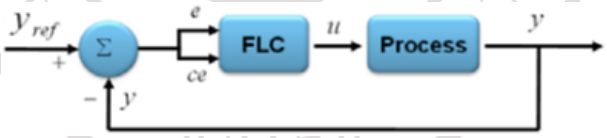
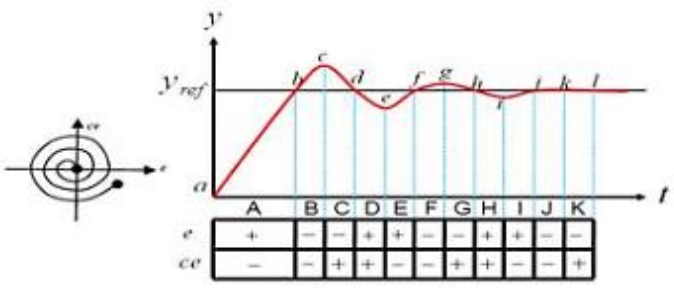
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพรวมของระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิก

การออกแบบในงานวิจัยการควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิกนั้น โดยส่วนใหญ่การควบคุมการทำงานของระบบที่พบเห็นบ่อยดังภาพที่ 2.1 โดยค่า *e* เป็นค่าความผิดพลาด *ce* เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด และ *u* เป็นค่าสัญญาณในการควบคุมการทำงานของระบบการทำงาน y_{ref} เป็นค่าที่กำหนดในการออกแบบ *y* เป็นค่าเอาท์พุทของระบบที่ได้ฉะนั้นในการออกแบบระบบการทำงานได้อาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด และ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดในการออกแบบเช่น ภาพที่ 2.2 ในช่วง A ค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นบวกหมายความว่า ค่าเอาท์พุทของระบบมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด และค่าความเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบหมายความว่า ค่าเอาท์พุทที่ได้กำลังลู่เข้าค่าที่กำหนดในช่วง A แต่เมื่อผ่านไปช่วง B ค่าความผิดพลาดที่ได้กลับมีค่าเป็นลบ และค่าความเปลี่ยนแปลงก็มีค่าเป็นลบ ทำให้ค่าเอาท์พุทของระบบมีแนวโน้มที่จะออกห่างจากค่าที่กำหนด เพราะฉะนั้นในการออกแบบการทำงานจึงพยายามที่ออกแบบกฎให้เอาท์พุทของระบบนั้นมีค่าความผิดพลาด และอัตราค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด เข้าใกล้สู่ค่าที่กำหนดซึ่งได้ออกแบบให้เป็นไปตามในช่วง C เช่นเดียวกัน ในช่วง D ค่าของเอาท์พุทของระบบก็พยายามที่จะลู่ออกไปมากขึ้น เพราะฉะนั้นในการออกแบบเราก็ต้องพยายามปรับค่านั้นให้ลู่กลับสู่สภาวะที่เรากำหนด จนกว่าค่าความผิดพลาดและค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเป็นศูนย์หรือมีน้อยสุด



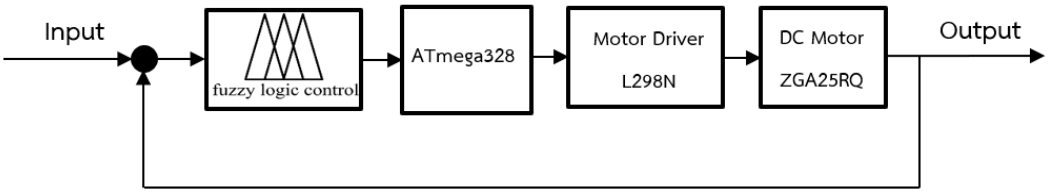
ภาพที่ 2.1 การออกแบบระบบการควบคุม



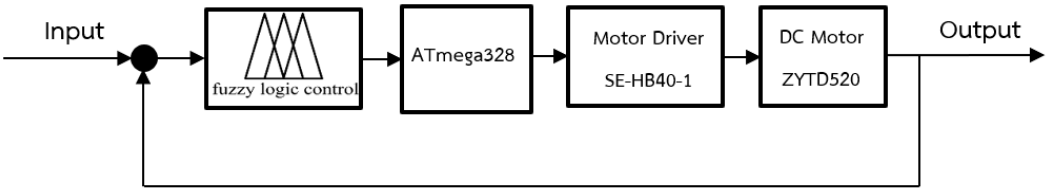
ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเอาท์พุทของระบบในการวิเคราะห์

2.2 การออกแบบการควบคุม

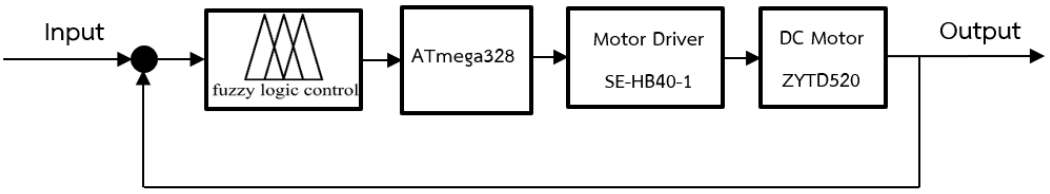
ในการออกแบบระบบการทำงานของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงส่วนข้อเท้า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงส่วนข้อเข่า และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงส่วนข้อสะโพก ตัวแปรมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในการทำงาน ทำให้การควบคุมจะต้องพยายามควบคุมตัวแปรทั้ง 3 ให้ได้ตามค่าที่กำหนด การออกแบบได้อาศัยจากการออกแบบข้างต้นที่ใช้หาค่าเอาท์พุทของระบบ อาศัยค่าความผิดพลาดของความเร็วรอบมอเตอร์ในการออกแบบระบบโดยไม่ได้อาศัยอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดมาพิจารณา ในการออกแบบแต่คำนึงถึงค่าความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 3 ตัว มาพิจารณาในการออกแบบการควบคุมในงานวิจัย แสดงดังภาพที่ 2.3 ถึงภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.3 การออกแบบการควบคุมอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า



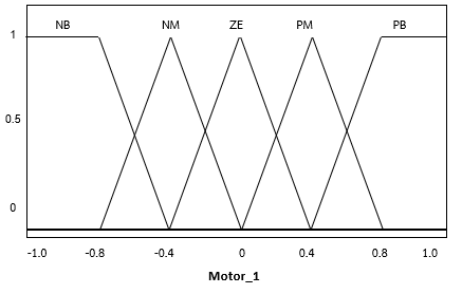
ภาพที่ 2.4 การออกแบบการควบคุมอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเข่า



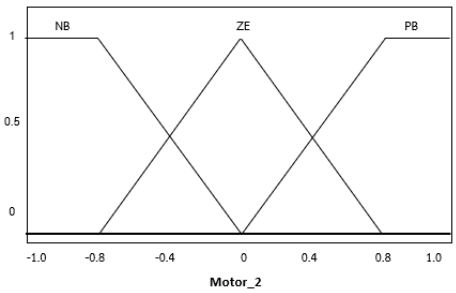
ภาพที่ 2.5 การออกแบบการควบคุมอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อสะโพก

2.3 การออกแบบสมาชิกอินพุท

การออกแบบสมาชิกอินพุตของการควบคุมระบบ ค่าอินพุตของสมาชิกได้ออกแบบจากค่าความผิดพลาดจริงของระบบคือ ค่าความผิดพลาดของความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ต้องอาศัยคงที่ในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงค่อนข้างมากเพื่อให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของข้อเท้าที่ต้องการการเคลื่อนที่ที่มีความคงที่สูงกว่าส่วนอื่น จึงได้กำหนดสมาชิกของอินพุตเป็น 5 ตัวแปร แสดงดังภาพที่ 2.6 สมาชิกอินพุต 3 ตัวแปรแสดงดังภาพที่ 2.7 และ ภาพที่ 2.8

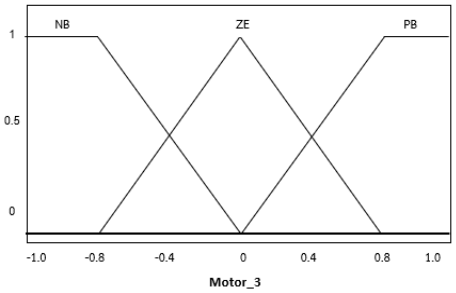


ภาพที่ 2.6 สมาชิกอินพุตของค่าความผิดพลาดความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า



ภาพที่ 2.7 สมาชิกอินพุตของค่าความผิดพลาดความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเข่า

ลิขสิทธิ์ของ พรรณี



ภาพที่ 2.8 สมาชิกอินพุตของค่าความผิดพลาดความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อสะโพก

2.4 การออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบการทำงานอาศัยความรู้ทางการควบคุม ความชำนาญในการเรียนรู้ระบบ หรือความรู้ที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยทำให้เรารู้การทำงานของระบบ การออกแบบกฎการทำงานได้ออกแบบกฎการทำงานจากความผิดพลาดของความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยไปควบคุมสัญญาณ PWM ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังภาพที่ 2.9 และภาพที่ 2.11

Error Motor (R)

Error Motor (L)	NB	NM	ZE	PM	PB
NB	PB	PL	ZE	NM	NB
NM	PB	PM	ZE	NM	NB
ZE	PB	PM	ZE	NM	NB
PM	PB	PM	ZE	NM	NB
PB	PB	PM	ZE	NL	NB

รูปที่ 2.9 กฎการทำงานควบคุมสัญญาณ PWM ให้กับตัวขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า

Error Motor (R)

Error Motor (L)	NB	ZE	PB
NB	PB	PB	ZE
ZE	ZE	ZE	ZE
PB	ZE	NB	NB

รูปที่ 2.10 กฎการทำงานควบคุมสัญญาณ PWM ให้กับตัวขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อเข่า

Error Motor (R)

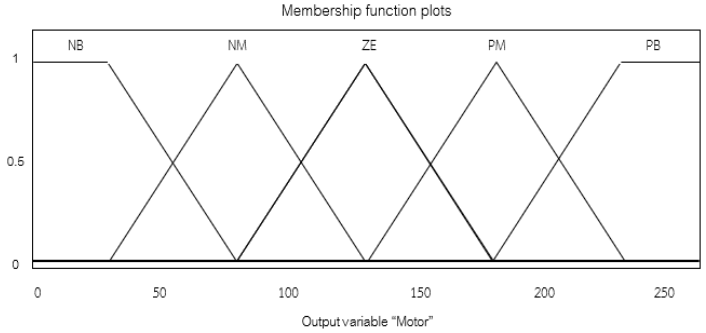
Error Motor (L)	NB	ZE	PB
NB	PB	PB	ZE
ZE	ZE	ZE	ZE
PB	ZE	NB	NB

รูปที่ 2.11 กฎการทำงานควบคุมสัญญาณ PWM ให้กับตัวขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนไหวส่วนข้อสะโพก

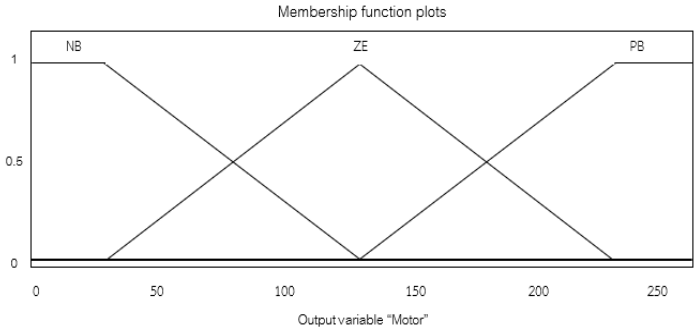
ลิขสิทธิ์ของ พรรณี

2.5 การออกแบบสมาชิกเอาท์พุท

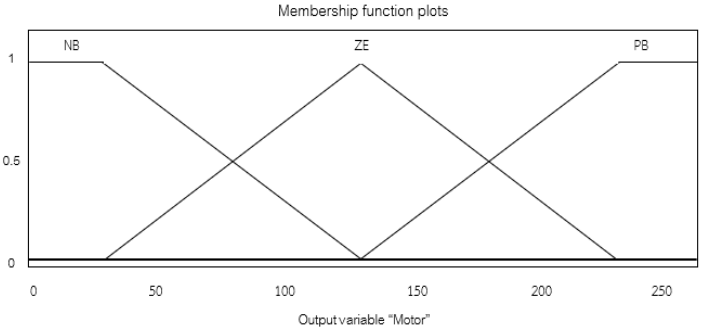
สมาชิกเอาท์พุทควบคุมการทำงาน มีด้วยกัน 3 สัญญาณ สัญญาณควบคุม PWM ควบคุมควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีช่วงการออกแบบอยู่ในช่วง 0 - 250 พัลส์ ประกอบไปด้วย 5 สมาชิก แสดงดังภาพที่ 2.12 และ 3 สมาชิกแสดงดังภาพที่ 2.13 และภาพที่ 2.14



รูปที่ 2.12 สมาชิกเอาต์พุตของ สัญญาณควบคุม PWM ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนข้อเท้า



รูปที่ 2.13 สมาชิกเอาต์พุตของ สัญญาณควบคุม PWM ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนข้อเข่า



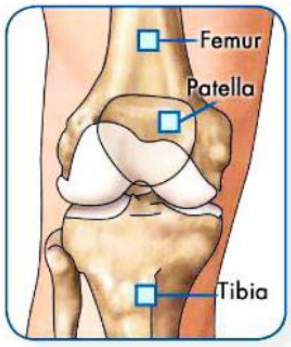
รูปที่ 2.14 สมาชิกเอาต์พุตของ สัญญาณควบคุม PWM ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนข้อสะโพก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้อเข่า (Knee Joint)

ข้อเข่าเป็นข้อต่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย ทำหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนไหวและรองรับน้ำหนักของร่างกาย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โครงสร้างของข้อเข่า (Structure of the Knee) ข้อเข่ามีส่วนประกอบที่สำคัญเป็นกระดูกและเนื้อเยื่ออื่น ๆ ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แสดงส่วนประกอบที่เป็นกระดูกของข้อเข่า

ที่มา (Ziimmer, 2010)

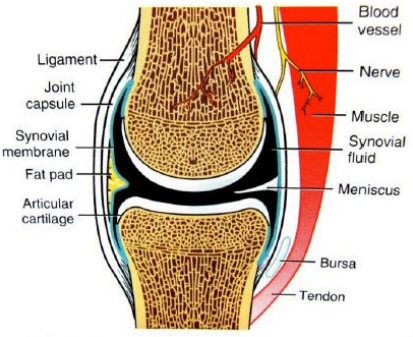
กระดูกต้นขา (Thigh Bone หรือ Femur) เป็นกระดูกยาวที่ส่วนปลายของกระดูกเป็นส่วนบนของข้อเข่า มีรูปร่างบานออกและโค้งมน

กระดูกหน้าแข้ง (Shin Bone หรือ Tibia) เป็นกระดูกยาวที่ส่วนต้นของกระดูกเป็นส่วนล่างของข้อเข่า มีรูปร่างบานออกและแผ่เป็นแป้น

กระดูกสะบ้า (Patella) เป็นกระดูกที่ทำ หน้าที่คล้ายคานงัดให้เส้นเอ็นของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดขานั้นทำงานได้ดี มีผิวสัมผัสกับกระดูกต้นขา (อารี ตนาวลี, 2553)

ส่วนประกอบอื่น ๆ ดังภาพที่ 2.16

ลิขสิทธิ์ของมหา รรณี



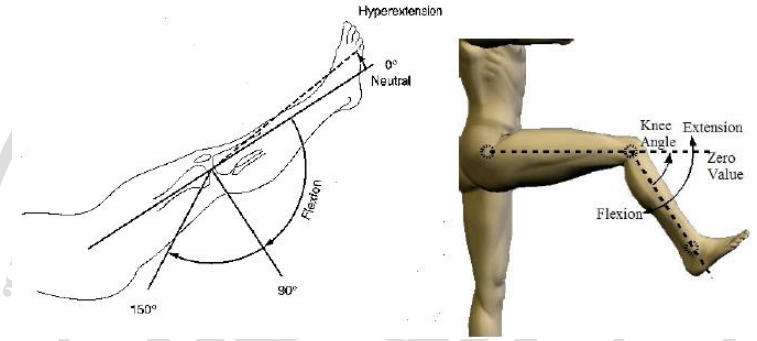
ภาพที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบอื่น ๆ ของข้อเข่า

ที่มา (Brunce Mcfarlane, 2012)

ลักษณะการเคลื่อนไหวที่ข้อเข่า

การเคลื่อนไหวที่ข้อเข่าจะเคลื่อนไหวได้ 2 ทิศทาง คือ การงอ (Flexion) และการเหยียด (Extension) มีรายละเอียดดังนี้

Flexion คือ การงอข้อเข่า มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่มุมข้อเข่ามากขึ้นจากท่าปกติหรือท่าศูนย์องศา ซึ่งท่าปกติก็คือ ท่าที่ข้อเข่าเหยียดตรงตามแนวแกนยาวโดยต้นขาและปลายขาอยู่ในแนวเดียวกัน ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อเข่าในท่าปกติและท่างอ
ที่มา (Hung-Jung Ho, 2008: p. 923-930)

Extension คือ การเหยียดข้อเข่าออกจากท่า Flexion เข่าจะเหยียดออกเต็มที่มาอยู่ในท่าปกติหรือท่าศูนย์องศา ในคนปกติบางคนข้อเข่าสามารถทาให้มีการเหยียดเกิน (Hyperextension) ได้อีก 15 องศา

มุมการเคลื่อนไหว ค่ามุมที่เข่าเหยียดปกติจะมีค่าเป็นศูนย์องศา (ในบางรายอาจมีการเหยียดเกินค่า 0 องศาได้ประมาณ 5-10 องศา) ข้อเข่าที่งอดี คือ ข้อที่สามารถงอได้ถึง 155 องศาในคนที่มีรูปร่างบาง (งอได้ดีจนส้นเท้าชิดกับก้น) และงอได้ประมาณ 135-145 องศา ในคนทั่วไปและต้นขาไม่ใหญ่มาก ในคนที่รูปร่างท้วมงอได้ประมาณ 125 องศา ในขณะที่คนอ้วนใหญ่และขาใหญ่มักงอเข่าได้ประมาณ 100-120 องศา (Hung-Jung Ho, 2008: p. 923-930)

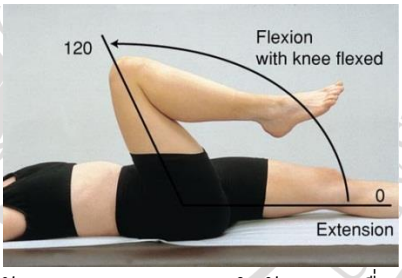
การบาดเจ็บของข้อเข่า ตามปกติอาการเจ็บปวดข้อเข่าจะเกิดขึ้นในบริเวณที่แตกต่างกันไปในแต่ละบุคคลตามแต่สาเหตุของโรคหรือการบาดเจ็บ ยกตัวอย่างเช่น การบาดเจ็บข้อเข่าเนื่องมาจากการเล่นกีฬาหรืออุบัติเหตุ ซึ่งการบาดเจ็บนั้นสามารถเกิดได้จากการถูกกระแทกโดยตรง การบิดหมุนหรือการยืดของเข่าในลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดการบาดเจ็บต่ออวัยวะภายในเข่าได้ทั้งสิ้น ซึ่งการักษาในแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับว่าเกิดกับอวัยวะใดและบาดเจ็บมากน้อยเพียงใด อาการบาดเจ็บข้อเข่านั้นยังอาจเกิดได้จากกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นซึ่งจากการใช้งานข้อเข่าอย่างหนักหรือมากเกินไป นอกจากนี้บ่อยครั้งที่มีสาเหตุมาจากการที่น้ำหนักตัวมากเกินไปทำให้ข้อเข่าต้องแบกรับน้ำหนักตัวและทำให้เกิดโรคข้อเข่าเสื่อมได้เร็วกว่าปกติ เป็นต้นโดยในปัจจุบันโรคที่พบได้บ่อยคือโรค

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยรามคำแหง

ข้อเข่าเสื่อม (Knee Osteoarthritis) พบได้บ่อยในผู้สูงอายุ ซึ่งเกิดจากการสึกหรอของกระดูกอ่อนหรือหมอนรองกระดูกบริเวณปลายข้อ ทำให้กระดูกส่วนปลายของกระดูกต้นขาที่ต่อกับกระดูกหน้าแข้งเกิดการเสียดสีกันไปมา เป็นสาเหตุให้เกิดการอักเสบ บวม ปวดเสียวที่ข้อเข่า และอาจทำให้การเคลื่อนไหวติดขัด หากมีอาการรุนแรงหรือปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ทำการรักษา มักเกิดการผิดรูปร่างของขาและอาจทำให้ไม่สามารถเดินได้ซึ่งในปัจจุบันมีการรักษาโดยการผ่าตัดเปลี่ยนเป็นข้อเข่าเทียม (Total Knee Arthroplasty ; TKA) สำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมระยะสุดท้าย เป็นการรักษาโดยการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าใหม่ทั้งหมด ส่งผลให้สามารถเคลื่อนไหวได้ใกล้เคียงกับข้อเข่าจริง ๆ (Hung-Jung Ho, 2008, p. 923-930) ภายหลังจากการผ่าตัดควรมีการบริหารข้อเข่าหลังการผ่าตัด เพื่อให้ได้พิสัยการเคลื่อนไหวที่ดีและงอเข่าได้มากซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสาหรับผู้ป่วยทุกรายโดยนักกายภาพบำบัด

การทำกายภาพบำบัดการเคลื่อนไหวข้อส่วนข้อเข่า

ให้ผู้เข้ารับการรักษานอนราบบนเตียง ค่อยๆเลื่อนข้อเท้าข้างที่ต้องการทำกายภาพบำบัดเคลื่อนเข้าหาตัวให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ขึ้นอยู่กับลักษณะด้านกายภาพของผู้ป่วย แต่มากสุดไม่ควรเกิน 120^0 แล้วค้างไว้ประมาณ 5 – 10 วินาที แล้วค่อยๆเหยียดขาออกให้อยู่ในท่านอนราบทำซ้ำๆ10 – 20 ครั้ง วันละหลายๆรอบ ขึ้นอยู่กับนักกายภาพบำบัดเป็นผู้กำหนด ดังภาพที่ 2.18



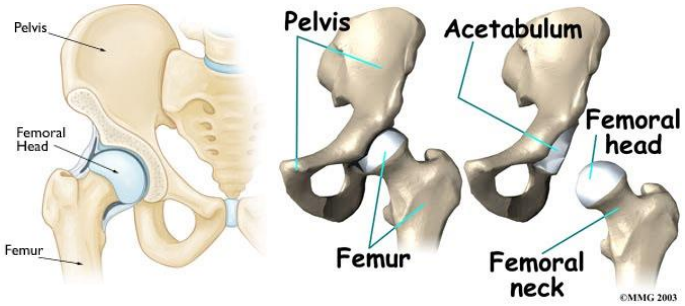
ภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะการกายภาพบำบัดการเคลื่อนไหวข้อส่วนข้อเข่า

ที่มา (Hung-Jung Ho, 2008: p. 923-930)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้อสะโพก

ข้อสะโพกคือข้อต่อที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายข้อหนึ่ง เป็นลักษณะ Ball-and-socket ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนหัวของกระดูกต้นขาที่เรียกว่า ฟีเมอร์ (femur) ซึ่งมีลักษณะคล้ายลูกบอล ส่วนเบ้าสะโพก ที่เรียกว่า อาเซตาบูลัม (acetabulum) ซึ่งกลไกการทำงานของข้อสะโพก เป็นการหมุนของลูกบอลอยู่ในเบ้า ทำให้เคลื่อนไหวได้ทุกทิศทาง ผิวของกระดูกทั้งสองส่วนปกคลุมด้วยกระดูกอ่อน เป็นเนื้อเยื่อที่เป็นเหมือนหมอนรับแรงกระแทกระหว่างข้อและช่วยให้ข้อหมุนได้ง่าย เนื้อเยื่อบางๆที่เราเรียกว่า Synovial membrane จะห่อหุ้มรอบๆข้อสะโพก ในคนที่สะโพกแข็งแรงปกติ เนื้อเยื่อนี้จะมีน้ำหล่อเลี้ยงที่กระดูกอ่อน และช่วยลดการเสียดสีเวลาขยับสะโพกแถบของ

เนื้อเยื่อที่เรียกว่า Ligaments (The hip capsule) เชื่อมหัวสะโพกและเบ้าให้สอดรับกันอย่างมั่นคง ดังภาพที่ 2.19

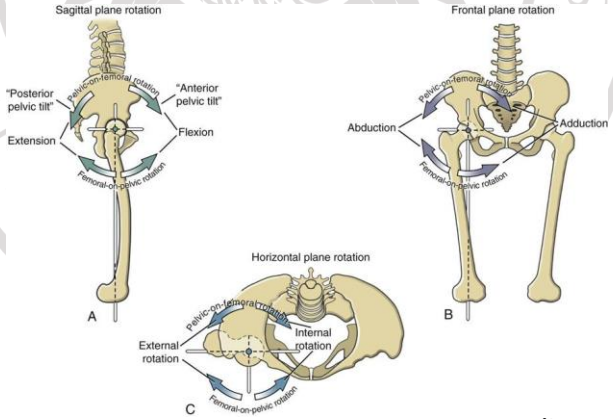


ภาพที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบของข้อสะโพก

ที่มา (วัชระ วิไลรัตน์, 2545: หน้า 94-95)

ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก

ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกมีลักษณะเป็น Ball and Socket joint การเคลื่อนไหวแบ่งเป็น 3 แนว คือ sagittal plane คือการเคลื่อนที่ flexion และ extension การเคลื่อนที่ในแนว transverse plane ประกอบด้วยการเคลื่อนไหว internal และ external rotation สุดท้ายคือการเคลื่อนไหวในแนว frontal plane ได้แก่ การเคลื่อนไปในทิศทาง abduction และ adduction (วัชระ วิไลรัตน์, 2545: หน้า 94-95) ดังภาพที่ 2.20

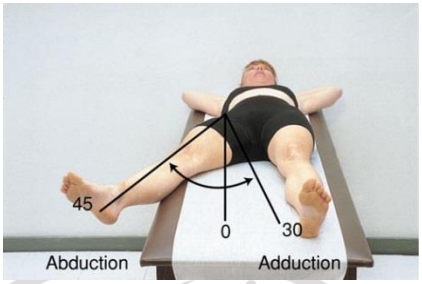


ภาพที่ 2.20 แสดงลักษณะการเคลื่อนไหวข้อสะโพกทั้ง 3 แนว

ที่มา (วัชระ วิไลรัตน์, 2545: หน้า 94-95)

การทำกายภาพบำบัดการเคลื่อนไหวส่วนข้อสะโพก

ให้ผู้เข้ารับการรักษานอนราบบนเตียง ค่อยๆเลื่อนขาข้างที่ต้องการทำกายภาพบำบัดเคลื่อนออกจากตัวทางด้านขวา 45° แล้วค้างไว้ประมาณ 5 – 10 วินาที เคลื่อนกลับ 75° แล้วค้างไว้ประมาณ 5 – 10 วินาที ทำซ้ำ ๆ 10 – 20 ครั้ง วันละหลายๆรอบ ขึ้นอยู่กับนักกายภาพบำบัดเป็นผู้กำหนด (Hung-Jung Ho, 2008: p. 923-930) ดังภาพที่ 2.21

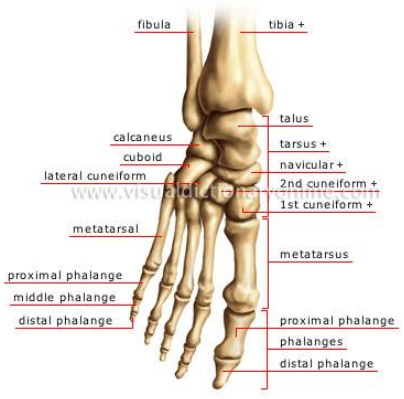


ภาพที่ 2.21 แสดงลักษณะการทำกายภาพบำบัดการเคลื่อนไหวส่วนข้อสะโพก

ที่มา (Hung-Jung Ho, 2008: p. 923-930)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้อเท้า

โครงสร้างเท้าประกอบโครงสร้างเท้าประกอบด้วยกระดูก 28 ชิ้น ต่อเข้ากับข้อเท้า มีกล้ามเนื้อที่เกาะมาจากขาท่อนล่างมาที่เท้า 13 มัด และกล้ามเนื้อภายในฝ่าเท้าอีก 19 มัด โครงสร้างของเท้ามีส่วนโค้งของฝ่าเท้าทั้งตามยาวและตามขวาง ทำให้เท้าสามารถรับน้ำหนักได้หลายเท่าของน้ำหนักตัว เท้ามีความแข็งแรงรับน้ำหนักไปที่ปลายเท้าได้ เช่น นักเต้นระบำบัลเล่ห์ และยังสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพพื้นผิวที่รองรับฝ่าเท้า เช่น เดินเท้าเปล่าบนพื้น โดยแบ่งออกเป็น เท้าส่วนหน้า จะประกอบไปด้วยนิ้วเท้า และกระดูกตรงส่วนฝ่าเท้า เท้าส่วนกลาง จะประกอบไปด้วยส่วนโครงของฝ่าเท้า เท้าส่วนหลัง จะเป็นส้นเท้า ดังภาพที่ 2.22 (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50)



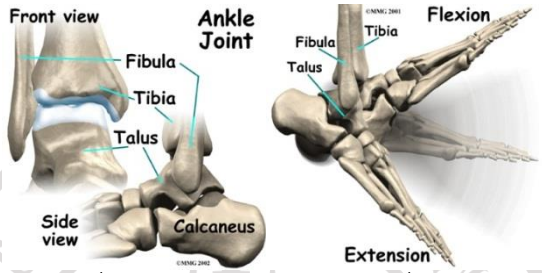
ลิขสิทธิ์ของ

ภาพที่ 2.22 แสดงส่วนประกอบของข้อเท้า

ที่มา (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50)

Back foot ประกอบด้วยกระดูกสองชิ้น คือ Talus และ Calcaneous (Heel bone) จุดที่กระดูกทั้งสองนี้เชื่อมต่อกันเรียกว่า Subtalar joint. Ankle joint ทำให้ข้อเคลื่อนไหวในแนวบนล่าง

(Up-Down) ส่วน Subtalar Joint ทำให้ข้อเคลื่อนไหวใน แนวข้าง (Side to Side) (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50) ดังภาพที่ 2.23

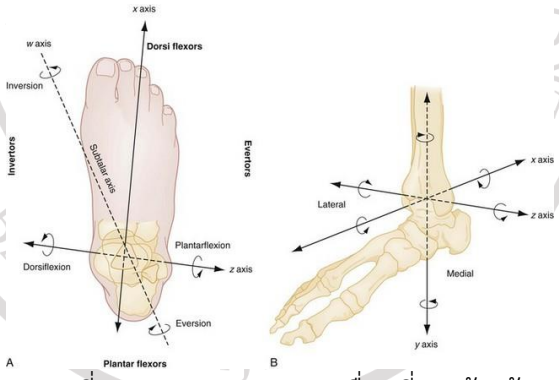


ภาพที่ 2.23 แสดงลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อเท้า

ที่มา (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50)

ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อเท้า

ข้อเท้าเป็นจุดข้อต่อที่ซับซ้อนสามารถเคลื่อนที่หมุนได้ 4 ทิศทาง แกนในแนวนอน (z axis) คือแกนหมุนเมื่อกระดกเท้าลง (Plantraflextion) และการกระดกเท้าขึ้น (Dorsiflextion) แกนตามยาวของเท้า (x axis), แกนแนวเฉียง subtalar axis (w axis), แกนตามยาว ของกระดูกหน้าแข้ง (y axis) ดังภาพที่ 2.24 (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50)



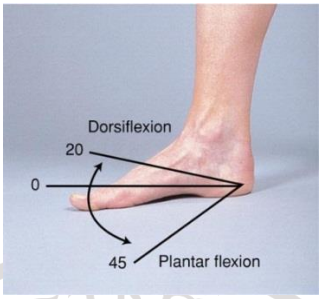
ภาพที่ 2.24 แสดงแนวการเคลื่อนที่ของข้อเท้า

ที่มา (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การทำกายภาพบำบัดการเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า

ให้ผู้เข้ารับการรักษานอนราบบนเตียง ค่อยๆกระดกข้อเท้าขึ้นไม่เกิน 20° ค้างไว้ 3 วินาที แล้วกระดกข้อเท้าลง65° ค้างไว้ 3 วินาที ทำซ้ำๆ10 – 20 ครั้ง วันละหลายๆรอบ ขึ้นอยู่กับนักกายภาพบำบัดเป็นผู้กำหนด ดังภาพที่ 2.25

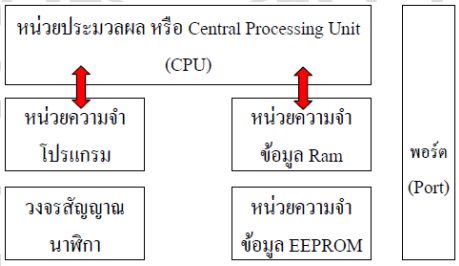


ภาพที่ 2.25 แสดงลักษณะการกายภาพบำบัดการเคลื่อนไหวส่วนข้อเท้า

ที่มา (อารี ตนาวลี, 2546: หน้า 45-50)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

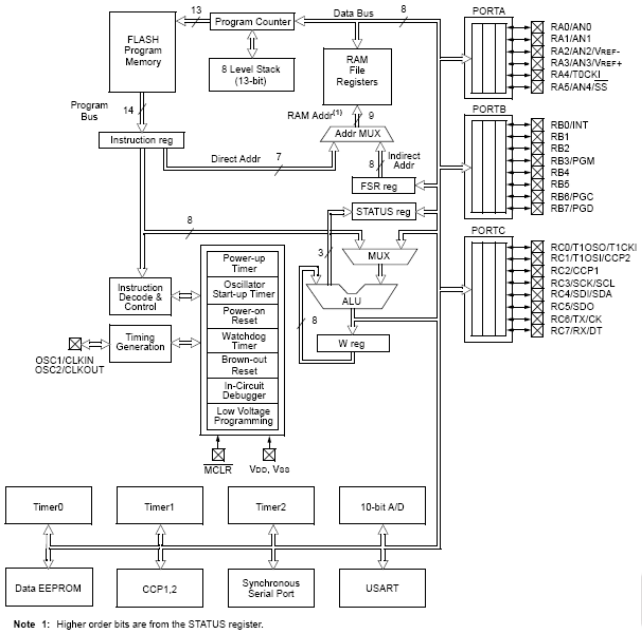
ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล โดยรวบรวมความสามารถต่าง ๆ เช่น หน่วยประมวลผลคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรอินพุตเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรสื่อสารอนุกรม วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และอื่น ๆ เข้าด้วยกันและสร้างเป็นชิพวงจรรวม (Integrated Circuit) ดังแสดงในภาพที่ 2.26 โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานได้ตามต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายตระกูลด้วยกันซึ่งก็มีความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป เช่น PIC Microcontroller, MCS-51 Microcontroller, ARM7 Microcontroller เป็นต้น



ภาพที่ 2.26 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง แนวคิดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ก็คือพยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่อ อุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้เหมือนกับ CPU ตัวหนึ่งเลยทีเดียว (www.microchip.com/design-centers/microcontrollers) ดังภาพที่ 2.27

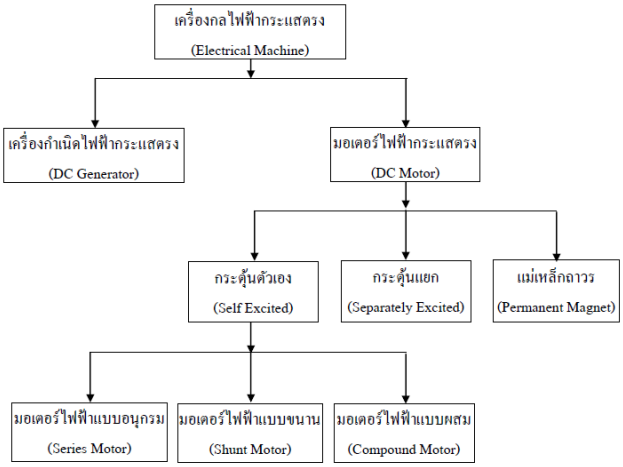


ภาพที่ 2.27 สถาปัตยกรรมภายในของ PIC2

ที่มา (Peter F Brosch, 2008: p. 90-101)

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

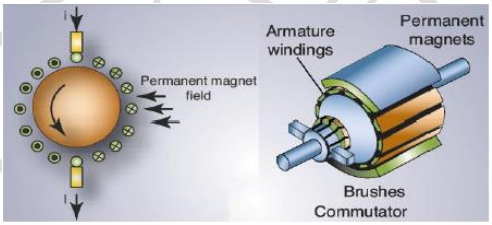
เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง นำมาใช้เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเรียกว่า มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ถ้านำมาใช้เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้สามารถทำงานกลับไปกลับมาระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ด้วย สามารถแบ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้เป็น 3 ประเภท (Peter F Brosch, 2008: p. 90-101) ดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 แผนภาพเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

ที่มา (Peter F Brosch, 2008: p. 90-101)

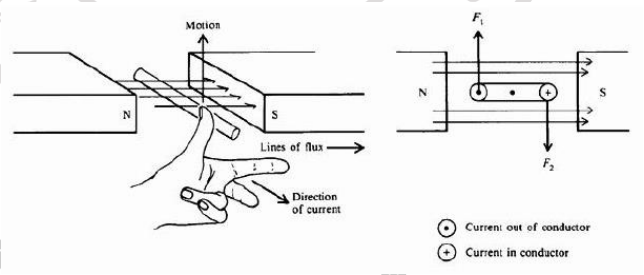
ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง (DC Generator) จะมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร ดังประกอบไปด้วยอาร์เมเจอร์ (Armature) อยู่ภายในตัวมอเตอร์เป็นส่วนที่เคลื่อนที่และใช้ในการขับโหลด คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แปรงถ่าน (Brushed) ทำ หน้าที่ในการนำ กระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดอาเมเจอร์ แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) เป็นตัวสร้างเส้นแรงแม่เหล็กและแรงบิดให้กับมอเตอร์ (ElectroCraft, 2010: p. 3-26) ดังแสดงในภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 แสดงส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

ที่มา (ElectroCraft, 2010: p. 3-26)

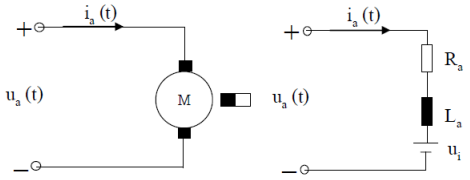
หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กขึ้น ซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าและขนาดของสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กถาวร) ทิศของแรงที่กระทำ กับขดลวดนี้พิจารณาได้จากกฎมือซ้ายของเลนซ์ โดยนิ้วชี้แสดงทิศของเส้นแรงแม่เหล็กโดยพุ่งออกจากจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ นิ้วกลาง แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและนิ้วหัวแม่มือแสดงการเคลื่อนที่ของตัวนำ (Milton Gussow, 2007: p. 80-86) ดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 แสดงกฎมือซ้ายของเลนซ์และทิศการหมุนของขดลวดในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ที่มา (Milton Gussow, 2007: p. 80-86)

คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Characteristics of Permanenet Magnet DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติทางไดนามิกส์ที่ดี คือ สามารถเดินหน้าถอยหลังได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ ซึ่งสามารถแสดงดังภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 แสดงวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

ที่มา (ElectroCraft, 2010: p. 3-26)

จากสมการไดนามิกส์ (Dynamics Equation) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

$$u_a(t) = i_a R_a + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + u_i(t) \quad (2.1)$$

ในสภาวะคงตัว $U_a = I_a R_a + U_i$

$$U_a = I_a R_a + C\emptyset_f . n$$

$$n = \frac{U_a - I_a R_a}{C\emptyset_f}$$

$$M_a = K\emptyset_f . i_a = K i_f i_a$$

$$M_a = K i_f . i_L \quad (2.2)$$

เมื่อ U_a, $u_a(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

I_a, $i_a(t)$ คือ กระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์มาเจอร์

R_a คือ ค่าความต้านทานของอาร์มาเจอร์

M_a คือ แรงบิดของมอเตอร์

n คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์

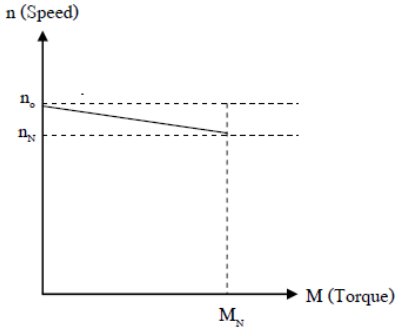
$C\emptyset_f$ คือ ค่าคงที่ทางไฟฟ้า

$K\emptyset_f$, K_{if} คือ ค่าคงที่ทางกล

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 เราสรุปได้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนแรงบิดของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับกระแสที่ขดลวดอาเมเจอร์และกระแสที่โหลด จากภาพที่ 2.32 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของ

มอเตอร์ จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะค่อนข้างคงที่จากสภาวะไม่มีโหลดจนกระทั่งสภาวะโหลดเต็มพิกัด (Milton Gussow, 2007: p. 80-86)



ภาพที่ 2.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเร็วรอบและแรงบิด

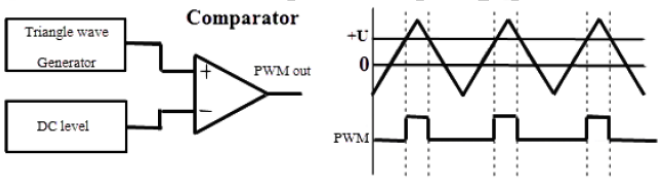
ที่มา (Milton Gussow, 2007: p. 80-86)

เมื่อ n_o คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

n_N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่พิกัด

M_N คือ แรงบิดของมอเตอร์ที่พิกัด

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้วิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature-terminal Voltage Control) โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยใช้หลักการปรับสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) หรือ พีดับบลิวเอ็ม (PWM) เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ S1-S4 โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์ S1-S4 โดยสัญญาณปรากฏเป็นช่วง ๆ (Pulse) ตามคาบเวลา (Time Period) โดยสามารถกำหนดความกว้างของพัลส์หรือค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ซึ่งจะมีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงดันของรูปคลื่นสัญญาณ ทำให้สามารถนำไปควบคุมการทำงานของภาควงจรกำลังได้ โดยสัญญาณ PWM เกิดจากการนำสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangular) กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกัน (Peter F Brosch, 2008: p. 90-101) ดังภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 แสดงสัญญาณ PWM

จากภาพที่ 9.17 จะเห็นว่า ความกว้างของพัลส์นั้นขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันไฟฟ้า (U) ความกว้างของสัญญาณ หรือค่า Duty Cycle ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.3

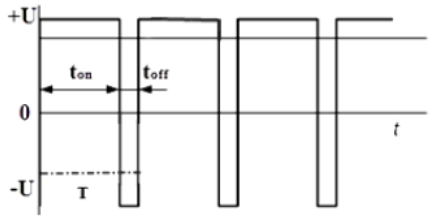
$$\%Duty\ Cycle = \frac{t_{on}}{T} x100\% \quad (2\text{-}3)$$

เมื่อ t_{on} คือ ช่วงเวลาในการเปิด

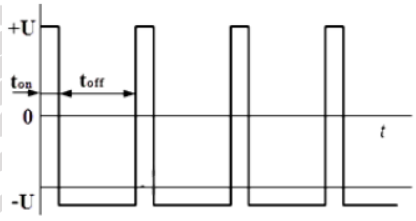
T คือ คาบเวลา มีค่าเท่ากับ $t_{on} + t_{off}$

โดยแรงดันที่ได้เป็นแรงดันเฉลี่ยของแรงดันสูงสุดที่วงจรจ่ายได้ หาได้จากสมการที่ 9.4

แรงดัน Output = แรงดัน Input X %Duty Cycle (9-4)



(ก) ซีกบวก



(ข) ซีกลบ

ภาพที่ 2.34 แสดงความกว้างสัญญาณ PWM (Duty Cycle) ของซีกบวกและลบ

ที่มา (Peter F Brosch, 2008: p. 90-101)

ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปข้างหน้า (Forward) จะต้องปรับระดับของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้อยู่ทางด้านซีกบวกของสัญญาณสามเหลี่ยม ดังภาพที่ 2.34 (ก) และถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทาง (Reverse) จะต้องปรับให้ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้อยู่ในซีกลบของสัญญาณสามเหลี่ยม (Peter F Brosch, 2008: p. 90-101) ดังภาพที่ 2.34 (ข)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

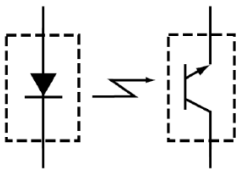
สวิตช์กำหนดระยะ

สวิตช์กำหนดระยะ ใช้ในการกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้เลือกใช้รีแฟลกทีฟเซนเซอร์ (Reflective Sensor) มาใช้เป็นสวิตช์กำหนดระยะ (Omron. Photoelectric Sensors, 2010) มีลักษณะดังภาพที่ 2.35

ภาพที่ 2.35 แสดงสวิตซ์กำหนดระยะ

ที่มา (Omron, 2010)

เซนเซอร์ประเภทนี้จะมีตัวส่งและตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน การทำงานของเซนเซอร์อาศัยหลักการสะท้อนของแสง โดยแสงจะส่องออกมาจากตัวหลอดอินฟราเรดแอลอีดี (Infared LED)ไปยังตัวรับแสงอินฟราเรดโฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector) โดยมีวงจรเทียบเคียงดังภาพที่ 2.36



ภาพที่ 2.36 แสดงวงจรเทียบเคียงของรีแฟลกทีฟเซนเซอร์ (Reflective Sensor)

ที่มา (Omron, 2010)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี