

휨방지를 위한 CAE와 역보정을 이용한 Door Module PNL설계에 관한 연구

김두태¹ · 한성렬[†]
공주대학교 금형공학과^{1,†}

A Study on the Design of Door Module PNL Using CAE and Inverse Compensation for Warpage

Doo-Tae Kim¹ · Seong-Ryeol Han[†]

Department of Mold & Die Engineering, Kongju National University
(Received June 01, 2018 / Revised July 24, 2018 / Accepted August 01, 2018)

Abstract: Korea's automobile industry, which has grown rapidly to become the world's fifth-largest automobile producer, To cope with environmental pollution and energy problems in order to prevail competitive edge in global market We are investing a lot of research personnel and costs. Among them, for realizing alternative light weight It is a part of the automobile module system that has achieved the technological development before the breakthrough in the injection molding process in the press process. Door module PNL was the subject of research. The door module PNL is expected to cause warpage before the mold production due to the thin and flat product characteristics and fiber orientation characteristic of the material. In this paper, CAE analysis and reverse correction tool Design.

CAE analysis to obtain the results of weld line position, bending position and deformation value Through the correction tool, think3, the original product was modified before the mold production to improve the completeness of the parts. In fiber orientation, the position and size of the cooling channel in the mold, the position and size of the gate, Temperature, pressure, time, and work environment. Compared with the result of CAE analysis, the product that was reverse-corrected by Think3 was manufactured, and injection molding was performed. Injection molding products were tested 24 hours later. 3.5 mm to 7.0 mm, and under the fixed condition, the deviation was from 1.1 mm to 1.5 mm. Unlike the CAE analysis, the deviation of the actual injection pressure and the cooling temperature, the fiber orientation of the material, In order to solve this problem, it is necessary to compare the injection conditions with the database, I knew I had to catch the standard.

Key Words: bending, CAE, Cooling, Gate, Injection, Material, Pressure, Think3, Weld line

1. 서 론

한국의 자동차 산업은 개발 능력 및 생산 능력이 실적과 양적인 면에서 세계 선진 자동차공업국의 수준에 거의 육박하여 자동차 생산량으로는 세계 5 위권 중의 하나로 급성장하였다. 그러나 국내 자동차 산업은 글로벌 시장에서 경쟁력 우위를 선점하기 위해 선진 자동차 제작사들과 치열한 경쟁을 하

고 있다¹⁾.

또한 소비자의 요구 수준을 만족시키기 위하여 자동차의 부가 기능 고급화, 첨단화, 고품질화하고 있으며 가격경쟁력을 확보하기 위한 개발기간 단축, 플랫폼의 공용화를 통한 원가절감을 적극적으로 전개하며 미래의 환경오염과 에너지 자원 고갈, 안정성에 대한 현실적 대안인 경량화를 위해 기존의 철강 재료를 사용한 프레스 공정을 알루미늄 등의 경금속과 재료 중 제 2위의 위치를 다투고 있는 플라스틱을 사용하는 연구가 활발히 이루어지고 있으며 최근에는 상당한 성과도 이루어내고 있다¹⁻³⁾.

¹ 공주대학교 금형공학과
[†] 교신저자: 공주대학교 금형공학과
E-mail: srhan@kongju.ac.kr

플라스틱 재료는 넓은 설계 자유도와 각 수지재료의 고유 특성 조합으로 경량, 고안정성, 고강도, 내 파괴성의 제품을 제작할 수 있어 모든 분야에 즉시 적용이 가능하여 많은 완성체 업체와 부품사에서 외장재는 탄소 섬유 강화 플라스틱, 내장재는 유리섬유 강화 플라스틱 또는 엔지니어링 플라스틱으로 연구 및 개발을 하고 있다³⁾.

플라스틱 제품은 사출성형에 의해 성형재료에서 제품으로 제조되는 경우가 많고 제품을 성형하기 위해서는 금형이라는 틀이 있어야 한다. 사출성형은 충전, 보압, 냉각, 취출 공정으로 이루어져 있으며 규격화 된 제품을 대량 생산하는 장점이 있으나 이 과정 중에 압력, 온도 편차 및 체적에 의한 불균일한 수축에 의해 휨이 발생한다⁴⁾.

최근 자동차 개발 프로세스를 보면 동시공학적인 관점에서 부품 간 모듈화를 통한 제품을 생산성 극대화과 품질고급화, 개발기간 단축을 위해 CAE라는 사출 성형 해석 도구와 역보정 도구를 통하여 휨의 원인과 개선안을 도출하고 있다.

이러한 추세에 부응하기 위해 본 연구에서는 자동차 도어 모듈 시스템 중 Door Module PNL이라는 부품의 디자인과 플라스틱 재료에 대한 인자를 조사하고 올바른 냉각 채널과 게이트의 적절한 위치 및 게이트 시스템, 게이트 디자인을 선정 후 CAE를 하기 위한 인자인 금형 및 수지온도, 충전 및 보압을 설정하여 제품의 충전패턴, 웰드 라인, 에어포켓 위치, 미성형, 사출압력 및 형체력, 섬유배향, 사출 사이클 시간, 최종적으로 휨에 대한 정보를 얻어 설계에서 금형 개발까지의 실패를 줄여 개발기간을 단축시키고 데이터를 공유하고자 한다.

이 중 본 연구는 CAE와 역보정 도구를 통하여 나온 휨에 대한 정보로 역보정 작업을 하고 금형 개발 후 Try Out시 제품 휨에 대한 측정결과를 비교분석을 통하여 CAE가 동시공학적인 관점에서 어떤 영향을 주는지 파악하려고 한다.

2. 실험대상 및 장비, 측정 방법

2.1. 실험대상

본 실험에 사용되는 제품은 Fig. 1과 같은 자동차 Plastic Sealed Door Module 중 캐리어인 PNL제품으로 각종 도어 구성품을 장착하여 동작시켜야 하므로 제품의 휨 발생에 대하여 엄격한 규제를 적용하

고 있다.

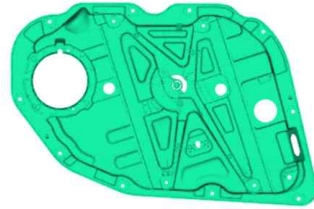


Fig. 1 Door module PNL

2.2. 실험장비

본 실험에 사용된 CAE해석 조건은 Table 1에 나타내었으며, 제품 성형재료는 GS 칼텍스사의 PP+GF20, 그레이드는 HG52DM을 설정하고 수축률은 4/1000를 적용하였으며, CAE해석을 위해 Mesh작업 시 냉각채널도 적용하여 금형조건을 최대한 동일하도록 적용하였다.

사출성형을 하기 위하여 Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 것과 같이 해석에서 결정 된 게이트 위치와 크기, 냉각 채널을 적용하여 금형설계를 진행하였다.

사출성형기는 Fig. 4에 나타난 것과 같이 동신유압 PD2000모델로 Try Out을 진행하는데 최우선 사출조건은 게이트 동시Open으로 진행하였다.

Table 1 CAE input list

No	Setting items	Standard Boundary Condition
1	resin	Hi-Prene HLG72(PP+LGF20%)
2	Resin temperature(℃)	235(Range : 200~270)
3	Mold temperature(℃)	80
4	Injection time(sec)	4.5
5	V/P time(sec)	2.0/30MPa, 5.0/50MPa
6	Cooling time(sec)	100
7	Gate System	Hot Runner HOTSRS EP 0834CRG OPEN Gare : Ø4.5

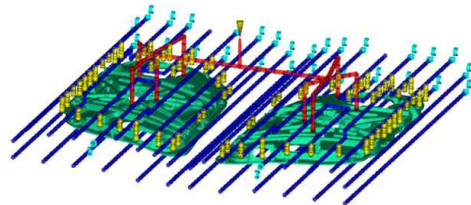


Fig. 2 Finite element mesh and entire model showing the gate, cooling channels

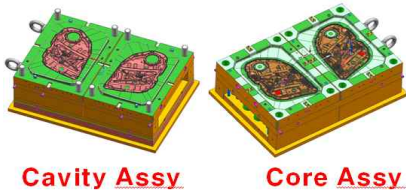


Fig. 3 Injection mold design

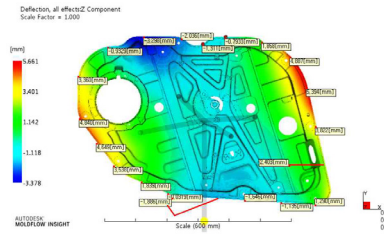


Fig. 6 Showing the warpage results



Fig. 4 DS PD2000 injection machine

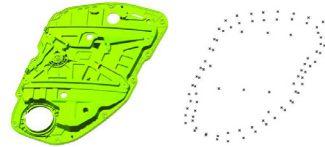


Fig. 7 Showing the compensation point

2.3. 실험방법

Fig. 5에 나타난 것과 같이 제품 기능적 특성으로 GLASS(유리창) 작동레일부 웰드라인 불허 및 휨 최소화로 게이트는 동시Open으로 고정하여 CAE해석을 진행함을 설정하고 결과에 의해 게이트를 이동하면서 최적의 위치를 설정 하는 것을 기본으로 하였다⁵⁾.

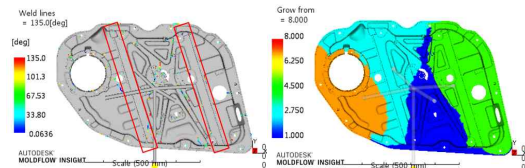


Fig. 5 Red box weld line not allowed

Fig. 6에 나타난 것과 같이 CAE해석과 실제 금형의 사출성형 조건(금형온도 상,하측 80℃, 충전 4.5s, 1차 보압 2s, 2차 보압 5s, 냉각 100s)을 맞추기 위해 냉각채널을 적용하고 Weld Line을 회피하여 최소한의 휨 결과를 추출하여 결과값의 60~70%만 원본 모델링에 적용하였다⁶⁾.

Fig. 7에 나타난 것과 같이 역보정 조건은 X,Y방향은 고정하고 Z방향만 적용해야 한다. 그러나 해석을 진행한 도구인 MPI라는 프로그램은 X,Y,Z방향으로 동시보정밖에 안되어 휨 위치에 대한 Data를 Excel문서로 추출하여 think3라는 3D 도구의 Global Shaping 기능을 이용하여 Z방향으로 역보정을 진행하였다.

Table 2에 나타난 것과 같이 Eexel 문서로 추출한 휨 위치를 think3로 적용하기 위해서는 Ascii 파일로 저장이 필요하며 역보정 작업시 Original Ascii와 Compensation Ascii를 불러들여 작업을 진행하였다.

Table 2 Working with excel

Section	"Z" Warpage Value(mm)	Section	"Z" Warpage Value(mm)
A1	3.538	A6	4.887
A1-A2	1.839	A6-A7	1.858
A2	-0.0319	A7	-0.7933
A2-A3	-1.886	A7-A8	-1.311
A3	-1.646	A8	-2.036
A3-A4	-1.135	A8-A9	-3.298
A4	1.290	A9	-0.9329
A4-A5	2.403	A9-A10	3.360
A5	3.882	A10	4.840
A5-A6	5.394	A10-A1	4.649

Fig. 8에 나타난 것과 같이 원본 모델링에 역보정 작업을 적용하고 검증 후 Parting Line과 Under Cut을 확인하고 금형 제작을 진행하였다.

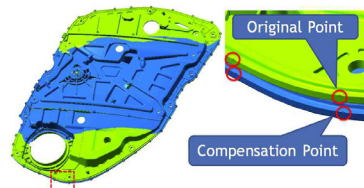


Fig. 8 Modeling data with inverse compensation

Fig. 9에 나타난 것과 같이 Try Out시 사출성형기에 제작된 금형을 체결하고 1시간정도 예열 한 다음 CAE해석 자료를 참조하여 사출 조건을 설정하고 사출성형을 진행하였다. 다만 현장 환경변수(온도, 작업자 숙련도, 기계정밀도)가 주는 영향은 CAE에서는 해석이 불가하여 해석상 도출이 안 되던 미성형이 발생되어 Try를 진행하면서 조건을 변경하여 Sequence(순차) 사출성형을 진행하여 해석보다 힘이 추가됨이 예상된다.

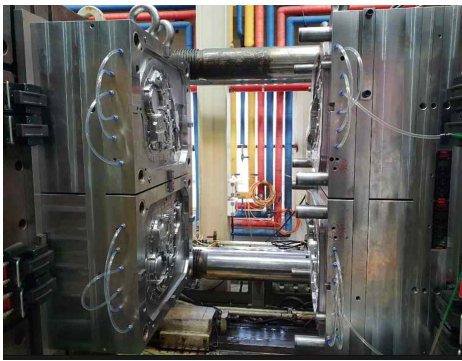


Fig. 9 Injection mold try out

Fig. 10과 Fig. 11에 나타난 것과 같이 현장에서 실제로 행한 사출성형 조건을 보면 충전시간은 6.24s로 해석보다 1.74s가 추가되었고 보압은 10bar로 2s만 진행하여 해석상 1차,2차 보압 시간 보다 적고 냉각시간도 해석보다 70s가 적은 30s로 설정하여 제품 성형을 완료시켰으며 해석상 형체력도 보압절환시점에서 1010Ton이 발생되고 보압 진행시 Max3100Ton까지 올라가지만 이 부분은 보압조건에 따라 다르게 되며, 실제 Try Out를 진행한 2000Ton 사출성형기에서 밀리는 경향은 보이지 않았다.



Fig. 10 Injection machine try out conditions

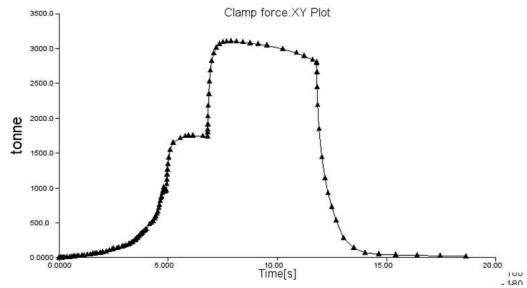


Fig. 11 CAE Clamp force

3. 실험결과 및 분석

3.1. 검사구 측정

Try Out후 제품은 금형에서 취출이 되었어도 내부 잔류응력이 남아있어 그 상태로 바로 검사구에 측정시 측정값을 검증하기 어려워 실온도 20℃를 유지하는 측정실에서 24시간동안 보관 후 검사구로 측정하였다.

Fig. 12와 Fig. 13에 나타난 것과 같이 검사구로 측정시 제품도에 명기된 윤곽도와 위치도, 진직도, 레일 곡률이 기준이 되며 측정은 동일 제품을 3번 측정을 하여 그 중 한번이라도 공차를 벗어나면 품질규정에 불합격으로 판정되어 금형수정을 진행하여야 하며, Try Out하여 제품을 재 검사구로 측정하여 합격이 되도록 하였다.



Fig. 12 Inspection jig



Fig. 13 SPL Warpage measurement

검사구로 Warpage 측정시 Free와 Fix조건을 만족하여야 하는데 Free는 검사구에 제품을 고정하지 않은 상태로 디지털 인디케이터로 측정 검사하는 방식이며 Fix는 제품을 검사구에 스크류로 고정해서 디지털 인디케이터로 측정 검사하는 방식이다.

Free의 공차는 $\pm 2.5\text{mm}$, Fix의 공차는 $\pm 1.0\text{mm}$ 의 70%내로 측정되어야 합격관정을 받는데 검사성적서를 작성하여 비교를 해보았다.

Fig. 14, 15, 16과 Table 3, 4에 나타낸 것과 같이 검사성적서를 보면 제품도와 비교를 하였을 때 Warpage부는 해석대비 Free일 때는 A2~A4구간과 A6~A9구간이 3.5mm~7.0mm까지 편차가 발생되었고 Fix일 때는 A1~A2구간, A9~A1구간이 1.1mm~1.5mm까지 편차가 발생되었다.

그리고 Table 5의 레일 곡률을 5Point로 나누어 측정하였을 때 상단부와 상중단부가 0.5mm~1.3mm까지 편차가 발생하는 것을 알 수 있다.

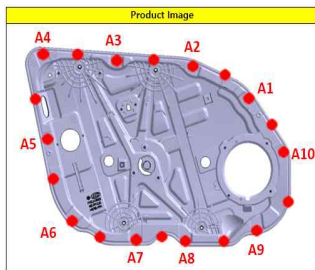


Fig. 14 Measurement point

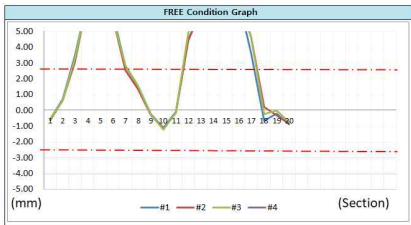


Fig. 15 Free warpage

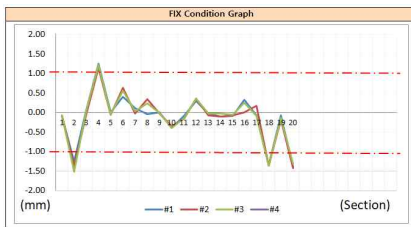


Fig. 16 Fix warpage

Table 3 Free Warpage inspection criterion sheet

	All Free($0\pm 2.5\text{mm}$)				All Free($0\pm 2.5\text{mm}$)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
A1	-0.56	-0.62	-0.58	A6	4.52	4.42	4.89
A1-A2	0.70	0.62	0.62	A6-A7	6.04	6.25	6.33
A2	3.51	3.08	3.32	A7	6.04	6.25	6.33
A2-A3	7.00	7.00	7.00	A7-A8	5.44	5.83	6.24
A3	6.70	6.70	6.70	A8	5.38	5.88	6.28
A3-A4	6.04	5.77	5.78	A8-A9	7.00	7.00	7.00
A4	2.78	2.51	2.80	A9	3.60	4.64	4.61
A4-A5	1.54	1.34	1.55	A9-A10	-0.68	0.20	-0.26
A5	-0.27	-0.32	-0.29	A10	-0.21	-0.32	-0.02
A5-A6	-1.13	-1.16	-1.23	A10-A1	-0.92	-0.86	-0.74

Table 4 Fix warpage inspection criterion sheet

	All Fixed($0\pm 1\text{mm}$)				All Fixed($0\pm 1\text{mm}$)		
	#1	#2	#3		#1	#2	#3
A1	-0.10	-0.09	-0.08	A6	-0.10	-0.18	-0.16
A1-A2	-1.26	-1.39	-1.52	A6-A7	0.29	0.34	0.35
A2	0.05	-0.05	0.04	A7	-0.04	-0.08	-0.03
A2-A3	1.24	1.13	1.21	A7-A8	-0.11	-0.11	-0.04
A3	-0.01	-0.07	-0.05	A8	-0.10	-0.09	-0.07
A3-A4	0.39	0.63	0.55	A8-A9	0.31	0.00	0.24
A4	0.10	-0.03	0.03	A9	-0.09	0.17	-0.10
A4-A5	-0.05	0.33	0.23	A9-A10	-1.36	-1.38	-1.37
A5	0.00	-0.03	-0.02	A10	-0.09	-0.19	-0.14
A5-A6	-0.41	-0.36	-0.40	A10-A1	-1.40	-1.43	-1.33

Table 5 Rail inspection criterion sheet

	Straightness($0\pm 1\text{mm}$)					
	A			B		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
a	0.68	0.66	0.64	0.63	0.67	0.69
a-b	0.18	0.17	0.22	0.69	0.46	0.63
b	0.07	0.09	0.14	0.98	0.80	0.82
b-c	0.00	0.00	0.01	0.82	0.57	0.69
c	-0.28	-0.11	-0.05	0.71	0.63	0.61
	Curvature($+1.5/-0.5\text{mm}$)					
	A			B		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
a	-1.26	-1.24	-1.27	-0.56	-0.52	-0.63
a-b	-0.58	-0.36	-0.52	0.23	0.17	0.09
b	-0.11	0.15	-0.16	0.24	0.29	0.29
b-c	0.67	0.25	0.12	0.19	0.33	0.37
c	-0.44	-0.27	-0.35	-0.22	-0.04	-0.04

Fig. 17, 18에 나타낸 것과 같이 제품도에 명기된 윤곽도, 위치도, 진직도 등 도면 Spec를 측정하였을 때 불합격이 발생되어 급형 수정을 통하여 합격하도록 하여야 한다.

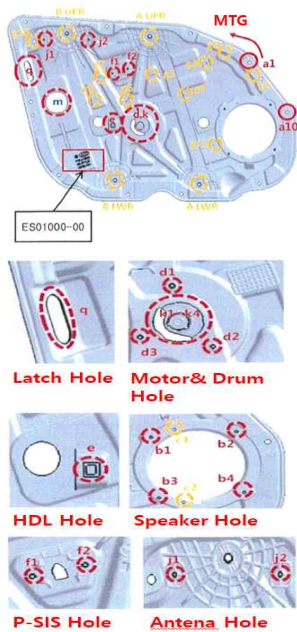


Fig. 17 Inspection criterion "A"

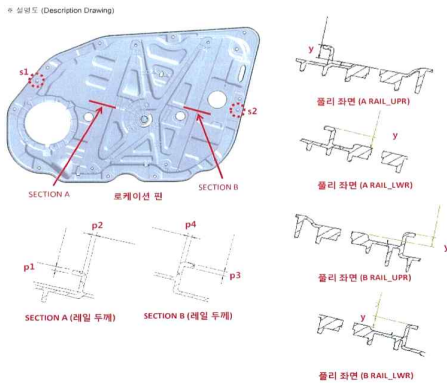


Fig. 18 Inspection criterion "B"

3.2. 분석

Try Out 후 제품을 본 연구에서 실험 주제로 선정된 Warpage를 검사구로 측정된 결과 Free인 경우 A2~A4, A6~A9 Fix인 경우 A1~A2, A9~A1구간을 제외한 구간은 CAE해석 후 도출된 휨량의 Z방향으로 think3라는 도구로 원본 모델링을 역보정한 데이터와 반대방향으로 휨이 발생되는 것을 알 수 있다.

다만 Free와 Fix의 휨 발생 구간이 틀린 것은

사출 압력과 냉각 온도의 편차 및 체적에 의한 불균일에 의한 수축으로 인한 문제, 플라스틱 재료의 섬유배향 때문에 검사구에 고정 유,무로 휨량과 위치가 다르게 되는 것으로 판단된다. 이 문제 해결을 위해서는 CAE해석 조건과 실제 사출성형 조건을 비교하고 데이터를 취합하여 금형 수정 방안에 기준을 잡아 접근하여야 하며, 설계자의 경험치로 진행한다면 많은 시행착오를 경험하게 될 것이다.

그 기준은 Free 조건에 대한 휨 수정을 기준을 삼아 Fix 휨 수정으로 접근해야 최소의 비용과 시간으로 휨에 대한 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 Door Module PNL이란 제품의 기능적 특성상 사출금형 내 압력, 냉각 온도의 편차, 체적에 의한 수축 불균일, 수지의 섬유배향을 고찰하고 설계자의 경험치에 의존하지 않으며 CAE해석을 통한 제품의 충전패턴, 웰드 라인, 에어포켓 위치, 미성형, 사출압력 및 형체력, 섬유배향, 사출 사이클 시간, 최종적으로는 휨에 대한 정보를 확인하여 제품 자체에 역보정을 적용하여 금형 제작, Try Out을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 제품 기능적으로 GLASS(유리창)를 작동시키는 레일부는 웰드 라인 불허구간으로 게이트의 위치선정이 중요하다.
- 2) 제품과 플라스틱 섬유 배향의 특성상 휨 발생을 최소화하기 위해서는 게이트를 동시Open 해야 한다.
- 3) CAE해석 결과를 통한 휨 위치와 휨량을 데이터 베이스 화하여 원본 제품을 역보정을 진행하여 금형 제작을 한다.
- 4) CAE해석과 사출성형에서는 사출 압력이나 온도 편차, 체적에 의한 수축 불균일로 휨 위치가 다를 수 있으므로 실 Try Out 진행시 사출조건에 대한 기준을 잡고 진행한다.
- 5) SPL은 Try Out 후 24시간이 경과 후 검사구 측정을 진행하며 금형 수정기준은 Free, Fix 조건의 제품 공차대비 60~70%으로 Free 조건을 개선하며 맞춘 후 Fix 조건을 맞추어야 한다.

후기

본 연구는 우리엠텍에서 고객사인 광진상공의 금형제작을 의뢰받아 MPI라는 CAE해석 도구로 휨량에 대한 정보를 추출하여 think3라는 3D 설계도구로 원본 모델링을 역보정 작업 후 금형 제작 및 사출성형을 통해 검증한 결과로 작성하였습니다.

참고문헌

- 1) Daeki Automotive, "Module Development of Automotive Door", KEIT-2951, 1999. 12.
- 2) Sam Jin. Hwang, "Design of Refrigerator Cover Slide Pantry for Minimized Deflection by Injection Molding Tool", 2008. 8.
- 3) Soon Hwan. Hwang, "A Study on the Prediction and Improvement of Warpage in Injection Molding Process of Plastic Automobile Part", 2017. 8.
- 4) Hyeong Jun. Moon, "A Study of the Mold Design Optimization for Reducing Warpage Phenomenon in Injection Molding Process", 2009. 2.
- 5) Jong Seong. Park, "A Study on Optimizing Gate Position and Number Condition of Injection Product Using Computer Aided Engineering", 2004. 2.
- 6) Key Kwang. Choi, Seok Moo. Hong, Seong Ryeol Han, "Effect of Flow Pattern of Coolant for Injection Mold on the Deformation of Injection Molding", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.14 No.4, pp. 92~99, ISSN 2288-0771(Online), 2015. 8.