

# 안전화 경량화를 위한 플라스틱 Toe-Cap에 관한 연구

조광수<sup>†</sup>·강태호\*·김인관\*\*·김영수\*\*\*

## A Study on plastic Toe-Cap for safety shoes

K. S. Cho, T. H. Kang, I. K. Kim and Y. S. Kim

**Key Words:** Safety Shoes(안전화), Toe-Cap(토캡), Compression Test(내압박시험), Impact Test(내충격시험), Tensile Stress Test(인장시험)

### Abstract

Safety-Shoes are developed for heavy industry. Nowadays with the development of industry, it is increase on all of industry field. Safety-Shoes are to be classified into using intention. And it's developed not only protect from danger but also more comfort wearing. When wear a safety shoes, in cold weather, serious disease could be occur such as frostbitten and so on. In the study replaces steel toe-cap by polymer. Moreover add keeping warm, light weighting, chemical-proof. So we develop plastic Toe-Cap using plastic technology. And result of material property tess considered plastic to be using light work Safety Shoes Toe-Cap.

### 1. 서 론

현대 산업 발전의 추세에 부응하여 안전화의 수요는 급증하고 있다. 안전화는 작업중 충격하중, 화학약품 또는 감전 및 정전기의 대전을 방지하는 등의 여러 가지 사용목적에 따라 가죽제 안전화, 고무제 안전화, 정전기 안전화, 발등안전화, 절연화 등으로 나뉘어 진다.

종래의 안전화는 중공업 중심의 사업에 알맞게 개발되어 안전만을 고려한 안전화가 주로 사용되었으나 최근 전기, 전자, 메카트로닉스 산업 등으로 다양화 됨에 따라 안전뿐만 아니라 사용자 편의를 중요시하는 고급형 안전화로써 경량화 및 착용에서의 쾌적감을 동시에 추구하는 새로운 작

업 안전화가 필요하게 되었다. 또한 겨울철에는 사용 환경을 더욱 악화시켜 동상 등의 부작용을 발생시키므로, 기존의 구조(금속재 Toe-Cap 및 바닥 보강판)를 유지하면서 개선된 안전화를 개발하는 데에는 한계가 있다. 본 연구에서는 기존의 금속재 Toe-Cap 및 바닥 보강판을 폴리머를 기초로 한 재료로 대체하여 기존의 금속재 Toe-Cap의 단점을 쉽게 보완할 뿐만 아니라 경량화, 보온성, 내구성 등의 기능을 개선할 수 있다. 또한, 엔지니어링 플라스틱 및 FRP에 대한 연구가 급격히 진전됨에 따라 기존의 금속 보강재를 충분히 대체할 수 있을 뿐만 아니라 더욱 향상된 기능에 대한 요구에 대해서도 만족시킬 수 있다.

국내의 안전화 분류에 따른 성능 규정을 보면 중작업용 안전화의 경우 1400kg이상의 압박하중을 견딜 수 있도록 설계되며, 보통작업용 안전화의 경우는 1100kg, 경작업용은 450kg이상의 압박하중으로 시험하도록 규정되어 있다. 최근 유럽 및 일본에서는 내 압박성능 및 내충격 성능에서도 기존의 강재선심과 동등한 성능을 나타낼 뿐만 아니라 그 성능이 향상되고, 동상 또한 방지할 수 있으며, 소각이 가능한 친환경재료인

<sup>†</sup> 부경대학교 기계공학부

E-mail : ks1977@hanmail.net

TEL : (051)623-8497 FAX : (051)623-8497

\* 부경대학교 기계공학부

\*\* , \*\*\* 부경대학교

ACM(Advanced Composite Material) 합성수지를 이용한 Toe-Cap에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 합성수지를 이용할 경우 감전 사고를 효과적으로 방지할 수 있을 뿐 아니라 금속 부식을 근원적으로 방지할 수 있어 인간 친화형 안전화로 인식되고 있다.

국내의 엔지니어링 플라스틱 및 FRP제품 생산 기술은 선진국과 비교하여 대등한 기술을 보유하고 있으며, 특히 고분자 복합 재료의 개발, 금형 가공기술 및 제품성형기술에 있어서도 세계적인 수준에 도달하였다고 사료된다.

본 연구에서는 고강도 경량 플라스틱 재료의 선정을 위한 재료시험과 구조해석 및 성형해석을 토대로 최적의 금형을 제작하고, 성형된 Toe-Cap의 성능 시험을 수행하여 기존의 금속재 Toe-Cap을 플라스틱으로 대체하고자 한다.

## 2. 연구의 목표 및 내용

본 연구는 기존의 금속재 Toe-Cap을 대체함으로써 국내 안전화 재료 및 제품규격을 기준으로 하며 현재 국내에서 안전화에 사용하는 부품의 재료와 성질을 살펴보면 다음과 같다.

Fig.1은 Toe-Cap의 선심의 측면도로써 Table 1에 선심과 걸창의 치수와 두께에 관한 규정이 설명되어 있다.

본 연구에서는 시장성이 높고 활동성을 보장할 수 있는 고강도 경량 안전화를 개발함을 일차적인 목표로 하며 이를 위하여 금속재를 대체한 ACM계 수지를 채택하여 종래의 강재선심을 이용한 제품과 동등한 강도를 가질 뿐 아니라 40% 이상의 경량화를 달성할 수 있는 새로운 Toe-Cap 개발을 최종 목표로 한다.

플라스틱 Toe-Cap은 금속부식의 원천방지, 소각처리가능, 우수한 반발탄성으로 충격흡수가 가능하며, 보온성의 향상으로 동상을 방지할 수 있고, 소재대체에 따른 접착성이 향상된다.

안전화의 성능 평가방법은 산업안전관리공단의 안전화 성능검정 규정에 의하여 평가할 수 있으며, Toe-Cap관련된 사항은 내압박시험, 내충격시

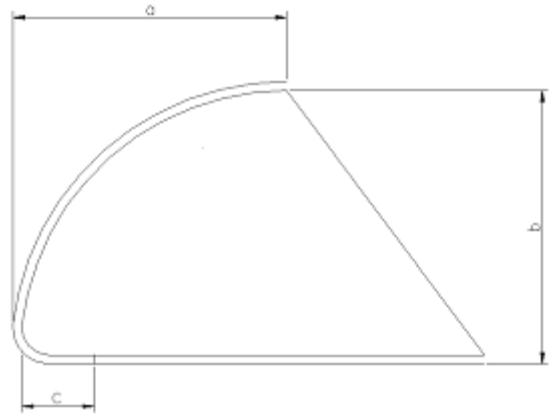


Fig. 1 Schematic diagram of Toe-Cap

험, 제품경량화, 박리시험 등이 있다. 내압박시험은 내압박시험 장치로 규정된 하중을 가하여 압박된 정도를 시험하는 것이고, 내충격시험은 일정무게의 강제추를 일정한 높이로부터 자유낙하시켜 변형된 높이를 측정하는 것이며, 박리저항 시험은 인장시험기에 의하여 3개 시험편의 산술 평균값을 박리 저항강도 값으로 한다.

본 연구의 정량적 목표를 Table 2에 나타내었다. 이는 보통작업용 안전화 기준에 적합한 것으로 대부분의 작업장에서 적용되고 있는 기준이다.

Table 1 Dimension of Toe-Cap

| Test field          | unit  | value |
|---------------------|-------|-------|
| Compressive test    | kgf   | 1100  |
| Impulse test        | kgf.m | 7.1   |
| Lighting            | %     | 40%   |
| Flake of layer test | kgf   | 32    |

Table 2 The object of fixed quantity

| Test field          | unit  | value |
|---------------------|-------|-------|
| Compressive test    | kgf   | 1100  |
| Impulse test        | kgf.m | 7.1   |
| Lighting            | %     | 40%   |
| Flake of layer test | kgf   | 32    |

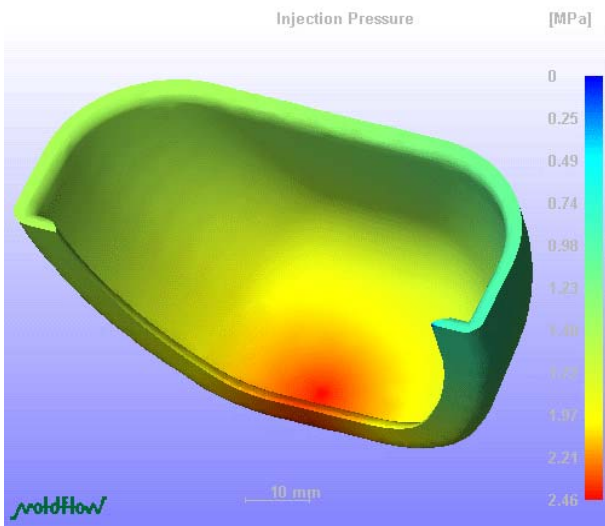
### 3. 성형 및 강도 해석

#### 3.1 성형해석

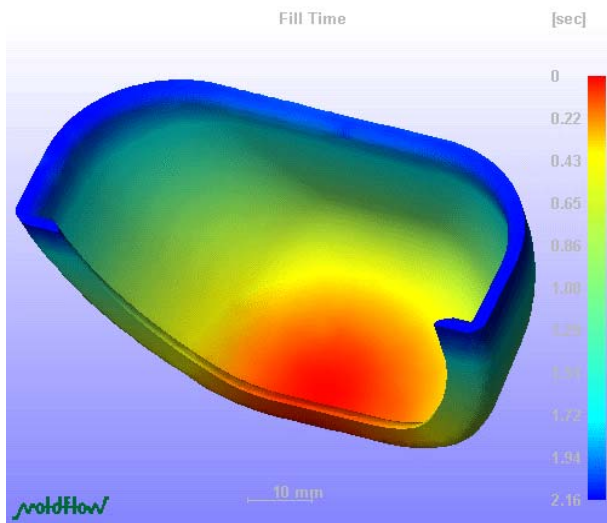
성형해석은 대중적인 강화 플라스틱 종류이며, 본 연구에서 주된 재료로 취급될 PA66로 하여 실시하며 성형성 및 강도를 예측하였다.

Toe-Cap 형상을 모델링하여 사출 성형시 용융 수지의 유동상황을 알아보기 위해 해석 S/W인 Moldflow를 이용하여 해석을 수행하였다. 초기형상의 해석결과인 Fig.2(a)는 충전시간을 나타내고 있으며, 충전시간이 2초를 경과하고 있으나 사출

압력에서는 문제가 없음을 Fig.2(b)에서 알 수 있다. 수정 보완한 형상인 Fig.3에서 충전시간은 1.5초 정도로 빨라졌고, 사출압력 또한 높아졌음을 볼 수 있다. 또한, 사출성형시 제품의 형상에 따라 수지가 충전 될 때, 제품이 모양에 따른 성형성을 분석함으로써 웰드라인의 형성 및 온도분포, 압력강하, 품질예측과 최적 게이트의 위치를 결정할 수 있다.

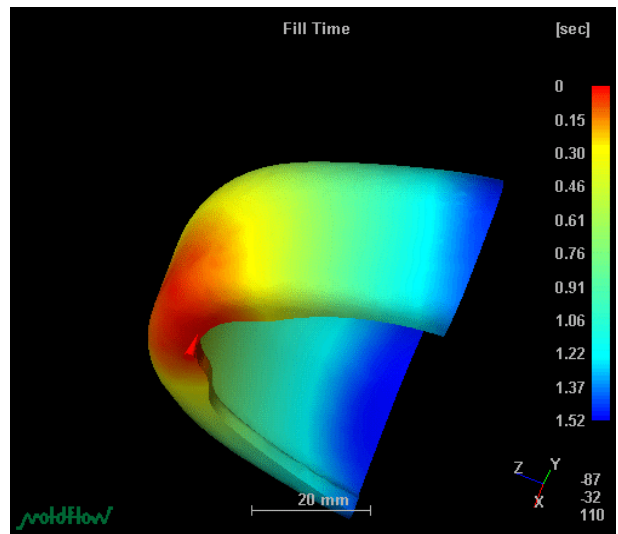


(a) Distribution of injection pressure

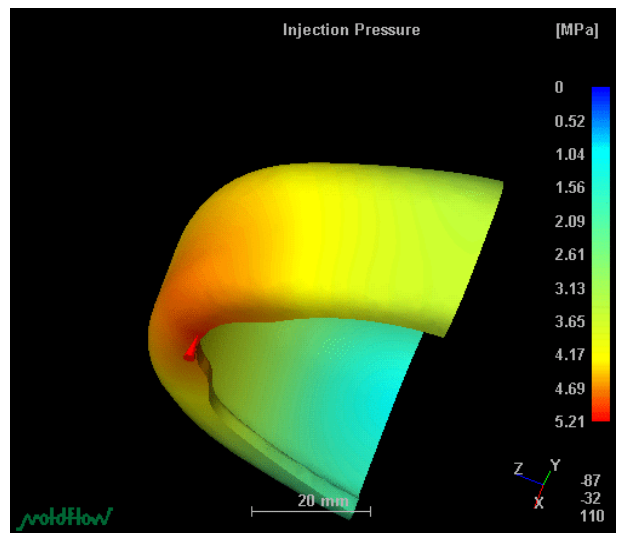


(b) Distribution of filling time

Fig. 2 Initial Shape of Model



(a) Distribution of injection pressure



(b) Distribution of filling time

Fig. 3 Modified Model

#### 3.2 강도해석

초기 형상을 강도해석을 위해서 Marc를 이용하여 해석을 수행하였다. 성형된 제품이 압박시험을 통하여 강도를 해석할 수 있는 프로그램으로

아래의 그림은 내 압박시험의 응력을 분석한 그림이다. Fig.5는 상단에 포인트를 두고 바닥면의 움직임을 고정으로 하여 압력을 가하였을 때 응력분포의 변화를 나타내고 있다. 그러나 실제 실험에서는 안전화를 제작, 안전화에 Toe-Cap을 적용시킨 상태에서 움직임을 예측할 수 없으므로 변형된 형상은 강도 해석을 하지 않고 실험을 하였다.

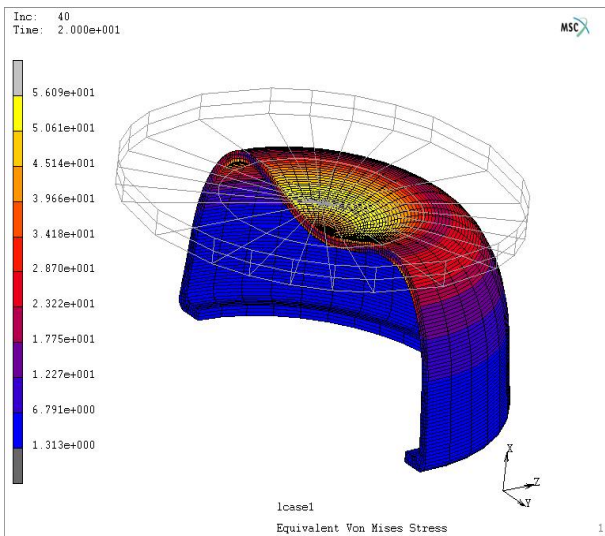


Fig. 4 Result of Compressive Strength Analysis

### 3. 내압박시험

내압박시험은 Toe-Cap을 사용하여 조립된 안전화의 Toe-Cap 부분을 일정한 압력으로 가압한다.

이때 Toe-Cap에 빛이 통과하는 정도의 터짐이 생기지 않아야 하며, 또한 중창과 선심의 사이에 공간이 최소 12.5mm이상 되어야 하는 규정을 만족 해야 한다. 기존의 강재 선심과 달리 플라스틱은 터짐이 곧 파손이므로 안전화의 성능 테스트 중에 가장 중요한 부분이라 할 수 있다.

Photo 1은 초기형상을 안전화에 적용하여 압박 실험을 한 결과이며, 선심의 바닥부분에 응력의 집중으로 인하여 파손이 발생하고 있음을 볼 수 있다. 초기형상의 경우 대부분이 바닥부분에서 시작된 파손으로 인해 테스트를 통과하지 못하였으며, 이를 보완한 것이 Photo 2에서와 같이 두께를 조절하고, 응력집중이 일어나는 부분의 힘이 분산되게 제작을 하였으며, 압박시험에서 만족한

결과를 나타내었다. 그러나 Photo 2에서는 자세히 관찰하기 힘들겠지만 오른쪽 모서리 부분에 미세한 균열이 발견되었다.



Photo 1 Initial Model of Toe-Cap After compression test



Photo 2 Modified Model of Toe-Cap After compression test

### 4. 결 론

본 연구에서는 안전화 경량화를 위하여 기존의 금속재 Toe-Cap을 대체할 플라스틱 Toe-Cap의 성능을 알아보기 위해 형상에 따른 성형해석 및 강도 해석과 압박시험 등을 하였다.

1. 성형해석 결과 수지의 충전 시간이 초기형상에 비해 변형된 형상에서 충전시간이 빨라졌으며, 압력분포, 온도분포 등의 모든 부분이 향상되었다.

2. 강도해석에서 초기형상은 500kgf정도의 강도를 견디며, 수정된 형상에서는 보통작업용 기준인 1100kgf의 압축시험을 통과했다.

향후 연구를 진행하여 플라스틱의 특성을 잘

살린 경량화 및 착용에서의 쾌적감을 가지며, 동상 등의 부작용이 없는 안전화의 개발에 목표를 두고 연구해 나갈 것이다.

### 참고문헌

- (1) M. Y. Hong J. G. Rou, 1989, Injection Molding, pp 165-179
- (2) Rubin I. I, 1972, Injection Molding Theory and Practice, John & Wiley Sons, pp 270-281
- (3) N. Dontula, G. A. Cambell, 1994, An Approach Towards Molding Parts With Constant Properties on Addition of Re grind, Antec '94, pp1783-1788
- (4) Cox, H. W. and Mentezer, C. C., 1986, Injection Molding: The Effect of Fill Time on Properties, Polym.Eng. and Sci. Vol. 26, pp488-498
- (5) Y. S. Kim, J. K. Lim, K. J. Cho, Y. S. Kim, 2000, Mechanics of Solids, pp3-38
- (6) J. H. Lee, 2003, Fiber Glass Reinforced Plastic, pp57-58