บทที่ 4

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีรวมเบตา และซีเซียม-137 ของน้ำตัวอย่างจากสถานีต่าง ๆ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2523 ถึง เมษายน 2524 แสดงไว้ในตารางที่ 3.1-3.15 ส่วนตารางที่ 3.16 เป็นค่าเฉลี่ยตลอด 12 เดือน พบว่าสถานีที่ 1 คือบริเวณบ่อน้ำในสำนักงาน พปส. มีค่าความแรงรังสีรวมเบตา และปริมาณซีเซียม-137 สูงที่สุดคือ 13.59 และ 3.88 พิโคคูรี/ลิตร ตามลำดับ สาเหตุนี้เนื่องมาจากน้ำทิ้งหลังจากผ่านโรง-งานขจัดกากฯ แล้ว จะถ่ายสู่บ่อพัก (retention pool) เพื่อตรวจสอบปริมาณรังสีก่อนปล่อยออกไปสู่ภายนอก น้ำจากบ่อพักเมื่อปล่อยออกจะไปพักอยู่ในสระน้ำบริเวณสำนักงานฯ ก่อน ดังนั้นจึงมีการสะสมของสารกัมมันตรังสีมากกว่าสถานีอื่น ๆ การสะสมนี้พบว่าในตัว-อย่างดินใต้ท้องน้ำมีมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำในบ่อของสำนักงานฯ เป็นน้ำนิ่งไม่มีอิทธิพลของกระแสน้ำไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงเกิดการแลกเปลี่ยน (exchange) ของสารรังสีกับดินได้ง่ายกว่าสถานีอื่น ๆ ซึ่งเป็นลำคลอง และได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำ นอกจากนั้นสารรังสีซีเซียม-137 ยังมีคุณสมบัติที่สามารถเข้าไปเกาะอยู่กับดินได้ดี ถึงแม้ว่าสารประกอบของซีเซียม-137 ละลายน้ำได้ดี แต่ถ้าเกิดการแลกที่เข้าไปอยู่ในดินแล้วจะหลุดออกมาได้ยาก ทั้งนี้เพราะในดินมีรูพรุนมาก ดังนั้นจะเห็นว่าปริมาณซีเซียม-137 ในดินจากสถานีที่ 1 (ตารางที่ 3.30) จึงมีค่าสูงกว่าในน้ำถึง 400 เท่า และในระหว่างที่อนุภาคของดินใต้ท้องน้ำอยู่ในสภาพของสารแขวนลอยอยู่ในน้ำยังสามารถที่จะแลกเปลี่ยนซีเซียม-137 ในระหว่างนั้นได้อีกด้วย

น้ำในบ่อของสำนักงานฯ อาจจะไหลออกไปสู่ภายนอกได้ 2 ทาง คือทางแรกเมื่อระดับน้ำในบ่อสูงกว่าระดับน้ำในคูซึ่งอยู่หน้าสำนักงานฯ น้ำในบ่อจะถ่ายเทสู่คลองบาง-เขนผ่านคูดังกล่าว อีกทางหนึ่งคือในช่วงฤดูฝนและฤดูน้ำหลากน้ำในบ่อจะเอ่อท่วมและไหลสู่คลองบางเขนเช่นกัน ฉะนั้นคูหน้าสำนักงานฯ น่าจะมีความแรงรังสีรวมเบตาและปริมาณ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซีเซียม-137 สูงกว่าสถานีอื่น ๆ ยกเว้นสถานีที่ 1 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.16 เป็นเช่นนั้นจริง คือสถานีที่ 14 มีค่าเฉลี่ยของความแรงรังสีรวมเบตาและปริมาณซีเซียม-137 เท่ากับ 12.50 และ 2.09 พิโคคูรี/ลิตร ตามลำดับ สำหรับสถานีอื่น ๆ นั้น ค่าความแรงรังสีรวมเบตามีค่าประมาณ 5-9 พิโคคูรี/ลิตร และปริมาณซีเซียม-137 อยู่ต่ำกว่าขีดจำกัดของวิธีจะวิเคราะห์ได้ หรือสูงกว่าเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าจะเปรียบเทียบกับระดับที่คณะกรรมาธิการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศกำหนด จะพบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดที่ยินยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม (Maximum permissible concentration, MPCw) ดังแสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

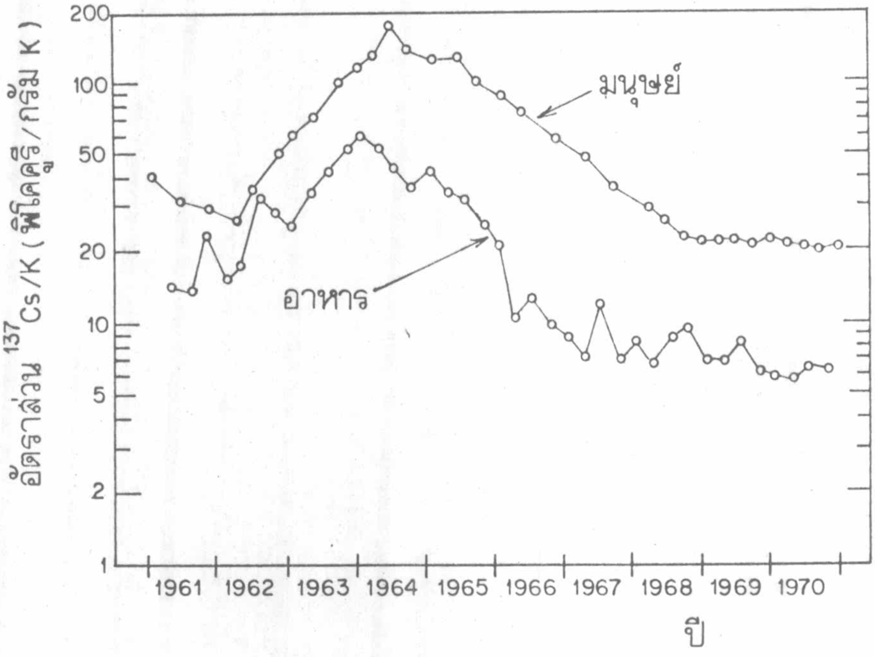
คุณลักษณะของน้ำ	(MPC) ในน้ำ
ความแรงรังสีรวมเบตา	100 pCi/L
ซีเซียม-137	$3x10^{-4}$ μCi/ml หรือ $3x10^{5}$ pCi/L

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คุษฎี[17] รายงานไว้ในปี 2521 ถึงระดับรังสีของซีเซียม-137 ในบริเวณที่จะสร้างโรงไฟฟ้าปรมาณูที่ศรีราชา ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากแหล่งปลดปล่อยมลภาวะทางรังสีใด ๆ ฉะนั้นปริมาณรังสีที่มีอยู่จะได้รับจากฝุ่นกัมมันตรังสีเท่านั้น พบว่าปริมาณซีเซียม-137 ในน้ำจืดมีค่าตั้งแต่ 0.18 ถึง 1.94 พิโคคูรี/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้ในบริเวณรอบ ๆ สำนักงานฯ ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยตั้งแต่ 0.6 ถึง 2.09 พิโคคูรี/ลิตร จะเห็นได้ว่าไม่มีข้อแตกต่างกัน ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเครื่องปฏิกรณ์ไม่ได้ก่อผลกระทบต่อระดับปริมาณซีเซียม-137 ในน้ำโดยรอบสำนักงานฯ เลย

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าความแรงรังสีรวมเบตา และซีเซียม-137 ในตัวอย่างอื่น ๆ ของแต่ละสถานีดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.17-3.29 นั้น ได้ผลสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำคือตัวอย่างจากสถานีที่ 1 มีค่าความแรงรังสีรวมเบตาและซีเซียม-137 สูงกว่าตัวอย่างจากสถานีอื่น ๆ อย่างไรก็ตามจากตารางที่กล่าวไว้ข้างต้นจะเห็นได้ว่า การเปรียบเทียบได้กระทำกับสารตัวอย่างบางประเภทเท่านั้น อาทิเช่น ผักบุ้ง, สายบัว ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละสถานีมีสารตัวอย่างไม่เหมือนกัน และบางสถานีไม่สามารถเก็บสารตัวอย่างนั้น ๆ ได้ สถานีที่สามารถเก็บสารตัวอย่างได้ประกอบด้วยสถานีที่ 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12 และ 14 ตามลำดับ แต่สถานีที่ผู้วิเคราะห์ให้ความสนใจมากที่สุดคือสถานีที่ 1 และที่ 10 ดังจะเห็นได้จากประเภทของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากถ้าจะมีการกระทำให้เกิดมลพิษทางรังสีจากสถานีที่ 1 แล้ว สถานีที่ 10 คือบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จะได้รับผลกระทบมากที่สุด

เนื่องจากความคล้ายคลึงในคุณสมบัติทางเคมีของซีเซียมและโพแทสเซียม ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนที่กันได้ การประเมินค่าของความเป็นอันตรายที่อาจจะมีขึ้นจึงนิยมกระทำโดยเทียบกับปริมาณของค่าโพแทสเซียม ฉะนั้นในการทดลองนี้สำหรับสารตัวอย่างต่าง ๆ ยกเว้นน้ำ จึงได้วิเคราะห์ค่าโพแทสเซียมด้วย และรายงานผลทั้งซีเซียม-137 และซีเซียม-137/กรัม โพแทสเซียม (^{137}Cs/K) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.17-3.29 ในการวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียมนั้น กระทำโดยใช้เทคนิคของการวัดรังสีของปริมาณโพแทสเซียม-40 (^{40}K) โดยใช้เครื่องมือวัดรังสีแกมมาซึ่งกระทำได้พร้อมกันกับการวิเคราะห์ซีเซียม-137 แล้วคำนวณกลับมาเป็นปริมาณโพแทสเซียม โดยเทียบกับสารมาตรฐานจาก US. EPA. วิธีที่นำมาประยุกต์ใช้นี้เป็นวิธีที่เร็ว สะดวก สิ้นเปลืองน้อย และมีความแม่นยำค่อนข้างสูง

เมื่อพิจารณาค่า ^{137}Cs/K ของอาหารชนิดต่าง ๆ ที่เก็บจากสถานีที่ 2 ถึง 15 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.29 จะเห็นว่าส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 80) มีค่าต่ำกว่า 10 และถ้านำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับรายงานของ Gustafson และ Miller[16] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณซีเซียม – 137 ที่ตรวจพบในอาหารและประชากรในเมืองชิคาโก[16]

ซึ่งแสดงถึงค่า $^{137}Cs/K$ ในอาหารของเมืองชิคาโกในสหรัฐอเมริกาของปีต่าง ๆ (1961-1970) ซึ่งมีผลกระทบจากอิทธิพลของฝุ่นกัมมันตรังสี จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าที่รายงานไว้สอดคล้องกับค่าของ Gustafson และ Miller ในช่วงปีตั้งแต่ 1967 ขึ้นไป ซึ่งเป็นระยะที่ระดับ $^{137}Cs/K$ มีค่าลดลงจนเกือบคงที่และน่าจะเป็นค่าที่ปรกติ (baseline) ของ $^{137}Cs/K$ ที่ได้รับจากฝุ่นกัมมันตรังสีแต่เพียงอย่างเดียว ภายหลังจากที่ค่านี้สูงขึ้นในช่วงปี 1963-1967 สืบเนื่องมาจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์

ถ้านำค่าซีเซียม-137 จากรายงานนี้เปรียบเทียบกับค่าของดุษฎี[17] ทำการศึกษาจากตัวอย่างต่าง ๆ ในบริเวณศรีราชา อาทิเช่น

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณซีเซียม-137 พิโคคูรี/กก.
เก็บเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2521	
ผักคะน้า	13.98 ± 0.75
ถั่วฝักยาว	7.87 ± 0.68
ผักบุ้ง	14.42 ± 1.41
ผักกวางตุ้ง	16.57 ± 1.92
มันสำปะหลัง	13.80 ± 0.99
	17.74 ± 0.92
เก็บเมื่อเดือนธันวาคม 2521	
ผักคะน้า	14.39 ± 1.12
ผักบุ้ง	7.21 ± 1.06
ถั่วฝักยาว	4.22 ± 0.63

จะเห็นได้ว่าตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ สำนักงานฯ มีค่าเฉลี่ยของซีเซียม-137 ใกล้เคียงกับตัวอย่างธรรมชาติจากศรีราชา จึงอาจยืนยันได้ว่าปริมาณซีเซียม-137 ในตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบสำนักงานฯ นั้น มีผลจากฝุ่นกัมมันตรังสีแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น นี่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การปฏิบัติงานโดยใช้พลังงานปรมาณูในทางสันติภายในสำนักงานฯ รวมทั้งน้ำทิ้งกัมมันตรังสีที่ปลดปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมไม่มีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมโดยรอบ และถ้ามองในแง่ของความปลอดภัยจากรังสี จะเห็นว่าประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบสำนักงานฯ ยังไม่มีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี

พิจารณาถึงระดับซีเซียม-137 ในสถานีที่ 1 จะพบว่าตัวอย่างที่สะสมซีเซียม-137 ไว้ในปริมาณค่อนข้างสูง จะเป็นประเภทสัตว์น้ำ และพืชน้ำ เช่น กุ้งฝอย ปลา รากบัว เป็นต้น สำหรับตัวอย่างอื่น ๆ นั้นมีค่าซีเซียม-137 ใกล้เคียงกับสารตัวอย่างจากสถานีอื่น ๆ โดยรอบ ปรากฏการณ์บ่งให้เห็นถึงทางผ่านของเรดิโอไอโซโทปที่สะสมอยู่ในน้ำแล้วถูกดูดซับและสะสมอยู่ในพืชและสัตว์ขนาดเล็ก อาทิ แพลงค์ตัน จำพวกพืชและสัตว์ (phyto and zoo plankton) สาหร่าย จุลชีพ (microorganism) ต่าง ๆ แล้วถูกถ่ายทอดเข้าสู่สัตว์น้ำเล็ก ๆ อาทิเช่น กุ้ง แล้วถ่ายทอดเข้าสู่สัตว์น้ำประเภทปลาในขั้นสุดท้าย จากตารางแสดงผลการวิเคราะห์พบว่าชนิดของปลามีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณรังสี กล่าวคือ ปลาช่อน จะมีปริมาณซีเซียม-137 สูงกว่าปลานิลที่มีน้ำหนักใกล้เคียง ทั้งนี้อาจจะเป็นผลจากปลาช่อนเป็นสัตว์น้ำที่กินสัตว์เล็กกว่าเป็นอาหาร และมีนิสัยอยู่ใกล้ท้องน้ำจึงมีโอกาสที่จะรับปริมาณซีเซียม-137 จากโคลนได้มากกว่าปลานิล

ในกรณีของหอยขมนั้นเป็นสัตว์น้ำที่ควรให้ความสนใจอย่างมาก จากตารางที่แสดงไว้พบว่าปริมาณซีเซียม-137 ที่สะสมในหอยขมมีปริมาณค่อนข้างสูง และมีค่าความแปรผัน (variation) สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากในการวิเคราะห์แต่ละครั้งต่อเดือน จำเป็นต้องใช้สารตัวอย่างเป็นจำนวนมาก (ประมาณ 4 กก.) ฉะนั้นจึงไม่สามารถเก็บสารตัวอย่างในบริเวณเดียวกันได้ทุก ๆ เดือน และเมื่อพิจารณาถึงจุดเก็บตัวอย่างพบว่า ปริมาณซีเซียม-137 ของหอยขมที่เก็บในบริเวณใกล้กับท่อน้ำทิ้งจะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ และในฤดูน้ำหลาก (กย.-ตค.) ซึ่งปริมาณซีเซียม-137 ในน้ำจะลดลง ปริมาณของซีเซียม-137 ในหอยขมจะลดลงด้วยเช่นกัน

สำหรับสายบัวนั้นจะสะสมซีเซียม-137 ไว้ในรากมากกว่าลำต้น ซึ่งก็น่าจะเป็นไปเช่นนั้นเพราะปริมาณซีเซียม-137 ในโคลนมีค่าสูงกว่าในน้ำมาก แต่ถึงอย่างไรก็ตามปริมาณเฉลี่ยซีเซียม-137 ในสายบัวของสถานีที่ 1 ยังมีค่าสูงมากกว่าสถานีอื่น ๆ ประมาณ 6 เท่า

แม้ว่าปริมาณซีเซียม-137 และค่า $^{137}Cs/K$ ในตัวอย่างจากสถานีที่ 1 จะสูงกว่าสถานีโดยรอบก็ตาม แต่ถ้าจะเปรียบเทียบกับปริมาณซีเซียม-137 และ $^{137}Cs/K$ ในอาหารประจำวันของชาวฟิลิปปินส์ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.1[18]

ตารางที่ 4.1 ซีเซียม-137 และ $^{137}Cs/K$ ในอาหารประจำวันของชาวฟิลิปปินส์[18]

ชนิด		ซีเซียม-137 พิโคคูรี/กก.	$^{137}Cs/K$ พิโคคูรี/กรัม K
	หอย	255.76	335
อาหารทะเล	กุ้ง	338.85	204
	ปลาหมึก	77.25	87
	หมู	53.1	332
	เนื้อ	614.04	1180
เนื้อ	นม	27.90	80
	ไข่	124.32	567
	แฮม	173.37	181
	ถั่ว	48.03	192
	ถั่วแดง	93.41	33
ผัก	ถั่วฝักยาว	24.58	112
	ข้าวโพดแก่	28.33	62
		57.36	358
		140.06	55
	มะเขือเทศ	46.90	469
อื่น ๆ	มะเขือ	62.54	521
	ขนุน	106.68	222
	มันฝรั่ง	61.68	386

จะพบว่าผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง พืชน้ำ, สัตว์น้ำ จากสถานีที่ 1 ซึ่งได้ค่าสูงมากนั้น ยังต่ำกว่าระดับซีเซียม-137 ในอาหารประจำวัน (ซึ่งเก็บจากทุก ๆ ภาคของประเทศฟิลิปปินส์) ของชาวฟิลิปปินส์ Dr. Cruz[18] ได้คำนวณหาปริมาณรังสีที่ชาวฟิลิปปินส์ได้รับ (dose) จากการบริโภคอาหารซึ่งมีซีเซียม-137 ได้ค่า 0.22 มิลลิเรม/ปี ซึ่งต่ำกว่าค่าที่คณะกรรมาธิการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศกำหนดคือ 0.5 เรมต่อปี น่าสังเกตุว่าระดับของซีเซียม-137 ในอาหารของชาวฟิลิปปินส์ สูงกว่าตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบสำนักงานฯ และตัวอย่างธรรมชาติอื่น ๆ ภายในประเทศไทยมาก แม้ว่าประเทศไทยจะอยู่ในระยะเส้นรุ้งเดียวกันกับประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งควรจะได้รับฝุ่นกัมมันตรังสีพอ ๆ กัน แต่เนื่องจากว่าประเทศฟิลิปปินส์ภูมิประเทศเป็นป่ามากกว่าที่ราบ ดังนั้นฝนจึงตกมากจึงทำให้ปริมาณรังสีในตัวอย่างธรรมชาติสูง แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

สำหรับผลการวิเคราะห์ดินใต้ท้องน้ำดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.30 และรูปที่ 3.1 จะพบว่าปริมาณซีเซียม-137 ลดลงตามความลึกของชั้นดิน คุณสมบัติอันนี้สามารถนำไปใช้ประเมินค่าอัตราการตกตะกอน (sedimentation rate) ของดินในบ่อได้

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมทั้งหมดนี้ เลือกใช้หัววัดรังสีชนิด NaI (Tl) ทั้งนี้เนื่องจากหัววัดรังสีชนิดนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับหัววัดชนิด solid state เช่น Ge (Li) ประกอบทั้งในห้องปฏิบัติการมีหัววัดชนิด NaI (Tl) ถึง 2 หัว จึงทำให้สามารถวัดตัวอย่างพร้อม ๆ กันได้ 2 ตัวอย่าง ทำให้ทุ่นเวลาในการวัดมาก

สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยกรรมวิธีทางเคมีนั้น เลือกใช้เทคนิคการตกตะกอนในรูปของซีเซียมเปอร์คลอเรต ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาค่อนข้างนานและไม่ค่อยนิยมใช้กันส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีตกตะกอนในรูปคลอโรแพลททิเนท (chloroplatinate) แต่วิธีหลังนี้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงมาก เนื่องจากกรด chloroplatinic มีราคาแพง วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในประเทศของเรา สำหรับวิธีตกตะกอนในรูปซีเซียมเปอร์คลอเรตนี้ราคาของสารเคมีที่ใช้ค่อนข้างถูก ถึงแม้ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานถึง 2 วัน แต่ก็ให้ yield สูงพอควร คือร้อยละ 80-95

ส่วนค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์โดยทางเคมีนี้มีช่วงตั้งแต่ 0.6-1.3 พิโค-คูรี ทั้งนี้เป็นเพราะค่านี้ขึ้นกับแบคกราวนด์ (LLD = $4.66\sqrt{bkg}$ ที่ระดับความมั่นใจ 95%) ค่าแบคกราวนด์ในระหว่างที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน จึงทำให้ขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เปลี่ยนไป

วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษานี้จะเป็นวิธีแยกโดยใช้กรรมวิธีทางเคมีหรือโดยการใช้เพียงเครื่องมือวัดรังสี จะมีความเชื่อถือได้สูงมาก ดังแสดงผลการทดสอบความเที่ยงตรงไว้ในตารางที่ 2.2-2.5 และความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์ได้ตรวจสอบกับสารตัวอย่างมาตรฐานจากต่างประเทศ

ในการวิจัยนี้จะรายงานผลการวิเคราะห์ไว้เพียงค่าเดียว ทั้งนี้เนื่องจากวิธีที่นำมาวิเคราะห์มีความเชื่อถือได้สูงมากดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ประกอบทั้งในชุดของการวิเคราะห์ (ประมาณ 8-10 ตัวอย่าง) จะดำเนินการวิเคราะห์สารตัวอย่างเทียม (dummy sample) และ/หรือสารตัวอย่างมาตรฐานตลอดเวลา ฉะนั้นจึงมั่นใจได้ว่าผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง นอกจากนั้นการวิเคราะห์ทำนองนี้จะทำให้สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้จำนวนมากขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับห้องปฏิบัติการขนาดเล็กทั่ว ๆ ไป