หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและแคดเมียมในปลาทะเลแต่ละประเภท ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6 ถึง ตารางที่ 9 พบว่าปริมาณของธาตุทั้งสองไม่สูงมากนัก แต่เนื่องจากในปัจจุบัน เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (maximum acceptable concentration) ของสารหนูและแคดเมียมในสัตว์ทะเลประเภทปลาและหอยสำหรับใช้ภายในประเทศยังไม่มีกำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยนี้ว่ามีความแตกต่างกันเพียงใด อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์นี้กับปริมาณของสารหนูและแคดเมียมในปลา หอย และอาหารที่มีรายงานไว้ในต่างประเทศ ตามตารางที่ 15 ถึงตารางที่ 17 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณสารหนูและแคดเมียมจากผลการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่ามาก

<u>ตารางที่ 15</u> ปริมาณสารหนูในปลา หอย และสัตว์น้ำที่รายงานไว้ในต่างประเทศ

ประเภทของสารตัวอย่าง	ช่วงปริมาณสารหนู ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด	เอกสารอ้างอิง
สัตว์ทะเลประเภทปลา	2.0 - 44	105
สัตว์ทะเลจำพวกหอย	2.9 - 19	105
เนื้อปลา	2.0 - 9.0	9, 10
สัตว์น้ำจำพวกกุ้ง ปู หอย	1.6 - 2.9	9, 10
กุ้งทะเล-กุ้งฝอย	1.5 - 100	9, 10

ตารางที่ 16 ปริมาณแคดเมียมในปลา และหอย ที่รายงานไว้ในต่างประเทศ

ประเภทของสารตัวอย่าง	ช่วงปริมาณแคดเมียม ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด	เอกสารอ้างอิง
สหรัฐอเมริกา		
เนื้อปลาทั่ว ๆ ไป	0.02 - 1	91
ปลาคอด	0.001 - 0.041	92
ปลาตะกุย	0.005 - 0.024	92
ปลาพอลแลก	0.002 - 0.008	92
ตับปลา	0.109 - 2.225	92
หอยนางรมฝั่งตะวันออก	0.1 - 7.8	87
หอยนางรมฝั่งตะวันตก	0.2 - 2.1	87
สหราชอาณาจักร		
ปลาทูนา	0.2	90
ปลาแซลมอน	> 3	90
ปลาเฮสท์	5.3	90
แคนาดา		
ปลาจาก Great Lakes	10 - 110	88
ญี่ปุ่น : บริเวณสกปรก		
หอย	92 - 420	88
ปลาหมึก	10 - 110	88

ตารางที่ 17 ปริมาณสารหนู และแคดเมียมในปลา และอาหารที่รายงานไว้ในต่างประเทศ

ประเภทของสารตัวอย่าง	หน่วยคิดตามน้ำหนักสด	สารหนู		แคดเมียม	
		ปริมาณ	เอกสารอ้างอิง	ปริมาณ	เอกสารอ้างอิง
ปลา	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.5-16	9	0.03-1.7	86, 109
หอย	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.5-80	9	0.1-118	86, 109
อาหารปกติ (Normal diet)					
สหรัฐอเมริกา	มิลลิกรัมต่อวัน	0.4-0.9	9	0.016-0.5	30,95,107
ยุโรปตะวันตก	มิลลิกรัมต่อวัน	0.1	108	0.048-0.064	108,109
ญี่ปุ่น	มิลลิกรัมต่อวัน	0.07-0.17	110	0.059	111
อาหารที่มีพิษ (Toxic diet)	มิลลิกรัมต่อวัน	5-50	112	3	112
เกณฑ์ที่ยอมให้มีในอาหาร (Maximum legal limit)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	2.3	9	0.4	113
ปริมาณที่รับประทานแล้วเป็นอันตรายทันที (Acute lethal dose)	มิลลิกรัม	120	5	4000	112

เมื่อพิจารณาถึงช่วงปริมาณ และปริมาณเฉลี่ยของสารหนูและแคดเมียมในปลาแต่ละชนิดจากบริเวณที่สกปรก และไม่สกปรก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10 และตารางที่ 11 จะพบว่าปริมาณสารหนูและแคดเมียมในปลาตาโตจากบริเวณที่ไม่สกปรกสูงกว่าบริเวณที่สกปรกค่อนข้างมาก สำหรับปลาข้างเหลืองนั้นปริมาณสารหนูและแคดเมียมจากทั้งสองบริเวณมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในกรณีของปลาทรายแดง กลับมีปริมาณสารหนูและแคดเมียมจากบริเวณที่สกปรกสูงกว่าบริเวณที่ไม่สกปรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณสารหนูสูงกว่ามาก ส่วนในปลาหมึกกล้วย เฉพาะปริมาณสารหนูที่พบในบริเวณที่สกปรก สูงกว่าบริเวณที่ไม่สกปรก

ในการทดลองนี้ได้จัดกลุ่มความยาวของปลาเป็นช่วง ๆ คือ 5-10 ซม. 10-15 ซม. และ 15-20 ซม. ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงการสะสมของสารหนูและแคดเมียมตามขนาดของปลา จากตารางที่ 12 และตารางที่ 13 จะแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารหนูและแคดเมียม มีแนวโน้มว่าเมื่อขนาดของปลาโตขึ้นมีการสะสมของธาตุทั้งสองสูงขึ้นด้วย แต่มีบางค่า อาทิเช่น ปริมาณสารหนูและแคดเมียมในปลาข้างเหลืองและปลาทรายแดงจากบริเวณที่ไม่สกปรก ที่มีค่าในทางตรงกันข้าม ข้อผิดพลาดนี้คาดว่ามาจากความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กล่าวคือ ตัวอย่างปลาบางประเภทมีจำนวนน้อยมาก ไม่อาจเป็นตัวแทนของปลาประเภทนั้นทั้งหมดได้ หรืออาจเป็นไปได้ว่าในสิ่งแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่เช่น น้ำ แพลงก์ตอน ตะกอนพื้นทะเล ฯลฯ มีปริมาณสารหนูและแคดเมียมแตกต่างกันมาก ระหว่างบริเวณที่สกปรกและไม่สกปรก อาจสังเกตได้จากปริมาณของธาตุทั้งสองในปลาจากทั้งสองบริเวณซึ่งแตกต่างกันมาก ฉะนั้นการสะสมของสารหนูและแคดเมียมในบริเวณที่ไม่สกปรก จึงมองเห็นไม่ชัดเจนชัด การสรุปความเห็นที่แท้จริงคาดว่าจะกระทำได้เมื่อผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและแคดเมียมในน้ำ แพลงก์ตอน ตะกอนพื้นทะเล ซึ่งกองขจัดกากกัมมันตรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ มีโครงการอยู่ได้กระทำแล้วเสร็จ ในการศึกษานี้พยายามที่จะประเมินค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุทั้งสองต่อฤดูกาลที่จับปลา แต่เนื่องจากข้อมูลมีไม่เพียงพอ ทำให้ไม่อาจสรุปข้อกำหนดลงได้

เนื่องจากค่าระดับมูลฐานของสารหนูและแคดเมียมในสัตว์ทะเลประเภทปลา และสัตว์ทะเลจำพวกหอยสำหรับประเทศไทยยังไม่มีกำหนดไว้ ดังนั้นจึงได้พยายามประเมินค่าดังกล่าวขึ้นจากผลการวิเคราะห์ที่ได้รับ โดยขอจัดจำแนกปลาทาโต ปลาข้างเหลือง และปลาทรายแดง เป็นสัตว์ทะเลประเภทปลา และปลาหมึกกล้วยเป็นสัตว์ทะเลจำพวกหอย ในการประเมินค่านี้ได้ตัดค่าที่สงสัยว่าจะมีการเปรอะเปื้อนของธาตุที่รายงานไว้ออก และรายงานไว้เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นปริมาณเฉลี่ยคิดจากจำนวนปลาทั้งหมด ค่าระดับมูลฐานและค่าเฉลี่ยของสารหนู และแคดเมียม แสดงไว้ในตารางที่ 14

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูและแคดเมียมในปลาทะเลแต่ละชนิดกับบริเวณที่เก็บตัวอย่าง และขนาดของปลา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13 จะพบว่าปริมาณของสารหนูและแคดเมียมในปลาแต่ละชนิด จากบริเวณสกปรกมีปริมาณธาตุทั้งสองสูงกว่าปลาที่มีขนาดเดียวกันในบริเวณไม่สกปรก เมื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับค่าระดับมูลฐานของสารหนูและแคดเมียมในปลาทะเล และหอยตามตารางที่ 14 พอที่จะสรุปได้ว่าอาจมีการเปรอะเปื้อนของธาตุทั้งสองในบริเวณที่สกปรกคือ เขต III จึงทำให้ปลาในเขตดังกล่าวมีการสะสมของสารหนูและแคดเมียมสูงกว่าปลาในเขตอื่น และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 6 ถึงตารางที่ 9 กับค่าระดับมูลฐาน จะพบว่าปลาบางตัวในบริเวณที่ไม่สกปรกมีการสะสมของธาตุทั้งสองอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่ปลาดังกล่าวเป็นปลาที่เคลื่อนย้ายที่อยู่ (migration) มาจากบริเวณที่สกปรก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุม อย่างไรก็ตามระดับของสารหนูและแคดเมียมที่ตรวจพบ ยังไม่จัดอยู่ในระดับที่เป็นอันตราย

จากตารางที่ 14 ซึ่งแสดงถึง ช่วงปริมาณ ระดับมูลฐาน และค่าเฉลี่ยของสารหนูและแคดเมียมในสัตว์ทะเลประเภทปลาและหอย จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระดับมูลฐานของสารหนูและแคดเมียมในสัตว์ทะเลจำพวกหอยสูงกว่าในสัตว์ทะเลประเภทปลา ช่วงปริมาณ และค่าเฉลี่ยของสารหนูในสัตว์ทะเลประเภทปลาสูงกว่าในหอย ขณะเดียวกันช่วงปริมาณและค่าเฉลี่ยของแคดเมียมในหอยสูงกว่าในปลาทะเล

ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากการสะสมของธาตุในสัตว์ต่างประเภทกันย่อมแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์เหล่านั้นใช้ในการดำรงชีวิต และสภาพแวดล้อมที่สัตว์อาศัยอยู่ อย่างไรก็ตามเมื่อลองเปรียบเทียบค่าระดับมูลฐานของสารหนูในปลาทะเลและหอยที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้ กับค่าที่ Lee (105) รายงานไว้ว่าระดับมูลฐานของสารหนูในปลาทะเลและหอยมีค่า 7.2 และ 7.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าระดับมูลฐานของสารหนูที่รายงานในการวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่ามาก

ในการศึกษาวิจัยนี้ถือว่า เขต III ตามแผนที่ในรูปที่ 1 เป็นบริเวณที่สกปรก ทั้งนี้เนื่องจาก เขต III เป็นทางออกของแม่น้ำใหญ่หลายสายซึ่งไหลผ่านแหล่งกสิกรรมและโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งอาจสะสมและนำพาสิ่งตกค้าง หรือสิ่งที่ถูกชะล้างของสารหนูและแคดเมียม รวมทั้งสารประกอบของสารหนูและแคดเมียมจากการนำไปใช้ในกิจการเกษตร และจากสิ่งปฏิกูล ตลอดจนน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ นอกจากนี้บริเวณชายฝั่งทะเลยังเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งปลดปล่อยของเสียลงสู่ทะเลเช่นกัน สำหรับเขต II IV V VI VIII และ IX จัดได้ว่าเป็นบริเวณที่ห่างไกลจากสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จึงถือได้ว่าเป็นบริเวณที่ไม่สกปรก

การคัดเลือกศึกษาเฉพาะปลา 4 ประเภท คือปลาตาโต ปลาข้างเหลือง ปลาทรายแดง และปลาหมึกกล้วย เนื่องจากปลาทั้ง 4 ประเภทเป็นปลาทะเลสามัญที่ประชาชนส่วนใหญ่นิยมใช้บริโภค ราคาไม่แพง และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป ส่วนตัวอย่างปลาประเภทอื่น ๆ นั้น อาทิเช่น ปลาทู (ลัง) ปลาแป้น ในช่วงปีที่วิเคราะห์ได้รับมาน้อยมาก จึงไม่นำมาศึกษา

ในการศึกษานี้ใช้เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อส่วนหลังของปลาเป็นชิ้นส่วนตัวแทนของปลาทั้งตัวในส่วนที่รับประทานได้ (edible part) ทั้งนี้เนื่องมาจากเนื้อเยื่อส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้งานมากที่สุดของปลาในการเคลื่อนไหว ย่อมที่จะสะสมแร่ธาตุไว้มากกว่าส่วนอื่น ๆ และจากการศึกษาวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ยืนยันเช่นนั้น

เช่น Holden (114) ได้รายงานว่ากล้ามเนื้อส่วนหลังของปลาเป็นส่วนที่มีแร่ธาตุสะสมไว้สูงสุดเมื่อเทียบกับกล้ามเนื้อส่วนอื่น ๆ ของปลา ดังนั้นปริมาณสารหนูและแคดเมียมในรายงานนี้จึงถือได้ว่าเป็นค่าสูงสุดของสารหนูและแคดเมียมที่มีอยู่ในตัวปลา ยกเว้นกรณีของปลาหมึกกล้วยที่ใช้เนื้อเยื่อทั้งตัวในการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างปลาที่นำมาวิเคราะห์ เก็บจากแต่ละเขตเป็นจำนวน 4 ครั้ง ในรอบปีตาม peak period ของฤดูมรสุม (ม.ค. เม.ย. ก.ค. และ ต.ค.) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทะเลในบริเวณอ่าวไทย มีความแปรปรวนไปตามฤดูกาลขึ้นกับอิทธิพลของลมมรสุม ซึ่งจะทำให้สภาวะแวดล้อมในเขตต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย

วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษานี้ มีความเชื่อถือได้สูงมาก ดังได้แสดงผลการทดสอบความเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 4 และการตรวจสอบความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและแคดเมียมในสารตัวอย่างเปรียบเทียบมาตรฐาน Kale และสารตัวอย่าง Bovine Liver ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 ขีดจำกัดของการหาปริมาณสารหนูและแคดเมียมภายใต้สภาวะการทดลองนี้ มีค่า 0.00001 และ 0.0004 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำพอที่จะนำมาใช้ศึกษาเพื่อประเมินค่าระดับมูลฐานของสารหนูและแคดเมียมได้ ในการรายงานผลนั้น เนื่องจากตัวอย่างปลาที่กรมประมงเก็บมาให้มีปริมาณจำกัด ประกอบกับตัวอย่างปลาดังกล่าวต้องนำไปใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุชนิดอื่น ๆ อีก ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างซ้ำได้ ฉะนั้นจึงรายงานผลการวิเคราะห์เพียงค่าเดียว แต่เพื่อความถูกต้องของผลลัพธ์จะตรวจสอบความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์อย่างสม่ำเสมอ โดยใช้สารตัวอย่างเปรียบเทียบมาตรฐานหรือสารตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์และทราบค่าแล้ว (dummy sample)

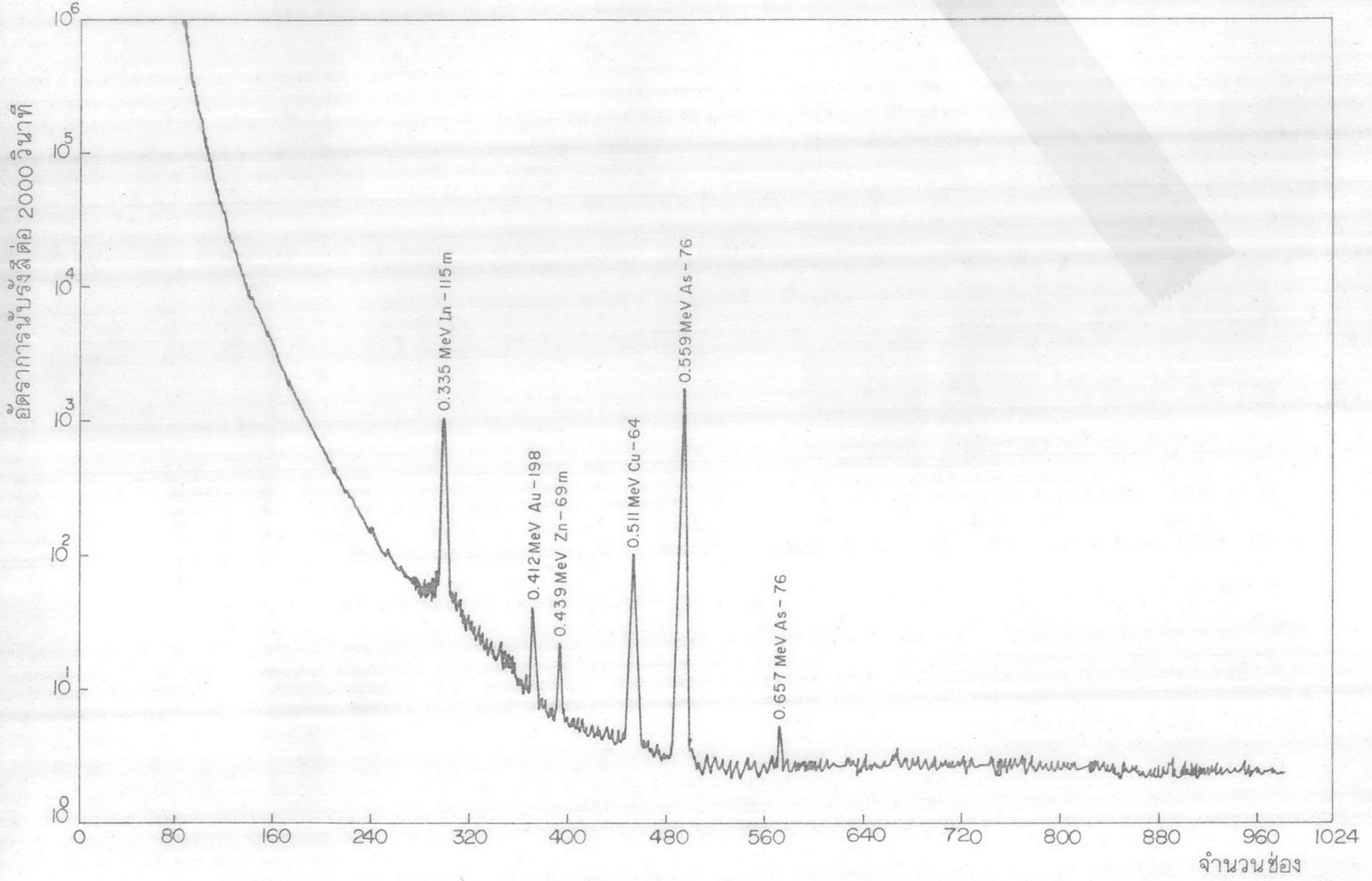
เมื่อพิจารณาถึงขีดความสามารถในการแยกขนาดพลังงานแกมมาของหัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ ชนิด Ge (Li) ซึ่งต่อกับเครื่องนับรังสีแบบหลายช่อง ชนิด 1024 ช่อง รวมกับความไวของวิธีวิเคราะห์จึงเลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและแคดเมียมด้วยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน โดยอาศัยกรรมวิธีทางเคมีเข้าช่วย

จากเทคนิคดังกล่าวนี้ จะสามารถแยกพลังงานแกมมาของสารหนู-76 และอินเดียม-115 m ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของแคดเมียม-115 ได้โดยปราศจากการรบกวนของเรดิโอไอโซโทปอื่นที่มีพลังงานแกมมาใกล้เคียงกับเรดิโอไอโซโทปของธาตุทั้งสองที่วิเคราะห์ แกมมาสเปคตรัมของสารหนู-76 และอินเดียม-115 m ซึ่งผ่านกรรมวิธีทางเคมีแล้วแสดงไว้ในรูปที่ 13 ในการศึกษาวิจัยนี้ไม่สามารถใช้เทคนิคของการวิเคราะห์ที่อาศัยเฉพาะเครื่องมือนับรังสีโดยตรงได้ ทั้งนี้เนื่องจากการรบกวนของโบรมีน-82 (0.554 MeV) ซึ่งมีพลังงานแกมมาใกล้เคียงกับสารหนู-76 (0.559 MeV) และต้องขจัดโซเดียม-24 ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงในปลาทะเลออกเสียก่อนด้วย

เพื่อเพิ่มความไวของการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและแคดเมียม จึงใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณธาตุดังกล่าวในปลา โดยทำให้ปลาตัวอย่างแห้งด้วยเทคนิคของการเยือกแข็ง โดยเทคนิคนี้สามารถระเหิดน้ำออกจากสารตัวอย่างได้ร้อยละ 75

การตรวจสอบเคมีคัลยีลด์ ของกรรมวิธีวิเคราะห์คือการทำละลายสารตัวอย่างและการแลกเปลี่ยนไอออนลบ กระทำโดยใช้สารหนู-76 และแคดเมียม-115 เป็นสารติดตาม (tracer) พบว่าสามารถแยกสารหนูและแคดเมียมจากสารติดตามได้ร้อยละ 65 ± 1 และร้อยละ 100 ตามลำดับ

เทคนิคของการทำละลายสารตัวอย่าง และการแลกเปลี่ยนไอออนลบที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ นอกจากจะมีเคมีคัลยีลด์ มีความเที่ยงตรง และความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์สูงดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์สารหนูและแคดเมียมในสารตัวอย่างได้พร้อมกัน และการวิเคราะห์สารตัวอย่างจะกระทำได้ครั้งละ 4-5 ตัวอย่าง ดังนั้นอาจนำไปใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมากในระบบงานประจำได้เป็นอย่างดี ข้อดีอีกประการหนึ่งของเทคนิคการวิเคราะห์ก็คือ สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุจำนวนน้อยชนิดอื่นที่สนใจ เช่น ทองคำ สังกะสี ทองแดง พร้อมกับการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและแคดเมียมได้ นอกจากนี้สารละลายที่ผ่านขบวนการแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้ว ยังสามารถนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอื่นได้อีกด้วย



รูปที่ 13 แกมมาสเปคตรัมของสารหนู-76 และ อินเดียม-115 m ในปลาทะเล ภายหลังผ่านขบวนการแยกทางเคมี โดยหัววัดรังสี-แบบกึ่งตัวนำชนิด Ge(Li) ต่อกับเครื่องมือนับรังสีแบบหลายช่อง ชนิด 1024 ช่อง