

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นทุนในการเลี้ยงโคนมมากกว่า 70% เป็นต้นทุนทางด้านการจัดการด้านอาหาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาด้านอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงสุดและต้นทุนให้ต่ำที่สุด แนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนในการผลิต คือ การนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่มีราคาถูกมาเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ ปัจจุบันได้มีการนำเอาผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตรเข้ามาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น กากมันสำปะหลัง กากเมล็ดทานตะวัน และเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นต้น

#### 2.1 เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง (Soybean hulls)

เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งได้มีการแยกเอาส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองออกจากเมล็ดถั่วเหลือง ในแต่ละปีจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก และในการผลิตถั่วเหลือง 100 กิโลกรัม จะเหลือเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 8 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 8% ของปริมาณการผลิต (สุกัญญา, 2546)

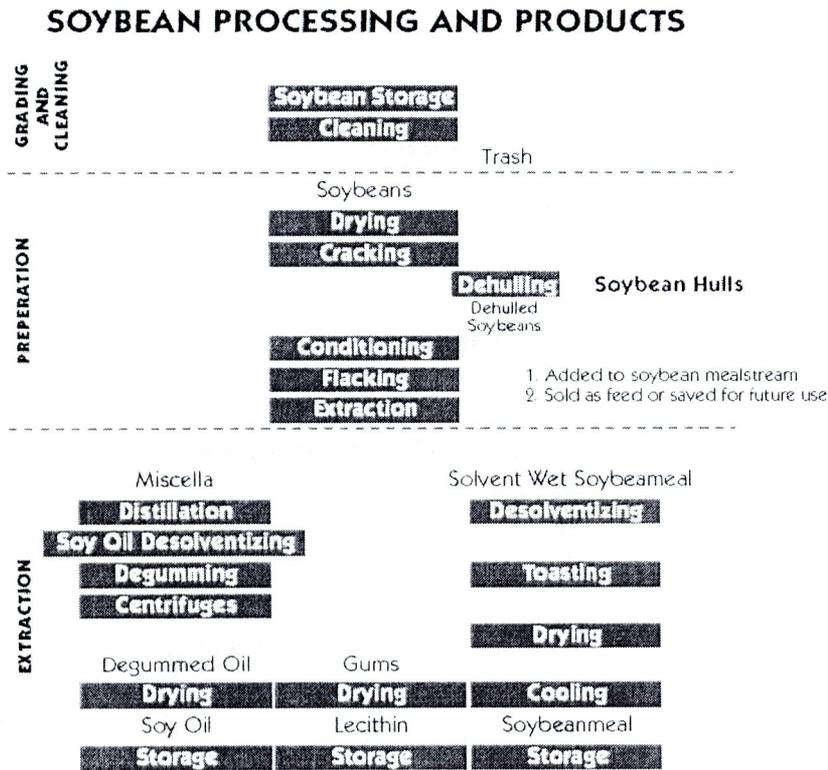
ซึ่งกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลืองในต่างประเทศ ได้มีการแยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองออกจากกากถั่วเหลือง เพื่อให้โปรตีนในกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 49.9% เป็น 56.7 % (Gohl, 1981 อ้างโดย สุกัญญา, 2546) ส่งผลให้ราคาของกากถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีโปรตีนสูงขึ้น อีกทั้งสัตว์กระเพาะเคี้ยวสามารถใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสัตว์กระเพาะเคี้ยวไม่สามารถย่อยของค้ประกอบของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่มีส่วนของเยื่อใยสูง (สุกัญญา, 2546)

ซึ่งเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้ นั้น มาจาก 2 ทาง คือ

1. อุตสาหกรรมการทำอาหาร เช่น น้านมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ๊ว เทมเป้ (Tempeh) เมล็ดถั่วเหลืองป่น (Kinako) และอื่น ๆ เป็นต้น

2. โรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งจากรายงานการทดลองของ สุกัญญา (2546) รายงานว่าในการสกัดน้ำมันถั่วเหลือง 100 กิโลกรัม จะเหลือเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 8 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 8% ของปริมาณการผลิต ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลืองจำนวน 11 ราย มีกำลังการผลิตเมล็ดถั่วเหลืองรวมปีละ 2.972 ล้านตัน (สกัดน้ำมันถั่วเหลือง 2.373 ล้านตันและผลิตถั่วเหลืองหนึ่ง

0.599 ล้านตัน) ดังนั้นจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองจากกระบวนการผลิตปริมาณ 237,760,000 กิโลกรัม/ปี ซึ่งถือว่าปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหาร โคมนมได้



ภาพที่ 2.1 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์  
ที่มา: Dale et al. (2000)

## 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง (Chemical composition Soybean hulls)

เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลือง องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองโดยส่วนใหญ่ พบว่ามีโภชนาโดยประมาณ คือ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยหยาบ ไขมัน NDF ADF และเถ้า มีค่าเท่ากับ 90.58, 12.06, 3.77, 62.49, 46.02, 5.05 และ 74.05% ตามลำดับ (Arosemena et al., 1995; DePeters et al., 1997; Zervas et al., 1998; DeFrain et al., 2002) ดังตารางที่ 2.1 และตารางเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและ ข้าวโพด ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง

Composition	Source			
	Arosemena et al. (1995)	DePeters et al. (1997)	Zervas et al. (1998)	DeFrain et al. (2002)
Dry matter (DM)	89.83	NA	90.90	91.0
Crude protein (CP)	14.60	10.62	12.20	13.5
Ether extract (EE)	5.75	3.79	3.90	2.9
Neutral detergent fiber (NDF)	56.51	57.13	66.10	58.7
Acid detergent fiber (ADF)	43.39	49.11	47.30	43.30
Ash	5.52	5.05	4.50	5.4
TDN	NA	71.10	NA	NA

หมายเหตุ : NA = not available (ไม่มีข้อมูล)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบโภชนาระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพด

Composition	Soybean hulls	Corn
Dry matter (DM)	91	88
Crude protein (CP)	12.1	10
Crude fiber (CF)	2.1	4.3
Ether extract (EE)	40.1	2.6
Neutral detergent fiber (NDF)	6.7	9
Acid detergent fiber (ADF)	50	9
Ash	5.1	1.6
TDN	77	85

ที่มา: NRC (1984)

### 2.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นอาหารโคนม

เปลือกหุ้มถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองและกากถั่วเหลือง ซึ่งมีส่วนของเยื่อใยสูงและเป็นแหล่งที่มีค่าของพลังงานการย่อยได้สูง

### 2.3.1 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดในอาหารโคนมต่อการกินได้

Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 2 ระดับ คือ 0 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ในโครีดนมพันธุ์เจอร์ซี่ ที่ได้รับ alfalfa hay และ corn silage เป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 16 ตัว พบว่าปริมาณการกินได้รวมมีค่าเท่ากับ 19.8 และ 19.3 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ipharraguerre et al. (2002a) ที่ได้ศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ในสูตรอาหารโครีดนมพันธุ์โฮลส์ไตน์ฟรีเซียน พบว่าปริมาณการกินได้รวมมีค่าเท่ากับ 23.8, 24.8, 24.4, 22.9 และ 22.7 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในกลุ่มที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 5 ระดับ มีปริมาณการกินได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่ปริมาณการกินได้ของโคมีแนวโน้มลดลง ตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

จากศึกษาของ Pantoja et al. (1994) ได้รายงานการศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในโคเจาะกระเพาะที่ระดับ 0 และ 20% ในสูตรอาหาร พบว่าปริมาณการกินได้รวมมีค่าเท่ากับ 19.3 และ 17.8 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) สอดคล้องกับรายงานของ Mansfield and Stern (1994) ที่ใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในโคเจาะกระเพาะ ที่ 0 และ 30% พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

### 2.3.2 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 2 ระดับ คือ 0 และ 18% ในสูตรอาหาร ในโครีดนมพันธุ์เจอร์ซี่ ที่ได้รับ alfalfa hay และ corn silage เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมัน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม ของโคที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ipharraguerre et al. (2002a) เกี่ยวกับการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ในสูตรอาหาร โดยให้ alfalfa silage และ corn silage เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมัน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม ของโคที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 4 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม มีแนวโน้มสูงขึ้น

จากศึกษาของ Pantoja et al. (1994) ได้รายงานการศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในโคเจาะกระเพาะที่ระดับ 0 และ 20% ต่อปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม พบว่าปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์

โปรตีนในน้ำนม ของโคที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) สอดคล้องกับรายงานของ Mansfield and Stern (1994) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

### 2.3.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

#### 2.3.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 2 ระดับ คือ 0 และ 18% ในสูตรอาหาร ต่อกระบวนการหมักโดยพบว่า pH มีค่าเท่ากับ 6.08 และ 6.01 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารทั้ง 2 ระดับ สอดคล้องกับรายงานของ Pantoja et al. (1994) และ Mansfield and Stern (1994) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

และจากการศึกษาของ Ipharraguerre et al. (2002b) ที่ได้ศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ในสูตรอาหาร ในโครีดนมพันธุ์โฮลส์ไคน์ฟรีเซียน พบว่า pH มีค่าเท่ากับ 6.11, 6.00, 6.09, 5.96 และ 6.09 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในกลุ่มที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 5 ระดับ pH ในกระเพาะหมักไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่ค่า pH ในกระเพาะหมักมีแนวโน้มลดลง ตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2.4

#### 2.3.3.2 แอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

แอมโมเนียถือได้ว่าเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในการนำไปใช้เพื่อสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จากการศึกษาของ Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด ต่อความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3\text{-N}$  ในกระเพาะหมักพบว่าค่าความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3\text{-N}$  ในกระเพาะหมัก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารทั้ง 2 ระดับ คือ 0 และ 18% สอดคล้องกับรายงานของ Ipharraguerre et al. (2002b) แต่พบว่าเมื่อระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3\text{-N}$  ในกระเพาะหมักสูงขึ้น แต่การศึกษาของ Mansfield and Stern (1994) พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารมีผลต่อค่าความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3\text{-N}$  ในกระเพาะหมักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) วัดค่าได้ 20.3 และ 17.2 mg/dl ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

### 2.3.3.3 กรดไขมันระเหยได้

ผลของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองแทนข้าวโพดในอาหาร โคนม ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 จากรายงาน Pantoja et al. (1994) ได้ทำการศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้รวม กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก แต่พบว่ากรดอะซิติก และอัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก มีแนวโน้มสูงขึ้น และค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก มีแนวโน้มลดลงตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร เช่นเดียวกับรายงานของ Ipharraguerre et al. (2002b) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

Mansfield and Stern (1994) รายงานว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองไม่ส่งผลต่อกรดโพรพิโอนิก แต่ส่งผลทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยได้รวม กรดอะซิติก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และส่งผลทำให้ให้กรดบิวทีริกในกระเพาะหมักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) สอดคล้องกับการทดลองของ Elliott et al. (1995) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดในอาหารโคนม ต่อการกินได้ ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม

		DMI	Milk	3.5%FCM	Fat	Protein
		(Kg/d)	(Kg/d)	(%)	(%)	(%)
Pantoja et al. (1994)	Ct: 16% AS, 24% CS, 34% GC	19.3	29.5	23.6	2.65	2.97
	T: 16% AS, 24% CS, 16% GC, 20% SH	17.8	27.3	24.1	3.21	2.82
Mansfield and Stem (1994)	Ct: 14% AH, 6% GH, 32% CS, 28% GC	20.2	28.7	27.9	3.33	2.96
	T: 14% AH, 6% GH, 32% CS, 30% SH	20.7	27.7	26.9	3.33	2.90
Elliott et al. (1995)	Ct: 22% AS, 22% CS, 36% GC	19.8	23.8	25.9	4.61	3.93
	T: 22% AS, 22% CS, 18% GC, 18% SH	19.3	22.8	25.4	4.83	3.90
Ipharraguerre et al. (2002a)	Ct: 23% AS, 23% CS, 40% GC	23.8	29.5	29.0	3.60	3.36
	T1: 23% AS, 23% CS, 30% GC, 10% SH	24.8 <sup>1</sup>	29.3	29.0	3.61 <sup>L</sup>	3.28
	T2: 23% AS, 23% CS, 21% GC, 20% SH	24.4 <sup>1</sup>	29.9	30.1	3.67 <sup>L</sup>	3.33
	T3: 23% AS, 23% CS, 11% GC, 30% SH	22.9 <sup>1</sup>	29.3	30.6	3.93 <sup>L</sup>	3.30
	T4: 23% AS, 23% CS, 1% GC, 40% SH	22.7 <sup>1</sup>	28.3	29.7	3.91 <sup>L</sup>	3.31

หมายเหตุ : AH = alfalfa hay, AS = alfalfa silage, CS = corn silage, Ct = Control, GC = ground com, GH = grass hay, HMC= high-moisture com, SH

= soy hulls, T = treatment.

<sup>L</sup> Significant linear effect (P<0.05), <sup>1</sup> Significant linear effect (P< 0.01)

ตารางที่ 2.4 การใช้เปลือกเมล็ดถั่วเหลืองแทนข้าวโพดในอาหารโคนม ต่อนิวตริเจนในกระเพาะหมัก

	pH	NH <sub>3</sub> N (mg/dl)	TVFA <sub>s</sub> (mM/L)	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Ac:Pr
Pantoja et al. (1994)	6.05	NR	103	57.0 <sup>L</sup>	24.6 <sup>L</sup>	13.6	2.34 <sup>L</sup>
	5.96	NR	106	61.4 <sup>L</sup>	21.9 <sup>L</sup>	12.8	2.82 <sup>L</sup>
Mansfield and Stern (1994)	6.47	20.3 <sup>a</sup>	93 <sup>a</sup>	61.6 <sup>a</sup>	21.6	12.6 <sup>a</sup>	2.86 <sup>a</sup>
	6.36	17.2 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	64.9 <sup>b</sup>	20.9	11.0 <sup>b</sup>	3.11 <sup>b</sup>
Elliott et al. (1995)	6.08	14.5	97 <sup>a</sup>	61.6 <sup>A</sup>	23.1 <sup>a</sup>	11.7 <sup>a</sup>	2.74 <sup>a</sup>
	6.01	15.0	102 <sup>b</sup>	64.9 <sup>B</sup>	21.6 <sup>b</sup>	11.4 <sup>b</sup>	3.02 <sup>b</sup>
Ipharraguerre et al. (2002b)	6.11	12.6	123	63.7	20.4	11.3	3.2 <sup>L</sup>
	6.00	15.8 <sup>L</sup>	125 <sup>L</sup>	65 <sup>L</sup>	19.6 <sup>1</sup>	11.1 <sup>L</sup>	3.38 <sup>L</sup>
	6.09	15.7 <sup>L</sup>	127 <sup>L</sup>	64.5 <sup>L</sup>	20.2 <sup>1</sup>	10.6 <sup>L</sup>	3.32 <sup>L</sup>
	5.96	16.3 <sup>L</sup>	131 <sup>L</sup>	65.5 <sup>L</sup>	19.6 <sup>1</sup>	10.6 <sup>L</sup>	3.44 <sup>L</sup>
	6.09	17.8 <sup>L</sup>	131 <sup>L</sup>	66.2 <sup>L</sup>	19.3 <sup>1</sup>	10.3 <sup>L</sup>	3.48 <sup>L</sup>

หมายเหตุ : AH = alfalfa hay, AS = alfalfa silage, , CS = corn silage, Ct = Control, GC = ground com, GH = grass hay, HMC= high-moisture com, SH = soybean hulls, T = treatment, NH<sub>3</sub>N = Ammonia nitrogen, C<sub>2</sub> = Acetate, C<sub>3</sub> = Propionate, C<sub>4</sub> = Butyrate, Ac : Pr = Acetate-to-propionate ratio, NR = not <sup>a,b</sup> (P < 0.05), <sup>A,B</sup> (P < 0.01), <sup>L</sup> Significant linear effect (P < 0.05), <sup>1</sup> Significant linear effect (P < 0.01)



## 2.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณโดยใช้การประเมินคุณค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า  $NE_L$  จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลายบางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบจนกระทั่ง Weiss et al. (1992) ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายคุณค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damaged forages โดยหลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่าโภชนาชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนาดังกล่าวประกอบด้วย โปรตีนหยาบ ไขมัน NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (td) ของโภชนาชนิดนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า  $NE_{LL}$  ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) คือ ส่วนประกอบของโภชนาใด ๆ ในอาหารที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมดโดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

$$TDN_{1x} (\%) = tdNFC + tdCP + (tdFA \times 2.25) + tdNDF - 7$$

เมื่อ td = Truly digestible

### 2.4.1 พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น Uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ Maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่าเถ้า, โปรตีนหยาบ,  $NDF_N$  และ ไขมัน จาก 100 ที่ต้องใช้ ค่า  $NDF_N$  แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้โปรตีนหยาบ ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้งมีฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

$$tdNFC = 0.98 (100 - [(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash]) \times PAF \text{ หรือ}$$

$$tdNFC = 0.98 (100 - [(NDFN + CP + EE + Ash]) \times PAF$$

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

$$NDICP = NDIN \times 6.25$$

เมื่อ	NFC	=	Non fiber carbohydrate
	NDF	=	Neutral detergent fiber
	NDIN	=	Neutral detergent insoluble nitrogen
	PAF	=	Processing adjustment factor (ตาราง 2.5)

ตารางที่ 2.5 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC (NRC, 2001)

Feedstuff	PAF
Bakery waste	1.04
Barley grain, rolled	1.04
Bread	1.04
Cereal meal	1.04
Chocolate meal	1.04
Cookie meal	1.04
Corn grain, cracked dry	0.95
Corn grain, ground	1.00
Corn grain, ground high moisture	1.04
Corn and cob meal, ground high moisture	1.04
Corn grain, steam flaked	1.04
Corn silage, normal	0.94
Corn silage, mature	0.87
Molasses	1.04
Oats grain	1.04
Sorghum grain, dry rolled	0.92
Sorghum grain, steam flaked	1.04
Wheat grain, rolled	1.04
All other feeds	1.00

For feeds not shown PAF = 1.0

### 2.4.2. พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น Uniform feed fraction เพราะค่า True digestibility (td) ของ Crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ในพืชมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารชั้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (Unheated concentrate) ค่า tdCP จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck et al., 1984) อาหารที่ถูกความร้อน ค่า tdCP จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (Heat damage) มีความสัมพันธ์กับ Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงคำนวณค่า tdCP ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารชั้นและอาหารหยาบมีไม่เท่ากันจึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

$$\text{TdCPf} = \text{CP} \times \exp^{-1.2 \times (\text{ADICP}/\text{CP})}$$

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

$$\text{TdCPc} = [1 - (0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP}$$

เมื่อ ADICP = Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) x 6.25

### 2.4.3 พลังงานจากไขมัน

ค่า Ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง Triglycerides) Waxes, Pigments และอื่นๆ อีกเล็กน้อย Palmquist (1991) แนะนำว่าในการหาปริมาณไขมันควรวิเคราะห์ Fatty acids (FA) มากกว่าการวิเคราะห์ Ether extract (EE) ทั้งนี้เนื่องจาก FA เป็นค่าที่ Uniform ในขณะที่ EE ไม่ uniform แต่เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หา EE ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงยังคงนิยมวิเคราะห์ค่า EE อยู่ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.0 % ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$\text{FA} = \text{EE} - 1.0 \quad (\text{Allen, 2000})$$

$$\text{TdFA} = \text{FA} \quad \text{แต่ถ้าในกรณีที่ } \text{EE} < 1, \text{ FA จะมีค่าเท่ากับ } 0$$



### 2.4.4 พลังงานจาก NDF

NDF เป็นค่าที่ไม่ Uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (Potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Conrad et al. (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย Lignified surface area ทั้งนี้เพราะ Lignin ย่อยไม่ได้จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า Lignin-free NDF นอกจากนี้ Lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรกำหนดค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF กำหนดได้จากสมการ

$$pdNDF = (NDF - Lignin) [1 - (Lignin/NDF)0.667]$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ Lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF – Sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน By-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มาก ทำให้มีค่า NDF สูงเกินไปดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ Neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วยเพื่อคำนวณหาค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว (NDF<sub>N</sub>) ดังนี้

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ NDICP = NDIN x 6.25

พลังงานจาก NDF กำหนดโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

ฉะนั้น Truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

$$tdNDF = 0.75 (NDF_N - Lignin) [1 - (Lignin/ NDF_N)0.667]$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาหารสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสัตว์ เช่น โปรตีนจากสัตว์ ซึ่งจะไม่มีส่วนของ Structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ Neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ Cellulose, Hemicelluloses หรือ Lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ต้องใช้สมการดังนี้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	14 มิถุนายน 2553
เลขทะเบียน.....	210743
เลขเรียกหนังสือ.....	

$$\text{TDN}_{\text{IX}} = (\text{CPdigest} \times \text{CP}) + (\text{FA} \times 2.25) + 0.98(100 - \text{CP} - \text{Ash} - \text{EE}) - 7$$

เมื่อ CP digest = estimated true digestibility of CP (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า  $\text{TDN}_{\text{IX}}$  สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001)

Feedstuff	True digestibility
Blood meal, batch dried	0.75
Blood meal, ring dried	0.86
Hydrolyzed feather meal	0.78
Hydrolyzed feather meal with viscera	0.81
Fish meal (Menhaden)	0.94
Fish meal (Anchovy)	0.95
Meat and bone meal	0.80
Meat meal	0.92
Whey	1.00

เช่นเดียวกับกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า  $\text{TDN}_{\text{IX}}$  จากการวัดค่า Fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ (2.7)

ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จำพวกไขมัน (NRC, 2001)

Fat	Fat type	True digestibility
Calcium salts of fatty acids	Fatty acids	0.86
Hydrolyzed tallow fatty acids	Fatty acids	0.79
Partially hydrogenated tallow	Fat plus glycerol	0.43
Tallow	Fat plus glycerol	0.68
Vegetable oil	Fat plus glycerol	0.86

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$\text{TDN}_{\text{IX}} (\%) = (\text{EE} \times 0.1) + [\text{FA digest} \times (\text{EE} \times 0.9) \times 2.25]$$

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$\text{TDN}_{\text{IX}} (\%) = (\text{EE} \times \text{FA digest}) \times 2.25$$

## 2.4.5 การประมาณค่า DE

### 1. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton et al. (1957) และ Swift (1957) กำหนดค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตาม โภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ 4.3 Mcal/kg for glycerol (Manynard et al., 1979)

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกัน อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก  $0.4409 \times \text{TDN} (\%)$  ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้นๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่างๆ ใช้ค่า True digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE =  $7 \times 0.044 = 0.3$  Mcal/kg

ดังนั้นสามารถคำนวณ  $\text{DE}_{\text{IX}}$  ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่วไป

$$\begin{aligned} \text{DE}_{\text{IX}} (\text{Mcal/kg}) = & [(td\text{NFC}/100) \times 4.2] + [(td\text{NDF}/100) \times 4.2] + [(td\text{CP}/100) \times 5.6] \\ & + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3 \end{aligned}$$

สำหรับอาหาร โปรีตีนจากสัตว์

$$DE_{1X} \text{ (Mcal/kg)} = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหาร ไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{1X} \text{ (Mcal/kg)} = [9.4 \times (FA_{digest} \times 0.9 \times (EE/100))] + [4.3 \times 0.1 \times (EE/100)]$$

สำหรับอาหาร ไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{1X} \text{ (Mcal/kg)} = [9.4 \times (FA_{digest} \times 0.9 \times (EE/100))]$$

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

## 2. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การย่อยได้ของอาหารของโคนมจะลดลง เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้นๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในโครีดนมที่ให้น้ำนมมากๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ Maintenance การลดลงของ Digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับ Digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance สูงจะมีอัตราการลดลงของ Digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance ตาม NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ Energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75% TDN<sub>1X</sub> จะมีค่า Discount 3% unitmultiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60% TDN<sub>1X</sub> จะมีค่า Discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN<sub>1X</sub> เท่ากับ หรือน้อยกว่า 60% ค่า Discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % Discount

$$\text{TDN percentage unit decline} = 0.18 \text{ TDN}_{1X} - 10.3 \quad (R^2 = 0.85)$$

ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณค่า ME และ NE<sub>L</sub> ใช้ค่า DE ไม่ได้ใช้ค่า TDN ฉะนั้นการคำนวณค่า DE<sub>p</sub> จึงต้องใช้ Discount factor เป็นตัวคูณ

$$\text{Discount} = \frac{[(\text{TDN}_{1X} - [(0.18 \times T \text{TDN}_{1X}) - 10.3]) \times \text{Intake}]}{\text{TDN}_{1X}}$$

หน่วยของ  $\text{TDN}_{1X}$  เป็น % of DM และ Intake หมายถึงจำนวนเท่าของการกินได้ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกินได้ที่ระดับ Maintenance เช่น การกินได้เท่ากับ 3X maintenance, Intake above maintenance = 2

ตัวอย่างเช่น โครีตนมกินอาหารที่มี 74%  $\text{TDN}_{1X}$  ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น Digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่า ของ Digestibility ที่ 1X maintenance

### 3. การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การประมาณค่า ME at production level of intake ( $\text{ME}_p$ ) นั้นคำนวณจากค่า  $\text{DE}_p$  การคำนวณค่า ME จาก DE ใน NRC (1988) ใช้สมการ ME (Mcal/kg) = (1.01 x DE) - 0.45 อย่างไรก็ตาม สมการดังกล่าวประเมินจากอาหารที่มีไขมันประมาณ 3% และเนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้น มีค่าเกือบ 100% (Andrews et al., 1991; Romo et al., 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงเกินไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

$$\text{ME}_p = [1.01 \times (\text{DE}_p) - 0.45] + [0.0046 \times (\text{EE} - 3)]$$

เมื่อ  $\text{DE}_p$  มีหน่วยเป็น Mcal/kg และ EE มีหน่วยเป็น % of DM

$\text{ME}_p$  ของอาหารที่ไขมันมากกว่า 3% จะเพิ่มขึ้น 0.0046 ทุก ๆ % unit increase in EE above 3% ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับหรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

สำหรับ Fat supplements,  $\text{ME}_p(\text{Mcal/kg}) = \text{DE}_p(\text{Mcal/kg})$

### 2.4.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, $\text{NE}_L$ )

#### 1. การประมาณค่า $\text{NE}_L$ ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

NRC (1988) ใช้สมการ  $\text{NE}_L$  (Mcal/kg) = 0.0245 x (%TDN) - 0.12 ในการประมาณค่า  $\text{NE}_L$  สมการนี้ได้วิจารณ์อย่างมากเพราะถ้าอาหารมี TDN 40% (DE = 1.76 Mcal/kg) มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE เป็น  $\text{NE}_{L1X}$  เท่ากับ 0.49 แต่ถ้ามี TDN 90% (DE = 3.97 Mcal/kg) ประสิทธิภาพจะเป็น 0.53 ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวการประมาณค่า  $\text{NE}_{Lp}$  จาก  $\text{ME}_p$  NRC (2001) เลือกใช้สมการที่เสนอโดย Moe and Tyrrell (1972) แทนสมการเดิมที่ได้แนะนำไว้ใน NRC (1988)

$$NE_{Lp} = [0.703 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19 \text{ (Moe and Tyrrell, 1972)}$$

สมการนี้ใช้ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับหรือน้อยกว่า 3% ถ้าอาหารมีไขมันมากกว่า 3% จะต้องทำการปรับค่า metabolic efficiency of fat โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME จากไขมันเป็น  $NE_L$  จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 (Andrews et al., 199; Romo et al., 1996) เช่นเดียวกับการปรับค่า  $ME_p$  ของไขมันที่กล่าวมาแล้ว เพื่อชดเชยการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการเปลี่ยน ME จากไขมันเป็น  $NE_L$  จะได้ค่าเท่ากับ  $[(0.097 \times ME_p) + 0.19]/97$  ในการเพิ่ม  $NE_L$  ต่อ % unit increase in feed EE content above 3% ฉะนั้นสมการที่ใช้ คือ

$$NE_{Lp} = ([0.703 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19) + [(0.097 \times ME_p + 0.19)/97] \times [EE - 3]$$

เมื่อ  $ME_p$  มีหน่วยเป็น Mcal/kg และ EE มีหน่วยเป็น % of DM

สำหรับ fat supplements

$$NE_{Lp} \text{ (Mcal/kg)} = 0.8 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}$$

## 2. การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain

สมการในการประมาณค่า  $NE_M$  และ  $NE_G$  จะใช้สมการที่เสนอโดย Garrett (1980) สำหรับโคเนื้อที่แนะนำไว้ใน NRC (1996)  $NE_M$  และ  $NE_G$  ในอาหารนี้เป็นการประมาณที่ระดับการกินได้ อาหาร 3X maintenance และคำนวณค่า ME เพื่อใช้ในสมการจากการคูณ  $DE_{1x}$  (ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้) ด้วย 0.82 แทนค่า ME ตามสมการข้างล่างก็จะได้ค่า  $NE_M$  และ  $NE_G$

$$NE_M = 1.37 ME - 0.138 ME^2 + 0.0105 ME^3 - 1.12$$

$$NE_G = 1.42 ME - 0.174 ME^2 + 0.0122 ME^3 - 1.65$$

เมื่อ ME,  $NE_M$  และ  $NE_G$  มีหน่วยเป็น Mcal/kg

อย่างไรก็ตามสมการข้างต้นไม่เหมาะสำหรับใช้คำนวณค่า  $NE_M$  และ  $NE_G$  ของ Fat supplements ควรใช้  $ME_p = DE_p$  และใช้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME เป็น  $NE_L$  เท่ากับ 0.80 เพื่อเปลี่ยน ME เป็น  $NE_M$  แต่ในการเปลี่ยน ME เป็น  $NE_G$  ใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเท่ากับ 0.55

## 2.5 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม

### 2.5.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร

การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

### 2.5.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนมโดยนำเสนอใหม่ ในรูปของ Metabolizable protein ( $MP_R$ )

ตั้งสมการ	$MP_R$	=	$MP_M + MP_G + MP_L$
โดย	$MP_R$ (g/d)	=	Metabolizable protein requirement
	$MP_M$ (g/d)	=	Metabolizable protein requirement for maintenance
	$MP_G$ (g/d)	=	Metabolizable protein requirement for growth
	$MP_L$ (g/d)	=	Metabolizable protein requirement for lactation

#### 1. Metabolizable Protein requirements for maintenance ( $MP_M$ )

$$MP_M (g) = MP_U + MP_{SH} + MP_{MFP}$$

$MP_U$  คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

$$MP_U = UPN/0.67$$

$$UPN (g/day) = 2.75 \times (\text{Live weight})^{0.5}$$

$$MP_U = 4.1 \times (\text{Live weight})^{0.5}$$

$MP_{SH}$  คือ ความต้องการ MP สำหรับ Scurf and hair (SPN; skin, skin secretion, hair)

$$\begin{aligned} MP_{SH} &= SPN/0.67 \\ SBW &= 0.96BW \\ SPN &= 0.2 \times (\text{Live weight})^{0.60} \\ MP_{SH} &= 0.3 \times (\text{Live weight})^{0.60} \end{aligned}$$

$MP_{MFP}$  คือ ความต้องการ MP สำหรับ metabolic fecal protein

$$MP_{MFP} = MFP - (\text{bacteria} + \text{bacterial debris in cecum, large intestine} + \text{keratinized cell} + \text{others})$$

$$MFP \text{ (g/day)} = 30 \times \text{Dry Matter Intake (kg.)}$$

$$MP_{MFP} = [(DMI \times 30) - 0.50((\text{Bact MP}/0.8) - \text{Bact MP})] + \text{Endogenous MP}/0.67$$

## 2. Metabolizable Protein requirements for growth ( $MP_G$ )

เมื่อ

$$MP_G = NPG/\text{EffMP\_}NP_G$$

$$NP_G = SWG \times (268 - (29.4 \times (RE/SWG)))$$

$$RE = 0.0635 \times EQEBW^{0.75} \times EQEBG^{1.097}$$

$$EQEBW = 0.891 \times EQSBW$$

$$EQEBG = 0.956 \times SWG$$

$$EQSBW = SBW \times (478/MSBW)$$

$$MSBW = 500 \text{ kg}$$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

$$\text{EffMP\_}NP_G = (83.4 - (0.114 \times EQSBW))/100$$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) มากกว่า 478 kg ใช้

$$\text{EffMP\_}NP_G = 0.28908$$

### 3. Metabolizable Protein requirements for lactation ( $MP_L$ )

$$MP_L \text{ (g/d)} = (Y \text{ Protein}/0.67) \times 1000$$

การคำนวณความต้องการโปรตีนในรูปของ Metabolizable protein ( $MP_R$ ) ไม่สะดวกในการจัดการด้านอาหารจึงได้มีการแสดงในรูปของ Crude protein requirement ( $CP_R$ ) ฉะนั้นจึงต้องคำนวณจาก  $MP_R$  เป็น  $CP_R$

$MP_R$  จะได้จากโปรตีนที่โคนมได้รับซึ่งโปรตีนที่ได้รับนั้นประกอบด้วยโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen undegradable protein, RUP)

$$\text{นั่นคือ } MP_R = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$$

ส่วนของ RDP โดยประมาณว่าจะถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Microbial crude protein, MCP) 85% ของ RDP และ MCP ที่จะเป็นโปรตีนแท้ (Microbial true protein, MTP) 80% ของ MCP และจะสามารถย่อยและดูดซึมได้ (Digestible microbial true protein, DMTP) 80% ของ MTP

$$MCP = 0.85 \text{ RDP (NRC, 2001)}$$

$$MTP = 0.8 \text{ MCP}$$

$$\text{DMTP หรือ } MP_{RDP} = 0.8 \text{ MTP}$$

$$MP_{Bact} = 0.64 \text{ MCP}$$

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

$$\text{โดยที่ } MCP = 0.85 \text{ RDP (NRC, 2001)}$$

$$RDP_R = MCP/0.85$$

$$RDP_R = 0.15294 \times TDN_{Actual}$$

$$\text{จากสมการ } MP_R = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$$

$$\text{หรือ } MP_{Bact} = MP_R - MP_{RUP} - MP_{Endo}$$

$$MP_{Bact} = 0.64 \text{ MCP}$$

$$MP_{Endo} = 0.4 \times 1.9 \times \text{DMI} \times 6.25$$

การคำนวณหาความต้องการ RUP

$$\begin{aligned} MP_{RUP} &= MP_R - (MP_{Bact} + MP_{Endo}) \\ 0.8 \text{ RU} &= \text{total digest RUP} \\ 0.66 \times \text{total digest RUP} &= MP_{RUP} \\ \text{total digest RUP} &= MP_{RUP} / 0.66 \\ RUP_R &= MP_{RUP} / 0.528 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ CP requirement จาก RDP และ RUP จากสมการ

$$CP_R = RDP_R + RUP_R$$

เมื่อ	$NP_G$	= Net protein requirement for growth
	$EffMP\_NP_G$	= Efficiency of use of microbial protein for growth
	SWG	= Shrunken weight gain
	RE	= Retain energy
	EQEBG	= Equivalent empty body weight gain
	EQSBW	= Equivalent shrunken body weight
	EQEBW	= Equivalent empty body weight
	SBW	= Shrunken body weight
	WG	= Weight gain