model) ซึ่งกล่าวได้ว่า ปะการังสามารถรับและสะสมสังกะสี-65 เพิ่มได้อีก

5.1.4.2 ค่าองค์ประกอบความเข้มข้น (CF) ของสังกะสี-65 ที่ปะการังสะสมสังกะสีไว้ได้สูงสุดในช่วงเวลาของการทดลองคือ 405 เท่าของปริมาณในน้ำทะเล (CFm)

5.1.4.3 ค่าองค์ประกอบความเข้มข้น (CF) ของสังกะสี-65 ที่เนื้อเยื่อปะการังสะสมสังกะสีไว้ได้สูงสุดในช่วงเวลาของการทดลองคือ 47633 เท่าของปริมาณในน้ำทะเล (CFm)

5.1.4.4 ค่าอัตราการรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในโครงสร้างปะการังเท่ากับ 3.903 ของปริมาณในน้ำทะเลต่อชั่วโมง

5.1.4.5 ค่าอัตราการรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในเนื้อเยื่อปะการัง (Bq/g.protein) เท่ากับ 449.192 เท่าของปริมาณในน้ำทะเลต่อชั่วโมง

5.1.4.6 การขับสังกะสี-65 ออก มีลักษณะการขับออกอย่างต่อเนื่อง ร้อยละของการขับออกพบว่า ลดลงอย่างรวดเร็วร้อยละ 46.13 ในช่วงแรก และเริ่มช้าลงในเวลาต่อมา โดยประสิทธิภาพการคงอยู่ในช่วงการขับออกอย่างรวดเร็วมีค่าร้อยละ 53.63 เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถขับสังกะสี-65 ออกจากตัวได้ร้อยละ 65.76

5.1.4.7 การขับสังกะสี-65 ออก ของเนื้อเยื่อปะการังมีลักษณะการขับออกอย่างต่อเนื่อง ร้อยละของการขับออกพบว่า ลดลงอย่างรวดเร็วร้อยละ 19.28 ในช่วงแรก โดยประสิทธิภาพการคงอยู่ในช่วงการขับออกอย่างรวดเร็วมีค่าร้อยละ 80.59 เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 96 ชั่วโมง ปะการังสามารถขับสังกะสี-65 ออกจากตัวได้ร้อยละ 68.72

5.1.4.8 รูปแบบการขับออกสังกะสี-65 โดยปะการังทั้งโคโลนี และส่วนของเนื้อเยื่อปะการัง มีรูปแบบเป็น 2-component exponential model

5.1.4.9 ปะการังมีความสามารถในการสะสม สังกะสี-65 ได้ดี โดยมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของการขับออกอย่างรวดเร็วเป็นระยะเวลา 1.017 ชั่วโมง และมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของการขับออกอย่างช้าเป็นระยะเวลา 198.6095 ชั่วโมง

5.1.4.10 เนื้อเยื่อปะการังมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของการขับออกอย่างรวดเร็วเป็นระยะเวลา 1.132 ชั่วโมง และมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของการขับออกอย่างช้าเป็นระยะเวลา 58.39 ชั่วโมง

5.1.4.11 อิทธิพลของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการรับและสะสมสังกะสี-65 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสังกะสีสูงกว่า 500 nmol/L มีผลทำให้ประสิทธิภาพการรับเข้าสังกะสี-65 ลดลง ทั้งในส่วนโครงสร้างและเนื้อเยื่อและส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของปะการัง *A. Formosa* ลดลง

5.1.4.12 อิทธิพลของแสงต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง พบว่า ปะการังกลุ่มที่ให้แสงมีการรับสังกะสี-65 ได้ดีกว่ากลุ่มทดลองในที่มืดอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือแสงมีผลต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซันเทลลี (Zooxanthalle)

5.1.4.13 ภาพรวมของงานศึกษาการสะสมสังกะสี-65 แสดงให้เห็นว่า ปะการังสามารถสะสมสังกะสีได้ดีและคงอยู่ในตัวเป็นระยะเวลานาน ทั้งในโครงสร้างและเนื้อเยื่อปะการัง จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ปะการังเป็นดัชนีทางชีวภาพสำหรับการติดตามตรวจสอบและการประเมินระดับคุณภาพน้ำในสภาวะแวดล้อมชายฝั่งทะเล

5.1.5 การใช้ประโยชน์จากการวิจัย

สามารถประเมินสภาพแวดล้อมว่าเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปะการังหรือไม่ อย่างไร จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะหรือธาตุอาหารอื่นๆ ในน้ำทะเลต่อ

คุณภาพและสุขภาพของปะการังและการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของปะการัง จากการวิจัยพบว่า เมื่อน้ำทะเลมีความเข้มข้นสูง ส่งผลกระทบต่อปะการัง นั่นคือประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซวานเทิลที่อาศัยร่วมกับปะการังลดลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปะการัง เนื่องจากปะการังมีอุปนิสัยในการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่เจือจางมากๆ หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุในน้ำทะเลก็จะส่งผลต่อสุขภาพและสรีระวิทยาของปะการังตลอดจนการดำรงชีวิตของปะการังได้ นอกจากนี้ หากสภาพแวดล้อมแนวปะการังมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแสง เช่น เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนหรือมีปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีจนส่งผลให้ความเข้มข้นแสงลดลง สภาพแบบนี้ก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปะการังได้ ซึ่งจากการวิจัย พบว่าแสงมีผลต่อการรับและสะสมสังกะสี-65 ของปะการัง ดังนั้น หากความเข้มข้นแสงลดลง จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูซวานเทิลซึ่งเป็นพืชที่ต้องการความเข้มข้นแสงไม่น้อยกว่า 15-20 % ของความเข้มข้นแสงที่ผิวน้ำทะเล[42] และมีผลต่อเนื่องถึงการเจริญเติบโตของปะการังได้ ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ เป็นเครื่องมือในการควบคุมการทิ้งสารมลพิษประเภทโลหะหนัก หรือการระบายทิ้งกากกัมมันตรังสีลงในทะเล และการทำกิจกรรมในทะเลที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเล เช่น การขุดร่องน้ำ การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และการทำเหมืองแร่ในทะเลที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอน เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเพิ่มการศึกษาทางผ่านของการสะสมของสังกะสี-65

การดำรงชีพของปะการังจะอาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเลน้ำตื้น ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากกิจกรรมชายฝั่ง เช่น การขุดลอกท่าเรือ การปล่อยทิ้งน้ำเสีย โรงงานนิวเคลียร์ ตลอดจนอุบัติเหตุทางรังสีที่สามารถแผ่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น ปะการังจึงมีโอกาสรับและสะสมสังกะสี-65 รวมทั้งนิวไคลด์กัมมันตรังสีอื่นๆ เข้าสะสมในตัวได้ 2 ทางผ่าน คือ ทางผ่านการสัมผัสผิวดินตะกอนในแหล่งอาศัย และทางผ่านจากน้ำทะเล ซึ่งทางผ่านดังกล่าวอาจทำให้มีการสะสมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงควรศึกษาการสะสมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในทางผ่านดังกล่าว

5.2.2 เพิ่มระยะเวลาการรับและขับออกสังกะสี-65

ควรเพิ่มระยะเวลาสัมผัสกับสังกะสี-65 ทำให้ปะการังมีโอกาสรับสังกะสี-65 เข้าสะสมในตัวมากขึ้น สำหรับการวิจัยนี้ ปะการังมีอัตราการสะสมสังกะสี-65 ดี มีการสะสมเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง รูปแบบการสะสมมีลักษณะเป็นเส้นตรง ในขณะที่อัตราการขับออก พบว่า มีการขับออกต่อเนื่องเช่นกัน และมีรูปแบบการขับออกเป็น 2-component exponential ควรเพิ่มระยะเวลาการทดลองส่วนการขับสังกะสีออกให้นานขึ้น เพื่อให้เห็นความชัดเจนของรูปแบบการขับสังกะสีออกจากปะการัง

5.2.3 เพิ่มการศึกษาชนิดของปะการัง

ควรเพิ่มชนิดของปะการังต่อการสะสมโลหะหนัก ทั้งนี้เนื่องจากพบว่า ชนิดของปะการังมีผลต่อการรับและสะสมของมลสารได้ต่างกัน

5.2.4 เพิ่มการศึกษาการขับโลหะหนักออกในแต่ละส่วนของปะการัง

การวิจัยนี้ ดำเนินการศึกษาการสะสมของสังกะสี-65 ที่เข้าสู่สมในปะการังทั้งในโครงสร้างและเนื้อเยื่อ ควรศึกษาการกระจายของสังกะสี-65 ในแต่ละส่วนของปะการังเพิ่มเติม โดยเฉพาะในส่วนของเนื้อเยื่อและสาหร่ายซู่ซันเทลลี (Zooxanthalle) จะทำให้ทราบถึงกลไกการเคลื่อนย้ายและความจำเพาะของชนิดโลหะหนักกับการสะสมในแต่ละชนิดของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะของสิ่งมีชีวิตได้

5.2.5 เพิ่มการศึกษาการสะสมจากนิเวศโคลด์กัมมันตรังสีอื่นๆ

การวิจัยนี้ ศึกษาการสะสมสังกะสีในปะการังจากสังกะสีในรูปสารละลายเพียงชนิดเดียว ควรศึกษาการสะสมจากโลหะหนักอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อศึกษาศักยภาพของปะการังในการรับและสะสมโลหะหนักเหล่านั้น อีกทั้งเป็นการเฝ้าตรวจติดตามซึ่งจะสามารถนำไปสู่การประเมินความปนเปื้อนของสภาวะแวดล้อมได้

5.2.6 เพิ่มการศึกษาการสะสมในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ

การวิจัยนี้ ศึกษาการสะสมสังกะสีในปะการังเขากวาง ควรศึกษาเพิ่มเติมในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่อาศัยในบริเวณชายฝั่ง เช่น กลุ่มหอยต่างๆ ที่อาศัยอยู่บนพื้นดินตะกอน ใต้ท้องน้ำทะเล ซึ่งมีโอกาสรับและสะสมโลหะหนักและนิวไคลด์กัมมันตรังสีเข้าสู่สมในร่างกายได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมประมง . (ม.ป.ป.) พระราชบัญญัติ การประมง พ.ศ. 2490
[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.fisheries.go.th/fti-padungbasar/DATA/first.htm>
[2553, มีนาคม 14]
- [2] Ferrier-Pages,C., et al. 2005. Bioaccumulation of zinc in the scleractinian coral
Stylophora pistillata. Coral Reefs (2005) 24 : 636–645
- [3] Fowler, S.W., and Tyssie, J-L. 1997. Assimilation and excretion of selected heavy
metals and radionuclides ingested by seastars. Radioprotection-Colloques 32,
C2: : C2-717-C2-323.
- [4] Jameson, SC., Erdmann, MV., Gibson, GR Jr., and Potts, KW. 1998. Development
of biological criteria for coral reef ecosystem assessment. USEPA, Office of
Science and Technology, Health and Ecological Criteria Division, Washington,
DC
- [5] Hanna, RG., and Muir, GL . 1990. Red Sea corals as biomonitors of trace metal
pollution.. Environmental Monitoring Assessment 14 : 211-222.
- [6] Boisson, F., Richard, C., and Ferrier-Pages, C. 2004. Zinc uptake and behaviour in
the scleractinian coral *Stylophora pistillata*. (IAEA-CN-118/50P)
- [7] Geffard, A., Geffard, O., His, E., and Amiard, J-C. 2002. Relationship
between metal bioaccumulation and metallothioneine levels in larvae of *Mytilus
galloprovincialis* exposed to contaminated sediment elutriate. Mar. Ecol.
Prog. Ser .233 : 131-142.
- [8] นิคม ประเสริฐเขียวชาญ. 2551. จลนพลศาสตร์การสะสมของปรอท-203 ที่เทียม-134
สทรอนเทียม-85 สังกะสี-65 โคบอลต์-57 และ โครเมียม-51 ในหอยแครง (*Anadara*
granosa). วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, รั้งสี่ประยุกต์และไอโซโทป วิทยาศาสตร์
มหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์

- [9] International Atomic Energy Agency. 1975. Design of radiotracer experiments in marine biological systems. Technical Reports Series 167: 300.
- [10] Kolbe, E. 2007. Radiation and Radioisotope Application. [Online] Available from : http://lrs.web.psi.ch/educational/courses/2006_EPFL_DOCTORAL_PSI_COKS/E/week10/RRA_EK_Week10_Lectures.pd. [2008, May 6]
- [11] การใช้ประโยชน์จากรังสีทางการแพทย์ [ออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.oaep.go.th/nstkc/content/view/141/29>. [2008, March 29]
- [12] Phillip, D.J.H.,and Muttarasin, K. 1985. Trace Metals in bivalve Molluscs from Thailand. Mar. Environ. Res 15 : 215-234.
- [13] Wanua, M., Tyssie, J-L, and Fowler, S.W. 1996. Biokinetics of selected heavy metals and radionuclides in the common Mediteranean *Echnoid paracentrotus*: Seawater and food exposure. Mar.Ecol. Prog. Ser 141 : 83-84.
- [14] Ritchie, A.I.M. 1987. The application of nuclear techniques of analysis to environmental problems. In Proceeding of the 5th Australian Conference on Nuclear Techniques on Analysis, pp. 1-4. Australian Institute of Nuclear Science and Engineering, Lucas Heights
- [15] วิเชียร รตนธงชัย, สมชาย พงษ์เกษม และศศิพันธุ์ คณะวีรัตน์. (ม.ป.ป) การวัดรังสีแกมมาแบบแยกพลังงาน (Gamma ray Spectrometry)[ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.tint.or.th/adv/phys_oap/labs/kmitt_gamma%20spect-2.pdf [2553, เมษายน 20]
- [16] IAEA and ANSTO. 2006. Distance Learning Materials: Radiation Protection. (CD Rom). Office of Atoms for Peace. Bangkok.
- [17] สุชิน อุดมสมพร. 2549. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีแกมมาในน้ำทิ้ง. ในเอกสาร ประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร Qualification Course for Radiation Safety Officer ครั้งที่ 1 สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). กรุงเทพฯ.

- [18] International Atomic Energy Agency. 1997. Strategies and Methodologies for Applied Marine Radioactivity Studies. Training Course Series 7 : 377.
- [19] Brownell, G.L., Berman, M., and Robertson, J.S. 1986. Nomenclature for tracer kinetics. Int. J. Appl. Radiat. Isotopes 19 : 249-262.
- [20] Wang, W.-X., Fisher, N.S., and Luoma, N.S. 1996. Kinetic determination of trace elements bioaccumulation in the mussels *Mytilus edulis*. Mar. Ecol. Prog. Ser 140 : 91-113.
- [21] Blust, R. (2002). Models for the bioaccumulation of metals in aquatic organisms. pp. 71-71. In B. Federic. Metal and radionuclides bioaccumulation in marine organisms. CIESM, 16 boulevard de Suisse, Monaco. Cited Simkiss, K. and Tylor, M.G. (1989). Metal fluxes across the membrane of aquatic organisms. Rev. Aquat. Sci. 1: 173 -188.82
- [22] Simkiss, K., and Tylor, M.G. 1989. Metal fluxes across the membrane of aquatic organisms. Rev. Aquat. Sci 1 : 173-188.
- [23] Thomann, R.V. 1981. Equilibrium model of fate of microcontaminants in diverse aquatic food chains. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 38 : 280-296.8.
- [24] Reinfelder, J.R., Wang, W-X., Luoma, S.N., and Fisher, N.S. 1997. Assimilation efficiencies and turnover rates of trace elements in marine bivalves: a comparison of oysters, clams and mussels. Marine Biology 129 : 443-452.
- [25] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2553. สังกะสี . [ออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://th.wikipedia.org/wiki/>. [2553, เมษายน 26]
- [26] Rungruang Bunsong. 2003. Distribution and accumulation of some heavy metal in water sediment and organisms in klong phasicharoen, Thailand. Master's Thesis, Environmental Biology Faculty of Graduate Studies Mahidol University

- [27] มลูลี ตัณฑวิรุฬห์. 2546. นิเวศลิยร์และไอโซโทปเทคนิคกับปัญหาขาดสารอาหาร.
สมาคมนิเวศลิยร์แห่งประเทศไทย มิถุนายน 2546 : 22-23.
- [28] Lenntech Water treatment & purification Holding B.V. n.d. Zinc and water: reaction mechanisms, environmental impact and health effects[Online] . Available from :
<http://www.lenntech.com/periodic/water/zinc/zinc-and-water.htm>. [2010, April 20]
- [29] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549). 2549. ราชกิจจานุเบกษา. 123
(6 กรกฎาคม 2549) : 174
- [30] Magdaleno,A.,et al. 2001. Water pollution in an Urban Argentina River.
Bull.Environ.Contam.Toxican 67 : 408-415.
- [31] Cheevaporn, V.,and Menasveta,P. 2003. Water Pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand . Marin pollution Bullrtin 47 : 43-51.
- [32] Prego,R.,and Cobelo-Garcia,A. 2003. Twentieth century overview of heavy metals in the Galician Rias (NW Iberian Peninsula). Environmental pollution 121 : 425 -452.
- [33] Lukin, A., et al. 2003. Assessment of copper-nickle industry impact on a subarctic lake ecosystem. Sci Environ 306 : 3-83.
- [34] Madkour, H. A. 2004. Geochemical and environmental studies of recent marine sediments and some invertebrates of the Red Sea, Egypt. n.p. n.d. : 80-88.
- [35] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ.2549). 2550.
ราชกิจจานุเบกษา. 124 (1 กุมภาพันธ์ 2550) : 123 -133.
- [36] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
(ม.ป.ป.) การแผ่กระจายของสังกะสีบนเปลือกโลก[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/Zinc1/322.html [2553, เมษายน 20]
- [37] 30-zinc[Online] . Available from : <http://atom.kaeri.re.kr/ton/>. [2010, April 20]

- [38] Stanford University, Environmental Health & Safety ,Research & Laboratory Safety.
n.d. Radionuclide Safety Data Sheet [Online]. Available from :
[http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/
Zn-5.pdf](http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/Zn-5.pdf). [2010, April 20]
- [39] Nuclide Safety Data Sheet Zn-65[Online]. Available from : <http://www.nchps.org>
[2010, April 20]
- [40] Boisson.F. 2005. Relationship between reef corals and zinc:Collaboration between
IAEA and the Scientific Centre of Monaco. IAEA – Marine Environment News
3, 2 (December 2005) : 3.
- [41] สุวลักษณ์ สารมณีนัสพันธ์. 2543. ระบบนิเวศปะการัง. เอกสารคำสอนวิชา
ทรัพยากรธรรมชาติ. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [42] อัญญา ดวงจินดา. 2544. ระบบนิเวศแนวปะการัง. ค่ายเยาวชนรักษ์ทะเลครั้งที่2 ภาควิชา
ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [43] อัญชลี จันท์คง และวิภูษิต มั่นทะจิตตร. 2549. ชนิด การกระจายพันธุ์ และโครงสร้าง
ประชาคมของปะการังแข็งสกุล *Acropora* ในอ่าวไทย. รายงานการวิจัยในโครงการ BRT
2549 : 203 -214.
- [44] Thai Biodiversity ศูนย์รวมข้อมูลสิ่งมีชีวิตในประเทศไทย. 2553. *Acropora formosa*
(Dana 1846) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.thaibiodiversity.org /Life/LifeDetail.
aspx?LifeID =15141](http://www.thaibiodiversity.org/Life/LifeDetail.aspx?LifeID=15141)[2553, กุมภาพันธ์ 5]
- [45] Esslemont,G. 2000. Heavy metals in seawater, marine sediments and corals
from the Townville section, Great Barrier Reef Marine Park,\Queensland.
Marine Chemistry 71 : 215–231.
- [46] Lagadic, L.,and Caquet, T. 1998. Invertebrates in testing of environmental
chemicals: are they alternatives?. Environmental Health Perspect 106 : 593-
611.

- [47] Read, P. 2002. The Preliminary Selection of An Indicator Organism: Basic Pre-Requiites. Marine Biology[Online]. Available from :
<http://www.lifesciences.napier.ac.uk/teaching/MB/Mbindic.html>. [2005, August 18]
- [48] Statsoft. 2004. Statistica: The Small Book Tulsa, OK. Statsoft Inc : 166.
- [49] Szymczak, R. 2009. Mitigation of coastal Impact of Natural Disasters like Tsunami,using Nuclear-or Isotope-based Techniques(Post-Tsunami Environment Impact Assessment) Country Report of Australia. In, RCA-UNDP Project Final Report ROK/06/001 , pp.52-65. RCA Regional Office,



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 1 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการวิจัยการรับสังกะสี -65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/g)
0	1	3.94	0.015 ± 0.005
0	2	3.83	0.002 ± 0.007
0	3	3.76	nd
0	4	2.83	0.022 ± 0.011
0	5	3.32	0.008 ± 0.014
0	6	2.93	0.010 ± 0.006
2	1	4.33	7.368 ± 0.134
2	2	5.08	8.372 ± 0.159
2	3	4.56	7.058 ± 0.133
2	4	5.12	10.155 ± 0.179
2	5	5.24	13.309 ± 0.274
2	6	3.96	7.070 ± 0.114
4	1	3.09	13.161 ± 0.210
4	2	4.25	21.423 ± 0.241
4	3	5.41	16.429 ± 0.188
4	4	4.92	14.924 ± 0.241
4	5	4.67	18.049 ± 0.310
4	6	3.89	22.074 ± 0.392

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/g)		
8	1	4.16	33.540	±	0.399
8	2	4.43	55.694	±	0.435
8	3	4.83	46.548	±	0.350
8	4	3.86	19.134	±	0.216
8	5	4.2	23.991	±	0.329
8	6	4.55	25.186	±	0.255
24	1	3.65	49.344	±	0.357
24	2	3.37	62.427	±	0.506
24	3	4.24	72.776	±	0.404
24	4	4.48	40.786	±	0.439
24	5	3.9	53.893	±	0.379
24	6	4.25	46.408	±	0.421
48	1	5.29	297.724	±	1.307
48	2	4.02	191.126	±	0.890
48	3	5.05	163.735	±	0.737
48	4	4.75	81.106	±	0.424
48	5	3.26	83.820	±	0.564
48	6	2.75	63.759	±	0.537

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/g)
72	1	4.32	289.064 ± 0.854
72	2	3.71	207.372 ± 0.666
72	3	4.28	291.726 ± 1.077
72	4	3	74.241 ± 0.397
72	5	5.55	161.860 ± 0.579
72	6	5.9	270.157 ± 1.136
96	1	3.5	412.796 ± 1.377
96	2	4.6	373.412 ± 1.101
96	3	3.67	335.579 ± 0.984
96	4	4.88	328.034 ± 1.433
96	5	3.73	278.266 ± 0.952
96	6	3.31	315.775 ± 1.396

nd = no data

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 2 ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการวิจัยการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ของปะการังเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	CF		
	ค่าเฉลี่ย	±	SD
0	0.006	±	0.02
2	10.580	±	2.93
4	21.039	±	4.23
8	40.486	±	17.06
24	64.597	±	13.85
48	174.820	±	106.73
72	256.777	±	102.54
96	405.445	±	55.76

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 3 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 (Bq/g) ที่เหลือสะสมในปะการังจากการวิจัยการขับออกของสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/g)					
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6
0	318.571	409.096	279.827	231.823	296.485	299.530
2	136.016	321.839	222.322	201.322	276.624	87.993
4	297.006	367.870	292.604	233.225	160.909	311.190
8	391.705	150.446	195.244	261.590	169.367	225.238
24	196.802	227.975	190.401	224.944	155.029	107.144
48	98.039	142.235	156.401	141.236	197.617	107.401
72	231.067	234.262	240.958	281.714	190.018	352.159
96	166.085	nd	114.950	173.863	112.868	132.569

nd = no data

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการวิจัย
ผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้น (nmol/L)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/g)		
1	5	17.816	±	0.314
2	5	11.583	±	0.204
3	5	15.427	±	0.247
1	15	17.239	±	0.233
2	15	14.419	±	0.154
3	15	16.275	±	0.251
1	25	16.300	±	0.212
2	25	14.746	±	0.236
3	25	8.462	±	0.117
1	55	12.525	±	0.183
2	55	20.342	±	0.231
3	55	18.711	±	0.294
1	100	10.561	±	0.159
2	100	10.753	±	0.197
3	100	11.462	±	0.186
1	500	11.297	±	0.229
2	500	13.753	±	0.185
3	500	11.070	±	0.156
1	2000	12.919	±	0.161
2	2000	11.859	±	0.247
3	2000	8.249	±	0.143
1	5000	6.554	±	0.141
2	5000	7.729	±	0.157
3	5000	7.316	±	0.113

ตารางผนวกที่ 5 ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการวิจัย ผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

ความเข้มข้น (nmol/L)	CF		
	ค่าเฉลี่ย		SD
5	5.703	±	1.200
15	6.099	±	0.547
25	5.027	±	1.584
55	6.562	±	1.574
100	4.170	±	0.181
500	4.596	±	0.568
2000	4.202	±	0.934
5000	2.748	±	0.228

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 6 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ที่สะสมในปะการังจากการวิจัย อิทธิพลของแสงต่อการรับเข้าสังกะสี-65 ของปะการัง

ตัวอย่างที่	กลุ่มทดลองให้แสง		
	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/g)		
1	15.604	±	0.215
2	27.110	±	0.304
3	20.905	±	0.295
4	17.859	±	0.280
5	17.182	±	0.235
6	18.920	±	0.276
7	15.387	±	0.201
8	19.468	±	0.227
9	19.402	±	0.284
10	15.116	±	0.188

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	กลุ่มทดลองไม่ให้แสง		
	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ(Bq/g)		
1	8.989	±	0.203
2	3.926	±	0.070
3	4.251	±	0.088
4	6.684	±	0.113
5	6.894	±	0.145
6	6.652	±	0.122
7	6.326	±	0.125
8	5.492	±	0.095
9	4.718	±	0.100
10	5.226	±	0.119

ตารางผนวกที่ 7 ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการวิจัย อิทธิพลของแสงต่อการรับเข้าสู่สังกะสี-65 ของปะการัง

ตัวอย่างที่	CF	
	กลุ่มทดลองให้แสง	กลุ่มทดลองไม่ให้แสง
1	35.557	13.314
2	52.464	12.797
3	33.833	11.067
4	26.653	14.797
5	36.727	9.579
6	31.344	12.238
7	38.412	11.035
8	39.830	13.920
9	31.697	9.257
10	42.985	7.760

ตารางผนวกที่ 8 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีนที่สะสมในปะการัง
จากการวิจัยการรับสังกะสี -65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณ โปรตีน (Bq/g.protein)
0	1	3.94	nd
0	2	3.83	5.133 ± 5.133
0	3	3.76	nd
0	4	2.83	nd
0	5	3.32	nd
0	6	2.93	8.606 ± 7.836
2	1	4.33	649.711 ± 34.984
2	2	5.08	698.865 ± 25.785
2	3	4.56	564.716 ± 21.295
2	4	5.12	887.025 ± 25.521
2	5	5.24	851.552 ± 28.233
2	6	3.96	921.411 ± 31.773
4	1	3.09	nd
4	2	4.25	1869.101 ± 33.459
4	3	5.41	1444.853 ± 32.019
4	4	4.92	1002.127 ± 28.355
4	5	4.67	1115.185 ± 30.519
4	6	3.89	1374.235 ± 52.407

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณ โปรตีน (Bq/g. protein)
8	1	4.16	2737.247 ± 44.861
8	2	4.43	2617.121 ± 53.520
8	3	4.83	4046.653 ± 58.837
8	4	3.86	1972.003 ± 40.789
8	5	4.2	1901.321 ± 38.540
8	6	4.55	1718.851 ± 29.399
24	1	3.65	4025.889 ± 74.504
24	2	3.37	5596.558 ± 59.182
24	3	4.24	nd
24	4	4.48	4238.204 ± 94.697
24	5	3.9	5279.135 ± 79.053
24	6	4.25	2896.973 ± 57.585
48	1	5.29	nd
48	2	4.02	21244.410 ± 154.940
48	3	5.05	nd
48	4	4.75	7016.994 ± 83.742
48	5	3.26	11648.456 ± 131.466
48	6	2.75	5396.160 ± 73.934

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อ ปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)
72	1	4.32	54013.866 ± 244.512
72	2	3.71	28845.543 ± 183.118
72	3	4.28	29387.689 ± 161.652
72	4	3	10326.212 ± 165.922
72	5	5.55	11810.827 ± 87.855
72	6	5.9	12896.834 ± 75.922
96	1	3.5	48661.440 ± 288.035
96	2	4.6	nd
96	3	3.67	56749.919 ± 329.716
96	4	4.88	27250.364 ± 164.848
96	5	3.73	33188.598 ± 224.297
96	6	3.31	25634.944 ± 180.979

nd = no data

ตารางผนวกที่ 9 ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน

(Bq/g.protein) ในเนื้อเยื่อปะการังจากการวิจัย การรับสังกะสี -65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g. protein)
0	0.001 ± 6.792
2	762.214 ± 144.622
4	1361.100 ± 337.116
8	2498.866 ± 861.339
24	4407.352 ± 1611.334
48	11326.505 ± 7122.953
72	24546.828 ± 16795.078
96	38297.053 ± 13751.213

ตารางผนวกที่ 10 ค่า CF ของสังกะสี-65 จากการวิจัยการรับเข้าสังกะสี-65 ในเนื้อเยื่อ
ปะการังเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	CF		
	ค่าเฉลี่ย	±	SD
0	3.474	±	6.252
2	948.027	±	179.879
4	1692.911	±	419.298
8	3108.042	±	1071.317
24	5481.781	±	1338.089
48	16546.377	±	9025.660
72	30530.881	±	20889.401
96	47633.151	±	17103.499

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 11 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein) ที่
เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการวิจัยการขับออกของสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)					
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	ตัวอย่างที่ 6
0	38882.239	nd	39910.906	45009.274	43207.849	41776.255
2	59688.228	nd	37903.843	59637.298	nd	41332.603
4	86642.441	66818.483	66210.495	33393.203	32208.537	41593.978
8	50218.964	48630.980	41157.892	40338.994	22293.223	33134.761
24	46509.663	74372.429	41660.158	32871.421	41518.393	36139.410
48	21688.695	16137.685	20177.370	19016.911	23181.320	21334.973
72	25369.163	26296.486	19384.577	nd	nd	nd
96	nd	nd	43473.478	14561.248	23961.207	17488.777

nd = no data

ตารางผนวกที่ 12 ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g. protein) ที่เหลือสะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการวิจัย การขับออกของสังกะสี-65 เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)		
	ค่าเฉลี่ย	±	SD
0	41757.304	±	2467.536
2	49640.493	±	11657.087
4	54477.856	±	22049.879
8	39295.802	±	10373.647
24	45511.912	±	14915.328
48	20256.159	±	4202.681
72	23683.409	±	3751.660
96	24871.177	±	13008.563

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 13 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g. protein) ที่สะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการวิจัยผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้น (nmol/L)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)		
1	5	3129.206	±	71.407
2	5	1285.044	±	30.108
3	5	1536.494	±	31.332
1	15	2334.557	±	50.884
2	15	1577.921	±	34.941
3	15	1345.714	±	34.551

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้น (nmol/L)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)		
1	25	1356.617	±	28.041
2	25	1313.170	±	25.911
3	25	1510.366	±	39.857
1	55	1708.363	±	40.429
2	55	1129.125	±	20.861
3	55			nd
1	100	801.033	±	25.714
2	100	1830.704	±	50.493
3	100	1267.691	±	34.262
1	500	920.830	±	22.710
2	500	1021.510	±	23.204
3	500	1274.681	±	27.789
1	2000	1143.839	±	30.850
2	2000	885.897	±	40.116
3	2000	979.842	±	27.197
1	5000	783.893	±	20.876
2	5000	413.959	±	14.056
3	5000	846.228	±	20.604

nd = no data

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 14 ค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein) ที่สะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการวิจัยผลของความเข้มข้นของสังกะสีต่อการรับสังกะสี-65 ของปะการัง

ความเข้มข้น (nmol/L)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)		
	ค่าเฉลี่ย		SD
5	1983.582	±	1000.074
15	1752.731	±	517.080
25	1393.384	±	103.612
55	1418.744	±	409.584
100	1299.809	±	515.586
500	1072.340	±	182.319
2000	1003.193	±	130.546
5000	681.360	±	233.664

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 15 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสังกะสี-65 ต่อปริมาณโปรตีน (Bq/mg. protein) ที่สะสมในเนื้อเยื่อปะการังจากการวิจัยอิทธิพลของแสงต่อการรับเข้าสังกะสี-65 ของปะการัง

ตัวอย่างที่	ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่อปริมาณโปรตีน (Bq/g.protein)	
	กลุ่มทดลองให้แสง	กลุ่มทดลองไม่ให้แสง
1	1255.441 ± 36.925	598.432 ± 24.406
2	1521.522 ± 40.291	493.244 ± 25.295
3	2765.541 ± 75.128	811.425 ± 42.944
4	1871.843 ± 61.752	528.457 ± 26.244
5	1475.562 ± 30.973	664.928 ± 33.566
6	913.988 ± 20.008	86.364 ± 6.601
7	901.728 ± 26.066	600.347 ± 27.239
8	1164.268 ± 24.185	393.356 ± 15.403
9	1676.976 ± 39.276	787.261 ± 52.076
10	-	-

ตารางผนวกที่ 16 ขีดจำกัดของการวัด (Lower Limit of Detection : LLD) ของตัวอย่าง

(หน่วย: Bq/g)

นิวไคลด์ กัมมันตรังสี	ขีดจำกัดของการวัด			
	การรับเข้าสังกะสี	การขับออกสังกะสี	อิทธิพลความ เข้มข้นของสังกะสี	อิทธิพลของแสงต่อ การรับเข้าสังกะสี
สังกะสี-65	0.935	1.004	0.705	0.661

ตารางผนวกที่ 17 ประสิทธิภาพการตรวจวัด (Efficiency) ของตัวอย่าง

นิวไคลด์ กัมมันตรังสี	ประสิทธิภาพการตรวจวัด			
	หัววัดรังสี P-type		หัววัดรังสี N-type	
	โครงสร้างปะการัง	น้ำทะเล	โครงสร้างปะการัง	น้ำทะเล
สังกะสี-65	19.245	16.998	31.252	28.000



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพการตรวจวัดในตัวอย่างปะการัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพการตรวจวัดในตัวอย่างปะการัง

การหาประสิทธิภาพการตรวจวัดในตัวอย่างโครงสร้างปะการังจากสารมาตรฐาน สังกะสี-65 ที่เติมลงในตัวอย่าง ค่ากัมมันตภาพ 741.414 บีคเคอเรล (Bq) ปริมาตร 0.0999 มิลลิลิตร (ml) เวลาที่ใช้ในการนับวัด 600 วินาที

แก้ค่าการสลายตัวของสารมาตรฐานจาก

$$A(t) = A(o)e^{-\lambda t}$$

โดย $A(t)$ = กัมมันตภาพรังสีของสังกะสี-65 เมื่อเวลาขณะที่กำลังวัด (Bq)

$A(o)$ = กัมมันตภาพรังสีของสังกะสี-65 เมื่อเวลาที่มีการอ้างอิงเพื่อการรับรองค่าของความแรงรังสี มีค่าเท่ากับ 741.414 Bq

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว มีค่าเท่ากับ $0.693/T_{1/2}$

$T_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิตของสังกะสี-65 มีค่าเท่ากับ 244.28 วัน

T = เวลาที่แตกต่างกันระหว่างเวลาที่มีการอ้างอิงเพื่อการรับรองกัมมันตภาพรังสีของสังกะสี-65 (2007-12-01) และเวลาเมื่อทำการทดลองหาค่าประสิทธิภาพ (2009 -09 -30) มีค่าเท่ากับ 669 วัน

$$\begin{aligned} \therefore A(t) &= (741.415)(0.0999)e^{-(0.693/244.28)(669)} \\ &= 11.112 \text{ Bq} \end{aligned}$$

คำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงาน 1115.546 keV จาก

$$\epsilon_E = \frac{R_E}{A(t) * P_\gamma}$$

โดย

ϵ_E = ค่าประสิทธิภาพของการนับวัดที่พลังงาน 1115.546 keV

R_E = ค่าอัตราการนับวัดสุทธิ มีค่าเท่ากับ 64925 counts/ วินาที

$A(t)$ = ความแรงรังสีของสังกะสี-65 เมื่อเวลาทำการทดลอง เท่ากับ 11.112 Bq

P_γ = โอกาสในการสลายตัวของสังกะสี-65 มีค่าเท่ากับ 0.506

$$\begin{aligned}\therefore \epsilon_E &= \frac{64925/600}{11.112 * 0.506} \\ &= 19.245\end{aligned}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ใบรับรองค่ากัมมันตภาพของสารละลายกัมมันตรังสีมาตรฐาน

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



24937 Avenue Tibbitts
Valencia, California 91355

Tel 661-309-1010
Fax 661-257-8303

CERTIFICATE OF CALIBRATION GAMMA STANDARD SOLUTION

Radionuclide:	Zn-65	Customer:	ENTSYS TECHNOLOGIES CO. LTD.
Half-life:	244.26 ± 0.26 days	P.O. No.:	E0773
Catalog No.:	7065	Reference Date:	1-Dec-07 12:00 PST
Source No.:	1265-60	Contained Radioactivity:	100.4 μCi 3715 kBq

Physical Description:

A. Mass of solution:	5.01069 g in 5 mL V-Vial
B. Chemical form:	ZnCl ₂ in 0.5M HCl
C. Carrier content:	10 μg Zn/mL of solution
D. Density:	1.0077 g/mL @ 20°C

Radioimpurities:

None detected

Radionuclide Concentration: 20.04 μCi/g, 741.5 kBq/g

Method of Calibration:

This source was prepared from a weighed aliquot of solution whose activity in μCi/g was determined using a pressurized well type ionization chamber.

Uncertainty of Measurement:

A. Type A (random) uncertainty:	± 0.1 %
B. Type B (systematic) uncertainty:	± 3.0 %
C. Uncertainty in aliquot weighing:	± 0.0 %
D. Total uncertainty at the 99% confidence level:	± 3.0 %

Notes:

- See reverse side for leak test(s) performed on this source.
- IPL participates in a NIST measurement assurance program to establish and maintain implicit traceability for a number of nuclides, based on the blind assay (and later NIST certification) of Standard Reference Materials (as in NRC Regulatory Guide 4.15).
- Nuclear data was taken from IAEA-TECDOC-619, 1991.
- This solution has a working life of 16 months.

Donald James Van Dellen
Quality Control

13-NOV-07
Date

IPL Ref. No.: 1265-60

ISO 9001 CERTIFIED

Medical Imaging Laboratory
24937 Avenue Tibbitts · Valencia, California 91355

Industrial Gauging Laboratory
1800 North Keystone Street · Burbank, California 91504



ภาคผนวก ง

ใบรับรองผลการทดสอบสังกะสีในตัวอย่างปะการังและน้ำทะเลโดยวิธี ICPMS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 30 ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10000
Bangkok Branch : 30 Phrayothai Rd., Ladsao, Jitthokul, Bangkok 10000 Thailand
Tel : (662) 940 4387-8, (662) 940 4883 Ext. 164, 288 Fax : (662) 079 4886, (662) 940 4883 Ext. 239
http://www.centralthai.com

Central Lab
Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552

เลขที่รายงาน : TR 52/0526

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล ตำบลอโศกริม จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (เนื้อแข็ง) 1
รหัสตัวอย่าง	5216913-001
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : เนื้อแข็งปะการัง ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาตร : 40 มิลลิกรัม, อุณหภูมิ : แช่แข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.22	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIST Thailand)
กรมการมาตรฐาน (ประเทศไทย)
สถานะเทียบเคียงการห้องปฏิบัติการ
CERTIFIED
สาขา กรุงเทพฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบห้องปฏิบัติการนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงเท่านั้น โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นที่ระบุไว้
FM-QP-24-01-001-R02(21.08/51)P1/1



บริษัท พิธีปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
 Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.
 สาขากรุงเทพฯ : 82 ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10002
 Bangkok Branch : 81 Phraokhloei Rd., Ladsao, Jhok, Bangkok, 10000 Thailand
 Tel : (062) 591 4597-8, (062) 945 6893 Ext. 304, 308 Fax : (062) 579 4895, (062) 945 6893 Ext. 309
 http://www.central-lab.com

Central Lab

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552
 เลขที่รายงาน : TR 52/30527
 หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถานีเทศบาล โนนสีบัวนครชัยรังษี (องค์การบริหารส่วนตำบล) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อําเภอลองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (เนื้อแข็ง) 2
รหัสตัวอย่าง	52/16913-002
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : เนื้อแข็งประกรวี4 ลักษณะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาตร : 40 มิลลิลิตร. อุณหภูมิ : แฉ่แข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.21	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005



กรมอนามัย
 กระทรวงสาธารณสุข
 CERTIFIED
 สาขากรุงเทพฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบคือในรูปค่าส่วนต่อหัวหรือปริมาณ โดยทั่วไปใช้ใบรายงานนี้เป็นหลักฐานยืนยันผลการปฏิบัติการ ยกเว้นค่าตั้งขึ้น

FM-QP-24-01-001-R02(21.08.11)P1/1



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
 Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.
 สาขากรุงเทพฯ : 40 ถนนพหลโยธิน แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
 Bangkok Branch : 50 Phaholyothin Rd., Laddymai, Jitkhao, Bangkok 10400 Thailand
 Tel : (662) 561 4367-8, (662) 940 8891-2 Ext. 304, 208 Fax : (662) 579 4895, (662) 940 8891-3 Ext. 200
 http://www.cvlthailand.com

Central Lab
 On Call 24 Hours

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552
 เลขที่รายงาน : TR 52/30528
 หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถานีเทศบาล โนนอินนิวกสิกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล ตำบลกองกรักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (บ่อน้ำเค็ม) 3
รหัสตัวอย่าง	52/16913-003
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : น้ำเค็มประกรัง ภาชนะบรรจุ : ขวดพลาสติก, จำนวน : 1 ขวด, น้ำหนัก/ปริมาตร : 40 มิลลิลิตร. อุณหภูมิ : แฉะแข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.17	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น
 รายงานผลการทดสอบที่ส่งไปถูกทำส่วนบนกระดาษหีบบางแล้ว โดยไม่ได้ใบตรวจรับมอบเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นค่าจัดส่ง
 FM-QP-24-01-001-R02(21/08/51)(P1/1)



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 60 ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10001

Bangkok Branch : 60 Phaholyothin Rd., Lumphini, Pathum, Bangkok 10001 Thailand

Tel : (662) 601 4207-8, (662) 940 8813 Ext. 344, 298 Fax : (662) 679 4895, (662) 940 8813 Ext. 307

http://www.central-lab.com

Central Lab
Food Safety Laboratory

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552

เลขที่รายงาน : CR 52/30531

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9-9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อําเภอสระบุรี จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (เนื้อแข็ง) 6
รหัสตัวอย่าง	52/16913-006
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : เนื้อแข็งปะการัง ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาณ : 40 มิลลิกรัม, อุณหภูมิ : แช่แข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.15	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005

ศูนย์ทดสอบโดย

กรมการแพทย์ (ประเทศไทย)

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
CERTIFIED
สาขากรุงเทพฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะตัวตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบคือข้อมูลเท่านั้นขอพบเห็นบางส่วน โดยไม่ได้มีความเห็นชอบเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำเรื่องเป็น

FM-QP-24-01-001-REV(2) (08/5) (P1)/1



บริษัท ทีแอลซีดี จำกัด
 Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.
 สาขากรุงเทพฯ : 80 ถนนพหลโยธิน แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10000
 Bangkok Branch : 80 Phayathai Rd., Lumpini, Pathum, Bangkok 10000 Thailand
 Tel : (662) 581 4387-8, (662) 940 8881-3 Ext. 166, 238 Fax : (662) 579 4895, (662) 940 8881-3 Ext. 209
 Http://www.central-lab.com

Central Lab
 100 Years Anniversary

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552
 เลขที่รายงาน : TR 52/0532
 หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9-9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (เนื้อแข็ง) 7
รหัสตัวอย่าง	52/16913-007
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : เนื้อแข็งประกรัง ภาชนะบรรจุ : พลาสติกพลาสติก, จำนวน : 1 พลาสติก, น้ำหนัก/ปริมาตร : 40 มิลลิกรัม. คุณภาพ : แขนแข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.21	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มิใช่เอกสารอ้างอิงที่นำมาทดสอบซ้ำ
 รายงานผลการทดสอบได้จัดทำขึ้นเฉพาะเพื่อรายงานส่วน โดยไม่ได้รับทราบยืนยันขอเป็นลายลักษณ์อักษรจากลูกค้า ผู้ปฏิบัติงาน คณะที่รับแจ้ง
 FM-Q9-24-01-001-R02(21/06/51)P1/1



บริษัท ซีโอบีแอลทีเอส จำกัด
Central Lab Thailand Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 80 ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10000
Bangkok Branch : 80 Phaholyothin Rd., Lumpini, Bangkok 10000 Thailand
Tel : (662) 561 4387-8, (662) 942 6863-5 Ext. 104, 208 Fax : (662) 579 4845, (662) 942 6863-5 Ext. 209
http://www.central-lab.com

Central Lab

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552

เลขที่รายงาน : TR 52/30533

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อําเภอลงคราญ จังหวัดนครราชสีมา 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (เนื้อปอก) 8
รหัสตัวอย่าง	52/16913-008
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : เนื้อเยื่อปะการัง ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาณ : 40 มิลลิกรัม. อุณหภูมิ : แช่แข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.15	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005

กรมกลางไทย

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
ทางทะเลและชายฝั่ง (ภูเก็ต)

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
CFRIFIED
สาขา กรุงเทพฯ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
ทางทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาหรือเผยแพร่สู่ภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ สถาบันแห่งนี้

FM-QP-24-01-001-R02(21/08/51)P1/1



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : ๒ ถนนพหลโยธิน แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10000

Bangkok Branch : 20 Phaholyothin Rd., Lumphini, Pathumwan, Bangkok 10000 Thailand

Tel : (0662) 542 4387-8, (0662) 942 4862-3 Ext. 104, 218 Fax : (0662) 579 4995, (0662) 942 4861-3 Ext. 209

http://www.centralabthai.com

Central Lab
Thailand

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552

เลขที่รายงาน : TR 52/30534

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถานบันเทิงในโลตัสนิวมอลล์เชียงใหม่ (องค์การบริหารส่วน) 9-9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อําเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Coral (น้ำย้อม) 9
รหัสตัวอย่าง	52/16913-009
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : เนื้อเยื่อปะการัง ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาตร : 40 มิลลิลิตร. อุณหภูมิ : แช่แข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	0.20	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005



กรมมาตรวิทยาแห่งชาติ
CERTIFIED
สาขา กรุงเทพฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบนี้จะไม่ถูกส่งผ่านและเผยแพร่บางส่วน โดยไม่ได้ยินความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นแต่ในฉบับ

FM-QP-24-01-001-R02(21.09.51)P1/1



บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.
สาขากรุงเทพฯ : 31 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10000
Bangkok Branch : 31 Phaholyothin Rd., Laddoway, Jitthokul, Bangkok 10000 Thailand
Tel : (662) 561 4307-8, (662) 942 4881-3 Ext. 194, 219 Fax : (662) 574 4895, (662) 942 4881-3 Ext. 219
http://www.centralabthai.com

Central
Lab

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552

เลขที่รายงาน : TR 52/30535

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Bg-SW-1
รหัสตัวอย่าง	52/16913-010
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : น้ำทะเล ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนัก/ปริมาตร : 50 มิลลิลิตร. อุณหภูมิ : แชนจ์, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	<0.0080	mg/L	-	In house Method base on APHA- AWWA 2005

ศูนย์เทคโนโลยี

การแพทย์ (ประเทศไทย) จำกัด

สถานปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
CERTIFIED
สาขา กรุงเทพฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัดไม่ได้เป็นการยืนยันหรือเป็นผลยืนยันถึงมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ ยกเว้นแต่เพียงฉบับ

FM-QP-24-01-001-80221A03/1(FP1/1)



บริษัท ทิออลปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
 Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.
 สาขากรุงเทพฯ : 88 ถนนพหลโยธิน แขวงจตุจักร กรุงเทพฯ 10130
 Bangkok Branch : 80 Phaholyothin Rd., Latyao, Jutajak, Bangkok 10130 Thailand
 Tel : (062) 561 4387-8, (062) 942 6861-3 Ext. 104, 216 Fax : (062) 579 4895, (062) 942 6881-4 Ext. 209
 http://www.central-lab.com

Central Lab

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552
 เลขที่รายงาน : TR-52/30536
 หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถานบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทราวูด อําเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Bg-SW -2
รหัสตัวอย่าง	52/16913-011
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : น้ำทะเล ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาตร : 50 มิลลิลิตร. คุณสมบัติ : แฉกแข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	Not Detected	mg/L	0.0030	In house Method base on APHA- AWWA 2005



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบที่ได้ไม่ถูกต้องในส่วนรายละเอียดบางส่วน โดยไม่ได้รับทราบยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ และวันที่ฉบับนี้
 FM-QP-34-01-001-802(21.08.51)P1/1



บริษัท ทิพย์ปฏิบัติการกลาง ประเทศไทย จำกัด

Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd.

สาขากรุงเทพฯ : 80 ถนนพหลโยธิน แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10000
 Bangkok Branch : 80 Phraayothin Rd., Lumpini, Bangkok 10000 Thailand
 Tel : (662) 501 4387-8, (662) 943 0813 Ext. 104, 219 Fax : (662) 579 4895, (662) 943 488-3 Ext. 239
 http://www.centralthai.com

Central Lab
The National Quality Standard

วันที่ออก : 12 ตุลาคม 2552

เลขที่รายงาน : TR-52/30537

หน้า : 1 / 1

ใบรายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 หมู่ 7 ตำบลทรายมูล อําเภอลองครบุรี จังหวัดนครนายก 26120
รายละเอียดตัวอย่าง	Bg-SW-3
รหัสตัวอย่าง	52/16913-012
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ประเภทตัวอย่าง : น้ำทะเล ภาชนะบรรจุ : หลอดพลาสติก, จำนวน : 1 หลอด, น้ำหนักปริมาตร : 50 มิลลิลิตร. อุณหภูมิ : แช่แข็ง, สภาพตัวอย่างปกติ
วันที่รับตัวอย่าง	02 ตุลาคม 2552
วันที่ทดสอบ	09 ตุลาคม 2552 - 12 ตุลาคม 2552

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Zinc	Not Detected	mg/L	0.0030	In house Method base on APHA- AWWA 2005



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบซึ่งไม่ถูกต้องส่วนหนึ่งหรือบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ สถาบันฯ หรือแจ้งฉบับ

FM-QP-24-01-001-R02(21/08/51)P1/1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอนันท์ โอมณี เกิดเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2521 ที่ ตำบลปากน้ำ อำเภอละงู จังหวัดสตูล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ. 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ได้รับทุนการศึกษาจากโครงการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก ด้านวิศวกรรมศาสตร์นิวเคลียร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 และทุนโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีงบประมาณ 2552 ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ คือ Preliminary Study of the Bioaccumulation of Zn on Scleractinian Coral *Acropora fomosa* Using Zinc-65 as a Radiotracer ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย กลุ่มวิจัยและพัฒนาชีวเคมี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย