

복합재를 이용한 자동차 스테빌라이저 개발 관한 연구

김영수(부경대) · 김인관(부경대 냉동 공학과) · 김대식*(부경대 기계 자동차공학부)

A study of development of automobile's stabilizer using composite

Y. S. Kim(Mech. & Auto. Eng. Dept., PKNU), I. K. Kim(Ref. Eng. Dept., PKNU)
D. S. Kim(Mech. & Auto. Eng. Dept.)

ABSTRACT

This study is for stabilizer, a parts of automotive suspension system, that would be changed to Plastic Material. The part is designed and analyze by PRO-E. The position of Weld Line is founded by the C-mold, computer software with FEM. Then a Mold is designed by consideration with locating Weld Line.

Mechanical property tests, such as tensile test, compression test, ball pull-out test, fatigue test and durability test are done the part by SAE test spec. Most of all the result of the tests show over requirement result without the compression test .

Key word : Injection Molding(사출성형), stabilizer(스테빌라이저) POM(Polyoxymethylen), G/F(유리섬유) PA6(polyamide6), Weld Line(웰드라인), Suspension(현가장치), Shrinkage(수축), Orientation(분자배향)

1. 서론

한정된 자원의 고 효율적 사용을 위해서 기계장치들의 경량화 연구는 계속되고 있다. 또한 환경 문제가 세계적인 관심사로 대두되면서 자동차에 대한 환경 규제도 강화되고 있다. 이로 인해 자동차 업계는 연비개선 및 경량화에 비중을 두고 연구를 하고 있다. 또한 제작 공정상의 부담을 줄이기 위해 단순한 공정을 제품 생산 방법으로 선택하고 있다. 자동차 부문에 있어서 경량화를 위해 기존의 철제 부품들은 복합재료와 경량의 금속으로 교체되고 있다.

복합 재료의 성형 방법에는 RTM(resin transfer molding)성형, SMC(sheet molding compound)성형, 사출성형(injection molding)방식 등이 있다. 이중 사출 성형 방식은 수지가 스프루(sprue), 런너(runner), 게이트(gate)를 지나 캐비티(cavity)까지 차 들어가는 충전과정(Filling), 캐비티 까지의 충전

후 고분자 재료의 수축을 보상하기 위해 높은 압력으로 고분자 재료를 부가적으로 채워주는 보압과정(packing), 마지막으로 제품이 무리 없이 탈형(ejecting)이 될 수 있도록 고화시키는 냉각과정(cooling)으로 이루어진다¹⁾.

스테빌라이저는 주행 중에 곡선주행 쏠림 현상을 감소시키기 위하여 사용되는 제품으로서 끊임없는 압축응력이나 인장응력을 받으므로 충분한 강도가 필요하다. 그러므로 본 실험에서는 상용되고있는 수지 중 강도와 강성이 우수한 POM을 중심으로 한 최적 형상 설계 및 성형실험, 응력시험을 수행하였고, Fig. 1은 연구 과정을 보여준다.

또한 본 자동차 현가장치(automotive suspension system)중 기존의 금속제(SM45C) 부품과 사출성형품인 볼 시트(ball seat)로 구성된 스테빌라이저(stabilizer)²⁾를 플라스틱 사출성형품으로 대처하기 위한 최적 형상설계를 하는데 있다.

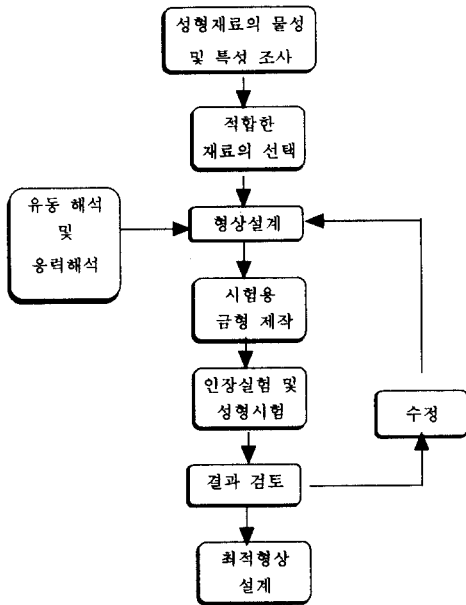


Fig. 1 A research of process for optimal part design

2. 응력해석

응력해석과 설계 및 응력 해석은 프로엔지니어 (PRO-E)로 수행하였다.



Fig. 2 Stress analysis result (tensile stress)

Fig. 2는 인장강도를 나타낸 것으로 해석상 269.83mmNs로 제품의 목부위에 나타났다. 해석상 볼 주위와 목부분에서의 응력완화와 보강을 위해 단순한 형상유지 및 살빼기가 요구됨을 볼 수 있었다.

3. 사출 성형 해석

성형해석은 사출성형품의 취약부인 웰드라인(weld line)이 어느 위치에서 생기는지 예상하고 수지의 배향과 그외의 성형에 있어서 예상되는 결함을 사전에 파악하여 시금형 제작에 참고하기 위해서이다. 웰드라인은 수지가 캐비티 내에서 만나는 부분인데 이 부분은 기계적 강도가 매우 낮아져 성형품 강도의 저하를 가져온다. 통상 웰드라인의 있는 제품은 강도가 50%이상 떨어지는 것이 실험을 통해⁹⁾ 확인되었다. 따라서 게이트의 위치제어를 통해 보안을 강구하였다. 성형 해석 조건은 Table 1과 같고, 해석 soft ware는 현재 상용화된 C-MOLD로 성형 해석을 수행하였다.

3.1 이론적 배경

2차원형상에 대한 지배방정식 Hele-shaw모델을 사용하여 유동장의 운동방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(S \frac{\partial p}{\partial y} \right) = G \frac{\partial p}{\partial t} + F$$

$$\rho C_p (T) \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(x(T) \frac{\partial T}{\partial t} \right) + \eta^2$$

여기서

x, y : 평면좌표계

z : 두께방향좌표

u_x, u_y : 각각 x, y 방향으로의 속도성분

ρ : 밀도, C_p : 비열, x : 열전도계수 η : 점도

T : 온도, γ : 전단변형률속도

급힘변형 평형방정식

Reissner-Mindlin의 평판이론을 이용하여 횡전단변형률(transverse shear strains)을 고려한다.

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x = 0$$

$$\frac{\partial M_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial M_{yy}}{\partial y} - Q_y = 0$$

3.2 사출 성형 해석결과 및 고찰

성형 해석 결과 형상의 중앙부에 게이트를 준 경우 Fig. 3과 Fig. 5는 유동선단을 나타낸다. Fig. 3

이 Fig. 5에 비하여 최종부에 도달하는 시간이 적게 걸린다. 이는 제품에 있어서 수지의 온도 균일성 및 물성 균일성을 예상할 수 있다. Fig. 4와 Fig. 6은 웰드라인을 타나내었으며 다이렉트 게이트의 경우 한쪽 목부분에만 나타났다. 일반적으로 웰드라인이 있는 경우 약 50%이상의 강도 저하가 나타나는 것으로⁸⁾ 보고되어 있다.

Table 1 Flow analysis condition

| | | |
|---------------------|-----------------|--|
| Mold condition | Mold material | KP4 |
| | Runner diameter | 8mm |
| | Gate type | direct gate and side gate |
| | Gate size | 3mm × 5mm |
| Machine condition | Resin | POM(G/F20%) |
| | Resin temp. | 250℃ |
| | Mold temp. | 80℃ |
| | Fill time | 7sec |
| Injection condition | Machine model | LGH140N |
| | Injection rate | 1.4×10^{-4} m ³ /s |
| | Max pressure | 300MPa |
| | Clamping force | 140ton |

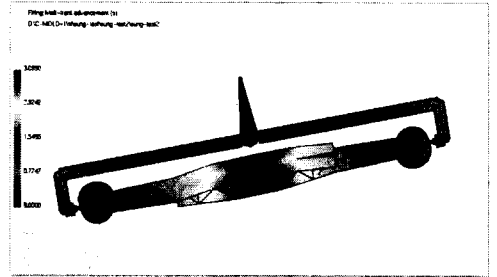


Fig. 5 Melt front advancement (two side gates)

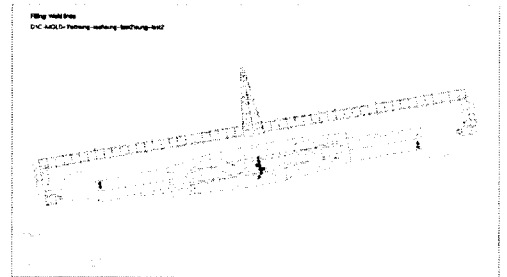


Fig 6 The weld and meld line (two side gates)

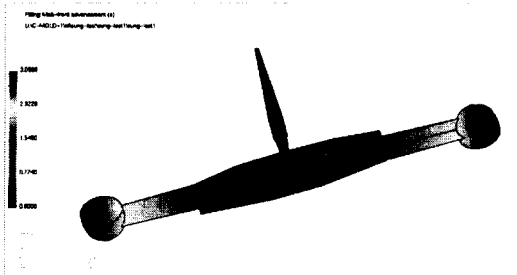


Fig. 3 Melt front advancement (The direct gate)

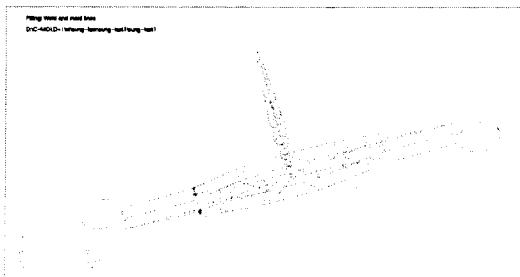


Fig. 4 The weld and meld line (direct gate)

4. 성형실험 및 응력시험

성형실험은 응력 해석과 사출 해석으로 수행된 결과를 기초로 하여 다이렉트 게이트(direct gate)가 제품 중앙에 오도록 위치시켜, 슬라이더 몰드 타입(slide mold type)의 인서트 코어(insert core type)으로 실험하였다. 사출기는 LG사의 LGH140N 형의 사출기로 최대 사출압력이 1,550kgf/cm²이다. 재료는 유리섬유(glass fiber)가 20% 함유된 엔지니어링 플라스틱인 POM을 사용하였다. Fig. 7은 성형실험 결과 얻은 제품의 형상이다.

응력 시험은 볼스터드의 빠짐 시험(pull-out test), 인장시험(tensile test), 압축시험(compress test), 피로시험(fatigue test)을 각각 10회 수행하였다.

응력시험 결과는 각각 다음 Table 2와 같다. 결과에서 피로시험은 Fig. 8과 같은 행정을 기준으로 시험하였으며, 모든 시험은 미국자동차공업협회(SAE)의 규정에 따라 시험되었다

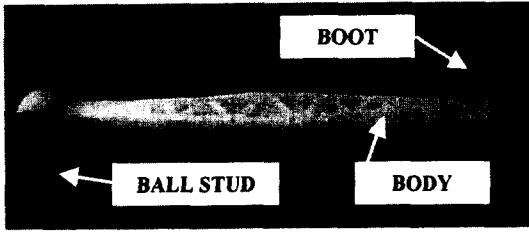


Fig. 7 The stabilizer

Table 2 results of the mechanical property tests

| test type | unit | demand value | Avg. result |
|---------------|--------|--------------|-------------|
| pull-out test | kgf | 100 | 197 |
| tensile test | kgf | 500 | 721 |
| compress test | kgf | 500 | 476 |
| fatigue test | cycle | 200000 | over 200000 |
| torque test | kgf·cm | max 90 | 20~50 |

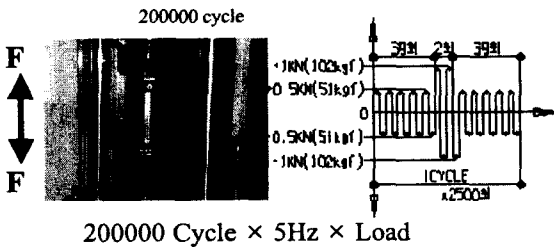


Fig. 8 Fatigue test

또한 성형품의 무게는 볼스터드(ball stud)와 부트(boot)를 포함하여 평균 40g 정도의 경량화가 되었으며 Fig.9은 기존제품과의 비교를 나타낸 것이다.

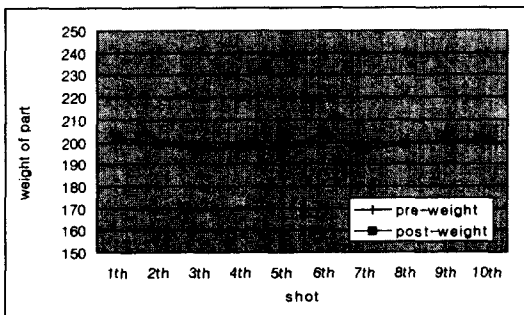


Fig. 9 weight of stabilizer

5. 결론

본 논문에서는 자동차스테빌라이저 개발에 관한 연구결과로 응력해석, 성형해석 및 각종 시험으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 두께의 사이드 게이트(Two side gates) 보다는 보다는 다이렉트 게이트(direct gate)의 성형성이 더 안정적이다.
2. 볼 빠짐 시험(Pull out test)와 인장시험, 피로 시험, 마모내구성 시험, 토크시험(torque test) 결과 안정된 값을 가질 수 있었으나 압축시험에서는 ball 바깥부분에서 크랙이 발견되었다.
3. 경량화는 16%정도 이룰 수 있었으며, 공정은 약 50% 이상 줄일 수 있다고 사료된다.
4. 부분적인 살베기와 ball 주변부가 취약하게 나타나 보강이 필요하다고 사료된다.
5. 인서트 방식의 개선 및 냉각회로 확보가 요구된다.

6. 참고 문헌

- 1) Georg Menges Paul Mohren "How to make injection molds" Hanser pp146~148, pp163
- 2) Gayaba.co, 공업주식회사 김호용 역 "Automotive Suspension" 에드텍 pp30~pp41
- 3) Sherbelis. G. and Friedl. C. , 1992, "The Importance of Low Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation", SPE ANTEC Technical papers, 49, pp. 954~957.
- 5) "C-MOLD Filling and Post-Filling Manual" , AC Technology, ITHACA, U.S.A.
- 6) "Moldflow Training Manual", Release 9.1, 1996, Moldflow Pty. Ltd.
- 7) T. J. Lardner and B. R. Archer, "Mechanics of Solids", McGRAW-HILL International Edition, 1994.
- 8) 이억섭, 한민구, 1993, "복합재료 파괴역학", 원창출판사, pp. 162~180.
- 9) 이 상관, 김병선, 1996.7, "섬유강화 복합재료와 자동차", 자동차공학회지, Vol. 18, No. 5.
- 10) Kamal. M. R., 1972, "The Injection Molding of Thermoplastic, Part I : Theoretical Models". polym. Eng. and Sci, Vol. 12 , pp. 294~301.