

가상 생산 기술 개발을 위한 자동차 부품 정확성 검증 연구

김민준¹, 김석중¹, 이춘규[†]

서진산업¹

공주대학교 디지털융합금형공학과^{2†}

Accuracy verification research of automobile parts for virtual production technology development

Min-Jun Kim¹, Seok-Joong Kim¹, Chun-Kyu Lee[†]

Seojin Industrial¹.

Department of Digital Convergence Metal Mold Engineering, Kongju National University^{2†}
(Received March 01, 2024 / Revised March 08, 2024 / Accepted March 31, 2024)

Abstract: Securing technology to quickly develop products and launch them when needed has become an essential factor in corporate competitiveness to keep up with the rapidly changing automotive market. The automotive industry is launching various line-up electric vehicles in the era of the great transformation of electric vehicles in internal combustion locomotives. As for electric vehicles, the use of aluminum, a lightweight material, is increasing as a prerequisite for existing products to be lightweight depending on the weight of the battery. In this study, mold manufacturing and products were produced based on the results of optimized molding analysis during aluminum press molding. The results reflecting the optimal conditions of the molding analysis and the results of the actual production were compared and analyzed through digital 3D scanner equipment rather than analog to verify the accuracy, efficiency, and effectiveness.

Key Words: Aluminum, Door hinge face part, Formability, Spring Back, 3D Measurement

1. 서론

급격하게 변화하는 자동차 시장에서 재료와 관련된 연구는 경량화 소재를 집중하고 있다. 소재 경량화는 궁극적으로 연비 향상을 도모할 수 있어 심각한 환경오염과 에너지 자원 고갈로 인해 선진국에서는 연비와 배기가스의 규제를 강화하고 있

어 경량화 소재 사용은 단순 연비 향상뿐 아니라 환경규제에 따른 경쟁력 향상을 위한 기술 개발이 자동차 산업에서 필수적인 요소가 되고 있다¹⁾.

이러한 환경오염과 에너지 자원의 고갈로 이를 대체하기 위해 전기자동차에 관심과 기대가 상승하면서 주요 국가 정부들은 다양한 지원정책을 계획했다. 그중에서 유럽과 중국은 전기자동차의 가장 빠른 발전을 보인 지역이다. 2030년까지 유럽은 23%, 중국은 26%의 시장 점유율을 달성할 것으로 전망한다. 이와 같이 전기자동차의 지원 정책이 이 전보다 확대됨에 따라 전기자동차 보급이 활성화 될 수 있을 것으로 보이며 세계적인 관심은 더욱 더 고조될 것으로 예상된다. 하지만 배터리와 같은

[†]교신저자: ckt1230@kongju.ac.kr

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

친환경차의 전용부품은 무거운 중량으로 인해 기존 내연 기관차에 비해 중량을 증가시켜 에너지의 효율성이 떨어져 경량화 기술 적용은 매우 중요한 과제로 떠오르고 있다. 특히 소재의 경량화는 엔진 효율 및 자동차 성능이 향상됨으로 환경 오염 방지와 연료 절감에 가장 효과적인 방법이다. 전기자동차의 활성화는 배터리 무게에 따른 기존 제품들의 경량화를 요구하고 있으며, 경량화는 조건이 아닌 필수 조건으로 받아들여지게 되었다. 차량 경량화는 단순히 무게만 감소시키는 게 아니라, 제동의 안정성 향상을 기본 요건으로 만족시키면서 제조 단가, 생산성 및 강도를 함께 개선해야 하기 때문에 많은 연구개발이 필요한 분야이다^{2,4)}.

본 연구에서는 경량화 소재인 알루미늄 합금의 프레스 성형 가공 시 최적화된 성형 해석 결과를 토대로 금형 제작 및 제품 생산을 하였다. 알루미늄 합금은 탄성계수가 낮아 탄성 영역이 증가, 일반 강판 소재 대비 성형성 및 형상 동결성이 낮아 성형성에 단점이 있다. 이러한 잠재적 문제를 개선하기 위해 성형성 및 양산성을 사전에 확보하기 위한 여러 조건으로 성형 해석 자료를 검토하였으며 최적화된 결과를 도출한 뒤 프레스 금형 제작을 진행하였다. 그 이후 제작된 제품을 측정실로 이동 후, 3D 스캐너 장비를 활용하여 제품을 측정을 하는 방식으로 보다 정확한 결과값과 데이터를 축적하였다. 알루미늄 합금의 제품을 최적화된 성형 해석을 기준으로 제품 제작 및 제작 결과물을 디지털 3D 측정 및 성형 해석과 제품을 비교, 분석하여 성형 해석의 정확성 및 유효성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1. 프레스 성형 해석 및 금형 제작 공정

본 연구에서 선정한 제품은 운행 중 또는 사고 발생 시 외부 위협에 따른 보호 기능, 공기의 저항을 줄이기 위한 곡선에 의한 기능적 역할 외 디자인 기능도 겸하고 있다. 소재의 다양화(카본, 알루미늄, 마그네슘 등)와 외형적인 디자인(손잡이 등)이 크게 변화하는 특징이 있으며, Fig.1에 도시한 자동차 차체부품의 Front Door Complete의 용접, 매칭성, 조립 및 내구 보강에 핵심적인 부품인 Reinf Hinge Face를 선정하였다⁵⁾.

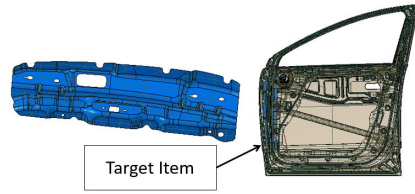


Fig. 1 Front door complete

2.2. 프레스 성형 해석을 통한 시뮬레이션 검증

프레스 성형 해석은 빠르고 정확한 결과값을 도출하며 결과값을 시각화하여 보다 쉽게 성형 과정 및 공정의 모든 측면을 자세하게 확인할 수 있다.

특히 개발 단계에서 성형 해석 결과는 최종 제품 제작 전 검증 단계의 결과에 큰 영향을 미친다. 이로 인해 제품의 공법 및 구성별 모델링 작업이 필요하다. 성형 해석에 필요한 기본 인자는 Table 1 과 같이 적용하여 1차 성형 해석을 진행하였다. 최종 제품 제작을 위한 공정별 프레스 성형 해석을 진행하였으며 프레스 공정 설정은 Table 2에 나타내었다. 성형 해석 프로그램은 Autoform R11 S/W를 활용하였다.

Fig.2는 최적화된 성형성을 확인한 뒤 Spring Back 해석 검토를 추가적으로 진행하였다. 성형 해석 결과는 Fig. 2, Table 3와 같이 Fomability 2개소 크랙 위험으로 확인, Thinning 2개소 크랙 위험으로 확인, Spring Back의 back 2개소 발생 위험 확인을 통해 성형 해석 결과를 분석하여 예상 문제점을 최소화 하였다.

성형 해석 결과의 문제점은 금형 제작 업체의 의견을 확인하여 금형 제작 육성을 통해 Try-out 진행 시 해소 할 수 있는 수준의 문제점으로 최종 확인하여 실제 금형 제작을 진행하였다.

Table 1 Experimental condition

Process factors	Values
Blank Size (mm)	1380 * 355
Blank shape	Rectangle
Material	A6451P
Thickness	2.4T
Elongation (%)	25
Yield Strength (MPa)	140~90
Tensile Strength (MPa)	180
Friction Coefficient	0.12

Cushion Stroke	80mm
Holder Force (Ton)	120
Press Force (Ton)	915
Tipping Point	X:525, Y:900, Z:825
Tipping Angle	X:90°, Y:-70°, Z:90°
Master tool	Autoform R11

뒤 성형성을 확인 후 각 공정 Try Out을 진행하여 최종 공정별 제품을 확인하였다. Fig. 4에 보인 바와 같이 크랙 문제점을 해소하였고, 육안검사를 통해 외관 주름 문제점 없음을 확인하였으며, Fig. 5에 도시한 바와 같이 성형 해석 기준으로 제작한 프레스 공정의 제품을 제작 및 금형 육성을 최적화하여 제품 제작에 완성도를 높였다.

Table 2 Representative press process

Process	Process Name
OP10	Drawing
OP20	Trimming, Cam-Trimming
OP30	Flange, Restrike
OP40	Piercing, Cam-Piercing, Separate.

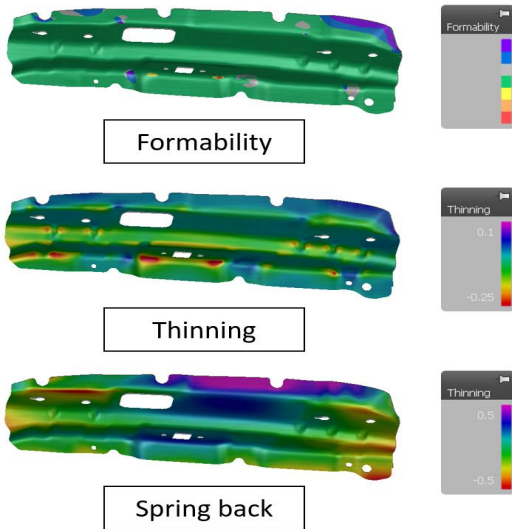


Fig. 2 Simulation Result (Image).

Table 3 Forming analysis conditions

No	Simulation Result	Values	Concept	Note
1	Formability	-	Risk of Splits, Splits	2EA
2	Thinning	-0.2~-0.1	Splits	2EA
3	Spring back	-0.5~-0.5	Back	2EA

2.3. 프레스 금형 제작 및 Try out 진행

성형 해석 결과를 바탕으로 제품의 성형성 확보를 한 뒤 프레스 공정별 금형을 Fig.3와 같이 제작하였다. Fig.3과 같이 금형 제작을 완료한 뒤 성형 해석 상 세 조건과 동일 조건으로 추진하기 위해 Table 4와 같은 프레스 라인에서 금형을 각 공정별로 체결한

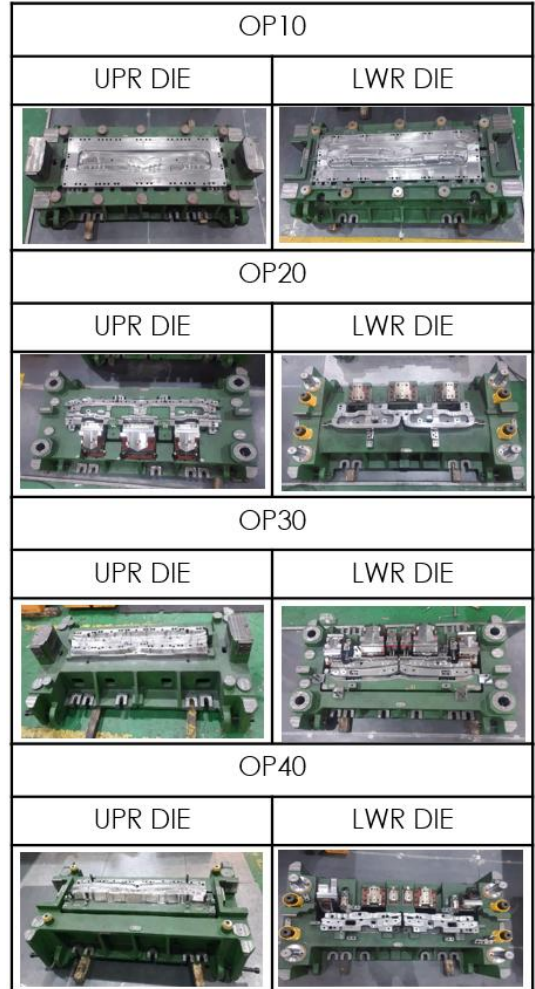


Fig. 3 Die Production.



Fig. 4 Product Quality.

3. 검증결과 및 고찰

Table 4 Die Press Line

Process	TYPE	TON
OP10	Tandem Press 1,200ton Line	1,200
OP20		800
OP30		500
OP40		400

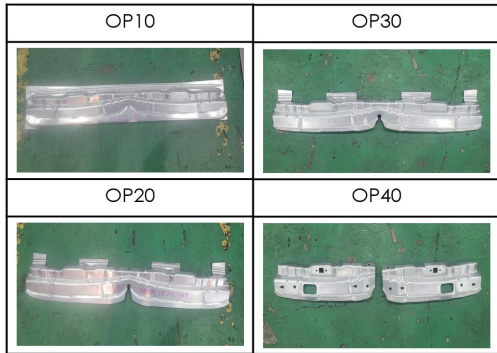


Fig. 5 Die Process Result.

2.4. Reinf Hinge Face 검사구 제작

제품 검사구는 제품 검사의 기준이 되는 기준(안착 기준면, 기준 Hole)을 제공하여 보다 신뢰성 있고, 균일한 검사를 진행할 수 있으며, 정밀하고 정확한 측정이 가능하다. 3D 스캔 측정은 품질검사를 보다 빠르게 측정할 수 있는 용도로도 사용한다. 제품 측정을 위하여 검사 기준 홀의 위치를 확인하고, 검사 기준면을 설정하여 Fig.6와 같이 제작하였다. 금형 제작 완료 후 검사구에 안착하여, 제품 측정을 통해 제품 Dimension(치수) 확인을 진행하였다.

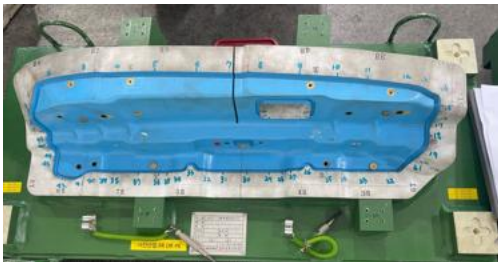


Fig. 6 Checking Fixture.

3.1. 실물 판넬 제작 진행

성형 해석 최적화된 결과를 기준으로 프레스 금형 제작을 착수하였다. 성형 해석을 통해 검증된 OP10 Drawing, OP20 Trimming, Cam-Trimming, OP30 Flange, Restrike, OP40 Piercing, Cam-Piercing, Separate의 금형을 제작하였다. 프레스 라인과 동일한 조건에서 성형 해석과 프레스 성형력을 적용하여 각 OP10, OP20, OP30, OP40 공정을 진행하였다. 성형공정과 타발 공정의 제작을 완료하여 Fig.7에 도시한 것과 같이 검사구를 통한 상시 검사와 Try out의 과정을 거쳐 제품을 최적화하였다.



Fig. 7 Die Process Result & Checking Fixture.

3.2. Reinf Hinge Face 3D 스캔 검증

고속 3D 스캔 장비는 Fig.8에 도시하였다. 사용한 장비는 Hexagon RS5 Laser Scanner이며 7축 다관절 측정 장비로 이동과 측정에 최적화되어 있는 장비이다. 제품 특성상 주요 부위를 Fig.7과 같이 측정 구간을 47 Point로 선정하여, 제품의 품질을 측정하였다.

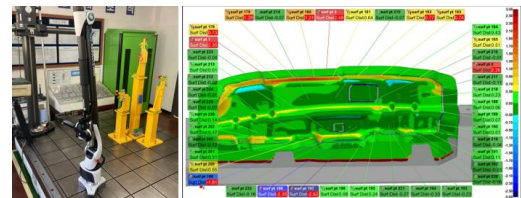


Fig. 8 3D Laser Scanner Measuring Equipment.

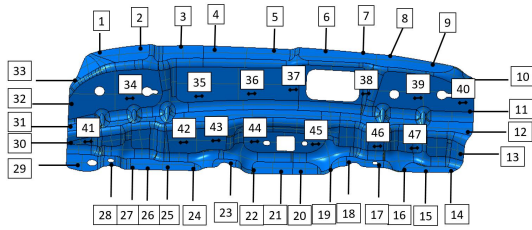


Fig. 9 47 Points of 3D Laser Scanner.

실제 제품과 3D 스캔을 통한 결과 비교를 Table 5에 나타내었다. 검사 측정으로 선정한 47 point는 Spring Back 성형 해석 결과에서 제품의 탄성에 의한 제품 복원량(Spring back)이 생기는 구간이며 제품의 끝부분은 제품의 변형이 육안으로 확인이 가능하며, 제품의 중요 부분은 추가적으로 선정하여 폭넓은 검토를 진행하였다.

Table 5 Simulation Result & 3D Scan Result Analysis

No	Simulation Result(mm)	3D Scan Result(mm)	Result	Result Error (SPEC±0.5)
1	-0.482	-0.02	Pass	-0.46
2	-0.865	0.12	Fail	-0.99
3	-0.959	-0.07	Fail	-0.89
4	-1.654	1.21	Fail	-2.86
5	-1.185	2.48	Fail	-3.67
6	-0.756	0.64	Fail	-1.40
7	-0.224	-0.07	Pass	-0.15
8	0.024	0.77	Fail	-0.75
9	0.041	0.74	Fail	-0.70
10	-0.404	0.43	Fail	-0.83
11	0.131	0.51	Pass	-0.38
12	0.564	-0.01	Pass	0.57
13	-0.109	2.26	Fail	-2.37
14	0.208	-0.11	Pass	0.32
15	0.408	0.23	Pass	0.18
16	0.268	0.06	Pass	0.21
17	0.402	0.07	Pass	0.33
18	0.248	0.01	Pass	0.24
19	-0.28	-0.04	Pass	-0.24
20	0.185	0.11	Pass	0.08
21	0.3	-0.03	Pass	0.33
22	0.102	-0.06	Pass	0.16
23	0.272	-0.23	Pass	0.50
24	0.388	-0.33	Pass	0.72

25	0.594	-0.27	Pass	0.86
26	0.565	0.24	Pass	0.33
27	0.384	0.08	Pass	0.30
28	0.427	-2.62	Pass	3.05
29	0.875	-2.35	Pass	3.23
30	0.609	-0.16	Pass	0.77
31	0.353	-1.81	Pass	2.16
32	0.196	0.55	Pass	-0.35
33	0.196	0.31	Pass	-0.11
34	-0.117	-0.12	Pass	0.00
35	-0.318	0.17	Pass	-0.49
36	-0.54	0.14	Fail	-0.68
37	-0.425	-0.01	Pass	-0.42
38	-0.109	-0.01	Pass	-0.10
39	0.308	-0.02	Pass	0.33
40	0.18	0.01	Pass	0.17
41	0.653	-0.04	Pass	0.69
42	0.302	2.35	Fail	-2.05
43	-0.087	0.73	Fail	-0.82
44	-0.23	0.14	Pass	-0.37
45	-0.422	-0.01	Pass	-0.41
46	-0.46	-0.01	Pass	-0.45
47	-0.152	0.14	Pass	-0.29

제품 측정 포인트는 Fig.9에 표기하였으며, 성형 해석 결과는 제품 복원량 결과를 확인하였다. 3D 측정을 통한 제품과의 비교 결과값을 가지고 성형 해석 결과와 3D 측정 검사 결과의 공차 ±0.5 이내 결과를 Pass, 아닌 경우 Fail로 검토하였다.

제품 복원량은 Table 5에 도시한 바와 같이 공차 ±0.5의 결과를 넘는 12개소를 확인하였으며, 성형 해석 결과, 3D 스캔 결과, 제품 SPEC의 결과를 비교 분석하여, Table 6과 같이 비교 분석하였고, 결과 해석 결과 및 3D 측정 결과 정확성은 Fig.10과 같이 74%로 최종 확인하였다.

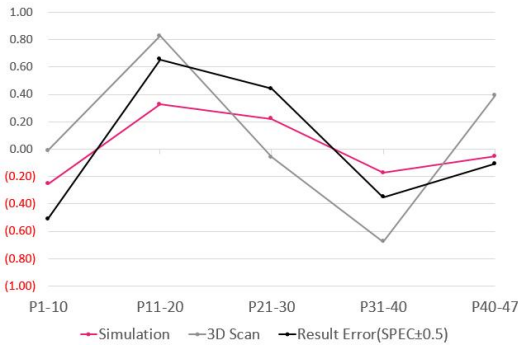


Fig. 10 Comparison on 3D simulation results of 47-point laser scanner

Table 6 Simulation Result & 3D Scan Result Analysis

No	Simulation Result(mm)	3D Scan Result(mm)	Error (nm)	Accuracy
Average	-0.01	0.13	-0.14	74%

※ 35ea out of 47ea OK

5. 결론

본 연구에서 알루미늄 도어 부품 성형 해석, 제품 제작, 3D 측정에 관한 해석 결과와 3D 스캔 측정값의 정확성 검증에 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

- 1) 성형 해석을 통해 문제가 예측될 수 있는 부분에 대하여 성형성, 두께 감소율, 제품 복원량을 최적화 한 결과, 성형성 관련 크랙, 제품 복원량 관련 Back 문제점을 부분 별 2개소 확인하였다.
- 2) 제작된 금형을 Try out을 진행하여 제품 결과를 확인 하였을 때, 성형성, 두께 감소율에 의하여 크랙이 발생되었으나, 품질 육성을 통해 크랙을 개선하였다.
- 3) 제품의 측정을 위한 검사구로 검사를 진행한 결과, 실제 제작한 제품에서는 문제점이 발생되지 않은 것으로 확인되었다.
- 4) 최종적으로 47개소 위치 중 3D 스캔 결과 12개소의 문제점을 확인하였고, 해석 결과의 2개소와 동일한 문제점이었으며, 10개소의 추가 문제점을 확인하였다.

본 연구는 알루미늄 도어 부품 성형 해석, 제품 제작, 3D

측정에 관한 해석 결과와 제품 실물 3D 측정값의 정확성 검증하는 목적으로 진행하였다. 그 결과 성형 해석의 결과와 제품의 결과값이 상이한 부분을 확인할 수 있었다.

향후 더 많은 알루미늄 제품을 연구하고 검증하여 정확성을 더 높일 수 있도록 더욱 많은 연구가 지속적으로 진행되어야 한다.

참고 문헌

- 1) Korea Institute of Science and Technology Information "automotive lightening technology" Korea Institute of Science and Technology Information(KIST)2009.
- 2) Gu, J.W., Lee, J.H., Chung, M.S., Lee, J.Y., "Electric Vehicle Technology Trends Forecast Research Using the Paper and Patent Data. Journal of Digital Convergence", Vol. 15, No. 2, pp. 165-172, Feb. 2017.
- 3) Samjeong KPMG Economic Research Institute "Moving the center of the trend of lightening automobiles, reducing the weight of materials" Samjeong KPMG Economic Research Institute (KPMG) 2018.
- 4) Kang, H. S., Lee, H. L. and Baek, J. J., "Development of High Rate Molding System for High Performance Injection Molding", Journal of Advanced Engineering and Technology, 11(3), 165-169 (2018).
- 5) Kim, S.J., Kim, M.J., Choi, W.I., Lee, C.K., "A Study on the Optimization of Press Forming of Aluminum Door Hinge Face Parts in Automobiles. Design & Manufacturing", Vol. 17, No. 2, pp. 47-54, 2023.
- 6) Kim, S.S., JUNG, C.J., LEE, C.K., " A Study on Vibration and Noise through Finite Element Analysis of Large High Speed Press", Design & Manufacturing.

저자 소개

김민준 (Min-Jun Kim)



- 2018년 2월: 공주대학교 금형공학과 졸업
- 2022년 8월: 한국기술교육대학교 IT 융합과학
경영산업대학원 졸업
- 2015년 2월~현재: 사진산업 개발본부 선행생
가팀 책임매니저

< 관심분야 >

프레스 성형 및 금형 CAE, 3D 측정

김석중 (Seok-Joong Kim) [학생회원]



- 2016년 9월~현재: 사진산업 개발본부 선행
생가팀 책임매니저
- 2024년 2월: 공주대학교 금형공학과 졸업

< 관심분야 >

프레스 성형 및 금형

이춘규 (Chun-Kyu Lee) [종신회원]



- 2014년 8월: 공주대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 3월~2016년 12월: 유한대학교
금형설계공학과 교수
- 2016년 12월~2018년 3월: 한국폴리텍
대학 창원캠퍼스 금형디자인과 교수
- 2018년 4월~현재: 공주대학교 디지털융합
금형공학과 교수
- 2018년 4월~현재: 공주대학교 글로벌 금형기
술연구소

< 관심분야 >

프레스 성형 및 금형