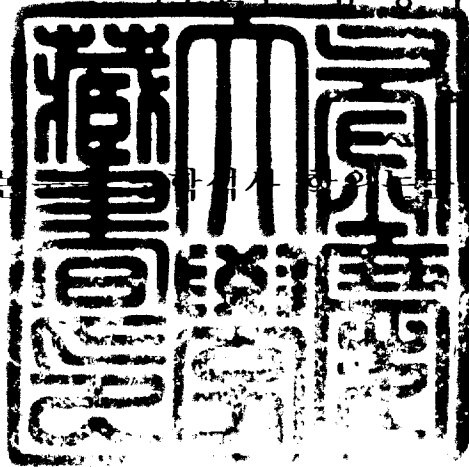


공학석사 학위논문

열안정 폴리머를 이용한 Toe-Cap의 최적 성형에 관한 연구

지도교수 김 영 수

이 논문은 공학석사 학위논문으로 제출함



2005년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

조 광 수

조광수의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 2월

주심 공학박사

금 종 수



위원 공학박사

정 석 권



위원 공학박사

김 영 수



목 차

Abstract	I
제 1 장 서 론	1
제 2 장 성형재료 및 토캡의 특징	5
2.1 적용재료의 특징	5
2.2 안전화	7
2.3 성형 실험	10
제 3 장 성형해석 및 구조해석	18
3.1 사출성형 해석공정	18
3.2 성형 해석이론	19
3.3 성형 해석	20
3.4 구조 해석	32
제 4 장 실험장치 및 방법	39
4.1 성형실험	39
4.2 성능실험 및 결과	41
제 5 장 결론	49
참고문헌	51
감사의 글	53

A Study on Optimum Injection Molding of Toe-Cap Using Heat Stable polymer

Kwang-Su, Cho

**Department of Refrigeration and Air conditioning Engineering
Graduate School
Pukyong National University**

Abstract

Safety shoes are developed for heavy industry. Nowadays with the growth of industry, developed safety shoes has a plastic toe-cap under health the leather and protect the wearer's toe from moving or falling objects. It needs to comply with the requirements and specifications of last version of Korea industrial standard. And it's developed not only protect from danger but also more comfort wearing. When wearing safety shoes in cold weather, serious disease could occurred such as frostbitten and so on. When it replace by polymer, moreover add keeping warm, light weighting, chemicals-proof. So we develop plastic Toe-Cap using plastic technology.

The purpose of this study is to replace protective shoes steel Toe-Cap to light weight material. And capacity is maintained existing steel Toe-Cap. So this paper was tested injection molding products which contain glassfiber reinforced PA6 material.

The Toe-Cap was modelled and modified the shape for disperse the stress and stronger. It was used ideas and moldflow for structure analysis and molding analysis. Then mold was designed by

consideration with location and density of weld line.

Finally, some materials were selected and polymer Toe-Cap was made by using PA6 glassfiber reinforced 30~45% through optimal shape design, injection process and analysis.

The developed polymeric Toe-Cap was tested to compare its suitable for using which is impact test, pressure test and light weigh percentage. The tests were performed by KS and JIS test conditions. Initial modeled protective shoes were unsatisfactory results, but one of modified products are satisfied the test conditions.

It was important for polymer that matching optimum gave pull play as protective goods against steel materials. If polymer is strong enough to use protective goods instead of steel, it would be nothing except optimize.

제 1 장 서론

플라스틱은 20세기 초 최초의 합성수지가 발명된 이후로 현대 사회에서 없어서는 안 될 중요한 산업 및 생활용품의 재료로 사용되고 있다. 최초로 발명된 페놀에 이어서 현재 산업 전반에 걸친 생활용품, 가전제품 등의 다양한 제품의 원료로써 수많은 종류의 플라스틱이 생산되고 있다. 특히 최근에는 경량화 등을 목적으로 금속을 대신하여 성능이 떨어지지 않는 복합재료와 폴리머 등의 대체이용이 증가하고 있다.

플라스틱의 가공방법에는 압출성형(extrusion molding), 압축성형(compression molding), 사출성형(injection molding)방식 등이 있다. 플라스틱은 고온으로 가열하여 가소화 시킨 후 가공하므로 플라스틱의 가공을 성형이라고 한다. 압출성형은 파이프와 같은 동일한 형상의 단순제품 생산에 주로 이용되며, 압축성형은 주로 열경화성 수지에 국한되어 사용된다. 사출성형 방식은 복잡한 형상의 정밀한 제품을 빠른 속도로 생산이 가능한 가장 효율적인 기술 중 하나로 인식되어 플라스틱 제품생산의 70%를 차지하고, 그 수요는 플라스틱 재료의 발달과 더불어 계속적으로 증가되고 있는 상태이다. 또한, 사출성형은 제품이 단 한 차례의 공정으로 이루어지므로 가전, 자동차, 전자제품 등에 많이 적용되며, 산업기기의 부품생산에서도 중요한 생산방법 중에 하나이다.

사출성형은 네 단계의 공정으로 나뉘어 있는데, 첫 번째 공정은 충전공정(filling process)으로 수지를 호퍼로부터 공급받아 사출성형기의 스크류가 전진함에 따라 수지가 가소화 되면서 금형의 캐비티(cavity)로 유입되어 캐비티에 채워질 때까지 압력을 가하는 공정이다. 이때 수지가 함유하고 있는 습기를 사전에 제거하기 위해 건조기로부터 충분히 건조된 후 호퍼로 공급된다. 두 번째 공정은 보압과정(packing process)으로 수지가 용융상태에서 고체상태로 상변화를 일으킬 때 체적감소(shrinkage)가 생기며, 이 체적 차이를 보상하기 위해 충전 이후에도 스크류의 속도는 감소

되지만 완전히 정지하지 않고 천천히 전진하여 금형의 캐비티에 압력을 가해주는 과정이다. 캐비티의 입구가 고화될 때까지 보압을 가해 주기 때문에 보압 시간에는 게이트(gate)의 크기가 중요한 인자가 된다. 세 번째 공정은 냉각 공정(cooling process)으로 성형사이클을 결정하는데 가장 중요한 인자인 성형품이 고화될 때 어느 정도의 열량을 제거할 것인가 하는 것을 결정하는 공정이다. 이는 성형재료의 특성인 비열, 열전도율, 용융잠열을 이용해 냉각속도만이 아니라, 성형공정의 열효율을 정하는 공정이다. 냉각시간의 양은 성형품의 전체 사이클에 영향을 주고, 냉각시스템의 불균형은 성형품의 외관에 큰 영향을 미치므로 대단히 중요하다. 마지막으로 고화된 성형품이 금형 내에서 분리되게 하는 탈형공정(ejecting process)이 있다. 이 공정은 제품에 자국을 남길 수 있으므로 충분한 제품의 고화가 냉각단계에서 이루어져야 한다.

플라스틱 재료의 개발이후 사출성형에 관한 연구는 계속 진행되었으며 Fried 등은 해석을 통하여 사출성형 동안의 결정화를 예측하고 결정화가 성형품의 기계적 성질에 영향이 있음을 고찰하였고, Koita는 보압시간에 따른 성형품의 무게, 치수 잔류율, 성형품의 외관, 인장강도, 수축 및 중량의 거동을 실험적으로 고찰하였고, A. Mamat는 정밀금형 설계 시 요구되는 수지의 수축을 한 방향 수축이 아닌 다축방향으로 수축관계를 밝혀야 한다고 제안하였다. 이는 P-v-T선도에서 알 수 있듯이 압축성 유체로서의 플라스틱은 사출성형 조건 및 금형의 설계에서부터 성형품의 성질에 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다.

복합재료는 철강, 목재, 콘크리트 및 기타 일반 소재보다 가볍고 강성, 내구성이 좋아 다양한 분야에서 사용되고 있다. 에폭시, 폴리에스터 등과 같은 수지 자체로는 우수한 내식성과 성형성 등의 장점에도 불구하고 다른 구조재에 비해 기계적으로 매우 약한 강도를 가지고 있기 때문에 강화재로 유리나 탄소 섬유 등의 재료를 복합하여 우수한 기계적 성질과 성형성 및 내식성을 추구하는 재료이다. 이러한 특성으로 차량 및 운송 분야에서는 자동차, 버스, 트럭에서 철도차량까지 성능과 내구성을 높이고, 비

용을 절감할 뿐만 아니라 경량화를 위하여 승용차의 차체 외관에서부터 철도 차량의 의자와 내장재에 이르기까지 적용되고, 건축 및 사회간접 시설분야에서는 무게가 철강에 비해 약 40%정도로 설치시간이 단축되고 철강과 달리 내부식성으로 수분에도 강하고 균열이 일어나지 않아 내외벽 판넬, 저장탱크, 플랜지, 그레이팅, 교량, 시설물 및 인공조형물의 제작 등에 다양한 형태로 사용되고 있다.

최근 산업의 발전과 생활수준의 향상으로 각종 산업에서 재해 예방에 대한 인식의 증가로 안전보호 장비의 착용은 의무화 되고 있으며, 수요 또한 증가하고 있다. 우리가 자주 사용하는 안전보호구에는 안전화, 안전모, 방진마스크, 안전벨트 등이 있다. 이중 사용빈도가 가장 높고 수요가 많은 것이 안전화이다. 안전화의 종류를 살펴보면 물체의 낙하, 충격 및 바닥으로부터 날카로운 물체에 의한 찔림 등의 위험으로부터 발을 보호하기 위한 보편적인 가죽제 안전화, 방수 또는 내화학성을 겸한 고무제 안전화, 정전기의 인체대전을 방지를 겸한 정전기 안전화, 발등부를 덮어 낙하물로부터 작업자의 발등을 보호하기 위한 발등 안전화, 저압의 전기에 의한 감전의 방지를 겸한 절연화 등으로 분류하고 있다.

안전화는 종래의 중공업 중심의 용도에 맞게 개발된 안전만을 고려한 저가형 안전화로부터 전기, 전자, 메카트로닉스 산업 등으로 다양화됨에 따라 안전뿐만 아니라 사용자의 편의를 중요시하는 고급형 안전화로서, 경량화 및 착용에서의 쾌적감을 동시에 추구하는 새로운 작업용 안전화의 필요성이 부각되고 있다. 기존의 강재 토캡(steel toe-cap)을 사용한 안전화의 경우 무겁고, 겨울철에는 사용 환경을 더욱 악화시켜 동상 등의 부작용을 발생시킨다. 그러므로 기존의 구조를 유지하면서 개선된 안전화를 위해서는 대체할 소재에 대한 연구가 필요하다.

순수한 재료로써 플라스틱은 기존의 강철과 동등한 강도와 탄성을 보이는 소재를 선정하기란 쉽지 않다. 그러나 최근 복합재료에 대한 연구가 활발히 진행되어 기존의 플라스틱보다 뛰어난 성질을 나타내고, 강철과 비슷한 강도를 나타내는 소재의 개발로 인해 강철을 대체하는 엔지니어링

플라스틱의 사용은 점차 늘어나는 추세이며, 국내에서도 플라스틱 토캡을 적용하려는 연구가 진행되고 있다.

기존의 강재 토캡은 그 무게로 인하여 장시간 착용 시 작업자의 피로를 가중시키며, 발목질환을 야기할 수 있으며, 특히 겨울철에는 외기의 영향을 잘 받아 동상의 부작용도 야기할 수 있다. 이에 비해 토캡을 플라스틱으로 대체할 경우 플라스틱의 낮은 비중으로 신발 전체에 하중의 집중이 없기 때문에 토캡의 경량화 이상의 효과로 작업 시 하중에 의한 피로의 감소, 구조해석을 통한 형상의 최적화를 통해 착용감을 개선할 수 있다. 그리고 플라스틱의 절연특성과 열전도율이 낮으므로 여름이나 겨울에 외기의 영향을 적게 받기 때문에 소재의 대체로써 많은 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 강재를 대체한 플라스틱 토캡을 적용하여 플라스틱의 성형에 있어 압력과 온도의 변화에 의한 비체적의 변화를 최소화할 수 있는 폴리아미드의 성형에 따른 열적 변화의 최적화와 소재대체에 따른 그 타당성을 알아보고자 한다.

제2장 성형재료 및 토캡의 특징

2.1 적용재료의 특징

플라스틱은 열적 성질에 따라 열가소성·열경화성 플라스틱으로 대별되며, 실용적인 측면에서 볼 경우 범용 플라스틱, 엔지니어링 플라스틱, 특수 플라스틱으로 분류할 수 있다. 범용 플라스틱은 가격이 비교적 저렴하고, 잡화용, 포장용, 농업용과 같은 다양한 용도에 사용되고 있으며, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리(염화비닐)등의 일반적인 플라스틱을 말한다. 엔지니어링 플라스틱은 고온특성, 내충격성, 내화학적성, 또는 다른 특수한 물성이 요구되는 플라스틱 제품의 제조에 사용되는 플라스틱을 일컫는다. 따라서, 가격은 범용 플라스틱과 비교하여 상당히 고가이지만, 강도 및 강성 등이 우수하므로 부하가 걸리게 되는 용도에 적용이 가능함으로써 많이 쓰인다. 종류에는 폴리아미드, ABS수지, 폴리아세탈, 폴리카보네이트, 폴리설푼 등이 포함된다.

안전화의 토캡의 재료의 선정기준은 내충격에 강한 물성을 가진 구조로써 강재와 같이 강한 압박에도 잘 견딜 수 있는 플라스틱이다. 그러므로, 일반적인 범용 플라스틱으로는 목표치를 달성하기 어려우므로 물성이 강하다고 판단되는 폴리아미드 계열의 제품 중에 강도를 높이기 위해 유리 섬유가 첨가된 제품을 사용하였다.

2.1.1 폴리아미드

폴리아미드(polyamid)는 1938년 개발되어 일반적으로 나일론(nylon)의 이름으로 잘 알려져 있다. 원래 폴리아미드는 섬유로서 개발되었으나, 각종 물성이 우수하기 때문에 엔지니어링 플라스틱(engineering plastics)으로서의 수요가 증가하여 왔다.

① 물리적 성질

폴리아미드는 강인성, 윤활성, 내마모성과 내약품성이 우수하지만 흡수성을 갖고 있기 때문에 치수안정성이나 전기적 성질 면에서 우수하지 못하다. 또한 이 물성은 결정화도, 결정구조, 흡수량과 온도에 의해 변화하는 것에 주의해야 한다. 아미드(amide)기가 친수성이기 때문에 폴리아미드는 흡수성을 갖고 분위기에 대응한 평형량까지 흡수한다. 폴리아미드 속의 수분은 가소제적인 작용을 하기 때문에, 수지의 인장강도 및 탄성계수, 강성을 저하시키고 성형품의 치수 변화를 일으키나 반면에 신장 및 인성을 증가 시킨다. 폴리아미드의 인장강도와 충격강도는 플라스틱 중에서도 우수하다. 폴리아미드의 최대특징의 하나는 내마모성과 윤활성이 우수하다는 것이다.

또한, 용도에 따라서 폴리아미드에 첨가물을 배합하여 성질을 개선하는 것이 일반적으로 행하여진다. 유리섬유, 탄소섬유, 그 밖의 무기섬유나 충전재를 배합한 강화폴리아미드가 있다. 유리섬유강화 폴리아미드는 각종 등급(grade)이 생산되고 있다. 유리섬유강화 폴리아미드의 경우에는 넓은 온도범위에 걸쳐서 인장강도, 굴곡강도, 압축강도, 탄성율과 함께 충격강도가 현저히 증가한다. 또한 열변형온도(HDT)가 200℃ 이상으로 되는 것 뿐 아니라 수분 흡수량도 감소하고 거기에 따라서 물성치의 변동이나 치수변화가 현저히 감소한다.

② 성형가공

폴리아미드는 일반적인 열가소성 수지의 성형법이 전부 적용가능하고 특수한 성형기를 필요로 하지 않는다. 그러나 다음과 같은 특성은 충분히 고려할 필요가 있다.

폴리아미드는 결정성 고분자이기 때문에 명확한 용점을 갖고 있어 성형에는 용점 이상인 230~260℃의 고온이 필요할 뿐 아니라 용해차열이 크기 때문에 충분한 열용량의 성형기가 필요하다. 그리고, 용융점도는 온도의 의존성이 클 뿐 아니라 분해온도가 비교적 용점에 가깝기 때문에 세밀한

온도조절이 필요하다. 또한 열분해 방지 때문에라도 장시간 성형기내에 체류시키는 것은 피해야만 한다. 또한, 흡수성 때문에 대기 중 장시간 원료를 방치하는 것을 피하고 흡습재료를 사용 할 때는 진공 건조기에서 수분량이 0.1wt% 이하로 될 때까지 건조한다.

2.1.2 유리섬유 강화 플라스틱

유리섬유(glass fiber)는 용융 노즐에서 직경 수 μm 의 필라멘트(filament)를 연속 섬유상으로 뽑아낸 것으로서 통상적으로 필라멘트를 수십 본에서 수천 본의 다발(strand)로 하여 여러 가지 형태로 가공한다.

유리섬유 강화 플라스틱은 인장강도가 극히 높으며 실의 굵기가 가늘수록 강하게 된다. 보통유리의 인장 강도가 $10\text{kg}/\text{mm}^2$ 인데 비해, 유리섬유의 인장강도는 직경 5mm일 경우 약 $300\text{kg}/\text{mm}^2$ 로 대단히 크게 된다. 또한, 온도 의존성이 거의 없으며 치수 안정성이 좋다(비열은 0.2정도). 200°C 까지는 열적으로 강도가 저하하지 않는다. 그리고 전기절연성이 뛰어나고, 내열성과 탄성률이 높으며, 유연성이 높아 복잡한 형태로 가능하며, 항장력이 크고 신율이 작은 등의 특성이 있다.

이와 같은 특징을 가진 재료 중 사용된 재료의 일반적인 물성을 Table 3에 나타내었다. 재료의 물성은 제조사에서 제공한 것이며, 시편성형을 통하여 제공한 물성과 실제물성을 비교 확인해 볼 것이다. 또한 이 재료를 이용하여 토캡의 성형 및 충격시험 및 강도 시험을 실시할 것이다.

2.2 안전화

안전화는 작업자의 발끝을 선심으로 보호하고, 미끄럼 방지를 갖춘 구두로 정의 된다. 안전화의 구분은 발등 덮개에 따른 가죽제, 충고무제, 작업구분에 의한 중작업용, 보통작업용, 경작업용, 부가적 성능에 의한 내바닥 구멍성, 뒤창부의 충격에너지 흡수성, 발등 프로텍터의 내충격성, 대전방지 성능의 유무에 따른 1종, 2종으로 분류가 이루어진다.

안전화의 구분에 관계없이 토캡은 필수 구성요소이며, 목적과 요구하는

성능에 따라 요구되는 압박강도 및 충격강도가 차이가 난다.

2.2.1 안전화의 토캡

본 연구에서 다룬 안전화 토캡은 안전화의 필수 요소로써 광산에서 채광, 철광업에서 원료취급, 가공, 강재취급 및 강재 운반, 건설업 등에서 중량물 운반 작업, 가공대상물의 중량이 큰 물체를 취급하는 작업장에서 사용하는 중작업용(H), 일반적인 기계공업, 금속가공업, 운반, 건축업 등 공구 가공품을 손으로 취급하는 작업 및 차량 사업장, 기계 등을 운전 조작하는 일반 작업장에 사용하는 보통작업용(S), 금속선별, 전기제품 조립, 화학품 선별, 반응장치 운전, 식품가공업 등 비교적 경량의 물체를 취급하는 작업장에서 사용하는 경작업용(L)로 구분 되어진다. Table 1 및 2의 KS시험규정의 안전화의 충격시험, 압박시험은 토캡의 성능을 확인하는 시험으로 일반 안전화에서의 가장 중요한 구성품이다. Photo 1은 현재 사용하고 있는 강철 토캡이며, Fig. 1과 2는 2D도면으로 본 토캡이다. Fig. 1에서 보는 a, b, c의 길이는 KS규격으로 정해져 있다.

현재 Photo 1과 같이 강철로 되어 있기 때문에 무게가 무겁고 사용에 불편이 많으나 기술적 한계로 인해 계속 사용하고 있으며, 최근 복합재에 대한 연구가 활발하여 대체할 수 있는 소재가 개발되었다. 그러나 강철에 비해 플라스틱은 소재의 적용에 따른 최적화가 필요하기 때문에 국내에서는 아직 적용된 사례가 발견되지 않고 있다. 본 연구에서는 안전화 중 안전화의 사용 비율의 70%이상인 보통작업용 토캡에 대하여 대체 가능성을 알아 볼 것이며, 기존의 강철을 대체하여 플라스틱의 안정적인 성형성과 플라스틱을 적용한 토캡을 제작 시험하여, 플라스틱의 강철 대체 가능성을 알아보겠다.

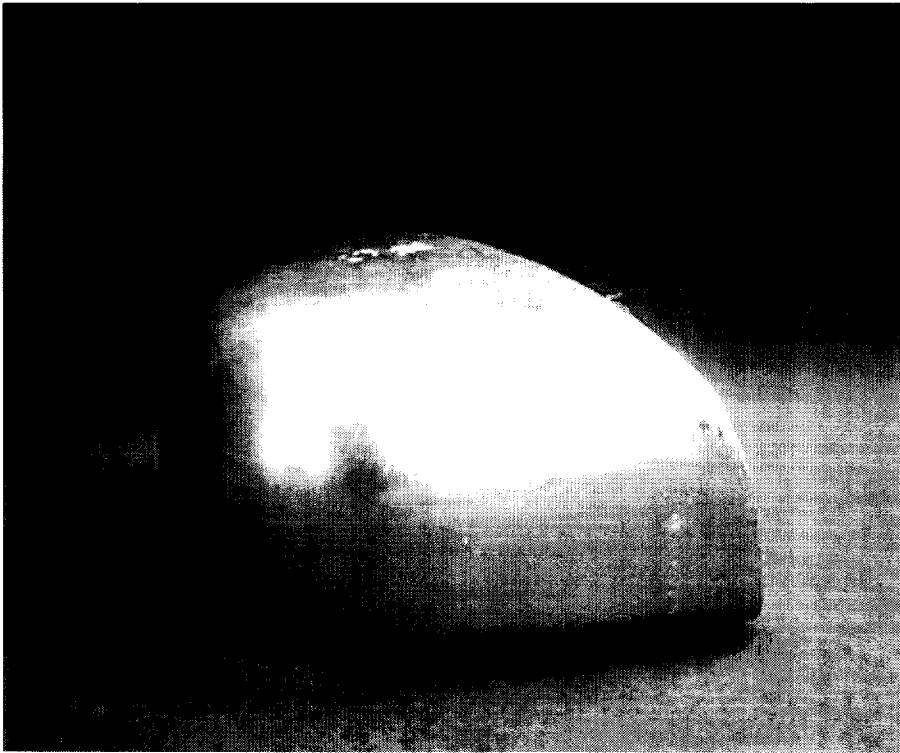


Photo 1 Side View of Steel Toe-Cap

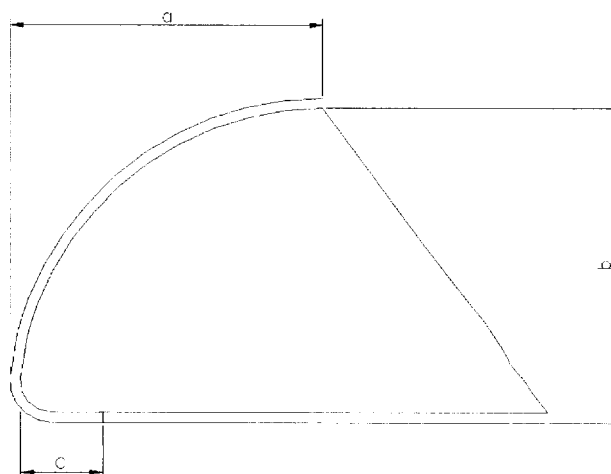


Fig. 1 Schematic of Toe-Cap(Side View)

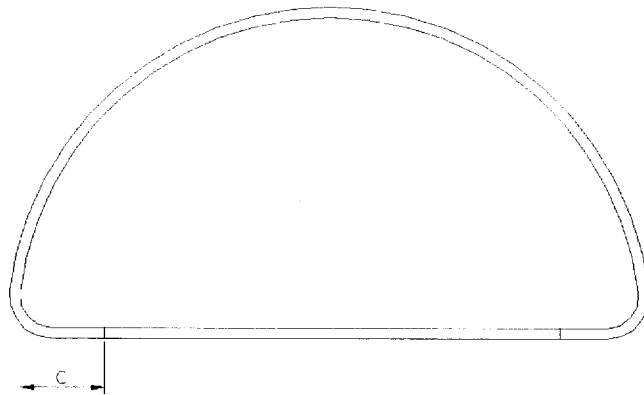


Fig. 2 Schematic of Toe-Cap(Front View)

Table 1 Condition of Impact test

Group	Impact Energy J	Impact Height(cm)
H	100	51
S	70	36
L	30	15

Table 2 Conditions of Pressure Test

Group	Pressure(kN)
H	15
S	10
L	4.5

2.3 성형 실험

본 연구에 사용할 재료에 대한 시편성형을 실시하고, 각 시편에 대한 인장시험을 실시하였으며, 그 결과를 나타내었다.

Table 3 Mechanical Properties Test Material

Property	Unit	supran 1345	2411 GF6	A218 V50	DMX 65M	80G 33L
Tensile Strength	MPa	123	186	240	120	145
Elongation at Break	%	2.5	1.5	2	2.5	4
Flexural Strength	MPa	7,650	8,800	13,500	6,000	6,900
Glass Fiber	%	45	30	25	33	33

2.3.1 재료선정 및 시편성형

재료는 폴리아미드계열의 유리섬유 강화 플라스틱으로 강도와 내충격에 강하다고 판단되는 Zytel 2종류와 Rhodia 2종류, 국내 업체에서 개발한 장섬유를 첨가한 제품을 선정하였다.

시편성형에 사용한 사출기는 Photo 3에 나타나 있다. LG140N 사출기는 인라인 스크류(in line screw)식 사출장치와 직압식 금형체결 장치를 갖춘 수평형 사출성형기로, 형체축이 최대 6단까지 다단압축이 가능하며, 유압과 전기제어에 의해 수동, 반자동, 자동으로 운전이 가능하고 각종 열가소성 수지의 성형에 사용 할 수 있다. 사출용량(injection capacity) 10.4 OZ. 형체결력(clamping force) 140 ton, 사출율(injection rate) 206cm³/s, 가소화 능력 113kg/h이다. 금형은 아래의 Fig. 2와 같이 ASTM D-638 규정에 의한 Tensile Specimen을 사용하였다. Photo 2는 금형의 실제 모습이다. 이 금형은 한 번의 성형에서 하나의 시편만을 제작하게 되는데 이것은 최적의 시편을 얻음으로써 시험의 신뢰도를 높여준다. Table 4은 각 재료별 성형 실험조건을 나타내었다.

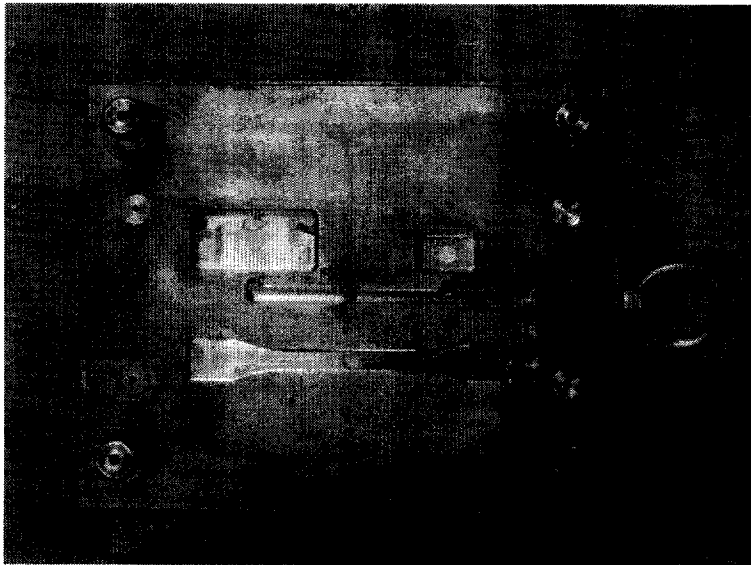


Photo 2 Tensile Speciman Mold



Fig. 2 Schematic of Tensile Specimen

Table 4 Using Material of Injection Molding

		Unit	supran 1345	A218 V50	2411 GF6	DMX 65M	80G 33L
Injection Pressure		MPa	103	123.6	103	103	123.6
Injection Speed	1st	cm ³ /s	154.5	154.5	154.5	144.2	123.6
	2nd		154.5	154.5	154.5	144.2	1103
	3rd		154.5	123.6	123.6	123.6	103
	4th		144.2	123.6	123.6	123.6	103
Injection Time		s	4	4	4	4	5
Injection Temperature	nozzle	℃	250	315	300	260	295
	H1		245	310	290	250	290
	H2		240	305	280	245	280
	H3		230	295	270	240	270
Packing Precess		MPa	103	103	103	103	103
Mold Temperature		℃	60	60	60	60	60



Photo 3 Injection Moulding Machine LG140N

2.3.2 인장시험

인장시험은 만능시험기 HOUNSFIELD H10KT를 사용하여 인장시험을 하였으며 Photo 4에서 보는 바와 같다.

시험의 조건은 접근속도 0, 초기하중 0, 인장시험 속도 3mm/min, 최대 하중 5000N으로 실시하였다.

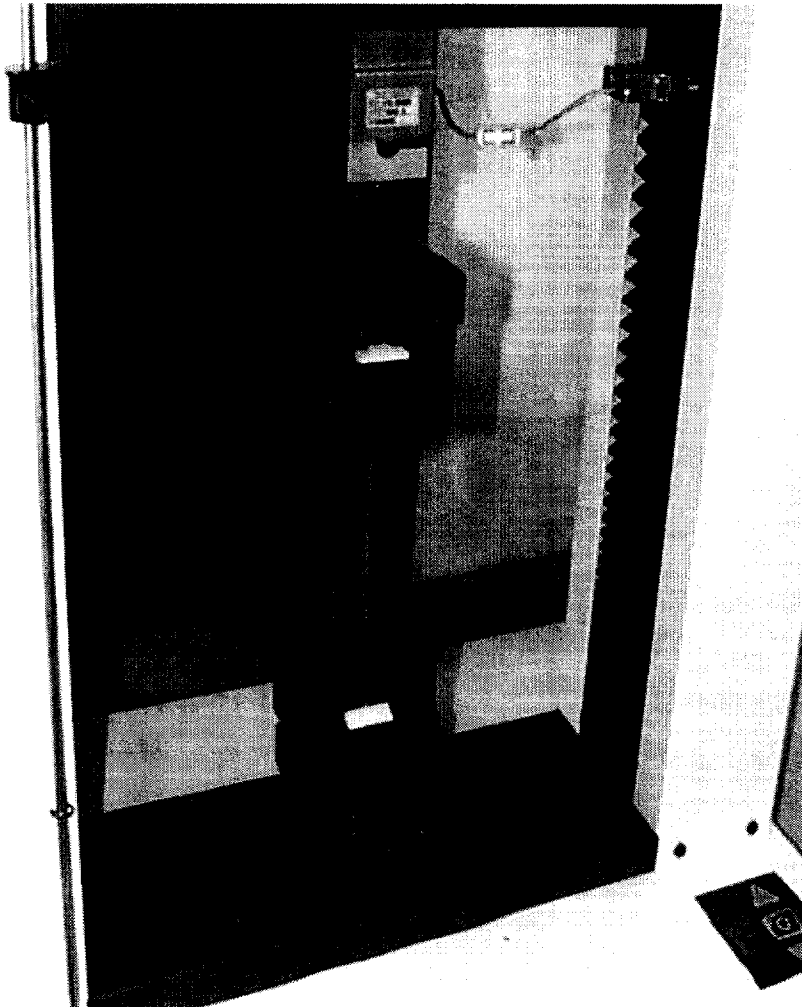


Photo 4 Universal Test Machine(HOUNSFIELD H10KT)

2.3.3 인장시험 결과

인장 시험의 시편은 각 재료별 5개씩의 시편을 사용하여, 결과 값에서 최고값과 최저값을 제외한 3개 시편의 평균값을 사용한 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같다. supran1345의 경우 최대 응력은 160MPa이었으며, 이때 신율은 1.3%로 나타나고 있다. DMX65M은 최대응력 54MPa로 낮게 나타나고 있으며, 신율은 1.07%이다. 80G33L은 응력 107.5MPa이며, 신율은 2.05%로 높게 나타나고 있다. A218V50은 최대응력 170MPa로 가장 높은 값을 보이며, 신율은 1.1%를 보이고 있다. 2411GF6는 응력은 158MPa이고, 신율은 1.35%를 나타내고 있다.

Table 5 Properties of Test Material

	Unit	supran 1345	DMX 65M	80G33L	A218 V50	2411 GF6
Maximum stress	MPa	160	54	107.5	170	158
Elongation at maximum	%	1.3	1.07	2.05	1.1	1.35

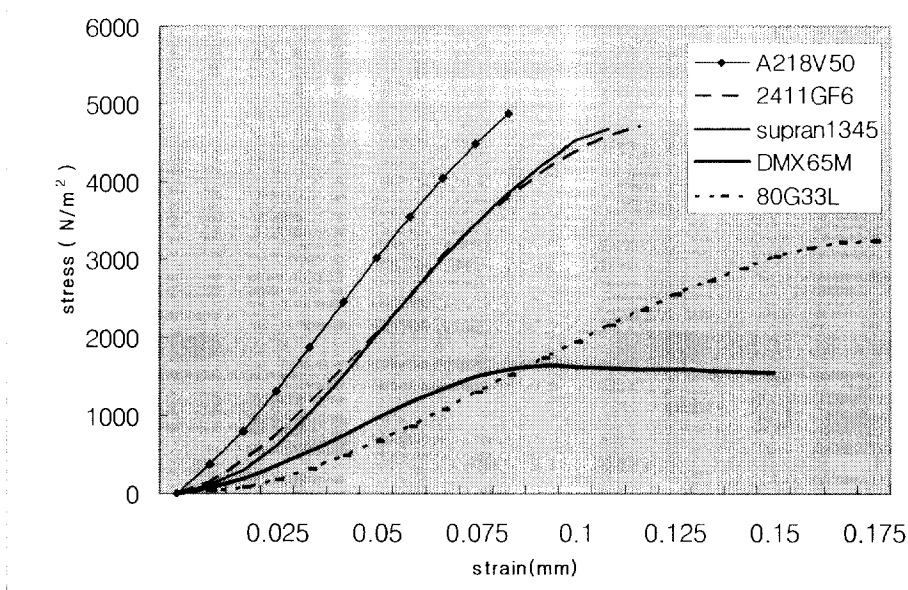


Fig. 3 Strain-Stress Curve of Test Piece

2.3.4 고찰

Fig.3에서 볼 수 있듯이 각 재료의 그래프 곡선의 기울기가 차이가 많이 나고 있다. A218V50은 응력은 가장 세게 나타나고 있으나, 변형률이 낮게 나타나고 있으며 이에 따라 압박시험에서 만족하지 못한 값을 나타내며, supran1345와 2411F6는 강도와 변형률이 비슷하게 나타나며 충격 및 내압박 강도에서 만족한 결과를 나타낼 것으로 보인다. DMX65M은 응력이 가장 약하게 나타나고 있고, 변형률이 높게 나타나고 있다. 응력이 너무 낮게 나타남으로써 충격 및 압박시험에 충분한 값을 나타내지 못할 것으로 판단된다. 80G33L은 응력은 107.5MPa를 나타내고 있으나 변형률이 가장 높게 나타나고 있는데 변형률이 높음으로 내압박성능이 떨어질 것으로 판단된다.

제 3 장 성형해석 및 구조해석

3.1 사출성형 해석과정

사출 성형 해석은 제시된 여러 형상들의 사출성형 시 금형내 유동선단과 웰드라인, 에어트랩 등을 비교하여 성형에 있어 최적형상을 결정하는데 그 1차 목표가 있다. 결정된 최적형상은 구조 해석을 통하여 다시 그 안정성을 검증한 뒤 재차 게이트 제어를 통해 웰드라인, 에어 트랩, 싱크마크 등의 제품 결함 최소화와 수축으로 인한 제품의 수치 안정성, 냉각의 균일화, 분자배향의 안정화를 통한 최적 제품 설계 및 금형 설계를 하는데 그 목적이 있다.

사출성형 공정은 충전, 보압 및 냉각의 3단계로 나눌 수 있으며, 보압과정을 후충전(post-filling) 과정이라고도 한다. 수지는 각 공정 단계를 거치면서 열적·기계적 변화를 겪게 되고, 각 공정단계에 따라 특정한 영향을 받게 된다.

충전 공정 동안 용융상태의 비뉴턴(non-newtonian) 및 비압축성 수지가 차가운 금형내부를 채워감에 따라 금형 내부의 수지압력은 급격히 증가하고, 고온의 수지가 차가운 금형 벽면과 접촉함에 따라 냉각되는 수지는 비정상 상태 유동을 한다.

일반적으로 수지는 용융상태에서 고체상태로 상변화를 일으킬 때 약 25%의 체적감소가 생기며, 이 체적감소를 보상하기 위해 보압이 필요하다. 냉각은 성형사이클 중 가장 많은 시간을 차지하는 단계로 성형품을 고화하는 취출 전의 단계이며, 냉각공정 뒤에는 성형품을 금형으로부터 취출하는 단계가 따른다.

사출성형 해석은 성형품의 충전해석, 보압해석, 냉각해석 및 금형냉각해석으로 나눌 수 있으며, 성형품의 충전·보압·냉각해석에 의해 충전압력, 웰드라인 위치, 보압의 전파, 게이트 실(seal) 시간, 수축률 분석 등을 예측할 수 있다. 또 잔류응력 해석이나, 결정화 거동 해석에 의해 잔류응력이나, 결정화도 등을 예측할 수 있고 나아가서 섬유배향해석에 의해 섬유

의 배향분포나 배향에 의한 이방성을 지닌 성형품의 기계적 특성을 예측할 수 있다. 그리고 금형 냉각해석에 의해 금형내부의 온도분포가 산출되고 휨 변형의 요인이 되는 캐비티측과 코어측의 냉각균형을 파악할 수 있다.

3.2 성형해석 이론

일반적으로 사출성형에 의해 성형되는 제품은 얇은 두께를 갖는 경우가 대부분이기 때문에 평면방향의 유동에 비해 두께 방향의 유동은 상대적으로 무시할 수 있다. 따라서 성형해석에 이용된 moldflow는 두께방향의 압력변화를 무시한 이차원 해석 이론이 적용되었다.

일반 압축성 유체에 적용되는 연속방정식은 (1)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서, x 는 x 방향의 좌표, y 는 y 방향의 좌표, z 는 z 방향의 좌표, u 는 x 방향의 속도, v 는 y 방향의 속도, w 는 z 방향의 속도, ρ 는 밀도로 압력과 온도의 함수이다.

일반적인 사출성형의 경우에는 시간에 따른 밀도의 변화량을 무시할 수 있으므로 (2)식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

캐비티 내의 X, Y 방향은 운동 방정식은 (3),(4)식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial z}(\eta \frac{\partial u}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(\eta \frac{\partial v}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기서, η 는 전단점성계수(shear viscosity)다.

캐비티 내의 에너지 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho C_p (\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \dot{\gamma}^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

여기서 t 는 시간, p 는 압력, T 는 온도를 나타낸다. C_p 는 비열(specific heat) k 는 열전도율(thermal conductivity), $\dot{\gamma}$ 는 유효 전단율(effective shear rate)을 나타낸다.

이때 두께방향의 경계조건은 다음과 같다.

$$u=v=w=0 \quad ; \quad T=T_w \quad \text{at} \quad z=\pm h \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} + w = 0 \quad ; \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{at} \quad z=0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

여기서 h 는 캐비티(cavity) 두께의 1/2, T_w 는 금형 벽면의 온도이다.

3.3 성형해석

해석조건은 Table 6과 같다. 수지에 따른 성형온도는 최고 온도인 노즐 부의 온도를 나타내었으며, 금형온도는 80℃에서 한번 해석하였으며, 90℃에서 한 번 더 해석하였다. 사출압력 또한 80℃일 때 100MPa를 적용하였고, 90℃일 때 120MPa를 적용하였다. 보압 압력 또한 70MPa와 80MPa를 차례대로 적용하였다.

Table 6 Condition of Analysis Process

	Resin	unit	supran 1345	A218 V50	2411 GF6	DMX 65M	80G33L
Injection Process Condition	Resin Temperature	℃	250	310	300	280	300
	Mold Temperature	℃	80~90	80~90	80~90	80~90	80~90
	Injection Pressure	MPa	100~ 120	100~ 120	100~ 120	100~ 120	100~ 120
	Injection Time	s	4	4	4	4	4
	Pack pressure	MPa	70~80	70~80	70~80	70~80	70~80
	Pack Time	s	2	2	2	2	2

3.3.1 초기형상

초기의 토캡 형상은 기존의 강철 토캡의 형상을 따라서 그대로 설계하였으며, 게이트의 위치에 따른 성형성을 알아보기 위해 게이트를 토캡 하단에 위치한 경우와 토캡 앞쪽에 위치한 두 가지 게이트위치에서 해석을 실시하였다.

3.3.2 성형해석 결과

성형해석에 앞서 먼저 각 재료에 대한 P-v-T선도를 알아보겠다. Fig. 5에서 Fig. 7은 P-v-T선도를 나타내고 있다. 플라스틱은 사출성형과정에서 고온에서 고압을 받아서 사실상 압축이 되며, 이로 인해 공정의 변화가 많다. 그러므로 본 해석에서는 압력이 일정할 때, 온도가 증가함에 따라 비체적이 증가하고, 특히 반결정성인 폴리아미드의 경우 그 변화가 많음으로 성형에 있어서 압력과 온도의 제어는 중요하다. 해석에서 100MPa의 압력으로 해석하고 있으며, 온도분포는 280℃~290℃를 보이고 있다. P-v-T선도에서 100MPa값과 온도분포에 따른 선도의 기울기를 통하여

비체적의 변화를 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 초기형상을 80G33L 수지를 사용하여, 게이트를 하단과 전면에 위치시켰을 때 성형해석의 결과이다. 에어트랩 및 웰드라인의 생성 정도와 충전시간, 압력분포, 유동선단온도분포 및 냉각시간을 나타낸다. (a)의 에어트랩은 성형품 끝단에 생성되고 있으며, 이것은 금형 설계시 공기빼기를 통하여 해결이 되며 공기빼기 위치를 위한 자료로 활용된다. (b)는 웰드라인이 형성되고 있다. 제품의 가운데 끝단과 중앙 끝부분에 길게 형성되며, 형상에 비해 웰드라인이 비교적 길게 형성되고 있다. (c)의 충전시간은 수지의 점성이 낮아 설정한 시간보다 길게 나타내고 있다. (d)의 충전완료 시의 압력분포는 오른쪽 끝단부에 낮게 나타나고 있으며, 다른 부분은 고른 압력분포를 보인다. 압력분포가 낮아 불완전한 성형이 되는 것은 아니며, 성형 시 문제가 발생하였을 때 참고자료로써 문제해결에 이용할 수 있다. (e)의 유동선단 온도분포는 성형 시 수지의 유동에 따른 온도변화를 나타내고 있으며, Fig. 8에서는 최고온도와 유동에 따른 최저온도부의 차이가 22℃의 온도차를 나타내고 있다. Fig. 9에서는 5℃로 작게 나타나며, 이 또한 한쪽 끝에서만 나타나고 있음을 볼 수 있다. 결과 성형 후 잔류응력의 감소로 안정된 성형이 된다.

Fig. 10과 Fig. 11은 A218V50 수지를 사용하여 성형해석을 한 결과로 전체적으로 수지의 유동이 원활하지 못하다. (a)의 에어트랩은 양쪽 끝부분에 나타나고 있으며 상단에도 나타난다. (b)의 웰드라인은 상단 끝부분과 게이트 주위에 약간 길게 나타나고 있다. Fig. 8(b)와 거의 같은 형상으로 나타나고 있으며, 웰드라인이 길게 나타난다. (c)의 충전시간은 4.5초 정도를 나타내고 있다. Fig. 8(c)와 비교했을 때, 점도가 높으며, 유동이 원활하지 못하다. 이것은 수지의 온도를 조절함으로 개선될 수 있을 것으로 판단된다. (d)의 충전완료 시 압력분포는 오른쪽 끝단에 낮은 압력이 나타나고 있다. (e)의 유동선단 온도분포는 최고 230℃에서 최저 200℃ 정도로 30℃ 정도의 온도 차이를 나타내고 있다.

Fig. 12와 Fig.13에서는 DMX 65M 수지를 사용하여 게이트가 하단에

위치하였을 때 성형해석의 결과로 수지의 유동은 대체적으로 원활하다. (a)는 웰드라인으로 게이트의 위치에 상관없이 끝단에 길게 형성되고 있다. 웰드라인이 해석 전체적으로 많이 생기고 있으나 금형의 파팅면에 위치하여 나타나고 있으므로 문제가 되지 않는다. (b)의 에어트랩 또한 끝단부에 집중적으로 많이 형성되어 있다. 에어트랩의 위치도 각 수지에서 일정한 위치에서 볼 수 있으며, 이는 공기빼기를 통해 해결된다. 충전시간은 약 3초로써 위의 두 수지에 비해 유동이 비교적 좋다. 압력분포 또한 공통적으로 끝부분에 낮게 나타나고 있다. 유동선단 온도분포는 온도차이가 극히 작아 잔류응력이 작게 분포할 것으로 보인다. 또한 끝부분을 제외하고 고르게 나타나고 있어 수지의 흐름은 안정적이다. 냉각시간은 25초 정도로써 다른 수지에 비해 짧다.

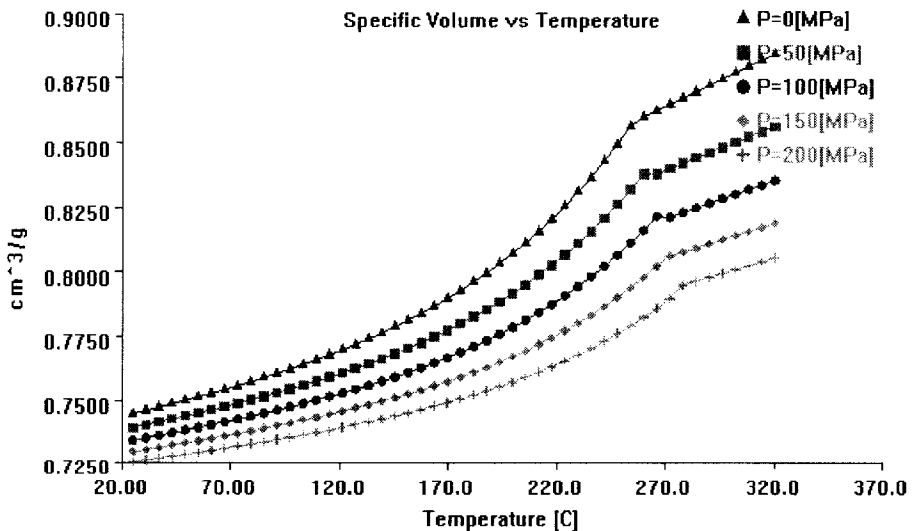


Fig. 5 P-v-T curves of 80G33L

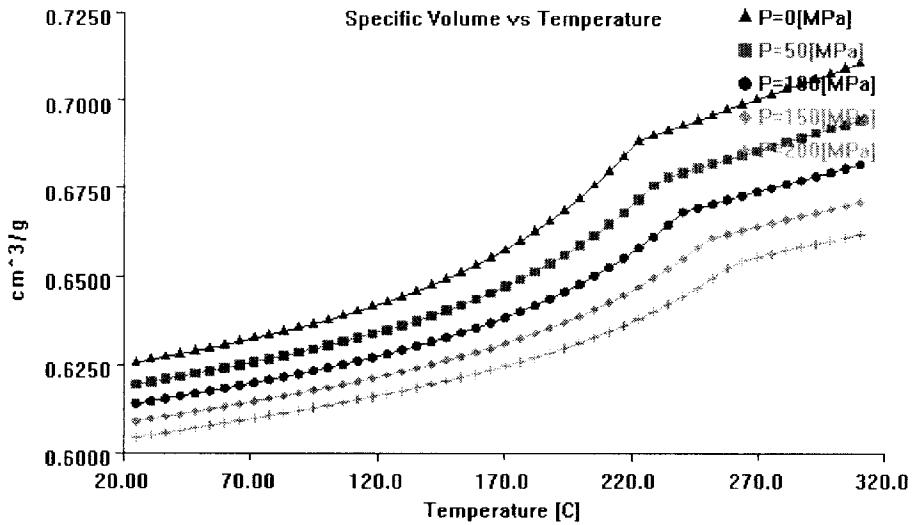


Fig. 6 P v T curves of A218V50

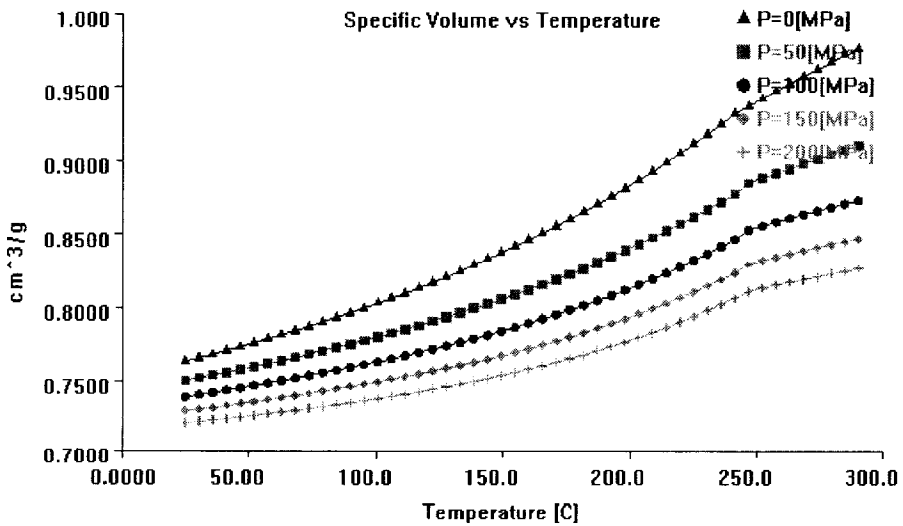
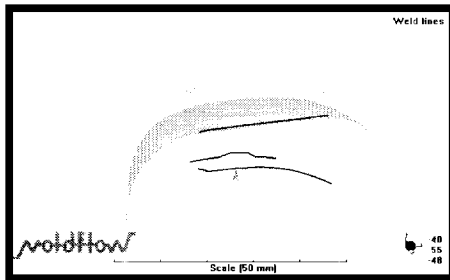


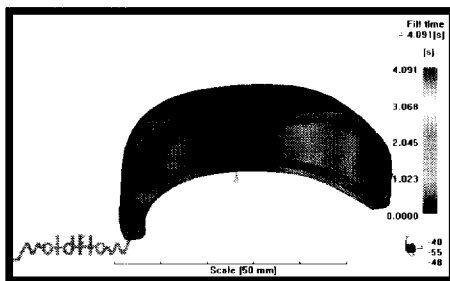
Fig. 7 P-v-T curves of A218V50



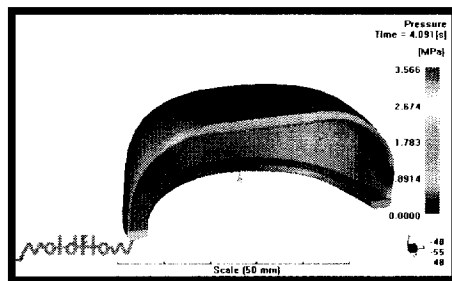
(a) Weld Line



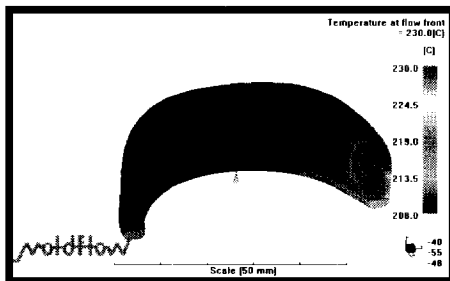
(b) Air Trap



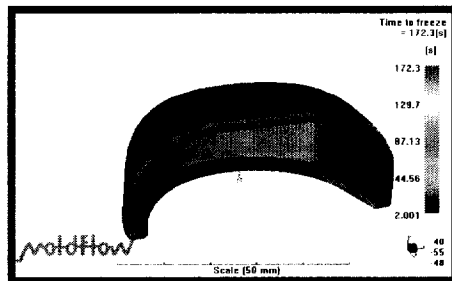
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure

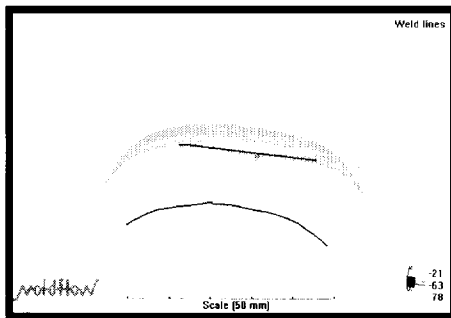


(e) Temperature at flow front



(f) Time to Freeze

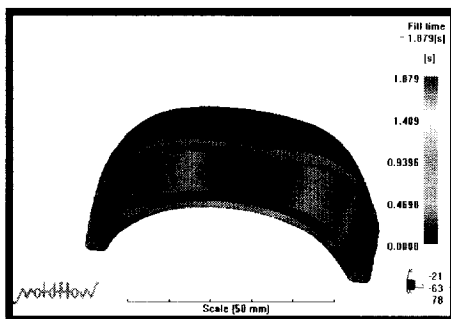
Fig. 8 Injection Molding Analysis of Initial Model
80G33L Gate Type 1



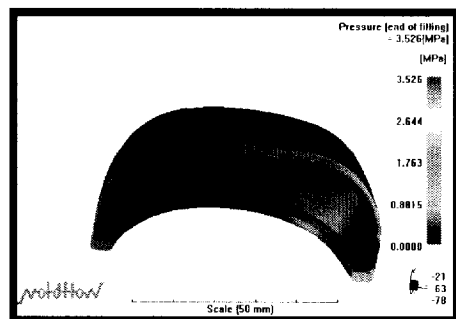
(a) Weld Line



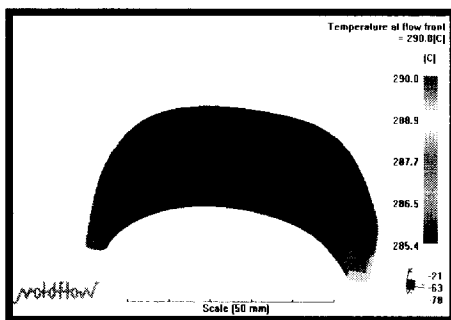
(b) Air Trap



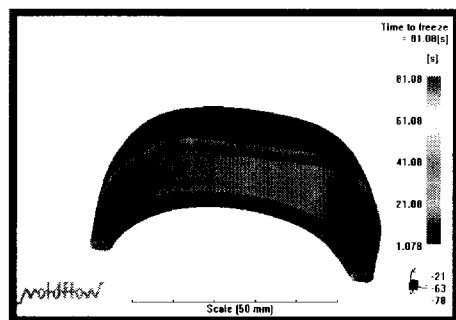
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure

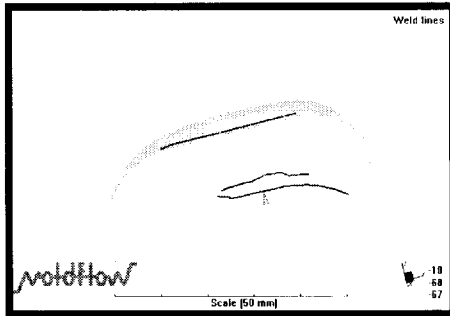


(e) Temperature at Flow Front

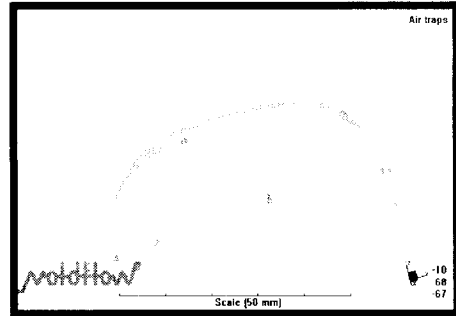


(f) Time to Freeze

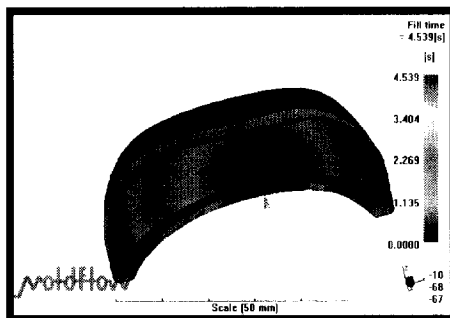
Fig. 9 Injection Molding Analysis of Initial Model
80G33L Gate Type 2



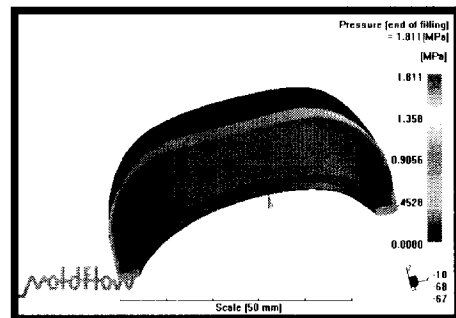
(a) Weld Line



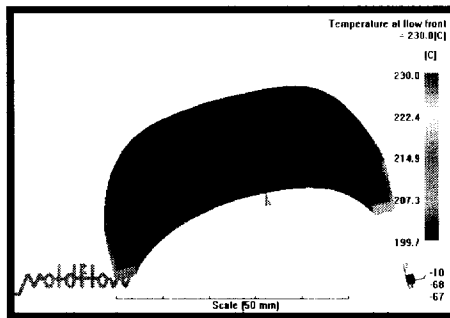
(b) Air Trap



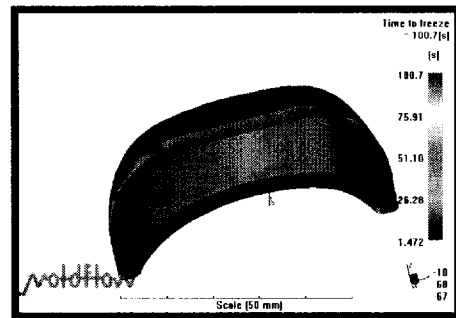
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure

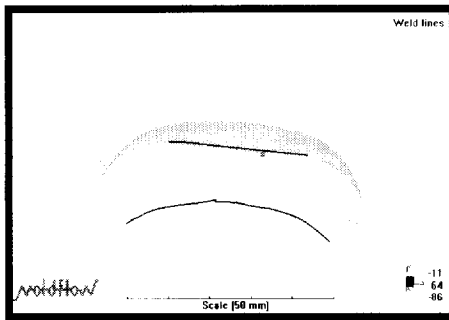


(e) Temperature at Flow Front



(f) Time to Freeze

Fig. 10 Injection Molding Analysis of Initial Model
A218V50 Gate Type 1



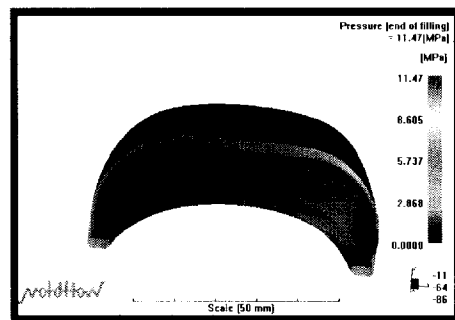
(a) Weld Line



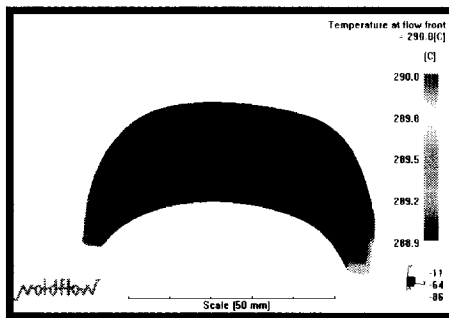
(b) Air Trap



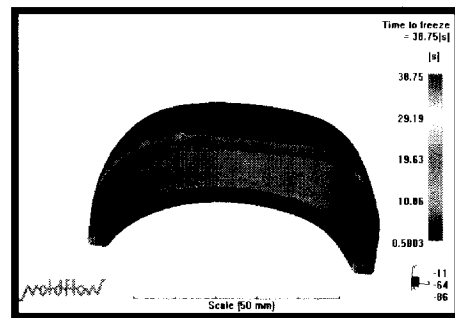
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure

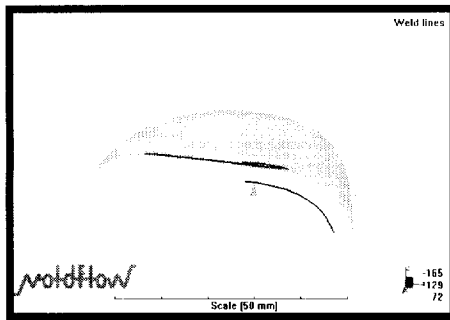


(e) Temperature at Flow Front

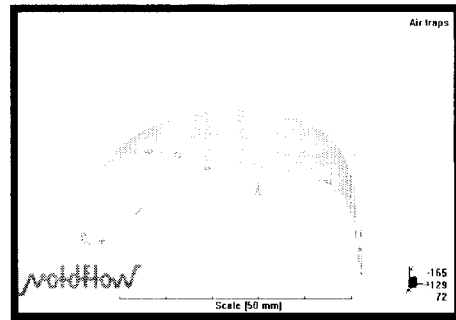


(f) Time to Freeze

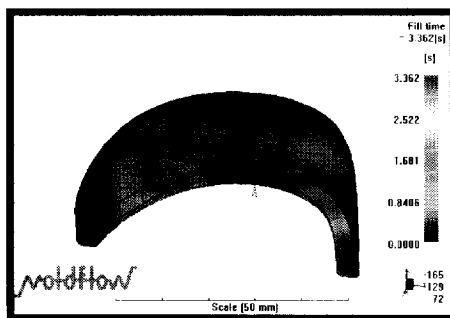
Fig. 11 Injection Molding Analysis of Initial Model
A218V50 Gate Type 2



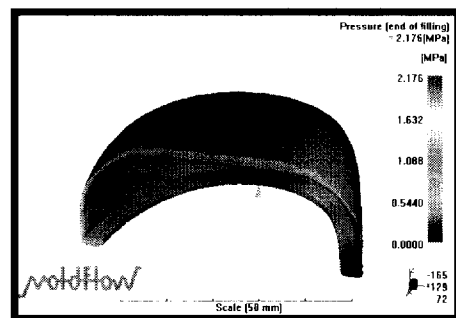
(a) Weld Line



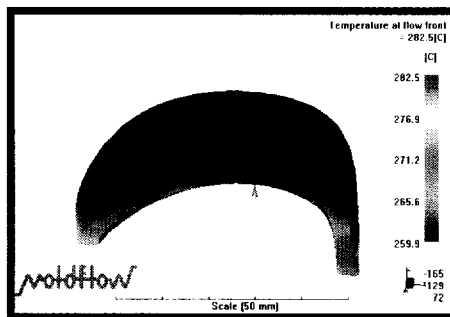
(b) Air Trap



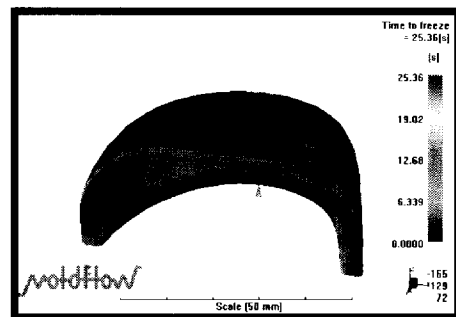
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure

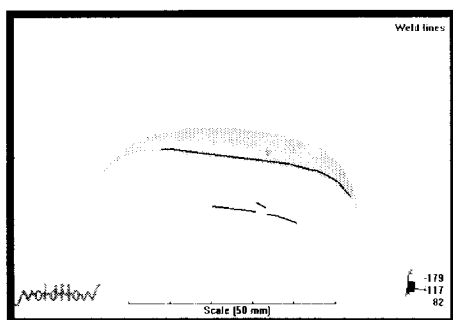


(e) Temperature at Flow Front

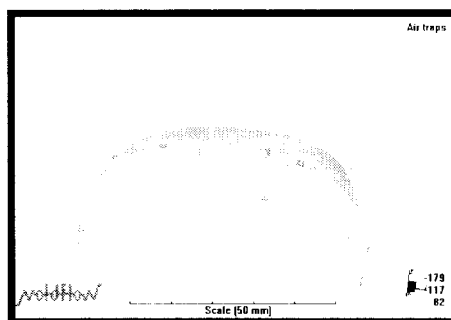


(f) Time to Freeze

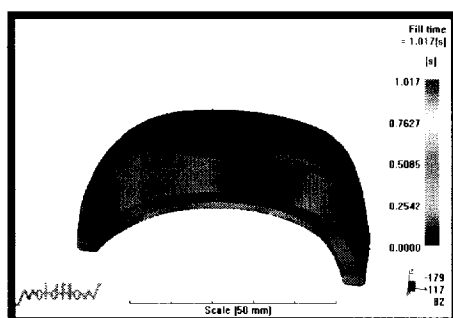
Fig. 12 Injection Molding Analysis of Initial Model
DMX65M Gate Type 1



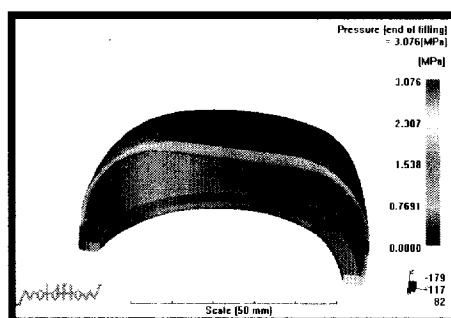
(a) Weld Line



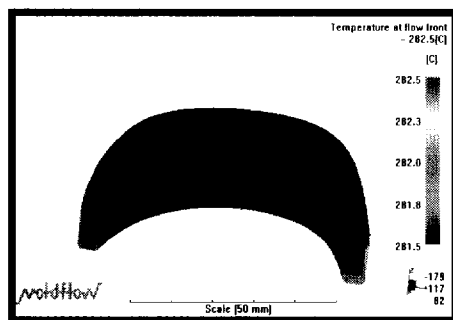
(b) Air Trap



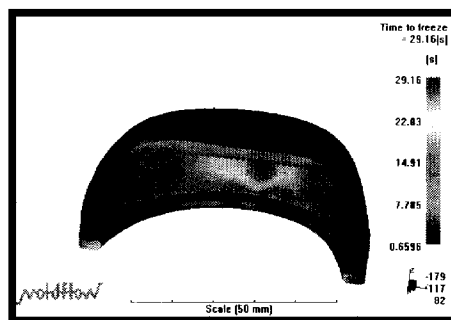
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure



(e) Temperature at Flow Front

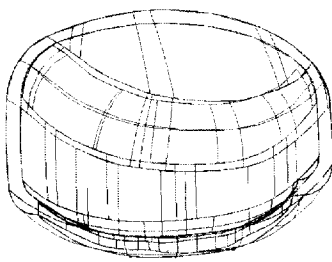


(f) Time to Freeze

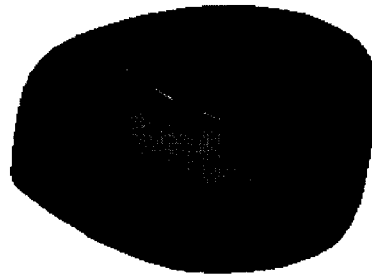
Fig. 13 Injection Molding Analysis of Initial Model
DMX65M Gate Type 2

3.3.3 수정한 형상

초기 모델링한 형상의 응력 집중되는 부분을 분산 할 수 있도록 하며, 하중이 집중되는 부분의 두께를 두껍게 형상을 변경하여 모델링하였다. Fig. 14는 변형된 형상을 나타내고 있다. 이 모델을 사용하여 다시 성형해석을 실시하였다.



(a) Wire Frame Model

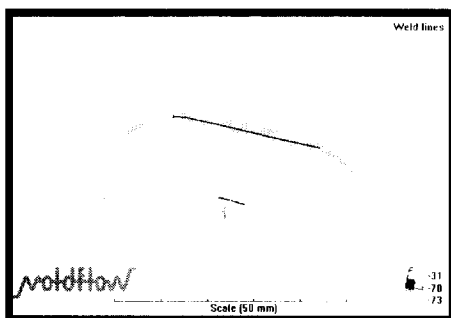


(b) Solid Model

Fig. 14 Modified Toe-Cap Model

3.3.4 성형해석 결과

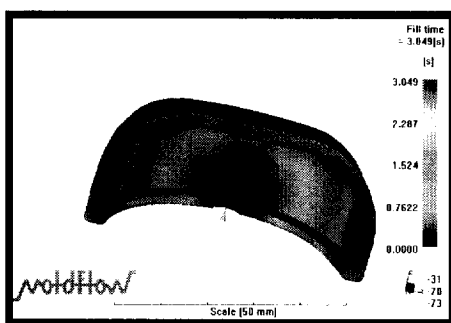
Fig. 15와 Fig.16은 수정한 형상을 A218V50 수지를 사용하여 게이트를 하단과 전면으로 하였을 때의 성형해석결과이다. (a)의 웰드라인은 가운데 끝단부에 길게 형성되나 중앙에는 이전 형상에 비해 길이가 1cm이하로 줄어 있다. 게이트가 전면일 때보다 하단에 위치하였을 때 더 작게 형성되고 있다. (b)의 에어트랩 또한 끝단부에 주로 형성이 되고 있으나 이는 공기빼기로 해결이 되며, 하단 게이트 일 때 작게 발생하고 있다. (c)와 (d)의 성형 온도와 압력은 초기 형상과 거의 차이가 없으며, 게이트 위치에 따른 변화도 거의 없다. (e)의 유동선단 온도분포는 오른쪽 끝단을 제외한 다른 부분은 일정하며, 게이트의 위치에 따른 차이점도 거의 없다. 두 게이트에 따른 성형해석을 비교해 본 결과 차이점을 발견하기 힘들며, 다만 하단 게이트일 때 웰드라인과 에어트랩의 발생이 감소하였다.



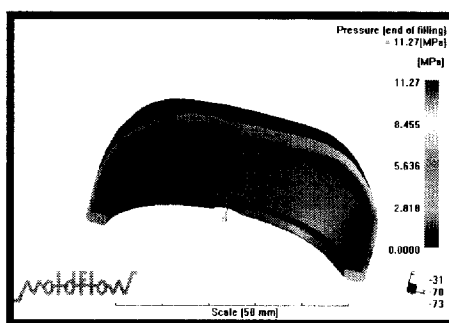
(a) Weld Line



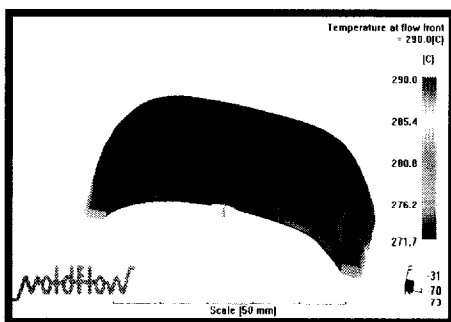
(b) Air Trap



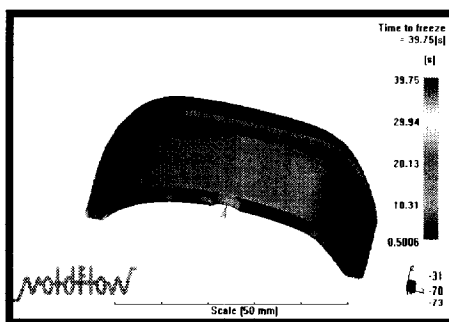
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure

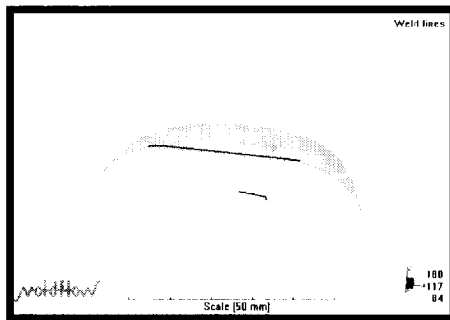


(e) Temperature at Flow Front

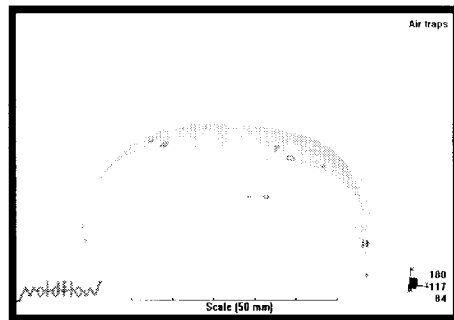


(f) Time to Freeze

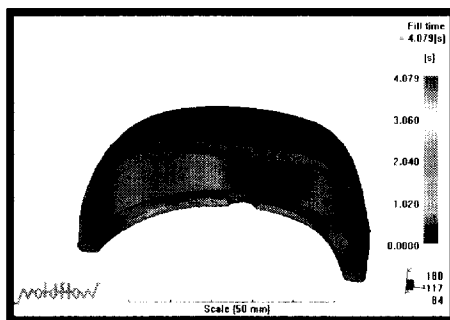
Fig. 15 Injection Molding Analysis of Modified Model
A218V50 Gate Type 1



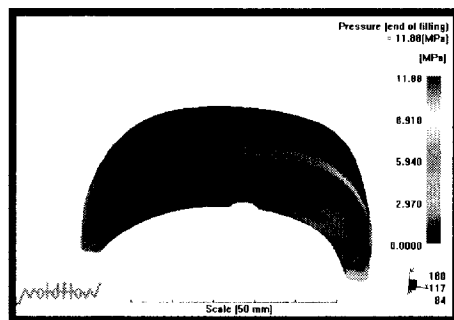
(a) Weld Line



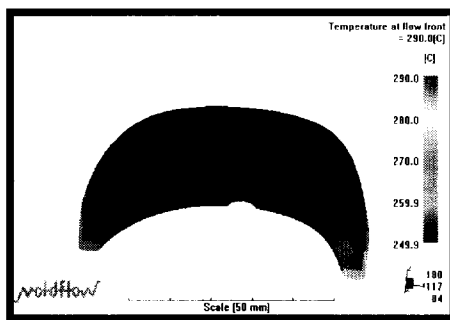
(b) Air Trap



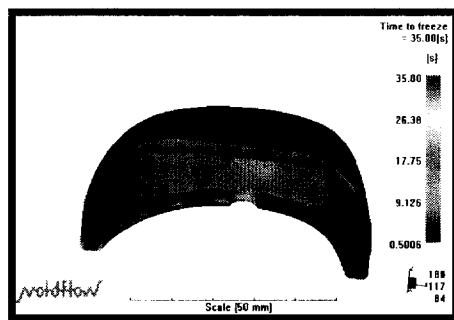
(c) Fill Time



(d) Injection Pressure



(e) Temperature at Flow Front



(f) Time to Freeze

Fig. 16 Injection Molding Analysis of Modified Model
A218V50 Gate Type 2

3.4 구조해석

성형해석결과를 토대로 구조해석을 실시하였다. 구조해석은 내압박시험에서 토캡의 강도해석을 위해 실시하고 있으며, 해석은 Ideas를 이용하여 실시하였으며, 구조해석을 통하여 성형된 형상의 강도를 예측하고, 하중이 가해질 때 변형되는 정도를 파악할 수 있다. 해석은 초기 형상과 수정한 형상에 대하여 실시하였다.

구조해석 결과는 초기형상의 경우 Fig. 18에서 응력은 최대 2.95MPa로 나타나고 있으며, 수정한 형상은 Fig. 20에서 3.56MPa로 응력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 초기형상의 경우 실제 실험에서 KS규격에 의한 강도는 견디고 있으나, 실제 안전화를 제작하여 실험할 경우에 구속조건이 달라짐으로 인하여 응력의 집중으로 균열이 발생하고 있으며 이를 보완하기 위해 형상을 수정, 보완하였다. 수정 보완을 함에 있어서 응력을 많이 받는 부분을 보완하여 강도를 높이는 것이 최선의 방법이지만, 신발의 구조상 두께를 증가시키기 힘들기 때문에 응력의 집중을 분산시키기 위하여 그 부분을 제거하였다. Fig. 17과 Fig. 19는 변형량을 나타내고 있다. 초기형상에서 변형량은 1.83mm이며, 수정한 형상에서는 2mm를 보이고 있다. 변형량이 증가하였으나, 내압박시험의 기준이 일정 하중을 가하여 바닥과 토캡간의 거리가 최소 12.5mm 이상이 되면 되는데, 이 기준을 충족시키고 있다.

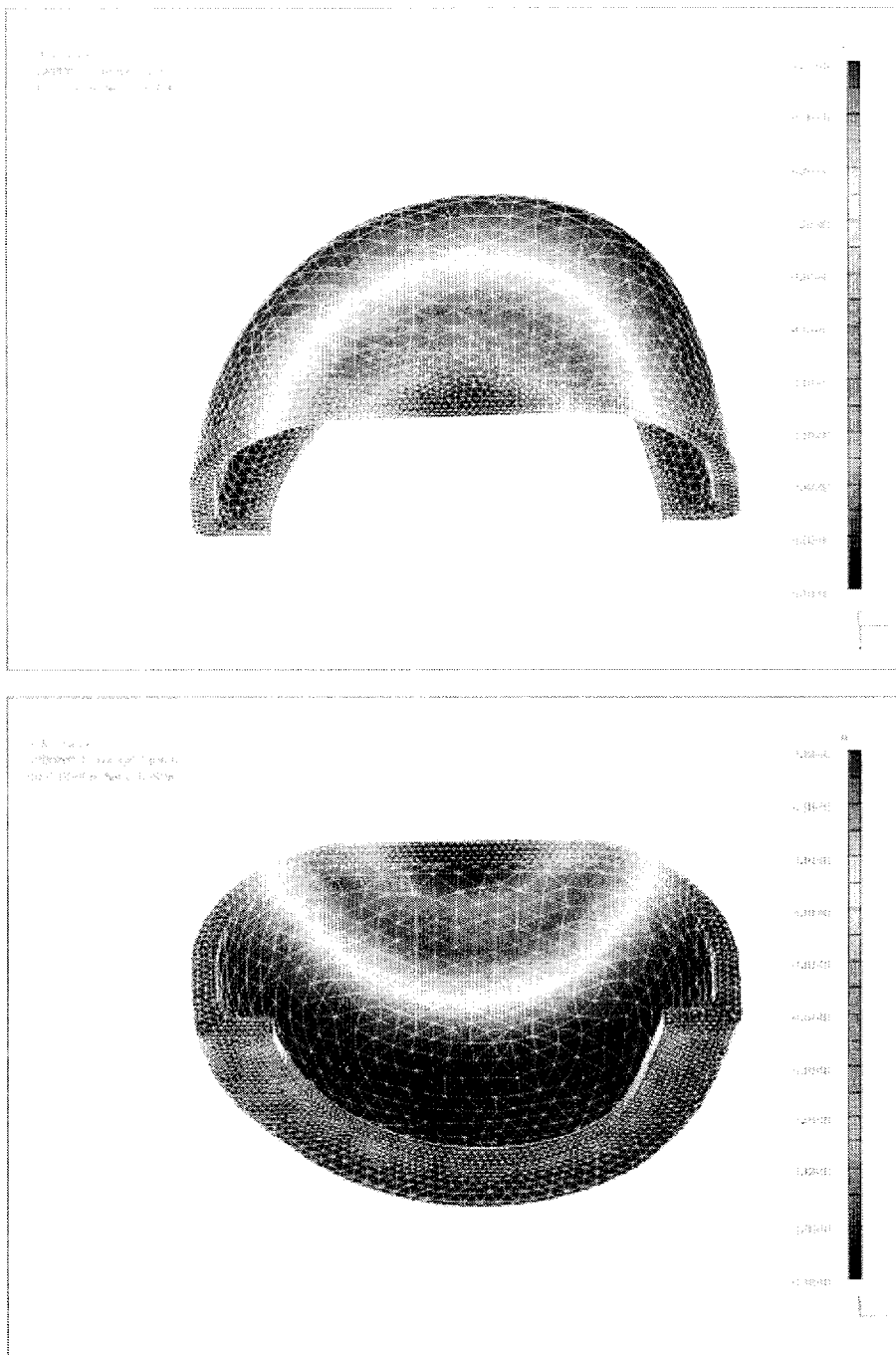


Fig. 17 Result of Ideas Simulation Initial Model (Displacement)

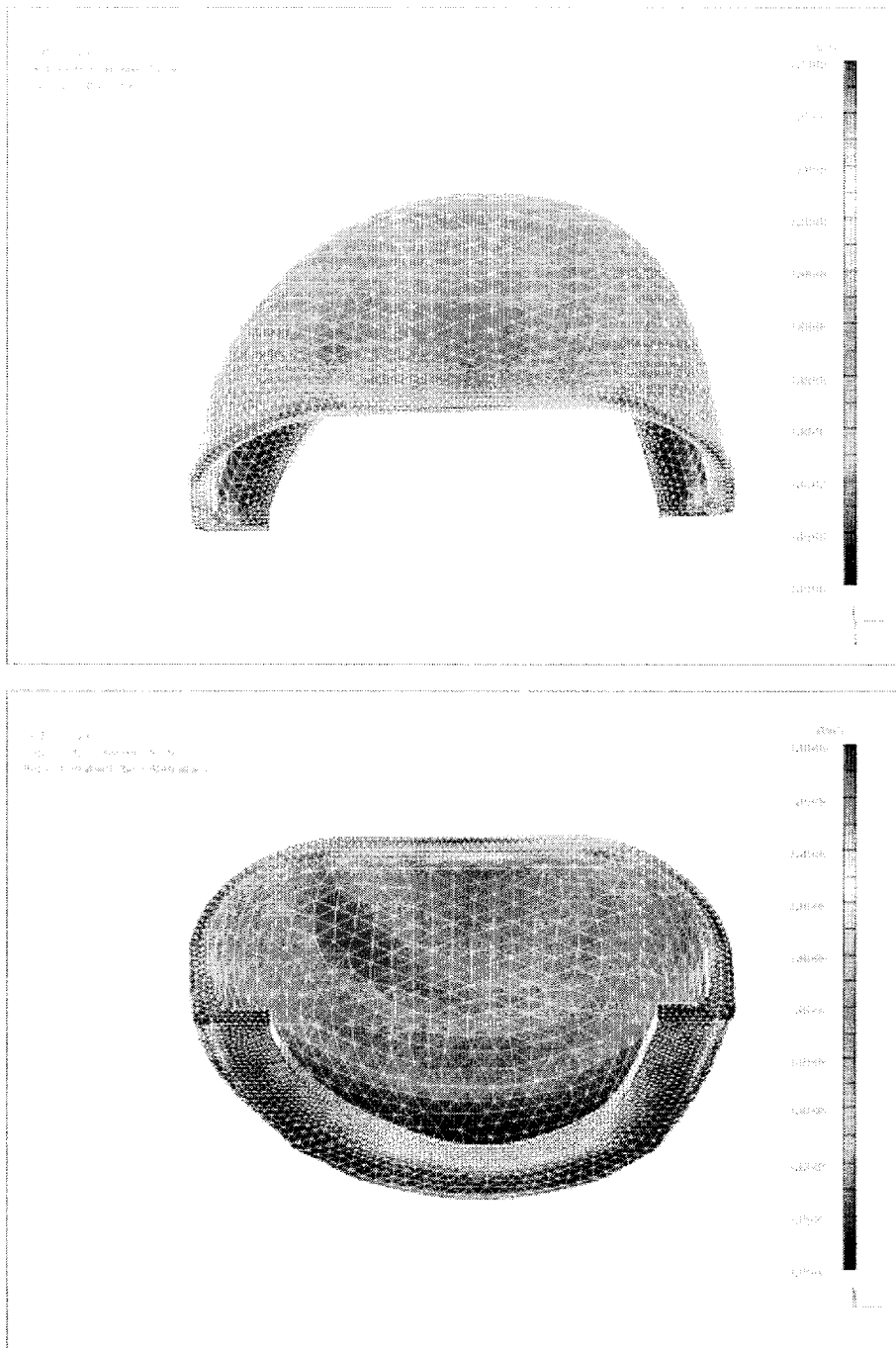


Fig. 18 Result of Ideas Simulation Initial Model (Stress)

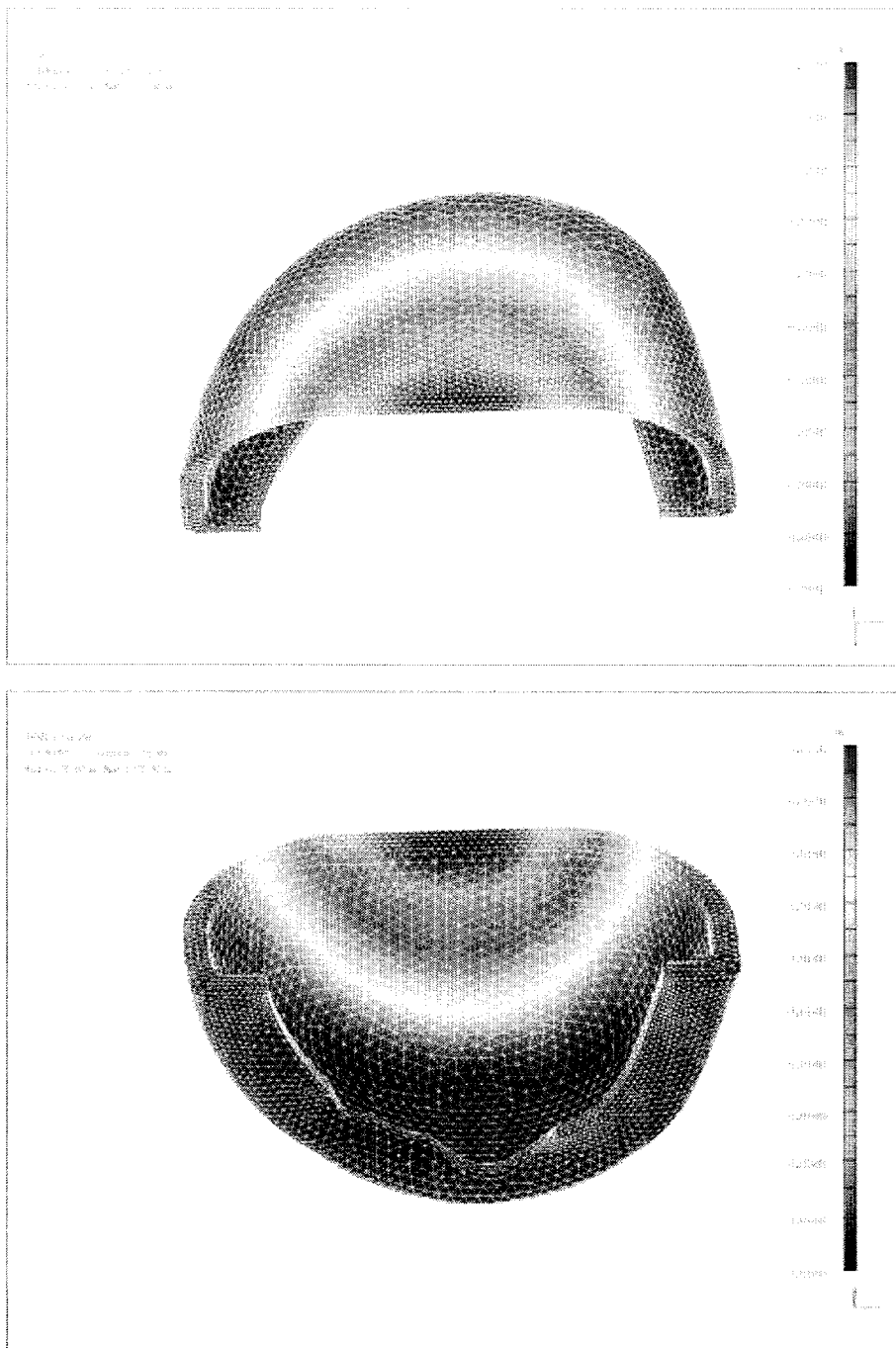


Fig. 19 Result of Ideas Simulation Modified Model (Displacement)

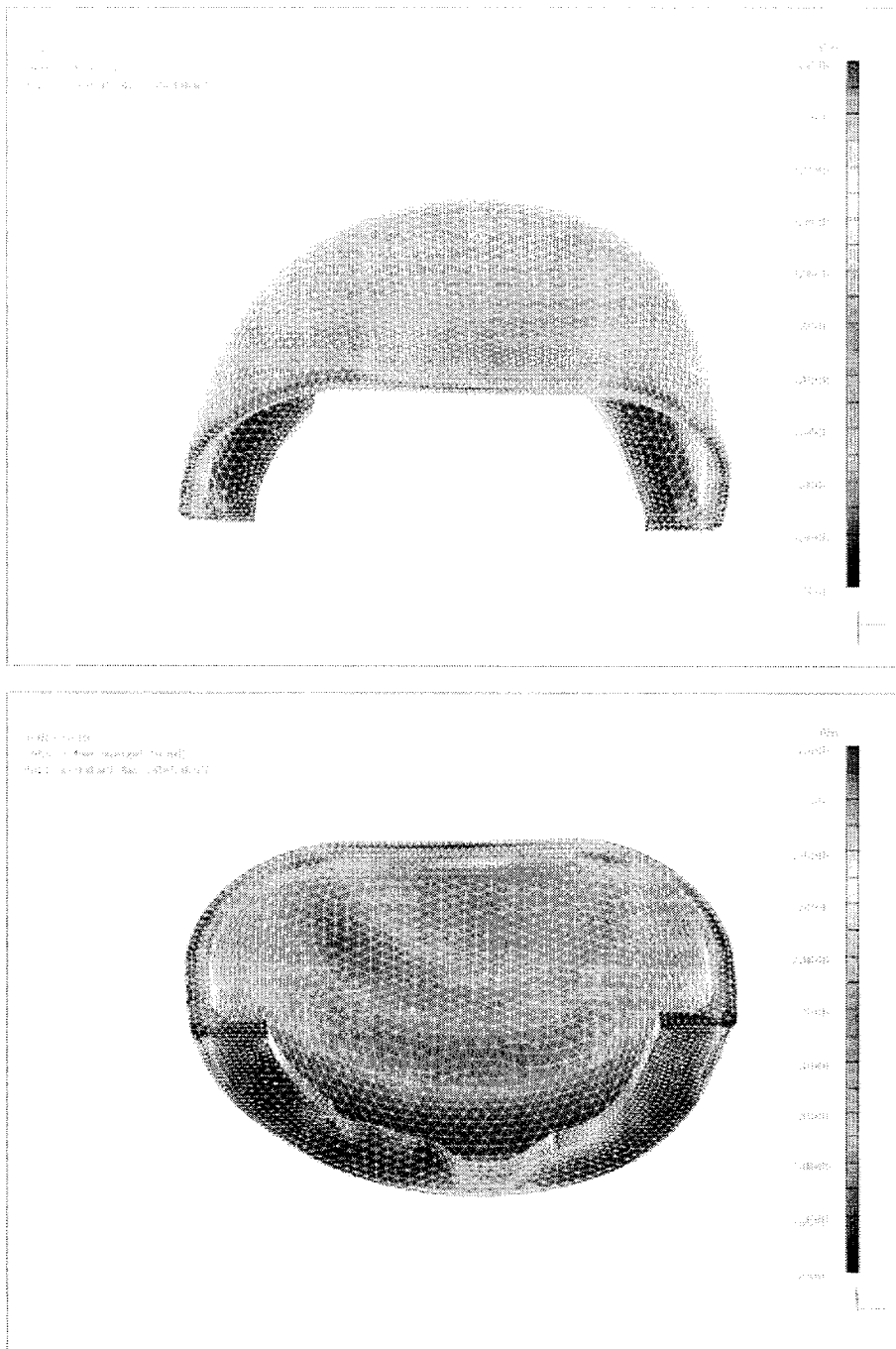


Fig. 20 Result of Ideas Simulation Modified Model (Stress)

제4장 실험장치 및 방법

4.1 성형 실험

사출성형 실험에서 LG140N을 이용하였다. 사출조건은 Table 6에서와 같이 성형재료의 물성에 따른 조건을 달리 하였으며, 섬유강화제 첨가로 사출압력이 10~20% 높게 나타나 있다. 유리섬유 등을 함유한 결정성 수지는 표면에 첨가제의 돌출을 막기 위해 빠른 사출 속도를 요구한다. 성형온도는 300℃가 넘기도 하는 등의 특성을 보여주고 있다. 보압은 초기에 조건을 달리 실험 하였으나, 형상 수정 후에는 일정하게 실험하였다. 나일론은 성형 시 수분이 함유되어 생기는 현상들로는 표면불량, 성형품 내 기포발생, 노즐 흘림,バリ현상 및 용융체에 거품이 생기므로 규정된 시간동안의 건조가 필요하다. 금형은 Photo 5와 같이 하나의 금형에 두 개의 캐비티를 가지고 한 번의 성형에 좌우 한쪽분량의 토캡을 성형할 수 있도록 제작되었으며 오른쪽이 고정측이고 왼쪽이 이동측이다. Photo 6은 성형 실험 후 제품의 형상을 나타낸 것이다.

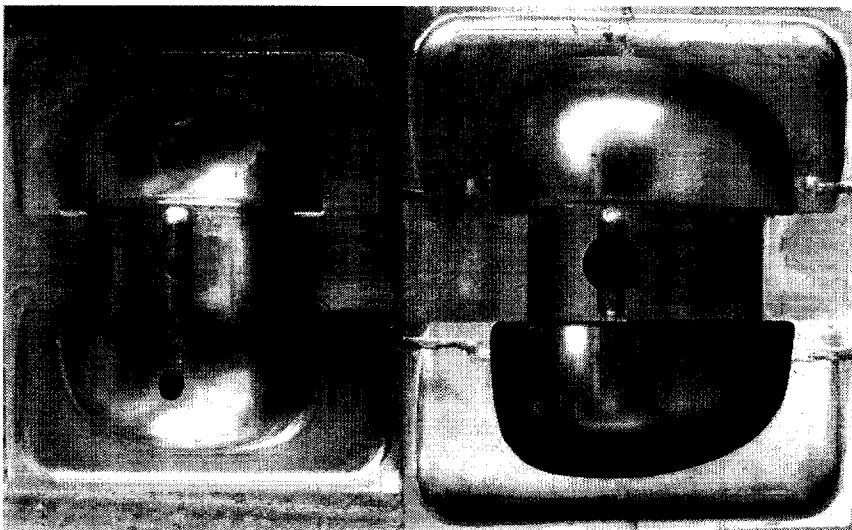


Photo 5 Initial Shape of Mold Core

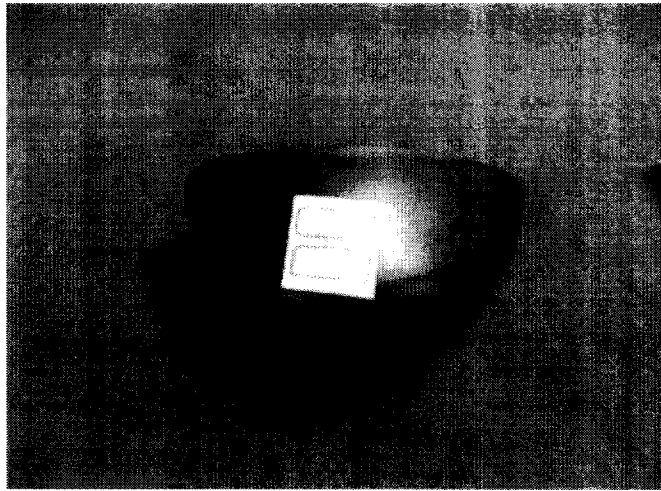


Photo 6 View of Toe Cap by Injection Molding

Table 7 Injection Molding Conditions

		Unit	supran 1345	A218 V50	2411 GF6	DMX 65M	80G 33L
Injection Pressure		Mpa	114	106.4	106.4	91.2	106.4
Injection Speed	1st	cm ³ /s	154.5	154.5	154.5	144.2	123.6
	2nd	cm ³ /s	154.5	154.5	154.5	144.2	103
	3rd	cm ³ /s	154.5	123.6	123.6	123.6	103
	4th	cm ³ /s	144.2	123.6	123.6	123.6	103
Injection Time		s	4.5	4.5	4	4	5
Injection Tempe- rature	nozzle	℃	250	315	300	260	295
	H1	℃	245	310	290	250	290
	H2	℃	240	305	280	245	280
	H3	℃	230	295	270	240	270
Packing process		Mpa	103 ~ 144.2	103 ~ 144.2	103 ~ 144.2	103 ~ 144.2	133.9
Mold Temperature		℃	60	60	60	60	60

4.2 성능 실험 및 결과

토캡의 성능 및 시험에 관한 규정은 KS G3127에 잘 나타나있으며, 충격실험과 압박실험이 성능실험의 대상에 포함된다. 본 연구에서는 플라스틱 토캡에 대하여 충격실험과 압박실험, 그리고 플라스틱 소재로 대체함에 있어서 경량화 된 정도를 알아보기 위하여 중량측정을 하였다.

4.2.1 충격실험

충격실험은 안전화를 착용하였을 때 일정한 중량의 물체로 인한 충격에 발끝의 보호 정도를 알아보기 위한 실험이다. KS 규정에 의거하여 Photo 7의 시험기를 자체 제작하였으며, 이 시험기로 충격실험을 실시하였다. 안전화 규정에서 중작업용(H), 보통작업용(S), 경작업용(L)의 각각의 안전화에 따른 내충격시험 조건은 추의 무게를 $20\text{kg} \pm 0.2\text{kg}$ 으로 했을 때, Table 1에 충격실험의 높이와 이때의 충격에너지 값이 나와 있으며, 시험은 보통작업용과 경작업용에 대하여 실시하였다. 충격실험시 안전화의 토캡은 시험 축 위에 빛을 통과하는 터짐이 생겨서는 안 되며, 중창과 선심의 틈새는 최소12.5mm에서 15mm 이상이 되어야하는데 높이는 중창과 선심사이 에 유점토를 삽입하여 높이를 측정한다.

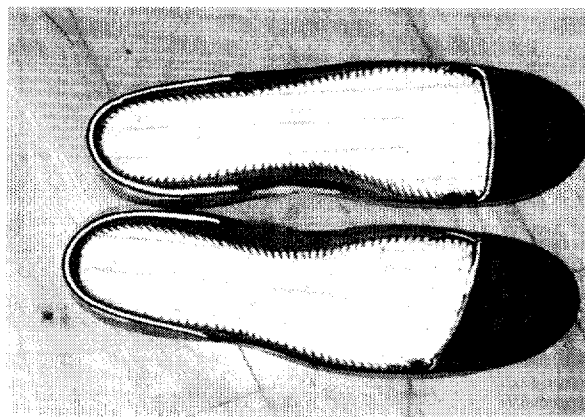


Photo 7 View of Test Piece Before
Impact Test

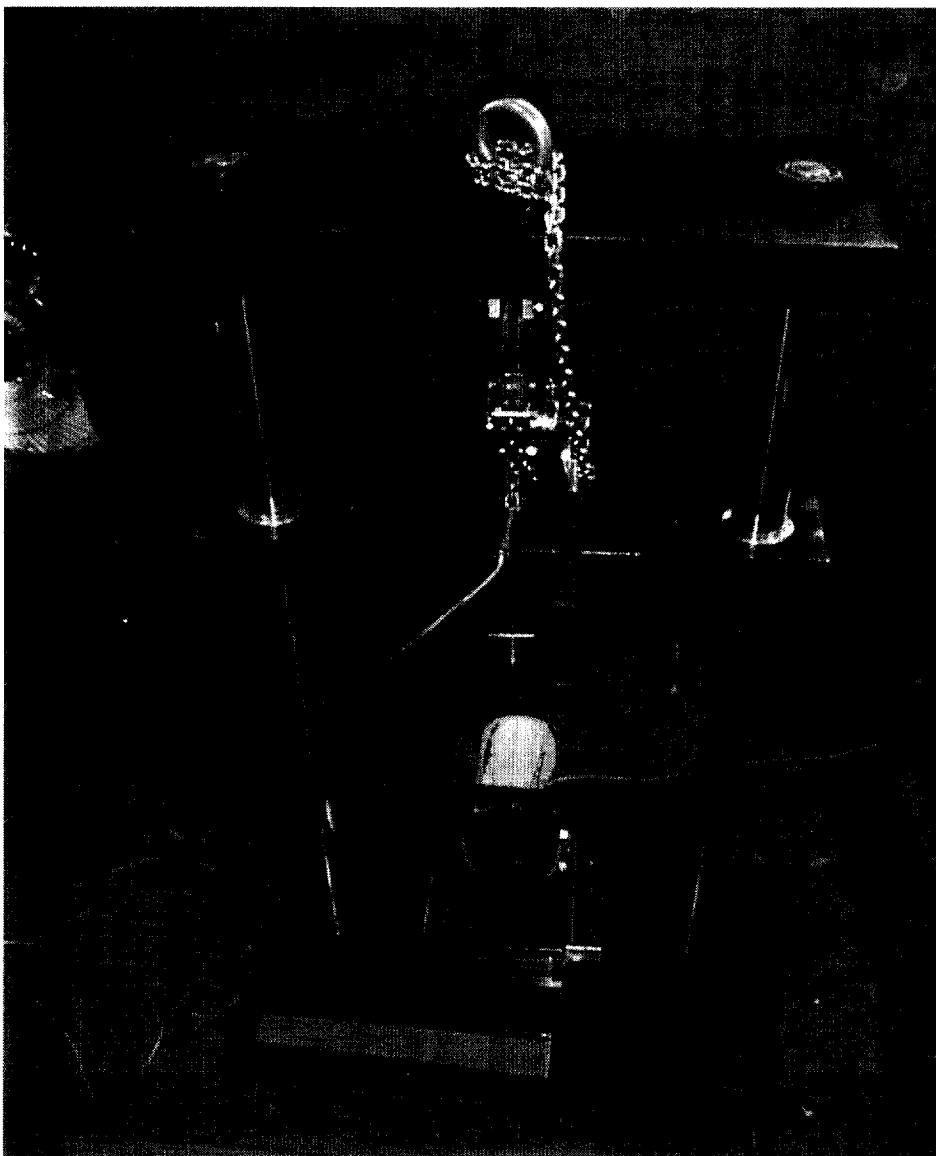


Photo 8 Full View of Impact Test Equipment

Photo 8은 자체 제작한 충격시험기이며, 시험기 추의 가운데 스트라이커의 앞 끝부분이 반지름 3mm의 둥글게 나뉠진한 각도 $90 \pm 1^\circ$ 의 썰기 형으로 높이 40mm, 절단길이 60mm 이상으로 한다.

본 실험에서 재료에 따른 충격의 흡수 및 충격 시 전달되는 충격값을 알아보기 위하여 하부에 공구동력계를 설치하였다.

시료는 제작된 안전화에서 Toe-Cap 부분의 선심의 뒤끝에서 뒤쪽으로 약 30mm의 면을 따라 절단하여 사용하며, 뒤 깔창이 있으면 그대로 사용하도록 되어 있으며 Photo 7과 같다.

4.2.2 충격실험의 결과

충격실험은 경작업용과 보통작업용 기준으로 초기형상과 변경된 형상에 대하여 각각 실시하였다. Table 7에서 관찰할 수 있듯이 경작업용 기준의 실험에서는 대부분 토캡에 아무런 변화 없이 만족하고 있으나, 보통작업용 토캡에서는 2411GF6와 80G33L만이 기준을 만족하고 있으며, DMX65M은 완전 파손되며, A218V50은 파손 또는 크랙의 발생으로 불합격 되었으며, supran1345의 경우 대부분 크랙이 발생함을 관찰 할 수 있었다.

Table 7 The Result of impact Test (P: pass, F: failure)

Material	supran 1345		2411GF6		A218V50		DMX65M		80G33L	
Grade	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
Initial Shape	P	F	P	P	P	F	F	F	P	P
Modified Shape	P	F	P	P	P	F	F	F	P	P

4.2.3 압박실험

압박실험은 충격실험과 마찬가지로 등급에 따라서 압박강도가 달라진

다. 등급에 따른 압박강도는 Table 2에 잘 나타나 있다.

실험은 두 개의 75mm이상의 평활한 강재의 압박 시험 평면을 가진 것으로 하고, 시료는 Photo 8과 같이 충격실험의 시료와 같으며, 실험은 유점토를 삽입한 후 규정된 압박을 가하여 파손여부 및 최저부의 높이를 측정한다. 실험 후 선심의 실험 축 위에 빛을 통과하는 더점이 생겨서는 안 되며, 중창과 선심의 틈새 또한 최소 12.5mm이상이 되어야 한다. 아래의 Photo 9와 10은 압박시험기와 압박실험을 하는 과정을 나타내고 있다. 중창과 선심의 높이는 유점토의 높이로 측정을 한다.

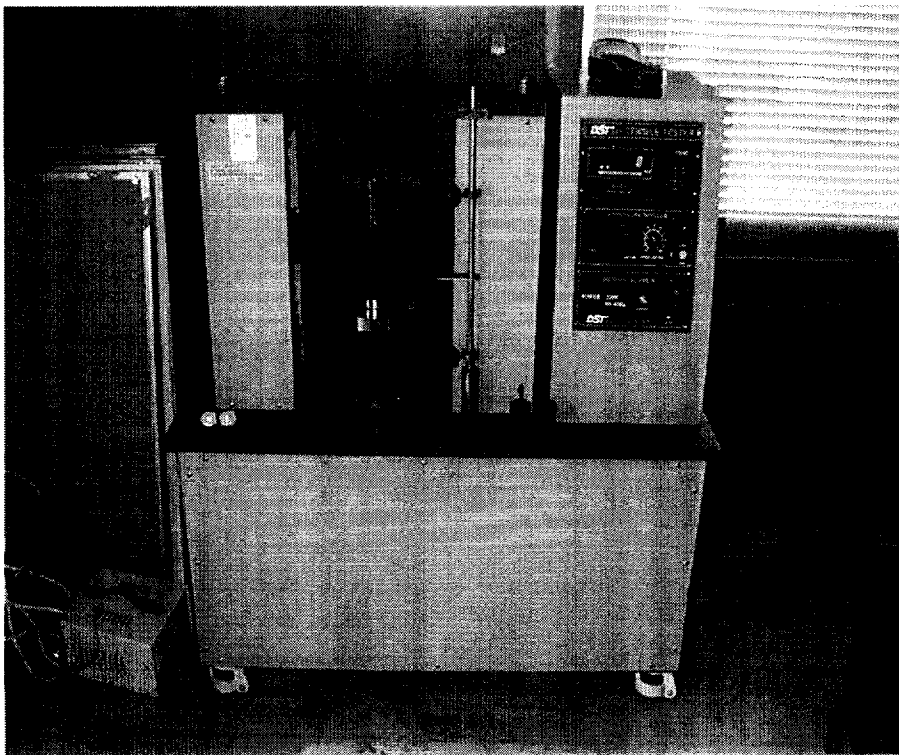


Photo 9 View of Pressure Test Machine

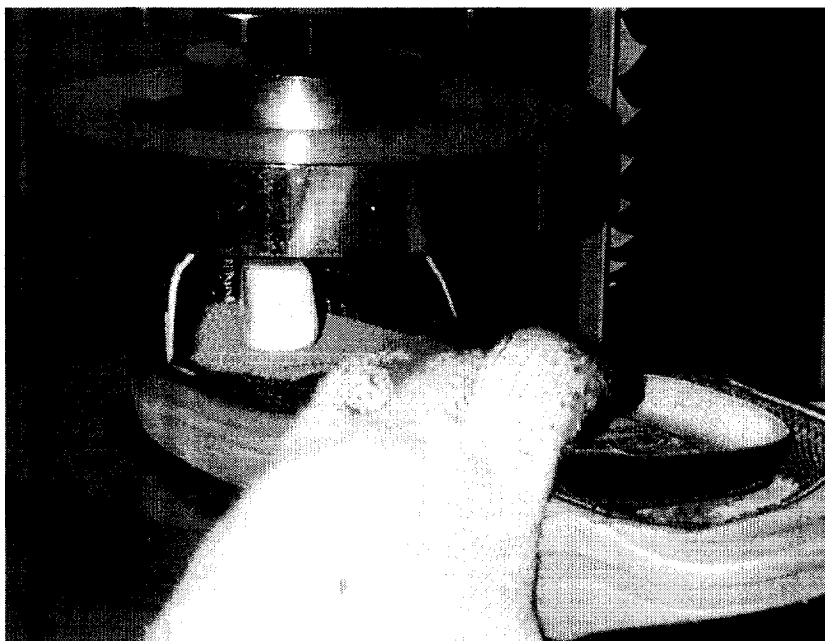


Photo 10 View of Pressure Test

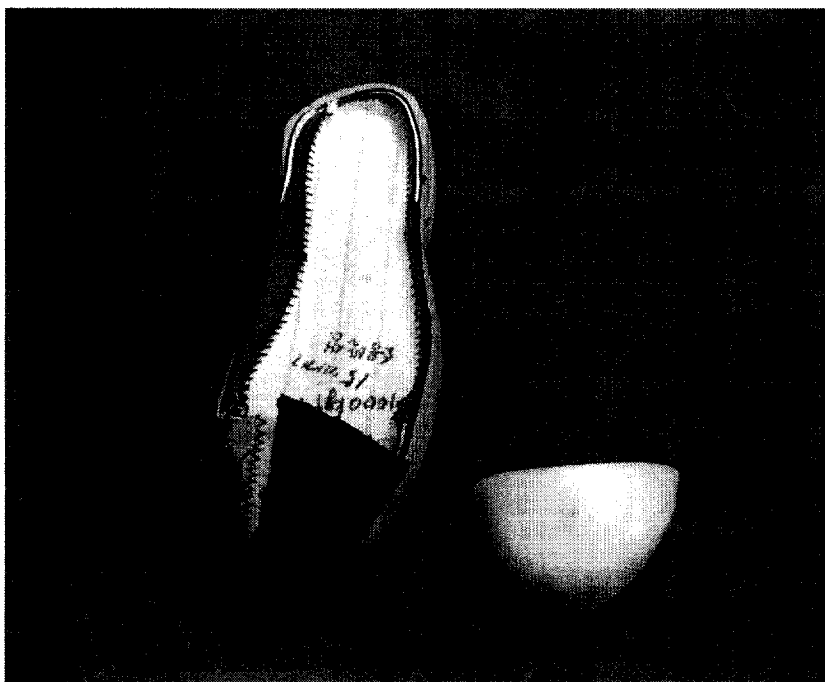


Photo 11 The State of Toe-Cap after Pressure Test

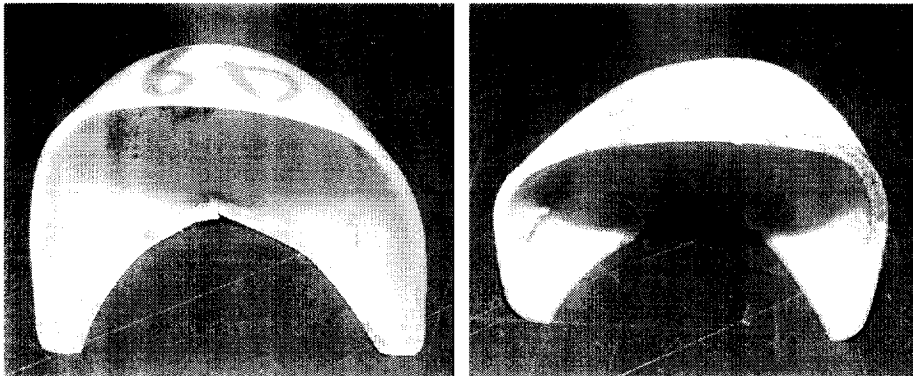
4.2.4 압박실험의 결과

압박실험 또한 경작업 및 보통작업용 기준으로 초기형상과 수정한 형상에 대하여 각각 실험을 실시하였다. 초기형상은 2411GF6의 경우 최대 1000kgf의 압박하중을 견디기도 하였지만 보통작업용 안전화 토캡의 기준을 충족시키지 못하였다. 그러나 형상의 수정 후 제품은 보통작업용 기준을 만족하는 1100kgf까지의 내압박성을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 이것은 초기형상의 응력집중이 일어나는 부분의 응력을 분산하고, 전체적인 두께를 보강하여 압박에 견딜 수 있게 제작하였기 때문으로 분석된다.

Table 8에서의 결과에서 DMX65M은 약 400kgf에서 파손이 발생하였다. supran1345의 경우 최대 700kgf의 압박하중에 파손이 일어났으며, A218V50의 경우 700kgf에서 800kgf의 압박하중에서 파손이 발생하였다. 2411GF6는 1000kgf의 압박하중에 파손이 되었으며, 80G33L의 경우 형상변경 후 1100kgf의 압박하중에 파손이 일어나지 않음으로 보통작업용 시험규정을 통과하고 있음을 보여준다.

Table 8 The Result of Pressure Test (P: pass, F: failure)

Material	supran 1345		2411 GF6		A218 V50		DMX 65M		80G 33L	
Grade	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
Initial Shape	P	F	P	P	P	F	F	F	P	P
Modified Shape	P	F	P	P	P	F	F	F	P	P



(a) Initial Model

(b) Modified Model

Photo 12 Toe Cap after Pressure Test

4.2.5 중량측정

기존의 강철 토캡에 비해 플라스틱은 비중이 매우 낮다. 하지만 플라스틱의 강도를 높이기 위해 여러 가지 복합재를 첨가함으로써 비중이 증가하게 되는데, 본 연구에 사용한 재료 또한 비교적 비중이 높은 복합재인 유리섬유를 사용하였다. Photo 13은 중량측정을 나타내고 있다. 실험결과는 Table 9에서와 같이 강철 토캡이 약 77g인데 비해 플라스틱 토캡은 가벼운 것은 DMX65M이 34g으로 최대 56%의 경량화를 보이고 있으나, 적용가능성이 있는 재료는 80G33L이 46g으로 40%의 경량화를 보이고 있으며, 2411GF6가 39g으로 49%의 경량화가 됨을 보여주고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 최저40%의 경량화를 나타냄을 볼 수 있다.

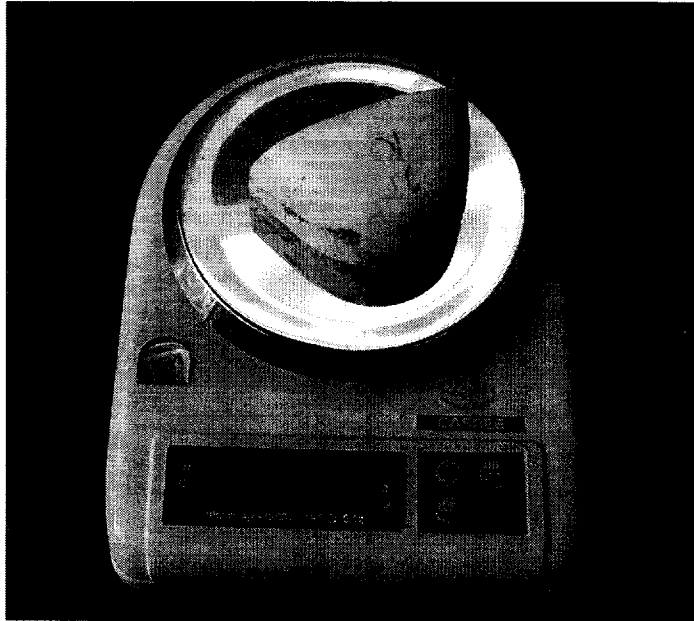
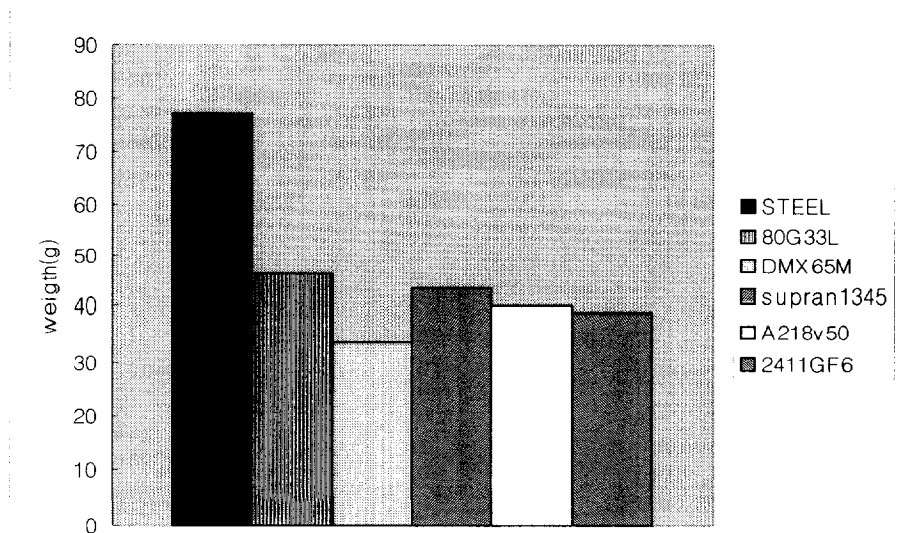


Photo 13 Weight Measurement

Table 9 Weight Comparison of Toe-Cap



제 5 장 결론

플라스틱을 이용한 경량 안전화의 개발에 대한 연구 결과 폴리머의 열안정적 최적화 성형이 가능하였으며, 이를 통하여 기존의 강재 안전화 토캡을 대체하여 사용이 가능하다.

이에 본 연구에서는 플라스틱 중에서 강도가 강하고 연성이 뛰어난 재료를 선정하여 강재 토캡에 비해 떨어지지 않는 성능을 타나내며, 가격 또한 강재와 비교하여 경쟁력이 있는 토캡의 개발을 연구함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 재료에 시편의 성형 및 인장시험 결과 비슷한 성분의 재료를 선정하였지만, 응력-변형률곡선에서와 같이 재료별 많은 차이를 보여준다. A218V50의 경우 최대응력 170MPa, 신율 1.1%를 나타내고 있으며, 80G33L은 응력107.5MPa, 신율 2.05%로 나타나고 있다. A218V50은 응력은 강하지만 변형률이 낮기 때문에 시험에 통과 못하며, 80G33L은 응력은 다소 약할 지라도 변형률이 다른 재료에 비해 두 배 이상 높음으로 시험에 통과함으로써 단순히 응력으로 재료의 강도를 평가하기보다 사용목적에 맞는 재료를 선택하는 것이 중요하다.
2. 성형해석에 앞서 선정된 재료의 P-u-T선도를 통해 사출성형 과정에서 플라스틱의 압축성을 알아본 결과 폴리아미드의 경우 반결정체로서 온도와 압력에 의한 변화가 많다. 그러므로, 성형에 있어 압력과 온도의 제어는 성형제품의 열안정성에 영향을 주므로 성형 시 온도의 변화를 최소화해야 성형품의 열안정성을 높일 수 있다.
3. 성형해석을 통하여 최적 성형을 위한 하단부와 전면부에 두 개의 게이트 위치를 선정하였으며, 두 개의 비교분석을 통한 최적 게이트 위치를 결정하였다. 성형해석 결과 소재의 특성상 비교적 고온에서 성형되며, 수지의 유동이 원활하지 못하였다. 강도해석에서 초기형상에 비해

수정한 형상에서 응력은 2.95MPa에서 3.56MPa로 증가하고 변형량은 1.83mm에서 2mm로 증가하고 있으나, 실제 신발을 제작하여 실험한 결과 초기형상의 제품은 성능시험을 만족하지 못하였다. 토캡은 성능 시험에 만족하고 있으나 신발에서의 구속조건의 변화로 인해 응력집중이 발생하므로 응력과 변형량이 증가하더라도 응력집중이 되는 부분을 형상 수정한 결과 수정한 형상에서는 실험결과 조건을 만족시켰다.

4. 성능시험 결과 각 재료의 강도가 토캡의 강도와 비례하지 않는 것으로 나타났다. 충격강도가 강하더라도 변형이 잘 안 되는 재료는 더 나쁜 결과를 초래 하였는데, 이것은 토캡이 안전화에 조립되었을 때 안전화에 구속되며, 이로 인해 토캡의 한 부분에 응력집중이 일어나고 하중으로 인하여 변형이 쉽게 일어날 수 없는 상태에서 선정된 재료의 능력을 최대한 발휘 할 수 없음을 나타낸다. 강재를 플라스틱 소재로 대체함으로 인해 중량의 감소는 최소 40%정도로 나타나고 있으며, 이는 부분적인 중량감소 이지만 전체 안전화에서 차지하는 위치를 볼 때 끝단에 있으므로 착용감의 향상에는 중요한 작용을 한다.

참 고 문 헌

- (1) Friedle, C. F. and McCaffrey, N. J., "Crystallization Prediction in Injection Molding", SPE Technical Paper, Vol.5, pp.330~332, 1991
- (2) Koita, Y. T., "Packing and Discharge in Injection Molding", Polymer Eng. & Sci., Deceber, Vol.14, No 12, pp.840~847
- (3) Cox, H. W. and Mentzer, C. C., 1986, "Injection Molding: The Effector Fill Time on Properties", polym Eng. and Sci., Vol.26, pp.488~498
- (4) Gerog Menges, Paul Mohren, "How to Make Injection Molds", Hanser Publishers, 1993
- (5) Carsten Brockmann, Walter Michaeli, "Injection Compression Molding - A Low Pressure Process for Manufacturing Textile-Covered Mouldings", ANTEC97, pp.441~445
- (6) W.F. Hughs, J.A. Brington, "Fluid Dynamics", Schaum's outline Series, pp.26~47
- (7) "Mouldflow Training Manual", Release 9.1, Moldflow Pty. Ltd, 1996
- (8) Mamat, A., Trochu, F. and sanschagrin, B., "Shrnkage Analysis of Injection Molded Polypropylene Parts", SPE Technical Paper, Vol.4, pp.513~517, 19994
- (9) 탁정호, "플라스틱을 이용한 자동차용 조향장치 개발에 관한 연구", 부경대학교, 2000
- (10) 이진희, "섬유 강화 플라스틱", 기전연구사, pp.17~27, 2003
- (11) 김재원, "사출금형 설계자를 위한 플라스틱 재료", 구민사, pp.347~354, 2001
- (12) 서영주, "플라스틱의 사출과 압축", 코플래드, 1993

(12) Robert A. Malloy, "Plastic Part Design For Injection Molding", SPE Books from Hanser Publishers, pp.67 ~ 70, 1994

감사의 글

다시 되돌릴 수 없는 시간이기에 아쉬움도 많고 부족한 점도 많았지만, 주위의 많은 분들이 관심을 가져주시고 힘이 되어 주셨기 때문에 더욱 성숙한 사회인이 된 것 같습니다.

본 논문이 완성되기까지 헌신적으로 도와주신 김영수 지도 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 다방면에서 공부할 수 있도록 지도해 주시고 충고를 아끼지 않으셨던 오후규 교수님, 김종수 교수님, 금종수 교수님, 최광환 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님, 김은필 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 논문이 완성되기까지 여러 도움을 주신 여러분들에게 감사드립니다. 특히 실험과 논문이 나올 수 있도록 도와주신 이제는 교수님이신 인관이형, 여러 가지로 도움을 많이 주신 곽재섭 교수님, 이웃집 형과 같이 잘해주신 태호형, 이번에 박사학위 받으시는 재홍이형, 96학번 동기들 박사과정에 있는 용하, 졸업한 종환, 언제나 도움 되는 친구 정용, 말없이 묵묵히 잘하는 정원, 그리고 실험실 후배 종보, 이번에 대학원 올라오는 듬직한 용연, 오랜 후배 재정, 실험실 막내노릇하는 준희에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

또한 저를 늘 믿어주시고, 뒷바라지 해주시는 부모님, 믿음직한 동생 정희, 정숙에게 이 결실을 바칩니다.