บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อสามัญว่า Oilpalm ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis guineensis Jacq* อยู่ในวงศ์ Tribe Coconeas และมีชื่อทั่วไปว่า African oil palm ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งผลิตออกมาได้น้ำมันสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลายประเภท นอกจากจะได้น้ำมันแล้วยังมีผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันอีกด้วย ปาล์มน้ำมัน เหมาะสมกับภาพอากาศร้อนชื้น จัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศไทย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552; กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์, 2553)

2.2 ชนิดของกากปาล์มน้ำมัน

กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel) เป็นส่วนที่แยกเอาเปลือกและกะลาออกแล้วมีประมาณ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีวิธีการสกัดน้ำมันออก 2 วิธี คือ 1. วิธีหีบน้ำมัน (Expeller pressed type) ทำได้โดยการใช้ สกูรเป็นเกลียวบีบให้น้ำมันออก วิธีนี้จะยังมีน้ำมันเหลืออยู่มากประมาณ 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ และวิธีที่ 2. เป็นวิธีใช้สารเคมีสกัดน้ำมัน (Solvent extracted type) โดยการใช้สารเฮกเซน (Hexane) วิธีนี้จะทำให้กากที่ได้มีน้ำมันเหลืออยู่น้อยประมาณ 1 - 3 เปอร์เซ็นต์ และจะมีคุณภาพดีกว่าวิธีหีบน้ำมัน กากที่ได้จากการสกัดน้ำมันทั้ง 2 วิธี เรียกว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Meal, PKM) (FAO, 1988; Chin, 2001) ปาล์มน้ำมันเป็นพืชสำหรับหีบเอาน้ำมันปาล์ม และจะได้กากปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้ในขบวนการผลิต (ศยามล และคณะ, 2548 ; FAO, 1988) จะมีผลพลอยได้ 5 ชนิด (ภาพที่ 1) คือ

1. กากเยื่อใยปาล์ม (Palm press fiber, PPF) เป็นส่วนเปลือกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้วมีประมาณร้อยละ 12 ของปาล์มทั้งทะลาย ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงาน

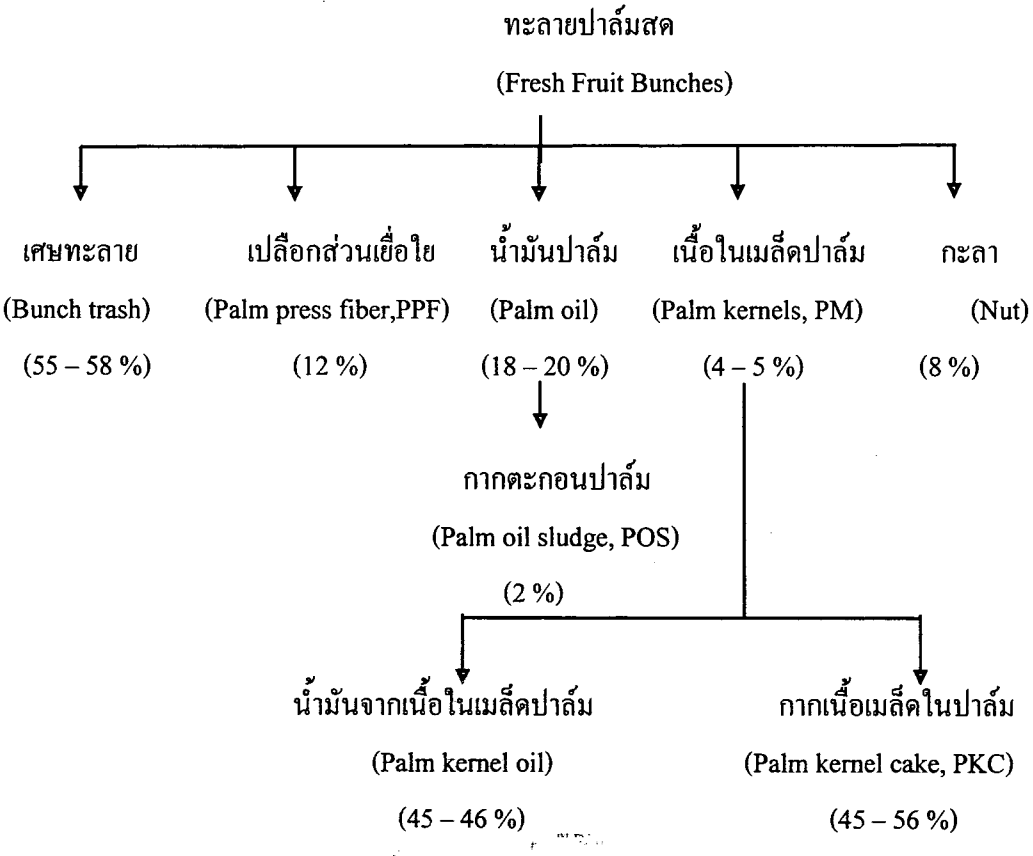
2. กากเมล็ดปาล์ม (Oil palm press seed meal, PSM) เป็นกากปาล์มที่ใช้เมล็ดโดยไม่แยกกะลาออก โดยทั่วไปเรียกว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm kernel cake, PKC) หรือกากเนื้อเมล็ดในปาล์มที่ไม่กะเทาะเปลือก และเป็นกากปาล์มที่มีการผลิตและมีการใช้เป็นอาหารสัตว์มาก กากปาล์มชนิดนี้มีส่วนประกอบของกะลาเนื้อมากและเห็นได้ชัด พบส่วนของเส้นใยปริมาณไม่มากนัก

3. กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel meal, PKM) เป็นชั้นในสุด (endosperm) ของเมล็ดปาล์ม ที่เรียกว่า เคอเนล (kernel) มีน้ำมันอยู่มากเช่นกัน ส่วนของน้ำมันในชั้นของเคอเนล นี้ มีปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก (ดังภาพที่ 2) (วันวิศาข์ และคณะ, 2552) กากส่วนนี้เป็นกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันพืชที่มีขนาดใหญ่มีขบวนการผลิตแยกส่วน ซึ่งมีความแตกต่างทางกายภาพกับ

กากปาล์มชนิดอื่นอย่างชัดเจน และประกอบด้วยส่วนของเนื้อเป็นส่วนมาก ชิ้นส่วนของกะลาปาล์มพบว่ามีปะปนเพียงเล็กน้อย

4. กากผลปาล์มน้ำมัน (Oil palm meal, PM) ประกอบด้วยเปลือกนอก (Husk) กะลา (Nut shell) และเนื้อในของเมล็ด (Palm kernel) (จินดา, 2548) โดยมากกากปาล์มชนิดนี้จะได้จากโรงงานที่มีขบวนการผลิตแบบใช้เครื่องบีบน้ำมัน (expeller) และพบว่าเป็นกากปาล์มที่มีปริมาณการผลิตในท้องตลาดจำนวนมาก กากปาล์มชนิดนี้มีเยื่อใยและกะลามาก โดยเฉพาะส่วนเยื่อใยมีมากกว่ากากปาล์มชนิดอื่น ๆ

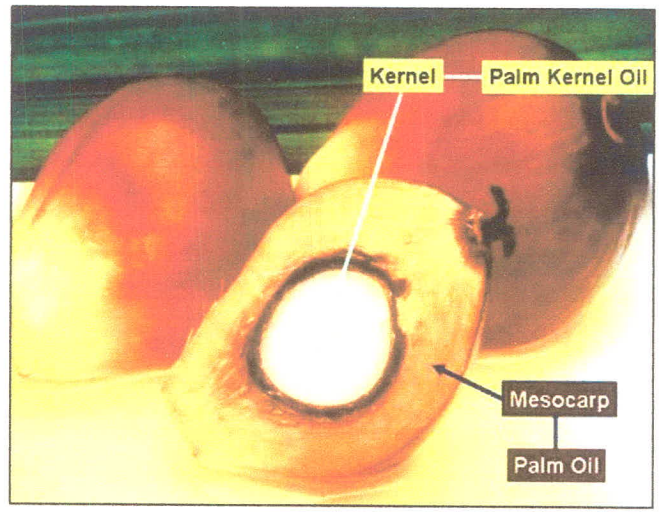
5. กากน้ำมันปาล์ม (Palm oil sludge, POS) ปริมาณของกากปาล์มชนิดนี้มีปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้จากการกรองน้ำมัน ลักษณะทางกายภาพแตกต่างกับกากปาล์มชนิดอื่น และประกอบด้วยส่วนของกะลา เส้นใยและเนื้อ แต่ค่อนข้างเป็นชิ้นละเอียด ยกเว้นสำหรับโรงงานที่นำมาผสมกากพืช เพื่อช่วยให้สามารถอัดน้ำมันที่เหลืออยู่ในตะกอนน้ำมันออกได้อีก แต่จะมีการนำกากปาล์มนี้ไปผสมรวมกับกากปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนและผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ที่มา : FAO (1988)

กากปาล์มที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ควรจะเป็นชนิดกะเทาะเปลือกซึ่งมีโปรตีนประมาณ 14 – 16 เปอร์เซ็นต์ และยังมีไขมันเหลืออยู่ประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ และมีกากหรือเยื่อใย 14 – 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้ในอาหารสุกรและไก่ได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร แต่ที่เหมาะสมในการใช้คือระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ เพราะใช้มากจะทำให้เนื้อของอาหารมีลักษณะฟ่าม สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง (มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 2552)



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของผลปาล์มน้ำมัน

ที่มา: Agico group (2012)

2.3 ข้อจำกัดในการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน

กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายได้แก่แป้งและน้ำตาล (mono-, disaccharide) นอกจากนี้ยังมีส่วนของเยื่อใยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch carbohydrate, NSC) หรือเยื่อใย ได้แก่ Non-starch polysaccharide (NSP) และ Oligosaccharide อื่นๆ ซึ่งในสัตว์ปีกไม่มีเอนไซม์ในการย่อยเยื่อใยเหล่านี้ (Choct and Kocker,2000) และใน PKM มีส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยอยู่สูงประมาณ 41-46 เปอร์เซ็นต์ (ศยามล และคณะ, 2548) ทำให้ไม่สามารถใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกในระดับสูงได้ เพราะจะทำให้อาหารมีลักษณะฟ่าม ทำให้อัตราการกินได้ของสัตว์ลดลง และมีการย่อยได้ต่ำมากหรืออาจย่อยไม่ได้เลย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสัตว์ (กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์, 2553; Sundu and Dingle, 2003; Dairo and Fasuyi, 2008)

ส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งนี้ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อยให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) และดูดซึมไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ในไก่การย่อยโดยจุ

ลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์มีน้อยเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความสามารถในการย่อยได้ของ NSC ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของตัวสัตว์ โครงสร้างทางเคมีของ NSC ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณของ NSC ในอาหาร (Choct and Kocker,2000; บุญล้อม, 2546)

2.4 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (extrusion process)

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (extrusion) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่ใช้เทคนิคความร้อนและความดันสูง จากการหมุนของสกรูที่อยู่ภายในท่อบาร์เรล ซึ่งก่อให้เกิดแรงอัดและเสียดสีของวัตถุดิบกับผนังท่อบาร์เรล ทำให้โครงสร้างภายใน องค์ประกอบทางเคมี และโภชนะของวัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลง (Smith, 1976) และเมื่อวัตถุดิบถูกอัดผ่านหัวได (die) มากระทบกับความเย็นภายนอกเครื่องเอ็กซ์ทรูชั่นอย่างทันทีทันใด จะเกิดการพองตัวขึ้น

ในการให้ความร้อนในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ เอ็กซ์ทรูชั่นแบบแห้ง (dry extrusion) ซึ่งไม่ใช้ไอน้ำระหว่างกระบวนการผลิต ความร้อนเกิดจากการเสียดสี และแรงอัด โดยที่ความชื้นในตัววัตถุดิบมีค่าต่ำกว่า 22 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเอ็กซ์ทรูชั่นแบบเปียก (wet extrusion) จะใช้ไอน้ำในการช่วยกระจายความร้อนให้กับวัตถุดิบ มีผลให้องค์ประกอบของวัตถุดิบโดยเฉพาะแป้ง (starch) เกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) เพิ่มขึ้น (พันทิพา, 2539) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและโภชนะของวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นมีดังนี้ คือ วัตถุดิบจะมีการสูญเสียความชื้นไประหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นเริ่มต้น มีปริมาณเยื่อใยรวมลดลง โดย Ning *et al.* (1991) รายงานว่า ข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นมีปริมาณเยื่อใยรวมลดลง เนื่องจากกระบวนการทำให้เยื่อใยมีโมเลกุลเล็กลง สามารถละลายน้ำ กรด หรือด่างได้ดีขึ้น ส่วนในข้าวโอ๊ตและมันฝรั่งที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นก็พบว่ามีปริมาณของ Soluble non-starch polysaccharides เพิ่มสูงขึ้น (Camire, 2000) ในแป้ง (starch) เมื่อได้รับความร้อนและความชื้นจากการกระจายตัวของไอน้ำภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูด เซลล์เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว แตกตัวออก เกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) และทันทีที่วัตถุหลุดออกจากเครื่อง น้ำในตัววัตถุดิบระเหยออก ผนังเซลล์เม็ดแป้งเกิดรอยแตก พองตัว และเกิดรูพรุนภายในวัตถุดิบ ทำให้มีลักษณะทางกายภาพที่พองฟูและเบา ค่าความหนาแน่น (bulk density) ต่ำลง เพิ่มความน่ากิน กลิ่นหอม และเอื้อต่อการเข้าย่อยแป้งของเอนไซม์อะไมเลส (amylase) ได้เพิ่มขึ้น (Hongtrakul *et al.*,1998) โปรตีน (protein) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นมีผลให้พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide) ของโปรตีนเกิดการแตกหักเป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลเล็กลง ซึ่งส่งเสริมให้เอนไซม์ย่อยโปรตีนเข้าทำงานได้ดีขึ้น ส่งผลให้ปรับปรุงค่าการย่อยได้ของโปรตีน แต่ก็มีบางรายงานที่กล่าวว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นที่ใช้อุณหภูมิสูง และความชื้นต่ำ มีผลให้ลดการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนไลซีน และกรดอะมิโนที่จำเป็นอื่นๆ แต่การลดการใช้ประโยชน์ได้ดังกล่าวก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่ส่งผลต่อภาวการณ์ขาดกรดอะมิโนแต่อย่างใด ดังรายงานการศึกษาในหนูทดลอง พบว่าหนูที่กินถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโคเรสเตอรอล

ในซีรัม การขับสารสเตอรอยด์ (steroid) ในมูล การย่อยได้ของโปรตีน และคุณค่าทางชีวภาพของโปรตีน (biological value) เมื่อเปรียบเทียบกับหนูที่กินถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (Camire, 2000) ไขมัน (lipids) วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นจะมีปริมาณไขมันลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียไขมันตรงบริเวณหัวไค ในรูปของไขมันอิสระ (free oil) และเกิดการรวมตัวกับอะมิโลส (lipid-amylose complexes) หรือโปรตีน ซึ่งสารประกอบดังกล่าวนี้สามารถถูกย่อยได้ด้วยกรดหรือเอนไซม์อะไมเลส ทำให้กลายเป็นไขมันที่ใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้การเอ็กซ์ทรูชั่นยังช่วยลดการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) ในวัตถุดิบได้ โดยการทำให้ Hydrolytic enzyme เสื่อมสภาพ (Wang *et al.*, 1993) วิตามิน (vitamins)ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น ความร้อนและออกซิเจนที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียของวิตามินทั้งกลุ่มของวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ วิตามินอี และสารตั้งต้นวิตามิน เช่น คาร์โรทีนอยด์ (carotenoids) และ โทโคฟีรอล (tocopherols) และกลุ่มวิตามินในกลุ่มที่ละลายในน้ำ เช่น ไทอามีน (thiamine) และวิตามินซี (Killeit, 1994) โดย Guzman-Tello and Cheftel (1990) รายงานว่าเบตาแครอทีน (β-carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนเป็นวิตามินเอที่เสริมในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มสีสันและป้องกันการหืน (antioxidant) มีการสูญเสียในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นไปมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากการเพิ่มอุณหภูมิของท่อบาร์เรล จาก125 เป็น 200 องศาเซลเซียส ส่วนแร่ธาตุ (mineral) กับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น เน้นศึกษาในประเด็นการจับตัวกันของแร่ธาตุกับสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) และเยื่อใย โดยพบว่าในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นแป้งข้าวสาลี มีผลทำให้เกิดการลดลงของไฟเตส ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากข้าวสาลีได้เพิ่มขึ้น (Camire, 2000)

2.5 คุณค่าทางอาหารของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน

FAO (1988) รายงานว่า PKM ที่ผ่านกรรมวิธีการสกัดแตกต่างกันจะมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยการสกัดด้วยสารเคมี (Solvent extracted type) จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้ต่ำกว่าวิธีการหีบน้ำมัน (Expeller pressed type) ดังนั้น PKM ที่ได้มาจากวิธีการสกัดด้วยสารเคมีจึงมีคุณภาพดีกว่าวิธีการหีบน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับ จินดา (2548); Chin (2001); Alimon (2004); Sundu and Dingle (2003) และ Boateng et al. (2008) พบว่าการสกัดPKM ด้วยสารเคมี มีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าวิธีการหีบน้ำมัน ปริมาณไขมันของ PKM ที่เหลือจากวิธีการสกัดด้วยสารเคมี มีค่าประมาณอยู่ในช่วง 0.5 - 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไขมันเหลือจากวิธีการหีบน้ำมันอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 9 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันได้จากวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยการใช้สารเคมีกับการสกัดด้วยวิธีการหีบน้ำมัน

วิธีการสกัดน้ำมัน	แหล่งที่มาของข้อมูล				
	จินดา (2548)	Chin (2001)	Alimon (2004)	Sundu and Dingle (2003)	Boateng et al. (2008)
สกัดด้วยสารเคมี	0.73	0.50-3.00	1.00-2.00	0.50-3.00	0.95
สกัดด้วยการหีบน้ำมัน	9.12	5.00-12.00	4.00-8.00	5.00-12.00	7.83

แต่อย่างไรก็ตาม PKM จัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังไม่พบสารพิษ Aflatoxin ใน PKM (Oluwafemi, 2009; Sue, 2004) PKM ที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการหีบน้ำมันมีเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) 88 – 94 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) 14.50 – 19.60 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) 13 – 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน (Ether extract, EE) 5 – 8 เปอร์เซ็นต์ เถ้า (Ash) 3 – 12 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ (NFE) 46.70 – 58.80 เปอร์เซ็นต์ และ Neutral detergent fiber (NDF) 66.80 - 78.90 เปอร์เซ็นต์ (Alimon, 2004) ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องและใกล้เคียงกับผลการทดลองของ จินดา (2548); Chin (2001); Wing Keong (2004); Dairo and Fasuyi (2008) และ Sue (2004) ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ Chin (2001) รายงานว่า PKM ที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยการใช้สารเคมี มีเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยหยาบ ไขมัน เถ้า ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ (NFE) และ Neutral detergent fiber (NDF) มีค่าเท่ากับ 89.00, 15.30, 14.30, 2.90, 4.10, 63.40 และ 66.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับ จินดา (2548) และ Zahari *et al.* (2003) ที่มีคุณค่าอาหารใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของ PKM ด้วยวิธีการสกัดน้ำมันโดยการหีบน้ำมันและการใช้สารเคมี

แหล่งที่มาของข้อมูล	ส่วนประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)					
	วัตถุแห้ง	โปรตีนหยาบ	เยื่อใยหยาบ	ไขมัน	เถ้า	ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์
การสกัดน้ำมันโดยการหีบน้ำมัน						
จินดา (2548)	-	14.46	26.29	9.21	4.53	45.51
Perez et al. (2000)	91.40	9.70	24.90	12.10	2.90	-
	92.70	14.60	12.10	9.10	4.30	59.90
Chin (2001)	93.00	14.80	15.70	9.80	4.20	55.50
	89.10	16.00	16.80	10.60	4.10	52.50
Alimon (2004)	88.00 - 94.50	14.50 - 19.60	13.00 - 20.00	5.00 - 8.00	3.00 - 12.00	46.70 - 58.80
Sue (2004)	91.00	14.00	23.00	8.00	6.00	-
Wing Keong (2004)	-	16.86	15.12	6.82	6.58	54.62
Dairo and Fasuyi (2008)	91.80	20.40	15.47	8.63	7.56	49.00
Sekoni et al. (2008)	94.00	14.00 – 21.00	21.00 – 23.00	-	6.00	-
การสกัดน้ำมันโดยการใช้สารเคมี						
จินดา (2548)	-	16.15	16.03	0.73	7.91	59.91
Chin (2001)	89.00	15.30	14.30	2.90	4.10	63.40
Zahari et al. (2003)	-	17.20	17.10	1.50	4.30	-

หมายเหตุ : - ไม่มีข้อมูล

2.6 ผลการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้ในประเทศไทย เป็นชนิดที่ได้จากการหีบผลปาล์มด้วยเกลียวอัด (screw-press extraction) โดยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่ได้และนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น เป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีโปรตีน (crude protein) ต่ำประมาณ 16.86 เปอร์เซ็นต์ แต่มีคุณภาพสูง เพราะประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน มีไขมัน (crude lipid) 6.82 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใย (crude fiber) สูงประมาณ 15.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีผลทำให้การย่อยได้ (digestibility) และการใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ลดลง มีเถ้า (ash) 6.58 เปอร์เซ็นต์ Nitrogen Free Extract (NFE) 54.62 เปอร์เซ็นต์ และ Reducing sugar (RS) 2.87 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีความสมดุลระหว่างธาตุแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) โดยพบแคลเซียมที่ใช้ประโยชน์ได้ในไก่กระทงประมาณ 68.6 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 70.8 เปอร์เซ็นต์ (Mc Donald *et al.*, 1981) การใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในลูกไก่ ต่ออาหารที่มีส่วนประกอบจากกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเฉลี่ยอยู่ที่ 74.4 เปอร์เซ็นต์ (Yeong ,1982) โดยพบ กรดอะมิโนไลซีน 0.53 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานรวม (gross energy)ในกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันประมาณ 4680 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยไก่กระทงประมาณ 2796 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Nwokolo *et al.*,1977)

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูง มีผลในการยับยั้งการย่อย และดูดซึมของกรดและเกลือน้ำดี โดยเฉพาะสัตว์กระเพาะเดี่ยว ดังนั้นกลุ่มของสัตว์ปีกซึ่งเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว จึงไม่สามารถย่อยอาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ Ngoupayou (1984) รายงานว่า การเลี้ยงไก่กระทงด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ที่มีปริมาณเยื่อใยสูง 15.3 เปอร์เซ็นต์ ไก่จะมีการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะต่ำลง ในอาหารลูกไก่ / ไก่กระทงสาว นิวัต (2530) รายงานว่า ไก่กระทงที่มีอายุมากขึ้นสามารถกินอาหารที่มีเยื่อใยสูงและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารได้ดีกว่าไก่อายุยังน้อย สอดคล้องกับรายงานของ Armas and Chicco (1977) ที่พบว่า การใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงลูกไก่กระทงอายุ 5 วัน ในระดับ 0 15 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ที่เสริมด้วยกรดอะมิโนไลซีน และเมทไธโอนีน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ไก่ที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน 45 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ไก่กระทงในระยะเล็กสามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในอาหารได้ในระดับ 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในไก่กระทงระยะรุ่นสามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในอาหารได้ในระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อไก่ (Onwudike, 1996) สอดคล้องกับรายงานของ Hntagalung (1980) ที่พบว่าการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ไม่มีผลกระทบสมรรถภาพการผลิตของไก่กระทง นอกจากนี้การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่กระทงเพิ่มสูงขึ้น ($P<0.05$) ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ($P<0.05$) (Bello *et al.*, 2011) จากงานวิจัยที่ผ่านๆ มาจึงสรุประดับที่เหมาะสมของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมีนในไก่กระทงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงระดับที่เหมาะสมของการใช้ PKM ในไก่กระทง

ชนิด	โปรตีน (%)	พลังงาน (kcal/kg)	พันธุ์ไก่	ช่วงอายุ (สัปดาห์)	ระดับที่เหมาะสม (%)	ที่มา
กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (Palm kernel cake)	14.5	3728 (GE) *	Anak	0-10	20	Yeong, 1982
	10.8	-	C.P.707	0-4	20	วินัยและคณะ 2526
				4-8	40	วินัยและคณะ 2526
	19.2	2653(ME) *	Anak	0-6	28	Onwudike,1986

ผลของกระบวนการเอกทรูชั่นต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์นั้น จากรายงานผลการวิจัยต่างๆ ให้ผลทั้งในด้านบวกและด้านลบ Edwards *et al.*, (1999) รายงานว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นในไก่กระทงมีค่าเท่ากับ 3,535 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอาหารที่ไม่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น ที่มีค่าเท่ากับ 3,725 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) และ Herkelman *et al.* (1990) รายงานว่าการใช้ข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดไม่ได้เพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารของสุกร จากผลการทดลองพบว่าการย่อยได้ของโปรตีน และพลังงานการย่อยได้ของอาหารในส่วนของลำไส้เล็กตอนปลาย (ileal) และการย่อยได้ของโปรตีน ที่วัดจากมูลของอาหารสูตรข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดและข้าวโพดในสุกรมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่การย่อยได้ที่วัดจากมูลของ NFE (nitrogen free extract) พลังงานการย่อยได้ (DE) และพลังงานการใช้ประโยชน์ (ME) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับ (GE) ของข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดมีค่าสูงกว่าในข้าวโพด ($P < 0.05$) และพลังงานที่ย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในข้าวโพด เอ็กซ์ทรูด (มีค่าเท่ากับ 3.82 และ 3.73 กิโลแคลอรี่/กรัมอาหารในรูปวัตถุแห้ง ตามลำดับ) สูงกว่าในข้าวโพด (มีค่าเท่ากับ 3.66 และ 3.57 กิโลแคลอรี่/กรัมอาหารในรูปวัตถุแห้ง ตามลำดับ) แต่การใช้ข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดไม่ได้ช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการกินอาหาร ($P>0.05$) (Hongtrakul *et al.*, 1998; Chae *et al.*, 2000) แต่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในสุกรระยะหลังหย่านม ($P<0.01$) (Chae *et al.*, 2000) นอกจากนี้ Skoch *et al.* (1983) รายงานว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นสามารถช่วยปรับปรุงพลังงานการย่อยได้ของอาหารผสมระหว่างข้าวโพดกับข้าวสาลี (ในสัดส่วน 1:1) ในสุกร และ Noland *et al.* (1976) รายงานว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นของข้าวฟ่างที่มีคุณภาพต่ำ สามารถปรับปรุงค่าพลังงานการย่อยได้และการย่อยได้ของโปรตีนที่วัดจากมูลในสุกร