ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247936

การออกแบบบูมโกยตักน้ำสำหรับขุดลอก

นายสมพงษ์ เจริญบูรณ์วิวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00252652

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247936

การออกแบบกลไกข้อเข่าสำหรับขาเทียม

นายสมพงษ์ เจริญบูลย์วิวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170484021

DESIGN OF KNEE JOINT MECHANISM FOR LEG PROSTHESIS

Mr.Sompong Charoenboonvivat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบกลไกข้อเข่าสำหรับขาเทียม
โดย	นายสมพงษ์ เจริญบูลย์วิวัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุศล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยณรงค์ จักรธรานนท์)

สมพงษ์ เจริญบูลย์วิวัฒน์: การออกแบบกลไกข้อเข่าสำหรับขาเทียม (DESIGN OF KNEE JOINT MECHANISM FOR LEG PROSTHESIS) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ, อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อาจารย์ ดร.ชัญญา พันธ์ วิรุฬห์ศรี, 100 หน้า

247936

กลไกข้อเข่าที่อยู่ในขาเทียมนั้นเป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญในการเดินด้วยขาเทียมของผู้พิการขาขาดเหนือเข่าเป็นอย่างมากเพราะกลไกข้อเข่าต้องทำงานอย่างสอดคล้องกับลักษณะการเหวี่ยงตอขา เพื่อให้ผู้ใช้มีลักษณะการเดินที่ใกล้เคียงกับการเดินตามธรรมชาติมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการออกแบบกลไกข้อเข่าเทียมที่มีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายเข่าจริงโดยใช้กลไกแบบหลายแกนหมุน มีเสถียรภาพของการเดินครบทุกตำแหน่งของวงจรการเดิน กลไกมีชิ้นส่วนน้อยสามารถสร้างและประกอบกลไกได้ง่าย และสุดท้ายมีอายุการใช้งานที่ยาวนานวัดจากการทดสอบตามมาตรฐานสากล ISO 10328:2006

เริ่มต้นการออกแบบด้วยการหาข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่ของเข่าในการเดินตามธรรมชาติเพื่อกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสังเคราะห์กลไกจึงได้มาซึ่งแผนผังจลน์ศาสตร์ ที่มีการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่หามาได้ จากนั้นจึงออกแบบกลไกให้มีชิ้นส่วนน้อยและสามารถสร้างและประกอบกันได้ง่ายด้วยการรวมชิ้นส่วนบางชิ้นของกลไก รวมถึงออกแบบให้สามารถใช้งานได้ในสภาพการใช้งานจริงของการเดินด้วยขาเทียม โดยตรวจสอบผลด้วยการเดินจากอาสาสมัคร ซึ่งอาสาสมัครที่ทดสอบนั้นมีลักษณะท่าทางการเดินที่เป็นธรรมชาติ มีการวิเคราะห์เบื้องต้นเกี่ยวกับความแข็งแรงของกลไกและความทนทานต่อความเสียหายเนื่องจากความล้าด้วยโปรแกรม FEM เพื่อปรับค่าขนาดมิติของแบบกลไก และเมื่อนำกลไกข้อเข่าเทียมที่ได้นี้ไปทดสอบความแข็งแรงตามการทดสอบมาตรฐาน ISO 10328:2006 แนวแรงที่กระทำต่อกลไกจะเลียนแบบท่าในการเดินสองท่าที่มีแรงกระทำต่อกลไกข้อเข่ามากที่สุดคือ จังหวะส้นเท้าแตะพื้น และปลายเท้าจากพื้น ทั้งสองจังหวะใส่ภาระแรงซ้ำและภาระแรงสถิต ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่ากลไกข้อเข่าเทียมที่ออกแบบสามารถผ่านการทดสอบมาตรฐานนี้ได้

ดังนั้นจึงได้มาซึ่งกลไกข้อเข่าที่สามารถให้ลักษณะการเดินที่เป็นธรรมชาติ มีจำนวนชิ้นส่วนของกลไกน้อยชิ้นเพื่อสะดวกในการผลิตและประกอบ และมีความคงทนแข็งแรงเหมาะสมต่อการส่งไปประกอบเป็นขาเทียมให้ผู้ใช้นำไปใช้งานจริงได้ต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต สมพงษ์ เจริญบูลย์วิวัฒน์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5170484021: MAJOR Mechanical Engineering

KEYWORDS: knee mechanism in leg prosthesis/ natural motion of walking knee/ polycentric mechanism

Sompong Charoenboonvivat: Design of Knee Joint Mechanism for Leg Prosthesis, Thesis Advisor: Pairat Tangpornprasert, Ph.D., Thesis Co-Advisor: Chanyaphan Virulsri, Ph.D., 100 pp

247936

Significantly, knee mechanism in leg prosthesis is the key that enables transfemoral user to walk naturally. Hence, the knee mechanism must be able to create natural motion of knee. In solving these problems, this research aims to several objectives. First, Design knee joint polycentric mechanism which mimicry natural motion of knee while walking and can provide stability at the whole position of gait cycle. Second, each part of the mechanism should be ease of machining and the mechanism need to have as few parts as possible for the reason of effortless assembling. Last, the mechanism must pass strength and life cycle test of ISO 10328:2006.

This research starts from collecting natural knee motion data which be used to synthesize kinematic diagram. The kinematic diagram is simplified to have fewer parts as a result of lessened knee joint part number. Next, assembly design is created then loop of practical function test and redesign are introduced to develop final design. A walking test by volunteer is made to observe and discuss the result from the user. Before bring the final design to test strength and fatigue, finite element method analysis is employed to adjust some critical point dimensions. While testing, heel strike and toe off position is set up because maximum of knee load occur in those positions. Finally, after the mechanism can sustain static load and cyclic load testing which follow ISO 10328:2006 then the knee joint mechanism is fully functional.

Consequently the knee joint mechanism meet all objectives, the designated knee joint mechanism allows its user to walk naturally, has few parts as possible and be able to efficiently sustain walking load with respect to ISO 10328:2006.

Department:	Mechanical engineering	Student's Signature	สมพงษ์ เจริญบุญชัยวัฒน์
Field of Study:	Mechanical engineering	Advisor's Signature	
Academic Year:	2010	Co-Advisor's Signature	

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ และอาจารย์ ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนการทำงานวิจัยจนสำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณในความเมตตาและกรุณาที่อาจารย์มีต่อข้าพเจ้า ทั้งในด้านวิชาการและจริยธรรมอันดีงาม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำงานและการดำเนินชีวิตในอนาคต ขอขอบคุณครูอาจารย์ทุกท่าน ทั้งที่โรงเรียนอนุบาลศรีวรการ โรงเรียนเซนต์หลุยส์ จะเชิงเทรา โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า อบรมสั่งสอนข้าพเจ้าให้อยู่ในกรอบและมีระเบียบวินัยเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆคน ทั้งที่ได้มีส่วนร่วมและมิได้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้ เพราะทุกคนคือกำลังใจอันดีในการทำงานของข้าพเจ้า ขอขอบคุณคุณศุภสิน นางรอง และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลทหารผ่านศึกทุกท่านที่ให้ความกรุณาในการทดสอบกลไกและให้คำแนะนำปรึกษาสำหรับการออกแบบ และสุดท้ายขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนอุดหนุนการวิจัยจาก ทุนจากมูลนิธิส่งเสริมนวัตกรรมวิศวกรรม สมาคมนิสิตเก่าวิศวกรรมศาสตร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเงินอุดหนุนจากรัฐบาลที่สนับสนุนทั้งอุปกรณ์และสถานที่วิจัย ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ผลสัมฤทธิ์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบเป็นพระคุณอันยิ่งใหญ่ของบิดา-มารดา นายบันลือศักดิ์ เจริญบูลย์วิวัฒน์ และนางทีนา เจริญบูลย์วิวัฒน์ ครูอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆพี่ๆน้องๆของข้าพเจ้าทุกคน ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่นำไปสู่การพัฒนากระบวนการทางความคิดแบบพึ่งพาตนเอง เพื่อให้ประเทศไทยของเรามีความเจริญก้าวหน้าอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 จุดประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของโครงการ 2

1.4 ขั้นตอนการปฏิบัติการ 3

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและปริทัศน์วรรณกรรม 4

2.1 คำศัพท์เฉพาะทางในกายวิภาคศาสตร์ (Anatomical nomenclature) 4

2.2 กายวิภาคศาสตร์ของข้อเข่า (Anatomy of knee) 8

2.3 วงจรการเดิน (Gait cycle) 13

2.4 ความมีเสถียรภาพของข้อเข่าขาเทียม 19

2.5 ชนิดของกลไกข้อเข่าเทียม 20

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

2.7 แนวทางการสังเคราะห์กลไก 24

2.8 การทดสอบความแข็งแรงของกลไกข้อเข่าเทียม 24

หน้า

บทที่ 3 แนวคิดหลักและขั้นตอนในการออกแบบเบื้องต้น 30
3.1 แนวคิดหลักในการออกแบบ 30
3.2 การออกแบบเบื้องต้น 31
3.3 กลไกข้อเข่าที่ทดลองสร้างขึ้น 41

บทที่ 4 45
การออกแบบใหม่ของกลไก 45
4.1 ภาพรวมการออกแบบใหม่ 45
4.2 การเก็บข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่ของข้อเข่าเพิ่มเติม 46
4.3 แนวคิดหลักในการออกแบบกลไก 54
4.4 การสร้างกลไกเพื่อทดสอบและออกแบบใหม่ 62
4.5 การแก้ไขแบบครั้งที่ 1 67
4.6 การตรวจสอบความคล้ายของเส้นทางการเคลื่อนที่จากกลไก 72
4.7 การคำนวณความแข็งแรงเบื้องต้นของกลไกข้อเข่าโดยใช้โปรแกรม FEM 73
4.8 เปรียบเทียบกลไก แบบ DOSL3 กับกลไกหลายจุดหมุนที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ 83
4.9 อภิปรายผลการออกแบบและทดสอบการเดินของกลไกข้อเข่าสำหรับขาเทียม 86
4.10 สรุปผลการออกแบบและทดสอบกลไกข้อเข่าเทียม 87

บทที่ 5 การทดสอบความแข็งแรงของกลไกข้อเข่าเทียม 88
5.1 การตั้งค่าเครื่องมือทดสอบแรงกด 88
5.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงของกลไกข้อเข่าเทียม 90

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 92
6.1 สรุปผลการวิจัย 92
6.2 ข้อเสนอแนะ 93
รายการอ้างอิง 94

หน้า

ภาคผนวก 96

ภาคผนวก ก แนวแรงตามมาตรฐาน ISO 10328:2006 97

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 100

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ชื่อเรียกและความหมายของคำศัพท์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของอวัยวะต่างๆ 5
2.2 ชื่อเรียกและความหมายของคำศัพท์ที่ใช้ในการระบุการเคลื่อนไหวของอวัยวะต่างๆ 7
2.3 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Heel strike 16
2.4 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Foot flat 17
2.5 ท่า แนวแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ที่ข้อเท้าข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Mid stance 17
2.6 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Heel off..... 17
2.7 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Toe off 18
2.8 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Acceleration. 18
2.9 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะ Mid swing 18
2.10 ท่า แนวแรงปฏิกิริยา และโมเมนต์ที่ข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพกขณะจังหวะ Deceleration 18

4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEM ของชิ้นส่วนบนของกลไก 77
4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEM ของชิ้นส่วนล่างของกลไก 79
4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEM ของชิ้นส่วนล่างของกลไกที่ออกแบบใหม่..... 82
4.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานของกลไกข้อเข่าเทียมที่ออกแบบกับกลไกข้อเข่าเทียมที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ..... 83

5.1 แรงกดที่ใช้ในการทดสอบแบบ Static load test ของกลไกข้อเข่าเทียมและ ค่าเสียรูปรวม (Deformation) ที่วัดได้ 90
5.2 แรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบ Cyclic load test และผลการทดสอบหลังจากออกแรงครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ 91

ก.1 ค่าตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดทิศแนวแรงตามมาตรฐาน ISO 10328:2006..... 99

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 กลไกข้อเข่าแบบหลายแกนหมุนที่ปัจจุบันนำเข้าจากต่างประเทศ [3] 1
1.2 กลไกข้อเข่าแบบแกนหมุนเดี่ยวที่ปัจจุบันนำเข้าจากต่างประเทศ [3] 1

2.1 ระนาบต่างๆในทางกายวิภาคศาสตร์ [6] 6
2.2 ชื่อเรียกการเคลื่อนที่ของอวัยวะในรูปแบบต่างๆ [6] 7
2.3 การเคลื่อนที่ของแขนและขาแบบ Abduction และ Adduction ตามลำดับ [6] 8
2.4 กระดูกต้นขาเมื่อมองจาก ด้านหน้า (A) และ ด้านหลัง (B) [6] 9
2.5 Medial condyle และ Lateral condyle [6] 9
2.6 ลักษณะของกระดูกแข้งและกระดูกน่อง [6] 9
2.7 Medial meniscus และ Lateral meniscus [6] 10
2.8 การกระจายของแรงเมื่อ (A) ไม่มี Meniscus (B) มี Meniscus [6] 10
2.9 ส่วนประกอบต่างๆของลูกสะบ้าหัวเข่า [6] 11
2.10 Ligament ต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของข้อเข่า [6] 12
2.11 มัดกล้ามเนื้อ Quadricepts [6] 12
2.12 กล้ามเนื้อ hamstrings [6] 13
2.13 มุมขอของเข่าในวงจรการเดินของคนปกติ [4] 14
2.14 จังหวะการเดินตามปกติของคนในช่วง Stance phase [4] 14
2.15 จังหวะการเดินตามปกติของคนในช่วง Swing phase [4] 15
2.16 ลักษณะ Ground reaction force ขณะเดิน [4] 19
2.17 แนว Load line ที่กระทำต่อขาในช่วงต่างๆ [4] 20
2.18 กลไกข้อเข่าแบบ Active knee joint ที่มีขายในประเทศไทย [3],[7] 21
2.19 กลไกข้อเข่าแบบ Passive knee joint ที่มีขายในประเทศไทย [3],[7] 21
2.20 ขาเทียมแบบปรับอัตราหน่วงซึ่งควบคุมด้วยระบบอิเล็คทรอนิคส์ [8] 22
2.21 ลักษณะของกลไกที่พัฒนามาก่อนหน้า [6] 23
2.22 ท่า Heel strike ใน Gait cycle ที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบความแข็งแรง 25
2.23 ท่า Toe off ใน Gait cycle ที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบความแข็งแรง 25
2.24 ลักษณะแรงกดเทียบกับเวลาที่ใช้ใน Principal static load test ทั้งจังหวะ Heel strike และ Toe off 26

รูปที่ หน้า

2.25 ลักษณะแรงกดเทียบกับเวลาที่ใช้ใน Principal cyclic load test ทั้งจังหวะ Heel strike และ Toe off 27
2.26 กลไกข้อเข่าเทียมเมื่อต่อกับตัวต่อที่ใช้ในการปรับทิศของแนวแรงให้เข้ากับทิศของแนวแรงที่มาตรฐานกำหนด 28
2.27 กลไกข้อเข่าที่ติดกับเครื่องทดสอบและมีแนวแรงตามมาตรฐานในจังหวะ Heel strike 28
2.28 กลไกข้อเข่าที่ติดกับเครื่องทดสอบและมีแนวแรงตามมาตรฐานในจังหวะ Toe off 29
2.29 เครื่องมือไฮดรอลิกส์ที่ใช้ออกแรงกดในการทดสอบกลไกข้อเข่าเทียม 29

3.1 Kinematic diagram ของกลไกข้อเข่าเทียมที่ได้ออกแบบ 31
3.2 ตำแหน่งจุดอ้างอิงที่ใช้หาเส้นทางการเคลื่อนที่ของเข่า 32
3.3 ขาที่ติดจุดอ้างอิงเพื่อใช้หาเส้นทางการเคลื่อนที่ของเข่า 32
3.4 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเข่าใน X-Y coordinate 33
3.5 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเข่าที่ Coordinate transform มายัง X'-Y' coordinate 33
3.6 ตัวอย่างตัวแปรที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนค่าในกระบวนการ Optimization 34
3.7 การทำงานของการ Optimazation เพื่อหา Kinematic diagram ของกลไกที่เหมาะสม 35
3.8 เส้นทางการเคลื่อนที่ของกลไกเปรียบเทียบกับข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่ของเข่า 36
3.9 กลไกที่ได้เทียบกับลักษณะการงอขา 36
3.10 ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของกลไก 37
3.11 ชิ้นส่วนพีระมิดเมื่อนำไปใช้งาน 39
3.12 ชิ้นส่วนที่ทำงานเป็นส่วนดีดกลับของกลไก 39
3.13 การเคลื่อนที่ของกลไกเมื่อพับงอ 40
3.14 กลไกข้อเข่าเทียมหลังจากการกัดขึ้นรูปแล้ว 41
3.15 กลไกข้อเข่าเทียมขณะนำไปทดสอบเดิน 42
3.16 กลไกข้อเข่าเทียมขณะอยู่ในท่านั่ง 43

4.1 ลักษณะการติดจุดอ้างอิงบนขา 46
4.2 ขาของอาสาสมัครเมื่อติดจุดอ้างอิงแล้ว 47
4.3 การหาจุดอ้างอิงทั้ง 4 จุดบน Frame ด้วยการประมวลผลภาพ (Image processing) 47
4.4 ประมวลผลภาพเพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งของจุดอ้างอิงแต่ละ Frame 48

รูปที่ หน้า

4.5 เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากภาพเคลื่อนไหวระหว่างเดิน 49
4.6 ภาพเคลื่อนไหวที่เก็บเพิ่มเพื่อหามุม Knee flexion มากสุด 49
4.7 ตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่จากภาพเคลื่อนไหวแบบเต็มช่วงการงอเข่า 50
4.8 การเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากการเดินและการยืนงอเข่า 50
4.9 ข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่จากการงอขาของอาสาสมัครทั้งหมด 51
4.10 ตัวอย่าง Centrode เปรียบเทียบกับตำแหน่งของข้อมูลการเคลื่อนที่ของเข่า 52
4.11 เปรียบเทียบแนวโน้มลักษณะของ Centrode ที่หาได้จากข้อมูลของอาสาสมัคร 52
4.12 แบบในแนวคิดของกลไกที่ออกแบบ 54
4.13 Kinematic diagram ของกลไกข้อเข่าที่ออกแบบ 55
4.14 เปรียบเทียบเส้นทางที่ได้จากกลไกและเส้นทางที่ได้จากข้อมูล 56
4.15 แบบรายละเอียดของกลไกที่ออกแบบขึ้น 56
4.16 ตำแหน่งสำหรับใส่สปริงในกลไกชิ้นล่าง 57
4.17 ตำแหน่งสำหรับติดแผ่นตัวหน่วง 57
4.18 ลักษณะพีระมิดที่ใช้ยึดกับเบ้าขาเทียมและแข้ง 58
4.19 เสาเรียบที่ใช้ใน Joint หนึ่งของกลไก 58
4.20 เสาต่างระดับสำหรับอีก Joint หนึ่งของกลไก 59
4.21 น็อตที่ใช้สำหรับยึดเสาทั้งสอง 59
4.22 ลักษณะของน็อตเมื่อขันเข้าไปเรียบร้อยแล้ว 59
4.23 ชิ้นส่วนสำหรับยึดสปริงที่อยู่บนชิ้นส่วนบนของกลไก 60
4.24 การปรับค่า Pre-tension ของสปริง 60
4.25 การปรับค่าความฝืดของแผ่นตัวหน่วง 61
4.26 กลไกที่ประกอบเรียบร้อยแล้วเรียกแบบที่ได้ว่า DOSL1 61
4.27 ตัวอย่างบริเวณที่ต้องการความแม่นยำของขนาดมิติ 62
4.28 ชิ้นงานที่กัดได้จากเครื่อง CNC 63
4.29 ขนาดมิติสปริงที่ได้ออกแบบไว้ 63
4.30 สปริงที่ได้จากการสั่งทำ 64
4.31 แผ่นตัวหน่วงที่ทำจาก Brake pad 64
4.32 กลไกเมื่อผลิตและประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว 64
4.33 กลไกข้อเข่าแบบ DOSL1 ที่นำไปทดสอบใช้งาน 65

รูปที่ หน้า

4.34 ตำแหน่งของสปริงที่อยู่ในกลไกข้อเข่าเทียม 66
4.35 น็อตที่ใช้ยึดเสาที่สามารถคลายหลวมขณะใช้งาน 66
4.36 สปริงที่ยาวเกินออกมาและการติดตั้งรังสปริง 67
4.37 กลไกข้อเข่าเทียมที่ประกอบและใส่สปริงที่มีค่าคงตัวเหมาะสมแล้ว 68
4.38 การออกแบบเสาแบบใหม่ซึ่งทำให้ไม่เกิดการหลวมคลาย 68
4.39 ตัวอย่างพื้นที่ที่ใช้หาจุด Centroid สำหรับจุดที่จะใช้ปรับค่าอัตราหน่วงของกลไกข้อเข่า 69
4.40 ตำแหน่งที่ใช้สำหรับขันน็อตเพื่อปรับอัตราหน่วงของกลไก 69
4.41 ตัวหยุดที่อยู่ด้านในของกลไกทำหน้าที่รับแรงกระแทกและรับแรงกดในขณะยืน 70
4.42 เปรียบเทียบขนาดกลไกข้อเข่าเทียมแบบ DOSL1 และแบบ DOSL2 70
4.43 กลไกข้อเข่าเทียมที่แก้ไขแล้ว (แบบ DOSL2) ที่นำไปทดสอบกับอาสาสมัครจากโรงพยาบาล
ทหารผ่านศึก 71
4.44 การหาเส้นทางการเคลื่อนที่จากกลไกเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ใช้สังเคราะห์กลไก 72
4.45 ข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่จากกลไกเทียบกับข้อมูลที่ใช้สังเคราะห์กลไก 73
4.46 ชิ้นบนและชิ้นส่วนต่อเพิ่มสำหรับใส่แรงตามแนวแรงมาตรฐาน ISO 74
4.47 ฐานของพีระมิดของชิ้นล่างของกลไกที่ใช้ใส่แรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ปฏิกิริยา 74
4.48 บริเวณที่กำหนดเงื่อนไขขอบให้เป็น Fixed support 75
4.49 σ_e ของชิ้นบนของกลไกในจังหวะ Heel strike 75
4.50 SF ของชิ้นบนของกลไกในจังหวะ Heel strike 76
4.51 σ_e ของชิ้นบนของกลไกในจังหวะ Toe off 76
4.52 SF ของชิ้นบนของกลไกในจังหวะ Toe off 77
4.53 σ_e ของชิ้นล่างของกลไกในจังหวะ Heel strike 78
4.54 SF ของชิ้นล่างของกลไกในจังหวะ Heel strike 78
4.55 σ_e ของชิ้นล่างของกลไกในจังหวะ Toe off 79
4.56 SF ของชิ้นล่างของกลไกในจังหวะ Toe off 79
4.57 ชิ้นล่างของกลไกที่ถูกออกแบบใหม่ให้มีความหนาของเนื้อวัสดุบางส่วนมากขึ้น 80
4.58 σ_e ของชิ้นล่างของกลไกที่ออกแบบใหม่แล้วในจังหวะ Heel strike 81
4.59 SF ของชิ้นล่างของกลไกที่ออกแบบใหม่แล้วในจังหวะ Heel strike 81
4.60 σ_e ของชิ้นล่างของกลไกที่ออกแบบใหม่แล้วในจังหวะ Toe off 82
4.61 SF ของชิ้นล่างของกลไกที่ออกแบบใหม่แล้วในจังหวะ Toe off 82

รูปที่ หน้า

4.62 กลไกข้อเข่าเทียมที่เสร็จสมบูรณ์แบบ DOSL3 84
4.63 กลไกข้อเข่าเทียมแบบหลายแกนหมุนที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ 84

5.1 กลไกข้อเข่าที่ติดกับชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นในการเปลี่ยนแนวแรง 88
5.2 อุปกรณ์วัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการวัดค่ายุบตัวของกลไกข้อเข่าเทียม 89
5.3 ลูกบาศก์ที่ติดอยู่กับก้านที่ยื่นออกมาจากตัวออกแรงกดเพื่อใช้ในการสะท้อนของแสงเลเซอร์
ในการวัดระยะยุบตัวทั้งสามแกน 89

ก.1 การกำหนดทิศที่ออกแรงกระทำต่อกลไกข้อเข่าเทียมในการทดสอบความแข็งแรง 98

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CNC	ย่อมาจาก Computer Numerical Control
FEM	ย่อมาจาก Finite element method
GRF	ย่อมาจาก Ground reaction force
ICZV	ย่อมาจาก Instantaneous center of zero velocity
SF	ย่อมาจาก Safety factor
SS304	ย่อมาจาก Stainless steel 304
b	หมายถึง ระยะของเส้นตั้งฉากจากจุด O_2 ถึงแนว Prismatic joint O_4
F	หมายถึง แรงที่กระทำต่อวัตถุ
J_A	หมายถึง Moving pivot ที่เชื่อมกลไกระหว่าง L_2 และ L_3
J_B	หมายถึง Moving pivot ที่เชื่อมกลไกระหว่าง L_3 และ L_4
L_1	หมายถึง Linkage ของกลไกที่เป็น Ground linkage ในกลไกแบบสี่ก้านต่อ (Four-bar linkage mechanism)
L_2	หมายถึง Linkage ของกลไก Linkage ที่ 2 ในกลไกแบบสี่ก้านต่อ (Four-bar linkage mechanism)
L_3	หมายถึง Linkage ของกลไก Linkage ที่ 3 ในกลไกแบบสี่ก้านต่อ (Four-bar linkage mechanism)
L_4	หมายถึง Linkage ของกลไก Linkage ที่ 4 ในกลไกแบบสี่ก้านต่อ (Four-bar linkage mechanism)
M	หมายถึง โมเมนต์ที่กระทำต่อวัตถุ
O_2	หมายถึง Ground pivot ที่เชื่อมกลไกระหว่าง L_1 และ L_2
O_4	หมายถึง Ground pivot ที่เชื่อมกลไกระหว่าง L_1 และ L_4
R_C	หมายถึง จุดอ้างอิงที่อยู่บน L_3 ที่ใช้เลียนแบบการเคลื่อนที่ของจุด C
R_D	หมายถึง จุดอ้างอิงที่อยู่บน L_3 ที่ใช้เลียนแบบการเคลื่อนที่ของจุด D
S_t	หมายถึง Tensile yield strength หรือ ความเค้นที่จุดคราก
X_C	หมายถึง ค่าพิกัดในแกนนอนของจุด R_C
X_D	หมายถึง ค่าพิกัดในแกนนอนของจุด R_D
Y_C	หมายถึง ค่าพิกัดในแกนตั้งของจุด R_C
Y_D	หมายถึง ค่าพิกัดในแกนตั้งของจุด R_D
σ_e	หมายถึง Von Mises stress