

보행시 지반조건에 따른 팽이기초를 접목시킨 신발 족저압 분포 비교분석

김연덕¹, 김석진², 민병헌¹, 김상환^{1*}

¹호서대학교 토목공학과, ²(주)태영건설

Top shoes foot pressure basis of the comparison analysis combine conical top foundation walking upon ground conditions

Yeon-Deok Kim¹, Seg-Jin Kim², Byeong-Heon Min¹, Sang-Hwan Kim^{1*}

¹Civil Engineering, Hoseo University

²Taeyoung E&C Co, ltd.,

요약 본 논문은 지반 조건에 따라 현재 개발 중인 팽이기초를 접목한 신발과 일반적인 신발인 워킹화의 보행시 압력분포의 비교분석에 대한 연구이다. 일반적인 신발, 현재 개발 중인 팽이기초를 접목한 신발 두 가지 카테고리의 신발이 본 연구에 사용되었으며, 실험 대상은 260mm를 착용하는 정상발의 조건에 만족하는 15명의 20대 남성을 대상으로 단단한 지반, 모래 지반에서의 실험을 실시하였다. 보행 시 압력의 측정은 Techstorm사의 무선 Insole System 을 사용하여 측정하였으며 발의 7 Zone에서 족저압을 측정하였다. 연구 결과 신발과 지반 조건에 따라 다른 최대 힘, 평균 압력, 압력 분포도를 나타냈으며, 본 연구 결과 단단한 지반 및 모래 지반에서 발 부위에 따라 족저압 분산 효과가 일반적인 신발과 현재 개발 중인 팽이기초를 접목한 신발이 서로 상이한 것을 확인할 수 있었다. 향후 보다 지속적인 연구를 통해 다양한 고무 소재를 선택하여 추가적인 실험을 통해 단단한 지반 및 모래 지반에서 모두 착용 가능한 신발의 개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

Abstract This study comparatively analyzes general walking shoes on the conical top foundation of the ground condition and the pressure distribution during walking with shoes that are currently under development. Two categories of footwear were used: general footwear and a footwear conical top foundation that is currently under development. Experiments were carried out on hard ground and sandy soil in 15 male twenties that satisfy the conditions of normal foot wearing 260 mm. The pressure during walking was measured using Techstorm's Wireless Insole System, and foot pressure was measured in 7 zones of the foot. Studies have shown different maximum forces, average pressures, and pressure distributions depending on the shoe and ground conditions. This study shows that shoes with general low pressure dispersion effects depending on the feet in hard ground and sand ground are different from shoes with the conical top foundation that is currently under development. It is expected that it will be useful for the development of shoes that can be worn in all hard ground and sandy ground by selecting various rubber materials through further research.

Keywords : Conical Top Foundation, Gait, Ground Area, Measure Area, Shoes

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

email: kimsh@hoseo.edu

Received June 4, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised August 9, 2019

Published September 30, 2019

1. 서론

현대인들은 운동 등의 야외 활동 및 스포츠 활동을 통하여 건강을 유지하려 노력하고 있는 추세이다. 따라서 연구 분야가 보다 다양해지고 있으며 신발 또한 그에 맞추어 좀 더 전문화 된 신발들이 개발되고 있다. 소비자들 또한 신발 선택의 폭이 다양해지고 있는 추세이다. 최근 이러한 추세를 반영하듯 사막마라톤, 사막 사이클 등 사막의 접근이 용이해지고 관광지로도 각광 받고 있는 추세이다. 그러나 이런 수요에도 불구하고 모래지반에 특성화 된 신발에 대해서는 시작품 및 연구 사례를 찾기 힘들다. 대부분의 연구는 일반 콘크리트 및 단단한 지반에 초점을 둔 견기화, 실외화, 실내화, 운동화 등의 기능성 신발에만 시작품 및 연구가 진행되는 상태이다[1].

현재 모래 지반에서의 실험은 거의 없는 실정이다. 국내 연구의 경우 신발의 종류에 따라 보행시 콘크리트 지반 및 모래 지반에서의 족저압 분석[2] 이 있으며 대부분의 연구는 신발의 기능성 향상에 관한 연구로 보행시 지면으로부터 충격력을 최소화하기 위해 지면반발력의 분포에 대한 분석[3] 과 신발 종류에 따른 발바닥 부위별 압력 분포 차이 등의 연구가 활발히 진행되었다. 기존 국·내외에서 이루어진 실험들은 유성성이 없는 단단한 지반에서의 실험이[4] 주를 이루고 있으며 단단한 지반과 달리 모래지반은 보행시의 충격으로 지반의 상태변화로 인해 단단한 지반과 달리 발바닥에 작용하는 압력 또한 달라질 것이다, 지금 지반공학적 관점의 기능이 추가된 개발 중인 신발[5]과 일반 신발의 단단한 지반 및 모래지반에서 발바닥에 가해지는 족저압을 분석하여 향후 모래지반과 같은 유동성이 있는 지반에서도 사용할 수 있는 신발을 개발하는데 고려될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 팽이기초의 이론적 배경

2.1 공법의 개요

본 연구를 수행함에 앞서 응용된 지반공학분야 중 팽이기초 원리와 메커니즘에 대하여 검토하면 다음과 같다. 팽이기초 공법은 구조물의 설계하중이 크지 않으면서 지반의 지지력이 일부 부족한 경우 말뚝기초를 기반암까지 연장 시공하는 것은 과다 설계 및 시공성과 경제성에 큰 부담을 준다. 이런 경우 팽이기초공법을 적용하여 지지력 증대와 침하량 억제 효과를 동시에 도모할 수 있다.

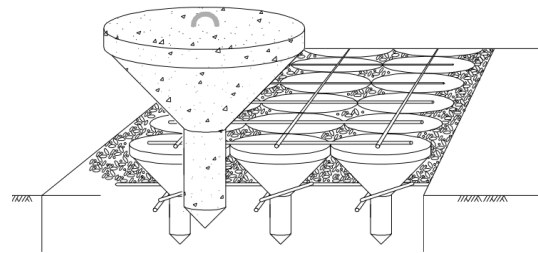


Fig. 1. Conical top foundation

2.2 원리와 효과

Fig. 1에서 보인바와 같이 기초하중이 팽이기초의 원추부로 하여금, 채움쇄석이 압축하여 구속함으로써 말뚝과 채움쇄석이 일체화되며 일종의 강성지반이 형성된다. 또한 집지면적의 극대화로 인하여 하중을 넓게 분포시켜 주며 연약지반 상에 전달되는 응력을 감소시킴으로써 침하량을 억제한다. 팽이형 말뚝 사이의 잘 다짐된 채움쇄석이 응력집중현상을 방지하여 지반내 응력분포를 균등화시켜 침하 발생을 억제한다.

하중 분산으로 깊은 곳까지 영향을 미치지 않으며, 채움쇄석 및 원추부 와 말뚝부의 지반사이에 마찰저항이 일어나 서로 조합작용으로 파일부 주변지반의 측방변형을 구속한다. 국부파괴 및 침하를 방지하는 효과를 얻는다.

무처리 지반에 비해 즉시침하는 1/2~1/3, 압밀침하는 1/3, 팽이말뚝 2층 구조에서는 1/9로 억제되며 지지력 효과도 무처리 지반에 비해 50~100% 증대된다[6].

특히 일반 독립기초의 경우에는 Fig. 2.에 나타낸 것과 같이 측방유동 원인으로 중앙의 바로 아래에서만 강도증가가 나타나 큰 침하가 발생하게 된다. 그러나 팽이기초의 경우 기초단부에서 응력이 증가하고 중앙에서

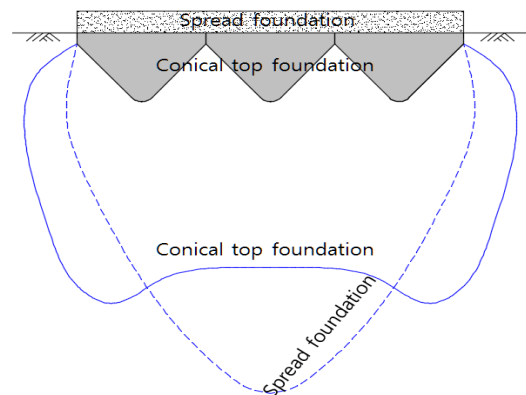


Fig. 2. Conical top foundation mechanism

응력이 등분포로 작용하는 특징을 볼 때 전형적인 강성 기초의 응력분포도를 보이고 있고 기초지반의 구속 효과가 일어나 지반의 측방유동이 방지되고 침하가 억제되는 거동을 보이게 된다. 따라서 모래 지반과 같은 유동성이 있는 지반 메카니즘적 원리를 토대로 개발할 수 있다.

3. 연구방법

3.1 연구 대상자

본 연구는 실험 참가자에 동의한 정상발의 조건[7] 을 만족하는 20대 성인 남성을 대상으로 실험 참가에 대하여 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 통일성을 위해 착용하는 신발의 사이즈는 260mm인 대상으로 선정하였고 신체조건 또한 실험의 완성도를 위해 선정하였다. 또한 한국인의 평균적인 일반 보행속도를 참고하여 4.0km/h의[8] 이용하여 실험하였다. 실험대상자의 신체 조건은 다음과 같다.

Table 1. General characteristics of the study participants

Subjects (n)	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Shoe size (mm)
15	171±3.5	70±3	27±3	260

3.2 측정 장비

족저압 측정 장비는 Techstorm 사의 무선 Insole System으로 무선의 Insole을 사용하여 압력 분포를 측정하였다. 실험에는 걸음에 대한 충격의 흡수와 마찰을 줄이는 기능의 일반적인 워킹화, 팽이기초가 접목된 개발 중인 신발 두 가지 종류의 신발이 사용되었다. 실험에 사용된 측정 장비의 사양은 다음과 같다.

Insole System

- No. of Sensing Elements : 106 cells(Left+Right)

- Display Resolution : 6 cell/cm²
- Size of Sensor : EU40(260mm)

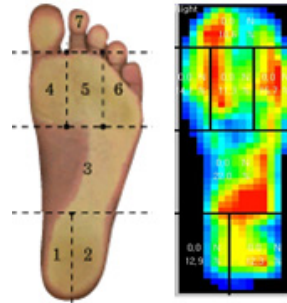


Fig. 3. Measure zone



Fig. 4. The shoes used in experiments

3.3 자료 처리

일반적인 워킹화, 개발 중인 신발을 Insole System의 압력 센서를 통해 최대 힘, 압력 분포, 평균압력을 분석하였다. 단단한 지반 과 느슨한 지반인 모래 지반에서 일반적인 워킹화, 개발 중인 신발을 이용 각 2회씩 측정하였다. 1 Zone ~ 7 Zone로 나누어 분석하였다.

3.4 지반조성

단단한 지반과 느슨한 모래 지반에서 보행시 압력 분포 변화를 측정하기 위해 실험환경을 조성하였다. 단단한 지반은 실험실 바닥을 보행 하였다. 느슨한 지반인 모래 지반은 균질성 확보 및 상대밀도를 만족시키기 위해 낙

하에 의한 방법[9] 으로 조성하였다.

상대밀도는 조립토의 조밀한 정도를 나타내는 것으로 Eq. (1) 같이 계산된다.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 e_{\max} 는 최대로 느슨한 상태에서의 간극비 이고 e_{\min} 은 최대로 다져진 상태에서의 간극비를 나타낸다.

Table 2. Relative density of soil

Relative density D_r (%)	Density state
0 ~ 15	very loose
15 ~ 50	loose
50 ~ 70	medium
70 ~ 85	dense
85 ~ 100	very dense

지반조성에 사용되는 주문진 표준사의 상대밀도 실험 전경과 결과는 다음과 같다.



Fig. 5. Sand rain experiment

Table 3. Relative density of construct ground

Relative density D_r (%)	
Sand rain height(mm)	Sand rain hole (4mm)
300	22.60
400	39.95
500	41.96
600	47.46

강사구 4mm에서 30mm의 강사 높이 일 때 상대밀도 22.6%로 느슨한 상태를 나타내며 느슨한 모래지반을 아크릴 토조에 조성하여 실험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

정상발의 조건을 만족하는 성인의 보행 시 개발신발과 일반적인 워킹화의 족저압 변화를 알아보기 위해 각 영역별 최대 힘, 압력분포도, 평균압력의 데이터를 ONE-WAY ANOVA 분석을 통하여 통계 처리 하였다. 앞서 F 값은 신발 종류별 변화량과 한 신발 내에서 변화량의 비이다. 신발 종류별 변화량이 크고, 한 신발 내에서 변화량이 작으면 F 값은 크게 나타나고 반대의 경우는 작게 나타난다. 또한 P 값은 통계적 유의성을 나타냈으며 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

4.1 후족 부위 (1, 2영역)

4.1.1 최대 힘

후족 1영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 ($F=4.35, P<.05$) 모래 지반($F=2.24, P>.05$) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

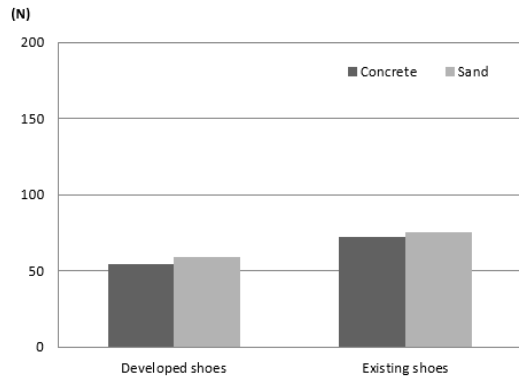


Fig. 6. Maximum strength of the 1 Zone

후족 2영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 ($F=0.57, P>.05$) 모래 지반($F=2.12, P>.05$) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

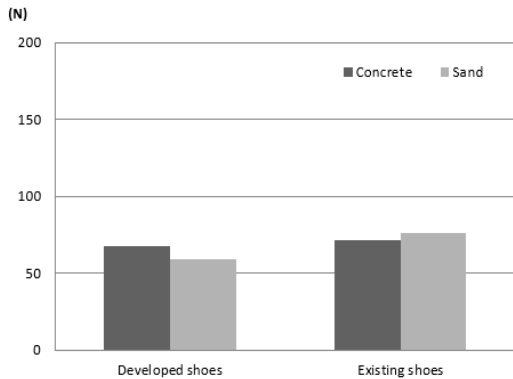


Fig. 7. Maximum strength of the 2 Zone

4.1.2 평균 압력

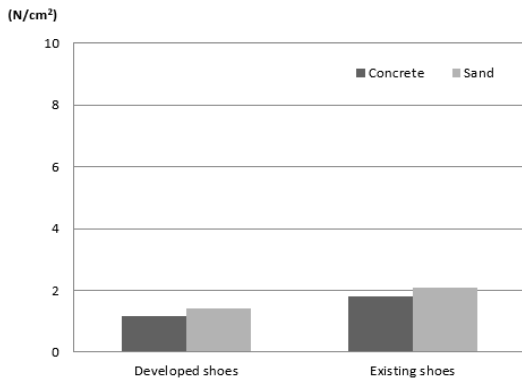


Fig. 8. Average pressure of the 1 Zone

후족 1영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 (F=7.81, P<.05) 모래 지반(F=3.99, P<.05) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

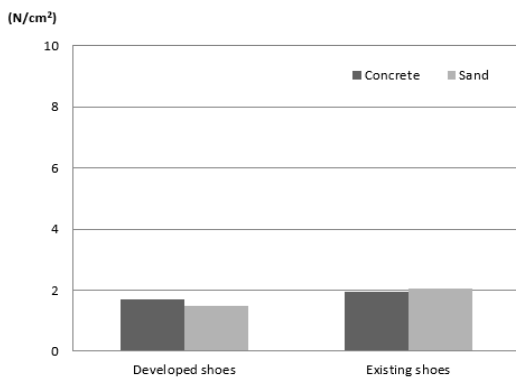


Fig. 9. Average pressure of the 2 Zone

후족 2영역 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 (F=1.57, P>.05) 모래 지반(F=2.56, P>.05) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

4.2 중족 부위 (3영역)

4.2.1 최대 힘

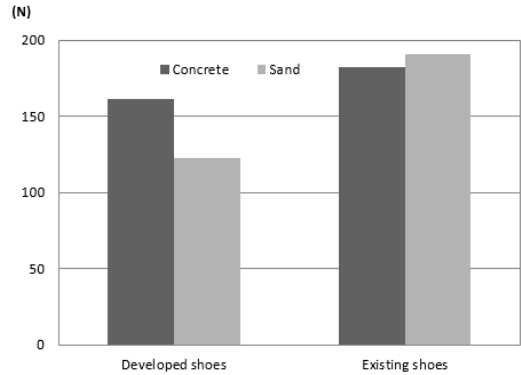


Fig. 10. Maximum strength of the 3 Zone

중족 3영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 (F=2.07, P>.05) 모래 지반(F=7.55, P<.05) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발이 낮게 나타났다

4.2.2 평균 압력

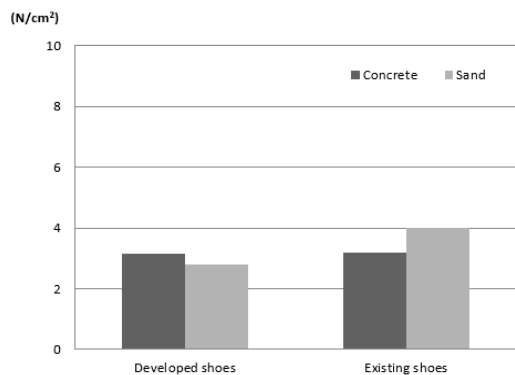


Fig. 11. Average pressure of the 3 Zone

중족 3영역 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 (F=0.01, P>.05) 모래 지반(F=4.40, P<.05) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발이 낮게 나타났다.

4.3 전족 부위 (4, 5, 6영역)

4.3.1 최대 힘

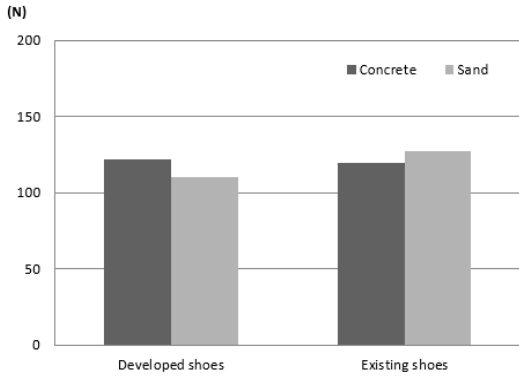


Fig. 12. Maximum strength of the 4 Zone

전족 4영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 ($F=0.93, P>.05$)과 모래 지반($F=0.70, P>.05$)중 콘크리트 지반은 개발 중인 신발이 모래 지반에서는 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 높게 나타났고 콘크리트 지반은 일반적인 신발인 워킹화 모래지반은 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

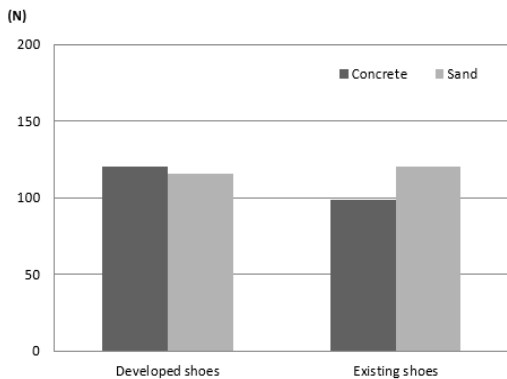


Fig. 13. Maximum strength of the 5 Zone

전족 5영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 ($F=2.18, P>.05$)과 모래 지반($F=0.06, P>.05$)중 콘크리트 지반은 개발 중인 신발이 모래 지반에서는 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 높게 나타났고 콘크리트 지반은 일반적인 신발인 워킹화 모래 지반은 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

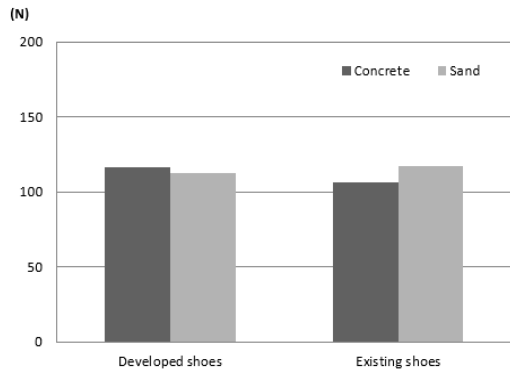


Fig. 14. Maximum strength of the 6 Zone

전족 6영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 ($F=0.36, P>.05$)과 모래 지반($F=0.04, P>.05$)중 콘크리트 지반은 개발 중인 신발이 모래 지반에서는 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 높게 나타났고 콘크리트 지반은 일반적인 신발인 워킹화 모래 지반은 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

4.3.2 평균 압력

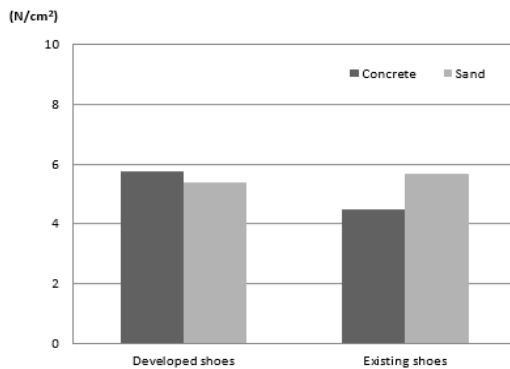


Fig. 15. Average pressure of the 4 Zone

전족 4영역 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 ($F=6.43, P<.05$)과 모래 지반($F=0.10, P>.05$)중 콘크리트 지반은 개발 중인 신발이 모래 지반에서는 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 콘크리트 지반은 일반적인 신발인 워킹화 모래 지반은 개발 중인 신발이 낮게 나타났다.

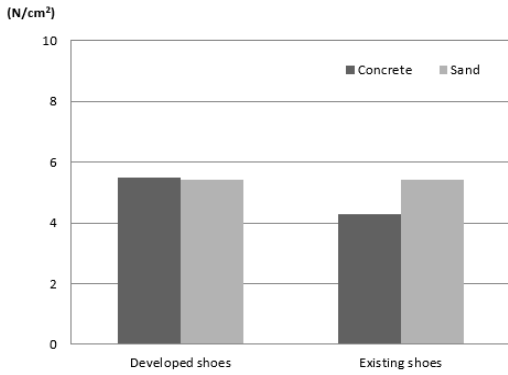


Fig. 16. Average pressure of the 5 Zone

전족 5영역 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 ($F=2.68, P>.05$)과 모래 지반($F=0.00002, P>.05$)중 콘크리트 지반은 개발 중인 신발이 높게 나타났고 모래 지반에서는 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 콘크리트 지반은 일반적인 신발인 워킹화가 모래 지반은 개발 중인 신발이 작게 나타났다.

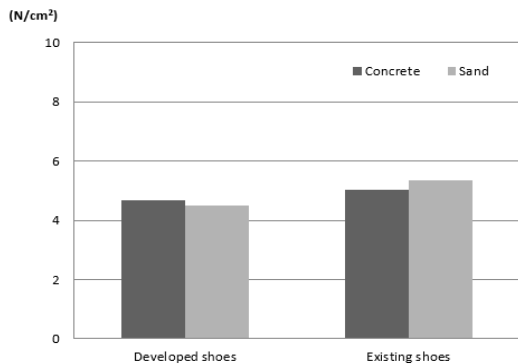


Fig. 17. Average pressure of the 6 Zone

전족 6영역 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 ($F=0.22, P>.05$) 모래 지반($F=0.66, P>.05$)모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발에서 작게 나타났다.

4.4 발가락 부위 (7영역)

4.4.1 최대 힘

발가락 7영역 부위에서의 최대 힘은 콘크리트 지반 ($F=4.25, P<.05$) 모래 지반($F=5.22, P<.05$) 모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발에서 작게 나타났다.

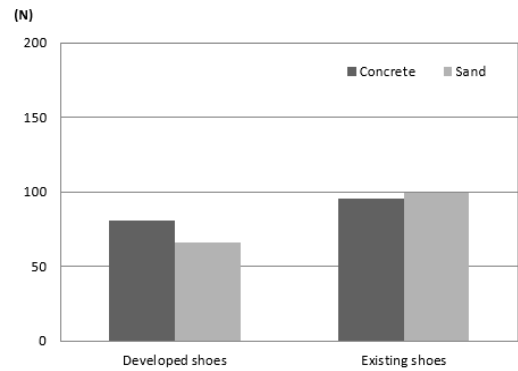


Fig. 18. Maximum strength of the 7 Zone

4.4.2 평균 압력

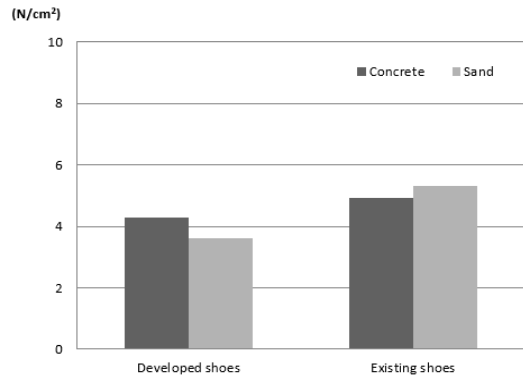


Fig. 19. Average pressure of the 7 Zone

발가락 7영역 부위에서의 평균 압력은 콘크리트 지반 ($F=1.28, P>.05$) 모래 지반($F=3.54, P>.05$)모두 일반적인 신발인 워킹화를 착용한 경우가 가장 높게 나타났고 두 지반 모두 개발 중인 신발에서 가장 작게 나타났다.

4.5 신발 종류에 따른 부위별 압력 분포도

4.5.1 Developed shoes

팽이기초를 접목시킨 개발 중인 신발의 부위별 압력 분포는 콘크리트 지반($F=29.8, P<.05$) 모래 지반 ($F=16.61, P<.05$)모두 전족 부위인 4영역 에서 가장 크게 나타났고 후족 부위인 1영역 에서 가장 작게 나타났다.

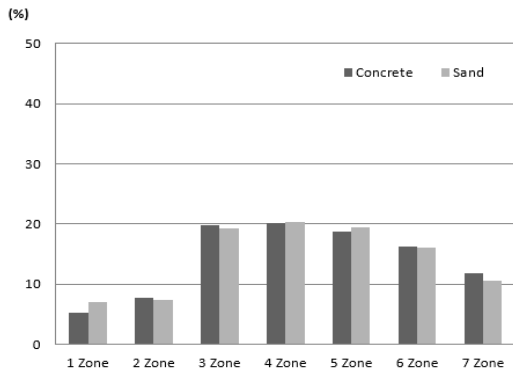


Fig. 20. Developed shoes pressure distribution

4.5.1 Existing shoes

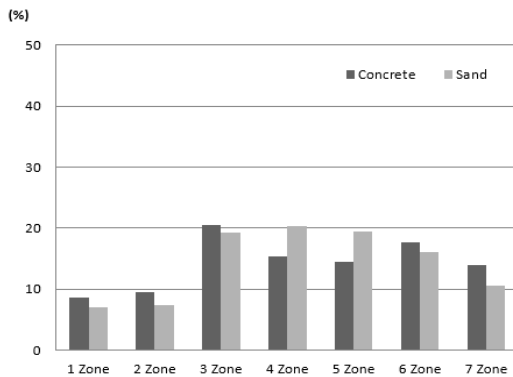


Fig. 21. Existing shoes pressure distribution

일반적인 신발인 워킹화에서 부위별 압력 분포는 콘크리트 지반($F=11.01$, $P<.05$)과 모래 지반($F=10.37$, $P<.05$)중 콘크리트 지반은 중족 부위인 3영역에서 모래 지반은 전족 부위인 4영역에서 가장 크게 나타났고 후족 부위인 1영역에서 두 지반 모두 작게 나타났다.

5. 결론

본 연구는 정상발의 조건을 만족하는 성인 15명을 대상으로 콘크리트 지반과 모래 지반에서의 보행시 개발 중인 신발과 일반적인 신발인 워킹화의 족저압의 분포를 측정하여 비교분석 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 핑이기초를 접목시킨 개발 중인 신발에서는 최대 힘이 핑이기초로 하여 분산효과로 인해 전반적으

로 조금이나마 작게 측정됨을 알 수 있다.

- (2) 평균 압력을 비교해보면 일반신발인 워킹화는 압력이 후족 및 중족 부위가 높게 측정되고 개발 중인 신발은 압력분산으로 전족 부위가 일반 신발보다 높게 나타남을 알 수 있다.
- (3) 부위별 압력 분포도를 보면 개발 중인 신발은 단단한 콘크리트 지반 및 모래 지반에서도 비교적 비슷한 보행으로 족저압이 측정되는 반면 일반적인 신발인 워킹화는 콘크리트 지반과 모래지반에서 확연한 차이를 보였다.

연구 결과 지반의 상태에 따라 각각의 특성을 가진 두 신발은 발 부위에 따라 족저압 분산 효과가 상이한 것을 확인할 수 있었다. 보다 지속적인 연구를 통해 다양한 고무 소재를 선택하여 추가적인 실험을 통하여 두 지반 모두 안정적이고 편안한 보행이 가능한 신발의 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

References

- [1] J. H. Song, C. H. Lee, B. J. Sung, "A Comparative Analysis in Kinetics between Spring Shoes and Normal Shoes", Korean Journal of Sport Science, Vol. 19 No. 1, 1-8, 2008.
- [2] S. H. Kim, H. Y. Lee, Y. D. Kim, "Plantar foot pressure distribution depending on ground conditions and shoe type", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16 No.4, 2899-2905, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2899>
- [3] Y. J. Moon, "Kinetic analysis trend for develop high Performance sport shoes", Korean journal of Sport Science, Vol.90 No.1, 25-30, 2010.
- [4] Nigg, B. M. "Biomechanical aspects of running. Biomechanical of runing shoes". 1-25, 1986.
- [5] Y. D. Kim, J. H. Lee, S. H. Kim, "Development of advanced technology shoes combined conical top". Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17 No.3, 724-731, 2015. DOI : <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.3.724>
- [6] C. Y. Choi, "The Ground Behavior of Top-Base Foundation with Various Shapes". Master's Thesis. Dankook University, 2016.
- [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.
- [8] S. H. Lee, S. H. Goo, Y. W. Chun, Y. J. Park, "The Spatial Location Analysis of Disaster Evacuation Shelter Considering Resistance of Road Slope and

Difference of Walking Speed by Age-Case Study of Seoul, Korea” Journal of the Korean society for geo-spatial information system Vol.23 No.2 69-77, 2015.

DOI : <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2015.23.2.069>

[9] T. S. Oh, “Model Testing and Analysis on Shield TBM Excavation for Railway Tunnel in Mixed Ground” Dept. of Railway Construction Engineering Graduate School of Railway Seoul National University of Science and Technology, 2014.

김 연 덕(Yeon-Deok Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 호서대학교 토목공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 호서대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 박사과정

<관심분야>

토질 및 기초, 터널 공학, 인체 공학

김 석 진(Seg-Jin Kim)

[정회원]



- 1994년 8월 : 강원대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 8월 ~ 2019년 8월 : 호서대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2015년 1월 : 육군공병 대령 예편
- 2015년 2월 ~ 현재 : 태영건설 경영고문

<관심분야>

토질 및 기초, 터널 공학, 인체 공학

민 병 현(Byeong-Heon Min)

[정회원]



- 1984년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1989년 8월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토질 및 기초, 상하수도, 인체 공학

김 상 환(Sang-Hwan Kim)

[정회원]



- 1985년 2월 : Asian Institute of Technology (공학석사)
- 1996년 2월 : Oxford University (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 교수
- 2014년 6월 ~ 2016년 5월 : 한국 터널지하공간학회 회장

<관심분야>

토질 및 기초, 터널 공학, 인체 공학