

편마비 환자용 플라스틱 단하지 보조기의 구조적 특성에 관한 연구

최경주*·이영신*·조강희**·임현균*

A Study on Structural Characteristic of Plastic Ankle Foot Orthosis for Hemiplegics

Kyong Joo Choi*, Young - Shin Lee*, Kang Hee Cho**, Hyun Kyoon Lim*

Key Words: Plastic Ankle Foot Orthosis(AFO) (플라스틱 단하지 보조기), Structural Characteristic (구조적 특성), Stiffness Characteristic (강성특성), Ankle Widths (발목너비), Thicknesses effect (두께의 영향)

Abstract

The subject of this paper is to perform the basic research to make design guide as finding out the structural characteristics of polypropylene Ankle Foot Orthosis(AFO) for hemiplegics. Target shape of AFO is a solid standard type. In this study we measure ridity as dorsiflexion and thicknesses of AFO with three types of ankle widths and analyze correlation between rigidity and ankle widths, thicknesses. As a result, the rigidity characteristic is specified complex effect of ankle widths and thicknesses.

1. 서 론

플라스틱 단하지 보조기(Ankle Foot Orthosis : AFO, Fig. 1)는 일반적으로 편마비 증상이 있는 뇌졸중 환자의 보행을 보조하기 위해 임상적으로 처방되는 보행 보조기 중의 하나이다⁽¹⁾. 보통 뇌졸중 환자에게서 나타나는 비정상적인 보행 패턴으로는 보행 시작 시점에서 발뒤축이 접지하지 않고 발바닥이나 발끝을 먼저 지면에 던겨져 불안정한 접지가 이루어지고 진출기 말에 발가락을 지면에서 떼기가 어려워진다. 이러한 보행조차도 원활하게 이루어지지 않을 때는 발끝을 지

면에 끌면서 보행하게 된다⁽²⁾. 이런 경우 AFO를 착용함으로써 족관절이 고정되어 정확한 발뒤축 접지(heel strike)가 가능해지고 유각기(swing phase)에 족하수(foot drop)를 방지하며 발가락들림기(toe-off)에 AFO 자체의 탄성으로 하지의 전진이 용이해진다⁽¹⁾. 따라서 보행이 비정상적인 뇌졸중 환자에게 보편적으로 AFO가 처방되고 있다.

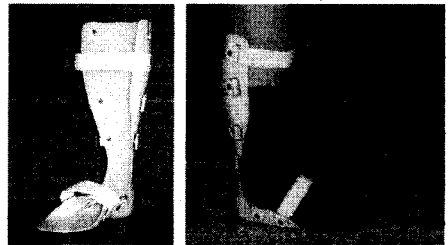


Fig. 1 Typical feature of AFO and wearing

* 충남대학교 기계설계공학과, 정희원

** 충남대학병원 재활의학과, 비희원

현재 우리나라 60세 이상 노령 인구는 전 인구의 약 9.3%(1995년도 통계)를 차지하고 있고 2030년에 이르면 약 26% 가량이 될 것으로 추정된다³⁾. 노령 인구가 증가함에 따라 성인병의 발병 비율의 증가는 충분히 예상할 수 있는 사실이다. 이런 여러 가지 성인병 중에서 가장 심각하게 대두되고 있는 뇌졸중은 그 증상이 언어장애와 운동장애로 나타나는데 이런 증상은 현대 사회인들에게 가장 큰 고통을 줄 수 있는 질환이다. 그 중 운동장애에 의해서 비정상적인 보행 패턴이 나타나게 되는데 이는 재활의학적인 관점에서 제시되는 AFO를 착용하고 보행 훈련을 함으로써 어느 정도의 정상 보행으로의 호전을 기대할 수 있다. 이 AFO는 가볍고 착탈이 간편하며 보행 보조효과가 뛰어나고 제작 과정이 비교적 간단하므로 임상에서는 AFO라는 보조기구가 가장 흔하게 처방되고 있다. 따라서 그 활용과 기능적인 측면에서 AFO에 대한 수요와 필요성이 강조되고 있다.

그러나 AFO의 기능과 활용 범위에 비해 제작 기준이나 작업 공정에 대한 규제 여건은 상대적으로 열악한 편이다. 현재까지의 AFO 제작은 제작자의 노하우와 시행 착오법에 의한 직감적인 방법에 의한 수작업으로 이루어지고 있고 환자에게 처방되는 AFO의 형태는 의사의 경험과 취향에 따라 좌우되고 있다. 이는 AFO에 처방과 제작에 대한 가이드가 제시된 바 없고 몇 년 전부터 본 연구진에 의해 기본적인 연구가 진행된 것을 제외하면 우리나라에서 수행된 AFO에 대한 연구가 전무하기 때문이다. 특히 AFO 재질과 구조 특성 또는 보행 상태에 따른 AFO의 거동에 대한 이해가 부족한 것이 현실이다. 더욱이 AFO라는 제품이 특정 개인에게만 맞도록 제작되기 때문에 설계/제작 가이드나 기준에 의한 제작이 더욱 어려운 실정이다.

이와 같은 동기로 본 연구에서는 편마비 환자용 플라스틱 AFO 설계 가이드를 제안하기 위한 기본 자료로 AFO의 구조적인 특성을 분석하는 것을 목적으로 한다. 물론 AFO와 같이 사용자와 제품이 결합하여 성능을 나타내는 경우 설계 변수는 구조적인 측면뿐 만 아니라 인간공학적 측면까지도 고려되어야 한다. 그러나 이런 두 가지 관점에서의 연구를 동시에 진행하는 것은 대

단히 방대하고 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 먼저 AFO의 형상 변화에 따른 기계적인 구조 특성을 알아봄으로써 이후 AFO 설계에 적용 가능한 구조적 측면에서의 기준을 마련할 수 있는 기초연구를 수행할 것이다.

AFO에 대한 연구는 외국에서는 일찍부터 수행되어왔다. AFO에 대한 역학적인 해석을 보고한 연구로는 Leone⁴⁾이 PLS(Posterior Leaf Spring)형 AFO의 구조적 거동에 대한 실험과 간단한 이론적 모델을 연구하였다. 이론적 모델은 해석해와 실험 결과가 비교되었는데 단위 하중을 적용하였을 때의 AFO에서 발생하는 굽힘과 비틀림을 예측하였다. 또한 Golay⁵⁾에 의한 폴리프로필렌 AFO의 강도와 좌굴에 대한 복사뼈 돌기의 영향에 대한 연구가 있다. 복사뼈에 돌기가 있는 AFO는 일반적으로 입각기 동안에 발생하는 과도한 배굴을 구속하기 위해 이용되는데 복사뼈에 과도한 압력이 걸리지 않게 하기 위한 돌출부가 AFO의 강성에 부정적인 영향을 끼치게 된다. 이 영향을 강성 측정 실험을 통해 정량적으로 측정하였고 또 AFO가 굽힘을 받을 때의 좌굴 특성에 대해 연구하였다. 그리고 AFO의 역학적 특성과 보행 시 AFO가 발목의 운동을 구속하는 기능에 대한 田中正夫⁶⁾등의 연구가 있다. 田中正夫⁶⁾등의 연구에서는 보행 분석 장치를 이용하여 AFO를 착용하고 정상 속도로 보행했을 때 AFO의 저굴·배굴각도, 내반(varus)·외반(valgus)각도, 내선(pronation)·외선(supination)각도를 측정하여 족관절의 운동이 AFO에 의해 제한된다는 사실을 밝혔고 AFO의 강성과 저항 모멘트가 변형 방향에 의해 변한다는 결과를 실험을 통해 알아내었으며 결과적으로 슬관절에 굴곡하고 있는 동안 AFO의 존재가 걸음걸이에 영향을 줄 수 있다는 가능성을 제시하였다.

본 연구에서는 세 가지 형상의 AFO가 배굴할 때의 강성(rigidity)을 측정하여 형상 변화에 의한 강성 특성을 알아보았다. 본 연구에서 고려되는 변수는 AFO의 형상을 특징짓는 발목너비이며 부가적으로 제작 시 발생하는 두께의 불균일에 의한 영향도 알아보았다.

2. 연구 방법

2.1 AFO 형상 및 치수

본 연구의 대상인 세 가지 타입의 AFO 형상을 Fig. 2에 제시하였다. 제시된 AFO는 크게 종아리의 후방에서 신체와 AFO를 고정시키는 후면지주, 아킬레스건 후방에서 발목을 지지하며 배굴 및 저굴에 의한 하중을 받는 발목부분, 발을 감싸면서 고정시키는 발부분으로 구분하였다. 이 중 본 연구에서의 관심영역은 보행에 의한 하중을 지지하는 발목부분이며 이 부분의 발목너비만 일정한 비율로 변하고 나머지 부분은 동일하다. 발목너비는 기본형(case1)을 발목부분의 재단선 이내, 외측 복사뼈에 닿지 않으면서 아킬레스건 후방을 최대한 감싸는 너비로 정하였고 다른 두 모델, 즉 case2는 기본형 발목너비의 85%, case3은 60%로 감소시켜 발목부분을 구성하였다.

여기서 발목너비의 영향을 고려하는 것은 환자의 보행 능력 정도에 따라 AFO의 발목너비를 조정하여 처방하기 때문에 발목너비에 따른 AFO의 구조적인 성능을 이해하여야만 적절한 치수의 AFO를 제시할 수 있을 것이다.

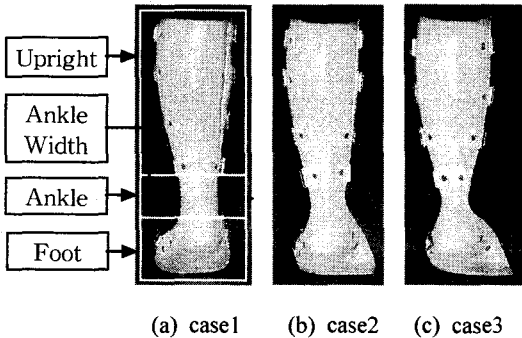


Fig. 2 Shape of AFO for three type

2.2 AFO의 배굴에 의한 강성 측정

2.2.1 강성 측정 목적 및 개요

AFO의 배굴에 의한 강성 특성은 구조적 안정성을 특징짓는데 결정적인 영향을 미친다. 다시

말해 편마비 환자의 족관절의 기능이 정상인에 비해 현저히 저하되므로 AFO의 족관절 구속에 의해 안정성을 확보하는 것이다. 또한 AFO의 발목 너비가 일반형에 비해 좁아진다면 약간의 탄성력을 기대할 수도 있으므로 전진력을 얻을수도 있다. 이와 같이 발목너비에 따라 안정성과 탄성력이 복합적으로 나타나게 된다. 따라서 발목너비에 따른 강성 특성을 이해하는 것이 AFO의 처방에 정량적인 기준을 제시할 수 방안으로 생각된다.

2.2.2 강성 측정 장치 및 방법

Fig. 3과 같이 AFO의 족저면을 고정시키고 환자가 AFO를 착용할 때 보조기가 종아리에 고정되는 부분인 후면 지주 상단의 스트랩 고정부에 하중을 가하도록 하여 중간 입각기 상태를 적용하였다⁽⁷⁾. 강성 측정 장치는 Fig. 3에서 보이는 것처럼 왼쪽의 나사를 돌려서 이송 장치를 밀면 가이드를 따라 이송 장치에 고정되어 있는 장력계가 이동하게 된다. 이송 장치가 이동하면 장력계에 연결되어 있는 줄이 두 개의 도르래를 통해 방향이 바뀌어 AFO의 후면 지주 상단의 스트랩 고정부에 연결되어 끌어당김으로써 족저면을 바닥에 고정한 AFO에 배굴을 발생시킨다. AFO의 배굴 방향과 하중의 작용 방향이 동일하게 하여 시상면 상에서의 보행을 상사하였다. 세 형태의 AFO에 대해서 0° 부터 16° 까지 2° 씩 배굴각을 증가시키면서 각 배굴각이 될 때의 작용하중을 측정하였고⁽⁵⁾ 각 AFO에 대해서 10회의 측정을 실시하였다. Fig. 4는 강성 측정 장치와 AFO가 장착되어 있는 사진이다.

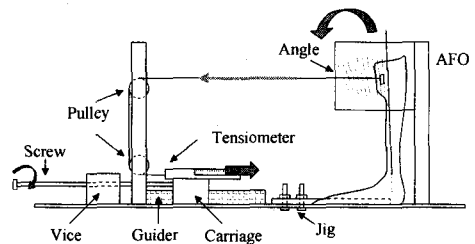


Fig. 3 Schematic description of rigidity test

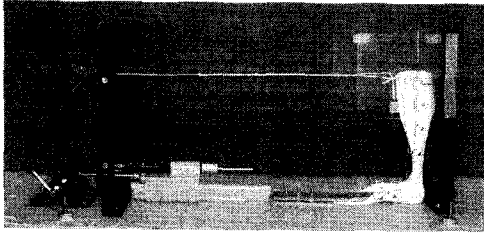


Fig. 4 Experimental setup of rigidity test

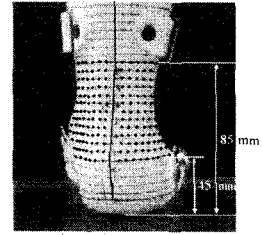


Fig. 5 Positions of measuring thicknesses

2.3 AFO 발목부분의 두께 측정

2.3.1 두께 측정 목적 및 개요

AFO의 두께는 강성에 큰 영향을 끼치기 때문에 AFO의 구조적 안정성 문제에서 중요한 변수로 작용하게 된다. 특히 높은 레벨의 응력이 발생하는 발목부분의 두께는 발 안으로 들어가는 발부분이나 후면지주 상단에 비해서 AFO의 강성에 더 중요한 인자로 작용한다. 그러나 AFO 제작 시 판 형태의 열가소성 폴리프로필렌을 발과 종아리 모양의 석고 몰드에 씌워 AFO를 만드는 현재의 제작 공정 상 폴리프로필렌을 연화시키기 위해 가해진 열과 발뒤꿈치의 곡률을 만들어 내기 위해 제작자가 가하는 압력에 의해서 발목부분의 두께는 더욱 불균일해진다. 이것이 강성에 대한 신뢰성을 떨어지게 하는 요인이 될 것으로 생각한다. 따라서 두께의 불균일성이 어느 정도인지 파악하는 것이 중요하고 또한 강성에 미치는 영향을 파악하기 위해 AFO의 발목부분에서의 두께에 대해서만 실시하였다.

2.3.2 두께 측정 방법

두께 측정은 Fig. 5와 같이 발목부분(바닥에서 45mm 되는 지점부터 85mm 되는 지점까지)에서 5mm 간격으로 가로선을 긋고 각 선을 따라서 후면지주 중심선을 기준으로 내측 방향(medial direction)과 외측 방향(lateral direction)으로 각각 5mm 간격으로 표시한 점에 대해서 이루어졌다. 두께 측정은 MITUTOYO사의 마이크로미터를 사용하였는데 이 측정 용구는 1/100mm 까지 측정 가능하고 최대 오차는 8 μ m 이다. AFO 치수는 각 타입마다 3회씩 측정하였고 결과는 평균값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강성 측정 결과

Fig. 6에 발목너비에 따른 세가지 타입의 AFO에 대한 배굴굽곡시 강성 측정 결과를 제시하였다. 이 결과는 변동량(coefficient of variation, C.V.)을 분석한 결과 C.V.<0.05임을 확인함으로써 재현성을 검증하였다. 여기서 발목너비가 가장 넓은 case1은 배굴 굽곡각 5° 이후에서부터 case2의 강성보다 작은 것을 관찰할 수 있고 case3은 다른 두 형태에 비해 전체적으로 강성이 작다는 것을 알 수 있었다. 또한 발목너비가 가장 좁은 case3은 배굴각에 비례하여 작용하중이 증가하고 있으나 case1과 case2의 경우 배굴각이 8° 일 때 작용하중의 증가 추세가 변하고 있었다. 여기서의 배굴각 8°는 보행시 중간입각기에서 나타나는 최대 배굴각^{(6),(7)}과 일치하는 것으로 실제 AFO의 성능에 영향을 끼칠 것으로 예상할 수 있다. 이상의 결과는 AFO의 강성이 단지 발목너비에만 영향을 받는 것이 아니고 그 이외의 다른 변수(두께 등)의 영향을 받기 때문으로 생각된다.

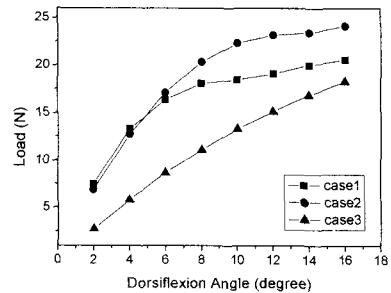


Fig. 6 Stiffness characteristics of AFO with various ankle widths

3.2 발목부분 두께측정 결과

Fig. 7, Fig. 8에 세가지 타입에 대한 AFO의 발목부분 두께를 측정된 결과를 제시하였다. 이 결과는 변동량(coefficient of variation, C.V.)을 분석한 결과 C.V.<0.1임을 확인함으로써 재현성을 검증하였다. Fig. 7은 높이에 따른 두께 분포를 나타내고 있는데 각 AFO에서 발목부분의 위쪽(85mm 높이)이 아래쪽(45mm 높이) 보다 더 두꺼운 경향을 보이고 있었다. Fig. 8은 내측과 외측 위치에 따른 두께 분포를 나타내고 있는데 각 AFO에서 발목의 중심부가 내, 외측 끝단에 비해 두꺼운 경향을 볼 수 있었다. 이는 보행에 의해 AFO가 반복적인 하중을 받을 때 상대적으로 취약한 부분이 될 것으로 예상된다. 세 타입의 AFO를 비교했을 때 case3의 두께가 가장 두껍고 case1의 두께가 가장 얇은 것으로 관찰되었다.

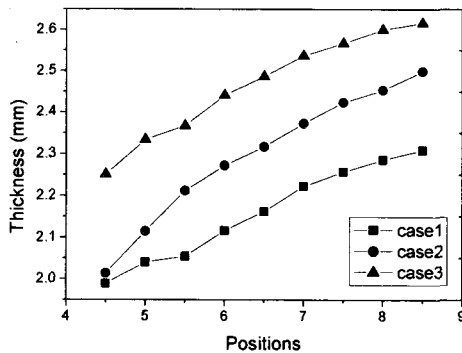


Fig. 7 Thicknesses of AFO as height in ankle area

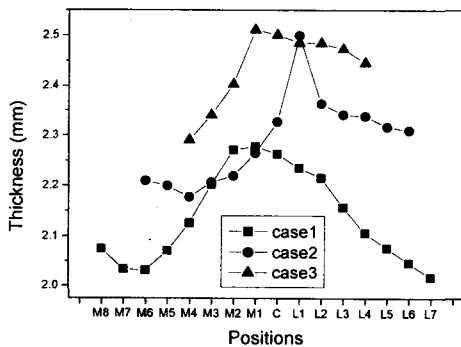


Fig. 8 Thicknesses of AFO as medial and lateral position in ankle area

3.3 강성과 발목너비, 발목부분 두께의 관계

3.1절과 3.2절의 결과에 의해 배굴에 의한 AFO의 강성 특성에 발목너비와 두께가 복합적으로 영향을 끼친다는 것을 알았다. 여기서 발목너비 또는 두께와 강성의 상관관계를 논의함으로써 AFO의 구조 특성을 분석해보도록 하겠다. Table 1은 2° ~16°의 배굴각에 따른 강성과 두 변수와의 상관관계를 제시한 표이고 Table 2는 상관성 분석에 사용된 발목너비와 발목부분 두께의 평균값이다.

Table 1에서 배굴각이 증가할수록 발목너비와 두께의 영향이 점차로 작아지는 경향을 볼 수 있었다. 특히 배굴각이 10°가 될 때 발목너비 또는 두께만의 영향이 현저하게 작아지는 것을 알 수 있었다. 또한 전체적으로 발목너비가 두께보다 약간 더 높은 상관관계가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1 Correlation of widths and thicknesses VS. applied load at each dorsiflexion angle

Dorsiflexion angle	Coefficient of correlation for widths	Coefficient of correlation for thicknesses
2°	0.97	0.93
4°	0.95	0.91
6°	0.90	0.84
8°	0.81	0.75
10°	0.68	0.60
12°	0.61	0.52
14°	0.60	0.51
16°	0.52	0.42

Table 2 Ankle widths and average of thicknesses for correlation analysis

	Case1	Case2	Case3
Ankle widths(%)	100	85	60
Ankle thicknesses(mm)	2.17	2.32	2.49

4. 결론

본 연구에서는 편마비 환자의 보행 보조 기구인 AFO의 구조적인 특성을 살펴보았다. 연구 대상인 AFO는 일반형, 일체형의 플라스틱 구조물이다. 본 연구는 세가지 발목너비에 따른 AFO의 배굴시의 강성과 발목부분의 두께를 측정하여 그 상관성을 고찰하였다. 결과로 AFO의 강성 특성은 발목너비와 두께의 복합적인 원인으로 특징지어지는 것으로 관찰되었다. 이는 두께의 불균일성에 의해 나타나는 현상으로 판단되며 현재 AFO 제작상의 단점을 극복할 수 있다면 해결될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 보건복지부 보건의료 연구개발사업(관리번호 HMP-00-B-31400-0166)으로 수행되었으며 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 권혜정, 김명훈, 김영희, 박윤기, 박종철, 박지환, 박흥기, 신홍철, 이재학, 최병욱, 함용운, 황현교, 1997, "보장구의지학," 고문사.
- (2) 윤승호, 김봉옥 공역, 1994, "임상보행분석," 도서출판 세진기획.
- (3) 통계청, <http://www.nso.go.kr/kosisdb/>
- (4) Leone, D.J., 1987, "A Structure Model for Thermoplastic Ankle-Foot Orthoses," Transactions of the ASME-Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 109, pp. 305 ~310.
- (5) Golay, W., Lunsford, T., Lunsford, B. R. and Greenfield, J., 1989, "The Effect of Malleolar Prominence on Polypropylene AFO Rigidity and Buckling," Journal of Prosthetics and Orthotics, Vol. 1, No. 4, pp. 231~241.
- (6) 田中正夫, 赤澤康史, 中川昭夫, 劉本武, 1997, "短下肢裝具の力學的特性と歩行における運動拘束機能," 日本機械學會論文集(C編), 63卷, 607号, pp. 816~822.
- (7) 최경주, 2001, "편마비 환자용 플라스틱 단하