

## บทที่ 6

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจะศึกษาวิธีการหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักบรีโกชนิดต่าง ๆ โดยทดลองนำเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลวมาใช้เพื่อทำการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้สะดวก รวดเร็ว และประหยัดมากขึ้นกว่าวิธีเดิม ซึ่งใช้วิธีนำเข้ามาทำ wet ashing แล้วสกัดอิทธิพลออกจากสารละลายด้วย tri-n-butyl phosphate และสกัดอิทธิพลกลับออกมาอีกครั้งด้วย น้ำกลั่น จากนั้น จึงตกตะกอนออกมาในรูปของออกซาเลต แล้วคำนวณความแรงรังสีของสตรอนเตียม - 90 จากความแรงรังสีของอิทธิพล (15, 16) หรือนำเข้ามาทำวิธี dry ashing แล้วสกัดแคลเซียมและสารกัมมันตรังสีตัวอื่นออก โดยตกตะกอนด้วยกรดไนตริกเข้มข้น และตกตะกอนเป็นสตรอนเตียมคาร์บอเนต หลังจากทิ้งไว้ถึงสภาวะสมดุล (ไม่น้อยกว่า 15 วัน) จึงตกตะกอนอิทธิพลเป็นไฮดรอกไซด์และเปลี่ยนเป็นออกซาเลตเพื่อวัดรังสีเบตาด้วย anti-coincidence G.M. counter (17)

สำหรับการหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 โดยการใช้เครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลวนี้ ได้ใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธีดังกล่าวข้างต้น คือ การนำเข้ามาของผักตัวอย่างซึ่งเดิมสตรอนเตียมแครีเออร์, แบริยม-แครีเออร์ และซีเซียมแครีเออร์ มาทำ dry ashing สกัดแคลเซียมและสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ ออกโดยตกตะกอนด้วยกรดไนตริกเข้มข้น แล้วตกตะกอนแบริยมออกด้วยโซเดียมโครเมต ในผักทั่ว ๆ ไปยังมี  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  และ  $Zn^{2+}$  (24) จึงตกตะกอนออกโดยเติม  $Fe^{3+}$  และตกตะกอนในรูปของเหล็กไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เป็นตัวพาอิออนดังกล่าวตกลงมาด้วย นอกจากนั้น อิทธิพล - 90 บางส่วนในสารละลายจะร่วมตกตะกอนออกมาด้วย การแยกอิทธิพล - 90 ออกจากสตรอนเตียม - 90 เพื่อให้สตรอนเตียม - 90 มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยเติมอิทธิพลแครีเออร์ลงไป และตกตะกอนออกมาในรูปของอิทธิพลไฮดรอกไซด์ จากนั้น จึงตกตะกอนสตรอนเตียม - 90 เป็นสตรอนเตียมอะซีเตต

แล้ว จะสามารถละลายใน 2-ethylhexanoic acid ได้ภายในเวลาไม่เกิน 15 นาที ผลที่ได้จะละลายในสารละลายเรืองแสงได้หมด สามารถนำไปวัดรังสีเบตา และ คำนวณหาความแรงรังสีของสตรอนเตียม - 90 ในสารตัวอย่างได้ทันที

การหาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลวนี้ ทำได้โดยการใช้ผงมาตรฐาน A-7 จากทบวงการประมาðurระหว่างประเทศที่ทราบความแรงรังสีแล้ว มาดำเนินการเดียวกันกับการหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในตัวอย่างฝักทุกประการ ค่าประสิทธิภาพของการนับที่ได้จึงเป็นค่าที่ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากเป็นการแก้ค่าเนื่องจากผลของ quenching ได้ดีที่สุด

การหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ด้วยวิธีซินทิลเลชันในของเหลวนี้ มีผู้ทดลองใช้วิธีต่าง ๆ กันหลายแบบ เช่น ใช้ dibutyl phosphate สกัดดีเทรียม - 90 ออกจากของผสมระหว่างสตรอนเตียม - 90 และดีเทรียม - 90 นำส่วนที่สกัดได้ไปผสมกับ p-terphenyl 5 กรัม และ POPOP 0.5 กรัม ในโทลูอีน 1 ลิตร<sup>(24)</sup> บางรายใช้เทคนิคในการนับด้วยวิธีแขวนลอย เช่น ใช้ Thixcin (ของบริษัท Baker Castor Oil) เป็น suspending agent แต่วิธีการนี้ ประสิทธิภาพของการนับจะลดลงอย่างมาก<sup>(25)</sup> ได้มีผู้ทดลองหาปริมาณสตรอนเตียม - 89 ที่เป็น tracer ในพืชและดิน โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสตรอนเตียมคลอไรด์ แล้วให้เกิดคอมเพล็กซ์กับ di-n-propyl phosphate (DMP) ในโทลูอีน แต่การทดลองนี้ต้องใช้เวลาในการเขย่าสตรอนเตียมคลอไรด์ให้ละลายในสารเรืองแสงนาน 3-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณของเกลือสตรอนเตียมคลอไรด์<sup>(24)</sup>

## 6.1 สรุปผลการวิจัย

### 6.1.1 การหาปริมาณแคลเซียม

การวิจัยนี้ได้หาปริมาณสตรอนเตียม - 90 หน่วยเป็นพิโคคูรี โดย

เทียบกับปริมาณแคลเซียมเป็นกรัม การหาปริมาณแคลเซียมทำโดยใช้เครื่องมืออะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้สะดวกและรวดเร็ว เหมาะที่จะใช้ในงานประจำวัน ซึ่งมีตัวอย่างจำนวนมาก แต่ถ้าแคลเซียมในสารตัวอย่างมีปริมาณสูงมากเกินไปจนต้องทำให้สารละลายเจือจางลง (dilution) อาจมีความผิดพลาดเนื่องจากการเจือจางนี้ได้ จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในผัก พบว่า ควรใช้ถ้าจำนวนน้อย ๆ ประมาณ 0.05 กรัมมาละลายและทำปริมาตรให้เป็น 100 ลบ.ซม. และเจือจางลงตามความจำเป็น

การหาปริมาณแคลเซียมนี้ ตัวที่จะมารบกวนก็คือ P, Al, Si และ S ซึ่งสามารถขจัดได้โดยการเติม lanthanum ลงไปเป็น releasing agent

ผลการทดลองหาปริมาณแคลเซียม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่า ในแมงลักมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด คือ 0.2603 กรัม/กรัมแห้ง และผักกาดขาวมีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด คือ 0.0675 กรัม/กรัมแห้ง แต่ผลการทดลองในผักชนิดเดียวกันอาจแตกต่างกันไปได้ ตามลักษณะพื้นที่ในการปลูก และการเติมปุ๋ยลงในดิน

6.1.2 ในการหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ด้วยเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลว นั้น ภายหลังจากเปลี่ยนสตรอนเตียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปของสตรอนเตียมอะซิเตต แล้วจึงละลายตะกอนที่ได้ด้วย 2-ethylhexanoic acid จากการทดลองใช้สตรอนเตียมแคริเออร์ 30 มิลลิกรัม เปลี่ยนรูปให้เป็นสตรอนเตียมคาร์บอเนตและสตรอนเตียมอะซิเตต ตามลำดับนั้น พบว่า 2-ethylhexanoic acid จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถละลายตะกอนสตรอนเตียมอะซิเตตได้หมด มีปริมาตร 1.75 ลบ.ซม. จึงเติม 2-ethylhexanoic acid จำนวน 1.75 ลบ.ซม. ทุกครั้งในการทดลอง เพื่อให้ผลจากการเกิด quenching คงที่ตลอดทุกตัวอย่าง

6.1.3 ผลการหาค่า optimum voltage ที่ใช้ในการทดลอง โดยการตั้ง threshold และ window ไว้ที่ 25 และ 1000 ตามลำดับ ดังได้แสดงผลไว้

ในตารางที่ 5.4 นั้น ปรากฏว่า high voltage ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง คือ 850 โวลต์

6.1.4 ตารางที่ 5.5 ได้แสดงผลการทำสเปกตรัมของสตรอนเตียม - 90 โดยการตั้ง high voltage ไว้ที่ 850 โวลต์ และตั้ง discriminators ให้เพิ่มขึ้น ช่วงละ 50 โวลต์ไปเรื่อย ๆ เมื่อนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟ พบว่า สเปกตรัมของสตรอนเตียม - 90 ปรากฏอยู่ในช่วง 25-625 โวลต์ ดังนั้น ในการทดลองจึงตั้ง threshold และ window ไว้ที่ 25 และ 625 ตามลำดับ เพื่อให้สามารถนับรังสีจากสตรอนเตียม - 90 ได้ถูกต้องมากที่สุด

#### 6.1.5 การทดสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์

จากผลการทดลองหาค่า coefficient of variation ในตารางที่ 5.6 พบว่า การทดลองหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักกวางตุ้งตัวอย่างเดียวกัน จำนวน 10 ครั้ง ได้ค่า coefficient of variation 9.00 % ซึ่งการทดลองที่มีความแม่นยำของการวิเคราะห์ที่นั่น ค่าที่ได้ไม่ควรเกิน 10 % ดังนั้น การหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ด้วยวิธีการนี้จึงนับว่ามีความแม่นยำดี

#### 6.1.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในตัวอย่างผักต่าง ๆ

จากผลการวิจัยที่แสดงไว้ในตาราง 5.7 พบว่า ผักที่มีปริมาณ Sr-90/g Ca มากที่สุด และรองลงมา คือ ชะพลู มีปริมาณสตรอนเตียม - 90  $13.66 \pm 2.97$  pCi/g Ca ถั่วปด  $6.22 \pm 1.85$  pCi/g Ca คะน้า  $6.08 \pm 1.24$  pCi/g Ca และปริมาณน้อยที่สุดพบในคื่นฉ่าย  $0.98 \pm 0.52$  pCi/g Ca ผักที่กล่าวมานี้ มีปริมาณแคลเซียม 0.145, 0.0862, 0.2002 และ 0.2256 กรัม/กรัมเหົ้า ตามลำดับ ผลจากการวิจัยครั้งนี้ จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า การดูดแคลเซียมจากดินของพืชมีความสัมพันธ์กับการดูดสตรอนเตียม - 90 แม้ว่าแคลเซียมและสตรอนเตียม จะมีคุณสมบัติ

ทางเคมีคล้ายกันก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพของดินและการเติมปุ๋ยลงในดินที่ทำการเพาะปลูกแตกต่างกัน กรณีที่ดินเพาะปลูกมีสภาพเป็นกรด มีปริมาณแคลเซียมต่ำ ถ้ามีการเติมเกลือแคลเซียมลงไป จะทำให้การดูดสตรอนเตียม - 90 ของพืชลดลงได้

6.1.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักกอล์ฟจากช่วงเวลา 6 พ.ย. 23 - 30 ธ.ค. 23 (หลังการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ขนาดประมาณ 200,000-10<sup>6</sup> ตัน ในบรรยากาศของสาธารณรัฐประชาชนจีน เมื่อ 16 ต.ค. 23) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่า ปริมาณสตรอนเตียม - 90 ที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.28±0.91 pCi/g Ca (เมื่อ 6 พ.ย. 23) จนถึง 8.14±1.76 pCi/g Ca (เมื่อ 17 ธ.ค. 23) และค่อย ๆ ลดลงจนถึง 1.75±0.58 pCi/g Ca เมื่อ 30 ธ.ค. 23) นั้น ผลการทดลองยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่า ปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักกอล์ฟเพิ่มขึ้นเนื่องจากฝุ่นกัมมันตรังสี จากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์นี้ เพราะค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง และความแรงรังสีสตรอนเตียม - 90 ในผักกอล์ฟ เมื่อ 6 พ.ย. 23, 24 ธ.ค. 23 และ 30 ธ.ค. 23 มีค่าต่ำกว่าปริมาณในผักกอล์ฟที่ทำไว้ในตารางที่ 5.7 ซึ่งเก็บตัวอย่างก่อนหน้าการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณ กรัมแคลเซียม/กรัมเนื้อในผักกอล์ฟที่เก็บในช่วงเวลาต่างกันจะมีค่าต่างกันด้วย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก ผักกอล์ฟที่ซื้อจากร้านค้า ณ ตลาดอมรพันธ์ นั้น ได้มาจากตลาดขายส่งปากคลองตลาด ซึ่งรับผักมาจากแหล่งเพาะปลูกต่าง ๆ กัน คือ นครปฐม, ราชบุรี ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกมีองค์ประกอบและการเติมปุ๋ยต่างกัน จึงทำให้ปริมาณแคลเซียมในดินต่างกันไปได้

#### 6.1.8 ความผิดพลาดของการทดลองครั้งนี้

ผลการทดลองหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักชนิดต่าง ๆ นี้ มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง ทั้งนี้ เนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้ คือ

6.1.8.1 จำนวนนับของแบคกราวน์มีค่าสูง แม้ว่าจะย้ายเครื่องมือมาไว้ในห้องที่มีจำนวนนับของแบคกราวน์ต่ำสุดของอาคารแล้วก็ตาม คือ มีค่าตั้งแต่ 76.32-

81.89 cpm และการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการนับได้จาก

$$\text{จำนวนนับสุทธิ} = (\text{จำนวนนับของตัวอย่าง} - \text{จำนวนนับของแบคกราวนด์})$$

$$\pm \sqrt{\frac{\text{จำนวนนับ}}{(\text{เวลานับของตัวอย่าง})^2} + \frac{\text{จำนวนนับของแบคกราวนด์}}{(\text{เวลานับของแบคกราวนด์})^2}}$$

ดังนั้น เมื่อจำนวนนับของแบคกราวนด์สูง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงสูงขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น การหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักคะน้า ซึ่งจำนวนนับของแบคกราวนด์มีค่า 81890 counts/1000 min. หรือ 81.89 cpm และจำนวนนับของตัวอย่างมีค่า 89180 counts/1000 min. หรือ 89.18 cpm เมื่อเข้าสู่สูตรคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนนับสุทธิ} &= (89.18 - 81.89) \pm \sqrt{\frac{89180}{(1000)^2} + \frac{81890}{(1000)^2}} \\ &= 7.29 \pm 0.41 \text{ cpm} \end{aligned}$$

6.1.8.2 เวลาที่ใช้ในการนับ จากสูตรการคำนวณหาจำนวนนับสุทธิของตัวอย่างในข้อ 1 จะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในการนับจะมีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างมาก กล่าวคือ ถ้าใช้เวลาในการนับนาน ความเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าต่ำ ตัวอย่างจะเห็นได้จากการวิเคราะห์ผักตัวอย่างจำนวน 2 ครั้ง โดยใช้เวลาในการนับทั้งตัวอย่างและแบคกราวนด์ต่างกัน เช่น การหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ในผักกระถิน

จากการทดลองครั้งที่ 1 จำนวนนับของแบคกราวนด์มีค่า 21538 counts/270 min. หรือ 79.77 cpm จำนวนนับของตัวอย่างมีค่า 22393 counts/275 min. หรือ 81.43 cpm

$$\text{จำนวนนับสุทธิ} = (81.43 - 79.77) \pm \sqrt{\frac{22393}{(275)^2} + \frac{21538}{(270)^2}}$$

$$= 1.66 \pm 0.77 \text{ cpm}$$

และเมื่อกำหนดหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ตามวิธีการในบทที่ 4 จะได้  $5.12 \pm 2.75$  pCi/g Ca ซึ่งค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดได้เป็นร้อยละ 53.71

การทดลองครั้งที่ 2 จำนวนนับแบคกราวน์มีค่า 78850 counts/1000 min. หรือ 78.85 cpm จำนวนนับของตัวอย่างมีค่า 80630 counts/1000 min. หรือ 80.63 cpm

$$\begin{aligned} \text{จำนวนนับสุทธิ} &= (80.63 - 78.85) \pm \sqrt{\frac{80630}{(1000)^2} + \frac{78850}{(1000)^2}} \\ &= 1.78 \pm 0.40 \text{ cpm} \end{aligned}$$

กำหนดหาปริมาณสตรอนเตียม - 90 ได้  $4.68 \pm 1.71$  pCi/g Ca ซึ่งค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดได้เป็นร้อยละ 22.47 จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่างกันมาก

การทดลองนี้ครั้งแรก ๆ ได้ใช้เวลานับ 1000 นาที แต่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในเวลากลางคืนไม่สม่ำเสมอ ทำให้เครื่องนับหยุดนับเป็นบางครั้ง และ counter และ scaler มักชำรุด เนื่องจากการใช้งานหนักตลอดมา จึงไม่สามารถนับข้ามคืนต่อไปได้ และจากการทดลองนับจำนวนนับของแบคกราวน์ พบว่า มีค่าต่างกัน จาก 76.32-81.89 cpm จึงจำเป็นต้องนับจำนวนนับของแบคกราวน์และตัวอย่างในวันเดียวกัน ได้พยายามนับทั้งแบคกราวน์และตัวอย่างในช่วงเวลากลางวันให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ก็มีเวลาในการนับแต่ละตัวอย่างเพียง 260-280 นาทีเท่านั้น นอกจากนี้ ก่อนการนับต้องทิ้งตัวอย่างและ blank ไว้ในช่องนับนานไม่น้อยกว่า 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของสารเท่ากับอุณหภูมิของช่องนับ

6.1.8.3 เมฆมาตรฐาน A-7 ที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของการนับ มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานถึง 18 pCi/gk. เมฆที่ใช้ 20.69063 กรัม จึงมีค่าความแรงรังสีสตรอนเตียม - 90 จำนวน  $2.69 \pm 0.37$  pCi เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพของการนับ จึงได้ค่า  $87.85 \pm 24.50\%$  (ดูการคำนวณหาประสิทธิภาพของการนับในบทที่ 4) 61.84 เมื่อนำมาหาค่า Figure of merit ( $E^2/B$ ) จะมีค่า 96.96 ซึ่งนับว่าค่อนข้างต่ำ แสดงว่าเครื่องนับรังสีที่ใช้ยูนีมีขีดความสามารถที่จะใช้กับงานนับรังสีระดับต่ำไม่ตึก ในกรณีที่จำนวนนับของแบคกราวนด์สูงมากขนาดนี้ (79.60 cpm)

จากสาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมานี้ จึงทำให้การคำนวณปริมาณ Sr-90/g Ca ของตัวอย่างผักชนิดต่าง ๆ มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างสูง

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ในการนับรังสีเบตาของสตรอนเตียม - 90 ด้วยเครื่องนับรังสีชนิดซินทิลเลชันในของเหลวนี้ ควรทำการนับในห้องนับที่มีจำนวนนับของแบคกราวนด์ต่ำกว่านี้ เพื่อให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการนับลดลง

6.2.2 การนับรังสีควรใช้เวลาในการนับไม่น้อยกว่า 1000 นาที จึงจะได้ผลการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ

6.2.3 ควรใช้สารมาตรฐานในการหาประสิทธิภาพของการนับที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่านี้ เพื่อให้ประสิทธิภาพของการนับมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

6.2.4 ควรเพิ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์ให้มากขึ้น เพื่อหาชนิดของผักที่ไวต่อการสะสมสตรอนเตียม - 90 มากที่สุด สำหรับใช้เป็นตัวอย่างในการตรวจวัดแทนตัวอย่างอื่น ๆ

6.2.5 ในการพิจารณาผลการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ผลจากการเกิดอุบัติเหตุของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูที่มีต่อผักบริโภคนั้น ควรทดลองปลูกผักในพื้นที่แห้งเดียว และเก็บผักมาวิเคราะห์เป็นระยะ ๆ จึงจะได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้มากที่สุด

6.2.6 การวิเคราะห์สตรอนเตียม - 90 ควรทำเป็นประจำ และควรใช้ผักจากแปลงเดียวกัน