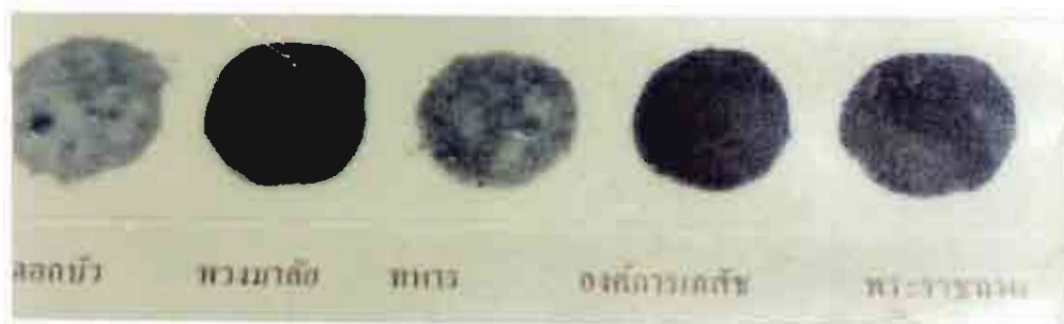




รูปที่ 5 รูปถ่ายของสีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลือบรีโกลยี่ห้อต่าง ๆ ที่ซื้อตามท้องตลาด

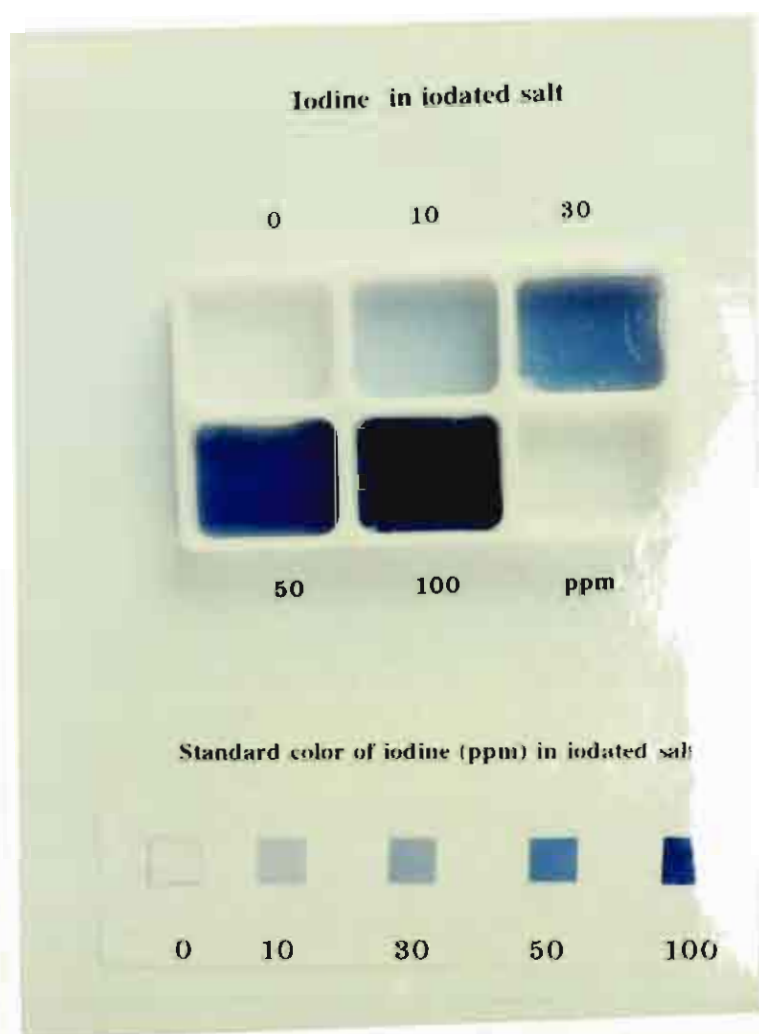
3.4.2 ชุดตรวจสอบแบบถาดหลุม

ชุดทดสอบแบบถาดหลุมนี้ใช้ตรวจหาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือบจำนวนมากในระยะเวลาสั้น ได้มีการทดลองทำน้ำยาตรวจสอบสำเร็จรูป (working solution) โดยมีสารทุกอย่างที่ใช้ทำปฏิกิริยา (ตามสัดส่วนที่ได้ทดลองแล้วว่าเหมาะสม ซึ่งสูตรนี้จะต่างจากสูตรในข้อ 3.4.1) ผสมกันอยู่ในขวดเดียวกัน เพื่อสะดวกต่อการใช้ โดยให้ทำปฏิกิริยากับเกลือบที่ดักใส่ไว้ในถาดหลุม แล้วอ่านสีที่เกิดขึ้น โดยการดูสีด้วยตาเปล่า เทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน

วัตถุประสงค์ของชุดตรวจสอบนี้ เพื่อที่จะใช้ตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือบจำนวนมากอย่างคร่าวๆ ระหว่าง 0-100 ppm โดยที่ไม่ต้องใช้เครื่องอ่านสี จึงสามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้อย่างสะดวก ชุดตรวจสอบประกอบด้วยขวดบรรจุน้ำยาสำเร็จรูป ข้อนดักเกลือบ แผ่นสีมาตรฐาน และถาดหลุม ซึ่งจากการทดลองพบว่าถาด plastic สีขาวขุ่น จะใช้ได้ผลดี ถาดพลาสติกนี้ขนาดใหญ่กว่า 96-well microtiter plate เพื่อให้สีที่เกิดขึ้นเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่าและสามารถเทียบกับแผ่นสีมาตรฐานได้ง่าย วิธีใช้ ดักเกลือบ 1 ข้อน ใส่ น้ำยา 1 ml โดยใช้หลอดพลาสติกที่มากับชุดตรวจสอบ ผสมให้เข้ากัน แล้วอ่านสีที่เกิดขึ้นภายใน 2-3 นาที เทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน

ผลจากการทดลองได้แสดงไว้ใน รูปที่ 6 ชุดตรวจสอบนี้สามารถนำไปใช้ตรวจไอโอดีนที่โรงงานเกลือได้เลย โดยใช้เวลาประมาณตัวอย่างละ 1 นาที เพื่อใช้ screen ในขั้นแรก เพื่อหาเกลือทั้งที่มีไอโอดีนต่ำกว่ามาตรฐาน และสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งค่าสูงมากก็เป็นอันตรายเช่นกัน เพื่อนำตัวอย่างเกลือที่มีปัญหากลับมาตรวจทางห้องปฏิบัติการ

ชุดตรวจสอบแบบถาดหลุมนี้นอกจากจะใช้ในการหาปริมาณไอโอดีนในเกลือแล้วยังสามารถนำไปดัดแปลงเพื่อใช้หาปริมาณไอโอดีนในน้ำดื่มเสริมไอโอดีน ซึ่งมีไอโอดีนต่ำมากในระดับ 0.2-1 ppm ได้ ซึ่งไม่สามารถใช้ชุดตรวจสอบแบบขวดเดี่ยวหรือแถบกระดาษในการวิเคราะห์ได้



รูปที่ 6 สีที่ได้จากปฏิกิริยาทดสอบไอโอดีนโดยถาดพลาสติก ค่าของไอโอดีนอ่านได้โดยเทียบกับแถบสีมาตรฐาน

3.4.3 ชุดตรวจสอบไอโอเดทชนิดแถบกระดาษ (paper kit)

ได้มีการศึกษาถึงชนิดของกระดาษที่เหมาะสมที่จะใช้ฉาบน้ำยาที่จะใช้ทดสอบ ซึ่งมีการทดลองใช้กระดาษประเภทกระดาษกรองชนิดต่าง ๆ ประมาณ 20 กว่าชนิด เพื่อหากระดาษที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ฉาบน้ำยาทดสอบและให้ปฏิกิริยาเกิดสีได้ และสีที่เกิดจะต้องมีความคงตัวอยู่ได้ พบว่ามีกระดาษที่เหมาะสมเพียง 3 ชนิด เท่านั้น ที่สมควรใช้

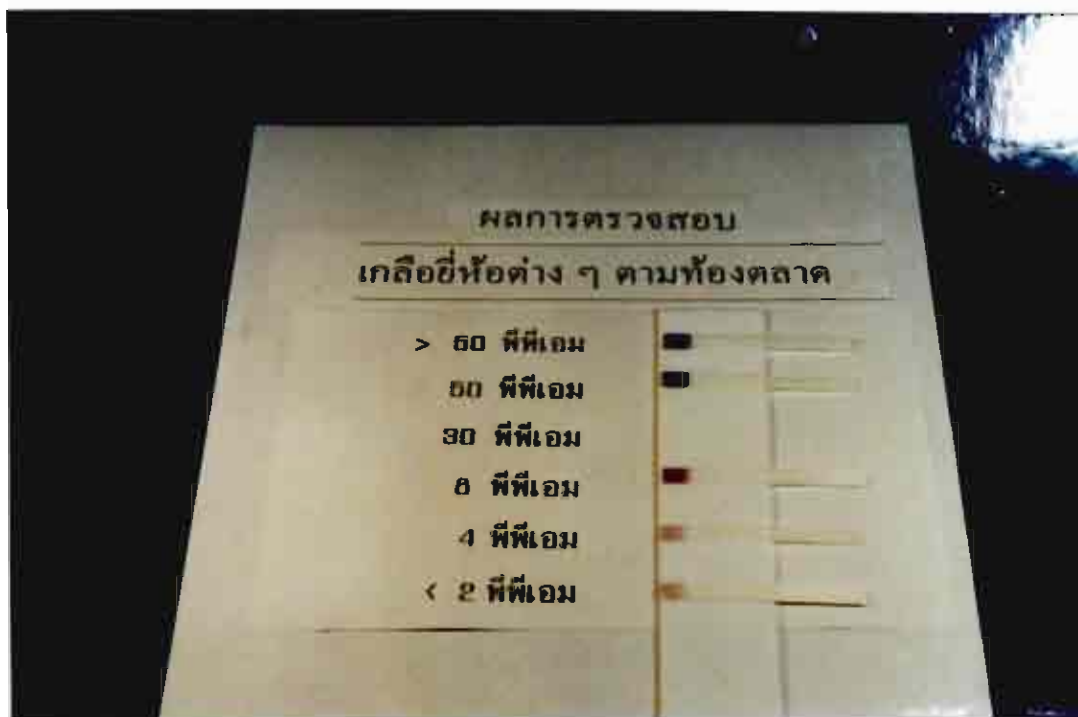
นอกจากชนิดของกระดาษได้มีการศึกษาถึงสูตรของน้ำยาที่จะใช้ฉาบกระดาษ ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในชุดตรวจสอบประเภทแถบกระดาษนี้ต่างไปจากชนิดน้ำยาตรวจสอบที่ใช้ทั้งในข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 การทดลองนี้ได้ทำสูตรของน้ำยาเพื่อใช้อาบกระดาษขึ้นมา 3 สูตร ที่มีปริมาณของแป้งและไอโอดีนในสัดส่วนที่ต่าง ๆ กัน

จากนั้นได้นำน้ำยามาใช้ฉาบบนแผ่นกระดาษชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีต่าง ๆ กันรวมทั้งใช้จำนวนครั้งที่ใช้น้ำยาต่าง ๆ กัน เพื่อให้มีเนื้อสารเกาะอยู่ในปริมาณมากพอที่จะใช้ทดสอบ โดยไม่ทำให้คุณภาพของกระดาษเสียไป พบว่าไม่ควรอบน้ำยาบนกระดาษเกินกว่า 2 ครั้ง เพราะทำให้กระดาษอบน้ำยาเปลี่ยนสีไปได้เมื่อเก็บไว้

ชุดสำเร็จรูปชนิดนี้ (รูปที่ 7) ประกอบด้วยกระดาษอบน้ำยาดังกล่าว เพื่อจุ่มในสารละลายเกลือที่ต้องการทดสอบ และจะมาพร้อมกับชุดเตรียมสารละลายเกลือที่ต้องการทดสอบ วิธีใช้คือ จุ่มปลายกระดาษฉาบน้ำยาลงในสารละลายเกลืออิมตัว อ่านค่าปริมาณไอโอเดทโดยประมาณเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ชุดตรวจสอบนี้สามารถวัดปริมาณไอโอเดทได้ระหว่าง 5-100 ppm ไอโอดีน (45) และได้มีการทดลองใช้ชุดตรวจสอบชนิดแถบกระดาษนี้วัดปริมาณเกลือบริโภคตามท้องตลาด ดังแสดงในรูปที่ 7 ข



รูปที่ 7 ก ชุดทดสอบแบบแถบกระดาษที่มาพร้อมกับวิธีการใช้และแถบสีมาตรฐาน



รูปที่ 7 ข การใช้ ชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษวัดปริมาณเกลียวบริโภคตามห้องตลาด

3.5 การผลิตชุดตรวจสอบเพื่อทดลองใช้ในขั้นต้นในภาคสนาม

3.5.1 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบในงานนิทรรศการ

ได้มีการจัดบูธแสดงนิทรรศการในงานวันสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ (18-20 สิงหาคม 2539) และให้ผู้เข้าชมนิทรรศการ ซึ่งเป็นทั้ง นักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไป มาทดลองใช้ชุดตรวจสอบทั้งแบบขวดเดี่ยว แบบภาดหลุม และแบบแถบกระดาษ พร้อมกับตอบแบบสอบถามทันที มีผู้มาลองใช้ชุดตรวจสอบประมาณ 600 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถาม 348 คน ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม มีดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ผู้ใช้ส่วนใหญ่เห็นว่าการอ่านวิธีใช้และวิธีการใช้ชุดตรวจสอบทั้ง 3 ชนิด ไม่มีปัญหา เมื่อเทียบระหว่างชนิดขวดเดี่ยว และชนิดแถบกระดาษ ชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยวมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในภาคสนามมากกว่า คงเป็นเพราะมีความสะดวกมากกว่าที่ไม่ต้องทำเกลียวให้ละลายก่อนที่จะใช้กระดาษจุ่มเพื่อให้เกิดสี และเมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบชนิดภาดหลุม ซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถอ่านค่าปริมาณไอโอดีนได้ง่ายที่สุดระหว่างทั้ง 3 ชุดดังกล่าว แต่ผู้ใช้เห็นว่าไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในภาคสนามเท่าชุดขวดเดี่ยว อาจเป็นเพราะต้องใช้น้ำยาปริมาณมากกว่า (คือ 1 CC) ในการละลายเกลียวเพื่ออ่านสี และชุดตรวจสอบชนิดนี้ดูไม่กะทัดรัดเหมือนชุดอื่น ๆ

ผลจากการวิเคราะห์นี้ บ่งชี้ว่าผู้ใช้เห็นว่าชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยวมีความสะดวก และเหมาะสมที่จะใช้ในภาคสนามมากกว่าชนิดอื่น ผู้วิจัยจึงมุ่งไปในทางที่จะพัฒนาชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยวให้มีศักยภาพที่จะใช้งานได้จริง

3.5.2 การส่งชุดตรวจสอบให้บุคลากรในเป้าหมายพร้อมกับแบบสอบถาม

ได้มีการส่งชุดทดสอบแบบขวดเดี่ยวพร้อมกับแบบสอบถามไปยังบุคลากรที่จะเป็นผู้ใช้จริง เช่น เจ้าหน้าที่จากสถานีอนามัยจังหวัด ต่าบล อำเภอ และอาสาสมัครหมู่บ้าน โดยความร่วมมือของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และวิเคราะห์แบบสอบถามที่ส่งกลับมา (139 ชุด จากที่ส่งไป 300 ชุด) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 3

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลจากวิเคราะห์การใช้ชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยวในกลุ่มเป้าหมาย (ตารางที่ 3) และกลุ่มบุคคลทั่วไป (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นนักศึกษาเป็นส่วนใหญ่ ต่างกันที่ผู้ที่ต้องใช้จริงมีความรู้สึกว่าการใช้ชุดตรวจสอบนี้ใช้ยากกว่าและมีปัญหามากกว่า ซึ่งคิดว่าผลการวิเคราะห์จากผู้ที่ต้องใช้จริงควรจะน่าเชื่อถือกว่า อีกสาเหตุหนึ่งคือผู้ใช้จากบุคลากรทางสาธารณสุขต้องอ่านวิธีใช้และทำตามด้วยตนเองทั้งหมด ไม่มีแบบอย่างหรือคำแนะนำบ้าง เหมือนกับกลุ่มผู้มาชมนิทรรศการ ดังนั้นกลุ่มผู้ใช้ในงานนิทรรศการจึงมีความรู้สึกว่าการอ่านสีไม่ยากเท่ากลุ่มที่ไม่มีแบบอย่างหรือคำแนะนำบ้าง ดังที่มีในการทดลองใช้ในบูทนิทรรศการ

ผลจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า สำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยวยังมีปัญหาในการอ่านปริมาณไอโอดีน โดยการเทียบสีกับแผ่นสีมาตรฐาน โดยเฉพาะในการแยกระหว่างเกลียวที่มีไอโอดีน 30-50 และ 50-100 ppm ซึ่งจะมีการปรับปรุงในขั้นต่อไป โดยจะมีการปรับปรุงทั้งสูตรน้ำยา สัดส่วนของเกลียวและน้ำยา รวมทั้งวิธีการเขียนวิธีการใช้ชุดตรวจสอบ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยว ชนิดแถบกระดาษ และชนิดภาตหลุม ที่ได้จากการแสดงนิทรรศการ วันสัปดาห์วิทยาศาสตร์ 18-20 สิงหาคม 2539*

ความคิดเห็นของ ผู้ตอบแบบสอบถาม*	แบบขวดเดี่ยว (253 ตัวอย่าง)	แบบแถบกระดาษ (53 ตัวอย่าง)	แบบภาตหลุม (42 ตัวอย่าง)
การอ่าน"วิธีการใช้"			
เขียนได้ชัดเจน เข้าใจทุกขั้นตอน	98	96	90
บางขั้นตอนไม่ชัดเจน คือ	2	4	10
ไม่ชัดเจนเลยไม่สามารถทำตามได้	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
การทำตาม"วิธีการใช้"			
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	98	91	95
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	2	9	5
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
การอ่านสีโดยประมาณเทียบกับ แผ่นมาตรฐาน			
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	81	66	95
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	19	34	5
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
ชิ้นส่วนของชุดตรวจสอบ			
ทุกชิ้นเหมาะสมกับการใช้งานจริง	100	98	85
ชิ้นส่วนที่ควรปรับปรุง คือ	-	2	15
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับใช้ในทุกสถานที่			
มาก	97	57	54
ปานกลาง	3	43	46
น้อย	-	-	-
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับทุกระดับการศึกษา			
มาก	97	57	64
ปานกลาง	3	43	36
น้อย	-	-	-
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับเกลือทุกลักษณะ(เม็ดใหญ่/เล็ก)			
มาก	95	25	82
ปานกลาง	3	75	18
น้อย	-	-	-

* ส่วนใหญ่ของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นนักเรียนและนักศึกษา

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดียว
จากบุคลากรกลุ่มเป้าหมาย*

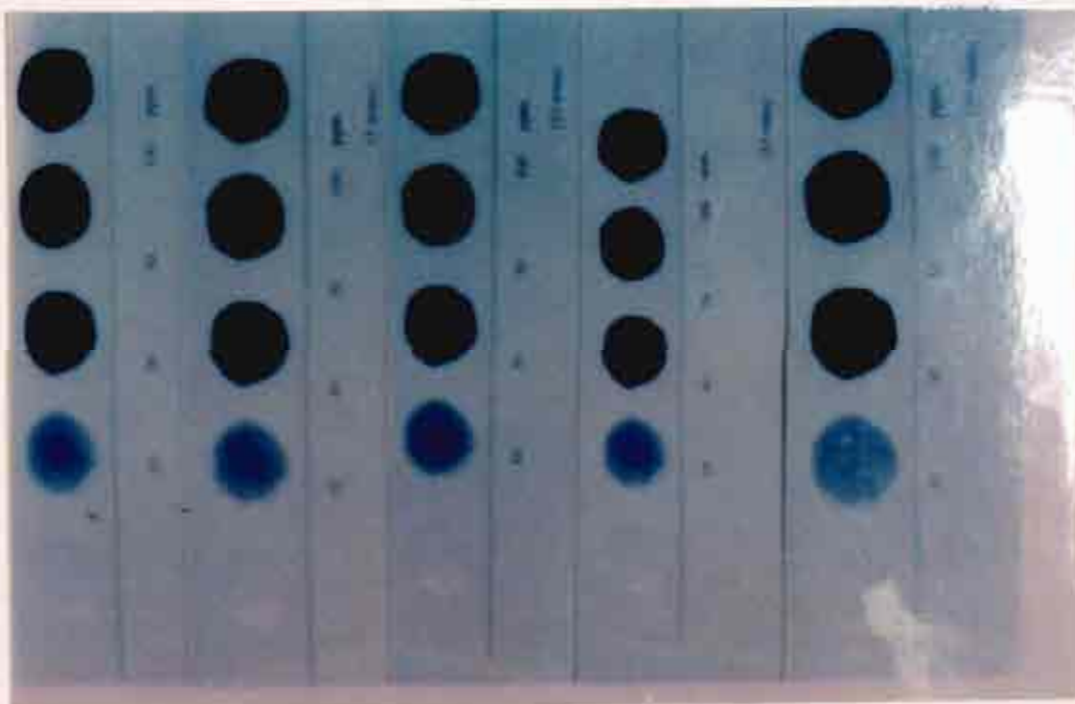
ความคิดเห็นของ ผู้ตอบแบบสอบถาม	แบบขวดเดียว (139 ตัวอย่าง)
การอ่าน"วิธีการใช้"	
เขียนได้ชัดเจน เข้าใจทุกขั้นตอน	96
บางขั้นตอนไม่ชัดเจน คือ	2
ไม่ชัดเจนเลยไม่สามารถทำตามได้	2
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-
การทำตาม"วิธีการใช้"	
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	98
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	2
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-
การอ่านสีโดยประมาณเทียบกับ แผ่นมาตรฐาน	
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	70
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	30
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-
ชิ้นส่วนของชุดตรวจสอบ	
ทุกชิ้นเหมาะสมกับการใช้งานจริง	97
ชิ้นส่วนที่ควรปรับปรุง คือ	3
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับใช้ในทุกสถานที่	
มาก	60
ปานกลาง	40
น้อย	-
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับทุกระดับการศึกษา	
มาก	57
ปานกลาง	41
น้อย	2
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับเกือบทุกลักษณะ(เม็ดใหญ่/เล็ก)	
มาก	54
ปานกลาง	46
น้อย	-

* เจ้าหน้าที่สถานีอนามัย ศูนย์สาธารณสุขมูลฐาน อาสาสมัครหมู่บ้าน

3.6 การปรับปรุงสูตรน้ำยาขวดเดี่ยว และกำหนดสัดส่วนระหว่างเกลียวและน้ำยาเพื่อให้ อ่านค่าไอโอเดทได้แม่นยำขึ้น

เนื่องจากชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยวที่ทดลองผลิตขึ้นใช้ในครั้งแรกในภาคสนามยังมี
ปัญหาในเรื่องการอ่านสีเมื่อเทียบเป็นปริมาณไอโอดีน ที่ยังแยกความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นเมื่อ
หยดน้ำยาลงบนเกลียวได้ไม่ชัด ดังนั้นจึงได้มีการทดลองทำสูตรน้ำยาขึ้นใหม่อีกหลายสูตร โดย
การปรับเปลี่ยนปริมาณของส่วนผสมต่าง ๆ รวมทั้งชนิดและปริมาณของกรด รวมทั้ง pH ของ
น้ำยา เพื่อให้ได้สูตรน้ำยาสูตรใหม่ที่มีคุณสมบัติดีขึ้นทั้งในด้านการแยกสี และความคงทนต่อ
การเก็บรักษาในสภาพใช้งานทั่ว ๆ ไป โดยไม่ต้องมีการระวังเป็นพิเศษ

นอกจากนี้ได้มีการทดลองปรับเปลี่ยนสัดส่วนของน้ำยาและเกลียว โดยเปลี่ยนปริมาณ
เกลียวจากสูตรเดิมในข้อ 3.4.1 จาก 0.3 กรัม ให้เป็นปริมาณใหม่ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.2 กรัม ต่อ
น้ำยาที่กำหนดว่าน้ำยาควรเป็น 2-4 หยด จากการทดลองจำนวนหลายครั้ง พบว่าสูตรที่ใช้ได้ดี
ให้ความเข้มของสีที่เพิ่มตามปริมาณไอโอเดทและสะดวกต่อผู้ใช้ควรเป็นเกลียว 0.08-0.12 กรัม
ต่อน้ำยา 3 หยด ที่หยดจากขวดหยดที่บรรจุน้ำยา แทนที่จะใช้จากหลอดหยดที่ดูดจากขวดแก้ว
ดังที่ออกแบบไว้ในครั้งแรก สิ่งที่สำคัญ คือสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นเป็นสีที่ชัดเจนที่แยกได้ง่ายด้วยตา
เปล่า มีความคงทนไม่ต่ำกว่าชั่วโมง ไม่จางหายไปหรือเปลี่ยนสีเหมือนน้ำยาตรวจสอบของผู้อื่น
รูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลียวที่เวลาต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 2-30
นาที ความคงตัวนี้เป็นข้อดีที่ทำให้การวัดปริมาณไอโอดีนมีความแม่นยำ และสะดวกต่อการใช้
มากขึ้น สามารถใช้วัดตัวอย่างเกลียวจำนวนมากพร้อม ๆ กันได้



รูปที่ 8 การหยดน้ำยาขวดเดี่ยวบนเกลียวที่มีไอโอเดท 0-100 ppm ไอโอดีน
ที่เวลา 2-30 นาที

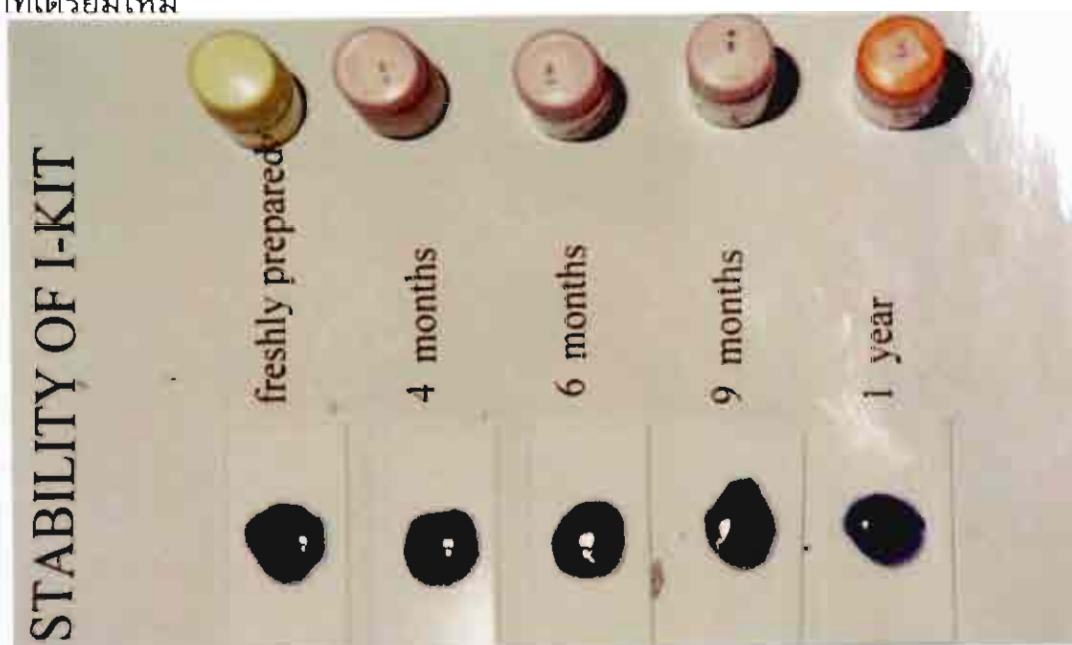
3.7 การทดสอบความคงตัวของชุดตรวจสอบแบบต่าง ๆ

3.7.1 ชุดตรวจสอบแบบขวดหยดชนิด single bottle kit

ได้มีการเตรียมน้ำยาสำเร็จรูปตามหัวข้อ 3.6 และเก็บใส่ขวดหยดชนิดต่าง ๆ เพื่อหาว่าน้ำยาควรจะบรรจุในขวดที่ทำด้วยวัสดุชนิดใดจึงจะมีความคงทน โดยได้มีการทดลองบรรจุทั้งในขวดแก้ว และขวดพลาสติกที่ทำจากพลาสติกต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิห้องทั้งที่ 25-26 °C และประมาณ 30-32 °C พบว่า น้ำยาที่เก็บไว้ในขวดแก้วยังไม่เสียสภาพในการใช้ทดสอบไอโอเดทในช่วง 1 ปี ที่ได้เก็บไว้ ส่วนน้ำยาที่เก็บในขวดพลาสติกนั้นมีขวดพลาสติกบางชนิดที่ไม่สามารถใช้ได้ เพราะน้ำยาจะเสียสภาพภายใน 3-4 เดือน ขณะที่พลาสติกบางชนิดใช้เก็บได้อย่างน้อย 1 ปี

นอกจากนี้ได้เก็บน้ำยาในขวดหยดพลาสติกไว้ที่สภาวะต่าง ๆ กัน เช่น อุณหภูมิตั้งแต่ต่ำกว่า 0 °C ถึงประมาณ 45 °C รวมทั้งในที่ ๆ ถูกแดดมากน้อยต่าง ๆ กัน และสภาวะอื่น ๆ อีก ทั้งนี้ เพื่อจะประเมินถึงความคงทนต่อสภาพการขนส่ง การใช้งาน การเก็บรักษา ในภูมิภาคประเทศ และภูมิอากาศที่ต่างกัน พบว่าน้ำยาชนิดขวดเดี่ยวนี้สามารถทนสภาพดังกล่าวได้พอสมควร

นอกจากนี้ได้มีการเตรียมน้ำยาในสูตรต่าง ๆ ที่ทั้งมีและไม่มี preservative เพื่อดูความคงทนของน้ำยาในปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีในการตรวจสอบไอโอเดท จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าน้ำยาที่ไม่ได้ใส่ preservative จะขึ้นราหลังจากเก็บไว้ประมาณ 3 เดือน แต่ยังสามารใช้ได้คือให้สีเหมือนเดิม เมื่อเก็บไว้นานอย่างน้อย 9 เดือน แต่สำหรับน้ำยาที่มี preservative นั้นสามารถเก็บไว้ได้นานอย่างน้อย 1 ปี รูปที่ 9 แสดงให้เห็นสีบนเกลียวเมื่อน้ำยาที่เก็บไว้ในเวลาต่าง ๆ และหยดบนเกลียว 50 ppm จะเห็นได้ว่า น้ำยาที่เก็บไว้นานถึง 9 เดือน ยังให้สีที่เหมือนกับน้ำยาที่เตรียมใหม่



รูปที่ 9 สีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาที่เก็บไว้ในเวลาต่าง ๆ กันบนเกลียว 50 ppm ไอโอเดท

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาอย่างละเอียด ดังผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4 โดยวัดปฏิกิริยาเกิดสีที่ OD 700 วัดความขุ่นของน้ำยา โดยใช้ OD 400 และวัดความสามารถในการเกิดสีในเกล็ดที่มีไอโอดีน 0-100 ppm โดยการดูด้วยตาเปล่าเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน

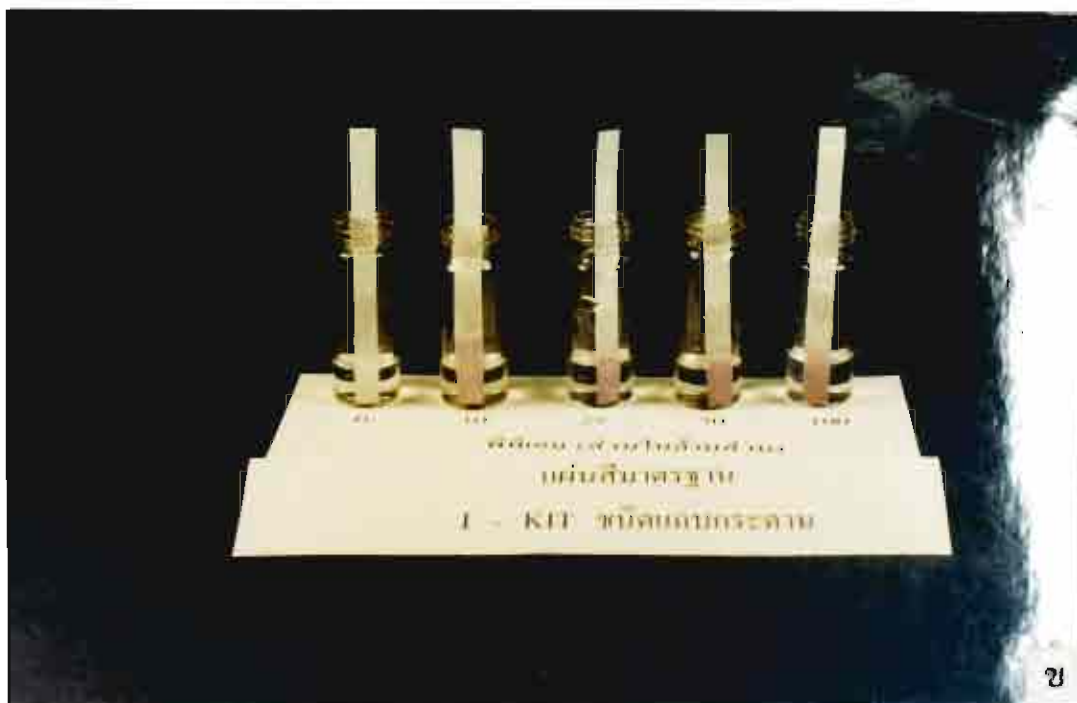
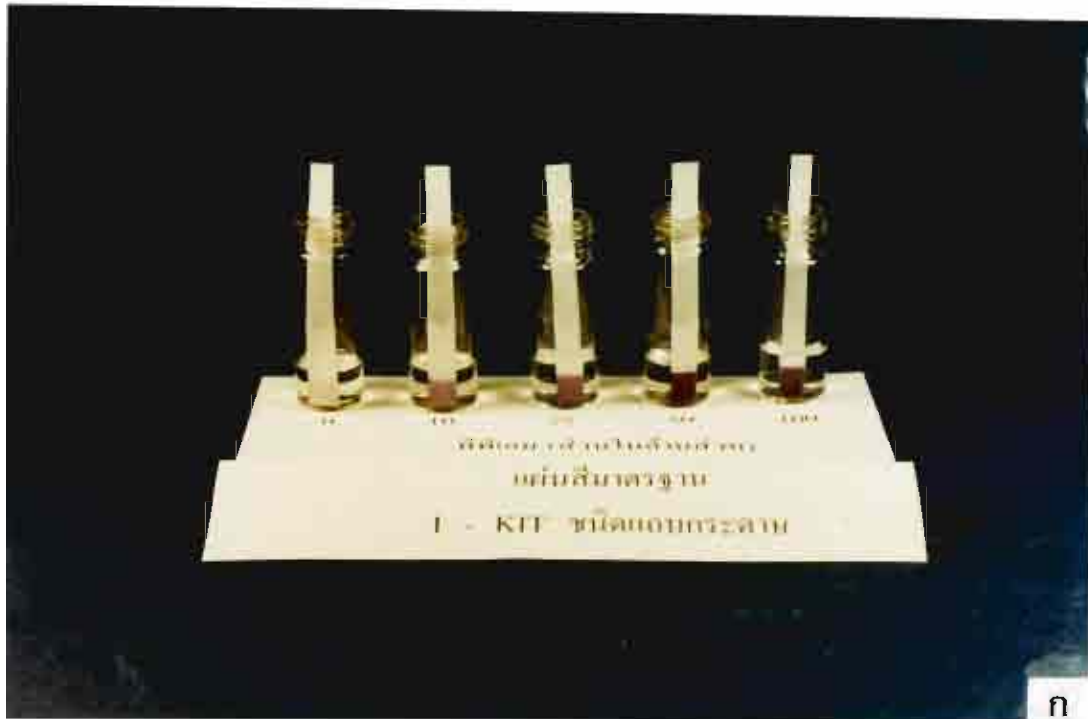
ตารางที่ 4 ความคงทนของน้ำยาตรวจสอบไอโอดีนชนิดขวดเดี่ยว โดยทดสอบการเกิดสีโดยวิธี spectrophotometry โดยวัด OD ที่ 700 และดูการเกิดสีบนเกล็ดด้วยตาเปล่าที่เวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาที่เก็บ (วัน)	OD 700	OD 400	ความเข้มของสีน้ำเงินที่ปริมาณ ไอโอดีนต่าง ๆ กัน			
			10	25	50	100
7	0.040	0.515	+1	+2	+4	+6
14	0.044	0.518	+1	+2	+4	+6
21	0.046	0.516	+1	+2	+4	+6
28	0.055	0.597	+1	+2	+4	+6
35	0.081	0.564	+1	+2	+4	+6
45	0.047	0.553	+1	+2	+4	+6
60	0.045	0.524	+1	+2	+4	+6
90	0.042	0.495	+1	+2	+4	+6
120	0.041	0.419	+1	+2	+4	+6
150	0.039	0.400	+1	+2	+4	+6
180	0.040	0.410	+1	+2	+4	+6
360	0.045	0.420	+1	+2	+4	+6

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาถึงการที่อาจมีการสลายตัวของแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งของน้ำยาตรวจสอบ โดยวิเคราะห์น้ำตาลที่เกิดการสลายตัวของแป้งในชุดตรวจสอบที่เก็บไว้ที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคทาง Thinlayer Chromatography ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่าแป้งมีการสลายตัวเพิ่มขึ้น

3.7.2 ชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษ

ได้มีการทดลองเก็บกระดาษที่อบน้ำยาที่ใช้ตรวจสอบไอโอดีน ไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง และนำมาทดสอบเป็นระยะ ๆ พบว่าในกระดาษที่ใช้ส่วนใหญ่แล้วกระดาษอบน้ำยาจะเสียสภาพไปใน 1-2 เดือน มีเพียงกระดาษบางชนิด และน้ำยาบางสูตรเท่านั้นที่เก็บไว้ใช้ได้นาน 4 เดือน และ 6 เดือน (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 รูปกระดาดษอบน้ำยาทดสอบไอโอเดทชนิดที่ 1 (ก) และชนิดที่ 2 (ข) หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง และนำมาจุ่มในสารละลายเกลืออิมดัวที่มีไอโอดีน 0-100 ppm

3.7.3 ชุดทดสอบแบบภาดหลุม

ได้มีการเตรียมสูตรน้ำยาแบบที่ใช้ทดสอบไอโอเดทในเกลือโดยใช้ภาดหลุมและเก็บน้ำยานี้ไว้ที่เวลาต่าง ๆ เพื่อทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาให้สี และความคงทนพบว่าน้ำยานี้สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 6 เดือน โดยยังไม่เปลี่ยนสภาพ โดยที่น้ำยานี้ไม่ต้องใส่ preservative

3.8 การพัฒนาชุดตรวจสอบไอโอดีนชนิดขวดเดียวสำหรับใช้ในภาคสนาม (I-Kit)

ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมานี้ได้ตั้งชื่อว่า “I-Kit” และได้มีการออกแบบให้เหมาะกับการใช้ในภาคสนามดังต่อไปนี้

1. ได้มีการเลือกขวดหยดพลาสติกที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำยาขวดเดียว ทั้งนี้เพราะสูตรน้ำยามีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบรรจุในขวดที่มีรูหยดไว้แล้วและยังมีความคงทนไม่จำเป็นต้องปิดผนึกให้สนิทเหมือนกับชุดทดสอบอื่น ๆ จึงให้ความสะดวกในการใช้ที่ไม่ต้องเจาะรูหยดใหม่ และยังเป็น การควบคุมขนาดของรูหยดหรือปริมาตรของน้ำยาที่ใช้ ทำให้การใช้ชุดตรวจสอบมีความผิดพลาดน้อย

2. เพื่อกำหนดสัดส่วนระหว่างเกลือและน้ำยา ได้มีการออกแบบช่องพลาสติกให้ตักเกลือปริมาณ 0.1 กรัม โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อย 0.10 ± 0.01 กรัม โดยเป็นช่องที่กำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างความลึกและพื้นที่หน้าตัดปากช่อง ซึ่งเป็นวงกลม โดยให้เส้นผ่าศูนย์กลางปากช่องมีค่าเท่ากับ 6.5 มิลลิเมตร

3. ได้มีการใช้แผ่นพลาสติกสีขาวขุ่น ซึ่งมีผิวด้าน ซึ่งจะช่วยให้มีคุณสมบัติกระจายเกลือที่ผสมกับน้ำยาได้อย่างสม่ำเสมอ โดยใช้ปลายช่องคนให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2 ซม. (หรือเท่าขนาดฝ่าจุกขวดหยด)

4. ได้มีการทำแถบสีมาตรฐานเพื่ออ่านปริมาณไอโอเดทในเกลือ ตั้งแต่ 0-100 ppm โดยทำเป็นแถบสีมาตรฐานที่ต่างจากชุดตรวจสอบทำในครั้งแรกและชุดตรวจสอบอื่น ๆ ที่มีเฉพาะแถบสี แต่ในการวิจัยนี้เพื่อให้อ่านค่าได้ง่ายและแม่นยำมากขึ้น จึงได้ทำจากรูปที่เกิดขึ้นจริง มีทั้งพื้นสีและเม็ดสีที่เหมือนของจริงทุกประการ

5. ได้มีการเขียนวิธีการใช้ชุดตรวจสอบไว้ทั้งบนกล่องบรรจุชุดทดสอบ และฉลากภายในกล่อง การเขียนวิธีการใช้ก่อนที่จะออกมาใช้จริงนั้น ได้ทดลองเขียนขึ้นมาก่อนประมาณ 5 ครั้ง โดยแต่ละครั้งนำไปให้บุคคลต่าง ๆ ทั้งต่างวัย ต่างอาชีพ ต่างการศึกษา และประสบการณ์ได้ทดลองอ่านเองและทำตามเอง โดยไม่มีการแนะนำก่อน และจากนั้นให้เขาเหล่านั้นตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับวิธีการใช้ชุดตรวจสอบ และนำมาปรับปรุงเขียนขึ้นใหม่ และนำไปทดลองใหม่ทั้งหมดประมาณ 5 ครั้ง จนครั้งสุดท้าย เป็นวิธีการที่คิดว่าคนส่วนใหญ่น่าจะทำตามได้หมด วิธีการดังกล่าวมีดังนี้คือ

วิธีการใช้ชุดทดสอบ

1. ใช้ช่องที่ให้มาตักเกลือให้พอดีเต็มขอบช่อง (อย่าให้พูนช่อง) ถ้าเกลือเม็ดใหญ่ให้บดให้ละเอียดก่อน
2. เทเกลือลงบนแผ่นพลาสติกที่มากับชุดทดสอบ
3. เขย่าขวดน้ำยาและหยดน้ำยา 3 หยด ลงบนเกลือ
4. ผสมน้ำยาและเกลือให้เข้ากันโดยใช้ปลายช้อนคน ให้เป็นวงขนาดเท่าเหรียญบาทเล็ก
5. ดูสีที่เกิดขึ้นภายใน 1 ถึง 5 นาที (สีที่เกิดขึ้นมีความคงตัวอย่างน้อย 1 ชม.)
6. อ่านค่าไอโอเดทโดยประมาณโดยเทียบกับค่าของแถบสีมาตรฐานบนกล่องหรือค่าระหว่างแถบสีมาตรฐานคือ 0-10, 10-30, 30-50 และ 50-100 พีพีเอ็ม
7. ล้างแผ่นพลาสติกและช้อนให้สะอาดเพื่อเก็บไว้ใช้ต่อไป

6. ได้มีการออกแบบกล่องบรรจุขวดน้ำยา ซึ่งเป็นกล่องกระดาษเพื่อให้สามารถพิมพ์แถบสีมาตรฐานและวิธีการใช้ไว้บนกล่อง เพื่อสะดวกต่อการใช้ และทั้งกล่องนี้จะบรรจุไว้ในกล่องพลาสติกใสอีกครั้งหนึ่งเพื่อกันความชื้น ทั้งนี้ชุดตรวจสอบนี้จะใช้ในโรงงานเกลือ ซึ่งมีความชื้นสูง และผู้ใช้ในโรงงานเกลือสามารถทั้งชุดตรวจสอบนี้ไว้ในโรงงานเกลือโดยไม่จำเป็นต้องเก็บเป็นพิเศษแต่อย่างใด

ในชุดตรวจสอบ 1 ชุด (ดังแสดงในรูปที่ 11) จะประกอบด้วย กล่อง ขวดน้ำยาที่เหมือนกัน 3 ขวด (บรรจุขวดละ 10 ml) ช้อนสำหรับตักเกลือ 1 อัน แผ่นพลาสติกสำหรับผสมเกลือและน้ำยา 1 แผ่น ฉลากบอกวิธีใช้ โดยมีวัตถุประสงค์ให้เป็นชุดตรวจสอบภาคสนามสำเร็จรูปที่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำกัดสถานที่และโอกาส



รูปที่ 11 ภาพแสดงถึง ชุดตรวจสอบไอโอเดทในเกลือในภาคสนาม ซึ่งประกอบด้วยวิธีการใช้ ชุดตรวจสอบพร้อมแถบสีมาตรฐาน ขวดบรรจุน้ำยาซึ่งเป็นขวดหยด ช้อนตักเกลือ แผ่นพลาสติกสำหรับผสมเกลือกับน้ำยา

3.9 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ (I-Kit)

3.9.1 การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างชุดตรวจสอบ I-Kit ที่พัฒนาขึ้นมา กับชุดตรวจสอบ MBI-Kit จากประเทศอินเดีย

ชุดตรวจสอบทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นชุดตรวจสอบที่ใช้น้ำยาขวดเดียวหยดลงบนเกลียว ต่างกันตรงวิธีใช้ที่ I-Kit จะกำหนดสัดส่วนระหว่างเกลียวและน้ำยา ทำให้วิธีการมีความแม่นยำขึ้น ขณะที่ MBI-Kit กำหนดเพียงว่าให้ตักเกลียว 1 ช้อน เกลี่ยให้บาง แล้วหยดน้ำยา 1-2 หยด ซึ่งชุดตรวจสอบ MBI-Kit นี้มีปัญหามากในการใช้เพื่อจะบอกว่าเกลียวมีไอโอเดทในปริมาณเท่าไร หรือแม้แต่จะบอกว่ามีไอโอเดทได้มาตรฐานหรือไม่

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของชุดทดสอบไอโอเดท I-Kit ที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นกับ MBI-Kit ที่ซื้อจากประเทศอินเดีย (46, 47) มีดังนี้คือ

1. ทดสอบคุณภาพของน้ำยาล้างที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลียวที่เสริมด้วยไอโอเดท (ตามคู่มือวิธีการใช้) จะเหมือนกับแถบสีมาตรฐานที่ให้มาพร้อมชุดทดสอบหรือไม่ ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 และ 4

2. แสดงผลเปรียบเทียบการใช้ I-Kit และ MBI-Kit ในการทดสอบระหว่างเกลียวที่มี 15 ppm ไอโอเดท (ซึ่งถือว่าต่ำกว่ามาตรฐาน) และเกลียวที่มี 35 ppm ไอโอเดท ซึ่งได้มาตรฐาน (รูปที่ 12) จะเห็นว่าถ้าใช้ MBI-Kit จะไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างนี้ได้ สีที่เกิดขึ้นในเกลียวที่ไอโอเดท 15 และ 35 ppm ไม่ต่างกัน แต่ในกรณีที่ใช้ I-Kit จะเห็นว่าใน 15 ppm จะเป็นสีฟ้า ขณะที่ 35 ppm เห็นเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งบุคลากรทุกระดับรวมทั้งผู้ใช้ในโรงงานเกลียวสามารถบอกความแตกต่างนี้ได้ทันที ผลจากการทดลองนี้ทำให้เห็นชัดว่า I-Kit มีคุณสมบัติการใช้งานดีกว่า MBI-Kit อย่างชัดเจน

3. ทดสอบความคงทนของน้ำยา น้ำยาที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นมามีความคงทนหลังจากเปิดขวดออกใช้อย่างน้อย 18 เดือน น้ำยาที่ซื้อจากประเทศอินเดีย ระบุไว้บนฉลากว่าควรใช้ภายใน 6 เดือนหลังจากเปิดขวด แต่ผลที่ได้จากการทดลองจากน้ำยาที่เปิดขวดใช้วันแรกและ 6 เดือนนั้นเหมือนกัน คือให้สีที่ไม่ตรงกับแถบสีมาตรฐานที่ให้มา

4. ทดสอบความสะดวกและรวดเร็วในการใช้ชุดทดสอบ เมื่อเทียบกับชุดทดสอบที่ซื้อจากอินเดียชุดทดสอบที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นมามีความเร็วในการใช้งานเหมือนกัน แต่ I-Kit จะมีความสะดวกในการใช้งานในทุกสถานที่มากกว่า เพราะมีอุปกรณ์ประกอบมาด้วยคือ ช้อนสำหรับตักเกลียวและแผ่นพลาสติกสำหรับผสมเกลียวกับน้ำยา

การทดสอบทั้งหมดนี้ได้ทำขึ้นโดยมีเจ้าหน้าที่จากกระทรวงสาธารณสุข จากยูนิเซฟ (ประเทศไทย) และผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการ ICCIDD (International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders) เป็นพยาน

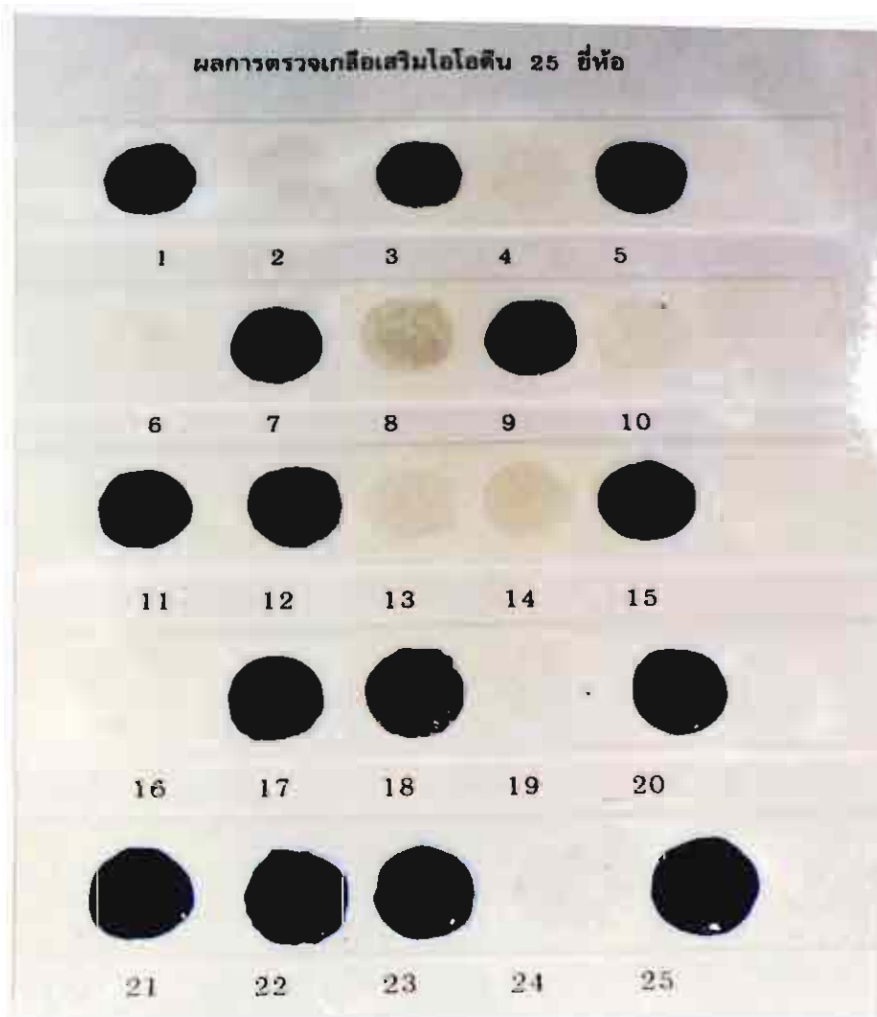


รูปที่ 12 เปรียบเทียบการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และ MBI-Kit

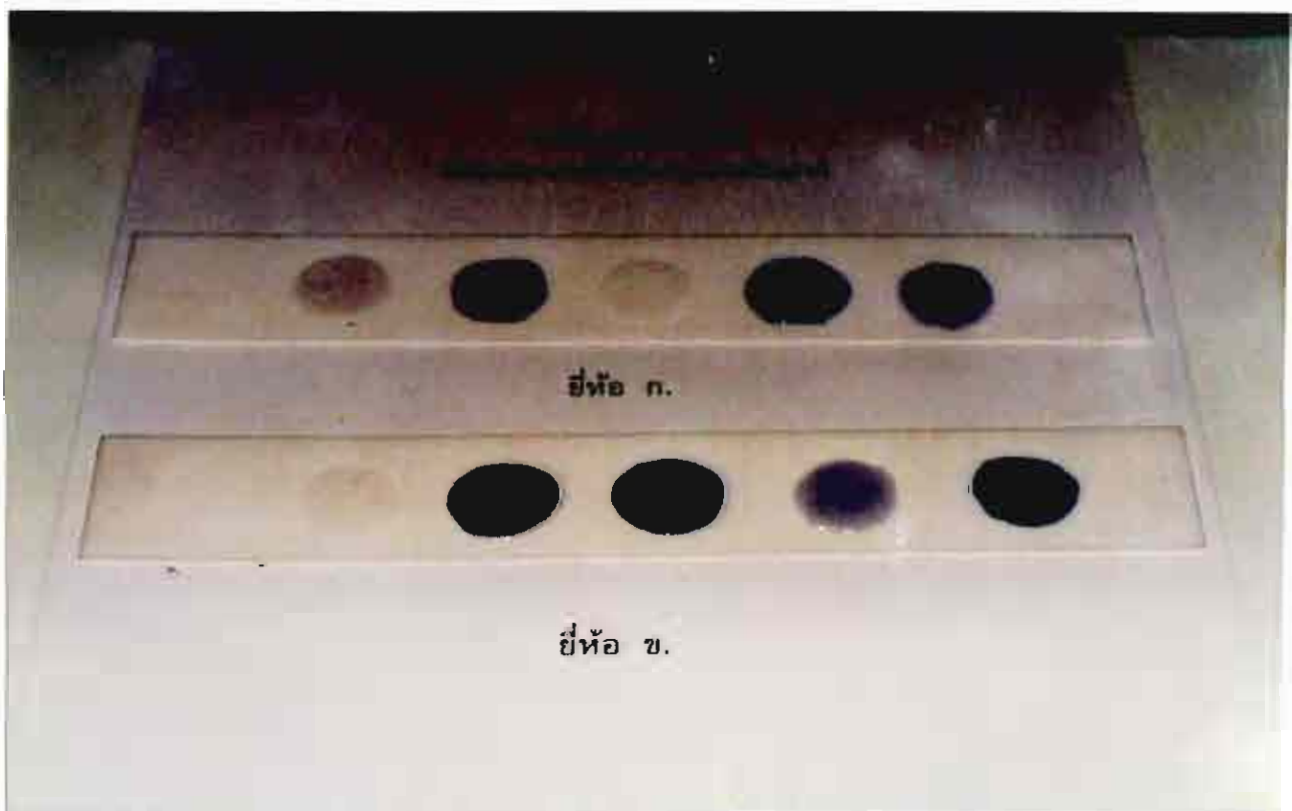
3.9.2 การวิเคราะห์เกล็ดตัวอย่างที่เก็บจากกรุงเทพฯ และปริมณฑล

ได้มีการทดลองใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์เกล็ดตัวอย่างจำนวน 25 ยี่ห้อ ที่ระบุว่าเสริมไอโอดีนที่เก็บจากกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งนอกจากจะเพื่อเป็นการทดลองใช้ชุดตรวจสอบเพื่อตรวจว่าเกล็ดมีไอโอดีนว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ยังเป็นการวิเคราะห์เพื่อประเมินสถานภาพของเกล็ดเสริมไอโอดีนก่อนที่จะมีการนำชุดตรวจสอบนี้ไปทดลองใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานเกล็ด ซึ่งจะต้องมีการเก็บตัวอย่างเกล็ดในยี่ห้อเดียวกันนั้นมาวิเคราะห์อีกครั้ง ในช่วงเวลาหลังที่โรงงานเกล็ดได้ใช้ชุดตรวจสอบเพื่อควบคุมมาตรฐานแล้ว

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่ามาตรฐานของเกล็ดเหล่านั้นแตกต่างกันมาก จากตัวอย่างเกล็ด 25 ยี่ห้อ พบว่ามี 36% ที่ได้มาตรฐานตลอด และหลายยี่ห้อ (45%) มีปริมาณไอโอดีนต่างกันมากในแต่ละถุงคือ 0-40 พีพีเอ็ม (รูปที่ 14) และบางยี่ห้อ (24%) พบว่าไม่มีไอโอดีนเลย ข้อมูลนี้ยังแสดงให้เห็นความจำเป็นที่จะมีชุดตรวจสอบที่ใช้ง่ายและถูกต้อง กระจายทั่วประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน



รูปที่ 13 เกลือ 25 ยี่ห้อ ที่มีปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit



รูปที่ 14 เกลือยี่ห้อเดียวกันที่มีปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit

3.9.3 การใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ตรวจเกลือในจังหวัดที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีน

3.9.3.1 การใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ที่จังหวัดเลย

โดยความร่วมมือกับ โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ได้มีการนำชุดตรวจสอบ I-Kit ไปตรวจสอบการครอบคลุมของเกลือเสริมไอโอดีนใน 2 ตำบล ที่ อำเภอด่านซ้าย ที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีน โดยให้ชาวบ้านและเด็กนักเรียน นำเกลือที่ใช้ในครัวเรือนมาให้ตรวจพร้อม ๆ กันที่โรงเรียนประจำตำบล ผลการวิเคราะห์มีดังแสดงในตารางที่ 5 คือ พบเกลือที่ไม่มีไอโอดีนสูงถึง 68% และ 65% ในตำบลอีปุม และตำบลบ้านนาดี ตามลำดับ และมีเกลือที่มีไอโอดีนตามมาตรฐานเพียง 20.5% และ 32% ใน 2 ตำบล ดังกล่าว

ตารางที่ 5 รายงานการตรวจเกลือเสริมไอโอดีนโดยชุดตรวจสอบ I-Kit ที่จังหวัดเลย

ตำบลอีปุม อ.ด่านซ้าย จ.เลย (จำนวนทั้งหมดที่ตรวจ = 79 ตัวอย่าง)

ชนิดของเกลือ	จำนวน (%)	ที่มาของเกลือ
เกลือที่ไม่มีไอโอดีน	$55/79 = 68.4\%$	พ่อค้าเร่ (แลกกับข้าวโพด)
เกลือที่มีไอโอดีนต่ำกว่ามาตรฐาน*	$4/79 = 5.1\%$	ซื้อเองจากร้านค้า
เกลือที่มีไอโอดีนตามมาตรฐาน	$21/79 = 26.5\%$	ซื้อจากอนามัย (ยี่ห้อผีตาโขน)

*10-20 พีพีเอ็ม

ตำบลบ้านนาดี อ.ด่านซ้าย จ.เลย (จำนวนทั้งหมดที่ตรวจ = 166 ตัวอย่าง)

ชนิดของเกลือ	จำนวน (%)	ที่มาของเกลือ
เกลือที่ไม่มีไอโอดีน	$108/166 = 65.0\%$	พ่อค้าเร่ (แลกกับข้าว), บ่อเกลือ
เกลือที่มีไอโอดีนต่ำกว่ามาตรฐาน*	$5/166 = 3\%$	ซื้อจากบ่อเกลือ
เกลือที่มีไอโอดีนตามมาตรฐาน	$53/166 = 32\%$	ซื้อจากอนามัย (ยี่ห้อผีตาโขน)

*10-20 พีพีเอ็ม

3.9.3.2 การใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ที่จังหวัดเชียงใหม่

โดยการร่วมมือกับศูนย์ส่งเสริมสุขภาพ เขต 10 จังหวัดเชียงใหม่ ได้มีการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ตรวจสอบเกล็ดที่สุ่มตัวอย่างมาจากร้านค้าใน 4 จังหวัด ในเขต 10 โดยผู้วิจัยไปตรวจเองที่จังหวัดเชียงใหม่ จากจำนวนทั้งหมด 45 ตัวอย่าง (26 ยี่ห้อ) มีเกล็ดที่มีไอโอดีนตามมาตรฐาน 24 ตัวอย่าง (53%) และต่ำกว่ามาตรฐาน 17 ตัวอย่าง (38%) และมี 4 ตัวอย่าง ไม่มีไอโอดีนเลย ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายงานการตรวจเกล็ดเสริมไอโอดีนโดย I-Kit จากตัวอย่างเกล็ดจากร้านค้าที่อยู่ในจังหวัดลำปาง ลำพูน เชียงใหม่ เชียงราย

ชนิดของเกล็ด	จำนวน (%)
เกล็ดที่ไม่มีไอโอดีน	4/45 (9%)
เกล็ดที่มีไอโอดีนต่ำกว่ามาตรฐาน*	17/45 (38%)
เกล็ดที่มีไอโอดีนตามมาตรฐาน	24/45 (53%)

*10-20 พีพีเอ็ม ไอโอดีน

นอกจากนี้ได้มีการตรวจเกล็ดเสริมไอโอดีนที่ใช้ตามครัวเรือนที่อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 21 ครัวเรือน โดยผู้วิจัยไปตรวจเองที่สถานที่ ผลการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายงานการตรวจเกล็ดเสริมไอโอดีนโดย I-Kit จากตัวอย่างเกล็ดในครัวเรือนที่จังหวัดเชียงใหม่

ชนิดของเกล็ด	จำนวน (%)
เกล็ดที่ไม่มีไอโอดีน	6/21 (20%)
เกล็ดที่มีไอโอดีนต่ำกว่ามาตรฐาน*	2/21 (9%)
เกล็ดที่มีไอโอดีนตามมาตรฐาน	13/21 (63%)

* 10-20 พีพีเอ็ม ไอโอดีน

3.9.3.3 การใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ที่จังหวัดมหาสารคาม

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเกลือที่เก็บจากโรงงานเกลือและแหล่งผลิต 10 แห่ง ที่จังหวัดมหาสารคาม และแต่ละโรงงานสุ่มตัวอย่างเกลือที่ผสมไอโอดีนก่อนบรรจุถุงมาโรงงานละ 5-7 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ที่โรงงานเลย โดย I-Kit พบว่า ทุกตัวอย่างเป็นเกลือเสริมไอโอดีนทั้งหมด เพียงแต่เกลือนั้นมีทั้งที่มีไอโอดีนตามมาตรฐาน ต่ำกว่าหรือสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งปัญหานี้ส่วนใหญ่เกิดจากการที่ผสมเกลือกับไอโอดีนไม่สม่ำเสมอ มากกว่าเกิดจากปริมาณไอโอดีนที่ใช้ผิด มีเพียงบางแห่งเท่านั้นที่เป็นปัญหาทั้ง 2 อย่าง

ตารางที่ 8 การใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit วิเคราะห์ตัวอย่างเกลือที่สุ่มจากโรงงานเกลือ 10 แห่ง ที่จังหวัดมหาสารคาม

โรงงาน	ตัวอย่างเกลือที่มีไอโอดีน		
	ตามมาตรฐาน	ต่ำกว่ามาตรฐาน*	เกินมาตรฐาน**
1	5/5	-	-
2	5/6	1/6	-
3	3/6	-	3/6
4	3/6	2/6	1/6
5	3/5	-	2/5
6	-	5/5	-
7	2/7	3/7	2/7
8	3/6	1/6	2/6
9	1/6	1/6	4/6
10	1/5	4/5	-

*5-20 พีพีเอ็ม ไอโอดีน

**70-150 พีพีเอ็ม ไอโอดีน

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบโดยใช้ I-Kit ที่โรงงาน/แหล่งผลิตเกลือและได้อธิบายให้ผู้รับผิดชอบจากทั้งกระทรวงสาธารณสุขและโรงงานเกลือถึงปัญหา และแนะนำให้ใช้ I-Kit ตรวจสอบทุกครั้งก่อนบรรจุถุง ซึ่งถ้าพบว่ายังผสมไม่สม่ำเสมอก็ให้ผสมเข้ากันใหม่อีกครั้ง

นอกจากการใช้ I-Kit ในโรงงานเกลือที่จังหวัดมหาสารคาม ผู้วิจัยยังได้ใช้ในโรงงานเกลืออีกหลายแห่งที่หลายจังหวัด ซึ่งผลการวิเคราะห์จะออกมาในทำนองคล้ายกันทั้งสิ้น นอกจากนี้บางแห่งที่มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่ามาตรฐานอย่างมากถึง 500 ppm เนื่องจากใส่ไอโอดีนมากเกินไป

3.9.4 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ในโรงงานเกลือเสริมไอโอดีน

ได้มีการนำชุดตรวจสอบ I-Kit ไปให้เจ้าของโรงงานเกลือผลิตเกลือเสริมไอโอดีน ประมาณ 20 แห่ง และสอนวิธีใช้ชุดตรวจสอบให้ จากการสุ่มตัวอย่างเกลือหลังจากออกจากเครื่องผสมก่อนที่จะบรรจุถุง และการทดลองใช้ชุดตรวจสอบโดยเจ้าของโรงงานเกลือเอง พบว่าเจ้าของโรงงานทุกแห่งเห็นว่าชุดตรวจสอบนี้ใช้ได้สะดวกและได้ผลดีกว่าชุดตรวจสอบจากต่างประเทศที่เคยใช้อยู่เดิม ส่วนผลการตรวจเกลือส่วนใหญ่แล้วผลยังไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 15) ควรจะต้องใช้ชุดตรวจสอบเพื่อตรวจสอบ เพื่อจะให้มีการผสมให้สม่ำเสมออีกครั้งก่อนการบรรจุและนำออกจำหน่าย

อนึ่ง ได้มีการทดลองให้ชุดตรวจสอบ I-Kit แก่เจ้าของโรงงานเกลือ และจะไปสุ่มตัวอย่างจากบางโรงงานในภายหลังประมาณ 3 เดือน, 6 เดือน จากการใช้ชุดตรวจสอบ เพื่อประเมินว่าชุดตรวจสอบนี้จะสามารถช่วยควบคุมคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนให้มีไอโอดีนตามมาตรฐานได้หรือไม่



รูปที่ 15 การใช้ชุดตรวจสอบวัด I-Kit ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่สุ่มตัวอย่างหลังจากการผสม

3.9.5 การวิเคราะห์แบบสอบถามหลังจากการทดลองใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit

1. ได้มีการทดลองใช้ I-Kit ในงานแสดงนิทรรศการ technomart ของ สกว. ระหว่างสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ระหว่างวันที่ 18-21 สิงหาคม 2540 มีผู้มาทดลองใช้ I-Kit มากกว่า 1000 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถาม 472 คน เป็นเด็กนักเรียน นักศึกษา 353 คน และบุคคลทั่วไป 119 คน ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9

2. ได้มีการใช้ในภาคสนามในจังหวัดต่าง ๆ โดยส่งชุดตรวจสอบให้บุคลากรของกระทรวงสาธารณสุขที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับโครงการขาดสารไอโอดีน ได้ทดลองใช้ตรวจสอบเกลือจากโรงงานและร้านค้า และครัวเรือน และตอบแบบสอบถาม ซึ่งขณะที่เขียนรายงานนี้เพิ่งได้เริ่มทำเป็นส่วนน้อย และกำลังจะทำต่อไปอีกในหลายจังหวัด ผลจากการวิเคราะห์จากแบบสอบถามที่ส่งมาได้แสดงไว้ในตารางที่ 9

โดยสรุป ชุดตรวจสอบที่พัฒนาสูตรขึ้นมาใหม่นี้ สามารถใช้ในการอ่านปริมาณไอโอดีนได้อย่างแม่นยำกว่าชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมาในครั้งแรก โดยเฉพาะระหว่าง 30-50 ppm จะแยกได้ชัดเจนขึ้นมากกว่าเดิมมาก ปัญหาที่ยังมีในการอ่านสีจะมีในช่วง 50-100 ppm เนื่องจากเป็นช่วงที่กว้าง ผู้อ่านจะมีความลำบากใจในการอ่านที่จะให้ได้ตัวเลขที่แน่นอนเช่น 60, 70, 80 หรือ 90 ppm แต่เนื่องจากจุดประสงค์ของชุดตรวจสอบนี้ ไม่ได้ต้องการให้ผู้ใช้ได้อ่านค่าให้ได้ละเอียดเช่นนี้ เพียงแต่ทราบว่าเป็นเกลือชนิดใด ๆ มีปริมาณไอโอดีนเกินมาตรฐานตรงใกล้ค่า 50 ppm หรือ 100 ppm น่าจะเพียงพอแล้ว

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 3 กลุ่ม ของผู้ใช้ในตารางที่ 9 คือ บุคลากรที่มาชมนิทรรศการ เจ้าหน้าที่ทางสาธารณสุขและ เจ้าของ/ผู้ใช้ในโรงงานเกลือ พบว่าเจ้าของโรงงานเกลือจะมีปัญหาในการอ่านสีน้อยกว่าเจ้าหน้าที่สาธารณสุขซึ่งมีปัญหาในการอ่านสีมากกว่าบุคลากรทั่วไป ทั้งนี้คงเป็นเพราะเจ้าหน้าที่สาธารณสุขซึ่งเป็นผู้ที่จะต้องรับผิดชอบด้านนี้มีความเอาใจใส่ ระมัดระวัง และพิถีพิถันมากกว่า ปัญหาของชุดตรวจสอบนี้ที่ยังมีคือเรื่องขนาดของเม็ดเกลือ โดยเฉพาะในโรงงานภาคเหนือ ซึ่งนอกจากผลิตเกลือป่นยังต้องผลิตเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนขนาดเม็ดใหญ่ เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคในภาคเหนือมากกว่าภาคอื่น ๆ ในปัญหานี้ผู้วิจัยได้แนะนำให้ลดเกลือให้เล็กลงก่อนใช้ช้อนตักมาตรวจ (ดังที่เขียนไว้ในวิธีใช้) หรือเลือกตักเฉพาะส่วนที่เม็ดเล็ก ๆ ขึ้นมา เพราะถ้าเม็ดใหญ่จะเกินขนาดช้อน อย่างไรก็ตาม จากการที่ผู้วิจัยได้ทดลองด้วยตัวเอง พบว่าชุดตรวจสอบ I-Kit นี้ยังสามารถใช้กับเกลือเม็ดใหญ่ เพื่อบอกว่ามีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่ ถึงแม้ว่าจะไม่สะดวกและอ่านค่าไอโอดีนได้ไม่แม่นยำเท่ากับเมื่อใช้เกลือเม็ดเล็กหรือเกลือป่นทั่วไป

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยว (I-Kit) ที่ได้จากการ
แสดงนิทรรศการ Technomart และจากบุคลากรทางสาธารณสุขที่ได้รับชุดตรวจสอบ
และเจ้าของโรงงานเกลือ

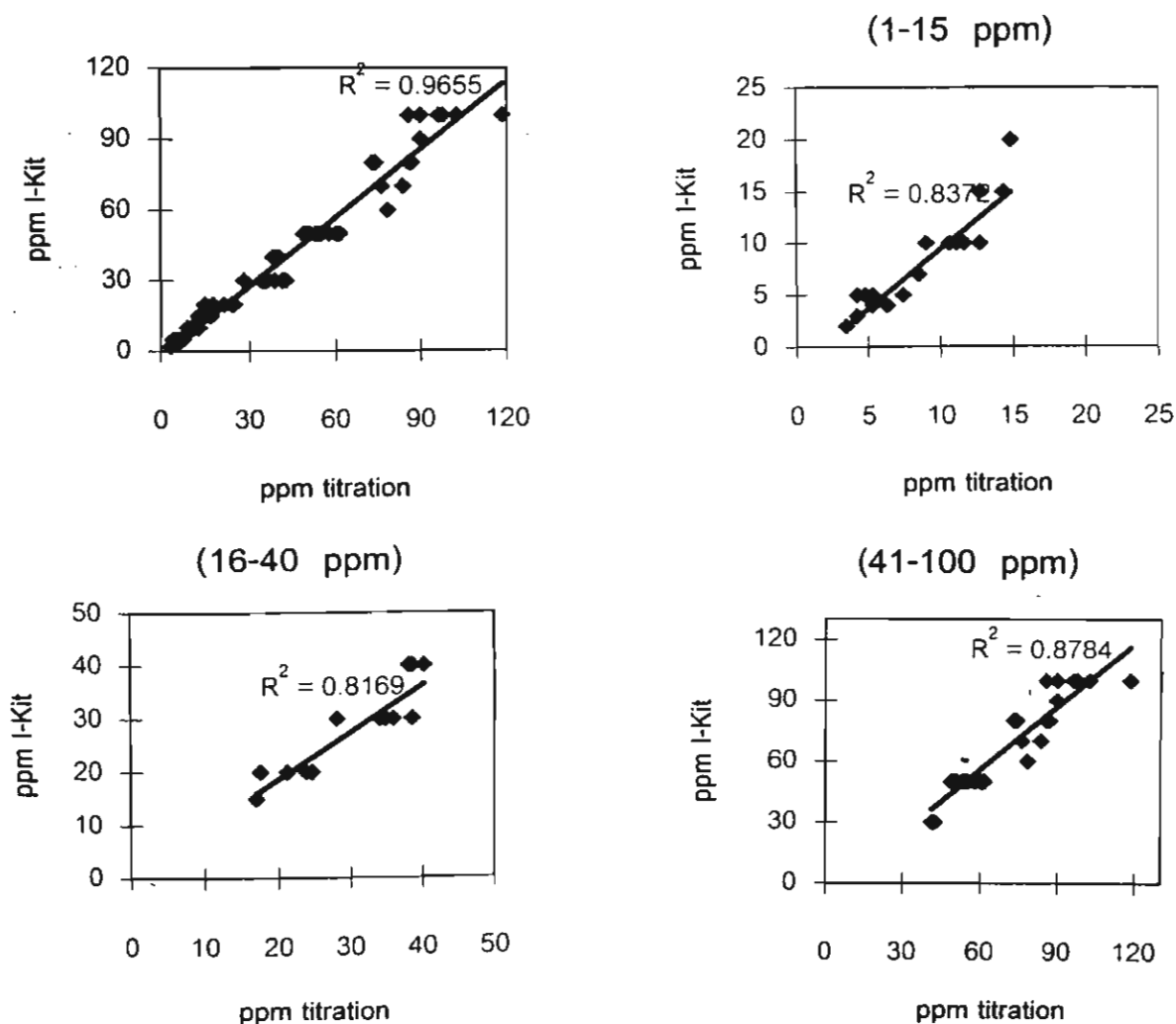
ความคิดเห็นของ ผู้ตอบแบบสอบถาม	บุคลากรใน นิทรรศการ (472 ตัวอย่าง)	บุคลากรทาง สาธารณสุข* (201 ตัวอย่าง)	โรงงานเกลือ (25 ตัวอย่าง)
การอ่าน"วิธีการใช้"			
เขียนได้ชัดเจน เข้าใจทุกขั้นตอน	100	99	96
บางขั้นตอนไม่ชัดเจน คือ	-	1	4
ไม่ชัดเจนเลยไม่สามารถทำตามได้	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
การทำตาม"วิธีการใช้"			
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	92	95	92
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	8	5	8
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
การอ่านสีโดยประมาณเทียบกับ แผ่นมาตรฐาน			
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	82	78	88
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	18	22	12
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
ชิ้นส่วนของชุดตรวจสอบ			
ทุกชิ้นเหมาะสมกับการใช้งานจริง	95	94	96
ชิ้นส่วนที่ควรปรับปรุง คือ	5	6	4
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับใช้ในทุกสถานที่			
มาก	87	92	84
ปานกลาง	13	8	16
น้อย	-	-	-
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับทุกระดับการศึกษา			
มาก	83	93	94
ปานกลาง	15	7	6
น้อย	2	-	-
ความเหมาะสมของชุดตรวจสอบ สำหรับเกลือทุกลักษณะ(เม็ดใหญ่/เล็ก)			
มาก	75	62	39
ปานกลาง	22	37	58
น้อย	3	1	3

* จากแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ น่าน สกลนคร อุตรดิตถ์

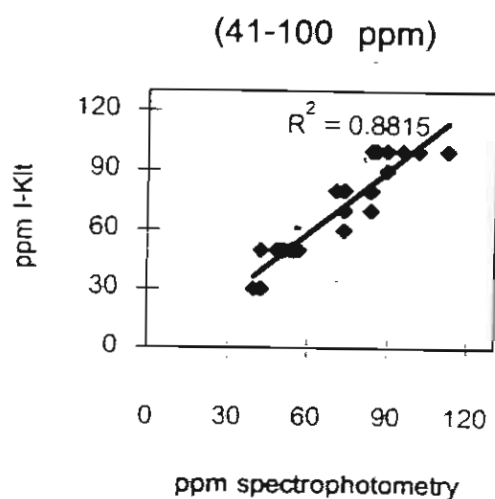
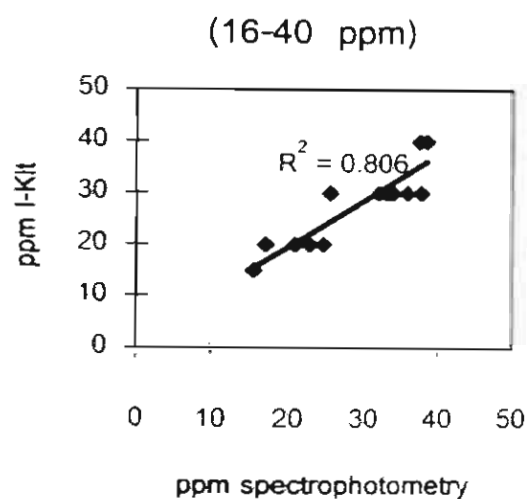
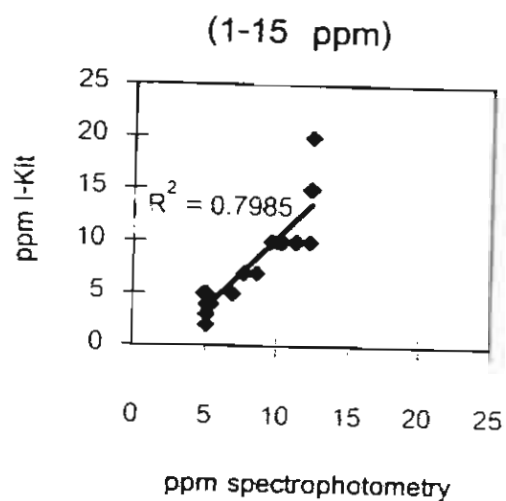
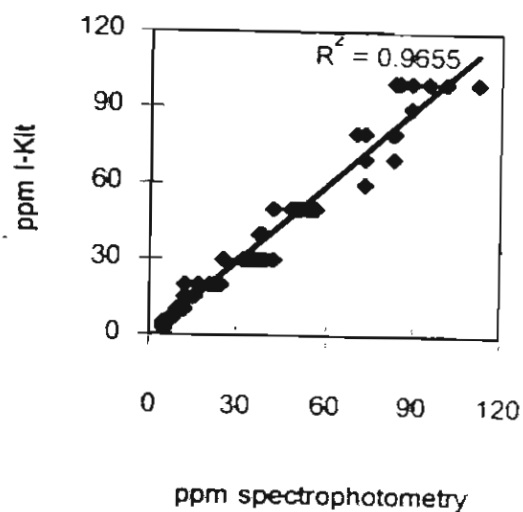
3.10.1 การประเมินความแม่นยำของชุดตรวจสอบภาคสนาม โดยเทียบกับการวัดค่าที่แท้จริงทางห้องปฏิบัติการ

3.10.1 การใช้ชุด Kit โดยผู้มีประสบการณ์การใช้ชุดตรวจสอบ

ได้มีการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit วัดปริมาณเกลือที่สู่มมาจากโรงงานเกลือ 10 แห่ง ประมาณ 60 ตัวอย่าง โดยที่เกลือเหล่านั้นมีปริมาณไอโอดีน 0-100 ppm และในแต่ละตัวอย่างได้มีการเปรียบเทียบ ppm ไอโอดีน โดยชุดตรวจสอบ I-Kit โดยวิธีการ titration และวิธีการ spectrophotometry และหาค่า correlation ระหว่างค่า ppm ไอโอดีน ที่หาได้โดยวิธีใช้ I-Kit กับวิธี titration (รูปที่ 16) และวิธีใช้ I-Kit กับวิธี spectrophotometry (รูปที่ 17) ซึ่งพบว่ามี correlation coefficient เท่ากับ 0.971 และ 0.971 ตามลำดับ (วิเคราะห์ในช่วง 0-100 ppm) แต่ถ้าวัดช่วงของหาค่าเป็น 3 ช่วงคือ 0-15 ppm, 16-40 ppm และ 41-90 ppm ค่า correlation coefficient จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 16 และ 17 ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าชุดตรวจสอบ I-Kit มีความแม่นยำสูง แต่ทั้งนี้ผู้ใช้ต้องมีความชำนาญในการอ่านสีเทียบกับแถบสีมาตรฐาน



รูปที่ 16 correlation ระหว่าง ppm ไอโอดีน โดยวิธีใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และวิธี titration ในช่วง 1-100 ppm และแบ่งเป็นช่วงย่อย ในช่วง 0-15 ppm, 16-40 ppm และ 41-100 ppm



รูปที่ 17 correlation ระหว่าง ppm ไอโอดีน โดยใช้วิธีใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และวิธี spectrophotometry ในช่วง 1-100 ppm และแบ่งเป็นช่วงย่อย 0-15 ppm, 16-40 ppm และ 41-100 ppm

3.11. การประเมินความแม่นยำและถูกต้องระหว่างน้ำยาแต่ละ lot

ได้มีการทำน้ำยาตรวจสอบไอโอเดท (I-Kit) ขึ้นมา 10 lot โดยแต่ละ lot เตรียมจำนวนมากและใช้น้ำยาแต่ละ lot ในการหาปริมาณไอโอเดทในตัวอย่างเกล็ดเสริมไอโอดีน 6 ตัวอย่างที่มีไอโอดีน 10-60 ppm โดยแต่ละตัวอย่างจะทำซ้ำกัน 6 ครั้ง สำหรับน้ำยา 1 lot ฉะนั้นแต่ละตัวอย่างที่ได้ค่า mean $\pm$ SD จึงได้มาจากการหยดน้ำยาบนเกล็ดตัวอย่างเดียวกัน 60 ครั้ง นอกจากนี้ในทั้ง 6 ตัวอย่าง ยังให้ 3 คน ทำการทดลองทั้งชุดเหมือนกัน เป็นการทดลอง 3 ชุด ดังที่เขียนในตารางเป็นค่า reading by individual no.1, no.2, no.3 ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 12 กล่าวคือ น้ำยาทั้ง 10 lot ให้ความแม่นยำในการทดสอบได้เหมือนกัน ดังดูได้จากค่า mean $\pm$ SD และ coefficient of variation และ range ของการอ่าน และผลการทดลองที่ทำโดย individual no.1, no.2, และ no.3 ให้ผลคล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 12 ค่า mean $\pm$ SD ของ ppm ไอโอดีน ของตัวอย่างเกล็ด (#1-6)
ที่วิเคราะห์โดยใช้น้ำยา 10 lot

Salt no.	ppm idoine		
	mean $\pm$ SD of 10 kits	range	% CV of 10 kits
#1 Reading by individual			
no.1	10 $\pm$ 1	9-12	10
no.2	10 $\pm$ 1	9-12	10
no.3	10 $\pm$ 1	9-12	10
#2 Reading by individual			
no.1	21 $\pm$ 1	19-24	4.8
no.2	20 $\pm$ 1	18-23	5.0
no.3	20 $\pm$ 1	18-25	5.0
#3 Reading by individual			
no.1	31 $\pm$ 1	30-34	3.2
no.2	28 $\pm$ 1	25-32	3.6
no.3	29 $\pm$ 1	27-31	3.5
#4 Reading by individual			
no.1	40 $\pm$ 1	38-42	2.4
no.2	40 $\pm$ 1	35-45	2.5
no.3	39 $\pm$ 1	37-45	2.6

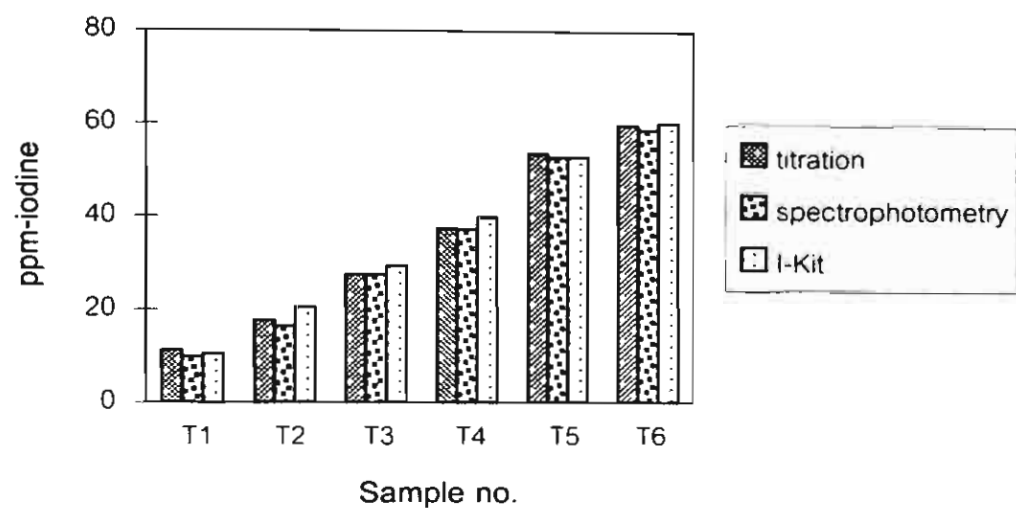
ตารางที่ 12 ค่า mean $\pm$ SD ของ ppm ไอโอดีน ของตัวอย่างเกลือ (#1-6)
ที่วิเคราะห์โดยใช้น้ำยา 10 lot

Salt no.	ppm iodine		
	mean $\pm$ SD of 10 kits	range	% CV of 10 kits
#5 Reading by individual			
no.1	53 $\pm$ 2	50-55	3.8
no.2	53 $\pm$ 1	50-56	1.9
no.3	52 $\pm$ 2	47-55	3.8
#6 Reading by individual			
no.1	60 $\pm$ 1	58-62	1.7
no.2	61 $\pm$ 2	56-66	3.3
no.3	60 $\pm$ 1	58-62	1.7

นอกจากนี้ได้มีการใช้วิธีการทางห้องปฏิบัติการ คือ titration และ spectrophotometry มาเปรียบเทียบกับค่า mean $\pm$ SD ที่อ่านได้ในตารางที่ 12 ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 13 และรูปที่ 18 จากการหาค่า correlation coefficient ระหว่างค่า ppm ไอโอดีน ที่หาโดยใช้ I-Kit และ titration พบว่ามีค่า 0.9936 และระหว่าง I-Kit และ spectrophotometry มีค่าเท่ากับ 0.9941 แสดงถึงความแม่นยำของชุดตรวจสอบ I-Kit

ตารางที่ 13 ค่า ppm ไอโอดีนในตัวอย่างเกลือ 6 ตัวอย่าง ที่หาโดยวิธี I-Kit, titration และ spectrophotometry (แต่ละตัวอย่างทำซ้ำ 6 ครั้ง)

Salt no.	titration		spectrophotometry		I-Kit	
	mean $\pm$ SD (ppm)	% CV	mean $\pm$ SD (ppm)	% CV	mean $\pm$ SD (ppm)	% CV
T1	11.18 $\pm$ 0.26	2.32	9.8 $\pm$ 0.2	2.04	10 $\pm$ 1	10.0
T2	17.66 $\pm$ 0.68	3.84	16.3 $\pm$ 0.4	2.45	20 $\pm$ 1	4.9
T3	27.39 $\pm$ 0.57	2.06	27.4 $\pm$ 0.5	1.82	29 $\pm$ 2	6.9
T4	37.29 $\pm$ 1.23	3.30	37.2 $\pm$ 1.2	3.23	40 $\pm$ 1	2.5
T5	53.45 $\pm$ 0.69	1.30	52.7 $\pm$ 0.5	0.95	53 $\pm$ 1	1.9
T6	59.68 $\pm$ 0.78	1.31	58.8 $\pm$ 0.6	1.02	60 $\pm$ 1	1.7



รูปที่ 18 เปรียบเทียบค่า ppm ไอโอดีน ที่หาได้จากการใช้ I-Kit, titration และ spectrophotometry

4. ข้อสรุปและวิจารณ์

4.1 การวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการคิดค้นชุดตรวจสอบไอโอเดทในเกลือในภาคสนามที่มีประสิทธิภาพ

ความมุ่งหมายของการวิจัยนี้คือ เพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับใช้วัดปริมาณและความเข้มข้นของไอโอเดทในเกลือเสริมไอโอดีน ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าชุดตรวจสอบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่กระทรวงสาธารณสุขซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งมีปัญหาเรื่องการอ่านค่าไอโอดีนจากแถบสีอย่างถูกต้อง ทำให้ยากที่จะบอกว่าเกลือมีไอโอดีนได้หรือไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งเป็นปัญหาต่อการควบคุม ทั้ง ๆ ที่ทางกระทรวงสาธารณสุขได้มีประกาศกฎกระทรวง เมื่อ พ.ศ.2537 ว่า เกลือบริโภคต้องมีไอโอดีนอย่างน้อย 30 พีพีเอ็ม แต่จากการสำรวจ ณ เดือนกรกฎาคม 2540 โดยใช้ชุดตรวจสอบของคณะผู้วิจัย พบว่าถึงแม้ว่าเกลือเกือบทั้งหมดในท้องตลาดจะระบุว่ามีไอโอดีน แต่จากการวัดปริมาณไอโอดีน พบว่ามาตรฐานของเกลือเหล่านั้นแตกต่างกันมาก จากการสุ่มตัวอย่างเกลือ 25 ยี่ห้อ พบว่ามี 30% ที่ได้มาตรฐานตลอด และหลายยี่ห้อ (45%) มีปริมาณไอโอดีนต่างกันมากในแต่ละถุงคือ 0-50 พีพีเอ็ม และบางยี่ห้อ (25%) พบว่าไม่มีไอโอดีนเลย ข้อมูลนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีตรวจสอบที่ง่าย แม่นยำ และราคาถูก กระจายทั่วประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน ทั้งนี้เพื่อที่ประชากรโดยเฉพาะในพื้นที่เหล่านั้นจะได้บริโภคเกลือที่มีไอโอดีนตามมาตรฐานจริง

งานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการคิดค้นชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือที่มีคุณสมบัติเหนือกว่าชุดตรวจสอบที่ใช้ในปัจจุบัน คือ สามารถแก้ไขปัญหายุทธวิธีตรวจสอบอื่นได้ สามารถใช้วัดปริมาณไอโอเดท (ในรูปของไอโอดีน) ได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง ในช่วงความเข้มข้น 0-100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งเกลือเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่จะมีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วงนี้ ทั้ง ๆ ที่ค่าเป็นไปตามมาตรฐานควรจะอยู่ระหว่าง 30-50 ppm โดยสีที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามปริมาณไอโอดีนในเกลือที่เพิ่มขึ้นจาก 0-100 ppm ดังนั้นชุดตรวจสอบนี้ นอกจากจะบอกได้ว่ามีไอโอดีนในเกลือเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ยังสามารถบอกถึงปริมาณและความเข้มข้นของไอโอดีนในเกลือที่ทดสอบได้โดยประมาณ โดยดูจากสีที่เกิดขึ้นจากการผสมน้ำยาตรวจสอบกับเกลือเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นทันทีจะมีความคงตัวไม่ต่ำกว่าหนึ่งชั่วโมง ไม่จางหายไป ทำให้การอ่านค่าของปริมาณไอโอดีนเทียบกับแถบสีที่เหมือนของจริงมีความผิดพลาดน้อย นอกเหนือจากนี้ชุดตรวจสอบนี้มีความคงทนต่อการใช้งานไม่ต่ำกว่า 18 เดือน ชุดตรวจสอบนี้มีชื่อว่า I-Kit เป็นชุดทดสอบภาคสนามที่สะดวก ใช้งาน มีความแม่นยำ คงทน และราคาถูก สามารถใช้บอกได้อย่างแม่นยำว่าเกลือมีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่

ถึงแม้ว่าชุดตรวจสอบไอโอเดทในเกลือ (I-Kit) ที่เป็นผลผลิตที่ใช้ได้จริงจากงานวิจัยนี้จะเป็นชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยว (single-bottled kit) เพียงชนิดเดียว แต่งานวิจัยนี้ได้พัฒนา

ชุดตรวจสอบไอโอดีน (ในรูปของไอโอดेट) ในเกล็ดขึ้นมา 3 ชนิด คือ ชนิดขวดเดียว ชนิดภาตหลุม และชนิดแถบกระดาษ สำหรับชนิดขวดเดียวนั้นจะมีน้ำยาทุกอย่างสำหรับการตรวจสอบผสมอยู่ในขวดเดียวกัน เมื่อหยดน้ำยานี้บนเกล็ดที่มีไอโอดेट เกล็ดจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ในชุดตรวจสอบแบบภาตหลุม จะมีการผสมเกล็ดกับน้ำยาจากขวดเดียวกันในภาตหลุมให้เป็นสารละลายสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นเพิ่มตามปริมาณไอโอดेटในเกล็ด ส่วนชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษจะเป็นกระดาษอบน้ำยาที่ส่วนปลายของกระดาษ ซึ่งเมื่อจุ่มปลายกระดาษนี้ลงในสารละลายเกล็ด (อิมตัว) ที่ต้องการทดสอบ เกล็ดที่มีไอโอดेटจะทำให้เกิดเป็นสีน้ำเงินบนกระดาษเช่นกัน ในชุดตรวจสอบทั้ง 3 ชนิดนี้ ความเข้มข้นของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจะสามารถเปลี่ยนเป็นปริมาณของไอโอดีนได้โดยเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน สามารถวัดปริมาณไอโอดีนในเกล็ดได้ในระดับ 4-100 ส่วนในล้านส่วน อย่างไรก็ตาม เมื่อนำชุดตรวจสอบทั้ง 3 ชนิดนี้ ไปทดลองใช้ในภาคสนาม พบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความต้องการที่จะใช้ชุดทดสอบชนิดขวดเดียวมากกว่า แถบกระดาษและมากกว่าแบบภาตหลุม ทั้งนี้เพราะชุดตรวจสอบแบบขวดเดียวมีความสะดวกในการใช้มากกว่า และผู้ที่เคยใช้ชุดตรวจสอบมาก่อน มีความเคยชินกับการใช้ชุดตรวจสอบในรูปแบบนี้ ซึ่งคล้ายกับชุดตรวจสอบ MBI-Kit จากประเทศอินเดีย มากกว่าชุดตรวจสอบแบบอื่น ๆ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้มุ่งไปทางพัฒนาชุดตรวจสอบชนิดขวดเดียว จนมีคุณสมบัติที่ เหมาะกับการใช้งานจริง ทั้งด้านความแม่นยำ และความคงทน

ชุดตรวจสอบปริมาณไอโอดีนในเกล็ดที่เป็นผลสำเร็จจากการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าชุดตรวจสอบอื่นที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันรวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งเป็นชุดที่ซื้อจากต่างประเทศ ผลผลิตนี้อาจถือได้ว่าเป็นแบบอย่างของงานวิจัยและงานประดิษฐ์ เนื่องจากการวิจัยและพัฒนาโดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานทางชีวเคมีและเคมี มาประยุกต์ใช้เพื่อทำเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีประโยชน์ในการสาธารณสุข จุดเด่นของชุดตรวจสอบนี้ คือ

1. เป็นครั้งแรกที่มีการคิดค้นสูตรน้ำยาตรวจสอบไอโอดีนในเกล็ดชนิดขวดเดียว สำหรับภาคสนามที่สามารถประมาณระดับไอโอดีนในเกล็ดอย่าง semiquantitative ได้อย่างแท้จริง โดยทำให้เกิดเป็นสีที่มีความชัดเจน มีความคงทน และความเข้มเพิ่มตามปริมาณไอโอดีนอย่างชัดเจน รวมทั้งน้ำยาสูตรนี้ยังมีโอกาสเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้อยมาก มีความคงทนต่อสภาพร้อน เย็น เป็นเวลาอย่างน้อย 18 เดือน อย่างมีเสถียรภาพของการตรวจสอบ ขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นจะเสียสภาพไป
2. ในแง่ความคิดและการประยุกต์ มีการออกแบบชุดตรวจสอบ โดยมีอุปกรณ์เสริมช่วยให้ชุดสอบมีความสมบูรณ์ในตัวเองและใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ การมีแผ่นพลาสติก และซองดักเกล็ด ที่ได้ออกแบบหน้าตัดและความลึกเพื่อให้ดักเกล็ดโดยมีความผิดพลาดน้อย และมีขนาดพอเหมาะที่จะกำหนดสัดส่วนระหว่างเกล็ดและน้ำยาที่เหมาะสมที่จะทำให้ง่ายต่อการอ่านปริมาณไอโอดีนตามความเข้มของสีที่เกิดจากการผสมเกล็ดกับน้ำยา ซึ่งเป็นการออกแบบให้เข้ากับขนาดของรูหยดน้ำยาจากขวด จนได้ปริมาณเกล็ด 0.1 กรัม ต่อน้ำยา 3 หยดพอดี การออกแบบ

ทั้งหมดนี้ทำให้เหมาะกับการใช้ในภาคสนาม โดยไม่จำกัดสถานที่ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับบุคลากร ทุกวัยทุกระดับการศึกษา ในทุกสถานที่

3. ชุดตรวจสอบนี้ นับได้ว่ามีประสิทธิภาพดี คือ นอกจากมีความแม่นยำ ยังสะดวก ใช้ง่าย คงทน และราคาถูก(ราคาต่อการทดสอบเกลือ 1 ครั้ง ประมาณ 40-50 สตางค์)

วิธีการวิจัยและพัฒนาจนได้ผลผลิตที่เป็นชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบไอโอดีนในเกลือ (I-Kit) อาจแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ คิดค้นสูตรน้ำยาชุดเดียวที่มีประสิทธิภาพ ทั้งด้านความแม่นยำและคงทน และพัฒนารูปแบบของชุดตรวจสอบ โดยให้มีอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสมกับการใช้ภาคสนาม และที่สำคัญที่สุดคือ การนำไปทดลองใช้อย่างมากและหลากหลายในภาคสนาม ทั้งในโรงงานเกลือและพื้นที่ที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีน โดยเฉพาะจากผู้ที่จะต้องใช้อย่างจริงจัง คือบุคลากรของกระทรวงสาธารณสุขที่รับผิดชอบในโครงการขาดไอโอดีนและจากเจ้าของโรงงานเกลือ

4.2 ประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือได้มาจากสูตรน้ำยาสำเร็จรูปที่วิจัยได้

สูตรน้ำยาที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อตรวจสอบไอโอดีนในเกลือในภาคสนามนี้ถึงแม้ว่าจะใช้หลักการทางเคมีที่เหมือนกับผู้อื่น กล่าวคือ แม้ว่าปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนและไอโอดีนได้ไปเป็นไอโอดีนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวนี้อาจทำปฏิกิริยากับแป้งได้เป็นสีน้ำเงิน แต่การวิจัยนี้ได้มีขั้นตอนที่สูงกว่าอย่างชัดเจนเพราะได้มีการศึกษาอย่างลึกซึ้งในด้านสเปกตรัม และจลศาสตร์ของปฏิกิริยาที่มีการดัดแปลงทั้งตัวสารที่ใช้ทำปฏิกิริยา และสภาวะของการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับชุดตรวจสอบอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วได้ทั้งหมด จึงเป็นน้ำยาที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าของชุดตรวจสอบอื่น

โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้ทำทดลองทำสูตรน้ำยาสำหรับภาคสนาม ซึ่งประกอบไปด้วย แป้ง (starch) กรด ไอโอดีน และตัวเร่งอื่น ๆ โดยได้ทดลองใช้แป้งต่าง ๆ ชนิดที่หาซื้อได้ทั่วไป เช่น แป้งมัน แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี ฯลฯ โดยแป้งเหล่านี้ได้นำมาดัดแปลงด้วยกรรมวิธีทางเคมี และชีวเคมีก่อนการใช้ พบว่าแป้งทุกชนิดแม้ว่าจะสามารถให้ปฏิกิริยาเกิดสีได้ทั้งสิ้น โดยเกิดสีมากน้อยต่างกันและมีการเจือปนของ shade สีต่างกัน แต่มีเฉพาะแป้งบางชนิดกับการดัดแปลงบางอย่างเท่านั้นจึงจะใช้ได้ผลดีในการให้ปฏิกิริยาเกิดสีที่ความเข้มข้นของสีจะแสดงความแตกต่างที่ชัดเจนตามปริมาณของไอโอดีนที่เพิ่มขึ้นจาก 0-100 ppm ปฏิกิริยาที่เกิดสีน้ำเงินที่มีความเข้มข้นและมีความคงตัวนั้น นอกจากจะต้องใช้แป้งที่ดัดแปลงที่เตรียมอย่างถูกวิธียังต้องการสารตัวอื่น ๆ ในปริมาณที่เหมาะสม และใช้ pH ที่เหมาะสมอีกด้วย สูตรน้ำยานี้ทำโดยผสมของทุกอย่างในขวดเดียวกัน (สูตรของน้ำยานี้ยังมีอาจเปิดเผยได้ในขณะนี้เพราะกำลังอยู่ระหว่างการขอจดสิทธิบัตร) เพื่อสะดวกในการใช้ และลดอันตรายจากการที่ต้องมีน้ำกรดอยู่อีกขวดหนึ่งเหมือนในชุดตรวจสอบชนิดขวดคู่ที่เคยใช้กันมาก่อน

งานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบความคงทนของชุดตรวจสอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ ทั้งภูมิอากาศของประเทศไทยและของประเทศร้อนอื่น ๆ รวมทั้งประเทศหนาว น้ำยานี้ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติในที่ที่ไม่ถูกแสงแดดจ้าโดยตรงเป็นเวลานานหลายวัน และสามารถเก็บไว้ใช้อย่างน้อย 18 เดือน นอกจากนี้ยานี้ยังมีความคงทนที่อุณหภูมิที่ 0°C - 45°C และในสภาวะอื่น ๆ อีก ที่ชุดตรวจสอบจากต่างประเทศจะเสียสภาพไป

ในการวิจัยนี้ สัดส่วนที่เหมาะสมขององค์ประกอบทุกตัวรวมกันที่คิดค้นขึ้นใหม่นี้ ทำให้ชุดตรวจสอบนี้มีคุณสมบัติเหนือชุดตรวจสอบอื่นไม่เฉพาะในด้านความแม่นยำ แต่ยังเหนือกว่าในด้านความคงทนต่อสภาพการเก็บรักษา ใช้งาน และสภาพการขนส่งต่าง ๆ

4.3 ประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบภาคสนามยังได้มาจากการออกแบบอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสม

เพื่อให้ให้น้ำยาสูตรนี้สามารถวัดปริมาณไอโอเดทในเกลือในภาคสนามอย่างแม่นยำ การวิจัยนี้ได้ออกแบบข้อนี้ให้มีสัดส่วนของหน้าตัดและความลึกที่จะดักเกลือในปริมาณที่เหมาะสมอย่างมีข้อผิดพลาดได้น้อย และขนาดของข้อนี้ยังเหมาะสมพอดีกับรูหยदन้ำยาของขวดหยด ทั้งนี้เพื่อให้สัดส่วนของเกลือและน้ำยามีความเหมาะสม กล่าวคือ เป็นเกลือประมาณ 0.1 กรัมต่อน้ำยา 3 หยด ซึ่งจะเป็นสัดส่วนที่จะทำให้เห็นความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นจากไอโอดีนช่วง 0-100 ppm ได้อย่างชัดเจนอันส่งผลให้การวัดมีความแม่นยำ นอกจากนี้เพื่อให้ชุดตรวจสอบนี้เป็นชุดแรกที่สามารถใช้ได้ทุกสถานที่ จึงได้ออกแบบให้มีอุปกรณ์เสริมคือ นอกจากมีข้อแล้ว ยังมีแผ่นพลาสติกผิวด้านสีขาว สำหรับใช้ผสมเกลือกับน้ำยา วิธีการทดสอบคือ ใช้ข้อที่ให้มาพร้อมชุดตรวจสอบ ดักเกลือใส่บนแผ่นพลาสติกที่ให้มา หยदन้ำยา 3 หยด จากขวดน้ำยา ผสมให้เข้ากันโดยใช้ปลายข้อคน เทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน ซึ่งทำให้เหมือนของจริงทั้งเม็ดสีและพื้นสีไม่ใช่เป็นเพียงแต่แถบสีเหมือนที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งจะทำให้การเทียบสีมีความถูกต้องได้สูงมาก การอ่านสีแนะนำให้อ่านภายใน 2-5 นาที เพื่อความรวดเร็ว แต่ถึงจะอ่านหลังจากนี้จะไม่ทำให้ค่าไอโอเดทที่ได้เปลี่ยนไป เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นจะคงตัวอยู่ไม่ต่ำกว่าชั่วโมง ไม่เปลี่ยนแปลงมากหรือจางหายไปเหมือนชุดตรวจสอบอื่น ๆ ซึ่งเป็นข้อที่ดีที่ทำให้สามารถใช้ชุดตรวจสอบนี้ เพื่อวัดปริมาณเกลือจำนวนมากได้พร้อม ๆ กัน ขณะที่ชุดตรวจสอบอื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่มีสีจางหายไปจะใช้ไม่ได้

โดยสรุปชุดตรวจสอบไอโอเดทในเกลือที่ประดิษฐ์ขึ้นมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1. สามารถใช้วัดปริมาณไอโอเดทในเกลือ ในช่วง 0-100 ppm ได้อย่างแม่นยำ สม่ำเสมอ และสะดวก สีที่เกิดขึ้นเป็นสีน้ำเงินชัดเจนที่แยกได้ง่ายด้วยตาเปล่า มีความคงทน ไม่ต่ำกว่าหนึ่งชั่วโมง ไม่จางหายหรือเปลี่ยนสีเหมือนน้ำยาตรวจสอบของผู้อื่น ซึ่งเป็นข้อดีที่จะทำให้การวัดปริมาณไอโอดีนมีความแม่นยำและความสะดวกต่อการใช้ขึ้น ชุดตรวจสอบนี้จึงสามารถบ่งบอกได้อย่างแม่นยำว่าเกลือเสริม

ไอโอดีนมีปริมาณไอโอดีนเป็นตามมาตรฐานหรือไม่ ขณะที่ชุดตรวจสอบอื่น ๆ บอกไม่ได้

2. ชุดตรวจสอบที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีความรวดเร็วเท่าของผู้อื่น ๆ และยังมีสิ่งที่จะช่วยเสริมคุณภาพของการตรวจสอบ กล่าวคือ นอกจากจะเป็นน้ำยาขวดเดียว ยังเป็นชุดแรกที่มีอุปกรณ์ที่ช่วยในการตรวจสอบมาพร้อมกัน คือ แผ่นพลาสติกผิวด้านซึ่งเป็นผิวสำหรับให้เกลือทำปฏิกิริยากับน้ำยา และสามารถผสมให้เป็นวงกว้างเท่าที่ต้องการได้ และมีขวดหยดสารละลายที่มีขนาดหยดพอเหมาะกับช่องดักเกลือเพื่อกำหนดสัดส่วนระหว่างปริมาณเกลือบกับน้ำยา ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้การวัดปริมาณไอโอดีนมีความแม่นยำมากกว่าวิธีอื่นที่ใช้ปริมาณเกลือที่ไม่แน่นอน และทำให้เป็นชุดที่สมบูรณ์แบบ ใช้ได้ทันทีในทุกสถานที่ เพียงมีตัวอย่างเกลือกก็วัดได้แล้ว ไม่ต้องการของอื่นเพิ่มเติม
3. เนื่องจากสูตรน้ำยาที่คิดค้นขึ้นมานี้มีความคงทนต่อการสัมผัสกับอากาศที่ถ่ายเทได้ จึงสามารถบรรจุในขวดหยดที่เจาะรูไว้ก่อนแล้วได้ ไม่จำเป็นต้องใส่ขวดที่ปิดหมดแล้วเจาะรูเมื่อใช้ เหมือนชุดจากต่างประเทศ ซึ่งนอกจากจะสะดวกกว่า แล้วยังควบคุมขนาดหยดได้ อันส่งผลให้การทดสอบมีความแม่นยำมากขึ้น
4. ชุดตรวจสอบนี้มาพร้อมกับแถบเทียบสีมาตรฐานที่ทำขึ้นจากรูปถ่ายของสิ่งที่เกิดขึ้นจริง มีทั้งพื้นสีและเม็ดสีเหมือนของจริงทุกประการ ไม่ได้แสดงเป็นแถบสีเพียงอย่างเดียวเหมือนชุดตรวจสอบอื่น ๆ ซึ่งทำให้อ่านปริมาณไอโอดีนได้ง่ายและแม่นยำ
5. น้ำยาสามารถใช้งานได้อย่างเหมือนเดิม เป็นเวลาอย่างน้อย 18 เดือน และน้ำยาคงสภาพ และคงคุณสมบัติในการทดสอบหลังจากเก็บรักษา ชนส่ง และใช้ในช่วงอุณหภูมิของทุกฤดูกาลในเขตต่าง ๆ ของโลกโดยส่วนใหญ่

4.4 ชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือ (I-Kit) ที่ผลิตขึ้นมีความแม่นยำในการอ่านไอโอดีน

ถึงแม้ว่าวัตถุประสงค์ของการทำชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับทดสอบไอโอดีนในเกลือ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าชุดตรวจสอบ I-Kit นั้น ต้องการเพื่อหาค่าปริมาณไอโอดีนอย่างคร่าว ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ผลิตเกลือ ผู้ตรวจสอบเกลือ หรือผู้บริโภคปลายทางได้ทราบว่าเกลือนั้น ๆ มีปริมาณไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ได้มีการทดสอบความแม่นยำถูกต้องของค่าที่อ่านได้เทียบกับค่าจริงที่จะหาได้จากวิธีการมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธี titration นอกจากนี้ยังได้เทียบกับวิธีการทาง spectrophotometry ด้วย ผลการวิจัยนี้แสดงไว้ในรูปที่ 17, 18 และตารางที่ 10 ซึ่งให้เห็นว่าค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกันมากมีค่า correlation coefficient ระดับ 0.97 จึงทำให้แน่ใจได้ว่าชุดตรวจสอบ I-Kit มีประสิทธิภาพในการวัดค่าไอโอดีนได้อย่างถูกต้อง

อย่างไรก็ดี มีข้อควรคำนึงว่าการเปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ระหว่าง I-Kit และ titration และ spectrophotometry นี้ ค่าที่อ่านได้จาก I-Kit ทำโดยผู้ที่มีประสบการณ์ในการอ่านสีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลียวเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ฉะนั้นค่าที่อ่านได้จึงมีความคลาดเคลื่อนน้อย แต่ในการใช้งานจริง ถ้าคนที่ทำไม่ได้รับการฝึกอย่างถูกวิธี หรือไม่มีประสบการณ์ก็อาจจะอ่านค่าได้ผิดพลาดไปได้บ้าง ซึ่งจากการสำรวจแบบสอบถามพบว่าการผิดพลาดนี้มักจะไม่เกิดขึ้นในช่วงต่ำกว่า 30 ppm แต่มักจะเกิดขึ้นในเกลียวที่มีไอโอดีนระหว่าง 50-100 ppm เป็นส่วนใหญ่ และมีระหว่าง 30-50 ppm บ้าง ซึ่งผู้ที่ไม่ชำนาญอาจอ่านค่าผิดพลาดได้

นอกเหนือจากการทดสอบความถูกต้อง โดยใช้ผู้ที่มีประสบการณ์เป็นผู้อ่านสีเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ผลการอ่านโดยบุคลากรทั่วไปที่ไม่เคยใช้ชุดตรวจสอบมาก่อนระหว่างมาชมนิทรรศการ และบุคลากรจากกระทรวงสาธารณสุขที่ผู้วิจัยส่งชุดตรวจสอบไปให้ เมื่อเทียบกับค่าจริงทางห้องปฏิบัติการก็ยิ่งถือได้ว่าต่างกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 9) ฉะนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าชุดตรวจสอบ I-Kit นั้น สามารถใช้วัดค่าไอโอดีนในเกลียวได้อย่างถูกต้องพอสมควรไม่ว่าจะใช้โดยผู้ที่มีประสบการณ์หรือไม่ ในการใช้งานจริงนั้นชุดตรวจสอบ I-Kit ต้องการใช้เพื่อบอกว่าเกลียวได้มาตรฐานหรือไม่ หรือมีไอโอดีนเกินมาตรฐานไปอย่างมากหรือไม่ มากกว่าที่จะต้องการทราบค่าที่แท้จริง ซึ่งชุดตรวจสอบนี้สามารถใช้ตามวัตถุประสงค์นี้ได้เป็นอย่างดี เพราะสีเกิดขึ้นระหว่างการไม่ได้มาตรฐาน ได้มาตรฐานและเกินมาตรฐานไปอย่างมาก สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจน โดยบุคลากรทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์มาก่อน จึงสรุปได้ชุดตรวจสอบนี้มีความแม่นยำที่จะใช้ตรวจว่าเกลียวได้มาตรฐานหรือไม่โดยบุคลากรทั่วไป ซึ่งอาจเป็นทั้งผู้ผลิตเกลียว อาสาสมัครหมู่บ้าน เจ้าหน้าที่สาธารณสุข เพื่อใช้ในการ screen ในขั้นต้นได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว สำหรับตัวอย่างที่มีปัญหาจึงส่งเข้ามาตรวจทางห้องปฏิบัติการในภายหลัง วิธีการนี้จะทำให้การควบคุมและประกันคุณภาพเกลียวที่ผลิตจากโรงงานและแหล่งผลิตเกลียวทั่วประเทศไทยประมาณ 200 แห่ง ทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพขึ้น เพราะไม่จำเป็นต้องรอผลการตรวจวิเคราะห์ที่แต่ละจังหวัดส่งเข้ามาที่ส่วนกลางในกรุงเทพฯ ซึ่งใช้เวลานานมาก

จากการที่ I-Kit นี้ สามารถตรวจปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีประโยชน์ไม่เฉพาะแต่ใช้ในโรงงานเกลียว เพื่อให้ควบคุมคุณภาพตัวเอง หรือให้เจ้าหน้าที่สาธารณสุขควบคุมคุณภาพของโรงงานเกลียวและเกลียวจากร้านค้า แต่ยังนำไปใช้ได้ในการสำรวจความครอบคลุมการใช้เกลียวเสริมไอโอดีนในระดับครัวเรือนทั่วประเทศได้ ซึ่งทางกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข มีแผนการที่จะนำ I-Kit ไปใช้ในโครงการดังกล่าวในเร็ว ๆ นี้

4.5 คุณภาพของชุดตรวจสอบไอโอดีน I-Kit ที่เป็นผลผลิตจากงานวิจัยเหนือกว่าของชุดตรวจสอบที่ซื้อจากต่างประเทศ

ความมุ่งหมายของการวิจัยนี้ เพื่อทำชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือในภาคสนาม ซึ่งสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าชุดตรวจสอบอื่นที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันรวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งเป็นชุดที่ซื้อจากต่างประเทศ ทั้งนี้ชุดตรวจสอบจากต่างประเทศมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในฉลาก คือไม่สามารถบอกความแตกต่างของปริมาณไอโอดีนที่มีอยู่ได้อย่างถูกต้อง และสีที่เกิดขึ้นไม่เหมือนแถบสีที่ให้มาพร้อมกับชุดตรวจสอบ และยังมีความไม่คงทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมาก

เมื่อเปรียบเทียบชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับไอโอดีนในเกลือ (I-Kit) ที่เป็นผลผลิตจากการวิจัยนี้กับชุดตรวจสอบอื่น ๆ ที่ใช้ในประเทศไทย ซึ่งเคยใช้กันอยู่ 2 แบบเท่านั้น คือชุดตรวจสอบชนิดขวดคู่ของ นายแพทย์ร่มไทร สุวรรณิก และชุดตรวจสอบจากประเทศอินเดีย (MBI-Kit) เมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบชนิดขวดคู่ ชุด I-Kit นั้นมีข้อได้เปรียบอยู่แล้วที่เป็นชนิดขวดเดี่ยวที่ให้ความสะดวกในการใช้มากกว่า เป็นอันตรายได้ (hazardous) น้อยกว่าและยังสามารถอ่านปริมาณไอโอดีนจากแถบมาตรฐานได้อย่างแม่นยำพอควร ขณะที่ชุดตรวจสอบชนิดขวดคู่ทำไม่ได้ ถ้าจะเปรียบเทียบในแง่ความคงทน ชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยว มีอายุการใช้งานนานกว่า และคุณภาพของแต่ละรุ่นมีความสม่ำเสมอไม่ทำให้เกิด false positive ขึ้นเหมือนที่พบในชุดตรวจสอบชนิดขวดคู่

สำหรับชุดตรวจสอบไอโอดีนที่ซื้อจากต่างประเทศที่ใช้กันแพร่หลายทั่วโลก คือจากประเทศอินเดีย คือ MBI-Kit ซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบันก่อนที่จะมีชุดตรวจสอบที่คณะนักวิจัยผลิตขึ้นมา ชุดตรวจสอบนี้มีความคล้ายคลึงกับชุดตรวจสอบ I-Kit ของนักวิจัย ตรงที่เป็นน้ำยาขวดเดี่ยว และใช้หยดลงบนเกลือเป็นแบบ spot test เหมือนกัน อ่านเป็นค่า ppm ไอโอดีนเหมือนกัน แตต่างกันตรงที่ MBI-Kit มีแต่เฉพาะขวดน้ำยา ขณะที่ I-Kit มีอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญคือมี ข้อนटकเกลือมาด้วย ซึ่งเป็นการกำหนดสัดส่วนของเกลือและน้ำยา อันส่งผลให้วิธีการของ I-Kit มีความแม่นยำสูงกว่า ส่วนวิธีการใช้ชุดตรวจสอบของ MBI-Kit นั้นให้टकเกลือมา 1-2 ข้อน แต่ไม่ได้กำหนดขนาดข้อน และให้เกลี่ยให้บาง แต่ไม่ได้บอกว่าบางแค่ไหน แล้วให้หยดน้ำยา 1-2 หยด แล้วดูสีเทียบกับแถบมาตรฐาน วิธีการนี้แม้ว่าจะดูสะดวก แต่ถ้าจะให้ได้ผลที่แน่นอนเหมือนกันทุกครั้งจะเป็นไปได้ยาก

ปัญหาที่เกิดขึ้นของการใช้ชุดตรวจสอบ MBI-Kit เหมือนกันทุกครั้ง ไม่ว่าจะลองใช้โดยบุคลากรต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการหรือบุคลากรของสาธารณสุข หรือโรงงานเกลือ ผู้ใช้ทุกรายพบว่า MBI-Kit ให้สีที่เกิดขึ้นเมื่อผสมเกลือกับน้ำยาเป็นสีม่วง ซึ่งเป็นคนละสีกับแถบสีมาตรฐานที่ให้มากับชุดทดสอบที่เป็นสีเทาถึงน้ำเงิน ทำให้การอ่านปริมาณไอโอดีนที่ถูกต้องทำได้ยาก ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่าเกลือนั้น ๆ มีไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขหรือไม่ นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนจากม่วงเป็นน้ำตาลปนเหลือง

และจางหายไปในเวลาสั้น โดยเฉพาะในเกลือที่มีไอโอดีนสูง ซึ่งส่งผลให้การวัดปริมาณไอโอดีนมีความผิดพลาดได้มาก นอกจากนี้ ชุดทดสอบที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นมา มีความคงทนอย่างน้อย 18 เดือนหลังจากเปิดใช้แล้ว ส่วนของจากประเทศอินเดียระบุว่าควรใช้ภายใน 6 เดือนหลังจากเปิดขวด แต่ผลที่ได้เมื่อเริ่มเปิดขวดใช้วันแรกหรือเปิดมาแล้ว 6 เดือนนั้นเหมือนกัน คือให้สีที่ไม่ตรงกับแถบสีที่ให้มาดังกล่าวแล้ว รายละเอียดของการทดสอบนี้ได้กล่าวไว้ในผลการวิจัยหัวข้อที่ 3.9.1

นอกจากนี้ได้มีการทดลองในห้องปฏิบัติการที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ I-Kit จากงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพเหนือกว่าชุดตรวจสอบ MBI-Kit ต่อหน้าเจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข เจ้าหน้าที่ยูนิเซฟ (ประเทศไทย) และผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการจากองค์กรที่ควบคุมปัญหาโรคขาดสารไอโอดีนของโลก ICCIDD (International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders) และได้มีการทดลองในภาคสนามควบคู่กันไปพร้อมกับเจ้าหน้าที่ของยูนิเซฟ (ประเทศไทย)

จากการทดสอบของคณะผู้วิจัย และจากรายงานของผู้ใช้ทั้งในและนอกประเทศ สรุปได้ว่าชุดตรวจสอบ MBI-Kit นี้มีปัญหาในการใช้มาก เพราะคุณภาพไม่เป็นตามที่ระบุไว้บนฉลาก จึงสามารถใช้บอกได้เพียงว่ามีไอโอดีนหรือไม่ แต่บอกมาตรฐานไม่ได้

ทางคณะผู้วิจัยได้พยายามที่จะเปรียบเทียบการอ่านปริมาณไอโอดีนจากเกลือเสริมไอโอดีน โดยใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และ MBI-Kit แต่ไม่สามารถจะทำได้สำเร็จ เพราะสีที่เกิดจากการใช้ MBI-Kit หยดบนเกลือเป็นคนละสีกับบนแถบสีมาตรฐานดังที่กล่าวมาแล้ว ถึงแม้ว่าผู้วิจัยจะได้ทดลองใช้เกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นของไอโอดีนมาเปรียบเทียบ แต่สีที่เกิดขึ้นจากเกลือที่มีไอโอดีน 20-100 ppm ไม่แสดงความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณไอโอดีนอย่างชัดเจน ที่สำคัญกว่านั้นเนื่องจากสีที่เกิดขึ้นไม่มีความคงตัวจะค่อย ๆ จางเป็นเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง และยิ่งความเข้มข้นของไอโอดีนยิ่งสูง สียิ่งจางเร็วขึ้น ทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นเกลือที่มีไอโอดีนน้อย (ถ้าไม่รีบอ่านค่าภายใน 5 นาที) ซึ่งในกรณีนี้จะไม่เกิดขึ้นกับชุดตรวจสอบ I-Kit เลย เพราะจะให้สีที่มีความคงตัวไม่มีการจางหาย ไม่ว่าไอโอดีนจะมากหรือน้อย

ปัญหาในขณะนี้คือ ผู้ที่ใช้ชุดตรวจสอบ MBI-Kit ในภาคสนามส่วนใหญ่ ทั้งจากโรงงานเกลือ สถานื่อนามัยจังหวัด อำเภอบ้านดง ไม่ทราบกันว่าชุดตรวจสอบ MBI-Kit มีปัญหา เพราะเมื่อใช้หยดลงเกลือ ถ้าเกลือมีสีม่วงก็จะแปลว่าเกลือนั้นมีไอโอดีนตามมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะชุดตรวจสอบ MBI-Kit นี้ จะให้สีม่วงที่ความเข้มคล้ายคลึงกันมากทั้งเกลือไม่ได้มาตรฐานที่มีไอโอดีนประมาณ 10-20 ppm และเกลือที่ได้มาตรฐาน 30-60 ppm ฉะนั้น ผู้ใช้ในโรงงานเกลือส่วนใหญ่ จึงไม่สามารถทราบได้ว่าเกลือที่เขาผสมนั้นผสมได้สม่ำเสมอหรือมีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่ เพราะจะได้สีม่วงที่ทำให้เขาเข้าใจผิดว่าเกลือได้มาตรฐานหมด ซึ่งเป็นปัญหาคำถามเดียวกันกับของเจ้าหน้าที่สถานอนามัย ที่ตรวจสอบเกลือจากร้านค้า และโรงงาน

ปัญหาที่มากกว่านั้นคือ ในกรณีที่เกิดมีไอโอดีนสูงมากเช่นเกิน 200 ppm ซึ่งพบได้ในโรงงานเกลือบางแห่ง เนื่องจากทั้งผสมไม่สม่ำเสมอและใส่ปริมาณไอโอดีนผิด ผู้ตรวจที่ใช้ MBI-Kit อาจจะทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเกลือนั้นไม่ได้มาตรฐานโดยมีไอโอดีนน้อยไป เพราะสีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลือจะจางอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่รีบอ่านทันที ในกรณีนี้ พบว่าในบางครั้งมีการเพิ่มไอโอดีนเข้าไปในเกลืออีกเพราะเข้าใจผิดไปว่าเกลือนั้นมีไอโอดีนน้อยเพราะสีจาง ทำให้เกิดอันตรายได้เนื่องจากเกลือนั้นมีไอโอดีนสูงเกินไป

4.6 ชุดตรวจสอบ I-Kit ใช้ได้ผลดีในภาคสนาม และผลวิเคราะห์แบบสอบถามบ่งว่าผู้ใช้มีความพอใจในประสิทธิภาพ

การวิจัยภาคสนามนี้มีทั้งไปทดสอบเองในโรงงานเกลือ เก็บตัวอย่างเกลือมาวิเคราะห์ทั้งเกลือจากร้านค้า และครัวเรือน รวมทั้งจัดแสดงนิทรรศการ และเก็บแบบสอบถามจากผู้มาทดลองใช้ชุดตรวจสอบ นอกจากนี้ได้มีการมอบชุดตรวจสอบให้แก่สาธารณสุขจังหวัดต่าง ๆ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในโครงการไอโอดีนได้ใช้แทนชุดตรวจสอบ MBI-Kit ที่เคยใช้กันอยู่

ได้มีการนำชุดตรวจสอบไปให้เจ้าของโรงงานและแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนประมาณ 20 แห่งทั่วประเทศ รวมทั้งสอนวิธีใช้ชุดทดสอบ และการสุ่มตัวอย่างเกลือหลังจากผสมกับไอโอดีนก่อนที่จะบรรจุถุง ผลจากการทดลองใช้ชุดตรวจสอบโดยเจ้าของโรงงานเกลือเอง พบว่าเจ้าของโรงงานเห็นว่าชุดตรวจสอบนี้ใช้ได้สะดวก และได้ผลดีกว่าชุดตรวจสอบจากต่างประเทศที่เคยใช้อยู่เดิม ส่วนผลการตรวจพบว่าเกลือส่วนใหญ่ยังมีการผสมไม่สม่ำเสมอ ควรจะต้องใช้ชุดตรวจสอบ เพื่อจะให้มีการผสมให้สม่ำเสมออีกครั้งก่อนการบรรจุและนำออกจำหน่าย

อนึ่ง คณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์เกลียวยี่ห้อเดียวกันจากหลาย ๆ ถุง (ผลิตคนละครั้ง ชื้อจากสถานที่ต่างกัน ฯลฯ) พบว่ามีปริมาณของไอโอดีนต่างกัน เช่น ในยี่ห้อหนึ่งที่ระบุว่ามีไอโอดีน 50 ppm ปรากฏว่าเมื่อวิเคราะห์จาก 5 ถุง พบว่ามี 0, 3, 10, 30 และ 50 ppm เป็นต้น ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นเป็นปกติจากตัวอย่างเกลือที่เก็บจากร้านค้า และแหล่งผลิต มากกว่า 40% ของยี่ห้อต่าง ๆ ที่เก็บมา จะได้ผลเช่นนี้ ซึ่งขณะนี้ กำลังอยู่ระหว่างการติดตามผลว่าในบางโรงงานถ้าให้ใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ช่วยควบคุมแล้ว ปริมาณของไอโอดีนจะได้มาตรฐานสม่ำเสมอขึ้นหรือไม่

ชุดตรวจสอบไอโอดีนนี้สามารถใช้ประเมินสถานการณ์การกระจายของเกลือเสริมไอโอดีนได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เหมาะสำหรับการใช้สำรวจในพื้นที่ที่ขาดสารไอโอดีน เช่น คณะผู้วิจัยได้ออกไปทำวิจัยภาคสนามเองโดย ได้ทดลองใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคที่ชาวบ้านใช้กันอยู่ใน 2 ตำบล ที่อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการขาดสารไอโอดีน พบว่า 66% เป็นเกลือที่ไม่มีไอโอดีน มีเกลือที่มีไอโอดีนตามมาตรฐานเพียง 30% ในสถานการณ์เช่นนี้ถ้าได้มีชุดตรวจสอบที่สะดวก และแม่นยำ ให้

เจ้าหน้าที่สาธารณสุข และอาสาสมัครหมู่บ้าน ช่วยตรวจสอบเกลือก่อนบริโภค และให้ความรู้แก่ชาวบ้าน สถานการณ์คงจะดีขึ้น

คณะผู้วิจัยได้ใช้ชุดตรวจสอบนี้สุ่มตัวอย่างเกลือระหว่างผสมกับไอโอดีน เพื่อดูว่ามีความสม่ำเสมอหรือไม่ จากโรงงานเกลือประมาณ 20 แห่งที่ใช้ชุดตรวจสอบนี้อยู่ ผลการสุ่มตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 13 ที่จะเห็นความเข้มข้นของสีน้ำเงิน เป็นสีจางบ้าง เข้มบ้าง แสดงถึงการผสมเกลือที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบในโรงงานและแหล่งผลิตเป็นส่วนใหญ่ ปัญหาของการที่มีไอโอดีนไม่เป็นไปตามมาตรฐานนั้น จากการสังเกตการณ์ สอบถาม และคำนวณปริมาณไอโอดีนที่ใช้ผสมกับเกลือ พบว่าส่วนใหญ่แล้วปัญหาเกิดจากผสมยังไม่สม่ำเสมอ มากกว่าเป็นเพราะปริมาณไอโอดีนที่ผิดไป

จากการจัดบูทแสดงนิทรรศการ และให้ผู้เข้าชมนิทรรศการ ซึ่งเป็นทั้ง นักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไป มาทดลองใช้พร้อมกับตอบแบบสอบถามทันที จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 472 คน มากกว่า 90% พอใจในประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของชุดตรวจสอบ

นอกจากนี้ได้มีการส่งชุดตรวจสอบพร้อมกับแบบสอบถามไปยังบุคลากรกลุ่มเป้าหมายที่จะเป็นผู้ใช้จริง เช่น เจ้าหน้าที่จากสถานีอนามัย โรงพยาบาลชุมชน และอาสาสมัครหมู่บ้าน ในประมาณ 6 จังหวัดมีปัญหาการขาดสารไอโอดีน โดยไม่มีการฝึกให้ใช้ จากการวิเคราะห์แบบสอบถามที่ส่งกลับมาบ้างบางส่วน ผลการวิเคราะห์ พบว่ามากกว่า 95% ของผู้ใช้พบว่า การอ่านและทำตาม “วิธีการใช้” ง่ายมาก และและมากกว่า 90% ตอบว่า ชุดตรวจสอบที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในทุกสถานที่ แต่ยังมีปัญหาบ้างในการอ่านปริมาณไอโอดีน โดยการเทียบสีกับแผ่นสีมาตรฐาน โดยเฉพาะในการแยกระหว่างเกลือที่มีไอโอดีน 50 และ 100 ppm ซึ่งปัญหานี้จะลดลงถ้าผู้ใช้ได้รับการฝึกการใช้อย่างถูกวิธี ซึ่งในระยะหลังผู้วิจัยและทีมงานได้ออกไปภาคสนามในจังหวัดต่าง ๆ ด้วยตนเองมากขึ้น เพื่อไปฝึกสอนให้กับทั้งเจ้าหน้าที่สาธารณสุข และบุคลากรที่จะใช้ชุดตรวจสอบในโรงงานเกลือ ซึ่งพบว่าปัญหาในการอ่านค่าไอโอดีนจะลดลง จะอ่านได้ถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยมีข้อคิดเห็นสำหรับในโรงงานเกลือนั้นการที่จะควบคุมให้เกลือเสริมไอโอดีนได้มาตรฐาน ขึ้นอยู่กับความรับผิดชอบของเจ้าของโรงงาน ซึ่งจะต่างกันมากในแต่ละแห่ง มีบางแห่งรับผิดชอบดีมากเจ้าของดูแลเอง แต่พบว่า มีจำนวนมากที่เจ้าของไม่ค่อยได้ดูแลเองปล่อยให้ลูกจ้าง (ซึ่งเปลี่ยนบ่อย ๆ) เป็นผู้ดูแล รวมทั้งใช้ชุดตรวจสอบเองโดยไม่ได้รับการฝึก และลูกจ้างนั้นบางครั้งจะไม่สนใจที่ใช้ชุดตรวจสอบ ซึ่งเป็นปัญหาที่ทางเจ้าหน้าที่ผู้กำกับดูแลจะต้องเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด จึงจะได้ผล

โดยสรุป ชุดตรวจสอบมีประโยชน์ทางการสาธารณสุข ใช้ได้ทั้งในโรงงานเกลือและผู้บริโภคปลายทาง สามารถนำสิ่งประดิษฐ์ไปประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

1. สำหรับโรงงานเกลือ ใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกลือและกระบวนการควบคุมคุณภาพของโรงงานและแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนทั่วประเทศไทยว่ามีความเข้มข้นของไอโอดีนในทุกชุดและรุ่นของเกลือที่ผลิตเป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีกระบวนการควบคุมเท่าที่ควร สาเหตุหนึ่งเพราะขาดชุดตรวจสอบภาคสนามที่สามารถตรวจสอบได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และแม่นยำ ชุดตรวจสอบนี้จะช่วยประกันและควบคุมมาตรฐานของเกลือเสริมไอโอดีนที่ผลิตจากโรงงานแต่ละแห่ง
2. สำหรับผู้บริโภคปลายทาง เจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข ออามัยจังหวัด ศูนย์สาธารณสุขมูลฐาน อาสาสมัครหมู่บ้าน ผู้ใหญ่บ้าน ครู โรงเรียน ฯลฯ ใช้ตรวจสอบเกลือที่ใช้ในท้องถิ่นว่ามีปริมาณไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อโรคขาดสารไอโอดีน จำนวนที่ต้องการใช้อย่างต่ำปีละ 2 แสนชุด

4.7 ชุดตรวจสอบนี้ใช้อย่างประหยัด คงทน มีความสมบูรณ์ในตัวเอง เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย และเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติ

จากการวิจัยและพัฒนา การทดลองในห้องปฏิบัติการ และการนำไปใช้ในภาคสนาม คณะผู้วิจัยและผู้มีส่วนใหญ่ พบว่าชุดตรวจสอบนี้มีจุดเด่นดังต่อไปนี้

1. เป็นชุดตรวจสอบที่ใช้อย่างสะดวก มีความคงทน อ่านผลได้ชัดเจน และบ่งบอกปริมาณได้แม่นยำพอสมควร ผู้ผลิตเกลือสามารถใช้ตรวจสอบกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ของตนได้อย่างสะดวก และทราบได้ทันทีว่ากระบวนการผสมเกลือกับไอโอดีนมีความสม่ำเสมอและได้มาตรฐานเพียงใด โดยที่ถ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเองก็เสียเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 40-50 สตางค์ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง หรือประมาณ 50-60 บาท ต่อ 1 เดือน สำหรับโรงงานที่ผลิตเกลือเดือนละ 16-20 ตัน)
2. เป็นชุดตรวจสอบสำเร็จรูปที่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง นำไปใช้ได้โดยมีประสิทธิภาพโดยไม่จำกัดสถานที่และโอกาส และสามารถใช้ได้โดยบุคลากรทุกระดับการศึกษา ทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ผู้บริโภคปลายทางสามารถมีไว้ตรวจสอบและประมาณระดับไอโอดีนในเกลือ เพื่อเลือกใช้เกลือที่มีไอโอดีนตามมาตรฐานได้ นอกจากนี้เจ้าหน้าที่อนามัยนำไปใช้เพื่อประกันและควบคุมคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนจากแหล่งผลิตทั่วประเทศ และอาสาสมัครหมู่บ้านใช้ช่วยชาวบ้านทดสอบเกลือบริโภคโดยเฉพาะในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ

3. คณะผู้วิจัยได้รับความร่วมมืออย่างดีจากหน่วยงานหลายแห่งในกระทรวงสาธารณสุข ทำการทดลองใช้ในภาคสนาม และปรับปรุงแก้ไขจนได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ ทำให้มีความมั่นใจว่าสามารถนำไปใช้ได้แพร่หลายอย่างกว้างขวาง ทั้งภายในประเทศ และในภูมิภาคอื่น ๆ ของโลกต่อไป ซึ่งขณะนี้ได้ใช้แล้วในโรงงานเกลือ และแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในกรุงเทพฯ และในต่างจังหวัด รวมทั้งสิ้นประมาณ 100 แห่ง และองค์กรเพื่อสาธารณสุขประโยชน์ประเทศเขมรได้สั่งซื้อไปทดลองใช้แล้ว 2 ครั้ง
4. ประการสำคัญคือ เป็นชุดตรวจสอบที่ประดิษฐ์โดยคนไทย ที่ทำงานวิจัยในประเทศไทย โดยการสนับสนุนจากเงินวิจัยภายในประเทศ คือ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และได้ผ่านขั้นตอนการตรวจสอบโดยความร่วมมืออย่างดียิ่งระหว่างหน่วยราชการต่าง ๆ และผลิตโดยใช้วัสดุหลักจากประเทศไทย และสามารถเป็นประโยชน์ต่อมนุษยชาติทั้งปวง
5. งานวิจัยนี้ เป็นตัวอย่างของการนำวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างแท้จริง เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของราษฎรผู้ยากไร้ อันเป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ
6. ชุดตรวจสอบที่คิดค้นขึ้นมานี้ได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายแล้วในโรงงานผลิตเกลือเสริมไอโอดีนเกือบทั่วประเทศ และได้ใช้บ้างแล้วโดยสถานอนามัย โรงเรียน และอาสาสมัครหมู่บ้าน ในบางพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน

การที่ชุดตรวจสอบนี้ได้รับการใช้อย่างขวาง เพราะได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากมหาวิทยาลัยมหิดล กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ และยูนิเซฟ (ประเทศไทย) การที่เจ้าของโรงงานและแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนได้นำชุดตรวจสอบไปใช้อย่างแพร่หลาย เพราะได้เรียนรู้ถึงชุดตรวจสอบนี้จากสื่อมวลชนหลายด้าน จากการประชาสัมพันธ์ของคณะนักวิจัยและเจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข

5. เอกสารอ้างอิง

1. Pandav, C.S, Arora, N.K, Locatelli-Rossi, L, Karmarka, M.G and Hetzel B.S. in "Tracking Process Towards the Sustainable Elimination of Iodine Deficiency Disorders in Thailand". Corrdinated by Ministry of Public Health, Thailand ; International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders and UNICEF Thailand, 83 pp., 1997.
2. Pandav, C.S. and Rao, A.R. (eds) Iodine Deficiency Disorders in Livestock, Ecology & Economics, Oxford University Press, Delhi. 283 pp., 1997.
3. Dunn, J.T., Medeiros-Neto, G. (eds). "Endemic Goitre and Cretinism : Continuing Threats to World Health". Scientific Publication No.292. Washington, PAHO, 1994.
4. DeMaeyer, E.M. , Lowenstein, F.W., Thilly, C.H. "The Control of Endemic Goitre". Geneva : WHO, 1979 pp. 79-80.
5. กระทรวงสาธารณสุข "แผนการควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีนแห่งชาติ พ.ศ. 2538-2544" พิมพ์โดยกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2538, 46 หน้า
6. กระทรวงสาธารณสุข "รายงานการสำรวจอัตราคอหอยพอกในเด็กชั้นประถมศึกษา" พ.ศ.2540
7. Dunn, J.T., Pretell, E.A., Daze, C.W., Viteri, F.E. (eds). Towards the Eradicaition of Endemic Goitre, Cretinism and Iodine Deficiency. Scientific Publication No.502 Washington, PAHO, 1986.
8. Gutekunst, R., Smolarek, H., Hasenpusch, U. **et al.** "Goitre Epidemiology : Thyroid Volume, Iodine Excretion, Thyroglobulin and Thyrotropin in Germany and Sweden". Acta Endocrinol (Copenh) **112**, 494, 1986.
9. Gitau, W. "A Reveiw of Iodine Deficiency Disorders in Kenya". East African Med. J. **65**, 727, 1988.

10. Cao, X-Y., Jiang, X.-N., Kareem, A., Dou, Z.-H., Rackeman, M.A., Zhang, M.-L., Ma, T., O'Donnell, K., Delong, N., Delong, G.R. "Iodination of Irrigation Water As a Method of Supplying Iodine to a severely Iodine - Deficient Population in Xinjiang, China". *Lancet* **344**, 107, 1994.
11. ร่มไทร สุวรรณิก "คอหอยพอกประจำถิ่นในประเทศไทย ประสบการณ์ตั้งแต่ ค.ศ.1964" ในคู่มือการผลิตขวดเตี้ยเสริมไอโอดีน ขวดแปดตรจไอโอดีนและไอโอดิเนเตอร์ โครงการร่วมเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โรงพยาบาลศิริราช และกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข : ศุภานิชการพิมพ์ พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ.2535 หน้า 134-148.
12. Ubom, G.A. "The Goitre-Soil-Water-Diet Relationship : Case Study in Plateau State Nigeria". *Science of the Total Environment* **107**, 1, 1991.
13. ร่มไทร สุวรรณิก "คู่มือการผลิตขวดเตี้ยเสริมไอโอดีน ขวดแปดตรจไอโอดิเนเตอร์" จัดพิมพ์โดย โครงการร่วมเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โรงพยาบาลศิริราช และกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข : ศุภานิชการพิมพ์ พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ.2535, 180 หน้า
14. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 153 (พ.ศ.2537) เรื่องเกลือบริโภค
15. Suwanik, R. et al . "Endemic goitre and Experiences With Iodated salt in the Control of Goitre in Pahre Province, Thailand, in "Iron and Iodine Fortification In Thailand", Faculty of Medicine, Siriraj Hospital, Mahidol Univiersity, 1978, 87 pages.
16. Murray, M.M. and Pochin, E.E. " Thyroid Uptake of Iodine from Ingested Iodate in Man." *J. Physiol.* **114**, 6p. 1951.
17. Gronquist, A., Pochin, E.E. and Thompson, B.D. "The Speed of Suppression by Iodate of Thyroid Iodine Uptake". *Health Physica* **21**, 393, 1971.
18. Pahuja, D.N. Rajan, M.G., Borkar, A.V. and Samuel, A.M. "Potassium Iodate and Its Comparison to Potassium Iodide as a Blocker of ¹³¹I Uptake by the Thyroid in Rats" *Health Physics* **65**, 545, 1993.

19. Shenolikar, I.S. and Narasinga Rao, B.S. "A Study of Availability of Iodine from Calcium Iodate Employing ^{131}I - labeled Salt". J. Nuclear Med. **14**, 2, 1973.
20. Miller, J.K., Moss, B.R., Swanson, E.W. et al. "Calcium Iodate and Pentacalcium Orthoperiodate as Sources of Supplemental Iodine for Cattle. J. dairy Sci. **51**, 1831, 1968.
21. Teodoru, V. and Nicolau, G.Y. "Iodine-Enriched Milk in Goiter Endemics". Romanian J. Endocrin. **30**, 165, 1992.
22. Skudder, P.J. "Effects of Adding Potassium Iodate to Milk in Goiter Endemics". Romanian J. Endocrin. **30**, 165, 1992.
23. Vanhoe, H., Van Allemeersch, F. Versieck, J. and Dams, R. "Effects of Solvent Type on the Determination of Total Iodine in Milk Powder and Human Serum by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry". Analyst, **118**, 1015, 1993.
24. Holynska, B., Ostachowicz, B. and Węgrzynek, D. "A Simple Method of Determination of Iodide at Microgram/L Level in Potable Water With Preliminary Preconcentration by energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry". J. Trace Elements & Electrolytes in Health & Disease **5**, 31, 1991.
25. Maros, L. Kaldy, M. and Lgaz, S. "Simultaneous Determination of Bromide and Iodide As Actone Derivatives by Gas Chromatography and Electron Capture Detection in Natural Waters and Biological Fluids". Analytical Chemistry **61** (7), 722, 1989.
26. Gutierrez, M.C., Gomez-Hens, A. and Perez-Bendito, D. "Stopped-Flow Determination of Iodide in Pharmaceutical and Food Samples". Analyst **114**, 89, 1989.
27. Cerda, A., Forteza, R. and Cerda, V. "Determination of Iodide in Table Salt by Flow-Injection Analysis Using Pyrocatechol Violet". Food Chem. **46**, 95, 1993.

28. Bermejobarrera, P., Moredapineiro, A., Aboalsomoza, M., Moredapineiro, J. and Bermejobarrera, A. "Indirect Determination of Iodide, as an Hgxy Complex by Electro-thermal Atomic-Absorption Spectrometry". *J. Anal. Atomic. Spect.* **9**, 483, 1994.
29. Zhu, Z.L. and Gu, Z.C. " Simultaneous Determination of Iodide and Nitrite by Catalytic Kinetics". *Analyst* **118**, 105, 1993.
30. Tomiyasu, T., Sakamoto, H. and Yonehava, N. "Spectrophotometric Determination of Trace Amount of Iodide by Its Catalytic Effect on the Cholorpromazine-Hydrogen Peroxide Reaction". *Analytical Sciences* **8**, 293, 1992.
31. Garcia, M.S., Sanchezpedreno, C., Albero, M.I and Sanchez, C. "Kinetic Determination of Iodide in Pharmaceutical and Food Samples". *Analyst*, **116**, 653, 1991.
32. Moxon, R.E.D. and Dixon, E.J. "Semi-Automatic Method for the Determination of Total Iodine in Food". *Analyst* **105**, 344, 1980.
33. Turyan , Y.I., Maluka, L.M. and Markova, T.R. "Redox Processes in the System $I_2+KI+NaCl$ and Potentiometric Determination of Potassium Iodide in Common Salt". *J. Anal. Chem.* **46**, 533, 1992.
34. Tanner, J.T., Barnett, S.A. and Mountford, M.K. "Analysis of Milk-Based Infant Formula. Phase IV. Iodide, Linoleic acid and Vitamins D and K : U.S. Food and Drug Administration-Infant Formula Council : Collaborative Study". *J. AOAC int.* **76**, 1042, 1993.
35. Woittix-J.R.W., Vandersloot, H.A. Wals, G.D., Nieuwendijk, B.J.T. and Zonderhuis, J. "The Determination of Iodide, Iodate, Total Inorganic Iodine and Charcoal-Adsorbable Iodine in Sea Water". *Marine Chemistry* **34**, 247, 1991.
36. Kametani, K. Matsumura, T. and Naito, M "Separation of Iodide and Iodate By Anion-Exchange Resin and Determination of Their Ions in Surface Water". *Bunseki Kagaku* **41**, 337, 1992.

37. Tomiyasn, T,m Sakamoto, H. and Yonehare, N. "Differential Determination of Iodate and Iodide by a Kinetic-Catalytic Method". *Anal. Sci*, **10**, 293, 1994.
38. Gguma, K., Kitada, K. and Kiroda, R. "Microchemical Determination of Iodate and Iodine in Sea Waters by Flow- Injection Analysis. " *Mikrochimica Acta* **110**, 71, 1993.
39. *Methods of Analysis*, AOAC, Washington DC, 8th ed. 1955.
40. Venkatesh Mannav G.G. and Dunn JT. (eds) (1995) in "Salt Iodization for the Elimination of Iodine Deficiency". ICCIDD/UNICEF/WHO, Netherlands.
41. Sullivan, K.M., Houston, R., Gorstein, J. and Cervinskask, J. "Monitoring Universal Salt Iodization Programmers" by UNICEF and WHO, pp. 80-101.
42. Dustin, JP. And Ecoffey JP. A field test for detecting iodine- enriched salt. *Bulletin fo the World Health Organization*, **56(4)**, 657-658, 1978.
43. Norasinga R., Ranganathan S. A simple Field Test for Testing Iodine in Salt. *Food and Nutrition Bulletin*, **7(4)**, 70-72, 1985.
44. Bhinyo Panijpan, Pintip Ruenwongsa, Tuangpom Suthiphongchai and Nattaya Tangthawornchaikul. A Rapid and Accuarate Multi-Sample Determination of Iodate in Iodized Salt by Spectrophptometry, Abstract, 22nd Congress on Science and technology of Thailand, October 16-18, Bangkok, Thailand, 1996.
45. Pintip Ruenwongsa, Bhinyo Panijpan, Tuangpom Suthipongchai, Ladda Nitisapom, Nattaya Tangthawornchaikul and Rungravee Tanwanchai. A Single Bottle Kit and Paper Kit for Detection of Iodate in Salts. Abstract 22nd Congress in Science and Technology of Thailand, October 16-18, Bangkok, Thailand, 1996.

46. Pintip Ruenwongsa, Bhinyo Panijpan, Tuangporn Suthipongchai, Ladda Nitisaporn, Nattaya Tangthawornchaikul and Rungravee Tanwanchai and Piyachat Chittham. Quality of Iodate Test Kits Produced in Our Laboratory Compared to those of Imported Kits. Abstract 23rd Congress in Science and Technology of Thailand, October 20-22, Chiangmai, Thailand, 1997.
47. Bhinyo Panijpan, Pintip Ruenwongsa, Nattaya Tangthawornchaikul, Ladda Nitisaporn, Rungravee Tanwanchai and Piyachat Chittham. Application of Iodine Test Kit in Salt Factories. Abstract 23rd Congress in Science and Technology of Thailand, October 20-22, Chiangmai, Thailand, 1997.
48. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โดย พันทิพ รื่นวงษา และ ภิญโญ พานิชพันธ์ (2540) สิทธิบัตรไทย “ชุดตรวจสอบปริมาณไอโอดेटในเกลือในภาคสนาม (I-Kit)” อยู่ระหว่างรอผลการพิจารณาขอรับสิทธิบัตร