

자동차용 시트백 커버의 저압사출성형에 관한 연구

A Study on the Low Pressure Injection Molding of Automotive Seat-back Cover

고병두¹, 함경춘², 장동환²

Byung-Doo Ko¹, Kyoung-Chun Ham² and Dong-Hwan Jang²

¹ 인하대학교 기계공학부 대학원(Department of Mechanical Engineering, Inha Univ.)

² 인하공업전문대학 기계설계과 (Department of Machine Design System Information, Inha Technical Coll.)

✉ Corresponding author: dhjang@inhatc.ac.kr, Tel: 032-870-2156

Manuscript received: 2008.7.10 / Revised: 2008.8.28,9.22 / Accepted: 2008.9.29

In this paper, the injection molding process of automotive seat-back cover is analyzed in terms of simulation and of experiment. FE analysis was used to obtain molding conditions such as injection pressure, filling pattern, packing, shrinkage. Vacuum system for low pressure injection molding is developed in the experiment. Low pressure injection molded parts have been compared with conventional molded parts in terms of molding quality and mechanical properties. Based on the results, good product and the productivity improvement can be obtained in low pressure injection molding for automotive seat-back cover.

Key Words: Injection Molding (사출성형), Low Pressure Injection Molding (저압사출성형), Seat-back Cover (시트백커버), Vacuum System (진공시스템)

1. 서론

사출성형(injection molding)은 자동차 내·외장 용 플라스틱 부품에 가장 일반적으로 적용되는 공법으로서 충전(filling), 보압(packing), 냉각(cooling) 과정으로 이루어져 있다.¹ 그러나, 자동차용 플라스틱부품의 사출성형은 상대적으로 고압에 의해 제품에 휨(warpage), 싱크(sink), 웰드라인(weld line) 등의 성형불량을 유발할 뿐만 아니라 금형의 변형 및 파손으로 인해 생산성이 저하되고 제품의 품질이 떨어지는 경우가 발생되고 있다. 따라서 이러한 성형불량에 대한 예방 및 품질향상을 위하여 새로운 가압방법이 요구된다. 특히 박육 사출성형(thin-wall injection molding)에서는 유동특성을 개선하기 위해 일반적으로 높은 사출압력, 사출속도, 낮은 점성의 수지 사용, 강건한 구조의 금형 설계 등을 필요로 하지만 이러한 특화된 공정조건은 사

출성형기, 금형구조 등에 많은 제약이 뒤따른다.^{2,3}

일반적으로 플라스틱 수지는 용융시 소재의 거동이 점탄성체의 유동특성을 나타내기 때문에 고 점도에 의해 고온·고압하에서 많은 성형문제점을 갖고 있다. 따라서, 진공상태의 캐비티(cavity)로 저압충전이 이루어진다면 상대적으로 고압주입시 금형내부에서 발생하는 문제점을 극소화하면서 박육 성형뿐만 아니라 잔류응력, 분자배향, 전사성, 결정화도 등의 측면에서 성형 품질을 향상시킬 수 있다.

최근에 각 캐비티의 깊은 골 부분의 미충전 부분을 진공화하여 충전 불량을 해소하면서, 사이클 시간을 단축시킬 수 있는 진공시스템이 광범위하게 적용되고 있다.⁴ 저압사출성형은 캐비티를 포함하여 각종 작동 코어류 내부에도 외기(open air)를 완전히 차단시킨 다음 공기를 흡인 배출한다. 또한, 사출충전 중에 금형내부에 발생하는 가스성분

은 끝단부에 설치된 가스 배기홀(air vent)을 통하여 외부로 흡인 배출된다. 따라서 진공장치를 이용한 저압사출은 금형내부의 가스 및 에어를 급속히 배출함에 따라서 상대적으로 고압사출에 비해 미성형, 수축, 기포, 가스로 인한 웰드라인 등의 불량현상을 저감시킬 수 있다. 진공성형시스템은 현재 국내에서는 일부 소형 전기전자 부품의 생산에 적용되고 있으며, 자동차산업에서 양산부품에 적용된 사례는 없는 실정이다.

본 논문은 자동차용 운전석 후면에 장착되는 시트백 커버(seat-back cover)에 대해 일반사출성형과 진공시스템이 적용된 저압사출성형에 대한 성형품질을 비교하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 일반사출 성형에 대해 유한요소해석을 이용하여 사출성형품에 대한 충진특성을 분석하고 그 결과를 진공시스템과 금형설계에 반영하였다. 저압사출에 의해 시험 생산된 제품은 복합환경시험을 통해 일반사출 성형 제품과 비교하여 성능을 평가하였다.

2. 일반사출성형조건에 의한 모의실험

2.1 유한요소 해석조건

본 논문에서는 우선적으로 제품의 사출성형공정에서 금형내부의 압력분포, 에어트랩(air trap) 위치 등을 분석하기 위하여 일반사출에 대해 점소성 유한요소법을 이용하여 모의실험을 수행하였다.

유한요소해석을 위하여 Solid Mesh Solver 기반의 상용 프로그램인 MAPS 3D⁵을 이용하였으며 해석에 사용된 소재는 LG 화학의 내열용 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) XR-404 수지를 적용하였다. Fig. 1은 해석에 적용된 제품의 형상과 게이트의 위치를 나타낸 그림이다. Table 1은 해석과

실험에 각각 적용한 성형조건으로 해석에서는 2가지 조건에 대해 공정변수를 달리하여 수행하였다.

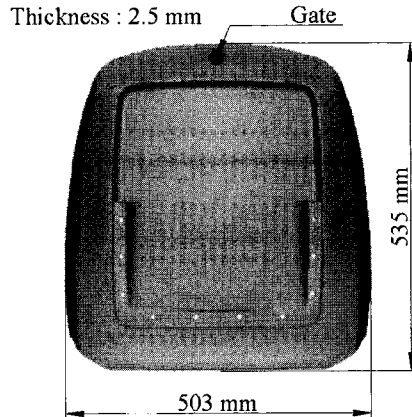


Fig. 1 The shape of seat-back cover and gate location

2.2 유한요소 해석결과

2.2.1 유동특성

사출성형과정은 고온의 수지 내부에서 상대적으로 온도가 낮은 금형면으로 열전달이 발생하고, 금형과 인접한 부분에서는 급속하게 온도가 저하되어 수지의 응고가 진행된다. 이때 일반적으로 응고된 층의 두께는 편측 0.25mm 정도로 알려져 있다.⁶ 응고층의 두께는 일반 사출성형에서는 전체 제품 두께에 비해 상대적으로 적은 부분으로 전체적인 유동에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 매우 얇은 제품의 경우 응고층의 상대적인 비율이 증가하게 되고, 결과적으로 수지 유동의 저하를 유발 함으로서 미성형(short shot)이 발생할 가능성이 높다.⁷

Table 1 Process parameters of simulation & experiment

Case	Melt temp. (°C)	Mould temp. (°C)	Injection time (sec)	Product thickness (mm)	Degree of vacuum (mmHg)	Remark
Case I	262	72	4	2.5	760	Simulation & Experiment
Case II	262	55	3	2.5	760	Simulation
Case III	262	72	4	2.5	400	Experiment

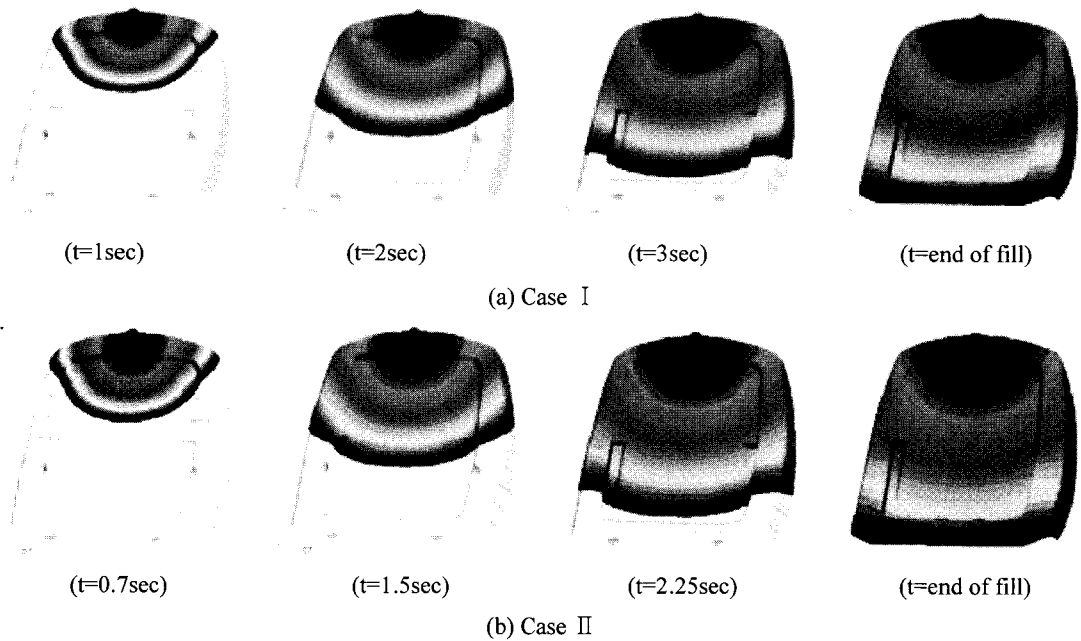


Fig. 2 Cavity filling pattern of seat-back cover according to injection time

본 해석에서 적용된 시트백 커버는 제품 두께가 2.5mm 로써 유동길이에 비해 상대적으로 두께가 얇은 제품이다. Fig. 2 는 Case I 과 Case II 의 성형조건에 대해 유한요소해석에 의한 유동특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 수지가 유동되는 형태는 두 가지 경우 모두 유사하게 나타나고 있다. 제품의 중앙에 비해 양쪽 측면부는 유동특성이 중심부에 비해 상대적으로 저하되어 볼록한 형태의 유동선단을 보이고 있다. 이와 같은 유동특성으로 인하여 캐비티의 하측 중앙이 먼저 충전되고 이후 좌우측의 충전이 이루어지고 있다. 두 가지 경우 유동선단의 전진속도는 차이가 있지만 단방향 유동(unidirectional flow)을 형성하면서 캐비티내로 수지의 충전이 원활하게 이루어지고 있으며 미충전 등의 문제점은 발견되지 않았다.

2.2.2 성형압력

일반적으로 사출성형에서는 초기 유동해석시 보압의 효과적인 전달을 위해 압력이 낮은 시점에서 적절한 사출시간의 결정이 함께 고려되어야 한다.⁸ 일반적으로 용융 수지는 항상 압력이 높은 부위에서 낮은 부위로 흐르게 되며, 따라서 충전이 진행되는 동안 수지의 주입구에서 최대압이 발생하고 유동 선단에서 최저의 압력이 발생

한다.

Fig. 3 은 Case I 과 Case II 의 성형조건에 대해 충전이 완료된 시점과 보압 후의 캐비티 내부의 압력분포를 각각 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 가지 경우 모두 동일하게 게이트 반대쪽에 위치하고 있는 캐비티 끝단에서 압력강하가 나타나고 있다. 일반적으로 유동속도는 압력구배에 비례하는데 그림에서 알 수 있듯이 충전이 완료된 시점에서 게이트 근처와 캐비티 끝단의 압력차이는 Case II 가 더 크게 나타나고 있다. 또한 Case II 에서 게이트 부근의 압력이 상대적으로 더 크게 나타나고 있다. 두 가지 경우 모두 보압전환이 이루어지면서 캐비티 끝단 부근에서 압력이 상승하고 있음을 알 수 있다. 상대적으로 게이트 부근의 압력이 낮고 금형온도가 높은 Case I 에서 캐비티 끝단까지 압력이 더 잘 전달되고 있다. 이러한 이유는 Case II 에 비해 금형온도가 높기 때문에 수지의 열손실이 방지되어 상대적으로 수지의 점도가 낮아 유동성이 원활한 것으로 판단된다. 최대보압은 Case II 에서 32.52MPa 이며 게이트와 캐비티끝단에서 약 28Mpa 정도의 압력차이가 발생하였다.

2.2.3 수축율

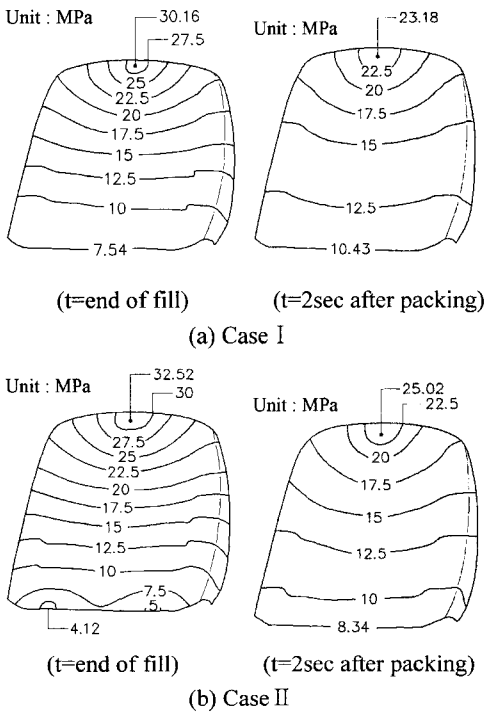


Fig. 3 The pressure distributions of post filling

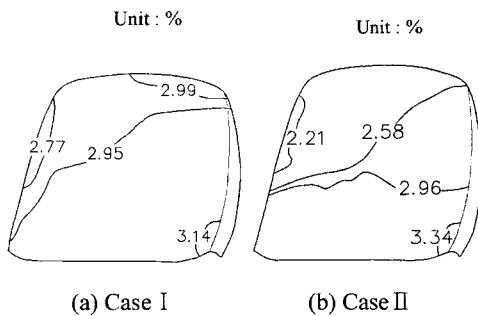


Fig. 4 Volumetric shrinkage after packing

플라스틱 수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데 사출성형이 이루어지는 동안 금형내의 온도와 압력이 변하기 때문에 성형중에 나타나는 체적의 변화는 피할 수 없는 일이다.⁹ 부피수축율(volumetric shrinkage)은 상온 밀도 대비 현재 상태 밀도 비를 나타내는 것으로 이 값이 크면 사출성형 후 부피변화가 크다.

Fig. 4는 Case I과 Case II의 보압후 부피수축율을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 두가지 경우 모두 게이트 부근의 수축율이 가장 낮고 캐비티 끝단에서 상대적으로 수축율이 크게 나타

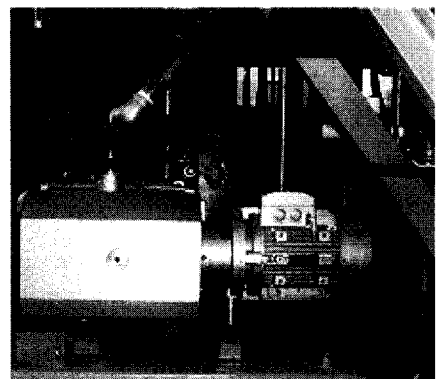
났다. 또한 Case I의 경우가 Case II에 비해 상대적으로 수축율이 더 작게 나타나고 있다. 이러한 이유는 앞에서 언급했듯이 Case I의 금형온도가 높기 때문에 금형내의 용융수지의 온도가 낮은 Case II보다 유동성이 원활하고 보압의 전달이 상대적으로 잘 되기 때문으로 판단된다. 또한 Case II가 성형공정 중 수축된 부분의 보압전달이 상대적으로 작음에 따라 수지의 압축이 작게 되어 밀도의 감소로 인해 나타난 결과라고 볼 수 있다.

3. 저압사출성형조건에 의한 실험 및 평가

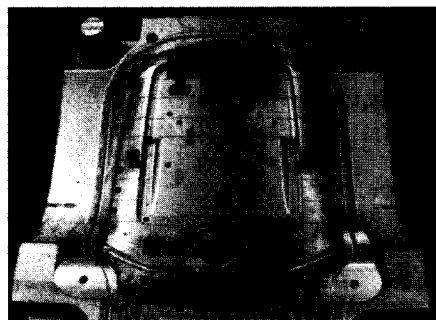
3.1 금형설계 및 제작

진공 시스템은 가스를 최대한 진공 펌프를 통해 배기시키거나 기체 밀도를 감소시키는 것이 목적이며 기체밀도가 작을수록 좋은 진공상태라 할 수 있다.

Fig. 5는 본 논문의 실험에 사용된 진공펌프장치와 사출금형을 나타내고 있다. 진공 펌프장치는 배인펌프를 사용하여 구성하고 제어가 용이한 형



(a) Vacuum controller



(b) Injection mould

Fig. 5 The photograph of low pressure injection system

Table 2 The results of material test

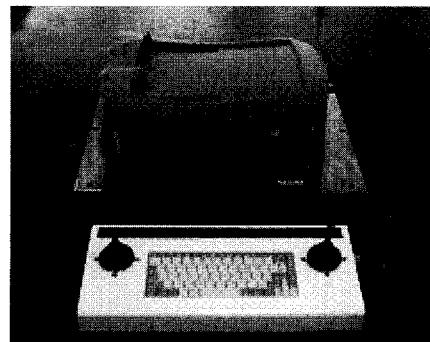
Test item	Test spec.	Unit	Result
Gravity	ASTM D792	g/cm ³	0.89
Flow index	ASTM D1238	g/10min	21
Yield strength	ASTM D638	%	220
Tensile strength	ASTM D638	kgf/cm ²	260
Bending strength	ASTM D790	kgf/cm ²	396
Impact value	ASTM D256	kg·cm/cm	10.2
Hardness	ASTM D758	R-Scale	85.8
Thermal deformation temp.	ASTM D648	℃	101

태로 시스템을 설계하여 제작하였다. 입력되는 유량을 감당할 수 있는 배기 시스템을 고려하여 흡입배관의 직경은 80mm 로 설계하였다. 또한 유입되는 공기를 차단하기 위해 금형내부의 작동 코어 및 밀핀 등 움직임이 있는 부분은 실링처리를 하였다. 실링의 소재는 불소고무링(viton ring)을 사용하여 2 단, 3 단으로 투입하고, 그 부분에 각각의 냉각 채널을 삽입하여 내구성을 향상시켰다. 유한요소해석 결과를 바탕으로 가스 배출구를 검토하여 게이트의 반대쪽에 가스 빼기홈(air vent) 위치를 설정하였으며, 원형의 핫런너(hot runner)를 채용하였다. 냉각회로는 수축방향에 따라서 냉각구멍의 5 배 간격으로 설치하였다. 금형의 재질은 SM55C 이며, 런너 또는 캐비티내에서의 압력과 온도를 측정하기 위해 온도 및 압력센서를 장착하였다. 사출성형기는 LG 사의 IDE850EN 모델로서 주요 사양은 스크류직경 85mm, 이론사출용적 2,330cm³, 사출압력 1,400Kg/cm², 형체력은 850ton 이다.

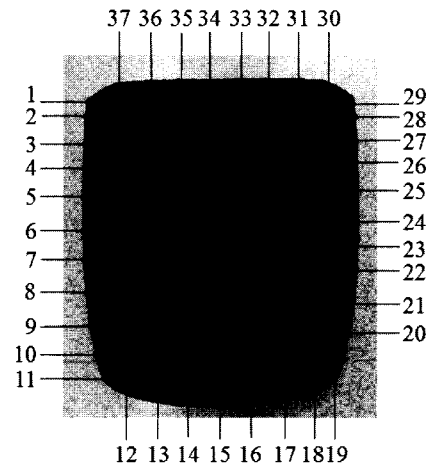
3.2 소재 시험

사출성형 제품의 품질은 외관품질, 형상의 안전성, 기계적 강도 등 여러 가지 기준에 의해 평가할 수 있다.¹⁰ 본 논문에서는 소재시험에 의한 물성평가와 복합환경시험에 의한 변형된 시제품의 형상 정밀도를 평가기준으로 선정하였다.

소재시험에 사용된 시편은 Case III의 조건으로 사출성형을 통해 제작하였다. 시험규격은 ASTM 이며 인장강도, 경도 등 총 8 가지 항목에 대해 수행하였다. 시험값은 각각의 시험항목마다 5 개의 시편에 대해 최고 값과 최저 값을 제외하고 산술 평균하였다. Table 2 는 Case III의 성형조건에서 사



(a) Coordinate measuring system and jig



(b) Reference points for measuring

Fig. 6 Measuring equipment and specimen

출된 시험 시편에 대해 소재시험을 실시한 결과를 나타내고 있으며 모든 항목에 대해 만족하였다.

3.3 복합환경시험

본 논문에서는 일반사출과 저압사출에 의한 시제품에 대해 상대적인 성형품질을 비교하기 위하여 복합환경시험을 수행하였다. 시험을 위하여 시제품을 실제 조립상태의 조건과 동일하게 장착할 수 있도록 고정구(fixture)를 제작 하였다. Fig. 6(a)는 시험전후 제품의 변형량을 비교하기 위해 고정부의 위치를 3 차원 측정기를 이용하여 측정하는 그림이다. Fig. 6(b)는 시제품의 상대적인 변형을 측정하기 위한 측정점을 나타내고 있다. 복합환경시험은 독일 CTS 사의 CTS-70/20 복합환경 챔버를 사용하였으며 국내 완성차 업체인 H 사의 플라스틱 내장부품에 대한 시험조건을 적용하였다. Table 3 은 복합환경 시험 사이클에 대한 조건을 나타내며 총 4 회 반복하여 수행하였다.

Table 3 Environmental test conditions

No	Temp. (°C)	Time(hr)
1	70	15.5
2	23	0.5
3	-30	7.5
4	23	0.5

Fig. 7 은 일반사출조건(Case I)과 저압사출조건(Case III)에 대해 복합환경시험을 수행한 후의 시제품을 각각 나타낸 것이다. 시험후 두 가지 경우 모두 외관 품질검사에서 제품의 비틀림, 균열, 잔금, 박리나 끈적거림 등은 발생하지 않았다. 따라서, 외관 품질면에서 일반사출과 저압사출제품의 차이는 크게 나타나지 않았다.

Fig. 8 은 일반사출조건(Case I)과 저압사출조건(Case III)에 대해 복합환경시험을 수행한 후 시제품에 대한 시험전/후의 상대변위를 나타낸 것이다. 측정은 실제 조립상태의 조건과 동일하게 지그에 장착하여 측정한 후 시험전 측정값과의 차이를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Case I 과 Case III 두 가지 경우 모두 수지의 유동방향에 수직인 시트백 커버의 좌우측면 측정점 5 번과 26 번 근처에서 상대적으로 큰 변위를 나타내고 있다. 또한 전체적인 변형형태도 두 가지 경우 모두 동일한 경향을 나타내고 있다. 그러나 Case III의 저압사출제품인 경우 최대 변형량이 2mm 로서 Case I인 일반사출제품과 비교하여 약 33% 정도 감소하였다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차용 시트백 커버에 대해 일반 사출조건에서의 모의실험을 수행하고 그 결과를 이용하여 진공시스템으로 저압 사출조건을 적용한 시제품을 제작하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 일반사출조건에 대한 유한요소해석 결과 성형조건이 다르더라도 전체적인 유동특성과 압력강하 특성은 유사하다.
- (2) 유한요소 해석결과 금형온도와 사출속도가 성형형태에 미치는 영향은 크게 차이가 나지 않았다. 그러나 보압의 전달은 금형온도가 사출속도에 비해 상대적으로 영향이 더 크게 나타났다.

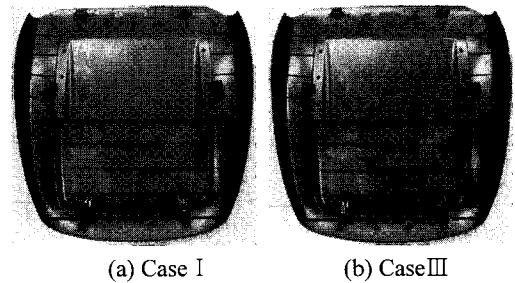


Fig. 7 The photograph of specimen after environmental test

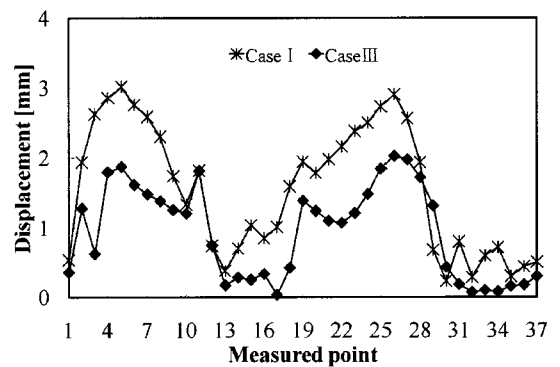


Fig. 8 Magnitude of relative displacement according to environmental test

- (3) 저압사출성형에 의한 소재시험결과 모든 항목에 대해 기준 물성치를 모두 만족하였다.
- (4) 복합환경시험 결과 일반사출조건과 저압사출조건에 의한 외관품질은 차이가 거의 없었다.
- (5) 복합환경시험 전/후에 열변형에 의한 최대 변형량 측면에서 저압사출에 의한 시제품이 일반사출조건에 비해 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

후 기

본 논문은 2006 년도 울산단지혁신클러스터의 현장맞춤형 기술개발사업에 의해 수행된 결과임을 밝히며 시제품 제작에 협조해 주신 ㈜한국몰드 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Han, K. H. and Im, Y. T., "Analysis of Filling in Injection Molding with Compressibility,"

- Transactions of the KSME A, Vol. 21, No. 5, pp. 735-745, 1997.
2. Selden, R., "Thin Wall Molding of Engineering Plastics," A Literature survey J. Injection Molding Tech., Vol. 4, pp. 159-166, 2000.
 3. Han, S. R., Park, T. W. and Jeong, Y. D., "Effects of Processing Variables on the Gas Penetrated Part of Gas-Assisted Injection Molding," J. of KSPE, Vol. 22, No. 4, pp. 144-150, 2005.
 4. Lee, E. J. and Shin, N. H., "A study on the Influence Affected on Injection Molding Product by Vacuum Degree," J. of the KAIS, Vol. 4, No. 3, pp. 183-188, 2003.
 5. VM Tech, MAPS 3D Ver 3.0 User Manual, 2005.
 6. Jim, F., "Thin Wall Molding Differences in Processing over Standard Injection Molding," SPEANTEC, Vol. 41, pp. 430-433, 1995.
 7. Park, K. and Kim, B. H., "Improvement of Flow Characteristics for Thin-Wall Injection Molding by Rapid Heating," 2005 Symposium of KSTP, pp. 9-12, 2005.
 8. Kim, H. Y., Kim, J. J. and Kim, Y. J., "The Injection Molding Analysis and the Mold Design for Automotive Plastic Fender," J. of the KSTP, Vol. 6, No. 6, pp. 491-492, 1997.
 9. Billmeyer, F. W. Jr., "Textbook of Polymer Science," John willy & sona, 1984.
 10. Choi, W. J., Sin, H. C. and Kim, S. W., "Optimization of Processing Conditions in Injection Molding using Genetic Algorithm," Transactions of the KSME A, Vol. 24, No. 10, pp. 2543-2551, 2000.