

## 지반조건과 신발의 종류에 따른 족저압 분포

김상환\*, 이해윤<sup>1</sup>, 김연덕<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>호서대학교 토목공학과

### Plantar foot pressure distribution depending on ground conditions and shoe type

Sang-Hwan Kim<sup>\*</sup>, Hye-Yoon Lee<sup>1</sup>, Yeon-Deok Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Civil Engineering, Hoseo University

**요약** 본 논문은 지반 조건에 따른 족저압의 압력분포에 대한 연구이다. 실내화, 실외화, 걷기화, 운동화의 네 가지 카테고리  
의 신발이 본 연구에 사용되었으며, 260mm(유럽 코드 EU40)를 착용하는 45명의 20대 남성을 대상으로 콘크리트, 모래 지반  
에서의 실험을 실시하였다. 보행 시 응력과 압력의 측정은 Techstorm사의 Insole System을 사용하여 측정하였으며 발의 발가  
락, 전족, 중족, 후족 네 가지 영역에서 족저압을 측정하였다. 연구 결과 신발과 지반 조건에 따라 다른 응력 및 압력의 분포를  
나타냈으며 본 연구 결과는 모래 지반에서 착용 가능한 신발의 개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

**Abstract** This paper presents is a study on the pressure distribution families low in response to ground conditions.  
Indoor shoes, outdoor shoes, working shoes, are four categories of shoes sports shoes, has been used in the present  
study, Concrete to target men in their 20s of 45people wearing the 260mm(Euro Code EU40), the experiments were  
carried out in the sand ground. Measurement of stress and pressure at the time of walking, Techstorm company Insole  
System the measured toe of the foot using, foot binding, was the metatarsal, the low pressure come from Fujoku four  
areas measured. Depending on the shoes and ground conditions findings, the results of this study represents the  
distribution of other stress and pressure, is expected to be useful in the development of a wearable shoe sand soil

**Key Words** : Gait, Ground area, Ground contact area, Measure area, Plantar pressure, Shoe, Shoe type

### 1. 서론

실내에서의 생활이 주를 이루는 현대인들은 야외의 스포츠 활동을 통해 건강을 유지하려 노력하고 있으며 그 활동 분야가 다양해지고 있는 추세이다. 다양성이 증가함에 따라 전문화 된 신발들이 개발되었고 소비자들의 선택의 폭 역시 넓어지고 있다. 최근 사막마라톤은 익스트림 스포츠로 많이 알려져 있으며 사막의 접근이 용이해짐에 따라 관광지로도 선호도가 높아지고 있다. 그러나 사막이나 해변의 모래지반에서 상용되고 있는 신발은

일반 콘크리트 지반에 서 착용하고 있는 신발과 같으며 모래지반에 특성화 된 신발에 대해서는 시작품 및 연구 사례를 찾기 힘들다. 신발의 기능성 향상에 대한 연구는 현재 활발히 진행 중으로 보행 시 지면으로부터 충격력을 최소화하기 위해 지면반발력의 분포에 대한 분석이 이루어졌으며[1], 보행 시 부하위치에 따른 족저압의 중심이동에 대한 분석[2] 과 신발의 종류에 따른 발바닥 부위별 압력 분포의 차이[3,4,5] 등의 보행과 신발의 상호관계에 대한 연구가 진행되었다. 기존 국·내외에서 이루어진 실험들은 유동성이 없는 일반적인 콘크리트 지반

본 논문은 2013년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.(2013-0042)

\*Corresponding Author : Sang-Hwan Kim(Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5034 email: kimsh@hoseo.edu

Received March 3, 2015

Revised March 24, 2015

Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

에서[6] 이루어졌으며 콘크리트 지반과 달리 모래지반은 유동성을 가지고 있기 때문에 외부의 충격에 따른 상태의 변화를 갖게 되며 변화된 지반에 따라 신체의 접촉부분과 족저압의 분포 또한 달라질 것이다. 지면의 변화로 인한 발의 하부에 전달되는 하중의 형태, 크기의 변화로 몸의 중심이 변하게 되고 보행 시 안정성이 감소하게 되므로 불필요한 신체의 움직임이 발생하게 될 것으로 판단된다. 보행 시 지반의 변화와 그에 따른 족저압의 분석을 통해 모래지반에서의 보행을 원만하게 하는 신발의 개발이 가능할 것으로 보이며 향후 신발 디자인 및 구조가 지반을 중점으로 한 지반과 신발의 융합 연구에 기초적인 자료로 활용될과 동시에 지반공학적 관점의 기능이 추가 된 신발 디자인에 고려될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 대상자

본 연구는 실험 참가에 동의한 정상 발의 조건[7] 을 만족하는 25±1세, 평균 체중 75kg, 평균 신장 172cm의 성인남성을 대상으로 실험 참가에 대한 동의를 실시하였으며 정상발의 조건은 다음과 같다.

- 보행 시 외형상의 불편이 없음
- 발 또는 다리에 특별한 구조적 이상이 없음
- 티눈, 과잉 가골 또는 병변이 없음
- 장시간 걷거나 서 있을 때 불편, 장애 과도한 피로 등이 없음

실험의 균질성을 위해 착용하는 신발크기가 260mm 인 대상을 선정하였으며 신체 조건에 따른 형평성을 위해 한국인의 평균 일반 보행속도를 참고하여 4.2km/h의 속도를 메트로놈을 이용하여 적용하였다. 실험대상자들의 신체적 조건을 종합하여 정리하면 다음과 같다[Table 1].

Table 1. General characteristics of the study participants

Subjects (n)	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Shoe size (mm.)
45	172±6.3	75±6	23±3	260

### 2.2 측정 장비와 자료 처리

족저압 측정 장비는 Techstorm 사의 Insole System으

로 무선의 인솔 형식이다. 신발 내부에 삽입하여 측정하는 방식으로 106개의 압력센서를 통해 최대 힘, 압력 분포를 분석하였다. 실험에는 밑창이 고무 재질로 되어 있으며 얇고 가벼운 소재를 사용한 실내화, 외부 활동을 위한 두껍고 견고한 소재의 실외화, 걸음에 대한 충격의 흡수와 마찰을 줄이는 기능의 견기화, 가벼운 소재 미끄럼을 막아주는 역할을 하는 운동화 네 가지 종류의 신발이 사용되었다. 각 지반에서 신발의 착용 후 각 3회씩 측정하였으며 오른발의 발가락, 전족, 중족, 후족부로 나누어 분석하였다. 실험에 사용된 측정 장비의 사양은 다음과 같다.

#### Insole System

- No. of Sensing Elements : 106 cells(Left+Right)
- Display Resolution : 6 cell/cm<sup>2</sup>
- Size of Senser : EU40(260mm)



Fig. 1. The shoes used in experiments

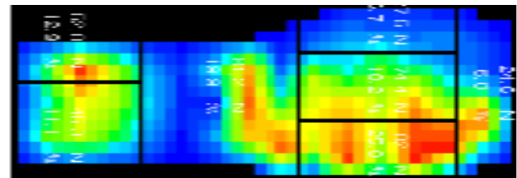


Fig. 2. Measure area

### 2.3 지반 조성

콘크리트 지반과 모래 지반에서 보행 시 압력 분포 변화를 측정하기 위하여 실험환경을 조성하였다. 모래지반이 조성된 아크릴 토조 안쪽을 보행하였으며 주로에 턱이 없도록 보조 발판을 이용하여 높이를 동일하게 유지시켰으며 콘크리트 지반은 실험실 바닥에서 진행되었다. 실험에 적용 될 모래지반의 균질성을 확보하기 위한 주 문진 표준사의 상대밀도를 만족시키기 위해 낙하고와 강사속도를 실험 전 사전지반조성 실험을 통해 확인하였다. 상대밀도는 조립토의 조밀한 정도를 나타내는 것으로 다음과 같이 계산된다.

$$D_{\gamma} = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$

여기서,

$e_{\max}$  : 최대로 느슨한 상태에서의 간극비

$e_{\min}$  : 최대로 다져진 상태에서의 간극비

Table 2. Relative density of soil

Relative density $D_{\gamma}$ (%)	Density state
0 ~ 15	very loose
15 ~ 50	loose
50 ~ 70	medium
70 ~ 85	dense
85 ~ 100	very dense

지반조성에 사용되는 주문진 표준사는 상대밀도 실험 결과 강사구 4mm에서 30cm의 강사높이 일 때 상대밀도 22.6%로 느슨의 상태를 나타낸다. 상대밀도 실험 전경[Fig. 3]과 결과는 [Table 3]과 같다.



Fig. 3. Sand rain experiment

Table 3. Relative density of construct ground

Relative density $D_{\gamma}$ (%)	
Sand rain height(cm)	Sand rain hole (4mm)
30	22.60
40	39.95
50	41.96
60	47.46

### 3. 시험결과 및 분석

수집된 데이터는 ONE-WAY ANOVA 분석을 통해 통계 처리 하였다.

### 3.1 발가락 부위

#### 3.1.1 최대 힘

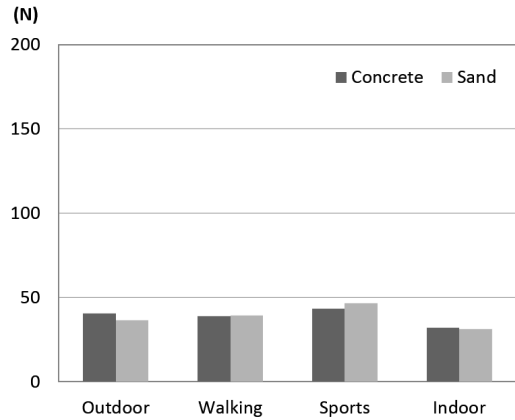


Fig. 4. Maximum strength of the toe portion

발가락 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반( $F=3.2$ ,  $P<.05$ )과 모래 지반( $F=3.6$ ,  $P<.05$ ) 모두 운동화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 실내화의 경우 가장 작게 나타났다.

#### 3.1.2 평균 압력

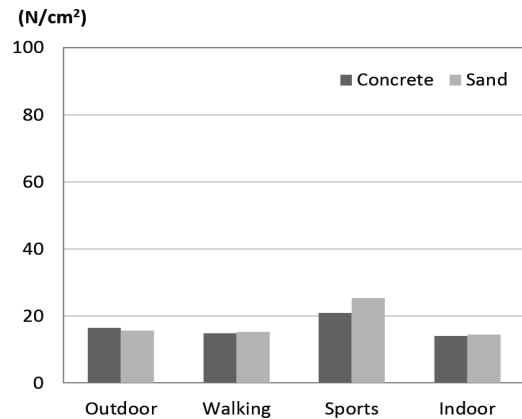


Fig. 5. Average pressure of the toes

발가락 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 ( $F=3.6$ ,  $P<.05$ )과 모래 지반( $F=10.6$ ,  $P<.05$ ) 모두 운동화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 실내화의 경우 가장 작게 나타났다.

### 3.2 전족

#### 3.2.1 최대 힘

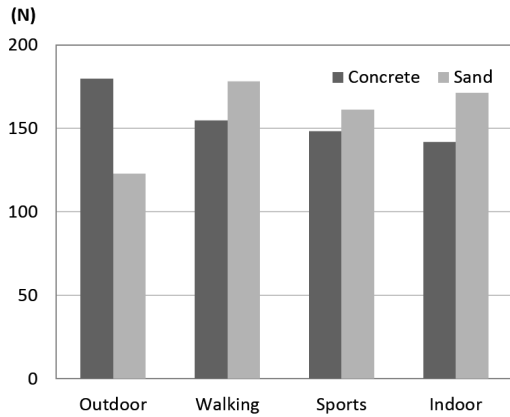


Fig. 6. The maximum strength of the Bound feet

전족 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반(F=3, P<.05)과 모래 지반(F=3.1, P<.05) 중 콘크리트 지반은 실외화가 모래지반은 견기화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 콘크리트 지반은 실내화가 모래지반은 실외화가 가장 작게 나타났다.

#### 3.2.2 평균 압력

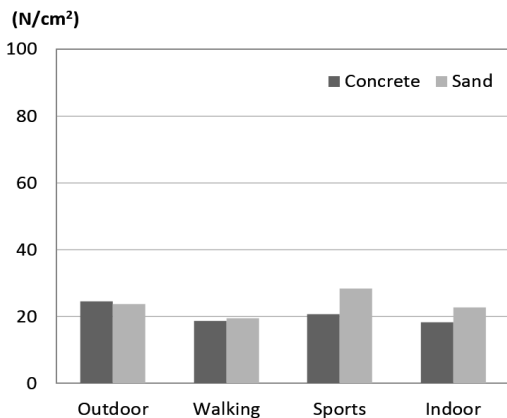


Fig. 7. Average pressure of bound feet

전족 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반(F=2.6, P<.05)과 모래 지반(F=3.6, P<.05) 중 콘크리트 지반은 실외화가 모래지반은 운동화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 콘크리트 지반은 실내화가 모래지반은 견기화가 가장 작게 나타났다.

### 3.3 중족

#### 3.3.1 최대 힘

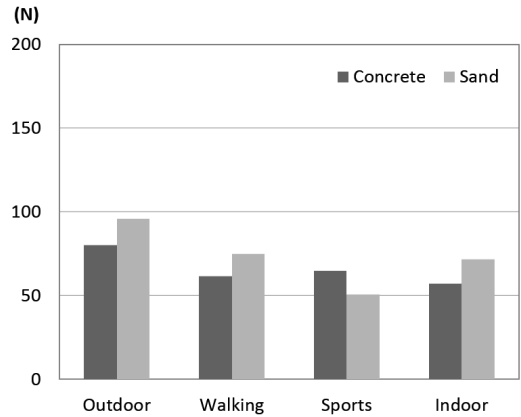


Fig. 8. The maximum strength of the midfoot

중족 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반(F=3.1, P<.05)과 모래 지반(F=9.7, P<.05) 모두 실외화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 콘크리트 지반은 실내화가 모래 지반은 운동화가 가장 작게 나타났다.

#### 3.3.2 평균 압력

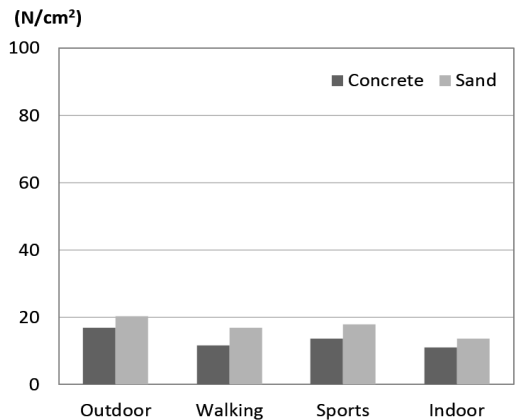


Fig. 9. Average pressure of the midfoot

중족 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반(F=3.7, P<.05)과 모래 지반(F=3.6, P<.05) 모두 실외화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 실내화의 경우 가장 작게 나타났다.

### 3.4 후족

#### 3.4.1 최대 힘

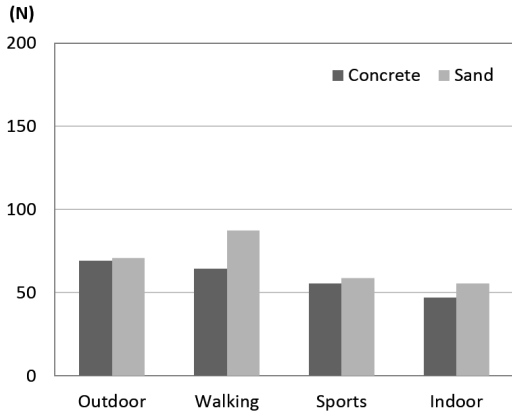


Fig. 10. The maximum strength of the rearfoot

후족 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반(F=3.2, P<.05)과 모래 지반(F=4.7, P<.05) 중 콘크리트 지반은 실외화가 모래 지반은 걷기화를 착용 한 경우 가장 크게 측정되었으며 콘크리트 지반 모래 지반 모두 실내화의 경우 가장 작게 나타났다.

#### 3.4.2 평균 압력

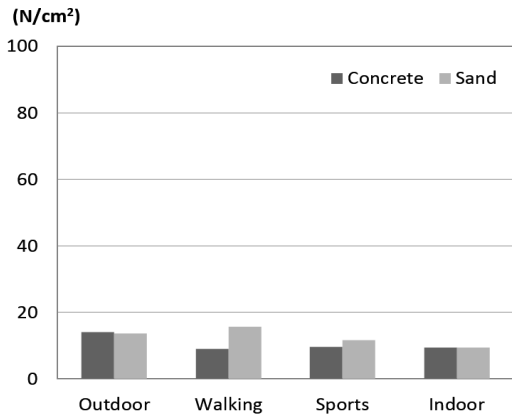


Fig. 11. Average pressure of the midfoot

후족 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반(F=3.1, P<.05)과 모래 지반(F=3.5, P<.05) 중 콘크리트 지반은 실외화가 모래 지반은 걷기화를 착용한 경우 가장 크게 측정되었으며 콘크리트 지반은 걷기화가 모래 지반은 실내화가 가장 작게 나타났다.

### 3.5 신발 종류에 따른 부위별 압력

#### 3.5.1 실외화

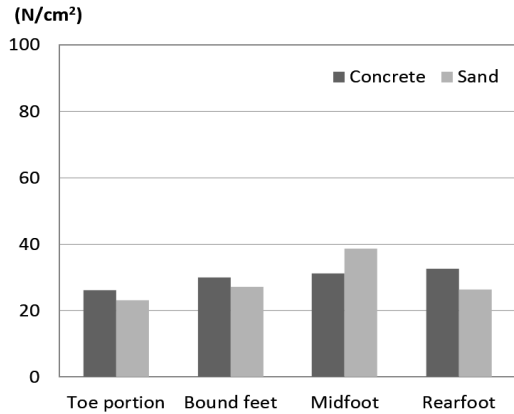


Fig. 12. Outdoor shoes site-specific pressure

실외화 부위별 압력은 콘크리트 지반(F=2.7, P<.05) 모래 지반(F=8.2, P<.05) 중 콘크리트 지반은 후족 부위가 모래 지반은 중족 부위가 크게 측정되었으며 콘크리트 지반 모래 지반 모두 발가락 부위가 가장 작게 나타났다.

#### 3.5.2 걷기화

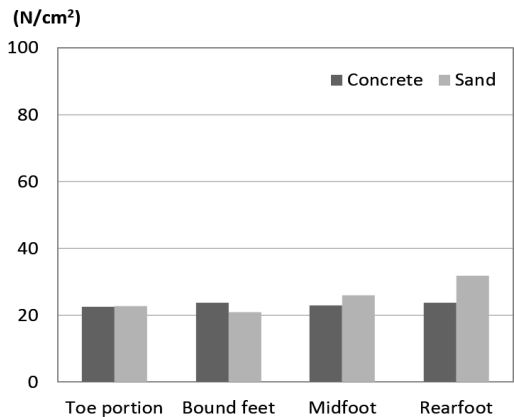


Fig. 13. Walking shoes site-specific pressure

걷기화 부위별 압력은 콘크리트 지반(F=2.8, P<.05) 모래 지반(F=4.8, P<.05) 모두 후족 부위가 가장 크게 측정되었으며 콘크리트 지반은 발가락 모래 지반은 전족 부위가 가장 작게 나타났다.

### 3.5.3 운동화

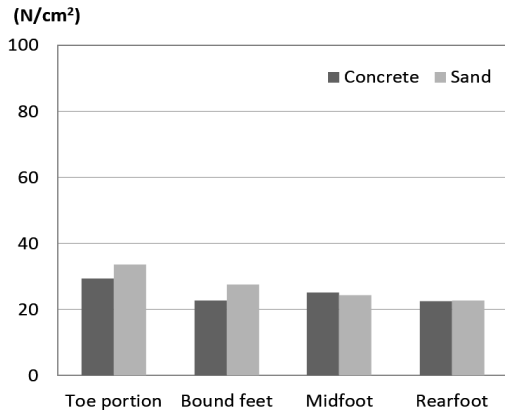


Fig. 14. Sports shoes site-specific pressure

운동화 부위별 압력은 콘크리트 지반(F=2.7, P=<.05) 모래 지반(F=5.4, P=<.05) 모두 발가락 부위가 가장 크게 측정되었으며 후족 부위의 경우 가장 작게 나타났다.

### 3.5.4 실내화

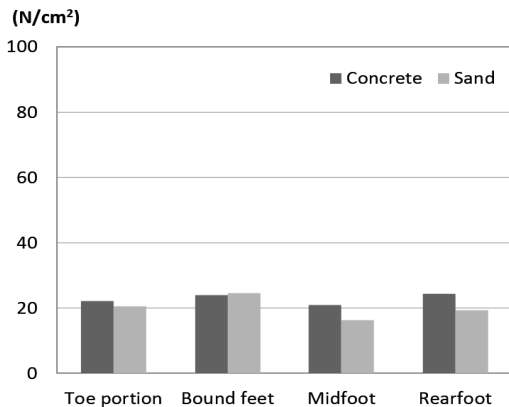


Fig. 15. Indoor shoes site-specific pressure

실내화 부위별 압력은 콘크리트 지반(F=2.7, P=<.05) 모래 지반(F=3.2, P=<.05) 중 콘크리트 지반은 후족 부위가 모래 지반은 전족 부위가 가장 크게 측정 되었으며 콘크리트 지반 모래 지반 모두 중족 부위가 가장 작게 나타났다.

## 4. 결론

본 연구는 성인남성 45명을 대상으로 콘크리트 지반

과 모래지반에서의 보행 시 신발의 종류에 따른 족저압의 분포를 측정하여 지반과 발의 상호관계를 비교분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실외화는 외부에서 신는 신발로 몸을 지탱 할 수 있도록 전족, 중족, 후족 부위의 최대 힘, 평균압력, 부위별 압력이 크게 나타남을 알 수 있다.
2. 걸기화는 걷는데 무리가 없도록 발가락, 전족, 중족, 후족, 모든 부위의 최대 힘, 평균압력, 부위별 압력이 고루 분산됨을 알 수 있다.
3. 운동화는 활동적 특성을 고려하여 지면 반발력이 크게 나타나도록 다른 종류의 신발보다 발가락 부위의 최대 힘, 평균압력, 부위별 압력이 크게 나타남을 알 수 있다.
4. 실내화는 발가락, 전족, 중족, 후족, 모든 부위의 최대힘, 평균압력, 부위별 압력이 고루 분산됨을 알 수 있다.

연구 결과 지반의 상태에 따라 각각의 특성을 가진 신발들의 발 부위에 따른 족저압 분산 효과가 상이한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 보행 시 지반의 거동에 따른 족저압의 분포와 신발의 변형률에 따른 상호관계에 대한 연구가 이루어진다면 모래지반에 적합한 신발의 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

## References

- [1] Moon, Y. J. "Kinetic analysis trend for develop high performance sport shoes", Korean Journal of Sport Science, Vol.90 No.1, 25-30, 2010.
- [2] S. J. Park, J. S. Kim, "The Analysis of Center of Pressure (COP) Displacement under Loading Position during Walking", Journal of the Korean Society of Physical Medicine, Vol.5 No.1, 15-24, 2010.
- [3] K. O. Lee, "The Effect of Shoe Type on Plantar Pressure Distributions", Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women, Vol.24 No.4, 1-11, 2010.
- [4] Lee, J. H. "Kinetic differences between Normal-design running shoes and spring-loaded running shoes", Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol.19 No.3, 581-592, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2009.19.3.581>

- [5] Song, J. H., Lee, J. H., Sung, B. J. "The Kinematical Comparative Analysis Between Spring Shoe and General Shoe". Korean Journal of Sport Science. Vol17, No.1, 99-109, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2007.17.1.099>
- [6] Nigg, B. M. "Biomechanical aspects of running. Biomechanical of runing shoes". 1-25, 1986.
- [7] Schwartz, R. P., Heath, A. L., Morgan, D. W., Towns, R. C. "A quantitative analysis of recorded variables in the walking pattern of normal adults". Journal of Bone and Joint Surgery. Vol.46A, 324-334, 1964.

**김 연 덕(Yeon-Deok Kim)**

[준회원]



- 2015년 2월 : 호서대학교 토목공학과 졸업(공학사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 석사과정

<관심분야>

토질 및 기초, 터널 공학, 인체 공학

**김 상 환(Sang-Hwan Kim)**

[정회원]



- 1985년 2월 : Asian Institute of Technology (공학석사)
- 1996년 9월 : Oxford University (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 교수
- 2014년 6월 ~ 현재 : 한국터널지하공간학회 회장

<관심분야>

토질 및 기초, 터널 공학, 인체 공학

**이 혜 윤(Hye-Yoon Lee)**

[준회원]



- 2011년 2월 : 호서대학교 토목공학과 졸업 (공학사)
- 2015년 2월 : 호서대학교 토목공학과 졸업 (공학석사)

<관심분야>

토질 및 기초, 터널 공학, 인체 공학