บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แหล่งข้อมูลในการศึกษา (data source)

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากการรวบรวมบันทึกพันธุ์ประวัติและข้อมูลผลผลิตโคนมในระยะการให้นมครั้งแรก ในโคนมพันธุ์แท้และโคนมลูกผสมที่ระดับเลือดต่างๆ ระหว่างโคพันธุ์ยุโรป (*Bos taurus*) x โคพันธุ์อินเดีย (*Bos indicus*) ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลของฟาร์มโคนมขององค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) ที่เลี้ยงดูในเขตพื้นที่เขตส่งเสริมการเลี้ยงโคนม จ.สระบุรี โดยเก็บข้อมูลจากการจดบันทึกที่ทราบพันธุ์ประวัติและข้อมูลผลผลิตโคนม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534-2545 จำนวน 1,166 ตัว ของเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 96 ราย การเลี้ยงและการจัดการโดยทั่วไปในเขตพื้นที่เขตส่งเสริมการเลี้ยงโคนม แม่โคจะถูกเลี้ยงไว้ในโรงเรือนอย่างอิสระ การให้อาหารหยาบโดยการตัดหญ้ามาให้กินและเสริมด้วยอาหารข้นในช่วงที่มีการรีดนมภายในโรงเรือน ทำการการรีดนมวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) ในโรงรีดนมส่วนใหญ่ด้วยเครื่องรีดนมแบบบัคเก็ตไทป์ (bucket type) ซึ่งข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำนมได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างทดสอบตลอดระยะการให้นม ด้วยเจ้าหน้าที่ของฟาร์มเดือนละครั้งติดต่อกันจนกระทั่งแม่โคหยุดให้นม โดยแต่ละบันทึกในวันทดสอบจะเป็นผลรวมของการชั่งน้ำหนักน้ำนมและสุ่มเก็บตัวอย่างทดสอบในตอนเย็นหนึ่งครั้งและเช้าวันรุ่งขึ้นอีกหนึ่งครั้ง

3.2 โครงสร้างของข้อมูล (data structure)

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา แบ่งเป็น 2 แฟ้มข้อมูล คือ

3.2.1 แฟ้มข้อมูลพันธุ์ประวัติ (pedigree file)

- หมายเลขประจำตัวโคนม (animal I.D.)
- หมายเลขพ่อพันธุ์ของแม่โคนม
- หมายเลขแม่พันธุ์ของแม่โคนม
- วันเดือนปีเกิดของโคนมแต่ละตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 แฟ้มข้อมูลผลผลิต (production file)

- หมายเลขประจำตัวโคนม (animal I.D.)
- พันธุ์/กลุ่มพันธุ์และระดับสายเลือด
- วัน เดือน ปีเกิดของโคนมแต่ละตัว
- วัน เดือน ปีที่โคคลอดลูก ครั้งที่ 1 และ 2
- วัน เดือน ปีที่หยุดรีดนม
- ลำดับที่ฝูงโคนม
- ปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน

3.3 การจัดเตรียมข้อมูล (data editing and manipulation)

3.3.1 การจัดการข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลที่ได้จากทะเบียนประวัติของฟาร์มมีการเก็บบันทึกในรูปของแฟ้มข้อมูล excel จัดทำแฟ้มข้อมูลลักษณะการให้ผลผลิตและแฟ้มข้อมูลพันธุ์ประวัติโดยใช้ Microsoft excel จากนั้นทำการตัดข้อมูลที่ผิดปกติเนื่องจากความผิดพลาดในการจัดเก็บบันทึกข้อมูล และทำการ RENUM โดยใช้โปรแกรม BLUPF90-DairyPAK 2.5 (Duangjinda *et al.*, 2005) เพื่อช่วยในการจัดเรียงหมายเลขประจำตัวสัตว์ การรวมปัจจัยในโมเดล และช่วยจัดเรียงตัวสัตว์ในแฟ้มข้อมูลพันธุ์ประวัติ โดยเฉพาะกลุ่มของสัตว์ที่ไม่ทราบพันธุ์ประวัติ (unknown parent groups) ข้อมูลพันธุ์ประวัติและผลผลิตน้ำนมรายวันที่สุ่มเก็บเดือนละครั้ง จากโคนมพันธุ์แท้และลูกผสมที่ให้นมครั้งแรก จำนวน 1,166 ตัว จากโคพ่อพันธุ์ 205 ตัว และโคแม่พันธุ์ 1,026 ตัว มีพันธุ์ประวัติโคนมจำนวนทั้งสิ้น 1,468 ตัว ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวน และทำนายค่าการผสมพันธุ์ของโคนมทุกตัวในประชากร กลุ่มสภาพแวดล้อมที่โคได้รับร่วมกัน (contemporary group) ซึ่งการพิจารณาความสัมพันธ์เชื่อมโยง (connectedness) ของ contemporary group ในชุดข้อมูลโดยการพิจารณาถึงการปรากฏของพ่อพันธุ์ที่ถูกใช้ประโยชน์ในแต่ละ contemporary group กลุ่มใหญ่ที่สุดเพียงกลุ่มเดียว จะถูกนำมาใช้ในการประมาณประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนและทำนายค่าการผสมพันธุ์ของสัตว์แต่ละตัวต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

1. อายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก (age at first calving, AFC)

คำนวณจากวันเดือนปีที่โคคลอดลูกครั้งที่ 1 ลบด้วยวันเดือนปีเกิดของโคนม โดยอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรกมีค่าอยู่ในช่วง 559 – 1,552 วัน

2. ช่วงห่างของการคลอดลูกตัวแรก (calving interval, CI)

คำนวณจากวันเดือนปีที่โคคลอดลูกตัวที่ 2 ลบด้วยวันเดือนปีที่โคคลอดลูกตัวที่ 1 โดยช่วงห่างของการคลอดลูกตัวแรกมีค่าอยู่ในช่วง 293 – 977 วัน

3. ระยะการให้นม (lactation length, LL)

คำนวณจากวันเดือนปีที่แม่โคหยุดรีดนม ลบด้วยวันเดือนปีที่คลอดลูกตัวที่ 1 โดยระยะการให้นมมีค่าอยู่ในช่วง 205 – 860 วัน

4. ปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน (305-days milk yield, MY)

เป็นปริมาณน้ำนมที่ได้จากแต่ละบันทึกผลผลิตในวันทดสอบ ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำหนักของน้ำนมที่รีดได้ภายใน 24 ชั่วโมง คือ ตอนเย็น 1 ครั้งและตอนเช้าอีก 1 ครั้ง (am-pm) ซึ่งจะคำนวณโดยวิธี Test Interval Method (TIM) (Sargent *et al.*, 1968) และใช้ข้อมูลเฉพาะการให้น้ำนมที่ 305 วันเท่านั้น ถ้าโคนมให้นมไม่ถึง 305 วัน จะใช้ปริมาณผลผลิตน้ำนมที่ให้ได้นั้นเป็นค่าการให้น้ำนมที่ 305 วัน แต่ถ้าโคนมให้นมเกิน 305 วันจะคิดเพียงแค่ 305 วัน นอกจากนี้โคที่ให้นมน้อยกว่า 200 วัน จะไม่นำมาวิเคราะห์ สูตรวิธีการคำนวณปริมาณน้ำนมแสดงดังภาคผนวกที่ 4

โครงสร้างข้อมูลและจำนวนข้อมูลในแต่ละลักษณะที่ศึกษาหลังจากการจัดเตรียมข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 โครงสร้างข้อมูลของลักษณะที่ทำการศึกษา

	ลักษณะ[1/]			
	AFC	CI	LL	MY
สัตว์ในพันธุ์ประวัติ (ตัว)	1,468	1,468	1,468	1,468
สัตว์ในบันทึก (ตัว)	1,166	659	1,166	1,166
กลุ่มการจัดการ ฝูง-ปี-ฤดูการที่เกิด (กลุ่ม)	618	-	-	-
กลุ่มการจัดการ ฝูง-ปี-ฤดูการที่คลอด (กลุ่ม)	-	589	589	589
กลุ่มพันธุ์ (กลุ่ม)	5	5	5	5

[1/] AFC = Age at first calving

CI = Calving interval

LL = Lactation length

MY = 305-days milk yield

ตารางที่ 3.2 จำนวนข้อมูลที่ศึกษาจำแนกตามตามระดับเลือดโคพันธุ์ยุโรป *(Bos taurus)*

ระดับเลือด	จำนวนลักษณะที่ศึกษา[1/](ตัว)			
Bos Taurus	AFC	CI	LL	MY
100%	77	56	77	77
≥87.5% และ <100%	793	443	793	793
≥75% และ <87.5%	257	139	257	257
≥62.5% และ <75%	24	13	24	24
<62.5%	15	8	15	15
รวม	1,166	659	1,166	1,166

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 การจำแนกอิทธิพลของปัจจัยคงที่

1. อิทธิพลของฝูงโคทั้งหมด 96 ฝูง
2. อิทธิพลปีที่แม่โคเกิด อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2531 - 2543
3. อิทธิพลปีที่แม่โคคลอด อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2534 - 2545

4. อิทธิพลของฤดูกาลที่แม่โคเกิดและฤดูกาลที่แม่โคคลอดจำแนกออกเป็น 3 ฤดู
   - ฤดูหนาว (ระหว่างเดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์)
   - ฤดูร้อน (ระหว่างเดือนมีนาคม – มิถุนายน)
   - ฤดูฝน (ระหว่างเดือนกรกฎาคม – ตุลาคม) เช่นเดียวกับ การศึกษาของ เสนาะ กาศเกษม และคณะ (2538) องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (2546) และ Koonawootrittriron และคณะ (2002)

5. อิทธิพลของพันธุ์ จำแนกตามระดับเลือดโคพันธุ์ยุโรป *(Bos taurus)* ปรับจาก Vinther (1974) อ้างโดย เสนาะ กาศเกษม และคณะ (2538) และสายัณห์ บัวบาน (2543) สำหรับการศึกษาครั้งนี้แบ่งกลุ่มพันธุ์ออกเป็น 5 กลุ่ม โดยจะรวมโคนมที่มีระดับเลือดโคยุโรปน้อยกว่า 62.5 เปอร์เซ็นต์ ลงมาไว้เป็นกลุ่มเดียวกัน ซึ่งโคนมที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่มีระดับเลือดสูงกว่า 87.5 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 กลุ่มพันธุ์โคนมจำแนกตามระดับเลือดโคพันธุ์ยุโรป *(Bos taurus)*

กลุ่มพันธุ์	ระดับเลือด *Bos taurus*	จำนวนข้อมูล(ตัว)
1	100%	77
2	≥87.5% และ <100%	793
3	≥75% และ <87.5%	257
4	≥62.5% และ <75%	24
5	<62.5%	15
รวม		1,116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 การตรวจสอบการกระจายของข้อมูลที่ศึกษา

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บบันทึกในภาคสนาม (field data) ซึ่งสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อลักษณะที่ใช้ในการศึกษา อีกทั้งจำนวนข้อมูลในแต่ละชั้นของอิทธิพลต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบความแปรปรวนด้วยวิธี REML มีข้อกำหนดว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีการกระจายเป็นแบบปกติ(normal distribution) ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ จึงต้องทำการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลด้วยชุดคำสั่ง PROC

UNIVARIATE NORMAL PLOT จากโปรแกรมสำเร็จรูป SAS for WINDOWS version 6.02 (SAS, 1998) พบว่า การกระจายข้อมูลของลักษณะอายุเมื่อคลอดตัวแรก ช่วงห่างของการคลอดลูกตัวแรก ระยะการให้นม และปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน มีการกระจายแบบปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 93 90 92 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางพันธุกรรม

3.4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะที่ทำการศึกษา

ข้อมูลที่นำมาศึกษามีปัจจัยทางด้านพันธุกรรม และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อลักษณะที่ทำการศึกษา แบ่งได้เป็นปัจจัยสุ่มและปัจจัยคงที่ โดยจำแนกปัจจัยคงที่ออกได้เป็นอิทธิพลของพันธุ์และกลุ่มพันธุ์ และอิทธิพลของฝูง-ปี-ฤดูกาล ส่วนปัจจัยสุ่มได้แก่ อิทธิพลทางพันธุกรรมโดยตรงเนื่องจากตัวสัตว์ สำหรับอิทธิพลของอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก และจำนวนวันให้นมเป็นปัจจัยสุ่มที่นำมาใช้เป็นตัวปรับ (adjusted covariate) ในบางโมเดล ทำการวิเคราะห์ปัจจัยดังกล่าวพร้อมกันทีละลักษณะ ด้วยชุดคำสั่ง PROC MIXED และ PROC GLM จากโปรแกรมสำเร็จรูป SAS for WINDOWS version 6.02 (SAS, 1998) ซึ่งมีโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะที่ศึกษา ดังนี้

1. โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก

$$y_{ijklm} = \mu + BirthHYS_i + CalvingY_j + BG_k + A_l + e_{ijklm} \quad \text{.....(3.1)}$$

โดยที่

y_{ijklm} = ลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรกที่ได้รับอิทธิพลจากฝูง-ปี-ฤดูกาลเกิดที่ i ปีคลอดที่ j และกลุ่มพันธุ์ที่ k ของสัตว์ตัวที่ l

μ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก

$BirthHYS_i$ = อิทธิพลคงที่ของฝูง-ปี-ฤดูกาลเกิดที่ i (i = 1,2,3,...,618)

$CalvingY_j$ = อิทธิพลคงที่ของปีคลอดที่ j (j = 1,2,3,...,12)

BG_k = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มพันธุ์ที่ k (k = 1,2,3,…,5)

A_l = อิทธิพลสุ่มของสัตว์ตัวที่ l โดยที่ $A_l \sim NID(0,\sigma_a^2)$

e_{ijklm} = อิทธิพลสุ่มอื่นๆที่ค่าสังเกตได้รับ โดยที่ $e_{ijklm} \sim NID(0,\sigma_e^2)$

2. โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะช่วงห่างของการคลอดลูก

$$y_{ijkl} = \mu + CalvingHYS_i + BG_j + b_1(AFC)_{ijkl} + A_k + e_{ijkl} \quad \text{..... (3.2)}$$

โดยที่

y_{ijkl} = ลักษณะช่วงห่างของการคลอดลูก ที่ l ที่ได้รับอิทธิพลจาก ฝูง-ปี-ฤดูกาลคลอดที่ i และกลุ่มพันธุ์ที่ j ของสัตว์ตัวที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะช่วงห่างของการคลอดลูก

$CalvingHYS_i$ = อิทธิพลคงที่ของฝูง-ปี-ฤดูกาลคลอดที่ i (i = 1,2,3,…,589)

BG_j = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มพันธุ์ที่ j (j = 1,2,3,…,5)

$b_1(AFC)_{ijkl}$ = สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้นตรงของอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก

A_k = อิทธิพลสุ่มของสัตว์ตัวที่ k โดยที่ $A_k \sim NID(0,\sigma_a^2)$

e_{ijkl} = อิทธิพลสุ่มอื่น ๆ ที่ค่าสังเกตได้รับ โดยที่ $e_{ijkl} \sim NID(0,\sigma_e^2)$

3. โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะระยะการให้นม

$$y_{ijkl} = \mu + CalvingHYS_i + BG_j + b_1(AFC)_{ijkl} + A_k + e_{ijkl} \quad \text{..... (3.3)}$$

โดยที่

y_{ijkl} = ลักษณะระยะการให้นม ที่ได้รับอิทธิพลจาก ฝูง-ปี-ฤดูกาลคลอด ที่ i และ กลุ่มพันธุ์ที่ j ของสัตว์ตัวที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะระยะการให้นม

$CalvingHYS_i$ = อิทธิพลคงที่ของฝูง-ปี-ฤดูกาลคลอดที่ i (i = 1,2,3,…,589)

BG_j = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มพันธุ์ที่ j (j = 1,2,3,...,5)

$b_1(AFC)_{ijkl}$ = สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้นตรงของอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก

A_k = อิทธิพลสุ่มของสัตว์ตัวที่ k โดยที่ $A_k \sim NID(0, \sigma_a^2)$

e_{ijkl} = อิทธิพลสุ่มอื่น ๆ ที่ค่าสังเกตได้รับ โดยที่ $e_{ijkl} \sim NID(0, \sigma_e^2)$

4. โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน

$$y_{ijkl} = \mu + CalvingHYS_i + BG_j + b_1(AFC)_{ijkl} + b_2(DIM)_{ijkl} + A_k + e_{ijkl} \quad \ldots\ldots (3.4)$$

โดยที่

y_{ijkl} = ลักษณะปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน ที่ได้รับอิทธิพลจาก ฝูง-ปี-ฤดูกาลคลอดที่ i พันธุ์ที่ j ของสัตว์ตัวที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน

$CalvingHYS_i$ = อิทธิพลคงที่ของฝูง-ปี-ฤดูกาลคลอดที่ i (i = 1,2,3,...,589)

BG_j = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มพันธุ์ที่ j (j = 1,2,3,...,5)

$b_1(AFC)_{ijkl}$ = สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้นตรงของอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก

$b_2(DIM)_{ijkl}$ = สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้นตรงของจำนวนวันให้นม

A_k = อิทธิพลสุ่มของสัตว์ตัวที่ k โดยให้ $A_k \sim NID(0, \sigma_a^2)$

e_{ijkl} = อิทธิพลสุ่มอื่น ๆ ที่ค่าสังเกตได้รับ โดยให้ $e_{ijkl} \sim NID(0, \sigma_e^2)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การประมาณค่าพื้นฐานทางพันธุกรรม (Estimation of genetic parameter)

1. ค่าองค์ประกอบความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม (variance and covariance component)

การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของลักษณะที่ทำการศึกษา เพื่อนำไปประมาณค่าอัตราพันธุกรรม และใช้ในการประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบความแปรปรวน ด้วยวิธี Expectation Maximization Restricted Maximum Likelihood (EM-REML) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป BLUPF90-DairyPAK 2.5 (Duangjinda *et al.*, 2005) ด้วยโมเดลตัวสัตว์แบบวิเคราะห์ร่วมกันทั้ง 4 ลักษณะ (multivariate animal method) ดังมีโมเดลในการวิเคราะห์ตามสมการที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4 สำหรับลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก ช่วงห่างของการคลอดลูก ระยะการให้นม และปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน ตามลำดับ

โมเดลตัวสัตว์ตามโมเดลในสมการที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4 สามารถเขียนเป็นโมเดลในรูปทั่วไปหรือเป็นสมการในโมเดลแบบผสม (Mixed Model Equation ; MME) ดังนี้ (Henderson, 1985; Mrode, 1996)

$$y = X\beta + Za + e \qquad \text{.....(3.5)}$$

โดยที่

y = เวคเตอร์ของค่าสังเกต

X = เมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตกับปัจจัยคงที่ (incidence matrix)

Z = เมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตกับปัจจัยสุ่ม (incidence matrix)

β = เวคเตอร์ของปัจจัยคงที่

a = เวคเตอร์ของปัจจัยสุ่ม โดยที่ $a \sim NID\left(0, A\sigma_a^2\right)$

A เป็นเมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวสัตว์ (relationship matrix)

e = เวคเตอร์ของความคลาดเคลื่อน (error) โดยที่ $NID\left(0, I\sigma_e^2\right)$

I เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ (identity matrix)

หรือ Mixed Model Equation (MME) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad \text{.....(3.6)}$$

โดยที่

y_1, y_2, y_3, y_4 = เวคเตอร์ของค่าสังเกตลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก ช่วงห่างของการคลอดลูก ระยะการให้นมและปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน

X_1, X_2, X_3, X_4 = เป็นเมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตกับปัจจัยคงที่ (incidence matrix)

Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 = เป็นเมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตกับปัจจัยสุ่ม (incidence matrix)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = เวคเตอร์ของปัจจัยคงที่ของลักษณะที่ 1, 2, 3 และ 4 ดังสมการที่ (3.1) , (3. 2) , (3.3) และ (3.4)

a_1, a_2, a_3, a_4 = เวคเตอร์ของปัจจัยสุ่มของลักษณะที่ 1, 2, 3 และ 4 ดังสมการที่ (3.1) , (3. 2) , (3.3) และ (3.4) โดยที่ $a \sim NID\left(0, A\sigma_a^2\right)$

e_1, e_2, e_3, e_4 = เวคเตอร์ของความคลาดเคลื่อน (error) ของลักษณะที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยที่ $e \sim NID\left(0, I\sigma_e^2\right)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยมีความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วม ดังนี้

$$Var\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_{a1}^2 & A\sigma_{a12} & A\sigma_{a13} & A\sigma_{a14} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a21} & A\sigma_{a2}^2 & A\sigma_{a23} & A\sigma_{a24} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a31} & A\sigma_{a32} & A\sigma_{a3}^2 & A\sigma_{a34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a41} & A\sigma_{a42} & A\sigma_{a43} & A\sigma_{a4}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e1}^2 & I\sigma_{e12} & I\sigma_{e13} & I\sigma_{e14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e21} & I\sigma_{e2}^2 & I\sigma_{e23} & I\sigma_{e24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e31} & I\sigma_{e32} & I\sigma_{e3}^2 & I\sigma_{e34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e41} & I\sigma_{e42} & I\sigma_{e43} & I\sigma_{e4}^2 \end{bmatrix} \quad \text{.....(3.7)}$$

2. การประมาณค่าอัตราพันธุกรรม (heritability, h^2)

จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบความแปรปรวน ทำให้ทราบถึงค่าความแปรปรวนของอิทธิพลโดยตรงเนื่องจากพันธุกรรมของตัวสัตว์ (σ_a^2) และค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ_e^2) ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้มาใช้ในการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะต่างๆ ที่ศึกษา โดยค่าอัตราพันธุกรรมที่ประมาณได้จะเป็นค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (narrow sense heritability) จากสูตรการคำนวณ ดังนี้ (Falconer and Mackay, 1996)

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2} \quad \text{.....(3.8)}$$

3. การประมาณค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ (genetic and phenotypic correlation, r_{gg} and r_{pp})

จากค่าองค์ประกอบความแปรปรวนที่ได้จากการวิเคราะห์ จะนำมาประมาณค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏระหว่างลักษณะที่ทำการศึกษาได้จากสูตรคำนวณดังนี้ (Falconer และ Mackay, 1996)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม

$$r_{gg} = \frac{COVg_1g_2}{\sqrt{Vg_1Vg_2}} \qquad \text{..... (3.9)}$$

สหสัมพันธ์ทางลักษณะปรากฏ

$$r_{pp} = \frac{COVp_1p_2}{\sqrt{Vp_1Vp_2}} \qquad \text{..... (3.10)}$$

4. การประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ (breeding value, BV)

จากค่าองค์ประกอบความแปรปรวนของลักษณะที่ทำการศึกษา ที่ประมาณได้ในแต่ละโมเดลนำมาประมาณค่าการผสมพันธุ์ของสัตว์แต่ละตัวโดยวิธี Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) จากโปรแกรมสำเร็จรูป BLUPF90-DairyPAK 2.5 (Duangjinda *et al.*, 2005)

5. การวิเคราะห์แนวโน้มทางพันธุกรรม (genetic trend, ΔG)

การวิเคราะห์แนวโน้มทางพันธุกรรมของลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก ช่วงห่างของการคลอดลูก ระยะการให้นม และปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์รีเกรชชั่นระหว่างคุณค่าการผสมพันธุ์ของแต่ละลักษณะที่ศึกษาต่อปีเกิด (Henderson, 1973; Kaplon *et al.*, 1991; Roman *et al.*, 1999; นลินี อิ่มบุญตา, 2539; ศักดิ์ชัย โตภาณุรักษ์ และคณะ, 2543) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. จัดกลุ่มแม่โคที่ทำการศึกษาตามปีเกิด
2. คำนวณค่าเฉลี่ยคุณค่าการผสมพันธุ์ของแม่โค โดยใช้คำสั่ง Proc Mean ของโปรแกรมสำเร็จรูป SAS
3. วิเคราะห์รีเกรชชั่นระหว่างค่าเฉลี่ยคุณค่าการผสมพันธุ์และปีเกิด ด้วยคำสั่ง Proc Reg ของโปรแกรมสำเร็จรูป SAS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. การวิเคราะห์แนวโน้มทางลักษณะปรากฏ (phenotypic trend, ΔP)

การวิเคราะห์แนวโน้มทางลักษณะปรากฏ ของลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกตัวแรก ช่วงห่างของการคลอดลูก ระยะการให้นมและปริมาณน้ำนมที่ 305 วัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์รีเกรชชั่นระหว่างค่าของลักษณะปรากฏต่อปีเกิดที่ทำการศึกษา (Tumwason, 1987; ศักดิ์ชัย โตภาณุรักษ์ และคณะ, 2543) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แนวโน้มทางพันธุกรรม แต่จะนำค่าของลักษณะที่แสดงออกภายนอกมาคำนวณแทนคุณค่าการผสมพันธุ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย