

전기차 내장 감성 조명용 CRASH PAD GARNISH BODY 제조기술에 관한 연구

전오환¹, 전상권¹, 김옥환^{2*}, 한수현³, 최낙훈⁴

¹시그마(주), ²공주대학교 기계자동차공학부, ³공주대학교 대학원 기계공학과, ⁴공주대학교 대학원 미래융합공학과

A Study on the Manufacturing Technology of CRASH PAD GARNISH BODY for Emotional Lighting in Electric Vehicle

Oh-Hwan Jeon¹, Sang-Kwon Jeon¹, Ok-Hwan Kim^{2*}, Su-Hyeon Han³, Nak-Hun Choi⁴

¹Sigma Corporation

²Dept. of Mechanical & Automotive Eng., Kongju National University

³Dept. of Mechanical Eng., Kongju National University

⁴Dept. of Future Convergence Eng., Kongju National University

요약 본 논문은 전기차를 위한 감성 조명용 Crash Pad Garnish Body 부품을 사출할 때, 뒤틀림이나 휨이 적도록 하는 기술에 관한 것이다. 물성치 시험을 통하여 부품에 적절한 소재를 선정하였고, 이 재료를 적용하여 사출 유동 해석을 하였으며, 해석으로부터 유동 압력, 온도 분포, 각부의 변형 등의 사출 조건을 구하였다. 유동 압력은 게이트 입구에서 최대 압력 85.51MPa를 보이며, 온도 분포는 최고 온도는 중앙 하부와 우측 끝 부위에서 약 300℃이고, 좌측 부위는 270℃이었다. 해석한 결과를 토대로 시험용 부품과 그에 대한 금형을 설계하고 제작하였으며, 제작된 금형을 이용하여 시험 사출을 하고, 시험 사출된 제품을 검사하였다. 검사 내용으로 외관검사, 휨과 뒤틀림 변형량, 무게 검사를 하였으며, 검사를 통하여 시제품의 품질을 확인하였다. 또한, 최근 이슈되는 유해물질 검사를 통하여 환경적 문제 유무를 검토하였다. 그 결과 모든 항목이 적합함을 보였다.

Abstract This paper reports a technology to reduce distortion or bending when injecting Crash Pad Garnish Body parts for emotional lighting for electric vehicles. Appropriate materials for the parts were selected through the physical properties test. Injection flow analysis was performed by applying these materials, and injection conditions, such as flow pressure, temperature distribution, and deformation of each part, were obtained from the analysis. The flow pressure showed a maximum pressure of 85.51 MPa at the gate entrance, and the temperature distribution was approximately 300°C at the lower center and the right end and 270°C at the left side. Test parts and molds were designed and manufactured based on the analysis results, and test injection was performed using the manufactured mold, and the test-injected products were inspected. As for the inspection contents, appearance inspection, amount of deformation of bending and distortion, and weight inspection were performed, and the quality of the prototype was confirmed through inspection. In addition, the presence or absence of environmental problems was reviewed through the recent hazardous substance inspection. The results showed that all items were adequate.

Keywords : Crash Pad Garnish, Mold Analysis, Emotional Lighting, Injection Mold, Electric Vehicle

본 논문은 2022년도 교육부 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체대학협력기반지역혁신사업(2021RIS-004)의 연구개발과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ok-Hwan Kim(Kongju Univ.)

email: owkim@kongju.ac.kr

Received March 9, 2023

Revised March 29, 2023

Accepted April 7, 2023

Published April 30, 2023

1. 서론

최근 차량 성능에 대한 인식이 단순 이동 수단에서 개인의 감성적 공간으로 소비자의 인식이 변화하고 있으며 특히 차량의 속도나 연비, 승차감 등 기능적 측면뿐 아니라 내외장재의 디자인이 주는 감성적인 효과에 대한 니즈가 증가하고 있다. 이에 따라 제품 홍보 등에서 감성 마케팅이라는 용어를 사용하는 것을 볼 수 있으며, 이미 기업에서도 감성 품질 향상을 위한 노력과 연구들이 다양하게 이루어지고 있다[1,2]. 감성 품질 향상을 위한 연구 분야 중에서도 감성 조명 분야가 가장 많이 주목받고 있다. 이와 관련된 연구 내용으로 상황과 온도에 맞는 색을 배합해 감성 조명으로 표현하는 알고리즘 설계를 진행한 연구, 공간과 조명의 상관관계를 실험한 연구, 감성 조명을 활용한 공간에서 색온도를 측정, 비교 분석해 적용 방법을 제안한 연구 등 다양한 관점에서 감성 조명에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[3-5].

감성 품질 향상을 위한 조명 장치에는 플라스틱 사출물이 많이 이용되고 있으며, 조명장치에 사용되는 사출물과 형상이 유사한 플라스틱 사출(IM, Injection Molding)의 불량률을 줄이려는 연구가 많이 진행되고 있다. Rocha 등[6]은 플라스틱 부품의 최고 품질을 달성하는데 온도 제어 시스템(TCS)과 그 설계가 가장 중요하며, 컨포멀 냉각 채널(CCC)이 이미 큰 잠재력을 입증한 TCS이므로 중요한 연구 분야라 하고, 이에 대한 많은 관련 논문을 검토하였다. Moayyedien 등[7]은 사출제품의 불량률을 줄이기 위하여 인공 신경망과 Taguchi 방법으로 최적의 사출조건(충진시간, 냉각시간, 압력유지시간, 용융온도) 등을 제시하였다. Kitayama 등[8]은 플라스틱 사출 성형에서 등각 냉각 채널의 사이클 시간과 뒤틀림을 수치적 및 실험적으로 검토하였다. 검토에는 용융온도, 주입 시간, 포장 압력, 포장 시간, 냉각 시간 및 냉각 온도가 설계 변수로 사용하였다. Lee와 Kim[9]은 각 부품 벽 두께를 변경함으로써 사출 성형 부품의 뒤틀림을 최소화하는 이론적인 연구를 하였다. Chen[10] 등은 박판의 플라스틱 부품 생산 중 사출 성형 공정 매개변수에 따른 뒤틀림 변화를 줄이기 위해 통계 기술과 CAE를 이용하는 방법을 제시하였다. Chen과 Zhu[11]는 휴대전화 케이스의 뒤틀림을 적게 하기 위하여, CAE 소프트웨어에 의해 사출 성형을 위한 수치 모델을 확립하였다. 이를 통해 주입시간, 금형온도, 용융온도, 패키징 시간, 패키징압력 등 5개 인자의 공정 파라미터를 분석하고 주입공정 파라미터가 뒤틀림에 미치는 영향을 연구하

였으며 공정 파라미터의 최소 조합을 얻었다. Wang과 Cai[12]는 노트북 배터리 커버 사출물의 뒤틀림 변형을 줄이기 위하여 Moldflow 소프트웨어를 사용하여 사출 금형 설계 및 사출 공정 파라미터의 최적화를 수행하였다. Ozcelik과 Sonat[13]은 Taguchi 방법을 사용하여 셀 폰 커버의 다양한 두께 값에 대한 뒤틀림에 대한 각종 사출 파라미터의 영향을 조사하였다. 사출물의 뒤틀림 분석에는 Moldflow Plastic Insight(MPI) 4.0 소프트웨어를 사용하였으며, 재료의 뒤틀림에서 가장 영향력 있는 매개변수는 사출 압력이라 하였다.

감성 품질 향상을 위한 조명 장치로 중요한 것 중의 하나가 Fig. 1에 나타난 Crash Pad Garnish이다.



Fig. 1. Crash Pad Garnish

Crash Pad에는 길이가 길고 단면적이 작은 플라스틱 사출품의 Garnish가 요구된다. 길고 단면적이 작은 제품의 사출 제조 시에는 뒤틀림, 휨 등의 결함이 수반되는데, 이러한 결함으로 인하여 불량률이 증가하고 제품개발 시 막대한 금형 비와 시간이 소요된다. 그러므로 이런 결함을 줄이는 연구가 필요한데, 연구 결과를 조사한 바 이러한 연구가 거의 없다. 따라서 본 논문에서는 전기차에 적용되는 장축의 Crash Pad Garnish Body의 뒤틀림 또는 휨 발생이 적도록 하는 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 제품 모델링

본연구에 사용된 사출 소재는 자동차 부품 내장재에 널리 사용되는 LG화학 PC 계열의 모델 TRIREX HI30이며, grade는 LUPOYNS500CDLEK인 재료를 사용하였다. 재료의 기계적 성질을 자동차 규격 MS214-04D 및 ASTM D638D에 의거 시험하여 얻었으며, 항복강도 65MPa, 연신율 110%, 충격값 0.6J/cm, 탄성계수 2,200MPa, 열팽창계수 $507 \times 10^{-5} \text{cm}/^\circ\text{C} \cdot \text{cm}$ 이다.

사출 유동해석을 위하여 제품을 Fig. 2와 같이 모형화 하였으며, 대략적인 크기는 길이 913mm, 폭 28mm, 두께 4~8mm로 두께 및 폭이 좁고 길이가 길다.



Fig. 2. 3D model for Crash Pad Garnish Body

3. 사출해석 및 금형 설계

3.1 모델링 및 해석 조건

사출 해석을 위하여 CATIA V5 사용하여 Fig. 2와 같이 제품을 3D 모델링하였다.

폭 및 두께가 작고 길이가 길어서, 충전 및 냉각 시 온도 차에 의하여 미성형 불량률이 예상됨에 따라, Fig. 3과 같이 게이트를 2개로 분산하여 러너 및 게이트를 모형화하였다. 구체적으로 러너의 지름은 12Ø이고, 게이트는 5Ø 다이렉트로 두께 2mm, 폭 14mm로 해석 조건을 설정하였다.

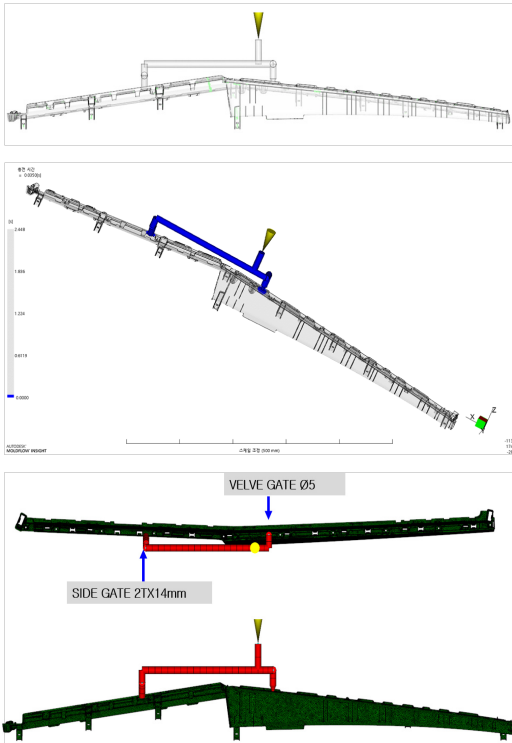


Fig. 3. Runner and gate design

사출 해석 조건은 기존 유사 제품에 대한 경험 data를 바탕으로, 제품의 미성형 불량률을 줄이기 위해 사출 압력은 4단계로 나누어 압력을 부가하였다. 1차 압력 10MPa에서 시작하여, 2차 압력 12MPa, 3차 압력 17.5MPa, 4차에는 17.5MPa로 설정하여 해석을 진행하였다. 보압으로는 1차 5.5MPa, 다음으로 3.5MPa를 유지하였으며, 각각 1초로 시간을 설정하였다.

3.2 해석 결과

사출 해석에는 Moldflow를 사용하였다. 압력해석, 유동해석, 변형해석 등을 통하여 금형 설계 변수를 구하였다. 사출 해석으로 구한 부위별 압력 분포를 Fig. 4에 나타냈다. 압력 해석 결과 게이트 입구에서 최대 압력 85.51MPa를 보였으며, 양 끝단 부위에는 거의 압력이 없어 양단 압력이 거의 유사성을 보여 보인다.

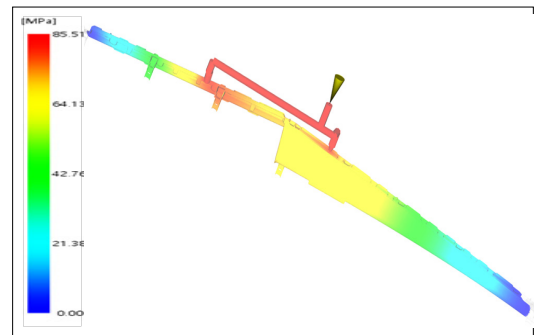


Fig. 4. Flow pressure distribution analysis result

유동 해석 결과 온도 분포를 Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 최고 온도는 중앙 하부와 우측 끝 부위로 최고 약 300℃까지 상승했으나 좌측 부위는 270℃로 약 30℃ 차이를 보인다. 이에서, 온도 차가 크지 않기 때문에 열변형에 의한 뒤틀림이 적을 것으로 판단된다.

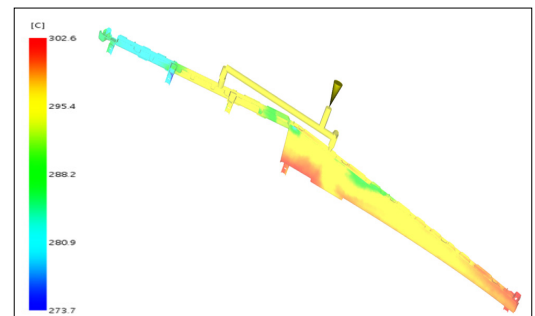


Fig. 5. Flow temperature distribution analysis result

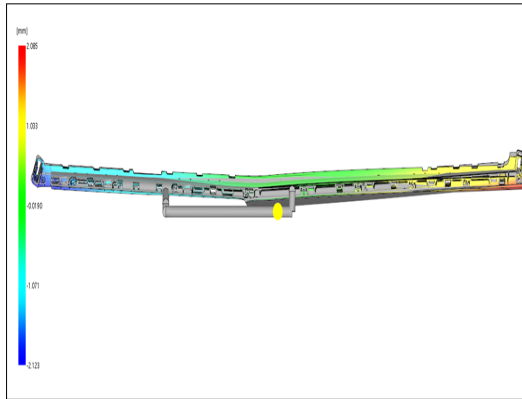


Fig. 6. Deformation and deflection analysis results

변형해석 결과를 Fig. 6에 나타내, 최대 2mm 변형 편차가 발생하였는데, 이는 실제 제품 조립 시에 문제가 없을 것으로 판단된다. 참고로 MS 사양에는 공차에 관한 규정이 없다.

해석 결과를 종합하면, 위와 같은 변형량의 제품은 실제 조립시 고정 부위가 여러 군데 설치되어 있어서 평형을 유지할 것으로 판단되며, 조립 후 완제품의 뒤틀림 및 처짐이 적을 것으로 판단된다. 해석 결과로부터 얻은 값들을 Table 1에 제시하였다. 이 조건들이 금형 설계 및 시제품 제조에 사용되었다.

Table 1. Mold analysis results

SPEC.	1
Gate	2 point
Field time	2.44s
Injection Pressure	85.51MPa
Temp. at flow front	302.6℃
Weld line	X
Clamp force	1,504.9kN
Total Deflection	+7.58 ~ -0.48mm
X-Axis Deflection	+2.08 ~ +2.12mm
Y-Axis Deflection	+5.55 ~ -7.46mm
Z-Axis Deflection	+4.05 ~ -2.0mm

4. 부품 설계 및 금형 설계

4.1 부품 설계

해석 결과를 바탕으로 상세 설계를 진행하였다. EV차 크래쉬 패드의 내장 조명을 위한 Garnish 부품 설계도

를 Fig. 7에 나타냈다. 본 연구 대상의 제품은 긴 장축이고, 폭이 좁으므로 2개의 게이트와 중간에 밀대를 여러 곳으로 분산하여 설계하였다. 상세 설계 제품의 정면도 및 측면도를 Fig. 7(a)에 도시하였으며, 출시되는 차량의 보안상 치수는 생략한다. Fig. 7(b)와 (d)는 좌우에 조명용 LED 연결 단자를 위한 부분이며 정밀을 요구하기 때문에 수축에 대비한 설계를 진행했으며, Fig. 7(c)는 중앙부 고정 부위로 전체적인 지지 골격이 필요하므로 충분한 강성이 되도록 설계하였다.

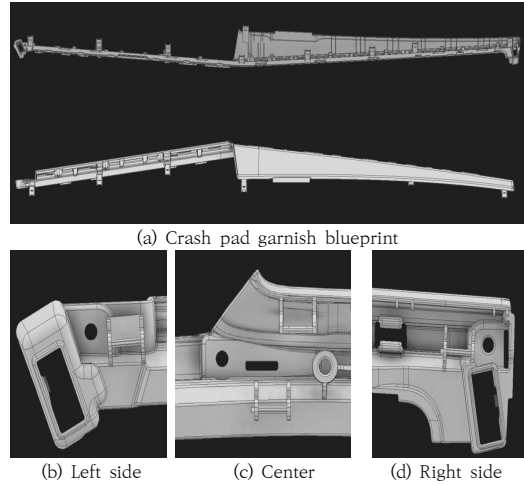


Fig. 7. Crash Pad Garnish Body detailed design

지금까지 구한 결과를 바탕으로 금형설계를 하였다. Fig. 8은 본 제품에 맞는 금형 설계 LAY OUT이며, 균일한 지지 및 연결 부위를 같은 간격으로 배치하였다.

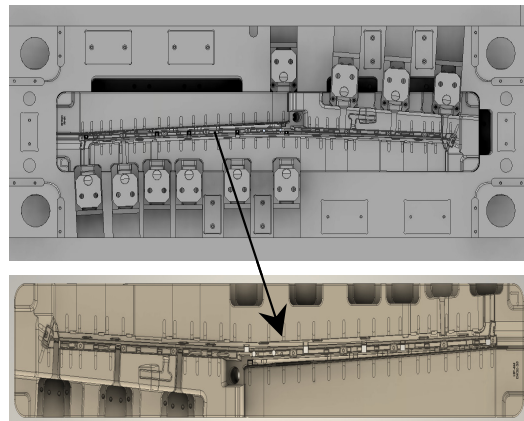


Fig. 8. Mold LAY OUT

해석 설계 변수를 바탕으로 인젝션 핀 및 게이트, 러너 및 냉각 라인을 설계하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타냈다. 다음으로 본체 상하 몰드베이스를 Fig. 10과 같이 설계하였다.

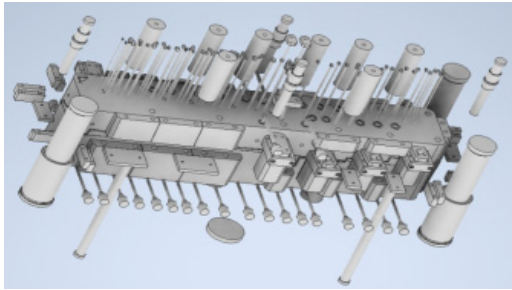


Fig. 9. Diagram of internal parts of the mold

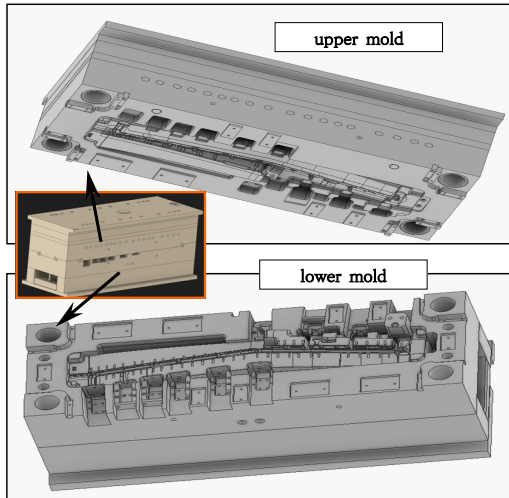
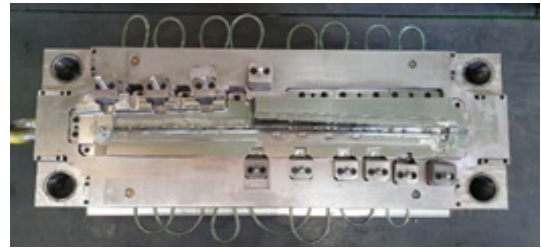


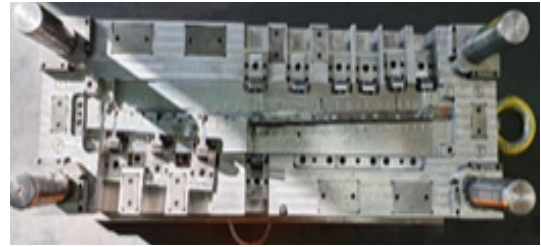
Fig. 10. Mold design drawing

4.2 금형 제작

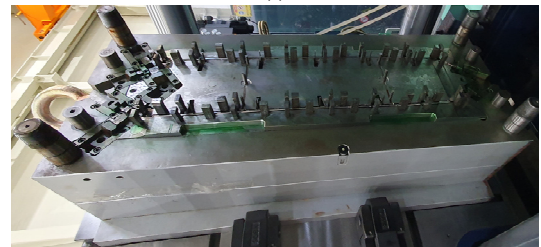
위와 같이 설계한 금형을 Fig. 11과 같이 제작 조립하였다. 여기서 (a)는 상부 몰드이고, (b)는 하부 몰드이다. 표면 마모에 대비하여 표면 경화 처리를 하였으며, 금형을 및 인젝터가 움직일 때에 대비하여 충분한 강성을 주었다. 장축에 폭이 좁은 것을 감안하여 깊은 홈 가공에는 절삭 및 방전 가공을 하였으며, 대부분 주요 가공 공정을 일체형 지그에 단일 고정 후 5축 머시닝 센터를 사용하여 가공함으로써 형상 공차의 정밀도를 향상하였다. 성형 완료 후 제품 추출을 위한 인젝션 핀을 Fig. 11(c)과 같이 제작하여 조립하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 11. Manufactured mold

5. 시사출 및 시제품 시험 결과

5.1 사출 조건 설정 및 시험 사출

설계 제작된 금형을 장착하여 시사출 사출 장비는 WOJIN IB2140으로 최대 압축 용량 380 TON이며, Fig. 12에 해당 사출기로 사출하는 모습을 나타내었다. 해석 결과를 바탕으로, 시사출 조건은, 사출 총 CYCLE이 35초이며, 실제 인젝션 시간은 4.6 초 동안 사출하였다. 이때 형체 압력은 1차 8MPa, 2차 10MPa, 3차 8MPa, 4차 5MPa, 마지막에 12MPa이 인가되었다. 이때의 이젝터 압력은 9MPa이며 노즐 압력은 13MPa, 전진시간 5초이고, 배압은 8MPa을 유지토록 하였다. Table 2에 자세한 사출 조건을 제시하였다.

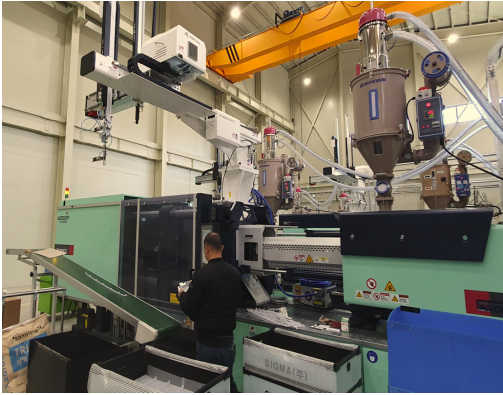


Fig. 12. Shot test

Table 2. Injection condition

Injection pressure [MPa]	1st	11 ± 0.55
	2nd	14 ± 0.70
	3rd	14 ± 0.70
Injection speed [%]	1st	8 ± 0.4
	2nd	25 ± 1.3
	3rd	25 ± 1.3
Injection time [sec]	1st	3.1 ± 0.2
	2nd	3.1 ± 0.2
Injection location [mm]	1st	40 ± 2.0
	2nd	14 ± 0.7
	3rd	12 ± 0.6

Fig. 13은 시험 사출하여 제조된 제품으로 게이트 및 러너 부위를 절단하여 완성하였다.

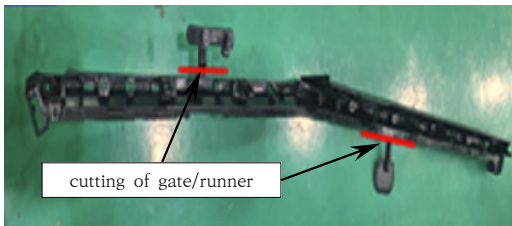


Fig. 13. Sampled product

5.2 시험 결과

사출 유동 해석을 통하여 얻은 설계 변수를 바탕으로 제품 및 금형 설계를 수행하고, 신뢰성 및 성능에 맞게 시험 사출한 제품의 사진을 Fig. 14에 보인다.



Fig. 14. Injection products for testing

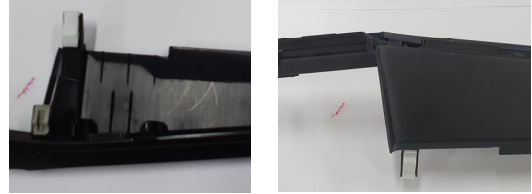


Fig. 15. Appearance inspection of the test item

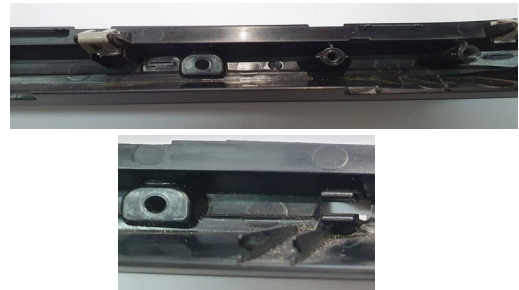


Fig. 16. Inspection of deep groove inner hole and assembly part appearance

시사출 제품의 성능을 검사하기 위하여, 시험 부품에 대한 외관검사를 하였으며, Fig. 15와 같이 중앙 부위에 대한 사출 결함을 육안검사한 결과 WELD LINE이 없이 양호하였다. 또한, Fig. 16에서와 같이 중앙의 깊은 홈으로 이루어진 체결 부의 검사 결과 사출 결함은 발생하지 않았고 조립시 변화가 없음을 확인하였다. 다음으로 각 부위에 대한 변형 및 처짐량을 측정하였다. 측정 부위는 커넥터 부위인 끝단에서부터 중앙까지 주요 위치를 Fig. 17과 같이 10포인트를 정하여 측정하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 5번 측정 결과, 모든 부위의 모든 측정값은 허용 오차 범위 내에 있음을 확인하였다.

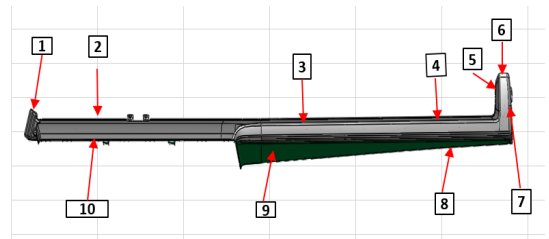


Fig. 17. Prototype dimension inspection area

Table 3. Test results

NO.	Allowed limit(mm)		Measurement results					
	lower	upper	1st	2nd	3rd	4th	5th	ave.
1	2.7	3.3	2.92	2.95	2.96	2.99	2.89	2.94
2	2.7	3.3	3.17	3.18	3.19	3.20	3.17	3.18
3	2.7	3.3	2.90	2.92	2.88	2.91	2.93	2.91
4	2.7	3.3	3.01	3.12	3.07	3.05	3.11	3.07
5	2.7	3.3	3.07	3.09	3.11	3.15	3.12	3.11
6	2.7	3.3	3.17	3.21	3.04	3.16	3.25	3.17
7	2.7	3.3	2.82	2.87	2.92	2.87	2.91	2.88
8	2.7	3.3	2.81	2.85	2.83	2.83	2.87	2.84
9	2.7	3.3	2.95	2.97	2.98	2.89	2.85	2.93
10	2.7	3.3	3.20	3.19	3.23	3.24	3.21	3.21

시험 사출 제품 중량을 측정한 결과를 Table 4에 나타냈다. 제품의 표준중량은 $148 \pm 1\text{gf}$ 이며, 측정된 값은 평균 147.95gf 이고, 최소 최댓값이 허용 한계치 내에 있음을 확인하였다.

Table 4. Gravimetric results of injection products

Item	Standard	Measurement results					
		1st	2nd	3rd	4th	5th	ave.
Injection part weight	$148 \pm 1\text{gf}$	147.92	147.85	147.96	147.91	148.10	147.95

한편 Fig. 18과 같이 개발품의 좌측단과 우측단의 공차를 확인하기 위해, 조립하여 측정한 결과 값이 모두 허용공차가 $\pm 0.08\text{ mm}$ 내에 있었으며 삽입 및 탈착이 용이하였다.

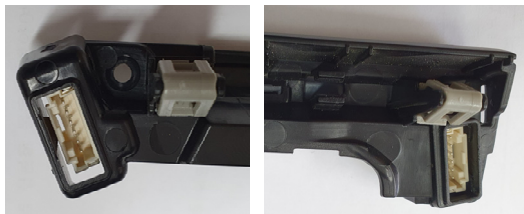


Fig. 18. Connector insertion inspection

마지막으로 최근 환경 문제로 수출을 위한 규제 사항인 VOC(Volatile Organic Compound) 시험을 시행하였다. VOC 시험에는 Fig. 19와 같은 시편을 사용하였다.



Fig. 19. VOC test piece

시험 결과 Table 5와 같이 특성 유해물질인 Formaldehyde를 비롯하여 Benzene, Toluene, Xylene, Acrolein이 검출되지 않았고, Styrene은 한국 자동차 규제 값인 220보다 적은 187로 나타나 안전함을 보였다.

Table 5. VOC test results

Test item	Test method	RL	Limit		Result
			Korea	China	
Benzene	With reference to Hyundai-Kia motors MS 300-55:2019, Tenax tube, GC/MS	10	30	50	N.D.
Toluene		20	1000	1000	N.D.
Ethyl Benzene		20	1000	1000	N.D.
Xylene		20	870	1000	N.D.
Styrene	With reference to Hyundai-Kia motors MS 300-55:2019, HPLC/DAQ	20	220	260	187
Formaldehyde		20	210	100	N.D.
Acetaldehyde		20	300	200	N.D.
Acrolein		20	50	50	N.D.

6. 결론

본 논문에서는 전기차에 적용되는 장축의 Crash Pad Garnish Body 부품의 뒤틀림이나 휨 발생이 적도록 하는 제조 기술에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

사출 유동해석 결과, 유동 압력은 게이트 입구에서 최대 압력 85.51MPa 을 보이며, 가장 끝 양단 부위에는 거의 압력이 존재하지 않으며, 온도 분포는 최고 온도는 중앙 하부와 우측 끝 부위에서 약 300°C 까지 상승했으나, 좌측 끝 부위는 270°C 대로 30°C 차이를 보인다.

유동해석으로 얻은 결과를 바탕으로 설계 제작된 금형과 사출조건으로 시험제작된 제품을 검사한 결과 결함은 없으며, 제품 각 부위의 변형량과 중량은 허용한계 값 이하이다.

유해물질 검사를 통하여 환경적 안전성 검사를 시행한 결과 모든 항목이 적합함을 보였다.

본 연구 결과는 자동차 내장 플라스틱 부품 중 좁고 긴 사출 Garnish 부품의 개발 시 기초설계 자료로 활용될 수 있다.

References

- [1] J. J. Lee, J. H. Lee, "Research of emotional quality through the motor silver exterior color analysis", *Journal of Korea Society of Color Studies*, Vol.28, No.1, pp.60-69, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.17289/JKSCS.28.1.201402.60>
- [2] S. J. Park, J. K. Park, J. H. Choe, "Derivation of affective factors for automotive interior material and its association analysis on material properties", *J. Korean Soc. Qual. Manag.*, Vol.45, No.3, pp.521-532, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2017.45.3.521>
- [3] Y. J. Park, J. H. Choi, M. G. Jang, "Optimization of light source combination through the illuminance and color temperature simulation of circadian lighting apparatus", *Journal of Korean Contents Society*, Vol.9, No.8, pp.248-254, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2009.9.8.248>
- [4] D. U. Jeon, J. M. Im, Y. S. Kwak, ".Effect of the characteristic of a room and lighting colors on emotion.", *Korean Society of Color Studies Conference*, pp.26-29, Oct. 2013.
- [5] B. K. Sin, G. S. Choi, "A study on emotional characteristics of space by light transformation", *Journal of Korea Society of Color Studies*, Vol.32, No.2, pp.107-115, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.17289/jkscs.32.2.201805.107>
- [6] S. B. Rocha, T. Zhiltsova, V. Neto, M. S. A. Oliveira, "Optimization to assist design and analysis of temperature control strategies for injection molding—A Review", *Materials*, Vol.15, pp.4048-4058, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15124048>
- [7] M. Moayyedean, A. Dinc, A. Mamedov, "Optimization of injection-molding process for thin-walled polypropylene part using artificial neural network and Taguchi techniques." *Polymers*, Vol.13, pp.4158-4171, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13234158>
- [8] S. Kitayama, H. Miyakawa, M. Takano, S. Aiba, "Multi-objective optimization of injection molding process parameters for short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol.88, pp.1735-1744, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8904-x>
- [9] B. H. Lee, B. H. Kim, "Optimization of part wall thickness to reduce warpage of injection-molded parts method based on the modified complex method", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol.34, No.5, pp.793-811, 1995.
DOI: <https://doi.org/10.1080/03602559508009600>
- [10] C. P. Chen, M. T. Chuang, Y. H. Hsiao, Y. K. Yang, C. H. Tsai, "Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis", *Expert Systems with Applications*, Vol.36, pp.10752-10759, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.017>
- [11] Y. Chen, J. Zhu, "Warpage analysis and optimization of thin-walled injection molding parts based on numerical simulation and orthogonal experiment.", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp.033027-033033, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/688/3/033027>
- [12] B. Wang, A. Cai, "Influence of mold design and injection parameters on warpage deformation of thin-walled plastic parts", *POLIMERY*, Vol.66, No.5, pp.283-292, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.14314/polimery.2021.5.1>
- [13] B. Ozcelik, I. Sonat, "Warpage and structural analysis of thin shell plastic in the plastic injection molding", *Materials & Design*, Vol.30, pp.367-375, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.053>

전 오 환(Oh-Hwan Jeon)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 산업기술공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 1986년 10월 ~ 2016년 2월 : 서연이화 연구소장/개발실장

- 2019년 1월 ~ 2020년 12월 : 한국자동차공학회 부회장
- 2022년 7월 ~ 현재 : 시그마(주) 사장

<관심분야>

자동차공학, 자동차 내장재

전 상 권(Sang-Kwon Jeon)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한국교통대학교 기계설계과 (공학사)
- 2009년 6월 ~ 현재 : 시그마(주) 기술연구소 이사

〈관심분야〉

자동차공학, 자동차 내장재

최 낙 훈(Nak-Hun Choi)

[준회원]



- 2021년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2023년 2월 : 공주대학교 미래융합공학과 (공학석사)

〈관심분야〉

스마트 팩토리, 머신러닝, 불량 예측

김 옥 환(Ok-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1984년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1985년 5월 ~ 1988년 2월 : 린나 이코리아(주) 선임연구원
- 1988년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

〈관심분야〉

응력해석, 기계설계

한 수 현(Su-Hyeon Han)

[준회원]



- 2023년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과 석사과정

〈관심분야〉

구조해석, 머신러닝