

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แหล่งที่มาและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลโคนมลูกผสมจากฟาร์มของเกษตรกรรายย่อยที่เป็นสมาชิกสหกรณ์โคนมในอำเภอไชยปราการ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ถูกบันทึกไว้ตั้งแต่ปีพ.ศ . 2538-2552 โดยทำการศึกษาความแปรปรวนและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม ได้แก่ ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะปรากฏ และคุณค่าการผสมพันธุ์ ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1.1 ข้อมูลของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม

นำแบบสอบถามมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเกษตรกร เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานด้านเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประกอบในการประเมินปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเลี้ยงโคของเกษตรกร โดยรูปแบบของแบบสอบถามประกอบด้วย คำถามแบบปลายปิด (Close - ended question) ซึ่งมีเป็นคำถามที่มีแนวคำตอบไว้ให้เรียบร้อยแล้ว และคำถามแบบปลายเปิด (Open - ended question) ที่ไม่ได้กำหนดคำตอบไว้ เพื่อความเหมาะสมกับการได้มาซึ่งข้อมูลในการตอบแบบสอบถามแต่ละข้อที่ตรงกับความต้องการในการศึกษามากที่สุด โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา สมาชิกในครอบครัว แรงงานในฟาร์ม อาชีพหลัก อาชีพรอง รายได้จากการเลี้ยงโคนม และรายจ่ายจากการเลี้ยงโคนม

ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านการเลี้ยงโคนม ได้แก่ สาเหตุในการเลี้ยง ระยะเวลาในการเลี้ยง ทุนการเริ่มต้นเลี้ยงโคนม การเข้ารับการฝึกอบรม การใช้สอยที่ดินของฟาร์ม พันธุ์โคที่ใช้เลี้ยง จำนวนโคนมในฟาร์ม และการจัดการฟาร์มอื่นๆ

ตอนที่ 3 ต้นทุนการผลิต ได้แก่ ต้นทุนอาหารชั้น อาหารหยาบ แหล่งที่มาของอาหารหยาบ

ตอนที่ 4 สภาพปัญหาและข้อเสนอแนะ

3.1.2 ข้อมูลประจำตัวโค

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก บัตรประจำตัวโคนม (ผ.ท. 1) ของโคนมลูกผสม ในอำเภอไชยปราการจังหวัดเชียงใหม่ โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาสามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. แฟ้มข้อมูลพันธุ์ประวัติ (pedigree file) ประกอบด้วย

- หมายเลขประจำตัวโค
- หมายเลขพ่อพันธุ์
- หมายเลขแม่พันธุ์

2. แฟ้มข้อมูลของลักษณะความสมบูรณ์พันธุ์และปัจจัยอื่นๆ (data file) ประกอบด้วย

- หมายเลขประจำตัวโค
- ชื่อโค
- ระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟรีเชียน แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ
 - กลุ่มที่ 1 ระดับสายเลือด ≤ 50 เปอร์เซนต์
 - กลุ่มที่ 2 ระดับสายเลือด $50 < x \leq 75$ เปอร์เซนต์
 - กลุ่มที่ 3 ระดับสายเลือด $75 < x \leq 87.50$ เปอร์เซนต์
 - กลุ่มที่ 4 ระดับสายเลือด $87.50 < x \leq 93.75$ เปอร์เซนต์
 - กลุ่มที่ 5 ระดับสายเลือด ≤ 100 เปอร์เซนต์
- วัน เดือน ปี ที่เกิด
- ลำดับการให้ลูก
- วัน เดือน ปี ที่ผสมครั้งแรก
- วัน เดือน ปี ที่ผสมติด
- วัน เดือน ปี ที่คลอดลูก
- อายุเมื่อคลอดลูก แบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และมากกว่า 9 ปี
- ฤดูกาลที่คลอดลูก แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ
 - ร้อน (มีนาคม-มิถุนายน)
 - ฝน (กรกฎาคม-ตุลาคม)
 - หนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์)
- ช่วงห่างการให้ลูก (38-548 วัน)
- จำนวนวันที่ท้องว่าง (282-830 วัน)
- ระยะการให้นม

- จำนวนครั้งการผสมติด

3.2 จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยโคนมจำนวน 7,268 ตัว จาก 184 ฟาร์ม โดยจำแนกจำนวนครั้งการผสมติดตามลำดับการให้ลูก 7 ลำดับ (ลำดับที่ 1-7) มีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 4400, 3436, 2574, 1859, 1268, 807 และ 475 ข้อมูล ตามลำดับ (Table 2)

Table 2. Number of data in record for analysis

Data	Parity						
	1	2	3	4	5	6	7
Cows	7,268	7,268	7,268	7,268	7,268	7,268	7,268
Percentage of Holstein-Friesian (%HF)	7,263	7,263	7,263	7,263	7,263	7,263	7,263
Herd-year-season of birth (HYS)	7,261	7,261	7,261	7,261	7,261	7,261	7,261
Number of services per conception (NSC)	4,400	3,436	2,574	1,859	1,268	807	475
Age of dam (AOD)	3,921	3,022	2,185	1,555	1,033	630	378
Season of birth (Season)	3,923	3,021	2,185	1,558	1,039	634	367
Days open (DO)	-	3,430	2,568	1,859	1,266	803	473
Calving interval (CI)	-	3,001	2,176	1,546	1,028	630	379

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.3.1 การวิเคราะห์ ข้อมูลเบื้องต้นของลักษณะ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (means) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่าสูงสุด (maximum) และค่าต่ำสุด (minimum) ของลักษณะต่างๆ

3.3.2 ทดสอบปัจจัยคงที่ ได้แก่ ระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟริเซียน ฝูง-ปี-ฤดูกาลที่เกิด ระยะการให้นม อายุเมื่อคลอดลูก และฤดูกาลที่คลอดลูก ด้วยวิธี General Linear Model (GLM) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งมีโมเดลในการทดสอบปัจจัยคงที่ต่อลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด และลักษณะจำนวนครั้งการผสมติดที่จำแนกตามลำดับการให้ลูก ดังนี้

1 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด (Table 3)

Table 3. Model for fixed effects test of number of service per conception

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	✓	✓	✓
Herd-year-season of birth	-	✓	✓
Lactation	-	-	✓
Age of dam	✓	✓	-
Season of calving	✓	-	-

✓ = factors used in the model

2 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 1 (Table 4)

Table 4. Model for fixed effects test of number of service per conception in 1st parity

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	✓	✓	✓
Herd	✓	✓	-
Year of birth	-	✓	✓
Season of birth	✓	-	✓

✓ = factors used in the model

3 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 2 (Table 5)

Table 5. Model for fixed effects test of number of service per conception in 2nd parity

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	-	✓	-
Herd-year-season of birth	-	✓	✓
Age of dam	✓	✓	✓

Season of calving	✓	-	-
-------------------	---	---	---

✓ = factors used in the model

4 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 3 (Table 6)

Table 6. Model for fixed effects test of number of service per conception in 3rd parity

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	✓	✓	-
Herd-year-season of birth	✓	✓	-
Age of dam	✓	-	✓
Season of calving	-	✓	✓

✓ = factors used in the model

5 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 4 (Table 7)

Table 7. Model for fixed effects test of number of service per conception in 4th parity

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	✓	✓	✓
Herd-year-season of birth	-	✓	-
Age of dam	✓	✓	-
Season of calving	✓	-	✓

✓ = factors used in the model

6 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 5 (Table 8)

Table 8. Model for fixed effects test of number of service per conception in 5th parity

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	✓	✓	-
Herd-year-season of birth	-	✓	✓
Age of dam	✓	✓	✓

Season of calving	✓	-	-
-------------------	---	---	---

✓ = factors used in the model

7 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 6 (Table 9)

Table 9. Model for fixed effects test of number of service per conception in 6th parity

Fixed effects	Models		
	1	2	3
Percentage of Holstein-Friesian	✓	-	✓
Herd-year-season of birth	✓	✓	-
Age of dam	-	-	✓
Season of calving	✓	✓	✓

✓ = factors used in the model

8 ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 7 (Table 10)

Table 10. Model for fixed effects test of number of service per conception in 7th parity

Fixed effects	Models	
	1	2
Percentage of Holstein-Friesian	✓	-
Herd-year-season of birth	-	✓
Age of dam	✓	✓
Season of calving	✓	✓

✓ = factors used in the model

3.3.3 ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมและคุณค่าการผสมพันธุ์ของลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด และลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 1-7 โดยใช้โมเดลตัวสัตว์ (animal model) ด้วยวิธี Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) ด้วยโปรแกรม Variance Component Estimator (VCE) version 4 (Eildert, 1998) โดยทำการประมาณจากค่าความแปรปรวนของยีนแบบบวกสะสม (additive genetic variance : σ_a^2) และความแปรปรวนอื่นๆ (residual error variance) ซึ่งโมเดลที่ใช้ในการประมาณค่าอัตราพันธุกรรม มีดังนี้

1. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด

$$y_{ijklm} = \mu + HF_i + AOD_j + Season_k + Lactation_l + Animal_m + Error_{ijklm}$$

เมื่อ	y_{ijklm}	=	จำนวนครั้งการผสมติด
	μ	=	ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
	HF_i	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮาลส์ไตน์ฟรีเซียน(5 กลุ่ม คือ $\leq 50, 50 < x \leq 75, 75 < x \leq 87.50, 87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
	AOD_j	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มอายุเมื่อคลอดลูก (9 กลุ่ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และมากกว่า 9 ปี)
	$Season_k$	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฤดูกาลที่คลอดลูก (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)
	$Lactation_l$	=	อิทธิพลคงที่ของระยะการให้นม (ลำดับที่ 1-7)
	$Animal_m$	=	อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์
	$Error_{ijklm}$	=	ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

2. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 1

$$y_{ijklm} = \mu + HF_i + Herd_j + Year_k + S_l + Animal_m + Error_{ijklm}$$

เมื่อ	y_{ijklm}	=	จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 1
	μ	=	ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
	HF_i	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮาลส์ไตน์ฟรีเซียน(5 กลุ่ม คือ $\leq 50, 50 < x \leq 75, 75 < x \leq 87.50, 87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
	$Herd_j$	=	อิทธิพลคงที่ของฝูง (184 ฝูง)
	$Year_k$	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มปีที่เกิด (7 กลุ่ม ตั้งแต่ปี ค.ศ.1993-2009)
	S_l	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฤดูกาลที่เกิด(3กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)

$Animal_m$ = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์
 $Error_{ijklm}$ = ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

3. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 2

$$y_{ijkl} = \mu + HF_i + HYS_j + Season_k + Animal_l + Error_{ijkl}$$

เมื่อ y_{ijkl} = จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 2
 μ = ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
 HF_i = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดซิสลสไตน์ฟรีเซียน (5 กลุ่ม คือ ≤ 50 , $50 < x \leq 75$, $75 < x \leq 87.50$, $87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
 HYS_j = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฝูง (184 ฝูง) ปี (17 กลุ่ม ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993-2009) และฤดูกาลที่เกิด (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)
 $Season_k$ = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฤดูกาลที่คลอดลูก (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)
 $Animal_l$ = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์
 $Error_{ijkl}$ = ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

4. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 3

$$y_{ijk} = \mu + HYS_i + AOD_j + Animal_k + Error_{ijk}$$

เมื่อ y_{ijk} = จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 3
 μ = ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
 HYS_i = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฝูง (184 ฝูง) ปี (17 กลุ่ม ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993-2009) และฤดูกาลที่เกิด (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)
 AOD_j = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มอายุเมื่อคลอดลูก (9 กลุ่ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และมากกว่า 9 ปี)
 $Animal_k$ = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์

$Error_{ijk}$ = ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

5. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 4

$$y_{ijkl} = \mu + HF_i + HYS_j + AOD_k + Animal_l + Error_{ijkl}$$

- เมื่อ y_{ijkl} = จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 4
 μ = ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
 HF_i = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮิสตัสโตไนน์ฟรีเซียน 5 กลุ่ม คือ ≤ 50 , $50 < x \leq 75$, $75 < x \leq 87.50$, $87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
 HYS_j = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฝูง (184 ฝูง) ปี (17 กลุ่ม ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993-2009) และฤดูกาลที่เกิด (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)
 AOD_k = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มอายุเมื่อคลอดลูก (9 กลุ่ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และมากกว่า 9 ปี)
 $Animal_l$ = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์
 $Error_{ijkl}$ = ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

6. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 5

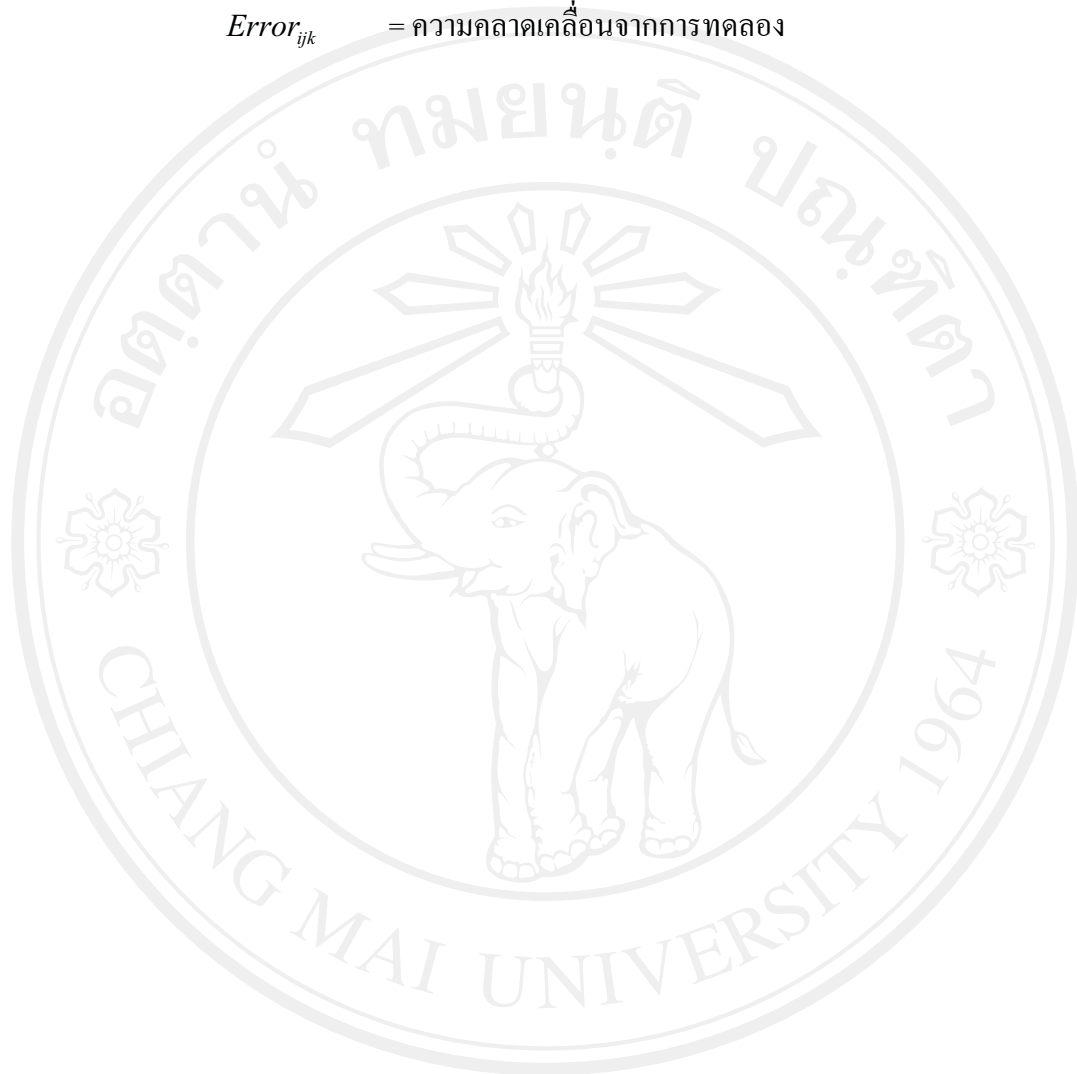
$$y_{ijk} = \mu + HF_i + Season_j + Animal_k + Error_{ijk}$$

- เมื่อ y_{ijk} = จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 5
 μ = ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
 HF_i = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮิสตัสโตไนน์ฟรีเซียน 5 กลุ่ม คือ ≤ 50 , $50 < x \leq 75$, $75 < x \leq 87.50$, $87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
 $Season_j$ = อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฤดูกาลที่คลอดลูก (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน

และหนาว)

$Animal_k$ = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์

$Error_{ijk}$ = ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 6

$$y_{ijk} = \mu + HF_i + AOD_j + Animal_k + Error_{ijk}$$

เมื่อ	y_{ijk}	=	จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 6
	μ	=	ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
	HF_i	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดสีสไลต์ฟรีเซียน5 กลุ่ม คือ ≤ 50 , $50 < x \leq 75$, $75 < x \leq 87.50$, $87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
	AOD_j	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มอายุเมื่อคลอดลูก (9 กลุ่ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และมากกว่า 9 ปี)
	$Animal_k$	=	อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์
	$Error_{ijk}$	=	ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

8. ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 7

$$y_{ijkl} = \mu + HF_i + AOD_j + Season_k + Animal_l + Error_{ijkl}$$

เมื่อ	y_{ijkl}	=	จำนวนครั้งการผสมติด ในลำดับการให้ลูกที่ 7
	μ	=	ค่าเฉลี่ยลักษณะจำนวนครั้งการผสมติด
	HF_i	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดสีสไลต์ฟรีเซียน5 กลุ่ม คือ ≤ 50 , $50 < x \leq 75$, $75 < x \leq 87.50$, $87.50 < x \leq 93.75$ และ ≤ 100 เปอร์เซ็นต์)
	AOD_j	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มอายุเมื่อคลอดลูก (9 กลุ่ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และมากกว่า 9 ปี)
	$Season_k$	=	อิทธิพลคงที่ของกลุ่มฤดูกาลที่คลอดลูก (3 กลุ่ม คือ ฝน, ร้อน และหนาว)
	$Animal_l$	=	อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์
	$Error_{ijkl}$	=	ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ค่าประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของแต่ละลักษณะสามารถนำมาปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Z) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือก ช่วยให้สามารถจัดเรียงลำดับสัตว์ตามความ ดีเด่นทางพันธุกรรม เนื่องจากลักษณะแต่ละลักษณะมีหน่วยวัดและค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอีกทั้งค่าพิสัยของแต่ละลักษณะยังมีความผันแปรภายในลักษณะแตกต่างกัน โดยเมื่อปรับคุณค่าการผสมพันธุ์ของทุกลักษณะให้เป็นค่ามาตรฐาน จะมีพิสัยตั้งแต่ -3 ถึง +3 โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$Z_i = \frac{EBV_i}{SD_i}$$

EBV_i = ค่าประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ของลักษณะที่ i
 SD_i = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ลักษณะที่ i

3.3.4 ประมาณค่าสหสัมพันธ์ โดยใช้โมเดลตัวสัตว์ ด้วยโปรแกรม Variance Component Estimator (VCE) version 4 (Eildert, 1998) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบ Multivariate ระหว่างสองลักษณะ (Bivariate analysis) โดยทำการประมาณค่าจากความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของทั้งสองลักษณะที่ต้องการศึกษา ได้แก่ จำนวนครั้งการผสมติด อายุเมื่อคลอดลูก จำนวนวันท้องว่าง และช่วงห่างการให้ลูก ซึ่งมีโมเดลในการประมาณค่าสหสัมพันธ์ ดังนี้

1. ประมาณค่าสหสัมพันธ์ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติดและอายุเมื่อคลอดลูก

$$y = Xb + Zu + e$$

เมื่อ y = เมตริกซ์ของจำนวนครั้งการผสมติด และอายุเมื่อคลอดลูก

b = เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟรีเซียน และอิทธิพลของตัวแปรร่วมเนื่องจากวันท้องว่าง เมื่อ y คือ ลักษณะ

จำนวนครั้งการผสมติด

b = เวกเตอร์ของ อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟรีเซียน

เมื่อ y คือ ลักษณะอายุเมื่อคลอดลูก

a = เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากตัวสัตว์

c = เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

2. ประมาณค่าสหสัมพันธ์ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติดและวันท้องว่าง

$$y = Xb + Zu + e$$

- เมื่อ y = เมตริกซ์ของจำนวนครั้งการผสมติด และวันท้องว่าง
 b = เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮีสตัสไตน์ฟรีเซียน
 a = เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากตัวสัตว์
 e = เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

3. ประมาณค่าสหสัมพันธ์ลักษณะจำนวนครั้งการผสมติดและช่วงห่างการให้ลูก

$$y = Xb + Zu + e$$

- เมื่อ y = เมตริกซ์ของจำนวนครั้งการผสมติด และช่วงห่างการให้ลูก
 b = เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮีสตัสไตน์ฟรีเซียน , กลุ่มฝูง-ปี-ฤดูกาลที่เกิด และฤดูกาลที่คลอด
 a = เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากตัวสัตว์
 e = เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

4. ประมาณค่าสหสัมพันธ์ลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกและวันท้องว่าง

$$y = Xb + Zu + e$$

- เมื่อ y = เมตริกซ์ของอายุเมื่อคลอดลูก และวันท้องว่าง
 b = เวกเตอร์ของ อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮีสตัสไตน์ฟรีเซียน
 เมื่อ y คือ ลักษณะอายุเมื่อคลอดลูก
 b = เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดฮีสตัสไตน์ฟรีเซียน

, กลุ่มฝูง-ปี-ฤดูกาลที่เกิด และฤดูกาลที่คลอด เมื่อ
ท้องว่าง

y คือ ลักษณะวัน

$$\begin{aligned} a &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากตัวสัตว์} \\ e &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน} \end{aligned}$$

5. ประมาณค่าสหสัมพันธ์ลักษณะอายุเมื่อคลอดลูกและช่วงห่างการให้ลูก

$$y = Xb + Zu + e$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } y &= \text{เมตริกซ์ของอายุเมื่อคลอดลูก และช่วงห่างการให้ลูก} \\ b &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดโพลสไตน์ฟรีเซียน} \\ a &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากตัวสัตว์} \\ e &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน} \end{aligned}$$

6. ประมาณค่าสหสัมพันธ์ลักษณะวันท้องว่างและช่วงห่างการให้ลูก

$$y = Xb + Zu + e$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } y &= \text{เมตริกซ์ของวันท้องว่าง และช่วงห่างการให้ลูก} \\ b &= \text{เวกเตอร์ของ อิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดโพลสไตน์ฟรีเซียน} \\ &\text{เมื่อ } y \text{ คือ ลักษณะวันท้องว่าง} \\ b &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ของกลุ่มระดับสายเลือดโพลสไตน์ฟรีเซียน} \end{aligned}$$

, อายุเมื่อคลอดลูก และจำนวนครั้งการผสมติด เมื่อ
ช่วงห่างการให้ลูก

y คือ ลักษณะ

$$\begin{aligned} a &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากตัวสัตว์} \\ e &= \text{เวกเตอร์ของอิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน} \end{aligned}$$