พบอะคริลาไมด์ โดยใช้ระบบย่อยจำลอง (*in vitro* digestion) เป็นตัวแทนของระบบย่อยอาหารในคน ในขั้นสุดท้ายของงานวิจัย คือ การนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนแรก มาสรุปเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตอาหารเพื่อลดการก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหารแต่ละชนิด โดยวิธีดังกล่าวต้องเป็นวิธีที่ไม่ลดคุณค่าทางโภชนาการ และไม่เปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เป็นที่พึงประสงค์ เช่น ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส เป็นต้น ของอาหารชนิดที่นำมาศึกษาแต่ละชนิด

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อะคริลาไมด์ เป็นสารประกอบอะลิฟาติกเอไมด์ที่มีพิษต่อระบบประสาท (Dearfield *et al.*, 1988; Tilson & Cabe, 1979) และมีรายงานยืนยันว่ามีแนวโน้มสูงที่จะเป็นสารก่อมะเร็งในคน (IARC, 1994; Segerback *et al.*, 1995; Tareke *et al.*, 2000) เมื่อคนได้รับอะคริลาไมด์เข้าไป จะเกิดความผิดปกติที่ระบบประสาทสันหลังส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก (Klaasen & Doull, 1986; Shanker & Seth, 1986; Tilson, 1981) โดยพิษของอะคริลาไมด์เชื่อว่าเกิดจากสารตัวกลางชื่อ ไกล์ซิดาไมด์ ที่ได้จากกระบวนการสลายอะคริลาไมด์ภายในเซลล์ เข้าจับกับดีเอ็นเอและทำลายรหัสพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต (Svensson *et al.*, 2003; Tareke *et al.*, 2000)

ในรอบสิบปีที่ผ่านมา มีรายงานจำนวนมากพบการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ในอาหารจำพวกแป้งที่ได้จากพืชและอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงซึ่งผ่านการปรุงแต่งโดยใช้ความร้อนสูงจากการทอดหรือการอบ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีในสภาวะแก๊ส (Gas chromatrography; GC) ที่ทำงานร่วมกับแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass spectrometer; MS) ดังเช่นรายงานของ Tareke และคณะในปี ค.ศ. 2000 ที่แนะนำว่าการปรุงอาหารด้วยความร้อนเป็นแหล่งหลักในการผลิตอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ หรือรายงานในปี ค.ศ. 2002 จากคณะผู้วิจัยเดียวกันที่พบปริมาณของอะคริลาไมด์ปนเปื้อนสูงถึง 150 – 4000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูง เช่น มันฝรั่งแผ่นทอด หัวบีท และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งซึ่งมีขายทั่วไปในประเทศสวีเดน มากกว่าปริมาณที่ตรวจพบในอาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูงซึ่งตรวจพบในระดับ 5 – 50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

ในปี ค.ศ. 2003 Svesson และคณะ ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีในสภาวะของเหลว (Liquid chromatography; LC) ที่ทำงานร่วมกับแมสสเปกโตรมิเตอร์ (MS/MS) ตรวจพบอะคริลาไมด์ในระดับน้อยกว่า 30 ถึง 2300 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ในอาหารจำพวกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่ง ขนมปัง อาหารเช้าซีเรียล บิสกิต คุ๊กกี้ และในกาแฟ ที่มีขายในตลาดของประเทศสวีเดน รวมทั้งตรวจพบการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ปริมาณไม่กี่ไมโครกรัมในเนื้อสัตว์ ปลา ผงโกโก้และช็อคโกแลต

ต่อมาในปี ค.ศ. 2006 Zhang และคณะ ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ในอาหารทอด เช่น มันฝรั่ง และปีกไก่ทอด โดยใช้เทคนิค GC ที่มีตัวรับคืออิเล็กตรอนแคปเทอร์ (electron capture detector) และสรุปว่าเป็นวิธีที่เร็วและมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าเทคนิคที่เคยใช้ก่อนหน้า ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 2007 คณะผู้วิจัยเดียวกันได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการตรวจสอบอะคริลาไมด์ในอาหารจีนระหว่างการใช้เครื่อง GC และการใช้โครมาโทกราฟีความดันสูง (High performance liquid chromatography; HPLC) และพบว่าเป็นวิธีที่มีความไวในการตรวจสอบในระดับที่ใกล้เคียงกัน

การก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหารจำพวกแป้งเหล่านี้เชื่อว่ามาจากสารประกอบไดคาร์บอนิล (Dicarbonyl compound) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเมลล์ลาร์ด (Maillard reaction) ที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโน เช่น กรดอะมิโนแอสพาราจีน (Asparagine) หรือบางครั้ง คือ กรดอะมิโนเมไทโอนีน (Methionine) กับน้ำตาลรีดิวส์ (Reducing sugar) เช่น น้ำตาลกลูโคส (Glucose) ทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารดังกล่าวได้เป็นสเตรคเคอร์อัลดีไฮด์ (Strecker aldehyde) ซึ่งจะถูกสลายต่อโดยใช้กระบวนการสลายสเตรคเคอร์ (Strecker degradation) ได้เป็นอะคริลาไมด์เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต (Mottram *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002) และยังพบการตกค้างของอะคริลาไมด์ในน้ำดื่มและควันยาสูบ (Tobacco smoking) อีกด้วย (Bergmark, 1997; EC, 2000) นอกจากนี้มีรายงานพบว่าอะคริลาไมด์ที่ปนเปื้อนมากับอาหาร สามารถขนส่งเข้าสู่บาโซลาทีรอล (Basolateral) ของเซลล์คาโค (Caco-2 cell) ในระบบลำไส้ได้โดยกลไกหลักที่อาศัยการแพร่แบบแพสซีฟ (Passive diffusion) และส่งต่อจากบาโซลาทีรอลให้กับอะพิคอล (Apical) บริเวณลูเมน (Lumen) ของลำไส้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันกับสารประกอบขนาดเล็กที่ต้องการพลังงาน และค่าความเป็นกรดด่างเฉพาะ (Schabacker *et al.*, 2004; Zodl *et al.*, 2007) จากนั้นอะคริลาไมด์ที่ถูกดูดซึมจะสามารถเปลี่ยนรูปต่อไปผ่านสองกลไก คือ การรวมตัวโดยตรงกับกลูตาไทโอน (Glutathione) หรือการสร้างสารตัวกลางไกล์ซิดาไมด์โดยปฏิกิริยาอ๊อกซีจีเนชั่น (Oxygenation) ผ่านไซโทโครมพี 450 (Cytochrome P450) ซึ่งจะถูกไฮโดรไลส์ต่อเป็นไกล์ซีราไมด์ (Glyceramide) หรือรวมตัวกับกลูตาไทโอนได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดเมอร์แคปทูริก (Mercapturic acid) ขับออกทางปัสสาวะ (Dybing *et al.*, 2005; Fennell *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนรูปของอะคริลาไมด์นั้นยังเป็นกลไกที่เกิดไม่สมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการสะสมของอะคริลาไมด์ในร่างกายได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยปริมาณของอะคริลาไมด์ที่สะสมมากขึ้นสามารถส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของเซลล์เม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินในคน (Bergmark, 1997; Klaus and Schmahl, 1989) นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยยืนยันว่าสารตกค้างอะคริลาไมด์ในอาหารเมื่ออยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยจะเกิดพิษต่อพันธุกรรม (Genotoxic effects) ของสัตว์ทดลอง แต่ถ้าตกค้างในปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาท (Neurological) และระบบการสืบพันธุ์ (Reproductive) ในสัตว์ทดลองได้ (EC, 2000) ด้วยเหตุนี้จึงมีโอกาสสูงที่อะคริลาไมด์จะเป็นสารก่อมะเร็งในคนต่อไปตามรายงานของ IARC (Interna-tional Agency for

Research on Cancer) (IARC, 1986; IARC 1987; IARC 1994; Segerback *et al.*, 1995; Tareke *et al.*, 2000)

สำหรับความคงตัวของอะคริลาไมด์ ได้มีรายงานการทดลองโดย Hoenicke และ Gatermann ในปี ค.ศ. 2005 พบว่า อะคริลาไมด์ที่ปนเปื้อนในคุ๊กกี้ คอนเฟรก น้ำตาลดิบ มันฝรั่ง และถั่ว มีความคงตัวมากกว่า 3 เดือนของการเก็บหลังจากการผลิต ขณะที่ในอะคริลาไมด์ในบิสกิตมีระดับที่ลดลงเล็กน้อยหลังจากการเก็บเกิน 3 เดือน สำหรับระดับของอะคริลาไมด์ในกาแฟและผงโกโก้จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บไว้นาน 3 เดือนและ6 เดือน ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณอะคริลาไมด์ในกาแฟที่ปรุงสำเร็จแล้วมีความคงตัวสูงมากและไม่พบระดับที่ลดลงแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่ายินดีที่ในช่วงห้าปีที่ผ่านมา ได้มีคณะผู้วิจัยบางกลุ่มทำการทดลองหาสภาวะการปรุงที่เหมาะสมในการลดการก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหาร และพบว่ากลไกที่ทำให้เกิดการก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหารนั้นเป็นกลไกที่ขึ้นกับอุณหภูมิสูง กล่าวคือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการปรุงแต่งอาหารให้สูงขึ้นจะทำให้โอกาสในการก่อตัวของอะคริลาไมด์เพิ่มได้มากขึ้น (Mottram *et al.*, 2002) รวมทั้งการปรุงแต่งอาหารที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียสและการต้มแป้งวัตถุดิบที่ใช้ประกอบอาหารก่อนการปรุงแต่งดูเหมือนว่าจะสามารถช่วยลดการก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหารได้ (Mottram *et al.*, 2002; Tareke *et al.*, 2002) ดังนั้นหากสามารถปรุงแต่งอาหารแป้งเหล่านี้โดยการต้มแป้งวัตถุดิบเช่น หัวมันฝรั่ง ที่ใช้ในการปรุงก่อน หรือทำการทอดหรืออบอาหารแป้งเหล่านี้ที่อุณหภูมิที่ไม่สูงมาก แค่ประมาณ 100 - 110 องศาเซลเซียส ก็จะมั่นใจได้ว่าอาหารแป้งที่ผ่านการปรุงแต่งนั้นปราศจากการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์สารพิษก่อมะเร็งได้อย่างค่อนข้างแน่นอน และที่น่าสนใจคือเมื่อเร็วๆนี้ Hedegaard และคณะ (2008) ได้ทำการทดลองพบว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ที่พบในชาและกระเทียม และการใช้น้ำมันที่ถูกออกซิไดส์ด้วยปฏิกิริยาเปอร์ร๊อกซิเดชั่น (Peroxidation) ปรุงอาหารจะสามารถลดปริมาณการก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหารได้

อย่างไรก็ตาม จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่ายังไม่เคยมีรายงานถึงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เป็นที่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภคของอาหารที่ผ่านการปรุงแต่ง โดยวิธีที่เชื่อว่าสามารถลดการก่อตัวของอะคริลาไมด์ได้ และจะเห็นได้ว่ามีการตรวจพบการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์มากับอาหารที่บริโภคในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายๆประเทศ ดังนั้นจะเป็นการดีไม่น้อยหากเราสามารถวิเคราะห์การปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ในอาหารพื้นเมืองของไทย ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแป้งและมีขายอยู่ทั่วไป โดยกลุ่มตัวอย่างอาหารเป้าหมายจะมุ่งเน้นไปที่อาหารที่มีการขายทั่วไปในตลาดหนองมน จังหวัดชลบุรี เนื่องเป็นตลาดที่มีชื่อเสียงและมีกำลังในการซื้อขายจากผู้บริโภคจำนวนมาก และพัฒนาหาวิธีการปรุงเพื่อป้องกันการก่อตัวของอะคริลาไมด์ในอาหารดังกล่าวสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่ปลอดภัยของไทยต่อไป