

등방성 강판의 자동차용 Roof Panel 부품 적용 특성 해석

한수식#

FE Analysis for Application of Isotropic Steel Sheet on Auto-Roof Panel

S. S. Han

(Received January 26, 2006)

Abstract

The isotropic steel sheet was developed and started to apply on the auto-body outer panel, however the characteristics of application on auto-body were not well known. In this paper the FE analysis of outer panel of auto-body was carried out to investigate the characteristics of isotropic steel sheet. For the FE analysis of the roof panel of ULSAB body the isotropic steel sheet and the bake hardening steel sheet were used. The Isotropic steel sheet shows more deformation at punch bottom area of roof panel than the bake hardening steel sheet that is most required forming properties for outer panel to obtain the shape fixability of forming parts. It is shown that the isotropic steel sheet has suitable material properties for outer panels of auto-body.

Key Words : Stretching, R-value, Springback, Outer Panel, Surface Deflect, Bake Hardening Steel

1. 서 론

자동차용 강판의 개발 방향은 크게 고강도화와 고성형성화로 대별될 수 있다. 연비 향상을 위한 차량 경량화와 충돌 안전성 향상을 위하여 보다 높은 강도를 갖는 강판의 개발이 자동차사들로부터 요구되고 있어 철강사들은 경쟁적으로 고강도 강판의 개발에 힘쓰고 있다. 소비자들의 자동차에 대한 품질 요구 수준이 점점 높아짐에 따라 자동차 부품의 형상이 점차 복잡해지고 생산성 향상을 위하여 부품의 일체화 성형 경향이 증대됨에 따라 보다 우수한 성형성을 갖는 강판의 개발 또한 요구되고 있다. 철강사들은 이러한 자동차 업계의 요구를 만족시키기 위해 고성형성 강판의 개발에 연구력을 집중하고 있다.

강판의 성형성은 일반적으로 재료의 몇 가지

인장 특성과 밀접한 관계가 있다. 재료의 연신율과 가공경화지수 그리고 이방성 계수가 그것이다. 이미 잘 알려진 바와 같이 연신율과 가공경화지수는 강판의 장출 성형성과 밀접한 관계가 있어 이들 값이 큰 강판일수록 우수한 장출 성형성을 나타내며 이방성 계수는 강판의 딥드로잉 성형성에 영향을 주어 이방성 계수가 큰 강판은 우수한 딥드로잉 성형성을 나타낸다. 철강사들의 고성형성 강판 개발의 방향도 이들 인자들의 값을 증가시키는 방향으로 이루어져 오고 있다.

최근 들어서 이러한 고성형성 강판의 개발 방향과는 역행하는 강판이 개발되고 있는데 이것이 바로 등방성 강판(Isotropic Steel Sheet)이다. 등방성 강판은 냉연 강판의 일반적인 성질인 이방성을 최대한 억제하여 재료의 물리적 성질에 방향성이 거의 없는 강판으로서 유럽에서는 일부 자동차의

교신저자: 금오공과대학교 기계공학부
E-mail: sshan2@hanmir.com

외부 패널 부품에 적용되고 있다. 그러나 등방성 강판의 자동차 외부 패널 부품 적용시 특성과 이에 대한 연구 결과 등에 대하여서는 잘 알려져 있지 않은 것이 현실이다.

본 연구에서는 등방성 강판의 자동차용 Roof Panel 부품 적용에 대하여 유한 요소 해석을 수행하여 자동차 외판 부품 적용 특성등에 대하여 조사하고자 한다.

2. 등방성 강판의 인장 특성

기존의 강판과 등방성 강판의 인장 특성을 비교하기 위하여 인장 시험을 수행하였다. 인장 시편은 JIS13 호 규격을 사용하였으며 인장 시험 조건도 표준 인장 시험 조건을 따랐다.

현재 POSCO 에서 개발중인 등방성 강판의 인장 강도가 35Kg 정도이므로 유사 인장 강도를 갖는 소부 경화 강판(BH 강판)의 인장 시험 결과와 서로 비교하여 Table 1 에 나타내었다. 인장 시험 결과에서 알 수 있듯이 등방성 강판은 일반 강판과 비교하여 인장 강도와 연신율, 가공경화지수 등은 유사한 수준을 나타내고 있으나 수직 이방성 계수 r 과 평면 이방성 계수 Δr 이 기존의 강판과는 달리 각각 1 과 0 에 가까운 것을 알 수 있다. 판재의 딥드로잉 성형성을 나타내는 한계드로잉비가 이방성 계수 r 과 밀접한 관계가 있는 것을 고려할 때 등방성 강판의 인장 특성으로부터 등방성 강판의 딥드로잉 성형성이 일반 강판에 비하여 열세일 것을 예측할 수 있다. 따라서 등방성 강판은 딥드로잉 성형 모드가 발생하는 깊이가 깊은 용기의 성형에는 적용하기 부적당한 것을 알 수 있다.

3. 성형 해석 조건

3.1 Roof Panel

등방성 강판의 자동차 외판 부품 적용 특성을 고찰하기 위하여 비교적 성형 깊이가 얇아 사용 소재의 딥드로잉 성형성이 크게 요구되지 않는 자동차 Roof Panel 부품에 대하여 성형 해석을 수행하였다.

Roof Panel 은 부품의 크기가 크고 성형 깊이가 얇은 대신에 성형시 펀치 바닥부에서의 변형량이 적어서 성형 후 굴곡이나 면 꺼짐과 같은 형상 불량 문제가 많이 발생하는 제품이다. ULSAB 에

Table 1 Comparison of material properties

Material	YS (MPa)	TS (MPa)	T-EL (%)	r	Δr	n
Isotropic steel	247	344	42	1.02	0.18	0.213
Bake hardening steel	235	354	38	1.55	0.08	0.213

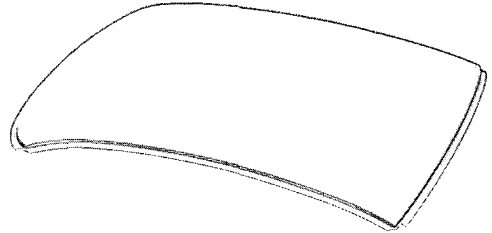


Fig. 1 Roof panel for ULSAB

서는 판재 액압 성형법을 이용하여 펀치 바닥부에 많은 변형을 주어 이와 같은 불량 발생 문제를 해결하고 가공 경화에 의한 강도 향상을 피하여 보강제를 일부 제거함으로써 경량화 효과를 얻기도 하였다[1]. Roof Panel 부품 성형시 요구되는 사항은 펀치 바닥부에 충분한 변형을 가하여 성형 후 면 꺼짐 등의 발생을 방지하는 것과 벽부분 특히 드로잉 변형 모드가 발생하는 네 모서리 벽 부분에서의 파단 발생을 방지하는 것이다.

등방성 강판의 부품 적용 특성 분석을 위한 성형 해석에는 ULSAB 차체의 Roof Panel 부품을 사용하였다. Fig. 1 에 성형 해석에 사용된 Roof Panel 부품의 형상을 나타내었다.

3.2 성형 해석 조건

성형 해석은 등방성 강판과 유사 강도를 갖는 35Kg 급 소부 경화 강판을 적용한 경우에 대하여 수행하였다. 그러나 두 소재 사이에는 어느 정도 인장 강도와 항복 강도의 차이를 나타내고 있기 때문에 두 소재를 적용한 해석 결과만으로는 등방성 강판의 주된 특징인 이방성 계수의 차이에 의한 성형 특성 차이를 알기가 곤란하기 때문에 이방성 계수는 소부 경화 강판의 값을 갖고 나머지 인장 특성은 등방성 강판의 값을 갖는 가상 강판(Virtual material)에 대하여서도 성형 해석을 함

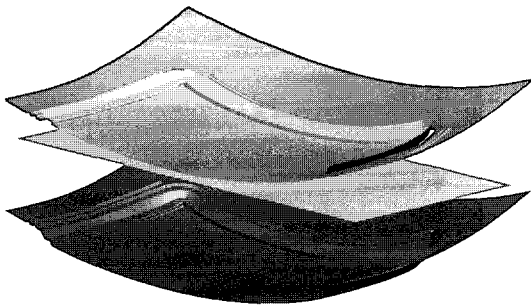


Fig. 2 FE model for roof panel

게 수행하였다. 성형 해석시 금형과 강판 사이의 마찰 조건은 일반적인 성형 해석 조건인 0.14 로 하였다. Fig. 2 는 성형 해석 모델을 나타낸 것이다. 제품의 형상이 좌우 대칭이므로 제품의 절반만 모델링하였다. 성형 해석 중에 2 단계 격자 재구성(Remeshing)을 적용하였다. 성형은 더블 액션 프레스에서 성형되는 조건으로 하였으며 성형 해석 이전에 자중에 의한 처짐 해석을 수행하였다. 블랭크의 크기는 최적 블랭크 예측 프로그램을 이용하여 결정하였다.

4. 성형 해석 결과 및 고찰

Roof panel 에 대하여 성형 해석 수행 결과 제품의 형상을 Fig. 3 에 나타내었다. 성형 해석에 사용된 모든 강판에 대하여 동일한 성형 조건을 부여하기 위하여 등방성 강판의 최대 블랭크 홀더력을 구한 다음 다른 소재에 대하여서도 이와 동일한 블랭크 홀더력에서 성형 해석을 수행하였다. 그것은 딥드로잉 성형성이 가장 낮은 등방성 강판의 경우 가장 낮은 최대 블랭크 홀더력을 나타내기 때문이다.

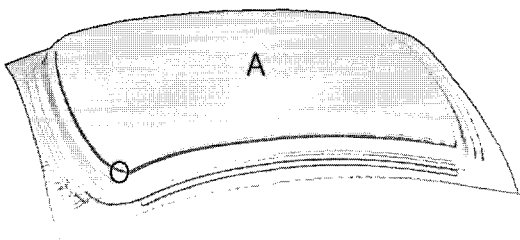


Fig. 3 Deformed shape of roof panel

성형 제품의 형상적인 특징으로 인하여 성형시 파단 발생이 발생하는 위치는 제품의 코너 부분 (Fig. 3 의 O 표시부)에 위치한 벽 부분이다. 이 파단 발생 부위의 곡률을 완만하게 수정하면 파단 발생 블랭크 홀더력을 증가시킬 수 있으나 자동차의 외관과 밀접하게 관계된 부분이어서 형상의 수정은 곤란하다. 그리고 이 부분은 딥드로잉 성형 모드가 발생하는 부분에 위치하여 딥드로잉 성형에 의한 소재의 유입이 부족할 경우에 파단이 발생하기 때문에 형상 수정으로도 파단 발생 시점 개선에는 한계가 있다.

등방성 강판을 적용한 경우의 최대 블랭크 홀더력을 해석을 통하여서 구한 결과 800kN 으로 나타났다. 동일한 성형 조건에서 강판들이 갖는 Roof Panel 부품 적용 성형 특성을 비교하기 위하여 각각의 강판에 대하여서도 동일한 블랭크 홀더력을 적용하여 성형 해석을 수행하였다. Roof panel 부품의 성형시 확보해야 할 성형 특성으로서 가장 요구되는 것 중에 하나인 펀치 바닥부의 (Fig. 3 의 A 표시부) 두께 변형률을 각각의 강판에 대하여 Table 2 에 나타내었다.

Table 2 Comparison of thickness strain at punch bottom area (BHF=800kN)

Material	Isotropic steel	Bake hardening steel	Virtual material
Thickness Strain(%)	-1.22	-0.87	-0.82

외관 부품의 성형시 요구되는 성질은 펀치 바닥부의 변형률 확보를 통한 면 꺼짐 방지 등에 의한 제품 형상 확보와 가공경화에 따른 강도 증가와 이에 따른 내덴트성 증가이다. 위의 해석 결과를 따르면 동일 블랭크 홀더력 조건에서는 등방성 강판을 적용한 경우에 펀치 바닥부에서의 변형률이 가장 많은 것으로 나타났다. 박기철[2] 등의 연구 결과에 따르면 고장력 강판을 외관 부품에 적용할 경우 펀치 바닥부의 변형률을 증가시킬수록 제품의 형상 동결성이 우수하게 되면 면 꺼짐 현상의 방지가 가능한 것으로 알려져 있다. 따라서 동일 성형 조건에서는 등방성 강판을 자동차 외관 부품에 적용할 경우 다른 강판을 적용한 경우에 비하여 펀치 바닥 부위의 변형률 확보가 보다 용이한 것으로 판단된다.

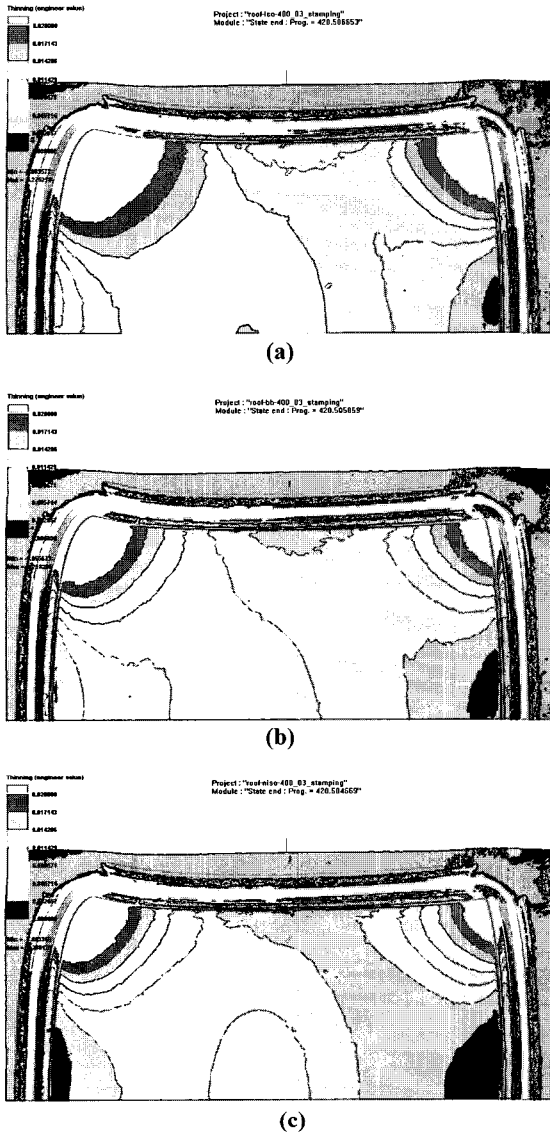


Fig. 4 Distribution of thickness strain of roof panel for each material (BHF = 800kN, a: Isotropic steel, b: Bake hardening steel, c: Virtual material)

소부 경화 강판의 강도가 등방성 강판에 비하여 낮음에도 불구하고 펀치 바닥부에서의 변형량이 등방성 강판에 비하여 작다는 것은 특기할 만한 사항이다. 일반적으로 자동차 외판 부품에 적용되는 대부분에 강판의 경우 펀치 바닥부의 변형량을 충분히 확보하기 위하여 낮은 항복 강도를 갖는 강판을 적용하는 것을 고려할 때 이러한

Table 3 Comparison of maximum blank holding force and thickness strain at punch bottom area

Material	Isotropic steel	Bake hardening steel	Virtual material
Maximum BHF	800kN	1000kN	1000kN
Thickness Strain(%)	-1.22	-1.06	-1.16

현상은 등방성 강판의 큰 특징으로 볼 수 있다.

Fig. 4 에는 각각의 강판에 대하여 성형 후 두께 감소 변형률(Thinning)의 분포를 성형 제품상에 나타내었다. 본 연구의 주요 대상인 펀치 바닥부의 변형량에 대하여 나타내기 위하여 두께 감소 변형 분포를 나타내는 범위를 0 에서 0.02 까지만 사용하였다. 성형 제품의 두께 감소 변형률 분포를 살펴보면 등방성 강판을 적용한 경우가 일반 강판을 적용한 경우보다 넓은 부위에 걸쳐서 보다 균일하게 변형되었음을 나타내고 있다. 외판 부품의 성형시 이와 같이 넓은 영역에 걸쳐서 변형량이 비교적 크고 균일한 경우 형상 동결성이 우수한 좋은 면 품질을 갖는 제품을 성형할 수 있다.

소부 경화 강판의 경우 낮은 항복 강도에도 불구하고 펀치 바닥부의 변형량이 별로 크지 않았으며 강도 특성이 등방성 강판과 동일한 가상 강판의 경우에도 등방성 강판에 비하여 펀치 바닥부의 변형량이 낮게 나타났다. 가상 강판의 변형률 분포는 항복 강도의 차이에도 불구하고 소부 경화 강판의 변형 분포와 유사한 형태를 나타내고 있다.

자동차 외판 부품의 실제 성형에 있어서 블랭크 홀더력은 펀치 바닥부에서의 변형을 최대화하기 위하여 파단이 발생하지 않는 최대 값을 적용하고 있다. 따라서 앞의 해석 결과는 같은 성형 조건에서의 등방성 강판과 일반 강판의 변형 특성을 살펴보는 것으로는 좋은 비교 자료가 될 수 있으나 실제 성형 조건에 있어서 등방성 강판과 일반 강판의 성형 특성을 비교하기에는 부족한 점이 있어서 추가적인 성형 해석을 수행하였다.

이를 위하여 각각의 강판을 적용하였을 때의 최대 블랭크 홀더력을 성형 해석을 통하여 구하였다. 각각의 해석에서 블랭크 홀더력을 100kN 씩 변경하면서 해석한 후 강판의 FLD 와 비교하여 파단이 발생하는 블랭크 홀더력 조건의 직전 블랭크 홀더력을 그 소재의 Roof Panel 성형시 최대 블랭크 홀더력으로 정하였다. 각각의 강판에 대한 최대 블랭크 홀더력과 그 때의 펀치 바닥부에서의 두께 변형률을 Table 3 에 나타내었다.

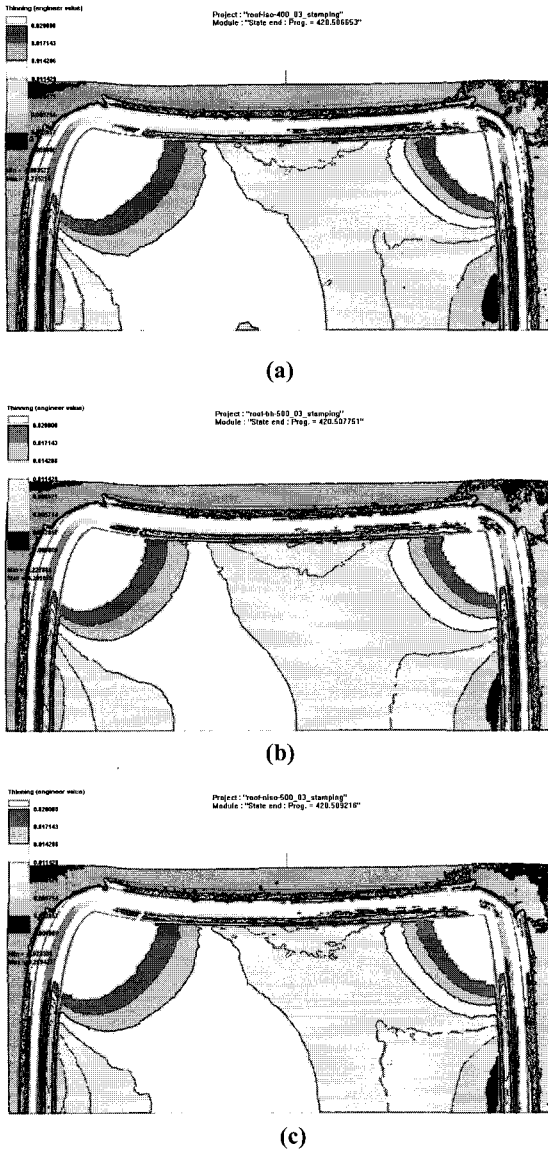


Fig. 5 Distribution of thickness strain of roof panel for each material (a: Isotropic steel, BHF=800kN, b: Bake hardening steel, BHF=1000kN, c: Virtual material, BHF=1000kN)

소부 경화 강판과 가상 강판의 최대 블랭크 홀더력이 등방성 강판에 비하여 높게 나타났다. 이러한 결과는 이들 강판의 인장 시험 결과로부터 예상할 수 있다. 딥드로잉 성형에 있어 최대 블랭크 홀더력에 영향을 미치는 인자는 이방성 계수와 소재의 인장 강도이므로 강도의 차이가 별로

크지 않을 경우 이방성 계수가 큰 소재의 최대 블랭크 홀더력이 크게 나타나기 때문이다. 블랭크 홀더력이 증가하면 플랜지 부위의 소재 유입이 제한되어 펀치 바닥부에서의 변형량이 증가된다. 이러한 이유로 인하여 소부 경화 강판과 가상 강판에 대하여 각각의 최대 블랭크 홀더력을 작용하여 성형 해석한 결과 펀치 바닥부의 변형량이 증가하였다. 그러나 최대 블랭크 홀더력을 각각 작용한 경우에도 등방성 강판을 적용한 경우 펀치 바닥부에서의 변형량이 가장 크게 나타났다.

Fig. 5 에는 각각의 강판에 대하여 성형시 최대 블랭크 홀더력을 작용하였을 때 성형 후 두께 감소 변형률의 분포를 성형 제품상에 나타내었다. 소부 경화 강판과 가상 강판의 경우 블랭크 홀더력 증가로 인하여 펀치 바닥부의 변형량이 증가하였으나 전체적인 변형량은 등방성 강판의 경우가 여전히 크게 나타났다.

이들 결과로부터 펀치 바닥부와 같이 이축 인장 응력이 작용하는 부위의 변형 저항은 소재가 갖는 이방성 계수와 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있다. 소재의 이방성이 작을수록 이축 인장 변형 조건에서 보다 더 쉽게 변형이 되는 것으로 나타났다. 자동차 외판 부품과 같이 완만한 외형을 갖고 있어서 고강도 강판을 적용할 때 형상 동결성을 확보하기 위하여 성형시 펀치 바닥부에 충분한 변형량을 부여하는 것이 중요한 부품의 경우 이방성 계수가 낮은 소재를 사용하는 것이 유리함을 알 수 있다. 따라서 종래에 대부분의 프레스 작업 현장에서 사용되고 있던 낮은 항복 강도의 강판을 사용하여 펀치 바닥부의 변형량을 증가시키는 방법보다는 이방성 계수가 작은 강판을 사용하는 것이 보다 효과적인 것으로 판단할 수 있다.

이러한 현상이 나타나는 이유는 Fig. 6 와 같이 판재의 항복 곡선의 형상은 이방성 계수 r 값에 따라서 변하게 되는데 판재의 r 값이 증가할수록 이축 인장이 작용하는 부위의 항복 강도는 점점 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 단축 인장 시험을 통하여서 구한 소재의 항복 강도는 동일하더라도 이방성 계수 r 값이 다를 경우 이축 인장 변형을 받는 부위에서의 항복 강도는 달라지게 된다[3~4].

동일한 이축 인장력이 작용하는 경우 이방성 계수가 작은 강판이 더 쉽게 변형되는 것을 알

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] Ultra Light Steel Auto Body Phase 2 Report, 1998.
- [2] 국가중점국가연구개발사업 고강도자동차철강 소재개발사업단 3차년도보고서, 2001.
- [3] S. S. Han, 2002, Influence of process parameters on large panel stamping processes, Proceedings of NUMISHEET2002, pp. 477~480.
- [4] 한수식, 강연식, 2004, 성형 해석에 의한 자동차 부품별 소재 요구 특성 분석, 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 385~388.
- [5] R. Hill, 1950, The Mathematical Theory of Plasticity.
- [6] M. Y. Demeri, 1981, The stretch-bend forming of sheet metals, J. Appl. Metal. Work, Vol.2-1, pp.3~10.
- [7] W. Johnson, T. X. Yu, 1981, On the range of applicability of results for springback of an elastic/perfectly plastic rectangular plate after subjecting it to biaxial pure bending, Int. J. Mech. Sci., Vol.23, pp. 631~637.
- [8] M. L. Devenpeck, O. Richmond, 1982, Limiting strain test for in-plane stretching, Metal Deformation Testing, ed., R. H. Wagoner, pp.79~88.
- [9] H. Sang, Y. Nishikawt, 1983, A plane strain tensile apparatus, J. of Metals, Vol.35, No.2, pp. 30~33.
- [10] S. C. Tang, 1987, Analysis of springback in sheet forming operation, proc. of ICTP Advanced Technology of Plasticity, Vol.1, pp. 193~198.
- [11] 강정진, 홍석관, 김홍규, 허무영, 2005, 이방성 판재 웰로우드로잉에서 분할 블랭크 홀더가 비대칭 스프링백 저감에 미치는 영향, 한국소성가공학회지, 제 14 권, 제 4 호, pp. 392~398.
- [12] PAM-STAMP 2G Manual.

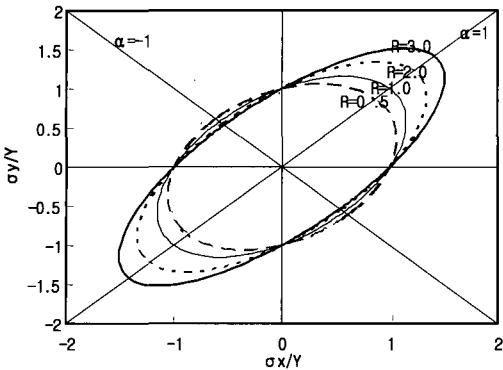


Fig. 6 Influence of r-value on yield curve

수 있다. 따라서 제품의 형상이 복잡하지 않아서 성형성에 대한 요구가 크지 않고 펀치 바닥부의 변형량 증가가 요구되는 자동차 외판 부품용 소재로서 등방성 강판이 매우 적합한 특성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

등방성 강판과 소부 경화 강판을 자동차 Roof Outer 부품에 적용하는 것을 유한요소법을 이용하여 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동일 성형 조건에서 등방성 강판이 보다 낮은 항복 강도를 갖는 소부 경화 강판에 비하여 펀치 바닥부에서 더 많은 변형량을 나타내었다.

(2) 등방성 강판의 낮은 딥드로잉 성형성으로 인하여 최대 블랭크 홀더력은 인장 강도가 낮은 소부 경화 강판에 비하여 낮게 나타났다.

(3) 각각의 강판에 대하여 최대 블랭크 홀더력을 작용하여 성형한 경우에도 등방성 강판을 적용한 경우에 더 많은 펀치 바닥부 변형량을 얻을 수 있다.

(4) 형상이 완만하여 면 꺼짐 방지와 형상 동결성을 얻기 위해 필수적인 높은 변형량 확보가 곤란한 자동차 외판 부품용 소재로서 등방성 강판이 적절한 것으로 판단되었다.