



한국운동역학회지, 2004, 제14권 2호, pp. 121-138  
Korean Journal of Sport Biomechanics  
2004, Vol. 14, No. 2, pp. 121-138

## 축구화 스테드의 형태변화에 따른 회전마찰력

이중숙\*(신라대학교) · 박상균\*\*(University of Calgary)

### ABSTRACT

#### Rotational Friction of Different Soccer Stud

Lee, Joong-Sook\*(Silla University) · Park, Sang-Kyun\*\*(University of Calgary)

J. S. LEE, S. K. Park. Rotational Friction of Different Soccer Stud. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 14, No. 2, pp. 121-138, 2004. The design of soccer studs is important for providing friction on a variety of surfaces. We hypothesized that a certain type of soccer studs could improve performance due to high rotational friction. Thus, this study was conducted to determine the relationship between the frictional characteristics and different soccer stud design. Twelve recreational soccer players were recruited.

Rotational friction data from the force plate was collected for all subjects during normal walking with 180 degree rotation. Walking speed was controlled at 1.2 m/s ( $\pm$  0.1 m/s) with timing lights on infilled artificial turf. Three different types of soccer studs and one running shoe were tested. Repeated measures ANOVA was used to determine significance.

Significant differences were found in rotational friction with four different shoes. Trx and

---

투 고 일 : 2004년 6월 26일 접수

심 사 일 : 2004년 7월 6일

심사완료일 : 2004년 8월 5일

\* Corresponding author, 교수, 617-736 부산시 사상구 폐법동 신라대학교 자연과학대학 체육학부  
연락처: jslee@silla.ac.kr, Tel: 011-9554-5064

\*\* 대학원생, University of Calgary

World studs tended to have greater maximum rotational friction than the running shoe (Nova) and traditional soccer shoe(Copa Mondial). The results were as follow : world(25.95Nm) > trx(25.74Nm) > copa(22.50Nm) > nova(16.36Nm). The difference may be due to the number, location, size, and shape of studs.

We concluded that stud design influences rotational friction between the shoe and surface during movement. Based on studs design and contact area, Trx with blade type studs are recommended since it showed high rotational friction for performance as well as enough contact area for stability. However, differences due to the mechanical properties of soccer studs are still being investigated.

KEY WORDS : SOCCER, STUD, ROTATIONAL FRICTION, FORCE PLATE.

## I. 서 론

### 1. 연구의 의의 및 필요성

축구는 전세계적으로 가장 인기있는 스포츠이며 2억 5천만 명이나 되는 가장 많은 동호인들이 즐기는 스포츠 종목이다(FIFA, 2004). 또한 축구경기는 상해의 위험성이 가장 높은 경기종목 중의 하나이며 특히 어떤 형태의 축구화를 선택하느냐에 따라 상해의 위험성이 증감되어 질 수 있다.

이와 같이 축구는 스포츠 종목 중 가장 동호인들이 많고 또한 잘못된 축구화의 선택으로 인하여 발목이나 무릎에서의 상해 위험성이 높은 종목임에도 불구하고 축구화에 관한 운동역학적인 측면에서 연구된 문헌은 거의 없는 실정이다. 이러한 원인들을 분석해보면 스포츠 용품의 상업화에 따라 각 스포츠 용품 생산회사들마다 축구화를 만드는 노하우(know-how)들을 공개하지 않기 때문이라고 할 수 있다.

축구화의 밑창과 스테드는 <그림 1>과 같이 약 100여년 전에 수제화로 만들어진 이후 많은 발전을 거듭해 왔으나 아직도 기본적인 형태는 그대로 유지하고 있다.



그림 1. football boots 1910~1925 (FIFA, 2004)

1910년 이전의 축구화는 오늘날의 보통 운동화처럼 평평한 바닥의 신발이었다. 1910년 <그림 1>과 같은 축구화가 최초로 만들어졌고 축구화가 상품화되기 시작한 것은 1927년 독일의 아디다슬라(Adi Dassler)가 축구선수들의 빠른 방향전환과 순간 스피드 향상을 위해 필요하다는 점에 착안하여 대장장이 친구인 크리스토퍼 제홀레인(Christoph Zehlein)에게 부탁하여 신발 밑창에 스타드를 박았다. 그 후 이 축구화는 1928년 암스테르담 올림픽에서 첫 선을 보였고, 완전히 새로운 개념의 이 축구화는 이 때부터 선풍적인 인기를 끌었으며, 스타드는 축구화의 필수품이자 상징이 되었다(Adidas, 2004).

초기에 스타드는 앞축에 4개 뒤축에 2개로 모두 6개로 제작되었으나, 많은 축구선수들에 대한 동작분석과 연구를 토대로 스타드의 위치와 개수 그리고 모양 등이 개선되어져 왔다. 특히 선수들은 수제화의 경우 자신들의 경험과 특성에 따라 스타드의 위치나 크기를 조정하기도 한다.

일반적으로 스타드에 관한 많은 이론들이 있지만 검증되어 문헌에 정립된 이론들은 없다. 그러나 공격수들의 경우 자신의 의지대로 능동적인 동작을 수행하기 때문에 부드럽고 정교한 동작을 필요로 하므로 섬세한 움직임에 적당하도록 스타드의 개수(12~16개)가 많고 접지 면적이 다소 넓은 축구화를 선호하지만, 수비수들의 경우 자신의 의지와는 상관없이 공격수의 움직임에 따라 수동적인 동작을 수행하기 때문에 순간적인 파워를 필요로 하므로 지면을 박차고 순간적인 파워를 낼 수 있도록 하기 위하여 스타드의 수(6~10개)가 적은 축구화를 선호하는 것이 일반적인 경향이다.

또한 운동장의 상태 즉, 딱딱한 운동장(HG : hard ground)이나 부드러운 운동장(SG : soft ground)나에 따라 축구화 스타드의 개수나 크기를 조정하여 착용하는데 HG에서는 스타드의 개수가 많고 크기가 작은 것을 선호하고 SG에서는 스타드의 개수가 적고 크기가 큰 것을 선택하는 것이 일반적인 경향이다.

축구화 중 가장 일반적인 제품은 몰디드 스타드(molded studs)의 축구화이며, 이것은 고무제품이나 딱딱한 플라스틱 형태의 스타드가 축구화의 바닥에 고정된 것으로 주로 표면이 딱딱한 잔디경기장에서 경기하는 선수들을 위한 축구화이다. 따라서 이 축구화는 초보자나 중급자 수준의 경기자들이 주로 이용한다. 왜냐하면 이 축구화는 어떤 경기장의 형태나 기상상태에서도 일반적으로 사용할 수 있기 때문이다.

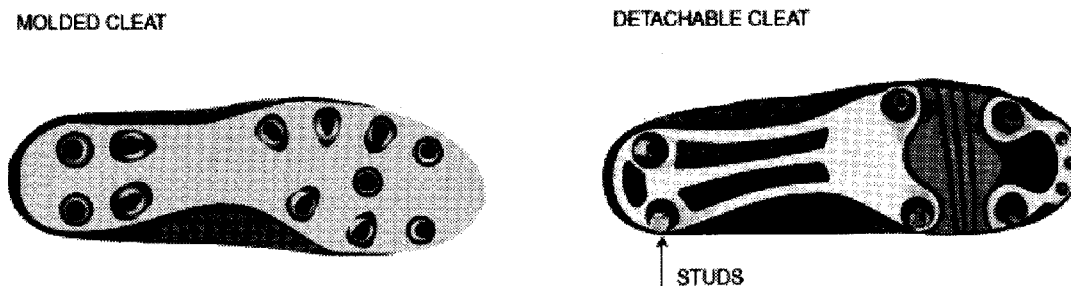


그림 2. 몰디드 스테드와 탈착식 스테드(Citysports, 2003)

탈착식 스테드(detachable studs)의 축구화는 축구화 바닥의 스테드를 나사를 이용하여 쉽게 갈아 끼울 수 있는 것이 특징이다. 일반적으로 이 스테드는 딱딱한 플라스틱이나 알루미늄 끝에 특수합금을 부착시켜 만든 것으로 경기장의 상태에 따라 스테드의 길이나 형태를 바꾸어 사용할 수 있으므로 노련한 선수들은 경기장의 상태에 따라 적절한 스테드를 선택하여 경기수행능력을 향상시킬 수 있다(Citysports, 2004).

이러한 스테드들을 선택하는 가장 중요한 이유는 축구화와 경기장 표면과의 마찰력을 바람직스럽게 유지시키기 위한 것이다. 마찰력은 움직임을 일으키는데 있어서 필수적이다. 신발과 지면에서의 너무 적은 마찰력은 미끄러짐을 유발시키고 반면에 과도한 마찰은 상해의 위험성을 높게 한다. 따라서 적절한 마찰력이 운동 수행과 상해 예방차원에서 필요하다. 여기서 회전 마찰력의 증가는 회전 토크(torque)량의 증가와 유사하다고 가정할 때 직선적인 토크보다는 회전적인 토크가 실제 경기상황에서 상해원인과 밀접한 관계가 있음을 보여주었다(Andreasson, G., Lindenberg, U., Renstrom, P., & Peterson, L., 1986).

초기의 선행 연구들은 마찰과 상해와의 직접적인 관련성을 규명하기 위하여 많은 연구들을 실시하였는데, 신발과 지면과의 상호관계에서 마찰계수가 높은 것이 비접촉성 ACL(anterior cruciate ligament : 전방무릎십자인대) 상해의 원인이 된다고 추측하였다(Arendt, E., & Dick, R., 1995).

Andreasson et al.(1986)은 무릎이나 발목에서의 상해는 갑작스러운 정지동작이나 방향전환과 관련되어 빈번히 발생한다고 보고하였는데, 이러한 원인들을 구체적으로 살펴보면 이러한 동작들이 수행될 때 경기장 표면과 신발사이에서의 마찰력의 특성으로 인해 하지관절에 상해를 입게 된다는 것이다.

실제로 미식축구 선수들의 상해 원인을 규명하기 위한 연구에서 신발의 높은 마찰계수와 상해는 매우 밀접한 관계가 있음을 입증하였다(Torg, J. S., Stulwell, G., & Rogers, K., 1996). 따라서 미식축구와 유사한 축구경기에서도 이와 같은 사실을 동일하게 적용시킬 수 있다고 본다.

따라서 축구화의 다양한 스테드의 형태의 따라 바닥면과 신발사이의 마찰력은 변하게 될 것이라는 가정 하에 이러한 마찰력으로 인해 인체의 하지관절에 가해지는 내적 부하에 대한 연구가 필요

한 실정이다.

Torg, J. S., Quedenfeld, T.C., & Landau, S.(1974)의 연구결과에서는 축구화 스테드의 형태에 따라 부상의 빈도가 다르게 나타난다고 보고했는데, 스테드의 높이가 3/8인치이고 개수가 14개인 축구화가 스테드의 높이는 동일하고 개수가 7개인 축구화보다 상해의 가능성이 낮게 나타났다고 보고했다. 이 실험은 천연잔디에서 실시됐으며 14개의 스테드를 가진 축구화가 7개의 스테드를 가진 축구화보다 상대적으로 낮은 마찰력의 수치를 나타냈다고 보고하였다. 이 때 신발과 바닥면에서 발생하는 마찰력에 대해 인체 내부에서는 근육과 건 등을 통하여 동작에 대한 저항으로써 자세를 유지하기 위한 작용이 일어나게 된다. 예를 들어 축구경기에서 방향을 전환할 때 무릎관절을 중심으로 근육이나 건 등이 존재하지 않는다면 관절은 그 기능을 상실하게 될 것이며 이러한 내적 부하는 각 관절을 중심으로 근육과 건이나 인대 등에 부담을 주게 되어 상해를 유발시킬 수 있다는 것이다.

지금까지 신발 바닥의 스테드의 형태변화가 회전마찰력에 어떠한 영향을 주는지에 대해 국내에서 연구된 바가 없었으므로 본 연구에서는 신발 바닥의 형태변화에 따른 회전마찰력에 관한 기초 자료를 수집하기 위하여 아래와 같은 연구목적을 두었다.

## 2. 연구목적

본 연구의 목적은 다음과 같은 가정들을 검증하기 위한 것이다.

첫째, 축구화 스테드의 형태변화에 따라 최저 회전마찰력은 달라질 것이다.

둘째, 축구화 스테드의 형태변화에 따라 최대 회전마찰력은 달라질 것이다.

셋째, 바람직한 축구화 스테드의 형태와 회전마찰력의 크기를 기술할 수 있을 것이다.

## 3. 용어의 정의

스테드(studs) : 축구화 바닥에 돌출된 형태로 나와 있는 스파이크 모양을 말하며 우리나라에서는 징 또는 뽕이라고도 부르는데 영어로는 클리트(cleats)라고도 한다.

# II. 연구 방법

## 1. 연구절차

본 실험은 축구화의 스테드(studs) 형태에 따른 회전마찰력에 관하여 연구하고자 실시하였다. 실

험에 사용된 신발들은 스티드의 형태가 다르게 부착된 3종류의 축구화와 스티드가 없는 1종류의 조깅화를 포함하여 4종류의 신발을 사용하여 실험하였다.

실험은 각 신발들의 최대 회전마찰력을 산출하기 위하여 각 신발들의 스티드 형태에 따라 피험자에게 5m의 인조잔디로 덮인 보행로를  $1.20 \pm 0.1\text{m/sec}$ 의 속도로 직선으로 보행하다가 지면반력기위에 착지동작과 동시에 신발의 바닥 전체가 지면에 지지된 상태에서 지면반력기의 위에서 시계방향으로 180도 회전동작을 수행하게 한 후 다시 진입방향으로 돌아가도록 하였다.

## 2. 실험대상과 사용된 신발의 종류

본 실험을 위해서 캐나다 캘거리대학교의 운동역학실험실(Human Performance Laboratory, University of Calgary)에 속한 12명의 피험자들을 실험대상으로 하였으며, 매주 규칙적으로 축구경기에 참여하는 레크리에이션 수준의 피험자로 최근 2년동안 하지에 상해를 입지 않았으며, 정상적인 주행 형태를 보이는 자들로 한정하였다. 실험을 실시하기 전에 피험자들에게 실험의 목적과 진행상황에 관하여 설명하고 유의사항을 인지시킨 후 동의서를 받았다.

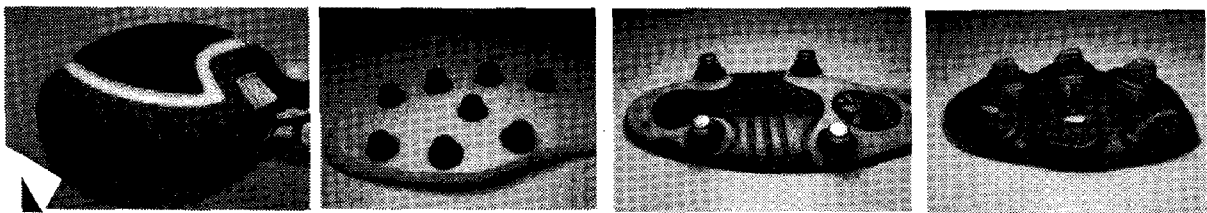
<표 1>은 본 실험에 참여한 피험자들의 신체적 특성이다.

표 1. 피험자들의 신체적 특성

피험자	구분	신장(cm)	체중(kg)	연령(yrs)
1		177.7	74.0	19
2		182.0	89.0	31
3		177.7	81.5	26
4		172.0	66.0	32
5		175.0	72.0	21
6		175.0	67.9	22
7		175.0	67.9	26
8		170.0	72.0	20
9		178.0	72.0	28
10		172.0	66.0	28
11		178.0	74.3	41
12		184.0	84.0	23
M±SD		176.37±4.08	73.88±7.36	26.42±6.23

<그림 3>은 실험에 사용된 스테드가 없는 일반 조깅화의 겔창과 스테드가 부착된 축구화와의 겔창의 형태이다. 실험에 사용된 신발들은 아디다스 (Adidas, Germany) 제품들로 사이즈 US 9 (270mm)의 1종류의 일반조깅화와 스테드가 있는 3종류의 축구화로 실험하였다.

- 1) Supernova 조깅화(nova) : 일반 조깅화
- 2) Copa Mondial 축구화(copa) : 12개의 몰디드 스테드
- 3) World Cup M 축구화(world) : 6개의 교체 가능한 알미늄 스테드
- 4) X-TSX Soft Ground 축구화(trx) : 9개의 칼날 형태(blade type)의 스테드



Nova

Copa

World cup

Trx

그림 3. 실험에 사용된 조깅화의 겔창과 축구화의 스테드

### 3. 실험장비

회전마찰력(rotational friction) 자료를 수집하기 위하여 지면반력기는 보행로 상에 설치하고 샘플링 빈도는 2400Hz로 하였다. 지면반력기를 포함한 5m의 보행로 위에 60cm 폭의 인조잔디(Fieldturf, 2003)를 설치하였다.

실험장비들의 세팅 장면은 <그림 4>와 같다.

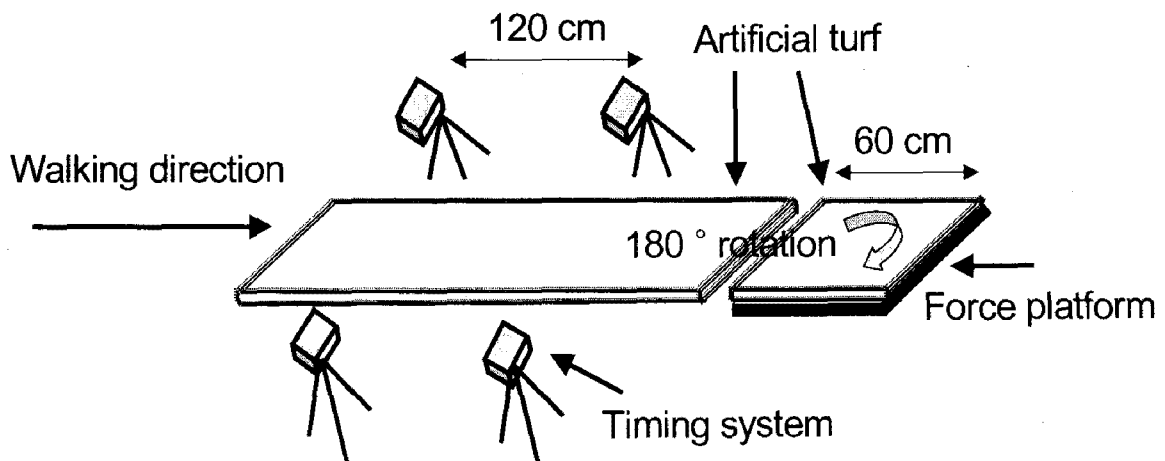


그림 4. 실험장비의 세팅 장면

#### 4. 실험과정

피험자는 자연스러운 보행동작이 되도록 5m 인조잔디의 보행로 위에서 연습 보행을 실시하도록 하여 구간속도측정기(Brower timing system, USA)와 지면반력기를 이용하여 신발의 회전마찰력(rotational friction)을 측정하기 위하여 인조잔디로 덮인 보행로를 지면반력기의 5m 전에서 출발하여 보행속도  $1.20 \pm 0.10\text{m/sec}$  의 속도로 진입하여 착지와 함께 신발의 바닥 전체가 지면에 지지된 상태에서 시계방향으로 180도 회전한 후 진입방향과 반대방향으로 보행하도록 하였다.

각 피험자들의 동일한 동작을 8회의 시기수를 측정하였으며, 만약 오른발이 지면반력기의 중앙에 착지하지 않았거나 통제 속도 범위를 벗어난 시기는 제외시켰으며 또한 비정상적인 동작도 시기수에서 제외시켰다. 실제자료수집에 앞서 실험장비들을 캘리브레이션하는 과정을 거쳤으며 회전모멘트 산출을 위한 힘의 축(force coordinate system)은 진행방향에 대해 X축은 좌우방향(좌 : +, 우 : -), Y축은 전후방향(전 : +, 후 : -), 그리고 Z축을 상하 방향(상 : -, 하 : +)으로 규정하였다.

#### 5. 분석방법

분석변인인 회전마찰력(rotational friction 혹은 free moment of rotation)은 지면 반력기의 수직 축을 중심으로 발생하는 모멘트(moment)를 통해서 계산하였다. 피험자가 오른발을 지지하고 시계방향으로 몸을 회전시키면서 신발과 인조 잔디 사이에서 발생하는 모멘트는 실제로 회전방향에 대해 신발과 인조 잔디 사이에서 발생하는 회전에 대한 저항의 크기로 산출할 수 있다. 회전 마찰력을 계산하는 데는 지면 반력기내에 설치되어 있는 4개의 트랜스듀서(transducer)로부터 발생하는 3축 방향의 힘들과 합 힘(resultant force)의 작용점과 지면 반력기의 중심점과의 x,y 축상에서의 거리, 그리고 지면 반력기의 트랜스듀서들과 x,y 축과의 거리를 통해서 산출된다. 아래는 회전 마찰력을 계산하는 공식이다.

$$M_z = b(-F_{x12} + F_{x34}) + a(-F_{y14} + F_{y23}) - P_x(F_{y14} + F_{y23}) + P_y (F_{x12} + F_{x34})$$

$M_z$  : 회전 마찰력

$a$  : y 축으로부터 트랜스듀서까지 거리,  $b$  : x 축으로부터 트랜스듀서까지 거리

$F$  : 각 트랜스듀서에서 측정되는 힘값

(예 :  $F_{x12} = F_{x1} + F_{x2}$ ,  $F_{x34} = F_{x3} + F_{x4}$ ,  $F_{y14} = F_{y1} + F_{y4}$ ,  $F_{y23} = F_{y2} + F_{y3}$ )

$P_x$  : 합힘의 작용점과 지면반력기의 중심사이의 x축상의 거리

$P_y$  : 합힘의 작용점과 지면반력기의 중심사이의 y축상의 거리



지면반력 자료들을 활용하여 각 신발바닥의 회전마찰력을 수집하였다. 회전마찰력(단위 : Nm) 자료들은 Kintrak version 6.0 (University of Calgary) 프로그램을 이용하여 분석하였고, SPSS 11.0 프로그램을 이용하여 유의수준은 0.05에서 ANOVA repeated measure를 이용하여 통계처리하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 신발 스타드의 형태에 따른 회전마찰력

회전마찰력의 경우 <표 2>에서와 같이 조깅화인 nova가 최대 12.12Nm와 최소-16.14Nm의 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈고, 최대회전마찰력에서는 world가 18.99Nm로 가장 높은 회전 마찰력을 나타냈으며, 최소회전마찰력은 trx축구화가 -18.56Nm로 가장 높은 회전마찰력을 나타냈다(본 연구에서의 최소회전마찰력은 절대치를 나타낸 것이다).

<그림 5>에서와 같이 nova의 경우 최소와 최대 회전마찰력에서 가장 완만한 곡선을 나타내어 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈으며, <그림 5>에서 normalized time(%)의 17% 지점에서 최소 회전마찰력은 trx(-18.56Nm) > world(-18.00Nm) > copa(-17.50Nm) > nova(-16.14Nm)의 순으로 나타났으며 (P<0.05), 약 30% 지점에서 마찰력이 0을 나타낸 것은 회전축의 방향이 바뀌는 시점이고, 약 40% 지점에서 최대 회전마찰력은 world(18.99Nm) > trx(17.47Nm) > copa(16.65) > nova(12.12)의 순으로 나타났다(P<.05).

표 2. 각 신발들의 최소와 최대 회전마찰력(unit : Nm)

신발종류	구분	최소회전마찰력		최대회전마찰력	
		Mz (Nm)	P value	Mz (Nm)	P value
nova		-16.14		12.12	
copa		-17.50	<.05	16.65	<.05
world		-18.00	<.05	18.99	<.05
trx		-18.56	<.05	17.47	<.05

Mz : 회전마찰력

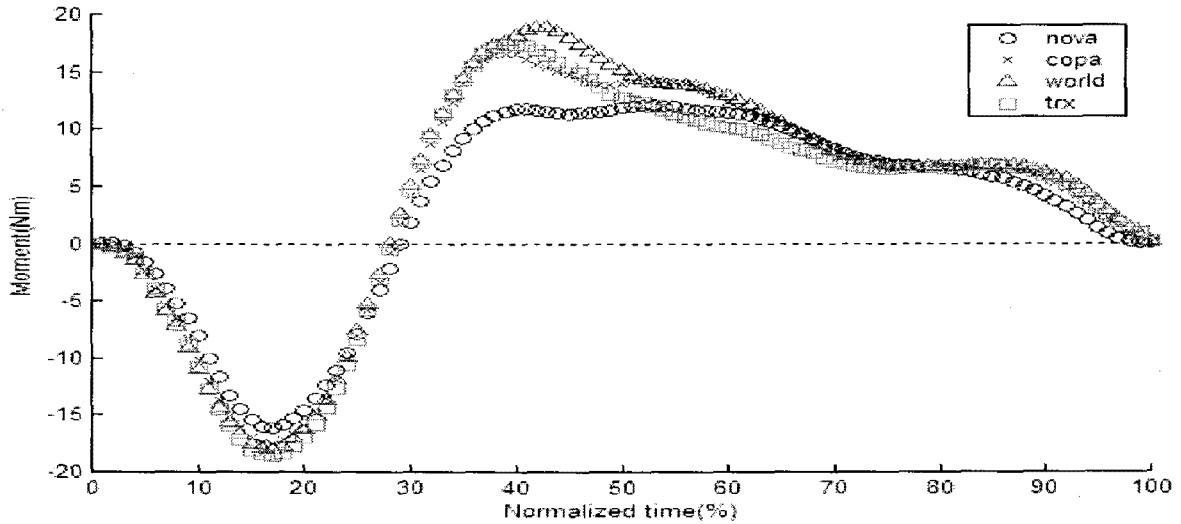


그림 5. 각 신발들의 최소와 최대 회전마찰력

2. 각 신발들의 최대 회전마찰력

각 신발들의 평균 최대 회전마찰력의 경우 <표 3>에서와 같이 조깅화인 nova가 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈고, world가 가장 높은 회전 마찰력을 나타냈으며 신발별 평균 최대 회전마찰력은 world(25.95Nm) > trx(25.74Nm) > copa(22.50Nm) > nova(16.36Nm)의 순으로 나타냈다.

<그림 6>에서와 같이 신발별 회전마찰력에서는 nova의 경우 모든 피험자들에게서 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈으며, 피험자들의 개인적인 특성에 따른 결과를 보면 피험자들(2,3,4,5,8,11)의 경우 trx를 착용했을 때 최대 회전마찰력을 나타냈고, 피험자들(6,7,9,10,12)의 경우 world를 착용했을 때 최대 회전마찰력을 나타냈으며, 피험자(1)의 경우 유일하게 copa를 착용했을 때 최대 회전마찰력을 나타냈다.

표 3. 각 신발들의 최대 회전마찰력(unit : Nm)

피험자 신발종류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	M	SD
nova	16.15	19.30	16.88	15.12	15.67	15.14	13.84	16.72	14.32	17.08	18.71	17.37	16.36	1.66
copa	19.07	26.21	24.95	21.88	19.34	24.65	19.99	21.64	22.59	24.85	22.06	22.78	22.50	2.32
world	18.18	29.46	26.79	27.53	21.79	28.99	24.86	26.20	26.86	26.53	24.38	29.88	25.95	3.34
trx	18.64	31.43	28.92	30.31	22.90	28.28	23.77	26.99	23.66	22.38	25.70	25.86	25.74	3.69

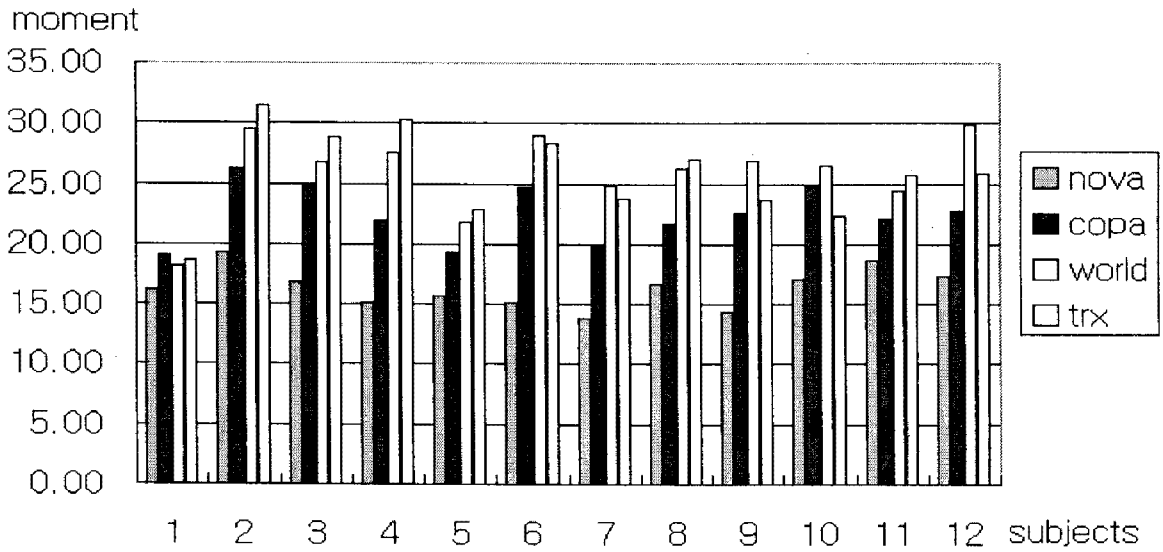


그림 6. 각 신발들의 최대 회전마찰력 (unit: Nm)

### 3. 각 신발들의 최저 회전마찰력

각 신발들의 최저 회전마찰력의 경우 <표 4>에서와 같이 조깅화인 nova가 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈고, trx가 가장 높은 회전 마찰력을 나타냈으며, 신발별 평균 최저 회전마찰력은  $trx(-20.11Nm) > world(-19.09Nm) > copa(-18.51Nm) > nova(-17.40Nm)$ 의 순으로 나타났다.

<그림 7>에서와 같이 신발별 회전마찰력에서는 nova의 경우 대부분의 피험자들(1,2,3,4,7,8,10,12)에게서 신발들 중 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈으나 피험자들(5,6,9,11)의 경우 다른 신발들에 비해 높은 회전마찰력을 나타낸 경우도 있었다.

또한 피험자들의 개인적인 특성에 따른 결과를 보면 피험자들(1,2,5,6,8,9,11,12)의 경우 trx를 착용했을 때 최저 회전마찰력을 나타냈으며, 피험자(4)의 경우 유일하게 world를 착용했을 때 최저 회전마찰력을 나타냈고, 피험자(3,7,10)의 경우 copa를 착용했을 때 최저 회전마찰력을 나타냈다.

표 4. 각 신발들의 최저 회전마찰력(unit : Nm)

피험자 신발종류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	M	SD
nova	-12.93	-20.60	-18.88	-19.62	-17.89	-17.92	-14.89	-11.37	-19.43	-12.54	-20.97	-21.80	-17.40	3.57
copa	-13.46	-23.33	-20.88	-20.95	-16.84	-18.79	-17.14	-13.69	-19.86	-16.01	-17.11	-24.06	-18.51	3.43
world	-14.35	-23.79	-19.87	-25.93	-18.76	-17.58	-16.75	-13.24	-17.91	-14.89	-18.49	-27.56	-19.09	4.52
trx	-14.94	-24.64	-20.39	-23.97	-18.76	-21.86	-16.30	-15.82	-20.57	-15.11	-21.10	-27.87	-20.11	4.12

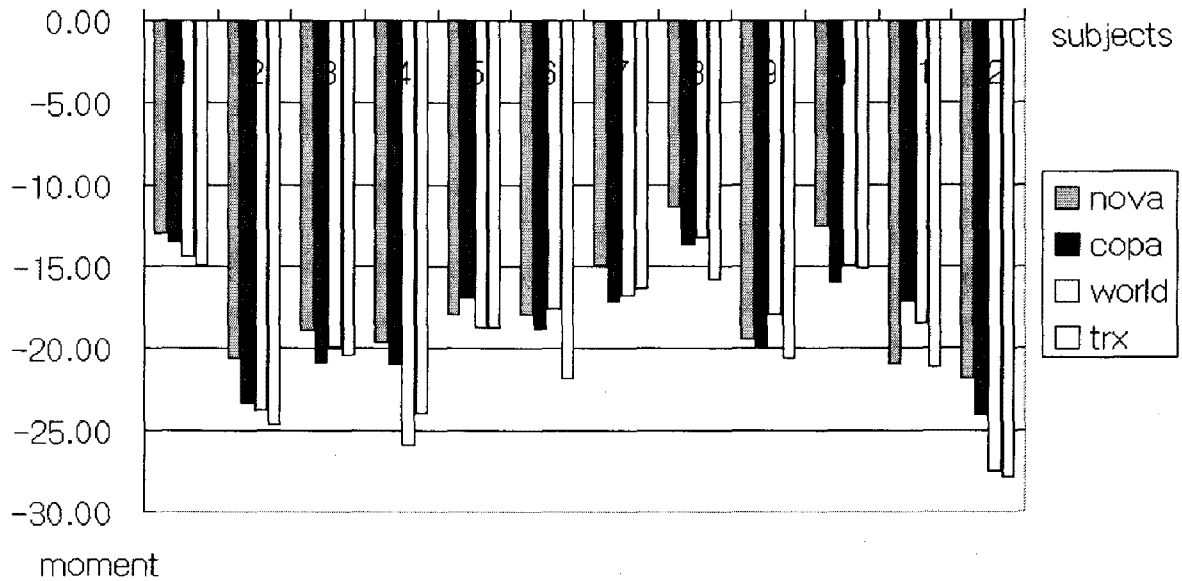


그림 7. 각 신발들의 최저 회전마찰력 (unit: Nm)

## IV. 논 의

### 1. 신발 스타드의 형태에 따른 회전마찰력

본 연구결과의 <표 2>와 <그림 5>에서와 같이 회전마찰력의 경우 조깅화인 nova가 최대 12.12Nm와 최소-16.14Nm로 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈는데, 이러한 결과는 nova의 경우 스타드가 없으므로 회전마찰력을 가장 낮게 나타낸 것은 당연한 것으로 분석된다.

최대 회전마찰력에서는 world가 18.99Nm, 최소 회전마찰력은 trx가 -18.56Nm으로 가장 높은 회전마찰력을 나타냈는데 이러한 결과는 normalized time(%)의 17% 지점에서 나타난 최소 회전마찰력은 실험동작중 지면반력위에 오른발을 착지시킨 후 시계방향으로 180도로 회전동작을 수행하기 위하여 준비동작의 상태에서 나타나는 회전력이라고 판단되며 이러한 회전력을 일으키기 위한 순간적인 준비동작에서 나타나는 회전력에서는 피험자들의 보행특성이나 신체적특성에 따라 회전력이 달라질 수 있을 것으로 판단된다.

특히 최소 회전마찰력은 trx(-18.56Nm) > world(-18.00Nm) > copa(-17.50Nm) > nova(-16.14Nm)의 순으로 나타난 것은 신발의 특성에 따른 회전마찰력과 함께 피험자들의 보행특성이나 신체적 특성에 따라 회전마찰력이 달라질 수 있다는 것도 고려해야 할 것으로 판단된다.

또한 normalized time(%)의 약 30% 지점에서 마찰력이 0을 나타낸 것은 회전축의 방향이 바뀌는

시점이라고 가정할 때 이 지점도 개인의 보행이나 회전 특성에 따라 많은 차이가 있는 것으로 분석되며 그리고 normalized time(%)의 약 40% 지점에서 최대 회전마찰력은 world(18.99Nm) > trx(17.47Nm) > copa(16.65) > nova(12.12)의 순으로 최대 회전마찰력을 나타냈는데, 이 결과 또한 피험자들의 보행특성이나 신체적 특성에 따라 회전마찰력이 더욱 달라질 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서의 <표 2>와 <그림 5>에서의 결과는 축구화 스테드 형태변화에 따른 회전마찰력의 전체적인 흐름을 파악할 수 있는 좋은 자료라고 할 수 있으나 각 개인이나 각 신발들에 대한 회전마찰력의 특성을 파악하기에는 어려운 점이 있다.

왜냐하면 <표 2>와 <그림 5>의 자료는 12명의 피험자들이 신발의 형태에 따라 각각 8회의 시기수를 실시하여 보행특성이나 신체적 특성에 상관없이 실험결과를 normalized time(%)의 형태로 표준화시킨 자료들이다.

예를 들어 피험자(1)의 경우 15% 지점에서 최소 회전마찰력을 나타냈고, 약 28% 지점에서 마찰력 0을 나타내어 회전축의 방향이 바뀌는 시점이었으며, 약 38% 지점에서 최대 회전마찰력을 나타냈고, 피험자(2)의 경우 19% 지점에서 최소 회전마찰력을 나타냈으며, 약 32% 지점에서 마찰력 0을 나타내어 회전축의 방향이 바뀌는 시점이었으며, 약 42% 지점에서 최대 회전마찰력을 나타냈었다고 가정하여 normalized time(%)의 형태로 표준화하여 <표 2>와 <그림 5>와 같이 나타냈다면 각 피험자들의 최대 또는 최소 회전마찰력과는 많은 차이가 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에서 <표 2>와 <그림 5>에서의 결과는 축구화 스테드 형태 변화에 따른 회전마찰력의 전체적인 흐름을 파악할 수 있는 자료이므로 최소 회전마찰력 trx > world > copa > nova과 최대 회전마찰력 world > trx > copa > nova의 순서는 상당히 의미있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과에서는 최소 회전마찰력의 크기는 trx > world > copa > nova로 나타났으며, 최대 회전마찰력은 world > trx > copa > nova의 순으로 나타났다. 이러한 연구결과는 축구화의 스테드의 형태에 따라 부상의 빈도를 다르게 나타낸 Torg, J. S. et. al.(1974)의 연구결과와 비교해보면, 스테드의 높이가 3/8인치이고 개수가 14개인 축구화가 스테드의 높이는 동일하고, 스테드의 개수가 7개인 축구화보다 상해의 가능성을 낮게 나타냈었고, 이 실험은 천연잔디에서 실시됐으며 14개의 스테드를 가진 축구화가 7개의 스테드를 가진 축구화보다 상대적으로 낮은 마찰력의 수치를 나타냈다는 선행 연구 결과와 거의 유사한 것으로 판단된다. 또한 Torg, J. S. et. al.(1974)의 연구결과에서는 이 때 신발과 바닥면에서 발생하는 마찰력에 대해 인체 내부에서는 근육과 건 등을 통하여 동작에 대한 저항으로써 자세를 유지하기 위한 작용이 일어나게 된다는 것이다. 예를 들어 축구경기에서 방향을 전환할 때 무릎관절을 중심으로 근육이나 건 등이 존재하지 않는다면 관절은 그 기능을 상실하게 될 것이며 이러한 내적 부하는 각 관절을 중심으로 근육과 건이나 인대 등에 부담을 주게 되어 상해를 유발시킬 수 있다는 것이다.

따라서 이상의 논의를 정리해보면 축구화의 다양한 스테드의 형태의 따라 바닥면과 신발사이의

마찰력은 변하게 될 것이라는 가정을 수용할 수 있으며, 이러한 마찰력으로 인해 인체의 하지관절에 가해지는 내적 부하가 달라질 것이므로 경기장 환경에 따라 적절한 스테드를 선택하는 것이 바람직하며, 비슷한 마찰력을 나타낼 경우 스테드의 숫자가 많은 것이 인체 내부에서 근육과 전 그리고 인대 등에 부담을 감소시켜 상해를 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 실험에 사용된 3가지 축구화들은 경기상황에서 필요한 경기력 향상 측면에서 회전 마찰력의 적정 수준을 만족시키는 것으로 나타났다. Aldous(2002)의 연구결과에 따르면 일반적으로 축구 경기에서는 최소한 20Nm 이상의 회전 마찰력을 필요로 한다고 발표했었는데, 본 연구결과에서의 world와 trx 축구화가 25Nm 이상을 나타내어 Aldous(2002)의 연구결과와 유사한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 경기력 향상 측면에서 적절한 회전마찰력을 가진 것으로 분석되어질 수 있으나 지나친 마찰력으로 인한 하지 관절에의 부하로 인한 상해의 위험성에 대해서는 앞으로 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 2. 각 신발들의 최대 회전마찰력

각 피험자별 신발들의 평균 최대 회전마찰력의 경우 nova가 가장 낮은 회전마찰력을 나타냈고, world가 가장 높은 회전 마찰력을 나타냈으며 신발별 평균 최대 회전마찰력은 world(25.95Nm) > trx(25.74Nm) > copa(22.50Nm) > nova(16.36Nm)의 순으로 나타냈는데 이와 같은 결과는 normalized time(%)의 약 40% 지점에서 나타나는 최대 회전마찰력 world(18.99Nm) > trx(17.47Nm) > copa(16.65) > nova(12.12)와 최대 회전마찰력의 순서는 동일하지만 마찰력의 크기에는 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다.

이러한 마찰력의 차이는 normalized time(%)의 형태로 표준화하는 과정에서 나타날 수 있는 현상이라고 볼 수 있으며 보다 정확한 최대 회전마찰력은 신발별 평균 최대 회전마찰력인 world(25.95Nm) > trx(25.74Nm) > copa(22.50Nm) > nova(16.36Nm)의 순서로 나타내는 것이 보다 정확한 자료라고 할 수 있다.

이러한 본 연구결과들을 선행연구결과들과 비교해보면 Lambson, R.B., Barnhill, B.S., & Higgins, R.W.(1996)의 연구에서는 로봇(torque wrench)을 이용하여 인조잔디와 천연잔디에서 4 종류의 스테드 형태가 다른 보조신발(Edge, Flat, Screw-in, Pivot disk)을 이용하여 회전마찰력을 산출했었는데, 그 결과는 인조잔디에서는 Edge(52Nm) > Flat(40Nm) > Screw-in(35Nm) > Pivot disk(38.5Nm) 순이었고, 천연잔디에서는 Edge(31Nm) > Flat(25.5Nm) > Screw-in(24Nm) > Pivot disk(21.5Nm) 순으로 나타낸 것으로 보고했다.

이러한 선행연구결과를 본 연구결과와 비교해보면 선행연구결과의 경우 회전마찰력의 수치가 비교적 높게 나타난 것으로 분석되었는데 이러한 차이는 로봇을 통한 실험결과와 인간을 이용한 실험결과와의 차이에 따른 것으로 판단된다. 예를 들면 로봇의 경우 예비동작없이 기계적으로 회전동작

을 수행하지만 인간의 경우 회전동작을 수행할 때 순간적으로 회전하는 방향의 반대방향으로 예비 동작을 수행한 후 회전동작을 수행한다는 점과 동일한 회전동작시에도 신발바닥과 표면사이에 발생하는 미묘한 마찰에 대하여 하지근육이 반응하여 그 결과가 항상 동일하지 않다는 것이다.

또 한가지 주목해야 할 점은 똑 같은 조건의 스테드일 경우 인조잔디가 천연잔디보다 훨씬 마찰력이 높다는 사실을 알 수 있다. Edge 형의 신발이 Pivot disk 형의 신발보다 더욱 회전마찰력이 크다는 사실을 알 수 있다. 하지만 회전마찰력을 측정할 때 습도가 높을 때와 낮을 때, 비가 온 직후와 건조할 때와의 차이는 대단히 크다고 할 수 있다. 특히 비가 온 직후의 천연 잔디의 마찰력은 인조 잔디보다 회전마찰력이 높다는 선행연구들도 있다. 또한 운동장의 상태 즉, 딱딱한 운동장(HG : hard ground)이나 부드러운 운동장(SG : soft ground)나에 따라 축구화 스테드의 개수나 크기를 조정하여 착용하는데 HG에서는 스테드의 개수가 많고 크기가 작은 것을 선호하고 SG에서는 스테드의 개수가 적고 크기가 큰 것을 선택하는 것이 일반적인 경향이다.

무릎이나 발목에서의 상해는 갑작스러운 정지동작이나 방향전환과 관련되어 빈번히 발생한다 (Andreasson et al., 1986). 이러한 원인들을 구체적으로 살펴보면 이러한 동작들이 수행될 때 경기장 표면과 신발사이에서의 마찰력의 특성으로 인해 하지관절에 상해를 입게 된다는 것이다. 실제로 미식축구 선수들의 상해 원인을 규명하기 위한 연구에서 신발의 높은 마찰계수와 상해는 매우 밀접한 관계가 있음을 밝혔다(Torg, J. S. et al., 1996). 따라서 미식축구와 유사한 축구경기에서도 이와 같은 사실을 동일하게 적용시킬 수 있다고 본다.

초기의 선행연구들은 마찰과 상해와의 직접적인 관련성을 규명하기 위하여 많은 연구들을 실시했었는데, 신발과 지면과의 상호관계에서 마찰계수가 높은 것이 비접촉성 ACL(anterior cruciate ligament : 전방무릎십자인대) 상해의 원인이 된다고 추측하였다(Arendt, E., & Dick, R.,1995). 이러한 관점에서 적절한 스테드를 선택하는 가장 중요한 이유는 축구화와 경기장 표면과의 마찰력을 바람직스럽게 유지시키기 위한 것이다. 마찰력은 움직임 일으키는데 있어서 필수적이다. 신발과 지면에서의 너무 적은 마찰력은 미끄러짐을 유발시키고 반면에 과도한 마찰은 상해의 위험성을 높게 한다. 따라서 적절한 마찰력이 운동 수행과 상해 예방차원에서 필요하다. 여기서 회전 마찰력의 증가는 회전 토크(torque)량의 증가와 유사하다고 가정할 때 직선적인 토크보다는 회전적인 토크가 실제 경기상황에서는 상해원인과 밀접한 관계가 있다는 연구결과를 발표했다(Andreasson et al., 1986).

이러한 선행연구결과와 본 연구결과를 종합해보면 회전 마찰력의 증가는 회전 토크(torque)량의 증가와 유사하다고 가정할 때 회전마찰력이 실제 경기상황에서 상해원인과 밀접한 관계가 있고 신발과 지면과의 상호관계에서 회전 마찰계수가 높은 것이 비접촉성 ACL 상해의 원인이 될 수 있으므로 적절한 마찰력이 운동 수행과 상해 예방차원에서 필요하다는 것이다.

여기서 본 연구결과와 신발별 최대 회전마찰력은 world(25.95Nm)와 trx(25.74Nm) 그리고 copa(22.50Nm)의 순서로 나타냈었는데 이러한 결과를 비교분석해보면 일반적으로 world는 스테드가 6개(앞쪽 4개, 뒤쪽 2개)가 달려 있어 수비형 선수들이 즐겨 신는 축구화이고, trx는 스테드가 9

개(앞쪽 7개, 뒤쪽 2개) 달려 있어 미드필더들이 즐겨 신는 축구화이며, copa는 스테르드가 12개(앞쪽 8개, 뒤쪽 4개)가 달려 있어 일반적으로 공격수들이 즐겨 신는 축구화라고 할 수 있다. 그러나 영국의 베컴이나 프랑스의 지단과 같은 공격수들의 경우 trx 축구화를 착용하는데 이러한 현상을 본 연구결과와 관련시켜 분석해보면 trx의 경우 스테르드가 9개이지만 스테르드의 형태가 칼날 형태(blade type) 이므로 회전마찰력은 world와 거의 유사하지만 copa보다는 크며 기저면의 경우 world 보다 훨씬 크며 copa와 유사하지만 칼날 형태(blade type)의 특성상 직선적인 운동수행능력을 향상시켜 줄 수 있는 것으로 판단된다.

특히 trx 축구화를 선호하는 공격수들은 자신의 의지대로 능동적인 동작을 수행할 수 있도록 지면과 신발과의 접지 면적이 넓은 축구화를 선호하므로 이러한 조건들을 수용할 수 있는 것으로 분석되며, 수비수들의 경우 자신의 의지와는 상관없이 공격수의 움직임에 따라 수동적인 동작을 수행하기 때문에 순간적인 파워를 발휘할 수 있는 보다 강력한 회전마찰력을 갖춘 축구화를 선호한다고 판단된다.

따라서 바람직한 축구화의 스테르드 형태를 기술한다면 회전마찰력은 world 축구화의 수준을 유지하면서 기저면은 copa 축구화의 수준에 준하는 칼날 형태(blade type)의 trx 축구화의 스테르드 형태가 바람직할 것으로 분석되었다.

## V. 결 론

본 연구는 축구화의 스테르드 형태에 따른 회전마찰력에 관하여 연구하고자 캐나다 캘거리대학교의 운동역학실험실(Human Performance Laboratory, University of Calgary)에 속한 12명의 피험자들을 실험대상으로 하였으며, 실험에 사용된 신발들은 스테르드의 형태가 다른 3종류의 축구화와 1종류의 조깅화를 포함하여 4종류의 신발을 사용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

신발별 최대 회전마찰력은 world(25.95Nm) > trx(25.74Nm) > copa(22.50Nm) > nova(16.36Nm)의 순으로 나타냈는데 이러한 연구결과는 축구화 스테르드의 형태변화에 따라 바닥면과 신발사이의 마찰력은 변하게 될 것이라는 가정을 수용할 수 있으며, 최대 회전마찰력의 경우 world와 trx 축구화의 마찰력이 거의 유사하게 나타났는데 비슷한 마찰력을 나타낼 경우 스테르드의 숫자가 많고 기저면이 넓은 것이 인체 내부에서의 근육과 건 그리고 인대 등에 부담을 감소시켜 상해를 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

경기장 환경에 따라 적절한 스테르드를 선택하는 것이 바람직하겠지만 최대 회전마찰력에 따라 인체의 하지관절에 가해지는 내적 부하가 달라질 것이므로, trx 축구화는 공격수와 수비수들이 동시에 사용할 수 있는 적절한 기저면과 회전마찰력을 갖춘 축구화라고 판단된다.



따라서 바람직한 축구화의 스텐드 형태를 기술한다면 회전마찰력은 world 축구화의 수준을 유지 하면서 기저면은 copa 축구화보다 넓은 칼날 형태(blade type)가 바람직한 축구화의 스텐드 형태라고 판단된다. 또한 본 연구에서는 축구선수가 경기중 신체를 가·감속시키는데 영향을 미치는 수평적인 마찰력(translational friction)에 대해서는 언급하지 못하였으나, 차후의 연구에서는 수평적인 마찰력에 대한 연구도 운동수행능력의 향상 측면에서 매우 흥미로운 주제가 될 수 있으리라 판단된다.

그리고 기계적인 장치를 이용하여 각기 다른 스텐드 형태의 회전마찰력을 계산하고 이를 실제 피험자들을 이용한 자료와 비교함으로써 신체에서 일어나는 역학적인 특성들을 이해하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

Adidas(2004), <http://www.adidas.com>

Citysports(2004), <http://www.citysports.com>

Fieldturf(2003), <http://www.fieldturf.com>

FIFA(2004), <http://www.fifa.com>

Aldous, D. E. (2002). Turfgrass indicators that influence player safety and performance in sports fields. Perks and Leisure Australia National Conference, Malbourne, Australia.

Andreasson, G., Lindenberger, U., Renstrom, P., & Peterson, L. (1986). Torque developed at simulated sliding between sport shoes and an artificial turf. *American Journal of Sports Medicine*, 14: 225-230.

Arendt, E., & Dick, R. (1995). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. *American Journal of Sports Medicine*, 23: 694-701.

Lambson, R.B., Barnhill, B.S., & Higgins, R.W. (1996). Football cleat design and its effect on anterior cruciate ligament injuries: a three-year prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 24: 155-159.

Stefanyshyn, D. (2003). Joint moments, sport surfaces and sport injuries. In B.M. Nigg, G.K. Cole and D.J. Stefanyshyn (Eds.) *Sport surfaces: biomechanics, injuries, performance, testing, injuries*. Topline Printing: Calgary, Alberta, 89-106.

Stucke, H., Baudzus, W., & Baumann, W. (1983). On friction characteristics of playing surfaces. In

- E.C. Frederick (Ed.) *Sport shoes and playing surfaces* (pp. 87-97). Human Kinetics Publishers, Inc.: Champaign, IL.
- Torg, J.S., Quedenfeld, T.C., & Landau, S. (1974). The shoe-surface interface and its relationship to football knee injuries. *Journal of Sports Medicine*, 2: 261-269.
- Torg, J.S., Stilwell, G., & Rogers, K. (1996). The effect of ambient temperature on the shoe-surface interface release coefficient. *American Journal of Sports Medicine*, 24: 79-82.
- Valiant, G.A., McGuirk, F.T., McMahon, T.A., & Frederick, E.C. (1985). Static friction characteristics of cleated outsole samples on Astroturf. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17: 222-223.
- Van Gheluwe, B., Deporte, E., & Hebbelinck, M. (1983). Frictional forces and torques of soccer shoes on artificial turf. In B.M. Nigg and B.A. Kerr (Eds.) *Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces*. University Printing: Calgary, Alberta, 161-168.