การพัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับวิเคราะห์การลงน้ำหนักที่อุ้งเท้าขณะยืนของสุนัข

นางสาวพฤกจิกา สุขศิริมัช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A FORCE PLATFORM FOR ANALYSIS OF THE FORCE APPLIED TO CANINE’S PAWS AT STANDING POSITION

Miss Phulkjika Sooksirimuch

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับวิเคราะห์การลงน้ำหนักที่อุ้งเท้าขณะยืนของสุนัข
โดย	นางสาวพฤกจิกา สุขศิริมัช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัญชนา ตั้งวงศ์ศานต์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.กัมปนาท สุนทรวิภาต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัญชนา ตั้งวงศ์ศานต์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.กัมปนาท สุนทรวิภาต)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ธอริน ธีรเดชวานิชกุล)

พฤกจิกา สุขศิริมัช : การพัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับวิเคราะห์การลงน้ำหนักที่อุ้งเท้าขณะยืนของสุนัข (DEVELOPMENT OF A FORCE PLATFORM FOR ANALYSIS OF THE FORCE APPLIED TO CANINE'S PAWS AT STANDING POSITION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ชัญชนา ตั้งวงศ์ศานต์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. น.ส.พ. ดร.กัมปนาท สุนทรวิภาต, 133 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขจากการยืนและการเดิน ระบบนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ระบบ คือ ระบบตรวจจับแรง ที่ประกอบด้วยตัวตรวจจับแรงกดแบบตัวต้านทานจำนวน 144 ตัว ระบบประมวลผลข้อมูล และระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล ซึ่งมีความเร็วในการแสดงผลข้อมูลอยู่ที่ 50 ชุดข้อมูลต่อวินาที ระบบแพลตฟอร์รับแรงนี้ได้ถูกทดสอบด้วยน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าน้ำหนักตั้งแต่ 40-3,000 g จำนวน 27 ค่าน้ำหนัก เพื่อหาสมการการแปลงค่าน้ำหนักจำนวน 11 สมการ ซึ่งค่าน้ำหนักที่ตรวจจับได้มีความถูกต้องแม่นยำสูง มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่า 3% จากนั้นได้นำระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มาทดสอบกับสุนัขปกติที่ไม่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจำนวน 15 ตัว และสุนัขที่ผิดปกติ (เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก) จำนวน 25 ตัว ที่เลือกโดยสัตวแพทย์ ผลจากการทดสอบพบว่า ในการยืน สุนัขที่ปกติจะมีการกระจายน้ำหนักตัวที่มีความสมดุล (หน้า-หลัง) และมีความสมมาตรซ้าย-ขวา โดยมีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยผลรวมของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังเท่ากับ 59.97:40.03 (±0.54%) มีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยผลรวมของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวาเท่ากับ 50.10:49.90 (±0.34%) และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าคู่หน้า (ซ้าย-ขวา) และอุ้งเท้าคู่หลัง (ซ้ายและขวา) ที่ต่ำกว่า 1.60% (±1.51) แต่สำหรับสุนัขที่ผิดปกติที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (โรคข้อเสื่อม โรคสะบ้าเคลื่อน โรคข้อสะโพกเสื่อมและโรคข้อสะโพกหลุด) จะมีการกระจายน้ำหนักตัวที่ไม่สมมาตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวาอยู่ที่ 5.54% (±2.45) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวามากถึง 22.85% (±26.70) แต่เมื่อได้รับการรักษาแล้ว สุนัขที่ผิดปกติจะมีการกระจายน้ำหนักตัวที่ดีขึ้น คือมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวาที่ต่ำกว่า 3.35% (±1.77) ในการเดิน สุนัขจะมีจังหวะการกดน้ำหนักที่สูงที่สุดอยู่ในช่วง 0.10-0.14 s หลังจากอุ้งเท้าเริ่มสัมผัสพื้น และในจังหวะการเดิน สุนัขจะมีการกดน้ำหนักสูงสุดที่อุ้งเท้าแต่ละข้างที่สูงกว่าการกดน้ำหนักขณะยืน โดยอุ้งเท้าคู่หน้าจะมีน้ำหนักกดที่ประมาณ 0.92-1.12 เท่าของน้ำหนักตัว และในอุ้งเท้าคู่หลังจะมีน้ำหนักกดที่ประมาณ 0.61-0.77 เท่าของน้ำหนักตัว ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับและวิเคราะห์ด้วยระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อสัตวแพทย์ในการวินิจฉัยโรคและการรักษาสุนัขที่มีความผิดปกติได้

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2558	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม	....

5570308721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: FORCE PLATFORM SYSTEM, DOGS, FORCE SENSING SYSTEM, MUSCULOSKELETAL DISEASE, WEIGHT DISTRIBUTED

PHULKJIKA SOOKSIRIMUCH: DEVELOPMENT OF A FORCE PLATFORM FOR ANALYSIS OF THE FORCE APPLIED TO CANINE'S PAWS AT STANDING POSITION. ADVISOR: ASST. PROF. CHANCHANA TANGWONGSAN, CO-ADVISOR: ASST. PROF. KUMPANART SOONTORNVIPART, Ph.D., 133 pp.

In this thesis, we developed a force platform system for the detection of the weight distributed to each paw of the dog when it was standing and walking. This system is composed of 3 important parts: a force sensing system, consisting of 144 force sensing resistors, a data processing system, and a data analyzing and presenting system with the sampling rate of 50 data set per second. The force platform system was calibrated and tested using 27 sizes of standard weights varying from 40 g to 3,000 g to obtain a calibration curve which was fitted using 11 equations. This system can accurately detect the weight with less than 3% error. The force platform system was then used for animal testing using 15 healthy dogs with no musculoskeletal disease and 25 abnormal dogs with musculoskeletal diseases, chosen by veterinarians. The results show that, in standing position, healthy dogs symmetrically distribute their body weight to their 4 paws with the ratio of the average weight applied to the forelimbs to that of the hindlimbs of 59.97:40.03 (±0.54%), the ratio of the average weight applied to the left limbs to that of the right limbs of 50.10:49.90 (±0.34%) and the percentage difference between the left forelimb and right forelimb and between the left hindlimb and the right hindlimb of less than 1.60% (±1.51). The abnormal dogs with musculoskeletal diseases (degenerative joint disease, patellar luxation, hip dysplasia and coxofemoral luxation), on the other hand, distribute their body weight to their 4 paws unsymmetrically with the percentage difference between the left forelimb and right forelimb of 5.54% (±2.45) and between the left hindlimb and the right hindlimb of 22.85% (±26.70). However, after being treated, the body weight distribution of the diseased dogs improved greatly, having the percentage difference between the left hindlimb and right hindlimb of less than 3.35% (±1.77). When the healthy dog is walking, the moment the maximum weight applied on each paw is during 0.10-0.14 s after the paw start touching the floor and the maximum weight applied on each paw is higher than the average weight applied on each paw when it is standing. When the dog is walking, the weight applied on both forelimbs is approximately 0.92-1.12 of its body weight and the weight applied on both hindlimbs is approximately 0.61-0.77 of its body weight. This information obtained from the force platform system will be useful for veterinarians for diagnoses and treatments of the abnormal dogs.

Department:	Electrical Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Electrical Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2015	Co-Advisor's Signature	....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดียิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัญชนา ตั้งวงศ์ศานต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้ให้ความอนุเคราะห์ คำปรึกษา แนวทางการทำงานวิจัยพร้อมทั้งแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์อย่างดีมาโดยตลอดการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาของข้าพเจ้า อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือและแนะนำเรื่องราวต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งทำให้ตัวข้าพเจ้าได้เพิ่มพูนความรู้ การคิดวิเคราะห์ ประสบการณ์และโอกาสที่ดีในชีวิตเป็นอย่างมาก

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ ดร. กัมปนาท สุนทรวิภาต อาจารย์ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อมูลและความรู้ทางด้านสัตวแพทย์ที่มีความสำคัญต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความรู้ คำแนะนำ รวมไปถึงกำลังใจที่ดีให้กับข้าพเจ้ามาโดยตลอดในการทำวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมชาย สุขศิริมัช คุณแม่สุนิดา สุขศิริมัช และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุน เอาใจใส่ พร้อมทั้งให้กำลังใจในการทำงานวิจัยและการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณนายอานนท์ หม้อสุวรรณ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนสำหรับความรู้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ กำลังใจ มิตรภาพและความรู้สึกดี ๆ ที่มีร่วมกันมาโดยตลอดการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษานี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับใช้ในการทำงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตครั้งที่1 ปี 2558 จากบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย...ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ.. ฉ

สารบัญ.. ช

บทที่ 1 บทนำ 10

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ 10

1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ผลในงานวิจัย 11

1.3 วัตถุประสงค์ 12

1.4 ขอบเขตการทำงาน 13

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.. 13

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 14

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์ 14

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทบทวนวรรณกรรม 16

2.1 สรีระวิทยาของสุนัข (Canine Physiology)... 16

2.2 ลักษณะการยืนของสุนัข... 17

2.3 ลักษณะการเดินของสุนัข.. 18

2.4 โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกในสุนัข 21

2.4.1 โรคข้อเสื่อม (Osteoarthritis) 22

2.4.2 โรคข้ออักเสบ (Septic arthritis).. 23

2.4.3 โรคกระดูกสะบ้าเคลื่อนหลุด (Patellar luxation) 23

2.4.4 โรคข้อสะโพกเคลื่อนหลุด (Coxofemoral Luxation) 24

2.4.5 โรคข้อสะโพกเจริญผิดปกติ (Canine Hip Dysplasia)...................................... 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.5 การตรวจและวินิจฉัยโรคในสุนัข 26
2.6 ระบบแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับตรวจจับแรงกดจากน้ำหนักคนหรือสัตว์ 28
2.7 ทบทวนวรรณกรรม 29
บทที่ 3 การออกแบบสถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบแพลตฟอร์มรับแรง 33
3.1 ระบบตรวจจับแรง 34
3.1.1 เซ็นเซอร์ 34
3.1.2 โครงสร้างของระบบตรวจจับแรง 40
3.2 ระบบประมวลผลข้อมูล 45
3.2.1 มัลติเพล็กเซอร์ (Multiplexer) 45
3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) 47
3.3 ระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล 51
3.4 การปรับเทียบน้ำหนักมาตรฐานกับระบบตรวจจับแรง 52
3.5 การทดสอบระบบแพลตฟอร์มรับแรงด้วยน้ำหนักมาตรฐาน 60
บทที่ 4 การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะยืน 64
4.1 วิธีการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืน 64
4.2 การตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืน 65
4.2.1 ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขปกติ 65
4.2.2 ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก 72
4.2.3 ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข 86
4.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขขณะยืน 89
4.3.1 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าสุนัขที่ปกติ 89

หน้า

4.3.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก 91
4.3.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข 92
4.4 สรุปผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืน 94
บทที่ 5 การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดิน 97
5.1 วิธีการทดสอบการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะเดิน 97
5.2 การตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะเดิน 98
5.3 สรุปผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะเดิน 115
บทที่ 6 สรุปผลวิทยานิพนธ์และข้อเสนอแนะ 118
6.1 ข้อสรุปผลของวิทยานิพนธ์ 118
6.1.1 ข้อดีของระบบแพลตฟอร์มรับแรง 119
6.1.2 ข้อเสียของระบบแพลตฟอร์มรับแรง 120
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรง 120
6.3 การเปรียบเทียบระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่พัฒนาขึ้นกับระบบแพลตฟอร์มรับแรงของงานวิจัยอื่น 121
รายการอ้างอิง 125
ภาคผนวก ก. ข้อมูลสุนัขที่ใช้ในการทดสอบน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข 129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันอุปกรณ์ทางการแพทย์สำหรับสัตว์ยังไม่ได้มีการพัฒนาและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเหมือนอย่างอุปกรณ์ทางการแพทย์สำหรับมนุษย์ สัตว์มีโอกาสเจ็บป่วยด้วยโรคต่าง ๆ ได้เหมือนกับมนุษย์ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคผิวหนัง แต่ที่พบโดยมากจะเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (Musculoskeletal disease) โรคดังกล่าวจะส่งผลให้สุนัขมีความผิดปกติในการเคลื่อนไหวทำให้เกิดอาการเจ็บปวดที่กระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อในขณะที่เคลื่อนไหวร่างกาย ทำให้มีท่าทางการยืนที่ไม่สมดุล โดยมักจะแสดงออกโดยการหลีกเลี่ยงการใช้ขาข้างที่บาดเจ็บสัมผัสกับพื้นโดยตรงและจะถ่ายน้ำหนักไปยังขาด้านตรงกันข้ามที่ปกติเพื่อลดความเจ็บปวดจากน้ำหนักตัวที่กดลงบนขาข้างที่บาดเจ็บ [1] ส่วนการเดินของสุนัขที่มีโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกอาจมีอาการขากะเผลก (Lameness) ร่วมอยู่ด้วย โดยอาการขากะเผลกอาจเกิดจากการอักเสบของข้อต่อหรือเกิดจากอวัยวะบางส่วนทำหน้าที่ผิดปกติไป นอกจากนี้อาจเกิดจากอุบัติเหตุที่ทำให้สุนัขเกิดอาการขากะเผลกได้อีกด้วย ซึ่งถ้าปล่อยไว้เป็นระยะเวลานานก็จะทำให้ขาข้างที่รับน้ำหนักเกินแสดงอาการเจ็บปวดขึ้นได้หรืออาจทำให้โครงสร้างของกระดูกผิดเพี้ยนไปเนื่องจากการรับน้ำหนักที่ไม่สมดุล

การวินิจฉัยความผิดปกติจากอาการดังกล่าวข้างต้นนั้น สัตว์แพทย์สามารถทำได้หลายวิธี โดยเริ่มจากการซักประวัติของสุนัขจากเจ้าของสุนัข เพื่อให้ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับอาการเจ็บป่วยในอดีตและปัจจุบัน ต่อมาจะทำการตรวจลักษณะภายนอกของสุนัขจากการสังเกตด้วยตาเปล่า (Observation) ซึ่งจะสังเกตความผิดปกติของสุนัขในขณะหยุดนิ่งและขณะที่เคลื่อนไหว โดยสังเกตความแตกต่างระหว่างความปกติและความผิดปกติของร่างกายและการสังเกตจากระยะใกล้และระยะไกลอีกด้วยเพื่อนำผลไปวินิจฉัยว่ามีความผิดปกติตรงส่วนใด แต่ในบางครั้งสุนัขอาจมีความกลัวและระแวงจึงทำให้การเคลื่อนไหวไม่เป็นธรรมชาติหรืออาจไม่ยอมเคลื่อนไหวร่างกายเลย ทำให้สัตวแพทย์ต้องทำการตรวจแบบละเอียดโดยการคลำ (Palpation) โดยจะเริ่มคลำจากปลายส่วนล่างขึ้นด้านบนและคลำขาข้างที่ปกติก่อนเพื่อให้รู้ลักษณะโครงสร้างที่ปกติของสัตว์แต่ละตัวและใช้ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับขาข้างที่ผิดปกติ โดยจะเริ่มตรวจจากการเคลื่อนไหวของข้อต่อ มุมองศาของข้อเท้าหน้าและข้อเท้าหลัง มุมองศาของข้อเข่าและข้อสะโพก เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความผิดปกติที่เกิดขึ้น วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้สัตวแพทย์ที่มีความชำนาญในการตรวจแบบคลำ เนื่องจากหากสัมผัสแรงเกินไปอาจทำให้สุนัขเกิดการบาดเจ็บเพิ่มมากขึ้นและส่งผลให้สุนัขไม่ให้ความร่วมมือในขณะตรวจ

ได้ นอกจากนี้ยังมีการวินิจฉัยวิธีอื่นร่วมด้วย ได้แก่ การเคาะ (Percussion) ซึ่งเป็นการตรวจโดยอาศัยการแตะ การตี ตรงบริเวณที่คาดว่ามีความผิดปกติ (Subjective method) เพื่อช่วยบอกความผิดปกติของระบบประสาท การตรวจการเคลื่อนไหว (Range of motion) เป็นการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของข้อต่อในขณะเดิน เพื่อบอกทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อที่ผิดปกติเทียบกับทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อที่ปกติ และการตรวจด้วยภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ (X-ray image) ซึ่งเป็นการตรวจที่สามารถระบุตำแหน่งของความผิดปกติได้แม่นยำ แต่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ผลจากภาพถ่ายและยังเป็นวิธีการตรวจที่มีค่าใช้จ่ายสูงอีกด้วย [2]

อย่างไรก็ตามวิธีการตรวจความผิดปกติของสุนัขที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ยังถือเป็นวิธีพื้นฐานที่ทางสัตวแพทย์ใช้เพื่อประเมินความผิดปกติในการยืนและการเดินของสุนัข แต่บางครั้งในช่วงเวลาที่ทำการตรวจนั้น สุนัขอาจไม่แสดงอาการเจ็บขาให้เห็น จึงทำให้สัตวแพทย์ไม่สามารถตรวจพบอาการที่แท้จริงของโรคได้ แต่ถ้ามีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าการลงน้ำหนักของอุ้งเท้าของสุนัข (ทั้งสี่ข้าง) และแสดงผลเป็นค่าตัวเลขที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานหรือค่าปกติของสุนัขได้ก็จะช่วยให้สัตวแพทย์สามารถวินิจฉัยโรคได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงขึ้นเพื่อใช้ในการวัดน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขจากการยืนและการเดิน โดยแพลตฟอร์มรับแรงนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ระบบตรวจจับแรง (Force sensing system) ที่ใช้ตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข ระบบประมวลผลข้อมูล (Data processing system) ซึ่งเป็นส่วนที่รับสัญญาณทางไฟฟ้าเข้ามา แล้วแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล (Data analyzing and presenting system) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณข้อมูลให้เป็นค่าตัวเลขเพื่อแสดงผลบนโปรแกรมแสดงผล และบันทึกผลเป็นค่าน้ำหนักรวมและภาพการกระจายน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าของสุนัขในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน จากนั้นได้นำระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นไปทดสอบกับสุนัขที่ปกติและสุนัขที่ผิดปกติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของการยืนและการเดินของสุนัขต่อไป

1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ผลในงานวิจัย

สุนัขที่มีสุขภาพที่สมบูรณ์และมีโครงสร้างของลำตัวที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ (ไม่เป็นโรคอ้วน) ในสภาวะปกติ ขณะที่สุนัขยืนจะมีการกระจายน้ำหนักไปยังอุ้งเท้าคู่หน้าประมาณ 60% และไปที่อุ้งเท้าคู่หลังประมาณ 40% ของน้ำหนักตัว หรือคิดเป็นอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังประมาณ 60:40 โดยแบ่งเป็นน้ำหนักที่กดที่อุ้งเท้าคู่หน้าข้างละ 30% ของน้ำหนักตัวและน้ำหนักที่กดบนเท้าคู่หลังข้างละ 20% ของน้ำหนักตัวและมีการกระจาย

น้ำหนักตัวที่สมมาตรซ้าย-ขวา นั่นคือมีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าคู่ซ้ายต่ออุ้งเท้าคู่ขวาประมาณ 50:50 [3]

ในส่วนของการเดิน สุนัขจะใช้เท้าทั้ง 4 ข้างในการเดิน โดยจะมีอุ้งเท้าที่สัมผัสกับพื้นอย่างน้อย 2 ข้าง เสมอ และมีช่วงจังหวะการเดินที่แบ่งได้เป็น 4 ช่วงจังหวะ นั่นคือ 1) ช่วง Support phase ซึ่งเป็นช่วงที่สุนัขเริ่มวางอุ้งเท้าสัมผัสกับพื้นแล้วออกแรงกดที่อุ้งเท้าไปจนถึงช่วงที่มีน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าสูงสุด 2) ช่วง Thrust phase ซึ่งเป็นช่วงที่สุนัขกดน้ำหนักบนอุ้งเท้าสูงสุดและมีพื้นที่การกระจายน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าสุนัขที่มากที่สุด 3) ช่วง Lift phase ซึ่งเป็นช่วงที่สุนัขมีการกดน้ำหนักบนอุ้งเท้าลดลงและเริ่มก้าวออกจากพื้น และ 4) ช่วง Swing phase ซึ่งเป็นช่วงที่สุนัขยกเท้าลอยเหนือพื้น ในขณะที่สุนัขกำลังเดิน จะมีค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่อุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้างที่สูงกว่าน้ำหนักกดในขณะที่ยืน โดยถ้าสุนัขมีความเร็วในการเดินประมาณ 3-5 ฟุต/วินาที จะมีน้ำหนักกดลงที่อุ้งเท้าคู่หน้าประมาณ 1.1 เท่าของน้ำหนักตัว และที่อุ้งเท้าคู่หลังประมาณ 0.8 เท่าของน้ำหนักตัว [4]

ข้อมูลน้ำหนักตัวที่กดไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขและภาพการกระจายน้ำหนักจากการกดน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างสุนัขจากการวิเคราะห์ด้วยระบบแพลตฟอร์มรับแรงจะแสดงให้เห็นถึงความสมดุลในการกระจายน้ำหนักตัวของสุนัขไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้าง ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้สัตวแพทย์สามารถบ่งชี้อาการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่เกิดขึ้นที่บริเวณขาของสุนัขได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวางแผนการรักษาและศึกษาดูแนวโน้มของการทำกายภาพบำบัดสุนัขที่ผิดปกติว่าได้ผลมากน้อยเพียงใดได้

นอกจากนี้ สามารถใช้ระบบแพลตฟอร์มรับแรงในการบันทึกข้อมูลน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างและภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะที่เดิน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักกดของอุ้งเท้าที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในจังหวะการก้าวเท้า และสามารถใช้ในการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักตัวไปที่อุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้างในขณะเดินได้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับสัตวแพทย์ในการรักษาและทำกายภาพบำบัดสุนัขได้

1.3 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับสุนัขที่มีน้ำหนักระหว่าง 2-40 kg โดยใช้เซ็นเซอร์แบบ FSR (force sensing resistor)
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การกดน้ำหนักของอุ้งเท้าของสุนัขขณะที่ยืนและขณะที่เดิน โดยใช้ระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำงาน

1. ประดิษฐ์ระบบแพลตฟอร์มรับแรงขนาดพื้นที่รับแรงกว้าง 12×12 cm^2
2. ทดสอบระบบแพลตฟอร์มรับแรงและปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้งานกับสุนัขที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 2-40 kg
3. นำระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่พัฒนาขึ้นมาศึกษาน้ำหนักที่กดลงที่อุ้งเท้าของสุนัขในขณะที่ยืน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานและโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกของสุนัข
2. ศึกษาหลักการทำงานของระบบแพลตฟอร์มรับแรง
3. ศึกษาองค์ประกอบและหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery Board
4. ศึกษาองค์ประกอบและหลักการทำงานของมัลติเพล็กซ์เซอร์เบอร์ CD4067BE
5. ศึกษาการส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์
6. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 และศึกษาการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และมัลติเพล็กซ์เซอร์ ด้วยภาษา C
7. เขียนโปรแกรมออกแบบวงจรชุดควบคุมระบบแพลตฟอร์มรับแรง
8. เขียนโปรแกรมแสดงผลเพื่อเชื่อมต่อระบบแพลตฟอร์มรับแรงบนคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา C#
9. ทดสอบการทำงานร่วมกันระหว่างระบบแพลตฟอร์มรับแรงและโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์
10. ปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรมต่าง ๆ ในระบบแพลตฟอร์มรับแรงให้ดียิ่งขึ้น
11. ทดสอบและบันทึกผลการกดน้ำหนักของอุ้งเท้าของสุนัขจากการยืนและการเดิน
12. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบสุนัขในขณะยืนและขณะเดิน
13. สรุปผลและเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้อุปกรณ์ระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่พัฒนาขึ้นเพื่อสามารถใช้วิเคราะห์การกดน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขจากการยืนและการเดินได้

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งความสำคัญของเนื้อหาออกเป็น 6 บท ได้แก่ บทที่ 1 บทนำ ซึ่งประกอบด้วยส่วนของที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ผล วัตถุประสงค์ ขอบเขตการทำงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับและโครงสร้างของวิทยานิพนธ์ บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทบทวนวรรณกรรม ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการยืนและการเดินของสุนัขที่ปกติ โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกของสุนัข การตรวจและการวินิจฉัยโรคของสุนัข ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบแพลตฟอร์มรับแรง และในส่วนสุดท้ายของบทที่ 2 ได้กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงและการนำระบบแพลตฟอร์มรับแรงไปใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์การยืน การเดินและการกระโดดของมนุษย์หรือสัตว์ อีกทั้งยังมีการนำไปใช้พัฒนาลู่เดินและร้องเท้ากีฬาเพื่อใช้วิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของมนุษย์อีกด้วย ในบทที่ 3 การออกแบบสถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อใช้วิเคราะห์การยืนและการเดินของสุนัข ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน ส่วนแรกจะกล่าวถึงระบบตรวจจับแรงที่ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับน้ำหนักกดจากสัตว์หรือน้ำหนักมาตรฐานและการออกแบบระบบแพลตฟอร์มรับแรง ส่วนที่สองจะกล่าวถึงระบบประมวลผลข้อมูลหรือส่วนปรับสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีการทำงานร่วมกันของมัลติเพล็กเซอร์และไมโครคอนโทลเลอร์ และส่งข้อมูลต่อไปยังระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล นอกจากนี้ยังได้นำการปรับเทียบน้ำหนักมาตรฐานกับระบบตรวจจับแรงเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กดลงบนหน้าสัมผัสของ FSR และแรงดันเอาท์พุต (V_{out}) ซึ่งเป็นแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานอ้างอิง (R_{ref}) ที่มีค่าแรงดันแปรผันตรงตามน้ำหนักที่กดลงบนหน้าสัมผัสของ FSR และส่วนสุดท้าย คือ การทดสอบการตรวจจับการกระจายน้ำหนักโดยใช้น้ำหนักมาตรฐานที่มีรูปร่างของฐานที่ต่างกัน 3 แบบ เพื่อทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการตรวจจับน้ำหนักกด (หรือแรงกด) ของระบบแพลตฟอร์มรับแรงและเพื่อดูการกระจายน้ำหนักของน้ำหนักมาตรฐานที่มีรูปร่างของฐานที่แตกต่างกันก่อนนำไปใช้วัดน้ำหนักจากน้ำหนักกดจากเท้าสุนัข ในบทที่ 4 การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะยืน เป็นการตรวจจับน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในขณะยืนที่กดลงบนตัวแพลตฟอร์มรับแรง จากนั้นนำข้อมูลน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างขณะที่ยืนนิ่งมาวิเคราะห์ผลหาค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักรวมจากข้อมูลของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างและเปรียบเทียบการกระจายน้ำหนัก

ไปยังเท้าแต่ละข้างของสุนัขและวิเคราะห์ความสมดุลของน้ำหนักตัวในขณะที่ยืนของสุนัขแต่ละขนาดและสายพันธุ์ ในบทที่ 5 การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดิน เป็นการตรวจน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าแต่ละข้างในขณะเดินของสุนัขที่กดน้ำหนักลงบนตัวแพลตฟอร์มรับแรง จากนั้นนำข้อมูลน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างขณะเดินมาวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการกระจายน้ำหนักไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างในขณะเดินของสุนัข และในบทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยซึ่งประกอบด้วยข้อดีและข้อเสียของระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในขณะยืนและขณะเดิน เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียกับงานวิจัยอื่นที่กล่าวถึงในส่วนทบทวนวรรณกรรม และสุดท้ายได้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงในอนาคตต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

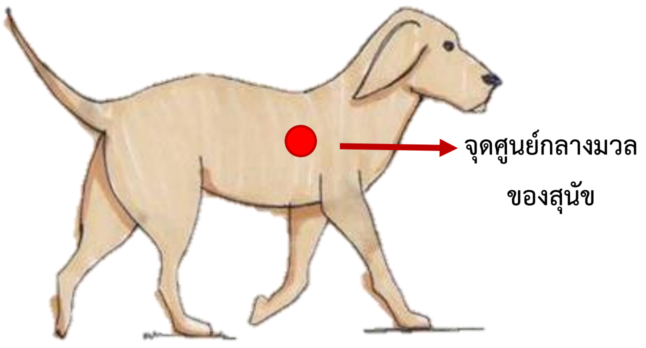
บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานและทบทวนวรรณกรรม

ในการพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อใช้สำหรับตรวจจับการกดน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัข จำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของระบบแพลตฟอร์มรับแรง (Force platform system) ลักษณะการยืนและการเดินของสุนัข และวิธีการบันทึกผลและการวิเคราะห์การกดน้ำหนักของอุ้งเท้าของสุนัข เพื่อให้สามารถพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่สามารถตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะที่ยืนหรือเดินได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ในบทที่ 2 นี้จึงขอกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการยืนและการเดินของสุนัข เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์การกดน้ำหนักของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืนและขณะเดิน และจะกล่าวถึงลักษณะ อาการ และการตรวจวินิจฉัยของโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (Musculo-skeletal disease) ของสุนัข ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงหลักการของระบบแพลตฟอร์มรับแรง และการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบแพลตฟอร์มรับแรงด้วย

2.1 สรีระวิทยาของสุนัข (Canine Physiology)

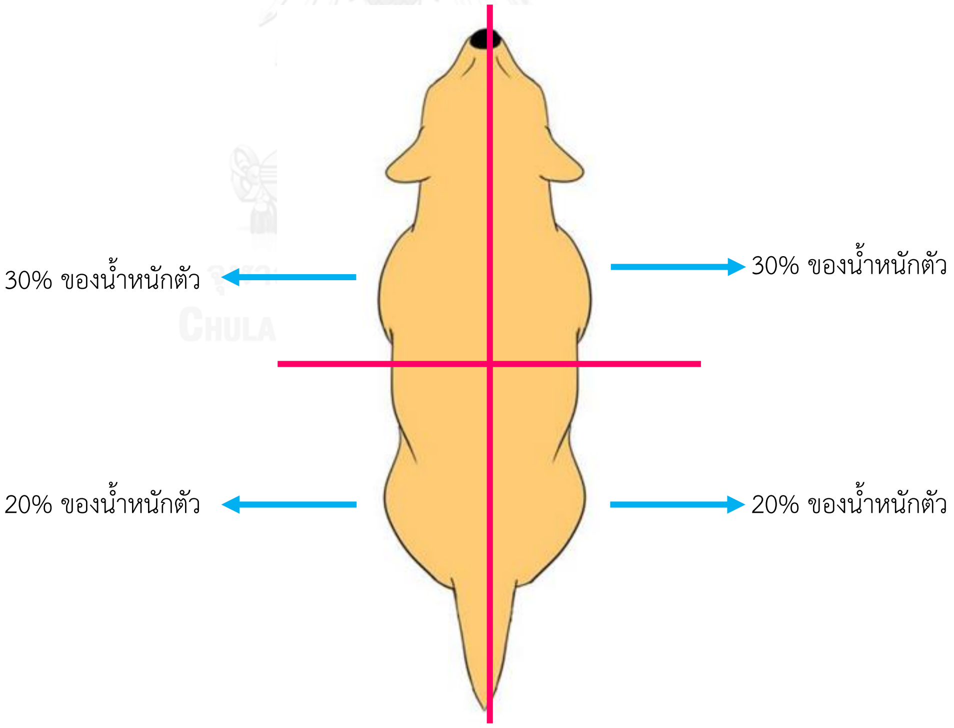
สุนัขเป็นสัตว์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางด้านสรีระเป็นโครงกระดูก ซึ่งโครงกระดูกนี้จะมีทั้งกระดูกแข็งและกระดูกอ่อน ทำหน้าที่ค้ำจุนร่างกายให้สามารถคงรูปร่างได้ เพิ่มความแข็งแรงให้กับอวัยวะ และยังเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle) ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว (Locomotor apparatus) [5] โครงสร้างร่างกายของสุนัขนั้นจะแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า สุนัขมีลำตัวที่ขนานกับพื้น มีส่วนลำคอที่ตั้งตรง และมีจุดศูนย์กลางมวล (center of mass) ตรงตำแหน่งกลางหน้าอก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างร่างกายของสุนัขและมีจุดศูนย์กลางมวลตรงตำแหน่งกลางหน้าอก

2.2 ลักษณะการยืนของสุนัข

สุนัขเป็นสัตว์ที่มีโครงสร้างของลำตัวขนานกับพื้นและมีขาตั้งฉากกับพื้นทั้ง 4 ข้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สุนัขปกติจะมีลักษณะการยืนที่มีการกระจายของน้ำหนักตัวลงบนอุ้งเท้าคู่หน้า (ซ้ายและขวา) ประมาณ 60% ของน้ำหนักตัวและอุ้งเท้าคู่หลังประมาณ 40% ของน้ำหนักตัว [3] โดยจะมีการแบ่งน้ำหนักไปทางข้างซ้ายและขวาในปริมาณที่เท่า ๆ กันดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวาจะมีการกระจายของน้ำหนักตัวอยู่ที่ประมาณ 30% ของน้ำหนักตัว ส่วนอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวาจะมีการกระจายของน้ำหนักตัวอยู่ที่ประมาณ 20% ของน้ำหนักตัว โดยส่วนของอุ้งเท้าคู่หน้าจะสัมผัสกับพื้นในลักษณะเหยียดไปด้านหน้าและขาหน้าจะทำมุมตั้งฉาก (≤ 90°) กับพื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เพื่อรองรับน้ำหนักตัวในส่วนด้านหน้า ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนหัว ช่วงหน้าอกและอวัยวะภายในลำตัวส่วนหน้า (ซึ่งประกอบด้วยกระดูกซี่โครง หลอดลม หัวใจ เป็นต้น) ส่วนของขาคู่หลังจะเหยียดไปด้านหลังของลำตัวและจะทำมุมองศากับพื้นที่ใกล้เคียงกัน (≈90°) เพื่อช่วยพยุงลำตัวในส่วนของช่วงท้องและกระดูกเชิงกราน ให้สามารถเคลื่อนไหวหรือยืนอยู่กับที่ได้ [6]



รูปที่ 2.2 การกระจายน้ำหนักไปที่อุ้งเท้าของสุนัขทั้ง 4 ข้างในขณะยืน

รูปที่ 2.3 สุนัขในท่ายืนที่ปกติ

สุนัขที่มีความผิดปกติ ไม่ว่าจะเป็นอาการบาดเจ็บจากบาดแผล ข้ออักเสบ เอ็นอักเสบ หรือจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้สุนัขมีการกระจายน้ำหนักตัวลงบนอุ้งเท้าแต่ละข้างที่ผิดสัดส่วนไปเมื่ออุ้งเท้าสัมผัสกับพื้นในท่ายืน ขาข้างที่ผิดปกติจะถ่ายเทน้ำหนักไปสู่อุ้งเท้าข้างที่ปกติทั้งสามข้าง การกระจายน้ำหนักตัวของสุนัขไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะของโครงสร้างลำตัว สายพันธุ์ อายุ และสุขภาพของสุนัข [2] สุนัขที่มีน้ำหนักตัวเกินมาตรฐานของแต่ละสายพันธุ์มีโอกาสที่น้ำหนักตัวจะกดลงบริเวณสะโพกมากขึ้นกว่าปกติ และอาจจะทำให้สุนัขมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกหรือมีโอกาสในการบาดเจ็บของขาที่ปกติเพิ่มมากขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นที่ถ่ายเทมาจากขาข้างที่ผิดปกติ ทำให้สมดุลของการกระจายน้ำหนักของสุนัขทางด้านซ้ายและด้านขวามีค่าไม่เท่ากับ 50:50 เมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว ถ้าหากปล่อยให้เกิดการกระจายน้ำหนักของขาแต่ละข้างที่ผิดปกติเป็นเวลานาน อาจจะส่งผลให้สุนัขมีลักษณะการยืนและการเดินที่ผิดปกติและอาจทำให้เกิดโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่รุนแรงขึ้นได้ [7]

2.3 ลักษณะการเดินของสุนัข

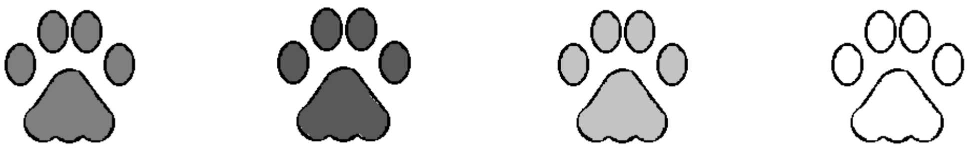
ในการเคลื่อนไหวของสุนัขจะมีระบบกระดูก ระบบกล้ามเนื้อและระบบประสาท เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งระบบทั้งสามนี้จะทำงานร่วมกันในขณะที่สุนัขเริ่มเคลื่อนไหว นอกจากการเคลื่อนไหวของขาคู่หน้าและขาคู่หลังแล้ว ส่วนของลำตัวตั้งแต่ส่วนหัวไปจนถึงส่วนหางของสุนัขก็จะมีการเคลื่อนไหวด้วยเช่นกัน โดยการเคลื่อนไหวในส่วนหัวและส่วนคอจะมีความสัมพันธ์กับขาคู่หน้าในขณะที่การเคลื่อนไหวของสะโพกสุนัขจะมีความสัมพันธ์กับขาคู่หลัง [8]

สุนัขจัดเป็นสัตว์ประเภท Digitigrade หมายถึงสัตว์ที่เดินด้วยอุ้งเท้าทั้งขาหน้าและขาหลัง ท่าเดินปกติของสุนัขจะใช้ขาและอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างในการเดิน โดยจะมีอุ้งเท้าอย่างน้อย 2 อุ้งเท้าที่สัมผัส

กับพื้นเสมอ ในระหว่างการเดินของสุนัขจะพบว่า น้ำหนักจะกดลงที่อุ้งเท้าคู่หน้าประมาณ 1.1 เท่าของน้ำหนักตัว และที่อุ้งเท้าคู่หลังประมาณ 0.8 เท่าของน้ำหนักตัว เมื่อมีความเร็วในการเดินประมาณ 3-5 ฟุต/วินาที หรือ 0.9-1.5 เมตร/วินาที โดยขณะที่สุนัขเดิน อุ้งเท้าหน้าจะสัมผัสพื้นเป็นเวลาที่นานกว่าเวลาที่อุ้งเท้าหลังสัมผัสพื้นถึง 1.5 เท่า [4] โดยที่ขาและอุ้งเท้าคู่หลังจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวโดยเฉพาะการเคลื่อนไหวไปด้านหน้า นอกจากนี้ความยาวของขาแต่ละข้างของสุนัขก็มีผลโดยต่อระยะเวลาที่อุ้งเท้าสัมผัสกับพื้น ซึ่งพบว่าสุนัขสายพันธุ์ที่มีขายาวจะใช้ระยะเวลาที่อุ้งเท้าสัมผัสกับพื้นยาวกว่าสุนัขสายพันธุ์ที่มีขาสั้น ในการก้าวเดินของสุนัขสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ1) ระยะยืน (Stand phase) ซึ่งเป็นระยะที่เท้าสัมผัสกับพื้น โดยเริ่มจากสุนัขวางอุ้งเท้าสัมผัสกับพื้นและเริ่มออกแรงกดจากน้ำหนักตัวกับพื้น จึงทำให้มีพื้นที่การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปจนถึงช่วงช่วงที่มีน้ำหนักกดสูงสุด หลังจากนั้นสุนัขจะเริ่มก้าวขาออกจากพื้นโดยยกอุ้งเท้าขึ้นและมีพื้นที่การกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าลดลง และ 2) ระยะก้าว (Swing phase) เป็นระยะที่สุนัขเริ่มเท้ายกขึ้นจากพื้นจนยกเท้าขึ้นสูงสุด จากนั้นจะเริ่มวางอุ้งเท้าลงสัมผัสกับพื้นใหม่อีกรอบ [9] ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แสดงช่วงจังหวะการเดินของสุนัข รูปที่ 2.4 เป็นจังหวะที่อุ้งเท้าสุนัขสัมผัสพื้นขณะเดินจะมีการกระจายน้ำหนักน้ำหนักลงบนอุ้งเท้าที่แตกต่างกันตามช่วงจังหวะการเดิน และในรูปที่ 2.5 แสดงจังหวะการวางเท้าในขณะเดินของสุนัข [7]

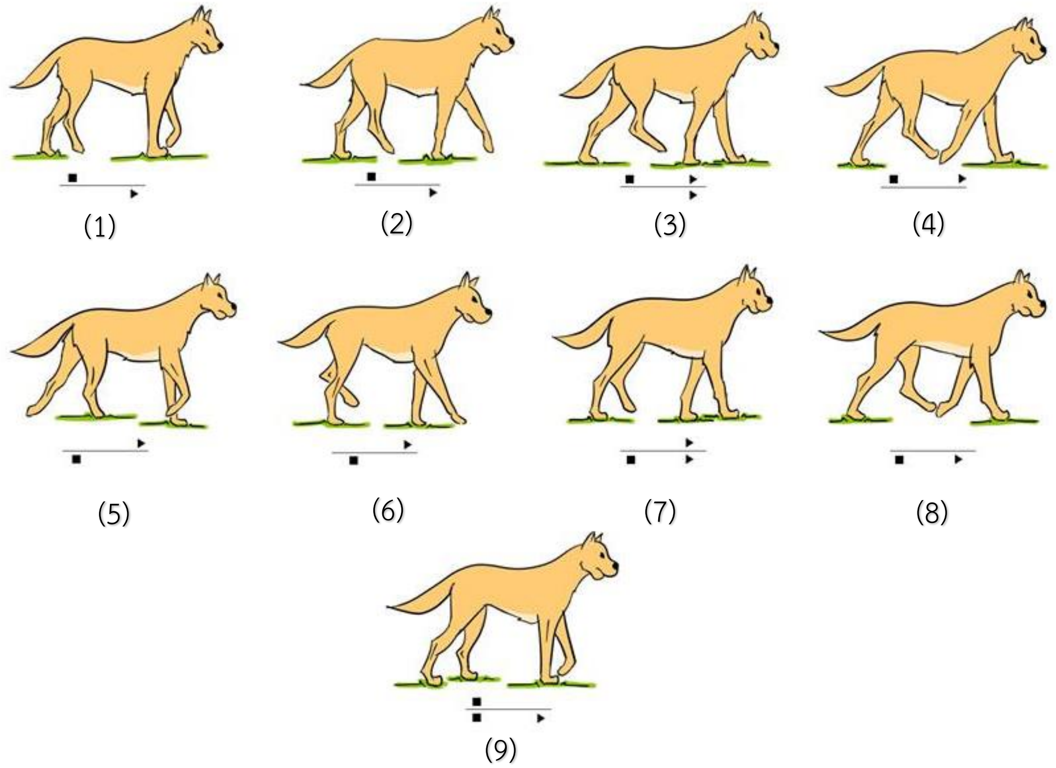
ตารางที่ 2.1 ช่วงจังหวะการวางเท้าในขณะเดินของสุนัข

ช่วงจังหวะ	ลักษณะการลงน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัข
Support phase	เป็นช่วงที่อุ้งเท้าสุนัขสัมผัสกับพื้น ทำให้มีพื้นที่การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขอย่างรวดเร็ว
Thrust phase	เป็นช่วงที่น้ำหนักกดเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงที่น้ำหนักกดสูงที่สุดและมีพื้นที่การกระจายน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
Lift phase	เป็นช่วงที่สุนัขเริ่มก้าวเท้าออกจากพื้นจึงทำให้มีน้ำหนักกดลดลงและพื้นที่การกระจายน้ำหนักเริ่มลดลง
Swing phase	เป็นช่วงที่ไม่มีส่วนใดของเท้าสุนัขสัมผัสกับพื้น



(ก) น้ำหนักกดปานกลาง | (ข) น้ำหนักกดมาก | (ค) น้ำหนักกดน้อย | (ง) ไม่มีน้ำหนักกด

รูปที่ 2.4 น้ำหนักที่กดลงบนฝ่าเท้าสุนัขในจังหวะเดินทั้ง 4 จังหวะ [6]
(ก) support phase (ข) thrust phase (ค) lift phase และ (ง) swing phase



รูปที่ 2.5 จังหวะการวางเท้าในขณะเดินของสุนัข โดยจังหวะที่ 1 สุนัขเริ่มยกเท้าหน้าซ้ายขึ้น จังหวะที่ 2 สุนัขจะเริ่มวางเท้าหน้าซ้ายบนพื้นพร้อมกับยกเท้าหลังขวา จังหวะที่ 3 สุนัขวางเท้าหน้าซ้ายสัมผัสกับพื้นและยกเท้าหลังขวาสูงขึ้น จังหวะที่ 4 สุนัขเริ่มยกเท้าหน้าขวาและเริ่มวางเท้าหลังขวาบนพื้น จังหวะที่ 5 สุนัขวางเท้าหลังขวาบนพื้นและยกเท้าหลังซ้ายขึ้นจากพื้นและยกเท้าหน้าขวาขึ้นสูง จังหวะที่ 6 สุนัขยกเท้าหลังซ้ายขึ้นสูงสุดและเตรียมที่จะวางเท้าหน้าขวาบนพื้น จังหวะที่ 7 สุนัขวางเท้าหน้าขวาบนพื้นพร้อมทั้งเตรียมวางเท้าหลังซ้ายบนพื้น จะมีเท้าที่สัมผัสกับพื้นอยู่ 3 เท้า จังหวะที่ 8 สุนัขยักเท้าหลังขวาขึ้นสูงสุดแล้วเหวี่ยงไปด้านหน้าและยกเท้าหน้าซ้ายขึ้นเหนือพื้น และจังหวะที่ 9 สุนัขวางเท้าหลังขวาบนพื้นและเตรียมวางเท้าหน้าซ้ายบนพื้น สุนัขจะเดินด้วยจังหวะการวางเท้าแบบนี้ไปตลอดจนการเคลื่อนที่ [4]

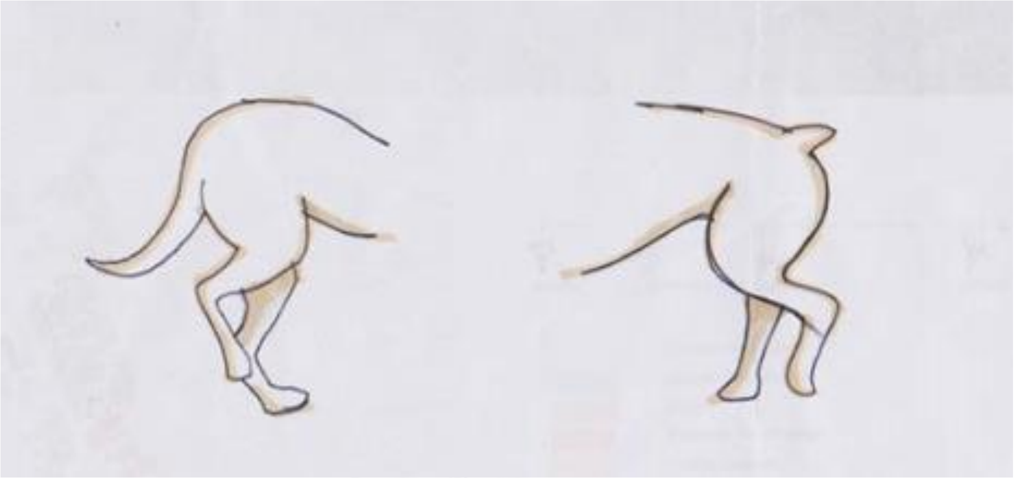
ในสุนัขที่มีสุขภาพที่สมบูรณ์และแข็งแรงจะมีการเดินที่ปกติ แต่ถ้าสุนัขที่มีอาการผิดปกติหรือมีอาการบาดเจ็บอาจส่งผลให้สุนัขมีท่าทางการเดินที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อไม่ให้น้ำหนักไปกดลงที่ขาที่เจ็บและป้องกันอุ้งเท้าข้างที่เจ็บสัมผัสกับพื้น กรณีที่สุนัขเกิดการบาดเจ็บที่ขาหน้า สุนัขจะมีช่วงก้าวของขาข้างที่เจ็บสั้นกว่าปกติ เพื่อเป็นการลดแรงกดจากน้ำหนักตัวในขณะที่อุ้งเท้าของขาข้างที่เจ็บสัมผัสกับพื้นและยกศีรษะให้สูงขึ้นเพื่อถ่ายเทน้ำหนักไปสู่ขาหลัง สำหรับกรณีที่สุนัขเกิดการบาดเจ็บที่ขาหลัง สุนัขจะก้มศีรษะไปด้านหน้าในขณะเคลื่อนไหวเพื่อถ่ายเทน้ำหนักตัวไปสู่ขาหน้า สุนัขที่ความผิดปกติที่ขาหลัง พบว่าหางสุนัขจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นและลงในแนวตั้ง โดยจะยกหางขึ้นในขณะที่อุ้งเท้าของขาข้างที่เจ็บสัมผัสกับพื้นแทนการแกว่งไปทางซ้ายและขวาซึ่งเป็นลักษณะของสุนัขปกติ ทำให้สัตวแพทย์สามารถวินิจฉัยถึงความผิดปกติจากการเดินของสุนัขที่ไม่สมมาตรอันเป็นผลมาจากความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกได้ [6]

2.4 โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกในสุนัข

โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกในสุนัข (Musculoskeletal disease) เป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบกล้ามเนื้อและระบบโครงร่างของสุนัข [1] โดยทั่วไปจะพบโรคนี้ได้ในสุนัขทุกสายพันธุ์ ทุกเพศ และทุกวัย ส่วนใหญ่มักจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเคลื่อนไหวของสุนัข ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วและรุนแรง อุบัติเหตุ อายุ และความผิดปกติของโครงสร้างร่างกายสุนัข ความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่ระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกนี้ยังสามารถบ่งบอกถึงโรคของกล้ามเนื้อที่มีปัญหาทางระบบประสาท สารพิษในร่างกาย ฮอร์โมนที่ช่วยในการเผาผลาญของร่างกายที่ผิดปกติ โรคติดเชื้อในกระแสเลือด ความผิดปกติของหลอดเลือด และโภชนาการที่ดีหรือไม่ดีของสุนัขได้อีกด้วย โดยจะส่งผลให้สุนัขแสดงอาการเจ็บปวดและมีการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ เช่น มีลักษณะการยืนที่ไม่สมดุลและมีท่าทางการเดินที่ผิดปกติหรืออาการขากะเผลก (Lameness) ซึ่งสุนัขจะถ่ายเทน้ำหนักไปยังขาข้างที่ไม่บาดเจ็บ จะส่งผลให้ขาที่ไม่บาดเจ็บรับน้ำหนักมากขึ้นและอาจทำให้เกิดโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกตามมาได้ [10]

ภาวะเจ็บขาหรืออาการขากะเผลกนั้น เป็นความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงการวางเท้าเพื่อรับน้ำหนักตัวของอุ้งเท้าสุนัข ในขณะยืน เดิน หรือวิ่ง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการกระแทกในขณะที่เคลื่อนที่ อุบัติเหตุหรือการทำงานที่ผิดปกติของโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่างกาย ซึ่งอาจส่งผลต่อกล้ามเนื้อ เอ็น ข้อต่อ เส้นประสาท และระบบประสาท โดยสุนัขอาจแสดงอาการขากะเผลกที่ขาข้างใดข้างหนึ่งหรือหลายขาร่วมกัน แสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถสังเกตได้ในขณะที่สุนัขเคลื่อนไหวร่างกายจะพยายามไม่ลงน้ำหนักที่ขาข้างที่เจ็บหรือยกขาข้างที่เจ็บไว้ตลอดเพื่อลดการ

สัมผัสกับพื้น และอาจมีอาการบวม (Swelling) ของกล้ามเนื้อหรือบริเวณข้อที่เกิดการเจ็บปวดร่วมอยู่ด้วย



รูปที่ 2.6 สุนัขที่มีอาการขากะเผลกที่ขาหลังจะยกขาข้างที่เจ็บปวดขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสอุ้งเท้ากับพื้น

โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกในสุนัขที่สามารถพบได้ทั่วไปมีหลากหลายโรค ได้แก่ โรคข้อเสื่อม (Degenerative joint disease, DJD หรือ Osteoarthritis) โรคข้ออักเสบ (Septic arthritis) โรคกระดูกสะบ้าเคลื่อนหลุด (Patellar luxation) โรคข้อสะโพกเคลื่อนหลุด (Coxofemoral Luxation) และโรคข้อสะโพกเจริญผิดปกติ (Canine Hip Dysplasia) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.1 โรคข้อเสื่อม (Osteoarthritis)

โรคข้อเสื่อมเป็นโรคที่เกิดจากการอักเสบของข้อและเนื้อเยื่อบริเวณรอบข้อแบบไม่ติดเชื้อ ซึ่งจะพบมากที่ ข้อไหล่ ข้อศอก ข้อสะโพก และข้อเข่า ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติบริเวณกระดูกอ่อน พบได้บ่อยในสุนัขที่มีอายุเกิน 1 ปี [11] โดยเกิดจากการกระแทกและการเสียดสีของข้อต่อในขณะเคลื่อนไหว จึงทำให้เกิดการสึกกร่อนของกระดูกอ่อนบริเวณผิวของข้อต่อ ส่งผลให้ผิวกระดูกและเนื้อเยื่อบริเวณช่องว่างของข้อต่อจะมีลักษณะที่หนาขึ้นและไม่เรียบ จึงทำให้ข้อต่อนั้นเสื่อมสภาพและทำให้ช่องว่างในข้อต่อนั้นมีลักษณะกว้างหรือแคบกว่าปกติ อีกทั้งน้ำไขข้อ (synovial fluid) ซึ่งเป็นสารหล่อลื่นบริเวณข้อต่อจะถูกผลิตออกมาน้อยหรือมีคุณภาพที่แย่ลง จึงทำให้เกิดการสึกกร่อนของผิวข้อต่อและเนื้อเยื่อบริเวณรอบ ๆ เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวของข้อต่อ สุนัขที่เป็นโรคนี้จะมีอาการเดินขากะเผลกหรือมีลักษณะการยืนและการเดินที่ผิดปกติ ซึ่งสุนัขมีอาการข้อเสื่อมที่ขาหน้าขวา จึงทำให้ขาข้างนั้นมีการลงน้ำหนักน้อยและถ่ายเทน้ำหนักไปยังขาฝั่งตรงข้ามซึ่งก็คือขาหน้าซ้ายและขาหลังขวา โดยจะสังเกตได้ว่าสุนัขจะยืนในลักษณะเอนไปทางด้านหน้าเล็กน้อย ในปัจจุบันวิธีรักษาโรคข้อเสื่อมนี้

ทำได้โดยการตัดหัวกระดูกในส่วนที่ยื่นหรือไม่เรียบออก ใช้ยาช่วยยับยั้งการสึกกร่อนของผิวข้อต่อของกระดูกอ่อน และการทำกายภาพบำบัด เป็นต้น [1]

2.4.2 โรคข้ออักเสบ (Septic arthritis)

มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อแบคทีเรียที่มีการแพร่กระจายเข้าสู่ข้อหรืออาจเกิดจากภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง และอาจเกิดจากอุบัติเหตุที่มีบาดแผลทะลุถึงข้อต่อ หรือเกิดจากการผ่าตัดบริเวณข้อต่อ เป็นโรคที่เกิดการอักเสบบริเวณภายในช่องว่างของข้อต่อ โรคข้ออักเสบสามารถสังเกตได้จากการบวมและแดงบริเวณข้ออย่างชัดเจน เมื่อคลำบริเวณที่อักเสบจะรู้สึกอุ่น สุนัขจะแสดงอาการเจ็บเมื่อกดบริเวณข้อและมีอาการเดินขากะเผลกร่วมด้วย หากปล่อยไว้นานอาจส่งผลให้เกิดการเลื่อนหลุดของข้อต่อได้ โรคนี้มีการตอบสนองต่อการรักษาด้วยยาปฏิชีวนะและยาลดการอักเสบ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรักษามาก

2.4.3 โรคกระดูกสะบ้าเคลื่อนหลุด (Patellar luxation)

เป็นความผิดปกติที่พบได้บ่อยในสุนัขที่มีช่วงอายุน้อย ส่วนใหญ่จะพบในสุนัขพันธุ์เล็กและพบในเพศเมียมากกว่าเพศผู้ [7] เช่น ปอมเมอเรเนียน พุดเดิ้ล ชิวาวา เป็นต้น มีสาเหตุมาจากพันธุกรรมและความผิดปกติของข้อเข่า (Stifle joint) โรคสะบ้าเคลื่อนนี้แบ่งได้ 2 ลักษณะคือ สะบ้าเคลื่อนออกไปด้านนอก (Lateral patellar luxation) และสะบ้าเคลื่อนเข้าไปด้านใน (Medial patellar luxation) ส่วนใหญ่จะพบการเคลื่อนของสะบ้าไปด้านในมากกว่าการเคลื่อนที่ของสะบ้าไปด้านนอก สุนัขจะแสดงอาการเจ็บปวดออกมาโดยการเดินขากะเผลกหรือแสดงอาการขาโก่ง และไม่สามารถใช้ขาข้างที่เจ็บลงน้ำหนักได้ปกติ โรคนี้ยังเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการฉีกขาดของเอ็นไขว้หน้า (Cranial cruciate ligament) และยังส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของกระดูกอ่อนของสะบ้าด้านที่ทำหน้าที่เป็นผิวสัมผัส หากไม่รีบรักษาหรือได้รับการรักษาที่ไม่ดีเพียงพอจะทำให้กลายเป็นโรคข้อเสื่อมได้ รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการยืนของสุนัขที่ป่วยเป็นโรคกระดูกสะบ้าเคลื่อนหลุด ซึ่งพบว่าสุนัขลงน้ำหนักไปยังขาหลังขวาน้อยกว่า 20% ของน้ำหนักตัว แต่กระจายน้ำหนักไปยังขาหน้าขวาและขาหลังซ้าย (กระจายน้ำหนักไปยังขาฝั่งตรงข้าม) เพื่อลดอาการเจ็บปวดในการสัมผัสพื้นและเพื่อช่วยพยุงตัวให้ยืนอยู่ได้ [12]

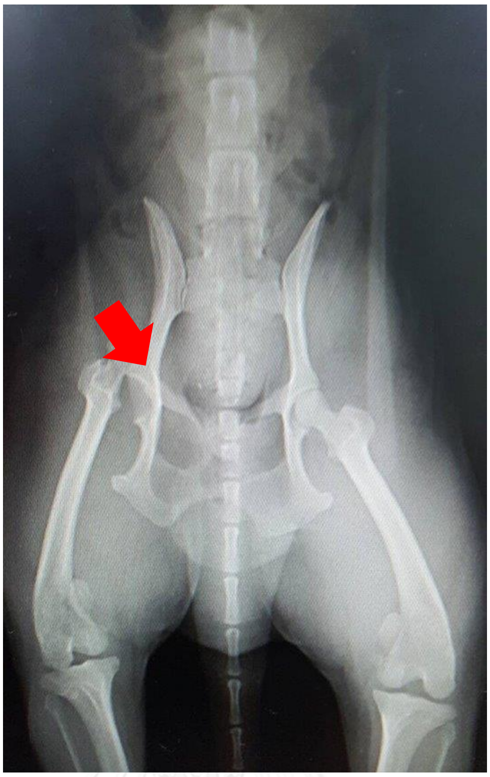
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.7 ลักษณะการยืนของสุนัขที่ป่วยเป็นโรคกระดูกสะบ้าเคลื่อนหลุดที่ขาหลังขวาจะมีลักษณะการยืนที่ไม่สมดุลและข้อเข่าบิดเข้าด้านใน

2.4.4 โรคข้อสะโพกเคลื่อนหลุด (Coxofemoral Luxation)

ข้อสะโพกนั้นมีลักษณะคล้ายลูกบอลและมีเบ้าลักษณะกลมเพื่อรองรับข้อสะโพกที่ตำแหน่งของกระดูกเชิงกราน ในสภาวะปกติข้อสะโพกจะสามารถหมุนได้อย่างอิสระในเบ้ารับและมีเส้นเอ็นยึดกระดูกกับข้อสะโพกไว้ สำหรับสุนัขที่มีความผิดปกติที่ข้อสะโพกจะพบความผิดปกติของเบ้าสะโพกและหัวต่อกระดูกต้นขาหลัง ซึ่งอาจเกิดจากการอักเสบของข้อหรือการเสื่อมสภาพของกระดูกอ่อนบริเวณข้อต่อ ส่งผลให้มีภาวะข้อบวม มีการงอกของกระดูกที่หนาขึ้น สุนัขอาจจะแสดงอาการตั้งแต่ในวัยเด็กจนถึงวัยโตเต็มที่

โรคข้อสะโพกเคลื่อนหลุดมีสาเหตุหลักมาจากอุบัติเหตุ โดยมีลักษณะอาการที่หัวกระดูกต้นขาหลุดออกจากเบ้าที่อยู่ในกระดูกเชิงกราน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สุนัขที่เป็นโรคนี้มักจะไม่ยอมเอาเท้าสัมผัสกับพื้นเพื่อรับน้ำหนักตัว แต่จะยกขาหันออกไปด้านนอกตลอดเวลาจึงทำให้ขาข้างที่เจ็บสั้นกว่าข้างที่ปกติ และอาจมีอาการอื่นร่วมด้วย เช่น ขาเจ็บ บวม และปวดบริเวณสะโพก ซึ่งแพทย์จะทำการตรวจวินิจฉัยโรคนี้โดยการคลำ โดยจะเริ่มคลำขาข้างที่ปกติเทียบกับขาข้างที่ผิดปกติเพื่อดูตำแหน่งของความผิดปกติ ถ้าหากทิ้งไว้ไม่รักษาเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดการอักเสบที่ข้อตามมาได้



รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ของสุนัขที่เป็นโรคข้อสะโพกเคลื่อนหลุดที่ข้อสะโพกด้านซ้าย (ที่ลูกศรชี้) โดยหัวกระดูกเคลื่อนหลุดออกจากเบ้ากระดูกเชิงกรานขึ้นไปด้านบน

2.4.5 โรคข้อสะโพกเจริญผิดปกติ (Canine Hip Dysplasia)

เป็นโรคที่พบบ่อยที่ขาหลังของสุนัขพันธุ์ใหญ่ ส่งผลให้สุนัขมีอาการเจ็บขา เดินขากะเผลก หรืออาจไม่ลุกเดินเนื่องจากมีอาการเจ็บที่ข้อสะโพก รูปที่ 2.9 แสดงภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ ของสุนัขที่มีอาการข้อสะโพกเสื่อมที่ด้านขาหลังซ้าย ในระยะเริ่มแรกของโรคนี้จะเกิดภาวะไม่สมดุลของข้อต่อและกล้ามเนื้อบริเวณข้อสะโพกทำให้ข้อสะโพกมีลักษณะที่หลวม ส่งผลให้เกิดภาวะข้ออักเสบและภาวะข้อไม่ติดกันในเบ้าของข้อสะโพก [13] ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคนี้มาจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ความแข็งแรงของเส้นเอ็นที่ยึดสะโพกเสื่อมหรืออาจเกิดตั้งแต่ช่วงพัฒนาการการเติบโตของสุนัขในวัยเด็ก [1]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.9 ภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ของสุนัขที่เป็นโรคข้อสะโพกเสื่อมขาหลังด้านซ้าย (ที่ลูกศรชี้) หัวกระดูกจะเริ่มขรุขระและมีขนาดใหญ่กว่าเบ้ากระดูก

2.5 การตรวจและวินิจฉัยโรคในสุนัข

สัตวแพทย์สามารถตรวจและวินิจฉัยโรคต่าง ๆ ได้หลายวิธี โดยเริ่มแรกสัตวแพทย์ทำการซักประวัติ (History taking) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลเบื้องต้นที่มีความสำคัญมาก เช่น ข้อมูลทั่วไปของสัตว์ อายุ เพศ พันธุ์ ลักษณะการเลี้ยงดู และประวัติการเจ็บป่วยในอดีตและปัจจุบัน ต่อมาสัตวแพทย์จะเริ่มตรวจโดยการสังเกตลักษณะภายนอกด้วยตาเปล่า (Observation) ซึ่งเป็นการสังเกตจากท่ายืนเดินและวิ่งของสุนัข โดยสุนัขที่มีความผิดปกติที่ขาจะพยายามไม่ใช้ขาข้างที่ผิดปกติสัมผัสกับพื้นเพื่อลดแรงกดจากน้ำหนักตัวและจะถ่ายเทน้ำหนักตัวไปยังขาข้างที่ปกติ เมื่อทดสอบการเดินจะช่วยบอกได้ว่า สุนัขมีลักษณะการเดินที่ผิดปกติหรืออาการขากะเผลกที่บริเวณขาส่วนหน้าหรือส่วนหลังด้านซ้ายหรือด้านขวา การสังเกตลักษณะการเดินของสุนัขทำให้สัตวแพทย์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติของโรคข้อสะโพกผิดปกติได้ง่ายถ้าสังเกตจากด้านข้างของสุนัข ทำให้สามารถวิเคราะห์เจาะจงได้มากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงทำการตรวจแบบละเอียดโดยการคลำ (palpation) จะใช้มือคลำแบบนุ่มนวลเนื่องจากถ้าคลำแรงเกินไปอาจทำให้สุนัขเกิดการบาดเจ็บเพิ่มมากขึ้นและส่งผลให้สุนัขไม่ให้ความร่วมมือในการตรวจ วิธีการคลำนี้เป็นวิธีการตรวจทางกายภาพ เพื่อหาจุดที่ผิดปกติของสุนัข ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งสัตวแพทย์จะเริ่มคลำขาข้างที่ปกติก่อนเพื่อให้รู้ลักษณะโครงสร้างที่ปกติของสัตว์แต่

ละตัวและใช้ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับขาข้างที่ผิดปกติ โดยจะเริ่มตรวจจากการเคลื่อนไหวของข้อต่อ มุมองศาของข้อเท้าหน้าและข้อเท้าหลัง มุมองศาของข้อเข่าและข้อสะโพก เพื่อนำมาวิเคราะห์ว่าสามารถเคลื่อนที่ได้ปกติหรือมีการเปลี่ยนแปลงจากขาข้างปกติอย่างไร ซึ่งระดับความรุนแรงของอาการเจ็บขาแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 [7]

ตารางที่ 2.2 ระดับความรุนแรงของอาการขากะเผลกในสุนัข

ระดับ	อาการ
1	แทบไม่แสดงอาการเจ็บปวด
2	มีอาการเจ็บปวดเล็กน้อย แต่สามารถรับน้ำหนักตัวได้ และมีอาการเจ็บมากในขณะที่สุนัขวิ่งเหยาะ พบในโรคที่แสดงความรุนแรงมากขึ้น เช่น โรคข้อเสื่อม หรือในระยะฟื้นตัวหลังจากได้รับบาดเจ็บ
3	แสดงอาการเจ็บปวดชัดเจนและใช้ขาสัมผัสกับพื้นเพื่อการทรงตัวเท่านั้น
4	ไม่สามารถใช้ขาข้างที่เจ็บลงน้ำหนักได้และยกขาข้างที่เจ็บขึ้นเสมอ

รูปที่ 2.10 สัตวแพทย์ตรวจขาหลังของสุนัขโดยวิธีการคลำ เพื่อหาจุดผิดปกติของขาสุนัข

อย่างไรก็ตามการสังเกตท่าทางด้วยตาเปล่าและการตรวจแบบละเอียดโดยการคลำยังถือเป็นวิธีพื้นฐานที่สัตวแพทย์ใช้เพื่อประเมินความผิดปกติในการเดินและการลงน้ำหนักของสุนัข ซึ่งจะแบ่งเป็นระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันไปตามตารางที่ 2.2 แต่บางครั้งในช่วงเวลาที่ทำการตรวจนั้นสุนัขอาจไม่แสดงอาการเจ็บขาให้เห็นจึงทำให้สัตวแพทย์ไม่สามารถพบอาการที่แท้จริงของโรคได้ จึง

ใช้วิธีการตรวจโดยใช้ภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์เข้ามาช่วย ภาพถ่ายเอ็กซเรย์นั้นเป็นเทคนิคการถ่ายภาพที่สำคัญมากต่อการวินิจฉัยโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก การถ่ายภาพเอ็กซเรย์ที่ดีจะต้องอาศัยการจัดท่าทาง ปริมาณรังสีที่ใช้และประสบการณ์ของผู้ถ่าย โดยการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ทำให้สามารถเห็นโครงสร้างกระดูก กระดูกอ่อน กระดูกใต้กระดูกอ่อน เส้นเอ็น และกระดูกอ่อนผิวข้อได้ชัดเจนยิ่งขึ้น กระดูกที่มีความผิดปกติจะมีภาพถ่ายรังสีที่มีความโปร่งรังสีมากกว่าหรือน้อยกว่าปกติ [7]

2.6 ระบบแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับตรวจจับแรงกดจากน้ำหนักคนหรือสัตว์

ปัจจุบันระบบแพลตฟอร์มรับแรงมีความแพร่หลายในทางการแพทย์เป็นอย่างมาก ทั้งที่ใช้กับมนุษย์และที่ใช้กับสัตว์ โดยมากจะใช้เพื่อใช้ศึกษาจุดศูนย์กลางมวลของคนและสัตว์ ใช้สำหรับวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักที่ฝ่าเท้าในขณะยืน เดิน และกระโดด หรือใช้วิเคราะห์การเคลื่อนไหวในลักษณะต่าง ๆ [14] ระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแบบไม่รุกล้ำ (non–invasive) ที่ใช้สำหรับตรวจจับแรงกดจากน้ำหนักของร่างกายที่กดลงบนระบบแพลตฟอร์มรับแรงในขณะยืน เดิน หรือกระโดด [15] โดยลักษณะของระบบแพลตฟอร์มรับแรงนั้นจะมีรูปทรงที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะใช้งาน เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับแรง ได้แก่ สเตรนเกจ (Strain gauge) ไพโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive) โหลดเซลล์ (Load cell) ตัวต้านทาน (Resistor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) ระบบแพลต์ฟอร์มรับแรงนี้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้งานร่วมกับระบบอื่นได้ เช่น ระบบกล้องตรวจจับภาพขณะเคลื่อนไหวหรือหยุดนิ่ง การวัดสัญญาณชีพจร อัตราการหายใจ เป็นต้น [16] นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการกีฬา เพื่อศึกษาการเคลื่อนไหวของร่างกายและกล้ามเนื้อของนักกีฬาขณะที่มีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหว เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถภาพและการลงน้ำหนักของนักกีฬา อีกทั้งยังนำแพลตฟอร์มรับแรงมาใช้ในด้านกายภาพบำบัดและการฟื้นฟูสภาพก่อนและหลังการผ่าตัด เพื่อช่วยให้แพทย์สามารถวิเคราะห์อาการและแนวโน้มการรักษาได้ดียิ่งขึ้น [17]

2.7 ทบทวนวรรณกรรม

ในปี คศ.1989 D. E. Handley และคณะ [18] ได้ทำการวิจัยโดยใช้แพลตฟอร์มรับแรงเพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนไหวของหนูทดลองในอิริยาบทต่าง ๆ โดยแพลตฟอร์มรับแรงนี้ได้ใช้เซ็นเซอร์แบบไพโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) จำนวน 8 ตัว แบ่งออกเป็น 4 ชุด โดยวางที่มุมทั้ง 4 มุมของแพลตฟอร์ม เซ็นเซอร์แต่ละชุดจะทำหน้าที่วัดความสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนไหวของหนูทดลองและวัดการสั่นสะเทือนจากสิ่งแวดล้อมและยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงที่มีความถี่สูงแบบเทียบเวลาจริง (Real-time) ระบบแพลตฟอร์มนี้มีความเร็วในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลอยู่ที่1,000 ชุดข้อมูลต่อวินาที ในงานวิจัยนี้ได้มีการต่อเซ็นเซอร์อ้างอิงเข้าไปในระบบแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก ในส่วนของโครงสร้างแพลตฟอร์มรับแรงจะใช้วัสดุคาร์บอนสตีล (Carbon steel) เป็นแผ่นรับแรงกดและเป็นโครงสร้างของแพลตฟอร์มรับแรง โดยวัสดุคาร์บอนสตีลนี้เป็นวัสดุที่มีค่ายังโมดูลัสสูง จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นแผ่นรับแรงกด ทำให้สัญญาณที่ได้จากการวัดมีความเรียบสูงขึ้นและยังช่วยลดการสั่นสะเทือนจากแรงภายนอกขณะทำการวัด จึงทำให้ผลจากการวัดมีความผิดพลาดน้อย สัญญาณที่ได้จากการวัดมีคุณภาพที่ดี แต่ระบบแพลต์ฟอร์มนี้ไม่สามารถตรวจจับน้ำหนักมาตรฐานที่มากกว่า 500 g จึงทำให้ต้องจำกัดน้ำหนักในการวัดและด้วยการใช้ชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูลแบบสำเร็จรูปที่ติดตั้งภายนอกจำนวน 8 ชุด โดยอุปกรณ์ส่งข้อมูล 1 ชุดต่อ 1 เซ็นเซอร์ จึงทำให้ระบบแพลตฟอร์มมีขนาดที่ใหญ่และระบบแพลตฟอร์มมีความละเอียดสูงจึงทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย เพราะอาจจะทำให้ระบบแพลตฟอร์มเสียหายได้

ในปี คศ.2008 S. Xu และคณะ [19] ได้พัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อใช้ในการศึกษาจุดศูนย์กลางมวลขณะเดินของมนุษย์ ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเดินของนักกีฬาเพื่อหาจุดศูนย์กลางแรงกดของฝ่าเท้าขณะเดิน โดยมีข้อสรุปคือ ในขณะที่เดิน มนุษย์จะมีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ในช่วงจมูกเท้าของฝ่าเท้าจนถึงส้นเท้า แต่ถ้าเท้ามีลักษณะที่ผิดปกติหรือผิดรูปร่างก็จะทำให้จุดศูนย์กลางมวลของน้ำหนักอยู่ในตำแหน่งที่เปลี่ยนไป อาจจะเบี่ยงไปทางซ้ายหรือทางขวาซึ่งก็ขึ้นอยู่กับรูปเท้าของแต่ละคน โดยแพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นมีขนาด 480×480 mm^2 ซึ่งในระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้จะใช้เซนเซอร์แบบไพโซรีซิสทีพ (Piezoresistive type) จำนวน 1,600 ตัว มีพื้นที่ในการรับแรงขนาด 400×400 mm^2 และมีการจัดเรียงแบบเซนเซอร์ 1 ตัวต่อตารางเซนติเมตร โดยระบบแพลตฟอร์มนี้จะมีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 100 ชุดข้อมูลต่อวินาที เนื่องจากมีการใช้เซ็นเซอร์จำนวนมากจึงทำให้การทำงานในส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเกิดความล่าช้าและมีปัญหาในส่วนของการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์อีกด้วย แต่ในส่วนของแพลตฟอร์มรับแรงนั้นจะมีขนาดพื้นที่ที่ใหญ่เพียงพอต่อการวัดการกระจายของแรงกดจากน้ำหนักของเท้ามนุษย์ในขณะยืนและในขณะเดินได้พร้อมกันทั้งสองข้าง

ในปี คศ.2008 D. Gouwanda และคณะ [20] ได้พัฒนาแผ่นรับแรง (Force-sensing mat) ขนาด 480×540 mm^2 จำนวน 2 ชุด เพื่อใช้วิเคราะห์ท่าทางในการลงน้ำของคนในขณะเดิน วิ่ง และกระโดดแบบเทียบเวลาจริง (Real time) ซึ่งในแผ่นรับแรงแบบนี้จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนแผ่นรับแรง ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ FSR (Force Sensing Resistors) จำนวน 144 ตัว แบ่งเป็น 4 ส่วน ในแต่ละส่วนจะมี FSR จำนวน 6×6 ตัว และทุกส่วนจะต่อเชื่อมกัน และมีแผ่นอะครีลิคเป็นโครงสร้างของตัวเสื่อรับแรง ส่วนต่อมาคือ ส่วนปรับสภาพสัญญาณ จะประกอบด้วยตัวมัลติเพล็กเซอร์ (Multiplexer) จำนวน 24 ตัว โดยเซ็นเซอร์ 6 ตัวจะต่อกับ มัลติเพล็กเซอร์ 1 ตัว และใช้อุปกรณ์สำเร็จรูป NI PCI-6070E (DAQ) เพื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล มีอัตราการสุ่มข้อมูลอยู่ที่ 1.25 MSps. ซึ่งเป็นข้อดีทำให้ระบบสามารถบันทึกการกระจายน้ำหนักของเท้าได้ทุกจังหวะเนื่องจากระบบมีความเร็วที่สูงมาก และส่วนสุดท้ายคือ ส่วนโปรแกรมประมวลผล ใช้โปรแกรม LabVIEW™ เพื่อง่ายต่อการประยุกต์ใช้และง่ายต่อการพัฒนาต่อยอดของชิ้นงาน ในงานวิจัยชิ้นนี้มีข้อดีคือ คือสามารถเปิดไฟล์มัลติมิเดียบนคอมพิวเตอร์ในช่วงเวลานั้นได้เลยทำให้สามารถอ่านค่าน้ำหนักกดและดูภาพการกระจายน้ำหนักของเท้าในอิริยาบทต่าง ๆ ในขณะนั้นได้ อีกทั้งระบบยังสามารถเลือกเปิดดูข้อมูลการกระจายน้ำหนักของเท้าที่กดลงบนแผ่นรับแรงพร้อมกันทั้งสองระบบหรือจะเลือกดูแค่ส่วนใดส่วนหนึ่งก็ได้ และยังมีการบันทึกข้อมูลทั้งชื่อ ความสูง น้ำหนัก เวลาและวันที่ เพื่อง่ายต่อการเก็บข้อมูลอีกด้วย

ในปี คศ.2009 S.Jae และคณะ [21] ได้พัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงต่อจาก D. Gouwanda ที่ใช้ชื่อว่า Precision smart force platform ขนาด 500×450 mm^2 ขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การลงน้ำหนักของเท้ามนุษย์ในช่วงจังหวะเดินและกระโดด โดยใช้เซ็นเซอร์รุ่น Flexi Force A201–100 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์แบบไพโซรีซิสทีฟ จำนวน 144 ตัว โดยวางเซ็นเซอร์ 1 ตัวต่อตารางนิ้ว และยังทำการแบ่งชุดเซ็นเซอร์ออกเป็น 4 ส่วน จัดเรียงแบบเมทริกซ์ 6×6 ตัว โดยเซ็นเซอร์ 6 ตัวจะต่อกับมัลติเพล็กเซอร์ 1 ตัว ซึ่งทั้งระบบจะใช้มัลติเพล็กเซอร์จำนวน 24 ตัว และยังใช้อุปกรณ์สำเร็จรูป NI-DAQ ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดย NI-DAQ เป็นอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการส่งข้อมูลจึงทำให้ระบบแพลต์ฟอร์มนี้มีความเร็วในการส่งข้อมูล 100 ชุด ข้อมูลต่อวินาที สำหรับตัวโครงสร้างแพลตฟอร์มรับแรงจะใช้แผ่นอะครีลิคเป็นวัสดุสำหรับทำส่วนโครงสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความทนทานและสะดวกต่อการตัดด้วยเครื่องเลเซอร์ ในส่วนของโปรแกรมประมวลผลได้ใช้โปรแกรม LabVIEW™ ในการรวบรวมและแสดงผลข้อมูล ในงานวิจัยนี้ได้แสดงผลข้อมูลการกระจายน้ำหนักของเท้าในขณะยืนและขณะกระโดดเป็นแบบกราฟของน้ำหนักกดในขณะยืนและเดินต่อช่วงเวลาเพื่อง่ายต่อการดูว่า ณ เวลาขณะที่เท้าสัมผัสกับแพลตฟอร์มมีน้ำหนักกดเท่าไหร่ อีกทั้งยังมีตารางแบบเมทริกซที่แสดงค่าการกระจายน้ำหนักต่อจุดบนเซ็นเซอร์ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลอีกด้วย แต่ใน

งานชิ้นนี้ก็ยังไม่สามารถตรวจจับการกระจายน้ำหนักได้อย่างละเอียด เนื่องจากระยะห่างในการวางตัวเซ็นเซอร์มีระยะห่างกันมากเกินไป (เซ็นเซอร์ 1 ตัวต่อตารางนิ้ว)

ในปี คศ.2013 P. Chalayon และคณะ [22] ได้พัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับการวิเคราะห์แรงจากการยืนและการเดินของสุนัขขึ้น โดยการศึกษาน้ำหนักกดที่เกิดจากการกดของอุ้งเท้าของสุนัขที่ปกติและผิดปกติ ในระบบนี้จะประกอบไปด้วยแพลตฟอร์มรับแรง โดยใช้เซ็นเซอร์ FSR-400 จำนวน 144 ตัว และใช้มัลติเพล็กซ์เซอร์ขนาด 16 บิต จำนวน 12 ชุด เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทลเลอร์ PIC18F4550 เพื่อแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิตอล และส่งค่าที่ได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล เก็บข้อมูลและแปลผลเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขออกมาโดยใช้โปรแกรม LabVIEW™ โดยจะบันทึกข้อมูลพร้อมแสดงผลผ่านหน้าจอ ในรูปแบบตารางขนาด 120×120 mm^2 และในรูปแบบของกราฟ ซึ่งจะแสดงผลในแต่ละช่วงเวลา ทำให้สามารถแสดงรายละเอียดข้อมูลการลงน้ำหนักที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนอุ้งเท้าในแต่ละช่วงเวลาได้ แต่ระบบนี้มีข้อเสียคือมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ต่ำ (20 ชุดข้อมูลต่อวินาที) เนื่องจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีการทำงานและการรับและส่งข้อมูลที่ช้าเกินไป และมีพื้นที่ของตัวแพลตฟอร์มตรวจจับแรงที่เล็กเกินไป ทำให้สามารถเก็บข้อมูลน้ำหนักกดได้ทีละอุ้งเท้าเท่านั้น ทำให้ต้องใช้เวลามากในการเก็บข้อมูลทั้ง 4 เท้า

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาและค้นคว้ามานี้ ได้ข้อสรุปว่า ระบบแพลตฟอร์มรับแรงของแต่ละงานวิจัยนั้นมีส่วนคล้ายคลึงกันในด้านการตรวจจับแรงกดของน้ำหนัก โดยจะตรวจจับแรงกดของน้ำหนักในแนวตั้งฉากกับพื้นดินในการยืน การเดิน หรือการกระโดด ไม่ว่าจะเป็นมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งระบบแพลตฟอร์มรับแรงยังสามารถแบ่งส่วนการทำงานได้ 3 ส่วน คือ

1. ระบบตรวจจับแรงกดจากน้ำหนัก จะประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์จำนวนมาก จัดเรียงตัวในลักษณะแบบเมทริกซ์ โดยมีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ในการตรวจจับการกระจายแรงกดของน้ำหนักของสัตว์หรือคนที่กดลงไป โดยแต่ละระบบอาจจะใช้เซ็นเซอร์ที่แตกต่างกันไปและการจัดเรียงเซ็นเซอร์ที่ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละงาน

2. ระบบประมวลผลข้อมูลหรือระบบเก็บข้อมูล จะประกอบด้วยส่วนมัลติเพล็กเซอร์เพื่อให้ช่องสัญญาณในการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลมีจำนวนน้อยลง และส่วนปรับแต่งสัญญาณ ทำให้คุณภาพของสัญญาณมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อง่ายต่อการแปลงสัญญาณ จึงทำให้การทำงานของระบบรวดเร็วยิ่งขึ้น

3. โปรแกรมวิเคราะห์ผลข้อมูลหรือระบบแสดงผลของข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากระบบประมวลผลให้เป็นค่าเชิงคณิตศาสตร์แล้วแสดงผลบน

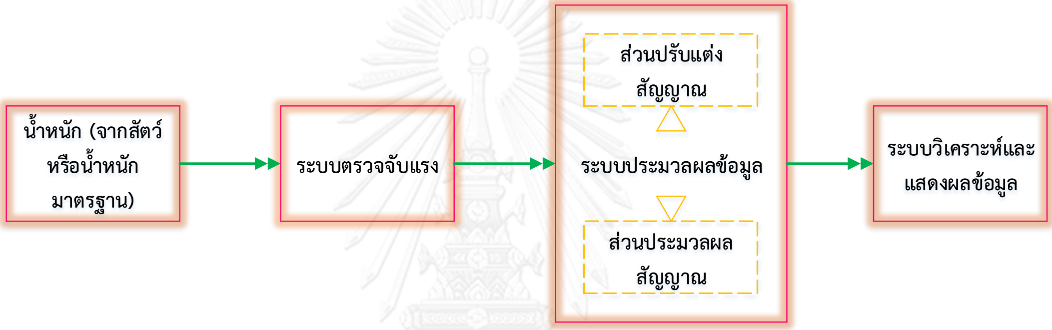
คอมพิวเตอร์ ซึ่งในส่วนนี้จะมีการแสดงผลที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบแพลตฟอร์ม โดยส่วนใหญ่จะแสดงเป็นกราฟ ในลักษณะ 2 มิติและ 3 มิติ ตารางแสดงการกระจายของน้ำหนักเป็นแบบเมทริกซ์ และแสดงข้อมูลของมนุษย์หรือสัตว์ที่ใช้ในการทดสอบ

จากข้อมูลงานวิจัยที่มีการพัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้ศึกษามานี้ จึงได้นำมาใช้ในการพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ใช้สำหรับตรวจจับแรงกดจากอุ้งเท้าของสุนัข เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์การยืนและการเดินของสุนัข โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงแบบค่าความต้านทาน จัดเรียงตัวแบบเมทริกซ์ 120×120 mm^2 มีส่วนประมวลผลที่นำมัลติเพล็กเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้สำหรับการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อหาความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยการทดสอบด้วยน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าน้ำหนักและรูปร่างที่แตกต่างกัน เพื่อหาสมการเปรียบเทียบสัญญาณกับค่าน้ำหนักสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ โดยอุปกรณ์ วิธีการ และขั้นตอนการพัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงนี้จะกล่าวต่อไปในบทที่ 3 และจากนั้นก็ได้ใช้ในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข ขณะที่ยืน (แสดงในบทที่ 4) และขณะที่เดิน (แสดงในบทที่ 5)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

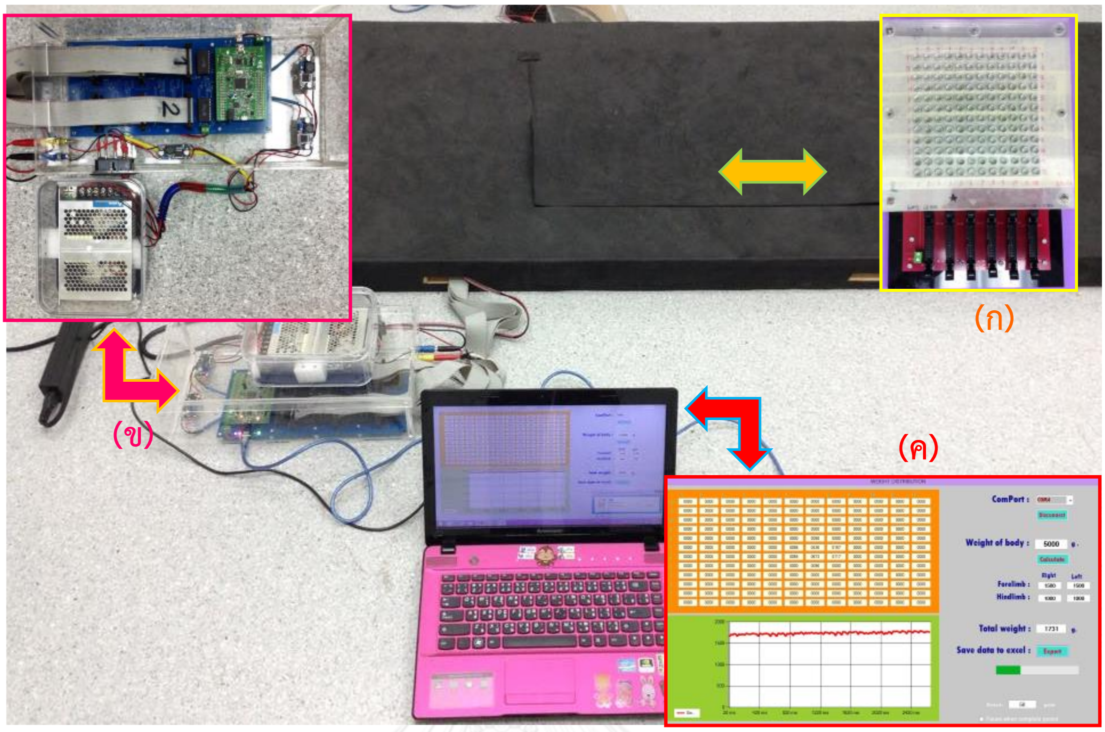
บทที่ 3
การออกแบบสถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบแพลตฟอร์มรับแรง

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อใช้วิเคราะห์การยืนและการเดินของสุนัข ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงระบบตรวจจับแรง (Force sensing system) จากสัตว์หรือน้ำหนักมาตรฐาน ส่วนที่สองจะกล่าวถึงระบบประมวลผลข้อมูล (Data processing system) และในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล (Data analyzing and presenting system) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบแพลตฟอร์มรับแรง

จากรูปที่ 3.1 ระบบแพลตฟอร์มรับแรงจะเริ่มต้นการทำงานเมื่อมีแรงกดหรือน้ำหนักมากดลงบนระบบตรวจจับแรง ซึ่งในระบบตรวจจับแรงประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์จำนวน 144 ตัว ที่สามารถแปลงค่าแรงกดของน้ำหนักให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยสัญญาณทางไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้จากระบบตรวจจับแรงจะถูกส่งไปยังส่วนปรับแต่งสัญญาณ เพื่อลดจำนวนสัญญาณทางไฟฟ้าจาก 144 ช่องสัญญาณให้เหลือเพียง 12 ช่องสัญญาณและส่งสัญญาณเข้าสู่ส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจากสัญญาณแอนะล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter : ADC) เมื่อได้สัญญาณดิจิตอลออกมาแล้วจะทำการส่งข้อมูลโดยผ่านทางพอร์ต USB (Universal Serial Bus) ไปยังระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ให้เป็นค่าน้ำหนักและแสดงผลบนคอมพิวเตอร์หรือ GUI (Graphical User Interface) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2015 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สะดวกในการประมวลผลและยังสามารถปรับใช้ตัวซอฟต์แวร์ได้ด้วยภาษา C# ซึ่งเป็นภาษาที่สะดวกในการเขียนคำสั่งควบคุมและง่ายต่อการนำมาพัฒนาหรือออกแบบหน้าจอแสดงผลอีกด้วย โดยระบบการทำงานของระบบแพลตฟอร์มรับแรงโดยรวมแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบการทำงานโดยรวมของระบบแพลตฟอร์มรับแรง (ก) ระบบตรวจจับแรง (ข) ระบบประมวลผลข้อมูลและ (ค) ระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล

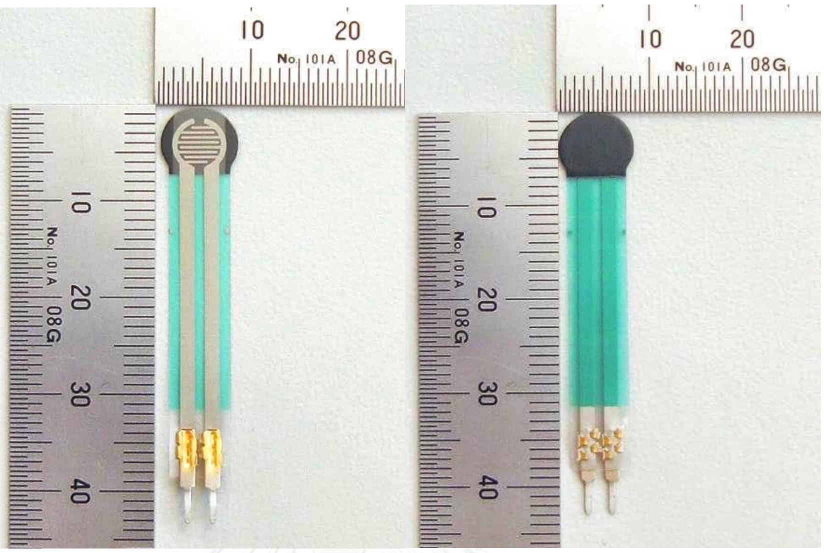
3.1 ระบบตรวจจับแรง

ระบบตรวจจับแรงได้ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจจับแรงกดของน้ำหนักมาตรฐานหรือแรงกดจากน้ำหนักของสุนัข (น้ำหนักตัว 2–40 kg) ที่กดบนอุปกรณ์ตรวจจับแรงที่มีโครงสร้างประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ที่มีจำนวน 144 ตัว จัดวางเรียงตัวในลักษณะตารางขนาด 12×12 cm^2 โดยใช้เซ็นเซอร์ 1 ตัวต่อพื้นที่ 1 cm^2 และเซ็นเซอร์แต่ละตัวจะเชื่อมต่อเข้ากับแผงวงจรไฟฟ้า เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปคำนวณในกระบวนการต่อไป เพื่อใช้สำหรับให้สุนัขยืนหรือเดินบนแพลตฟอร์มรับแรง

3.1.1 เซ็นเซอร์

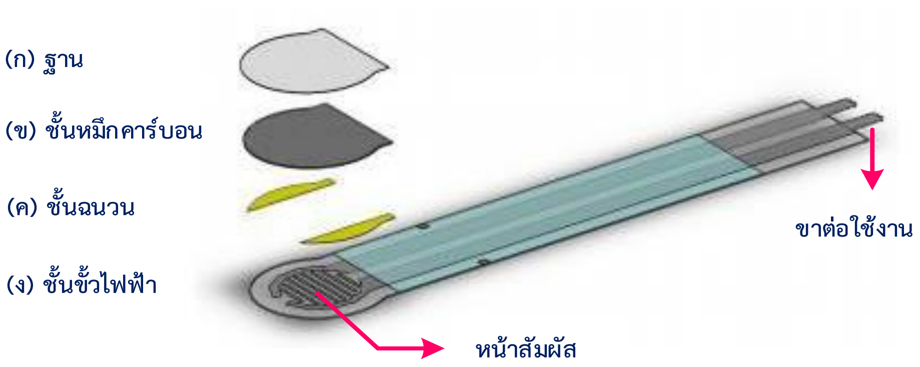
เซ็นเซอร์ เป็นตัวแปลงสัญญาณทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซ็นเซอร์เอฟเอสอาร์ (FSR: Force Sensing Resistor) [23] ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงกดแบบค่าความต้านทาน ที่ใช้เทคโนโลยีฟิล์มโพลิเมอร์แบบหนา (Polymer Thick Film) เป็นโครงสร้างของตัวเซ็นเซอร์ โดย FSR นี้มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงแรงที่กดบนหน้าสัมผัสของ FSR ให้เป็นค่าความต้านทานทางไฟฟ้า เมื่อมีแรงกดบนหน้าสัมผัสเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานของ FSR ลดลง ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ FSR-400 มาเป็นตัวตรวจจับแรงกด เนื่องจาก FSR-400 มีขนาดที่เล็ก มีความกว้าง 6.4 mm ความยาว 45 mm และมีขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางของหน้าสัมผัส 4 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นอกจากนี้ FSR-400 ยังมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแรงกดที่รวดเร็ว (Rise time = 3 μs.) และสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือนรอบข้างได้ดีอีกด้วย

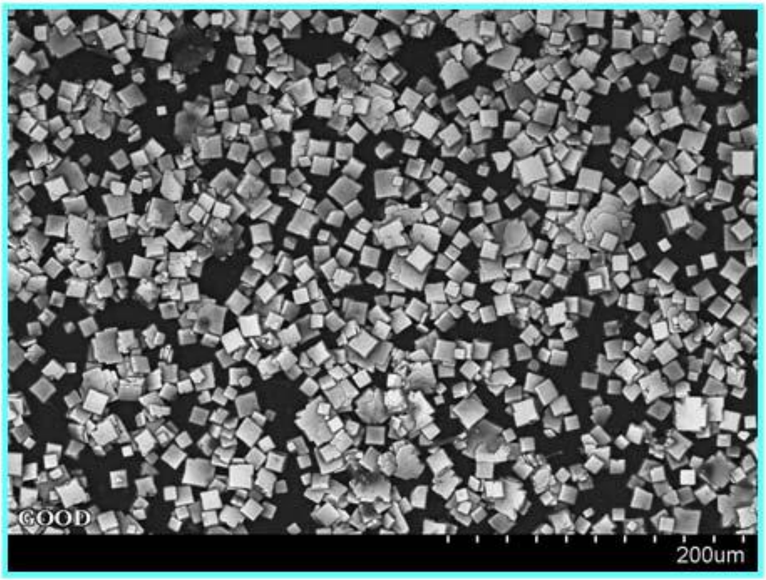


รูปที่ 3.3 ขนาดของ Force Sensing Resistor: FSR-400

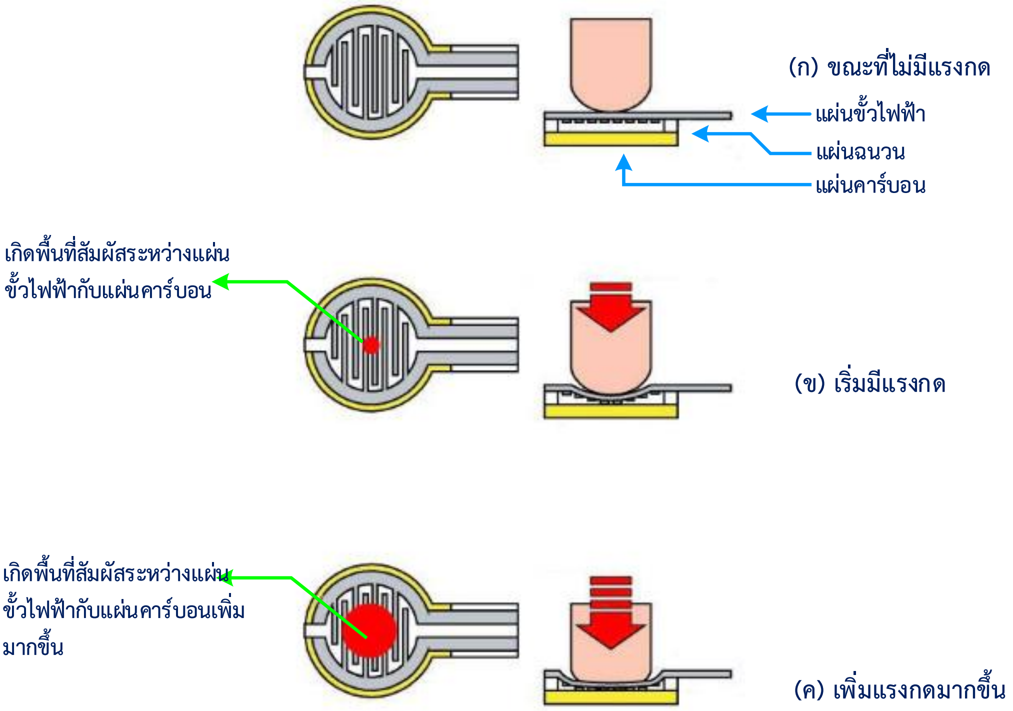
โครงสร้างพื้นฐานของ FSR–400 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 FSR–400 นั้นประกอบด้วยแผ่นสารกึ่งตัวนำแบบอ่อนที่เคลือบด้วยหมึกคาร์บอนของ FSR (FSR™ carbon-based ink) ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ขนาดของเม็ดหมึกจะมีความหนาไม่เท่ากันกระจายอยู่ทั่วทั้งแผ่น (ดังแสดงในรูปที่ 3.4) แผ่นสารกึ่งตัวนำแบบอ่อนนี้จะประกบเข้ากับแผ่นขั้วไฟฟ้าแบบอ่อนที่มีแผงความต้านทาน จำนวน 2 ชุด ที่ไม่มีส่วนใดสัมผัสกันเลย แต่ละชุดจะมีตัวนำไฟฟ้าหรือขาต่อไฟฟ้ายื่นออกมาเพื่อใช้ต่อเชื่อมกับแผงวงจร และจะมีแผ่นฉนวนแบบอ่อนหรือแหวนรอง (Spacer) คั่นกลางระหว่างแผ่นสารกึ่งตัวนำแบบอ่อนและแผ่นขั้วไฟฟ้าแบบอ่อนเพื่อแยกสองชิ้นนี้ออกจากกัน ในขณะที่ไม่มีแรงใด ๆ มากดบนหน้าสัมผัสของ FSR ค่าความต้านทานของ FSR จะมีค่าสูงถึง 1 MΩ เนื่องจากการแยกจากกันของแผ่นขั้วไฟฟ้าและแผ่นสารกึ่งตัวนำ ทำให้ไม่มีเม็ดหมึกสัมผัสกับส่วนใดส่วนหนึ่งของแผงความต้านทาน แต่เมื่อเริ่มมีแรงกดเบา ๆ แผ่นขั้วไฟฟ้าจะเกิดการยุบตัวตามแรงกด ทำให้เม็ดหมึกที่หนาที่สุดสัมผัสกับแผงความต้านทานของแผ่นขั้วไฟฟ้า เกิดเป็นการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าของความต้านทานเพียงบางจุด ทำให้ค่าความต้านทานลดค่าลงเล็กน้อย แต่เมื่อกดด้วยแรงที่มากขึ้นแผ่นขั้วไฟฟ้าเกิดการยุบตัวตามแรงกดที่มากขึ้น ทำให้มีการสัมผัสระหว่างเม็ดหมึกคาร์บอนและแผงความต้านทานเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานลดต่ำลง ดังนั้นเมื่อมีแรงกดมากขึ้น แผงความต้านทานจะสัมผัสกับเม็ดหมึกคาร์บอนจะมากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานลดลง รูปที่ 3.6 แสดงหลักการแปลงค่าแรงกดหรือน้ำหนักกด ให้เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าของ FSR



รูปที่ 3.4 โครงสร้างพื้นฐานของ FSR-400 ประกอบด้วย (ก) แผ่นฐานฟิล์มแบบอ่อน, (ข) แผ่นสารกึ่งตัวนำแบบอ่อนที่เคลือบด้วยหมึกคาร์บอน, (ค) แผ่นฉนวนแบบอ่อนหรือแหวนรองและ (ง) แผ่นขั้วไฟฟ้า ที่มีแผงความต้านทาน 2 ชุด ที่ไม่มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 FSR Ink Micrograph [24]



รูปที่ 3.6 หลักการแปลงค่าแรงกดหรือน้ำหนักให้เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าของ FSR เมื่อมีแรงกดบนหน้าสัมผัส แผ่นขั้วไฟฟ้ายุบตัวลงทำให้แผงความต้านทานมีการสัมผัสกับเม็ดหมึกคาร์บอน ทำให้ค่าความต้านทานของ FSR ลดลง (ก) ขณะไม่มีแรงกดบนหน้าสัมผัส แผงความต้านทานไม่มีการสัมผัสกับเม็ดหมึกคาร์บอน ทำให้ค่าความต้านทานของ FSR จะมีค่าสูง (≈ 1 MΩ), (ข) เริ่มมีแรงกดบนหน้าสัมผัส ทำให้แผงความต้านทานมีการสัมผัสบางส่วนกับเม็ดหมึกคาร์บอน ทำให้ค่าความต้านทานของ FSR ลดลงและ (ค) เมื่อเพิ่มแรงกดบนหน้าสัมผัสมากขึ้น ทำให้แผงความต้านทานมีการสัมผัสกับเม็ดหมึกคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้ค่าความต้านทานของ FSR ลดต่ำลงอย่างมาก

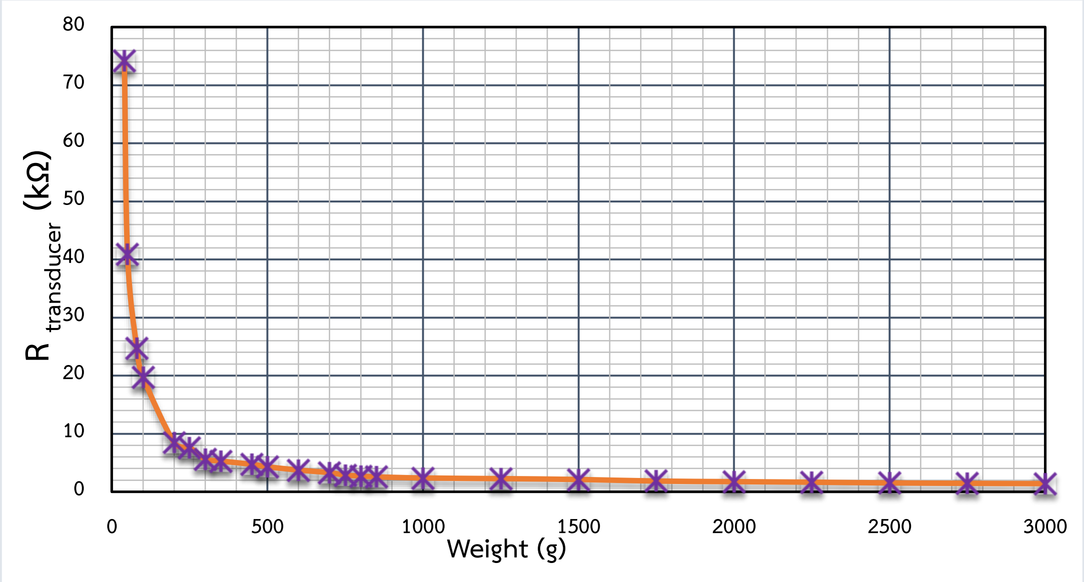
ในการทดสอบการตอบสนองต่อแรงกด เพื่อวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปเมื่อมีแรงกดที่หน้าสัมผัสของตัว FSR แต่ละตัวในระบบตรวจจับแรงนั้น [24] ได้ใช้น้ำหนักมาตรฐานจำนวน 24 ค่าน้ำหนัก ที่มีช่วงน้ำหนักอยู่ที่ 40 g ถึง 3,000 g มาวางบนหน้าสัมผัสของ FSR แล้ววัดค่าความต้านทานที่เกิดจากการกดของน้ำหนักมาตรฐานโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ในการทดสอบเริ่มแรกจะเริ่มจากการวางน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าน้ำหนักน้อยแล้วจึงเพิ่มไปจนถึงค่าน้ำหนักที่มากสุด (40–3,000 g) เมื่อทำจนครบทุกค่าน้ำหนักแล้วจะสลับเป็นการวางน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่ามากที่สุดก่อนแล้วลดค่าน้ำหนักลงจนถึงค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุด (3,000–40 g) ทำการทดสอบแบบเดิมซ้ำจำนวน 5 รอบ ผลจากการทดสอบการตอบสนองต่อแรงกดแสดงในตารางที่ 3.1 เป็นค่าความต้านทานที่วัดได้ (จำนวน 10 ค่า) มาหาค่าเฉลี่ย และหาค่า SD จากนั้นได้นำค่าดังกล่าวมาพล็อตเป็นกราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ (g) และค่าความต้านทานเฉลี่ย (Ω) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.1 ค่าความต้านทานเฉลี่ยของ FSR-400 โดยใช้น้ำหนักมาตรฐานในช่วงน้ำหนัก 40–3,000 g

น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (g)	ค่าความต้านทานเฉลียของ FSR-400 (kΩ)	SD (kΩ)
40	74.23	0.82
50	40.91	0.63
80	24.73	0.57
100	19.75	0.47
200	8.47	0.27
250	7.58	0.21
300	5.64	0.14
350	5.28	0.13
450	4.74	0.18
500	4.30	0.14
600	3.74	0.07
700	3.29	0.09
750	2.87	0.09
800	2.72	0.05
850	2.57	0.07
1,000	2.38	0.05
1,250	2.27	0.05
1,500	2.12	0.06
1,750	1.85	0.07
2,000	1.74	0.07
2,250	1.65	0.08
2,500	1.52	0.07
2,750	1.45	0.07
3,000	1.41	0.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ (g) กับค่าความต้านทาน (kΩ)

จากการทดสอบพบว่า การกดน้ำหนักในช่วง 40-300 g บนหน้าสัมผัสของ FSR ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่สูงมากจาก 74.23 kΩ (ที่น้ำหนัก 40 g) ไปเป็น 5.64 kΩ (ที่น้ำหนัก 300 g) แต่สำหรับช่วงน้ำหนักที่มากขึ้นจาก 350-3,000 g การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานจะลดต่ำลง นั่นคือ ค่าความต้านทานของ FSR ที่แรงกด 350 g คือ 5.28 kΩ และที่แรงกด 3,000 g คือ 1.41 kΩ ทำให้ทราบว่า ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงมาก ในช่วงน้ำหนักกดที่น้อย (40-250 g) จะมีความไว (Sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกดที่สูง และในช่วงน้ำหนักกดที่สูงขึ้น (ตั้งแต่ 350-3,000 g) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่น้อยลง นั่นคือมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงกดที่ต่ำลง ดังนั้นช่วงการวัดน้ำหนักที่เหมาะสมต่อการใช้งานของเซ็นเซอร์ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำหนักระหว่าง 40-350 g ซึ่งจะมีค่าความต้านทานตั้งแต่ 5.64-74.23 kΩ โดยเซ็นเซอร์ 1 ตัวจะสามารถรับน้ำหนักที่กดลงบนหน้าสัมผัสของ FSR ไม่เกิน 3,000 g จากการทดสอบดังกล่าวพบว่า สามารถใช้กับสุนัขที่มีน้ำหนักตัวที่อยู่ในช่วง 2–40 kg ได้

3.1.2 โครงสร้างของระบบตรวจจับแรง

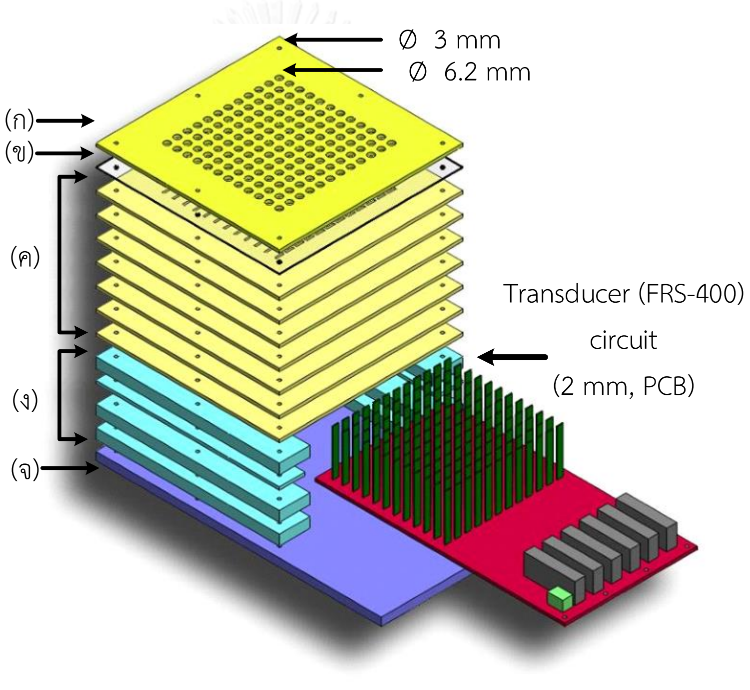
โครงสร้างของระบบตรวจจับแรงเป็นส่วนที่ใช้ป้องกันการกระทบกระเทือนและป้องกันหน้าสัมผัสของ FSR ไม่ให้เกินการขีดข่วนจากวัสดุมีคมหรือจากเล็บของสุนัข ซึ่งโครงสร้างของระบบตรวจจับแรงนี้ได้ใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนาที่แตกต่างกันในแต่ละชั้น แผ่นอะคริลิกเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวที่เรียบ มีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนกันความร้อน เหมาะสำหรับนำมาทำเป็นชั้นวาง FSR นอกจากนี้แผ่นอะคริลิกยังทนต่อแรงกดและการกระแทกได้ดีสามารถนำมา เลื่อย เจาะรู เข้าเครื่องตัดให้เป็นรูปต่าง ๆ หรือนำมาเชื่อมติดกันได้ จึงเหมาะสำหรับนำมาทำเป็นโครงสร้างฐานภายนอกและเป็นโครงไว้สำหรับยึดจับแผ่นวงจรไฟฟ้ากับตัวเซ็นเซอร์ไม่ให้เลื่อนหลุดออกจากกันได้ดีอีกด้วย

โครงสร้างของระบบตรวจจับแรงประกอบไปด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 5 ส่วน คือ

1. ชั้นฝาครอบ (Top layer)
2. ชั้นรอง (Substratum)
3. ชั้นเซ็นเซอร์ (The sensor layer)
4. ชั้นแผงวงจรไฟฟ้า (The circuit board layer)
5. ชั้นฐานรองโครงสร้างแพลตฟอร์ม (The platform base)

ในส่วนของชั้นฝาครอบนี้ใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3 mm ขนาด 180×180 mm^2 โดยมีพื้นที่ตรงกลางขนาด 120×120 mm^2 เจาะเป็นรูกลมจำนวน 144 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.2 mm ด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ เพื่อใช้ใส่ปุ่มอะคริลิกหนา 4.7 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm โดยด้านล่างของปุ่มจะติดด้วยแผ่นยางหนา 1 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm ซึ่งปุ่มอะคริลิกนี้จะเป็นตัวรับแรงกดจากน้ำหนักมาตรฐานหรือน้ำหนักของสัตว์เพื่อให้กดลงบนหน้าสัมผัสของ FSR และเพื่อป้องกันการขีดข่วนจากกรงเล็บของสัตว์ไม่ให้โดนหน้าสัมผัสของ FSR โดยตรง ชั้นฝาครอบกับชั้นเซ็นเซอร์จะถูกคั่นกลางด้วยชั้นรอง ที่เป็นแผ่นอะคริลิกหนา 1 mm ตัดเป็นช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 8×12 mm^2 จำนวน 12 ช่อง เพื่อป้องกันไม่ให้ชั้นฝาครอบกดทับบน FSR ซึ่งอาจทำให้มีแรงกดเพิ่มจากน้ำหนักจริงที่กดลงบน FSR ในส่วนของชั้นเซ็นเซอร์ ประกอบไปด้วยแผ่นอะคริลิกจำนวน 7 แผ่น หนา 3 mm ขนาด 180×180 mm^2 ในส่วนพื้นที่ตรงกลางจะถูกตัดเป็นร่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 8×2 mm^2 จำนวน 144 ช่อง เพื่อใช้สอดตัว FSR โดยแผ่นบนสุดจะใช้สำหรับติดหน้าสัมผัสของ FSR จำนวน 144 ตัว และอีก 6 แผ่นที่เหลือเป็นช่องสำหรับสอดตัว FSR ให้ไปยึดติดกับชั้นแผ่นวงจรไฟฟ้าและเพื่อป้องการการฉีกขาดหรือพับงอของ FSR เอง ในส่วนต่อมาคือ ชั้นแผงวงจรไฟฟ้า ซึ่งในชั้นนี้จะประกอบด้วยส่วนแผงวงจรไฟฟ้าหนา 2 mm และส่วนโครงสร้างของตัวแพลตฟอร์มเพื่อใช้ประกอบให้แพลตฟอร์มมีความแข็งแรง โดยได้ใช้แผ่นอะคริลิก หนา 10 mm จำนวน 3 แผ่น เพื่อใช้สำหรับเป็นตัวรองแผ่น

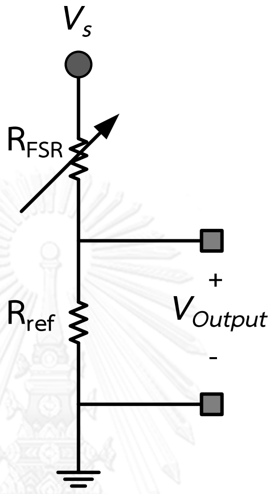
วงจรไฟฟ้าและยึดวงจรไฟฟ้ากับชั้นฐาน และแผ่นอะคริลิกหนา 2 mm จำนวน 1 แผ่นเพื่อใช้เป็นตัวเสียบวงจรเพื่อให้ยึดติดกับตัวแพลตฟอร์ม โดยแผ่นอะคริลิกทั้งสองขนาดนี้จะถูดตัดด้วยเครื่องเลเซอร์เป็นรูปตัวยู เพื่อสะดวกในการยึดติดของแผ่นวงจรไฟฟ้ากับชั้นฐานรองโครงสร้างแพลตฟอร์ม และในส่วนสุดท้ายคือ ชั้นฐานรองโครงสร้างแพลตฟอร์มจะประกอบด้วยแผ่นอะคริลิกแบบทึบสีดำหนา 8 mm ขนาด 180×270 mm^2 ใช้สำหรับยึดแผงวงจรไฟฟ้าไม่ให้เคลื่อนที่และยึดส่วนต่าง ๆ ทั้ง 5 ส่วนเข้าด้วยกันด้วยน็อตขนาด 3 mm จำนวน 7 ตัว เพื่อความแข็งแรงและไม่เลื่อนหลุดออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และส่วนของระบบตรวจจับแรงนี้ จะติดตั้งอยู่ที่ฐานไม้ที่มีความกว้าง 1.0 m และความยาว 1.8 m เพื่อใช้เป็นฐานสำหรับให้สุนัขยืนหรือเดินในเวลาที่มีการใช้งาน ระบบแพลตฟอร์มรับแรงกับสุนัข



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของระบบตรวจจับแรงประกอบด้วยแผ่นอะคริลิกที่มีความหนาแตกต่างกันจำนวน 5 ชั้น ได้แก่ (ก) ชั้นฝาครอบ (ข) ชั้นรอง (ค) ชั้นเซ็นเซอร์ (ง) ชั้นแผงวงจรไฟฟ้าและ (จ) ชั้นฐานรองโครงสร้างแพลตฟอร์ม

เนื่องจากแรงกดที่กดลงบนตัว FSR ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์ แต่ค่าความต้านทานดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงจึงจำเป็นที่จะต้องสร้างวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 วงจรแบ่งแรงดันนี้จะประกอบด้วย ตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน คือ ตัวต้านทาน FSR (R_{FSR}) ซึ่งมีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีแรงกดที่เปลี่ยนแปลงและตัวต้านทานอ้างอิง (R_{ref}) ซึ่งมีค่าความต้านทานคงที่คือ 2 kΩ (ซึ่งเป็นค่าความ

ต้านทานที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่มีช่วงแรงดันอยู่ที่ประมาณ 0–3.3 V) โดยมีแรงดันไฟฟ้า V_S ขนาด 3.3 V และมีสัญญาณ offset ที่ต่ำกว่า 5% [14] แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมความต้านทานอ้างอิงหรือแรงดันเอาท์พุต (V_{Output}) เมื่อมีแรงกดน้อย ค่าความต้านทานของ FSR จะสูง ทำให้มีแรงดัน V_{Output} ที่ต่ำ และเมื่อมีแรงกดที่สูงขึ้น ค่าความต้านทานของ FSR จะลดลงทำให้ค่า V_{Output} สูงขึ้น ดังนั้นค่า V_{Output} จึงมีค่าที่แปรผันตรงกับแรงที่กดลงบน FSR แรงดันไฟฟ้าในส่วนนี้เป็นแรงดันที่ใช้ในการประมวลผลในระบบประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.9 วงจรแบ่งแรงดันที่ใช้ในระบบตรวจจับแรง

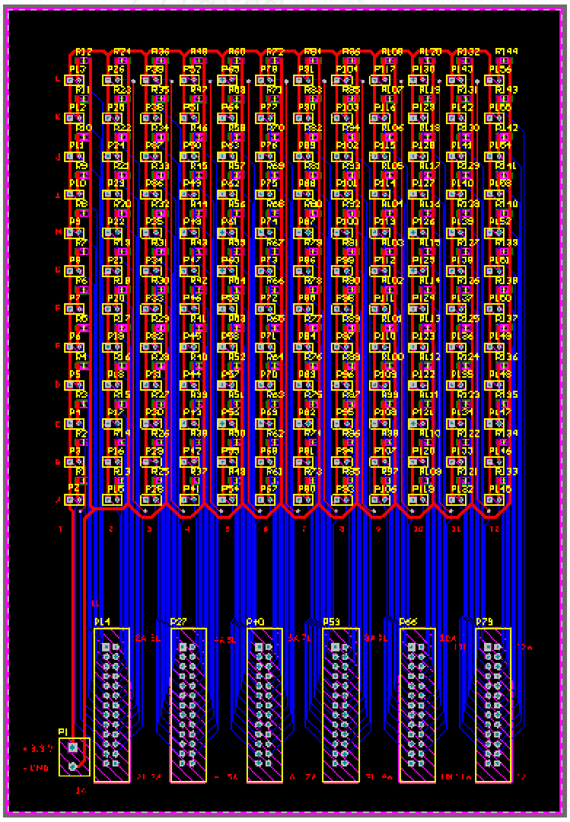
จากรูปที่ 3.9 เป็นวงจรแบ่งแรงดันของ FSR แต่ละชุดในระบบตรวจจับแรง เพื่อใช้ตรวจจับแรงกดบนตัว FSR โดยการป้อนแรงดัน 3.3 V (ที่ V_S) ให้แก่วงจรแบ่งแรงดัน เมื่อเกิดความเปลี่ยนแปลงขึ้นที่ตัวต้านทาน FSR (จากแรงที่มากดที่หน้าสัมผัสของ FSR) จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานอ้างอิงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$V_S = \frac{R_{ref}}{R_{ref} + R_{FSR}} \times V_{input} \tag{3.1}$$

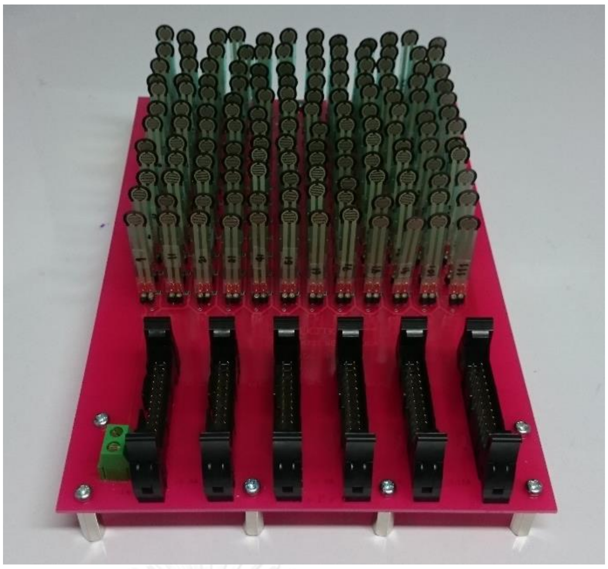
โดยที่

V_{Output}	คือ	แรงดันเอาท์พุตหรือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานอ้างอิง (V)
R_{ref}	คือ	ตัวต้านทานอ้างอิง (Ω)
R_{FSR}	คือ	ตัวต้านทาน FSR (Ω)
V_S	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร (3.3 V)

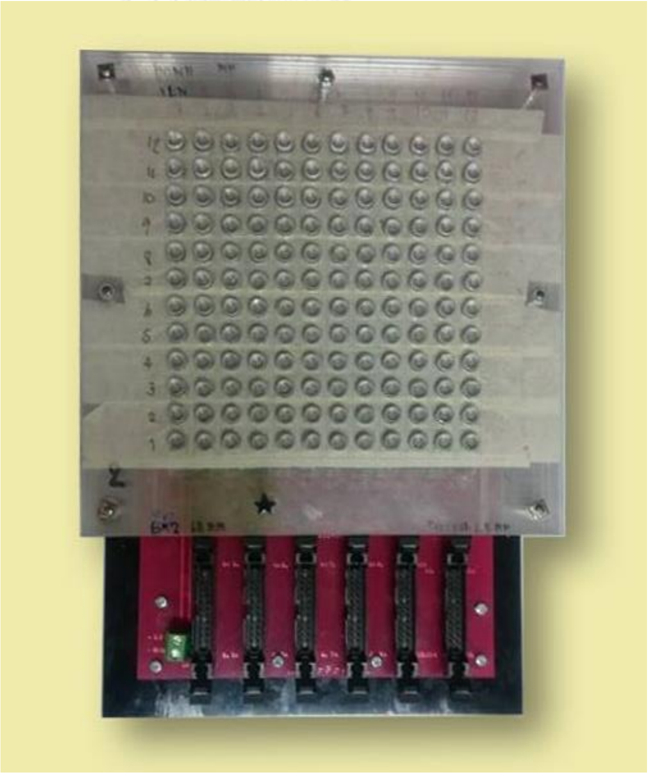
จากสมการที่ 3.1 ค่าแรงดัน V_{Output} ที่ตกคร่อมความต้านทานอ้างอิงที่ได้เป็นสัญญาณแอนะล็อก ในระบบตรวจจับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยวงจรแบ่งแรงดันของ FSR ทั้ง 144 ตัวอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ 12×12 ดังแสดงในรูป 3.10 ซึ่งเป็นลายวงจรของระบบตรวจจับแรงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Altium Designer V_{Output} ของแต่ละวงจรจะเชื่อมกับขาของช่องเสียบสายไฟจำนวน 12 แถว แถวละ 12 ตัว เพื่อส่ง V_{Output} ที่ได้ไปประมวลผลต่อที่ระบบประมวลผลข้อมูล รูปที่ 3.11 แสดงการต่อวงจรแบ่งแรงดันของ FSR แต่ละชุดจำนวน 144 ชุด ในระบบตรวจจับแรงและรูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างของระบบตรวจจับแรงที่ประกอบวงจรแบ่งแรงดันของ FSR ทั้ง 144 ชุดเข้ากับโครงสร้างของแพลตฟอร์ม โดยจะมีปุ่มกดอะครีลิควางอยู่ด้านบนของ FSR เพื่อเป็นตัวรับแรงกดจากน้ำหนักที่กดลงมา ปุ่มกดอะครีลิคทั้ง 144 ตัวนี้ได้ติดกาวกับหน้าสัมผัสของ FSR เพื่อไม่ให้ปุ่มลื่นหลุดเวลาวัดน้ำหนักและใช้วิธีเสียบสายไฟแบบล็อกเพื่อความแข็งแรงและป้องกันการฉีกขาดของสายไฟ ระบบตรวจจับแรงนี้ จะต้องทำการปรับเทียบโดยใช้น้ำหนักมาตรฐานให้สามารถตรวจจับแรงหรือน้ำหนักที่กดบนหน้าสัมผัสของ FSR ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งจะกล่าวถึงการเปรียบเทียบโดยใช้น้ำหนักมาตรฐานในลำดับต่อไป



รูปที่ 3.10 ลายวงจรแบ่งแรงดันของ FSR จำนวน 144 ชุดในระบบตรวจจับแรงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Altium Designer [25]



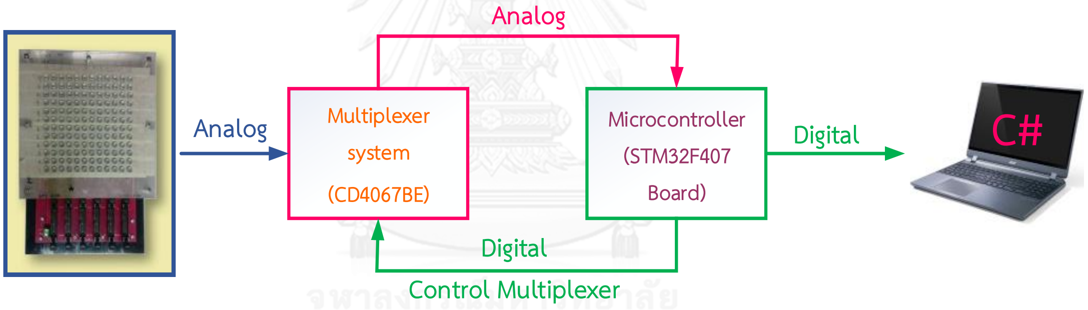
รูปที่ 3.11 การต่อวงจรแบ่งแรงดันของ FSR จำนวน 144 ชุด โดย V_{Output} ที่ได้ในแต่ละวงจรจะเชื่อมกับขาของช่องเสียบสายไฟ เพื่อส่ง V_{Output} ที่ได้ไปประมวลผลต่อที่ระบบประมวลผลข้อมูล



รูปที่ 3.12 โครงสร้างระบบตรวจจับแรงที่ประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้วและพร้อมใช้งาน

3.2 ระบบประมวลผลข้อมูล

ระบบประมวลผลข้อมูลเป็นระบบที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากระบบตรวจจับแรง ก่อนที่จะส่งสัญญาณต่อไปที่ระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล ระบบประมวลผลข้อมูลนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนปรับแต่งสัญญาณ จะอยู่ภายใต้การทำงานของมัลติเพล็กเซอร์ ซึ่งเป็นการรวบรวมสัญญาณจาก 12 ช่องสัญญาณเพื่อส่งเข้าไปที่ช่องสัญญาณดียวแล้วส่งต่อไปยังส่วนที่สอง นั่นคือส่วนประมวลผล ในส่วนนี้จะอยู่ภายใต้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เป็นตัวควบคุมการทำงานของทั้งระบบ และยังเป็นส่วนที่ใช้ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจากสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นข้อมูลดิจิตอลเพื่อส่งต่อไปวิเคราะห์ผลที่คอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณดิจิตอลไปสั่งให้มัลติเล็กเซอร์เลือกช่องสัญญาณจากระบบตรวจจับแรง และส่งสัญญาณแอนาล็อกกลับมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นข้อมูลดิจิตอลแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ส่งไปยังส่วนสุดท้ายคือ ระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล

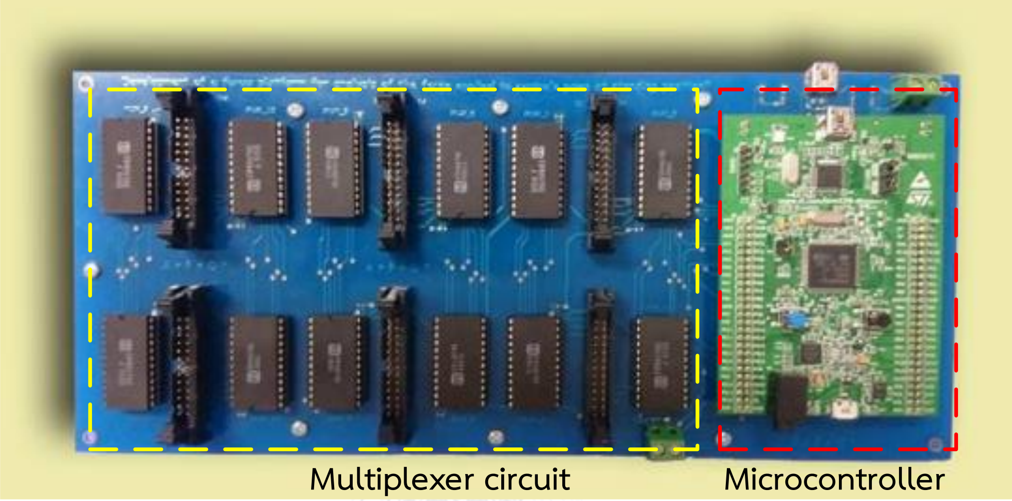


รูปที่ 3.13 แผนภาพลำดับการทำงานของระบบประมวลผลข้อมูล

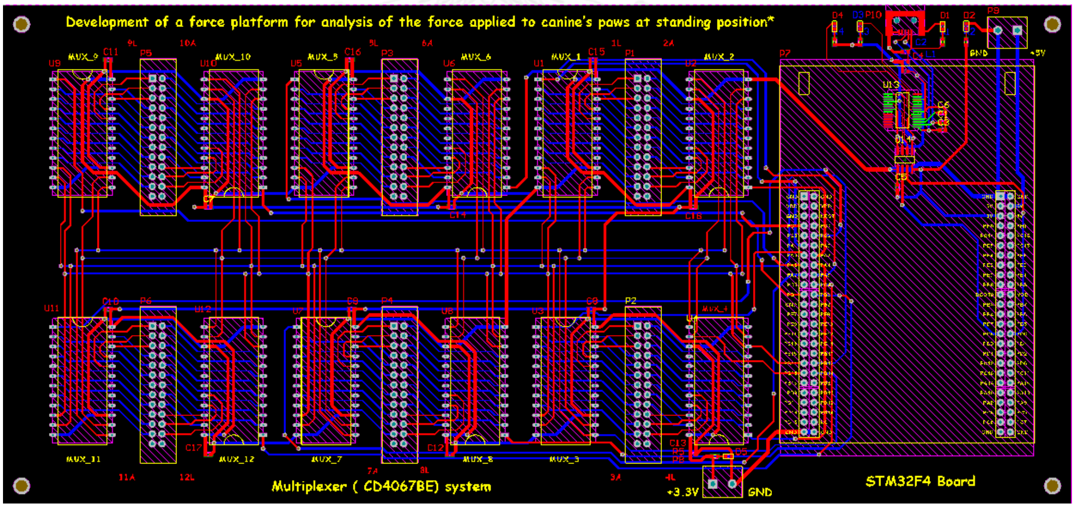
3.2.1 มัลติเพล็กเซอร์ (Multiplexer)

มัลติเพล็กเซอร์คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเลือกรับสัญญาณจากสัญญาณขาเข้าหลาย ๆ สัญญาณแล้วส่งสัญญาณที่เลือกนั้น ออกไปสู่ช่องสัญญาณขาออกช่องเดียว ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้มัลติเพล็กเซอร์เบอร์ CD4067BE ขนาด 16 บิต (16- bit multiplexer) [26] ที่มีตัวเลือกข้อมูลจำนวน 4 ตัว ช่องรับสัญญาณแอนะล็อกจำนวน 16 ช่องและช่องส่งสัญญาณออกจำนวน 1 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แสดงรูปถ่ายของแผงวงจรมัลติเพล็กเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบประมวลผลและรูปที่ 3.15 แสดงลายวงจรมัลติเพล็กเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบประมวลผลในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบวงจรเพื่อให้มัลติเพล็กเซอร์รวบรวมสัญญาณทั้งหมดจาก 144 สัญญาณ จากระบบตรวจจับแรงให้เหลือเพียง 12 ช่องสัญญาณ โดยมัลติเพล็กเซอร์ 1 ตัว

จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือสัญญาณแอนะล็อกที่มาจากระบบตรวจจับแรงจำนวน 12 สัญญาณ (สัญญาณจาก FSR จำนวน 12 ตัว) และส่งสัญญาณที่เลือกไปที่ช่องรับสัญญาณ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการทำงานของมัลติเพล็กเซอร์ขนาด 16 บิต ด้วยวิธีส่งการนับค่าเลขฐานสองจำนวน 4 บิต (สัญญาณดิจิตอล) ไปควบคุมการสับช่องสัญญาณของมัลติเพล็กเซอร์ เพื่อกำหนดช่องสัญญาณที่ต้องการ



รูปที่ 3.14 รูปถ่ายของแผงวงจรมัลติเพล็กเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบประมวลผล



รูปที่ 3.15 ลายวงจรมัลติเพล็กเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณขาออกของมัลติเพล็กเซอร์แต่ละตัวจะเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 12 ช่องสัญญาณ

3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU STM32F4 Discovery Board ของบริษัท ST Microelectronics [27] เนื่องจากบอร์ดนี้ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F407VG ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีศักยภาพสูง มีความเร็วของความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในระบบสูงถึง 168 MHz สามารถใช้คำนวณในกระบวนการทางคณิตศาสตร์ได้เร็วเพียงพอต่อการใช้งานในวิทยานิพนธ์นี้ อีกทั้งบอร์ดนี้ยังมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 บอร์ด STM32F4 Discovery [27]

STM32F4 Discovery Board นี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมการทำงานของมัลติเพล็กเซอร์ ด้วยวิธีส่งการนับค่าเลขฐานสองตั้งแต่ 0000–1011 ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลไปควบคุมการสับช่องสัญญาณของมัลติเพล็กเซอร์ เพื่อให้มัลติเพล็กเซอร์เลือกสัญญาณแบบ 1 ต่อ 12 ช่องสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 นอกจากนี้ STM32F4 Discovery Board ยังมีความสามารถในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลดิจิตอลแบบเปรียบเทียบแรงดันภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีช่องการแปลงสัญญาณ ADC จำนวน 16 ช่อง (ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เพียง 12 ช่อง) ขนาดของข้อมูล 12 บิต จะเกิดเป็นค่าตัวเลขทางคณิตศาสตร์ตั้งแต่ 0–4,095 โดยที่ความละเอียดของข้อมูลดิจิตอลในวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลดิจิตอลสามารถคำนวณได้จาก

$$ADC_{10} = \frac{V_s}{2^n} \tag{3.2}$$

โดยที่

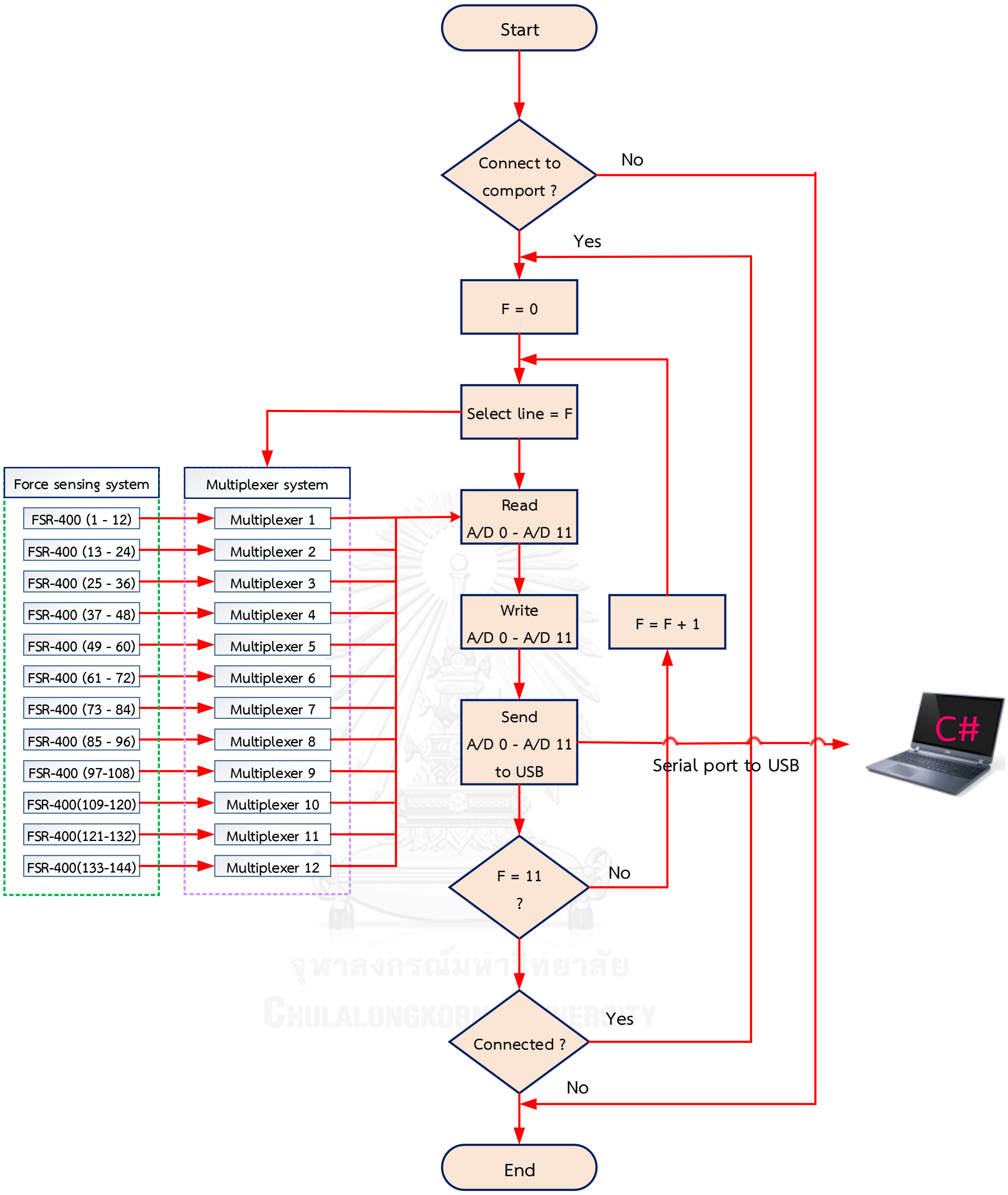
ADC_{10} คือ ค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อกฐาน 2 เป็นค่าตัวเลขฐาน 10

V_S คือ แรงดันอ้างอิงของการแปลง A/D (2.97 V)

n คือ จำนวนบิตของข้อมูลดิจิตอล

เมื่อคำนวณค่าความละเอียดของข้อมูลดิจิตอลจากสมการ (3.2) แล้วจะได้ค่าความละเอียด 0.81 mV ที่มี 2^{12} หรือ 4,096 ขั้น โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ได้จากระบบตรวจจับแรงทั้งหมด 144 ช่องสัญญาณ ให้เป็นค่า ADC_{10} แบบเมทริกซ์ขนาด 12×12 จำนวน 1 ชุด ซึ่งจะส่งข้อมูลแต่ละชุดไปยังระบบวิเคราะห์ผลและแสดงผลโดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Serial port) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 หน้าที่ของพอร์ตอนุกรมนี้จะเป็นอุปกรณ์ที่คอยควบคุมการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ส่งข้อมูลดิจิตอลมายังหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ค่า ADC_{10} โชว์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรมนี้จะถูกแปลงเป็นพอร์ต USB เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยใช้ไอซี FT232 [28] ซึ่งเป็นไอซีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมให้เป็นพอร์ต USB

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

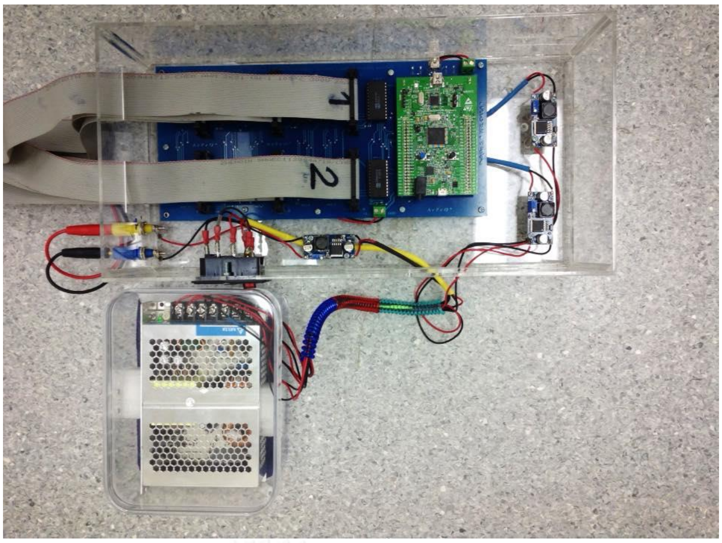


รูปที่ 3.17 ผังการทำงานของระบบประมวลผลข้อมูล

รูปที่ 3.17 แสดงการทำงานของระบบประมวลผลข้อมูล ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อระหว่างระบบตรวจจับแรงกับระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลเข้าด้วยกัน โดยที่ระบบประมวลผลข้อมูลทำหน้าที่แปลงค่าน้ำหนักหรือแรงกดที่ได้จากระบบตรวจจับแรงให้เป็นค่าข้อมูลเชิงตัวเลขแล้วจึงส่งข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลในคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB โดยในระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้มีอัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) อยู่ที่ 460,800 byte/s ซึ่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูก

ส่งไปวิเคราะห์ผลที่คอมพิวเตอร์โดยแต่ละข้อมูลใช้เวลา 138 µs ในหนึ่งชุดข้อมูล (จาก FSR 144 ตัว) ประกอบไปด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด 146 ข้อมูล ดังนั้นความเร็วในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์คือ 50 ชุดข้อมูลต่อวินาที

การทำงานของระบบประมวลผลข้อมูลเป็นการทำงานแบบคู่ขนานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับมัลติเพล็กเซอร์ โดยมีตัวแปร F = 0 เป็นตัวควบคุม select line ของมัลติเพล็กเซอร์ทั้ง 12 ชุด ซึ่งจะเริ่มต้นการทำงานก็ต่อเมื่อระบบประมวลผลข้อมูลได้เชื่อมต่อกับพอร์ต USB โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตตอล (0000 – 1011) ไปยังมัลติเพล็กเซอร์ตัวที่ 1 จากทั้งระบบมี 12 ตัว เพื่อให้มัลติเพล็กเซอร์ทำการลดทอนสัญญาณจาก 12 สัญญาณ (FSR แถวที่ 1 จำนวน 12 ตัว) ให้เหลือเพียง 1 สัญญาณ (สัญญาณทั้งระบบมี 12 แถว จะได้ทั้งหมด 12 สัญญาณ) และส่งสัญญาณกลับมาในส่วนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลดิจิตอลที่ช่องสัญญาณ ADC 0 ถึง ADC 11 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านทางช่องขาออกของมัลติเพล็กเซอร์แต่ละตัว แล้วจึงทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลให้อยู่ในช่วง 0–4095 แล้วทำการส่งชุดข้อมูลตัวเลขดังกล่าวออกทางพอร์ต USB เพื่อส่งชุดข้อมูลไปแสดงผลบนโปรแกรม Microsoft Visual Studio (ที่อยู่ในระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล) จากนั้นก็จะเริ่มการทำงานซ้ำใหม่ ในกระบวนการทำใหม่ในแต่ละครั้งจะเพิ่มค่าตัวแปร F ไปทีละ 1 ค่า จนถึง F = 11 ซึ่งเป็นตัวควบคุมของการทำงานของระบบให้ทำงานใหม่ในช่วงของ select line โดยการเพิ่มค่าของตัวแปร F นั้นจะเป็นการสั่งให้มัลติเพล็กเซอร์สับเปลี่ยนช่องสัญญาณขาเข้า เพื่อทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากมัลติเพล็กเซอร์ในแต่ละตัวครบทั้ง 12 ช่องสัญญาณ ซึ่งทำให้ระบบประมวลผลข้อมูลสามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านวงจรตรวจจับแรงได้ครบทั้ง 144 สัญญาณและส่งข้อมูลไปวิเคราะห์และแสดงผลในระบบถัดไป รูปที่ 3.18 แสดงระบบประมวลผลที่เชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC power supply)

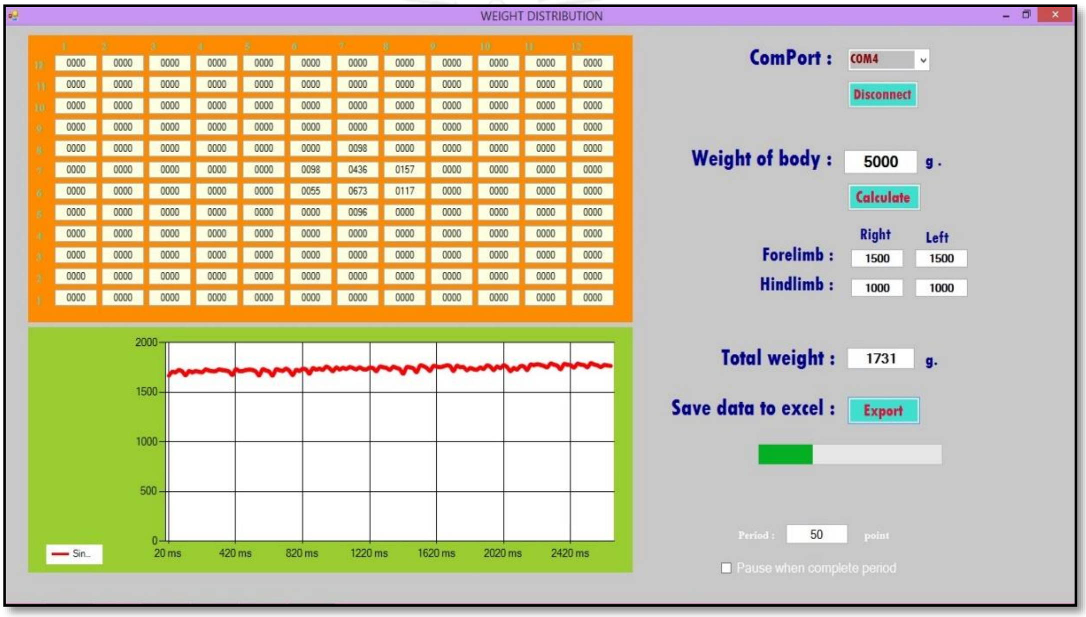


รูปที่ 3.18 ระบบประมวลผลข้อมูลที่ประกอบด้วยมัลติเพล็กเซอร์จำนวน 12 ตัวและ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

3.3 ระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล

ระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลหรือโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลเป็นส่วนที่นำข้อมูลจากระบบประมวลผลข้อมูลมาวิเคราะห์ผลเป็นค่าตัวเลขด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2015 ซึ่งพัฒนาโดยใช้ภาษา C# [29] ในการควบคุมการทำงาน ข้อมูลจากแรงกดหรือน้ำหนักจะถูกส่งมาในรูปแบบเมทริกซ์ 12×12 ที่มีความเร็วในการส่งข้อมูล 50 ชุดข้อมูลต่อวินาที ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบหน้าจอแสดงผลของค่าน้ำหนักออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแสดงผลการกระจายน้ำหนักเป็นแบบเมทริกซ์ขนาด 12×12 และส่วนแสดงผลน้ำหนักรวมในรูปแบบกราฟ แบบเมทริกซ์จะอยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าจอแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 3.19 ส่วนแสดงผลแบบเมทริกซ์นี้จะแสดงค่าแรงกดของน้ำหนักที่กดลงบน FSR แต่ละตัวในระบบตรวจจับแรง ทำให้สามารถบอกถึงตำแหน่งที่ถูกกดและสะดวกต่อการตรวจสอบความผิดปกติของ FSR แต่ละตัวได้ ในส่วนแสดงผลแบบกราฟนั้น เป็นส่วนที่อยู่ด้านล่างของส่วนแสดงผลของแบบเมทริกซ์ ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักรวมที่วัดได้จาก FSR ทั้งหมด 144 ตัว (g) กับเทียบกับเวลา (s) ทำให้ทราบว่า สุนัขมีการกดน้ำหนักที่อุ้งเท้าในขณะตรวจจับคงที่หรือไม่และสามารถเทียบช่วงเวลาในการกดน้ำหนักกับแรงกดของอุ้งเท้าสุนัขได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนแสดงผลอีกหลายส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนการเชื่อมต่อ (com port) เป็นส่วนแสดงว่าในคอมพิวเตอร์เครื่องนี้ได้เชื่อมต่อกับพอร์ต USB ที่ com port ที่เท่าไหร่ และถ้าไม่ได้เสียบสายพอร์ต USB จากระบบประมวลผลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อเปิดโปรแกรมแสดงผลขึ้นมาระบบจะมีการฟ้องว่ายังไม่ได้เสียสายพอร์ต USB และจะไม่สามารถกดปุ่ม Connect เพื่อเชื่อมต่อการทำงานได้ ส่วนผลการคำนวณการลงน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัข (ตามทฤษฎี)

เป็นส่วนที่คำนวณมาจากน้ำหนักตัวจริงของสุนัข (Body weight) โดยน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าแต่ละข้างจะเป็น 30% ของน้ำหนักตัวและน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังแต่ละข้างจะเป็น 20% ของน้ำหนักตัว ซึ่งค่าน้ำหนักที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็นกรัม (g) ส่วนคำนวณน้ำหนักรวม (Total weight) เป็นส่วนที่บอกแรงกดของน้ำหนักที่กดลงบนแพลตฟอร์มทั้งหมด จะบอกเป็นหน่วยของกรัม (g) และในส่วนสุดท้ายส่วนบันทึกไฟล์ข้อมูล (Save data) ซึ่งเป็นส่วนที่บันทึกข้อมูลเป็นค่าน้ำหนักที่ได้จากแรงกด โดยข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกในลักษณะ Text document file ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลที่สะดวกในการนำไปวิเคราะห์หรือใช้งานในโปรแกรมอื่น ในการบันทึกแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการบันทึก 1 นาที (60 s) ซึ่งจะได้ชุดข้อมูล 3,000 ชุดในการบันทึกข้อมูลแต่ละรอบ ทำให้มีความละเอียดในการวิเคราะห์ผลมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถเลือกช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูลได้ เพื่อลดจำนวนข้อมูลที่ไม่ต้องการให้น้อยลงและยังเป็นการลดการใช้พื้นที่ในหน่วยความจำอีกด้วย

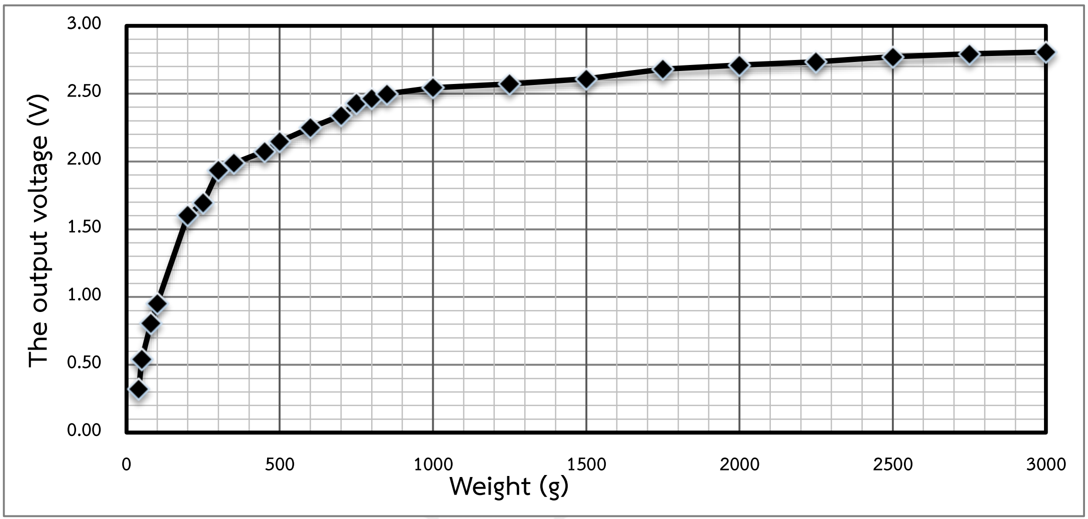


รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงผลจากโปรแกรม Microsoft Visual Studio บนคอมพิวเตอร์

3.4 การปรับเทียบน้ำหนักมาตรฐานกับระบบตรวจจับแรง

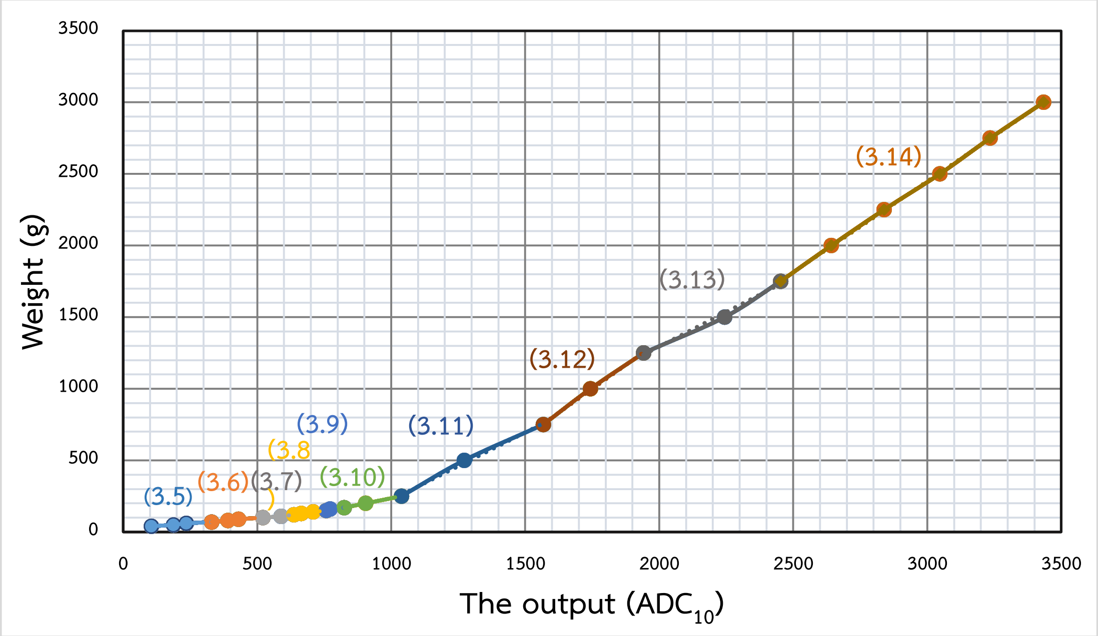
เมื่อมีแรงกดมากระทำต่อหน้าสัมผัสของ FSR ทำให้ค่าความต้านทานของ FSR เปลี่ยนแปลงไป แต่ค่าความต้านทานดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง ระบบตรวจจับแรงจึงนำหลักการของวงจรแบ่งแรงดันมาใช้เพื่อแปลงค่าความต้านทานให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{Output}) และส่งไปประมวลผลในระบบอื่นต่อไป โดยทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 V (V_S = 3.3 V) ให้แก่ความต้านทานของ FSR (R_{FSR}) ที่ต่ออนุกรมอยู่กับความต้านทานอ้างอิง (R_{ref}) ขนาด 2 kΩ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.9 เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า 3.3 V เข้าไปวงจรจะส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวต้านทานอ้างอิง และเมื่อมีแรงกดจากน้ำหนัก (40–3,000 g) มากระทำต่อหน้าสัมผัสของ FSR ค่าของ R_{FSR} จะมีค่าน้อยลง เมื่อเทียบกับค่าของ R_{ref} จึงทำให้ค่าของ V_{Output} จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อไม่มีแรงกดจากน้ำหนักมากระทำต่อหน้าสัมผัสของ FSR ค่าของ R_{FSR} จะมีค่ามากถึง 10MΩ เมื่อเทียบกับค่าของ R_{ref} จึงทำให้ค่าของ V_{Output} มีค่าเข้าใกล้ 0 V ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่นำมาใช้ในการทดสอบ (40–3,000 g) และค่าของ V_{Output} ดังแสดงรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่นำมาใช้ในการทดสอบ (g) และค่าของแรงดันเอาท์พุต (V)

จากรูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กดลงบนหน้าสัมผัสของ FSR และแรงดันเอาท์พุต (V) ที่เกิดจากการเปลี่ยนไปของค่า R_{FSR} จะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0–3.3 V ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นค่าดิจิตอล (ADC_{10}) จำนวน 12 บิต ให้อยู่ในช่วง 0–4,095 และนำค่า ADC_{10} ที่ได้มาประมวลผลให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยสามารถแบ่งความสัมพันธ์เชิงเส้นออกเป็น 11 ช่วงความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าดิจิตอล (ADC_{10}) กับน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (g) โดยแบ่งเป็น 11 ช่วงความสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ADC_{10} กับน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ (g) สามารถแบ่งเป็นสมการเส้นโค้งได้ 11 ช่วงความสัมพันธ์ ดังนี้

1. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าน้อยกว่า 40 g จะส่งผลให้ FSR ไม่มีการตอบสนองต่อแรงกดใดๆ นั้นหมายความว่าค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าต่ำกว่า 105 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.4):

$For\ ADC_{10} < 105,$

$$Weight = 0 \cdot (ADC_{10}) \tag{3.4}$$

2. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 40–70 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้นและค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 105 ≤ ADC_{10} < 330 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.5):

$For\ 105 \leq ADC < 330,$

$$Weight = 0.1365 \cdot (ADC_{10}) + 25.727 \tag{3.5}$$

3. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 70–100 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $330 \le ADC_{10} < 521$ ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.6):

$$For \quad 330 \le ADC_{10} < 521,$$
$$Weight = 0.1587 \cdot (ADC_{10}) + 18.685 \tag{3.6}$$

4. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 100–120 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $521 \le ADC_{10} < 637$ ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.7):

$$For \quad 521 \le ADC_{10} < 637,$$
$$Weight = 0.1717 \cdot (ADC_{10}) + 10.012 \tag{3.7}$$

5. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 120–150 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $637 \le ADC_{10} < 758$ ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.8):

$$For \quad 637 \le ADC_{10} < 758,$$
$$Weight = 0.2409 \cdot (ADC_{10}) - 31.668 \tag{3.8}$$

6. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 150–170 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $758 \le ADC_{10} < 825$ ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.9):

$$For \quad 758 \le ADC_{10} < 825,$$
$$Weight = 0.2698 \cdot (ADC_{10}) - 51.755 \tag{3.9}$$

7. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 170–250 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อยู่ระหว่าง 825 ≤ ADC_{10} < 1,038 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.10):

$$For \quad 825 \leq ADC_{10} < 1038,$$
$$Weight = 0.3746 \cdot (ADC_{10}) - 138.92 \tag{3.10}$$

8. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 250–750 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1038 ≤ ADC_{10} < 1,567 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.11):

$$For \quad 1038 \leq ADC_{10} < 1567,$$
$$Weight = 1.335 \cdot (ADC_{10}) - 1337.3 \tag{3.11}$$

9. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 750–250 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,567 ≤ ADC_{10} < 1,942 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.12):

$$For \quad 1567 \leq ADC_{10} < 1942,$$
$$Weight = 0.9407 \cdot (ADC_{10}) - 715.96 \tag{3.12}$$

10. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 1,250–1,750 g จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,942 ≤ ADC_{10} < 2,453 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.13):

$$For \quad 1942 \leq ADC_{10} < 2453,$$
$$Weight = 0.9674 \cdot (ADC_{10}) - 640.44 \tag{3.13}$$

11. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 1,750 g ขึ้นไป จะส่งผลให้ FSR มีการตอบสนองเป็นแบบเชิงเส้น และค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าตั้งแต่ ADC_{10} > 2,453 ขึ้นไป ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.14):

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$For\ \ ADC_{10} > 2453,$$

$$Weight = 1.2688 \cdot (ADC_{10}) - 1357.3 \tag{3.14}$$

หมายเหตุ ได้เคยทำการแปลงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าดิจิตอล (ADC_{10}) กับน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (g) เป็น 5 ช่วงความสัมพันธ์ ดังนี้

1. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าน้อยกว่า 40 g จะส่งผลให้ FSR ไม่มีการตอบสนองต่อแรงกดใดๆ นั้น หมายความว่าค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าต่ำกว่า 97 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.15):

$$For\ \ ADC_{10} < 97,$$

$$Weight = 0 \cdot (ADC_{10}) \tag{3.15}$$

2. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 40-110 g จะส่งผลให้ FSR ไม่มีการตอบสนองต่อแรงกดใดๆ นั้นหมายความว่าค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 581 ≤ ADC_{10} < 923 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.16):

$$For\ \ 97 \le ADC_{10} < 581,$$

$$Weight = 0.1613 \cdot (ADC_{10}) + 20.321 \tag{3.16}$$

3. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 110-170 g จะส่งผลให้ FSR ไม่มีการตอบสนองต่อแรงกดใดๆ นั้นหมายความว่าค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10})จะมีค่าอยู่ระหว่าง 581 ≤ ADC_{10} < 923 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.17):

$$For\ \ 581 \le ADC_{10} < 923,$$

$$Weight = 0.2446 \cdot (ADC_{10}) - 37.8 \tag{3.17}$$

4. ช่วงที่น้ำหนักมีค่าตั้งแต่ 170-1,500 g จะส่งผลให้ FSR ไม่มีการตอบสนองต่อแรงกดใดๆ นั้นหมายความว่าค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 923 ≤ ADC_{10} < 2,242 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.18):

$$For \;\; 923 \leq ADC_{10} < 2242,$$
$$Weight = 1.0304 \cdot (ADC_{10}) - 804.99 \qquad (3.18)$$

5. ช่วงที่น้ำหนักมีค่ามากกว่า 1,500 g จะส่งผลให้ FSR ไม่มีการตอบสนองต่อแรงกดใดๆ นั้นหมายความว่าค่าความละเอียดข้อมูลดิจิตอลที่แปลงมาจากสัญญาณแอนะล็อก (ADC_{10}) จะมีค่าสูงกว่า 2,242 ดังนั้นเมื่อแปลงเป็นค่าน้ำหนัก จะมีค่าดังสมการ (3.19):

$$For \;\; ADC_{10} \geq 2242,$$
$$Weight = 1.2649 \cdot (ADC_{10}) - 1342.2 \qquad (3.19)$$

แต่พบว่าในการแปลงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าดิจิตอล (ADC_{10}) กับน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (g) 5 ช่วงความสัมพันธ์นี้มี *%error* ในแปลงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่สูงถึง 7.6% จึงทำให้ต้องแบ่งความสัมพันธ์ออกเป็น 11 ช่วง ดังแสดงในข้างต้น

ดังนั้นเมื่อวางน้ำหนักมาตรฐานค่าต่าง ๆ ลงไปบนระบบตรวจจับแรง ระบบประมวลผลของสัญญาณจะทำการแปลงข้อมูลแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและส่งไปวิเคราะห์ผลของสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ได้มานี้จะถูกนำมาคำนวณความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังแสดงในสมการ (3.4) ถึงสมการ (3.14) เพื่อแปลงเป็นค่าเชิงตัวเลขหรือค่าแรงกดที่ถูกกดด้วยน้ำหนักมาตรฐาน (g)

ในการทดสอบระบบแพลตฟอร์มรับแรงทั้งระบบ โดยการนำน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 40-3,000 g วางกดลงบนหน้าสัมผัสของ FSR ระบบประมวลผลของสัญญาณจะนำสัญญาณที่ได้ไปคำนวณตามสมการ (3.4) ถึงสมการ (3.14) ซึ่งได้ผลการทดสอบ ที่แสดงค่าน้ำหนักบนระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นได้คำนวนค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของค่าที่แสดงบนระบบวิเคราะห์และแสดงผลเฉลี่ยกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน ตามสมการ (3.20)

$$\%error = \frac{|True\,weight - Measured\,weight|}{Weight} \times 100\% \qquad (3.20)$$

โดยที่

%error	คือ	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระบบแพลตฟอร์มรับแรง
True weight	คือ	น้ำหนักจริงของมวลมาตรฐาน (g)
Measured weight	คือ	น้ำหนักที่อ่านได้จากระบบแพลตฟอร์มรับแรง (g)

จากค่าความคลาดเคลื่อนที่แสดงในตารางที่ 3.2 พบว่าระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 3% (%error < 3%) โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้ จะถูกนำไปใช้ในส่วนของระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล

ตารางที่ 3.2 ผลความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าดิจิตอล (ADC_{10}) กับน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (g) การตรวจจับน้ำหนักของระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้น

น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ (g)	ค่า output เฉลี่ย (ADC_{10})	SD (ADC_{10})	น้ำหนักที่แสดงบนระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล (g)	%error
40	105	10.7	40.06	0.15
50	187	12.12	51.29	2.59
60	248	11.57	59.58	0.70
70	330	16.63	70.74	1.06
80	390	13.68	80.64	0.80
90	453	13.78	90.58	0.64
100	521	12.74	101.42	1.42
110	583	15.41	110.11	0.10
120	637	13.38	119.30	0.58
130	668	11.15	129.25	0.57
140	709	14.57	139.13	0.62
150	758	12.17	150.89	0.59
160	785	19.41	160.04	0.02
170	825	15.01	170.75	0.44
200	905	15.33	200.06	0.03
250	1,038	17.85	250.03	0.01
500	1,377	7.79	501.00	0.20
750	1,564	12.94	750.64	0.09
1,000	1,825	8.62	1,000.82	0.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ (g)	ค่า output เฉลี่ย (ADC_{10})	SD (ADC_{10})	น้ำหนักที่แสดงบนระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล (g)	%error
1,250	2,091	9.34	1,251.04	0.08
1,500	2,213	8.45	1,500.42	0.03
1,750	2,623	6.23	1,751.50	0.09
2,000	2,651	6.82	2,006.29	0.31
2,250	2,839	4.76	2,244.19	0.26
2,500	3,047	6.45	2,508.86	0.35
2,750	3,235	5.46	2,747.14	0.10
3,000	3,434	2.22	3,000.01	0.00

3.5 การทดสอบระบบแพลตฟอร์มรับแรงด้วยน้ำหนักมาตรฐาน

การทดสอบระบบแพลตฟอร์มรับแรงด้วยน้ำหนักมาตรฐานนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนนำระบบแพลตฟอร์มรับแรงไปใช้วัดน้ำหนักจากแรงกดจากเท้าสุนัข เพื่อทดสอบความถูกต้องแม่นยำของระบบแพลตฟอร์มรับแรงและเพื่อดูการกระจายน้ำหนักของน้ำหนักมาตรฐานที่มีฐานรูปร่างที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ ฐานแบบวงแหวน ฐานแบบวงกลมและฐานแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการนำน้ำหนักมาตรฐานวางบนแพลตฟอร์มเป็นเวลา 10 s เป็นจำนวน 5 ครั้ง สำหรับน้ำหนักมาตรฐานแต่ละรูป ข้อมูลจาก FSR ทั้ง 144 ตัว จะถูกนำมาประมวลผลและแปลงค่าเป็นผลรวมของน้ำหนัก ซึ่งในแต่ละครั้งที่ทดสอบจะมีข้อมูลผลรวมของน้ำหนักจำนวน 500 ชุด ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ค่า standard deviation และจากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบด้วยน้ำหนักมาตรฐานตามสมการ (3.21)

$$\%error = \frac{|Weight - Avg.total\,weight|}{Weight} \times 100\% \qquad (3.21)$$

โดยที่ $\%error$ คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระบบแพลตฟอร์มรับแรง

$Weight$ คือ น้ำหนักจริงของน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ (g)

$Avg.total\,weight$ คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ระบบแพลตฟอร์มรับแรงอ่านค่าได้ (g)

การทดสอบความถูกต้องแม่นยำด้วยน้ำหนักมาตรฐานนี้ จะอาศัยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักจากน้ำหนักมาตรฐานที่ได้จากการอ่านค่าการกระจายน้ำหนักของน้ำหนักมาตรฐานรูปร่างต่าง ๆ ว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่อ่านค่าได้ มีค่าใกล้เคียงกับมวลของน้ำหนักจริง โดยทำการวัด 5 ครั้งต่อน้ำหนักมาตรฐาน 1 รูปร่าง แล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย และรูปของการกระจายน้ำหนักของน้ำหนักมาตรฐานที่บันทึกค่าได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลควรมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบค่าเฉลี่ยน้ำหนักจากน้ำหนักมาตรฐานที่มีฐานรูปร่างต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบการตรวจจับน้ำหนักของระบบแพลตฟอร์มรับแรงโดยใช้น้ำหนักมาตรฐานที่มีรูปร่างของฐาน 3 รูปร่าง

รูปทรง	น้ำหนักจริง (g)	น้ำหนักเฉลี่ยที่วัดได้ (g)	SD (g)	Error (%)
วงแหวน	2,000	2,038	9.13	1.90
วงกลม	2,000	2,024	7.81	1.20
สี่เหลี่ยม	2,000	2,019	2.72	0.95

จากการทดสอบน้ำหนักมาตรฐานที่มีฐานรูปร่างที่แตกต่างกันทั้ง 3 รูปร่างพบว่า น้ำหนักมาตรฐาน ที่มีฐานแบบวงแหวน ฐานแบบวงกลม และฐานแบบสี่เหลี่ยม มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยของที่วัดได้คือ 2,038 g, 2,024 g, และ 2,019 g ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน 2,000 g ที่ใช้ในการวัด พบค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.90%, 1.20% และ 0.95% ตามลำดับ และเมื่อนำการกระจายน้ำหนักของแต่ละรูปทรงที่วางบนแพลตฟอร์มรับแรงมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานทั้ง 3 รูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.23 พบว่า การกระจายน้ำหนักลงบนแพลตฟอร์มมีรูปร่างเหมือนกันกับฐานของน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักจริงของน้ำหนักมาตรฐานกับการกระจายน้ำหนักที่ตรวจจับได้โดยแพลตฟอร์มรับแรงในรูปที่ 3.2 (ก) กับรูปที่ 3.2 (ง) พบว่ารูปทรงฐานวงแหวนมีการกระจายน้ำหนักอยู่ในช่วง 48-114 g ในการเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 3.2 (ข) กับรูปที่ 3.2 (จ) ซึ่งเป็นน้ำหนักมาตรฐานรูปทรงฐานแบบวงกลมพบว่า มีการกระจายน้ำหนักอยู่ในช่วง 63-129 g ในการเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 3.2 (ค) กับรูปที่ 3.2 (ฉ) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการกระจายน้ำหนักของน้ำหนักมาตรฐานที่มีฐานสี่เหลี่ยมและการกระจายน้ำหนักที่อยู่ในช่วง 62-88 g ในการตรวจสอบการกระจายน้ำหนักของรูปทรงทั้ง 3 รูปนี้มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 3% ซึ่งมีความแม่นยำสูงและมีการกระจายน้ำหนักของฐานรูปทรงต่าง ๆ ที่สม่ำเสมอและมีรูปร่างเดียวกันกับฐานของน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

จากผลการทดสอบการกระจายน้ำหนักโดยใช้น้ำหนักมาตรฐานที่มีฐานรูปร่างต่าง ๆ นั้น แสดงให้เห็นว่า ระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ สามารถตรวจจับแรงกดหรือน้ำหนักที่กดลงบนแพลตฟอร์มได้อย่างถูกต้อง สามารถมองเห็นถึงการกระจายน้ำหนักที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ถูกกดโดยน้ำหนักมาตรฐานได้อย่างชัดเจน ซึ่งความสามารถในการแสดงการกระจายน้ำหนักของแรงกดได้อย่างถูกต้องนี้ จะได้นำไปใช้ในการทดลองกับสุนัขที่มีน้ำหนักในช่วง 2-40 kg เพื่อให้สามารถดูการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในขณะที่ยืนและขณะที่เดินได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะกล่าวถึงอย่างละเอียดในบทที่ 4 และบทที่ 5 ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ก)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	51	86	73	0	0	0	0
0	0	0	0	97	79	62	83	54	0	0	0
0	0	0	114	71	0	0	0	78	94	0	0
0	0	0	67	0	0	0	0	0	86	0	0
0	0	0	98	48	0	0	0	0	99	0	0
0	0	0	109	89	0	0	0	61	58	0	0
0	0	0	0	87	72	58	74	90	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ง)

(ข)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	72	82	63	0	0	0	0	0
0	0	0	82	121	114	126	67	0	0	0	0
0	0	0	75	117	123	125	82	0	0	0	0
0	0	0	93	129	114	127	79	0	0	0	0
0	0	0	0	84	81	68	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(จ)

(ค)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	64	81	72	68	83	88	81	0	0
0	0	0	71	63	72	71	77	63	59	0	0
0	0	0	82	64	70	84	86	54	62	0	0
0	0	0	77	71	60	82	95	64	57	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ฉ)

รูปที่ 3.23 ฐานของน้ำหนักมาตรฐานทั้ง 3 แบบ คือ (ก) ฐานแบบวงแหวน (ข) ฐานแบบวงกลม (ค) ฐานแบบสี่เหลี่ยม และ ภาพการกระจายน้ำหนักจากการวางน้ำหนักมาตรฐาน (ง) ฐานแบบวงแหวน (จ) ฐานแบบวงกลม (ฉ) ฐานแบบสี่เหลี่ยม

บทที่ 4
การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะยืน

การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะยืนนั้นใช้ระบบแพลตฟอร์มรับแรงในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในขณะยืนที่กดลงบนแพลตฟอร์มรับแรง จากนั้นนำข้อมูลน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าแต่ละข้างขณะที่ยืนนิ่งมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักและหาน้ำหนักรวมจากข้อมูลของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้าง ข้อมูลจากสุนัขแต่ละตัวถูกเก็บเป็นข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) ของสุนัข นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) ของสุนัข เพื่อเปรียบเทียบการกระจายน้ำหนักตัวของสุนัขไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขและวิเคราะห์ความสมดุลของการกระจายน้ำหนักตัวในขณะที่ยืนของสุนัขแต่ละขนาดตัวทั้งสุนัขปกติและสุนัขที่ผิดปกติ

4.1 วิธีการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืน

การตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขโดยใช้แพลตฟอร์มรับแรงในขณะที่สุนัขยืนนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สัตว์แพทย์เลือกสุนัขแบบสุ่ม (ทั้งสุนัขปกติ สุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกและสุนัขที่เป็นโรคอื่นๆ) ที่มีประวัติการรักษาอยู่ในโรงพยาบาลสัตว์เล็ก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. บันทึกข้อมูล อายุ เพศ น้ำหนัก และประวัติการรักษา
3. นำสุนัขไปยืนบนแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อตรวจจับการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าทีละข้าง โดยบันทึกข้อมูลน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างจำนวน 3 ครั้ง และแต่ละครั้งทำการบันทึกข้อมูลเป็นเวลา 60 s
4. นำค่ายอดจากน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างทั้ง 3 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ย เป็นค่าน้ำหนักกดเฉลี่ยของอุ้งเท้านั้น ๆ ของสุนัขขณะยืน
5. นำน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างของสุนัขมาหาผลรวมและเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงของสุนัข จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเฉลี่ยรวม (จากอุ้งเท้าทั้ง 4

ข้าง) เทียบกับน้ำหนักจริง (%error) จากสมการ (3.9) ถ้าน้ำหนักรวมจากอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้าง เกิน 5% จากน้ำหนักตัวของสุนัขข้อมูลนั้นจะถูกคัดออกเพื่อกำจัดข้อมูลที่สุนัขมีการกดน้ำหนักขณะยืนที่ไม่ปกติ (เช่น มีการยืนที่เอียงข้าง มีอาการสั่นหรือยืนไม่นิ่ง) ออกจากข้อมูลที่รวบรวม

6. นำน้ำหนักกดเฉลี่ยจากอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างมาคำนวณอัตราส่วนค่าเฉลี่ยผลรวมของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) ของสุนัขเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์สมดุลของน้ำหนักตัวในขณะยืนของสุนัข

ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สุนัขปกติ (จำนวน 15 ตัว) สุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (จำนวน 21 ตัว) และสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่ส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข (จำนวน 4 ตัว) โดยข้อมูลของสุนัขทุกตัวที่นำมาทดสอบจะแสดงในภาคผนวก ก

4.2 การตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืน

4.2.1 ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขปกติ

ในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขปกติหรือสุนัขที่ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก ไม่มีความผิดปกติในการยืน ไม่ได้รับบาดเจ็บที่ขาและน้ำหนักตัวไม่เกินมาตรฐาน จำนวน 15 ตัว ที่มีช่วงน้ำหนักอยู่ที่ 2,000 g–22,500 g แบ่งเป็นสุนัขขนาดเล็กที่มีน้ำหนักไม่เกิน 15 kg 13 ตัว และสุนัขขนาดกลางที่มีน้ำหนักระหว่าง 15-25 kg จำนวน 2 ตัว ได้ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งในตารางนี้ประกอบไปด้วย สายพันธุ์ของสุนัข น้ำหนักตัวของสุนัขที่ชั่งโดยเครื่องชั่งสุนัข (น้ำหนักจริง) น้ำหนักจากการรวมน้ำหนักกดเฉลี่ยของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้าง (น้ำหนักเฉลี่ยรวม) เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเฉลี่ยรวม (จากอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้าง) เทียบกับน้ำหนักจริง (%error) น้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าแต่ละข้าง (g) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา หรือ %diff1) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา หรือ %diff2) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) และอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่

กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) และรูปที่ 4.1 แสดงการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างของสุนัขปกติทั้ง 15 ตัว เรียงตามลำดับที่แสดงในตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าสุนัขปกติในขณะยืน

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	หน้าซ้าย	หน้าขวา	%diff1	หลังซ้าย	หลังขวา	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
1	ชิวาวา	2000	2022	1.1	594	588	1.02	417	423	1.43	50.00:50.00	58.46:41.54
2	ชิสุห์	4300	4346	1.07	1306	1313	0.53	848	879	3.59	49.56:50.44	60.26:39.74
3	ปอม	5000	5086	1.72	1542	1539	0.19	1014	991	2.29	50.26:49.74	60.58:39.42
4	ชิสุห์	5600	5594	0.11	1699	1644	3.29	1154	1097	5.06	51.00:49.00	59.76:40.24
5	พุดเดิ้ล	5950	5985	0.59	1795	1762	1.86	1225	1203	1.81	50.46:49.54	59.43:40.57
6	ชิสุห์	6000	6010	0.17	1815	1803	0.66	1198	1194	0.33	50.13:49.87	60.20:39.80
7	พุดเดิ้ล	6500	6515	0.23	1948	1956	0.41	1307	1304	0.23	49.96:50.04	59.92:40.08
8	พุดเดิ้ล	6500	6553	0.82	1941	2001	3.04	1324	1287	2.83	49.82:50.18	60.16:39.84
9	ชิสุห์	7000	7159	2.27	2143	2158	0.7	1421	1437	1.12	49.78:50.22	60.08:39.89
10	ชิสุห์	7000	7122	1.74	2172	2109	2.94	1414	1427	0.92	50.35:49.65	60.11:39.89
11	ชิสุห์	7050	7059	0.13	2116	2118	0.09	1413	1412	0.07	49.99:50.01	59.86:40.02
12	ชิสุห์	7200	7235	0.49	2162	2169	0.32	1453	1451	0.14	49.97:50.03	59.86:40.14
13	ปั๊ก	10500	10531	0.3	3214	3197	0.53	2056	2064	0.39	50.04:49.96	60.88:39.12
14	บีเกิ้ล	18000	18044	0.24	5407	5429	0.41	3594	3614	0.55	49.88:5012	60.05:39.95
15	บูลเทอร์เรีย	22500	22684	0.82	6773	6788	0.22	4636	4487	3.27	50.30:49.70	59.78:40.22
	ค่าเฉลี่ย			0.79 (±0.68)			1.08 (±1.12)			1.6 (±1.51)	50.10:49.90 (±0.34)	59.97:40.03 (±0.54)

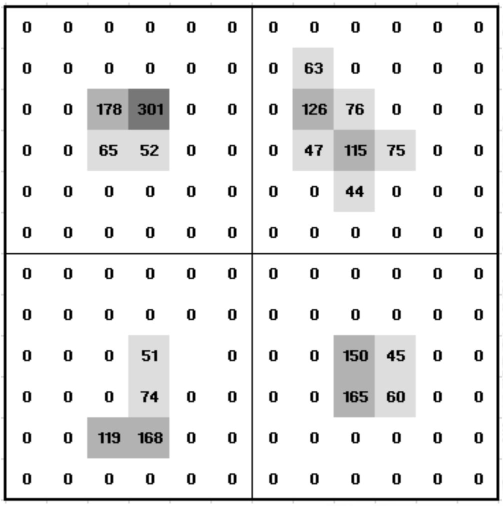
*หมายเหตุ

สุนัขลำดับที่ 1-13 จัดเป็นสุนัขขนาดเล็ก

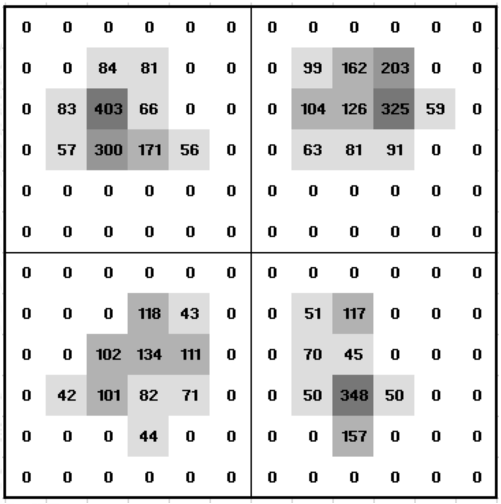
สุนัขลำดับที่ 14-15 จัดเป็นสุนัขขนาดใหญ่

%diff1 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา

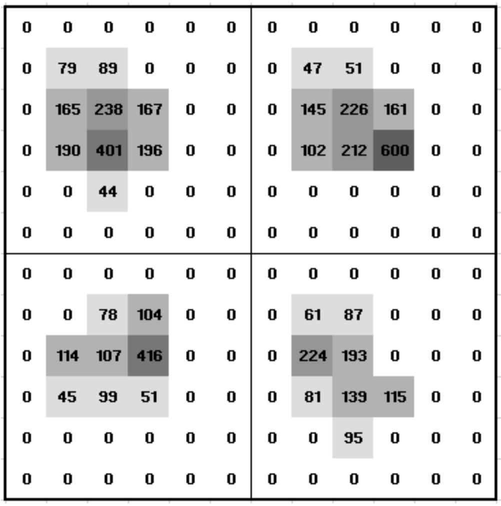
%diff2 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา



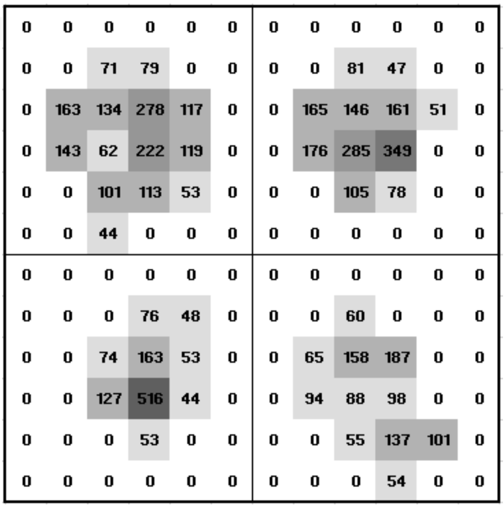
1



2



3



4

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	41	42	0	0	0	48	166	128	0	0
0	0	116	133	223	46	58	219	90	72	227	54
0	81	105	57	104	0	0	74	91	87	109	0
0	159	155	102	149	0	0	56	181	51	47	0
0	0	123	90	61	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	41	0	0	100	358	44	85	55
0	0	146	94	0	0	0	41	107	60	94	65
0	0	498	235	89	0	0	0	0	80	138	0
0	0	60	59	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	108	102	62	0	0	0	178	245	93	0
0	105	167	111	212	0	0	52	424	356	90	0
0	153	451	117	60	0	0	0	107	100	56	0
0	0	70	98	0	0	0	0	79	66	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	84	100	0	0	0	0	0	0	0
0	0	91	113	179	0	0	81	0	55	0	0
0	54	224	78	103	0	0	488	169	90	79	0
0	0	80	55	0	0	0	70	68	93	73	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	77	151	136	0	0	0	123	95	81	0	0
52	179	175	488	79	0	0	83	93	348	56	0
0	66	56	241	51	0	0	100	115	597	53	0
0	54	60	83	0	0	0	58	54	100	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	109	121	0	0	0	103	123	90	126	0
0	100	164	217	103	0	0	53	48	107	250	0
0	100	80	106	47	0	0	0	89	122	193	0
0	113	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	138	165	61	0	0	0	123	0	0	0
0	228	389	224	123	0	0	123	271	146	320	0
0	146	221	98	0	0	0	136	450	89	159	0
0	44	94	0	0	0	0	0	118	54	65	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	45	0	0	0	0	0	78	140	100	0
123	119	175	43	0	0	0	174	135	79	156	0
0	57	65	66	75	0	0	98	103	58	0	0
0	0	248	92	71	0	0	0	109	0	0	0
0	0	97	78	0	0	0	0	53	0	0	0

8

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	108	97	0	0	0	123	47	0	0	0
0	41	205	175	52	0	0	373	241	75	50	0
0	73	474	215	62	77	0	66	102	89	370	81
0	0	117	169	181	0	0	0	44	95	138	66
0	0	0	64	72	0	0	0	0	108	90	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	46	179	0	0	0	0	41	49	0	0
0	0	47	261	292	0	0	0	148	149	311	0
0	48	42	163	271	0	0	0	43	222	399	0
0	55	0	67	0	0	0	0	0	71	58	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

9

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	73	219	289	96	0	0	0	0	59	0	0
0	335	498	242	123	0	0	70	233	328	149	52
0	143	119	60	0	0	0	95	356	451	227	89
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	67	105	0	0	0	0	0	0	40	61	0
0	230	148	136	89	0	0	123	199	137	117	0
0	124	111	66	97	0	0	65	287	142	98	0
0	0	96	0	0	0	0	0	87	87	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10

0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0
0	84	155	150	113	0	0	56	89	129	0	0
0	157	80	347	143	0	55	145	159	350	61	0
0	130	456	114	59	0	99	81	127	358	118	0
0	0	69	0	0	0	0	62	101	128	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	55	0	0	0	54	47	103	0	0
0	114	96	84	49	0	0	123	65	70	59	0
0	347	245	142	60	0	0	42	497	140	0	0
0	103	118	0	0	0	0	0	135	77	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

11

0	0	0	0	0	0	0	67	86	0	0	0
0	162	407	100	0	0	0	157	118	336	125	0
0	168	268	97	95	0	0	241	88	109	90	0
0	115	58	104	112	0	0	112	240	97	101	0
0	70	153	170	88	0	0	0	77	82	54	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0
0	0	88	213	104	0	49	562	128	57	155	0
0	53	139	139	389	0	0	86	0	71	154	0
0	78	156	94	0	0	0	0	0	54	64	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

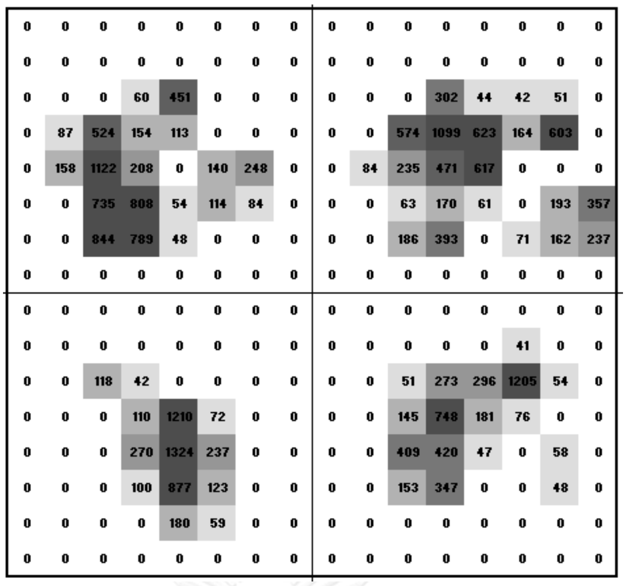
12

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	103	414	70	0	0	0	55	76	0	0
0	308	214	525	80	0	105	357	202	637	129	0
0	640	115	91	0	0	72	349	190	217	105	0
0	136	386	94	48	0	0	215	245	97	82	0
0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	178	148	0	0	0	94	158	61	0	0
0	0	181	522	61	0	0	268	406	134	123	0
0	135	107	325	0	0	0	58	72	161	188	0
0	220	86	72	0	0	0	0	129	124	98	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

13

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	226	0	0	0
0	0	40	271	287	82	0	0	0	123	374	164	120	126	61	0
0	0	60	123	792	157	0	0	0	79	695	511	128	727	244	0
0	0	191	102	313	159	0	0	0	94	313	174	134	317	62	0
0	0	1052	512	598	183	0	0	0	0	64	145	185	182	0	0
0	0	154	279	46	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	147	0	95	41	0	0	0	0	0	484	181	0	0
0	0	212	680	123	249	101	0	0	0	123	42	133	553	59	0
0	0	75	219	90	171	169	0	0	0	0	472	114	280	0	0
0	0	0	84	141	368	193	0	0	0	41	671	191	296	0	0
0	0	0	0	85	331	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

14



15

0-40 g 41-100 g 101-200 g 201-300 g 301-450 g 451-600 g 600 g ขึ้นไป

รูปที่ 4.1 การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างของสุนัขปกติที่ตรวจจับทีละอุ้งเท้าตามลำดับ 1-15 ที่แสดงในตาราง 4.1 ในรูปบนซ้ายคือ อุ้งเท้าหน้าซ้าย รูปบนขวาคือ อุ้งเท้าหน้าขวา รูปล่างซ้ายคือ อุ้งเท้าหลังซ้าย และรูปล่างขวาคือ อุ้งเท้าหลังขวาของสุนัขแต่ละตัว

4.2.2 ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก

ในการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก จำนวน 29 ตัว ที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,800-37,000 g สามารถแบ่งสุนัขออกเป็น 4 กลุ่มตามโรคที่เป็น คือ กลุ่มที่เป็นโรคข้อเข่าเสื่อม (Degenerative joint disease) กลุ่มที่เป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน (Patellar luxation) กลุ่มที่เป็นโรคข้อสะโพกเสื่อม (Hip dysplasia) และกลุ่มที่เป็นโรคข้อสะโพกหลุด (Coxofemoral Luxation) ซึ่งทั้ง 4 โรคนี้เป็นโรคที่ทำให้เกิดความผิดปกติกับขาหลังของสุนัข ในการทดสอบนี้จะแบ่งเป็น 3 กรณี คือ 1) กรณีที่สุนัขที่ยังไม่ได้รับการรักษาจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (จำนวน 25 ตัว) 2) กรณีที่สุนัขที่ได้รับการรักษาโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกแล้วมากกว่า 1 เดือน (จำนวน 4 ตัว) เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงในการกระจายน้ำหนักตัวไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างก่อนรักษาและหลังรักษาว่ามีแนวโน้มการกระจายน้ำหนักที่ดีขึ้นหรือไม่ และ 3) กรณีตัวอย่างที่สุนัขเป็นโรคข้อสะโพกหลุดก่อนรับการรักษาและหลังจากที่ได้รับการรักษาแล้ว (ผ่าตัด) เพื่อดูแนวโน้มการกระจายน้ำหนักของแต่ละอุ้งเท้าที่กดก่อนและหลังการผ่าตัดและเพื่อใช้ในการรักษาโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกของสุนัข จากนั้นนำค่าน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่ตรวจจับได้มาวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างที่มีความบาดเจ็บไม่เหมือนกัน โดยคำนวณหา อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้าง ขวา (ซ้าย:ขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (กรณีที่ 1) ตารางที่ 4.3 (กรณีที่ 2) และตารางที่ 4.4 (กรณีที่ 3) และภาพการกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละตัวได้แสดงในรูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะยืนของอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกก่อนได้รับการรักษา จำนวน 25 ตัว

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	หน้าซ้าย	หน้าขวา	%diff1	หลังซ้าย	หลังขวา	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
โรคข้อเสื่อม (Degenerative joint disease) ที่ข้างซ้าย												
16	ปอม	3,800	3,791	0.24	1,203	1,169	2.87	639	780	19.87	48.59:51.41	62.57:37.43
17	ผสม	4,000	3,943	1.43	1,371	1,257	8.68	583	732	22.66	49.56:50.44	66.65:33.35
18	พุดเดิ้ล	6,300	6,369	1.1	2,094	1,969	6.15	1,133	1,173	3.47	50.67:49.33	63.79:36.21
	ค่าเฉลี่ย			**0.92**			**5.9**			**15.3**	**49.60:50.40 (±1.04)**	**64.34:35.66 (±2.09)**
โรคข้อเสื่อม ที่ข้างซ้ายขวา												
19	ปอม	3,500	3,528	0.8	1,115	1,208	8.01	639	566	12.12	49.72:50.28	65.84:34.15
20	พุดเดิ้ล	4,000	4,072	1.8	1,293	1,340	3.57	778	661	16.26	50.86:49.14	64.66:35.34
21	ปอม	5,000	5,144	2.88	1,628	1,707	4.74	1,200	609	65.34	54.98:45.02	64.83:35.17
	ค่าเฉลี่ย			**1.83**			**5.44**			**31.2**	**51.85:48.15 (±2.77)**	**65.11:34.89 (±0.64)**
โรคข้อเสื่อม ทั้ง2ข้าง												
22	ปอม	2,800	2,755	1.61	840	906	7.56	511	498	2.58	49.04:50.96	63.38:36.62
	ค่าเฉลี่ย			**1.61**			**7.65**			**2.58**	**49.04:50.96**	**63.38:36.62**

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	หน้าซ้าย	หน้าขวา	%diff1	หลังซ้าย	หลังขวา	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
โรคสะบ้าเคลื่อน (Patellar luxation) ทั้ง 2 ข้าง												
23	ปอม	2,000	2,004	0.2	622	608	2.28	363	411	12.4	49.15:50.85	61.38:38.62
24	ชิวาวา	2,400	2,465	2.71	744	793	6.38	481	447	7.33	49.70:50.30	62.35:37.65
22	ปอม	2,800	2,755	1.61	840	906	7.56	511	498	2.58	49.04:50.96	63.38:36.62
19	ปอม	3,500	3,528	0.8	1,115	1,208	8.01	639	566	12.12	49.72:50.28	65.84:34.15
17	ผสม	4,000	3,943	1.43	1,371	1,257	8.67	583	732	22.66	49.56:50.44	66.65:33.35
25	พุดเดิ้ล	4,000	4,067	1.68	1,253	1,298	3.53	784	732	6.86	50.09:49.91	62.72:37.28
20	พุดเดิ้ล	4,000	4,072	1.8	1,293	1,340	3.57	778	661	16.26	50.86:49.16	64.66:35.34
18	พุดเดิ้ล	6,300	6,369	1.1	2,094	1,969	6.15	1,133	1,173	3.47	50.67:49.33	63.79:36.21
26	ปั๊ก	13,000	12,803	1.52	4,132	4,049	2.03	2,379	2,243	5.88	50.86:49.14	63.90:36.10
ค่าเฉลี่ย				**1.43**			**5.35**			**9.95**	**49.96:50.04 (±0.70)**	**63.85:36.15 (±1.67)**

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	หน้าซ้าย	หน้าขวา	%diff1	หลังซ้าย	หลังขวา	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
โรคสะโพกเสื่อม ทั้ง 2 ข้าง												
28	ปอม	1,800	1,869	3.83	612	552	10.31	307	398	25.82	49.17:50.83	62.28:37.72
22	ปอม	2,800	2,755	1.61	840	906	7.56	511	498	2.58	49.04:50.96	63.38:36.62
18	พุดเดิ้ล	6,300	6,369	1.1	2,094	1,969	6.15	1,133	1,173	3.47	50.67:49.33	63.79:36.21
29	ผสม	9,500	9,557	0.6	2,932	3,049	3.91	2,186	1,390	44.52	53.55:46.45	62.58:37.42
30	ร๊อกไวเลอร์	37,000	36,329	1.81	11,372	11,919	4.7	7,947	5,091	43.81	53.18:46.82	64.11:35.89
	ค่าเฉลี่ย			**1.79**			**6.53**			**24.04**	**51.12:48.88 (±2.15)**	**63.23:36.77 (±0.78)**
โรคสะโพกเสื่อม (Hip dysplasia) ที่ข้างขวา												
27	โกลเด้น	33,000	33,149	0.45	10,096	10,283	1.84	6,746	6,024	11.31	50.81:49.19	61.48:38.52
	ค่าเฉลี่ย			**0.45**			**1.84**			**11.31**	**50.81:49.19**	**61.48:38.52**

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	หน้าซ้าย	หน้าขวา	%diff1	หลังซ้าย	หลังขวา	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
โรคสะโพกหลุด (Coxofemoral Luxation) ที่ข้างซ้าย												
31	ชิสุห์	3,200	3,192	0.25	1,112	1,084	2.55	304	692	77.91	44.36:55.64	68.80:31.20
ค่าเฉลี่ย				**0.25**			**2.55**			**77.91**	**44.36:55.64**	**68.80:31.20**
โรคสะโพกหลุด ที่ข้างขวา												
16	ปอม	3,800	3,791	0.24	1,203	1,169	2.87	639	780	19.87	48.59:51.41	62.57:37.43
32	ปอม	4,500	4,523	0.51	1,464	1,598	8.75	1,133	328	110.2	57.42:42.58	67.70:32.30
ค่าเฉลี่ย				**0.37**			**5.81**			**65.04**	**53.00:47.00 (±6.24)**	**65.13:34.87 (±3.63)**
ค่าเฉลี่ยรวม				**1.32 (±0.90)**			**5.54 (±2.54)**			**22.85 (±26.70)**	**50.39:49.61 (±2.45)**	**64.12:35.88 (±1.90)**

*หมายเหตุ

%diff1 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา

%diff2 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา

ลำดับที่ 32 วัดน้ำหนักก่อนผ่าตัด

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	75	71	0	0
0	0	102	161	52	0	0	75	128	155	110	0
0	111	235	144	117	0	0	0	149	160	103	0
0	40	122	121	0	0	0	0	53	90	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	94	188	0	0
0	0	81	73	0	0	0	0	46	157	0	0
0	0	378	107	0	0	0	0	86	71	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	44	94	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	74	347	86	0	0	0	99	286	0	0
0	0	98	288	110	0	0	89	101	251	48	0
0	47	142	178	0	0	0	86	103	194	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	103	83	0	0	0	0	0	0	58	47	0
0	88	51	0	0	0	0	0	93	69	41	0
0	69	101	45	0	0	0	46	276	98	0	0
0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

17

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	148	0	0	0	55	531	458	77	0
0	71	227	54	0	0	0	0	439	142	0	0
0	130	607	60	0	0	0	0	57	94	57	0
0	92	385	181	139	0	0	0	0	59	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	56	155	211	0	0	0	153	173	59	96	0
0	117	365	55	45	66	0	143	241	101	133	0
0	0	87	0	0	0	0	0	74	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

18

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	74	154	219	0	0	0	77	98	0	0	0
0	96	126	321	0	0	0	112	517	89	0	0
0	0	21	0	0	0	0	51	193	56	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	103	61	0	0	0	0	145	0	0	0
0	50	141	136	0	0	0	41	102	77	0	0
0	0	59	85	0	0	0	0	64	137	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

19

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	93	168	80	0	0	0	73	221	0	0	0
0	117	435	156	0	0	0	341	586	55	0	0
0	46	128	65	0	0	0	0	66	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	116	61	0	0	0	0	191	0	0	0
0	49	160	142	60	0	0	43	121	85	0	0
0	0	81	105	0	0	0	0	74	147	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	120	479	0	0	0	0	76	91	0	0
0	41	241	355	157	0	0	123	163	350	216	0
0	0	86	149	0	0	0	117	199	255	117	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	105	128	0	0	0	59	71	0	0	0
0	75	227	238	98	0	0	44	122	143	0	0
0	92	184	53	0	0	0	0	81	89	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

21

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	80	45	0	0	0	0	90	0	0	0
0	61	160	222	43	0	0	0	225	273	0	0
0	0	107	122	0	0	0	0	119	175	81	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	109	117	0	0	0	63	72	56	0	0
0	0	196	108	0	0	0	89	103	123	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

22

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	41	57	0	0	0
0	0	50	313	0	0	0	107	99	136	0	0
0	0	90	165	0	0	0	62	57	49	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	42	0	0	0	0	42	0	0	0
0	59	105	54	0	0	0	0	223	100	0	0
0	0	58	45	0	0	0	0	46	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	45	182	42	0	0	0	0	75	43	0	0
0	117	192	80	0	0	0	78	415	96	0	0
0	0	84	0	0	0	0	0	99	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	41	83	117	0	0	0	60	77	0	0	0
0	54	85	111	0	0	0	0	220	96	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

24

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	92	77	0	0	0	122	243	164	0	0
0	85	281	173	80	0	0	81	479	132	0	0
0	0	348	136	0	0	0	0	0	0	77	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	91	0	0	0	0	229	101	44	0	0
0	134	183	106	0	0	0	61	95	147	0	0
0	169	105	0	0	0	0	0	55	48	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25

0	0	0	0	0	0	0	77	57	46	80	0
0	76	513	100	0	0	0	52	98	468	149	184
0	175	855	226	71	0	0	119	325	49	155	274
0	91	124	88	449	48	132	92	87	41	61	0
0	358	227	486	158	0	0	95	1158	128	51	0
0	0	0	86	0	0	0	0	67	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	43	0	0	0	0	62	722	113	0	0
0	81	750	193	181	0	0	64	308	99	105	0
0	96	94	73	208	0	0	62	95	151	188	0
47	232	75	95	114	0	0	0	0	193	83	0
0	0	46	71	0	0	0	0	0	0	0	0

26

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	65	0	0	0	0	0	0	42	0	0
0	91	278	58	0	0	0	0	61	318	55	0
0	71	49	0	0	0	0	0	76	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	58	0	0	0	0	84	105	0	0
0	0	102	104	0	0	0	0	138	71	0	0
0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

28

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	86	0	0	0	0	0	264	240	0	0
0	169	743	110	158	0	0	81	157	42	121	104
0	526	476	90	136	0	0	86	387	187	53	0
0	164	181	0	0	0	0	0	287	164	599	62
0	0	93	0	0	0	0	0	0	129	86	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	73	0	0	0	0	0	0	0	41	0
0	99	54	60	136	157	0	118	112	82	460	42
0	61	57	41	624	557	0	0	190	121	224	0
0	0	201	66	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

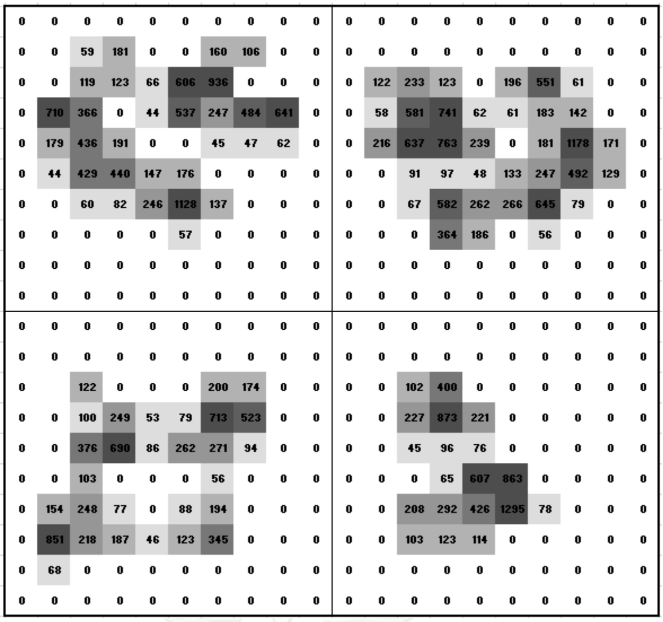
29

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	55	105	71	0	0	0	59	135	74	0	0
0	158	132	213	115	0	0	97	219	138	97	0
0	0	176	87	0	0	0	86	101	88	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	91	48	0	0
0	0	49	74	0	0	0	61	115	171	73	0
0	0	99	79	0	0	0	0	83	50	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

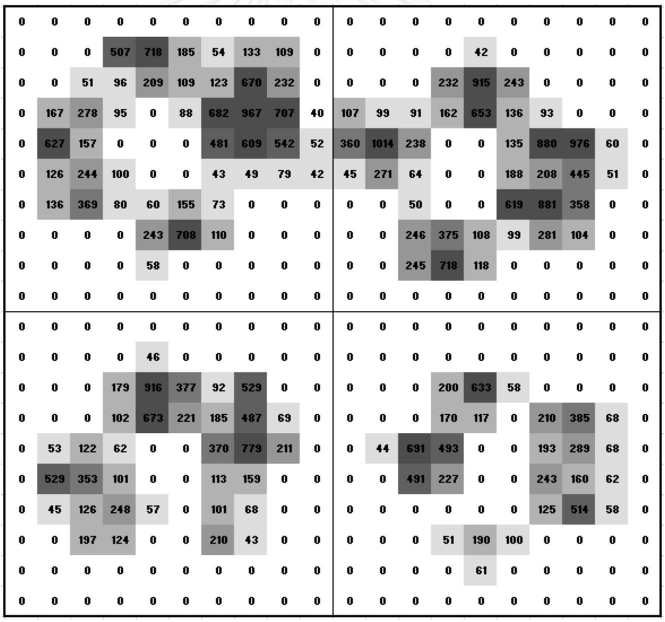
31

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	57	61	271	0	0	0	0	0	0	0	0
0	64	415	153	238	0	0	193	461	347	0	0
0	0	76	87	42	0	0	122	375	102	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0
0	61	403	134	0	0	0	62	41	43	0	0
0	41	413	81	0	0	0	0	52	50	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

32



27



30

0-40 g　　41-100 g　　101-200 g　　201-300 g　　301-450 g　　451-600 g　　600 g ขึ้นไป

รูปที่ 4.2 การกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าทั้ง 4 เท้าขณะยืนของสุนัขที่มีความผิดปกติจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกก่อนได้รับการรักษา (จากตารางที่ 4.2 สุนัขลำดับที่ 16-32) โดยในรูปบนซ้ายคือ อุ้งเท้าหน้าซ้าย รูปบนขวาคือ อุ้งเท้าหน้าขวา รูปล่างซ้ายคือ อุ้งเท้าหลังซ้าย และรูปล่างขวาคือ อุ้งเท้าหลังขวาของสุนัขแต่ละตัว

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะยืนจากอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่ได้รับการรักษาแล้วมากกว่า 1 เดือน

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	หน้าซ้าย	หน้าขวา	%diff1	หลังซ้าย	หลังขวา	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
33	ปอม	3,900	3,909	0.23	1,175	1,177	0.17	783	774	1.16	50.09:49.91	60.17:39.83
34	พุดเดิ้ล	6,000	6,013	0.22	1,813	1,810	0.17	1,178	1,212	2.85	49.74:50.26	60.25:39.75
35	ปั๊ก	13,000	12,964	0.28	3,949	3,967	0.45	2,472	2,576	4.12	49.53:50.47	61.06:38.94
36	ลาบราดอร์	30,400	30,750	1.15	9,585	9,398	1.97	5,728	6,039	5.29	49.80:50.17	61.70:38.27
	ค่าเฉลีย			**0.47 (±0.45)**			**0.69 (±0.86)**			**3.35 (±1.77)**	**49.79:50.21 (±0.23)**	**60.80:39.20 (±0.74)**

*หมายเหตุ

%diff1 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา

%diff2 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา

ลำดับที่ 33 ป่วยเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อนที่ขาคู่หลังและโรคสะบ้าหลุดที่ขาหลังขวา ได้รับการผ่าตัดที่สะโพกขาหลังขวาแล้ว

ลำดับที่ 34 ป่วยเป็นโรคสะโพกเสื่อมที่ขาคู่หลัง ได้รับการกายภาบำบัด เช่น นวดด้วยเครื่อง Ultrasound กินยา Antinol

ลำดับที่ 35 ป่วยเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อนที่ขาคู่หลัง ได้รับการผ่าตัดเพื่อรักษาโรคข้อสะบ้าเคลื่อนที่เมื่อเดือนกันยายน 2558

ลำดับที่ 36 ป่วยเป็นโรคสะโพกเสื่อมตั้งแต่เด็ก ได้รับการกายภาบำบัด เช่น นวดด้วยเครื่อง Ultrasound ว่ายน้ำและจูงเดิน

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	155	0	0	0	0	42	77	169	54	0
0	158	235	145	0	0	0	66	158	190	0	0
0	118	121	80	0	0	0	0	235	186	0	0
0	83	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	89	124	0	0	0	0	155	146	0	0
0	0	219	222	0	0	0	47	171	88	0	0
0	0	68	63	0	0	0	0	76	89	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

33

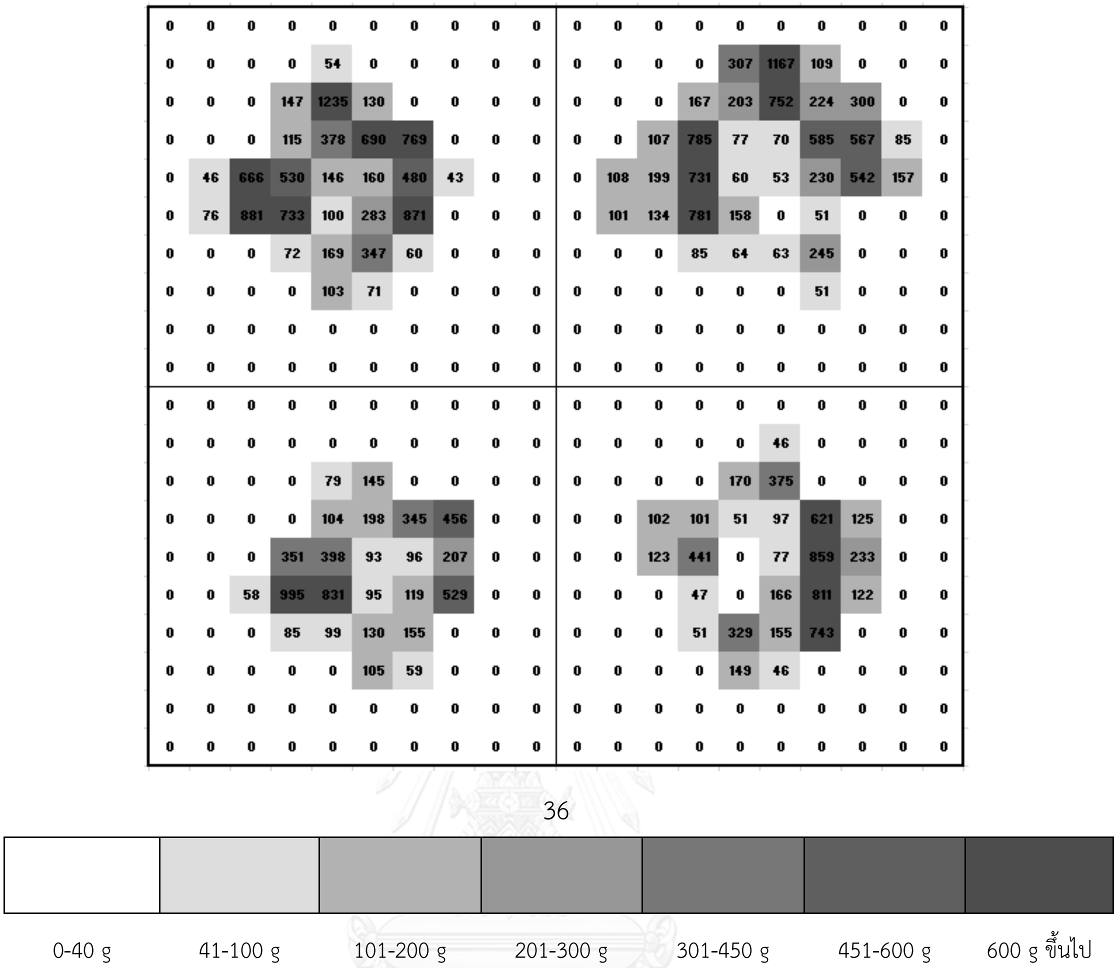
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	87	0	0	0	0	62	0	0	0
0	240	172	356	148	0	0	98	531	63	0	0
0	63	580	167	0	0	0	194	238	61	0	0
0	0	0	0	0	0	0	322	199	42	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	41	135	0	0	0	0	47	0	0	0
0	184	85	124	88	0	0	284	177	0	0	0
0	49	92	43	40	0	0	163	148	59	0	0
0	84	213	0	0	0	0	0	104	112	73	0
0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0

34

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	144	305	176	0	0	101	311	123	378	0
0	98	657	489	273	72	43	276	865	208	150	0
0	81	509	467	453	65	0	143	237	104	167	139
0	0	89	74	0	0	0	0	194	184	230	0
0	0	0	0	0	0	0	0	56	58	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	78	84	0	0	64	487	192	0	0
0	43	148	127	109	127	0	153	951	221	73	114
0	0	471	271	90	143	0	55	128	46	42	0
0	0	196	153	115	98	0	0	0	50	0	0
0	0	0	107	112	0	0	0	0	0	0	0

CHULALONGKORN UNIVERSITY

35



รูปที่ 4.3 การกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าทั้ง 4 เท้าขณะยืนของสุนัขที่มีความผิดปกติจากโรคระบบล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่ได้รับการรักษาแล้วมากกว่า 1 เดือน (จากตารางที่ 4.3 สุนัขลำดับที่ 33-36) โดยในรูปบนซ้ายคือ อุ้งเท้าหน้าซ้าย รูปบนขวาคือ อุ้งเท้าหน้าขวา รูปล่างซ้ายคือ อุ้งเท้าหลังซ้าย และรูปล่างขวาคือ อุ้งเท้าหลังขวาของสุนัขแต่ละตัว

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 สุนัขลำดับที่ 32 เป็นสุนัขสายพันธุ์ปอมเมอเรเนียนที่มีน้ำหนักก่อนการผ่าตัดข้อสะโพกหลุดด้านขวาอยู่ที่ 4,500 g และหลังจากผ่าตัดสุนัขตัวนี้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็น 5,100 g โดยจะแสดงผลน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในตารางที่ 4.4 เพื่อนำมาดูแนวโน้มของการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขว่า มีสมดุลการลงน้ำหนักของขาแต่ละข้างดีขึ้นหรือไม่หลังจากที่ได้รับผ่าตัดแล้ว

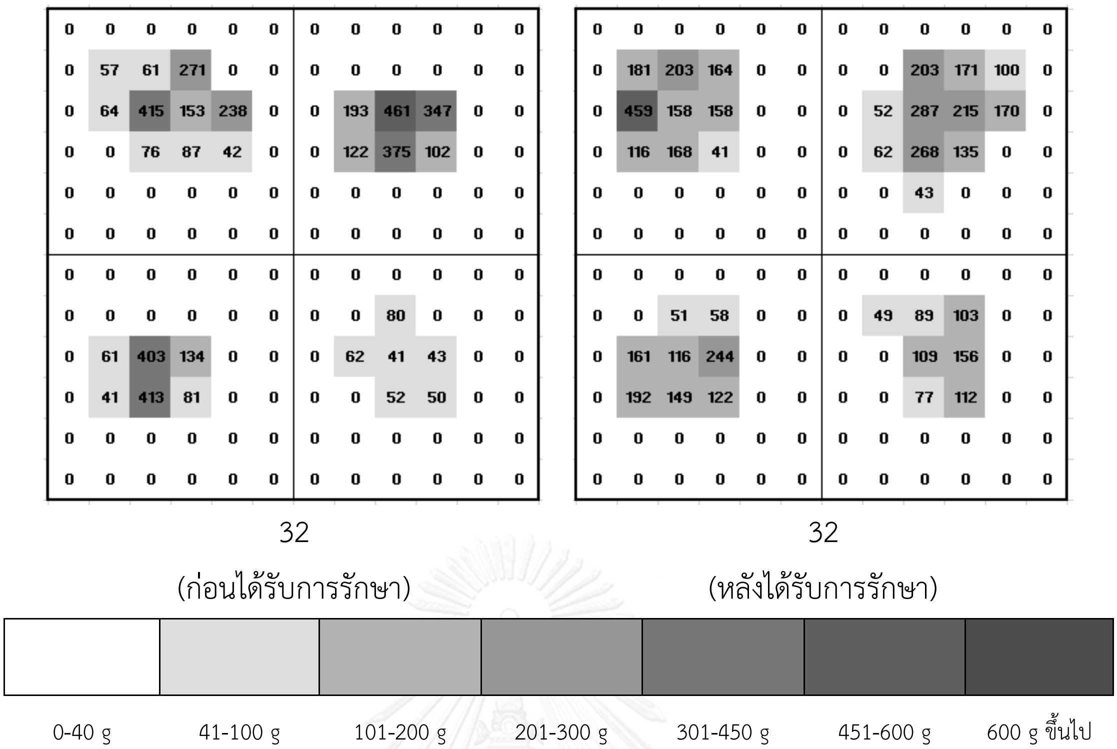
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลน้ำหนักกดของอุ้งเท้าขณะยืนของสุนัขลำดับที่ 32 ในตารางที่4.2 ทีเป็นโรคข้อสะโพกหลุด ก่อนและหลังผ่าตัดไปแล้วประมาณ 5 สัปดาห์

สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
	น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ยรวม	%error	ซ้ายหน้า	ขวาหน้า	%diff1	ซ้ายหลัง	ขวาหลัง	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
ก่อนผ่าตัด											
ปอม	4,500	4,523	0.51	1,464	1,598	8.75	1,133	328	110.2	57.42:42.58	67.70:32.30
หลังผ่าตัด											
ปอม	5,150	5,159	0.17	1,634	1,682	2.9	1,117	726	42.43	53.39:46.61	65.11:34.89

*หมายเหตุ

%diff1 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา

%diff2 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา



รูปที่ 4.4 การกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าทั้ง 4 เท้าขณะยืนของสุนัขที่เป็นโรคข้อสะโพกหลุดก่อนและหลังการรักษา (จากตารางที่ 4.2 สุนัขลำดับที่ 32) โดยในรูปบนซ้ายคือ อุ้งเท้าหน้าซ้าย รูปบนขวาคือ อุ้งเท้าหน้าขวา รูปล่างซ้ายคือ อุ้งเท้าหลังซ้าย และรูปล่างขวาคือ อุ้งเท้าหลังขวาของสุนัขแต่ละตัว

4.2.3 ผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข

สุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่น (เช่น มีความผิดปกติที่ตา) แต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข ทำให้เกิดการลงน้ำหนักในขณะยืนผิดปกติไป ในการทดสอบนี้ ใช้สุนัขจำนวน 4 ตัว ตัวแรกเป็นสุนัขพันธุ์ปอม ซึ่งป่วยเป็นโรคต้อกระจกตาด้านซ้าย ส่งผลให้ความสามารถในการมองเห็นลดลงและอาจใช้ตาข้างขวาในการมองมากขึ้น ตัวที่สองเป็นสุนัขพันธุ์ชิสุห์ ซึ่งป่วยเป็นโรคตาอักเสบทั้ง 2 ข้าง แต่ข้างขวาอักเสบหนักกว่าข้างซ้าย ส่งผลให้ความสามารถในการมองเห็นลดลงและอาจใช้ตาข้างซ้ายในการมองมากขึ้น ตัวที่สามเป็นสุนัขสายพันธุ์พุดเดิ้ลที่มีอาการบาดเจ็บที่เอ็นหัวเข่าฉีกที่ขาขวาด้านหลัง ซึ่งอาจมีผลทำให้การสมดุลของการลงน้ำหนักในขณะยืนเปลี่ยนแปลงไป และตัวสุดท้ายเป็นสุนัขสายพันธุ์ไทยที่มีอาการป่วยทางระบบประสาทที่ขาคู่หลัง ส่งผลให้ขาคู่หลังไม่มีความรู้สึกทั้งคู่แต่ยังสามารถยืนได้ ในการวิเคราะห์ผลการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้า ได้คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักสุนัขที่ตรวจวัดได้ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) และอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) ของสุนัขดังแสดงในตารางที่ 4.5 และการกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละตัวแสดงในรูปที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลน้ำหนักกดของอุ้งเท้าขณะยืนของสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่แต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข

ลำดับที่	สายพันธุ์	น้ำหนักตัว (g)			น้ำหนักเฉลี่ยที่กดของอุ้งเท้าแต่ละข้าง (g)						อัตราส่วนค่าเฉลี่ย	
		น้ำหนักจริง	น้ำหนักgลี่ยรวม	%error	ซ้ายหน้า	ขวาหน้า	%diff1	ซ้ายหลัง	ขวาหลัง	%diff2	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
โรคตาต้อกระจก												
37	ปอม	5,100	5,153	1.04	1,665	1,617	2.93	738	1,133	42.22	46.63:53.37	63.69:36.31
โรคตาอักเสบ												
4	ชิสุห์	5,600	5,594	0.11	1,699	1,644	3.29	1,154	1,097	5.06	51.00:49.00	59.76:40.24
เอ็นหัวเข้าฉีก ที่ขาขวาด้านหลัง												
38	พุดเดิ้ล	4,000	4,029	0.73	1,217	1,330	8.87	831	651	24.29	50.83:49.17	63.22:36.78
โรคระบบประสาทที่ด้านหลังของลำตัว												
39	ไทย	23,000	23,363	1.58	8,021	7,471	7.1	3,323	4,548	31.13	48.56:51.44	66.31:33.69

*หมายเหตุ

%diff1 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา

%diff2 คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา

ลำดับที่ 37 สุนัขเป็นโรคตาต้อกระจกที่ตาข้างซ้าย

ลำดับที่ 4 สุนัขเป็นโรคตาอักเสบอย่างรุนแรงทั้งสองข้าง

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	94	74	0	0	183	164	134	0	0
0	112	0	142	184	0	0	95	225	263	0	0
0	97	81	227	205	0	0	0	89	177	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	75	0	0	0	0	0	148	90	0	0
0	0	114	253	0	0	0	0	96	200	0	0
0	0	128	151	0	0	0	0	77	40	0	0
0	0	52	58	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

37

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	71	79	0	0	0	0	81	47	0	0
0	163	134	278	117	0	0	165	146	161	51	0
0	143	62	222	119	0	0	176	285	349	0	0
0	0	101	113	53	0	0	0	105	78	0	0
0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	76	48	0	0	0	60	0	0	0
0	0	74	163	53	0	0	65	158	187	0	0
0	0	127	516	44	0	0	94	88	98	0	0
0	0	0	53	0	0	0	0	55	137	101	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0

4

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	94	74	0	0	183	164	134	0	0
0	112	0	142	184	0	0	95	225	263	0	0
0	97	81	227	205	0	0	0	89	177	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	75	0	0	0	0	0	148	90	0	0
0	0	114	253	0	0	0	0	96	200	0	0
0	0	128	151	0	0	0	0	77	40	0	0
0	0	52	58	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

38

CHULALONGKORN UNIVERSITY

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0
0	0	0	0	83	664	475	0	0	0	0	0	60	246	173	45	221	0	0	0
0	0	0	222	242	479	403	45	0	0	0	0	193	595	749	184	243	43	0	0
0	73	122	652	218	0	93	101	0	0	0	0	143	239	349	70	234	185	0	0
0	154	202	588	101	0	104	135	0	0	0	0	0	102	259	85	246	504	0	0
0	0	86	431	110	0	0	0	0	0	0	0	0	607	116	581	489	48	0	0
0	0	0	0	171	449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0
0	0	0	0	406	675	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	68	97	213	66	107	103	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0
0	49	174	99	55	173	561	435	0	0	0	0	0	0	123	53	159	80	0	0
0	0	103	101	0	73	319	149	0	0	0	0	116	119	53	0	213	148	0	0
0	0	182	93	41	0	0	0	0	0	0	91	569	755	80	0	178	347	75	0
0	0	0	0	51	41	0	0	0	0	0	0	138	212	76	76	109	242	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	247	59	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

39

0-40 g | 41-100 g | 101-200 g | 201-300 g | 301-450 g | 451-600 g | 600 g ขึ้นไป

รูปที่ 4.5 การกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าทั้ง 4 เท้าขณะยืนของสุนัขที่ป่วยในโรคอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข โดยในรูปบนซ้ายคือ อุ้งเท้าหน้าซ้าย รูปบนขวาคือ อุ้งเท้าหน้าขวา รูปล่างซ้ายคือ อุ้งเท้าหลังซ้าย และรูปล่างขวาคือ อุ้งเท้าหลังขวาของสุนัขแต่ละตัว

4.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขขณะยืน

4.3.1 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าสุนัขที่ปกติ

จากการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าสุนัขปกติที่ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจากการตรวจด้วยการสังเกตการยืนโดยสัตวแพทย์และจากประวัติการรักษา จำนวน 15 ตัว เพื่อศึกษาสมดุลการลงน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างในขณะยืนของสุนัข ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (แถวที่ 1) นั่นคือ สุนัขปกติที่ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจะมีอัตราส่วน

ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) เท่ากับ 59.97:40.03 ± 0.54 และมีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) เท่ากับ 50.10:49.90 ± 0.34 นอกจากนี้ยังพบว่า สุนัขที่ปกติที่ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจะมีการกระจายน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าหน้าทั้งสองข้างและอุ้งเท้าหลังทั้งสองข้างที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า %แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา และ %แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา น้อยกว่า 1.6 ± 1.51% ซึ่งแสดงให้เป็นว่า สุนัขปกติขณะที่ยืนจะมีการกระจายน้ำหนักตัวไปที่อุ้งเท้าหน้าประมาณ 30% เท่ากันทั้งซ้ายและขวา และไปที่อุ้งเท้าหลังประมาณ 20% เท่ากันทั้งซ้ายและขวา สอดคล้องกับผลการศึกษาการยืนของสุนัขโดย Gillette, R.L. [3] และ Nunamaker, M. และคณะ [4] ที่ได้ไว้กล่าวว่า ในสุนัขที่ปกติ (ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก) จะมีการกระจายน้ำหนักไปยังขาคู่หน้าประมาณ 60% ของน้ำหนักตัวและขาคู่หลังประมาณ 40% ของน้ำหนักตัว (60:40) หรือ มีการกระจายน้ำหนักไปยังขาคู่หน้า (ซ้าย:ขวา) ข้างละ 30% ของน้ำหนักตัวและมีการกระจายน้ำหนักไปยังขาคู่หลัง (ซ้าย:ขวา) ข้างละ 20% ของน้ำหนักตัวและมีการกระจายน้ำหนักที่สมมาตรซ้าย-ขวา

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลของสุนัขปกติ สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (ยังไม่ได้รับการรักษา) และสุนัขป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก (ได้รับการรักษาแล้ว)

กลุ่มสุนัข	อัตราส่วนค่าเฉลี่ย		%ความแตกต่าง	
	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า: คู่หลัง	หน้าซ้าย: หน้าขวา	หลังซ้าย: หลังขวา
#1 สุนัขปกติ จำนวน 15 ตัว ช่วงน้ำหนัก 2-22.5 kg	50.10:49.90 (±0.34)	59.97:40.03 (±0.54)	1.08 (±1.13)	1.6 (±1.51)
#2 สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก ยังไม่ได้รับการรักษา จำนวน 20 ตัว ช่วงน้ำหนัก 1.8-37 kg	50.39:49.61 (±2.45)	64.12:35.88 (±1.90)	5.54 (±2.54)	22.85 (±26.70)
#3 สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก ที่ได้รับการรักษาแล้ว จำนวน 4 ตัว ช่วงน้ำหนัก 1.8-37 kg	49.79:50.21 (±0.23)	60.80:39.20 (±0.74)	0.69 (±0.86)	3.35 (±1.77)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.6 ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าสุนัขปกตินี้ สอดคล้องกับผลการศึกษาการยืนและการเดินของสุนัขของ Gillette, R.L [3] และ Nunamaker, M. และคณะ [4]

4.3.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก

การตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ 1) สุนัขที่ยังไม่ได้รับการรักษาจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก จำนวน 25 ตัว โดยแบ่งเป็นโรคข้อเสื่อม โรคสะบ้าเคลื่อน โรคข้อสะโพกเสื่อมและโรคข้อสะโพกหลุด ซึ่งทั้ง 4 โรคนี้เป็นโรคที่ทำให้เกิดความผิดปกติกับเท้าหลังของสุนัข 2) สุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่ได้รับการรักษาแล้วจำนวน 4 ตัว และ 3) สุนัขที่เป็นโรคข้อสะโพกหลุดก่อนและหลังผ่าตัด จำนวน 1 ตัว จากผลการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขทั้ง 3 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ตามลำดับ ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (แถวที่ 2) ซึ่งพบว่า สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่ยังไม่ได้รับการรักษา มีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวาอยู่ที่ 50.39:49.61 (±2.45%) แต่มีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยคู่หน้า:คู่หลังอยู่ที่ 64.12:35.88 (±1.90%) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากกรณีของสุนัขปกติ ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า ในสุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกนั้นจะมีการกระจายน้ำหนักตัวไปยังเท้าคู่หน้ามากขึ้น เนื่องจากสุนัขที่มีความผิดปกติจากทั้ง 4 โรค (โรคข้อเสื่อม โรคสะบ้าเคลื่อน โรคข้อสะโพกเสื่อมและโรคข้อสะโพกหลุด) สุนัขจะมีอาการเจ็บปวดที่ขาด้านหลัง ทำให้สุนัขลดการถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าที่บาดเจ็บเพื่อไม่ให้เท้าข้างที่เจ็บเกิดการเจ็บปวดมากกว่าเดิม นอกจากนี้ หากดูจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.54±1.90% และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.85±26.70% จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ทำให้ทราบว่า สุนัขที่มีความผิดปกติทางด้านระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจะมีการกระจายน้ำหนักตัวไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างที่ผิดปกติ (ไม่สมมาตร) โดยจะมีการกระจายน้ำหนักตัวไปยังขาหรือเท้าที่บาดเจ็บน้อยมาก แต่จะกระจายน้ำหนักตัวไปยังเท้าด้านข้างและด้านหน้าของเท้าที่บาดเจ็บแทน ทำให้อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังจึงดูเหมือนสมมาตร

จากตารางที่ 4.6 (แถว 3) สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกที่ได้รับการรักษาแล้วนั้นพบว่า มีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา ประมาณ 49.79:50.21 (±0.23%) มีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและ

ขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังใกล้เคียงกับสุนัขปกติ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 60.80:39.20 (±0.74%) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา ที่น้อยกว่า 3.35±1.77% จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่า สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกเมื่อได้รับการรักษาแล้วไม่ว่าจะเป็นการผ่าตัด การนวดด้วยเครื่อง Ultrasound การจูงเดินหรือการว่ายน้ำนั้น ช่วยให้สุนัขมีสมดุลในการกระจายน้ำหนักตัวไปยังอุ้งเท้าแต่ละข้างที่ดีขึ้นจริง

กรณีการเปรียบเทียบสุนัขที่เป็นโรคข้อสะโพกหลุดก่อนและหลังการรักษาแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า หลังจากการผ่าตัดนั้นสุนัขมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังมีค่าที่ดีขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสุนัขที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน จะมีการกระจายน้ำหนักตัวไปยังขาหลังมากกว่าสุนัขปกติ [30] แต่หากวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา จะพบว่าทั้งสองค่ามีค่าที่ดีขึ้น จาก 8.75% ก่อนการรักษาลดลงเป็น 2.90% สำหรับอุ้งเท้าคู่หน้าและจาก 110.20% ก่อนการรักษาลดลงเป็น 42.43% สำหรับอุ้งเท้าคู่หลัง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรักษาโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก ด้วยการผ่าตัดและการทำกายภาพบำบัด สามารถช่วยให้สุนัขมีการกระจายน้ำหนักตัวที่สมดุลและดีขึ้น

4.3.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข

ในการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข ได้ทดสอบกับสุนัขมีจำนวน 4 ตัว ในตัวแรกมีความผิดปกติที่ตาโดยเป็นโรคต้อกระจกที่ตาด้านซ้าย ตัวสองมีความผิดปกติที่ตาโดยเป็นโรคตาอักเสบทั้ง 2 ข้างแต่ตาข้างขวาอาการอักเสบมากกว่าตาข้างซ้าย ตัวที่สามมีอาการบาดเจ็บที่เอ็นหัวเข่าฉีกที่ขาขวาด้านหลัง และตัวสุดท้ายมีความผิดปกติทางระบบประสาทที่ด้านหลังของลำตัว โดยจะแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ผลในตารางที่ 4.7 ซึ่งประกอบไปด้วยผลจากอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเฉลี่ยรวม (จากอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้าง) เทียบกับน้ำหนักจริง (%error) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา)

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลของสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข

ความผิดปกติ	อัตราส่วนค่าเฉลี่ย		%ความแตกต่าง	
	ซ้าย:ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง	หน้าซ้าย:หน้าขวา	หลังซ้าย:หลังขวา
ตาต้อกระจก	46.63:53.37	63.69:36.31	2.93	42.22
ตาอักเสบ	51.00:49.00	59.76:40.24	3.29	5.06
เอ็นหัวเข่าฉีก (ขาหลังขวา)	50.83:49.17	63.22:36.78	8.87	24.29
ระบบประสาทที่ขาคู่หลังผิดปกติ	48.56:51.44	66.31:33.69	7.10	31.31

จากตารางที่ 4.7 พบว่า สุนัขที่ป่วยเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับตานั้นสามารถวิเคราะห์ผลการกระจายน้ำตัวไปยังขาแต่ละข้างได้ว่า สุนัขที่มีอาการผิดปกติในตาด้านใดด้านหนึ่งจะถ่ายเทน้ำหนักตัวไปยังด้านที่ปกติ ซึ่งดูได้จากสุนัขที่เป็นโรคตาต้อกระจกทางด้านซ้ายมีอัตราส่วนของซ้าย:ขวา 46.63:53.37 มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของหน้าซ้าย:หน้าขวาประมาณ 2.93% และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของหลังซ้าย:หลังขวาประมาณ 42.22% และสุนัขที่เป็นโรคตาอักเสบข้างขวามีอัตราส่วนของซ้าย:ขวา 51.00:49.00 มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของหน้าซ้าย:หน้าขวาประมาณ 3.29% และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของหลังซ้าย:หลังขวาประมาณ 5.06% โดยจะเห็นว่าอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของซ้าย:ขวานั้นมีค่าที่ต่างกันมากและยังมีการถ่ายเทน้ำหนักตัวที่ไม่สมดุล และสามารถดูได้จากอัตราส่วนค่าเฉลี่ยผลรวมของน้ำหนักกดในเท้าคู่หน้าต่อเท้าคู่หลังของสุนัข 63.69:36.31 ของสุนัขที่ป่วยเป็นโรคตาต้อกระจกและอัตราส่วนค่าเฉลี่ยผลรวมของน้ำหนักกดในเท้าคู่หน้าต่อเท้าคู่หลังของสุนัข 59.76:40.24 ขอสุนัขที่ป่วยเป็นโรคตาอักเสบ

สุนัขที่มีอาการบาดเจ็บที่เอ็นหัวเข่าฉีกที่ขาหลังขวานั้น พบว่าสุนัขมี อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังอยู่ที่ 63.22:36.78 จากข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบว่า สุนัขมีการถ่ายเทน้ำหนักไปยังอุ้งเท้าคู่หน้ามากกว่าอุ้งเท้าคู่หลัง และยังมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของหน้าซ้าย:หน้าขวาประมาณ 8.87% และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างหลังซ้าย:หลังขวาประมาณ 24.29% จะเห็นได้การลงน้ำหนักของขาคู่หน้าไม่แตกต่างกันมาก แต่จะลงน้ำหนักตัวไปที่อุ้งเท้าหลังซ้ายมากกว่าอุ้งเท้าหลังขวา (ซึ่งเป็นข้างที่ผิดปกติ) อย่างมาก

สุนัขที่มีความผิดปกติที่ระบบประสาทที่ด้านหลังของลำตัว พบว่าสุนัขมีการกระจายน้ำหนักไปด้านหน้ามากกว่าด้านหลังอย่างมาก ซึ่งดูได้จากอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลังอยู่ที่ 66.31:33.69 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวาประมาณ 7.10% และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวาประมาณ 31.31% จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า สุนัขมีการกระจายน้ำหนักไปยังเท้าคู่หน้ามากกว่าปกติมาก ซึ่งจะทำให้เท้าคู่หน้ามีการรับน้ำหนักที่มากเกินไปเนื่องจากสุนัขไม่มีความรู้สึกในเท้าคู่หลังจึงทำให้ยิ่งกดน้ำหนักตัวลงไปที่เท้าคู่หน้าเพื่อการทรงตัวในขณะยืน ซึ่งอาจจะส่งผลให้สุนัขเกิดการบาดเจ็บที่ขาคู่หน้าในอนาคตได้อีกด้วย

4.4 สรุปผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะยืน

จากการตรวจจับการระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าสุนัขสามารถสรุปผลวิเคราะห์การยืนของสุนัขได้ดังนี้

กรณีสุนัขปกติที่ไม่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก

1. ในขณะที่สุนัขยืนในท่าปกติจะมีความสมดุล (ซ้าย:ขวา) ประมาณ 50:50 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขาซ้ายต่อขาขวาเฉลี่ยที่น้อยกว่า 1.60±1.51%
2. มีการกระจายน้ำหนักตัวไปยังเท้าคู่หน้าประมาณ 59.97±0.54% ของน้ำหนักตัวและเท้าคู่หลังประมาณ 40.03±0.54% ของน้ำหนักตัว
3. เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักรวมจากอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างของสุนัขกับน้ำหนักจริงของสุนัข พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.80±0.68% เมื่อเทียบกับงานของ P.Chalayon [22] จึงได้ค่าข้อมูลที่มีความแม่นยำในการวัดมากกว่า

กรณีสุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกก่อนได้รับการรักษา

1. สุนัขที่มีความผิดปกติที่เท้าหลังและยังไม่ได้รับการรักษาจะมีลักษณะการยืนที่ไม่สมดุล โดยไม่สามารถดูได้จากอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา 50.39:49.61 (±2.45)% เนื่องจากมีค่าที่ใกล้เคียงกับสุนัขปกติจึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสุนัขมีอาการผิดปกติหรือไม่ แต่จะใช้การวิเคราะห์จากอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 64.12:35.88 ±(1.90)% ซึ่งพบว่าสุนัขจะมีการกระจายน้ำหนักตัวไปที่อุ้งเท้าคู่หน้ามากกว่าปกติ เพื่อช่วยในการพยุงตัวในขณะยืนและลดความเจ็บปวดที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติที่ขาหลัง

2. สุนัขที่มีอาการผิดปกติจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวามากถึง 22.85% (±26.70) และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวาอยู่ที่ 5.54% (±2.45) ซึ่งการวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างนี้ทำให้ทราบว่า เท้าข้างไหนที่ผิดปกติหรือมีอาการที่รุนแรงมากน้อยเพียงใด
3. สุนัขที่มีความผิดปกติที่ขาหลังซ้าย สุนัขจะถ่ายเทน้ำหนักไปยังอุ้งเท้าหลังขวาและหน้าซ้าย ในทางตรงกันข้ามถ้าสุนัขมีความผิดปกติที่ขาหลังขวา สุนัขก็จะถ่ายเทน้ำหนักไปยังอุ้งเท้าหลังซ้ายและเท้าหน้าขวา

กรณีสุนัขที่มีป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกหลังจากได้รับการรักษาแล้ว

1. ในสุนัขที่มีความผิดปกติที่เท้าหลังที่ได้รับการรักษาแล้วไม่ว่าจะเป็นการผ่าตัด การจูงเดิน การยืนทรงตัวบนลูกบอลหรือการนวดด้วยเครื่องอัลตราซาวนด์พบว่า มีอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง ที่ดีขึ้นใกล้เคียงกับสุนัขปกติ
2. เมื่อได้รับการรักษาแล้ว สุนัขจะมีการกระจายน้ำหนักตัวที่สมดุลดีขึ้น นั่นคือมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวาที่แตกต่างกันน้อยลง เมื่อสุนัขได้รับการรักษาก็จะทำให้สุนัขมีการกดน้ำหนักของอุ้งเท้าข้างที่เกิดการบาดเจ็บที่ดีขึ้น (กดน้ำหนักได้มากขึ้น) ทำให้เท้าข้างอื่นรับภาระที่น้อยลง

กรณีสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหว

1. ในสุนัขที่มีความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับตา (โรคตาต้อกระจก ตาอักเสบ ตาแดง) พบว่า ถ้าสุนัขมีอาการผิดปกติที่ตาข้างใดข้างหนึ่ง ทำให้การมองเห็นด้อยลงส่งผลให้สุนัขมีลักษณะการยืนที่ไม่สมดุล โดยจะกระจายน้ำหนักไปด้านตรงข้ามกับที่ผิดปกติ หากมีอาการผิดปกติที่ตาข้างซ้าย สุนัขจะมีการกระจายน้ำหนักไปที่อุ้งเท้าข้างขวามากกว่าปกติ เพื่อช่วยในการเคลื่อนไหวและการทรงตัวในขณะยืน
2. สำหรับสุนัขที่มีอาการเอ็นหัวเข่าฉีกสังเกตได้ว่า สุนัขแทบจะไม่ลงน้ำหนักไปที่ขาที่บาดเจ็บเลย ซึ่งสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวาที่มีค่าสูงถึง 24.29% และยังเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวาอยู่ที่ 8.87% โดยส่งผลให้สุนัขมีการยืนที่ผิดปกติ

3. สุนัขที่เป็นโรคระบบประสาทที่ช่วงตัวหลังสังเกตได้ว่า สุนัขจะมีการกระจายน้ำหนักไปยังเท้าคู่หน้ามากขึ้นเพื่อช่วยให้การพยุงตัวให้สามารถยืนอยู่ได้และช่วยในการเคลื่อนไหว ซึ่งจะเห็นได้จากอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง ซึ่งมีค่าสูงถึง 66.31:33.69 ซึ่งจะทำให้สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบประสาทนั้นเท้าข้างที่ยังรับความรู้สึกได้อยู่รับน้ำหนักตัวที่มากเกินไปอาจส่งผลให้สุนัขเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกในเท้าข้างที่ปกติตามมาในอนาคตได้

จากการสรุปผลวิเคราะห์การยืนของสุนัขที่ได้จากการวิเคราะห์การตรวจจับการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าสุนัขทำให้ทราบว่า สุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกไม่ว่าเป็นโรคข้อเสื่อม โรคสะบ้าเคลื่อน โรคข้อสะโพกเสื่อม โรคข้อสะโพกหลุด และความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวจะมีการกระจายน้ำหนักที่ผิดปกติที่คล้ายคลึงกัน โดยสุนัขที่มีความผิดปกติที่ขาหลังซ้าย ก็จะถ่ายเทน้ำหนักไปยังขาหลังขวาและขาหน้าซ้าย ในทางตรงกันข้ามถ้าสุนัขมีความผิดปกติที่ขาหลังขวา ก็จะถ่ายเทน้ำหนักไปยังขาหลังซ้ายและขาหน้าขวา เพื่อหลีกเลี่ยงการกดน้ำหนักที่ขาข้างที่บาดเจ็บเพื่อลดอาการเจ็บปวดแต่จะทำให้ขาข้างที่ปกติต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการยืนและการเดินของสุนัข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดิน

การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดินนั้นใช้ระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นในการตรวจจับแรงที่อุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในแต่ละจังหวะของการก้าวเดินที่กดน้ำหนักลงบนตัวแพลตฟอร์มรับแรง โดยมีความเร็วในการสุ่มข้อมูลอยู่ที่ 50 ข้อมูล/วินาที จากนั้นนำข้อมูลแรงกดจากอุ้งเท้าแต่ละข้างขณะที่เดินมาเรียงต่อกัน เพื่อศึกษาการถ่ายเทน้ำหนักของอุ้งเท้าในขณะเดินของสุนัข

5.1 วิธีการทดสอบการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะเดิน

การตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขในแต่ละจังหวะของการก้าวเดินที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้แพลตฟอร์มรับแรงในการตรวจจับแรงในขณะที่สุนัขเดินนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สัตว์แพทย์เลือกสุนัขจากการสังเกตการเดินที่ปกติ โดยประวัติการรักษาอยู่ในโรงพยาบาลสัตว์เล็ก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. บันทึกข้อมูล อายุ เพศ น้ำหนัก ประวัติการรักษาอดีตและปัจจุบัน
3. นำสุนัขไปเดินบนแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อทดสอบการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างในขณะเดิน โดยให้สุนัขเดินเหยียบบนแพลตฟอร์มรับแรงอย่างน้อย 2 ครั้งต่อเท้าแต่ละข้างและบันทึกข้อมูลน้ำหนักกดบนอุ้งเท้าแต่ละข้าง
4. นำค่าสูงสุดจากน้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ย
5. นำน้ำหนักกดของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้างในขณะเดินของสุนัขมาเปรียบเทียบกับการกระจายน้ำหนักในแต่ละข้างของสุนัขในขณะยืนและนำภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าที่ได้จากการเดินมาเรียงต่อกันเพื่อดูจังหวะการกดน้ำหนักบนอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดิน

ในการทดสอบการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดินนี้ ใช้สุนัขปกติจำนวน 4 ตัว โดยผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าในขณะเดินจะกล่าวในส่วนถัดไป

5.2 การตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะเดิน

การตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดินนั้นใช้สุนัขปกติจำนวน 4 ตัว ดังแสดงข้อมูลสุนัขแต่ละตัวในตารางที่5.1 แสดงข้อมูลการยืนของสุนัขแต่ละตัวเพื่อนำมาทดสอบการกดน้ำหนักขณะเดิน โดยข้อมูลการเดินของสุนัขแต่ละตัวถูกเก็บเป็นข้อมูลเชิงสถิติแบบอัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) ผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขนี้ทำให้ทราบถึงข้อมูลการเดินและลักษณะท่าทางการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าตั้งแต่สุนัขวางเท้าสัมผัสกับพื้นไปจนถึงช่วงสุนัขยกเท้าออกจากพื้น โดยข้อมูลการกดน้ำหนักบนอุ้งเท้าขณะเดินของสุนัขแสดงในตารางที่ 5.2 ตารางที่ 5.3 ตารางที่ 5.4 ตารางที่ 5.5 ตารางที่ 5.6 ตารางที่ 5.7 ตารางที่ 5.8 และตารางที่ 5.9 ข้อมูลการกดน้ำหนักบนอุ้งเท้าขณะเดินของสุนัขที่ช่วงเวลาต่างๆในแต่ละครั้งของการทดสอบ และความสัมพันธ์ของการกดน้ำหนักบนอุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขขณะเดินเทียบกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.8 และในตารางที่ 5.6 ตารางที่ 5.10 ตารางที่ 5.11 ตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.13 แสดงภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละช่วงเวลาในขณะเดินที่มีค่าน้ำหนักที่กดที่สุดที่สุด เพื่อเปรียบเทียบการกระจายน้ำหนักไปยังเท้าแต่ละข้างของสุนัขและวิเคราะห์ความสมดุลของน้ำหนักตัวในขณะที่ยืนของสุนัข

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลยืนของสุนัขปกติทั้ง 4 ตัว ที่นำมาทดสอบการกดน้ำหนักขณะเดิน

ลำดับ	น้ำหนักตัว (g)			%ความแตกต่าง		อัตราส่วนค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว	
	น้ำหนักจริง	น้ำหนักเฉลี่ย	%error	หน้าซ้าย:หน้าขวา	หลังซ้าย:หลังขวา	คู่ซ้าย:คู่ขวา	คู่หน้า:คู่หลัง
A*	5,950	5,950	0.59	1.86	1.81	50.46:49.54	59.43:40.57
B**	6,500	6,515	0.23	0.60	0.33	50.13:49.87	60.20:39.80
C	6,850	6,846	0.06	0.10	0.15	50.03:49.97	59.89:40.11
D***	7,200	7,235	0.49	0.32	0.14	49.97:50.03	59.86:40.02

*หมายเหตุ

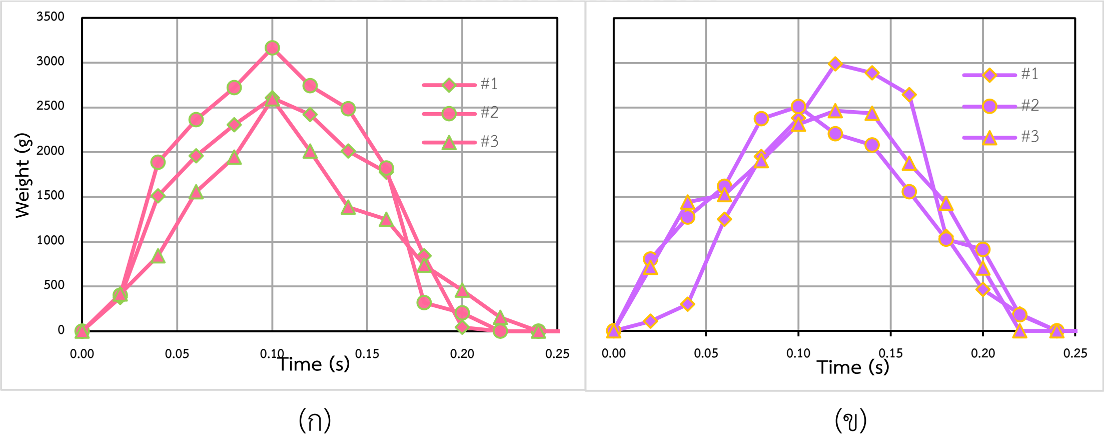
A* คือ สุนัขลำดับที่ 5

B** คือ สุนัขลำดับที่ 7

D*** คือ สุนัขลำดับที่ 12

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #A

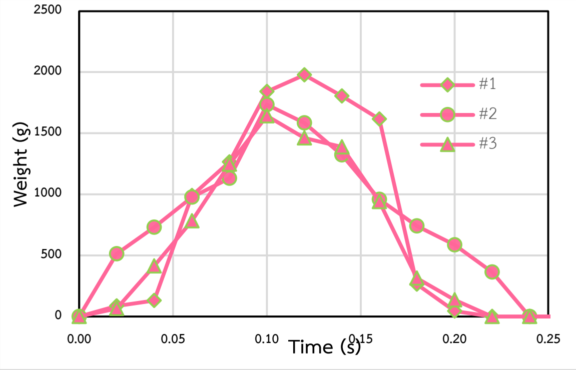
เท้าหน้าซ้าย				เท้าหน้าขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	377	400	415	0.02	107	804	709
0.04	1,510	1,886	840	0.04	298	1,275	1,442
0.06	1,958	2,363	1,557	0.06	1,247	1,618	1,526
0.08	2,304	2,722	1,943	0.08	1,951	2,375	1,906
0.10	2,607	3,165	2,594	0.10	2,381	2,511	2,314
0.12	2,421	2,741	2,011	0.12	2,986	2,206	2,464
0.14	2,013	2,486	1,385	0.14	2,887	2,081	2,435
0.16	1,774	1,821	1,251	0.16	2,643	1,558	1,876
0.18	840	319	736	0.18	1,057	1,025	1,427
0.20	44	204	458	0.20	462	913	704
0.22	0	0	155	0.22	189	179	0
0.24	0	0	0	0.24	0	0	0



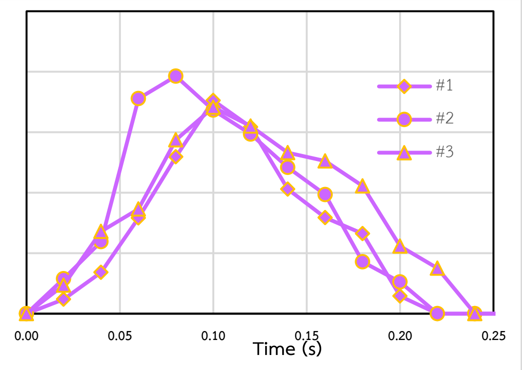
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #A กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหน้าซ้าย (ข) อุ้งเท้าหน้าขวา

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #A

เท้าหลังซ้าย				เท้าหลังขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	86	513	66	0.02	118	288	235
0.04	130	732	413	0.04	341	594	680
0.06	991	977	784	0.06	792	1,777	866
0.08	1,264	1,131	1,247	0.08	1,296	1,963	1,437
0.10	1,841	1,733	1,642	0.10	1,761	1,683	1,707
0.12	1,978	1,585	1,461	0.12	1,543	1,485	1,551
0.14	1,804	1,324	1,388	0.14	1,028	1,209	1,330
0.16	1,617	959	940	0.16	794	985	1,261
0.18	265	741	314	0.18	661	428	1,055
0.20	45	586	137	0.20	146	262	558
0.22	0	365	0	0.22	0	0	375
0.24	0	0	0	0.24	0	0	0



(ก)



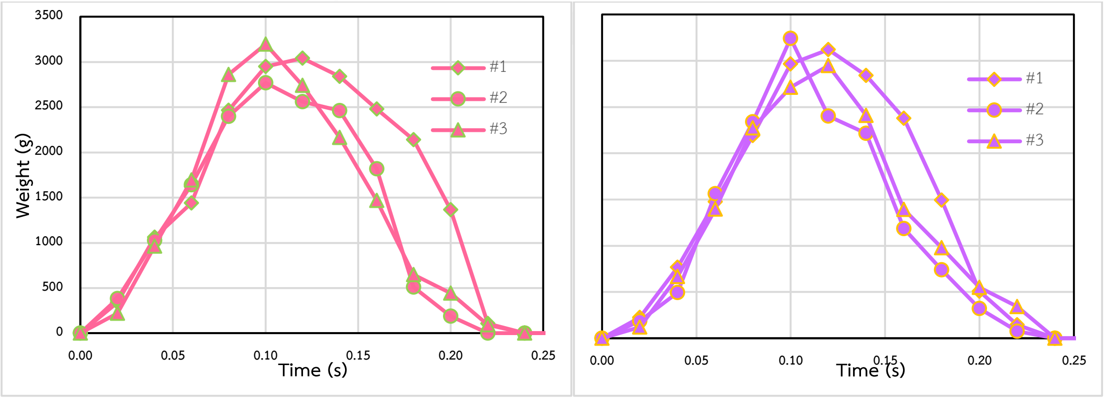
(ข)

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #A กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหลังซ้าย (ข) อุ้งเท้าหลังขวา

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #B

เท้าหน้าซ้าย				เท้าหน้าขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	341	383	219	0.02	224	186	122
0.04	1,061	1,028	963	0.04	769	493	668
0.06	1,441	1,643	1,694	0.06	1,475	1,563	1,397
0.08	2,465	2,397	2,862	0.08	2,193	2,341	2,276
0.10	2,951	2,771	3,199	0.10	2,965	3,242	2,714
0.12	3,041	2,563	2,743	0.12	3,122	2,402	2,948
0.14	2,840	2,462	2,166	0.14	2,840	2,217	2,409
0.16	2,479	1,818	1,470	0.16	2,379	1,186	1,392
0.18	2,142	512	648	0.18	1,492	741	980
0.20	1,367	189	443	0.20	509	323	550
0.22	108	0	94	0.22	146	76	341
0.24	0	0	0	0.24	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

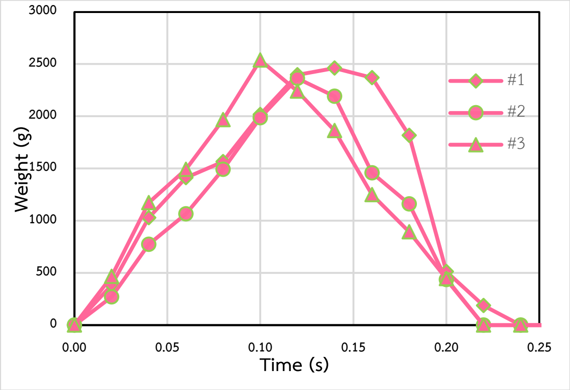


(ก) (ข)

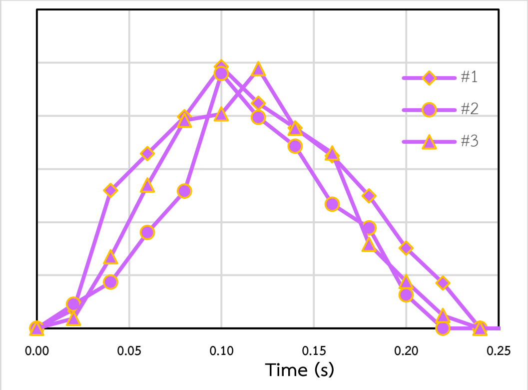
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #B กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหน้าซ้าย (ข) อุ้งเท้าหน้าขวา

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #B

เท้าหลังซ้าย				เท้าหลังขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	383	272	468	0.02	177	226	93
0.04	1,028	774	1,173	0.04	1,297	436	672
0.06	1,411	1,065	1,492	0.06	1,645	902	1,347
0.08	1,566	1,492	1,967	0.08	1,990	1,291	1,956
0.10	2,018	1,986	2,538	0.1	2,461	2,397	2,018
0.12	2,397	2,362	2,241	0.12	2,116	1,984	2,443
0.14	2,462	2,193	1,863	0.14	1,884	1,713	1,883
0.16	2,371	1,459	1,250	0.16	1,623	1,167	1,649
0.18	1,818	1,159	894	0.18	1,245	944	790
0.20	512	437	446	0.2	753	315	441
0.22	189	0	0	0.22	425	0	122
0.24	0	0	0	0.24	0	0	0



(ก)



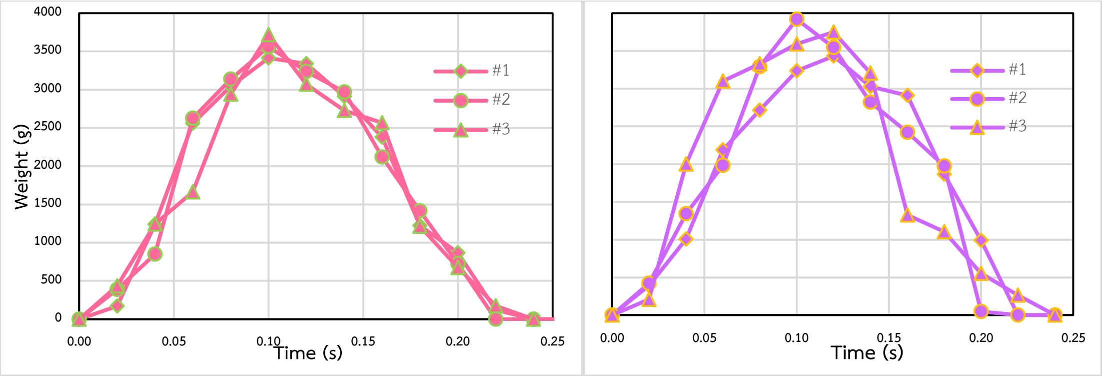
(ข)

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #B กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหลังซ้าย (ข) อุ้งเท้าหลังขวา

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #C

เท้าหน้าซ้าย				เท้าหน้าขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	171	388	235	0.02	394	420	208
0.04	1,240	848	1,341	0.04	1,007	1,345	2,000
0.06	2,559	2,626	1,663	0.06	2,188	1,983	3,101
0.08	3,046	3,137	2,939	0.08	2,715	3,293	3,328
0.10	3,413	3,561	3,717	0.1	3,237	3,917	3,592
0.12	3,338	3,238	3,070	0.12	3,431	3,544	3,751
0.14	2,910	2,971	2,725	0.14	3,027	2,822	3,205
0.16	2,378	2,120	2,565	0.16	2,911	2,419	1,328
0.18	1,222	1,414	1,214	0.18	1,864	1,976	1,105
0.20	865	722	671	0.2	992	48	553
0.22	121	0	174	0.22	0	0	267
0.24	0	0	0	0.24	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



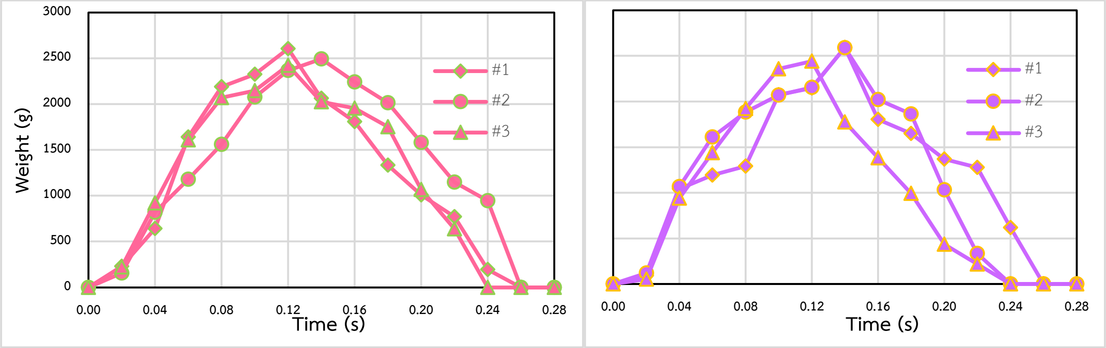
(ก) (ข)

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #C กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหน้าซ้าย (ข) อุ้งเท้าหน้าขวา

รูปที่ 5.7 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #C

เท้าหลังซ้าย				เท้าหลังขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	230	156	221	0.02	92	122	53
0.04	641	819	920	0.04	1,042	1,067	942
0.06	1,640	1,180	1,608	0.06	1,192	1,609	1,437
0.08	2,190	1,561	2,069	0.08	1,290	1,883	1,923
0.10	2,323	2,077	2,146	0.1	2,074	2,070	2,356
0.12	2,604	2,367	2,422	0.12	2,147	2,155	2,441
0.14	2,063	2,493	2,025	0.14	2,592	2,588	1,776
0.16	1,807	2,241	1,955	0.16	1,803	2,020	1,382
0.18	1,334	2,012	1,753	0.18	1,649	1,863	995
0.20	1,009	1,580	1,068	0.2	1,369	1,033	437
0.22	771	1,147	638	0.22	1,279	336	218
0.24	193	944	0	0.24	619	0	0
0.26	0	0	0	0.26	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

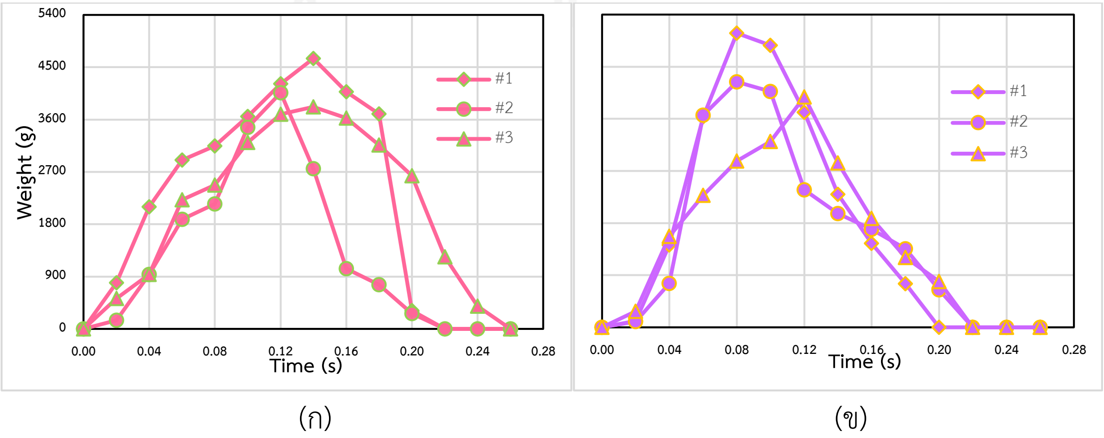


(ก) (ข)

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #C กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหลังซ้าย (ข) อุ้งเท้าหลังขวา

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #D

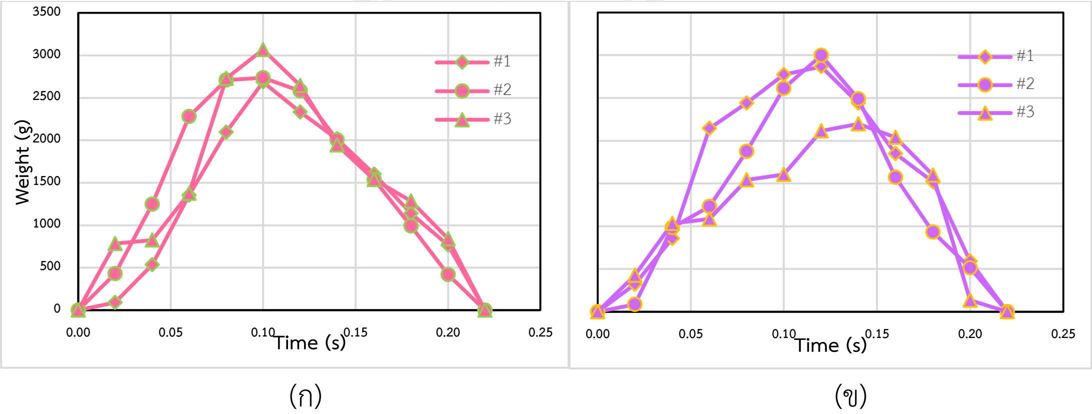
เท้าหน้าซ้าย				เท้าหน้าขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	793	150	522	0.02	111	100	277
0.04	2,098	937	938	0.04	1,423	757	1,569
0.06	2,902	1,885	2,222	0.06	3,634	3,661	2,281
0.08	3,144	2,148	2,473	0.08	5,080	4,236	2,874
0.10	3,650	3,467	3,205	0.1	4,866	4,074	3,209
0.12	4,216	4,060	3,693	0.12	3,713	2,375	3,977
0.14	4,650	2,755	3,816	0.14	2,296	1,966	2,841
0.16	4,075	1,037	3,625	0.16	1,450	1,694	1,880
0.18	3,697	760	3,160	0.18	755	1,357	1,205
0.20	311	265	2,634	0.2	0	649	793
0.22	0	0	1,238	0.22	0	0	0
0.24	0	0	392	0.24	0	0	0
0.26	0	0	0	0.26	0	0	0



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #D กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหน้าซ้าย (ข) อุ้งเท้าหน้าขวา

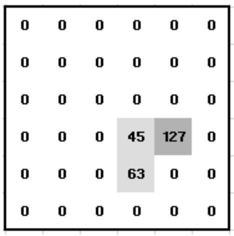
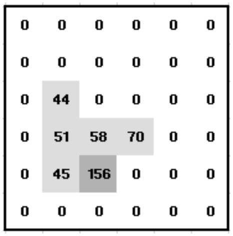
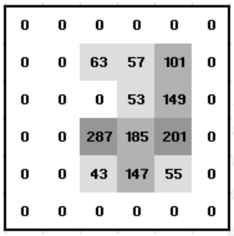
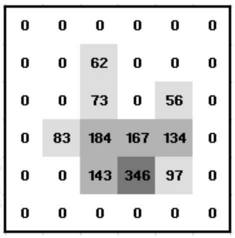
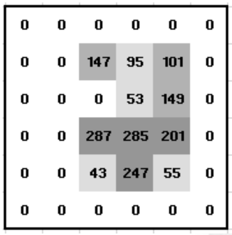
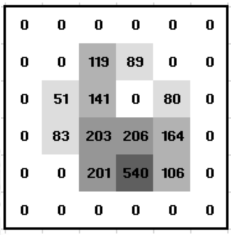
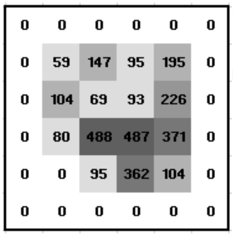
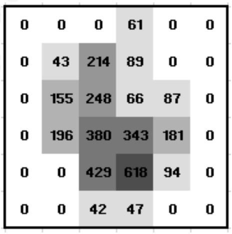
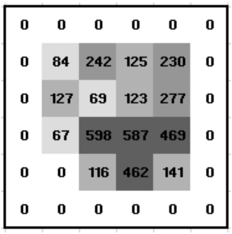
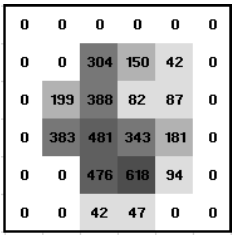
ตารางที่ 5.9 ข้อมูลน้ำหนักกดขณะเดินของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #D

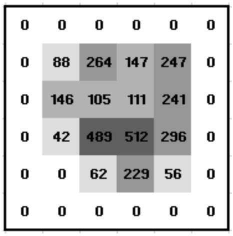
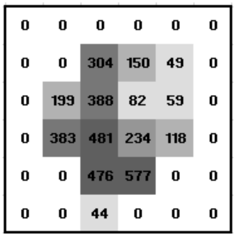
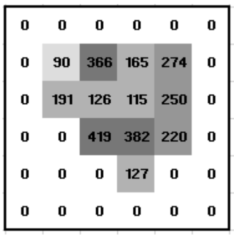
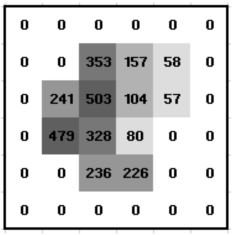
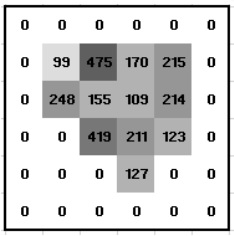
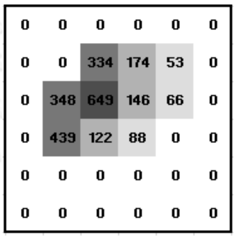
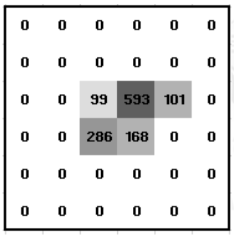
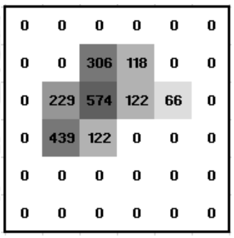
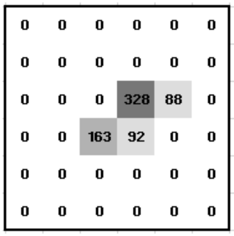
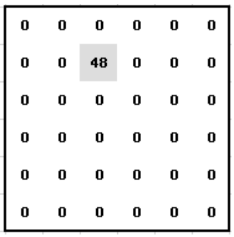
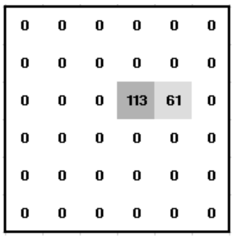
เท้าหลังซ้าย				เท้าหลังขวา			
เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)			เวลา (s)	น้ำหนักกดของอุ้งเท้าในแต่ละครั้ง (g)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
0.00	0	0	0	0.00	0	0	0
0.02	89	429	785	0.02	321	85	425
0.04	533	1,248	826	0.04	856	985	1,034
0.06	1,354	2,281	1,374	0.06	2,145	1,229	1,086
0.08	2,096	2,711	2,730	0.08	2,439	1,876	1,542
0.10	2,689	2,736	3,068	0.1	2,775	2,613	1,606
0.12	2,334	2,583	2,646	0.12	2,866	2,998	2,115
0.14	2,018	2,006	1,944	0.14	2,440	2,488	2,197
0.16	1,602	1,537	1,537	0.16	1,848	1,571	2,038
0.18	1,136	991	1,283	0.18	1,519	932	1,598
0.20	765	419	841	0.2	592	511	132
0.22	0	0	0	0.22	0	0	0



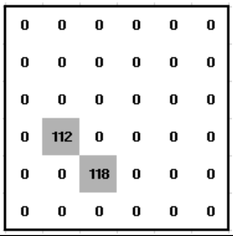
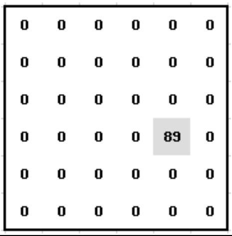
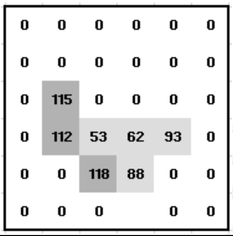
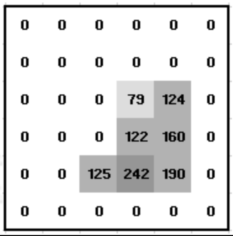
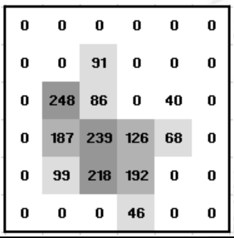
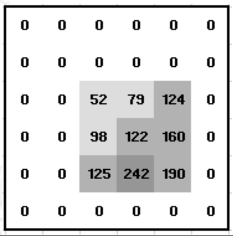
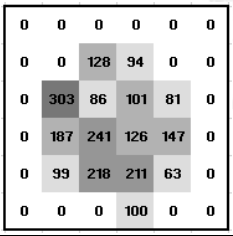
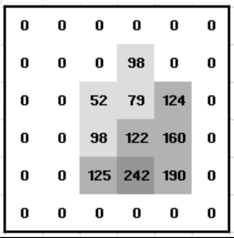
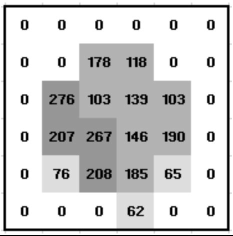
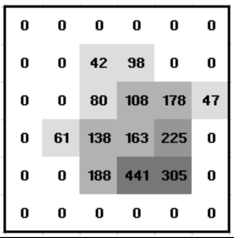
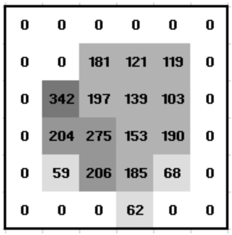
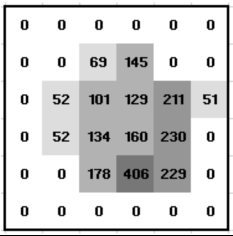
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #D กับช่วงเวลาในการก้าวเดินของสุนัข (ก) อุ้งเท้าหลังซ้าย (ข) อุ้งเท้าหลังขวา

ตารางที่ 5.10 ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #C ในช่วงเวลา 0.22 s. ที่ตรวจจับทีละอุ้งเท้า (ไม่พร้อมกัน)

เวลา (s)	ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน			
	หน้าซ้าย	น้ำหนักรวม (g)	หน้าขวา	น้ำหนักรวม (g)
0.02		235		420
0.04		1,341		1,345
0.06		1,663		1,983
0.08		2,939		3,293
0.1		3,717		3,917

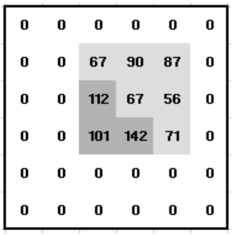
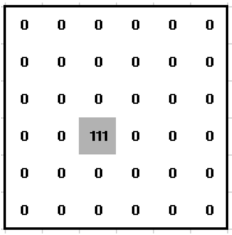
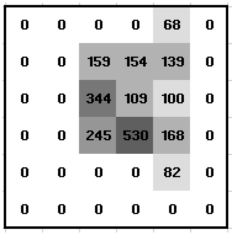
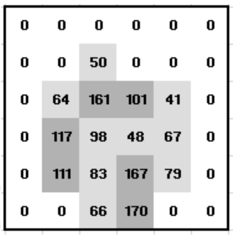
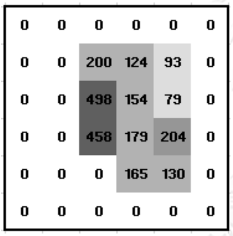
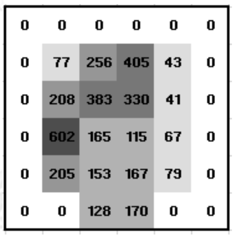
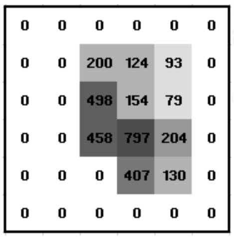
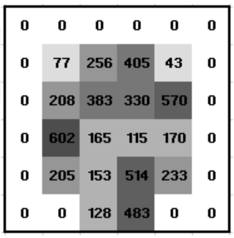
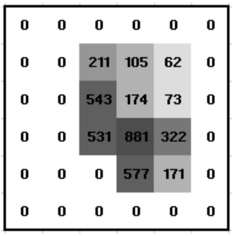
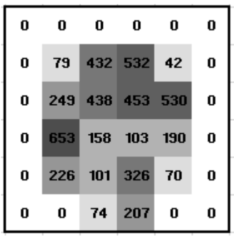
<table>
<tr><th rowspan="2">เวลา (s)</th><th colspan="4">ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน</th></tr>
<tr><th>หน้าซ้าย</th><th>น้ำหนักรวม (g)</th><th>หน้าขวา</th><th>น้ำหนักรวม (g)</th></tr>
<tr><td>0.12</td><td>
</td><td>3,070</td><td>
</td><td>3,544</td></tr>
<tr><td>0.14</td><td>
</td><td>2,725</td><td>
</td><td>2,822</td></tr>
<tr><td>0.16</td><td>
</td><td>2,565</td><td>
</td><td>2,419</td></tr>
<tr><td>0.18</td><td>
</td><td>1,214</td><td>
</td><td>1,976</td></tr>
<tr><td>0.20</td><td>
</td><td>671</td><td>
</td><td>48</td></tr>
<tr><td>0.22</td><td>
</td><td>174</td><td>
</td><td>0</td></tr>
</table>

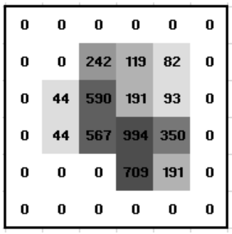
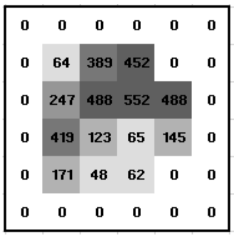
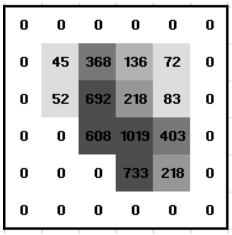
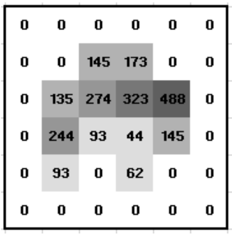
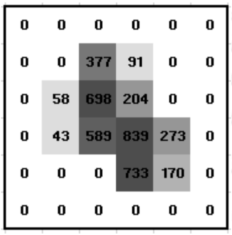
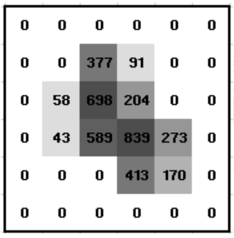
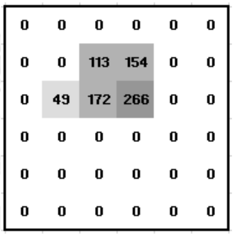
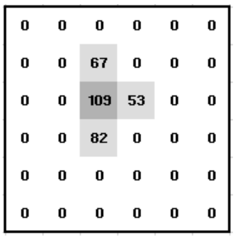
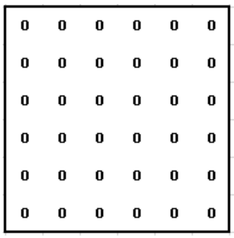
ตารางที่ 5.11 ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #C ในช่วงเวลา 0.24 s. ที่ตรวจจับทีละอุ้งเท้า (ไม่พร้อมกัน)

เวลา (s)	ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหลังสุนัขในขณะเดิน			
	หลังซ้าย	น้ำหนักรวม (g)	หลังขวา	น้ำหนักรวม (g)
0.02		230		92
0.04		641		1,042
0.06		1,640		1,192
0.08		2,190		1,290
0.10		2,323		2,074
0.12		2,604		2,147

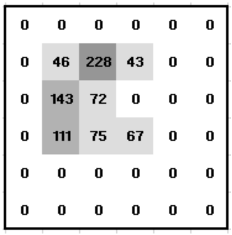
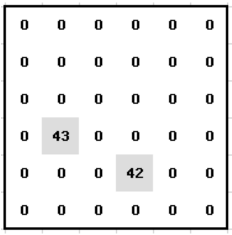
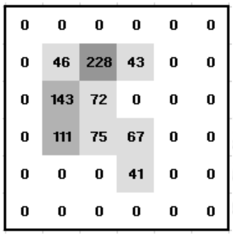
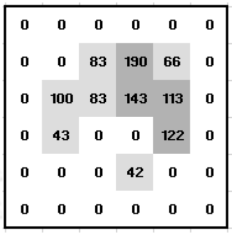
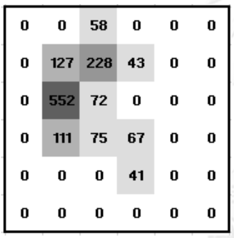
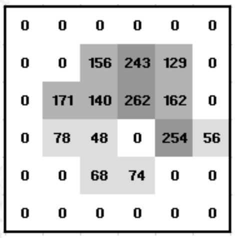
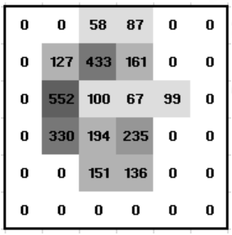
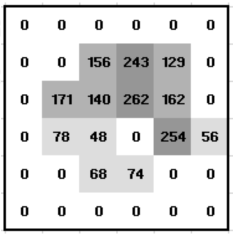
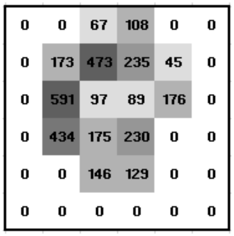
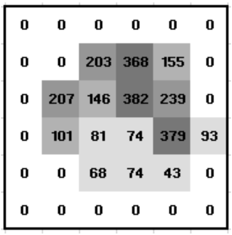
เวลา (s)	ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหลังสุนัขในขณะเดิน			
	หลังซ้าย	น้ำหนักรวม (g)	หลังขวา	น้ำหนักรวม (g)
0.14	0 0 0 0 0 0 0 0 235 152 138 0 0 145 129 183 126 0 0 193 137 123 216 0 0 47 103 79 57 0 0 0 0 0 0 0	2,063	0 0 0 0 0 0 0 0 82 145 0 0 0 58 101 179 260 65 0 43 134 223 305 0 0 0 189 529 279 0 0 0 0 0 0 0	2,592
0.16	0 0 0 0 0 0 0 0 220 140 45 0 0 135 116 183 116 0 0 180 126 113 204 0 0 0 103 79 47 0 0 0 0 0 0 0	1,807	0 0 0 0 0 0 0 0 77 154 0 0 0 58 101 140 231 47 0 0 98 147 237 0 0 0 126 232 155 0 0 0 0 0 0 0	1,803
0.18	0 0 0 0 0 0 0 0 257 172 45 0 0 94 134 248 115 0 0 0 52 61 109 0 0 0 47 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1,334	0 0 0 0 0 0 0 0 91 166 0 0 0 63 103 160 267 46 0 0 65 117 232 0 0 0 73 164 102 0 0 0 0 0 0 0	1,649
0.20	0 0 0 0 0 0 0 0 223 157 44 0 0 0 113 203 99 0 0 0 0 61 109 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1,009	0 0 0 0 0 0 0 0 105 156 0 0 0 69 96 187 249 0 0 0 50 90 220 0 0 0 0 91 56 0 0 0 0 0 0 0	1,369
0.22	0 0 0 0 0 0 0 0 179 194 87 0 0 0 0 168 143 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	771	0 0 0 0 0 0 0 0 85 86 0 0 0 69 96 187 249 0 0 0 50 90 220 0 0 0 0 91 56 0 0 0 0 0 0 0	1,279
0.24	0 0 0 0 0 0 0 0 0 152 41 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	193	0 0 0 0 0 0 0 0 85 86 0 0 0 0 68 131 168 0 0 0 0 0 81 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	619

ตารางที่ 5.12 ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหน้าของสุนัข #D ในช่วงเวลา 0.20 s. ที่ตรวจจับทีละอุ้งเท้า (ไม่พร้อมกัน)

เวลา (s)	ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน			
	หน้าซ้าย	น้ำหนักรวม (g)	หน้าขวา	น้ำหนักรวม (g)
0.02		793		111
0.04		2,098		1,423
0.06		2,902		3,634
0.08		3,144		5,080
0.10		3,650		4,866

<table>
<tr><th rowspan="2">เวลา (s)</th><th colspan="4">ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน</th></tr>
<tr><th>หน้าซ้าย</th><th>น้ำหนักรวม (g)</th><th>หน้าขวา</th><th>น้ำหนักรวม (g)</th></tr>
<tr><td>0.12</td><td></td><td>4,216</td><td></td><td>3,713</td></tr>
<tr><td>0.14</td><td></td><td>4,650</td><td></td><td>2,296</td></tr>
<tr><td>0.16</td><td></td><td>4,075</td><td> </td><td>1,450</td></tr>
<tr><td>0.18</td><td></td><td>3,697</td><td></td><td>755</td></tr>
<tr><td>0.20</td><td></td><td>311</td><td></td><td>0</td></tr>
</table>

ตารางที่ 5.13 ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหลังของสุนัข #D ในช่วงเวลา 0.20 s. ที่ตรวจจับทีละอุ้งเท้า (ไม่พร้อมกัน)

เวลา (s)	ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหลังสุนัขในขณะเดิน			
	หลังซ้าย	น้ำหนักรวม (g)	หลังขวา	น้ำหนักรวม (g)
0.02		785		85
0.04		826		985
0.06		1,374		1,229
0.08		2,730		1,876
0.10		3,068		2,613

เวลา (s)	ภาพการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าหลังสุนัขในขณะเดิน			
	หลังซ้าย	น้ำหนักรวม (g)	หลังขวา	น้ำหนักรวม (g)
0.12	0 0 73 117 0 0 0 184 482 306 73 0 0 364 96 100 242 0 0 233 99 95 0 0 0 0 41 41 0 0 0 0 0 0 0 0	2,646	0 0 44 58 0 0 0 0 334 512 244 0 0 93 149 486 327 0 0 64 0 55 434 106 0 0 0 47 45 0 0 0 0 0 0 0	2,998
0.14	0 0 75 116 0 0 0 111 538 365 73 0 0 263 74 133 198 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1,944	0 0 44 58 0 0 0 0 272 537 311 0 0 0 105 467 333 0 0 0 0 0 212 106 0 0 0 0 43 0 0 0 0 0 0 0	2,488
0.16	0 0 75 116 0 0 0 119 555 375 73 0 0 0 81 69 74 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1,537	0 0 0 68 0 0 0 0 173 278 294 0 0 0 103 321 263 0 0 0 0 0 73 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1,571
0.18	0 0 64 1160 0 0 0 111 553 365 0 0 0 0 74 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1,283	0 0 0 57 0 0 0 0 118 224 175 0 0 0 63 88 166 0 0 0 0 0 42 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	932
0.20	0 0 0 96 0 0 0 0 421 324 0 0 0 0 74 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	841	0 0 0 57 0 0 0 0 89 200 155 0 0 0 0 50 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	511

5.3 สรุปผลที่ได้จากการตรวจจับน้ำหนักกดจากอุ้งเท้าของสุนัขในขณะเดิน

จากการทดสอบการเดินของสุนัขโดยใช้แพลตฟอร์มรับแรงในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดิน ซึ่งใช้สุนัขทดสอบลักษณะการกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขขณะเดินจำนวน 4 ตัว โดยให้เดินบนแพลตฟอร์มรับแรงโดยให้อุ้งเท้าเหยียบบนตัวแพลตฟอร์มรับแรง พบว่าส่วนใหญ่สุนัขจะมีจังหวะการกดน้ำหนักที่สูงที่สุดที่ช่วง 0.10-0.14 s โดยสุนัขจะใช้ส้นเท้าในการสัมผัสกับพื้นก่อนจุดอื่น แล้วค่อยถ่ายเทน้ำหนักไปด้านหน้าจนเต็มเท้า แล้วจะเริ่มยกส้นเท้าขึ้นเพื่อก้าวเดินต่อไป ซึ่งผลจากการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขขณะเดินได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 5.13 และตารางที่ 5.14 ซึ่งแสดงผลสรุปการกระจายน้ำหนักกดสูงสุดของอุ้งเท้าหน้าและหลังของสุนัขขณะเดิน (เทียบเป็น % ของน้ำหนักตัวของสุนัข) พบว่า ในขณะที่สุนัขเดินในท่าที่ปกติจะมีการลงน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าคู่หน้ามากกว่าอุ้งเท้าคู่หลัง นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวาเทียบกับน้ำหนักตัวของสุนัขและเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวาเทียบกับน้ำหนักตัวของสุนัข โดยผลจากสุนัขตัวที่ (#A) พบว่า ข้อมูลสรุปผลการทดสอบช่วงของการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน มีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของคู่หน้าอยู่ที่ประมาณ 91.47% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 0.91 เท่าของน้ำหนักตัวและมีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หลังอยู่ที่ประมาณ 60.55% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 0.61 เท่าของน้ำหนักตัว ผลของสุนัขตัวที่ (#B) พบว่า ข้อมูลสรุปผลการทดสอบช่วงของการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน มีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หน้าอยู่ที่ประมาณ 93.96% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 0.94 เท่าของน้ำหนักตัวและมีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หลังอยู่ที่ประมาณ 75.04% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 0.75 เท่าของน้ำหนักตัว ผลของสุนัขตัวที่ (#C) พบว่า ข้อมูลสรุปผลการทดสอบช่วงของการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน มีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หน้าอยู่ที่ 106.03% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 1.06 เท่าของน้ำหนักตัวและมีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หลังอยู่ที่ประมาณ 72.70% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 0.73 เท่าของน้ำหนักตัวและผลของสุนัขตัวที่ (#D) พบว่า ข้อมูลสรุปผลการทดสอบช่วงของการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน มีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หน้าอยู่ที่ประมาณ 119.53% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 1.2 เท่าของน้ำหนักตัวและมีเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักกดของขาคู่หลังอยู่ที่ประมาณ 76.64% ของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 0.77 เท่าของน้ำหนักตัว

จากผลการทดสอบพบว่า ในขณะที่สุนัขกำลังเดิน สุนัขจะมีน้ำหนักกดสูงสุดที่อุ้งเท้าแต่ละข้างมากกว่าในขณะยืน โดยอุ้งเท้าคู่หน้าจะมีน้ำหนักกดที่สูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 0.92-1.12 เท่าของน้ำหนักตัว และอุ้งเท้าคู่หลังมีน้ำหนักกดสูงสุดอยู่ที่ 0.61-0.77 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งผลที่ได้

สอดคล้องกับทฤษฎีการเดินของ Nunamaker, M. และคณะ [4] ที่ได้กล่าวไว้ว่า น้ำหนักจะกดลงที่ขาคู่หน้าประมาณ 1.1 เท่าของน้ำหนักตัว และที่ขาคู่หลังประมาณ 0.8 เท่าของน้ำหนักตัว สอดคล้องกับข้อมูลของสุนัข #C และ #D แต่สำหรับ สุนัข #A และ #B ที่มีน้ำหนักกดที่มีค่าน้ำหนักต่ำกว่าในทฤษฎี ส่วนหนึ่งอาจมาจากในการเดินของสุนัขทั้งสอง ในช่วง thrust phase ซึ่งเป็นช่วงที่มีน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าสูงสุดในขณะนั้น สุนัขอาจมีอุ้งเท้าที่สัมผัสพื้นอยู่ 3 อุ้งเท้า จึงทำให้มีน้ำหนักกดสูงสุดของแต่ละอุ้งเท้าที่น้อยกว่าในทฤษฎี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.13 ข้อมูลสรุปผลการทดสอบช่วงของการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าหน้าสุนัขในขณะเดิน

ลำดับ	% ของช่วงน้ำหนักกดสูงสุดของขาหน้า			% ของค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกด			% ของน้ำหนักกดของ 2 ข้าง
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย+ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย+ขวา	ซ้าย+ขวา
#A	43.60% - 53.19%	41.41% - 50.18%	41.41% - 53.20%	46.86%	44.60%	45.73%	91.47
#B	42.63%- 49.21%	45.35% - 49.88%	42.63% - 49.88%	46.21%	47.75%	46.98%	93.96
#C	49.82% - 54.26%	50.09% - 57.18%	49.82% - 57.19%	52.02%	54.01%	52.93%	106.03
#D	53.00% - 64.58%	55.23% - 70.56%	53.00% - 70.56%	58%	61.54%	59.77%	119.53

ตารางที่ 5.14 ข้อมูลสรุปผลการทดสอบค่าเฉลี่ยน้ำหนักการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าหลังสุนัขในขณะเดิน

ลำดับ	% ของช่วงน้ำหนักกดสูงสุดของขาหลัง			% ของค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกด			% ของน้ำหนักกดของ 2 ข้าง
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย+ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย+ขวา	ซ้าย+ขวา
#A	27.60% - 33.24%	28.69% - 33.00%	27.59 % - 32.99%	29.98%	30.42%	30.21%	60.55
#B	36.34% - 39.05%	36.88% - 37.86%	36.34% - 39.05%	37.75%	37.44%	37.60%	75.04
#C	35.36% - 38.05%	34.92% - 37.78%	34.92% - 38.02%	36.59%	36.11%	36.35%	72.7
#D	37.35% - 42.61%	30.51% - 41.64%	30.51% - 42.61%	39.32%	37.32%	38.32%	76.64

บทที่ 6
สรุปผลวิทยานิพนธ์และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อสรุปของวิทยานิพนธ์ ข้อดี ข้อเสียและข้อเสนอแนะ เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานในรุ่นต่อไปให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

6.1 ข้อสรุปผลของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าของสุนัขในขณะที่ยืนและในขณะที่เดิน โดยใช้ระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข ระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้ประกอบด้วยระบบตรวจจับแรง ระบบประมวลผลข้อมูลและระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล การวิเคราะห์ผลการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะที่สุนัขยืนด้วยท่าปกติบนระบบแพลตฟอร์มรับแรงเพื่อตรวจจับน้ำหนักที่อุ้งเท้าแต่ละข้างของสุนัขที่กดน้ำหนักลงบนแพลตฟอร์มรับแรงนี้ สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลหาค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักรวมจากข้อมูลของอุ้งเท้าทั้ง 4 ข้าง ซึ่งข้อมูลจากสุนัขแต่ละตัวถูกเก็บเป็นข้อมูลเชิงสถิติได้แก่ อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมหน้าและหลัง) ของอุ้งเท้าข้างซ้ายต่ออุ้งเท้าข้างขวา (ซ้าย:ขวา) อัตราส่วนค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กด (รวมซ้ายและขวา) ของอุ้งเท้าคู่หน้าต่ออุ้งเท้าคู่หลัง (คู่หน้า:คู่หลัง) ของสุนัข นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) ของสุนัข ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้วิเคราะห์และจำแนกสุนัขปกติ (ที่ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก) กับสุนัขที่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก เช่น โรคข้อเสื่อม โรคข้อสะโพกเสื่อม โรคข้อสะโพกหลุดและโรคสะบ้าเคลื่อน โดยสามารถดูความผิดปกติของการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขที่เป็นโรคดังกล่าวได้จาก เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหน้าซ้ายและอุ้งเท้าหน้าขวา (%แตกต่างหน้าซ้ายและหน้าขวา) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่กดของอุ้งเท้าหลังซ้ายและอุ้งเท้าหลังขวา (%แตกต่างหลังซ้ายและหลังขวา) ซึ่งผลการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าแต่ละข้างจะมีความแตกต่างกันมากโดยเฉพาะอุ้งเท้าหลัง นอกจากนี้ยังสามารถดูแนวโน้มอย่างคร่าว ๆ ของสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นที่ส่งผลต่อการยืนและการเดินของสุนัข เช่น โรคเกี่ยวข้องกับดวงตา โรคเอ็นหัวเข่าฉีก และโรคระบบประสาทที่ขาคู่หลัง ซึ่งอาจทำให้การกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะยืนที่เสียสมดุลไปจากปกติ

การวิเคราะห์ผลการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะที่เดินบนแพลตฟอร์มรับแรง พบว่าในขณะที่สุนัขเดิน น้ำหนักกดของอุ้งเท้าของสุนัขในบางช่วงเวลาจะสูงกว่าน้ำหนักกดในขณะยืน และในการก้าวเดินของสุนัขจะแบ่งออกเป็น 4 จังหวะ คือ 1) ช่วง Support phase ซึ่งเป็นช่วงที่มีน้ำหนักกดเพิ่มขึ้น (จาก 0 g) ไปจนถึงค่าน้ำหนักกดสูงสุด 2) ช่วง Thrust phase ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าน้ำหนักกดสูงที่สุดและมีพื้นที่การกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้ามากที่สุด 3) ช่วง Lift phase ซึ่งเป็นช่วงที่มีน้ำหนักกดลดลง เนื่องจากสุนัขเริ่มยกเท้าขึ้นจากพื้นและ 4) ช่วง Swing phase ซึ่งเป็นช่วงที่อุ้งเท้าของสุนัขไม่ใช่เหยียบบนพื้น

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกับสุนัข ทั้งจากการยืนและการเดิน ทั้งสุนัขที่ปกติและที่ผิดปกติ จะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ช่วยในการวินิจฉัยโรค และช่วงในการรักษาสุนัขได้

6.1.1 ข้อดีของระบบแพลตฟอร์มรับแรง

1. โครงสร้างของระบบแพลตฟอร์มรับแรงได้ใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนาแตกต่างกันเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ซึ่งแผ่นอะคริลิกสามารถทนต่อน้ำหนักกดและการกระแทกได้อย่างดี อีกทั้งยังใช้ปุ่มอะคริลิกเป็นตัวกดบนหน้าสัมผัส FSR ซึ่งทำให้ลดการขีดข่วนจากวัสดุมีคมหรือจากเล็บของสุนัขและไม่ยุบตัวเมื่อถูกกดด้วยน้ำหนักที่มากอีกด้วย
2. ระบบแพลตฟอร์มรับแรงได้ออกแบบการจัดเรียงตัว FSR แบบ 1 ตัวต่อ 1 cm^2 โดยมีพื้นที่ตรวจจับแรงทั้งหมด 12×12 cm^2 ทำให้สามารถวัดการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าได้อย่างละเอียด อีกทั้งยังสามารถบอกตำแหน่งน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละจุดได้ทำให้สามารถดูการถ่ายเทน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขเพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มในการรักษาหรือการวางแผนการรักษาได้อีกด้วย
3. ระบบแพลตฟอร์มรับแรงสามารถบันทึกข้อมูลการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 50 ชุดข้อมูลต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่เพียงพอต่อตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขและแสดงผลการกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขแต่ละข้างในขณะยืนและขณะเดินได้
4. ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับการกระจายน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขจะแสดงเป็นค่าน้ำหนักและเก็บเป็นไฟล์ประเภท text document ซึ่งเป็นไฟล์ข้อมูลที่สะดวกต่อการนำไปใช้วิเคราะห์ในโปรแกรมอื่นและขนาดไฟล์ที่เล็กทำให้ไม่เปลืองพื้นที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์อีกด้วย
5. ในโปรแกรมวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลนั้นมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นหมวดหมู่ หากในอนาคตสัตวแพทย์หรือนักวิจัยที่ต้องการ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปรียบเทียบข้อมูลการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะยืนและขณะเดินในอดีตกับปัจจุบันก็สามารถเรียกใช้ข้อมูลได้ง่ายอีกด้วย

6. ระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้มีการเชื่อมต่อของสายไฟหรือสายข้อมูลที่แน่นหนาทำให้การเชื่อมต่อมีเสถียรภาพ
7. ในระบบประมวลผลข้อมูลได้ออกแบบกล่องใส่อุปกรณ์แบบมิดชิด ทำให้ขนสุนัขไม่เข้าไปติดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์และยังง่ายต่อการบำรุงรักษาอีกด้วย

6.1.2 ข้อเสียของระบบแพลตฟอร์มรับแรง

1. เนื่องจากระบบแพลตฟอร์มรับแรงมีพื้นที่ในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขได้เพียงครั้งละ 1 อุ้งเท้า ทำให้ใช้เวลานานในการตรวจจับการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขทั้ง 4 ข้าง
2. ตัวฐานไม้ที่ใช้เป็นโครงสร้างแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับให้สุนัขยืนหรือเดินมีความยาวที่น้อยเกินไป ทำให้สุนัขไม่คุ้นชินกับการเดินบนแพลตฟอร์มและระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้ควรมีฉากกั้นเพื่อกำหนดแนวทางการเดินของสุนัข เนื่องจากสุนัขบางตัวมีความกลัวและตื่นตกใจทำให้วิ่งหนีออกนอกแพลตฟอร์มหรือสุนัขบางตัวที่ขี้เล่นอาจกระโจนใส่ตัวระบบแพลตฟอร์มทำให้อุปกรณ์ตรวจจับแรงพังเสียหายได้
3. ในการวัดการกระจายน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดินนั้น สุนัขต้องเดินผ่านแพลตฟอร์มรับแรงหลายครั้ง เนื่องจากในบางครั้งที่สุนัขเดินผ่านแพลตฟอร์มรับแรงแต่ไม่วางเท้าบนแพลตฟอร์มรับแรงทำให้ไม่สามารถตรวจจับน้ำหนักกดได้จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเพิ่มมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากข้อดีและข้อเสียของระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้กล่าวมานี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อให้แพลตฟอร์มรับแรงมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยจะกล่าวในส่วนถัดไป

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาระบบแพลตฟอร์มรับแรง

ระบบแพลตฟอร์มรับแรงนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่เกิดจากการออกแบบระบบ การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ แม้กระทั่งการบำรุงรักษาระบบ โดยสามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ควรออกแบบฐานไม้ที่ใช้เป็นทางเดินเพื่อให้สุนัขยืนหรือเดินให้มีความยาวมากขึ้น และตรงบริเวณทางขึ้นแพลตฟอร์มควรทำเป็นทางลาดเพื่อง่ายต่อการเดินขึ้นลงของสุนัข
2. ควรเพิ่มฉากกั้นบนตัวฐานไม้เพื่อง่ายต่อการทดสอบในขณะสุนัขเดินเนื่องจากฉากกั้นนี้เปรียบเสมือนช่องทางเพื่อให้สุนัขเดิน ไม่เดินหนีในขณะทำการทดสอบ

3. ควรออกแบบระบบแพลตฟอร์มรับแรงและระบบประมวลผลให้มีขนาดเล็กลงหรือรวมกันเป็นอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน (ระบบเดียว) เพื่อสามารถนำไปติดตั้งใต้ฐานไม้ที่ใช้สำหรับยืนและเดินของสุนัข อีกทั้งยังช่วยลดการใช้สายไฟ สะดวกต่อการใช้งานและลดความเสี่ยงต่อการถูกสุนัขกระโจนเข้าใส่เครื่องทำให้เกิดความเสียหายได้
4. ควรปรับปรุงการรับส่งข้อมูลให้มีความเร็วในการส่งข้อมูลเร็วมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากขึ้นในการตรวจจับน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะเดินและในขณะวิ่ง
5. ควรปรับปรุงวิธีการส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยใช้ระบบการส่งข้อมูลแบบ Bluetooth หรือเทคโนโลยีของ Raspberry-Pi เข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อลดการใช้สายไฟเชื่อมต่อการส่งข้อมูลระหว่างระบบประมวลผล และระบบวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลและยังลดความเสี่ยงต่อการที่สุนัขกัดสายไฟ
6. ควรเพิ่มกล้องเพื่อใช้ในการตรวจจับภาพในขณะที่สุนัขกำลังเดินเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะท่าทางการเดินของสุนัขและตรวจจับภาพการถ่ายเทน้ำหนักของอุ้งเท้าสุนัขเพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์และวินิจฉัยถึงความผิดปกติจากการกระจายน้ำหนักที่อุ้งเท้าสุนัขอีกด้วย

6.3 การเปรียบเทียบระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่พัฒนาขึ้นกับระบบแพลตฟอร์มรับแรงของงานวิจัยอื่น

จากระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่มีลักษณะโครงสร้างและการใช้งานที่ใกล้เคียงกันของงานวิจัยอื่น ได้แก่ D.E. Handley [18] S. Xu [19] D.Gouwanda [20] S. J. Chong [21] และ P. Chalayon [22] ทำให้สามารถเปรียบเทียบแพลตฟอร์มรับแรงในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ตัวเซนเซอร์ที่นำมาใช้ในการตรวจจับแรง ช่วงน้ำหนักที่ระบบแพลตฟอร์มรับแรงสามารถตรวจจับน้ำหนักได้ ความเร็วในการส่งข้อมูลของแต่ละระบบ ขนาดพื้นที่รับแรงของแต่ละระบบ และการนำไปใช้ตรวจจับแรงของแต่ละระบบ อีกทั้งยังบอกถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละระบบอีกด้วย โดยข้อมูลการเปรียบเทียบแพลตฟอร์มรับแรงดังกล่าวจะแสดงในตารางที่ 6.1 ซึ่งสรุปความแตกต่างของระบบแพลตฟอร์มรับแรงของวิทยานิพนธ์นี้เทียบกับระบบแพลตฟอร์มรับแรงของวิทยานิพนธ์อื่นที่มีลักษณะโครงสร้างและการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบรายละเอียดของระบบ สมรรถนะการทำงานและการใช้งานของระบบแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้กับระบบแพลตฟอร์มรับแรงในงานวิจัยอื่น ๆ

งานวิจัย	ชนิดของเซ็นเซอร์	จำนวนเซ็นเซอร์	พื้นที่ตรวจจับแรง (cm^2)	ความเร็วในการเก็บข้อมูล (ชุดข้อมูล/วินาที)	ช่วงน้ำหนักที่ตรวจจับ (kg)	% error[A]	ตรวจจับกับ
D.E. Handley	Piezoresistive	8	46×51	1,000	0-0.5	< 5%	หนู
D. Gouwanda	FSR[B]	144	12×12	N/A[D]	0-100	< 5%	มนุษย์
S.Xu	Piezoresistive	1,600	40×40	100-1,000	0-2,000	< 8%	มนุษย์
S. J. Chong	FSR[B]	144	45×40	100	0-100	< 5%	มนุษย์
P.Chalayon	FSR-400[C]	144	12×12	20-50	2-40	< 5%	สุนัข
วิทยานิพนธ์นี้	FSR-400[C]	144	12×12	50	2-40	< 4%	สุนัข

หมายเหตุ

[A] %error = เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับน้ำหนักของระบบ

[B] FSR = Force Sensing Resistors

[C] FSR-400 = Force Sensing Resistors 400

[D] N/A = ไม่ได้ระบุในบทความวิจัย

Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแพลตฟอร์มรับแรงที่ได้พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้กับระบบแพลตฟอร์มรับแรงในงานวิจัยอื่น ๆ

งานวิจัย	ข้อดี	ข้อเสีย
D.E. Handley	- ระบบมีความละเอียดและความแม่นยำในการวัดสูง - มีการใช้เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนจากสภาวะแวดล้อมรอบข้างมาหักล้างกับระบบตรวจจับแรงอีกด้วย	- ระบบมีขนาดที่ใหญ่ ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้
D. Gouwanda	- สามารถวัดการกระจายน้ำหนักของเท้ามนุษย์ในขณะที่ยืน เดิน วิ่งและกระโดดได้ ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ	- อุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีราคาที่สูงเกินไป
S.Xu	- ระบบตรวจจับแรงมีพื้นที่รับแรงที่เพียงพอต่อการวัดน้ำหนักกดในแนวตั้งฉากของเท้ากับพื้น - สามารถบอกตำแหน่งของน้ำหนักกดต่อจุดของเท้าได้อีกด้วย	- ระบบรับแรงมีปัญหาเกี่ยวกับการรับส่งข้อมูลเนื่องจากใช้เซ็นเซอร์จำนวนมาก ทำให้การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลใช้เวลานานเกินไป
S. J. Chong	- สามารถวัดการกระจายน้ำหนักของเท้ามนุษย์ในขณะที่ยืน เดิน และกระโดด ได้อย่างแม่นยำ - สามารถบอกถึงตำแหน่งของการกระจายน้ำหนักของเท้ามนุษย์ได้	- อุปกรณ์ NI-DAQ ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีราคาที่สูงและมีประสิทธิภาพเกินความจำเป็น - ระบบมีการจัดเรียงเซ็นเซอร์ที่ห่างกันเกินไป ทำให้การวัดการกระจายน้ำหนักของเท้าไม่ละเอียดเท่าที่ควรและอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดได้
P.Chalayon	- ใช้สแตนเลสเป็นโครงสร้างแพลตฟอร์มรับแรงทำให้ระบบมีความแข็งแรงคงทน - สามารถวัดน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะที่ยืนได้ - มีกล้องเพื่อตรวจจับการเดินของสุนัข ทำให้มีความแม่นยำในการวัดเพิ่มมากขึ้น	- ระบบมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่ช้าเกินไป - ระบบมีขนาดใหญ่และมีสายไฟในการเชื่อมระบบที่เยอะเกินไปจึงไม่เหมาะแก่การเคลื่อนย้าย - พื้นที่ตรวจจับแรงมีขนาดเล็ก สามารถตรวจจับได้ครั้งละ 1 อุ้งเท้าเท่านั้น - ระบบไม่ได้สามารถปิดส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้ ทำให้มีขนของสุนัขและฝุ่นเข้าไปในระบบอิเล็กทรอนิกส์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัย	ข้อดี	ข้อเสีย
วิทยานิพนธ์นี้	- ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้มีราคาที่ถูกและมีประสิทธิภาพที่สูงเหมาะสมต่อราคา - ระบบถูกออกแบบให้เป็นระบบปิด ทำให้ขนสุนัขไม่สามารถเข้าไปในตัวอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ - ใช้แผ่นอะคริลิกเป็นโครงสร้างของแพลตฟอร์มรับแรงทำให้มีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการเคลื่อนย้าย - ใช้สายแพรในการรับส่งข้อมูล เพื่อลดการฉีกขาดของสายไฟยากและง่ายต่อการเคลื่อนย้าย	- สามารถวัดน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขได้ครั้งละ 1 อุ้งเท้าเท่านั้น ทำให้ในการวัดแต่ครั้งใช้เวลาวัดที่นานเกินไป - สามารถวัดน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขในขณะที่เดินได้ แต่ถ้าสุนัขมีการก้าวที่เร็วมาก ๆ ก็จะได้ข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์

จากตารางที่ 6.1 และตารางที่ 6.2 ระบบแพลตฟอร์มรับแรงในวิทยานิพนธ์นี้มีจุดเด่นคือเป็นระบบที่มีความละเอียดในการจัดเรียงเซ็นเซอร์ (1 ตัวต่อ cm^2) จึงทำให้มีความแม่นยำในการตรวจจับแรง และยังมีความผิดพลาดในการตรวจจับแรงที่ต่ำกว่า 4% อีกด้วย อีกทั้งยังมีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงถึง 50 ชุดข้อมูลต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่เพียงพอต่อการประมวลผลของข้อมูลการกระจายน้ำหนักของอุ้งสุนัขในขณะที่เดิน และอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบตรวจจับแรงในวิทยานิพนธ์นี้มีราคาที่ถูกมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูง จุดด้อยของระบบแพลตฟอร์มนี้เมื่อเทียบกับวิทยานิพนธ์อื่นคือ เป็นระบบที่ไม่สามารถวัดเท้าทั้ง 4 เท้าของสุนัขพร้อมกันได้ โดยระบบแพลตฟอร์มรับแรงของวิทยานิพนธ์นี้สามารถวัดได้เพียงครั้งละ 1 อุ้งเท้าเท่านั้น จึงทำให้ใช้เวลามากในการวัดแต่ละครั้ง

Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] M. ALLEICE SUMMERS, DVM, "Diseases of the Musculoskeletal Systems," in *Common Diseases of Companion Animals*, Third ed, 2014, pp. 126-154.

[2] D. L. M. a. J. Mankin, "Orthopedic and Neurologic Evaluation," in *Canine Rehabilitation and Physical Therapy*, Second ed: Elsevier Inc., 2014, pp. 180-184.

[3] R. L. G. a. T. C. Angle, "Canine Locomotion Analysis," in *Canine Rehabilitation and Physical Therapy* ed: Elsevier Inc., 2014, pp. 202-210.

[4] D. M. Nunamaker and P. D. Blauner, "Normal and abnormal gait," *Textbook of small animal orthopaedics,* pp. 1083-1095, 1985.

[5] D. L. M. Cheryl Riegger-Krugh, and Joseph P.Weigel, , "Canine Anatomy," in *Canine Rehabilitation and Physical Therapy* Second, Ed., Second ed: Elsevier Inc., 2014, pp. 38-40.

[6] W. E. Roy, "Examination of the canine locomotor system," *The Veterinary clinics of North America,* vol. 1, pp. 53-70, 1971.

[7] D. L. Millis and D. Levine, *Canine Rehabilitation and Physical Therapy: Second Edition*, 2013.

[8] D. R. Adams, *Canine anatomy*: Lowa State University Press, 1986.

[9] R. L. G. a. T. C. Angle, "Recent developments in canine locomotor analysis: A review," *The Veterinary Journal* vol. 178, pp. 165-176, November 2008 2008.

[10] D. Leach, G. Sumner-Smith, and A. Dagg, "Diagnosis of lameness in dogs: a preliminary study," *The Canadian Veterinary Journal,* vol. 18, p. 58, 1977.

[11] กรกฎ งานวงศ์พาณิชย์, "การจัดการทางด้านอายุรกรรมในสุนัขโรคข้อเสื่อม (Osteoarthritis; OA) " in เชียงใหม่สัตวแพทยสาร, 2549, pp. 63-72.

[12] N. Nganvongpanit and T. Yano, "Prevalence of and risk factors of patellar luxation in dogs in Chiang Mai, Thailand, during the years 2006-2011," *Thai J Vet Med,* vol. 41, pp. 449-454, 2011.

[13] K. Komin, "The treatment of canine hip dysplasia
" in *The Journal of Thai Veterinary Practitioners* 2008.

[14] A. Gefen, M. Megido-Ravid, Y. Itzchak, and M. Arcan, "Biomechanical analysis of the three-dimensional foot structure during gait: a basic tool for clinical applications," *Journal of biomechanical engineering,* vol. 122, pp. 630-639, 2000.

[15] S. C. Budsberg, M. C. Verstraete, and R. W. Soutas-Little, "Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs," *Am J Vet Res,* vol. 48, pp. 915-918, 1987.

[16] E. D. Lemaire, A. Biswas, and J. Kofinan, "Plantar pressure parameters for dynamic gait stability analysis," in *Engineering in Medicine and Biology Society,* 2006. *EMBS'*06. 28*th Annual International Conference of the IEEE*, 2006, pp. 4465-4468.

[17] A. Kale, N. Cuntoor, B. Yegnanarayana, A. Rajagopalan, and R. Chellappa, "Gait analysis for human identification," in *Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication*, 2003, pp. 1058-1058.

[18] D. Handley, J. Ross, and G. Carr, "A force plate system for measuring low-magnitude reaction forces in small laboratory animals," *Physiology & behavior,* vol. 64, pp. 661-669, 1998.

[19] S. Xu, X. Zhou, and Y.-N. Sun, "A novel platform system for gait analysis," in 2008 *Conference on Human System Interactions*, 2008, pp. 1045-1049.

[20] D. Gouwanda and S. Senanayake, "Real time multi-sensory force sensing mat for sports biomechanics and human gait analysis," *International Journal of Intelligent Systems and Technologies,* vol. 3, pp. 149-154, 2008.

[21] C. C. S. Jae, S. Senanayake, M. Arosha, D. Gouwanda, and B. H. Khoo, "Precision smart force platform," in *Advanced Intelligent Mechatronics,* 2009. *AIM* 2009. *IEEE/ASME International Conference on*, 2009, pp. 71-75.

[22] P. Chalayon, K. Soontornvipart, and C. Tangwongsan, "Standing analysis of healthy and abnormal canines using force platform system," in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON),* 2013 10*th International Conference on*, 2013, pp. 1-6.

[23] I. Interlink Electronics. Force Sensing Resistor 400 [Online]. Available: http://www.interlinkelectronics.com/datasheets/Datasheet_FSR.pdf

[24] I. Interlink Electronics. Sensor Technologies FSR 400 Force Sensing Resistors [Online]. Available: http://www.microelectronicos.com/datasheets/FSR400.pdf

[25] A. Designer. Professional unified design system, high productivity stress-free environment and native 3D PCB editor [Online]. Available: http://www.altium.com/

[26] T. Instruments. CD4067BE Datasheet Analog Multiplexers [Online]. Available: http://www.ti.com

[27] STMicroelectronics. STM32F4 DISCOVERY. [Online]. Available: http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419?sc=internet/evalboard/product/252419.jsp

[28] F. T. D. I. Limited. Future Technology Devices International Ltd. FT232R USB UART IC [Online]. Available: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf

[29] M. V. S. 2015. Visual Studio C# and Visual Basic Shared Programming Concepts [Online]. Available: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh334523.aspx

[30] พชร ชลายน, "การพัฒนาแพลตฟอร์มรับแรงสำหรับการวิเคราะห์แรงจากการยืนและเดินของสุนัข," คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ, 2555.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลสุนัขที่ใช้ในการทดสอบน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข

ในการทดสอบน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัขจากการยืนและการเดิน จำนวนทั้งสิ้น 39 ตัว โดยแบ่งเป็น สุนัขปกติที่ไม่เป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก และสุนัขที่มีความผิดปกติในด้านอื่นแต่อาจส่งผลต่อการยืนและการเคลื่อนไหวของสุนัข โดยข้อมูลสุนัขทั้งหมดจะถูกตรวจสุขภาพและบันทึกประวัติก่อนและหลังการจรวจวัดน้ำหนักกดของอุ้งเท้าสุนัข โดยประวัติสุนัขทั้งหมดได้แสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลประวัติโรคและการรักษาของสุนัขที่ได้รับการตรวจจับน้ำหนักกดที่อุ้งเท้าในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จำนวน 39 ตัว

ลำดับ	สายพันธุ์	เพศ	อายุ(ปี)	น้ำหนัก(kg)	ประวัติโรคและการรักษา
สุนัขปกติ					
1	ชิวาวา	เมีย	3	2	-
2	ชิสุห์	เมีย	11	4.3	โรคตาและโรคหัวใจ
3	ปอม	เมีย	6	5	โรคผิวหนัง
4	ชิสุห์	เมีย	5	5.6	โรคตาอักเสบ (ข้างขวาเป็นหนักกว่าข้างซ้าย)
5	พุดเดิ้ล	เมีย	12	5.95	โรคตา
6	อะเดย์	ผู้	4	6	โรคตาบอดตั้งแต่กำเนิด
7	พุดเดิ้ล	ผู้	6	6.5	โรคอ้วนและโรคผิวหนัง
8	พุดเดิ้ล	เมีย	14	6.5	-
9	ชิสุห์	ผู้	9	7	มาเจาะเลือด
10	ชิสุห์	เมีย	5	7	-
11	ชิสุห์	ผู้	8	7.05	โรคตาและโรคผิวหนัง
12	ชิสุห์	เมีย	2	7.2	โรคอ้วนและโรคผิวหนัง
13	ปั๊ก	ผู้	7	10.5	โรคผิวหนัง
14	บีเกิล	ผู้	2	18	โรคอ้วน
15	บูลเทอร์เรีย	ผู้	5	22.5	โรคตาอักเสบ
สุนัขที่ป่วยเป็นโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก					
16	ปอม	ผู้	8	3.8	- ขาหลังซ้ายเป็นโรคข้อเข่าเสื่อม - ขาหลังขวาเป็นโรคสะโพกหลุด - ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าหลุด - ได้รับการผ่าตัดสะโพกแล้ว

ลำดับ	สายพันธุ์	เพศ	อายุ(ปี)	น้ำหนัก(kg)	ประวัติโรคและการรักษา
					- กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
17	ผสม(พุดเดิ้ล+ปอม)	เมีย	10	4	- ขาหลังซ้ายเป็นโรคข้อเข่าเสื่อม - ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ได้รับการผ่าตัดข้อสะบ้าเคลื่อนแล้ว - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
18	พุดเดิ้ล	ผู้	4	6.3	- ขาหลังซ้ายเป็นโรคข้อเข่าเสื่อม - ขาหลังซ้ายเป็นโรคสะโพกเสื่อม - ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ได้รับการผ่าตัดสะโพกแล้ว - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
19	ปอม	ผู้	11	3.5	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ขาคู่หลังเป็นโรคข้อเข่าเคลื่อน - ได้รับการผ่าตัดข้อสะบ้าเคลื่อนแล้ว - ทำกายภาพบำบัด
20	พุดเดิ้ล	ผู้	13	4	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ขาคู่หลังเป็นโรคข้อเข่าเคลื่อน - ทำกายภาพบำบัด
21	ปอม	ผู้	8	5	- ขาหลังขวาเป็นโรคข้อเข่าเสื่อม - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
22	ปอม	ผู้	11	2.8	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อเข่าเคลื่อน - ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ขาคู่หลังเป็นโรคสะโพกเสื่อม - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
23	ปอม	ผู้	8	2	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ได้รับการผ่าตัดหัวกระดูกตรงสะโพกแล้ว - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
24	ชิวาวา	เมีย	3	2.4	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ได้รับการผ่าตัดโรคข้อสะบ้าเคลื่อนแล้ว - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
25	พุดเดิ้ล	เมีย	7	4	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเสื่อม - ขาคู่หลังเป็นโรคหัวไหล่เสื่อม - ทำกายภาพบำบัด
26	ปั๊ก	ผู้	1	1.3	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับ	สายพันธุ์	เพศ	อายุ(ปี)	น้ำหนัก(kg)	ประวัติโรคและการรักษา
27	โกลเด้น	ผู้	4	33	- ขาหลังขวาเป็นโรคสะโพกเสื่อม - กินยาและทำกายภาพบำบัด
28	ปอม	เมีย	8	1.8	- ขาคู่หลังเป็นโรคสะโพกเสื่อม - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
29	ผสม(เทอเรีย+พุดเดิ้ล)	ผู้	6	9.5	- ขาคู่หลังเป็นโรคสะโพกเสื่อม - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
30	ร็อกไวเลอร์	ผู้	10	37	- ขาคู่หลังเป็นโรคสะโพกเสื่อม - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
31	ชิสุห์	เมีย	1	3.2	- ขาซ้ายกะเผลกเนื่องจากสะโพกซ้ายหลุด - ได้รับการผ่าตัดหัวกระดูกด้านซ้ายแล้ว - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
32	ปอม	ผู้	7	4.5	- ขาหลังขวาเป็นโรคสะโพกหลุด - ได้รับการผ่าตัดสะโพกขวาแล้ว - กินยาวิตามินและทำกายภาพบำบัด
32-1	ปอม	ผู้	7	5.15	- ขาหลังขวาเป็นโรคสะโพกหลุด - ได้รับการผ่าตัดสะโพกขวาแล้ว - ทำกายภาพบำบัด
33	ปอม	เมีย	8	3.9	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเสื่อม - ขาหลังขวาเป็นโรคสะโพกหลุด - ได้รับการผ่าตัดสะโพกขวาแล้ว - กินยาลดปวดและทำกายภาพบำบัด
34	พุดเดิ้ล	ผู้	16	6	- ขาคู่หลังเป็นโรคสะโพกเสื่อม - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
35	ปั๊ก	ผู้	2	13	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - ได้รับการผ่าตัดโรคข้อสะบ้าเคลื่อนแล้ว - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
36	ลาบราดอร์	เมีย	1.8	30.4	- ขาคู่หลังเป็นโรคข้อสะบ้าเคลื่อน - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
สุนัขที่ป่วยเป็นโรคอื่น					
37	ปอม	ผู้	12	5.1	- โรคตาต้อกระจกที่ตาด้านซ้าย
38	พุดเดิ้ล	เมีย	16	4	- ขาขวาหลังเอ็นหัวเข่าฉีก - กินยา Antinol และทำกายภาพบำบัด
39	ไทย	ผู้	-	23	- ขาซ้ายมีปัญหาเนื่องจากระบบประสาท - สันหลังหัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับ	สายพันธุ์	เพศ	อายุ(ปี)	น้ำหนัก(kg)	ประวัติโรคและการรักษา
					- ทำกายภาพบำบัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพฤกจิกา สุขศิริมัช เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University