

자동차용 Back-Mirror용 Frame의 플라스틱화에 대한 CAE 해석 연구

A Study on the Injection Molding CAE Analysis for
the Car Back Mirror Frame Replacement by Plastic

허 영 무*
Y. M. Heo



허 영 무
• 1957년 11월 11일생
• 사출금형설계
• 생산기술연구원, 금형기술실

1. 서 론

현대사회에 있어서 자동차란 교통수단은 필수적인 수단으로서 그 사용이 날로 증가추세에 있는 과학문명의 이기이다. 이러한 자동차는 수천개의 부품이 서로 조립되어 움직이는 기계공업의 꽃이라고도 불리우며 기계공업의 발달척도를 가늠하는 하나의 척도로써 이용되고 있다.

그러나 자동차는 그 사용연료덕분에 지구의 대기를 오염시키는 하나의 원인으로 지적되어 왔고 이러한 것들이 지구의 환경을 지키자는 운동등으로 인해 그 사용을 규제하는 추세로 세계 각국들이 이러한 취지아래 자동차 사양을 엄격히 적용하기 시작하게 됨에 따라 이제 성능이 좋을 뿐만아니라 대기오염도 덜시키는 그러한 자동차로의 개발이 필요하고 필수적인 사항이 되었다. 이러한 대기오염을 줄이는 방법은 여러가지가 있을 수 있으며 사용 연료를 대체하는 것에서부터 자동차의 무게를 줄여서 연비를 향상시켜 에너지

효율을 증가시키고 가벼운 자동차를 만듦으로써 그만큼 대기오염물질 생성도 줄일려는 시도가 그중의 하나이다.

이러한 시도들은 현재 수행중에 있으며 그 대표적인 것이 금속재료의 플라스틱으로의 대체화이며, 플라스틱으로의 대체를 통하여 무게를 감소시켜나가는 추세에 있으며 이러한 추세에 따라 1996년도에는 약 18% 정도가 대체될 것이며 2040년에는 그 사용이 50-75% 정도로 절정을 이룰 전망이다. 현재 자동차의 플라스틱화 대체에 있어서 많이 사용되는 플라스틱의 종류는 PP, PA, POM, PBT, PC, PPE 등이 그 주종을 이루고 있으며 PPS 및 복합재의 사용이 그 성질의 우수성으로 사용이 증가되는 실정이다.

본 연구에서는 상기와 같은 취지로 현재 자동차의 좌, 우측 Back Mirror의 부품중의 하나인 Frame을 현재 Zinc Diecasting 제품을 플라스틱으로 대체하는데 따른 여러가지 문제점을 플라스틱 사출성형 CAE 해석을 이용하여 검증한뒤 그 결과를 토대로 실제 제품개발 및 금형개발 등에 응용하기 위하여 연구를 행하는데 그 목적이 있다.

2. 본 론

2.1 자동차용 Back Mirror Frame의 형상

먼저 Back Mirror용 Frame의 형상을 살펴볼 것 같으면 그림 1과 같다.

본 Frame 은 Back Mirror용 Mirror Housing과 Mirror를 제 위치에 고정시키기 위한 Base Plate 사이에 들어가는 부품으로써 어느 정도의 강도를 가지고 있어야 하며 또한 그 구조 및 기능상 Mirror가 하중을 받았을 경우 어느 하중이 초과되면 회전하여 Mirror가 파손되는 것 또한 방지할 수 있는 구조를 가지고 있어야 한다. 이제까지는 이러한 기능 및 성질을 갖춘제품으로써 Zinc를 이용한 Diecasting 제품을 사용하여 왔다. 이때 사용한 재료는 ZEC 2종으로 인장강도는 약 284 N/sq mm 정도이다.

그림 1의 (1) 부위가 Base Plate와 연결된 Shaft와 연결되는 부위이며 (2) 부위가 Back Mirror용 Holder가 연결되는 부위이다. 가운데의 hole (3)은 Mirror의 좌, 우, 상, 하 운동을 위한 작동 기구 및 전동을 이용한 작동연결기구가 설치되도록 하는 것이다. Base Plate의 Shaft와 연결된 부위는 60Kg·cm의 토크 하중을 가하면 회전하도록 제품이 설계되어 있다.

2.2 대체수지의 선정

현재 사용되고 있는 제품의 기능 및 성질을 고려하여 대체용 수지를 선정하였으며 수지 선정시 강도를 고려하여 Glass Fiber가 30% 보강된 재료를 선택하였다. 대체수지로 선택한 수지의 성질은 다음과 같다.

수지타입 : PA66(Nylon66)

제조회사 : BASF AG.(독일)

수지모델 : Ultramid A3WG6(유리섬유 30% 함유)

인장강도 : 100N/mm²

열전도계수 : W/m/°C 0.160

비열 : J/kg/°C 2889.000

밀도 : kg/m³ 1147.000

고화 온도 : °C 250.000

비유동 온도 : °C 260.000

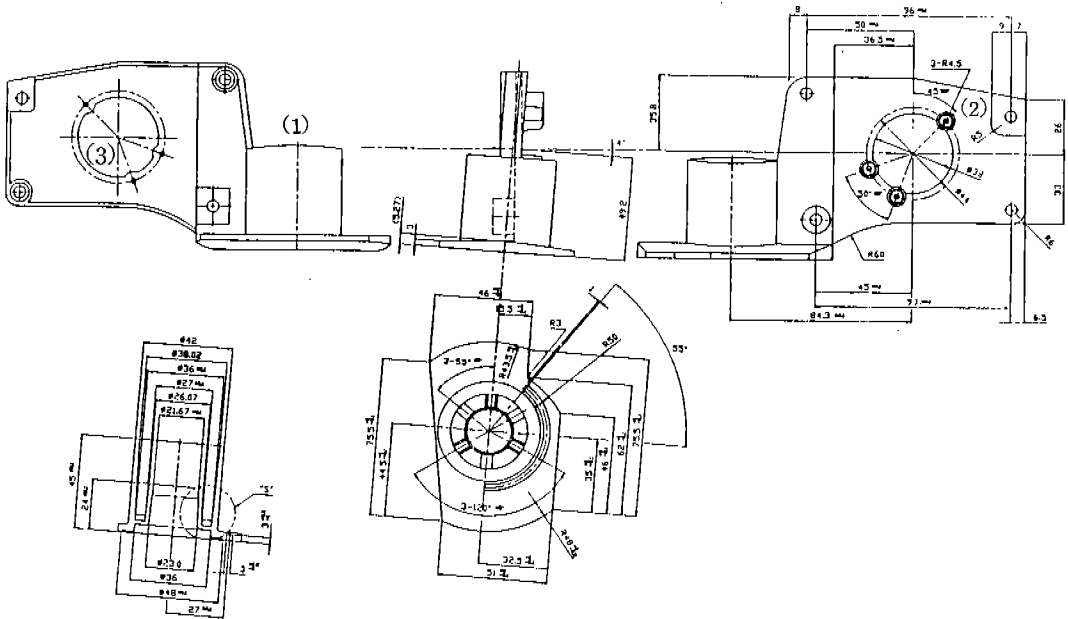


그림 1 자동차용 Back mirror용 Frame 형상도면

Viscosity 데이터

온도 °C	전단률 1/s	점도 Pa.s
270.000	1000.000	156.800003
290.000	100.000	253.800003
290.000	1000.000	120.099998
290.000	10000.000	38.299999
310.000	100.000	180.000000
310.000	1000.000	92.599998

또한 BASF사의 Ultramid A3WG6의 Stress-Strain Curve와 온도에 따른 Stress 및 Secant Modulus는 그림 2, 3, 4와 같으며 수지의 점도-전단률 관계, 점도-전단율력 관계 및 응력-전단률 관계는 그림 5, 6, 7과 같다.

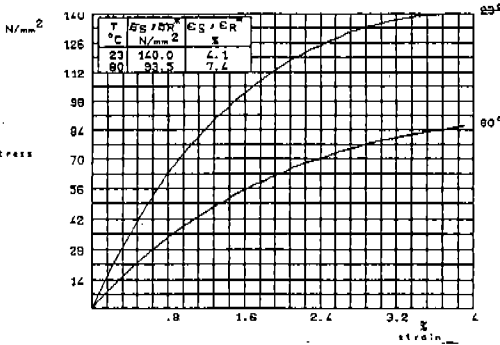


그림 2 Ultramid A3WG6의 응력-변형을 곡선

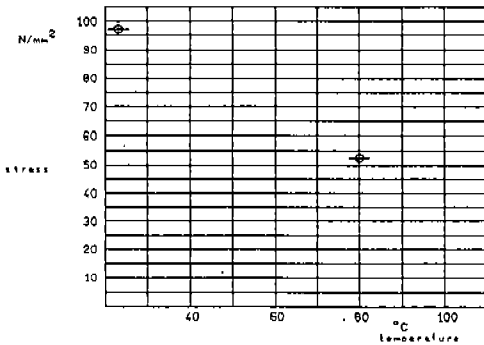


그림 3 Ultramid A3WG6의 온도에 따른 허용 응력 변화

이때 CAE 해석을 위하여 사용된 Viscosity function은 KLEIN 함수로 그 식은

$$\ln \eta = A1 + A2 * \ln \gamma + A3 * T + A4 * \ln \gamma * * 2 + A5 * \ln \gamma * T + A6 * T * * 2$$

여기서 η = apparent viscosity [Pa*s]
 γ = apparent shear rate [1/s]
 T = temperature [°C]

이코 선정된 수치에 있어서의 상수값들은 다음과 같다.

$$A1 = 0.137557E+02 \quad A2 = -0.386780E+00$$

$$A3 = -0.294144E-01 \quad A4 = -0.383212E-01$$

$$A5 = -0.174338E-02 \quad A6 = -0.683647E-05$$

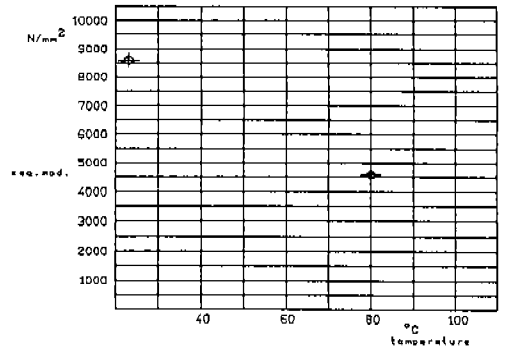


그림 4 Ultramid A3WG6의 온도에 따른 Secant modulus 변화

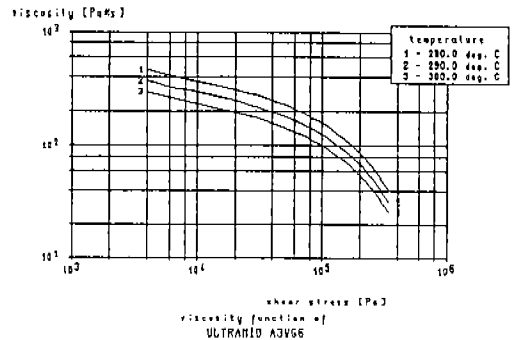


그림 5 Ultramid A3WG6의 점도(Viscosity)와 전단율력 관계

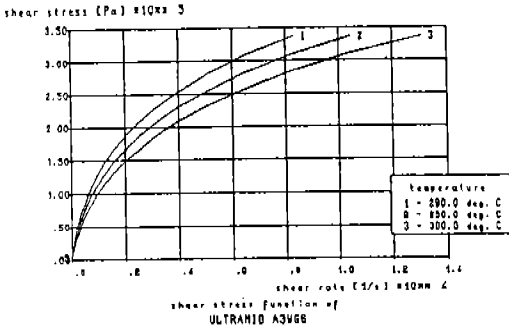


그림 6 Ultramid A3WG6의 전단응력과 전단률 (Shear rate)과의 관계

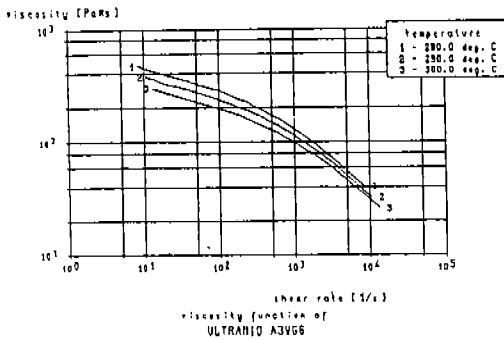


그림 7 Ultramid A3WG6의 점도와 전단률 (Shear rate)과의 관계

2.3 선정된 수지를 이용한 CAE 해석을 위한 Modelling

해석하고자 하는 제품의 해석을 위하여 원하는 제품형상으로의 Computer Modelling이 필요하고 이러한 Modelling은 전용 사출성형해석 프로그램 개발회사인 Austrilia의 MOLDFLOW Pty, Ltd.의 MOLDFLOW Software의 Graphic Pre-Post Processor인 MFVIEW를 이용하여 3차원으로 행하였으며 Modelling이 완성된 상태를 그림 8에서 보여 주고 있다. 각 표면은 3차원 Surface Modelling 기법을 이용하여 구축하였다.

Model 구축시 전 부분을 다 구축하지 않고 유동에 영향이 없는 부위는 배제하여 Modelling 하였다.

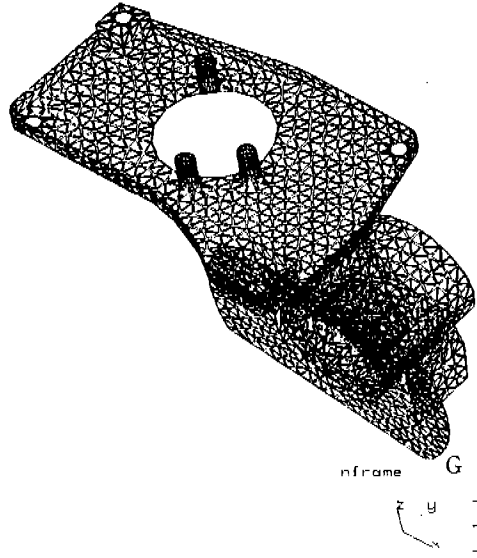


그림 8 사출성형해석을 위한 자동차용 Back mirror용 Frame 형상 모델 및 Mesh 형상

3. 사출성형 CAE 해석

3.1 Filling 및 Packing Analysis

3.1.1 Gate 선정

Gate 위치의 선정은 해석하고자 하는 Model의 기능을 고려하여야 함은 물론 외관상의 문제점 및 사출성형시 성형이 원만히 이루어지고 충전후 보압단계에서 보압을 충분히 작용시킬 수 있어 냉각 후의 수축을 방지할 수 있는 곳으로 선택 하는 것이 바람직하다.

또한 제품의 형상이 2단 금형으로 제작하는데 아무런 문제점이 없고 제품성격 및 기능상 밖에서 보이는 부분이 아니라 내부에 장착되는 부위이므로 외관에 대해서는 특별한 고려가 필요없으나 기능적으로 Mirror Holder와 Shaft, Base Plate간의 연결부위로서 강도를 가지고 있어야 하므로 유동이 잘 일어날 수 있는 위치를 선정하는 것이 필요하여 그림 8의 Modelling에서 'G' 위치로 설정하였다.

금번 연구에서는 본 Mirror Frame 제품의 플라스틱 대체화를 위한 CAE 해석 연구이므로 금

형의 Sprue로부터의 Runner를 포함하여서는 해석에 있어서 고려하지 않고 본 제품 형상부위만 고려하였다. 후에 Runner 및 Gate의 영향은 실제 금형으로의 적용시 다시 고려하기로 한다.

3.1.2 성형조건 설정

먼저 제품상 발생할수 있는 유동경로를 고려하여야 하며 특히 가장 긴 유동경로를 선정하고 이러한 유동경로의 각 부분들은 두께가 다른 부위 및 그 형상에 따라 원통, 부채꼴 및 사각형의 단순형상으로 대체하여 각각의 유로에서 일어날 수 있는 온도상승 및 압력을 사출시간의 변화에 따라 검토하여 사출성형시간을 결정하였다.

이때 금형온도는 PA66 수지의 일반적인 금형 온도를 적용 80°C로 하였으며 용융수지의 온도는 반복된 2차원 유동해석을 통하여 유동에 적절한 290°C로 설정하였다. 사출성형시간은 앞서의 2차원 해석을 통하여 압력이 적게 소용되고 충전시에 온도변화가 적은 사출시간인 15sec로 설정하였다. 따라서 단위시간당 유동율은 42.77cu cm을 사용하였다.

또한 제품의 성형 특성을 고려하여 실제 사출기에서 Injection Speed Profile을 행할 수 있도록 유동시간에 대하여 유동량을 4단으로 조절하여 해석하였다.

3.1.3 MFL Module을 이용한 사출성형 충전해석(Filling Analysis)

금형의 재질은 일반 금형용 재료인 공구강으로 설정하였으며 그 성질은 다음과 같다.

- Mold Conductivity : 41.90W/m/degC
- Mold Density : 7750.00kg/cu.cm
- Mold Heat Capacity : 460.5500J/kg/degC

성형조건에 원활한 선정을 위하여 초기에는 빠른결과를 얻을 수 있는 Fast Algorithm 기법을 사용하였으며 성형조건이 양호한 경우를 선택하여 Multi-Laminate Algorithm을 이용하여 해석하였다. 해석시 플라스틱 제품은 두께방향으로 10층의 박판으로 고려하였으며 금형 벽면은 15개의 박판구조물로 고려하였다. 금형 온도는 초기의 충전해석 및 보압해석시에는 일정하다고 가정하

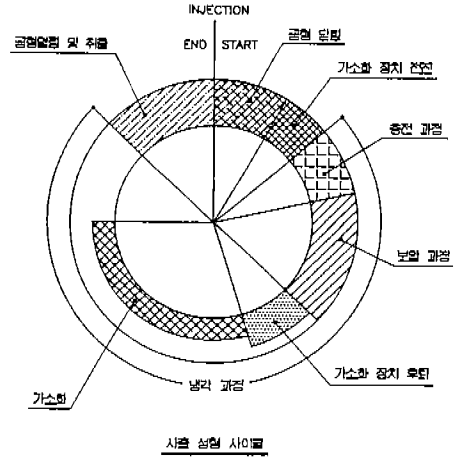


그림 9 플라스틱 사출성형 Cycle

였다.

3.1.4 보압 해석(Packing Analysis)

충전이 완료된 후 수지는 온도가 강하되고 이에 따라 전체 제품 체적 또한 감소하게 되므로 보압 과정이 필요하게 되며 이러한 보압과정을 통하여 제품의 수축 및 형상이 결정되게 된다. 본 해석에서는 보압으로 18MPa을 6.5초 동안 작용시켜 해석하였다.

3.2 냉각 해석(Cooling Analysis)

사출성형에 있어서 생산 CYCLE TIME 중 냉각시간이 차지하는 비중이 대부분을 차지할 정도로 금형 냉각은 중요한 문제의 하나이다. 그림 10에서 보여주는 것과 같이 사출성형중 냉각 과정은 사출 충전과정이 시작하면서부터 시작되고 볼 수 있으며 이 냉각 과정은 금형이 열리고 제품이 취출될때까지 계속된다.

본 연구에 사용된 제품의 냉각을 위하여 고안된 냉각회로를 그림 12에서 보여주고 있다. 제품 형상으로 보아 슬라이드 Core가 필요하며 이 Core에 별도의 냉각회로를 설치하였다.

냉각이 일어나는 플라스틱 성형품은 두께방향으로 10개의 얇은 층으로 되어 있다고 생각하고 냉각해석을 행하였다. 이때 제공한 냉각해석 시간은 다음과 같다.

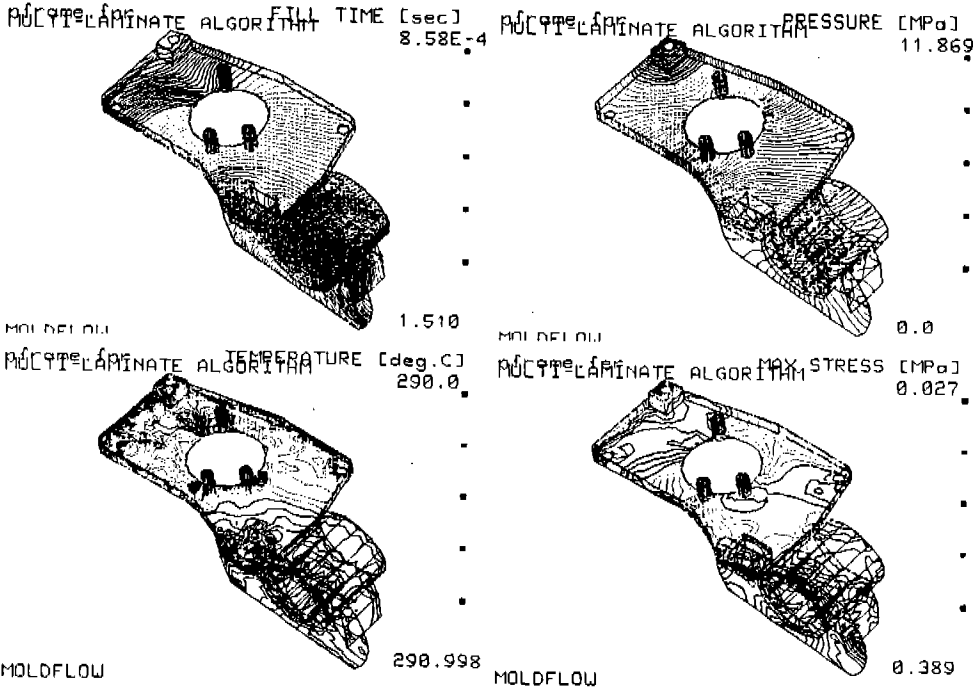


그림 10 1차 충전해석 결과 이, (A) 충전시간에 따른 충전거동, (B) 충전에 필요한 압력분포 (C) 충전유동거동에 있어서의 온도분포, (D) 충전에 의한 최대 전단응력분포

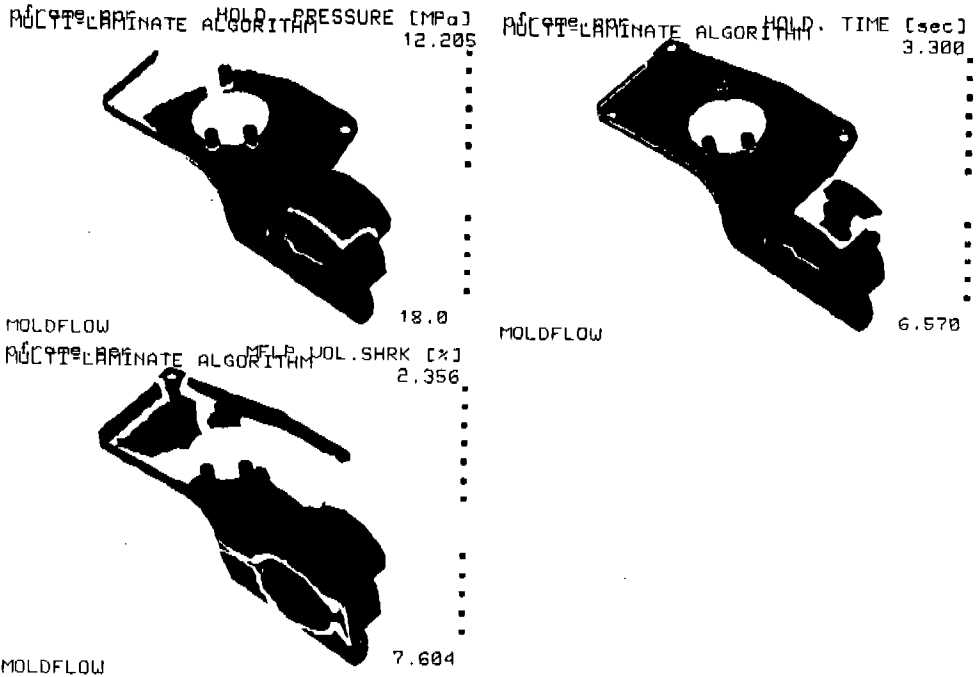


그림 11 1차 보압해석 결과, (A) 보압압력분포, (B) 보압 필요시간 분포, (C) 체적수축분포

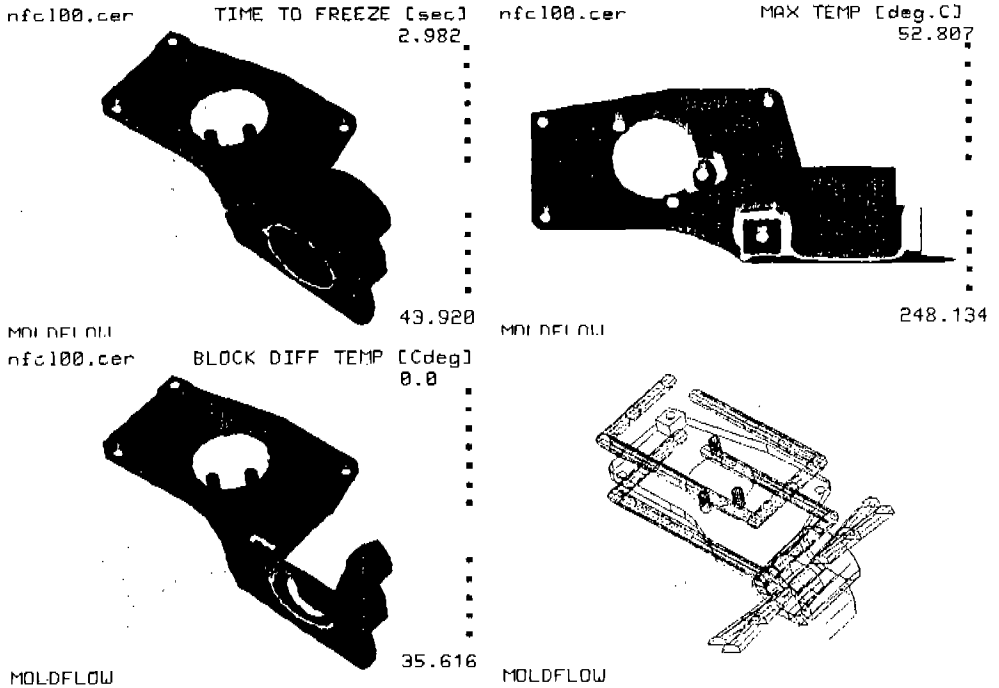


그림 12 1차 냉각해석 결과 I, (A) 냉각소요시간 분포, (B) 냉각시간경과시의 살 두께 방향 최대온도, (C) 금형 상하 슬라이드간 온도 편차, (D) 냉각회로도

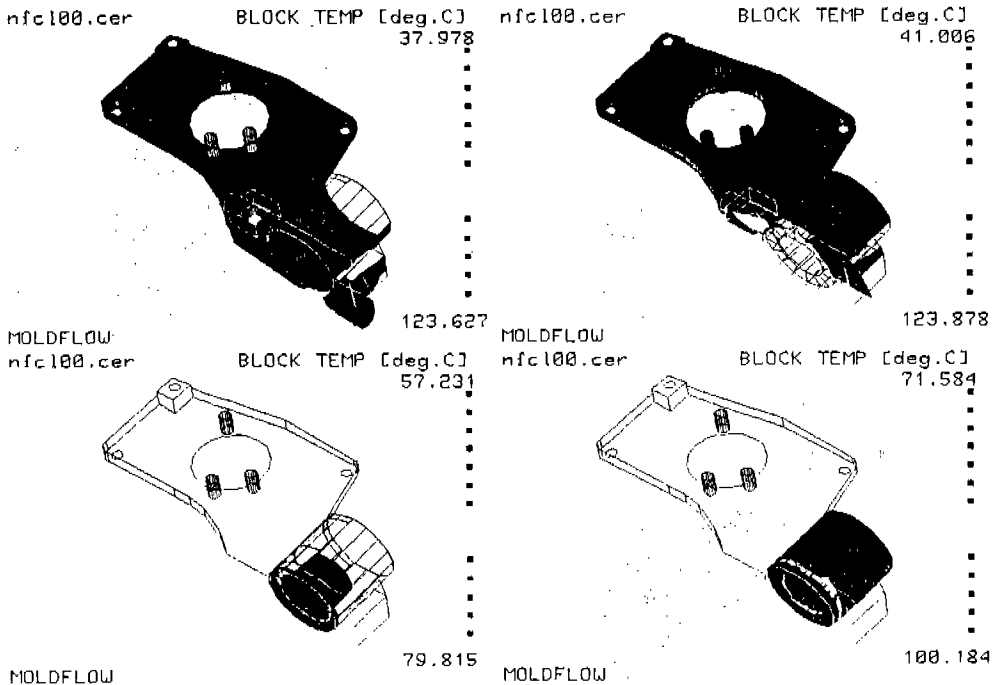


그림 13 1차 냉각해석 결과 II, (A) 고정측 금형 벽면온도 분포, (B) 가동측 금형온도 분포, (C) 1차 슬라이드 온도 분포, (D) 2차 슬라이드 온도 분포

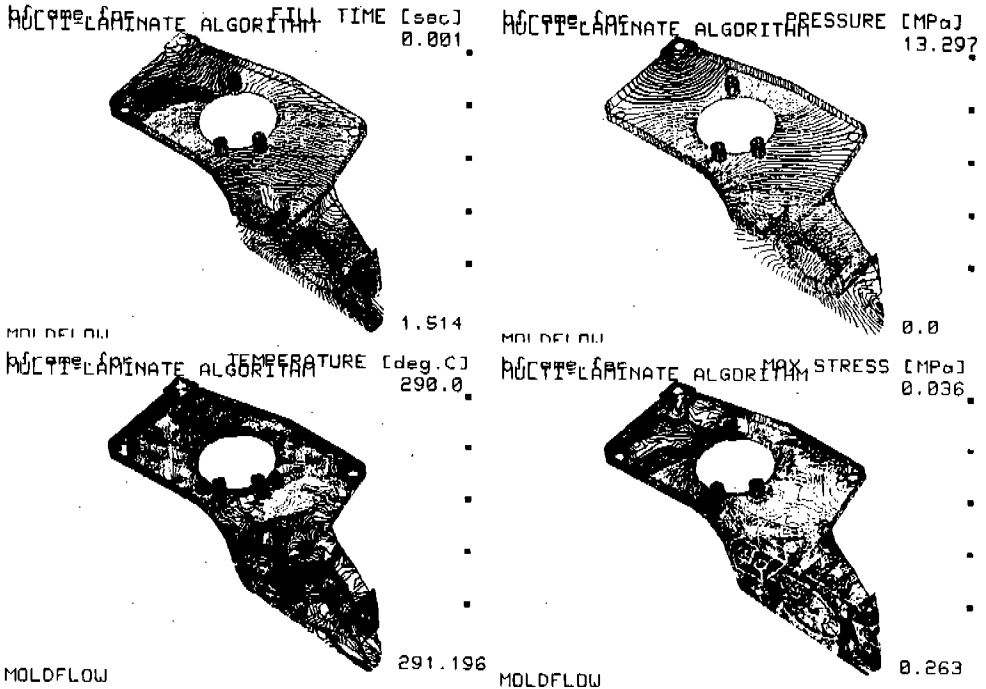


그림 14 수정 모델 충전해석 결과 1, (A) 충전시간에 따른 충전거동, (B) 충전에 필요한 압력분포, (C) 충전유동거동에 있어서의 온도분포, (D) 충전에 의한 최대 전단응력 분포

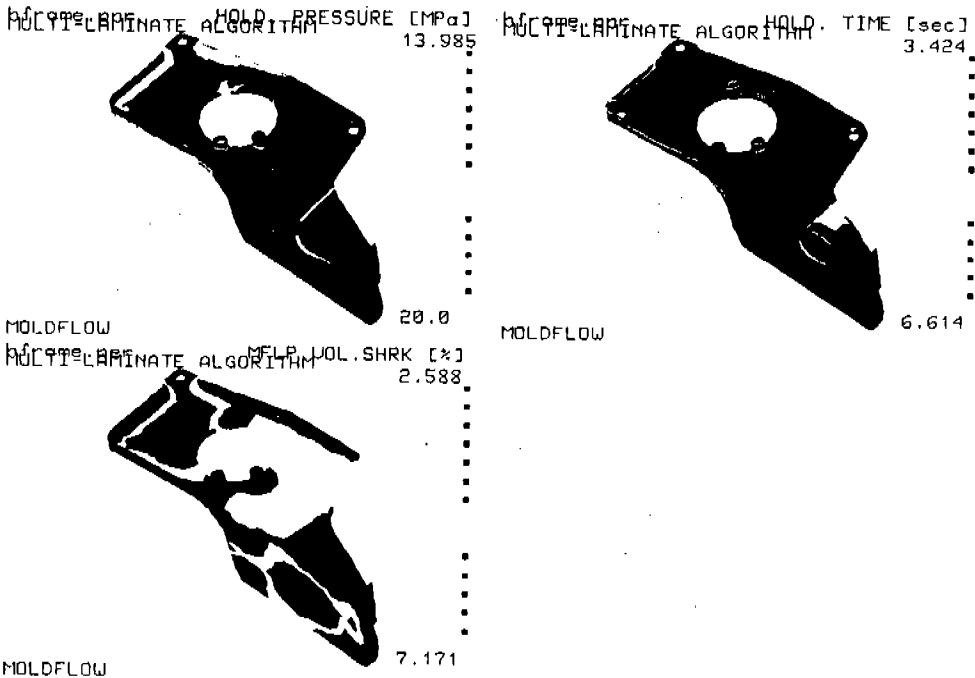


그림 15 1차 보압해석 결과, (A) 보압압력분포, (B) 보압 필요시간 분포, (C) 체적수축분포

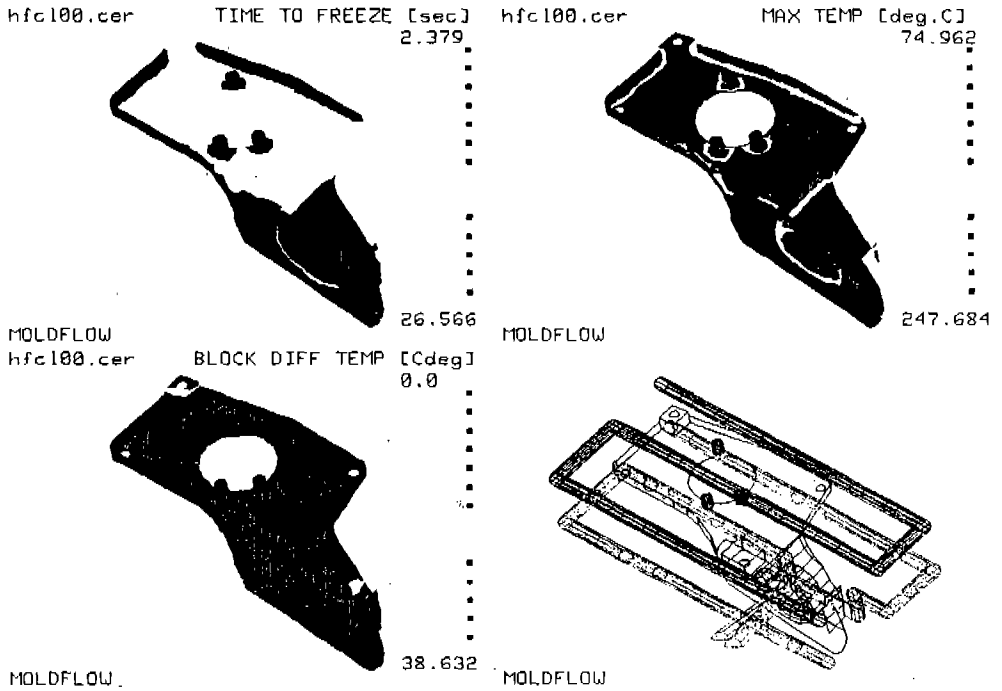


그림 16 수정 모델 냉각해석 결과 I, (A) 냉각소요시간분포, (B) 냉각시간경과시의 살 두께 방향 최대 온도, (C) 금형 상하 슬라이드간 온도 편차, (D) 냉각회로도

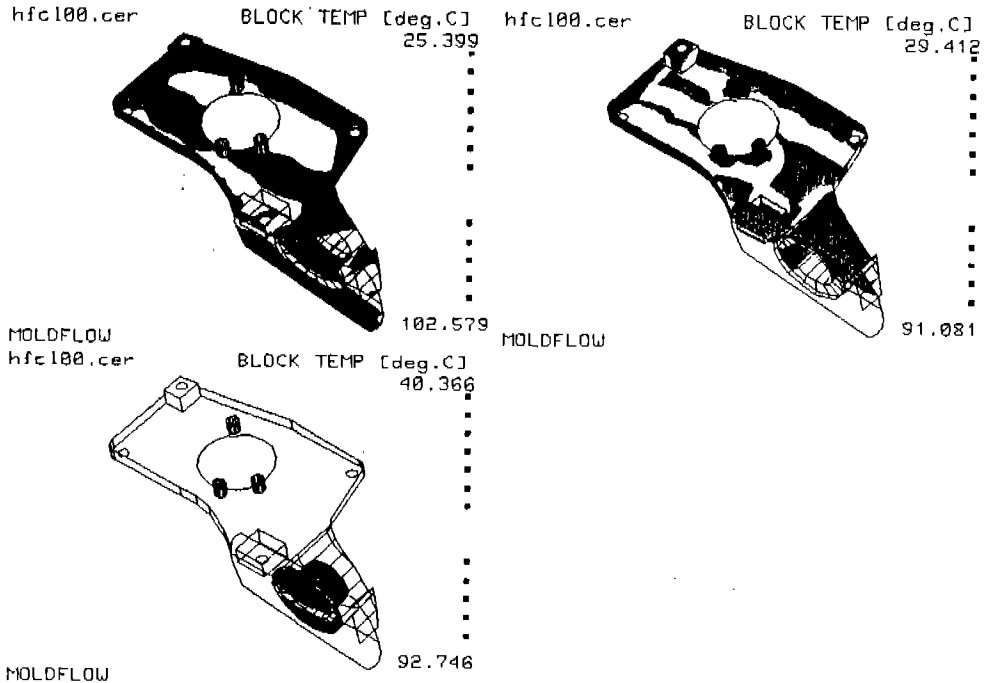


그림 17 수정모델 냉각해석 결과 II, (A) 고정측 금형 벽면온도 분포, (B) 가동측 금형온도 분포, (C) 슬라이드 온도 분포

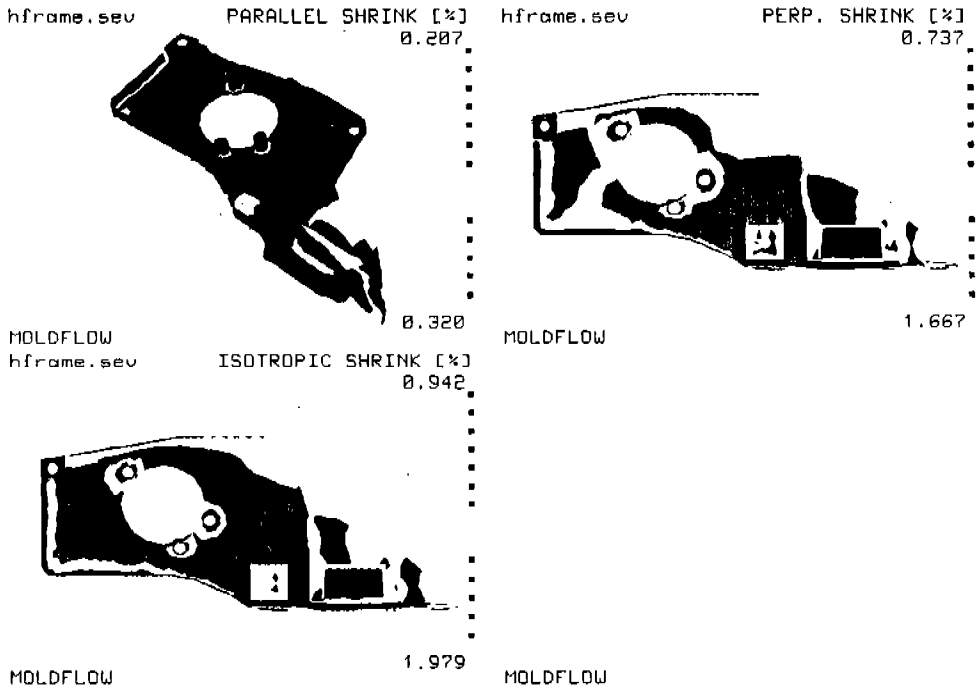


그림 18 수정 모델의 수축해석 결과, (A) 유동방향과 평행인 방향에 대한 수축, (B) 유동방향에 직각방향에서 수축, (C) 전체수축분포

보압시간 : 6.5초
 냉각시간 : 44초(보압시간 포함)
 금형개폐시간 : 2초

4. 1차 해석결과

유동해석에 의한 결과는 그림 10~그림 11에서 냉각해석 결과는 그림 12~그림 13에서 보여주고 있다.

해석결과 제품을 성형하기 위한 Cycle Time이 47.5초 정도가 소요되고 있어 생산성이 떨어지고 슬라이드가 1, 2차로 되어 있어 구조 또한 복잡하므로 이러한 것을 향상시키기 위하여는 제품의 형상 및 금형 구조, 냉각회로의 변경 등이 필요함을 알 수 있다.

5. 제품 형상 및 냉각회로 수정

5.1 제품 형상 수정

4절의 1차 해석 결과에서 보듯이 냉각에 소요되는 시간이 상당히 요구되고 있어서 사출 성형으로의 생산성에 문제가 되고 있으며 또한 경량화를 위하여 제품의 형상을 그림 15와 같이 변경하였으며 제품의 형상변경에 따라 금형구조에 있어서도 슬라이드를 1개 줄여 금형구조를 변경하였다.

5.2 냉각회로의 수정

앞서의 1차 냉각해석 결과를 보아서 알 수 있듯이 냉각에 소요되는 시간 37초나 되고 이를 Base 부위에서 대부분 차지하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 좀더 냉각 효율을 높이고 생산성을 향상시키기 위하여 제품형상을 변경한데 따라 냉각 회로를 그림 16의 (D)와 같이 변경하였다.

5.3 수정 모델의 해석

앞서의 1차 해석결과와 비교하여 사출성형조건을 갖게 설정하여 해석하였으며 보압해석시

보압을 20MPa로 하여 해석하였다.

14~그림 15에서 냉각해석 결과는 그림 16~그림 17에서 보여주고 있다.

6. 수정 모델의 해석 결과

따라서 1차 모델과 수정 모델간을 비교하여 보면 아래 표와 같다.

수정 모델에 대한 유동해석에 의한 결과는 그림

항 목	수정전모델	수 정 모 델	비 고
사출시간	15초	15초	
성형온도	290	290	
금형온도	80	80	
보압(MPa) 및 시간	18MPa, 6.5초	20MPa, 6.5초	
최대 전단응력	0.389MPa	0.263MPa	0.126MPa 감소
냉각시간	43.9초	26.6초	17.3초 감소
성형품 중량	83.7	66	17.7g 감소
성형 Cycle time	47.5초	30.2초	17.3초 감소
수정모델이 생산성 39% 향상, 및 중량 21% 감소)			

7. 결 론

이상과 같이 자동차용 Back Mirror용 Frame의 플라스틱화를 위한 사출성형 CAE 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제품의 강도상의 문제점을 보완하는 구조이면 플라스틱화는 가능하다.
- 2) 본 연구에서 사용된 유리섬유 30% 함유의 PA66 보다 좀더 유리섬유가 많이 함유한 재료를 사용하고 제품의 살두께를 줄이는 것이 바람직하다.
- 3) 본 연구에서 사용된 수지를 응용할 경우 본 제품을 생산하는데 소요되는 시간은 사출 성형시간, 보압시간, 냉각시간 및 금형 개, 폐 시간을 합쳐 약 47.5초 정도 소요되고 있으나 제품의 형상 및 냉각회로를 수정하여 Cycle Time을 약 30초 정도로 단축시킬 수 있다.
- 4) 제품의 형상을 변경하여 유동특성으로 나타나는 제품의 온도분포, 압력강하, 전단응력 분포 등을 줄일 수 있었으며 이를 통하여 좀더 우수한 제품을 생산할 수 있다.
- 5) 체적을 감소시켜 제품의 중량을 21%정도 감소시킬 수 있었다.

- 6) 냉각회로를 보강하기 위하여는 Frame상의 원형부위(Shaft와 연결되는 부위로서 하중을 받을 경우 회전가능하도록 설계된 부위)의 살을 어느정도 제거하여 냉각 회로가 지나갈 수 있는 구조로 하였으며 또한 생산성을 고려하여 슬라이드 수를 단축하였다.
- 7) Frame의 플라스틱화에 이어서 Shaft의 플라스틱화도 가능하므로 이를 추진하는 것이 경량화에 도움을 줄 것임.

참 고 문 헌

1. Saechtling, International Plastics Handbook for the Technologist, Engineer and User, 2nd. ed. 1992. ISBN3-446-14924-4, Hanser Publisher.
2. Klaus Stoeckhert, Mold-Making Handbook for the Plastics Engineer, 1983, ISBN3-446-13629-0, Hanser Publisher.
3. Menges/Mohren, How to Make Injection Molds, 1986, ISBN0-02-947570-8, Hanser Publisher.
4. Gastrow Hans, Injection Molds 102 Proven De-

- signs, 1983, ISBN3-446-13663-0, Hanser Publisher.
5. Walter Michaeli, Extrusion Dies Design and Engineering Computations, pp.9-pp.72, 1984. Hanser Publisher.
6. Natti, S. Rao, Design Formulas for Plastic Engineers, 1991, ISBN3-446-15687-9, Hanser Publisher.
7. Moldflow Theory, Flow, Packing, Cooling Analysis Manual.