

안전화 경량화를 위한 플라스틱 Toe-Cap에 관한 연구

조광수*(부경대 기계공학부), 김인관(부경대 기계공학부), 강태호(부경대 기계공학부), 김영수
(부경대)

A Study for Plastic Toe-Cap of Safety Shoes

K.S.Cho (PKNU), I.K. Kim(PKNU), T.H.Kang(PKNU), Y.S.Kim(PKNU)

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. When it replace by polymer, Moreover add keeping warm, light weighting, chemicals-proof. Nowadays plastic material can exchanged from metal, because of rapid growth in engineering plastic and FRP. Prodcets of engineering plastic and FRP goods are equal. So we develop plastic Toe-Cap using plastic technology.

Key Words : Safety Shoes(안전화), Toe-Cap , ACM(Advanced Composite Material), 강제 선심, 내압박시험, 내충격시험, 박리시험

1. 서론

현대 산업발전의 추세에 부응하여 안전화의 수요는 급증하고 있다. 안전화는 작업 중 충격하중, 화학약품 또는 감전 및 정전기의 대전을 방지하는 등의 여러 가지 사용목적에 따라 가죽제 안전화, 고무제 안전화, 정전기 안전화, 발등 안전화, 절연화 등으로 나뉘어 진다.

중래의 안전화는 중공업 중심의 사업에 알맞게 개발되어 안전만을 고려한 안전화가 주로 사용되었으나 최근 전기, 전자, 메카트로닉스 산업 등으로 다양화됨에 따라 안전 뿐만 아니라 사용자 편의를 중요시하는 고급형 안전화로써 경량화 및 착용에서의 쾌적감을 동시에 추구하는 새로운 작업 안전화가 필요하게 되었다. 또한 겨울철에는 사용환경을 더욱 악화 시켜 동상 등의 부작용을 발생시키므로, 기존의 구조(금속제 Toe-Cap 및 바닥 보강판)를 유지하면서 개선된 안전화를 개발하는 데에는 한계가 있다. 본 연구에서는 기존의 금속제 Toe-Cap 및 바닥 보강판을 폴리머를 기초로

한 재료로 대체하면 이와 같은 단점을 쉽게 보완할 뿐만 아니라 경량화, 보온성, 내구성 등의 기능을 개선할 수 있고, 또 엔지니어링 플라스틱 및 FRP에 대한 연구가 급격히 진전됨에 따라 기존의 금속 보강재를 충분히 대체할 수 있을 뿐만 아니라 더욱 향상된 기능에 대한 요구에 대해서도 만족 시킬 수 있다.

국내의 안전화의 분류에 따른 성능 규정을 보면 중 작업용 안전화의 경우 1400kg이상의 압박하중을 견딜 수 있도록 설계되며, 보통작업용 안전화의 경우는 1100kg, 경작업용은 450kg이상의 압박하중으로 시험하도록 규정되어 있다. 최근 유럽 및 일본에서는 내압박성능 및 내충격성능에서도 기존의 강제 선심과 동등한 성능을 나타낼 뿐만 아니라 그 성능이 향상되고 동상 또한 방지 할 수 있고 소각이 가능한 친환경재료인 ACM(Advanced Composite Material) 합성수지를 이용한 Toe-Cap에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 특히 합성수지를 이용할 경우 감전 사고를 효과적으로 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 금속 부식을 근원적으로 방지 할 수 있어 인간친화형 안전화로 인식되고 있다.

국내의 엔지니어링 플라스틱 및 FRP 제품 생산 기술은 선진국과 비교하여 대등한 기술을 보유하고 있으며, 특히 고분자 복합 재료의 개발, 금형 가공 기술 및 제품 성형 기술에 있어서도 세계적인 수준에 도달하였다고 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 플라스틱 재료를 이용하여 Toe-Cap용 고강도, 경량 FRP 재료(40%의 경량화)를 개발하고, 컴퓨터를 이용한 성형 및 강도 해석 기술을 이용하여 최적의 금형을 제작하며, 여기에 사출 성형을 접목하여 기술 개발을 하고자 한다.

2. 기술 개발의 목표 및 내용

본 기술 개발은 기존의 금속재 Toe-Cap을 대체함으로 국내 안전화 재료 및 제품 규격을 기준으로 하며 현재 국내에서 안전화에 사용하는 부품의 재료와 성질을 살펴보면 다음과 같다.

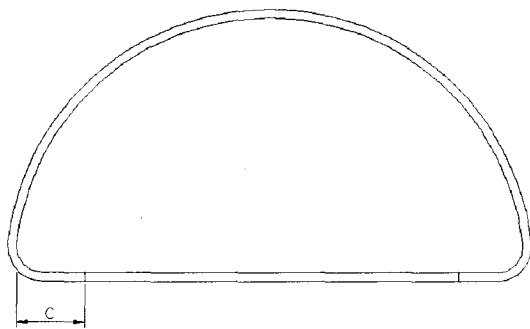


Fig 1. Schematic of Toe-Cap (Front view)

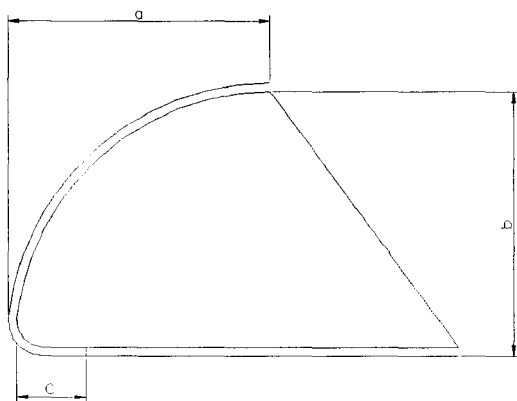


Fig 2. Schematic of Toe-Cap (Side view)

본 기술 개발에서는 시장성이 높고 활동성을 보장할 수 있는 고강도 경량 안전화를 개발함을 일차적인 목표로 하며 이를 위하여 금속재를 대체한 ACM계 수

지를 채택하여 종래의 강제선심을 이용한 제품과 동등한 강도를 가질 뿐 아니라 40% 이상의 경량화를 달성할 수 있는 새로운 Toe-Cap 개발을 최종 목표로 한다.

Table 1. Dimension of Toe-Cap

Grade	a	b	c	d*	e*
H(Heavy-Work), S(Normal-Work)	40-60mm	33mm or more	3mm or more	2.5mm or more	3.5mm or more
L(Light-Work)	30-50mm	28mm or more	more	2.0mm or more	3.0mm or more

복합재료는 유해염소가스가 발생하지 않고 소각 처리가 가능한 ACM계 수지로 금속부식을 원천 방지할 수 있고, 우수한 반발탄성으로 충격흡수가 가능하며, 보존성을 향상하여 동상을 방지할 수 있고, 소재 대체에 따른 접착성이 향상되어야 한다. 대체소재 성형 기술에 의한 Net-Shape형 Toe-Cap 개발의 목표는 사출 성형 및 압축 성형 기술 향상으로 발끝 보호 강화 구조로써 갑피의 파손, 침수 및 오염으로부터 보호되어야 하고, Toe-Cap 및 Bottom-Plate의 일체화 성형으로 인한 원가 절감 및 생산성 향상이 가능한 새로운 형태의 제품이 개발되어야 하며, 방청 및 방한 기능의 향상에 따른 족질환(足疾患) 방지가 가능한 Toe-Cap이 개발 목표다.

안전화의 기술 평가 방법은 산업안전관리공단의 안전화 성능검정 규정에 의하여 평가할 수 있으며, Toe-Cap 관련된 사항은 내압박시험, 내충격시험, 제품 경량화, 박리시험 등이 있다. 내압박시험은 내압박시험 장치로 규정된 하중을 가하여 압박된 정도를 시험하는 것이고, 내충격시험은 일정무게의 강제추를 일정한 높이로부터 자유낙하시켜 변형된 높이를 측정하는 것이며, 박리 저항시험은 인장시험기에 의하여 3개 시험편의 산술평균값을 박리 저항강도 값으로 한다.

Table 2. The object of fixed quantity

Test field	unit	value
Compressive test	kgf	1100
Impulse test	kgf ·	7.1
Lighting	%	40%
Flake of layer test	kgf	32

3. 성형 및 강도 해석

3.1 성형 해석

ACM계 재료는 현재 해석에 필요한 물성이 나와 있지 않기 때문에 비슷한 재료인 PA66으로 해석을 하여 성형성 및 강도를 예측하겠다. PA66의 대표적 인 물성치는 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Property of PA66

	unit	8500GB
Tensile Strength	kg/cm ²	2,400
Flexural Modulus	kg/cm ²	168,000
Handness	R-Scale	121
HDT	18.6kg/cm ²	210
	kg/cm ²	215
Property		G/F 60%

Toe-Cap 형상을 모델링하여 사출성형시 제품의 성형성을 알아보기 위해 해석프로그램인 Moldflow를 이용하여 해석을 수행하였다. 사출성형시 제품의 형상에 따라 수지가 충전될때, 제품의 모양에 따른 성형성을 해석을 통해 알아볼 수 있다. 또한 사출성형시의 최적 게이트 위치를 결정할 수 있다. Fig.3은 수지의 충전시 충전되는 시간을 나타낸 것이며, Fig.4는 웰드라인의 형성을 나타낸 것이고, Fig.5는 사출압력의 분포를 나타낸것이다. 이 외에도 온도분포, 품질예측 등을 할 수 있다.

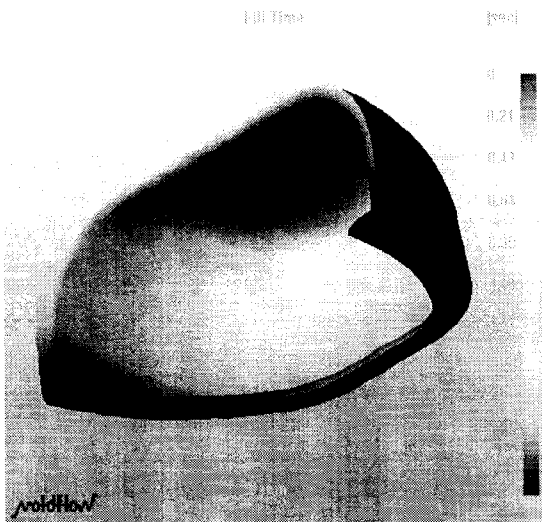


Fig.3 Result of filling analysis

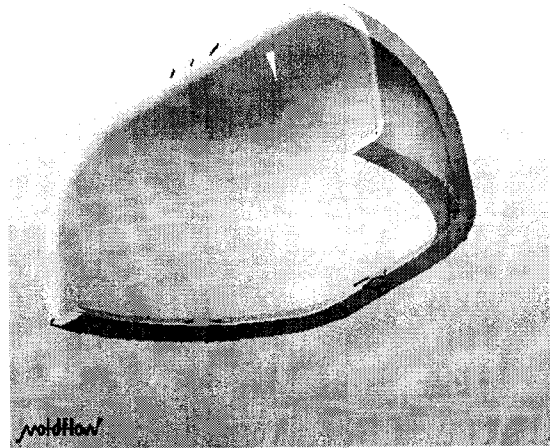


Fig.4 Result of Weld Line Analysis

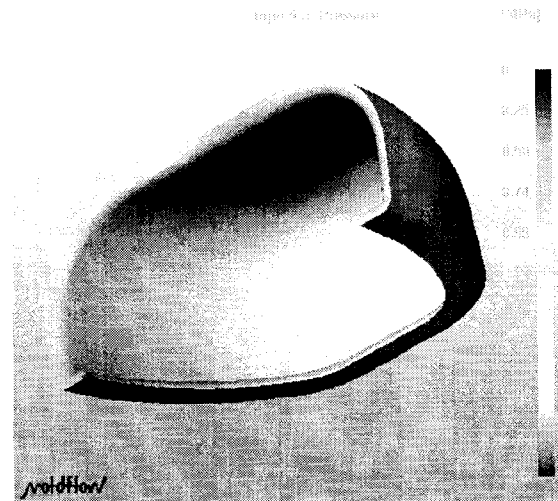


Fig.5 Result of Injection Pressure

3.2 강도해석

같은 형상을 강도해석을 위해서 Marc를 이용하여 해석을 수행 하였다. 성형된 제품의 압박시험을 통하여 강도를 해석할 수 있는 프로그램으로 아래의 그림은 내압박시험의 응력을 분석한 그림이다. Fig.6은 상단에 포인트를 두고 압박을 가하였을때 응력분포의 변화를 나타내고 있으며, 최대 압박강도는 500kgf정도를 나타내고 있다.

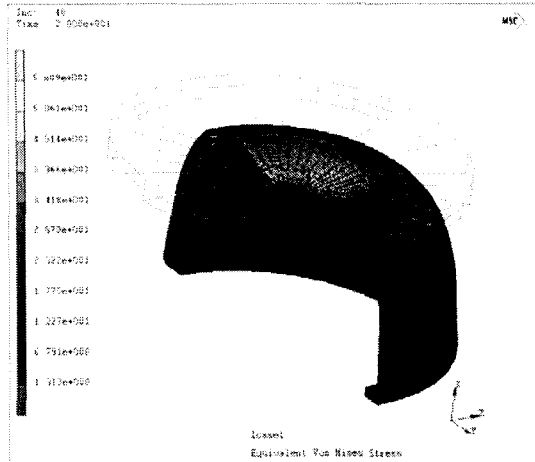


Fig.6 Result of Strength Analysis

4. 결론

본연구에서는 안전화 경량화를 위하여 기존의 금속재 Toe-Cap을 대체할 플라스틱 Toe-Cap의 성능을 알아보기위해 성형해석 및 강도해석을 하였다.

1. 성형해석 결과 수지의 충전시간이 전체적으로 고르게 분포되어 있음을 알 수있다. 이는 Toe-Cap의 사출성형시 성형성이 좋을 것이라는 결과를 나타내고 있다. 웰드라인이 집중적으로 나타나는 부분이 없는 것으로 사료된다. 사출압력의 분포는 전체적으로 고르게 나타나는 것으로 보아 균일한 밀도의 제품이 성형될 것으로 보인다.
2. 강도해석에서 500kgf 정도의 강도에 견딜수 있음을 보여주고 있는데, 이는 안전화 성능규정에서의 내압박성 시험규정에서 경작업용 안전화의 강도를 넘는 수치이다. 앞으로 형상의 최적화와 다른 적합한 재료를 이용한다면 중작업용 안전화의 강도를 충족할 것으로 사료된다.
3. 플라스틱 사출성형에 의한 Toe-Cap은 그 성형성이 뛰어나고, 금속재 Toe-Cap에 비해 떨어지지 않는 강도를 가짐을 알 수 있다. 또한 플라스틱의 특성상 경량화 및 착용에서의 쾌적감, 동상 등의 부작용을 줄일 수 있다. 향후 여러 가지 복합재료를 이용한 해석을 수행하여 중량대비 40%경량화 Toe-Cap의 개발, 생산 공정을 줄여 원가절감 및 생산성 향상이 가능한 제품을 개발하는 것에 목표를 두고 연구해 나갈 것이다.

참고문헌

1. 홍명웅, 류재구, "사출성형", 기전연구소, 지

을, pp165-179, 1989

2. Rubin, I. I., "Injection Molding Theory and Practice", John&Wiley Sons, pp.270-281, 1972.
3. N. Dontula, G. A. Campbell "An Approach Towards Molding Parts With Constant Properties on Addition of Regrind", Antec'94, PP.1783-1788, 1994
4. Cox, H. W. and Mentzer, C.C., "Injection Molding: The Effect of Fill Time on Properties", Polym. Eng. and Sci, Vol.26, pp.488-498, 1986
5. 이종철, "신발재료학", 글로벌, 1998
6. 이기복, "최신플라스틱 핸드북", 과학기술, 2000