

A3003-O 알루미늄 소재의 프레스 성형성에 대한 연구

김혁진¹ · 한성렬² · 김경아[†]

인지디스플레이(주)¹ · 공주대학교 금형설계공학과^{2,†}

A study on press plasticity of A3003-O aluminum material

Hyeok-Jin Kim¹ · Seong-Ryeol Han² · Kyung-A Kim[†]

Inzidisplay, Inc.¹

Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University^{2,†}

(Received December 10, 2019 / Revised December 27, 2019 / Accepted December 31, 2019)

Abstract: People's interest in the environmental problems of the Earth is growing as they come to the modern world, and research is being actively conducted on how to protect the environment. As a result, the automobile industry, one of the causes of environmental pollution, is also affected. Therefore, research is being conducted to improve the fuel economy and light weight of cars, development of pollution-free cars such as electric cars, and aluminium materials that are lighter than ordinary steel sheets and easier to recycle are gaining attention. In this experiment, the material was formed to form a form of aluminium and the material reduction rate of the side wall of the foam was tested according to the amount of side wall. The material used in the experiment was A3003-O, which is less plastic than normal steel plates, but has excellent corrosion resistance, plasticity and weldability compared to aluminium materials, but has poor tensile strength. For tensile testing, a certain array of Forming Shapes was molded and the height of the Forming was set to 5mm, and the height of the Forming was 4.7mm, indicating that the difference between the first 5mm Forming and the height was not large. In addition, the material reduction rate was tested by giving 15, 0, and -0.15 teas, respectively, and was found to be valuable as a product only for -0.15.

Keywords: Material Reduction Rate, Properties of Aluminium, Tensile Experiment, Vehicle Lightweight

1. 서 론

최근 자동차 산업에 있어서 지구환경 보호를 위한 노력이 경주되고 있는 가운데 경량 소재로써 알루미늄 소재가 각광을 받고 있으며 고급차를 중심으로 차체의 내 외 패널(Pannell)에 알루미늄 판재가 선별적으로 사용되고 있다¹⁾.

자동차에 요구되는 성능이 점차 높아짐에 따라 주행성능과 내구성, 소음의 감소 등 요구에 부응하기 위해 각종 기능이 추가되고 있다. 하지만 이것은 자동차의 중량을 증가시키는 요인으로 작용하여 연비 하락의 원인으로 되고 있으며, 현재는 자동차의

연비향상과 전기자동차 같은 자연 친화적 자동차의 개발이 진행되고 있다. 자동차의 연비향상을 위해서 엔진의 성능향상 및 주행 시 저항감소 등 자동차 자체의 경량화가 필요하지만 현재에는 소재의 대체에 따른 경량화가 떠오르고 있다²⁾.

알루미늄 소재를 사용하기 시작하면서 약 50%의 자동차 경량화 효과를 보였으며 소재의 재활용 효과가 우수하여 더 많은 사용이 예상된다. 하지만 알루미늄 소재는 특성상 일반적인 강판과 비교하여 성형성이 매우 낮기 때문에 대량 생산을 하기 위해서는 기술적으로 많은 문제들이 있다.

높은 가격과 기술적인 문제 때문에 후드, 트렁크, 휠 등 부분적으로 적용되고 있다. 또한 강판에 비해 알루미늄은 형상 동결성이 낮기 때문에 성형하고자 하는 형상대로 성형이 잘되지 않는다는 단점

1. 인지디스플레이(주)

† 교신저자: 공주대학교 금형설계공학과

E-mail: kka770@kongju.ac.kr

을 가지고 있다. 또한 점용접성 및 도장성 등이 불리하여 알루미늄 소재만을 사용하여 차체를 완성하기 위해서는 현재 개발되어 있는 알루미늄보다 높은 강도와 높은 성형성을 가진 새로운 재질의 개발과 그에 따른 프레스 성형, 집합 등의 가공주변기술 등의 기술이 확립되어야 한다. 하지만 현재까지 알루미늄 소재의 성형성은 이론에만 의존하는 경우가 많기에 실제 성형을 통한 프레스 성형에 관한 연구가 필요하다.

프레스의 성형성에 대한 연구는 3차원 구조 엠보싱 판넬의 엠보싱 깊이에 따른 기계적 특성의 변화 및 딥드로잉 등과 같은 대표적인 변형 모드 하에서의 성형성 등에 관한 연구가 주를 이루고 있으며 실제 패넬의 성형에 관한 연구 사례는 많지 않다^{4,5)}. 또한 알루미늄 뿐 아니라 티타늄 소재의 성형성에 대한 연구역시 진행중이다⁶⁾.

본 연구에서는 프레스 금형 공법 중에 하나인 포밍(Forming) 성형을 이용하여 알루미늄 소재의 두께 변화에 따른 변형량을 측정하고 포밍 성형 높이변화를 연구하고자 한다.

2. 실험

2.1. 실험소재 분석

본 연구에서 사용한 소재는 A3003계 중 하나인 3003-O 소재이다. A3003계는 순수 알루미늄보다 강도가 약간 높은 알루미늄 합금으로 3000계는 망간(Mn)을 첨가한 알루미늄 합금으로 비열처리형 소재이며 순수 알루미늄과 동등한 가공성과 내식성을 부여한 타입이다. 성형성, 용접성, 내식성이 뛰어나고 동시에 약간의 강도 개선이 되었으며 3000계를 대표하는 합금 중 하나이다.

용도에는 건축 자재, 선박용 자재, 각종 용기 등이 있으며 불순물 성분으로서의 Fe(철)와 Si(규소)의 함유량은 1000계의 순수 알루미늄보다 많다. 실험 소재인 A3003계에 대한 성분 및 특성을 Table 1과 Table 2, Table 3에 나타냈다.

Table 1 Aluminium component

Alloy number	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	etc.		Al
						Each	Sum	
A3003	Less than 0.6	Less than 0.7	0.05 ~ 0.2	1.0 ~ 1.5	Less than 0.1	Less than 0.5	Less than 0.15	The rest

Table 2 Aluminum property

No	Alloy name-Building	Tensile strength	Corrosion resistance	Plasticity	Appreciative quality	Weldability	Surface treatment
1	3003-H12	C	A	A	E	A	A
2	3003-H14	C	A	A	D	A	A
3	3003-H15	C	A	A	D	A	A
4	3003-H18	B	A	A	D	A	A
5	3003-O	C	A	A	E	A	A

(A: 문제없음, B:주의필요, C: 특별주의 필요, D:실용적이지 않음)

Table 3 Aluminum property

	Tensile strength	Corrosion resistance	Plasticity	Appreciative quality	Weldability	Surface treatment
A	295 N/mm ² or higher	No problem	No problem	No problem	No problem	No problem
B	195~295 N/mm ²	Outdoor handling ability	a slight need for attention	a slight need for attention	Special attention needs and weldability	a slight need for attention
C	100~195 N/mm ²	Outdoor corrosion prevention treatment	The need for specialism	The need for specialism	Not practical	The need for specialism
D	100 N/mm ² or less	Complete anticorrosion treatment	Not practical	Not practical		

2.2. 인장 해석

1차 연구로 인장실험을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 소재는 3003으로, 가로 150mm, 세로 150mm, 두께 1.0mm 인 A3003-O인 알루미늄 소재를 이용하였다. 소재의 인장력을 알기 위해 포밍 성형 전의 평평한 원소재를 사용하여 성형해석 프로그램을 이용하여 성형해석 하였다. 판면에 피치 16.7mm, 높이 5mm로 형상을 배열하여 포밍 성형을 하였으며 포밍 성형시 소재에 가해지는 수직 하중은 29,419MPa를 적용하여 성형하였다. 또한 포밍 성형을 통해 소재가 크랙을 발생시키지 않고 가능한 최대의 변형량을 고찰하였다.

2.3. 소재감소율 실험

2차 연구로 소재 감소율 실험을 실시하였다. 우선 같은 높이의 포밍 형상을 피치 16.7mm, 높이 5mm의 일정한 간격으로 성형하여 펀치의 측벽량(Clearance)에 변화를 주어 소재의 감소율에 대한 실험 연구하였다. 측벽량은 각각 +0.15, 0, -0.15로 하여 소재 감소율에 대해 실험하였다.

제품 개발 단계에서 소재감소율에 대한 데이터 없이 제품 개발을 하게 될 경우에 필요 이상으로 소재가 낭비가 된다. 소재의 낭비는 곧 원자재의 단가를 높이는 원인이며 단가 경쟁력에서 막대한 손해를 보게 된다. 이번 실험은 포밍 성형시에 소재의 낭비를 방지하여 손실을 줄이기 위해 최소 크기의 소재를 사용을 위한 실험이다.

소재의 포밍 성형을 하게 되면 포밍의 높이에 따라 소재의 변형은 항상 발생하게 된다. 물론 포밍 높이와 전체적인 형상에 따라 소재의 변형량은 각기 다를 것이다. 또한 포밍의 높이가 높을수록 한번의 성형으로는 포밍 형상이 성형되지 않는다. 또한 제품이 찢어지는 현상인 크랙이 발생하게 된다.

크랙의 생성은 제품 품질이 저하 될 뿐만 아니라 제품으로써의 기능 자체를 상실하게 하는 원인이다.

크랙의 발생을 억제하기 위해서는 포밍 성형을 한번이 아닌 여러 번 성형 하는 것이다. 이때 포밍의 높이를 점차적으로 높여가며 성형을 하는 것이다. 순차적으로 여러 번의 성형을 하게 되면 크랙이 발생하지 않게 되고 제품을 생산 할 수 있게 된다.

3. 실험결과

3.1. 인장해석실험 결과

만약 소재의 두께가 1.0mm 보다 얇을 경우에 포밍의 높이 값이 달라질 수 있고 상황에 따라서는 포밍의 높이가 4.7mm보다 더 높게 성형될 것으로 예측된다. 반면의 포밍 측벽의 두께가 얇아지기 때문에 크랙의 문제가 발생 할 수 있다. 반대로 소재의 두께가 더 두꺼우면 포밍의 높이가 더 낮게 성형 될 것으로 예측되며 포밍 두께는 확보가 되지만 높은 포밍을 성형 시에는 여러 번의 성형을 해야 할 것으로 사료된다.

Fig. 1에 A3003-O의 소재를 이용하여 인장 실험 결과를 나타내었다. 인장해석실험 결과를 알아보기 위해 솔리드 워크 시뮬레이션(Solid Works

Simulation) 프로그램을 사용하였다.

해석 값을 얻기 위한 해석조건으로는 탄성계수 69,000N/mm²를 적용하였고, 푸아송비는 0.33을 전달 계수는 25,000N/mm²를 적용하여 인장해석하였다. 또한 질량 밀도는 2730kg/m³를 적용하였으며 인장 강도는 100~195N/mm²의 중간정도인 140N/mm²를 적용하였으며 항복 강도는 65N/mm²를 적용하였다.

실험 결과 A3003-O의 일정한 배열을 가지고 포밍 성형을 했을 때의 최대의 변형량은 약 4.7mm로 변형하였다. 성형하고자 했던 포밍 높이보다 약 0.3mm 정도 높이가 낮게 변형되는 것을 알 수 있다. 이 수치는 처음에 성형하고자 했던 포밍 높이와 미세한 차이가 있지만 거의 흡사하다는 것을 알 수 있으며 5mm의 포밍 형상을 성형이 가능할 것으로 보여 지는 것은 실험에 사용한 소재의 두께가 1.0mm이기 때문이다. 그러기 위해서는 펀치를 제작 할 때 스프링 백(Spring back)을 고려하여 펀치의 높이를 형상보다 약간 더 높게 하여 성형 하거나, 한 번의 성형이 아닌 여러 번의 성형을 통해 5mm의 높이를 가진 포밍 형상 성형이 가능 할 것으로 예측된다.

물론 같은 소재를 사용한다고 하더라도 소재의 생산 로트(Lot)에 따라 달라 질 수 있으며 주변 환경에 따라서 값이 달라질 수 있다. 하지만 그 값이 대폭이 아닌 소폭의 차이가 있을 것으로 사료되었다.

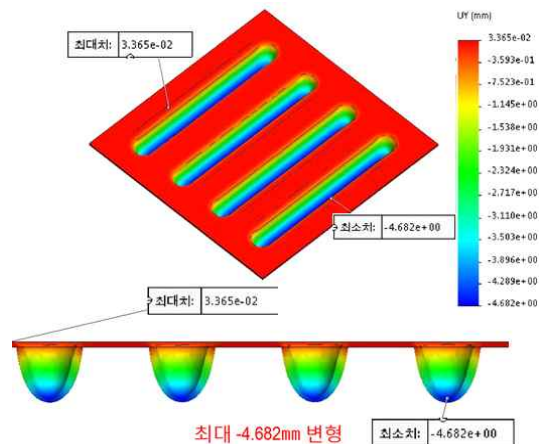


Fig. 1 Deformation of material

3.3. 소재감소율 실험 결과

Table 4와 Fig. 2에 측벽량에 따른 소재감소율에 대한 결과를 나타내었다. 또한 Fig. 3에 포밍 섹션을 나타내어, 포밍 형상에 따른 두께 변화의 측정 위치

를 나타내었다.

실험결과 측벽량이 크면 클수록 소재의 감소율이 높아지는 것으로 고찰되었다. 물론 측벽량에 따른 소재의 감소율의 폭이 크지 않고 미세하다고 생각할 수 있지만 소재의 두께와 비교하면 그 값의 폭이 큰 것을 알 수 있다.

Table 4 Material reduction rate analysis results

lateral wall volume	Punch 'R'	Die 'R'	A	B	C
+0.15	3.5R	2.0R	0.607	0.848	0.699
0			0.695	0.851	0.736
-0.15			0.772	0.854	0.786

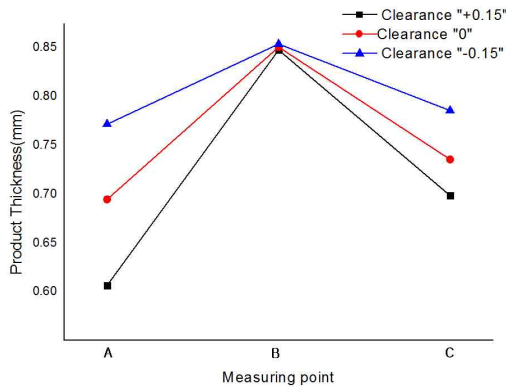


Fig. 2 Reduction of material thickness by clearances

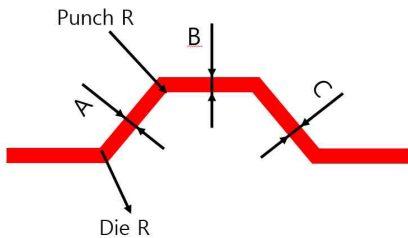


Fig. 3 Forming Section

실험 결과 측벽량 +0.15의 경우 측벽의 소재 감소율이 최대 약 40%가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 측벽량 0의 경우 최대 약 30%가 감소하였으며, 측벽량이 -0.15일 때는 최대 약 20%의 소재가 감소하는 것을 알 수 있다.

포밍 측벽 부분의 소재감소율이 높은 측벽량 +0.15와 측벽량 0의 경우에는 소재의 감소율이 비교적 높아 크랙이 발생할 확률이 매우 높을 것으로 고찰되었다. 또한 같은 소재를 사용한다고 해도 생산

된 로트에 따라 소재의 특성이 미세하게 차이가 있고 주변 환경에 따라 소재 감소율이 달라지기 때문에 개선이 필요할 것으로 고찰되었다.

반면에 측벽량 -0.15의 경우에는 소재 감소율이 약 20%로 비교적 적게 발생하여 +0.15나 0보다는 크랙의 발생 확률이 낮음을 알 수 있지만 다른 조건에 비해 크랙의 발생 확률이 낮을 뿐이며, 발생되지 않는다고는 판단할 수 없어 성형 시 주의가 필요할 것으로 판단된다.

소재 감소율을 최소화하기 위해서는 성형 시 사용한 소재에 잘 맞는 타발유(드로잉유)를 도포하여 성형하거나, 성형속도를 느리게 설정하고 펀치와 다이의 모서리 라운드에 대한 정밀한 래핑가공을 실시하여 매끄럽게 하면 어느 정도는 개선이 될 것이라고 예측되며, 가능 하다면 제품 성형을 할 때의 주변 환경의 조건을 맞추어 성형하는 것이 크랙의 발생을 억제하고 양질의 제품을 생산할 수 있을 것이라고 사료된다.

Fig. 4에는 측벽량 -0.15의 값을 적용하여 포밍 성형 한 제품의 단면을 나타내었다.

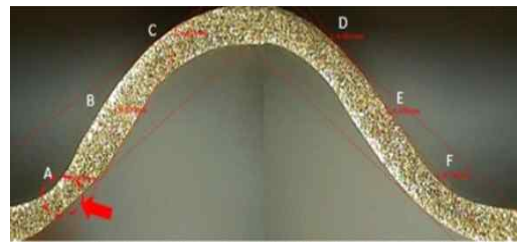


Fig. 4 Product section diagram for side wall volume -0.15

4. 결론

본 연구에서는 A3003-O 소재의 인장 강도에 대해 실험을 통하여 분석하였으며, 포밍 형상에서 소재의 감소량에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험에 사용한 소재인 A3003-O의 피치 16.7mm, 높이 5mm로 형상을 배열하여 포밍 성형을 하였을 때에 최대 변형량은 약 4.7mm이며 5mm의 포밍 높이와 0.3mm의 차이를 보였으며 그 차이가 작은 것을 알 수 있다.

2) 포밍 성형시 측벽량을 +0.15로 하였을 때 소재의 감소율은 약 40%로 나타났다. 상당히 높은 감

소율을 보였으며 소재가 감소된 만큼 크랙이 발생될 확률이 높다는 것을 알 수 있다.

3) 측벽량을 0으로 했을 때에는 소재 감소율이 약 30%로 나타났으며 +0.15보다 소재 감소율이 다소 낮게 되는 것을 알 수 있다.

4) 측벽량을 -0.15일 때에는 소재의 감소가 약 20%로 비교적 낮게 나타났으며 제품 크랙의 확률 또한 낮음을 알 수 있다.

본 연구에서는 알루미늄 소재인 A3003-O의 포밍 성형에 따른 재료 두께의 감소에 대하여 연구를 진행하였으나, 추후에 여러 종류의 포밍형상에 대하여 동일한 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- 1) Y. S. Kim, J. H. Cho, V. C. Do, D. W. Sihin, "Evaluation of mechanical properties and springback for embossed aluminum sheet - part I", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 16, No. 2 pp. 921-926, 2015.
- 2) Y.S. Kim, K.S. Kim, N.C. Kwon, "Press formabilities of aluminum sheets for autobody application", J. Korea Soc. Auto. Eng., Vol.2, No.1, pp. 73-83, 1994.
- 3) M. I. Choi, S.S. Kang "A Study on the Springback Characteristics and Bracket Formabilities Enhancement of Aluminum Alloy Sheets for Autobody Application", J. Korea Soc. Auto. Eng., Vol.5, No.6, pp. 64-76, 1974.
- 4) Y. S. Kim, V. C. Do, D. C. A. Ahn "Evaluation of mechanical properties and springback for embossed aluminum sheet - part I", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 16, No. 2 pp. 921-926, 2015.
- 5) G. S. Ya, G.J. Gun, "Formability of Aluminum Sheet in Automobile Body", The Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 17, No. 4, pp. 233-239, 2008.
- 6) Y. S. Kim, J. H. In, "Evaluation of press

formability of pure titanium sheet", Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 17, No. 3 pp. 380-388, 2016.

저자 소개

김 혁 진 (Hyeok-Jin Kim)

[정회원]



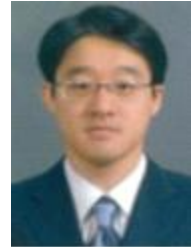
- 2015년 11월~현재: 인지디스플레이(주) 제작중

< 관심분야 >

프레스, 사출성형 및 금형, 유동해석

한 성 렬 (Seong-Ryeol Han)

[정회원]



- 2007년 02월: 부경대학교 기계공학과(공학박사)
- 2014년 3월~현재: 국립 공주대학교 금형설계공학과 부교수

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, CAE

김 경 아(Kyung a. Kim)

[정회원]



- 2015년 3월: 홍익대학교 제품디자인 전공/디자인·공예학과(미술학박사)
- 2015년 11월~2019년 2월 : 켄디자인(주) 디자인부서, 과장
- 2019년 3월~현재: 국립공주대학교 금형설계공학과, 조교수

< 관심분야 >

제품디자인, Additive Manufacturing(3D printing), 사출성형