

การประเมินความเสี่ยงแคดเมียมจากการบริโภคประจำวันของคนไทย

พนาวลัย กลิ่งกลางดอน* ลัดดาวลัย โรจนพรรณทิพย์* กรรณิกา จิตติยศรา*

นนทรรัตน์ พรทรัพย์มณี** ปิ่นนรี ชินวรรณวงศ์*** และเชมิกา เหมโลหะ****

* สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ถนนติวานนท์ นนทบุรี 11000

** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 12/1 ตรัง กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ อำเภอเมือง จังหวัดตรัง 92000

*** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 เชียงใหม่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ 50180

**** ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11 สุราษฎร์ธานี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

บทคัดย่อ แคดเมียม (Cadmium, Cd) มักพบในอาหารเกือบทุกชนิด ซึ่งจะพบปริมาณที่ปนเปื้อนแตกต่างกันขึ้นกับชนิดอาหารและระดับปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การบริโภคอาหารเป็นแหล่งหลักของการได้รับ Cd สำหรับคนทั่วไปที่ไม่สูบบุหรี่หรือทำงานในแหล่งที่มีแคดเมียม Cd จัดเป็นสารที่ก่อมะเร็งในมนุษย์ ในปี พ.ศ. 2553 หน่วยงาน JECFA (the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) กำหนดค่าความปลอดภัยจากการได้รับ Cd ต่อเดือน (provisional tolerable monthly intake, PTMI) เท่ากับ 25 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อเดือน งานวิจัยนี้ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2554 - 2556 เพื่อประเมินความเสี่ยงของ Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทย และมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันสำหรับใช้พิจารณาข้อกำหนดมาตรฐานแคดเมียมของอาหารในประเทศ และพิจารณาปรับแก้ข้อกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศให้เหมาะสม สำหรับขั้นตอนประเมินการได้รับสัมผัส Cd ด้วยวิธี duplicate portion โดยเก็บข้อมูลการบริโภค ตัวอย่างอาหารและน้ำที่บริโภคของคนไทยจาก 4 ภาค จำนวน 400 ครอบครัว ระยะเวลาศึกษา 4 วัน รวมประชากรที่ศึกษา 1,241 คน ตัวอย่างอาหาร 1,600 ตัวอย่าง และน้ำ 400 ตัวอย่าง วิเคราะห์ปริมาณ Cd ด้วยเครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer และ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer ผลการศึกษาปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ middle bound ในอาหาร และน้ำดื่ม เท่ากับ 0.009 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 7×10^{-4} มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณการบริโภคเฉลี่ยอาหารและน้ำดื่ม เท่ากับ 1,506 กรัมต่อคนต่อวัน และ 1,832 มิลลิตรต่อคนต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณการได้รับสัมผัส Cd เฉลี่ยที่ middle bound จากการบริโภคประจำวัน (อาหารและน้ำดื่ม) ของคนไทย เท่ากับ 7.29 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อเดือน (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 58 กิโลกรัม) คิดเป็นร้อยละ 29 ของค่า PTMI จึงสรุปได้ว่าโดยภาพรวมคนไทยยังคงปลอดภัยต่อ Cd ที่ได้รับจากการบริโภคประจำวัน

บทนำ

แคดเมียม (Cadmium, Cd) เป็นโลหะมีพิษที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติในเปลือกโลกและมหาสมุทรในรูปอนินทรีย์ของ Cd เป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่สารประกอบของ Cd บางชนิดสามารถละลายน้ำได้ Cd ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ อุตสาหกรรม และแหล่งเกษตรกรรมต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ประโยชน์หลากหลายด้าน เช่น ใช้ฉาบและเคลือบเงาผิวโลหะต่างๆ เพื่อความเงางามทนต่อการกัดกร่อน สารเพิ่มความคงตัวของพลาสติกจำพวกพีวีซี ผลิตเม็ดสี ผลิตแบตเตอรี่ขนาดเล็ก (แคดเมียม - นิกเกิล แบตเตอรี่) ปุ๋ยชนิดฟอสเฟต และยังใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู โดยใช้เป็นตัวดูดซับนิวตรอน⁽¹⁻⁵⁾ แหล่งปนเปื้อน Cd ในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ Cd ปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของมนุษย์มาจากดินและน้ำ โดยพืชจะดูด Cd ทางรากแล้วเก็บสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช และสัตว์กินพืชนั้น แล้วมนุษย์ก็กินสัตว์และพืชนั้นเป็นอาหาร พืชจะดูดซึม Cd จากดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรีย์วัตถุในดิน และชนิดพืช ซึ่งดินที่เป็นกรดจะทำให้พืชดูดซึม Cd เพิ่มขึ้น⁽⁴⁻⁵⁾

สำหรับมนุษย์จะได้รับ Cd จากการหายใจ กิน ดื่ม หรือได้รับสัมผัสทางผิวหนัง สำหรับคนทั่วไปจะได้รับจากการบริโภคอาหารเป็นส่วนใหญ่ ส่วนผู้ที่สูบบุหรี่ก็จะได้รับ Cd เข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากใบยาสูบจะพบปริมาณ Cd สูง และคนที่ทำงานในแหล่งที่มี Cd เช่น เหมืองแร่ โรงงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก และการบัดกรี ก็จะมีโอกาสได้รับ Cd สูง⁽⁴⁻⁶⁾ สำหรับปริมาณ Cd ที่พบในอาหารนั้นจะพบปริมาณที่แตกต่างกันค่อนข้างมากขึ้นกับชนิดอาหารและระดับปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปอาหารจำพวกพืชจะพบ Cd สูงกว่าอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ ไข่ นม ผลิตภัณฑ์จากนม และปลา พืชที่มักพบ Cd สูงเป็นพวกธัญพืช พืชน้ำมัน พืชมีหัว นอกจากนั้นยังพบสูงในเห็ดป่า สำหรับเนื้อสัตว์พบ Cd สูงในเครื่องในสัตว์ และจะพบสูงขึ้นในสัตว์ที่อายุมาก ๆ ส่วนในสัตว์น้ำจืดและสัตว์ทะเลที่มักพบสูง เช่น หอยนางรม หอยสองฝา กุ้ง ปลาหมึก และปู⁽⁷⁻⁸⁾ นอกจากนี้ยังสามารถได้รับแคดเมียมจากภาชนะที่สัมผัสอาหาร เช่น เซรามิก อลลอย และพลาสติก⁽⁹⁾

Cd ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคประมาณร้อยละ 5 ซึ่งต่ำกว่าการดูดซึมจากการหายใจที่ดูดซึมร้อยละ 40 - 60⁽⁶⁾ สำหรับการดูดซึมทางผิวหนังนั้นน้อยมากประมาณร้อยละ 0.5⁽¹⁰⁾ การเกิดอันตรายจากการได้รับ Cd เข้าสู่ร่างกายมีหลายปัจจัย เช่น ปริมาณ ระยะเวลา วิธีทางที่ได้รับ Cd อายุ เพศ อาหารที่บริโภค และสภาวะทางโภชนาการ ซึ่งพบว่าคนที่ขาดธาตุเหล็กจะได้รับ Cd มากกว่าคนปกติ Cd จะสะสมได้ในร่างกาย และจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามอายุที่มากขึ้น⁽¹¹⁾ Cd เมื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกจับกับโปรตีน เช่น อัลบูมิน (albumin) และ เมทัลโลไธโอนีน (metallothionein) ทำให้ Cd มีความเป็นพิษน้อยลง⁽⁴⁾ เนื่องจาก Cd มีค่าครึ่งชีวิตยาวประมาณ 10 - 30 ปี Cd ที่ได้รับจะสะสมที่ไตหรือตับ และถูกขับจากร่างกายได้ช้ามากทางปัสสาวะและอุจจาระ⁽⁵⁾ เมื่อปริมาณ Cd ในร่างกายมีมากจนถึงจุดวิกฤตก็จะก่อให้เกิดพิษของ Cd ขึ้น สัญญาณแรกที่บ่งบอกว่าได้รับผลกระทบจากพิษ Cd คือ ท่อไต (renal tubular) ถูกทำลาย และถ้าได้รับ Cd เป็นเวลานานกระดูกจะมีความผิดปกติอย่างรุนแรง เรียกโรคนี้ว่า อีไต-อีไต⁽¹⁻³⁾ ปี ค.ศ. 2012 หน่วยงาน International Agency for Research on Cancer (IARC) จัดให้ Cd อยู่ใน Group 1 คือเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (carcinogenic to human)⁽¹²⁾

การศึกษาพิษวิทยาเลือกความผิดปกติของไต (renal dysfunction) เป็น end-point พิจารณาความเป็นพิษ จากการศึกษาแบบ meta-analysis ขนาดใหญ่ ของ dose-response ระหว่างการขับออกของ β 2-microglobulin (B2M) และปริมาณ Cd ในปัสสาวะ โดยเลือกศึกษากลุ่มประชากรในกลุ่มอายุ 50 ปีหรือมากกว่า ซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นค่า B2M และปริมาณ Cd ในปัสสาวะ และเมื่อระดับ Cd ในไตมีสภาวะคงที่ จะขับ Cd ออกในปริมาณที่ต่ำกว่า 5.24 ไมโครกรัมของ Cd ต่อกรัมครีเอตินิน (μ g of Cd/gram creatinine)

และที่ 5 - 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์ เท่ากับ 4.94 - 5.57 μg of Cd/gram creatinine ซึ่งเป็นระดับที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของ B2M และปริมาณ Cd ในปัสสาวะ คณะกรรมการพิจารณาเลือกระดับต่ำ (lower bound) ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ของการได้รับสัมผัส Cd จากอาหารของประชากรทั้งหมดประมาณได้ค่า 0.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/day หรือ 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/month เป็นค่าที่เกิดผลกระทบน้อยจากการบริโภคประจำวัน และค่านี้ได้ประเมินจากการได้รับ Cd จากการบริโภคอาหารของทุกกลุ่มอายุ รวมทั้งผู้ที่บริโภคอาหารในปริมาณสูงและผู้ที่มีพฤติกรรมการบริโภคอาหารพิเศษ (เช่น ผู้บริโภคมังสวิรัต) ดังนั้น ในปี ค.ศ. 2010 หน่วยงาน The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) จึงยกเลิกค่า PTWI (provisional tolerable weekly intake) แล้วกำหนดค่าความปลอดภัยใหม่เป็น PTMI (provisional tolerable monthly intake) ที่ระดับ 25 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อเดือน ($\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/month)⁽¹³⁾

สำหรับในประเทศไทยได้มีการศึกษาการได้รับโลหะจากการบริโภคอาหารต่อวัน ระหว่าง พ.ศ. 2542 - 2544 ด้วยวิธี Total diet Study พบว่าปริมาณ Cd ที่ได้รับจากการบริโภคอาหารเท่ากับ 17.24, 7.31 และ 4.82 ไมโครกรัมต่อคนต่อวัน⁽¹⁴⁾ ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเมื่อเทียบกับค่าความปลอดภัย ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายควบคุมปริมาณ Cd ในอาหาร⁽¹⁵⁾ ดังนั้นเพื่อคุ้มครองผู้บริโภคให้ปลอดภัย คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำโครงการบูรณาการร่วมกับศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ 7 แห่ง ขึ้นในปี พ.ศ. 2554 - 2556 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงของ Cd ในอาหารและน้ำดื่มที่บริโภคประจำวันของคนไทย และมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันสำหรับใช้พิจารณากำหนดมาตรฐาน Cd ในอาหารในประเทศ และพิจารณาปรับแก้มาตรฐานระหว่างประเทศให้เหมาะสมและปลอดภัย

วัตถุประสงค์และวิธีการ

การศึกษานี้ดำเนินการในปี พ.ศ. 2554 - 2556 โดยใช้หลักวิธีประเมินความเสี่ยงที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล⁽¹⁶⁾ ลักษณะโครงการเป็นแบบบูรณาการระหว่างสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ใน 4 ภาค ได้แก่ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์เชียงใหม่ นครสวรรค์ อุตรธานี นครราชสีมา สุราษฎร์ธานี ตรัง และสมุทรสงคราม

1. การประเมินการได้รับสัมผัส (exposure assessment) Cd จากอาหารและน้ำดื่มซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ศึกษาข้อมูลปริมาณการบริโภค ศึกษาปริมาณ Cd ที่ปนเปื้อน และคำนวณปริมาณการได้รับสัมผัส ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลปริมาณการบริโภคอาหารและน้ำดื่ม ดำเนินในปี พ.ศ. 2554 การศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการเก็บข้อมูลการบริโภคอาหารและน้ำดื่มด้วยวิธี duplicate portion⁽¹⁷⁾ กลุ่มเป้าหมายที่จะศึกษาเลือกโดยการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) โดยเลือกระดับภาค จำนวน 4 ภาค ได้แก่ กลาง เหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และใต้ ระดับจังหวัดเลือกภาคละ 2 จังหวัด โดยเลือกจังหวัดที่เป็นที่ตั้งของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์หรือจังหวัดใกล้เคียง ได้แก่ นนทบุรี สมุทรสงคราม เชียงใหม่ อุทัยธานี นครราชสีมา อุตรธานี ตรัง และสุราษฎร์ธานี แต่ละจังหวัดเลือกระดับอำเภอ โดยสุ่มเลือกอำเภอที่เป็นตัวแทนของเขตเมือง 1 อำเภอ และเขตชนบท 1 อำเภอ แล้วสุ่มเลือกระดับตำบลและหมู่บ้านด้วยวิธีเดียวกัน แต่ละหมู่บ้านสุ่มเลือกครัวเรือนจำนวน 25 ครัวเรือน (ตารางที่ 1) รวม 50 ครัวเรือนต่อจังหวัด ภาคละ 100 ครัวเรือน รวมทั้งประเทศ 400 ครัวเรือน ระยะเวลาการศึกษา 4 วัน ซึ่งสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหารและศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่เป็นตัวแทนของแต่ละภาคทำหน้าที่เก็บข้อมูลการบริโภคและเก็บตัวอย่างอาหารและน้ำ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของพื้นที่ที่ดำเนินการสำรวจ

ภาค	จังหวัด	เขต	
กลาง	นนทบุรี	เมือง	เทศบาลบางบัวทอง ต.บางรักพัฒนา อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี
		ชนบท	บ้านคลองสอง ต.ทิวพัฒนา อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี
	สมุทรสงคราม	เมือง	ต.บางนาแขวก อ.บางคนที จ.สมุทรสงคราม
		ชนบท	ต.บางช้าง อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม
เหนือ	เชียงใหม่	เมือง	ต.ต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่
		ชนบท	ต.ขุนคอง อ.หางดง จ.เชียงใหม่
	อุทัยธานี	เมือง	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.อุทัยธานี
		ชนบท	บ้านดงยาง (หนองจิก) ต.หนองยาง อ.หนองฉาง จ.อุทัยธานี
ตะวันออกเฉียงเหนือ	นครราชสีมา	เมือง	ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา
		ชนบท	บ้านโนนหมั่น ต.โนนสูง อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา
	อุดรธานี	เมือง	บ้านโนนพิบูลย์ ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี
		ชนบท	บ้านนาม่วง ต.นาม่วง อ.ประจักษ์ศิลปาคม จ.อุดรธานี
ใต้	สุราษฎร์ธานี	เมือง	ต.ขุนทะเล อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี
		ชนบท	ต.น้ำพุ อ.นาสาร จ.สุราษฎร์ธานี
	ตรัง	เมือง	หมู่ 4 ต.บ้านควน อ.เมือง จ.ตรัง
		ชนบท	บ้านน้ำพราย หมู่ 3 ต.ปากคม อ.ห้วยยอด จ.ตรัง

วิธีสำรวจปริมาณการบริโภควิธี duplicate portion นั้นเป็นการสำรวจปริมาณการบริโภคจริงต่อวันของครัวเรือนที่ร่วมโครงการ ปริมาณการบริโภคอาหารคำนวณได้จากข้อมูลการบริโภคที่สมาชิกบันทึกในแบบบันทึกข้อมูลการบริโภคอาหาร สมาชิกในครัวเรือนที่ร่วมโครงการต้องกรอกรายละเอียดเกี่ยวกับรายการอาหารที่บริโภค น้ำหนักอาหารก่อนและหลังบริโภค ปริมาณการบริโภคน้ำดื่มที่บริโภคจริง และจำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่ร่วมบริโภคอาหารและน้ำดื่มในแต่ละมื้อ (ไม่รวมเด็กที่อายุน้อยกว่า 3 ปี) พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างอาหารและน้ำดื่มทุกอย่างที่ครัวเรือนบริโภค (ใช้ดำเนินการในส่วนที่ 2) โดยแต่ละครัวเรือนจะได้รับเครื่องชั่ง ถ้วยตวง และอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการบันทึกปริมาณการบริโภคอาหารและน้ำดื่ม

วิธีการคำนวณปริมาณการบริโภคจากแบบบันทึกข้อมูลการบริโภคอาหาร

- อาหาร โดยเปลี่ยนหน่วยของน้ำหนักอาหารให้ เป็น “กรัม” เนื่องจากจะให้สมาชิกในครัวเรือนบันทึกน้ำหนักอาหารที่บริโภคเป็น “ขีด” จากนั้นนำน้ำหนักอาหารก่อนบริโภคลบด้วยน้ำหนักอาหารหลังบริโภคจะได้น้ำหนักอาหารที่บริโภคของครัวเรือนในแต่ละมื้ออาหารด้วยจำนวนสมาชิกที่บริโภคอาหารในมือนั้น (กรัมต่อคนต่อมื้อ) รวม 3 มื้อ จะได้ปริมาณการบริโภคอาหารต่อคนต่อวัน (กรัมต่อคนต่อวัน)

- น้ำดื่ม ปริมาณน้ำดื่มจะบันทึกปริมาณน้ำดื่มในแต่ละวันเป็นรายบุคคล ซึ่งจะบันทึกเป็น “ถ้วยตวง” โดย 1 ถ้วยตวงเท่ากับ 160 มิลลิลิตร จะได้ปริมาณการบริโภคน้ำดื่มต่อคนต่อวัน (มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน)

ส่วนที่ 2 ศึกษาข้อมูลการปนเปื้อนของ Cd ในอาหารและน้ำดื่ม ดำเนินการในปี พ.ศ. 2555 - 2556 สมาชิกของครัวเรือนที่ร่วมโครงการต้องเก็บตัวอย่างอาหารทุกชนิดที่บริโภค ตามที่บันทึกในแบบบันทึกข้อมูลการบริโภคอาหาร และตัวอย่างที่เก็บได้ต้องดำเนินการเตรียมตัวอย่างตามสัดส่วนการบริโภคจริง ตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Cd และรายงานผล ดังนี้

การเตรียมตัวอย่าง

- อาหาร ดำเนินการโดยรวมอาหารที่บริโภคใน 1 มื้อ ตามสัดส่วนการบริโภคจริงต่อคน (หน่วย กรัมต่อคนต่อมื้อ) แล้วบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นรวมอาหาร 3 มื้อ ตามสัดส่วนการบริโภคจริงต่อคน แล้วบดให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง จะได้เป็น 1 ตัวอย่างของอาหารที่คนไทยบริโภคจริงต่อคนต่อวัน (หน่วย กรัมต่อคนต่อวัน) ระยะเวลาศึกษา 4 วัน จาก 400 ครั้วเรือน รวมตัวอย่างอาหาร 1,600 ตัวอย่าง

- น้ำดื่ม เก็บตัวอย่างน้ำดื่มครั้วเรือนละ 1 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 400 ตัวอย่าง จาก 400 ครั้วเรือน เก็บรักษาตัวอย่างด้วยกรดไนตริก (เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างน้ำดื่ม 1 ลิตร)

การตรวจวิเคราะห์

หน่วยงานที่ร่วมตรวจวิเคราะห์ จำนวน 4 หน่วยงาน ได้แก่ สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์เชียงใหม่ สุราษฎร์ธานี และตรัง ซึ่งแต่ละหน่วยงานมีการเข้าร่วมทดสอบความชำนาญผลอยู่ในเกณฑ์น่าพอใจ และมีการควบคุมคุณภาพทุกชุดการทดสอบ (batch) ได้แก่ แบลงค์ (blank) การทำซ้ำ (duplicate) และการเติมสารละลายมาตรฐานในตัวอย่างเพื่อหา % recovery

- วิธีวิเคราะห์ Cd ในอาหารใช้วิธี AOAC 999.10⁽¹⁸⁾ หรือ In-house method based on AOAC 999.10 ซึ่งเป็นวิธีย่อยตัวอย่างด้วยเทคนิค microwave digestion วัดปริมาณ Cd ด้วย GF-AAS หรือ ICP-OES ประสิทธิภาพของวิธี ชีตจำกัดของการตรวจพบ (LOD) ตั้งแต่ 0.0002 - 0.012 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) และชีตจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ตั้งแต่ 0.001 - 0.0625 mg/kg

- วิธีวิเคราะห์ Cd ในน้ำดื่มใช้วิธี APHA⁽¹⁹⁾ หรือ In-house method based on APHA ตรวจวัดปริมาณ Cd ด้วย GF-AAS หรือ ICP-OES ประสิทธิภาพของวิธี ชีตจำกัดของการตรวจพบ (LOD) ตั้งแต่ 0.0001 - 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) และชีตจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ตั้งแต่ 0.0005 - 0.01 mg/L

การรายงานผล

- ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่า LOD จะรายงานไม่พบ
- ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่า LOQ จะรายงานค่า น้อยกว่า LOQ
- ค่าที่วิเคราะห์ได้เท่ากับและสูงกว่า LOQ จะรายงานค่าที่ตรวจพบ

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้มีห้องปฏิบัติการทำหน้าที่ตรวจวิเคราะห์หลายแห่งโดยวิธีที่มีค่า Performance Characteristic ที่สำคัญต่างกัน คือ ค่า LOD และ LOQ จึงใช้แนวทางการคำนวณโดยใช้ข้อมูล 3 ค่า ได้แก่

- ค่าต่ำ (lower bound) คือ ผลการตรวจวิเคราะห์ที่มีค่าต่ำกว่า LOD และ ค่าต่ำกว่า LOQ จะแทนค่าด้วย “0”

- ค่ากลาง (middle bound) คือ ผลการตรวจวิเคราะห์ที่มีค่าต่ำกว่า LOD แทนค่าด้วย “1/2 LOD” หรือ ค่าต่ำกว่า LOQ แทนค่าด้วย “1/2 LOQ”

- ค่าสูงสุด (upper bound) คือ ผลการตรวจวิเคราะห์ที่มีค่าต่ำกว่า LOD แทนค่าด้วย “LOD” หรือ ค่าต่ำกว่า LOQ แทนค่าด้วย “LOQ”

ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่นำมาประเมินการได้รับสัมผัสที่ครอบคลุมค่า LOD และ LOQ ที่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 3 ศึกษาปริมาณการได้รับสัมผัส Cd จากอาหารและน้ำดื่มที่บริโภคประจำวัน ปริมาณการได้รับสัมผัส (exposure) จากอาหารและน้ำดื่มที่บริโภคประจำวันของคนในแต่ละครั้วเรือน คำนวณได้จากสูตร

$$\text{exposure} = C \times fc$$

exposure = ปริมาณการได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคอาหารหรือน้ำดื่มของคนในแต่ละครั้วเรือน หน่วย ไมโครกรัมต่อคนต่อวัน ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)

C = ปริมาณการปนเปื้อน Cd ในอาหารเฉลี่ย 4 วันหรือน้ำดื่มในแต่ละครัวเรือน หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) หรือมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) โดยคำนวณทั้ง 3 แบบ (lower bound, middle bound และ upper bound)

fc = ปริมาณการบริโภคอาหารหรือน้ำดื่มเฉลี่ย 4 วัน ในแต่ละครัวเรือน หน่วย กรัมต่อคนต่อวัน (g/person/day) หรือมิลลิลิตรต่อคนต่อวัน (mL/person/day)

คำนวณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยที่ 3 ระดับ คือ ต่ำ กลาง และสูง ได้จากปริมาณ Cd เฉลี่ย ตามที่คำนวณทั้ง 3 แบบ (lower bound, middle bound และ upper bound) และการบริโภคเฉลี่ย ซึ่งมีแหล่งการได้รับสัมผัส 2 แหล่ง คือ อาหารและน้ำดื่ม แล้วรวมปริมาณการได้รับสัมผัส Cd ของทั้ง 2 แหล่ง หน่วย $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ แล้วนำมาหารด้วยน้ำหนักตัวเฉลี่ยของประชากรไทยซึ่งเท่ากับ 58 กิโลกรัม (น้ำหนักตัวเฉลี่ยตั้งอายุ 3 ปีขึ้นไป)⁽²⁰⁾ จะได้การได้รับสัมผัส Cd ในหน่วยไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน ($\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$) จากนั้นคูณด้วย 30 วัน จะได้การได้รับสัมผัส Cd ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{month}$

2. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) เป็นแบบเชิงกำหนด (deterministic) นำผลที่ได้จากการประเมินการได้รับสัมผัส (exposure) ของ Cd จากอาหารและน้ำดื่มที่บริโภคประจำวัน เปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยของสารเคมีต่อสุขภาพมนุษย์ (Health-Based Guidance Value, HBGV) ซึ่ง JECFA ได้ประเมินความปลอดภัยของ Cd และกำหนดค่าความปลอดภัยเป็นค่า Provisional tolerable monthly intake (PTMI) เท่ากับ $25 \mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{month}$ ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\text{risk (\% of PTMI)} = (\text{exposure}/\text{PTMI}) \times 100$$

ถ้า risk น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100% ของ PTMI แสดงว่าปริมาณ Cd ที่ได้รับไม่สามารถทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายได้

ถ้า risk มากกว่า 100% ของ PTMI แสดงว่าปริมาณ Cd ที่ได้รับสามารถทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายได้

ผล

1. การประเมินการได้รับสัมผัส (Exposure assessment)

ส่วนที่ 1 ปริมาณการบริโภคอาหารและน้ำดื่ม

ปริมาณการบริโภคได้จากบันทึกปริมาณการบริโภคจริงตลอดวันของสมาชิกที่ร่วมโครงการ ทั้งหมด 4 ภาค คือ กลาง เหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และใต้ ภาคละ 100 ครัวเรือน รวมทั้งหมด 400 ครัวเรือน รวมจำนวนประชากรที่ศึกษา 1,241 คน ระยะเวลาศึกษา 4 วัน มีผลการศึกษาดังนี้

ปริมาณการบริโภคอาหารและน้ำดื่มของคนไทยทั่วประเทศ พบปริมาณการบริโภคอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 1,506 กรัมต่อคนต่อวัน และที่ 97.5 เพอร์เซ็นไทล์ เท่ากับ 2,534 กรัมต่อคนต่อวัน และปริมาณบริโภคน้ำดื่มเฉลี่ยเท่ากับ 1,832 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน และที่ 97.5 เพอร์เซ็นไทล์ เท่ากับ 3,601 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณการบริโภคอาหารและน้ำดื่มของคนไทยจากการสำรวจ

ภาค	จำนวน ครัวเรือน	ปริมาณการบริโภคอาหาร* (กรัมต่อคนต่อวัน)			ปริมาณการบริโภคน้ำดื่ม* (มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน)		
		ค่าเฉลี่ย	SD	97.5 th	ค่าเฉลี่ย	SD	97.5 th
เขตเมือง							
กลาง	50	1569	390	2381	2051	906	3546
เหนือ	50	1419	330	1994	1656	575	2977
ตะวันออกเฉียงเหนือ	50	1606	463	2661	2210	992	3753
ใต้	50	1355	448	2474	1330	561	2894
ทั่วประเทศ (เขตเมือง)	200	1487	421	2504	1812	850	3434
เขตชนบท							
กลาง	50	1430	311	2021	1963	533	3257
เหนือ	50	1529	541	2918	1701	495	2903
ตะวันออกเฉียงเหนือ	50	1710	430	2578	2247	843	3953
ใต้	50	1435	418	2082	1496	466	2611
ทั่วประเทศ (เขตชนบท)	200	1526	444	2547	1852	662	3622
รวมเขตเมืองและชนบท							
กลาง	100	1499	358	2232	2007	741	3507
เหนือ	100	1474	449	2295	1678	534	2978
ตะวันออกเฉียงเหนือ	100	1658	448	2597	2229	916	3936
ใต้	100	1395	433	2408	1413	520	2766
ทั่วประเทศรวม (เขตเมืองและชนบท)	400	1506	433	2534	1832	761	3601

หมายเหตุ *ปริมาณการบริโภคอาหารและน้ำดื่มของแต่ละครัวเรือนได้มาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณการบริโภค 4 วัน

เมื่อพิจารณาเป็นรายเขต พบปริมาณการบริโภคทั้งอาหารและน้ำดื่มของเขตชนบทสูงกว่าเขตเมือง ปริมาณบริโภคอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 1526 และ 1487 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ และที่ 97.5 เพอร์เซ็นต์ไทล์ เท่ากับ 2547 และ 2504 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณบริโภคน้ำดื่มเฉลี่ยเท่ากับ 1852 และ 1812 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน ตามลำดับ และที่ 97.5 เพอร์เซ็นต์ไทล์ เท่ากับ 3622 และ 3434 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาการบริโภคอาหารเฉลี่ยเป็นรายภาค (เขตเมืองและเขตชนบท) พบว่าปริมาณการบริโภคเฉลี่ยสูงสุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคกลาง เหนือ และใต้ เท่ากับ 1658, 1499, 1474 และ 1395 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ และที่ 97.5 เพอร์เซ็นต์ไทล์ สูงสุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคใต้ เหนือ และกลาง เท่ากับ 2597, 2408, 2295 และ 2232 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาการบริโภคน้ำดื่มเฉลี่ยเป็นรายภาค (เขตเมืองและเขตชนบท) พบว่าปริมาณการบริโภคเฉลี่ยสูงสุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคกลาง เหนือ และใต้ เท่ากับ 2229, 2007, 1678 และ

1413 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน ตามลำดับ และที่ 97.5 เปอร์เซ็นต์สูงสุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคกลางเหนือ และใต้ เท่ากับ 3936, 3507, 2978 และ 2766 มิลลิลิตรต่อคนต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ส่วนที่ 2 ปริมาณการปนเปื้อนของ Cd ในอาหารและน้ำดื่ม

ปริมาณการปนเปื้อน Cd ได้จากตัวอย่างอาหารและน้ำดื่มที่เก็บจากการบริโภคจริงของครัวเรือนที่ร่วมโครงการจำนวน 400 ครัวเรือน ระยะเวลาศึกษา 4 วัน รวมตัวอย่างอาหารทั้งสิ้น 1,600 ตัวอย่าง และน้ำดื่ม 400 ตัวอย่าง ผลการตรวจวิเคราะห์ดังนี้

ผลวิเคราะห์ปริมาณ Cd ในอาหารเฉลี่ย 4 วันของแต่ละครัวเรือน จำนวน 400 ครัวเรือน พบว่าทั่วประเทศ ไม่พบ Cd ในอาหาร จำนวน 72 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 18 ปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound เท่ากับ 0.005, 0.009 และ 0.012 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาปริมาณ Cd ในอาหารเป็นรายเขต พบว่าเขตเมืองไม่พบ Cd จำนวน 54 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 27 และเขตชนบทไม่พบ Cd จำนวน 18 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 9 พบ Cd ในอาหารเขตชนบทสูงกว่าเขตเมือง ปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound เขตเมืองเท่ากับ 0.004, 0.008 และ 0.011 mg/kg ตามลำดับ และเขตชนบทเท่ากับ 0.006, 0.010 และ 0.013 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาปริมาณ Cd ในอาหารเป็นรายภาค (เขตเมืองและเขตชนบท) พบว่าภาคกลางและภาคเหนือ ตรวจพบ Cd ในอาหารทุกครัวเรือน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่พบ Cd ในอาหาร จำนวน 44 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 44 และภาคใต้ไม่พบ Cd ในอาหารจำนวน 28 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 28 ปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ภาคกลางจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 0.009 mg/kg ภาคเหนือเท่ากับ 0.007, 0.010 และ 0.013 mg/kg ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 0.003, 0.004 และ 0.005 mg/kg ตามลำดับ และภาคใต้เท่ากับ 0.003, 0.012 และ 0.021 mg/kg ตามลำดับ พบปริมาณ Cd ในอาหารเฉลี่ยที่ middle bound สูงสุดคือ ภาคใต้ รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ผลวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อน Cd ในน้ำดื่มของครัวเรือน จาก 400 ครัวเรือน (จำนวน 400 ตัวอย่าง) พบว่าน้ำดื่มส่วนใหญ่ไม่พบ Cd หรือพบปริมาณต่ำมาก ทั้งประเทศตรวจไม่พบ Cd จำนวน 370 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 92.5 ปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound เท่ากับ 4×10^{-5} , 7×10^{-4} และ 0.001 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

เมื่อพิจารณาปริมาณ Cd ในน้ำดื่มเป็นรายเขต พบว่าเขตเมืองตรวจไม่พบ Cd จำนวน 194 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 97.0 และเขตชนบทตรวจไม่พบ Cd จำนวน 176 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 88.0 ปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound เขตเมืองเท่ากับ ไม่พบ, 6×10^{-4} และ 0.001 mg/L ตามลำดับ และเขตชนบทเท่ากับ 7×10^{-5} , 7×10^{-4} และ 0.001 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

เมื่อพิจารณาปริมาณ Cd ในน้ำดื่มเป็นรายภาค (เขตเมืองและเขตชนบท) พบว่าภาคกลางและเหนือ ตรวจไม่พบ Cd ทุกครัวเรือน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตรวจไม่พบ Cd จำนวน 81 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 81.0 และภาคใต้ตรวจไม่พบ Cd จำนวน 89 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 89.0 ปริมาณ Cd เฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ภาคกลางเท่ากับ ไม่พบ, 5×10^{-4} และ 0.001 mg/L ตามลำดับ ภาคเหนือเท่ากับ ไม่พบ, 0.002 และ 0.003 mg/L ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 8×10^{-5} , 6×10^{-4} และ 0.001 mg/L ตามลำดับ และภาคใต้เท่ากับ 6×10^{-5} , 1×10^{-4} และ 2×10^{-4} mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในอาหาร

ภาค	ปริมาณแคดเมียมในอาหาร** (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)									
	จำนวนครัวเรือน		Lower bound***				Middle bound***			
	ทั้งหมด	ไม่พบ แคดเมียม*	Min-max	ค่าเฉลี่ย	SD	Min-max	Min-max	ค่าเฉลี่ย	SD	Upper bound***
เขตเมือง	50	0	0.003-0.056	0.007	0.007	0.003-0.056	0.007	0.007	0.007	0.007
	50	0	ไม่พบ-0.054	0.006	0.009	0.004-0.058	0.009	0.008	0.013	0.008
	50	43	ไม่พบ-0.020	0.001	0.003	0.001-0.021	0.002	0.003	0.003	0.003
	50	11	ไม่พบ-0.050	0.002	0.008	0.002-0.056	0.012	0.009	0.022	0.013
	200	54	ไม่พบ-0.056	0.004	0.008	0.001-0.058	0.008	0.008	0.011	0.011
เขตชนบท	50	0	0.003-0.155	0.010	0.022	0.003-0.155	0.010	0.022	0.010	0.022
	50	0	ไม่พบ-0.055	0.008	0.011	0.004-0.055	0.011	0.009	0.014	0.009
	50	1	ไม่พบ-0.035	0.005	0.008	0.001-0.036	0.007	0.008	0.008	0.007
	50	17	ไม่พบ-0.047	0.003	0.008	0.005-0.064	0.012	0.010	0.020	0.011
	200	18	ไม่พบ-0.155	0.006	0.014	0.001-0.155	0.010	0.013	0.013	0.014
รวมเขตเมืองและชนบท										
รวมเขตเมืองและชนบท	100	0	0.003-0.155	0.009	0.016	0.003-0.155	0.009	0.016	0.009	0.016
	100	0	ไม่พบ-0.055	0.007	0.010	0.004-0.058	0.010	0.009	0.013	0.008
	100	44	ไม่พบ-0.035	0.003	0.007	0.001-0.036	0.004	0.006	0.005	0.006
	100	28	ไม่พบ-0.050	0.003	0.008	0.002-0.064	0.012	0.009	0.021	0.012
ทั้งประเทศรวม (เขตเมืองและชนบท)										
400 72 ไม่พบ-0.155 0.005 0.011 0.001-0.155 0.009 0.011 0.002-0.155 0.012 0.013										

หมายเหตุ * ตรวจพบปริมาณแคดเมียมต่ำกว่า LOD
** ปริมาณแคดเมียมอาหารของแต่ละครัวเรือนได้มาจากค่าเฉลี่ย 4 วัน (คำนวณจากข้อมูลทั้งหมดทั้งที่พบและไม่พบ)
*** lower bound คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า LOD และ LOQ ใช้ค่าเท่ากับ “ 0”, middle bound คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า LOD หรือ LOQ ใช้ค่าเท่ากับ “1/2 LOD หรือ 1/2LOQ” upper bound คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า LOD หรือ LOQ ใช้ค่าเท่ากับ “LOD หรือ LOQ”
ภาคกลาง LOD = 0.0002 mg/kg และ LOQ = 0.001 mg/kg ภาคเหนือ LOD = 0.001 mg/kg และ LOQ = 0.01 mg/kg ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ LOD = 0.002 mg/kg และ LOQ = 0.01 mg/kg และภาคใต้ (2 หน่วยงาน) LOD = 0.004 mg/kg และ LOQ = 0.025 mg/kg, LOD = 0.012 mg/kg และ LOQ = 0.0625 mg/kg

ตารางที่ 4 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในน้ำดื่ม

ภาค	จำนวนครัวเรือน	ปริมาณแคดเมียมในน้ำดื่ม (มิลลิกรัมต่อลิตร)									
		Lower bound**					Middle bound**				
		ไม่พบ	แคดเมียม*	Min-max	ค่าเฉลี่ย	SD	Min-max	ค่าเฉลี่ย	SD	Min-max	Upper bound***
เขตเมือง											
กลาง	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	-	0.001	0.001
เหนือ	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	0.002	0.002	-	0.003	0.003
ตะวันออกเฉียงเหนือ	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	5×10 ⁻⁴ -0.001	5×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	0.001-0.002	0.001
ใต้	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	5×10 ⁻⁵ -5×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ -0.001	2×10 ⁻⁴
ทั่วประเทศ (เขตเมือง)	200	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	5×10 ⁻⁵ -0.001	6×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ -0.003	0.001
เขตชนบท											
กลาง	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	-	0.001	0.001
เหนือ	50	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	0.002	0.002	-	0.003	0.003
ตะวันออกเฉียงเหนือ	50	ไม่พบ-0.002	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴ -0.002	8×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁴	0.001-0.002	0.001	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴
ใต้	50	ไม่พบ-0.002	1×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁵ -0.002	7×10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ -0.002	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴
ทั่วประเทศ (เขตชนบท)	200	ไม่พบ-0.002	7×10 ⁻⁵	4×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁵ -0.002	7×10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ -0.003	0.001	0.001	0.001
รวมเขตเมืองและชนบท											
กลาง	100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	-	0.001	0.001
เหนือ	100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.002	0.002	-	0.003	0.003
ตะวันออกเฉียงเหนือ	100	ไม่พบ-0.002	8×10 ⁻⁵	4×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴ -0.002	6×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0.001-0.002	0.001	4×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁴
ใต้	100	ไม่พบ-0.002	6×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁵ -0.002	1×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ -0.002	2×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁴
ทั่วประเทศรวม (เขตเมืองและชนบท)	400	ไม่พบ-0.002	4×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁵ -0.002	7×10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ -0.003	0.001	0.001	0.001

หมายเหตุ * ตรวจพบปริมาณแคดเมียมต่ำกว่า LOD

** lower bound คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า LOD และ LOQ ใช้ค่าเท่ากับ “0” middle bound คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า LOD หรือ LOQ ใช้ค่าเท่ากับ “1/2 LOD หรือ 1/2 LOQ” upper bound คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำกว่า LOD หรือ LOQ ใช้ค่าเท่ากับ “LOD หรือ LOQ” (คำนวณจากข้อมูลทั้งหมดทั้งที่พบและไม่พบ)

ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ LOD = 0.001 mg/L และ LOQ = 0.002 mg/L ภาคเหนือ LOD = 0.003 mg/L และ LOQ = 0.01 mg/L และภาคใต้ (2 หน่วยงาน) LOD = 0.0001 mg/L และ LOQ = 0.001 mg/L, LOD = 0.0001 mg/L และ LOQ = 0.0005 mg/L

ส่วนที่ 3 ปริมาณการได้รับสัมผัส Cd จากอาหารและน้ำดื่มที่บริโภคประจำวัน

ผลการศึกษาปริมาณการได้รับสัมผัส Cd จากอาหารของคนไทย มีค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ทั้งประเทศเท่ากับ 7.8, 12.8 และ 17.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ เขตเมืองเท่ากับ 5.7, 10.7 และ 15.8 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ และเขตชนบทเท่ากับ 9.9, 15.0 และ 20.0 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ การได้รับสัมผัส Cd จากอาหารเฉลี่ยเขตชนบทสูงกว่าเขตเมือง (ตารางที่ 5)

เมื่อพิจารณาการได้รับสัมผัส Cd จากอาหารเป็นรายภาค (เขตเมืองและเขตชนบท) มีค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ภาคกลางมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 11.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ภาคเหนือเท่ากับ 9.9, 14.9 และ 19.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 5.5, 7.4 และ 9.4 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ และภาคใต้เท่ากับ 3.8, 17.2 และ 30.5 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ การได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคอาหารเฉลี่ยที่ middle bound พบสูงสุด คือ ภาคใต้ รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ผลการศึกษาปริมาณการได้รับสัมผัส Cd จากน้ำดื่มของคนไทย มีค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ทั้งประเทศเท่ากับ 0.1, 1.3 และ 2.5 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ เขตเมืองเท่ากับ ไม่พบ, 1.2 และ 2.4 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ และเขตชนบทเท่ากับ 0.2, 1.4 และ 2.6 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ การได้รับสัมผัส Cd เฉลี่ยจากน้ำดื่มเขตชนบทสูงกว่าเขตเมืองเล็กน้อย (ตารางที่ 5)

เมื่อพิจารณาได้รับสัมผัส Cd จากน้ำดื่มเป็นรายภาค (เขตเมืองและเขตชนบท) มีค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ภาคกลางเท่ากับ ไม่พบ, 1.0 และ 2.0 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ภาคเหนือเท่ากับ ไม่พบ, 2.5 และ 5.0 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 0.2, 1.4 และ 2.7 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ และภาคใต้เท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ การได้รับสัมผัส Cd เฉลี่ยจากน้ำดื่มที่ middle bound พบสูงสุด คือ ภาคเหนือ รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

การได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันโดยรวมปริมาณการได้รับสัมผัส Cd 2 แหล่ง คือจากการบริโภคอาหารและน้ำดื่ม พบว่าคนไทยได้รับสัมผัสเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ทั้งประเทศเท่ากับ 7.9, 14.1 และ 20.4 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ เขตเมืองเท่ากับ 5.7, 11.9 และ 18.2 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ และเขตชนบทเท่ากับ 10.1, 16.4 และ 22.6 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ การได้รับสัมผัส Cd เฉลี่ยจากอาหารและน้ำดื่มเขตชนบทสูงกว่าเขตเมือง (ตารางที่ 5)

เมื่อพิจารณาการได้รับสัมผัส Cd จากอาหารและน้ำดื่มที่บริโภคประจำวันเป็นรายภาค (เขตเมืองและชนบท) พบว่าคนไทยได้รับสัมผัสเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ภาคกลางเท่ากับ 11.9, 12.9 และ 13.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ ภาคเหนือเท่ากับ 9.9, 17.4 และ 24.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 5.7, 8.8 และ 12.1 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ และภาคใต้เท่ากับ 3.9, 17.4 และ 30.8 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ ตามลำดับ การได้รับสัมผัส Cd เฉลี่ยจากอาหารและน้ำดื่มที่ middle bound พบสูงสุด คือ ภาคเหนือและภาคใต้ รองลงมาคือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณการได้รับสัมผัสแคดเมียมจากการบริโภคอาหารและน้ำดื่มของคนไทย

ภาค	ปริมาณการได้รับสัมผัสแคดเมียมเฉลี่ย ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)									
	อาหาร					น้ำดื่ม				
	Lower bound	Middle bound	Upper bound	Lower bound	Upper bound	Lower bound	Middle bound	Upper bound	Lower bound	Middle bound
เขตเมือง										
กลาง	10.2	10.2	10.2	0	1.0	2.1	10.2	11.2	12.3	
เหนือ	8.2	13.3	18.4	0	2.5	5.0	8.2	15.8	23.4	
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1.0	2.6	4.1	0	1.2	2.3	1.0	3.8	6.4	
ใต้	3.2	16.9	30.5	0	0.1	0.2	3.2	17.0	30.7	
ทั่วประเทศ (เขตเมือง)	5.7	10.7	15.8	0	1.2	2.4	5.7	11.9	18.2	
เขตชนบท										
กลาง	13.5	13.5	13.5	0	1.0	2.0	13.5	14.5	15.5	
เหนือ	11.6	16.5	21.5	0	2.6	5.1	11.6	19.1	26.6	
ตะวันออกเฉียงเหนือ	10.0	12.3	14.6	0.4	1.7	3.1	10.4	14.0	17.7	
ใต้	4.4	17.4	30.5	0.2	0.3	0.4	4.6	17.7	30.9	
ทั่วประเทศ (เขตชนบท)	9.9	15.0	20.0	0.2	1.4	2.6	10.1	16.4	22.6	
รวมเขตเมืองและชนบท										
กลาง	11.9	11.9	11.9	0	1.0	2.0	11.9	12.9	13.9	
เหนือ	9.9	14.9	19.9	0	2.5	5.0	9.9	17.4	24.9	
ตะวันออกเฉียงเหนือ	5.5	7.4	9.4	0.2	1.4	2.7	5.7	8.8	12.1	
ใต้	3.8	17.2	30.5	0.1	0.2	0.3	3.9	17.4	30.8	
ทั่วประเทศรวม (เขตเมืองและชนบท)	7.8	12.8	17.9	0.1	1.3	2.5	7.9	14.1	20.4	

ตารางที่ 6 ปริมาณการได้รับสัมผัสแคดเมียมจากการบริโภคประจำวันของคนไทยและร้อยละของ PTMI

ภาค	Lower bound (อาหารและน้ำดื่ม)			Middle bound (อาหารและน้ำดื่ม)			Upper bound (อาหารและน้ำดื่ม)		
	ปริมาณได้รับสัมผัส เฉลี่ยต่อวัน* ($\mu\text{g/kg bw/day}$)	ปริมาณได้รับสัมผัส เฉลี่ยต่อเดือน** ($\mu\text{g/kg bw/month}$)	ร้อยละ ของ PTMI	ปริมาณได้รับสัมผัส เฉลี่ยต่อวัน* ($\mu\text{g/kg bw/day}$)	ปริมาณได้รับสัมผัส เฉลี่ยต่อเดือน** ($\mu\text{g/kg bw/month}$)	ร้อยละ ของ PTMI	ปริมาณได้รับสัมผัส เฉลี่ยต่อวัน* ($\mu\text{g/kg bw/day}$)	ปริมาณได้รับสัมผัส เฉลี่ยต่อเดือน** ($\mu\text{g/kg bw/month}$)	ร้อยละ ของ PTMI
เขตเมือง									
กลาง	0.18	5.28	21	0.19	5.79	23	0.21	6.36	25
เหนือ	0.14	4.24	17	0.27	8.17	33	0.40	12.10	48
ตะวันออกเฉียงเหนือ	0.02	0.52	2	0.07	1.97	8	0.11	3.31	13
ใต้	0.06	1.66	7	0.29	8.79	35	0.53	15.88	64
ทั้งประเทศ (เขตเมือง)	0.10	2.95	12	0.21	6.16	25	0.31	9.41	38
เขตชนบท									
กลาง	0.23	6.98	28	0.25	7.50	30	0.27	8.02	32
เหนือ	0.20	6.00	24	0.33	9.88	40	0.46	13.76	55
ตะวันออกเฉียงเหนือ	0.18	5.38	22	0.24	7.24	29	0.31	9.16	37
ใต้	0.08	2.38	10	0.31	9.16	37	0.53	15.98	64
ทั้งประเทศ (เขตชนบท)	0.17	5.22	21	0.28	8.48	34	0.39	11.69	47
รวมเขตเมืองและชนบท									
กลาง	0.21	6.16	25	0.22	6.67	27	0.24	7.19	29
เหนือ	0.17	5.12	20	0.30	9.00	36	0.43	12.88	52
ตะวันออกเฉียงเหนือ	0.10	2.95	12	0.15	4.55	18	0.21	6.26	25
ใต้	0.07	2.02	8	0.30	9.00	36	0.53	15.93	64
ทั้งประเทศรวม (เขตเมืองและชนบท)	0.14	4.09	16	0.24	7.29	29	0.35	10.55	42

หมายเหตุ * ปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน หน่วย $\mu\text{g/kg bw/day}$ คำนวณจากปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน หน่วย $\mu\text{g/person/day}$ หารด้วยน้ำหนักตัวเฉลี่ยคนไทย 58 กิโลกรัม** ปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อเดือน หน่วย $\mu\text{g/kg bw/month}$ คำนวณจากปริมาณการได้รับสัมผัสเฉลี่ยต่อวัน หน่วย $\mu\text{g/kg bw/day}$ คูณด้วย 30 วัน

2. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) แบบเชิงกำหนด (deterministic)

คนไทยได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวัน (อาหารและน้ำดื่ม) ค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ทั้งประเทศเท่ากับ 0.14, 0.24 และ 0.35 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 4.09, 7.29 และ 10.55 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 16, 29 และ 42 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

การได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทยเป็นรายเขต พบค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound เขตเมืองเท่ากับ 0.10, 0.21 และ 0.31 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 2.95, 6.16 และ 9.41 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 12, 25 และ 38 ตามลำดับ เขตชนบทเท่ากับ 0.17, 0.28 และ 0.39 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 5.22, 8.48 และ 11.69 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 21, 34 และ 47 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

การได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทยเป็นรายภาค (เขตเมืองและชนบท) พบค่าเฉลี่ยที่ lower bound, middle bound และ upper bound ภาคกลางเท่ากับ 0.21, 0.22 และ 0.24 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 6.16, 6.67 และ 7.19 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 25, 27 และ 29 ตามลำดับ ภาคเหนือเท่ากับ 0.17, 0.30 และ 0.43 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 5.12, 9.00 และ 12.88 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 20, 36 และ 52 ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.21 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 2.95, 4.55 และ 6.26 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 12, 18 และ 25 ตามลำดับ และภาคใต้เท่ากับ 0.07, 0.30 และ 0.53 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ หรือ 2.02, 9.00 และ 15.93 $\mu\text{g/kg bw/month}$ ตามลำดับ และคิดเป็นร้อยละของ PTMI เท่ากับ 8, 36 และ 64 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ซึ่งอธิบายลักษณะความเสี่ยงได้ว่า โดยภาพรวมแล้วคนไทยยังคงปลอดภัยจาก Cd ที่ได้รับจากการบริโภคประจำวัน เนื่องจากปริมาณการได้รับสัมผัส Cd ต่ำกว่าค่า PTMI ที่ JECFA กำหนดไว้

วิจารณ์

การสำรวจปริมาณการบริโภคด้วยวิธี duplicate portion นั้นนำหน้าอาหารที่สมาชิกบริโภคคำนวณจากหน้าอาหารก่อนและหลังการบริโภค จึงทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการบริโภคที่จริง และปริมาณ Cd ในอาหารก็ได้จากการวิเคราะห์อาหารที่สมาชิกบริโภคจริงในแต่ละวัน ทำให้ปริมาณการได้รับสัมผัสที่คำนวณนั้นเป็นค่าการได้รับสัมผัสจริงของแต่ละครัวเรือน สำหรับระยะเวลาในการสำรวจ 4 วัน ซึ่งงานวิจัยนี้ลดจำนวนวันลงจากที่องค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำระยะเวลาในการศึกษาแบบ duplicate portion นั้น ควรไม่น้อยกว่า 7 วัน⁽¹⁷⁾ เนื่องจากโครงการนี้ต้องการศึกษาให้ครอบคลุมทั้ง 4 ภาคของประเทศ ด้วยงบประมาณที่จำกัด งานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการร่วมกับศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ 7 แห่ง จึงได้มีการกำหนดแนวทางปฏิบัติงาน อบรม และฝึกปฏิบัติให้แก่เจ้าหน้าที่ก่อนปฏิบัติจริง โดยดำเนินการนำร่อง (pilot study) ที่จังหวัดนนทบุรี ในการเก็บข้อมูลการบริโภค การเก็บตัวอย่างอาหารและน้ำดื่ม เพื่อให้ทราบปัญหาและอุปสรรค และทำการแก้ไขให้ได้วิธีการที่เหมาะสมสอดคล้องและถูกต้องสำหรับนำไปปฏิบัติในแนวทางเดียวกัน นอกจากนี้ก่อนจะดำเนินการสำรวจทุกครั้งเจ้าหน้าที่จะต้องจัดการอบรมให้แก่สมาชิกครัวเรือนที่ร่วมโครงการ เพื่อให้บันทึกน้ำหนักบริโภคและเก็บตัวอย่างได้ถูกต้อง สำหรับวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ Cd นั้นต้องสามารถตรวจวิเคราะห์ Cd ในระดับต่ำๆ เนื่องจากอาหารและน้ำดื่มส่วนใหญ่จะพบปริมาณต่ำ ยกเว้นแหล่งที่มีการปนเปื้อน Cd การศึกษานี้มีหลายหน่วยงานที่ร่วมตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Cd ดังนั้นการประเมินปริมาณการได้รับสัมผัสอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจาก LOD และ LOQ ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ได้คำนวณค่าปริมาณแคดเมียม 3 ระดับคือ ต่ำ (lower bound) กลาง (middle bound) และสูง (upper bound) ซึ่งสามารถครอบคลุมปริมาณการได้รับสัมผัสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเนื่องจาก LOD และ LOQ ที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคอาหารของประเทศต่างๆ เช่น ประเทศจีนที่ศึกษาการได้รับสัมผัสจากการบริโภคอาหารโดยใช้ 2 วิธีคือ dietary recall และ food duplicate diet ในผู้ใหญ่มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.21 และ 0.26 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ตามลำดับ⁽²¹⁾ ประเทศเกาหลี ศึกษาการได้รับสัมผัสด้วยวิธี Total diet Study เท่ากับ 0.26 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ⁽²²⁾ ประเทศฝรั่งเศส ศึกษาการได้รับสัมผัสด้วยวิธี Total diet Study ในผู้ใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ⁽²³⁾ และประเทศสวีเดน การได้รับสัมผัส Cd ในผู้ใหญ่มีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.93 $\mu\text{g/kg bw/week}$ หรือ 0.13 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ⁽²⁴⁾ เมื่อเปรียบเทียบการได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทยในงานวิจัยนี้ ซึ่งปริมาณได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทยเฉลี่ยที่ middle bound เท่ากับ 0.24 $\mu\text{g/kg bw/day}$ พบว่าประเทศในแถบเอเชียจะได้รับสัมผัส Cd ไม่แตกต่างกัน แต่จะได้รับสัมผัส Cd สูงกว่าเมื่อเทียบกับประเทศแถบยุโรป และสำหรับข้อมูลในประเทศไทยที่ศึกษาการได้รับสัมผัสด้วยวิธี Total diet Study เมื่อ พ.ศ. 2542 - 2544 พบว่าปริมาณ Cd ที่ได้รับจากการบริโภคอาหารเท่ากับ 0.29, 0.13 และ 0.08 $\mu\text{g/kg bw/day}$ ⁽¹⁴⁾ (คิดที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 58 กิโลกรัม) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการได้สัมผัส Cd ที่ศึกษาด้วยวิธี duplicate portion ในครั้งนี้กับวิธี Total diet Study พบว่าปี พ.ศ. 2542 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เนื่องด้วยเป็นการศึกษาในช่วงเวลาที่แตกต่างกันจึงเปรียบเทียบทั้งสองวิธีการศึกษาไม่ได้ชัดเจน

จากการสำรวจปริมาณบริโภคเฉลี่ยแต่ละภาคของอาหารและน้ำดื่มมีค่าสูงสุดและต่ำสุดต่างกัน เท่ากับ 1.2 และ 1.6 เท่า ตามลำดับ และพบว่าปริมาณ Cd ที่พบในน้ำดื่มต่ำเมื่อเทียบกับอาหาร ที่ middle bound ค่าเฉลี่ยจะแตกต่างกันประมาณ 13 เท่า และที่ค่าสูงสุดจะแตกต่างกันประมาณ 78 เท่า ดังนั้นปริมาณการได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทยนั้นจึงขึ้นอยู่กับปริมาณ Cd ที่ปนเปื้อนในอาหารเป็นหลัก เนื่องจากปริมาณ Cd ที่พบในน้ำดื่มต่ำมากและปริมาณการบริโภคก็ไม่แตกต่างกันมาก

ภาพรวมคนไทยส่วนใหญ่ยังคงปลอดภัยจาก Cd ที่ได้รับจากการบริโภคประจำวัน (อาหารและน้ำดื่ม) เนื่องจากปริมาณ Cd ที่ได้รับต่ำกว่าค่า PTMI ที่ JECFA กำหนดไว้ 25 $\mu\text{g/kg bw/month}$ จากการสำรวจ 400 ครั้วเรือน พบว่าปริมาณ Cd ในอาหารจะพบสูงเพียงบางครั้วเรือนและบางวันเท่านั้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การได้รับสัมผัส Cd ของครั้วเรือนนั้นสูง และรายการอาหารที่ครั้วเรือนบริโภคในวันนั้นจะคล้ายกัน คือ มีอาหารทะเลในรายการอาหารที่บริโภค เช่น ปลาหมึก หอยแครง ปูทะเล และปลาทุ นอกจากนี้ยังมีปลาดุกและเห็ด ซึ่งอาหารเหล่านี้เป็นแหล่งที่พบ Cd สูง⁽⁷⁻⁸⁾ นอกจากนี้กลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับ Cd และคนที่สูบบุหรี่มีโอกาสได้รับ Cd เพิ่มขึ้นอีกจากการหายใจและสัมผัสทางผิวหนัง ทั้งนี้ถ้าผู้บริโภคมีภาวะทางโภชนาการที่ดีไม่ขาดสารอาหารจำพวกวิตามินดี แคลเซียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก จะช่วยลดการดูดซึมและการสะสม Cd ในร่างกายได้

สรุป

จากการประเมินความเสี่ยงของ Cd จากการบริโภคประจำวันของคนไทยใช้วิธีการสำรวจปริมาณการบริโภคและเก็บตัวอย่างอาหารและน้ำดื่มจากครั้วเรือนแบบ duplicate portion ประชากรที่ศึกษาสุ่มจาก 4 ภาคของประเทศไทย รวม 400 ครั้วเรือน จำนวน 1,241 คน พบว่าคนไทยได้รับสัมผัส Cd เฉลี่ยที่ middle bound เท่ากับ 14.1 $\mu\text{g/person/day}$ หรือ 0.24 $\mu\text{g/kg bw/day}$ หรือ 7.29 $\mu\text{g/kg bw/month}$ (น้ำหนักประชากรเฉลี่ย 58 กิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยที่ JECFA กำหนด (PTMI 25 $\mu\text{g/kg bw/month}$) สรุปได้ว่าโดยภาพรวมแล้วคนไทยได้รับสัมผัส Cd จากการบริโภคประจำวันในระดับที่ปลอดภัย ปริมาณ Cd ที่คนไทยได้รับคิดเป็นร้อยละ 29 ของค่าความปลอดภัยที่ JECFA กำหนด และข้อมูลการประเมินความเสี่ยงนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณากำหนดมาตรฐานแคดเมียมในอาหารในประเทศ และพิจารณาปรับแก้มาตรฐานระหว่างประเทศให้เหมาะสมและปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการอาหารของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 1 เชียงใหม่ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 3 นครสวรรค์ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 5 สมุทรสงคราม ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 8 อุดรธานี ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 9 นครราชสีมา ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11 สุราษฎร์ธานี และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 12/1 ตรัง เจ้าหน้าที่ของเทศบาล องค์การบริหารส่วนตำบล และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่ที่ดำเนินการสำรวจทั้ง 8 จังหวัด นางสาวพรรณทิพย์ ตียพันธ์ นายพิพัฒน์ นพคุณ นางสาวมยุรี อูารุ่งโรจน์ นางกาญจนา พันธุ์เวช นายสมพร ทัฬหีระ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายสารพิษสารปนเปื้อนและไดออกซินทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนบรรลุผลสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Jarup L. Hazards of heavy metal contamination. Br Med Bull 2003; 68: 167-82.
2. European Food Safety Authority. Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA Journal [online]. 2012 [cited 2016 Nov 15]; 10(1): [37 pp]. Available from: URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2012.2551/epdf>.
3. United Nations Environment Programme, Chemicals Branch, DTIE. Final review of scientific information on cadmium [online]. 2010 [cited 2016 Nov 15]. Available from: URL: http://drustage.unep.org/chemicalsandwaste/sites/unep.org.chemicalsandwaste/files/publications/GAELP_PUB_UNEP_GC26_INF_11_Add_2_Final_UNEP_Cadmium_review_and_appendix_Dec_2010.pdf.
4. IPCS INCHEM. Environmental health criteria 134, cadmium. Geneva: World Health Organization; 1992. [cited 2016 Sep 1]. Available from: URL: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm>.
5. European Food Safety Authority. Scientific opinion cadmium in food scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. The EFSA Journal [Internet]. 2009 [cited 2016 Sep 1]; 980: 1-139. Available from: URL: http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/980.pdf.
6. Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P, Reich A, et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. J Occup Med Toxicol [online]. 2006 [cited 2016 August 11]; 1(22): [6 screens]. Available from: URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1578573/pdf/1745-6673-1-22.pdf>.
7. Jarup L, Akesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem. Toxicol Appl Pharmacol 2009; 238(3): 201-8.
8. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Joint FAO/WHO food standards programme, Discussion paper on cadmium (CX/FAC 99/21). The Hague, Netherlands; 22-26 March 1999.
9. U.S. Department of Health and Human Services. Toxicological profile for cadmium. Atlanta, Georgia: Agency for Toxic Substance and Disease Registry; 2012.
10. Norwegian Scientific Committee for Food Safety. Risk assessment of dietary cadmium exposure in the Norwegian population. [online]. 2015 [cited 2016 Sep 1]; [101 screens]. Available from: URL: <http://www.vkm.no/dav/07cfa5d365.pdf>

11. Olsson IM, Bensryd I, Lundh T, Ottosson H, Skerfving S, Oskarsson A. Cadmium in blood and urine-impact of sex, age, dietary intake, iron status, and former smoking-association of renal effects. *Environ Health Perspect* 2002; 110(12): 1185-90.
12. International Agency for Research on Cancer WHO. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. [online]. [cited 2016 Sep 1]. Available from: URL: http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php
13. WHO. Evaluations of the joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA), Cadmium. [online]. 2013 [cited 2016 Sep 1]; [1 screens]. Available from: URL: <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1376>
14. มยุรี อูรารุ่งโรจน์, ประกาย บริบูรณ์, พนาวลัย กิ่งกลางตอน. การศึกษาปริมาณโลหะเป็นพิษในอาหารที่คนไทยบริโภคต่อวัน ระหว่าง พ.ศ. 2542-2544. ว *กรมวิทย พ* 2548; 47(4): 234-47.
15. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 ง ฉบับพิเศษ (วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2529)
16. World Health Organization. Application of risk analysis to food standard issue. Report of the joint FAO/WHO expert consultation. Geneva, Switzerland. 13-17 March 1995 [online]. [cited 2016 Sep 1]; [45 screens]. Available from: URL: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/58913/1/WHO_FNU_FOS_95.3.pdf
17. World Health Organization. Guideline for the study of dietary intake of chemical contaminants. Geneva: World Health Organization; 1985.
18. AOAC International. AOAC official method 999.10 lead, cadmium, zinc, copper and iron in foods. In: Horwitz W, Latimer GW, editors. Official method of analysis of AOAC international. 18th ed. Maryland: AOAC International; 2011. Chapter 9 p.16-19.
19. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Maryland: American Public Health Association; 2012.
20. สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2559 [สืบค้น 1 ก.พ. 2560]. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www.acfs.go.th/document/download_document/FCDT.pdf
21. Liu P, Wang CN, Song XY, Wu YN. Dietary intake of lead and cadmium by children and adults-result calculated from dietary recall and available lead/cadmium level in food in comparison to result from food duplicate diet method. *Int J Hyg Environ Health* 2010; 213(6): 450-7.
22. Lee HS, Cho YH, Park SO, Kye SH, Kim BH, Hahm TS, et al. Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead and mercury. *J Food Comp Anal* 2006; 19: S31-7.
23. Arnich N, Sirot V, Riviere G, Jean J, Noel L, Guerin T, et al. Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the 2nd French total diet study. *Food Chem Toxicol* 2012; 50(7): 2432-49.
24. Sand S, Becker W. Assessment of dietary cadmium exposure in Sweden and population health concern including scenario analysis. *Food Chem Toxicol* 2012; 50(3-4): 536-44.

Risk Assessment of Dietary Exposure to Cadmium in the Thai Population

Panawan Kluengklangdon* Laddawan Rojanapantip* Kannika Jittiyossara*
Nontarat Pornsapmanee** Pinnaree Chinwattanawong*** and Khemikar Hemloha****

* Bureau of Quality and Safety of Food, Department of Medical Sciences, Tiwanond Road, Nonthaburi 11000.

** Regional Medical Sciences Center 12/1 Trang, Amphoe Muang, Trang 92000

*** Regional Medical Sciences Center 1 Chiang Mai, Amphoe Maerim, Chiang Mai 50180

**** Regional Medical Sciences Center 11 Surat Thani, Amphoe Muang, Surat Thani 84100, Thailand.

ABSTRACT Cadmium (Cd) is often found in almost foods and its contamination level depends on the type of food and the contamination in environment. Food consumption is the main source of cadmium intake for people who do not smoke or work in contaminated areas. The cadmium has been classified as a human carcinogen. In 2010, the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) established a provisional tolerable monthly intake (PTMI) on cadmium exposure of 25 µg/kg body weight/month. This research had been carried out during 2011 – 2013 and aimed at assessing the risk of cadmium exposure via food consumption among Thai population. The current results obtained can be served as a supportive data for establishing Thai regulations as well as supporting improvement of the international standards. In the step of exposure assessment of Cd by duplicate portion method, the food consumption data, sample of food and water were collected from 400 households in four regions of Thailand for a period of 4 days. The total number of 1,241 people, 1,600 samples of food and 400 samples of water were analyzed in this study. The Cd concentration was quantified by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer. The results showed that the middle bound mean levels of cadmium found in food and water samples were 0.009 mg/kg and 7×10^{-4} mg/L respectively and the mean intakes of food and water were 1,506 g/person/day and 1,832 mL/person/day, respectively. The middle bound mean dietary exposure across Thai consumers was 7.29 µg/kg body weight/month (average body weight of 58 kg) which was equal to 29% of the PTMI value. In conclusion, Thai consumers are still safe from cadmium exposure through food consumption.

Keywords: risk assessment of cadmium, dietary exposure