

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1	ผังงานภาพรวมของงานวิจัยทั้งหมด 3
1.2	เปรียบเทียบผลการทดลองของความเครียด ระหว่างกรณี 5 และกรณีที่ 1... 5
1.3	เปรียบเทียบผลการทดลองของความเค้น ทั้ง 3 กรณี..... 6
1.4	เปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุเทียมทั้ง 3 แบบชื่อภาพ..... 7
1.5	เปรียบเทียบผลการทดลองของการวางตำแหน่งของ Stem ที่แตกต่างกันทั้ง 4 แบบ 8
1.6	เปรียบเทียบค่าความเครียดของแต่ละกรณี 9
1.7	ตัวจับยึดกล้ามเนื้อแบบขนาดใหญ่ และแบบขนาดเล็ก..... 10
1.8	ลักษณะการจับยึดกล้ามเนื้อ..... 11
2.1	ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ..... 13
2.2	ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) 15
2.3	ความเครียดเฉือน (Shear strain)..... 15
2.4	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield point)..... 16
2.5	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) สำหรับวัสดุประเภท เนื้อเยื่ออ่อน (Soft tissue) 17
2.6	เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก 20
2.7	เปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น – ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก 21
2.8	โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ 23
2.9	เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อ 26
2.10	การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Rectilinear translation)..... 32
2.11	การเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง (Curvilinear translation)..... 33
2.12	การเคลื่อนที่เป็นแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear motion) 33
2.13	นักยิมนาสติก แสดงตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบหมุนในการยกขาขึ้นจาก พื้นจนกระทั่งขาตั้งฉากกับพื้น 34
2.14	ตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบหมุนที่แกนของการหมุนอยู่นอกวัตถุที่เคลื่อนที่ (บาร์ หรือ แกน) 34

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.15 การหมุนของส่วนขา.....	35
2.16 การหมุนของส่วนขา.....	36
2.17 ลำดับการเดิน	37
2.18 ระนาบของร่างกาย	39
2.19 เอ็นบริเวณหัวเข่า	42
2.20 กฎความสัมพันธ์ของฮุก	43
2.21 พฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้นของยาง	43
2.22 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะยืด	44
2.23 การตอบสนองของวัสดุประเภทต่าง ๆ เมื่อได้รับความเค้นโดย 1 แทนของแข็ง ยืดหยุ่น 2 แทนของเหลวหนืด 3 แทนวัสดุวิโคอีลาสติก	55
2.24 แบบจำลอง Hill's model และ Kelvin-Voigt model	56
2.25 ลักษณะของกล้ามเนื้อ	57
2.26 หลักการของ Boltzmann Superposition	58
2.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแสดงสภาพ วิสโคอีลาสติกแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น.....	59
2.28 การใช้ลอการิทึมในการพิจารณาสภาพวิสโคอีลาสติกแบบเชิงเส้นแบบ ไม่เชิงเส้น.....	60
2.29 เวกเตอร์ความเร็วเชิงเส้น และความเร็วเชิงมุมของลิงค์ i	62
2.30 เวกเตอร์ความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของลิงค์ที่อยู่ติดกัน	63
2.31 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับความเร่งของวัตถุที่จุดศูนย์กลางมวล	66
2.32 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับการเคลื่อนที่เชิงมุมของวัตถุ	66
3.1 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของกล้ามเนื้อที่ออกแบบในมุมมอง 3 มิติ	67
3.2 ขนาดเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของกล้ามเนื้อ.....	68
3.3 เครื่องทดสอบกล้ามเนื้อที่สร้าง	68
3.4 ไดอะแกรมสมดุลแรงเพื่อคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์	69
3.5 หัวจับยึดชิ้นงานเย็น (Freeze grip) ที่ออกแบบ	71
3.6 หัวจับยึดชิ้นงานเย็น (Freeze grip)	72

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 ลักษณะการไหลเวียนของไนโตรเจนเหลว	73
3.8 แสดงหน้าจอในการควบคุมเครื่องจากคอมพิวเตอร์.....	74
3.9 ชุดคอนโทรล	75
3.10 คานรับแรง.....	76
3.11 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของคานรับแรงที่เกิดขึ้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์คานรับแรง	76
3.12 ใบรับรองการทดสอบคุณภาพโพลีคาร์บอเนต.....	78
3.13 การทดสอบหา Alignment ของเสาลิ้นขณะมีการเคลื่อนที่.....	79
3.14 การติดตั้งไดอัลเกจ	80
3.15 แสดงการเคลื่อนที่ของเสาลิ้นทั้งสองด้าน	81
3.16 ผลการทดสอบตลอดช่วงของระยะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นของเสาลิ้นด้านขวา วัดระยะแกน X	81
3.17 ผลการทดสอบตลอดช่วงของระยะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นของเสาลิ้นด้านขวา วัดระยะแกน Y	82
3.18 ผลการทดสอบตลอดช่วงของระยะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นของเสาลิ้นด้านซ้าย วัดระยะแกน X	82
3.19 ผลการทดสอบตลอดช่วงของระยะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นของเสาลิ้นด้านซ้าย วัดระยะแกน Y	83
3.20 การติดตั้งตัวอย่างวัสดุเพื่อเตรียมการทดสอบ.....	84
3.21 ความสัมพันธ์ความเค้น ความเครียดของพอลิโพรไพลีน	85
4.1 เอ็นที่นำมาทดแทนเอ็นไขว้	87
4.2 เลาะผิวหนังหมู	87
4.3 เปิดชั้นไขมันหมู.....	88
4.4 ขาหมู	88
4.5 กล้ามเนื้อที่เลือก	89
4.6 เลาะพังผืด.....	89
4.7 เนื้อหมูติดเส้นเอ็นของขาหมู	90

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8	ขึ้นทดสอบของกล้ามเนื้อ และเอ็น..... 90
4.9	เอ็นวัว 91
4.10	เอ็นที่ได้จากกลุ่มกล้ามเนื้อแฮมสตริง..... 92
4.11	เอ็นที่ได้จากกลุ่มกล้ามเนื้อแฮมสตริงทั้งหมด..... 93
4.12	ขั้นตอนการทดสอบ 94
4.13	เอ็นวัวขณะทดสอบ..... 96
4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของเอ็นวัว..... 96
4.15	เอ็นหมูขณะทดสอบ 97
4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของเอ็นหมู..... 97
4.17	เอ็นแฮมสตริงขณะทดสอบ 98
4.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของเอ็นแฮมสตริง ชั้นที่ 1 99
4.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของเอ็นแฮมสตริง ชั้นที่ 2 99
4.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของเอ็นแฮมสตริง ชั้นที่ 3 100
4.21	กราฟเฉลี่ยข้อมูลความสัมพันธ์ของความเค้น และความเครียดของเอ็น แฮมสตริงทั้ง 3 การทดลอง 101
4.22	Fit curve ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเค้น ความเครียดใช้โมเดลของ โยห์ (Yeoh) 102
5.1	จำลองการเคลื่อนไหวในท่าเดิน 105
5.2	ตำแหน่งจุดหมุนของขา..... 105
5.3	มุมการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกในท่าเดิน 106
5.4	มุมการเคลื่อนไหวของข้อเข่าในท่าเดิน..... 106
5.5	กระดูกอาจารย์ใหญ่ที่นำมาสแกน 107
5.6	เครื่อง Optical measurement machine..... 108
5.7	ลักษณะการติดตั้งจุดอ้างอิง 109

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.8 โมเดลสามมิติที่ได้จากเครื่องสแกนภาพ.....	110
5.9 ภาพจาก CT scan ที่ใช้ในการสร้างโมเดลกระดูกขา.....	112
5.10 แยกกระดูกออกจากกล้ามเนื้อ.....	112
5.11 เติมผิวของกระดูกให้สมบูรณ์ (ภาพในระนาบแนวนอน).....	113
5.12 โมเดลกระดูกขาที่สแกน.....	113
5.13 แต่งผิวกระดูก.....	114
5.14 กระดูกขาที่นำมาสร้างเอ็น.....	115
5.15 ภาพเอกซเรย์ ตำแหน่งการติดตั้งเอ็นไขว้หน้า.....	116
5.16 สร้างเอ็นไขว้หน้า 1 Bundle.....	117
5.17 สร้างเอ็นไขว้หน้า 2 Bundles.....	117
6.1 ตำแหน่งจุดหมุนของข้อเข่า.....	119
6.2 พื้นที่ (พื้นที่สีดำ) ที่หมุนรอบจุดหมุนซึ่งจะหาได้จากภาพที่ 6.3.....	119
6.3 ตำแหน่งจุดหมุนของข้อเข่า.....	120
6.4 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของขา และเอ็นแบบ 1 Bundle.....	122
6.5 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของเอ็นแบบ 2 Bundles.....	123
6.6 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของเอ็นแบบ 1 Bundle.....	124
6.7 ผลการวิเคราะห์ความเครียดของเอ็นแบบ 1 Bundle.....	129
6.8 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของเอ็นแบบ 2 Bundles.....	125
6.9 ผลการวิเคราะห์ความเครียดของเอ็นแบบ 2 Bundles.....	126