

# 1. บทนำ

## บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยเป็นผู้แปรรูปอาหารทะเลเพื่อการส่งออกระดับโลก จึงมีของเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำทิ้งจากระบวนการผลิตปริมาณมากต่อปี ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องมีระบบการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อไม่ให้กลายเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะสะสมเป็นปัญหาใหญ่ของโลก นอกจากนั้นการรักษาสิ่งแวดล้อมยังเป็นเงื่อนไขสำคัญซึ่งประเทศที่มีอิทธิพลทางเศรษฐกิจนำมาใช้เป็นเครื่องมือต่อรองทางการค้าในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะรุนแรงมากขึ้นในอนาคต

น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลต่างชนิดกันมีคุณลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และปริมาณการผลิต แต่โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าระดับความสกปรกของน้ำทิ้งเมื่อใช้ค่า biological oxygen demand (BOD) เป็นเกณฑ์เรียงจากมากไปหาน้อยคือ โรงงานผลิตเนื้อปลาบดแช่แข็ง (surimi) โรงงานผลิตเนื้อปูเทียม และโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ดังนั้นกระบวนการบำบัดจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของน้ำเสียที่ปล่อยออกมา

แม้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลจะมีหลายรูปแบบแต่ก็มีขั้นตอนเร่งการตกตะกอน (coagulation) ด้วยโพลิเมอร์สังเคราะห์คือ polyacrylamide หรือ อนุพันธ์ของ polyacrylamide รวมอยู่ด้วยเสมอ โพลิเมอร์ดังกล่าวนอกจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศแล้ว ยังไม่มีข้อมูลยืนยันอย่างชัดเจนเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าถูกย่อยสลายในธรรมชาติได้ช้าเช่นเดียวกับวัสดุพลาสติกทั่วไป และถ้าผลิตผลจากการย่อยสลายเกิดเป็นหน่วยย่อย (monomer) คือ acrylamide แล้ว ผลผลิตนี้จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นพิษต่อระบบประสาท (Klaassen *et. al.*, 1999)

ไคโตซาน (chitosan) เป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (acetyl group) จากโมเลกุลของไคติน (chitin) ซึ่งมีมากในเปลือกกุ้ง และเป็นวัสดุเหลืออีกชนิดหนึ่งจากอุตสาหกรรมผลิตกุ้งทะเลแช่แข็ง สารดังกล่าวนอกจากถูกย่อยสลายโดย

แบคทีเรียในธรรมชาติได้อย่างรวดเร็วแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับ polyacrylamide (อุตสาหกรรม จันทรอำไพ, 2539 , ข้อมูลรายงานต่อภาคเอกชนไม่ได้ตีพิมพ์)

ผลการสำรวจข้อมูลพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็งที่มีกำลังการผลิตจากวัตถุดิบ 40 ตันต่อวัน จะปล่อยน้ำทิ้งซึ่งมีค่า  $BOD_5$  ในช่วง 1,000-5,000 mg/l ประมาณ 800-1,000  $m^3$ /วัน เมื่อน้ำทิ้งดังกล่าวผ่านกระบวนการบำบัดจะเกิดเป็นตะกอนสดประมาณ 3-4 ตัน/วัน (สัญญาชัย กลิ่นพิบูล, 2539) และถ้านำไปอบจะได้ตะกอนแห้งประมาณ 1.2 ตัน ปัจจุบันการนำไปใช้ประโยชน์ถูกจำกัดอยู่เพียงใช้เป็นปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มหรือสวนผลไม้ การกำจัดตะกอนดังกล่าวนี้ยังเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งสำหรับเจ้าของกิจการและหน่วยงานภาครัฐบาล

ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าตะกอนแห้งที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยไนโตรเจนสูงถึง 9.9% ซึ่งใกล้เคียงกับปลาปนเกรดสูง จึงเป็นไปได้ว่าน่าจะมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานว่าไนโตรเจนดังกล่าวอยู่ในรูปใด มีคุณค่าทางโภชนาการมากน้อยเพียงใด อาจอยู่ในรูปโปรตีนอิสระ เป็นส่วนประกอบผนังเซลล์ของแบคทีเรีย สารประกอบชนิดอื่นที่ไม่ใช่โปรตีน หรือเกิดจากการผสมของสารเหล่านี้ที่ยังไม่ทราบอัตราส่วนแน่ชัด

การทดลองนี้จึงทำการศึกษาส่วนประกอบทางโภชนาการของตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งด้วยโคโคซาน โดยการวิเคราะห์ทั้งในระดับประมาณ (proximate analysis) เช่นปริมาณ โปรตีน ไขมัน เถ้าถ่าน ความชื้น รวมทั้งส่วนประกอบของ กรดแอมิโน (amino acids) ลำดับชั้นของไขมัน (lipid classes) และ กรดไขมัน (fatty acids) นอกจากนี้ยังทำการประเมินศักยภาพที่จะสามารถนำตะกอนดังกล่าวไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารสัตว์ด้วยการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยตะกอนดังกล่าวในไก่อ่

กระทาง

## การตรวจเอกสาร

### 1. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งและการบำบัด

น้ำเสียในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจากชุมชน และ โรงงานอุตสาหกรรม (Gray, 1989) คุณสมบัติของน้ำเสียเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อนที่ผสมอยู่ น้ำเสียจากชุมชนมักมีสารอินทรีย์ทั้งในรูปที่ละลายหรือไม่ละลายน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญ ส่วนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างไปตามชนิดของอุตสาหกรรมนั้น ๆ ระดับการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำเสียอาจกำหนดโดยใช้ค่า biological oxygen demand (BOD) เป็นเกณฑ์

น้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งเยือกแข็งส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ การแปรรูป และการทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ในกระบวนการผลิต จากการสำรวจพบว่า โรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็งเยือกแข็งที่มีกำลังผลิตวัตถุดิบปริมาณ 40 ตัน/วัน จะปล่อยน้ำเสียออกมาประมาณ 1000 ลูกบาศก์เมตร/วัน น้ำดังกล่าวนี้มีค่า BOD<sub>5</sub> ในช่วง 1000 – 5000 มิลลิกรัม/ลิตร

Hammer (1977) สรุปว่าวิธีบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของ สารปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นๆ แต่โดยทั่วไปมักนำเอา 2 กระบวนการมาใช้ร่วมกันคือ

1. กระบวนการทางกายภาพ (physical process)
2. กระบวนการทางชีวภาพ (biological process)

กระบวนการทางกายภาพมักใช้กำจัดสิ่งปนเปื้อนที่สามารถแยกออกมาได้โดยการกรองหรือตกตะกอน (coagulation) หรือในบางกรณีอาจใช้สารเร่งการตกตะกอนที่เหมาะสมเข้ามาช่วย สำหรับกระบวนการทางชีวภาพมักใช้จุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสิ่งปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีนหรือไขมัน ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจึงมีจุลินทรีย์ผสมอยู่ซึ่งสามารถแยกออกจากส่วนที่เป็นน้ำโดยการกรองหรือตกตะกอน อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปขั้นตอนสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งมีดังนี้

#### 1.1 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่ (coarse screening)

สิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่ (เส้นผ่าศูนย์กลางเกินกว่า 2.5 ซม.) จะถูกแยกออกในขั้นแรกโดยให้น้ำทิ้งไหลผ่านตะแกรง ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เหล่านี้เข้าไปทำลายอุปกรณ์ เช่น ปั๊มพ์ หรือเข้าไปอุดตันในระบบการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัด

## 1.2 การแยกกรวดและหิน (grit removal)

กรวด ททราย หรือของแข็งอื่น ๆ ที่มีความหนาแน่นมาก (ขนาดตั้งแต่ 0.2 มม. ขึ้นไป) ที่ผ่านการแยกในขั้นแรกจะผ่านเข้าสู่ settling tank และปล่อยให้แยกออกจากส่วนของน้ำ

## 1.3 การแยกชั้นต้น (primary clarifier)

น้ำที่ได้หลังจากแยกวัสดุขนาดใหญ่ออกไปแล้วจะถูกปล่อยเข้าสู่ settling basin อย่างช้า ๆ ส่วนประกอบที่มีความหนาแน่นต่ำเช่นไขมัน หรือ grease จะแยกตัวลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งสามารถกวาดออกไปได้เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ก่อนเข้าสู่การบำบัดด้วยจุลินทรีย์ (Hammer, 1977)

## 1.4 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (biological treatment)

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด 3 ขั้นตอนข้างต้นจะเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพซึ่งสามารถลดปริมาณสารแขวนลอยและค่า BOD ลงมาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งหมด (Hammer, 1977) กิจกรรมของจุลินทรีย์สำหรับกระบวนการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญคือ ขั้นตอนแรก เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์เช่นไขมันและโปรตีนให้กลายเป็นสารโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำ และ ขั้นตอนที่สอง เป็นการนำสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ได้จากขั้นตอนแรกไปสร้างเซลล์ใหม่เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านั้น (Gray, 1989) อย่างไรก็ตามกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดย จุลินทรีย์ในทางปฏิบัติอาจดำเนินการได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

### 1.4.1 กระบวนการเร่งตะกอน (activated sludge process)

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจะถูกนำเข้าสู่ระบบเร่งตะกอน (activated sludge system) ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเข้าไปย่อยสารอินทรีย์ ในขั้นตอนนี้ต้องเติม oxygen ให้เพียงพอกับกิจกรรมการย่อยดังกล่าว จุลินทรีย์จะเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลล์จนระดับของสารอินทรีย์ลดลงตามมาตรฐานที่กำหนด น้ำเสียจากการบำบัดจนเสร็จสิ้นในขั้นตอนนี้ ต้องเข้าไปสู่กระบวนการตกตะกอนเพื่อกรองเซลล์จุลินทรีย์ออก และคงเหลือจุลินทรีย์อีกส่วนหนึ่งในบ่อ activated sludge เพื่อเป็นหัวเชื้อให้กับน้ำเสียที่ผ่านมาจาก primary settling เข้ามาสู่ activated sludge process ต่อไป (Hammer, 1977)

#### 1.4.2 thickling filter

เป็นวิธีการที่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์ อุปกรณ์หลักในกระบวนการนี้มีลักษณะเป็นแผ่นกรองขนาดใหญ่ ที่มีโครงสร้างเป็นกระเบื้อง หรือพลาสติก ซึ่งมีรูพรุนที่ถูกจับอยู่ด้วยจุลินทรีย์ที่ใช้บำบัด เมื่อน้ำเสียจากขั้นตอน primary settling ถูกปล่อยให้ไหลผ่าน จุลินทรีย์บนแผ่นกรองจะทำการย่อยสารอินทรีย์พร้อมกับมีการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง และจะมีเซลล์ของจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งปะปนออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัด วิธีการนี้อาจปล่อยน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วง ๆ โดยในแผ่นกรองก็ยังคงมีจุลินทรีย์อยู่ในระดับสม่ำเสมอตลอดเวลา (Hammer, 1977)

#### 1.4.3 บ่อออกซิเดชัน (oxidation pond)

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนและหลักการทั่วไปสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อออกซิเดชัน ข้อดีของกระบวนการดังกล่าวนี้คือค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่บ่อพักน้ำที่สัมผัสกับแสงแดดขนาดใหญ่และใช้เวลาในการบำบัดนาน เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีค่า BOD ไม่สูงนัก (ระหว่าง 0.2– 0.5 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต/วัน; Hammer, 1986) กลไกการทำงานภายในบ่อออกซิเดชันคือสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งอาจมีแหล่งกำเนิดจากหลายทางเช่น จากผลิตภัณฑ์ของกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วยสาหร่าย การแพร่ (diffusion) จากอากาศ หรืออาจใช้เครื่องอัดอากาศ (aerator) เข้ามาช่วย นอกจากนี้อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อระยะเวลาสำหรับการบำบัด ในช่วงอากาศร้อนอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว กิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาการนี้จะมีผลตรงกันข้ามเมื่อเข้าสู่ช่วงที่อากาศเย็น (Viessman and Welty, 1985)



#### 1.4.4 การบำบัดด้วยระบบไร้อากาศ (anaerobic treatment)

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไร้อากาศหรือไม่ใช้ออกซิเจนเหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่เยือกแข็งที่มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนปริมาณสูง กลไกการทำงานคือสารอินทรีย์จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้สภาวะที่มีระดับออกซิเจนต่ำ ผลผลิตจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดังกล่าวมักมีสถานะเป็นก๊าซเช่น methane, hydrogen, hydrogen sulfide, ammonia และ carbon dioxide ดังนั้นจึงมีตะกอนจากการบำบัดน้อย นอกจากนั้นแก๊สที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ (Hammer, 1977)

รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนและหลักการทั่วไปสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไร้ออกซิเจนที่เรียกว่า Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและกำลังได้รับความสนใจมากที่สุดในปัจจุบัน กลไกการทำงานคือน้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าสู่ส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ (reactor) ระบบปิด ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่มีความหนาแน่นสูงจับกลุ่มกันอยู่และสามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน น้ำที่ผ่านการย่อยสารอินทรีย์ออกไปแล้วจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังแยกออกไป ระบบบำบัดนี้ที่ใช้พื้นที่น้อยและเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณมากปนเปื้อนอยู่ นอกจากนั้นเนื่องจากผลผลิตจากการบำบัดมีสถานะเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติติดไฟได้ จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อีกทางหนึ่งด้วย (Bitton, 1994)

อย่างไรก็ตาม ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารบางประเภทที่มีสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมากเกินไปอาจต้องใช้วิธีการอื่นร่วมกับการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเพื่อเตรียมระดับสารอินทรีย์ในน้ำให้เหมาะสมเช่น อาจใช้การตกตะกอนส่วนประกอบบางอย่างออกด้วยสารเคมีหรือบำบัดโดยใช้ออกซิเจนก่อนบางส่วน แล้วจึงเข้าสู่การบำบัดแบบไร้ออกซิเจน





## 1.5 การกำจัดตะกอน

เมื่อการบำบัดโดยจุลินทรีย์เสร็จสิ้น ได้น้ำที่มีค่า BOD เหมาะสมที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือนำกลับมาใช้ใหม่ ก่อนการปล่อยน้ำดังกล่าวออกต้องมีการกำจัดตะกอน วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ปล่อยให้เซลล์จุลินทรีย์ตกตะกอนลงสู่ก้นถังบำบัด และปล่อยน้ำใสส่วนบนออก เมื่อตะกอนมีมากพอจะนำมาตากแห้ง แล้วกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบ ตะกอนดังกล่าวมีกลิ่นไม่รุนแรงนัก และย่อยสลายเป็นปุ๋ยสำหรับพืชได้อย่างดี

ถ้าไม่มีพื้นที่พอในการตากแห้งอาจทำการแยกตะกอนโดยการกรอง ซึ่งก่อนการกรองต้องเติมสารพอลิเมอร์ที่เป็น coagulating agent ลงไปในน้ำที่ผ่านการบำบัดนั้น เพื่อให้ตะกอนที่มีอยู่รวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น coagulating agent ที่ใช้อยู่ทั่วไปได้แก่ ferric-chloride ต้องใช้ในอัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ alum ต้องใช้ 4-5 กิโลกรัมต่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด 1 ลูกบาศก์เมตร จึงสามารถรวมกลุ่มตะกอนให้มีขนาดเหมาะสมที่จะกรองได้

ในปัจจุบันมีการพัฒนามาใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น polyacrylamide ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือ จับตะกอนได้ดีและรวดเร็ว ตะกอนที่ได้มีขนาดใหญ่่ง่ายต่อการกรอง และใช้ในปริมาณน้อย แต่อาจเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ยาก และหนอยย่อยมีพิษเป็นสารก่อมะเร็ง

เมื่อตะกอนจับตัวกันอย่างสมบูรณ์หลังจากเติม coagulating agent น้ำเสียดังกล่าวจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องกรอง ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องกรองต้องมีประสิทธิภาพที่เพียงพอกับปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ใ้กรองส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น mesh separation drum ที่มีขนาด pore size เหมาะสมกับขนาดตะกอน เพื่อให้น้ำที่ผ่านการกรองมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่สามารถปล่อยออกสู่ธรรมชาติหรือนำกลับมาใช้ได้

## 2. □□□□ □□□□□□□□□□

### 2.1 ประวัติการค้นพบและการกระจายของไคตินในธรรมชาติ

ไคตินถูกค้นพบครั้งแรกโดย Bracannot (1811 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) จากการสกัดเห็ดชนิด *Agarceus volvaccus* ด้วยต่างอุณหภูมิจาก เรียกผลผลิตที่ได้ว่า Fungine ซึ่งมีโปรตีนผสมอยู่เล็กน้อย Odier (1823 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) พบว่าสารที่เป็นโครงสร้างแข็งในแมลงมีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างแข็งในพืช และเรียกโครงสร้างแข็งของแมลง

ว่า ไคติน ซึ่งหมายถึงเครื่องห่อหุ้ม แต่ยังไม่สามารถตรวจพบส่วนประกอบที่เป็นไนโตรเจนในไคติน ต่อมา Lassaigne (1843 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) พบว่าเมื่อนำไคตินที่แยกได้จากตัวอ่อนของผีเสื้อกลางคืนมาทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีโพแตสเซียมเป็นส่วนประกอบ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นโพแตสเซียมไซยาไนด์ จึงสรุปว่ามีไนโตรเจนอยู่ในไคติน Ledderhose (1878; อ้างโดย Muzzarelli, 1977) กล่าวว่าไคตินเป็นโพลิเมอร์ที่มี glucosamine เป็นหน่วยย่อย Muzzarelli (1977) สรุปว่าโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดมักมีไคตินเป็นส่วนประกอบ เช่น ผนังเซลล์ของ เห็บ รา โครงสร้างแข็งของแมลง (arachnid) กุ้ง ปู (mollusk) ใน anilid บางชนิด diatom รวมทั้งในสัตว์มีกระดูกสันหลัง

## 2.2 โครงสร้างของไคติน

Ashford *et al.* (1977) รายงานว่าไคตินเป็นโพลิเมอร์สายตรงที่เกิดจากหน่วยย่อยของ N-acetyl-glucosamine เชื่อมต่อกันด้วย  $\beta(1-4)$  glycosidic bond เช่นเดียวกับ เซลลูโลส แตกต่างกันว่าคาร์บอนตำแหน่งที่สองของไคตินเป็น acetylamino group ( $-NHCOCH_3$ ) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว แต่ไคตินจากแต่ละแหล่งอาจมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนหน่วยย่อยที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุล ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างโพลิเมอร์ รวมทั้งระดับการมีหมู่ acetyl เป็นส่วนประกอบ เช่น ในรา *Mucor rouxii* ไคตินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป deacetylated form แต่ที่พบในเปลือกกุ้ง ปู และกิ้ง ไคตินจะอยู่ในรูป acetylated form

Ashford *et al.* (1977) สรุปว่าไคตินมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง ต่างหรือตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น lithium thiocyanate, lithium oxide, hexafluoroisopropanol, hexafluoroacetone หรือ trichloroacetic ที่มี methylene chloride และ choral hydrate เป็นส่วนประกอบ ไคตินในสารละลายต่างจะพองตัวเนื่องจาก อิเลคตรอนอิสระของหมู่อะมิโนเกาะเกี่ยวกับ alkali-cation หรืออาจมีการกำจัดหมู่อะซิติลเกิดขึ้นเล็กน้อยจากปฏิกิริยานี้ เมื่อระเหยน้ำออกจะจับตัวกันเป็นฟิล์มเหนียว ได้ผลิตภัณฑ์ของไคตินในรูปแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของ alkali cation ที่ใช้

## 2.3 ไคโตซาน

Rouget (1859 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) พบว่าเมื่อต้มไคตินด้วยสารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากสารตั้งต้นคือสามารถละลาย

ได้ในกรดอินทรีย์ จึงเรียกว่า modified chitin ต่อมา Hoppe-Seyler (1894 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) รายงานว่าอนุพันธ์ดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติก (deacetylation) ออกจากโครงสร้างของไคตินและเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ใหม่ว่าไคโตซาน (chitosan)

ไคโตซานมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายกรดอ่อนหลายชนิด เช่น ใน 1% กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดแลคติก กรดมาลิก กรดมาโลนิค กรดโพไพโอนิค ใน 5% กรดซัคซินิค ใน 10% กรดออกซาลิก กรดซิตริก กรดไพรูวิก และกรดทาร์ทาริก อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดแต่ละชนิดด้วย เช่น สามารถละลายได้ดีใน กรดฟอร์มิก และ กรดอะซิติก ที่ระดับความเข้มข้น 0.2-98% และ 0.1-50% ตามลำดับ แต่ไม่สามารถละลายได้เมื่อใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงกว่านี้

เนื่องจากโครงสร้างของไคโตซานประกอบด้วยหมู่เอมีโนจำนวนมากจึงมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte โดยมีค่า pKa ของหมู่เอมีโนเท่ากับ 6.2 เมื่อปรับพีเอชของสารละลายไคโตซานให้สูงขึ้นจนถึง 6.5 จะเกิดตะกอนเป็น gelatinous floc ซึ่งถ้าในสารละลายมี anionic material ขนาดเล็กรวมอยู่ด้วยก็จะถูกจับให้ตกตะกอนลงมาพร้อมๆกัน คุณสมบัติดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตกตะกอนอนุภาคออกจากตัวกลางที่เป็นของเหลวได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ tannin, lignosulphonate และ anionic polyelectrolyte อื่น ๆ ได้แก่ ionic water soluble gum เช่น algenate, focoidin, pectate, sulfonate, carragenan รวมทั้ง carboxymethyl cellulose และ polyacrylate แต่จะไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนเมื่อผสมกับ non-ionic water soluble gum, แป้ง, กลูโคส, dextrin, ซูโครส, polyhydric alcohol, oil, fat, wax และ non-ionic emulsifier (Ashford *et al.*, 1977)

ไคโตซานมีคุณสมบัติสามารถดูดซับไอออนของโลหะ (chelating property) ได้หลายชนิด เช่น As, Hg, Pb, Zn, Tb, Ag, Sb, In, Au, Co, Cr, Ni, Al และ Cu คุณสมบัติดังกล่าวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมได้ Muzzarelli และ Isolati (1971, อ้างโดย Muzzarelli, 1977) รายงานว่าไคโตซานสามารถกำจัด methyl mercury acetate ที่มีกรดอะซิติก และ อะซิโตนดีไฮด์ปนอยู่เล็กน้อย

## 2.4 การเตรียมไคตินและไคโตซาน

ไคตินในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนและแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นการเตรียมไคตินให้ได้คุณสมบัติตามต้องการจึงต้องเลือกวัตถุดิบ วิธีการกำจัดโปรตีน และ แร่ธาตุ ที่เหมาะสม

### 2.4.1 การกำจัดโปรตีนและแร่ธาตุ

การกำจัดแร่ธาตุด้วยวิธีทางเคมีมักดำเนินการโดยนำวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดแก่ที่มีความเข้มข้น ระยะเวลา และ อุณหภูมิที่เหมาะสม ถ้ากรดที่ใช้มีความเข้มข้นน้อยเกินไป เวลาไม่เพียงพอ หรืออุณหภูมิในการกำจัดแร่ธาตุต่ำเกินไป อาจทำให้ไม่สามารถกำจัดแร่ธาตุได้อย่างสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป ใช้อุณหภูมิสูง หรือ เวลานานเกินไป อาจมีผลไปทำลายโครงสร้างของไคตินได้ สำหรับกระบวนการกำจัดโปรตีน มักดำเนินการโดยสกัดโปรตีนออกมาด้วยสารละลายต่างในระดับความเข้มข้น เวลา และ อุณหภูมิที่เหมาะสม หรืออาจใช้การย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์

Hackman (1954 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) สกัดไคตินจากเปลือกกุ้ง โดยการกำจัดแร่ธาตุด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 2 นอร์มอล แล้วจึงกำจัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}$  ซ. ได้ผลผลิตไคติน 17% ซึ่งไม่มีเถ้าถ่าน (ash) เป็นส่วนประกอบ และมีไนโตรเจน 6.8% Whisler and Bemiller (1962 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) เตรียมไคตินจากเปลือกกุ้ง โดยแช่เปลือกกุ้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 10% ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน และกำจัดแร่ธาตุด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 37% ที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}$  ซ เวลา 4 ชั่วโมง ได้ผลผลิตไคติน 20% มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ 7.1% Forter and Hackman (1957 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) กล่าวว่า การใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถกำจัดโปรตีนได้สมบูรณ์ขึ้น แต่มีผลกระทบคือทำให้หมู่อะซิติลในไคตินบางส่วนถูกกำจัดออกไปด้วย Takeda and Abe (1962 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) เตรียมไคตินจากเปลือกแมงดาทะเล โดยกำจัดแร่ธาตุด้วยสารละลาย EDTA และกำจัดโปรตีนด้วย เอนไซม์ tuna proteinase ที่พีเอช 7.6 อุณหภูมิ  $37.5^{\circ}$  ซ. หรือเอนไซม์ papain ที่พีเอช 5.5 อุณหภูมิ  $37.5^{\circ}$  ซ. เป็นเวลานานกว่า 60 ชั่วโมง ได้ไคตินที่มีโปรตีนผสมอยู่ 5% แต่เมื่อกำจัดโปรตีนอีกครั้งด้วยสารละลายโซเดียมเบนซีน ซัลโฟเนต พบว่าสามารถลดการปนเปื้อนของโปรตีนลงได้มาก

### 2.4.2 การกำจัดหมู่อะซิติก

การกำจัดหมู่อะซิติกออกจากโคตินเกิดขึ้นโดยการทำลายพันธะ amine linkage ซึ่งเกิดขึ้นได้ยากในสภาวะปกติ แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้โดยใช้กรดหรือด่างที่มีความเข้มข้นสูง ที่อุณหภูมิสูง Muzzaelli (1976 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) กล่าวว่าสภาวะในการกำจัดหมู่อะซิติก มีผลต่อคุณภาพของโคโตซาน การใช้กรดนอกจากจะมีผลในการกำจัดหมู่อะซิติกแล้ว ยังมีผลทำลาย glycosidic bond แต่การใช้อด่างจะมีผลทำลายพันธะดังกล่าวเพียงเล็กน้อย การกำจัดหมู่อะซิติกภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย จะทำให้ได้โคโตซานที่มีความเหนียวสูงกว่าโคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิติกภายใต้บรรยากาศปกติ เวลาในการกำจัดหมู่อะซิติกที่นานขึ้น หรืออุณหภูมิที่สูงขึ้น มีผลทำให้การกำจัดหมู่อะซิติกสมบูรณ์ขึ้น แต่ทำให้ได้โคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลลดลง

## 3. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ มีประโยชน์ทำให้ทราบส่วนประกอบทางชีวเคมีในวัตถุดิบนั้น เพื่อนำไปพิจารณาใช้ประกอบในอาหารสัตว์ได้อย่างเหมาะสมให้การเลี้ยงสัตว์มีประสิทธิภาพการผลิตขึ้น (สุธา วัฒนสิทธิ์, 2533) โดยทั่วไป การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยวิธีการประมาณ (proximate analysis) ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าของส่วนประกอบในวัตถุดิบนั้นจริง ๆ ไม่ใช่ค่าที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด กล่าวคือจะมีส่วนหนึ่งถูกขับออกมาในรูปของการขับถ่าย ดังนั้นหากต้องการนำข้อมูลส่วนประกอบในวัตถุดิบอาหารไปใช้ประกอบอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ จึงควรจะใช้ค่าการใช้ประโยชน์ได้ (availability) หรือค่าการย่อยได้ (digestibility) มาใช้ในการคำนวณสูตรอาหาร (สุวิทย์ ธีรพันธุ์วัฒน์, 2532)

### 3.1 แหล่งอาหารโปรตีนสำหรับไก่กระตัง

แหล่งอาหารโปรตีนสำหรับไก่กระตัง โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แหล่ง คือโปรตีนจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง และโปรตีนจากสัตว์ เช่น ปลาป่น อุทัย คันโช (2529) ได้จัดแหล่งอาหารโปรตีนเป็นวัตถุดิบหายากและราคาแพง จึงต้องใช้ในอัตราที่เหมาะสมที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด การขาดโปรตีนในอาหารทำให้ไก่กระตังเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ และหากมีคุณภาพต่ำ (Hurwitz *et al.*, 1998) ในทางตรงข้ามหากได้รับโปรตีนสูงเกินไป เกินความสามารถที่สัตว์จะใช้ได้หมด จะเกิดการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

โดยไม่จำเป็น(Morris *et al.*, 1987) นอกจากความเพียงพอของระดับโปรตีนแล้ว ความเหมาะสมของกรดแอมิโนในโปรตีน ก็มีผลต่อคุณภาพของผลผลิตไก่กระทางเช่นกัน Hurwitz *et al.*, (1998) กล่าวว่า การได้รับอาร์จินีนและไลซีนน้อยเกินไป ทำให้ไก่กระทางมีการสะสมไขมันมาก แต่กลับมีกล้ามเนื้อน้อยเป็นผลผลิตคุณภาพต่ำ Firman and Boling (1998) กล่าวว่า แหล่งอาหารโปรตีนที่ดีและเหมาะสมต้องมีสัดส่วนกรดแอมิโนที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตและสามารถนำมาใช้ได้

ยุทธนา ศิริวิธนนุกูล (2531) กล่าวว่า การใช้กรดแอมิโนสังเคราะห์เพื่อเพิ่มสมรรถภาพของกรดแอมิโนในอาหาร ทำให้สามารถใช้วัตถุดิบบางชนิดที่มีสัดส่วนของกรดแอมิโนไม่เหมาะสม หรือมีกรดแอมิโนชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอ Fisher (1998) กล่าวว่า ไก่กระทางได้รับกรดแอมิโนจำเป็นที่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์เพียง 100 กรัมต่อกิโลกรัมของอาหารก็สามารถเจริญเติบโตได้อย่างปกติ ในขณะที่วัตถุดิบอาหารบางอย่างถึงแม้จะมีกรดแอมิโนสูงแต่การนำไปใช้ได้ อาจจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสม

### 3.2 วัตถุดิบอาหารจากของเหลือใช้

นอกจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปแล้ว วัตถุเหลือใช้บางอย่างก็มีการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เช่น การใช้เศษอาหารจากครัวเรือนมาเป็นอาหารไก่ และสุกร ศิริชัย ศรีพงศ์พันธุ์ และคณะ (2526) พบว่ากากเมล็ดธัญพาราก็มีคุณค่าสามารถนำมาผสมในอาหารไก่กระทางได้ในระดับหนึ่ง แต่ถ้าให้ไก่ได้รับกากเมล็ดธัญพาราในปริมาณมากจะมีผลจากพิษของไซยาไนด์คือ ออน วินัย ประถมพิทกาญจน์ และคณะ (2526) พบว่ากากปาล์มน้ำมันสามารถใช้ได้ร้อยละ 20 ในอาหารไก่อายุ 0-4 สัปดาห์ และสามารถใช้ได้ถึงร้อยละ 40 ในไก่อายุ 4-8 สัปดาห์ Farhat *et al.* (1998) กล่าวว่าของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารก็มีคุณค่าทำให้ไก่เจริญเติบโตได้ดี

### 3.3 ส่วนประกอบของอาหารสัตว์ปีก

อาหารสัตว์ปีกประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิด เช่น เมล็ดธัญพืช, กากถั่วเหลือง, animal by product, แหล่งไขมัน, แหล่งวิตามิน และแหล่งเกลือแร่ เพื่อให้มีพลังงานและสารอาหารคือ โปรตีนและกรดแอมิโน คาร์โบไฮเดรต ไขมันและวิตามิน รวมทั้งพลังงานที่เพียงพอสำหรับการรักษาระดับเมตาโบลิซึม (metabolism) กิจกรรมในการดำรงชีวิต และการผลิตเนื้อ ไข่

นอกจากสารอาหารดังกล่าวข้างต้นยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งโดยปกติจะได้รับจาก วัตถุประสงค์อาหาร เช่น xanthophyll ซึ่งเป็นสารที่ทำให้อาหารมีสี unidentified growth factor และ สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) ซึ่งจะทำให้สามารถ รักษาคุณภาพอาหารได้นานขึ้นไม่ถูกทำลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์

### 3.3.1 พลังงาน

พลังงานในอาหารไม่ได้เป็นโภชนะ แต่มีความจำเป็นที่ต้องนำไปใช้ใน กระบวนการเมตาบอลิซึม ความมากน้อยของระดับพลังงานในอาหารสามารถตรวจสอบได้ โดยเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนด้วยการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน bomb calorimeter หรือคำนวณพลังงานจากส่วนประกอบที่ตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี ประมาณ (proximate analysis) แต่ค่าพลังงานในวัตถุประสงค์อาหารที่นำไปใช้ได้จริงในสัตว์อาจ ไม่ใช่พลังงานทั้งหมดในอาหาร โดยทั่วไปค่าพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้จริงมักบอก เป็น digestible energy หรือ metabolizable energy ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบนำวัตถุประสงค์อาหารสัตว์มาใช้จริงในสัตว์ โดยปกติในการผลิตอาหารสัตว์ในเชิงอุตสาหกรรมจะ ประเมินค่าพลังงานจากอาหารโดยมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี ซึ่งสามารถอธิบายค่าพลังงาน จากอาหารได้หลายแบบเช่น

**พลังงานรวม (gross energy : GE)** คือค่าพลังงานทั้งหมดของสารอาหารที่ ปล่อยออกมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ด้วย oxygen เป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ด้วยเครื่อง bomb calorimeter

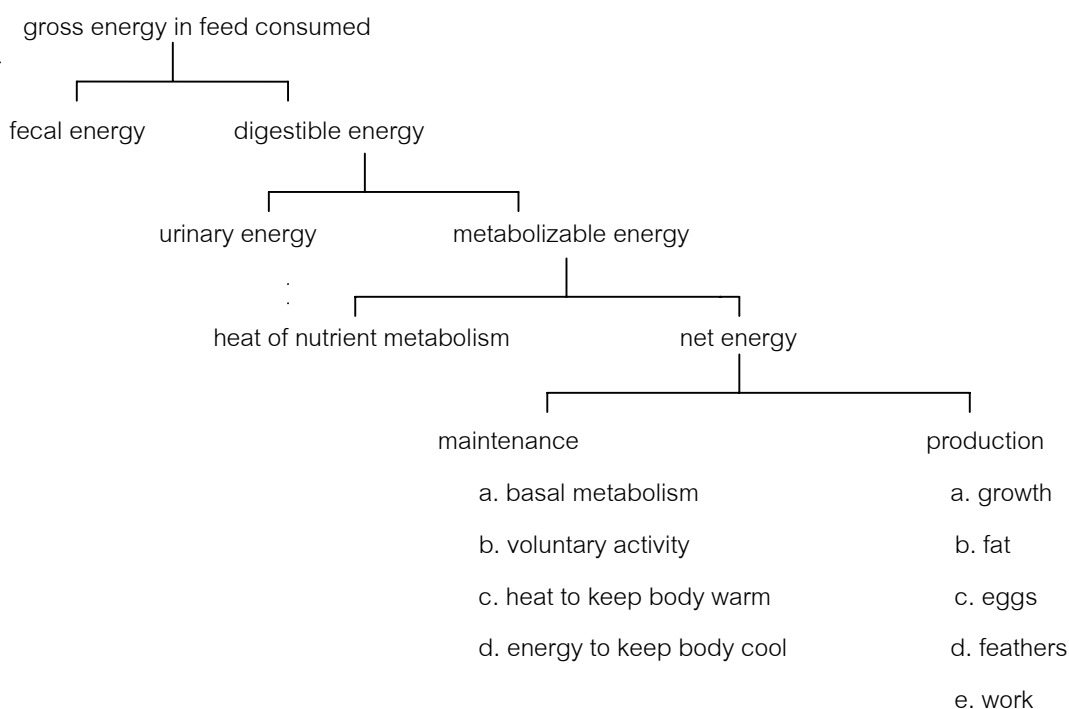
**พลังงานที่ย่อยได้ (apparent digestible energy : DE)** คือ ค่าพลังงานทั้งหมดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปลบด้วยค่าพลังงานใน feces และ urine ที่ขับถ่ายออกมา สำหรับสัตว์ปีกของเสียทั้งสองส่วนนี้จะขับออกมาด้วยกันทาง cloaca จึงแยกออกจากกันได้ ยาก ดังนั้นจึงไม่นิยมทำการศึกษาค่านี้สำหรับสัตว์ปีก

**พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ (apparent metabolizable energy : AME)** คือค่าพลังงานทั้งหมดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปลบกับค่าพลังงานทั้งหมดที่ ขับออก ได้แก่ feces, urine และ แก๊สซึ่งมีปริมาณน้อยมาก จึงอาจกล่าวได้ว่า ME คือพลังงานที่ได้รับจากอาหารลบด้วยค่าพลังงานจากสิ่งขับถ่ายทั้งหมด

**พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริง (true metabolizable energy : TME)** ในสัตว์ปีกคือค่าพลังงานทั้งหมดในอาหารที่ได้รับลบด้วยค่าพลังงานในสิ่งขับถ่ายที่เกิดจาก

อาหารที่กินเข้าไป เพราะโดยปกติถึงแม้สัตว์จะไม่ได้กินอาหารก็จะมีการขับถ่ายออกมา ในส่วนนี้เป็นการขับถ่ายที่ไม่ได้มาจากอาหารจึงไม่นำมาหักลบ

**พลังงานใช้ประโยชน์สุทธิ (net energy : NE)** คือค่า metabolizable energy ลบด้วยพลังงานที่สัตว์สูญเสียทั้งหมดในรูปความร้อน เพราะฉะนั้นค่า net energy จึงเป็นค่าพลังงานที่คงอยู่ในร่างกายทั้งหมดจากอาหารซึ่งจะมีค่ามากขึ้นกับประสิทธิภาพของร่างกายและอัตราการสร้างผลผลิตของสัตว์



รูปที่ 3 การใช้พลังงานจากอาหารโดยไก่กระหวง (Scott *et al.*, 1982)

ส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ จะต้องกำหนดให้มีระดับพลังงานที่เหมาะสมเพื่อให้สัตว์สามารถนำไปใช้ได้สูงสุดและด้วยราคาที่ต่ำสุด วัตถุดิบหลักที่เป็นแหล่งพลังงานได้แก่คาร์โบไฮเดรต และ ไขมัน ซึ่งมีราคาแพง จึงต้องทราบระดับความเพียงพอของวัตถุดิบดังกล่าว และนอกจากจะมีระดับพลังงานเพียงพอแล้ว จะต้องมิโกชนะจำเป็นเช่นกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) อยู่อย่างเพียงพอด้วย (Hill and Danaky, 1950 ; Hill *et al.*, 1956 ; Scott *et al.*, 1982 อ้างโดย NRC, 1994)



### 3.3.2 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นวัตถุดิบอาหารที่ให้พลังงานจากส่วนประกอบที่เป็นแป้งและน้ำตาลซึ่งส่วนใหญ่ได้จากเมล็ดธัญพืชเช่น ข้าวโพด ถั่วต่าง ๆ ส่วนประกอบอื่นที่อาจได้รับจากวัตถุดิบเหล่านี้คือ cellulose, hemicellulose, pentosan และ oligosaccharide เช่น stachyose และ raffinose ซึ่งย่อยได้ไม่มากนักในสัตว์ปีก และบางครั้งส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตอาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยของสัตว์ปีก เช่น pentosan ในข้าว rye และ glucan ในข้าว barley จะเกิดความเหนียวเมื่อเข้าสู่ระบบการย่อย ทำให้สัตว์ปีกไม่สามารถดูดซึมอาหารได้ดีนัก (Wagner and Thomas, 1978 ; Antoniou and Marquardt, 1981; Classen *et al.*, 1985; Bedford, *et al.*, 1991 อ้างโดย NRC, 1994) แต่ถ้าได้รับวัตถุดิบดังกล่าวโดยมีเอนไซม์ช่วยย่อยผสมอยู่ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานดีขึ้น (Leong *et al.*, 1962; Edrey *et al.*, 1989; Fries *et al.*, 1992 อ้างโดย NRC, 1994)

### 3.3.3 โปรตีนและกรดแอมิโน

โปรตีนเป็นแหล่งอาหารที่มีความจำเป็นที่สัตว์ต้องได้รับเพื่อใช้ส่วนประกอบที่เป็นกรดแอมิโนไปทำหน้าที่หลายอย่าง เช่น เป็นโครงสร้างของร่างกาย ได้แก่ เนื้อ หนัง ขน กระดูก และยังใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม เช่น เป็นเอนไซม์ สารสื่อประสาท รวมทั้งเป็นต้นตอของการสังเคราะห์สารอื่น ๆ ร่างกายจะต้องได้รับโปรตีนในปริมาณที่เหมาะสมและมีการย่อยสลายหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา การได้รับกรดแอมิโนไม่เพียงพอทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต รวมทั้งอาจมีการย่อยโปรตีนจากเนื้อเยื่อร่างกายมาใช้ ทำให้ผลผลิตลดต่ำลงได้

ในสัตว์ปีกมีกรดแอมิโนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในร่างกาย 22 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกรดแอมิโนที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ในร่างกายต้องได้รับจากอาหารอย่างเพียงพอ เรียกว่ากรดแอมิโนจำเป็น (essential amino acid) กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่สามารถสร้างขึ้นได้ในร่างกายโดยใช้กรดแอมิโนชนิดอื่นเป็นต้นตอ กลุ่มนี้คือ กรดแอมิโนที่ไม่จำเป็น (non essential amino acid)

ตารางที่ 1 การจำแนกกลุ่มของกรดแอมิโนสำหรับไก่กระทาง

กรดแอมิโนจำเป็น (essential, Indispensable)	กรดแอมิโนที่สังเคราะห์ได้ จาก limited substrates	กรดแอมิโนไม่จำเป็น (nonessential, dispensable)
Arginine	Tyrosine	Alanine
Lysine	Cystine	Aspartic acid
Histidine	Hydroxylysine	Asparagine
Leucine		Glutamic acid
Isoleucine		Glutamine
Valine		Hydroxyproline
Methionine		Glycine
Threonine		Serine
Tryptophan		Proline
Phenylalanine		

ที่มา : Davies (1982)

โปรตีนและกรดแอมิโนมีบทบาทสำคัญในช่วงที่มีการเจริญเติบโตและช่วงที่มีการวางไข่ของสัตว์ปีก แต่ความต้องการกรดแอมิโนจะลดลงเมื่อถึงระยะโตเต็มวัย นอกจากนี้ชนิดและสายพันธุ์ที่ต่างกันของสัตว์ปีกก็มีความต้องการโปรตีนที่ไม่เท่ากันอันสืบเนื่องจากความแตกต่างในอัตราการเจริญเติบโต ขนาดของลำตัวเมื่อโตเต็มวัย อัตราการผลิตไข่

ปริมาณโปรตีนและกรดแอมิโนในอาหารสัตว์ จะเป็นผลรวมจากทุกวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร สัตว์ปีกต้องได้รับเพียงพอทั้งปริมาณและคุณภาพ กล่าวคือจะต้องได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอ และในโปรตีนนั้นต้องมีปริมาณและสัดส่วนของกรดแอมิโนที่เหมาะสม เพราะการขาดโปรตีนทำให้ไม่เพียงพอในการใช้ในเมตาโบลิซึม รวมทั้งถ้ามีสัดส่วนกรดแอมิโนชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป อาจไปหักล้างกับชนิดอื่นในลักษณะ Antagonistic relationship และบางชนิดอาจเป็นพิษ เช่น การได้รับ methionine มากเกินไป จะทำให้สัตว์ปีกกินอาหารได้น้อยลง (Ueda *et al.*, 1981 อ้างโดย NRC, 1994)

### 3.3.4 ไขมันและกรดไขมัน

ในสูตรอาหารไก่กระทางโดยทั่วไปจะต้องเติมไขมันเพื่อให้มีระดับพลังงานเพียงพอที่จะใช้ในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อไขมันเข้าสู่ร่างกายจะมีปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อปลดปล่อยพลังงาน ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม ส่วนโครงสร้างที่เป็น

โมเลกุลไขมันสัตว์ต้องนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ เช่นการสร้างเซลล์ใหม่ต้องเอาไขมันไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์เมมเบรน หรือแม้แต่นำไปใช้สร้างเป็นสารที่ทำหน้าที่เฉพาะ เช่นฮอร์โมนในร่างกาย นอกจากนี้พลังงานเป็นสิ่งสำคัญที่สัตว์ได้รับจากไขมันแล้ว ส่วนประกอบอีกส่วนที่สำคัญมากคือกรดไขมันจำเป็น ซึ่งต้องนำไปทำหน้าที่เฉพาะในร่างกาย ถ้าไม่ได้รับจากอาหารจะส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานในร่างกายอย่างรุนแรง

วัตถุดิบไขมันที่ใช้เป็นอาหารสัตว์มาจาก 2 แหล่งคือไขมันจากสัตว์ อาจได้มาจากเศษไขมันที่แยกออกมาจากเนื้อสัตว์ที่มนุษย์ใช้บริโภค อีกแหล่งที่สำคัญมากและนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ ไขมันจากพืช อาจนำมาใช้คือรูปแบบที่เป็นน้ำมันที่แยกออกจากวัตถุดิบแล้ว เช่น น้ำมันปาล์ม หรือใช้ในรูปวัตถุดิบโดยตรง เช่น น้ำมันจากเมล็ดข้าวโพด แหล่งของไขมันที่แตกต่างกันทำให้มีความแตกต่างในเชิงคุณภาพและการนำมาใช้ประโยชน์ การใช้น้ำมันจากสัตว์เติมในอาหารไก่กระทงในปริมาณน้อยถ้าผสมกับน้ำมันจากพืชจะทำให้ไก่กระทงสามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้ดีขึ้น (Ketel *et al.*, 1986; Ketel and DeGroot, 1987 อ้างโดย NRC, 1994) เพราะการเติมน้ำมันพืช เช่นน้ำมันข้าวโพดลงไปเล็กน้อยทำให้มีส่วนประกอบที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งไก่กระทงสามารถย่อยและดูดซึมได้ดีขึ้น Kramer (1980) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่าในไก่กระทงสามารถใช้ประโยชน์จากไขมันสัตว์ได้เพิ่มขึ้น ถ้าเติมน้ำมันข้าวโพดลงไปเล็กน้อย

สภาวะร่างกายของไก่กระทงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ไขมัน ช่วงอายุของไก่ พบว่าไก่กระทงในช่วงอายุตั้งแต่ 0 วัน ถึง 2 สัปดาห์จะใช้พลังงานจากไขมันได้น้อย แต่ประสิทธิภาพการใช้จะเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 2-6 สัปดาห์ (Renner and Hill, 1960; Sell *et al.*, 1986 อ้างโดย NRC, 1994) กล่าวว่าการใช้พลังงานในไขมันได้ดีขึ้นนั้นเป็นผลมาจากสัตว์มีการปรับระบบการใช้ไขมัน หลังจากได้รับมาช่วงหนึ่ง ในช่วงที่ไก่กระทงมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นเนื้อเยื่อทุกส่วนของร่างกายต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ในช่วงที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วหรือมีการผลิตไข่ ในอาหารที่ได้รับจะต้องเพิ่มปริมาณไขมันเพื่อให้ได้รับพลังงานที่เพียงพอ

สารอาหารไขมันที่ไก่กระทงได้รับจากอาหารจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กส่งไปยังตับ ซึ่งเป็นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งการย่อยสลายและสร้างกรดไขมันชนิดใหม่ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวจากอาหารจะถูกย่อยสลายก่อนชนิดไม่อิ่มตัวเพื่อใช้พลังงาน ในบางสภาวะกรด-

ไขมันอิ่มตัวอาจถูกเปลี่ยนเป็นชนิดไม่อิ่มตัว เช่น stearic acid ถูกเปลี่ยนเป็น oleic acid หรือสร้างกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวขึ้น การเพิ่มความไม่อิ่มตัวในโมเลกุลก็เกิดขึ้นในระดับเช่นกัน สัตว์ปีกมีการสังเคราะห์ไขมันเกิดขึ้นในร่างกาย เช่น กรดไขมันจะถูกสังเคราะห์ในตับ เมื่อมีพัฒนาการทางเพศอัตราการสังเคราะห์จะสูงขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานเฉพาะ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นฮอร์โมน และมีส่วนหนึ่งจะเก็บไว้ในรูปเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย (Morran, 1985 อ้างโดย NRC, 1994) ในไก่ไข่การให้ไขมันเพิ่มขึ้นในอาหารและไขมันที่สังเคราะห์ขึ้นเองในระดับส่งผลให้มีการเพิ่มของไขมันในไข่ Whitehead (1981 อ้างโดย NRC, 1994) กล่าวว่าถ้าไก่กระทงที่อยู่ในช่วงของการวางไข่ได้รับไขมันน้อย ไก่จะต้องเพิ่มการสังเคราะห์ไขมันในร่างกาย เพื่อให้เพียงพอที่ใช้เป็นส่วนประกอบไขมันในไข่หรือการเลี้ยงไก่ไข่ในสภาพอากาศร้อน ทำให้การกินอาหารลดลง การเพิ่มสัดส่วนไขมันมากขึ้นในอาหารทำให้ไก่ได้รับไขมันเพียงพอ จะสามารถป้องกันการลดอัตราไข่ได้ (Valencia *et al.*, 1980 อ้างโดย NRC, 1994)

เนื้อเยื่อที่มีไขมันสะสมในไก่กระทงจะมีกรดไขมันมากหรือน้อยมีผลโดยตรงจากคุณภาพและปริมาณไขมันที่ได้รับจากอาหาร Edward *et al.*, (1973) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันในเนื้อเยื่อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไขมันในอาหาร Bartov *et al.*, (1974) และ Salmon (1976) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากความเข้มข้นของไขมันและระยะเวลาที่ได้รับ รวมทั้งระยะของการพัฒนาการ Gventer *et al.*, (1971) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่าไขมันสะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์ปีกมีส่วนประกอบและปริมาณกรดไขมัน ใกล้เคียงกับส่วนประกอบและปริมาณกรดไขมันในอาหาร

### กรดไขมันจำเป็น

กรดไขมันจำเป็นของสัตว์ปีกมี 2 ชนิดคือ Linoleic acid (18:2,  $\omega$ -6) และ Linolenic acid (18:3,  $\omega$ -3) ตำแหน่งพันธะคู่ที่  $\omega$ -6 และ  $\omega$ -3 ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ในสัตว์ปีก เมื่อได้รับเข้าไปกรดไขมันจำเป็นดังกล่าวจะถูกนำไปเป็นสารตั้งต้นในการสร้าง polyunsaturated fatty acid (PUFA) สายยาวโดยผ่านขั้นตอน elongation และ desaturation ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ 20 และ 22 carbon PUFA (Watkin, 1991 อ้างโดย NRC, 1994) ซึ่งนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของ phospholipid ในโครงสร้างของ cell membrane หรือใช้เป็นส่วนประกอบอื่นมากกว่าที่จะนำไปสะสมในรูป triglyceride ในไก่กระทง PUFA ที่

ได้จะใช้เป็นสารต้นตอในการสังเคราะห์สารกลุ่ม eicosanoid ซึ่งเปลี่ยนแปลงต่อเป็นสารเฉพาะอื่น ๆ เช่น prostaglandin, prostacyclin, thromboxane และ leucotrienes การสร้าง eicosanoid มาจากการกระตุ้นของ hormone-like compound สารกลุ่ม eicosanoid ที่สร้างออกมามีความสำคัญมากในการพัฒนาตัวอ่อน การพัฒนาระบบสืบพันธุ์ การสร้าง immune และการพัฒนากระดูกในไก่กระทง (Watkin, 1991 อ้างโดย NRC, 1994)

การสร้าง eicosanoid ถูกควบคุมโดยปริมาณ PUFA ในเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแปลงระดับ  $\omega$ -3 และ  $\omega$ -6 ในอาหารจะส่งผลไปถึงปริมาณ PUFA และต่อไปถึงปริมาณ eicosanoid ที่สร้างได้ (Watkin, 1991 อ้างโดย NRC, 1994) การเพิ่มปริมาณ  $\omega$ -3 ในอาหารจะส่งผลให้มีการสังเคราะห์  $\omega$ -3 PUFA มากขึ้นและทำให้สังเคราะห์  $\omega$ -6 PUFA ในระบบ immune ลดลง (Kinsella *et al.*, 1990 อ้างโดย NRC, 1994) ซึ่งสภาวะดังกล่าวส่งผลให้เกิด inflammation และ blood clotting ที่ผิดปกติในสัตว์และมนุษย์ ดังนั้นการรักษาสมดุลของ  $\omega$ -3 และ  $\omega$ -6 ในอาหารจึงมีความจำเป็นในการรักษาความปกติของระบบ immune

Linoleic acid (18:2,  $\omega$ -6) โดยปกติจะมีเพียงพอในอาหารสัตว์ จะพบการขาดในอาหารได้น้อยมาก ซึ่งถ้าขาดจะมีผลทำให้เกิดอาการเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ไม่แข็งแรงทำให้เสียน้ำและติดเชื้อทางผิวหนังได้ง่ายในไก่กระทง (Balnav, 1970 อ้างโดย NRC, 1994) และทำให้การสร้างสเปิร์มผิดปกติ ในไก่พ่อพันธุ์ ส่วนในไก่แม่พันธุ์ทำให้ปริมาณไข่ลดและการพัฒนาตัวอ่อนมีปัญหา ไก่โตเต็มวัยต้องการ Linoleic acid ในอาหารเพียง 1% แต่ในไก่ไข่ช่วงออกไข่จะต้องการมากขึ้นเล็กน้อย

Linolenic acid (18:3,  $\omega$ -3) มีความจำเป็นต้องใช้ในการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ retina และระบบประสาท ในเยื่อหุ้มเซลล์ จะพบ  $\omega$ -3 PUFA ซึ่งสร้างมาจาก Linolenic acid (18:3,  $\omega$ -3) อยู่ในปริมาณมาก (Neuringer and Conner, 1986 อ้างโดย NRC, 1994)

### 3.3.5 แร่ธาตุ

แร่ธาตุเป็นส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ที่จำเป็นในอาหารสัตว์ แร่ธาตุแยกออกเป็นสองกลุ่มคือ macromineral ซึ่งจำเป็นต้องได้รับจากอาหารในปริมาณมากได้แก่ calcium (Ca), phosphorus (P), magnesium (Mg), sodium (Na), sulphur (S), potassium (K) และ chlorine (Cl) ส่วน micromineral หรือ trace element ซึ่งจำเป็นต้อง

ได้รับจากอาหารในปริมาณน้อยได้แก่ iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), cobalt (Co), iodine (I), selenium (Se) และ molybdenum (Mo) (Davies, 1982)

Ca และ P มีความจำเป็นในการสร้างกระดูกในไก่ที่กำลังออกไข่จะใช้ Ca สร้างเปลือกไข่ และยังใช้เป็นปัจจัยในการแข็งตัวของเลือดรวมทั้งเป็นสารสื่อประสาทลำดับที่ 2 (secondary messenger) ในการทำงานระหว่างเซลล์ การได้รับ Ca ในอาหารมากเกินไปจะไปส่งผลกระทบต่อการใช้ธาตุอื่น ๆ จากอาหาร เช่น P, Mg และ Zn โดยสัดส่วนที่เหมาะสมในอาหารคือ Ca 2 ส่วนต่อ nonphytate phosphorus 1 ส่วน ยกเว้นในกรณีที่ไก่กำลังวางไข่ จะต้องได้รับ Ca เพิ่มขึ้นในอัตรา Ca 12 ส่วนต่อ nonphytate phosphorus 1 ส่วน (w/w) จึงจะเพียงพอ แต่ในอาหารไก่กระถางที่มี Ca ในปริมาณสูงเกินไปจากการเติม limestone หรือ calcium phosphate จะทำให้มวลอาหารไม่รวมกันเป็นก้อน และทำให้กระทบต่อสัดส่วนส่วนประกอบอื่นในอาหาร Stillmak and Sunde (1971) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่าถ้าแหล่ง Ca มี Mg ปะปนอยู่มากเกินไป เช่น ใน dolomite limestone จะเป็นแหล่งที่ไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ปีก

P มีหน้าที่หลักในการสร้างกระดูก เป็นส่วนประกอบในการสร้างสารพลังงานสูงคือ ATP และเป็นส่วนประกอบใน phospholipid ของเยื่อหุ้มเซลล์ ไก่กระถางสามารถย่อย P จากพืชได้ในปริมาณ 30-40% แต่ในรูป nonphytate phosphorus จะย่อยได้น้อยเพียง 10% (Nelson, 1976 อ้างโดย NRC, 1994) ส่วน P จากสัตว์จะเป็นแหล่งที่ไก่กระถางย่อยและดูดซึมได้สูง

Na และ Cl เป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นในอาหารสัตว์ปีก มีหน้าที่หลักในการรักษาสมดุลน้ำในร่างกาย ควบคุมการเจริญเติบโตและการผลิตไข่ให้เป็นปกติ การมี Na และ Cl มากเกินไปจะทำให้สัตว์ต้องการน้ำในปริมาณมาก จะมีผลไปกระทบการหมุนเวียนสารในร่างกาย และเกิด wet dropping

Sauveur and Mongin (1978) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่าสัดส่วนของ Na, P และ Cl และอิออนอื่นเช่น Ca,  $SO_4$  และ  $PO_4$  ที่สัตว์ได้รับมีหน้าที่ควบคุมระดับกรด-เบสในร่างกาย โดยเฉพาะปริมาณ Na หรือ K ต่อปริมาณ  $Cl^-$  ทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการรักษาสมดุลย์อิเล็กโตรไลต์ในร่างกาย ถึงแม้จะต้องการเพียงปริมาณน้อย

จากการศึกษาที่ผ่านมารูปได้ว่า Na และ K ทำหน้าที่เป็น alkalogenic element ในขณะที่  $Cl^-$  ทำหน้าที่เป็น acidogenic element เพราะฉะนั้นถ้ามี  $Cl^-$  มากใน

ร่างกายจะทำให้พีเอชของเลือดลดต่ำ และลดระดับ bicarbonate ในร่างกายในขณะที่ Na และ K จะเป็นตัวเข้าไปเพิ่มพีเอชของเลือดและมีผลเพิ่มความเข้มข้น bicarbonate การมี Na, K และ Cl<sup>-</sup> ที่เหมาะสมในอาหารทำให้มีผลดีต่อการเจริญเติบโต การพัฒนากระดูก การสร้างเปลือกไข่ และการใช้กรดแอมิโนเพื่อสร้างโปรตีน (Mongin, 1981 อ้างโดย NRC, 1994)

trace element ที่จำเป็นในร่างกายได้แก่ Cu, I, Fe, Mn, Se และ Zn และ Co ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย ในอาหารโดยทั่วไป Co และ Fe จะมีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอโดยไม่ต้องเสริม trace element ในร่างกายจะเป็นส่วนหนึ่งของ organic molecule เช่น Fe เป็นส่วนประกอบของ hemoglobin และ cytochrome I เป็นส่วนหนึ่งของ thyroxine Co เป็นส่วนประกอบของวิตามิน B12 Cu, Mn, Se และ Zn เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และ Zn เป็นส่วนประกอบของ DNA ส่วนที่เป็น zinc fingers ด้วย ถ้าแร่ธาตุตัวใดตัวหนึ่งขาดไป การทำงานของ organic molecule ที่มีแร่ธาตุนั้นเป็นส่วนประกอบจะลดลงหรือไม่สามารถทำงานได้ (Mertz, 1986 อ้างโดย NRC, 1994)

ในอาหารสัตว์ปีกโดยทั่วไปมี trace element อยู่เพียงพอโดยเริ่มต้นจากการมี trace element อยู่ในดินพืชจะดูดซึมและสร้างเป็นส่วนประกอบในพืชเมื่อนำพืชมาเป็นอาหารสัตว์ทำให้ได้รับ trace element นั้น ถ้าพื้นที่ใดขาด trace element ในดินจะส่งผลให้ระดับ trace element ในพืชลดลงหรือไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเสริม trace element จากแหล่งอื่น นอกจากความไม่เพียงพอในเชิงปริมาณแล้วอีกเงื่อนไขที่ต้องระมัดระวังคือ interaction ระหว่าง trace element แต่ละชนิด เช่น Cu กับ Mo, Se กับ Hg, Ca กับ Mn Mertz (1986) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่าถ้าการมี trace element ตัวใดตัวหนึ่งมากเกินไปจะมีผลทำให้ไม่สามารถนำ trace element ตัวอื่นมาใช้ได้ ทำให้เกิดการขาดทั้ง ๆ ที่มี trace element นั้นอยู่ในอาหาร การเตรียมสูตรอาหารสำหรับสัตว์ปีกจึงต้องระวังเรื่องระดับที่เหมาะสม และ interaction ของ trace element ด้วย (Allaway, 1986 อ้างโดย NRC, 1994) mineral salt ที่ใช้ผสมอาหารโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของสารที่ผสมอยู่หลายชนิด เช่น Ca, P, Na, K, Mg, Cl, S, Fe, Cu, Mn และ Zn

### 3.3.6 วิตามิน

วิตามินแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ วิตามินที่ละลายในไขมัน (fat soluble vitamin) ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอีและวิตามินเค ส่วนวิตามินที่ละลายในน้ำ (water soluble vitamin) ได้แก่ วิตามินบี (B complex) และ วิตามินซี โดยวิตามินซี ไก่กระทุงสามารถ

สังเคราะห์ได้เพียงพอในสภาวะปกติ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องได้รับจากอาหาร แต่ในกรณี  
ที่ไก่อะหงอยู่ในสภาวะที่เครียดสูงจะต้องเติมวิตามินซี ลงในอาหารหรือน้ำ เพราะในสภาวะ  
เครียดมีความจำเป็นต้องใช้วิตามินซีสูงกว่าปกติ จึงสังเคราะห์ใช้ในตัวได้ไม่เพียงพอ  
(Pardue *et al.*, 1985 อ้างโดย NRC, 1994)

วิตามินดี ที่ไก่อะหงได้รับจากอาหารและใช้งานได้ต้องอยู่ในรูป วิตามิน D<sub>3</sub>  
ซึ่งพบในน้ำมันตับปลา และสังเคราะห์ได้ในร่างกายไก่อะหงเองอีกส่วนหนึ่ง วิตามิน D<sub>2</sub> ซึ่งมี  
ในพืชจะสามารถใช้ได้ในหนูและคน แต่ใช้งานได้น้อยในไก่อะหง แต่ความต้องการวิตามินดี  
ดังที่กล่าวมานี้ต้องอยู่ในสภาวะที่ได้รับ Ca และ P อย่างเหมาะสมและเพียงพอ

ความต้องการวิตามินอี ในอาหารไก่อะหงจะแปรผันได้มากขึ้นอยู่กับความ  
เข้มข้นและชนิดของไขมันในอาหาร ความเข้มข้นของ Se หรือ การมี prooxidants ในอาหาร  
นั้น

ในอาหารสัตว์โดยทั่วไปจะมีวิตามินที่มากเกินไปเกินพอเมื่อเทียบกับ minimum  
requirement แต่ไม่สูงมากจนเกิดโทษกับสัตว์ เช่น วิตามินเอ ไก่อะหงสามารถรับได้มากถึง  
10-30 เท่าของ minimum requirement วิตามิน D<sub>3</sub> รับได้ 4-10 เท่าของ minimum  
requirement โดยไม่เกิดผลกระทบกับร่างกาย ส่วน niacin, riboflavin และ pantothenic  
acid สามารถรับได้ 10-100 เท่าของ minimum requirement ในขณะที่วิตามินซี สามารถรับ  
ได้ถึง 1000 เท่า และ pyridoxine ร่างกายสัตว์สามารถรับเกิน minimum requirement ได้ถึง  
50 เท่า (Aboaysha and Kratzer, 1979 อ้างโดย NRC, 1994)

### 3.3.7 น้ำ

น้ำจัดเป็นสารอาหารที่จำเป็น ถึงแม้ว่าจะไม่ทราบถึงความต้องการที่แน่นอน  
ปริมาณที่สัตว์ต้องการขึ้นกับอุณหภูมิของร่างกายและสิ่งแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ สัดส่วน  
ของส่วนประกอบในอาหาร อายุของสัตว์ อัตราการเติบโต อัตราการผลิไข่ และประสิทธิภาพ  
ของการดูดน้ำกลับที่ไตของสัตว์แต่ละตัว (Medwey and Kane, 1959 อ้างโดย NRC, 1994)  
เป็นที่คาดกันว่าสัตว์จะต้องได้รับน้ำมากกว่าอาหารประมาณ 2 เท่าโดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบในอาหารมีผลต่อความต้องการน้ำของไก่ Marks and Pesti  
(1984) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่าถ้าไก่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนเพิ่มขึ้นความต้องการน้ำก็  
จะเพิ่มขึ้นด้วย การบดหรือการอัดเม็ดอาหารทำให้สัตว์สามารถกินได้ปริมาณมากขึ้น และ



ต้องกินน้ำเพิ่มขึ้นด้วย โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำกับอาหารไม่เปลี่ยนแปลง Marks (1987) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่า การเพิ่มเกลือในอาหารทำให้ไก่ต้องการน้ำเพิ่มขึ้น

การขาดน้ำเพียง 12 ชั่วโมง ในไก่กระทงที่ยังไม่โตเต็มวัย จะมีผลกระทบทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และมีผลทำให้ไข่อุดในไก่ไข่ที่กำลังให้ผลผลิตไข่ ในไก่เล็กและไก่โตเต็มวัย ถ้าขาดน้ำถึง 36 ชั่วโมง จะทำให้อัตราการตายเพิ่มขึ้น (Adam, 1973 อ้างโดย NRC, 1994)

Maraden *et al.* (1965) อ้างโดย NRC (1994) กล่าวว่า การให้ไก่กินน้ำอย่างเต็มที่หลังจากอดน้ำมา 36-40 ชั่วโมง ทำให้เกิด drunken syndrome หรือ water intoxication ทำให้ไก่ตายซึ่งพบได้บ่อยในไก่วง

ปริมาณเกลือและระดับพีเอชของน้ำจะมีผลต่อประสิทธิภาพการให้ยาและวิตามินทางน้ำแก่สัตว์ปีก โดยเฉพาะไก่วงสามารถแยกแยะความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของคุณภาพน้ำได้ ซึ่งถ้าคุณภาพน้ำที่ผสมยาเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ไก่วงจะไม่กินน้ำ เพราะฉะนั้นการให้ยาหรือวิตามินจึงไม่สัมฤทธิ์ผล การให้น้ำเป็นช่วง ๆ ที่เหมาะสมจะมีผลไปลดปริมาณน้ำในไข่และเป็นการควบคุมอัตราการกินอาหารของสัตว์ปีก โดยไม่มีผลไปลดอัตราการออกไข่ (Maxwell and Lyle, 1957 อ้างโดย NRC, 1994) ในสภาวะที่ไม่ได้รับน้ำตามปกติสัตว์ปีกสามารถรักษาปริมาณน้ำในร่างกายได้โดยไปเพิ่มหรือลดการดูดน้ำกลับที่ไต แต่ไก่บางตัวในฝูงที่ปรับตัวกับสภาวะดังกล่าวไม่ทันอาจเกิดสภาพ dehydration น้ำที่ไก่ได้รับโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบอื่น ๆ ปะปนอยู่ เช่น sulfate ion, nitrate ion และ trace element ซึ่งถูกดูดซึมที่ลำไส้ อาจจะทำให้เกิดประโยชน์หรือโทษแก่ไก่ได้ ขึ้นอยู่กับว่าสารนั้นเป็นสารชนิดใดและมีอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใด

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบการรวมตัวของโคโคซานกับอนุภาคต่าง ๆ ที่มีใน activated sludge จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา (light microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscope)
2. วิเคราะห์สารอาหารของตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณตั้งแต่ระดับ proximate analysis จนถึง micro analysis เปรียบเทียบกับสารอาหารของวัตถุดิบอาหารไก่กระทุง คือปลาป่น และกากถั่วเหลือง
3. เพื่อทดสอบศักยภาพในการนำตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารไก่กระทุง โดยศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ (digestibility) และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปผสมในอาหารไก่กระทุง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต