

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบเกลือของไอโอดีน
ใน iodated salt ในประเทศไทย (I-Kit)

Development of a Field Test Kit for Iodine in
Iodated Salt (I-Kit)

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

โดย

รศ.ดร.พิณทิพ รื่นวงษา

รศ.ดร.ภิญโญ พานิชพันธ์

ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบเกลือของไอโอดีน
ใน iodated salt ในประเทศไทย (I-Kit)

Development of a Field Test Kit for Iodine in
Iodated Salt (I-Kit)

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

โดย

รศ.ดร.พิณทิพ รื่นวงษา

รศ.ดร.ภิญโญ พานิชพันธ์

ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบไอโอดีนใน iodized salt (I-Kit)” ได้ทำขึ้นจากการสนับสนุนของ ศ.นพ.วิจารณ์ พานิช ผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญของการที่จะต้องมีชุดตรวจสอบไอโอดีนที่มีประสิทธิภาพเพื่อสนองความต้องการของกระทรวงสาธารณสุขในการควบคุมและประกันคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีน

การทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จนสามารถได้ผลิตภัณฑ์ คือ ชุดตรวจสอบ I-Kit ที่ใช้ได้จริง เป็นเพราะได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก ศ.นพ.อรรถสิทธิ์ เวชชาชีวะ อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหิดล และ ศ.นพ.พรชัย มาตังคสมบัติ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้การสนับสนุนโครงการนี้ โดยช่วยอำนวยความสะดวกในทุกเรื่อง และที่สำคัญที่สุดที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้คือ พญ.แสงโสม สีนะวัฒน์ ผู้อำนวยการกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งรับผิดชอบโดยตรงในโครงการขาดสารไอโอดีน ที่นอกจากจะให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ยังช่วยอำนวยความสะดวกอย่างยิ่งในการทดลองภาคสนามในหลายจังหวัด ซึ่งเป็นจุดสำคัญของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ ขอขอบคุณ ศ.นพ.รัชตะ รัชตะนาวิน ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ สนับสนุน และติดตามความก้าวหน้าของงานวิจัยนี้เสมอมา ตลอดจนช่วยเผยแพร่ผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยนี้ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

สิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ I-Kit นี้ ได้รับการใช้อย่างแพร่หลายไม่เฉพาะแต่ในประเทศไทย คือ การผ่านการตรวจสอบ โดยองค์กรต่างประเทศ ซึ่งคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณทั้ง พญ.แสงโสม สีนะวัฒน์ จากกระทรวงสาธารณสุข และ Ms. Karen Codling จาก ยูนิเซฟ (ประเทศไทย) ที่ได้ช่วยประสานงานในเรื่องนี้อย่างดียิ่ง นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.ศลักษณ์ ทรรพนันท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในการขอจดสิทธิบัตรของผลงานวิจัยนี้ทั้งสิทธิบัตรไทยและสิทธิบัตรออสเตรเลีย

การทำงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จจนได้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้จริงนั้น เกิดขึ้นจากการอนุเคราะห์และสนับสนุนจากอีกหลายท่านที่มีอาจากล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ได้หมด ซึ่งรวมถึง รศ.สุชาติา ชินะจิตร จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ท่านเหล่านี้ได้ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องสิ่งที่ควรปรับปรุงแก้ไข ตลอดจนสนับสนุนให้มีการเผยแพร่และทดลองใช้ในที่ต่าง ๆ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างมากในความอนุเคราะห์ของท่านเหล่านี้ อันมีส่วนช่วยให้การวิจัยประสบความสำเร็จและนำผลิตภัณฑ์จากการวิจัยไปใช้ให้เป็นประโยชน์แก่ประเทศชาติโดยเฉพาะในด้านสาธารณสุข

รศ.ดร.พิณทิพ รื่นวงษา
รศ.ดร.กัญญา พานิชพันธ์
ผู้วิจัย

คำนำ

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบไอโอดีนใน iodized salt (I-Kit)” ได้ทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาการขาดสารไอโอดีนของประเทศไทย โดยช่วยเสริมมาตรการต่าง ๆ ของกระทรวงสาธารณสุขที่มีอยู่แล้ว กล่าวคือ กระทรวงสาธารณสุขได้มีนโยบายที่จะให้มีเกลือเสริมไอโอดีนกระจายทั่วประเทศ แต่ยังคงขาดวิธีการที่สะดวกที่จะวัดปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือจำนวนมากได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น เกลือเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่ จึงยังมีปริมาณไอโอดีนต่างไปมาจากมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ส่งผลให้ปัญหาขาดสารไอโอดีนยังคงอยู่

ในการควบคุมและประกันคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีน เดิมใช้ชุดตรวจสอบที่ซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งมีปัญหาเรื่องการอ่านค่าไอโอดีนจากแถบสีอย่างถูกต้อง ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าเกลือมีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาชุดตรวจสอบไอโอดีน (ในรูปของ ไอโอดेट) ในเกลือที่มีคุณสมบัติดีกว่าทั้งด้านความแม่นยำ และความคงทน เพื่อให้กระทรวงสาธารณสุขใช้แทนชุดตรวจสอบที่ซื้อจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้เป็นครั้งแรกที่ได้มีการคิดค้น สูตรน้ำยาตรวจสอบไอโอดีนชนิดขวดเดี่ยวสำหรับภาคสนามที่สามารถประมาณระดับไอโอดีนในเกลืออย่าง semi-quantitative ได้อย่างแท้จริง รวมทั้งน้ำยาสูตรนี้ยังมีโอกาสเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้อยมาก มีความคงทนเป็นเวลาอย่างน้อย 18 เดือน อย่างมีเสถียรภาพของการตรวจสอบ นอกเหนือจากนี้ ชุดตรวจสอบนี้ได้นำไปใช้ทดลองในภาคสนามอย่างมากและหลากหลาย โดยความร่วมมืออย่างดียิ่งของกระทรวงสาธารณสุข และได้ผ่านการปรับปรุงแก้ไข จนเป็นชุดตรวจสอบสำเร็จรูปที่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำกัดสถานที่ และโอกาส สามารถใช้ได้โดยบุคลากรทุกระดับการศึกษา

คณะผู้วิจัย หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ชุดตรวจสอบไอโอดेटในเกลือ (I-Kit) นี้ จะได้รับการนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยและในภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก ชุดตรวจสอบ I-Kit นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตเกลือเสริมไอโอดีนที่จะใช้ตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตของตนเองได้อย่างสะดวก เจ้าหน้าที่อนามัยสามารถนำไปใช้เพื่อควบคุมคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนทั่วประเทศ ผู้บริโภคปลายทางสามารถมีไว้ตรวจสอบและประมาณระดับไอโอดีนในเกลือเพื่อเลือกใช้เกลือที่มาตรฐาน ครูและนักเรียนชั้นมัธยมต้นและปลายใช้ทดสอบหาปริมาณไอโอดีนในเกลือในการทดลองทางวิทยาศาสตร์และสุขศึกษา คณะผู้วิจัยหวังว่าการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit อย่างกว้างขวางจะทำให้เกลือเสริมไอโอดีนในประเทศไทยได้มาตรฐานขึ้น และประชากร โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน จะได้รับสารไอโอดีนอย่างพอเพียงจากเกลือเสริมไอโอดีนที่ได้มาตรฐาน ซึ่งจะช่วยให้โครงการขจัดโรคขาดสารไอโอดีนจากประเทศไทยของกระทรวงสาธารณสุข บรรลุผลตามเป้าหมายได้ดีขึ้น

รศ.ดร.พิณทิพ รื่นวงษา
รศ.ดร.ภิญโญ พานิชพันธ์
ผู้วิจัย

การพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบไอโอดีนใน Iodized salt (I-Kit)

พิมพ์ รื่นวงษา และ ภิญโญ พานิชพันธ์

ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระราม 6

กรุงเทพฯ 10400 โทร 2455195 โทรสาร 2480375

บทคัดย่อ

การขาดสารไอโอดีนยังเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศ โดยเฉพาะประชากรในบางพื้นที่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ เด็กที่ขาดสารไอโอดีนจะมีสติปัญญาด้อย เด็กที่คลอดจากมารดาที่ขาดสารไอโอดีนจะเป็นโรคเอ๋ สติปัญญาเสื่อมประกอบอาชีพไม่ได้ ในประเทศไทยมีประชากรประมาณ 15 ล้านคน ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน สำหรับในโลก 12% ของประชากรทั่วโลกมีอาการคอหอยพอก ในจำนวนนี้ 26 ล้านคน เป็นในขั้นที่สมองเกิดการเสียหาย และ 5.7 ล้านคน มีสติปัญญาเสื่อมระดับ cretin เนื่องจากขาดสารไอโอดีน ประเทศส่วนใหญ่ในเอเชีย เมดิเตอร์เรเนียน ผังตะวันออก ละติน อเมริกา และแอฟริกา มีอัตราของโรคขาดสารไอโอดีนสูงมาก

การขาดสารไอโอดีนเกิดเนื่องจากบริโภคสารไอโอดีนไม่เพียงพอ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ไม่ได้บริโภคอาหารทะเลอย่างพอเพียง ทั้งนี้ ทั้งเกลือทะเลและเกลือสินเธาว์มีปริมาณไอโอดีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย คือมีเพียง 2-5 ส่วนในล้านส่วนเท่านั้น แนวทางอันหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาให้คือให้มีเกลือเสริมไอโอดีนกระจายทั่วประเทศ กระทรวงสาธารณสุขจึงได้ออกกฎกระทรวงใน พ.ศ.2537 ให้เกลือบริโภคต้องมีไอโอดีนอย่างน้อย 30 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) แต่จากการสำรวจในปัจจุบันพบว่าเกลือบริโภคส่วนใหญ่ทั้งในบ้าน ร้านค้า และจากแหล่งผลิตยังมีปริมาณไอโอดีนแตกต่างไปมากจากมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งทำให้ปัญหาการขาดสารไอโอดีนยังคงอยู่จนทุกวันนี้ ดังนั้น เพื่อที่จะมีการติดตามและควบคุมปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนให้เป็นไปตามกฎกระทรวง จึงต้องมีวิธีการที่สะดวก สามารถวัดปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและความแม่นยำสูง ทางกระทรวงสาธารณสุขมีความต้องการชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือในภาคสนามเป็นจำนวนมากสำหรับใช้ในโรงงาน และแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนและใช้ในพื้นที่ที่ขาดสารไอโอดีนหรือเสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน เพื่อทดสอบว่าเกลือบริโภคควรมีไอโอดีนประมาณ 30-50 ส่วนในล้านส่วน โดยชุดตรวจสอบดังกล่าวจะต้องมีความไว ใช้ได้ง่าย สะดวก และสามารถใช้โดยบุคลากรโดยทั่วไป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดตรวจสอบไอโอดีน (ในรูปของไอโอดेट) ในเกลือขึ้นมา 2 ชนิด คือ ชนิดขวดเดียวและชนิดแถบกระดาษ สำหรับชนิดขวดเดียวนั้นจะมีน้ำยาทุกอย่างสำหรับการตรวจสอบผลอยู่ในขวดเดียว เมื่อหยดน้ำยานี้บนเกลือที่มีไอโอดेट เกลือจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ส่วนชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษจะเป็นกระดาษอาบน้ำยาที่ส่วนปลายของกระดาษ เมื่อจุ่มปลายกระดาษนี้ลงในสารละลายเกลือ (อิมตัว) ที่ต้องการทดสอบ เกลือที่มีไอโอดेटจะทำให้เกิดเป็นสีน้ำเงินบนกระดาษเช่นกัน ในชุดตรวจสอบทั้ง 2 ชนิดนี้ ความเข้มของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจะ

สามารถเปลี่ยนเป็นปริมาณของไอโอดีนได้โดยเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน ชุดตรวจสอบทั้ง 2 ชนิดนี้วัดปริมาณไอโอดีนในเกลือได้ในระดับ 4-100 ส่วนในล้านส่วน จากการทดลองใช้ในภาคสนาม ผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความสะดวกที่จะใช้ชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยวมากกว่าแถบกระดาษ คณะผู้วิจัยจึงได้มุ่งไปทางพัฒนาชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยว จนมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง ทั้งด้านความแม่นยำ และความคงทน

ชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยว (I-Kit) ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขจนสามารถใช้ตรวจสอบปริมาณไอโอดีนในเกลือได้อย่างดี เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาข้างต้น ชุดตรวจสอบนี้ ใช้ง่าย สะดวก สามารถวัดปริมาณไอโอดีน (ในรูปของไอโอดेट) ในตัวอย่างเกลือจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง เมื่อหยดน้ำยาบนเกลือที่มีไอโอดेटจะเกิดสีน้ำเงินที่ความเข้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไอโอดेट ชุดตรวจสอบนี้จะช่วยในการตรวจสอบและประกันคุณภาพของเกลือแต่ละรุ่นที่ผลิตจากโรงงานหรือแหล่งผลิตต่าง ๆ เพราะทั้งผู้ผลิตและเจ้าหน้าที่สาธารณสุขสามารถใช้ตรวจสอบ ณ แหล่งผลิตให้ได้ผลทันทีระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้สามารถแก้ไขเพื่อให้เกลือได้มาตรฐานได้โดยทันที นอกจากนี้ชุดตรวจสอบนี้ยังใช้ได้โดยบุคลากรทั่วไปสำหรับตรวจเกลือบริโภคในท้องถิ่น จากการทดลองภาคสนามโดยความร่วมมือของสาธารณสุขจังหวัดต่าง ๆ ประมาณ 20 จังหวัด โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ขาดสารไอโอดีนและในโรงงานเกลือและแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนกว่า 100 แห่ง พบว่าชุดทดสอบ I-Kit นี้ใช้ได้ผลดีกว่ามากเมื่อเทียบกับชุดตรวจสอบอื่น ๆ ที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ โดยเฉพาะชุดตรวจสอบที่ใช้กันมากที่ซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งให้สีที่เกิดขึ้นเมื่อผสมเกลือกับน้ำยาเป็นสีม่วง ซึ่งเป็นคนละสีกับแถบสีมาตรฐานที่ให้มา กับชุดทดสอบที่เป็นสีเทาถึงน้ำเงิน ทำให้การอ่านปริมาณไอโอดेटที่ถูกต้องทำได้ยาก ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่าเกลือนั้น ๆ มีไอโอดेटเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขหรือไม่ นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนจากม่วงเป็นน้ำตาลปนเหลืองและจางหายไปในเวลาสั้น โดยเฉพาะในเกลือที่มีไอโอดेटสูง ซึ่งส่งผลให้การวัดปริมาณไอโอดेटมีความผิดพลาดได้มาก ขณะที่ชุด I-Kit จะให้สีที่คงทนไม่ต่ำกว่าชั่วโมง ทำให้ใช้วัดปริมาณโดยการเทียบสีได้อย่างแม่นยำ และยังมี ความคงทนต่อสภาพการใช้งาน การเก็บรักษา และการขนส่งในสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ จากการทดลองใช้อย่างกว้างขวางและการวิเคราะห์แบบสอบถาม พบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพอใจในคุณภาพของชุดตรวจสอบ I-Kit และมีแนวโน้มมากกว่าชุดทดสอบนี้จะช่วยประกันคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนได้ (ขณะที่ชุดทดสอบอื่น ๆ ไม่สามารถใช้ได้) ถ้าผู้ผลิตและเจ้าหน้าที่สาธารณสุขมีความเอาใจใส่เพียงพอ

ได้มีการทูลฯถวายชุดทดสอบจำนวนมากแด่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ซึ่งท่านได้ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณส่งต่อให้โรงเรียนตำรวจชายแดนทั่วประเทศ เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนในท้องถิ่น ในขณะนี้องค์กรเพื่อสาธารณประโยชน์ (NGO) จากประเทศเขมรได้นำชุดทดสอบนี้ไปใช้แล้ว และชุดตรวจสอบนี้ได้ทดลองใช้ในบางพื้นที่ในประเทศลาว คาดว่ากระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยจะส่งไปใช้ในปริมาณมากในเร็ว ๆ นี้

ชุดตรวจสอบไอโอดีนชนิดขวดเดียว (I-Kit) นี้กำลังอยู่ระหว่างรอผลการพิจารณา
สิทธิบัตรไทย และกำลังยื่นขอสิทธิบัตรของประเทศออสเตรเลีย

เมื่อชุดตรวจสอบ I-Kit นี้ได้รับสิทธิบัตร และคาดว่าจะมีการร่วมมือกับผู้อื่น เช่น
องค์การเภสัชกรรมหรือบริษัทเอกชน เพื่อผลิตในจำนวนมาก อย่างไรก็ตามจะต้องมีการปรับปรุง
คุณภาพของชุดตรวจสอบนี้ให้ดีขึ้นและเหมาะสมกับสถานการณ์อยู่ตลอด ที่สำคัญจะต้องมีการ
ตีพิมพ์ผลงานวิจัยพื้นฐานที่นำไปสู่การทำชุดตรวจสอบนี้ในวารสารระดับนานาชาติ

การพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนามสำหรับตรวจสอบไอโอดีนใน Iodized salt (I-Kit)

พิมพ์ รื่นวงษา และ ภิญโญ พานิชพันธ์

ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระราม 6

กรุงเทพฯ 10400 โทร 2455195 โทรสาร 2480375

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

1. การให้มีเกลือเสริมไอโอดีนกระจายทั่วประเทศ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหาการขาดสารไอโอดีน ซึ่งประเทศไทยมีประชากร 15 ล้านคน ที่อยู่ในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน กระทรวงสาธารณสุขได้มีกฎกระทรวงเมื่อ 2537 ให้เกลือบริโภคต้องมีไอโอดีนอย่างน้อย 30 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม)

2. การสำรวจในปัจจุบันพบว่า เกลือเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่ยังมีปริมาณไอโอดีนต่างไปจากมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปัญหาการขาดสารไอโอดีนยังอยู่จนทุกวันนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธตรวจสอบไอโอดีนในเกลือได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ เพื่อควบคุมและประกันคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีน

3. ชุดตรวจสอบไอโอดีนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ก่อนหน้าที่จะมีชุดตรวจสอบ I-Kit ของคณะผู้วิจัย กระทรวงสาธารณสุขได้ใช้ชุดตรวจสอบที่ซื้อจากประเทศอินเดีย คือ MBI-Kit ซึ่งชุดตรวจสอบนี้มีคุณภาพไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้บนฉลาก และไม่สามารถใช้บอกได้ว่าเกลือมีไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ บอกได้เฉพาะว่าเกลือมีไอโอดีนหรือไม่

4. โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้ทำทดลองทำสูตรน้ำยาสำหรับภาคสนาม ซึ่งจะมีสูตรต่างกันในแต่ละชุดตรวจสอบแต่ละชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย แป้ง (starch) กรด ไอโอดีน และตัวเร่งอื่น ๆ โดยได้ทดลองใช้แป้งต่าง ๆ ชนิดที่หาซื้อได้ทั่วไป โดยแป้งเหล่านี้ได้นำมาดัดแปลงด้วยการรวีทางเคมีและชีวเคมีก่อนการใช้ เฉพาะแป้งบางชนิดกับการดัดแปลงบางอย่าง และ pH ที่เหมาะสมเท่านั้น จึงจะได้ผลดีในการให้ปฏิกิริยาเกิดสีที่ความเข้มข้นของสีจะแสดงความแตกต่างที่ชัดเจนตามปริมาณของไอโอดีนที่เพิ่มขึ้นจาก 0-100 ppm

5. งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดตรวจสอบไอโอดีน (ในรูปของไอโอดีน) ในเกลือขึ้นมา 3 ชนิด คือ ชนิดขวดเดียว ชนิดภาคลูก และชนิดแถบกระดาษ สำหรับชนิดขวดเดียวนั้นจะมีน้ำยาทุกอย่างสำหรับใช้ในการตรวจสอบผสมอยู่ในขวดเดียวกัน เมื่อหยดน้ำยานั้นบนเกลือที่มีไอโอดีน เกลือจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ในชุดตรวจสอบแบบภาคลูก จะมีการผสมเกลือกับน้ำยาจากขวดเดียวเช่นกันในภาคลูกให้เป็นสารละลายสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นเพิ่มตามปริมาณไอโอดีนในเกลือ ส่วนชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษจะเป็นกระดาษอาบน้ำยาที่ส่วนปลายของกระดาษ ซึ่งจะเกิด

เป็นสีน้ำเงินเมื่อจุ่มปลายกระดาษนี้ลงในสารละลายเกลือที่มีไอโอดีน ในชุดตรวจสอบทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถวัดปริมาณไอโอดีนในเกลือได้ในระดับ 0-100 ส่วนในล้านส่วน

6. เมื่อนำชุดตรวจสอบทั้ง 3 ชนิดนี้ ไปทดลองใช้ในภาคสนาม พบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความต้องการที่จะใช้ชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยวมากกว่าแถบกระดาษและมากกว่าแบบภาดหลุม ทั้งนี้เพราะชุดตรวจสอบแบบขวดเดี่ยวมีความสะดวกในการใช้มากกว่า ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้มุ่งไปทางพัฒนาชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยว ให้เหมาะกับการใช้งานจริง ทั้งด้านความแม่นยำ และความคงทน

7. งานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการคิดค้นชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือที่มีคุณสมบัติเหนือกว่าชุดตรวจสอบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน นับเป็นครั้งแรกที่มีการคิดค้นสูตรน้ำยาตรวจสอบไอโอดีนในเกลือชนิดขวดเดี่ยวสำหรับภาคสนามที่สามารถประมาณระดับไอโอดีนในเกลืออย่าง semiquantitative คือ สามารถแก้ไขปัญหาคือชุดตรวจสอบอื่นได้ สามารถใช้วัดปริมาณไอโอดีน (ในรูปของไอโอดีน) ได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง ในช่วงความเข้มข้น 0-100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งเกลือเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่จะมีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วงนี้ ทั้ง ๆ ที่ค่าตามมาตรฐานควรอยู่ระหว่าง 30-50 ppm

8. ชุดตรวจสอบนี้ นอกจากจะบอกได้ว่าเกลือมีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่ ยังสามารถบอกถึงปริมาณและความเข้มข้นของไอโอดีนในเกลือที่ทดสอบได้โดยประมาณ โดยดูจากสีที่เกิดขึ้นจากการผสมน้ำยาตรวจสอบกับเกลือเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นทันทีที่มีความคงตัวไม่ต่ำกว่าหนึ่งชั่วโมง ไม่จางหายไป ทำให้การอ่านค่าของปริมาณไอโอดีนเทียบกับแถบสีที่เหมือนของจริงมีความผิดพลาดน้อย

9. ชุดตรวจสอบที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีความรวดเร็วเท่าของผู้อื่น ๆ และยังมีสิ่งที่ช่วยเสริมคุณภาพของการตรวจสอบ กล่าวคือ นอกจากจะเป็นน้ำยาขวดเดี่ยว ยังเป็นชุดแรกที่มีอุปกรณ์ที่ช่วยในการตรวจสอบมาพร้อมกัน คือ แผ่นพลาสติกผิวด้านซึ่งเป็นผิวสำหรับให้เกลือทำปฏิกิริยากับน้ำยา และสามารถผสมให้เป็นวงกว้างเท่าที่ต้องการได้ และมีขวดหยดสารละลายที่มีขนาดหยดพอเหมาะกับข้อดักเกลือเพื่อกำหนดสัดส่วนระหว่างปริมาณเกลือกับน้ำยา ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้การวัดปริมาณไอโอดีนมีความแม่นยำมากกว่าวิธีอื่นที่ใช้ปริมาณเกลือที่ไม่แน่นอน และทำให้เป็นชุดที่สมบูรณ์แบบ ใช้ได้ทันทีในทุกสถานที่ เพียงมีตัวอย่างเกลือก็วัดได้แล้ว ไม่ต้องการของอื่นเพิ่มเติม

10. เนื่องจากสูตรน้ำยาที่คิดค้นขึ้นมานี้มีความคงทนต่อการสัมผัสกับอากาศที่ถ่ายเทได้ จึงสามารถบรรจุในขวดหยดที่เจาะรูไว้ก่อนแล้วได้ ไม่จำเป็นต้องใส่ขวดที่ปิดหมด แล้วเจาะรูเมื่อใช้ เหมือนชุดจากต่างประเทศ ซึ่งนอกจากจะสะดวกกว่า ยังควบคุมขนาดหยดได้ อันส่งผลให้การทดสอบมีความแม่นยำมากขึ้น

11. ชุดตรวจสอบนี้มาพร้อมกับแถบเทียบสีมาตรฐานที่ทำขึ้นจากรูปถ่ายของสิ่งที่เกิดขึ้นจริง มีทั้งพื้นสีและเม็ดสีเหมือนของจริงทุกประการ ไม่ได้แสดงเป็นแถบสีเพียงอย่างเดียวเหมือนชุดตรวจสอบอื่น ๆ ซึ่งทำให้อ่านปริมาณไอโอดีนได้ง่ายและแม่นยำ

12. น้ำยาสูตรขวดเดียวนี้มีโอกาสเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้อยมาก และจากการทดสอบความคงทนภายใต้สภาวะต่าง ๆ น้ำยาสามารถใช้งานได้อย่างเหมือนเดิม เป็นเวลาอย่างน้อย 18 เดือน และน้ำยาคงสภาพ และคงคุณสมบัติในการทดสอบหลังจากเก็บรักษา ชนส่ง และใช้ใน ช่วงอุณหภูมิของทุกฤดูกาลในเขตต่าง ๆ ของโลกโดยส่วนใหญ่

13. การวิจัยนี้ได้มีการทดสอบความแม่นยำถูกต้องของค่า ppm ไอโอดีน ที่อ่านได้จากชุดตรวจสอบ I-Kit ที่พัฒนาขึ้นมาเทียบกับค่าจริงที่จะหาได้จากวิธีการมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธี titration นอกจากนี้ยังได้เทียบกับวิธีการทาง spectrophotometry ด้วย ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกันมากมีค่า correlation coefficient ระดับ 0.9 จึงทำให้แน่ใจได้ว่าชุดตรวจสอบ I-Kit มีประสิทธิภาพในการวัดค่าไอโอดีนได้อย่างถูกต้อง

14. ได้มีการทดลองในห้องปฏิบัติการที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ I-Kit จากงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพเหนือกว่าชุดตรวจสอบ MBI-Kit โดยเฉพาะความแม่นยำในการอ่านปริมาณไอโอดีน (ดูตารางหน้า x) ต่อหน้าเจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข เจ้าหน้าที่ยูนิเซฟ (ประเทศไทย) และผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการจากองค์กรที่ควบคุมปัญหาโรคขาดสารไอโอดีนของโลก ICCIDD (International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders) และได้มีการทดลองในภาคสนามพร้อมกับเจ้าหน้าที่ของยูนิเซฟ (ประเทศไทย)

15. การวิจัยภาคสนามนี้มีทั้งไปทดสอบเองในโรงงานเกลือ เก็บตัวอย่างเกลือมาวิเคราะห์ ทั้งเกลือจากร้านค้า และครัวเรือน รวมทั้งจัดแสดงนิทรรศการ และเก็บแบบสอบถามจากผู้มาทดลองใช้ชุดตรวจสอบ นอกจากนี้ได้มีการมอบชุดตรวจสอบให้แก่สาธารณสุขจังหวัดต่าง ๆ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในโครงการไอโอดีนได้ใช้แทนชุดตรวจสอบ MBI-Kit ที่เคยใช้กันอยู่

16. จากการวิเคราะห์แบบสอบถามที่ส่งกลับมา ผลการวิเคราะห์ พบว่ามากกว่า 95% ของผู้ใช้พบว่า การอ่านและทำตาม “วิธีการใช้” ง่ายมาก และและมากกว่า 90% ตอบว่าชุดตรวจสอบที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในทุกสถานที่ แต่ยังมีปัญหาบ้างในการอ่านปริมาณไอโอดีน โดยการเทียบสีกับแผ่นสีมาตรฐาน โดยเฉพาะในการแยกระหว่างเกลือที่มีไอโอดีนช่วงระหว่าง 50 และ 100 ppm ซึ่งปัญหานี้จะลดลงไปถ้าผู้ใช้ได้รับการฝึกการใช้อย่างถูกวิธี และยังมีปัญหาบ้างถ้าใช้ตรวจสอบเกลือเม็ดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยได้เขียนไว้ในวิธีใช้แล้วว่าให้บดเกลือให้ละเอียดก่อนทดสอบ

17. ชุดตรวจสอบ I-Kit จะมีประโยชน์มากสำหรับโรงงานเกลือ ใช้ตรวจสอบและประกันคุณภาพของเกลือจากโรงงานและแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนทั่วประเทศไทยว่ามีปริมาณไอโอดีนในทุกชุดและรุ่นของเกลือที่ผลิตเป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งปัจจุบันพบว่าโรงงานส่วนใหญ่มีการผสมเกลือกับไอโอดีนยังไม่สม่ำเสมอทำให้เกลือไม่ได้มาตรฐาน ผู้ผลิตเกลือสามารถใช้ I-Kit ตรวจสอบกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ของตนได้อย่างสะดวก และทราบได้ทันทีว่ากระบวนการผสมเกลือกับไอโอดีนมีความสม่ำเสมอและได้มาตรฐานเพียงใด โดยที่ถ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเองก็เสียเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 40-50 สตางค์ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง หรือประมาณ 50-60 บาท ต่อ 1 เดือน สำหรับโรงงานที่ผลิตเกลือเดือนละ 16-20 ตัน)

18. ชุดตรวจสอบ I-Kit จะใช้สำหรับผู้บริโภคปลายทาง เจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุขอนามัยจังหวัด ศูนย์สาธารณสุขมูลฐาน อาสาสมัครหมู่บ้าน ผู้ใหญ่บ้าน ครู โรงเรียน ฯลฯ ใช้ตรวจสอบเกลือที่ใช้ในท้องถิ่นว่ามีปริมาณไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อโรคขาดสารไอโอดีน จำนวนที่ต้องการใช้อย่างต่ำปีละ 2 แสนชุด

19. คณะผู้วิจัยได้รับความร่วมมืออย่างดีจากหน่วยงานหลายแห่งในกระทรวงสาธารณสุขทำการทดลองใช้ในภาคสนาม และปรับปรุงแก้ไขจนได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ ทำให้มีความมั่นใจว่าสามารถนำไปใช้ได้แพร่หลายอย่างกว้างขวาง ทั้งภายในประเทศและในภูมิภาคอื่น ๆ ของโลกต่อไป ซึ่งขณะนี้ได้ใช้แล้วในโรงงานเกลือ และแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในกรุงเทพฯ และในต่างจังหวัด ประมาณ 100 แห่ง และได้ใช้ในสถานอนามัยอำเภอไปประมาณ 10 จังหวัดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีน และองค์กรเพื่อสาธารณประโยชน์ประเทศเขมรได้ส่งไปทดลองใช้แล้ว 2 ครั้ง

20. ขณะนี้ชุดตรวจสอบ I-Kit กำลังอยู่ระหว่างรอผลการพิจารณาสิทธิบัตรไทยและกำลังยื่นขอสิทธิบัตรออสเตรเลีย เมื่อ I-Kit ได้รับสิทธิบัตร คาดว่าจะมีการร่วมมือกับผู้อื่นซึ่งอาจเป็นองค์การเภสัชกรรมหรือภาคเอกชน เพื่อผลิตเป็นจำนวนมาก

การเปรียบเทียบระหว่างชุดตรวจสอบ I-Kit และ MBI-Kit

เปรียบเทียบลักษณะการใช้และคุณภาพ	I-Kit	MBI-Kit
ลักษณะชุดตรวจสอบ ● น้ำยาตรวจสอบ ● อุปกรณ์ประกอบ ● แผ่นสีมาตรฐาน	● เป็นชนิดขวดเดี่ยว ● มีช่องและแผ่นพลาสติก ● ทำขึ้นจากรูปถ่ายจริง มีทั้งพื้นสีและเม็ดเงิน	● เป็นชนิดขวดเดี่ยว ● ไม่มีอุปกรณ์ประกอบ ● เป็นแถบสีที่ทำขึ้นเอง
การใช้ชุดตรวจสอบ ● วิธีการใช้ ● ความระมัดระวังในการใช้ ● ปริมาณเกล็ดที่ใช้ ● ปริมาณน้ำยา ● สีที่เกิดขึ้น	● เป็น spot test หยดน้ำยาบนเกล็ด ● ต้องทำตามวิธีการใช้อย่างตั้งใจ ● กำหนดโดยช่องที่ให้มา (~ 0.1 กรัม) ● 3 หยด จากขวดที่เจาะรูแล้ว เพื่อควบคุมขนาดที่หยด ● เป็นสีน้ำเงินที่เหมือนกับแผ่นสีมาตรฐานที่ให้มา	● เป็น speot test หยดน้ำยาบนเกล็ด ● ไม่ต้องระวัง มากนัก ● ไม่แน่นอน ใช้ช่องที่ไม่ได้ระบุขนาดตกเกล็ด ● 1-2 หยด จากขวดที่ผู้ใช้เจาะรูเอง ● เป็นสีม่วง ซึ่งเป็นคนละสีกับแถบสีเทา -> น้ำเงิน ที่ให้มา
คุณภาพของชุดตรวจสอบ ● การอ่านปริมาณไอโอเดท ● ความคงตัวของสีที่เกิดขึ้น ● การเพิ่มความเข้มตามปริมาณไอโอเดท 0-100 ppm ● ความถูกต้องในการอ่านค่าไอโอเดท ● ทดสอบว่าเกล็ดมีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่ ● ความคงทนต่อสภาพการใช้และเก็บรักษาในประเทศไทย ● ความคงทนด้านการเก็บรักษาและการใช้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	● อ่านได้อย่าง semi-quantitative ในระดับ 0-100 ppm ● ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างน้อย 1 ชม. และไม่จางหายไปถึงแม้จะทิ้งไว้ทั้งวัน ● สีน้ำเงินจะเข้มข้นตามปริมาณไอโอเดทอย่างชัดเจน สามารถประมาณค่าไอโอเดทได้ ● มีความถูกต้องพอควร ยกเว้นในช่วง 50-100 ppm ที่จะประมาณค่าได้ยากสำหรับผู้ที่ไม่ชำนาญ ● ทดสอบได้อย่างถูกต้อง ● อย่างน้อย 18 เดือน ในขวดที่เจาะรูเปิดไว้แล้ว ● คงทนที่อุณหภูมิ 0 ° -45 ° C	● ไม่สามารถอ่านปริมาณไอโอเดทได้ บอกได้เพียงแต่มีหรือไม่มี ● เปลี่ยนสีเป็นน้ำตาลปนเหลืองในเวลาสั้น ประมาณ 10 นาที โดยเฉพาะในเกล็ดมีไอโอเดทสูง สีจะจางหายไป ● ไม่ชัดเจน สีจะคล้ายกันมากโดยเฉพาะ ระหว่าง 20-100 ppm ไม่สามารถประมาณค่าไอโอเดทได้ ● ไม่มีความถูกต้องในทุกช่วง ppm ใช้ได้เพียงเพื่อบอกว่าเกล็ดมีไอโอดีนหรือไม่ ● ไม่สามารถทำได้ ● 6 เดือน หลังจากเปิดใช้ (แต่คุณภาพก็ไม่เป็นตามฉลากในวันแรกที่เปิดใช้) ● เสื่อมสภาพเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Development of a Field Test Kit for Iodine in Iodated Salt (I-Kit)

Pintip Ruenwongsa and Bhinyo Panijpan

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Mahidol University,

Rama 6 Road, Bangkok 10400 Tel 2455195, Fax 2480375

Abstract

Iodine deficiency disorders (IDD) is still a significant health problem in Thailand, manifested most severely as mental deficiency. It affects Thai population in all regions of the Kingdom, especially, in the risk or endemic areas of the North and Northeast : countryside an estimated 15 million are at risk. The most serious problem in our view is the life-long cretinism afflicting children exposed to low iodine diets only for a short period in their infancy. Globally an estimated 5.7 million iodine-related cretins have been reported in addition to 26 million people with brain damage and a prevalence of 12 percent world population with goitre. Most countries in Asia, Eastern Mediterranean, Latin America and Africa have high prevalence of IDD cases.

The natural root cause of IDD is the inadequate consumption of iodine present in the relatively expensive or locally inaccessible seafood ; contrary to general belief, marine salt and rock salt both contain equally inadequate concentration (at 2 to 5 ppm) of iodine for normal health. A sustained effort has been made by the Ministry of Public Health in rectifying the problem by legislating, in 1994, the supplementation of low-cost consumable salt with a minimum of 30 ppm iodate and encouraging salt producers to consistently make such salt. However, a high percentage of salt sampled in the household and salt factories throughout Thailand showed by titration that iodine levels that deviate markedly from those recommended and thus partially prolonging the iodine problem. Thus, there was a need for a rapid and accurate determination of iodine in iodized salts. However, the kit available during that time did not give results that were quantitative enough to meet this need.

The Ministry of Public Health therefore needs an iodine test kit that is sensitive, rapid and easy to use by salt manufacturers and local people in the affected areas to assure that the iodized salt contains approximately 30-50 ppm iodine. Our research and development efforts at first concentrated on developing 2 types of iodine test kit, i.e., single-bottled kit and paper kit. The single-bottled kit contained all ingredients necessary

for the test of iodate in one bottle and gave blue color upon addition of a few drops of the solution onto the solid salt containing iodate. In the use of paper kit, paper strips coated with all necessary reagents were dipped in the tested salt solution. The blue color developed in both cases were converted to the amount of iodine by comparison to the standard color chart. The sensitivity of detection of both methods was in the range of 0-100 ppm iodine. However, preliminary results from field study and questionnaires indicated that users preferred to use the single-bottled kit rather than paper kit. Thus we focused on further development of the single-bottled kit, and have achieved a rapid, convenient and accurate detection of iodate in iodized salt.

Our single-bottled I-Kit has provided a means for a rapid and simple semi-quantitative monitoring of salt samples. With this kit, quality assurance of salt batches can be performed by the health workers and factory operators, and corrective actions on non-standard commercial salt samples can be taken by both almost instantly. Extensive field works have been performed by supplying a large number of I-Kits to more than 100 salt factories and MOPH health centers in about 20 provinces in risk areas in North, Northeast and the Central and Western regions. Factory operators and health officers have been instructed personally by us and/or trained health officers and by using our video-tapes on how to use the I-Kit. Our I-Kit proves to be superior to the other most internationally utilized single-bottled kit, which is incapable of giving semi-quantitative estimates of iodate in salt samples. The colors developed in this imported kit do not match those given on the color chart. Besides their intensity is not proportional to the iodate content and can even be misleading because the color fades disproportionately at time more than 15 min. Our reagent can generate colors that match those on the color chart and the color does not fade until the tested spots are totally dry about 1/2 - 1 hr after the reagents is dropped on the salt sample. Our reagent can also keep longer under wider weather condition(s) without undue amounts of toxic fungal growth inhibitors added as in other kits. Thus far returned questionnaires on its usage and field follow-ups by us have been very encouraging.

HRH Princess Mahachakri Sirindhorn has graciously distributed our test kits to the Thai Border Patrol Police all over the Kingdom for the purpose of iodine monitoring with the help of the Royal Thai Army Medical Corp. A non-governmental organization in Cambodia has asked for and been provided the I-Kit for the purposes stated above. Some Laotian health officers have been given this kit. A big lot order by the MOPH is being considered.

A Thailand patent for the I-Kit is now pending. An Australian patent is being sought. If and when the I-Kit successfully emerges from pending, a large scale production in collaboration with the Thai Government Pharmaceutical Organization will be considered. Continual improvements are part and parcel of this endeavour. Last but not least, the basic research data leading to the kit's development will be published in an international journal.

Development of a Field Test-Kit for Iodate in Iodized Salt (I-Kit)

Pintip Ruenwongsa and Bhinyo Panijpan

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Mahidol University,

Rama 6 Road, Bangkok 10400 Tel 2455195, Fax 2480375

Executive Summary

1. Distribution of iodine-supplemented salt is one of the most effective measures against iodine deficiency syndroms (IDD) : an estimated 15 million Thai people are in the IDD risk areas.

2. A recent survey shows a high percentage of salt sampled in several regions having iodine levels that deviate markedly from those recommended by MOPH and the iodine problem is prolonged as a result. Therefore there is a need for a test kit that offers rapid and semi-quantitative estimate of iodine in salt samples.

3. The commonly used kits are still imported from India (MBI-Kit). The quality of this kit is not as stated by its manufacturer and cannot be used to evaluate whether salt samples are upto standards or not.

4. This research and development work has innovated a single-bottled working reagent composed of starch, iodide, acid and catalyst. Starch obtained locally was modified before use. Optimal conditions and ratios of chemical components produce a superior reagent that makes possible a semi-quantitative estimation of iodine content in salt samples.

5. Our research and development efforts at first focused on developing 3 types of iodine test kit, i.e., single-bottled kit, titer-plate kit and paper kit. The single-bottled kit's solution contained all ingredients necessary for the iodate test and gave blue color upon addition of a few drops of it onto solid salt containing iodate. For the titer-plate kit, about 1 ml of working solution was used to dissolve and develop color with measured amounts of solid salt in the wells of the plate. In the paper kit, the paper strip coated with all essential chemicals was dipped into the test salt solution and the blue color appeared on the paper. In all cases the blue color developed was converted into the amount of iodine by comparison to the standard color chart, with the sensitivity of detection of 0-100 ppm iodine.

6. Preliminary results from field study and returned questionnaires indicated that users prefer to use the single-bottled kit rather than the paper kit and/or titer-plate kit. Thus, we concentrated on further development of a single-bottled kit and have achieved a rapid, convenient and accurate detection of iodate in iodized salt.

7. This is the first single-bottled kit developed in Thailand. It can solve the problems of unreliability of the commonly used kit in Thailand and elsewhere in terms of quantitation of iodate. The newly developed kit can in fact determine iodate semi-quantitatively from 0-100 ppm iodine with high reliability ; most iodized salt sampled has been found to contain iodate in this wider range instead of the recommended values of 30-50 ppm iodine.

8. An important aspect of the I-Kit reagent is color stability of the reaction mixture. The blue color generated by the reagent is stable for at least one hour without fading and thus offering more reliability in determination, especially, in dealing with a large number of samples. The MBI-Kit reagent yields color that fades within 10-15 min.

9. The I-Kit has integrated various accessories to facilitate consistency of detection, for example, a plastic plate capable of spreading salt slurry to the required size, a spoon with appropriate dimensions to provide scooped salt just right for the amount of reagent dispensed from the already pierced bottle opening. Therefore, the I-Kit can be used instantly in all places without any extra facilities.

10. Owing to stability of our working reagent to air oxidation, it can thus be kept in screw-capped bottle with ready-made opening capable of delivering consistently identical liquid drops : the bottle does not have to be pin-pricked before use as in the case of MBI-Kit. This means that our bottle's uniform opening makes for easier use and more uniform drop size resulting in higher consistency.

11. The standard color chart is made from real photographs with actual color and grain (not from artificially produced color as in other kits). Thus, the amount of iodate can be estimated more easily and reliably.

12. The I-Kit's reagent in a packed bottle can be kept and used for at least 18 months under normal storage, handling and transport conditions. The other kit has to be used within 6 months after opening. Our reagent can also keep longer under wide weather condition(s) without undue amounts of toxic fungal growth inhibitors added.

13. The precision of I-Kit in estimating iodine content was evaluated by comparing with values obtained from titration and spectrophotometric methods. These values fell within a rather narrow range with correlation coefficient of about 0.9, reflecting the reliability of I-Kit.

14. Comparison of I-Kit and MBI-Kit for their reliability and efficacy in estimating iodine content in salt samples was done in our laboratory (see table on page xviii) in the presence of personnel from MOPH, UNICEF (Thailand) and technical specialists from ICCIDD. However, the color developed by the MBI-Kit did not match that given on the color chart. Besides, their intensity was not proportional to the iodate content and could even be misleading due to color fading disproportionately at time longer than 15 minutes. As stated previously, our reagent could generate color and intensity that matched those on the color chart and did not fade for at least 1 h.

15. Field studies of I-Kit were extensively performed in salt factories and MOPH health centers in about 10 provinces in risk areas especially in the North and Northeast. A large number of test kits was also given to several provincial health centers to be used instead of MBI-Kit. In addition, the I-Kit has been put on exhibition several times and filled questionnaires have been collected.

16. Analysis of questionnaires on the I-Kit's usage has yielded very encouraging facts. More than 90% of users found that "reading and following the instructions" is very easy and the test kit is suitable for use in all places. However, there are some problems in estimating iodine content by the untrained and uninitiated, especially from 50-100 ppm. This problem lessens with experience and training. In addition, it is also inconvenient for use with large-grained salt. This problem can be overcome by first grinding salt grains, however.

17. The test kit has proved beneficial to salt manufacturers who find it difficult to consistently produce the salt at the recommended concentration of iodate. With I-Kit, quality assurance of salt batches can be performed by the factory operators and corrective actions on non-standard salt samples can be taken instantly. The cost is about 0.4-0.5 baht per test or less than 100 baht/month for factory capable of producing 16-20 tons iodized salt per month.

18. I-Kit is also beneficial to personnel of provincial health centers and health volunteers in ascertaining whether iodized salt contains the recommended value of iodate or not. This is important in the risk areas of iodine deficiency.

19. This kit has been endorsed by several divisions of MOPH and other agencies especially for extensive field works. Improvements of the kit have been made according to their suggestions. This I-Kit has great potential to help facilitate both Thai and international public health communities fight against iodine deficiency disorders. It has now been used in about 100 salt factories all over the country and in some health centers in IDD risk areas. An NGO from Cambodia also use I-Kit in their project on iodized salt.

20. A Thailand patent for the I-Kit is now pending. An Australian Patent is being sought. When and if the I-Kit successfully emerges from pending, a large scale production in collaboration with an appointed agency will be considered. Continual improvements are part and parcel of this endeavour.

Comparison between I-Kit and MBI-Kit

Features of Kit	I-Kit	MBI-Kit
Components of Kit ● working solution ● accessories ● standard color chart	● in a single bottle ● spoon and plastic plate ● made from real photographs showing actual color and grain	● in a single bottle ● none ● made from artificial standard color
Use of Kit ● method ● care needed in using kit ● quantity of salt ● quantity of working solution ● color after mixing salt with working solution	● spot test ● need to follow instructions closely ● ~ 0.1 g as fixed by spoon provided ● 3 drops, quantity fixed by ready-made bottle opening ● blue color as on standard color chart	● spot test ● no need to follow instructions closely ● not fixed, 1-2 scoops from any spoon ● 1-2 drops, bottle opening made by piercing before use ● purple color not corresponding with colors on the chart given (grey to blue)
Quality of Kit ● determination of iodate in salt ● stability of color ● reliability in estimation of iodate content ● quality assurance and control of iodated salt samples ● storage and transport stability at ambient temperature in Thailand ● stability to storage and use at other temperatures	● semi-quantitative estimation of iodate at 0-100 ppm possible ● no change of color and intensity for at least one hour ● high reliability for 0-50 ppm but lower reliability for 50-100 ppm ● can be done with high reliability and consistency ● stable for at least 18 months after first usage ● stable at 0° -45° C	● semi-quantitative estimation of iodate content not generally possible ● color fading within 10 min, especially in salt containing high iodate ● no reliability for the range 0-100 ppm ● cannot be done ● 6 months after opening the bottle (but quality is not as indicated as on first day after opening) ● not stable at very low temperature

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ชุดตรวจสอบมีการใช้จริงอย่างแพร่หลาย

1. ได้มีการทูลเกล้าฯ ถวายชุดตรวจสอบจำนวน 500 ชุด แต่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อทรงใช้แจกจ่ายในโครงการส่วนพระองค์ในเรื่องเกลือผสมไอโอดีนตามพระราชอัธยาศัย คือ โรงเรียนตำรวจชายแดนทั่วประเทศ เมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2540
2. ขณะนี้ชุดตรวจสอบนี้ได้มีการใช้จริงในโรงงานเกลือ โดยการสนับสนุนของกระทรวงสาธารณสุขเพื่อควบคุมคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนในโรงงานและแหล่งผลิตเกลือประมาณกว่า 100 แห่ง ทั่วประเทศไทย และในบางแห่งได้มีการประเมินผลแล้วว่าเกลือมีไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานมากขึ้นหลังจากใช้ชุดทดสอบ I-Kit
3. ขณะนี้ได้มีการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit นี้จริง โดยเจ้าหน้าที่สถานีอนามัยอำเภอและสถานีอนามัยตำบลทุกแห่งในประมาณ 10 จังหวัดในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีปัญหามากเรื่องขาดสารไอโอดีน (แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ น่าน เลย มหาสารคาม อุตรดิตถ์ สกลนคร) เพื่อใช้ตรวจปริมาณไอโอดีนในเกลือตามร้านค้าและเกลือที่เข้ามาจากจังหวัดอื่น ๆ และจะมีการใช้เพิ่มขึ้นอีกเรื่อย ๆ จนทั่วประเทศในปีหน้า
4. ได้มีการผลิตชุด I-Kit ในราคาต้นทุนไปแล้วจำนวน 4,000 ชุด เพื่อใส่ไว้ในกระเป๋าอาสาสมัครหมู่บ้านพร้อมอุปกรณ์และชุดตรวจสอบต่าง ๆ ให้แก่กระทรวงสาธารณสุขในปี 2540
5. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้สั่ง I-Kit จำนวน 10,000 ชุด เพื่อนำไปใช้ในโครงการสำรวจความครอบคลุมการใช้เกลือเสริมไอโอดีนระดับครัวเรือนทั่วประเทศและแจกจ่ายให้แก่สาธารณสุขจังหวัดต่าง ๆ ในกรกฎาคม 2541 และคาดว่าจะสั่งซื้ออีกเพื่อใช้แทนชุดตรวจสอบซึ่งเดิมซื้อจากต่างประเทศสำหรับใช้ในโรงงานเกลือและสถานีอนามัยอำเภอทั่วประเทศในปีงบประมาณ 2542
6. องค์กร NGO จากประเทศเขมรได้สั่งไปใช้ 2 ครั้ง ๆ ละ 100 ชุด เพื่อใช้ตรวจสอบไอโอดีนในเกลือในประเทศเขมรในเบื้องต้น และคาดว่าจะมีการสั่งต่อไปอีก

การเผยแพร่ในการแสดงนิทรรศการ

1. นิทรรศการวันสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 18-20 สิงหาคม 2540
ศาลาพระเกี้ยว จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ (องคมนตรีได้ไปเยี่ยมชมบูท)
2. นิทรรศการ "ตลาดนัดเทคโนโลยี ครั้งที่ 2" 18-24 สิงหาคม 2540
ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ (องคมนตรีได้ไปเยี่ยมชมบูท)
3. นิทรรศการ "Research 97" ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 วันที่ 20-22 ตุลาคม 2540
(รณว.กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน ได้ไปเยี่ยมชมบูท)

การเผยแพร่โดยการทำวิดิทัศน์

โดยการสนับสนุนของ สกว. ได้มีการทำวิดิทัศน์เกี่ยวกับ การผลิตและการใช้ชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือ โดยมีความยาว 12 นาที เพื่อมอบให้แก่กระทรวงสาธารณสุข และใช้ในการแสดงนิทรรศการ รวมทั้งได้มีการทูลเกล้าฯ ถวายวิดิทัศน์นี้ จำนวน 5 ชุด แต่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2540

การเผยแพร่ผ่านสื่อมวลชน

1. บทความในหนังสือพิมพ์ Bangkok Post วันที่ 10 สิงหาคม 2540
2. บทความในหนังสือพิมพ์ ไทยรัฐ วันที่ 15 สิงหาคม 2540
3. บทความในหนังสือพิมพ์ข่าวพาณิชย์ วันที่ 19-25 สิงหาคม 2540
4. การพูดออกรายการวิทยุ "กองทัพพบปะประชาชน" วันที่ 20 มกราคม 2540
5. การพูดออกรายการวิทยุ "กระจายเสียงแห่งประเทศไทย" วันที่ 15 สิงหาคม 2540
6. การพูดออกรายการวิทยุ "ศึกษา" วันที่ 2 ตุลาคม 2540
7. การออกรายการโทรทัศน์เรื่อง ชุดตรวจสอบไอโอดีน ในรายการชุดสารคดีที่จัดทำโดย สกว. คือ "รายการรากแก้วแห่งปัญญา" วันที่ 2 เมษายน 2541

สิ่งตีพิมพ์

1. Bhinyo Panijpan, Pintip Ruenwongsa, Tuangporn Suthiphongchai and Nattaya Tangthawornchaikul. A Rapid and Accuarate Multi-Sample Determination of Iodate in Iodized Salt by Spectrophotometry, Abstract, 22nd Congress on Science and technology of Thailand, October 16-18, Bangkok, Thailand, 1996.
2. Pintip Ruenwongsa, Bhinyo Panijpan, Tuangporn Suthipongchai, Ladda Nitisaporn, 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.

3. 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.
4. 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.
5. สิทธิบัตรไทย “ชุดตรวจสอบปริมาณไอโอเดทในเกลือในภาคสนาม (I-Kit)” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ประดิษฐ์โดย พินทิพ รื่นวงษา และ ภิญโญ พานิชพันธ์, 2540 อยู่ระหว่างรอผลการพิจารณาขอรับสิทธิบัตร
6. Australian Patent. The Thailand Research Fund. Invented by P.Ruenwongsa and B. Panijpan. “Means and Mehtod for Estimating Iodate Concentration” (Submitted)

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
คำนำ	ii
บทคัดย่อ	iii
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	vi
ABSTRACT	xi
EXECUTIVE SUMMARY	xiv
การเผยแพร่งานวิจัย	xix
สารบัญ	xxii
สารบัญตารางของเนื้อเรื่อง	xxv
สารบัญรูป	xxvi
1 บทนำ	1
1.1 ภาวะการขาดสารไอโอดีน	1
1.2 การควบคุมภาวะการขาดสารไอโอดีน	2
1.3 สาเหตุการขาดสารไอโอดีนและการแก้ไข	3
1.4 เกล็ดเสริมไอโอดีน	5
1.5 วิธีวิเคราะห์ไอโอดีนและไอโอเดท	6
1.6 ประเด็นปัญหาที่นำไปสู่การวิจัยเพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบ ไอโอเดทในเกล็ด	7
1.7 ข้อเสนอการวิจัย	10
2 วิธีการวิจัย	11
2.1 หลักการที่ใช้	11
2.2 ศึกษาถึงสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่จะพัฒนาน้ำยาตรวจสอบไอโอเดท	11
2.3 การศึกษาระดับความไวของปฏิกิริยา	12
2.4 การทดลองทำชุดตรวจสอบในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทดลองใช้	13
2.5 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบเบื้องต้นในภาคสนาม	14
2.6 การปรับปรุงและพัฒนาชุดตรวจสอบจากการประเมินผล	14
2.7 การศึกษาถึงความคงตัวของชุดตรวจสอบแบบต่าง ๆ	15
2.8 การศึกษาถึงความแม่นยำของชุดตรวจสอบภาคสนาม	15
2.9 การประเมินความแม่นยำและถูกต้องระหว่างน้ำยาที่ผลิตในหลายรุ่น	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 ผลการวิจัย	16
3.1 สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดสอบปริมาณเกลือไอโอดีน	16
3.1.1 ชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้	16
3.1.2 ชนิดและความเข้มข้นของกรดที่ใช้	16
3.1.3 pH ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.1.4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวแปรอื่น ๆ	17
3.1.4.1 ผลจากปริมาณไอโอดีน	17
3.1.4.2 ผลจากปริมาณโซเดียมคลอไรด์	17
3.2 ระดับของความไวของปฏิกิริยา	17
3.3 การวัดปริมาณไอโอดีน (ในรูป ppm ไอโอดีน) ในเกลือบริโภคในท้องตลาด	19
3.4 ทดสอบความเหมาะสมของวัสดุและน้ำยาเพื่อการพัฒนาชุดตรวจสอบ	20
3.4.1 ชุดตรวจสอบไอโอดีนแบบขวดเดี่ยว (single-bottled Kit) แบบใช้หยดบนเกลือ	20
3.4.2 ชุดตรวจสอบแบบภาตหลุม	22
3.4.3 ชุดตรวจสอบไอโอดีนชนิดแถบกระดาษ	24
3.5 การผลิตชุดตรวจสอบเพื่อทดลองใช้ในชั้นต้นในภาคสนาม	25
3.5.1 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบในงานนิทรรศการ	25
3.5.2 การส่งชุดตรวจสอบให้บุคลากรในเป้าหมายพร้อมกับแบบสอบถาม	26
3.6 การปรับปรุงสูตรน้ำยาขวดเดี่ยว และกำหนดสัดส่วนระหว่างเกลือและน้ำยาเพื่อให้อ่านค่าไอโอดีนได้แม่นยำขึ้น	29
3.7 การทดสอบความคงตัวของชุดตรวจสอบแบบต่าง ๆ	30
3.7.1 ชุดตรวจสอบแบบขวดหยดชนิด single-bottled kit	30
3.7.2 ชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษ	31
3.7.3 ชุดตรวจสอบแบบภาตหลุม	33
3.8 การพัฒนาชุดตรวจสอบไอโอดีนชนิดขวดเดี่ยวสำหรับใช้ในภาคสนาม (I-Kit)	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ (I-Kit)	35
3.9.1 การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างชุดตรวจสอบ I-Kit ที่พัฒนาขึ้นมากับชุดตรวจสอบ MBI-Kit จากประเทศอินเดีย	35
3.9.2 การวิเคราะห์เกลือตัวอย่างที่เก็บจากกรุงเทพฯ และปริมณฑล	36
3.9.3 การใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ตรวจเกลือในจังหวัดที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีน	38
3.9.3.1 การใช้ชุดตรวจสอบ I-kit ที่จังหวัดเลย	38
3.9.3.2 การใช้ชุดตรวจสอบ I-kit ที่จังหวัดเชียงใหม่	39
3.9.3.3 การใช้ชุดตรวจสอบ I-kit ที่จังหวัดมหาสารคาม	40
3.9.4 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit ในโรงงานเกลือเสริมไอโอดีน	41
3.9.5 การวิเคราะห์แบบสอบถามหลังจากการทดลองใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit	42
3.10 การประเมินความแม่นยำของชุดตรวจสอบภาคสนาม โดยเทียบกับการวัดค่าที่แท้จริงทางห้องปฏิบัติการ	44
3.10.1 การใช้ชุด I-Kit โดยผู้มีประสบการณ์การใช้ชุดตรวจสอบ	44
3.10.2 การใช้ชุด I-Kit โดยบุคลากรทั่วไป	46
3.11 การประเมินความแม่นยำและถูกต้องระหว่างน้ำยาแต่ละ lot	47
4 ข้อสรุปและวิจารณ์	50
4.1 การวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการคิดค้นชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือในภาคสนามที่มีประสิทธิภาพ	50
4.2 ประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือได้มาจากสูตรน้ำยาสำเร็จรูปที่วิจัยได้	52
4.3 ประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบภาคสนามยังได้มาจากการออกแบบอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสม	53
4.4 ชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือ (I-Kit) ที่ผลิตขึ้นมีความแม่นยำในการอ่านไอโอดีน	54
4.5 คุณภาพของชุดตรวจสอบไอโอดีน I-Kit ที่เป็นผลผลิตจากงานวิจัยเหนือกว่าของชุดตรวจสอบที่ซื้อจากต่างประเทศ	55
4.6 ชุดตรวจสอบ I-Kit ใช้ได้ผลดีในภาคสนามและผลวิเคราะห์แบบสอบถามว่าผู้ใช้มีความพอใจในประสิทธิภาพ	58
4.7 ชุดตรวจสอบนี้ใช้ง่าย ประหยัด คงทน มีความสมบูรณ์ในตัวเองเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย และเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติ	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 เอกสารอ้างอิง	62

สารบัญตารางของเนื้อเรื่อง

ตารางที่

1	ความเข้มข้นของไอโอเดทที่หาได้จากการทดลองใน 5 กลุ่มของเกลือ	19
2	ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดียว ชนิดแถบกระดาษ และชนิดภาตหลุม ที่ได้จากการแสดงนิทรรศการ	27
3	ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดียว จากบุคลากรกลุ่มเป้าหมาย	28
4	ความคงทนของน้ำยาตรวจสอบไอโอเดทชนิดขวดเดียว ที่เวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง	31
5	รายงานการตรวจเกลือเสริมไอโอดีนโดยชุดตรวจสอบ I-Kit ที่จังหวัดเลย	38
6	รายงานการตรวจเกลือเสริมไอโอดีนโดย I-Kit จากตัวอย่างเกลือจาก ร้านค้าที่อยู่ในจังหวัดลำปาง ลำพูน เชียงใหม่ เชียงราย	39
7	รายงานการตรวจเกลือเสริมไอโอดีนโดย I-Kit จากตัวอย่างเกลือใน ครัวเรือนที่จังหวัดเชียงใหม่	39
8	การใช้ชุดตรวจสอบ I-kit วิเคราะห์ตัวอย่างเกลือที่สุ่มจากโรงงานเกลือ 10 แห่ง ที่จังหวัดมหาสารคาม	40
9	ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสำหรับชุดทดสอบชนิดขวดเดียว (I-Kit) ที่ได้จากการแสดงนิทรรศการ technomart และจากบุคลากรทาง สาธารณสุขที่ได้รับชุดตรวจสอบ และเจ้าของโรงงานเกลือ	43
10	ค่า ppm ไอโอดีนที่หาโดย I-Kit โดยผู้มาชมนิทรรศการเทียบกับค่า โดยวิธี spectrophotometry	46

สารบัญตารางของเนื้อเรื่อง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ค่า ppm ไอโอดีนที่หาได้โดย I-kit โดยบุคลากรของกระทรวงสาธารณสุข เทียบกับค่าโดยวิธี spectrophotometry	46
12	ค่า mean $\pm$ SD ของ ppm ไอโอดีน ของตัวอย่างเกลือ ที่วิเคราะห์โดยใช้น้ำยา 10 รุ่น	47
13	ค่า ppm ไอโอดีนในตัวอย่างเกลือ 6 ตัวอย่าง ที่หาโดยวิธี I-Kit, titration และ spectrophotometry	48

สารบัญรูป

รูปที่		
1	spectrum ของปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนและแป้งที่ 10-100 ppm ไอโอดีน	18
2	เส้นกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณไอโอดีน (ในรูปของไอโอดेट) ในเกลือ	18
3	สีที่ได้จากปฏิกิริยาทดสอบไอโอดेटโดยใช้ Kit จากบริษัท MBI ประเทศอินเดีย	21
4-ก	ชุดทดสอบแบบ single-bottled kit ที่มาพร้อมกับวิธีการใช้ และแถบสีมาตรฐาน (เป็นชุดที่ทดลอง ครั้งที่ 1)	21
4-ข	สีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาลงบนเกลือมาตรฐานที่มีไอโอดेटที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ กัน	21
5	รูปถ่ายของสีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลือบรีโกคียี่ห้อต่าง ๆ ที่ซื้อตามท้องตลาด	22
6	สีที่ได้จากปฏิกิริยาทดสอบไอโอดेटโดยชุดตรวจสอบชนิดถาดหลุม	23
7-ก	ชุดทดสอบแบบแถบกระดาษที่มาพร้อมกับวิธีการใช้และแถบสีมาตรฐาน	24
7-ข	การใช้ ชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษวัดปริมาณเกลือบรีโกคตาม ท้องตลาด	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
8	การหยดน้ำยาขวดเดียวบนเกลียวที่มีไอโอดีน 0-100 ppm ไอโอดีน ที่เวลา 2-30 นาที	29
9	สีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาที่เก็บไว้ในเวลาต่าง ๆ กันบนเกลียว 50 ppm ไอโอดีน	30
10	รูปกระดาดน้ำยาทดสอบไอโอดีนชนิดที่ 1 (ก) และชนิดที่ 2 (ข) หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง	32
11	ภาพแสดงถึง ชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลียวในภาคสนาม	34
12	เปรียบเทียบการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และ MBI-Kit	36
13	เกลียว 25 ยี่ห้อ ที่มีปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit	37
14	เกลียวยี่ห้อเดียวกันที่มีปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit	37
15	การใช้ชุดตรวจสอบวัด I-Kit ปริมาณไอโอดีนในเกลียวที่สุ่มตัวอย่างหลังจาก การผสม	41
16	correlation ระหว่าง ppm ไอโอดีน โดยวิธีใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และ วิธี titration	44
17	correlation ระหว่าง ppm ไอโอดีน โดยวิธีใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และ วิธี spectrophotometry	45
18	เปรียบเทียบค่า ppm ไอโอดีน ที่หาได้จากการใช้ I-Kit, titration และ spectrophotometry	49

1. บทนำ

1.1 ภาวะการขาดสารไอโอดีน

ปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญเรื่องหนึ่งของประเทศไทย คือ การขาดสารไอโอดีน (iodine deficiency disorders) ซึ่งปัญหานี้เกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ กล่าวคือ ไม่เพียงแต่จะพบมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ยังพบในจังหวัดภาคใต้ที่ติดทะเลบางแห่งในบริเวณที่ราบสูงติดเชิงเขา ในประเทศไทยมีประชากร 15 ล้านคนอยู่ในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีนใน 53 จังหวัด (1) ภาวะการขาดไอโอดีนจะมีอาการที่ปรากฏให้เห็นเป็นโรคคอหอยพอก เนื่องจากต่อมธัยรอยด์โตขึ้นเพราะต้องทำงานมากขึ้นเพื่อจับไอโอดีนมาสร้างฮอร์โมน thyroxine ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ร่างกายใช้ แต่ที่สำคัญกว่าอาการคอหอยพอก ภาวะขาดสารไอโอดีนทำให้เกิดสภาพ hypothyroidism เนื่องจากฮอร์โมน thyroxine มีไม่เพียงพอ ซึ่งจะส่งผลเสียทางการเจริญเติบโตทั้งทางสมองและร่างกาย ภาวะผิดปกตินี้เกิดได้ทุกช่วงอายุ เด็กในวัยเรียนจะมีสติปัญญาเชื่องช้าและด้อย และการเจริญเติบโตของร่างกายช้า ผู้ใหญ่ นอกจากมีลักษณะคอหอยพอก ยังมีอาการแสบแผ่ที่ทำให้การทำงานที่ต่าง ๆ ของร่างกายลดลง รวมทั้งทางด้านจิตใจ และสติปัญญา ทำให้สมรรถภาพในการทำงานลดลง ที่เป็นปัญหาสำคัญ คือ ถ้าหญิงวัยเจริญพันธุ์ขาดไอโอดีนจะยิ่งก่อให้เกิดปัญหามากขึ้น กล่าวคือ ทารกในครรภ์อาจแท้งหรือคลอดตาย อัตราตายของแม่ในการคลอดสูงขึ้น ทารกถ้ารอดชีวิตก็มักผิดปกติตั้งแต่กำเนิด การทำหน้าที่ของต่อมธัยรอยด์ต่ำกว่าปกติ มีโอกาสสูงที่จะเป็นโรค cretinism หรือที่เรียกว่าโรคเอ๋ ซึ่งมีสติปัญญาเสื่อม ไม่สามารถประกอบอาชีพได้ ซึ่งอาจเป็นชนิดประสาท หรือชนิด myxedema หรือในกรณีมีอาการเบาลงเป็นโรค cretinoids หรือที่เรียกว่าโรคเอ๋ ซึ่งเด็กที่เกิดมาผิดปกติเหล่านี้ไม่สามารถรักษาได้โดยการเสริมไอโอดีนเหมือนเด็กที่เพิ่มเริ่มเป็นคอหอยพอก ปัญหาการขาดสารไอโอดีนนี้ จะส่งผลทำให้การพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไม่สามารถก้าวหน้าไปได้เท่าที่ควร เพราะคุณภาพของประชากรส่วนหนึ่งได้สูญเสียไปดังกล่าว

ภาวะของการขาดสารไอโอดีน มิใช่เป็นปัญหาเฉพาะในประเทศไทยแต่เป็นปัญหาระดับโลก กล่าวคือ จากการสำรวจใน พ.ศ.2529 (2) พบว่าทั่วโลกมีคนเป็นคอหอยพอก 600-800 ล้านคน ที่พบมากคือประเทศจีน (300 ล้านคน) อินเดีย (200 ล้านคน) อัฟริกา (60 ล้านคน) อเมริกาใต้ (40 ล้านคน) คือ 12% ของประชากรทั่วโลกมีการคอหอยพอก (3) ในจำนวนนี้ 20 ล้านคนเป็นขั้นที่สมองเกิดอาการเสียหาย และ 5.7 ล้านคนมีสติปัญญาเสื่อมระดับ cretin ประเทศส่วนใหญ่ในเอเชีย เมดิเตอร์เรเนียนฝั่งตะวันออก ละตินอเมริกาและอัฟริกามีอัตราของโรคขาดสารไอโอดีนสูงมาก องค์การอนามัยโลกระบุว่าพื้นที่ใดที่มีอัตราคอหอยพอกของประชากรมากกว่าร้อยละ 10 ถือว่าเป็นปัญหาทางสาธารณสุข (4)

สถานภาพของการขาดสารไอโอดีนในประเทศไทยประเมินได้จากอัตราคอหอยพอกในกลุ่มเด็กนักเรียน และในบางแห่งก็มีการตรวจหาปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะประกอบไปด้วย ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างปัสสาวะมาตรวจในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังอาจตรวจภาวะ hypothyroidism ในทารกแรกเกิดได้จากการวัดระดับของ thyroxine และ thyroid stimulating hormone ในเลือดจากสายสะดือเด็กแรกเกิด กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ได้ประเมินเมื่อ พ.ศ.2531-2532 ว่าใน 90 อำเภอ ภาคเหนือมีประชากร 7.7 ล้านคนเป็นคอหอยพอก 1.3 ล้านคน เป็น cretinoids และ 4 แสนคนเป็น cretinism

จากรายงานการสำรวจของกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ใน พ.ศ.2536 (5) พบว่ามีประชากรใน 57 จังหวัดของทุกภาคของประเทศไทยเป็นโรคขาดสารไอโอดีน โดยพบอัตราคอหอยพอกเฉลี่ยในเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษา ร้อยละ 9.8 ถ้าแยกเป็นภาค พบว่าในภาคเหนือ (ทั้งหมด 17 จังหวัด) จังหวัดที่มีอัตราคอหอยพอกสูง 3 อันดับแรกคือ แม่ฮ่องสอน (35.62%) น่าน (24.01%) และอุตรดิตถ์ (20.32%) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (19 จังหวัด) พบว่าจังหวัดยโสธรมีอัตราคอหอยพอกเฉลี่ยร้อยละ 20.28 ในภาคกลาง (13 จังหวัด) พบว่าจังหวัดนครนายกมีอัตราคอหอยพอกเฉลี่ยร้อยละ 11.8 และภาคใต้ (8 จังหวัด) พบว่าจังหวัดกระบี่มีร้อยละ 14.5 แต่จากการสำรวจเมื่อ พ.ศ.2537, พ.ศ.2538, พ.ศ.2539 และ พ.ศ.2540 ในจำนวนจังหวัดที่เพิ่มขึ้นเป็น 75 จังหวัด พบว่าอัตราคอหอยพอกลดลงเป็น 7.9 %, 5.46%, 4.29% และ 3.32% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ถ้าสำรวจละเอียดไปถึงระดับหมู่บ้าน อัตราคอหอยพอกในบางแห่งจะสูงกว่านี้มาก บางหมู่บ้านมีอัตราคอหอยพอกสูงกว่าร้อยละ 20 โดยเฉพาะในพื้นที่ของบางจังหวัดในภาคเหนือ

1.2 การควบคุมภาวะการขาดสารไอโอดีน

การแก้ไขปัญหาการขาดสารไอโอดีนนั้นได้ทำมาเป็นเวลากว่า 30 ปีแล้ว โดยทางกระทรวงสาธารณสุข ได้เริ่มโครงการเสริมไอโอดีนในเกลือและน้ำดื่มให้แก่ประชากรในหลายพื้นที่โดยเฉพาะในภาคเหนือ อย่างไรก็ตาม การควบคุมโรคขาดสารไอโอดีนนั้นไม่ได้ผลไปสม่าเสมอ เช่น ที่จังหวัดแพร่ แม้ว่าจะเคยควบคุมได้ผลด้วยเกลือเสริมไอโอดีน ระหว่าง พ.ศ.2505-2511 แต่หลังจากนั้นอัตราคอหอยพอกก็เพิ่มขึ้นอีก ใน พ.ศ.2525 ทั้งนี้เพราะการดำเนินการควบคุมดังกล่าวทำได้ไม่ต่อเนื่องและไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเหตุดังกล่าวนี้ทำให้หลายพื้นที่ของประเทศไทยยังมีอัตราคอหอยพอกสูงอยู่จนกระทั่งปัจจุบันนี้

องค์กรต่างประเทศหลายแห่งได้เล็งเห็นว่าปัญหาขาดสารไอโอดีนเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของโลก เช่น องค์การอนามัยโลกถือว่าโรคขาดสารไอโอดีนเป็นนโยบายที่สำคัญในนโยบายสุขภาพดีถ้วนหน้าในพ.ศ.2543 และยูนิเซฟ ก็ถือว่าการควบคุมภาวะการขาดสารไอโอดีนเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญอันดับต้น ๆ และยูนิเซฟได้ทำความตกลงกับรัฐบาลไทยให้ลดอัตราคอหอยพอกในนักเรียนชั้นประถมศึกษาให้เหลือไม่เกินร้อยละ 5 ภายใน พ.ศ.2538 อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยได้เสนอแนะไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 7

(พ.ศ.2530-2539) ว่าจะลดอัตราโรคขาดสารไอโอดีนให้เหลือไม่เกินร้อยละ 10 ภายใน พ.ศ.2539 สถานภาพของการดำเนินการควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย คือ ได้สามารถลดอัตราคอหอยพอกเฉลี่ยในเด็กชั้นประถมศึกษาลงเหลือร้อยละ 15.3, 12.2, 9.8 ใน พ.ศ. 2534, 2535, 2536 ตามลำดับ (จากค่าเฉลี่ย 57 จังหวัด) ซึ่งเป็นไปตามแผนฯ 7 แต่ยังไม่เป็นไปตามแผนของยูนิเซฟ ดังนั้น ในการพยายามที่จะแก้ไขปัญหาระบาดของโรคขาดสารไอโอดีนให้ได้ประสิทธิภาพอย่างแท้จริง ประเทศไทยจึงได้มีการทำแผนหลักระดับชาติ ที่เป็นความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ประสานงานกัน โดยมีกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข เป็นแกนกลาง แผนนี้ใช้ชื่อ “แผนควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีนแห่งชาติ” ดำเนินงานระหว่าง พ.ศ.2538-2544 ซึ่งแผนนี้ประกอบด้วยโครงการย่อย 6 โครงการ ซึ่ง 2 ใน 6 โครงการนี้ คือ โครงการส่งเสริมการบริโภคเกลือและน้ำเสริมไอโอดีน และ โครงการพัฒนาตัวชี้วัดการเฝ้าระวังและควบคุมโรคขาดไอโอดีน ซึ่งหลังจากแผนนี้อัตราคอหอยพอกในประเทศไทยลดลงเป็น 3.32% ในพ.ศ.2540 แต่ทั้งนี้เป็นค่าเฉลี่ยของ 75 จังหวัด ซึ่งอาจจะไม่สะท้อนภาพจริงของทั้งหมดบางจังหวัดในภาคเหนือยังมีอัตราคอหอยพอกสูงเกิน 10% อยู่

การแก้ไขปัญหาระบาดของโรคขาดสารไอโอดีนในต่างประเทศซึ่งยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญในหลายพื้นที่ของโลก (7, 8, 9) ได้ทำโดยการเสริมไอโอดีนในเกลือ, น้ำดื่ม, อาหาร เช่น ขนมปังและนม หรือในรูปของยาเม็ด หรือฉีดในรูปของ iodized oil นอกจากการเสริมไอโอดีนในอาหารและเกลือ เมื่อเร็ว ๆ นี้มีรายงานจากประเทศจีนว่า การเสริมไอโอดีนให้ประชากรบริโภคโดยตรงนั้นไม่ได้ผล ฉะนั้น ในมณฑล Xinjiang จึงได้ใส่ไอโอดีน (ในรูปของโปแตสเซียมไอโอเดต) เข้าไปในน้ำในคลองชลประทาน เพื่อเพิ่มปริมาณไอโอดีนในดิน พืช ผัก สัตว์ และคน และได้สรุปว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่คุ้มค่า (cost-effective) สมควรใช้ในพื้นที่อื่น ๆ ที่ต้องพึ่งระบบคลองชลประทาน (10)

1.3 สาเหตุการขาดสารไอโอดีนและการแก้ไข

การขาดสารไอโอดีนในสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาคอหอยพอกประจำท้องถิ่น (endemic goitre) ในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคเหนือ และพื้นที่ที่เป็นภูเขา เป็นที่ลาดเอียง ภูเขาหัวโล้น ซึ่งเวลาน้ำท่วมไหลชะหน้าดิน จะชะเอาไอโอดีนออกไปเรื่อย ๆ จากการวิเคราะห์ปริมาณเมื่อเทียบกับภาคกลางซึ่งอยู่ใกล้ทะเลมากกว่า พบว่าผักหลายชนิดที่ปลูกในที่ขาดไอโอดีน (หมู่บ้าน วังปึง จ.แพร่) มีปริมาณของไอโอดีนต่ำกว่าผักชนิดเดียวกันที่ปลูกในกรุงเทพ ถึง 6-16 เท่า ซึ่งน้ำและดินในบริเวณนี้ยังมีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่าในกรุงเทพ 4 และ 7.5 เท่า (11) จากการทดสอบในหมู่บ้านเดียวกันนี้ ได้ผลสรุปว่าการขาดสารไอโอดีนมิได้เกิดจากสารก่อคอหอยพอก (goitrogen) ซึ่งในต่างประเทศ คือ ประเทศไนจีเรีย ใน ค.ศ. 1991 มีรายงานว่าสาเหตุของการขาดสารไอโอดีนเกิดเนื่องจากทั้งขาดในสิ่งแวดล้อมและจากการสารก่อคอหอยพอก ซึ่งคือสารที่พบในมันสำปะหลังที่ใช้เป็นอาหาร (12)

ถึงแม้ว่าสารไอโอดีนจะมีอยู่ในเกลือทั่วไป แต่ไม่ว่าเกลือทะเลหรือเกลือสินเธาว์ต่างมีความเข้มข้นของไอโอดีนไม่พอใช้สำหรับร่างกาย คือ เกลือทะเลถึงจะมีปริมาณไอโอดีนแตกต่างกันบ้างในแต่ละจังหวัด แต่โดยเฉลี่ยมีประมาณ 3 ส่วนในล้านส่วน (3 ไมโครกรัมในเกลือ 1 กรัม) และเกลือสินเธาว์มีไอโอดีนประมาณ 1-2 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งตามปกติร่างกายมนุษย์ต้องการไอโอดีนประมาณวันละ 100 ไมโครกรัม แต่ในบริเวณที่สิ่งแวดล้อมขาดไอโอดีนหรือเพื่อรักษาโรคคอหอยพอกในระยะเริ่มแรก ควรเพิ่มขนาดเป็น 150 ไมโครกรัมต่อวัน โดยปกติคนกินเกลือวันละประมาณ 5 กรัม ฉะนั้น จะเห็นว่าการได้ไอโอดีนจากเกลืออย่างเดียว (โดยเฉพาะในบริเวณที่สิ่งแวดล้อมขาดไอโอดีนซึ่งจะได้รับสารไอโอดีนจากอาหารจำพวกพืชและเนื้อสัตว์น้อยมาก) ย่อมไม่สามารถจะได้สารไอโอดีนเพียงพอที่ร่างกายจะนำไปใช้ได้

เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาคาดสารไอโอดีน โดยให้ประชากรสามารถได้รับสารไอโอดีนเพียงพอจากอาหารที่บริโภคประจำวันโดยเฉพาะเกลือ ทางกระทรวงสาธารณสุขได้มีนโยบายให้มีการผลิตเกลือเสริมไอโอดีน (iodized salt) หรือเกลืออนามัย ซึ่งมีทั้งให้ผลิตในระดับหมู่บ้านที่มีปัญหาคอหอยพอก ทางกระทรวงสาธารณสุขร่วมมือกับองค์กรอื่นผลิตเองรวมทั้งในระยะหลังให้บริษัทเอกชนผลิตออกจำหน่ายโดยที่ทางกระทรวงสาธารณสุขเป็นผู้ให้ไอโอดีนที่ใช้เสริมในรูปของโปแตสเซียมไอโอเดท โดยให้เกลือเหล่านั้นต้องมีไอโอดีนไม่ต่ำกว่า 30 ส่วนในล้านส่วน อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนจากแหล่งต่างๆ ก็ยังพบว่ามีไอโอดีนปริมาณต่ำกว่าที่กำหนดไว้จากการสำรวจของกองโภชนาการในภาคเหนือ ใน พ.ศ.2528 พบเกลือเสริมไอโอเดทเพียงร้อยละ 12

ตั้งแต่ พ.ศ.2531 กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข ได้แก้ไขปัญหาคาดสารไอโอดีน โดยการเสริมไอโอดีนในน้ำดื่มและเกลือ ซึ่งโครงการวิจัยเวชศาสตร์นิวเคลียร์โรงพยาบาลศิริราช โดยการนำของ ศาสตราจารย์ นายแพทย์ร่มไทร สุวรรณิก ได้ให้ความร่วมมือในการทำชุดขวดเดียวบรรจุน้ำยาไอโอเดทเข้มข้นสำหรับหยดในน้ำดื่ม และพัฒนาขวดขวดคู่สำหรับตรวจปริมาณไอโอเดทในน้ำดื่มและในเกลือ (13)

อย่างไรก็ตาม ปัญหาของโรคขาดสารไอโอดีนยังคงควบคุมไม่ได้ ทั้ง ๆ ที่บางแห่งเคยควบคุมได้แล้ว เพราะภาวะขาดไอโอดีนต้องได้รับการเสริมไอโอดีนอย่างขาดตอนมิได้ (จนกว่าประเทศจะพัฒนาถึงขั้นที่ความเจริญทางเศรษฐกิจกระจายสู่ชนบทอย่างแท้จริงและทั่วถึง มีการกระจายของอาหารจากแหล่งต่าง ๆ ไปได้ทั่วถึงทุกหมู่บ้าน) สาเหตุสำคัญที่ไม่ได้รับการเสริมไอโอดีนอยู่อย่างต่อเนื่อง นอกจากเพราะขาดความรู้อย่างแท้จริงของผลเสียของการขาดไอโอดีนว่ามีต่อการพัฒนาของสมองและร่างกาย ยังเป็นเพราะการกระจายของเกลือเสริมไอโอดีนไม่มากพอ คาดว่าเกลือที่ใช้บริโภคนั้นเป็นเกลือเสริมไอโอเดทประมาณสองหมื่นตันต่อปี จากจำนวนที่ใช้บริโภคแปดหมื่นถึงแสนตันต่อปี ดังนั้นใน พ.ศ.2537 ทางกระทรวงสาธารณสุขจึงได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 153 เรื่องเกลือบริโภค กำหนดให้เกลือบริโภคเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน โดยครอบคลุมเฉพาะเกลือแกงที่ใช้

ปรุงหรือแต่งรสอาหาร ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะที่พร้อมจำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภคเท่านั้น ไม่รวมถึงเกลือบริโภคที่มีวัตถุประสงค์ผลิตเพื่อส่งออกไปจำหน่ายนอกราชอาณาจักร หรือเกลือบริโภคที่มีวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งนี้ได้กำหนดให้เกลือบริโภค 1 กิโลกรัมต้องมีไอโอดีน ไม่ต่ำกว่า 30 มิลลิกรัม (แต่ปริมาณของไอโอดีนที่กระทรวงสาธารณสุขแจกให้บริษัทผู้ผลิตใส่ในเกลือ คือ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยมีผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 14 กันยายน 2537 เป็นต้นไป ทั้งนี้รวมทั้งเกลือนำเข้าที่จะต้องมีไอโอดีนตามที่กำหนดไว้ด้วย (14) อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจขั้นต้นของคณะผู้วิจัยใน พ.ศ.2540 พบว่าเกลือส่วนใหญ่ยังมีไอโอดีนไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข

1.4 เกลือเสริมไอโอดีน (Iodized salt)

สารไอโอดีนที่มีอยู่ในเกลือธรรมชาติอยู่ในรูปเกลือไอโอไดต์ และเกลือนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ในรูปของไอโอไดต์ แต่ไอโอดีนที่กระทรวงสาธารณสุขแจกให้ผู้ผลิตใส่ในเกลือนั้นอยู่ในรูปของโปแตสเซียมไอโอเดท ทั้งนี้เพราะในสภาพภูมิอากาศที่ร้อนชื้นอย่างประเทศไทย โปแตสเซียมไอโอไดต์ จะเสียความคงทนได้ง่าย โดยสลายตัวให้เป็นไอของไอโอดีน โดยเฉพาะเมื่อผสมกับเกลือที่ความชื้นสูง อย่างที่ผลิตจากหลายแหล่งในประเทศไทย ดังนั้น จึงใช้โปแตสเซียมไอโอเดทซึ่งมีความอยู่ตัวมากกว่า เกลือเสริมไอโอดีนในประเทศร้อนอื่น ๆ เช่น อินเดีย จีน ก็เสริมด้วยโปแตสเซียมไอโอเดทเช่นกัน ซึ่งได้มีการศึกษาถึงการถูกนำไปใช้ได้ในเรื่องชีววิสัย (bioavailability) ของโปแตสเซียมไอโอเดทเทียบกับโปแตสเซียมไอโอไดต์ กลุ่มของนายแพทย์ รมัทร สุวรรณิก (15) ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกับของ Murray และ Pochin (16) ว่าโปแตสเซียมไอโอเดทสามารถให้ไอโอดีนแก่ต่อมธัยรอยด์ของคนเหมือนกับโปแตสเซียมไอโอไดต์ เพียงแต่ปริมาณที่ให้ต่ำกว่าประมาณ 10% และเมื่อศึกษาถึงการนำเอา I^{31} ที่อยู่ในรูปของ KI และ KIO_3 ไปใช้ในการสังเคราะห์สารตั้งต้น 2 ตัว คือ moniodotyrosyl และ diiodotyrosyl residues และฮอร์โมน triiodothyronine และ thyroxine ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในการนำไอโอดีน ไม่ว่าจะจากไอโอเดทหรือไอโอไดต์ มาใช้ในทุกระยะตอนในการสังเคราะห์ฮอร์โมนของต่อมธัยรอยด์ของคน นอกจากนี้ ยังมีการทดลองอื่นที่สนับสนุนว่าต่อมธัยรอยด์นั้นสามารถใช้ไอโอดีนจากไอโอเดทได้ดีเท่าไอโอไดต์ คือ ไอโอเดทสามารถใช้เพื่อลดการดูดสารกัมมันตรังสีไอโอดีนเข้าในต่อมธัยรอยด์ได้ดีเท่าไอโอไดต์ ซึ่งการทดลองนี้ให้ผลเหมือนกันทั้งที่ทำในคน (17) และในหนู (18)

นอกจากจะมีการใช้โปแตสเซียมไอโอเดทกันอย่างแพร่หลายในเกลือเสริมไอโอดีน ยังมีรายงานจากประเทศอินเดียว่าแคลเซียมไอโอเดท ก็สามารถใช้ได้ดีเท่า ๆ กับโปแตสเซียมไอโอเดท โดยศึกษาการถูกนำไปใช้ในคนเทียบกันระหว่าง I^{31} ที่อยู่ในรูปของโปแตสเซียมและแคลเซียมไอโอเดท โดยที่ปริมาณไอโอดีนที่ต่อมธัยรอยด์ได้รับจากทั้ง 2 ตัวนี้ไม่ต่างกัน (19) ก่อนหน้าการทดลองนี้ ได้มีการศึกษาในโค กระบือ และพบว่าสามารถใช้ไอโอดีนจากแคลเซียมไอโอเดทได้ดีเช่นกัน (12) และเมื่อเร็ว ๆ นี้ ในประเทศโรมาเนียได้มีการทดลองเสริมทั้งโปแตสเซียมไอโอไดต์และไอโอเดทในอาหารวัว สำหรับวัวที่เลี้ยงในบริเวณที่สิ่งแวดล้อมขาด

ไอโอดีน และพบว่าทั้ง 2 ตัวนี้ สามารถทำให้วัวสร้างน้ำนมเพิ่มขึ้น และมีปริมาณไอโอดีนในนมเพิ่มขึ้น (21) การวิจัยหลายเรื่องดังกล่าวข้างต้นชี้แนะให้เห็นว่าในการเสริมไอโอดีนให้แก่คนและสัตว์ (อย่างน้อยที่สุดประเภทโค กระบือ) สามารถใช้ไอโอดีนได้ดีเท่าไอโอดีน ซึ่งไอโอดีนนั้นมีความอยู่ตัวมากกว่าถึงแม้ว่าจะราคาสูงกว่า และสำหรับไอโอดีนนั้นสามารถจะใช้ได้ทั้งที่อยู่ในรูปเกลือของแคลเซียมและโปแตสเซียม ซึ่งแคลเซียมไอโอดีนนั้นนอกจากจะราคาถูกกว่ายังมีความอยู่ตัวมากกว่าโปแตสเซียมไอโอดีนซึ่งใช้กันอยู่ในประเทศไทยขณะนี้

การใช้โปแตสเซียมไอโอดีนเพื่อเสริมในอาหารนั้นมีข้อควรระวัง ในปี 1981 มีรายงานว่า การเติมโปแตสเซียมไอโอดีนในนมก่อนกระบวนการทำให้ปลอดเชื้อโดยวิธีการใช้อุณหภูมิสูงมาก (UHT) นั้น ทำให้เกิดการย่อยสลายของโปรตีนในนมที่เรียกว่า casein เพราะไอโอดีนจะชักนำให้เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนในนมทำหน้าที่ได้ดีขึ้น (22)

1.5 วิธีวิเคราะห์ไอโอดีนและไอโอดีน

เนื่องจากปริมาณของไอโอดีนในอาหารและน้ำและเกลือนั้นมีทั้งที่อยู่ในรูปของ ไอโอดีน และไอโอดีน วิธีการที่ใช้วัดปริมาณจึงมีทั้งของเกลือไอโอดีนและไอโอดีนซึ่งมีวิธีการต่างกัน วิธีการที่ใช้วัดไอโอดีนนั้นได้มีผู้ศึกษากันมากกว่าไอโอดีนมาก อาจเป็นเพราะในต่างประเทศนั้นมีการใช้ไอโอดีนมากกว่า วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ไอโอดีนนั้นมีตั้งแต่วิธีการที่ยุ่งยากใช้เครื่องมือราคาสูง ซึ่งมักจะใช้วัดไอโอดีนได้ถึงความเข้มข้นที่ต่ำมากระดับ ppm (ส่วนต่อพันล้านส่วน) จนถึงวิธีที่ใช้ spectrophotometer แบบธรรมดา ซึ่งวัดไอโอดีนที่ความเข้มข้นสูงกว่า คือ ในระดับ ppm (ส่วนต่อล้านส่วน) และยังมีวิธีการทาง electrochemical อีกด้วย

ตัวอย่างของเทคนิคการวิเคราะห์เหล่านี้ เช่น การวัดไอโอดีนในนมผงและซีรัม โดยวิธี inductively coupled plasma mass spectrometry (23) การวัดไอโอดีนในระดับ $\mu\text{g/l}$ ในน้ำที่ดื่มได้ด้วยวิธี energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (24) การหาไอโอดีนในระดับ 10^{-8}M ในเกลือ นม ซีรัม และน้ำจากแหล่งต่าง ๆ ด้วยเครื่อง gas chromatograph (25) การหาไอโอดีนในเกลือ นม และยา โดยวิธี stopped-flow (26, 27) และวัดไอโอดีนในน้ำประปาด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (28)

นอกจากวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษดังกล่าว วิธีการวิเคราะห์ไอโอดีนที่นิยมใช้กันมากเป็นวิธีการทางจุลศาสตร์ วัดค่าอัตราการเร็วของการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงหลังจากทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่ทำให้เกิดสีขึ้น หรือทำปฏิกิริยากับสารที่มีสีอยู่แล้วทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่มีความเข้มของสีลดลง ซึ่งความไวของแต่ละวิธีการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ (29, 30) วิธีการเหล่านี้ต้องการใช้เฉพาะเครื่อง spectrophotometer เพื่อวัดความเข้มของสีเท่านั้น ได้มีผู้ใช้วิธีการนี้ในการหาปริมาณไอโอดีนในอาหาร และยา รวมทั้ง

ในเกลือเสริมไอโอดีนด้วย (31) อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในห้องปฏิบัติการหลายแห่งในประเทศไทย เพื่อหาไอโอดีนในอาหารคือ วิธีของ Moxon และ Dixon (32)

นอกจากวิธีการทาง colorimetry ในปัจจุบันนี้ ยังมีการใช้วิธีการทาง potentiometry สำหรับหาไอโอดีนในเกลือ (33) และ U.S. Food and Drug Administration ใช้ ion-selective electrode สำหรับวัดปริมาณไอโอดีนในนมสำหรับทารก (34)

สำหรับวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนนั้น จนถึงปัจจุบันมีรายงานน้อยมาก เช่น มีวิธีการใช้วิธี neutron activation ในการหาปริมาณไอโอดีนและไอโอดีนในน้ำทะเล (35) มีวิธีการหาด้วยวิธี colorimetry ในตัวอย่างน้ำจากน้ำฝน น้ำในแม่น้ำ และน้ำประปา (36, 37) และใช้วิธี flow injection analysis หาปริมาณไอโอดีนจากแหล่งน้ำ (38) ไม่มีรายงานการหาปริมาณไอโอดีนในอาหารและเกลือเหมือนการหาปริมาณของไอโอดีน วิธีการที่ใช้หาปริมาณไอโอดีนในเกลือในประเทศไทยเป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ AOAC พ.ศ.2495 (39) และมีวิธี titration ตามวิธีการของยูนิเซฟ (40)

1.6 ประเด็นปัญหาที่นำไปสู่การวิจัยเพื่อพัฒนาชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือ

การที่ภาวะการขาดสารไอโอดีนในประเทศไทยยังไม่สามารถควบคุมได้นั้น สาเหตุที่สำคัญอันหนึ่งมาจากการกระจายของเกลือเสริมไอโอดีนยังไม่มากพอและไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในท้องถิ่นที่มีอุปนิสัยการบริโภคของคอกหอยพอกสูง เพื่อให้มีเกลือที่เสริมไอโอดีนในปริมาณที่มากพอ ที่กระจายไปครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศ ทางกระทรวงสาธารณสุขจึงได้ออกประกาศกระทรวง ให้เกลือแกงที่ใช้ปรุงอาหารซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะพร้อมจำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภค ต้องมีสารไอโอดีนไม่น้อยกว่า 30 ส่วนในล้านส่วน (14) และในแผนควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีนแห่งชาติ พ.ศ.2538-2544 ได้มีแผนปฏิบัติการส่งเสริมการบริโภคเกลือและน้ำเสริมไอโอดีน (5) ซึ่งจะมีการสนับสนุนให้มีการผลิตเกลือเสริมไอโอดีน (ทั้งระดับบริษัทและหมู่บ้าน) และมีการรณรงค์ให้ใช้เกลือและน้ำเสริมไอโอดีนและอุปกรณ์ในการตรวจสอบไอโอดีนในเกลือ

ปัญหาใหญ่อีกประการหนึ่งของเกลือเสริมไอโอดีน คือ เกลือจากแหล่งผลิตต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีปริมาณไอโอดีนห่างจากมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขมาก มีทั้งน้อยกว่ามากและมากกว่ามาก ซึ่งล้วนแต่เป็นปัญหาที่ต้องแก้ไข จากการสำรวจเบื้องต้นของคณะผู้วิจัย พบว่าเกลือเสริมไอโอดีนจากกรุงเทพและปริมณฑล 21 ตัวอย่าง มีเพียง 30 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณไอโอดีนเกิน 30 ppm และในเกลือบ่อเดียวกันยังมีไอโอดีนต่างกันมาก เช่น 0-50 ppm ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากทั้งการผสมที่ไม่สม่ำเสมอและใส่ไอโอดีนผิดจากปริมาณที่กำหนด สาเหตุสำคัญที่ยังควบคุมปริมาณไอโอดีนในเกลือไม่ได้นั้นเพราะยังขาดวิธีการตรวจสอบที่สะดวก ง่าย ที่มีความแม่นยำ

ชุดตรวจสอบไอโอดีนที่เคยใช้กันอยู่บ้างที่พัฒนาโดย นายแพทย์ร่มไทร สุวรรณิก (10) เมื่อ พ.ศ.2531 นี้เป็นชุดขวดคู่ ขวดหนึ่งประกอบด้วยกรดเกลือ อีกขวดหนึ่งประกอบด้วยน้ำแปปและโปแตสเซียมไอโอไดด์ ชุดตรวจสอบดังกล่าวนี้ได้ใช้เป็นประโยชน์มากในระยะแรก อย่างไรก็ตาม จากข้อสังเกตของกระทรวงสาธารณสุข พบว่ายังมีปัญหาสำหรับชุดตรวจสอบขวดคู่ คือ

1. แปปที่ใช้ มีการแนะนำให้ใช้แปปมัน ซึ่งบ่อยครั้งมีสิ่งเจือปนสูง มักบุดง่าย ทำให้อายุการใช้งานสั้น บ่อยครั้งที่เกิดสีถึงแม้ว่าเกลือจะไม่มีไอโอดีน และบางทีผสมแล้วปฏิกิริยาไม่เกิด
2. เรื่องกรด กรดเกลือที่ใช้ระเหยง่าย มีกลิ่น โดยเฉพาะเมื่อใช้ในความเข้มข้นสูง
3. ผู้ใช้ต้องการชุดตรวจสอบแบบที่สะดวกขึ้นในชุดเดียวกัน
4. ผู้ใช้ต้องการให้มีแถบสีมาตรฐาน ที่บอกให้ทราบถึงความเข้มข้นของไอโอดีนเป็นช่วง ๆ

ในประเทศไทยนอกจากชุดตรวจสอบไอโอดีนชนิดขวดคู่ดังกล่าว ยังไม่มีรายงานว่ามีการผลิตชุดตรวจสอบไอโอดีนจากผู้อื่น ๆ ขึ้นมาอีกเลย ปัจจุบันประเทศไทยสั่งซื้อชุดตรวจสอบไอโอดีนในเกลือจากต่างประเทศ ซึ่งชุดตรวจสอบนี้ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทยและในประเทศต่าง ๆ ที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีนทั่วโลก จากการทดสอบของคณะผู้วิจัย และจากรายงานของผู้ใช้ทั้งในและนอกประเทศ พบว่าชุดตรวจสอบนี้มีปัญหาในการใช้มาก เพราะคุณภาพไม่เป็นตามที่ระบุไว้บนฉลากจึงสามารถบอกได้เพียงว่ามีไอโอดีนหรือไม่ แต่บอกมาตรฐานไม่ได้

ในต่างประเทศ มีเอกสารจากยูนิเซฟ (41) และองค์การอนามัยโลก (42) ที่แสดงให้เห็นถึงการทำน้ำยาที่สามารถใช้ตรวจสอบไอโอดีนได้เองในบ้านหรือห้องปฏิบัติการ โดยใช้แปปและกรดเกลือคล้ายกับสูตรขวดคู่ที่ทำในประเทศไทย โดยช่วงที่ตรวจสอบได้คือ 6-130 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และน้ำยานี้จะเป็นชนิดขวดเดี่ยว คือมีสารทุกอย่างที่จำเป็นต่อการทดสอบผสมรวมกันในภาชนะเดียวกัน วิธีการทดสอบ คือหยดน้ำยา 2 หยด ลงบนเกลือ ถ้าเกลือนั้นมีไอโอดีนจะเปลี่ยนเป็นสีเทาอมน้ำเงิน แต่หลังจากนั้นสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในหลายนาที่ต่อมา ซึ่งเป็นข้อเสียที่ผู้ใช้จะต้องรีบอ่านในเวลาสั้น และไม่สามารถย้อนกลับมาดูได้อีก ที่สำคัญกว่านี้คือสูตรน้ำยานี้ไม่คงทนสามารถใช้ได้เพียง 2-3 วันเท่านั้น

นอกจากนี้ยังมีรายงานใน ค.ศ.1985 (43) ถึงชุดตรวจสอบที่ทำน้ำยาในรูปเม็ด (tablet) 2 ชนิด ชนิดหนึ่งเป็นแปปและกรด ชนิดที่สองเป็นโปแตสเซียมไอโอไดด์ เวลาต้องการใช้จึงนำองค์ประกอบในรูปเม็ดทั้ง 2 ชนิด มาละลายน้ำผสมในขวดเดียวกัน และใช้หยดลงบนเกลือ อย่างไรก็ตามน้ำยานี้ใช้งานได้เพียง 2-3 วัน และสีที่เกิดเมื่อหยดบนเกลือจะเปลี่ยนไปในหลายนาที่ต่อมาในทำนองเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้วัดปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือจำนวนมากได้

ชุดตรวจสอบที่มีอยู่ในตลาดโลกในปัจจุบัน เพื่อให้ใช้ในประเทศที่มีปัญหาเรื่องขาดสารไอโอดีน ส่วนใหญ่เป็นชุดทดสอบที่ผลิตจากประเทศอินเดีย นอกจากนี้มีชุดตรวจสอบจากประเทศอินโดนีเซีย ชุดตรวจสอบจากประเทศอินโดนีเซีย ใช้ทดสอบได้เพียงว่าเกลือนั้นมีไอโอดีนปริมาณ 30 ppm (เพียงความเข้มข้นเดียว) หรือไม่ โดยระบุไว้ในฉลากว่า หยดน้ำยา 2-3 หยด ลงบนเกลือครึ่งช้อนชา ถ้าเกลือเปลี่ยนเป็นสีม่วงเหมือนสีที่ให้มาแสดงว่าเกลือนั้นมีไอโอดีน 30 ppm ซึ่งในการใช้จริงมีปัญหาเรื่องความถูกต้อง แม่นยำ เพราะเกลือนั้นที่มีไอโอดีนต่ำกว่าหรือสูงกว่า 30 ppm ก็ให้สีม่วงที่ใกล้เคียงกัน แยกจากกันไม่ได้ ดังนั้นชุดตรวจสอบดังกล่าวจึงไม่สามารถตรวจว่ามีไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ชุดตรวจสอบไอโอดีนจากประเทศอินเดียเป็นชนิดที่ใช้กันแพร่หลายในโลกและเป็นชุดที่ประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบัน ชุดตรวจสอบนี้เป็นชนิดขวดเดียวที่มีสารทุกอย่างผสมอยู่ในขวดเดียวกันแต่ไม่ได้ระบุถึงองค์ประกอบของน้ำยา น้ำยานี้มาพร้อมกับแถบสีเทาน้ำเงิน ซึ่งระบุว่าวัดไอโอดีนในช่วง 0-100 ppm ปัญหาจากประสบการณ์ของการใช้ชุดตรวจสอบดังกล่าว คือชุดตรวจสอบนี้ได้ระบุไว้ในฉลากว่า อายุการใช้งานสำหรับขวดที่เปิดแล้วคือ 6 เดือน แต่ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในวันแรกที่เปิดขวดหรือหลังจากนั้น จะให้ผลที่เหมือนกันคือไม่เป็นตามที่ได้ระบุไว้ในฉลาก กล่าวคือ

- สีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลือเป็นสีม่วง ซึ่งเป็นคนละสีกับแถบสีที่ให้มา ซึ่งเป็นสีเทา ทำให้ไม่สามารถอ่านเป็นปริมาณไอโอดีนได้
- ความเข้มของสีที่เกิดขึ้นไม่เพิ่มขึ้นตามปริมาณไอโอดีนอย่างชัดเจน และสีที่เกิดขึ้นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและจางหายไปในเวลาไม่กี่นาที ทำให้ต้องรีบดูในเวลาสั้น

ดังนั้น ชุดตรวจสอบจากประเทศอินเดียจึงใช้ได้เฉพาะบอกว่ามีไอโอดีนในเกลือหรือไม่ แต่ไม่สามารถบอกปริมาณได้ จากข้อมูลเหล่านี้ แสดงให้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีตรวจสอบที่สะดวก ใช้ง่าย มีความแม่นยำ และราคาถูก ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ ชุดตรวจสอบนี้ควรจะกระจายไปทั่วประเทศ โดยเฉพาะพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการขาดสารไอโอดีน ชุดตรวจสอบเหล่านี้ใช้สำหรับ

1. โรงงานและแหล่งผลิตเกลือเสริมไอโอดีน เพื่อควบคุมและประกันคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีน ว่ามีปริมาณไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข โดยบุคลากรจากโรงงานเกลือจะเป็นผู้ใช้ชุดตรวจสอบนี้เอง เพื่อสุ่มตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนระหว่างขั้นตอนการผลิต ก่อนที่จะบรรจุถุงจำหน่าย ซึ่งก่อนหน้านี้บุคลากรเหล่านั้นใช้ชุดทดสอบจากประเทศอินเดีย ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าเกลือนั้นมีไอโอดีนได้มาตรฐานหรือไม่ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกลือน้ำที่วางจำหน่ายอยู่เกือบทั่วประเทศมีไอโอดีนไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

2. เจ้าหน้าที่ของกระทรวงสาธารณสุขที่มีหน้าที่ตรวจสอบปริมาณไอโอดีนในเกลือที่วางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั่วประเทศ ว่าเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ที่กำหนดว่าต้องมีสารไอโอดีนไม่น้อยกว่า 30 ล้านในล้านส่วน
3. เจ้าหน้าที่ของสาธารณสุขจังหวัด สถานีอนามัย ศูนย์สาธารณสุขมูลฐานในหมู่บ้าน โรงเรียน ฯลฯ เพื่อตรวจสอบปริมาณของเกลือเสริมไอโอดีนที่ชาวบ้านใช้ปรุงอาหาร ซึ่งเป็นได้ทั้งจากเกลือที่ซื้อมาจากท้องตลาด หรือเกลือเสริมไอโอดีนที่ผลิตในระดับหมู่บ้านซึ่งยังมีความจำเป็นอยู่ในหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลจังหวัด มักมีปัญหว่าชาวบ้านมักซื้อเกลือถุงใหญ่มาใช้ ซึ่งอาจเป็นเกลือเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรืออื่น ๆ ซึ่งเกลือประเภทนี้ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขไม่ได้กำหนดไว้ว่าจะต้องเสริมไอโอดีน

ขณะนี้พื้นที่มีอุบัติการณ์ของโรคขาดสารไอโอดีนอยู่ 57 จังหวัดทั่วประเทศ ปริมาณชุดตรวจสอบที่จะใช้ในอำเภอและหมู่บ้านเหล่านี้ คาดว่าจะไม่ต่ำกว่าแสนชุดต่อปี

1.7 ข้อเสนอการวิจัย

เนื่องจากสารไอโอดีนที่ใช้เสริมในเกลือในประเทศไทยนั้น จะอยู่ในรูปของไอโอดेट ซึ่งเกลือในพื้นที่ต่างจังหวัดที่เป็นแหล่งปัญหาของโรคขาดสารไอโอดีนหรือโรคคอหอยพอก จะอยู่ในรูปของเกลือที่เสริมด้วยไอโอดेटแทบทั้งสิ้น ส่วนสารไอโอดีนที่พบในเกลือในเมืองใหญ่ที่ไม่มีปัญหาขาดสารไอโอดีนเป็นเกลือเสริมด้วยไอโอดิดเป็นส่วนใหญ่ และเป็นเกลือเสริมด้วยไอโอดิด (เกลือนำเข้า) เป็นส่วนน้อย ฉะนั้น ปัญหาใหญ่จึงเป็นการตรวจหาไอโอดีนในเกลือส่วนใหญ่ที่มีไอโอดิด

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาชุดตรวจสอบภาคสนาม สำหรับตรวจวัดปริมาณไอโอดิดในเกลือเสริมไอโอดีน (iodized salt) โดยที่ชุดตรวจสอบดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้ คือ

1. สามารถใช้ตรวจวัดปริมาณของไอโอดิด โดยดูจากสีที่เกิดขึ้นเมื่อมีเกลือของไอโอดีนในปริมาณมากพอ ซึ่งสีนี้จะต้องเข้ม ชัดเจน ดูง่ายด้วยตาเปล่า
2. มีความไวในการวัดเกลือของไอโอดิด อย่างต่ำ 5 ส่วนต่อล้านส่วน
3. มีแผ่นมาตรฐานสำหรับเทียบความเข้มของสีเป็นช่วง ๆ ระหว่าง 0-100 ส่วนต่อล้านส่วน
4. มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานในภาคสนาม
5. มีราคาถูก
6. มีความสะดวกต่อการใช้งาน
7. มีความผิดพลาดที่เกิดจากใช้น้อยมาก

2. วิธีการวิจัย

2.1 หลักการที่ใช้

เนื่องจากในปัจจุบันนี้สารไอโอดีนที่ใช้เสริมในเกล็ดในประเทศไทยและประเทศที่ร้อนชื้นจะอยู่ในรูปของไอโอเดท (ไม่ใช่ไอโอดีน) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเป็นการทำชุดทดสอบไอโอเดทในเกล็ดโดยใช้หลักการเปลี่ยนเกล็ดไอโอเดท ให้เป็นไอโอดีน โดยการให้ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนที่เติมเข้าไป และให้ไอโอดีนที่เกิดขึ้นในสภาพกรดทำปฏิกิริยากับแป้ง เพื่อให้เกิดสีน้ำเงิน โดยมีการใช้ตัวเร่งช่วยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงให้เป็นไอโอดีน

อย่างไรก็ตามถ้าพบว่าเกล็ดไม่มีไอโอเดทหรือพบว่ามีน้อยมาก ก่อนที่จะสรุปว่าเกล็ดนี้มีไอโอดีนอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เราอาจทดสอบไอโอดีนโดยเติมน้ำยาอีกชุดหนึ่งที่มี oxidizing agent ลงไปในสารตัวอย่างอีกตัวอย่างหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนไอโอดีนที่มีอยู่เดิมให้เป็นไอโอดีน ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำเงินกับแป้งเช่นกัน

ชุดตรวจสอบไอโอเดทในเกล็ดที่จะพัฒนาขึ้นจะต้องเป็นชุดที่สะดวก ใช้งานง่าย มีความแม่นยำ โดยที่เป็นชุดทดสอบชนิดขวดเดี่ยว (single-bottled kit) มีสารทุกอย่างที่ใช้ในการทดสอบรวมอยู่ในขวดเดียวกัน ทั้งนี้ต้องมีความคงทนต่อการใช้งานในสภาพต่าง ๆ และคงทนต่อการเก็บรักษา

2.2 ศึกษาถึงสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่จะพัฒนาน้ำยาตรวจสอบไอโอเดท

จะมีการหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้สารเคมีทุกชนิดผสมอยู่ในสารละลายเดียวกัน โดยอาศัยกรด และตัวเร่ง ทั้งชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในการเปลี่ยนไอโอเดท ให้เป็นไอโอดีน ทั้งนี้จะมีการศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีระหว่างแป้งและไอโอดีน การศึกษาในข้อนี้จะรวมถึง

2.2.1 การศึกษาถึงชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้

จะทดลองใช้ แป้งชนิดต่าง ๆ ทั้ง แป้ง lab grade ได้แก่ potato starch (ซื้อจากบริษัทต่างประเทศ) แป้งตามท้องตลาดทั่วไปจากประเทศไทย ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง

การทดลองจะทำโดยนำแป้งชนิดต่าง ๆ มาทดลองละลายในกรดในสภาพต่าง ๆ โดยติดตามดูการละลายโดยการวัด OD ที่ 400 nm จากนั้นจึงนำแป้งดังกล่าวมาทดสอบว่าจะให้ปฏิกิริยาเกิดสีกับไอโอเดทได้ดีหรือไม่อย่างไร โดยให้แป้งทำปฏิกิริยากับไอโอเดท ตามหลักการในข้อ 1 และติดตามวัดสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นโดยวัด OD ที่ 700 nm

2.2.2 การศึกษาถึงชนิดและความเข้มข้นของกรดที่ใช้

เนื่องจากในชุดทดสอบชนิดขวดคู่ใช้กรดไฮโดรคลอริกในปริมาณสูงมาก ซึ่งเป็นอันตราย ดังนั้นจึงทดลองลดปริมาณของกรดไฮโดรคลอริก เป็น 0.025 M, 0.05 M, และ 0.1 M เพื่อใช้ในการเตรียมแบ่งสำหรับการทดลองและทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา และความคงทนโดยเก็บเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง

นอกจากกรดไฮโดรคลอริกจะมีการทดลองใช้กรดชนิดอื่น ๆ อีก เช่น กรดฟอสฟอริก และกรดซัลฟิวริก ในความเข้มข้นต่าง ๆ โดยจะทดลองใช้แบ่งมาละลายในกรดดังกล่าวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และทดสอบความสามารถในการทำปฏิกิริยาให้สีและความคงทนเป็นเวลาอย่างน้อย 6 เดือน และจะเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาให้สีกับกรดไฮโดรคลอริก

2.2.3 การศึกษา pH ที่ใช้ในการทดลอง

จะมีการทดลองหา pH ที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาที่ใช้ทดสอบไอโอเดท โดยติดตามวัด spectrum ตั้งแต่ 400-800 nm ที่ pH ต่าง ๆ เพื่อหาว่าปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีระหว่างช่วง pH ไດ ในการใช้กรดไฮโดรคลอริก หรือ กรดฟอสฟอริก หรือกรดชนิดอื่น ๆ

2.2.4 การศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวแปรอื่น ๆ

2.2.4.1 ผลจากปริมาณไอโอไดต์

เนื่องจากปฏิกิริยาวัดไอโอเดทนี้ต้องการไอโอไดต์ในปริมาณที่เหมาะสม จึงมีการทดลองใส่ไอโอไดต์ ในรูปของ KI (โปแตสเซียมไอโอไดต์) ในปริมาณต่าง ๆ เพื่อวัดปริมาณไอโอเดทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 100 ppm (ส่วนในล้านส่วน)

2.4.2.2 ผลจากปริมาณโซเดียมคลอไรด์

จะมีการทดลองใช้ NaCl เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และจะศึกษาผลของ NaCl ในความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการเร่งปฏิกิริยาเกิดสีโดยวัดค่า absorption ที่ 500 nm ทั้งนี้จะต้องศึกษาถึงปริมาณของ NaCl ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีพอ ๆ กันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของไอโอเดท และเพื่อให้ปริมาณ NaCl ที่แตกต่างกัน มีส่วนทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อน

2.3 การศึกษาระดับความไวของปฏิกิริยา

จากข้อมูลที่ศึกษาที่ได้ข้อที่ 2 จะมีการทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณและชนิดของตัวแปรเพื่อให้ได้สูตรของน้ำยาที่มีความไวในการวัดปริมาณไอโอเดทในค่าที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ คืออย่างน้อย 5 ppm ได้อย่างแม่นยำ กล่าวคือเพื่อให้ได้เส้นกราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นของไอโอเดท 0-100 ppm ไอโอดีน การทดลองนี้จะทำโดยการวัด spectrum ของปฏิกิริยาในสภาวะต่าง ๆ และศึกษาจลศาสตร์ของปฏิกิริยาในสภาวะต่าง ๆ

2.4 การทดลองทำชุดตรวจสอบในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทดลองใช้

2.4.1 รูปแบบของชุดตรวจสอบ

จะมีการทดลองทำชุดตรวจสอบใน 3 รูปแบบ คือ ชุดตรวจสอบไอโอเดทชนิดถาดหลุม ชนิดขวดเดี่ยว และชนิดแถบกระดาษ

ชุดตรวจสอบไอโอเดทชนิดถาดหลุม : จะมีการทดลองทำน้ำยาตรวจสอบสำเร็จรูป (working solution) โดยมีสารทุกอย่างที่ใช้ทำปฏิกิริยา ตามสัดส่วนที่ได้ทดลองแล้วว่าเหมาะสม ผสมกันอยู่ในขวดเดียวกันเพื่อสะดวกต่อการใช้ การใช้น้ำยาดังกล่าวตรวจสอบใช้ได้ เพื่อทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองที่มีเกลียวอยู่และวัดปริมาณสีที่ละลายโดยใช้ spectrophotometer หรือใช้หาค่าโดยประมาณ โดยให้ทำปฏิกิริยาในถาดหลุมที่ตักเกลียวใส่ไว้ แล้วดูสีที่เกิดขึ้นภายใน 2-3 นาที ด้วยตาเปล่าโดยไม่ต้องใช้เครื่องอ่านสี จะมีการทดลองหาปริมาณเกลียวและน้ำยาที่เหมาะสมที่ใช้ในชุดตรวจสอบนี้เพื่อวัดไอโอเดทในช่วง 5-100 ppm ไอโอดีน และจะมีการทดลองใช้ถาดหลุมชนิดต่าง ๆ เพื่อหาชนิดและขนาดที่เหมาะสมกับงานภาคสนาม

ชุดตรวจสอบไอโอเดทชนิดขวดเดี่ยว : จุดประสงค์ของชุดตรวจสอบภาคสนามชนิดนี้คือจะใช้หยดลงบนเกลียว (spot test) แล้วดูสีที่เกิดขึ้นบนเกลียวทันที โดยไม่ต้องทำให้เกิดเป็นสารละลายแบบชนิดถาดหลุม ฉะนั้นสูตรของน้ำยาชนิดนี้จะต่างไปจากชนิดถาดหลุม การศึกษาในข้อนี้จะเป็นการพัฒนาสูตรน้ำยาขึ้นมาใหม่ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของสาร และ pH ที่ใช้ในปฏิกิริยาจนได้สูตรน้ำยาที่เหมาะสม และในทำนองเดียวกับชุดตรวจสอบชนิดถาดหลุม จะต้องมีการทดลองถึงสัดส่วนระหว่างเกลียวและน้ำยาที่เหมาะสม ที่จะสามารถทดสอบไอโอเดทในช่วง 5-100 ppm ไอโอดีนได้

ชุดตรวจสอบไอโอเดทชนิดแถบกระดาษ : จะมีการศึกษาถึงสูตรของน้ำยาที่จะใช้ฉาบบนกระดาษ ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในชุดตรวจสอบประเภทแถบกระดาษก็จะต่างไปจากชนิดน้ำยาตรวจสอบที่ใช้ในชนิดถาดหลุมและขวดเดี่ยว

จะมีการศึกษาถึงชนิดของกระดาษที่เหมาะสมที่จะใช้ฉาบน้ำยาที่จะใช้ทดสอบ ซึ่งจะทดลองใช้กระดาษประเภทกระดาษกรองชนิดต่าง ๆ เพื่อหากระดาษที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ฉาบน้ำยาทดสอบและให้ปฏิกิริยาเกิดสีได้ โดยมีความไวอย่างต่ำ 5 ppm ไอโอดีน และสีที่เกิดขึ้นจะต้องมีความคงตัวอยู่ได้

การศึกษาในข้อนี้รวมถึงวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้ฉาบน้ำยาบนแผ่นกระดาษชนิดต่าง ๆ เพื่อให้มีเนื้อสารเกาะอยู่ในปริมาณมากพอที่จะใช้ทดสอบได้ดี

2.4.2 แผ่นกระดาษมาตรฐานเพื่ออ่านค่าปริมาณไอโอเดท

จะมีการทำแผ่นกระดาษมาตรฐาน ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสี น้ำเงินกับปริมาณของไอโอเดท (ในรูปไอโอดีน) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับเทียบสีของสารตัวอย่างในชุดตรวจสอบทั้ง 3 รูปแบบ มาตรฐานนี้ควรใช้ได้สำหรับความเข้มข้น 0-100 ส่วนต่อล้านส่วนของไอโอดีน

2.5 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบเบื้องต้นในภาคสนาม

2.5.1 ทดลองใช้ชุดตรวจสอบวัดปริมาณเกลือตามร้านค้า

นำชุดตรวจสอบเบื้องต้นที่ได้นี้ไปทำการทดลองในภาคสนาม โดยตรวจวัดปริมาณของเกลือไอโอดีนในเกลือบริโภคที่วางขายในพื้นที่ต่าง ๆ ในกรุงเทพ และปริมณฑล การทดสอบนี้จะทำเพื่อประเมินถึงความเหมาะสมในการใช้งานและปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น อนึ่ง ในการทดสอบนี้ จะมีการนำชุดตรวจสอบเกลือไอโอเดทที่ผลิตจากต่างประเทศมาทำทดสอบในภาคสนามไปพร้อม ๆ กันกับชุดตรวจสอบที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำขึ้น เพื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของใช้งานในภาคสนาม

2.5.2 การทดลองใช้ชุดตรวจสอบในงานนิทรรศการ

จะมีการจัดบูทแสดงนิทรรศการตามความเหมาะสม และให้ผู้เข้าชมนิทรรศการ ซึ่งควรจะเป็นทั้ง นักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไป มาทดลองใช้ชุดตรวจสอบทั้ง 3 ชนิด พร้อมกับตอบแบบสอบถาม และจะมีการวิเคราะห์แบบสอบถาม เพื่อประเมินถึงปัญหาและความเหมาะสม และนำมาปรับปรุงต่อไป

2.5.3 การส่งแบบสอบถามไปพร้อมกับชุดตรวจสอบให้บุคลากรในเป้าหมาย

จะมีการส่งชุดตรวจสอบพร้อมกับแบบสอบถามไปยังบุคลากรที่จะเป็นผู้ใช้จริง เช่น เจ้าหน้าที่จากสถานีอนามัยจังหวัด ตำบล อำเภอ และอาสาสมัครหมู่บ้าน โดยความร่วมมือของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และวิเคราะห์แบบสอบถามที่ส่งกลับมาเพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข

2.6 การปรับปรุงและพัฒนาชุดตรวจสอบจากการประเมินผล

จากประเมินผลการทดสอบชุดตรวจสอบเบื้องต้น จะต้องดัดแปลงและปรับปรุงชุดตรวจสอบให้มีความเหมาะสมมากขึ้นทั้งในด้านสูตรน้ำยา เพื่อให้มีความแม่นยำและคงทน และปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการใช้ให้เหมาะต่อการใช้งานสำหรับบุคลากรในท้องถิ่นมากขึ้นโดยเฉพาะในบริเวณที่มีปัญหาขาดสารไอโอดีน ซึ่งจะมีการนำชุดตรวจสอบนี้ไปทำการทดลองในภาคสนามในบริเวณที่ขาดสารไอโอดีน การทดลองในภาคสนามนี้จะต้องมีการปรับปรุงจนกระทั่งผู้ใช้สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องได้รับการฝึกมาก่อน กล่าวคือ ชุดตรวจสอบนี้จะมาพร้อมกับคำสั่งในการใช้อย่างง่าย ๆ พร้อมกับภาพประกอบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้โดยไม่ผิดพลาดและเข้าใจผิด ซึ่งขั้นตอนนี้อาจจะต้องมีการประเมินผลและปรับปรุงสลับกันไปจนได้ผลที่

น่าพอใจ เพื่อให้ได้ทั้งชุดตรวจสอบที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพที่ใช้งานจริง พร้อมทั้งวิธีการทำเป็นขั้นตอนที่ง่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติจริง

การทดลองภาคสนามนี้ จะทำในหลายรูปแบบ กล่าวคือ ผู้วิจัยออกไปทดลองในพื้นที่ โดยเฉพาะโรงงานเกลือ และพื้นที่ที่ขาดสารไอโอดีน โดยความร่วมมือของกระทรวงสาธารณสุข และส่งชุดตรวจสอบพร้อมแบบสอบถามให้โรงงานเกลือและสาธารณสุขจังหวัดต่าง ๆ ช่วยดำเนินการ รวมทั้งการจัดนิทรรศการ

2.7 การศึกษาถึงความคงตัวของชุดตรวจสอบแบบต่าง ๆ

จะมีการทดสอบความคงทนของชุดตรวจสอบ กล่าวคือ สภาวะของน้ำยาและสารประกอบอื่น ๆ ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยการวัดค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่ต้องการจะเป็นในช่วงเวลาต่าง ๆ การทดสอบนี้จะทำให้ทราบถึงอายุการใช้งาน (shelf-life) ในสภาพที่ใช้งานจริง

สำหรับน้ำยาคัดชนิดเดียวจะมีการทดลองเก็บน้ำยาสำเร็จรูปในช่วงเวลาต่าง ๆ ไว้ในขวดหยดชนิดต่าง ๆ เพื่อหาว่าน้ำยาควรจะมีบรรจุในขวดที่ทำด้วยวัสดุชนิดใดจึงจะมีความคงทน ได้มีการทดลองบรรจุทั้งในขวดแก้ว และขวดพลาสติกที่ทำจากพลาสติกต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทั้งที่ห้องประมาณ 25-26 °C และประมาณ 30-32 °C และที่อุณหภูมิสูงประมาณ 40-45 °C และที่อุณหภูมิใกล้ 0 °C ทั้งนี้เพื่อประเมินความคงทนทั้งในด้านการเก็บรักษา และการขนส่ง

สำหรับชุดตรวจสอบชนิดแถบกระดาษนั้น ก็จะมีการทดสอบความคงทนในสถานการณ์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเก็บแถบกระดาษใส่ภาชนะบรรจุไว้ในสภาพต่าง ๆ และในช่วงเวลาต่าง ๆ

2.8 การศึกษาถึงความแม่นยำของชุดตรวจสอบภาคสนาม

จะมีการวัดความแม่นยำถูกต้องของชุดตรวจสอบภาคสนามโดยเทียบกับการวัดค่าที่แท้จริงทางห้องปฏิบัติการ โดยวิธีการ titration และวิธีการ spectrophotometry และหาค่า correlation ระหว่างค่า ppm ไอโอดีน ที่หาได้ โดยวิธีใช้ I-Kit กับวิธี titration และวิธีใช้ I-Kit กับวิธี spectrophotometry การทดสอบนี้จะทำทั้งกับตัวอย่างเกลือมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ และตัวอย่างเกลือจำนวนมากที่เก็บจากแหล่งผลิตและร้านค้าต่าง ๆ

2.9 การประเมินความแม่นยำและถูกต้องระหว่างน้ำยาที่ผลิตในหลายรุ่น

จะมีการทำน้ำยาตรวจสอบไอโอดีนขึ้นมาหลาย ๆ รุ่น และใช้น้ำยาแต่ละรุ่นในการหาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีนต่าง ๆ กัน วัดความแม่นยำในการทดสอบจากค่า mean±SD และ coefficient of variation

3. ผลการวิจัย

3.1 สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดสอบปริมาณเกลียวไอโอดีน

จากการทดลองหาสูตรน้ำยาที่เหมาะสมที่จะหาปริมาณไอโอดีน โดยที่สารทุกอย่างจะต้องผสมอยู่ด้วยกัน พบว่าตัวแปรสำคัญที่จะทำให้เกิดสีน้ำเงินที่มีความเข้มและความไวที่เหมาะสม ได้แก่ ชนิดและปริมาณของแป้ง การดัดแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยวิธีการทางห้องปฏิบัติการ ปริมาณและชนิดของกรดที่ใช้ และปริมาณของไอโอดีน รวมทั้งปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่มีในปฏิกิริยา ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเพื่อหาปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ

3.1.1 ชนิดและความเข้มข้นของแป้งที่ใช้

ได้มีการทดลองใช้ แป้งชนิดต่าง ๆ ดังนี้ คือ

ก. แป้ง lab grade ได้แก่ potato starch (ซื้อจากบริษัทต่างประเทศ)

ข. แป้งตามท้องตลาดทั่วไปจากประเทศไทย ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง

ผลการทดลอง ซึ่งทำโดยนำแป้งต่างชนิด ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มา “ละลาย” ในกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ 400 nm น้ำแป้งที่ใช้งานได้ดีจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 400 nm ต่ำ จากนั้นจึงนำแป้งที่ละลายในกรดมาใช้ในการปฏิบัติการวัดไอโอดีน โดยเปลี่ยนเกลียวไอโอดีนให้เป็นไอโอดีนโดยการทำปฏิกิริยากับไอโอดีนที่เติมเข้าไป และให้ไอโอดีนที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับแป้งให้สีน้ำเงินและวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นที่ 700 nm พบว่าแป้งที่สามารถใช้ได้ คือ potato starch (จากต่างประเทศ) แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง (จากประเทศไทย) เมื่อเทียบระหว่างแป้งจากท้องตลาดในประเทศไทย แป้งมันสำปะหลังจะใช้ได้ดีกว่าแป้งมันฝรั่งเล็กน้อย

สำหรับปริมาณหรือความเข้มข้นที่เหมาะสมของแป้ง ได้มีการทดลองใช้แป้งมันสำปะหลังปริมาณ 0.1-3% โดยนำมาละลายในกรดไฮโดรคลอริก แล้วทดสอบ ทั้งความสามารถในการละลายได้ดี โดยวัด OD ที่ 400 nm และวัดความสามารถในการทำปฏิกิริยาให้สี โดยวัด OD ที่ 700 nm หลังจากเก็บแป้งไว้ในกรดที่อุณหภูมิห้องในเวลาที่ต่าง ๆ กัน คือ ตั้งแต่ 1 วัน ถึง 6 เดือน จากการทดลองพบว่าแป้งเหล่านี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้ยาวนานอย่างน้อย 6 เดือน แป้งที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.5-2.0% จะใช้ได้ดีพอ ๆ กัน เพียงแต่แป้งที่มีความเข้มข้นสูง คือ 2% เมื่อเก็บไว้นาน ๆ จะเกิดตะกอนขึ้นบ้าง

3.1.2 ชนิดและความเข้มข้นของกรดที่ใช้

ได้มีการทดลองเปลี่ยนปริมาณของกรดไฮโดรคลอริก ตั้งแต่ 0.025 M, 0.05 M, และ 0.1 M เพื่อใช้ในการเตรียมแป้ง 1% สำหรับใช้ในการทดลองและทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา และความคงทนโดยเก็บเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบ

ว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ควรใช้ในการเตรียมแบง คือ 0.05 M และ 0.025 M ซึ่งความเข้มข้นสุดท้ายของกรดที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ทดสอบจะน้อยกว่านี้

นอกจากกรดไฮโดรคลอริกได้มีการทดลองใช้กรดชนิดอื่น ๆ อีก พบว่ากรดที่สามารถใช้งานได้ดีเท่ากับกรดไฮโดรคลอริก คือ กรดฟอสฟอริก จึงได้มีการทดลองใช้แบงความเข้มข้นต่าง ๆ คือ ตั้งแต่ 0.5-2% มาละลายในกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และทดสอบความสามารถในการทำปฏิกิริยาให้สีและความคงทนเป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งพบว่ามีความคงทนและเกิดปฏิกิริยาให้สีได้ไม่ต่างไปจากเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริก

3.1.3 pH ที่ใช้ในการทดลอง

ได้มีการทดลองหา pH ที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาทดสอบไอโอดีน โดยติดตามวัด OD 700 nm ที่ pH ต่าง ๆ พบว่าปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีระหว่าง pH 2-3 ในการใช้กรดไฮโดรคลอริก หรือ กรดฟอสฟอริก

3.1.4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวแปรอื่น ๆ

3.1.4.1 ผลจากปริมาณไอโอดีน

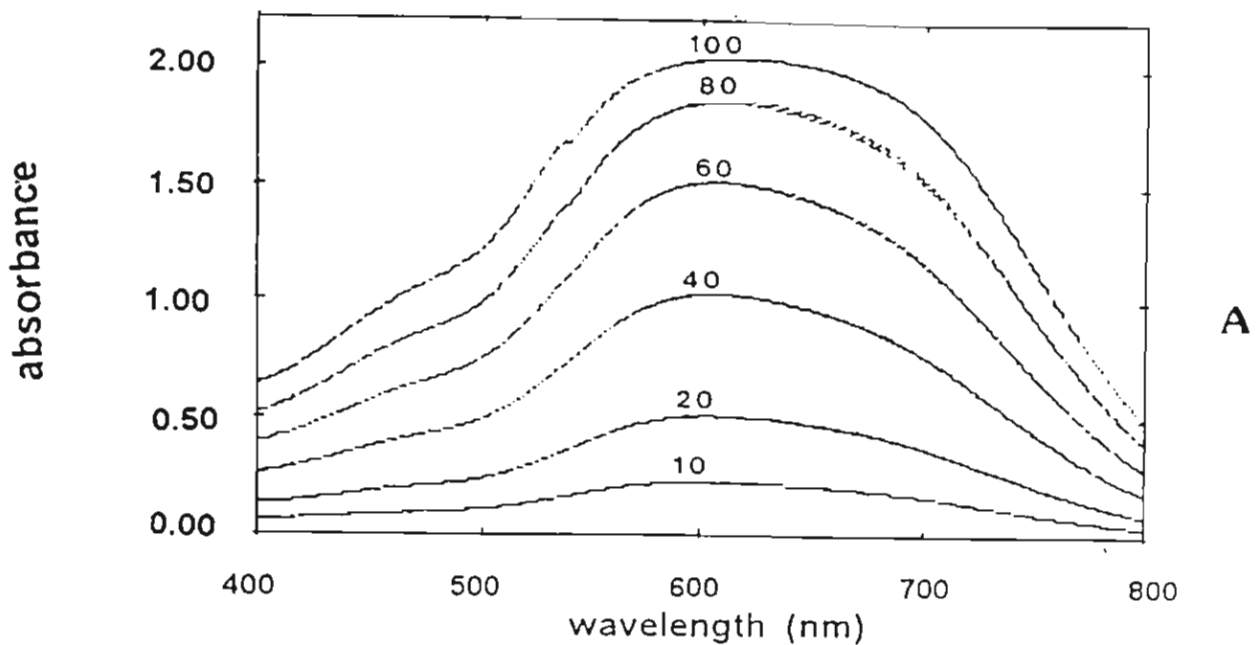
เนื่องจากปฏิกิริยาวัดไอโอดีนต้องการไอโอดีนในปริมาณที่เหมาะสม จึงมีการทดลองใส่ไอโอดีน ในรูปของ KI (โพแตสเซียมไอโอดีน) ในปริมาณต่าง ๆ เพื่อวัดปริมาณไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้ง 0 ถึง 100 ppm (ส่วนในล้านส่วน) จากปริมาณไอโอดีนที่ใช้ตั้งแต่ 140-560 μ M พบว่าปริมาณที่ควรใช้จะต้องมากกว่า 280 μ M ขึ้นไป

3.1.4.2 ผลจากปริมาณโซเดียมคลอไรด์

เนื่องจากปฏิกิริยาจริงที่ใช้ทดสอบไอโอดีนในเกลือจะต้องมีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) อยู่ ซึ่งปริมาณอาจจะไม่เท่ากัน จึงได้มีการศึกษาผลของ NaCl ในความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อ ค่า absorption ที่วัดได้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีพอ ๆ กันและเพื่อไม่ให้ปริมาณ NaCl ที่แตกต่างกันมีส่วนทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อน จากการใช้ NaCl 0-3.6 M ใน reaction mixture พบว่าควรใช้ NaCl ความเข้มข้นตั้งแต่ 3 M ขึ้นไปเพื่อให้ได้ผลดีต่อค่าการวัดไอโอดีน

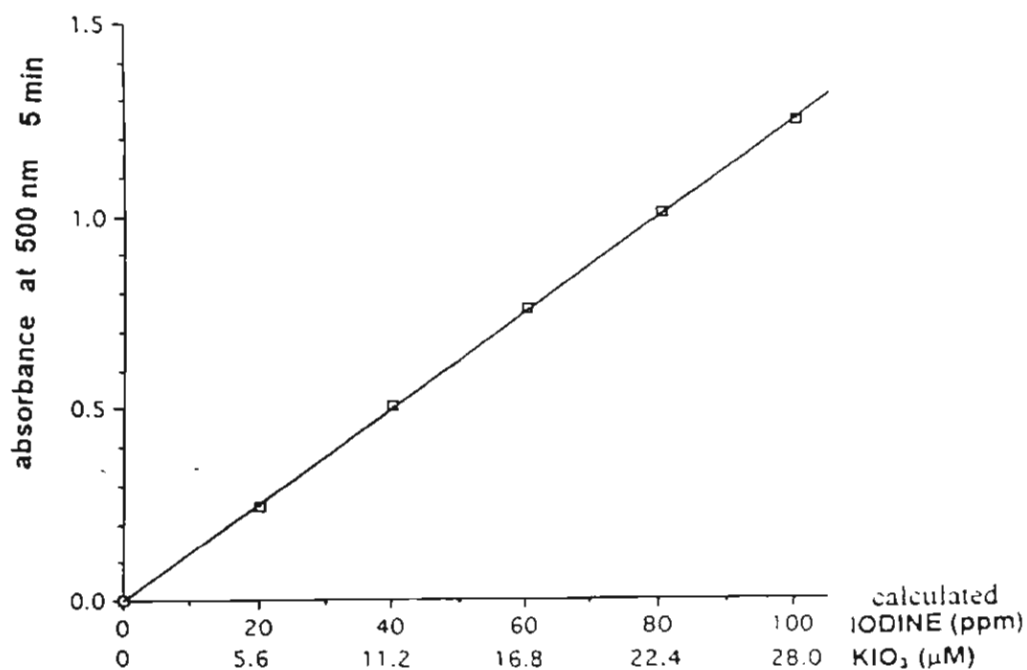
3.2 ระดับของความไวของปฏิกิริยา

จากข้อมูลในการวิจัยในข้อ 3.1 ได้มีการนำมาใช้วัดปริมาณของไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 0-100 ppm รูปที่ 1 แสดงถึง spectrum ของ product ที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ใช้วัดไอโอดีนความเข้มข้น 0-100 ppm พบว่าในปฏิกิริยานี้มี 0.1% แบง 0.003 M HCl, 3 M NaCl และ 420 μ M KI หลังจากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นเวลา 5 นาที ได้นำไปวัด spectrum ที่ 400-800 nm



รูปที่ 1 spectrum ของปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนและแป้งที่ 10-100 ppm ไอโอดีน

เมื่อนำค่า OD ที่ 500 nm 600 หรือ 700 nm มา plot กับปริมาณไอโอดีนจะให้กราฟที่เป็นเส้นตรงในช่วง 0-100 ppm ไอโอดีน ซึ่งในรูปที่ 2 แสดงเฉพาะค่า OD ที่ 500 nm



รูปที่ 2 เส้นกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณไอโอดีน (ในรูปของไอโอดีน) ในเกลือ จากปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนและแป้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 500 nm

นอกจากนี้ ได้มีการทดสอบผลของ HCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการวัดปริมาณ ไอโอเดทดังกล่าว พบว่า HCl ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.005 และ 0.003 M ให้ผลไม่แตกต่างกัน จึงได้เลือกใช้ HCl ที่ความเข้มข้นเพียง 0.003 M

ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทดสอบไอโอเดทนั้นนอกจากมีความไวมาก สามารถใช้ตรวจสอบไอโอเดทซึ่งแสดงผลในรูปของไอโอดีนได้อย่างแม่นยำในระดับน้อยกว่า 3 ppm ยังสามารถวัดปริมาณไอโอดีนที่มีความเข้มข้นสูงจนถึง 100 ppm ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับใช้ในการทดสอบคุณภาพเกลือเสริมไอโอดีนตามท้องตลาดและเกลือผสมไอโอดีนแต่ละ batch จากโรงงานทั่วไปที่มีปริมาณไอโอดีนแตกต่างกันตั้งแต่ 0-100 ppm

3.3 การวัดปริมาณไอโอเดท (ในรูป ppm ไอโอดีน) ในเกลือบริโภคในท้องตลาด

ได้มีการสำรวจปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคต่าง ๆ ชนิด ในท้องตลาด โดยใช้เส้นกราฟมาตรฐานในข้อ 3.2 พบว่า

จากการสำรวจเกลือบริโภคในท้องตลาด ทั้งที่ระบุและไม่ได้ระบุว่าเสริมไอโอดีน พบว่ามีปริมาณไอโอดีน (ในรูปของไอโอเดท) อยู่ระหว่าง 0-114 ppm (44) คือ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของไอโอเดทที่หาได้จากการทดลองใน 5 กลุ่มของเกลือ

กลุ่ม*	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณของไอโอเดทที่หาได้จากการทดลอง (ppm ไอโอดีน)
1	8	0.2, 0.2, 8.4, 11.3, 29.1, 49.1, 64.0, 68.4
2	7	0, 0, 0.8, 32.6, 33.4, 41.1, 45.8
3	6	0.1, 0.2, 5.1, 48.8, 93.4, 114.5
4	9	0.1, 0.2, 0.3, 0.8, 1.1, 1.1, 26.0, 45.3, 65.0
5	5	0.2, 0.2, 0.2, 0.3, 0.5

- * กลุ่มที่ 1 : เกลือที่ติดฉลากว่า เกลือเสริมไอโอดีนที่มี 50 ppm ไอโอดีน
- กลุ่มที่ 2 : เกลือที่ติดฉลากเป็นภาษาอังกฤษว่า “iodized salt”
- กลุ่มที่ 3 : เกลือที่ติดฉลากว่า เกลือเสริมไอโอดีน แต่ไม่ได้ระบุปริมาณที่เสริม
- กลุ่มที่ 4 : เกลือที่ไม่ได้ระบุว่า เสริมหรือไม่เสริมไอโอดีน
- กลุ่มที่ 5 : เกลือธรรมชาติที่ไม่ได้เสริมไอโอดีน

จากตารางนี้อาจสรุปได้ว่าใน

เกลือที่ระบุว่าเสริมไอโอดีน จำนวน 21 ตัวอย่าง - พบว่ามีไอโอดีนเกิน 30 ppm เพียง 10 ตัวอย่าง และมีไอโอดีนต่ำกว่า 30 ppm 11 ตัวอย่าง

เกลือที่ไม่ได้ระบุว่าเป็นไอโอดีน จำนวน 9 ตัวอย่าง - พบว่ามีไอโอดีนมากกว่า 30 ppm 2 ตัวอย่าง และมีไอโอดีนน้อยกว่า 30 ppm 7 ตัวอย่าง

3.4 ทดสอบความเหมาะสมของวัสดุและน้ำยาเพื่อการพัฒนาชุดตรวจสอบ

ได้นำผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้วัดปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน และจากการทดสอบความไวของปฏิกิริยา มาประยุกต์ใช้ในการทดลองทำชุดตรวจสอบมาใช้ใน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้คือ

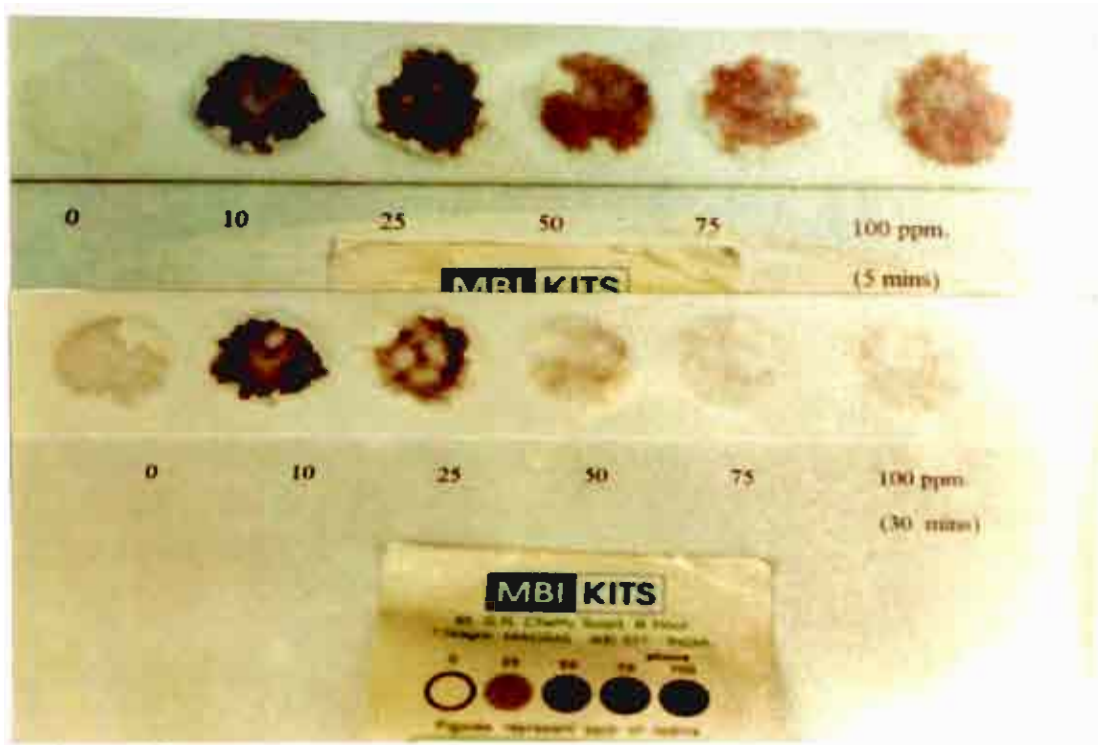
4.1 ชุดตรวจสอบไอโอดีนแบบขวดเดี่ยว (single-bottled kit) แบบใช้หยดบนเกลือ

ได้มีการทดลองทำน้ำยาตรวจสอบสำเร็จรูป (working solution) โดยมีสารทุกอย่างที่ใช้ในปฏิกิริยาตามสัดส่วนที่ได้ทดลองแล้วว่าเหมาะสมมาผสมกันอยู่ในขวดเดียวกันเพื่อสะดวกต่อการใช้

ชุดตรวจสอบชนิดขวดเดี่ยวนี้ จะใช้หยดลงบนเกลือที่ต้องการทดสอบว่ามีไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐาน (30-50 ppm) หรือไม่ โดยดูสีที่เกิดขึ้นบนเกลือเทียบกับแถบสีมาตรฐาน วิธีการนี้จะอ่านปริมาณไอโอดีนได้อย่างคร่าว ๆ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่จะผลิตชุดสำเร็จรูปนี้ขึ้นตามความต้องการของกระทรวงสาธารณสุขที่จะใช้แทนชุดตรวจสอบที่สั่งซื้อจากอินเดียที่มีปัญหามากในการใช้ในปัจจุบัน (เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นบนเกลือไม่เหมือนกับแถบสีมาตรฐานบนกล่อง ถึงแม้ว่าน้ำยานี้เพิ่งผลิตใหม่ตามวันที่แจ้งในฉลาก และยังไม่เหลือเวลาอีกนานกว่าจะหมดอายุ - ดังแสดงในรูปที่ 3)

ชุดตรวจสอบแบบขวดเดี่ยวที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาประกอบด้วย น้ำยาสำหรับทดสอบที่บรรจุรวมกันอยู่ในขวดที่มีหลอดหยด ช้อนสำหรับตักเกลือได้ประมาณ 0.3 กรัม และแผ่นพลาสติกสีขาวขุ่นสำหรับใช้ทดสอบ วิธีการใช้คือ ใช้ช้อนมาตรฐานตักเกลือใส่บนแผ่นพลาสติกแล้วจึงหยดน้ำยา ใช้ปลายช้อนกดให้เข้ากัน อ่านสีที่เกิดขึ้นเป็นค่าไอโอดีนโดยประมาณจากการเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน (ดังแสดงในรูปที่ 4)

ได้มีการนำชุดตรวจสอบนี้ไปทดลองตรวจสอบเกลือต่าง ๆ ในท้องตลาดและทดลองใช้ในภาคสนาม โดยการร่วมมือกับกระทรวงสาธารณสุข

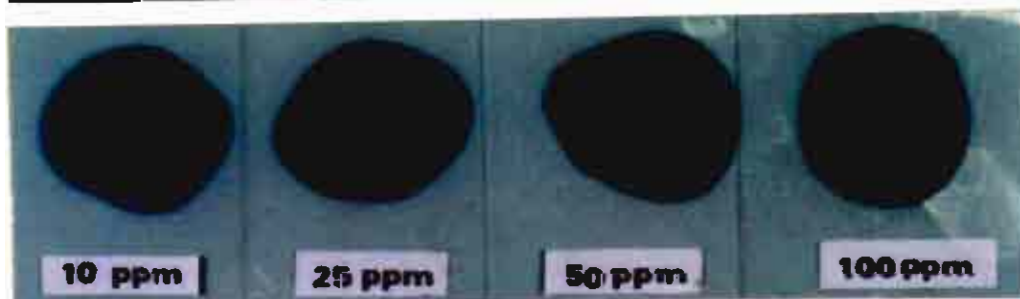


รูปที่ 3 สีที่ได้ปฏิกิริยาทดสอบไอโอดีนโดยใช้ kit จากบริษัท MBI ประเทศอินเดีย
สีที่ได้จริงจะเป็นสีม่วง ต่างจากสีบนแถบสีมาตรฐาน ซึ่งเป็นสีน้ำเงินอมเทา
และความเข้มของสีไม่เป็นไปตามปริมาณของไอโอดีน ดังแสดงในแถบสี
มาตรฐาน

ก

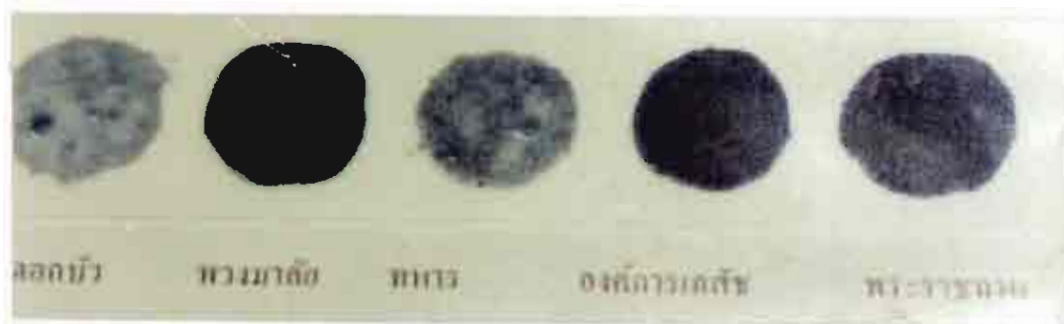


ข



รูปที่ 4 ก. ชุดทดสอบแบบ single-bottled kit ที่มาพร้อมกับวิธีการใช้ และแถบสีมาตรฐาน
(เป็นชุดที่ทดลองทำ ครั้งที่ 1)

ข. สีเกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาลงบนเกลือมาตรฐานที่มีไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5 รูปถ่ายของสีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลือบรีโคยี่ห้อต่าง ๆ ที่ซื้อตามท้องตลาด

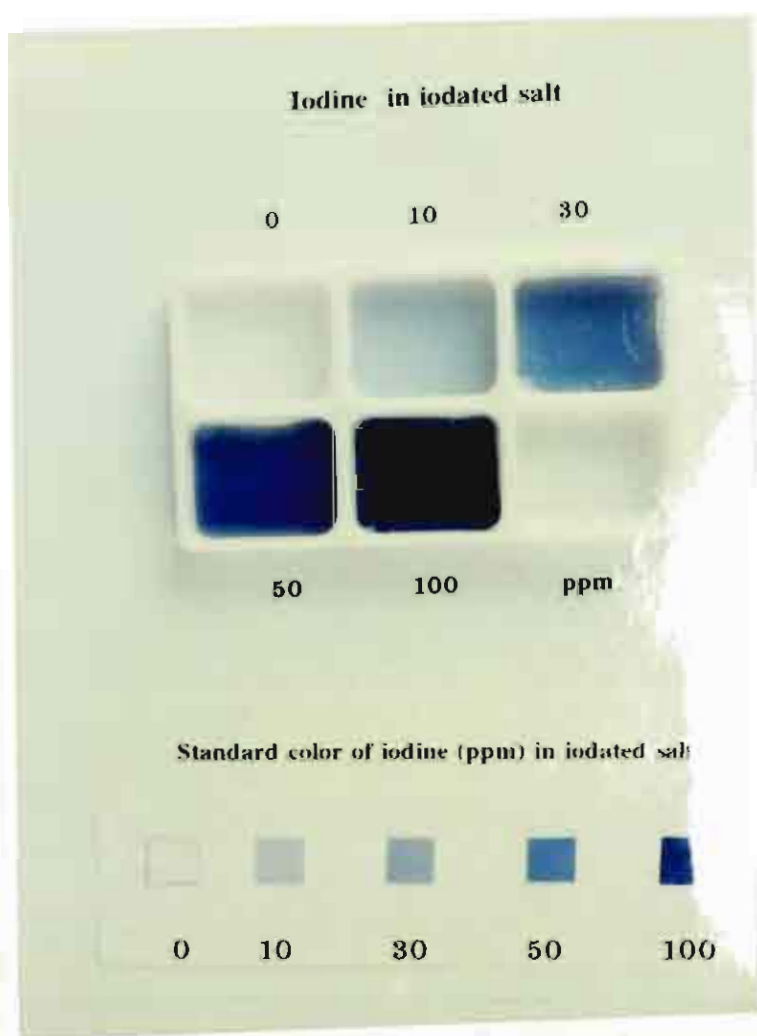
3.4.2 ชุดตรวจสอบแบบภาดหลุม

ชุดทดสอบแบบภาดหลุมนี้ใช้ตรวจหาปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือบรีโคยจำนวนมากในระยะเวลาสั้น ได้มีการทดลองทำน้ำยาตรวจสอบสำเร็จรูป (working solution) โดยมีสารทุกอย่างที่ใช้ทำปฏิกิริยา (ตามสัดส่วนที่ได้ทดลองแล้วว่าเหมาะสม ซึ่งสูตรนี้จะต่างจากสูตรในข้อ 3.4.1) ผสมกันอยู่ในขวดเดียวกัน เพื่อสะดวกต่อการใช้ โดยให้ทำปฏิกิริยากับเกลือบรีโคยที่ดักใส่ไว้ในภาดหลุม แล้วอ่านสีที่เกิดขึ้น โดยการดูสีด้วยตาเปล่า เทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน

วัตถุประสงค์ของชุดตรวจสอบนี้ เพื่อที่จะใช้ตรวจวัดปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างเกลือบรีโคยจำนวนมากอย่างคร่าวๆ ระหว่าง 0-100 ppm โดยที่ไม่ต้องใช้เครื่องอ่านสี จึงสามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้อย่างสะดวก ชุดตรวจสอบประกอบด้วยขวดบรรจุน้ำยาสำเร็จรูป ข้อนดักเกลือบรีโคย แผ่นสีมาตรฐาน และภาดหลุม ซึ่งจากการทดลองพบว่าภาด plastic สีขาวขุ่น จะใช้ได้ผลดี ภาดพลาสติกนี้ขนาดใหญ่กว่า 96-well microtiter plate เพื่อให้สีที่เกิดขึ้นเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่าและสามารถเทียบกับแผ่นสีมาตรฐานได้ง่าย วิธีใช้ ดักเกลือบรีโคย 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 ชุดตรวจสอบไอโอดีนชนิดแถบกระดาษ (paper kit)

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

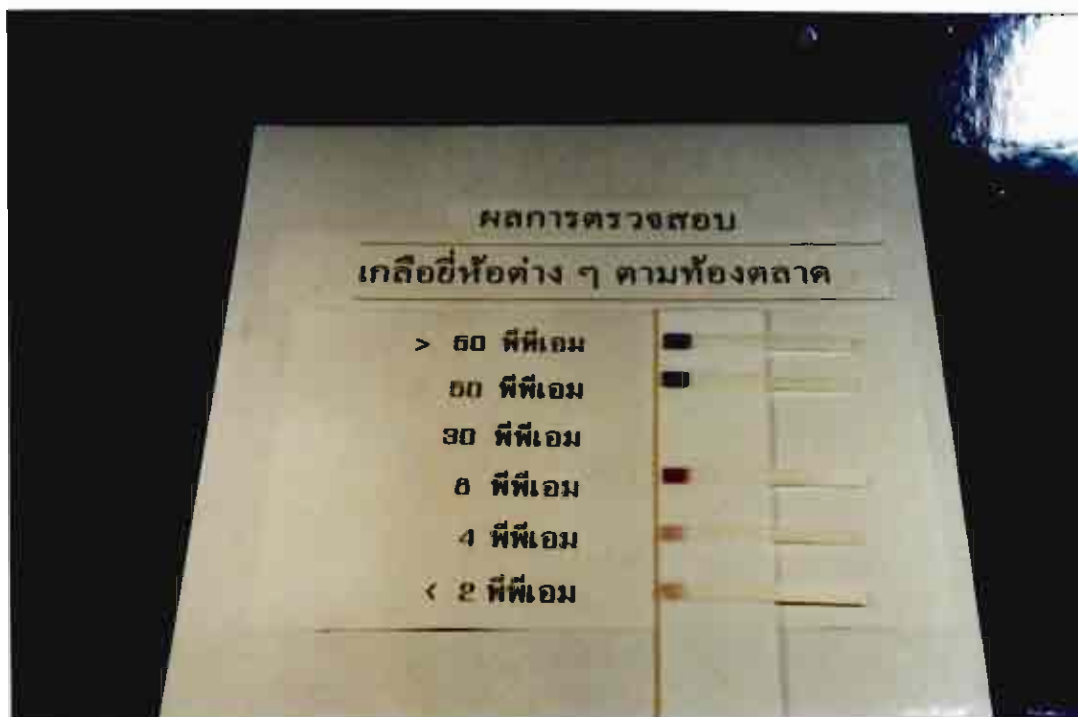
นอกจากชนิดของกระดาษได้มีการศึกษาถึงสูตรของน้ำยาที่จะใช้ฉาบกระดาษ ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในชุดตรวจสอบประเภทแถบกระดาษนี้ต่างไปจากชนิดน้ำยาตรวจสอบที่ใช้ทั้งในข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 การทดลองนี้ได้ทำสูตรของน้ำยาเพื่อใช้อาบกระดาษขึ้นมา 3 สูตร ที่มีปริมาณของแป้งและไอโอดีนในสัดส่วนที่ต่าง ๆ กัน

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

ชุดสำเร็จรูปชนิดนี้ (รูปที่ 7) ประกอบด้วยกระดาษอบน้ำยาดังกล่าว เพื่อจุ่มในสารละลายเกลือที่ต้องการทดสอบ และจะมาพร้อมกับชุดเตรียมสารละลายเกลือที่ต้องการทดสอบ วิธีใช้คือ จุ่มปลายกระดาษฉาบน้ำยาลงในสารละลายเกลืออิมตัว อ่านค่าปริมาณไอโอดีนโดยประมาณเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ชุดตรวจสอบนี้สามารถวัดปริมาณไอโอดีนได้ระหว่าง 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*

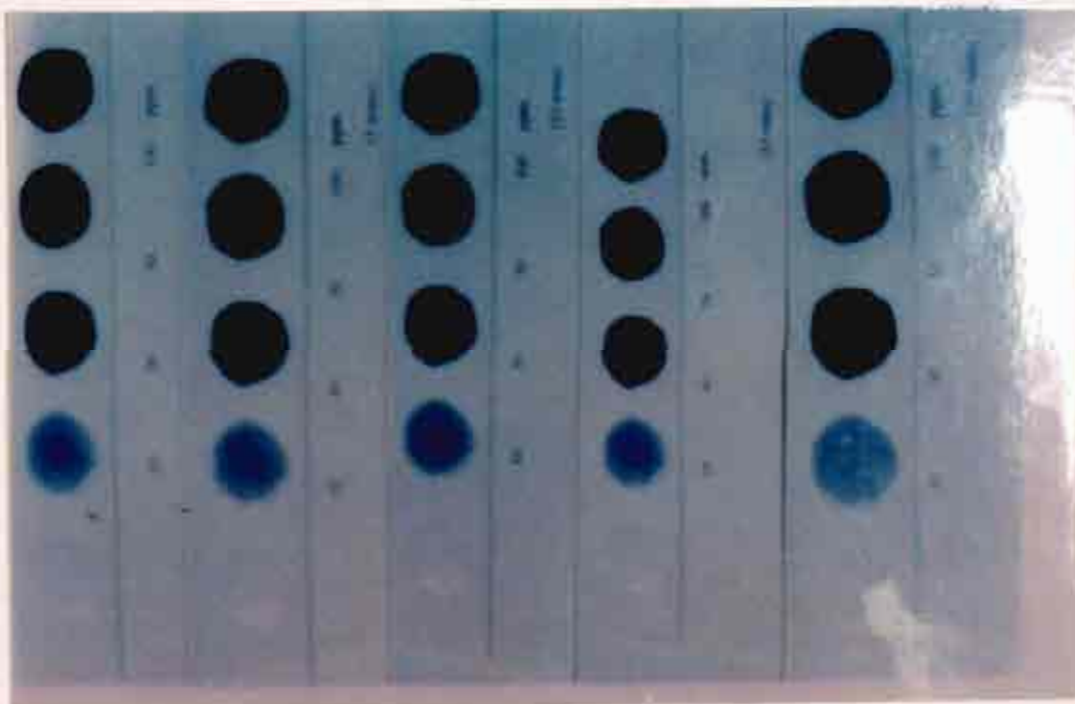
ความคิดเห็นของ ผู้ตอบแบบสอบถาม	แบบขวดเดียว (139 ตัวอย่าง)
การอ่าน"วิธีการใช้"	
เขียนได้ชัดเจน เข้าใจทุกขั้นตอน	96
บางขั้นตอนไม่ชัดเจน คือ	2
ไม่ชัดเจนเลยไม่สามารถทำตามได้	2
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-
การทำตาม"วิธีการใช้"	
ง่ายมากไม่มีปัญหาเลย	98
ง่ายปานกลางมีปัญหาบ้างคือ	2
ไม่ง่ายมีปัญหาคือ	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-
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

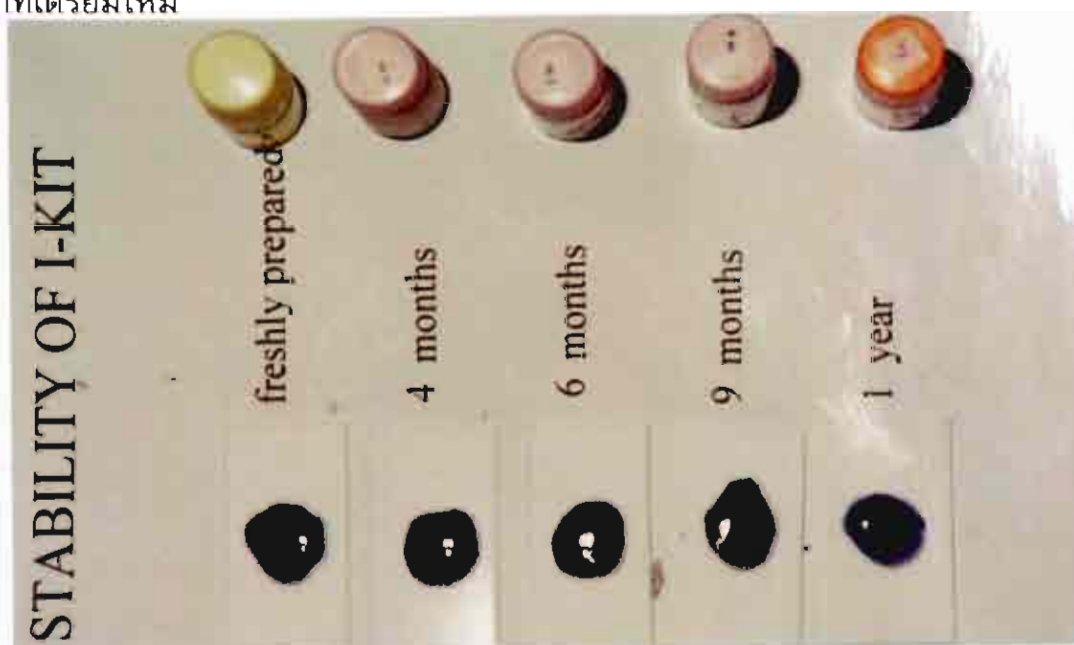
3.7 การทดสอบความคงตัวของชุดตรวจสอบแบบต่าง ๆ

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 ในภูมิประเทศ และภูมิอากาศที่ต่างกัน พบว่าน้ำยาชนิดขวดเดี่ยวนี้สามารถทนสภาพดังกล่าวได้พอสมควร

นอกจากนี้ได้มีการเตรียมน้ำยาในสูตรต่าง ๆ ที่ทั้งมีและไม่มี preservative เพื่อดูความคงทนของน้ำยาในปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีในการตรวจสอบไอโอเดท จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าน้ำยาที่ไม่ได้ใส่ preservative จะขึ้นราหลังจากเก็บไว้ประมาณ 3 เดือน แต่ยังสามารใช้ได้ คือให้สีเหมือนเดิม 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

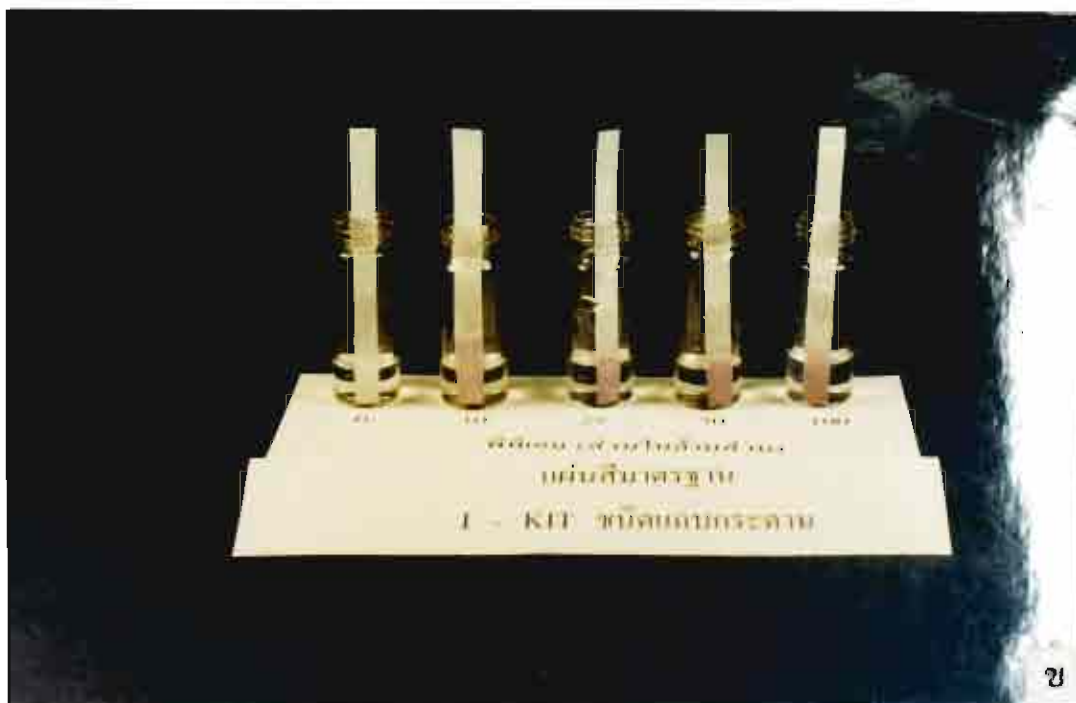
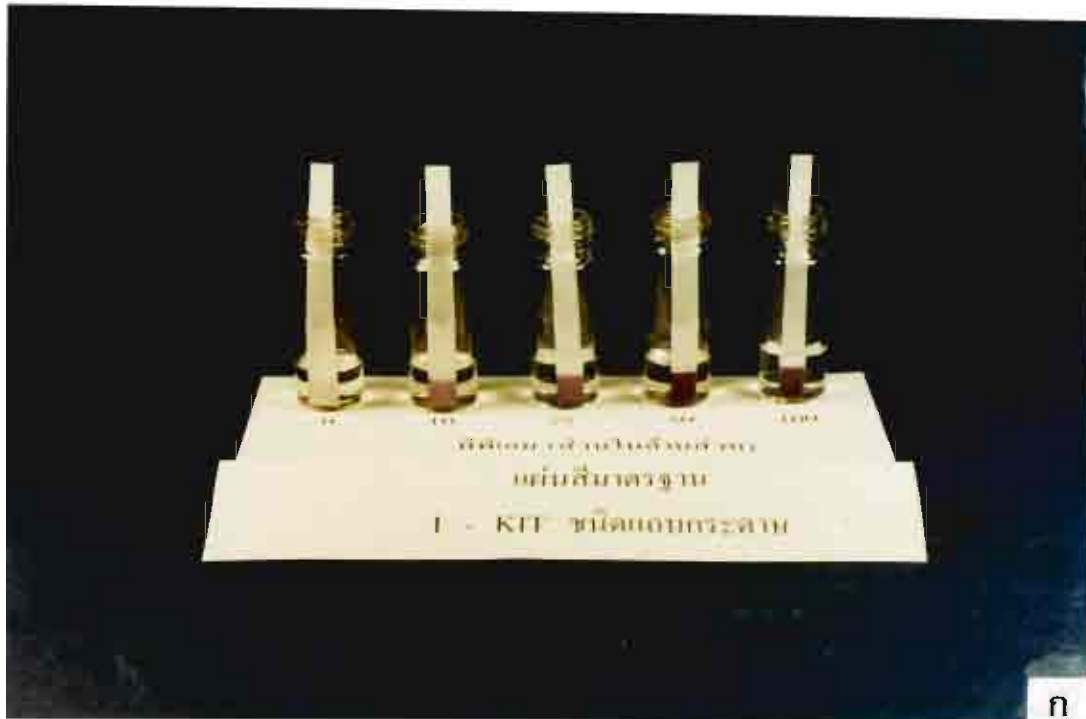
ตารางที่ 4 ความคงทนของน้ำยาตรวจสอบไอโอเดทชนิดขวดเดี่ยว โดยทดสอบการเกิดสีโดยวิธี spectrophotometry โดยวัด OD ที่ 700 และดูการเกิดสีบนเกล็ดด้วยตาเปล่าที่เวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง

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

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



รูปที่ 10 รูปกระดาดษอาบนำยาทดสอบไอโอเดทชนิดที่ 1 (ก) และชนิดที่ 2 (ข) หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง และนำมาจุ่มในสารละลายเกลืออิ่มตัวที่มีไอโอดีน 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 ได้มีการออกแบบช่องพลาสติกให้ตัดเกลือปริมาณ 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. ทดสอบคุณภาพของน้ำยาล้างสีที่เกิดขึ้นเมื่อหยดน้ำยาบนเกลียวที่เสริมด้วยไอโอเดท (ตามคู่มือวิธีการใช้) จะเหมือนกับแถบสีมาตรฐานที่ให้มาพร้อมชุดทดสอบหรือไม่ ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 และ 4

2. แสดงผลเปรียบเทียบการใช้ I-Kit และ MBI-Kit ในการทดสอบระหว่างเกลียวที่มี 15 ppm ไอโอเดทิน (ซึ่งถือว่าต่ำกว่ามาตรฐาน) และเกลียวที่มี 35 ppm ไอโอเดทิน ซึ่งได้มาตรฐาน (รูปที่ 12) จะเห็นว่าถ้าใช้ MBI-Kit จะไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างนี้ได้ สีที่เกิดขึ้นในเกลียวที่ไอโอเดทิน 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

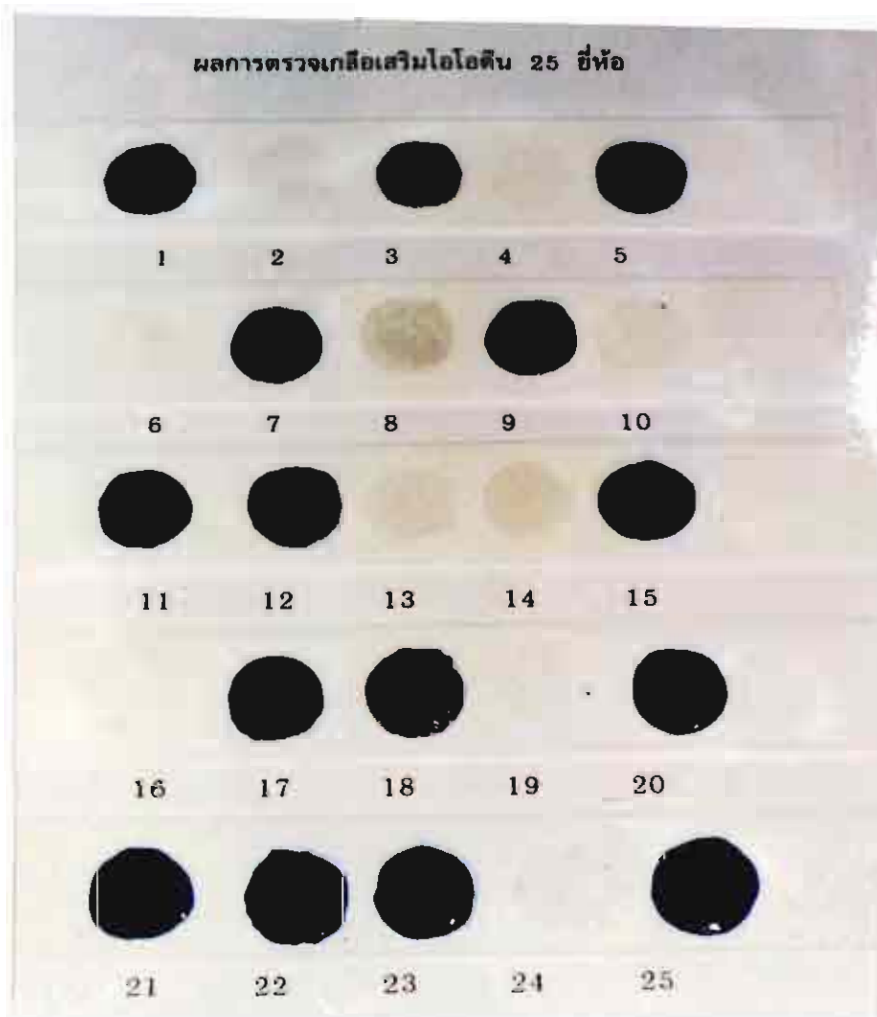


รูปที่ 12 เปรียบเทียบการใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit และ MBI-Kit

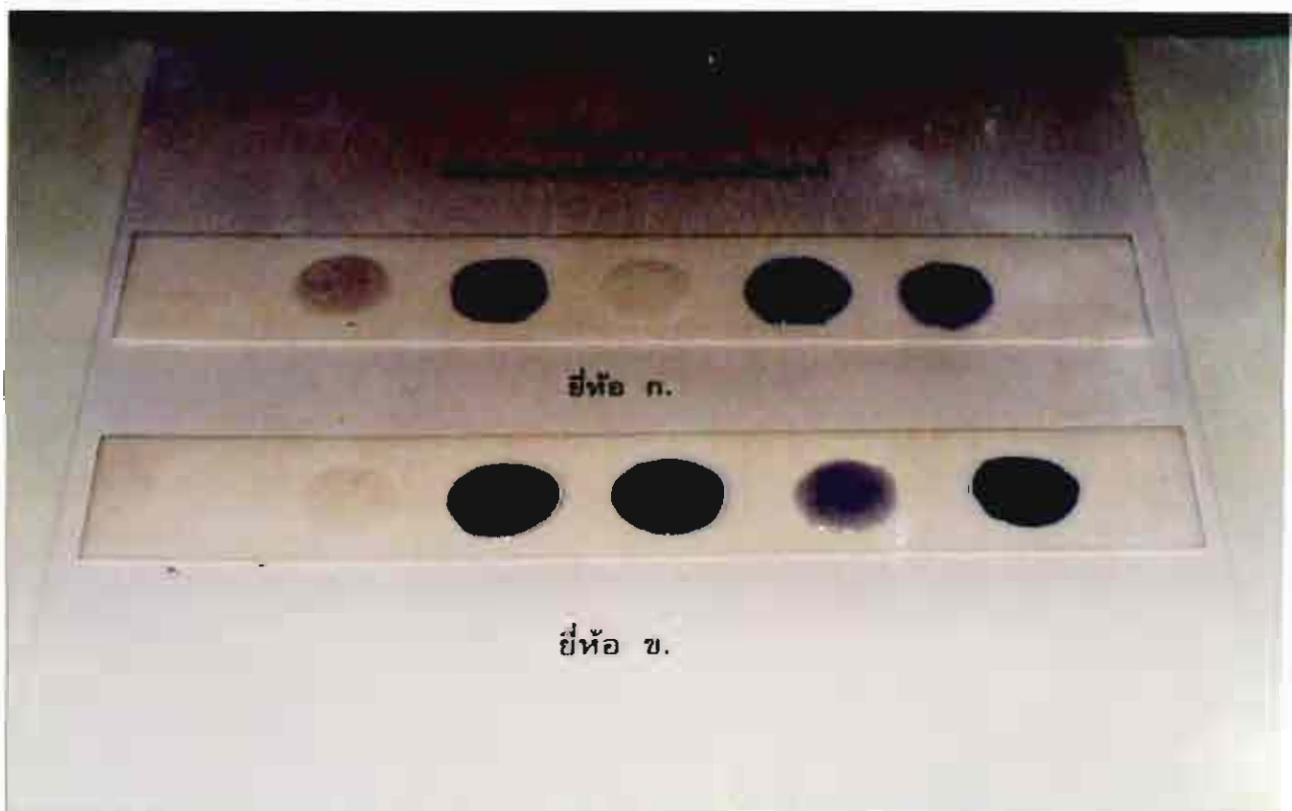
3.9.2 การวิเคราะห์เกล็ดตัวอย่างที่เก็บจากกรุงเทพฯ และปริมณฑล

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 โดยใช้ชุดตรวจสอบ I-Kit



รูปที่ 14 เกลือยี่ห้อเดียวกันที่มีปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยใช้ชุดตรวจสอบ 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

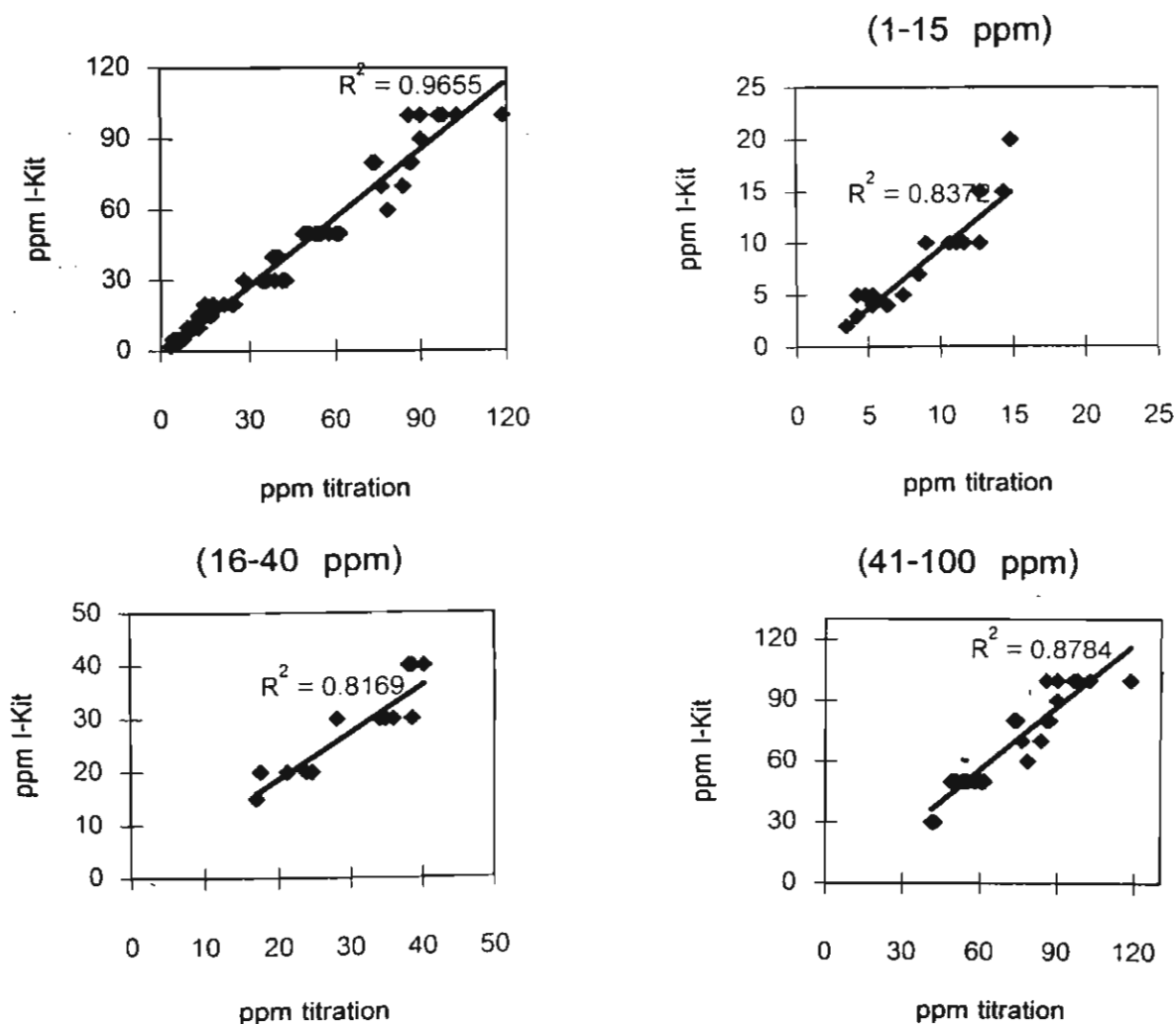
ความคิดเห็นของ ผู้ตอบแบบสอบถาม	บุคลากรใน นิทรรศการ (472 ตัวอย่าง)	บุคลากรทาง สาธารณสุข* (201 ตัวอย่าง)	โรงงานเกลือ (25 ตัวอย่าง)
การอ่าน"วิธีการใช้"			
เขียนได้ชัดเจน เข้าใจทุกขั้นตอน	100	99	96
บางขั้นตอนไม่ชัดเจน คือ	-	1	4
ไม่ชัดเจนเลยไม่สามารถทำตามได้	-	-	-
อื่น ๆ (โปรดระบุ)	-	-	-
การทำตาม"วิธีการใช้"			
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

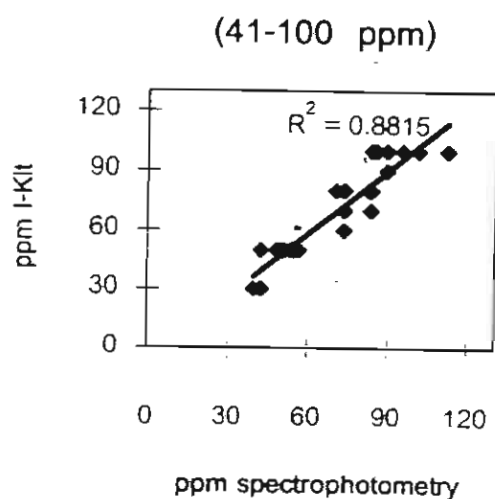
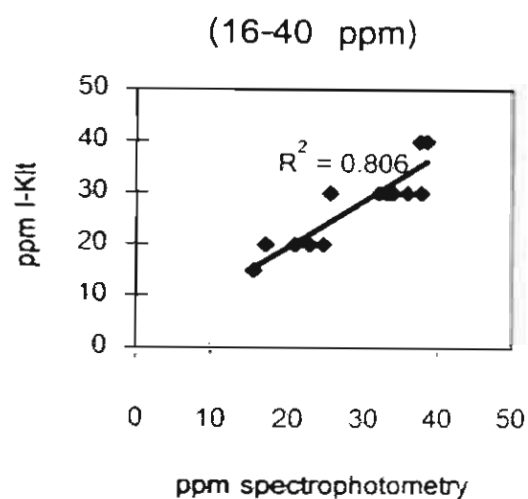
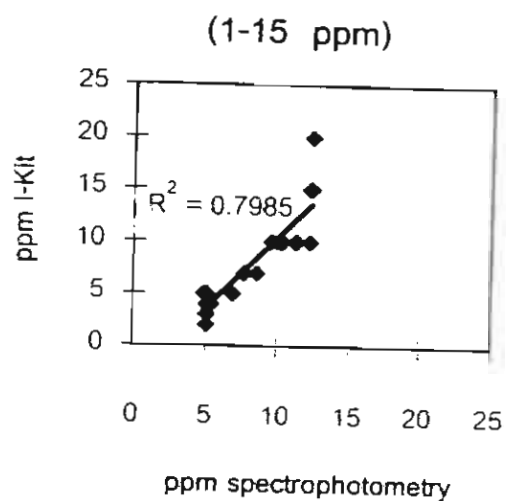
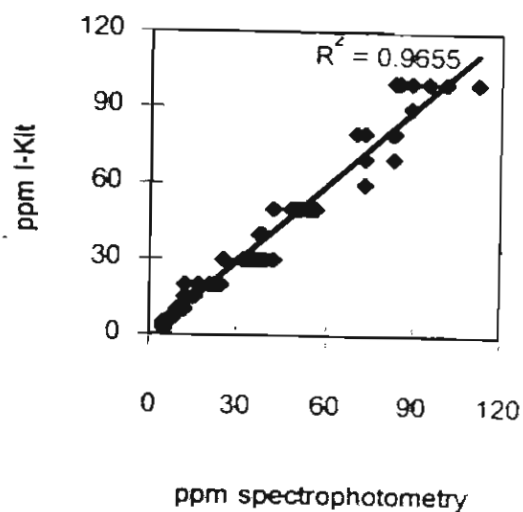
3.10.1 การประเมินความแม่นยำของชุดตรวจสอบภาคสนาม โดยเทียบกับการวัดค่าที่แท้จริงทางห้องปฏิบัติการ

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 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 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 $\text{mean} \pm \text{SD}$ และ coefficient of variation และ range ของการอ่าน และผลการทดลองที่ทำโดย individual no.1, no.2, และ no.3 ให้ผลคล้ายคลึงกัน

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

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

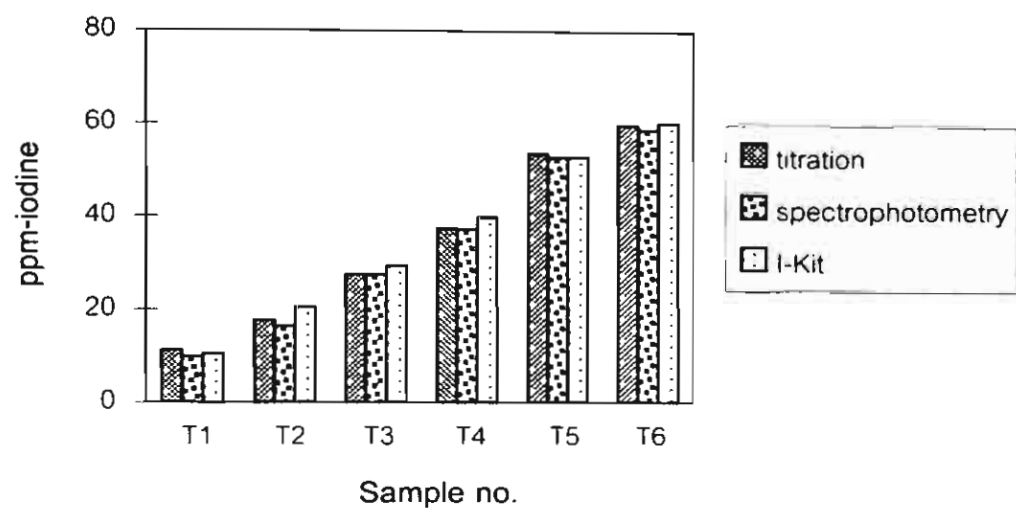
ตารางที่ 12 ค่า mean $\pm$ SD ของ ppm ไอโอดีน ของตัวอย่างเกลือ (#1-6)
ที่วิเคราะห์โดยใช้น้ำยา 10 lot

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) ที่เป็นผลผลิตที่ใช้ได้จริงจากงานวิจัยนี้จะเป็นชุดตรวจสอบชนิดขวดเดียว (single-bottled kit) เพียงชนิดเดียว แต่งานวิจัยนี้ได้พัฒนา

ชุดตรวจสอบไอโอดีน (ในรูปของไอโอดेट) ในเกล็ดขึ้นมา 3 ชนิด คือ ชนิดขวดเดียว ชนิดภาตหลุม และชนิดแถบกระดาษ สำหรับชนิดขวดเดียวนั้นจะมีน้ำยาทุกอย่างสำหรับการตรวจสอบผสมอยู่ในขวดเดียวกัน เมื่อหยดน้ำยานั้นบนเกล็ดที่มีไอโอดेट เกล็ดจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ในชุดตรวจสอบแบบภาตหลุม จะมีการผสมเกล็ดกับน้ำยาจากขวดเดียวเช่นกันในภาตหลุมให้เป็นสารละลายสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นเพิ่มตามปริมาณไอโอดेटในเกล็ด ส่วนชุดตรวจสอบแบบแถบกระดาษจะเป็นกระดาษอาบน้ำยาที่ส่วนปลายของกระดาษ 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 จนมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง ทั้งด้านความแม่นยำ และความคงทน

ชุดตรวจสอบปริมาณไอโอดีนในเกล็ดที่เป็นผลสำเร็จจากการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าชุดตรวจสอบอื่นที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันรวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งเป็นชุดที่ซื้อจากต่างประเทศ ผลผลิตนี้อาจถือได้ว่าเป็นแบบอย่างของงานวิจัยและงานประดิษฐ์ เนื่องจากการวิจัยและพัฒนาโดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานทางชีวเคมีและเคมี มาประยุกต์ใช้เพื่อทำเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีประโยชน์ในการสาธารณสุข จุดเด่นของชุดตรวจสอบนี้ คือ

1. เป็นครั้งแรกที่มีการคิดค้นสูตรน้ำยาตรวจสอบไอโอดีนในเกล็ดชนิดขวดเดียว สำหรับภาคสนามที่สามารถประมาณระดับไอโอดีนในเกล็ดอย่าง semiquantitative ได้อย่างแท้จริง โดยทำให้เกิดเป็นสีที่มีความชัดเจน มีความคงทน และความเข้มข้นเพิ่มตามปริมาณไอโอดีนอย่างชัดเจน 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 นอกจากนี้ น้ำยานี้ยังมีความคงทนที่อุณหภูมิที่ 0°C - 45°C และในสภาวะอื่น ๆ อีก ที่ชุดตรวจสอบจากต่างประเทศจะเสียสภาพไป

ในการวิจัยนี้ สัดส่วนที่เหมาะสมขององค์ประกอบทุกตัวรวมกันที่คิดค้นขึ้นใหม่นี้ ทำให้ชุดตรวจสอบนี้มีคุณสมบัติเหนือชุดตรวจสอบอื่นไม่เฉพาะในด้านความแม่นยำ แต่ยังเหนือกว่าในด้านความคงทนต่อสภาพการเก็บรักษา ใช้งาน และสภาพการขนส่งต่าง ๆ

4.3 ประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบภาคสนามยังได้มาจากการออกแบบอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสม

เพื่อให้ให้น้ำยาสูตรนี้สามารถวัดปริมาณไอโอเดทในเกลือในภาคสนามอย่างแม่นยำ การวิจัยนี้ได้ออกแบบข้อให้มีส่วนของหน้าตัดและความลึกที่จะดักเกลือในปริมาณที่เหมาะสมอย่างมีข้อผิดพลาดได้น้อย และขนาดของข้อยังเหมาะสมพอดีกับรูหยदन้ำยาของขวดหยด ทั้งนี้เพื่อให้สัดส่วนของเกลือและน้ำยามีความเหมาะสม กล่าวคือ เป็นเกลือประมาณ 0.1 กรัมต่อน้ำยา 3 หยด ซึ่งจะเป็นสัดส่วนที่จะทำให้เห็นความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นจากไอโอดีนช่วง 0-100 ppm ได้อย่างชัดเจนอันส่งผลให้การวัดมีความแม่นยำ นอกจากนี้เพื่อให้ชุดตรวจสอบนี้เป็นชุดแรกที่สามารถใช้ได้ทุกสถานที่ จึงได้ออกแบบให้มีอุปกรณ์เสริมคือ นอกจากมีข้อแล้วยังมีแผ่นพลาสติกผิวด้านสีขาว 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 เพียงมีตัวอย่างเกลือก็วัดได้แล้ว 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 หรือผู้บริโภคปลายทางได้ทราบว่าเกลือ นั้น 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 ให้สีที่เกิดขึ้นเมื่อผสมเกลือบกับน้ำยาเป็นสีม่วง 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 คณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์เกลื่อยี่ห้อเดียวกันจากหลาย ๆ ถุง (ผลิตคนละครั้ง ชื้อจากสถานที่ต่างกัน ฯลฯ) พบว่ามีปริมาณของไอโอดีนต่างกัน เช่น ในยี่ห้อหนึ่งที่ระบุว่ามีไอโอดีน 50 ppm ปรากฏว่าเมื่อวิเคราะห์จาก 5 ถุง พบว่ามี 0, 3, 10, 30 และ 50 ppm เป็นต้น ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นเป็นปกติจากตัวอย่างเกลือที่เก็บจากร้านค้าและแหล่งผลิต 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 ที่จะเห็นความเข้มของสีน้ำเงิน 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 ขวดแปดตรวงไอโอดีนและไอโอดิเนเตอร์ โครงการร่วมเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โรงพยาบาลศิริราช และกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข : ศุภวันวิชาการพิมพ์ 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 ขวดแปดตรวงไอโอดิเนเตอร์" จัดพิมพ์โดย โครงการร่วมเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โรงพยาบาลศิริราช และกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข : ศุภวันวิชาการพิมพ์ 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 University, 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 Spectrophotometry, 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