

비선형 유한요소법을 이용한 신발 해석 및 설계

문 병 영[†] · 김 병 수^{**}

*부산대학교 항공우주공학과 · **인제대학교 기계자동차공학부
(2003년 3월 12일 접수, 2003년 6월 30일 수정 및 채택)

Analysis and Design of Shoes Using Non-Linear Finite Element Method

B. Y. Moon[†], B. S Kim^{**}

Department of Aerospace Engineering, Pusan National University
School of Mechanical and Automotive Engineering, Inje University
(Received March 12, 2003, Revised & Accepted June 30, 2003)

요약 : 본 논문에서는 미드솔에 에어싸이클 펌프를 장착한 골프화에 대한 해석적 방법과 설계 기술을 보여준다. 골프화는 유한요소법으로 모델링 하였으며, 더 나은 설계를 위해서 신발을 구성하는 미드솔과 아웃솔의 형상을 고려하였다. 또한 미드솔에 있는 에어싸이클 펌프의 최적의 크기와 형상을 조사하였다. 표준 인체 압력 값을 유한요소해석의 경계 값으로 채택하였다. 오그덴 타입의 변형률에너지 함수의 미지 상수는 인장시험에 따라서 조사하였다. 비선형해석을 위해서 상용 유한요소해석 프로그램 MARC V7.3을 이용하여 미드솔과 아웃솔의 변형률과 부피 변화 값을 각각 구하였다. 미드솔과 아웃솔 유한요소법에 의해 구해진 값은 탄성체의 특성에 따라서 달리 나타난다. 여기에 보인 결과는 보다 나은 골프화 해석에 사용될 것이다. 더욱이, 결과 값들은 보다 효과적인 방법을 개발하기 위한 방법으로 신발산업체에 사용되어 질 수 있다.

ABSTRACT : This paper presents an analytic method and a design technique for golf shoes with air-cycled pump in the midsole. The golf shoes are modeled using the finite element method for better design by considering the configuration of the midsole and the outsole, which compose the golf shoes. Also the optimum size and shape of air-cycled pump in the midsole is examined. The values of standard human pressure for boundary conditions are adopted for the FEA(Finite Element Analysis). The unknown constants of the strain energy function of Ogden type are observed in accordance with the axial tension test. By the commercial FEM software for nonlinear analysis, MARC V7.3, the strains and the values of volume change for the midsole and the outsole are obtained, respectively. It can be concluded that results obtained by FEM in the midsole and the outsole are different depending on the characteristic of elastomer. The results reported herein provide better understanding of analyzing the golf shoes. Moreover, it is believed that those properties of the results can be utilized in the shoes industry to develop the effective design method.

Keywords : FEM(Finite Element Method), Outsole and Midsole, Strain Density Function, Golf Shoes, Air Pocket

[†] 대표저자(e-mail : moonby@pusan.ac.kr)

I. 서 론

최근 골프 인구의 증가로 인하여 급격한 소비 증가가 예상되는 골프화 시장에, 값싸고 고기능의 골프화의 수요가 요구되어 지고 있다. 그러나, 현 국내 골프 용품 시장에는 대부분의 골프화가 외국의 유명 제품들로 수입되고 있는 실정이다. 국내 신발 생산 중소기업은 자체 생산 기술을 바탕으로 몇몇 모델의 수출이 진행 중이나, 그 개발 기술의 대다수는 기본 개발 시스템을 갖추지 못하고 국외의 기술을 도입하는 것이 현 국내 중소기업의 현실이다. 골프화를 구성하고 있는 인솔(insole), 미드솔(midsole), 아웃솔(outsole) 등의 재질 선택 및 인체 공학에 바탕을 둔 구조 설계, 그리고 각각의 구성 단품을 이루는 소재의 배치 등에 대한 체계적인 해석 및 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 골프화 제작과정의 문제점을 해결하기 위한 첫 단계로서 비선형 유한요소법을 이용하여 골프화의 설계와 이에 따른 해석 방법을 제안하고자 한다.

일반적으로 신발 하단부의 구조는 발의 바닥 부분과 직접 접촉하는 인솔과 지면과 직접 접촉을 하게 되는 아웃솔, 그리고 인솔과 아웃솔 사이에서 신발 착용자의 피로감 및 지면과의 접촉으로 인해 발생하는 하중을 완화시키는 역할을 하는 미드솔로 구성되어 있다.¹

본 연구에서는 신발의 구성 부품 중에서 지면과 직접적인 접촉을 이루고 있는 아웃솔과 미드솔에 대하여 신체의 하중이 작용할 때의 변형량을 우선 구한다. 또, 지면과의 접촉시 미드솔에 작용하는 하중에 대한 반력을 최소화하고 신발 내부의 공기 순환을 극대화시킨다. 동시에 신발내부의 환경조건을 최적화시키기 위한 공기 순환용 에어포켓(air pocket)이 내부 영역에 존재할 때의 변형량을 상호 비교한다. 이러한 해석 결과를 통해 에어 포켓의 성능 및 착용감을 예측할 수 있다. 먼저, 본 논문에서는 기존 미드솔 및 아웃솔 형상을 3차원으로 모델링하고, 신체의 하중을 경계 조건으로 한 유한요소해석을 실시하여 미드솔 및 아웃솔을 구성하고 있는 탄성체 재질의 거동특성을 파악하여 설계

에 반영하고자 한다.

II. 해석 방법

해석에 사용된 골프화 모델은 인솔과 직접 접촉하는 미드솔 영역에 공기순환용 에어포켓의 공간을 가지고 있는 것으로, 미드솔은 일반 탄성체인 고무보다 연성이 큰 파이론(Phylon) 재질로 구성되어 있고, 아웃솔은 전형적인 복합 고무재질로 구성되어 있다. 우선, 상용 해석 프로그램(MARC v7.3)을 실행하기에 앞서 해석에 사용될 3차원 유한요소(FEM) 형상을 모델링하고 각 부분의 구성재질에 관한 탄성체의 거동 특성 파악을 수행하였다.

1. 유한요소 모델링

본 연구에서 해석되어진 미드솔과 아웃솔 형상은 대체적으로 많은 곡면의 조합으로 구성되어 있어 유한요소형상으로 표현하는데 많은 어려움이 따른다. 따라서, 초기 3차원 콘트롤 볼륨(control volume)은 전문 모델링 프로그램인 CATIA V5를 이용하여 구현한 뒤, 유한요소 해석에서 사용될 FE 데이터를 구하는 방식을 이용하였다. 즉, 우선적으로 Figure 1 (a)와 같이 선데이터(line data)를 이용하여 Figure 1 (b)의 요소 데이터(element data)로 구성하였다. Figure 2는 해석에 사용되어진 각각의 유한요소 형상을 나타내고 있다. 해석에서는 4절점 3차원 입체 요소, 즉 육면체요소를 사용하였다. 요소 타입은 Full & Herrmann Formulation HEX 84를 사용하였다.² 그리고, 해석에 사용된 각각 형상의 요소 수와 절점의 수는 Table 1에 정리하였다.

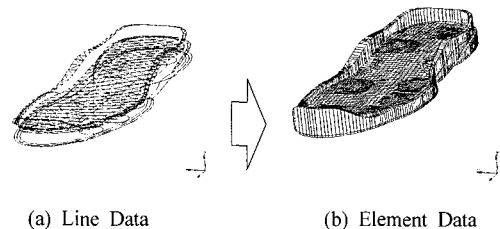


Figure 1. Modeling Data

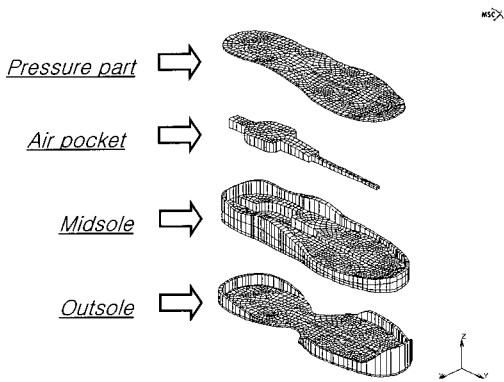


Figure 2. Modeling Golf Shoes with Air Pocket

Table 1. Mesh Generation Data

| | No. of Elements | No. of Node |
|---------------|-----------------|-------------|
| Midsole | 955 | 2644 |
| Outsole | 913 | 2484 |
| Air-Pocket | 340 | 526 |
| Pressure Part | 925 | 1970 |

2. 탄성체 거동 특성 및 재료 상수 결정

고무와 같은 탄성체는 거동 특성상 비선형성, 비압축성 및 대변형 특성을 띄기 때문에 일반 재질의 변형 양상을 나타내는 것과 같이 거동 특성을 표현하기에 상당한 어려움이 따른다. 본 논문에서는 이러한 거동특성을 나타낼 수 있는 변형률 에너지 함수 (strain energy function)를 고려해 보았다. 다시 말하면, 재료의 균질성, 대칭성, 및 내부의 제한조건 등이 요구되는 탄성체의 거동 특성은 변형률 에너지 함수를 이용하여 표현되어 진다. 즉, Mooney-Rivlin식과 Ogden함수의 두 가지를 고려해 볼 수 있다. 특히, 연신율 불변량으로 표현된 일반화된 Mooney-Rivlin의 변형에너지 함수가 가장 널리 쓰이며 그 식은 다음과 같다.^{3,4}

$$\bar{W}(I_1, I_2, I_3) = \sum_{r=0}^{\infty} \sum_{s=0}^{\infty} C_{rs} (I_1 - 3)^r (I_2 - 3)^s - (2C_{10} + 4C_{01}) \frac{1}{2} \ln(I_3) \quad (1)$$

여기서 C_{rs} 는 재료상수들이다. 그리고 연신율 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 에 대한 불변량 I_1, I_2, I_3 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2$$

$$\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 = 1.0 \quad (\text{비압축성일 경우})$$

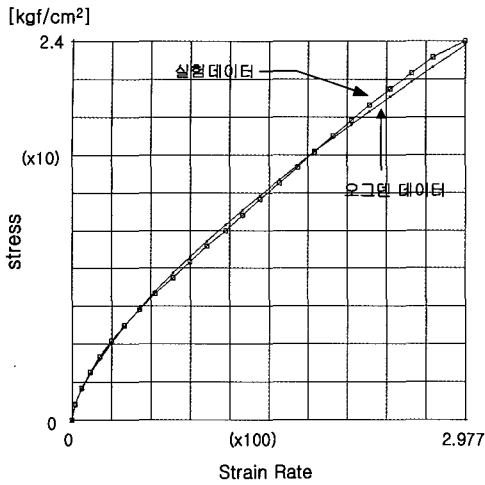
고무유사재료의 프와송의 비(Poisson's ratio)가 거의 0.5에 가까우므로 비압축성이라 가정하면 $I_3 = 1.0$ 이 되므로 식(1)에서 I_1, I_2 의 선형항만을 취한 형태는 단순 Mooney-Rivlin 모델(Generalized Mooney-Rivlin model) 또는 1차모델이라고 불리며 일반적으로 가장 널리 사용되고, 식(1)의 3차 급수전개 형태는 3차모델이라고 불리고 연신율이 큰 영역의 예측이 가장 좋은 결과를 보이는 것으로 알려져 있다. 그리고 N항의 초기 오그덴 변형률 에너지식(Original Strain Energy Form)은 다음과 같다.^{5,6}

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) \quad (3)$$

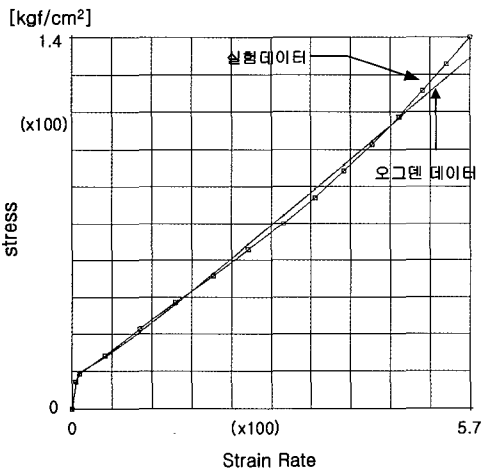
여기서, W는 변형률 에너지를 나타내며, μ_n, α_n 는 각각 탄성체 거동 특성을 표현하는 재질 상수를 나타낸다. 그리고 식(3)에 체적 팽창에 의한 인자(Dilatational Behavior)를 고려하면 다음식과 같이 나타내어질 수 있다.

$$\begin{aligned} W &= \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} J^{-\alpha_n/3} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) \\ &+ 4.5K(J^{-1/3} - 1)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, K는 탄성체의 벌크 상수를 나타내며, J와 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 는 탄성체의 변형률 불변량을 나타낸다. 상용코드(commercial code)의 특성 상, 해석 시 Mooney-Rivlin 변형에너지식을 사용하게 되면 재질을 비압



(a) Phylon-Midsole



(b) Rubber-Outsole

Figure 3. Property Data

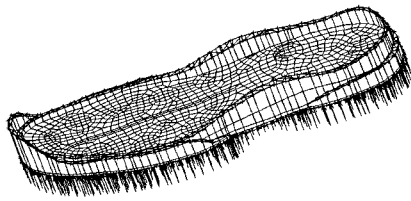
Table 2. Material Properties - Midsole [Phylon]

| | Ogden type | |
|--------------|--|--------|
| # of terms | 2 | |
| Bulk modulus | 2067 [kg/cm ²] | |
| Density | 1.64 × 10 ⁻⁴ [kg/cm ³] | |
| moduli | 0.435 | -0.035 |
| exponents | 1.701 | -2.511 |

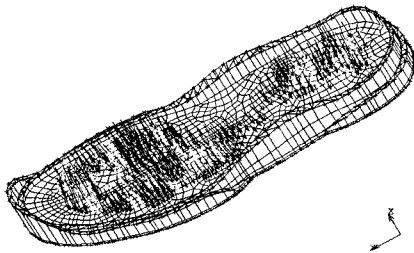
Table 3. Material Properties - Outsole [Rubber]

| | Ogden type | | |
|--------------|--|--------|--------|
| # of terms | 3 | | |
| Bulk modulus | 8829300 [kg/cm ²] | | |
| Density | 1.17 × 10 ⁻³ [kg/cm ³] | | |
| moduli | 0.261 | 33921 | 427000 |
| exponents | 1.979 | -0.052 | 0.0041 |

축성 재질로 자동적으로 가정하게 된다. 따라서 본 연구에서는 K 값에 의해서 비압축성의 여부가 판단되어질 수 있는 Ogden식을 사용하였다. 이 때, 변형률 에너지 함수의 거동 특성을 표현하는 재질 상수를 결정하기 위해 탄성체 시편에 대한 몇 가지 기본적인 시험이 먼저 수행되어야 한다. 시편 시험의 종류에는 단축 인장, 단축 압축, 2축 인장 그리고, 단순 전단 시험 등이 있다. 현실적이고 신뢰할 수 있는 압축 변형 데이터를 구하기 위해서는 단축 압축 시험데이터를 이용하여야 할 것이다. 그러나 본 연구의 주목적은 공기순환용 에어포켓 장착에 대한 타당성을 연구하는데 있다. 그리고 인솔과 아웃솔 각각의 내부에서의 에어 포켓의 존재 여부에 따른 변형분포를 비교하고자 하였다. 따라서 본 연구의 해석에서는 단축 인장 시험을 통해 얻어진 응력-변형률 데이터를 이용하여 각각의 탄성체 거동 특성을 표현하는 재질 상수를 결정하였다. Figure 3의 (a)와 (b)는 미드솔과 아웃솔의 시편을 이용한 응력-변형률 시험 데이터와 해석에 적용하기 위한 오그덴 상수를 구하기 위해서 사용되어진 그래프를 나타낸다. Table 2와 Table 3은 본 해석을 수행하는 데 사용되어진 미드솔 재질인 파이론과 아웃솔 재질인 고무의 거동 특성을 나타내는 상수들이다. 여기서 파이론의 경우 2개의 오그덴 계수를 고려하였을 때 Figure 3 (a)에 보여지는 것과 같이 실험데이터와 가장 유사한 데이터를 얻었고, 고무의 경우 3개의 오그덴 계수를 고려하였을 때 Figure 3 (b)에 보여지는 것과 같이 가장 실험데이터와 가장 유사한 데이터를 얻을 수 있었다.



(a) Constraint Condition



(b) Pressure Condition

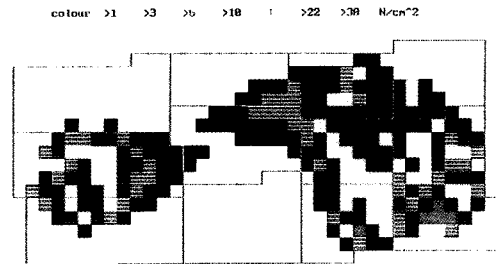
Figure 4. Constraint Conditions

3. 유한요소 해석

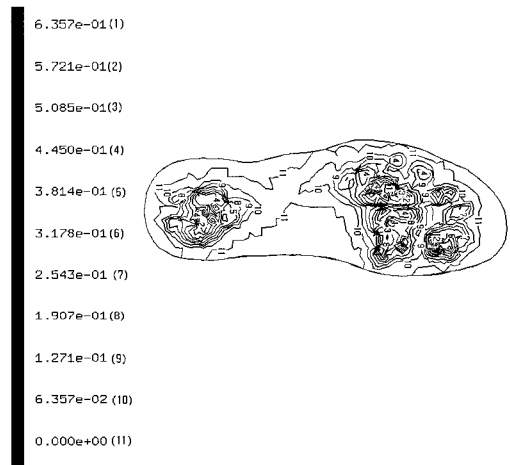
해석용 상용프로그램을 실행하기 위하여 우선적으로 모델링 되어진 형상 Figure 4 (a), (b)와 같이 미드솔 및 아웃솔에 대해서 경계조건(boundary condition)을 부여하였다. 경계조건은 구속조건과 하중조건으로 나누어 진다.^{7,8}

3.1 경계 조건 I - 구속 조건

실제 미드솔과 아웃솔의 구성은 하나의 재질과 같이 거동될 수 있도록 서로 간의 접착 조건이 완벽하게 이루어져 있다. 따라서, 해석상에서는 미드솔의 하단부와 아웃솔의 상단부에 위치하는 요소의 절점이 서로 공유되어 해석에서 구해지는 값들의 연속성이 유지되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 모델링 및 해석을 수행하기 위하여 형상 모델링 및 요소생성(mesh generation) 단계부터 미드솔의 절점(node) 및 요소(element)들은 아웃솔의 상단부의 요소 및 절점들과 공유되어질 수 있도록 하였다. 그리고 아웃솔에서 지면과 접촉하는 부분의 절점들을 구속시키도록 경계조건을 부여하였다.



(a) Pressure Data

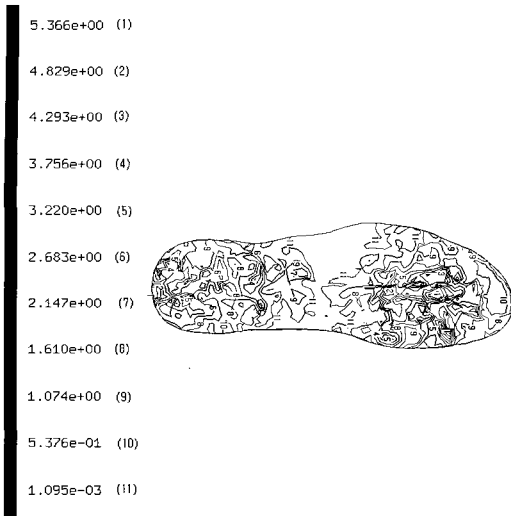


(b) External Force Distribution

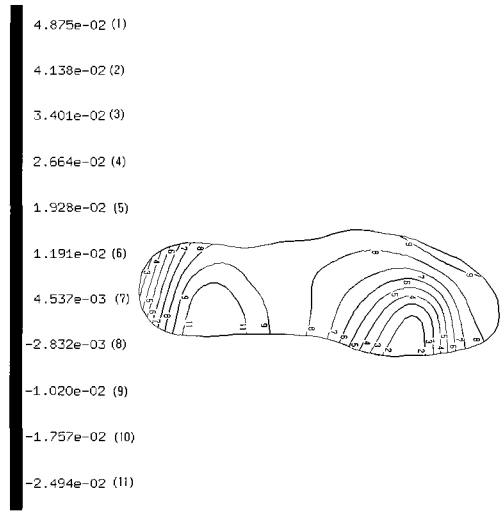
Figure 5. Pressure Data and External Force (단위 : N/cm^2)

3.2 경계 조건 II - 하중 조건

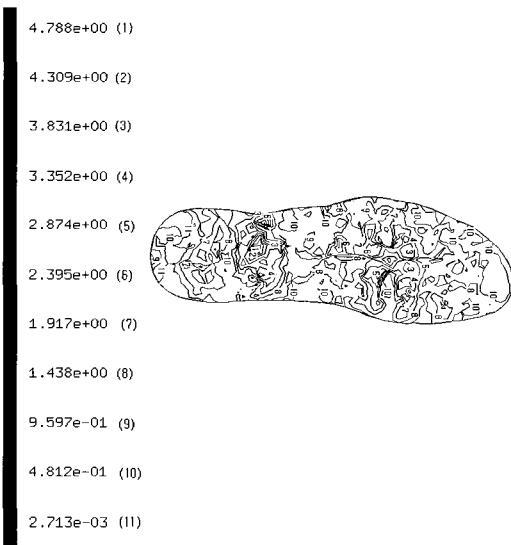
골프화용 미드솔 및 아웃솔에 대한 해석시 적용된 하중 조건은 한국 신발 피혁 연구소에서 보유하고 있는 일반인의 신발 착용시의 표준화된 압력 데이터를 적용하였다. 즉, Figure 5 (a)는 발의 사이즈는 260 mm이고 몸무게 68 kg의 몸무게를 가진 남자가 시속 5.4 Km/h의 보통 속도로 보행시의 발에 작용하는 압력을 20회 측정하여 데이터를 평균치로 분석하여 그 데이터를 색깔로 구별하여 나타낸 것이다. 이를 이용하여 해석에 사용된 하중 조건을 부여하였고 그 결과로서 Figure 5 (b)에서 보듯이 발의 접촉에 의한 외력분포 결과에서 확인할 수 있다.



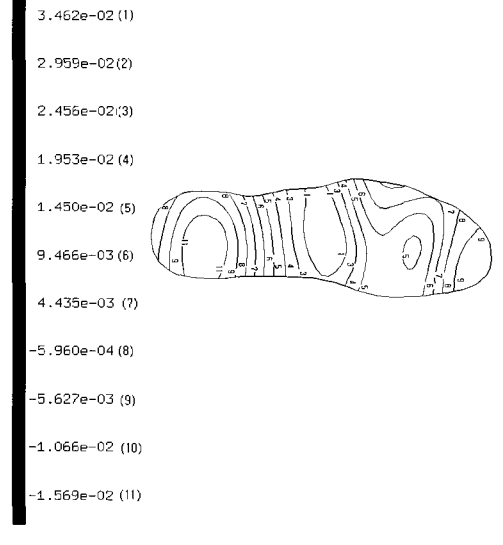
(a) Existing Air-Pocket



(a) Existing Air-Pocket



(b) Not Existing Air-Pocket



(b) Not Existing Air-Pocket

Figure 6. Reaction Force (unit : N/cm^2)

Figure 7. Displacement Distribution (unit : cm)

III. 해석 결과

에어포켓(Air Pocket)을 장착한 골프화와 기존의 골프화의 성능을 비교하기 위해서 에어포켓의 유무에 따른 해석이 이루어졌다. 그리고 그 단면 형상에 따른 해석을 수행하였다. 또한 최적설계를 위

해 스파이크의 수량을 바꾸어 해석을 수행하였다. 단, 해석결과를 보여주는 그림들의 숫자들은 그림의 왼쪽에 나타난 수치들과 대응되어진다.

1. 에어포켓(Air-Pocket)의 유무에 따른 해석결과
Figure 6에서 가압영역(pressure part)의 윗면(Up-

per Surface)에 작용하는 에어포켓의 유무에 따른 반력해석 결과를 보여주고 있다. 에어포켓이 있는 경우에는, Figure 6 (a)과 같이 최대 반발력이 골프화의 앞쪽과 뒤쪽 영역에서 분산되어 발생하였다. 반면, Figure 6 (b)에서 보이는 바와 같이 에어포켓이 없는 경우, 골프화의 뒤쪽 부분에서 최대 반발력이 발생되고 있다.

또한 Figure 7 (a), (b)의 에어포켓의 유무에 따른 변형 분포를 통해 착용감을 예측할 수 있을 것이다. 즉, 변형분포가 Figure 7 (b)와 같이 크기와 분포가 불규칙적이고 불균일한 분포는 착용감에 있어서 불편함을 초래할 수 있음을 예측할 수 있을 것이다.

따라서, 공기순환을 위한 에어포켓이 없는 골프화에 비하여 에어포켓이 장착된 골프화의 착용감이 더 우수함을 해석결과를 통해 예측할 수 있을 것이다. 그러나, 공기순환용 에어포켓을 장착한 본 골프화의 구조상 골프화의 뒷부분에 발생하는 반발력으로 인해서 발의 불편함이 예상되어 진다.

2. 에어포켓(Air Pocket)의 형상에 따른 해석결과
 앞의 해석결과로 알 수 있듯이 에어포켓(air

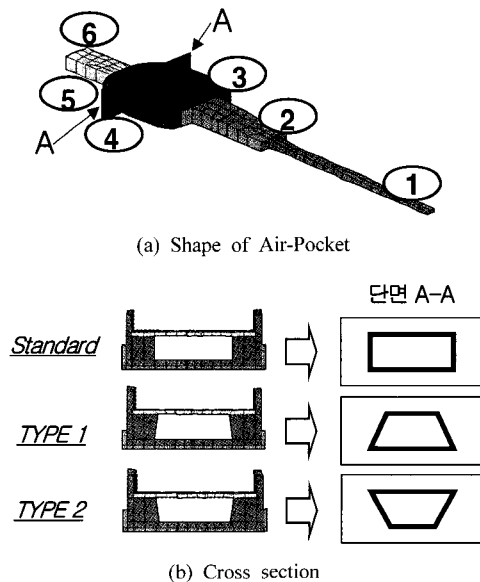


Figure 8. Air-Pocket shape and cross section type

pocket)의 존재로 인해 반발력이 발 뒤쪽에 집중적으로 발생하여 골퍼의 피로감을 유발시킨다. 따라서 본 해석에서는 Figure 8 (a)와 같이 구성되어진 공기순환용 에어포켓의 (A-A)단면형상을 바꾸어 반력의 분포를 분산시켜 착용감을 향상시키는 효과를 얻고자 한다. 그 단면형상은 Figure 8 (b)와 같다. 단, 공기 순환함에 크게 변화를 주지 않을 뿐만 아니라, 에어포켓을 장착하여 공기순환을 시킴으로서 얻을 수 있는 효과에는 영향을 미치지 않는 범위 내에서 에어포켓의 단면 모델링 및 해석을 고려하였다. Figure 8과 같은 방법으로 에어포켓의 각 부분별 체적변화량을 Table 4에서 보여주고 있듯이 에어포켓의 단면형상에 따른 체적은 큰 차이가 없다. Figure 9에서는 반력에 의한 에어

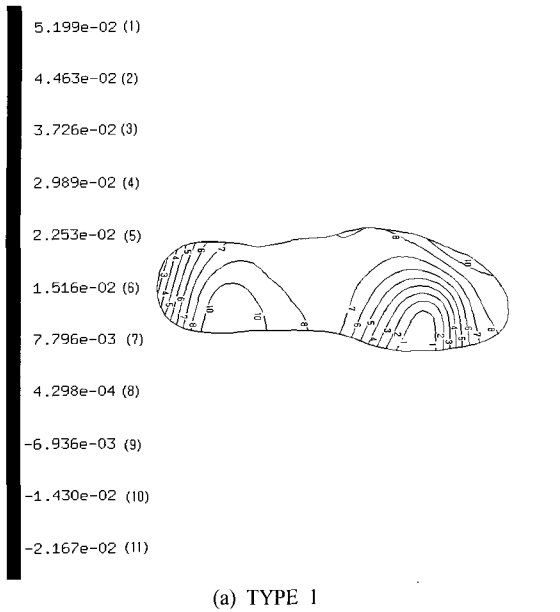
Table 4. Volume Change Data of Parts of Air-Pocket (unit : cm^3)

(a)

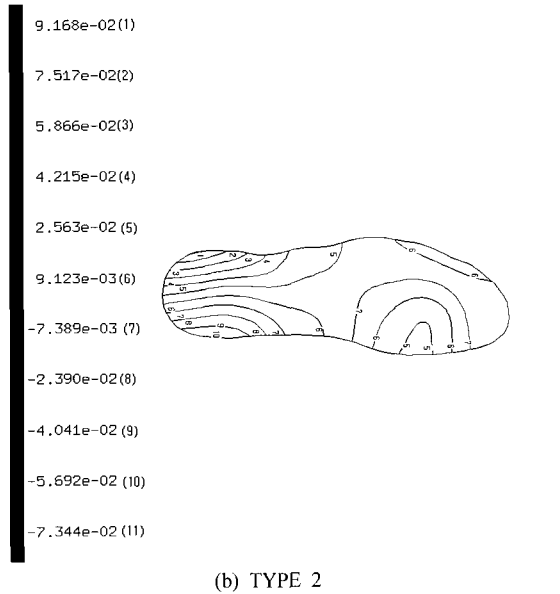
| Part | Standard air pocket volume change | | TYPE 1 air pocket volume change | | TYPE 2 air pocket volume change | |
|--------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
| | Initial | After Pressing | Initial | After Pressing | Initial | After Pressing |
| part ① | 2.242 | 2.241 | 2.242 | 2.517 | 2.242 | 2.519 |
| part ② | 6.403 | 6.394 | 6.747 | 6.734 | 6.747 | 6.743 |
| part ③ | 8.000 | 6.182 | 7.427 | 6.399 | 7.427 | 6.404 |
| part ④ | 13.422 | 12.080 | 13.715 | 12.945 | 13.715 | 12.962 |
| part ⑤ | 7.408 | 6.313 | 6.919 | 5.996 | 6.919 | 6.177 |
| part ⑥ | 3.638 | 3.636 | 3.787 | 3.792 | 3.787 | 3.503 |
| Total | 41.113 | 36.846 | 40.837 | 38.382 | 40.837 | 38.310 |

(b)

| Part | Amount of Volume change | | |
|--------|-------------------------|--------|--------|
| | Standard | TYPE 1 | TYPE 2 |
| part ① | 0.001 | -0.275 | -0.277 |
| part ② | 0.008 | 0.013 | 0.003 |
| part ③ | 1.818 | 1.028 | 1.023 |
| part ④ | 1.342 | 0.770 | 0.752 |
| part ⑤ | 1.095 | 0.923 | 0.742 |
| part ⑥ | 0.001 | -0.004 | 0.284 |
| Total | 4.266 | 2.455 | 2.528 |



(a) TYPE 1



(b) TYPE 2

Figure 9. Displacement Distribution Depending on Shape of Cross Section (unit : cm)

포켓의 단면에 따른 변형량을 보여주고 있다.

에어포켓의 단면 Type 2에서는 아웃솔 전체에 균일한 변형량을 보이고 있지만 골퍼의 발바닥에 전달되는 반발력이 발 뒤쪽 영역에서 여전히 집중

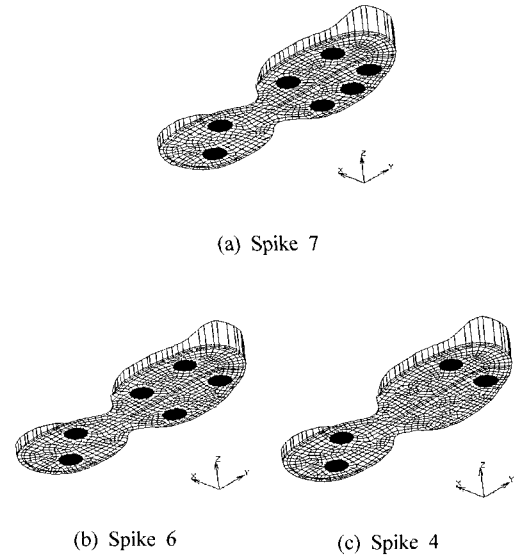


Figure 10. Position of Spike

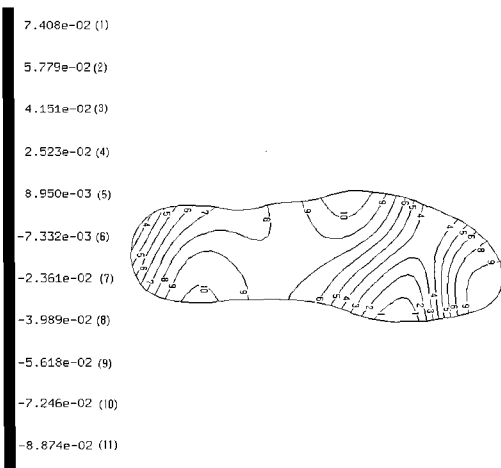
적으로 발생하고 있음을 변형량을 통해서 볼 수 있고, 이러한 결과로 골퍼의 피로감을 유발하게됨을 예상할 수 있다. 에어포켓 단면이 표준 타입인 경우와 Type 1인 경우에 반발력 전달 측면에서는 뛰어난 기능을 발휘함을 해석결과를 통해 확인할 수 있다. 그리고 에어포켓 자체(①~⑥)의 부분별 체적변화량은 Table 4에 잘 나타내어져 있다. 표준 타입에서 체적변화량이 가장 높음을 알 수 있었다. 즉, 공기 순환량이 표준타입에서 가장 뛰어나음을 알 수 있다.

3. 스파이크(Spike) 수량에 따른 해석결과

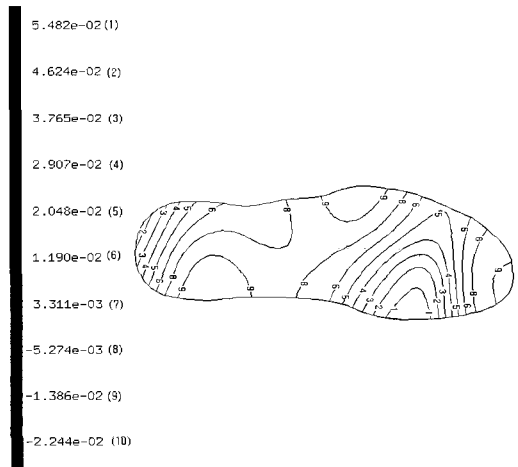
스파이크는 골퍼가 스윙(swing)시 지면과 골프화를 충분히 지지해 주는데 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 따라서 본 해석에서는 골프화의 아웃솔 부분에 부착되어 있는 스파이크에 초점을 맞추어 모델링 및 해석을 수행하였다. 해석은 골프화의 스파이크 수량을 바꾸어 수행되었다. 본 연구는 골프화의 공기순환정도과 발의 압력분포를 규명하고자 하는 것이 주목적이므로 기본적인 스파이크의 수를 채용하여 해석을 수행하였다. Figure 11~14에서 보여지는 해석결과들은 스파이크의 수량 및 공기 순환용 에어 포켓의 형상 타입에 따른 변형

분포를 각각 비교하여 보여주고 있다. 즉, Figure 10에 보여지는 것과 같이 기본적인 형태인 7개 그리고 6개, 4개의 순으로 행하여졌다. 또한 앞에서 이미 수행하였던 공기순환을 위한 에어포켓의 형상과 에어포켓이 없는 상태에서도 해석이 수행되었다. 스파이크가 4개인 경우는 가운데 부분에 변형이 크게 발생하여 착용감이 좋지 못할 것으로

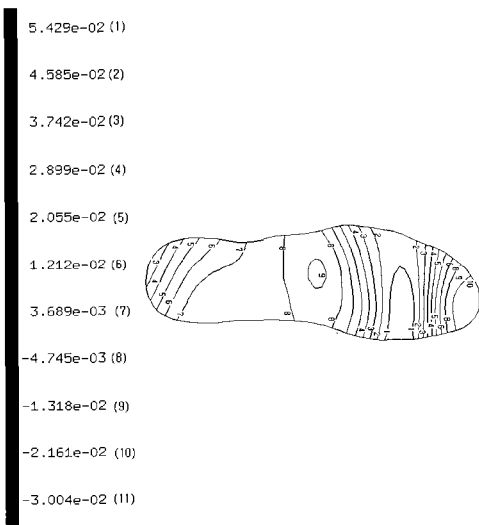
예상되어진다. 또한 지면과 골프화의 접촉도 좋지 못하여 골퍼가 스윙(swing)시 불안정한 상태가 될 수 있다. 또한 스파이크가 6개인 경우는 발의 앞쪽 부분에서 발생하는 변형이 착용감에 좋지 못한 영향을 미칠 것으로 보여진다. 그리고 스파이크가 7개인 경우, 착용감 뿐만 아니라 골퍼의 스윙시 지면과 접촉상태가 양호하여 가장 좋은 기능을 발휘



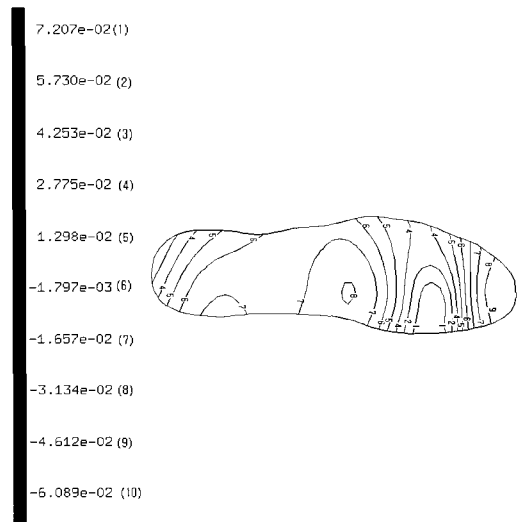
(a) Spike 6



(a) Spike 6



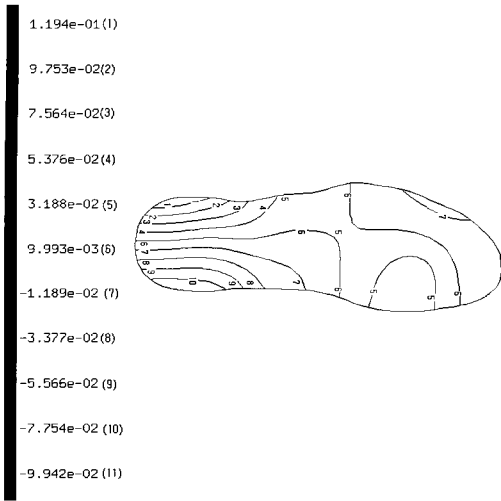
(b) Spike 4



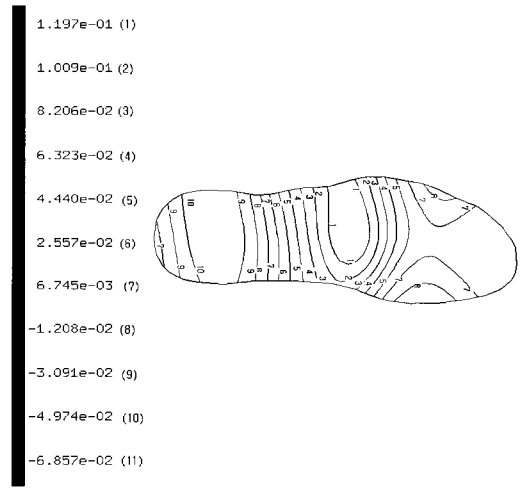
(b) Spike 4

Figure 11. Displacement Depending on Number of Spike with Standard Type of Air-Pocket (unit : cm)

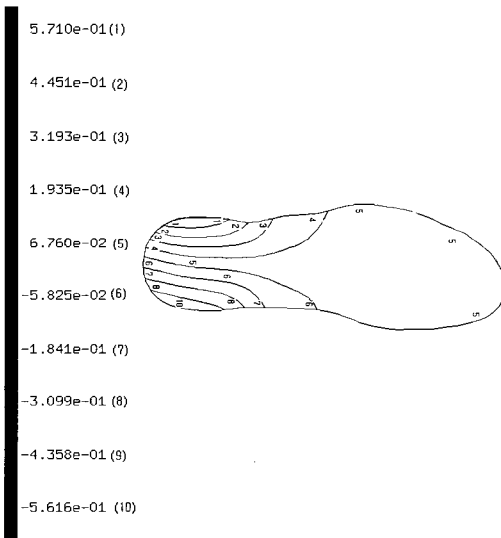
Figure 12. Displacement Depending on Number of Spike with Type 1 of Air-Pocket (unit : cm)



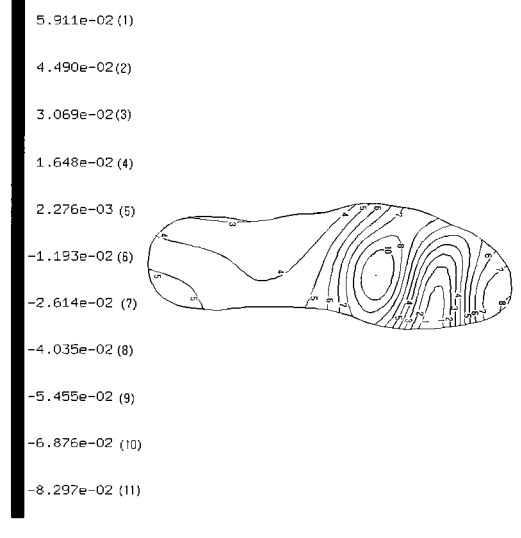
(a) Spike 6



(a) Spike 6



(b) Spike 4



(b) Spike 4

Figure 13. Displacement Depending on Number of Spike with Type 2 of Air-Pocket (unit : cm)

Figure 14. Displacement without Air-Pocket (unit : cm)

할 것으로 보여진다. 따라서, 7개의 스파이크가 장착되어진 골프화 모델의 결과가 가장 좋은 것으로 보여진다.

실제로 현실적인 스파이크 수량을 고려하기 위해서는 스파이크수량을 보다 증가시켜(8~12개 정도)해석을 수행하는 것이 보다 합리적일 것이다. 따라서 향후 이를 고려한 보다 심도 있는 연구를

수행하고자 한다.

IV. 결 론

본 연구에서는 비선형 유한요소법을 이용하여 골프화의 해석과 설계에 관하여 제안하였다. 제안된 설계방법을 검토하기 위하여 세 가지 경우에

대해서 공기순환용 에어 포켓을 장착한 골프화 해석이 수행되어졌고, 다음과 같이 해석결과를 정리해 볼 수 있다.

첫째, 에어포켓이 장착된 경우, 아웃솔의 뒤쪽 부분에 발생하는 최대 반발력이 아웃솔의 앞쪽과 뒤쪽 영역에 분산되어 나타나므로 골퍼의 피로감 발생을 억제하는 역할을 기대할 수 있을 것이다. 따라서, 골프화에 작용하는 반발력의 차이를 통해 골퍼의 착용감을 예측할 수 있다.

두번째, 골프화 내부의 공기순환을 위해 장착된 에어포켓이 착용감에 미치는 영향을 해석을 통해 예측해 보았다. 즉, 에어포켓의 단면을 3가지 형상에 대해서 해석을 수행한 결과 TYPE 2가 아웃솔 전체에 균일한 변형량을 보이지만 골퍼의 발바닥 뒤쪽 영역에서 집중적으로 발생하여 골퍼의 피로감이 유발됨을 예측할 수 있다. 그리고 표준타입과 TYPE 1은 반발력 전달측면에서 뛰어난 기능을 발휘하지만 공기 순환량에 대해서는 표준타입이 우수함을 알 수 있었다.

세번째, 골프화의 아웃솔 부분에 장착되어 있는 스파이크의 수량에 대해서 해석을 수행하여, 지면과 접촉 여부를 판단하여 골퍼가 안정감을 유지할 수 있는 최적의 스파이크 수량을 예측하는데 본 연구의 결과를 활용하여 최적설계를 실현하는데 도움이 될 것이다. 즉, 스파이크 수량이 4개인 경우는 변형량이 가운데 부분에 크게 발생하여 골프화의 기능과 착용감 측면에서 좋지 못한 결과가 예상되어 진다. 스파이크 6개인 경우는 발의 앞쪽 부분에 발생하는 변형이 착용감에 좋지 못한 영향이 예상되고 스파이크가 7개인 경우, 4개와 6개의 경우와 비교하여 착용감 뿐만 아니라 골퍼의 스윙시 지면과 접촉상태가 양호하여 가장 좋은 기능을 발휘할 것으로 보여진다. 이상과 같이 본 연구에서

공기 순환용 에어 포켓을 장착한 골프화의 모델을 이용한 해석을 수행하여 골프화의 기능성 향상에 기여함으로써 고객이 요구하는 골프화의 최적설계 및 설계기간을 단축하는데 기여할 수 있을 것이다.

후 기

실험 및 관련데이터 제공에 협조해 주신 (주)마톡 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. D. Lemmon, T. Y. Shiang, A. Hashmi, J. S. Ulbrecht, P. R. Cavanah, "The Effect of Insoles In Therapeutic Footwear-A Finite Element Approach", *Journal of Biomechanics*, **30**(6), 615 (1997).
2. MARC Vol. A User Information, MARC Analysis Research Corporation (1994).
3. A. N. Gent, "Engineering with Rubber", New York:Oxford Univ. Press (1992).
4. S. J. Shin, T. S. Lee, and S. I. Oh, "Three-dimensional Finite Element Analysis of Rubber Pad Deformation-Part II : Application", *Journal of The Korea Society Mechanical Engineering*, **22**(1), 121 (1998).
5. S. J. Shin, T. S. Lee, and S. I. Oh, "Three-dimensional Finite Element Analysis of Rubber Pad Deformation- Part I : Development of Implicit and Explicit Methods", *Journal of The Korea Society Mechanical Engineering*, **22**(1), 111 (1998).
6. S. J. Shin, T. S. Lee, and S. I. Oh, "Finite Element Modeling of Rubber Pad Forming Process", *Journal of The Korea Society of Precision Engineering*, **9**(9) (1998).