

플래시 발생 억제형 신발 밑창 금형 개발에 관한 연구

허관도[#], 여흥태^{*}, 최영^{**}

A Study on the Development of Shoe Outsole Mold for Flash-less

Kwan Do Hur[#], Hong Tae Yeo^{*} and Young Choi^{**}

ABSTRACT

In this study, to develop a flash-less mold for forming of shoe-outsole, experiments and forming analysis were carried out. In order to reduce the extra-materials, offset method and mass distribution method are used in the preform design. The vertical mold structure pressing the preform was introduced to produce a flash-less shoe-sole. To measure the contact status of parting surface of mold, the pressure film has been used. The guide-gutter system and the continuous pressing mold have been developed for the discharge of extra-materials and re-pressing. By the investigation, flash of shoe-outsole was considerably reduced.

Key Words : Continuous pressing mold(순차가압금형), Extra-materials(잉여소재), Guide-gutter system(유도관체), Wedge structure(쐐기구조), Pressure Film(압력필름)

1. 서론

일반적으로 고무(rubber)나 파이론(phyton) 또는 폴리우레탄(poly urethan) 제품인 신발 솔(sole)을 금형에 의해 가압성형할 경우 최종 제품의 체적보다 상당히 많은 소재를 투입하여 제품을 생산하고 있다. 투입된 소재는 압축하중과 금형으로부터 열을 받아 팽창하여 금형 캐비티를 채우면서 가류(vulcanization)되어 단단하게 굳게 된다. 이때 캐비티의 체적보다 소재가 동일하거나 적으면 가류가 충분히 이루어지지 않거나 가류된 이후 기계적인 성질이 낮게 되고 캐비티에 충전되지 않을 수 있으므로 현재 작업공정에서는 많은 양의 소재를 투

입하여 제품불량 발생을 줄이고 있다. 그러나 금형 캐비티를 충전하고 남은 잉여소재(extra-materials)는 플래시(flash)로 제품의 주위에 남게 되고 이를 제거하는 트리밍(trimming)공정이 필요하게 된다. 또한 밑창과 갑피의 접착을 좋게 하기 위하여 갑피의 접착부위를 수작업으로 하는 방법을 개선하기 위한 연구들이 수행되어지고 있다.¹

현재 사용되고 있는 고무 성형을 위한 금형구조를 살펴보면 Fig. 1과 같다.² 압축 금형구조는 캐비티의 상부에 해당하는 부분이 상판에서 돌출되어 프레스로 가압시 캐비티 안의 소재를 가압 성형한다. 사출 금형구조는 사출기에 장착되어 소재를 런너로부터 스프루를 거쳐 캐비티에 충전시키

접수일: 2004년 7월 2일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

교신저자: 동의대학교 기계공학부

E-mail kdhur@deu.ac.kr Tel. (051) 890-1644

* 동의대학교 기계공학부

** 인제대학교 기계자동차공학부

는 형태의 금형이다. 최근에 개발된 트랜스퍼 금형구조는 압축 금형과 사출 금형의 장점을 조합한 구조로 소재가 포트(pot)에 투입되고 이를 상판이 누르면 사출기에서 소재가 스프루를 거쳐 캐비티에 충전되는 효과를 프레스에서도 얻을 수 있는 구조이다.

본 연구에서는 공정상 플래시가 많이 발생하는 밀창 성형공정에 대해 기존 설비를 이용하면서 플래시 발생을 방지 또는 억제하는 금형구조를 개발하고자 한다.

2. 신발 밀창 예비성형체 설계

2.1 성형공정 분석

신발 밀창 제품에 사용되는 소재는 스티렌부타디엔고무(SBR : Styrene Butadiene Rubber) 로 가장 일반적인 합성고무이다. 특히 천연고무와 비교하면 내노화성, 내열성, 내마모성 등이 뛰어나지만 탄력성이 적고 동적발열이 크다.³

고무소재는 고무원료에 기타 첨가제를 섞어 일정한 두께의 판 형태로 뽑아낸다. 이것을 "생지"라고 부르고 있다. 신발 밀창을 만들기 위해 먼저 생지를 일정 크기의 모양으로 재단을 한다. 그리고 일정 온도(약 150℃)까지 가열된 밀창 금형에 생지를 삽입한 후 가압하고 공기빼기와 재가압을 하여 일정 시간(약 10분) 후 성형된 밀창을 취출한다. 트리밍공정에 의해 성형된 밀창 외주에 발생한 플래시를 제거하여 밀창을 완성한다.

2.2 기존 공정의 해석 비교

본 연구에서는 상온 상태에서 기존 금형으로 밀창 성형공정을 평가하기 위하여 Superforge⁴를 이용해 보았다. 가루되지 않은 고무의 기계적 물성의 평가 및 해석 S/W에 적용하기는 매우 어렵고 부정확하지만 가압 초기의 소재 유동에 따른 플래시 발생을 알아보기 위하여 해석을 시도해 보았다. 그래서 생지를 상온상태에서 등방성이고 비압축성으로 가정하고 인장시험⁵에서 얻은 응력-변형률(stress-strain) 관계를 이용하여 해석에 필요한 물성을 Table 1과 같이 입력하였다.

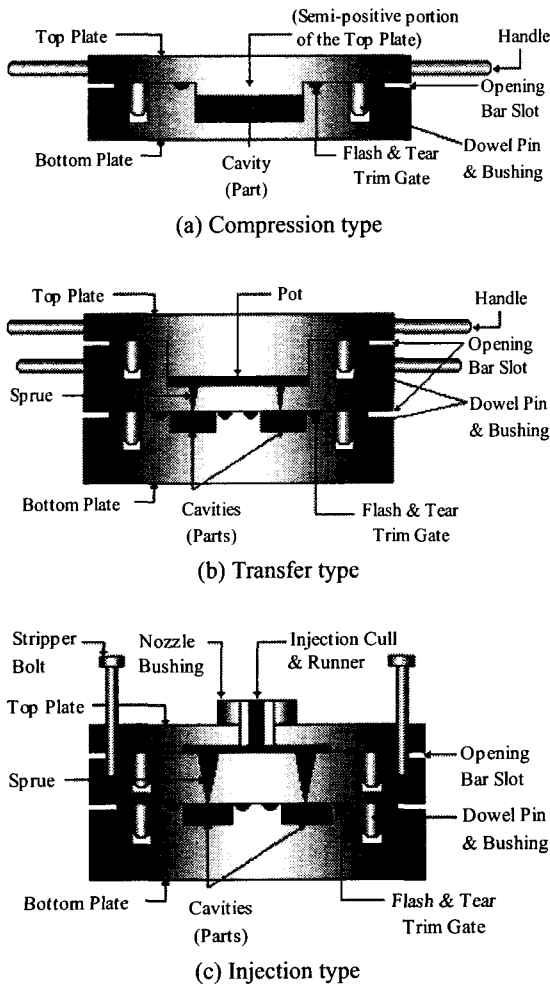


Fig. 1 The mold type for rubber manufacturing

그러나 최근 신발 디자인을 보면 화려하고 곡률이 많으므로 밀창(outsole)의 경우 바닥면의 문양이 소재의 흐름을 방해한다. 또한 소재 특성상 유동성이 적당하지 않으므로 사출식의 성형법 보다는 압축식 성형이 효과적이며 기존 설비의 추가없이 사용 가능하므로 경제적이다.

Table 1 Material properties of rubber

Mat.	E(MPa)	S _y (MPa)	ν
SBR 1778K	1.67	0.0015	0.489
Flow stress	$\bar{\sigma} = 16.895\bar{\epsilon}^{1.1114}$ [MPa]		

또한 상온 상태의 금형에 생지를 넣고 가압한 후 생지의 변형은 Fig. 2와 같다. 투입소재 두께보다 깊은 캐비티 부분에서는 소재가 함몰되는 것을

볼 수 있고 밀창 외주에서는 가압초기에 이미 소재가 빠져나와 플래시로 남는 것을 알 수 있다.

그러므로 소재가 초기에 빠져나오는 것을 방지하면서 전체 캐비티를 채울 수 있는 구조가 필요하다.

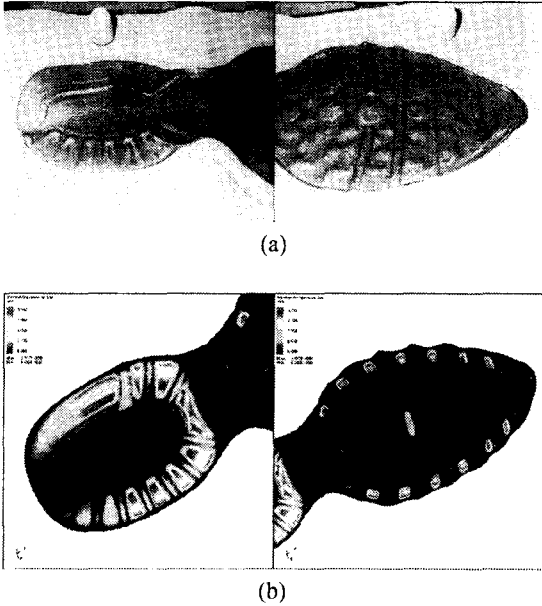


Fig. 2 Press forming of the outsole at the room temperature

2.3 예비성형체 설계

본 연구에서는 밀창의 플래시 발생을 감소시키기 위해 오프셋(offset)방법과 최종 제품의 질량분포에 따른 체적을 고려한 영역분할법으로 각각 예비성형체를 설계하였고 투입소재의 두께가 3.5mm 인 경우를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 ①은 기존 형상이고 ②는 오프셋방법에 의한 것으로 기존 형상에 비해 뒤쪽이 1mm 앞쪽은 5mm 정도 작게 제작하여 성형한 경우 플래시 발생을 줄일 수 있었다. ③은 체적을 고려한 영역분할법에 의해 설계된 형상으로 오프셋방법에 비해 앞쪽 소재의 양이 줄어 더욱 플래시 발생을 억제할 수 있었다.

오프셋방법에 의해 예비성형체를 설계하는 것은 비합리적이므로 초기 형상설계를 Fig. 4와 같은 방법에 의해 수행하였다.⁶ (1)은 밀창 금형의 캐비티에 해당하며, (2)은 A-A' 단면도를 나타낸다. (3)은 (2)의 상판과 만나는 부분의 길이를 기준 C에서부

터 각각의 영역에 대한 수평 거리로 변환 후 기존 밀창의 발형을 토대로 외형을 영역별로 분할한 것이다. (4)는 각각의 영역에 따른 3D 모델에서 체적을 계산 후 투입 소재의 두께를 입력시 자동으로 영역의 면적을 작도하는 프로그램을 개발하고 이를 이용하여 작도한 결과이다.

각 영역의 끝점이 일치하지 않으므로 평균하여 Fig. 3의 ③과 같이 예비성형체를 설계하였다.

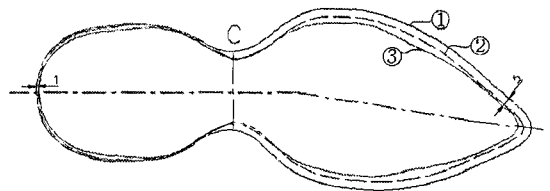


Fig. 3 Comparison of preforms

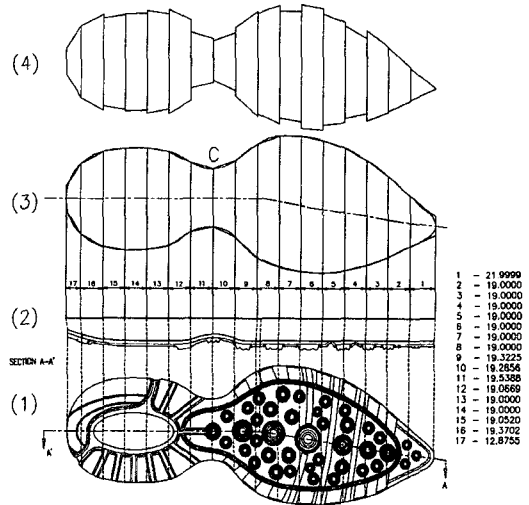


Fig. 4 Design procedure for mass distribution

오프셋방법에 비해 각 부분의 체적을 이용한 작도 기법이 앞쪽부분에서 면적이 적은 것으로 나타났다. 이는 실제 체적을 이용하여 투입 소재량을 줄인 결과이다.

3. 밀창 금형의 구조 개선

기존의 밀창 금형의 구조를 분석하여 구조를 개선하는 방안으로 먼저 유도관체를 이용한 금형

구조를 개발하였고 이를 보완하기 위해 순차가압형구조(Continuous pressing type)을 제시하였다. 또한 스프링을 이용하여 동시에 닫히는 밀폐금형구조를 만들기 위하여 회전 후 수직가압할 수 있도록 힌지(hinge) 부분을 변경하였다.

3.1 유도관체를 이용한 구조

초기 소재 투입 후 상판을 닫을 때 이미 소재를 상판이 누르면서 힌지로 구속된 회전 축에 가까운 곳에서 먼 곳으로 접촉되어 먼 쪽에서 최종적으로 닫히게 되어 플래시 발생이 많아진다.

이와 같은 현상을 방지하기 위하여 회전 후 직선운동에 의한 동시 가압이 가능하도록 기존 금형의 구조를 변경하였다. 또한 밀창 외주에 발생하는 플래시를 방지하기 위하여 Fig. 5 와 같이 밀창의 윗면과 접촉하는 금형 상판에 잉여소재의 배출 및 재가압을 목적으로 Fig. 6 과 같이 공압에 의해 작동하는 유도관체(guide-gutter system)를 개발하여 사용하였다.

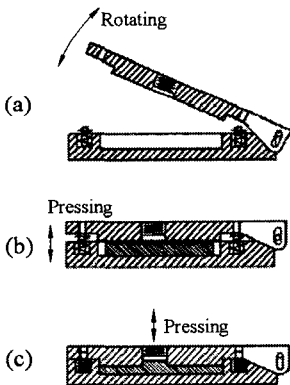


Fig. 5 Schematic of the proposed mold

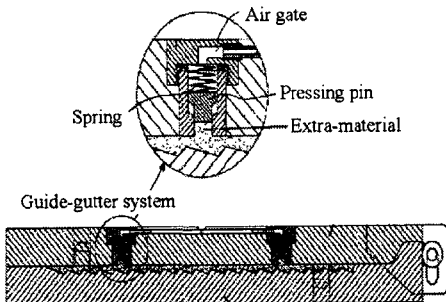


Fig. 6 Schematic of the guide-gutter system

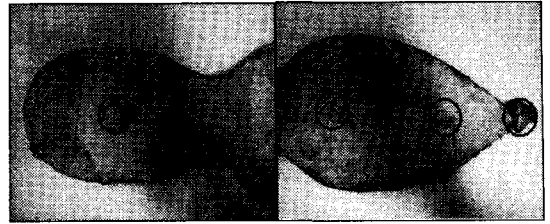


Fig. 7 Outsole by the guide-gutter system

Fig. 5에서 (a)는 회전운동에 의해 상판이 스프링에 의해 가압 시작 위치에 유지되며 (b)와 같이 수직 가압과정에서 소재가 캐비티를 채우면서 잉여소재를 유도관체의 도피홈으로 이동시켜 성형 초기에 외주에 발생하는 플래시를 억제한다. (c)는 도피홈으로 이동된 소재를 공압에 의해 재가압하여 금형 캐비티의 완전 충진을 이룰 수 있도록 하였다. 그러나 도피홈에 존재하는 Fig. 7과 같이 밀창의 윗면에 있는 돌출부의 제거를 필요로 한다.

개선된 금형은 스프링에 의해 공기빼기를 하는 과정이 상판의 프레스 가압력을 제거하면 이루어지므로 간편하며 초기에 배출된 잉여소재는 투입소재량을 조절하면 줄일 수 있으며 배출된 소재를 재가압하여 캐비티에 비충진된 부분을 보충해 줄 수 있다.

3.2 순차가압금형구조

유도관체를 이용한 경우 돌출부의 제거공정 및 공압제어가 어려운 관계로 보다 간편한 Fig. 8 과 같은 순차가압금형구조를 개발하였다.

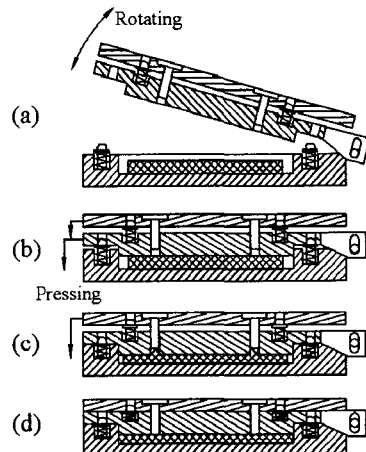


Fig. 8 Schematic of the continuous pressing mold

금형 상판의 유도관체를 제거하고 가압핀 (pressing pin)을 설치한 것으로 상판이 회전에 의해 가압 초기 위치를 잡은 후 (b)와 같이 스프링 강성을 다르게 하여 하판과 상판이 먼저 닫히지만 가압핀은 아직 완전 가압되지 않은 상태가 된다. 이 상태에서 외주의 플래시 발생은 없고 (c)와 같이 도피홈에 있는 소재를 가압핀에 의해 재가압하여 캐비티의 미충진된 부분으로 소재를 밀어넣는 구조로 최종적으로 닫힌 상태는 (d)와 같다.

4. 결과 및 고찰

먼저 개발하고자 하는 금형에 의해 생산된 경우 제품의 기계적 성질의 변화가 적어야만 한다. 그러므로 간단한 시험편 제작용 금형을 제작하여 시험편을 제작하고 인장 테스트를 통하여 비교하였다.

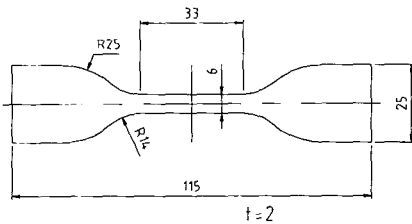
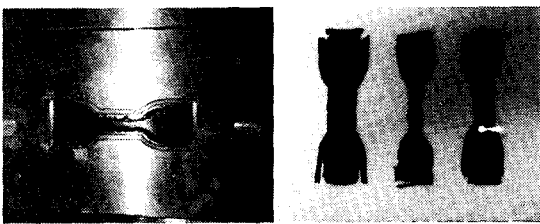
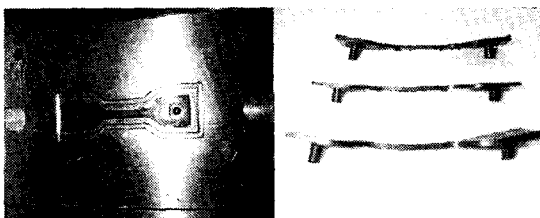


Fig. 9 Dimension of tensile test specimen



(a) Previous mold



(b) Proposed mold

Fig. 10 Test specimen before trimming



(a) Previous mold

(b) Proposed mold

Fig. 11 Test specimen after trimming

시험편의 치수는 Fig. 9와 같고 시험편 제작용 금형에 의해 Fig. 10과 같이 시험편을 제작하였다. Fig. 10(a)는 기존 금형구조를 적용한 것으로 시험편에 플래시가 많이 발생된 것을 볼 수 있다. Fig. 10(b)는 유도관체를 적용한 금형으로 시험편에 플래시가 아주 적게 발생하고 잉여소재는 유도관체의 도피홈을 채운 것을 볼 수 있다.

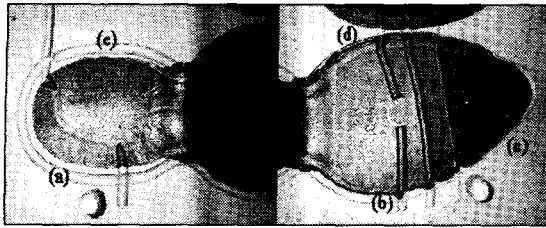
플래시 및 도피홈의 잉여소재를 제거한 시험편은 Fig. 11과 같다. 인장시험과 경도시험에 의해 고무의 기계적 특성을 평가한 결과는 Table 2와 같다. 인장시험 결과 새로운 금형구조가 조금 높은 결과를 나타내지만 경도값은 비슷하게 나타났다. 그러므로 개선된 금형을 적용하여도 기계적 성질에는 영향이 적음을 알 수 있었다.

Table 2 The results of mechanical test

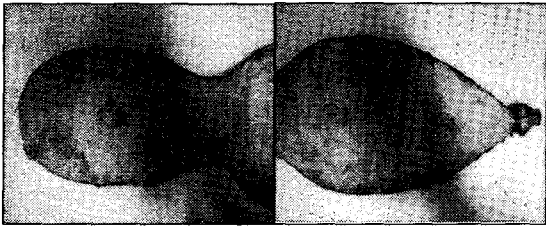
	Previous	Proposed
Tensile strength (kg/cm ²)	100	114
Hardness (A-Type)	60±0.1	58±0.1

기존의 금형과 유도관체를 이용한 경우 성형된 밀창 제품을 Fig. 12에 나타낸다. Fig. 12(a)는 기존의 금형구조에서 성형된 제품으로 플래시가 밀창 앞쪽으로 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. Fig. 12(b)는 잉여소재가 도피홈으로 배출되므로 밀창 외주에 발생하는 플래시가 억제된 것을 알 수 있다. 그러나 도피홈의 잉여소재를 제거하거나 혹은 중창의 형상을 도피홈의 잉여소재를 고려한 설계가 필요하므로 현재의 공정 여건으로는 적용하기 어렵다.

본 연구에서 개발된 금형을 이용하여 성형하기 전에 금형 상판과 하판의 분할면에서 접촉 정도를 압력필름 (pressure film)을 이용하여 측정하였다. 압력필름은 필름에 가해지는 압력의 크기에 따라 색상이 다르게 나타나는 특성을 가지고 있다.⁷



(a) Previous mold



(b) Proposed mold by guide-gutter system

Fig. 12 Comparison of final shape of outsole

최종적으로 순차가압금형구조를 적용하여 개발한 금형의 분할면에서 접촉상태를 압력필름으로 측정된 결과 Fig. 13과 같이 전반적으로 양호한 것을 알 수 있었고 최종 성형된 밑창 제품은 Fig. 14와 같이 밑창 외주에 플래시가 발생하지 않은 것을 알 수 있었다. 밑창 뒷면의 플래시 발생은 가압핀과 도피홈의 가공정도 및 향후 연구에 의해 개선할 수 있을 것이다.

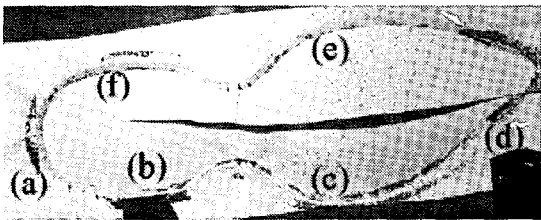


Fig. 13 Measurement of contact status of parting surface

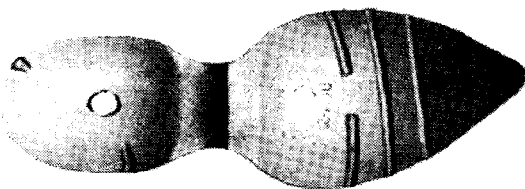


Fig. 14 Final shape of outsole by continuous pressing mold

5. 결론

본 연구에서는 기존 설비를 최대한 이용하면서 신발 밑창 성형을 위한 플래시 방지형 금형 개발을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 신발 밑창 성형과정 및 금형구조를 분석한 결과 회전 가압 구조에서 가압 초기에 플래시가 발생한다는 것을 알 수 있었다.
- (2) CAE를 이용하여 밑창 성형해석을 시도하여 적용성을 검토하였다.
- (3) 읍셋기법 및 최종제품 체적에 따른 밑창 예비성형체의 설계를 수행하여 플래시 발생을 억제할 수 있었다.
- (4) 접촉압력 측정용 필름으로 분할면의 접촉 정도를 측정하여 플래시 발생부를 예측할 수 있는 방법을 제시하였고 고가의 장비 없이 측정 가능하므로 정밀한 금형제작에 도움을 줄 수 있었다.
- (5) 기존 설비에 바로 적용 가능하도록 밀폐 금형에서 잉여소재의 방출을 위한 유도관체를 구비한 금형구조 및 신발 밑창 성형을 위한 플래시 발생 방지형 밀폐금형을 개발하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 산업기술개발사업의 지원하에 수행되었음.

참고문헌

1. Kang, D. B., Kim, H. Y., Son, S. M. and Ahn, J. H., "Development of the Roughing Path Measurement System for Footwaer," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 10, pp. 120-129, 2003.
2. <http://www.hawthornrubber.com>
3. Lee, J. C., Shoemaking Materials, Global, 1998.
4. MSC.SuperForge User's Manual, 2002.
5. <http://www.axelproducts.com>
6. Mielnik, Edward M., METALWORKING SCIENCE AND ENGINEERING, McGraw-Hill, Inc., pp. 591-596, 1991.
7. FUJIFILM, Prescale Film, <http://jbo-a.co.kr/film.htm>