

극성변환이 가능한 하지의지 자석락 시스템 개발

홍범기¹, 김승기¹, 박세훈^{1*}

¹근로복지공단 재활공학연구소

Development of a Lower Limb Magnet System Capable of Polarity Conversion

Beom-ki¹ Hong, Seung-Gi Kim¹, Se-Hoon Park^{1*}

¹Korea Orthopedics and Rehabilitation Engineering Center

요약 의족과 절단단을 연결해주는 현가장치는 하지 절단 장애인이 의족착용을 가능하게 하며 보행뿐만 아니라 일상생활 중에서도 항상 절단단과 접촉되어 있어 의족 사용 중 가장 민감하게 느끼는 부분이다. 본 논문에서는 영구자석의 인력과 척력의 원리를 이용하여 자석의 극성변화로 하지 절단 장애인들의 절단단과 의족을 고정할 수 있는 자석락 현가장치를 개발하였다. 자석락의 작동 방식은 비자성체인 황동심을 기준으로 좌우에 네오디움 자석을 NNSS로 배치 시 자력은 흡착부재를 매개체로 하여 황동심을 넘어 외부로 흘러 결합력이 발생하며, 90도 회전 시 자석은 NSNS로 위치 이동하며 자력이 내부로 흘러 상쇄되는 원리이다. 이를 바탕으로 인장강도를 통한 결합력 시험 및 비교군인 셔틀락 현가장치와의 단기적인 의족 비교 평가를 수행하여 시제품에 대한 신뢰성 검증 및 만족도를 평가하였다. 그 결과 적정 결합력을 상회하는 인장강도를 확인하였으며 자석락이 셔틀락 대비 높은 만족도를 나타냈다. 추후 제품화를 위한 장기적인 ADL 임상시험을 수행해 실제 절단 장애인들에게 보급 가능한 제품으로 개발하고자 한다.

• 주제어 : 자력 변환, 소켓 라이너, 의족 현수장치, 하지 절단 장애인, 셔틀락

Abstract The suspension device that connects the prosthetic leg and the residual limb allows lower limb amputees to wear prosthetic limbs, and is the most sensitive part when using prosthetic limbs as it is always in contact with the residual limb not only while walking but also in everyday life. In this paper, using the principles of attraction and repulsion of permanent magnets, we developed a magnetic lock suspension device that can fix the amputees and prosthetic legs of lower limb amputees by changing the polarity of the magnet. The operation method of the magnetic lock is that when neodymium magnets are placed on the left and right as NNSS based on a non-magnetic brass core, the magnetic force flows outward beyond the brass core using the adsorption member as a medium to generate bonding force. When rotated 90 degrees, the magnet moves to NSNS. The principle is that as the position moves, the magnetic force flows inward and cancels out. Based on this, we conducted a bonding test using tensile strength and a short-term comparative evaluation of the prosthesis with the shuttle lock suspension system, which was a comparison group, to verify reliability and evaluate satisfaction with the prototype. As a result, the tensile strength exceeding the appropriate bonding strength was confirmed, and the magnetic lock showed higher satisfaction than the shuttle lock. In the future, we plan to conduct long-term ADL clinical trials for commercialization and develop a product that can be distributed to actual amputees.

• Key Words : Magnetic conversion, socket liner, prosthetic limb suspension device, lower extremity amputee, shuttle lock

Received 22 June 2024, Revised 27 June 2024, Accepted 29 June 2024

* Corresponding Author Se Hoon. Park, Advanced Prosthesis R&D, Korea Orthopedics and Rehabilitation Engineering Center, 26, Gyeongin-ro 10beon-gil, Bupyeong-gu, Incheon, Korea E-mail: mbb1020@comwel.or.kr

I. 서론

보건복지부의 2020년 장애인 실태조사에 따르면 국내 절단장애인은 약 17만명이며, 그중 엉덩이 미만 발목 이상의 하지 절단 장애인 수는 약 4만 3천명으로 보고되고 있다[1]. 하지 절단 장애인은 하지 신체 일부가 없어 보행이 어려워 보행을 하기 위해선 휠체어나 의족과 같은 보조기가 필요하다[2]. 휠체어는 평소 이동하는 데 어려움은 없지만, 팔목과 같이 좁은 곳과 사람이 많은 복잡한 곳은 어려움이 있어 공간 제약을 받는 곳에서는 의족을 착용하고 보행하는 것이 유리하다[3-4]. 의족(Prosthetic Leg)은 하지절단 장애인 신체의 일부로서 다리의 결손을 보완해주는 보조기로 절단 부위에 따라 발목형과 무릎형 의족으로 구분하여 착용하며, 목발과 같은 보조도구 없이 걸을 수 있어 많은 하지 절단 장애인에게 사용되고 있다[5]. 그림 1과 같이 의족과 절단단(절단 후 남아있는 사지부분)을 연결해 주는 연결장치 시스템(소켓(socket), 라이너(liner), 셔틀락(shuttle lock))은 하지절단 장애인이 의족 착용을 가능하게 하는 현가장치(suspension)이며, 보행뿐만 아니라 일상생활 중에서도 항상 절단단과 접촉되어 있어 의족 사용 중 가장 민감하게 느끼는 부분이다[6-7]. 이 중 셔틀락은 소켓의 말단부에 위치하며 실리콘 라이너(silicon liner)에 연결된 튜브형의 핀(pin)으로 절단단과 의족을 연결하는 장치 중 하나로써 착용상의 편리함과 유지보수 비용이 저렴하다는 장점이 있다[8]. 그러나 의족착용상태에서 절단단과 의족을 핀으로 고정하는 셔틀락은 하지 절단 장애인 중 절단단의 피부가 약하거나, 절단단 끝에 뼈가 돌출된 경우 장시간 보행 시 핀의 고정방식으로 인한 유격으로 소켓 내벽과 절단단 사이에 피스토팅(pistoning) 현상과 핀 단면적에 체중이 집중되어 통증과 피로감의 발생한다[9].

본 논문에서는 절단단과 의족의 연결을 기존의 셔틀락 현가장치와 달리 영구자석의 흡착력을 이용하여 연결하는 자석락(magnetic lock) 현가장치를 개발하였다. 개발 자석락 현가장치는 연결부위가 자력으로 고정되어 셔틀락 핀의 유격에 의한 피스토팅 현상과 그로 인한 소켓 내벽과 절단단 사이의 마찰통증이 발생하지 않는다. 또한 셔틀락의 좁은 핀 면적 대비 넓은 면 접촉으로 절단단 부위의 체중을 분산하여 통증과 피로감을 줄일 수 있으며 하지 절단 장애인이 편안한 보행을 할 수 있도록 하였다.



Fig. 1. Prosthetic limb suspension system

II. 연구내용

2.1 자석락 메커니즘

자석은 자기력을 가지는 물체로 다른 극성의 상태에서는 서로 당기는 인력이 같은 극성의 상태에서는 서로 밀어내는 척력이 발생한다. 자석락 현가장치(이하 자석락)는 이와 같은 자석의 특성을 이용한 메커니즘으로 4개의 네오디움 자석, 황동심이 포함된 스틸베이스, 흡착부재로 구성되어 있으며 자석의 극성을 배치하여 자력을 발생하고 배치 구성을 변경하여 자력을 제거하는 특징을 가지고 있다. 자석락 구성품 중 스틸베이스의 황동심은 자력이 통과하지 못하는 비자성체로 자석락에서 네오디움 자석의 위치변화에 따라 자력상쇄와 자력이 생성되는 주요한 역할을 한다. 그림2 (a)와 같이 황동심을 기준으로 스틸베이스 좌우에 네오디움 자석을 NNSS로 배치 시 자력은 흡착부재를 매개체로 하여 황동심을 넘어 외부로 흐르게 되고 결합력이 발생한다. 이는 다른 극성의 자석은 서로 당기는 인력이 발생하나 황동심이 자력이 통과하지 못하게 가운데서 막아주고 있고 황동심 위의 흡착부재는 자석의 서로 당기는 인력의 연결 역할을 하게 되어 자석락과 흡착부재가 자력으로 고정되게 된다. 그림2 (b)와 같이 황동심을 기준으로 스틸베이스 좌우에 네오디움 자석을 NSNS로 배치 시 자력은 내부에서 발생하여 흡착부재와의 결합력이 발생하지 않는다. 이는 황동심을 기

준으로 좌우에 NS로 배치된 자석은 내부에서 서로 당기는 인력이 발생하게 되고, 그로 인해 자력이 외부로 뺀어 나오지 못하게 되어 흡착부재와의 자력이 발생하지 않는다.

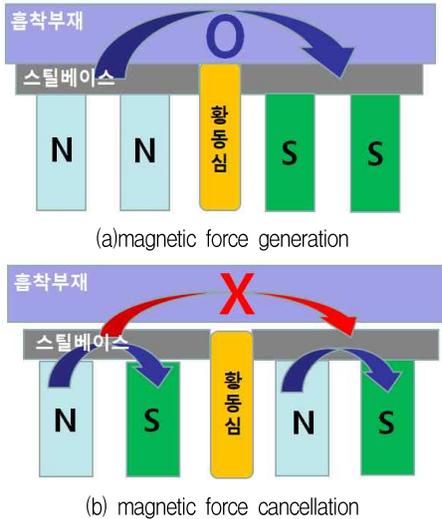


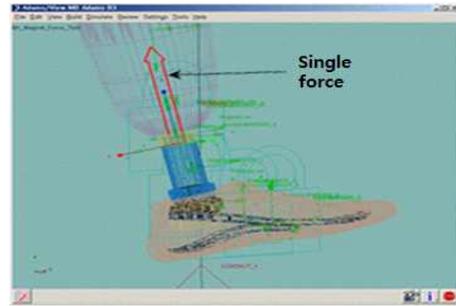
Fig. 2 Magnetic polarity conversion mechanism

2.2 자석락 결합력 해석

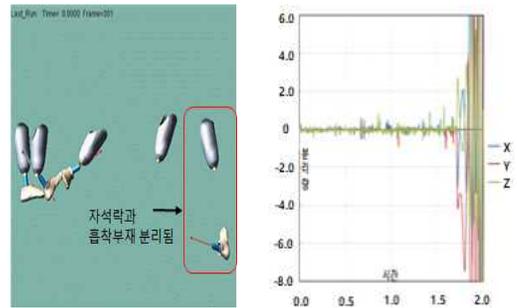
하지 절단 장애인이 자석락을 사용하여 보행 시 분리되지 않을 힘을 해석하였다. 해석프로그램은 Adams[10]를 사용하였으며 그림3 (a)와 같이 자석락과 흡착부재와의 결합력을 구하기 위해 흡착부재 축에 항상 수직으로 작용하는 single force를 가하였다. 환자의 보행 데이터는 하지 절단 장애인의 보행 데이터를 적용하였으며 보행 시 자석락과 흡착부재와의 분리되지 않을 최소한의 결합력을 구하였다. 본 해석에서는 의족과 지면과의 접촉력은 접촉조건에 따라 결괏값이 달라지므로 배제하였다. 인공발은 근로복지공단 재활공학연구소에서 개발한 인공발의 무게를 적용하였다[11].

자석락과의 결합을 위해서 흡착부재에 single force를 계속 증가해가면서 흡착부재가 분리되지 않을 결합력을 해석하였다. 2초 동안 시뮬레이션 해석결과 그림 3 (b)와 같이 100N의 힘을 가했을 때는 초기 시 자석락과 흡착부재가 서로 결합되어 있다가 오른발이 지면에 닿고 나아가려는 순간 가속도의 증가로 인하여 서로 분리되는 현상이 발생하였고 그림3 (c)와 같이 single force를 증가시킨 120N이 되면서부터 서로 분리되지 않고 안정적으로 결합되었다. 따라서 자석락과

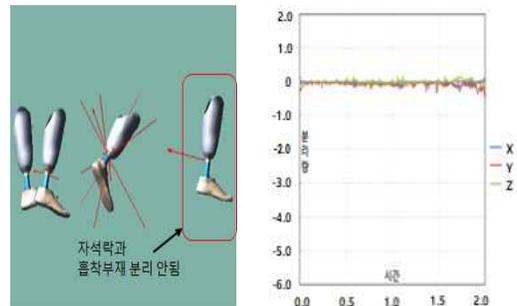
흡착부재의 최종적인 적정 결합력은 본 시뮬레이션의 결과인 최소 결합력 120N에 인공발이 지면과 접촉할 때의 미치는 마찰력과 설계변수 고려와 산업안전보건기준에 관한 규칙 제163조에서 규정하는 두 물체를 고정하는 클램프의 안전율을 참조하여 안전계수를 3으로 적용하여 적정결합력을 360N으로 설정하였다[12].



(a) vertical direction single force



(b)100N single force



(c) 120N single force

Fig. 3. Magnetic lock prosthetic bonding force analysis

2.3 8 자석락 외관 크기

자석락은 소켓 내부 하단에 삽입 장착되므로, 하지 절단 장애인의 절단단 최소 직경보다 작게 제작되어야

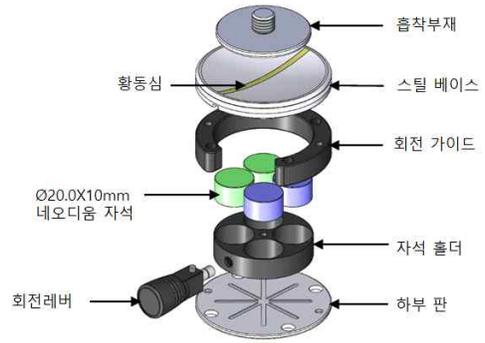
소켓 제작 후 역구배로 인한 제품 삽입 문제 발생을 방지할 수 있다. 표 1과 같이 사이즈 코리아에서 남녀 20세에서 70세 사이의 장만지 둘레는 평균 364.99mm이며, 최솟값이 255mm이었다[13]. 자석락은 장만지 둘레가 작은 사람도 사용이 가능하게 제작되어야 하므로 장만지 둘레 최솟값인 255mm를 기준으로 외관 사이즈를 설정하였으며, 이를 직경으로 환산하면 255mm/3.14=81.2mm가 나온다. 이에 자석락의 직경은 소켓의 편측 두께 약 5mm와 여유공간을 반영하여 60mm로 선정하였으며 이 때 자석락 내부에 삽입될 수 있는 네오디움 자석의 최대직경은 $\varnothing 20.0$ 이었다. 네오디움 자석의 크기가 $\varnothing 20.0$ 이고 높이가 10mm 일 때 흡착력은 98.06N[14]로 4개의 네오디움 자석의 합인 392.24N은 해석을 통한 적정결합력인 360N 이상으로 적용이 가능함을 알 수 있었다. 또한 네오디움 자석의 높이를 적용한 자석락의 높이는 25mm 미만으로 절단단이 긴 사용자도 사용이 가능하게 최소화하였다.

Table 1. Size Korea Calf Measurement

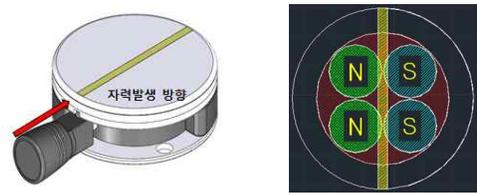
측정인원	평균	표준편차	최소값	최대값
9580	364.99	31.35	255	530

2.4 자석락 설계

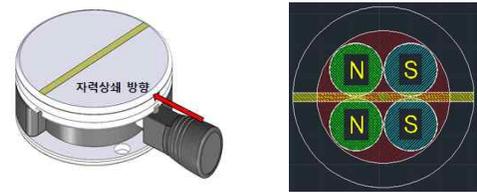
자석락의 구성도는 그림4 (a)와 같이 아래에서부터 자석락 하부판, 자석을 넣을 수 있는 자석홀더, 네오디움 자석 4개, 자석을 극성을 변환할 수 있는 회전레버, 자석홀더 이탈을 방지하는 회전 가이드, 황동심이 포함된 스틸베이스, 흡착부재로 구성된다. 이중 회전레버는 자석락 사용 중 외부 충격 등 의도치 않게 회전되어 흡착부재와 분리되어 발생할 수 있는 안전사고를 방지하기 위해 회전레버를 누른 후 회전이 되게 설계하였다. 자석락의 4개의 네오디움 자석은 그림4 (b)와 같이 황동심을 기준으로 자력이 발생하는 ON 상태에서는 NNS로 대칭 배치한다. 또한, 그림4 (c)와 같이 자력발생을 제거하는 OFF 상태는 그림과 같이 회전레버를 90도 회전시켜 삽입된 네오디움 자석은 위치가 이동되게 되는데 황동심을 기준으로 네오디움 자석은 NSNS 배치로 극성이 변경되게 되며 자력이 상쇄된다.



(a) Magnetic lock composition



(b) Lever movement generates magnetic force



(c) Lever movement magnetic force cancellation conversion

Fig. 4. Magnetic lock configuration and lever polarity

2.5 자석락 현가장치 시스템 의족

자석락이 적용된 전체적인 의족 구성도는 그림 5와 같다. 아래에서부터 기초적인 베이스가 되는 인공발, 절단단 잔여지와 키에 따른 길이를 보충하는 튜브어댑터 (Tube adapter), 환부와 의족을 연결하는 소켓, 소켓과 환부 사이의 인터페이스 역할을 하는 라이너, 라이너와 소켓을 연결하는 자석락 현가장치로 크게 분류할 수 있다. 자석락은 흡착과 탈착이 전력 없이 극성변환으로 자력전환이 가능하여 자석락의 사용 안전성과 신뢰성을 확보할 수 있는 방식으로, 자석락의 자력발생 과 자력제거 시 온도가 발생하지 않고 의족 착용 시 발열이 없어 절단부에 안전성과 편안함을 제공한다. 흡착부재는 기존 셔틀락 라이너와 호환되게 제작되었으며 셔틀락 핀을 제거하고 흡착부재를 장착할 수 있게 설계하였다.

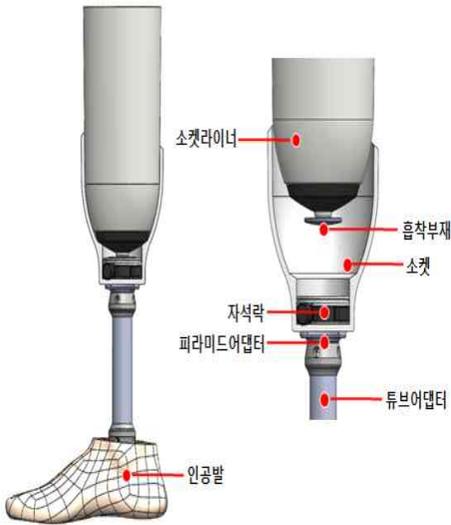


Fig. 5. Magnetic lock Prosthetic Leg Composition

2.6 결합력 평가

개발된 자석락과 흡착부재의 결합력 평가를 위해 그림 6과 같이 인장, 압축이 가능한 INSTRON 8511 실험기를 사용하여 성능평가 실험을 하였다. 시험방법은 인스트론 장비에 자석락과 흡착부재를 고정 후 자력이 발생하는 ON 상태와 자력이 상쇄되는 OFF 상태에서 자석락과 흡착부재가 분리될 때까지 인장강도의 힘을 작용시켜 분리될 때의 최대 인장강도 결과를 도출하였다 [15].



Fig. 6. INSTRON 8511 experimental device

2.7 자석락 의족 임상평가 피험자 선정

자석락 의족을 하지 절단 장애인이 직접 사용하여 착용성, 기능구현, 편리성, 만족도의 임상효과를 분석하고,

이에 따른 개선점을 파악하고자 한다. 평가에 참여한 피험자의 선정조건은 편측 또는 양측 하지 절단 장애인으로 실험내용 이해를 위한 인지기능에 문제가

없어야 하며, 무용성 근육위축, 화상, 피부 이식 등 잔존부위 손상이 심각한 대상자는 제외되었다. 표 2와 같이 피험자는 57~ 65세, 체중 69~85kg 남성 4명으로 절단위치는 양측 하퇴절단 1명, 우측 하퇴절단 2명, 좌측 하퇴절단 1명이며, 절단 후 16~20년이 경과되었다.

Table 2. 8 Clinical evaluation subjects with lower limb amputees

피험자	성별	나이	체중	장애 진단명	절단 경과기간
박*규	남	57세	81Kg	양측 하퇴절단	18년
이*근	남	61세	72Kg	우측 하퇴절단	18년
김*곤	남	60세	69Kg	우측 하퇴절단	20년
오*현	남	65세	85Kg	좌측 하퇴절단	16년

2.8 의족 평가 설문 조사

개발된 자석락 의족과 서틀락 의족에 대한 주관적 만족도를 알아보기로 표 3과 같이 신뢰성과 타당도가 검증된 의족 평가 설문(PEQ, Prosthesis Evaluation Questionnaire)를 이용하여 설문 조사를 실시하였다[16]. PEQ는 보통 입장에서 서로 다른 의족 부품 간의 기능(function), 수행력(performance), 만족도(satisfaction)를 평가하기 위해 사용하며, 평가 내용에는 인구통계적 데이터(성별, 나이, 신장, 체중, 절단 경과 기간), 만족도(적합성, 의족 착탈, 앉은 자세, 지면환경에 대한 보행 능력, 계단 승 하강, 외형, 전체적인 만족도), 문제(땀, 상처, 피부반흔, 피스트닝, 부종, 냄새, 원치않는 소음) 등을 포함한다. 문항은 17문항으로 만족도 점수는 불만족이나 과도한 문제가 있는 경우는 0점, 완전 만족 또는 전혀 문제가 없는 경우 100점을 부여하며, 0점에서 100점 사이의 점수로 계산하여 응답하는 형식으로 설문을 진행하였으며 피험자 만족도 점수의 총합에 평균을 내어 결과를 도출하였다.

Table 3. Prosthetic Leg Evaluation Questionnaire

의족 평가 설문지			
평가일:		평가자:	
성 명:	성별:	남 / 여	
연 령:	몸무게:	절단 경과 기간:	
진단명: Rt. Lt. AK BK			
항목	매우 불만족 0점 - 매우 만족 100점	점수	
		자석락	서틀락
1 의족 착용성	전체적인 의족의 핏팅은 마음에 드십니까?		
2 의족 착탈	쉽게 의족을 신고 벗을 수 있습니까?		
3 앉기,일어서기	앉고 일어날 때 편안하십니까?		
4 걸기	평지 보행 시 편안하게 걸어지십니까?		
5 경사로	경사면을 걸을 때 편안하게 걸어지십니까?		
6 계단보행	계단보행은 만족하십니까?		
7 외관	의족의 외관은 마음에 드십니까?		
8 땀	절단단에 땀이 많이 발생하니까?		
9 상처	절단단에 상처가 생겼습니까?		
10 통증	보행 시 절단단에 통증이 있습니까?		
11 자극	보행 시 의족이 절단단을 자극하니까?		
12 의족분리	보행 시 의족 빠짐 현상이 있습니까?		
13 부종	보행 후 절단단에 부종이 있습니까?		
14 냄새	라이너 내부에서 냄새가 많이 납니까?		
15 소음	의족에서 소음이 들립니까?		
16 내구성	의족이 튼튼하다고 생각하십니까?		
17 전체적인 만족도	전체적인 만족도를 평가해주세요		
	합계	점	점

III. 연구결과

3.1 자석락 시제품 제작

그림 7의 개발된 자석락 시제품의 사양은 표 4와 같이 직경 $\varnothing 60.0$ 높이 21.8mm이며 무게는 281g이다. S45C의 자성소재로 제작된 흡착부재와 결합되는 자석 락 스틸베이스의 소재는 S45C에 황동이 용접되어 있는 구조이며 나머지 프레임(frame)은 비자성을 가지고 있는 알루미늄으로 제작되었다. 자력전환 방식은 레버를 회전하여 네오디움 자석의 위치변화로 자력을 변환하며 제작방법은 자석락 더미를 사용하여 제작 후 소켓

에서 더미를 제거하며 자석락 장치를 삽입 후 볼트를 이용하여 소켓과 고정하는 방식이다.



Fig. 7. Magnetic lock prototype

Table 4. Magnet lock specifications

사양	
크기(직경X높이)	∅60.0 X 21.8mm
무게	281g
소재	알루미늄, S45C, 황동
소켓연결 방식	볼트고정
자력변환 방식	회전레버
시제품 구성	자석락, 자석락 더미, 볼트 4개, 흡착부재

3.2 결합력 평가

자석락과 흡착부재의 결합력 안정성 평가결과 실사용에 적합한 것으로 나타났다. INSTRON 8511 인스트론 장비에 자석락과 흡착부재를 고정 후 자력이 발생하는 ON 상태에서의 결합력을 측정된 결과 그림8 (a)와 같이 370N에서 자석락과 흡착부재가 분리됨을 확인하였다. 이는 자석락 결합력 해석을 통해 얻은 적정 결합력 360N의 결합력을 상회하는 결괏값으로 하지 절단 장애인 보행 시 의족의 분리 없이 사용이 가능함을 검증하였다. 또한, 자력이 상쇄되는 OFF 상태로 전환하여 결합력을 측정된 결과 그림8 (b)와 같이 3N에서 자석락과 흡착부재가 분리됨을 확인하였다. 이는 자력 변화 시 자력이 내부에서 발생하여 흡착부재와의 결합력이 발생하지 않음을 증명할 수 있었으며 하지 절단 장애인이 쉽게 의족을 신고 벗을 수 있음을 확인할 수 있었다.

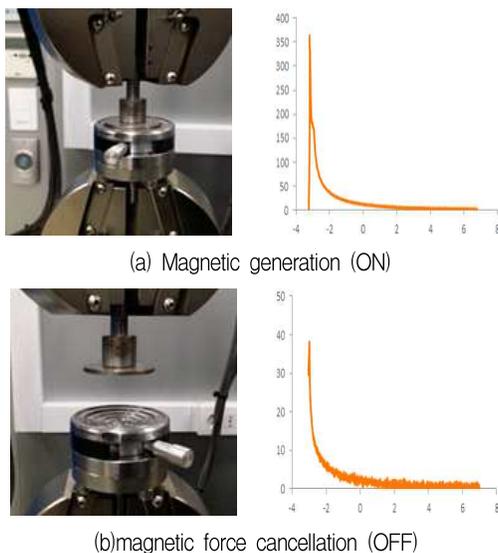


Fig. 8. Measuring bond strength through tensile strength

3.3 의족평가 설문 결과

그림 9와 같이 의족 임상평가 피험자 4명에 대한 의족평가 설문을 진행하였다. 평가방법은 자석락 의족과 셔틀락 의족을 번갈아 착용하여 착탈, 평지보행, 경사로 보행, 계단 보행을 평가하였으며 5분 보행, 5분 휴식의 순서로 진행 후 설문지를 작성하였다. 표 5의 평가 결과 전체적인 의족의 적합성은 자석락이 함께 1,558점으로 셔틀락 1,420.5보다 좋은 것으로 나타났으며, 특히 의족 착탈과 관련된 문항에서 자석락은 평균 100점, 셔틀락은 평균 79.75점으로 평가되어 자석락의 의족착탈 만족도가 매우 높음을 알 수 있었다. 평지, 경사로, 계단에 대한 전체적인 보행 형태나 앉고 일어서기 동작의 설문에서는 자석락 의족이 피스토닝이나 절단단 저림 현상이 없어 편안하다는 피드백이 있었다. 땀, 상처, 통증, 자극과 관련된 설문에서 셔틀락 의족보행 시 끈 유격의 피스토닝 현상으로 인한 절단단과 소켓 사이의 마찰로 땀 발생, 통증과 자극이 있는 것으로 보인다. 그러나 자석락 의족은 자력고정으로 피스토닝이 발생하지 않아 셔틀락에서 발생한 현상이 현저히 개선되었다. 또한, 자석락과 흡착부재 사이의 넓은 면 접촉은 체중 분산 효과로 절단단 부위의 통증과 상처 발생도가 셔틀락과 비교하여 개선됨을 확인하였다. 전체적인 만족도에서도 자석락이 평균 85.75점으로 셔틀락 73.5점보다 더 높은 만족도를 나타내었다. 임상평가 피험자의 공통적인 의견으로는 개발 자석락 의족이 개발된다면 셔틀락 의족을 대신해 사용하겠다는 의견이 지배적이었다.



Fig. 9. Putting on and taking off, Evaluation according to terrain

Table 5. Prosthetic limb evaluation results

	항목	자석락평균	셔틀락 평균
1	의족 착용성	89.75	76.5
2	의족 착탈	100	79.75
3	앉기 일어서기	90	65.75
4	걸기	100	87
5	경사로	100	84.25
6	계단보행	92	89.75
7	외관	83.5	80
8	땀	78.75	71.5
9	상처	100	88.25
10	통증	88.5	77.75
11	자극	82.25	73.5
12	의족분리	100	100
13	부종	82.25	82.5
14	냄새	100	100
15	소음	100	100
16	내구성	85.25	90.5
17	전체적인 만족도	85.75	73.5
	합계	1,558	1,420.5

IV. 결론

논문에서는 영구자석의 인력과 척력의 원리를 이용한 자석의 자력 극성변화로 하지 절단 장애인들의 절단단과 의족을 고정할 수 있는 현가장치를 개발하고자 하였다. 이를 위해 기존 현가장치에 대한 분석 및 문헌을 통하여 자석락 현가장치를 개발하였으며, 결합력 시험 및 단기적인 의족 비교 평가를 통하여 시제품에 대한 신뢰성 검증 및 만족도를 평가하였다.

본 연구를 통해 개발된 자석락은 사이즈코리아의 최소 장판지 둘레를 바탕으로 자석락의 최적의 자석 사이즈와 외관형상을 설계하였다. 해석프로그램인 Adams를 사용하여 절단단과 의족의 적정결합력을 유추하였으며, INSTRON 8511 실험기를 사용하여 자력이 발생하는 ON 상태와 자력이 상쇄되는 OFF 상태에서 자석락과 흡착부재가 분리될 때의 최대 인장강도를 측정하였다.

그 결과 해석프로그램을 통한 적정 결합력을 상회하는 인장강도로 자석락이 하지 절단 장애인에게 사용이 가능함을 검증하였다. 또한, 자석락의 주관적 만족도를 알아보고자 4명의 임상평가 피험자를 선정하고 기존 현가장치인 셔틀락과의 비교 평가 설문 조사를 실시하였으며, 평가 결과 전체적인 의족의 적합성은

셔틀락보다 자석락이 높은 만족도를 나타냈다. 본 연구는 4명의 하지 절단 장애인을 대상으로 한 단기적인 임상보행으로 진행되었기 때문에 만족도에 대한 결과를 일반화하기 어렵다는 한계점이 존재한다. 추후 다양한 환자군을 대상으로 의족 임상평가를 진행하여 셔틀락 대체 제품으로의 가능성을 확인하고, 제품화를 위하여 장기적인 ADL 임상시험을 통해 제품 내구성과 사용성을 검증할 예정이다. 또한 이를 바탕으로 실제 절단 장애인들에게 보급 가능한 상용 제품으로 개발할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원을 받아 수행된 연구임(과제고유번호: HJ22C0003).

REFERENCES

- [1] Ministry of Health and Welfare. 2020. Registration status of persons with disabilities, <http://www.mohw.go.kr/>. [accessed: 17-6-2024]
- [2] B. E. Lawson, H. A. Varol, A. Huff, E. Erdemir, and M. Goldfarb, "Control of stair ascent and descent with a powered transfemoral prosthesis," *IEEE Trans. of Rehabilitation Engineering*, vol. 21, no. 3, pp. 446-473, 2013, doi: 10.1109/TNSRE.2012.2225640.
- [3] G. Y. Gyeong, J. G. Kim, and Y. S. Lee, "The Structure of a Powered Knee Prosthesis based on a BLDC Motor and Impedance Control using Torque Estimation on Free Swing," *Journal of Institute of Control Robotics and Systems*, vol. 21, no. 5. pp. 407-412, 2015, doi: 10.5302/j.icros.2015.15.9018.
- [4] J. W. Lee, H. S. Woo, D. Y. Ahn, M. Jo, H. Yi, and K. Y. Kim, "Development of an Electronically Controlled Knee-Type Prosthetic Leg with a 4-Bar Linkage Structure for Lower Limb Amputee," *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 19, no. 2, pp. 159-168, doi: 10.9728/dcs.2018.19.7.1405.
- [5] W. Alcocer, L. Vela, A. Blanco, J. Gonzalez, and M. Oliver, "Major Trends in the Development of Ankle Rehabilitation Devices," *Int. J. DYNA*, vol. 79, no. 176, pp. 45-55, 2012.

- [6] Ottobock shuttle lock device, Model: 6A20=10
<https://www.ottobock.com/> [accessed:29-May-2024].
- [7] J. S. Song, S. M. Lee, and G. C. Cha, "Study on Developments of Prosthetic Socket and Locking Device of New Material," Journal of Korean Society for Prosthetics and Orthotics, vol. 9, no. 1, pp. 36-43, 2015.
- [8] M. S. Son, "Manufacturing a Trans-tibial Prosthesis with Silicone Liner and Shuttle Lock," Journal of Korean Society for Prosthetics and Orthotics, vol. 6, no. 1, pp. 36-43, 2012.
- [9] C. H. Song, "Fabricating Method Using Custom Liner and Correct Application," Journal of Korean Society for Prosthetics and Orthotics, vol. 6, no. 1, pp. 44-52, 2012.
- [10] Dynamics simulation program,
<https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/adams>
 [accessed: 17-6-2024].
- [11] H. C. Kim, H. S. Cho, Y. H. Jang, H. J. Shin, H. S. Park, and Y. J. Cho. "Development of bio-mimetic prosthetic foot for transfemoral amputee," Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, vol. 17. no. 4, pp. 281-288, 2023, doi:10.21288/resko.2023.17.4.281.
- [12] Article 163 of the Rules on Occupational Safety and Health Standards, <https://www.law.go.kr>, [accessed: 10-6-2024].
- [13] Korean standard body type, <https://sizekorea.kr/>
 [accessed: 7-6-2024].
- [14] Neodym standard table, <https://kr.misumi-ec.com/>
 [accessed: 17-6-2024].
- [15] INSTRON 8511 tester,
<https://www.instron.com/en/products/testing-systems/out-of-production-systems/dynamic> [accessed:15-6-2024].
- [16] W. S. Seong, J. H. Kim, and D. H. Jeong, "The Reliability of the K-PEQ(Korean Prosthesis Evaluation Questionnaire) in Lower Extremity Amputees." Journal of Digital Contents Society, vol. 19 no. 7, pp. 1405-1412, 2018, doi: 10.9728/dcs.2018.19.7.1405.

저자소개

홍 범 기 (BEOM-KI HONG)



2017년 2월 : 인천대학교
 기계공학(공학석사)
 2018년 3월~현재 : 근로복지공단
 재활공학연구소 연구원
 관심분야 : 의수/대퇴의지 기구부
 개발

김 승 기 (SEUNG-GI KIM)



2018년 2월 : 경북대학교
 전자공학부(공학석사)
 2020년 3월 : 한국기술교육대
 전자공학부 박사 수료
 2018년 3월~현재 : 근로복지공단
 재활공학연구소 연구원
 관심분야 : 임베디드 시스템,
 의수/대퇴의지 제어 시스템 개발

박 세 훈 (SE-HOON PARK)



2006년 2월 : 경북대학교
 전자공학부(공학박사)
 2006년 8월~2024년 5월 :
 근로복지공단 재활공학연구소
 연구위원
 2024년 5월~현재 : 근로복지공단
 재활공학연구소 소장
 관심분야 : 상하지 의지 제어
 시스템, 생체 신호 제어