

LFT소재 특성을 고려한 Door Carrier Plate 변형 해석

유호영^{1*}, 박시환¹

¹울산과학기술대학교 디지털기계학부

Warpage analysis of a Door Carrier Plate in the injection molding Considering the characteristics of LFT

Ho-Young You^{1*} and Sihwan Park¹

¹School of Mechanical Engineering, Ulsan College

요 약 도어 모듈은 모듈화의 대표적인 예로 여러 부품들은 모듈형태로 완성하여 완성차 업체의 원가절감 및 조립 시간 단축, 품질 향상 등에 큰 기여를 이루었다. 주요 부품중의 하나인 Door carrier plate는 주로 steel을 이용한 press 성형이 주였으나 최근에는 PP-LFT(유리 장섬유 강화PP)를 사용한 사출 공법을 적용함으로써 형상자유도를 높혀 모듈에 부착되는 많은 종류의 부품들을 통합할 수 있게 되었으며 중량 절감을 이룰 수 있게 되었다. 하지만 사출 성형시 제품의 형상 및 gate위치 설정의 한계성과, LFT의 특성에 의하여 변형이 비교적 심해 일반적으로 시사출 진행 후 보상 가공을 진행하여 조립성을 개선한다. 이러한 사후 수정 공정은 금형의 품질 저하 및 생산원가 상승의 주요인이다. 부분적으로 사출 CAE를 적용하여 warpage정도를 예측하나 그 신뢰성 확보에 어려움을 겪고 있다. 따라서 LFT를 사용하는 Door carrier plate에 대한 해석 신뢰성을 확보할 수 있는 기법으로 hyper-mesh에서 1차 mesh작업 후 moldflow 자체 tool을 이용하여 mesh의 두께 구현성을 높였으며, fiber orientation해석을 위하여 ARD-RSC model을 적용하였다.

Abstract The modularization accomplished a big contribution in cost down and assembly-time shortening and the quality increase. But few improvements were made to this design largely due to the inflexibility of steel. In recent years, door modules made of PP-LFT material is manufactured using injection molding method. As a result, the plastic door modules allow more flexibility of door shape and become lighter. Warpage is generally large in the molded plastic door carrier plate due to the limitation of gate location and the fiber orientation. So after a few test injection the mold compensation processing for the improvement of an assembly characteristic. This research was performed to determine the factors that contribute to warpage for a injection-molded door carrier plate and presented differences in three mesh types of meshing method and its results. as a result we can improve process of tooling modification can reduce process of trial and error.

Key Words : Injection molding, LFT, Mesh type, Warpage

1. 서론

자동차 산업은 주요 이슈는 경량화를 통한 연비 개선 및 에너지 절감이다. 또한 모듈화를 통한 원가 개선 및 조립시간 단축 및 품질 향상이다. 최근 기능성과 안정성의 확대로 관련 controller와 sensor등의 기능이 추가되어 구조가 복잡해지고 그 수가 늘어감에 따라 완성차 업체는 이 모든 부품들을 효과적으로 조립하기 위하여 모듈

화가 급속히 진행되어 왔다. 더불어 경량화를 위하여 steel 부품의 플라스틱화가 꾸준히 진행되어 왔으면 향후에도 금속 대체가 가능한 고기능성 엔지니어링 플라스틱 재료의 발전과 적용 개발로 steel의 플라스틱 대체는 점진적으로 증가 추세에 있다. 이를 위하여 모듈에 부착되는 많은 종류의 부품들을 통합하기 위하여 복잡한 구조의 제품 생산에 직접적인 생산이 가능한 공정이 필요하다. 이로 인해 단순 구조의 제품 생산이 가능한 기존의

*Corresponding Author : Ho-Young You(Ulsan College)

Tel: +82-10-3882-7098 email: hy3128@hanmail.net

Received July 9, 2013

Revised August 6, 2013

Accepted August 7, 2013

press 공정에서 고분자 성형 공법중의 하나인 사출 성형 공법에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 또한 사출 성형 공정의 사전 검증 단계로 최근 CAE해석 기술의 발달 동시에 이루어져 왔으며 이를 이용하여 사출성형 제품의 질과 생산성을 높이는 연구 및 활동이 지속적으로 이루어져 왔다. 이러한 예는 자동차 산업 뿐 아니라 가전 산업 및 심지어 Nano-,Micro 사출 성형에까지 적용되는 일반적 현상이 되었다[1].

본 연구에서는 자동차 모듈 중 대표적인 Door Module의 Carrier plate를 대상으로 하여 사출 성형 CAE를 적용함으로써 효과적인 금형 설계 및 제작에 기여하고자 한다. Door Carrier plate는 steel 제품을 플라스틱화한 제품으로써 PP-LFT(Long fiber reinforced thermoplastic polypropylene)소재를 사용한다[5]. PP-LFT소재는 장섬유 보강 소재로써 결정화도가 높은 PP를 base 소재로 사용하고 있기 때문에 일반적으로 비교적 큰 체적 수축율로 인하여 변형 정도가 크며, 섬유보강 소재의 특성상 배향성 및 유리 섬유의 파손 정도 등이 제품의 최종 변형에 영향을 미친다. 또한 산업 현장에서는 비교적 큰 모델인 Door Carrier plate의 경우 사출 해석을 위한 modelling이 어렵고 여러 가지 해석 기법의 정확하지 못한 수행으로 해석 정확도에 대한 신뢰도가 낮은 부품중의 하나이다. 이러한 이유로 Door Carrier plate의 경우 CAE를 선 수행하여 일부 금형개발에 이용하고 있으나 해석 정확도 신뢰성 확보의 어려움으로 인하여 몇 회의 시험 사출 후 보상값을 결정하여 최종 금형 제작을 진행한다. Door Carrier plate 제품에서의 변형의 중요성은 높다. 이는 다른 부품과의 조립이 많은 부품으로 제품의 힘의 상태에 따라서 작업성에 큰 영향을 미치기 때문이다. 또한 window slide부가 조립됨으로써 이 부분의 변형 민감도는 매우 높은 편이다. 하지만 구조적 안정성도 매우 중요하므로 LFT보강 소재를 적용해야 함으로써 glass fiber의 배향에 의한 변형이 발생하게 된다. 뿐만 아니라 부분적으로 매우 두꺼운 부분이 존재하여 사출 성형품의 변형에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 산업 현장에서는 변형에 대한 예측을 통한 보상 가공을 주고 적용하고 있으나 해석 정확도는 확보되지 않아 시험 사출 후 변형을 측정하고 보상가공을 진행함으로써 금형 수정 비용 및 금형 개발 기간의 증가를 가져온다.

본 연구에서는 사출 CAE과정에서 변형에 영향을 주는 인자별로 대한 검토를 통하여 해석 정확도를 확보하고 금형 수정단계를 최소화 하고 생산력 향상에 기여하고자 한다.

2. 본론

2.1 연구 범위 및 방법

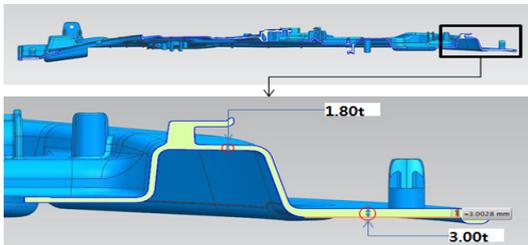
본 연구에서는 Door Carrier plate를 대상으로 금형 설계 시 최종 제품의 변형을 예측하고 보상 가공안을 마련하기 위하여 사출 CAE 해석 프로그램으로 Moldflow를 이용하여 해석을 진행하고자 한다.

2.1.1 모델링 방법

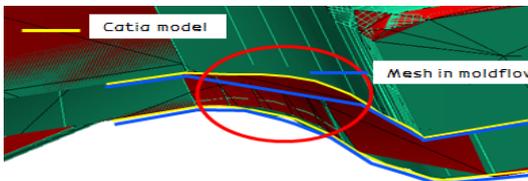
정확한 사출 성형 해석을 위해서는 대상 제품에 대한 정확한 모델링 및 Mesh 작업과 런너 시스템, 냉각 시스템에 대한 정확한 모델링이 필요로 한다. 본 연구의 대상인 Door Module 중 Carrier plate 부품은 Catia v5로 제품이 설계되었으며 사출성형해석을 위한 유한 요소는 형성을 위해서 Moldflow의 자체 Tool을 이용하여 Mesh 작업을 진행하여 Fusion type의 mesh와 이를 기반으로 3D type mesh를 작성하였으며 또 다른 방식은 Hyper_Mesh를 사용하여 1차 mesh 작업 후 Moldflow의 자체 tool을 이용하여 문제 부위는 수정하고 3D type mesh작업등 세 가지 방법을 사용하였다[3].

본 연구의 대상인 Door Carrier부품은 Fig. 1과 같이 제품의 다수 위치에 다양한 종류의 “R”값을 가지고 있어 Moldflow의 자체 tool를 이용할 경우 해석의 경제성을 위하여 Mesh수의 무한한 증가를 제한한 조건 내에서는 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 두께를 정확히 모사하기 어렵다. 이는 사출성형해석에서 정확한 두께를 모사하지 않았기 때문에 충전 패턴과 부피 수축 및 유리 섬유의 배향성에 영향을 주며 결국 변형 결과에 큰 영향을 주게 된다.

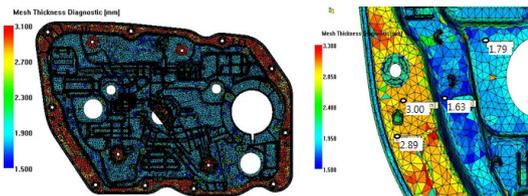
이를 보완하기 위한 방법으로 Mesh수를 늘리는 방법과 다른 Mesh 전문 S/W를 이용하여 “R”값을 비교적 정확히 구현하는 방법이 있다. Mesh 수를 늘리는 방법은 전체 mesh수의 급격한 증가로 해석 시간의 급격하게 증가되어 산업 현장에서 적용하기에는 시간과 비용 측면에서 많은 어려움이 있다. 따라서 Fig. 4와 같이 Hyper-mesh를 이용하여 1차적으로 Mesh작업을 진행하고 오류 부분에 대해서 Moldflow의 자체 tool을 사용할 경우 비교적 두께를 잘 표현하고 있다. 또한 Moldflow의 mesh type중의 3D mesh를 사용할 경우에도 Fig. 3과 같이 두께를 정확히 반영하지 못하는 surface mesh를 기반으로 3D mesh를 형성하게 됨으로 해석의 정확도에 영향을 미친다. 따라서 비교적 큰 모델인 Door Module의 Carrier plate의 경우에 본 연구에서는 사출성형해석을 진행하기 위해 Mesh 작업의 방법에 따라 Table 1 과 같은 3가지 type의 mesh에 대하여 해석을 수행하였다.



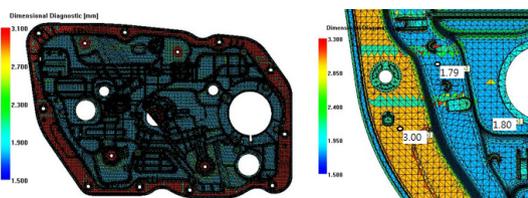
[Fig. 1] Cross-sectional view of the door carrier plate



[Fig. 2] The difference in thickness between Part modeling and moldflow mesh



[Fig. 3] Wall thickness distribution of meshes used in moldflow analyses



[Fig. 4] Wall thickness distribution of meshes used in hyper-mesh and converted to 3D in moldflow

[Table 1] Number of meshed and CPU time used

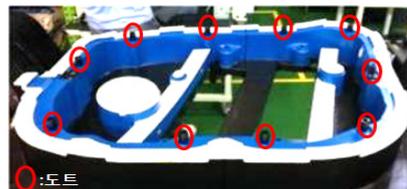
Mesh type		Mesh 수	CPU time used
case 1	Fusion Mesh used in moldflow	131240	89550.26sec
case 2	3D Mesh used in moldflow	3,052,599	111490.43sec
case 3	3D meshes used in hyper-mesh and converted in to 3D in moldflow	5,157,686	232227.11sec

2.1.2 Fiber Orientation model 선택

유리섬유 보강 소재의 경우 일반적으로 유리 섬유 배향성이 제품의 변형에 큰 영향을 미친다. 따라서 이에 대한 올바른 모델 선정은 해석 신뢰도에 큰 영향을 준다. 본 해석에서 사용한 Autodesk Simulation Moldflow Insight 2013은 몇 가지 모델을 채용하고 있다. 이중 Jin Wang[2]에 의하면 단섬유의 경우 RSC model을 사용할 경우가 실제 제품의 배향성을 잘 예측하고 장섬유의 경우에는 ARD-RSC model의 경우가 일반적으로 사용되는 Folgar-Tucker model보다 배향성에 해석 결과가 실제 배향성을 훨씬 잘 예측한다. 따라서 본 연구에서는 ARD-RSC model을 이용하여 해석을 수행하였다.

2.1.3 변형 측정 방법

본 연구의 대상인 Door Module의 Carrier의 경우는 그 형상이 부분적 평면 형상은 존재하나 변형의 기준을 설정할 수 있는 기준면이 존재하지 않아 해석상 변형과 실제 변형의 비교가 실질적으로 매우 어려운 구조를 가지고 있다. 따라서 해석 신뢰도 향상을 위해서는 최종 제품의 변형 측정법에 대한 기준 마련 및 사출 CAE의 결과 분석시 적용 가능한 기준면 마련이 매우 중요하다. 이를 위하여 여러 가지 방법들이 사용되고 있다. 그 중 실제 제품의 변형 측정은 Fig. 5과 같이 변형 측정 지그를 마련하고 Door Carrier의 Front Door의 체결부 10개소에 도트를 설치하여 실제 체결하는 구조를 하지 않고 자유 상태에서 기준 값 대비 변형 값을 측정하는 방법이다. 이러한 방법은 실제적으로 시사출 후 48시간 이후에 사출 조건에 따른 평가 및 제품의 합격 불합격 여부를 간단하게 판단하기에 가장 적절한 방법으로 사용한다. 하지만 이러한 방법을 사용할 경우 테두리 변형이외의 변형에 대한 평가가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 ATOS II V6.2.0-6를 사용하여 직접 3D scan 작업을 수행하여 해석 결과와 비교하였다.



[Fig. 5] The measurement system for determining warpage

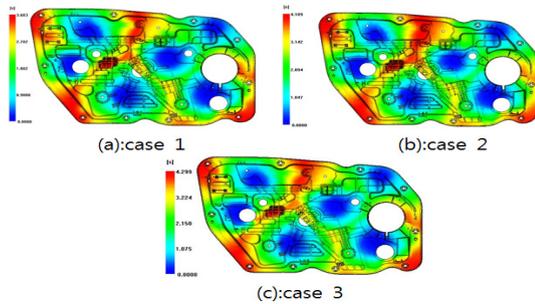
2.2 사출해석 결과

본 연구에서는 사출 조건은 실제 성형 조건에 가깝도록 설정하였다. 사출 시간은 4sec, 보압은 30MPa, 7sec로

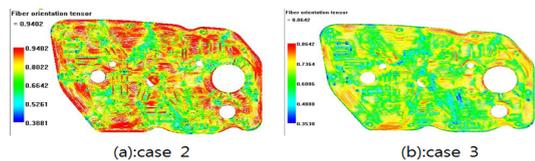
설정하였으며, 사출 온도와 금형온도는 45°C 및 245°C로 설정하였다. 이때 사용된 소재는 실제 사용 소재인 재질은 Lotte Chemical사의 SAMBARK SUPRAN 1320을 이용하였으며, 기존 연구결과에 따르면 LFT 경우 점도 보정이 필요하나[4] 본 연구에서는 Moldflow사에서 기본적으로 제공하는 data를 해석 기본 물성치로 사용하였다.

Fig. 6은 각 case에 따른 충전 시간의 해석 결과를 나타내고 있다. 충전 패턴을 비교해 보면 우측 상단부분이 빠른 시간에 충전되고 나머지 부분은 비교적 균일한 성형이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 형체력 증가 및 변형에도 영향을 미치나 Door Carrier의 경우 그 구조가 복잡성으로 인하여 변형 Core등의 다수 존재로 gate가 위치할 수 있는 부분이 거의 한정되어 있어 gate이동이 쉽지 않다. 또한 실제 사출 결과 심각한 충전 불균형 및 미성형이 발생하지 않아 본 연구에서는 실제 사용된 gate 위치를 사용하여 사출성형 해석을 진행하였으며 gate위치 변경은 고려하지 않았다.

Fig. 7은 각 case에 따른 Fiber Orientation Tensor의 결과를 나타내고 있다. Case1은 Fusion해석으로 그 결과의 의미가 3D 해석과 다소 차이가 있어 Case2,3의 결과만을 비교하였다. 그 해석 결과 Case2는 Case3에 비하여 섬유 배향성이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 유기 섬유 보강 소재를 사용하는 제품의 변형에 큰 영향을 미치는 요소가 된다.



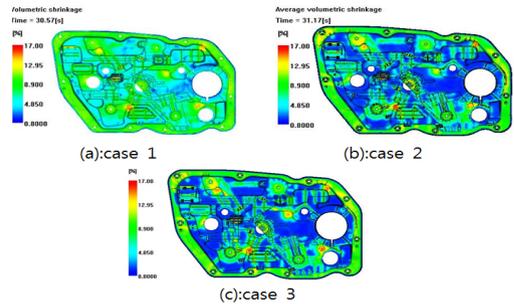
[Fig. 6] Filling pattern result



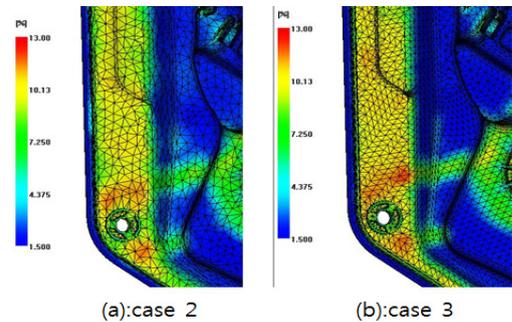
[Fig. 7] Fiber orientation tensor result

Fig. 8은 각 case에 따른 Volumetric Shrinkage의 결과를 나타내고 있다. 그 해석 결과 Case1,2,3의 각각의

Volumetric Shrinkage는 각각 Case별로 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 Fig.9과 같이 코너“R”부분에서는 mesh 상태에 따라 Volumetric Shrinkage의 차이는 분명 존재한다. 이러한 차이는 변형해석에서 결과의 차이로 나타난다. 사출해석 결과 사출압이 약간의 차이를 보이거나 보압 시간 및 보압은 동일하게 적용하였으므로 그 결과 값의 차이의 발생 원인은 해석 모델링의 두께에 기인한다고 볼 수 있다. 이와 같이 Mesh 작업에 따라 각 mesh의 두께 정보에 대한 구현 정도가 차이가 나고 이로 인해서 Volumetric Shrinkage가 발생한다는 것이다.



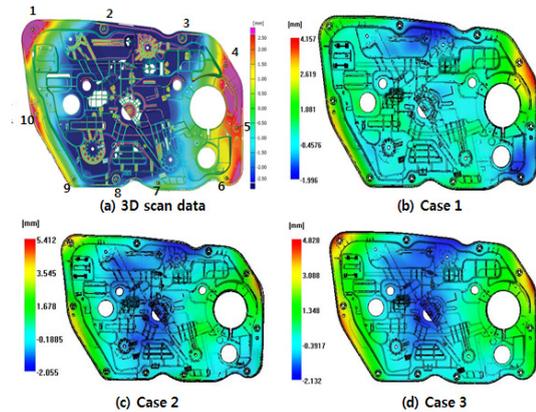
[Fig. 8] Volumetric shrinkage result



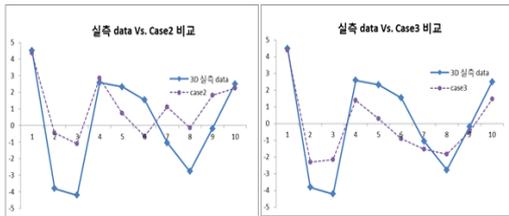
[Fig. 9] The difference in volumetric shrinkage result between case 2 and case 3

Table 2와 Fig. 10은 는 각 측정 포인트에서 실제 사출 제품의 3D 실측 data와 각 case에 따른 변형 결과값 및 경향성을 나타내고 있다. 그리고 Fig. 11은 Fig. 10에 표시된 각각의 체결부에서의 변형값에 대하여 Case2,3을 비교하였다. Case1,2의 경우에서는 실제 제품이 변형과 경향성이 크게 다르게 나타났다. 이는 Case1,2의 경우는 앞서 설명한 것과 같이 실제 제품의 두께가 아닌 Mesh작업 중에 다양한 “R”부분에서 두께 정보가 임의로 설정되었기 때문이다. 반면에 Case3의 경우는 실제 사출품과 변형 경향성은 매우 유사하다. 그리고 Fig.11의 결과처럼

Case3이 경우는 그 값의 차이는 존재하나 변형의 경향성과 값의 차이도 크지 않음을 알 수 있다.



[Fig. 10] Warpage result and the location of the measuring points



[Fig. 11] Simulation results of warpage

[Table 2] The warpage magnitude of the measuring point

Measuring Point	Measured 3D data(mm)	case1 (mm)	case2 (mm)	case3 (mm)
1	4.50	1.03	0.25	1.78
2	-3.81	-1.33	-3.67	-3.40
3	-4.21	-1.14	-4.38	-3.16
4	2.59	2.29	-0.45	0.56
5	2.33	-0.94	-2.51	-0.81
6	1.54	-2.05	-4.60	-2.00
7	-1.04	-0.46	-1.90	-2.60
8	-2.77	-0.78	-3.77	-2.97
9	-0.18	0.47	-2.18	-1.42
10	1.06	1.08	1.04	1.04

위의 결과와 같은 Case 3의 경우도 실제와 해석의 변형 절대값의 차이가 다소 존재하는 이유는 첫째 잠성유 보강 소재를 사용하는 제품의 경우 배향성을 예측할 수 있는 모델은 비교적 최근의 연구결과[2]로 현장 상황을 고려할 수 있는 해석 모델의 사용법에 대한 추가 연구가

필요하며, 다음으로 본 연구에서 대상으로 하는 Door Carrier의 경우는 정확한 두께 구현을 위해 mesh 수의 증가가 필요하나 비교적 큰 모델로 mesh 수의 한계가 존재한다. 마지막으로 실제 공정에서 냉각 공정 및 사출기 성능 차이 및 사출 후 보관 상태 등에 영향을 받은 것으로 판단된다.

3. 결론

Door Module 중 Carrier부품은 다른 부품과의 조립성과 window slide부의 작동성으로 인하여 변형이 매우 중요한 제품이다. 또한 산업 현장에서 주로 사용하는 보상 가공을 진행하기 위하여 사출 해석상 해석 정확도가 매우 중요하다. 이 부품은 비교적 모델이 크고 잠성유 보강 소재인 LFT를 사용하는 부품으로 사출 성형해석을 진행하기 위하여 정확한 두께를 구현하기 위하여 mesh를 늘리는 것이 필요하나 이는 해석 시간 및 비용의 증가를 가져온다. 따라서 비교적 정확한 두께를 구현하는 방법으로 Hyper-mesh를 이용하여 1차 mesh 작업 후 moldflow 자체 tool을 이용하는 방법을 제시하였으며 잠성유 보강 소재의 해석 모델로는 ARD-RSC model을 사용하였다. 그 결과 변형 절대값에서는 약간의 차이를 보였으나 변형의 경향성 및 실제 사용하는 변형 허용 기준이내의 보상 가공안을 마련하기에는 충분하였다. 향후 보다 정확한 해석 결과의 도출 및 보상 가공안을 마련하기 위해서는 냉각 해석의 진행 및 실험 data를 축적을 통한 data base화를 통하여 금형 실패 비용을 절감할 수 있을 것이다 판단된다.

References

- [1] Lee hyeonggon, "Development of Vehicle Door Module Systems Using Thermoplastic PP Long Glass Fiber", master's thesis, Retrieved from <http://dSPACE.inha.ac.kr/handle/10505/8599>
- [2] Jin Wang, Xiaoshi Jin, "Comparison of recent fiber orientation models in autodesk moldflow insight simulation with measured fiber orientation data", Proceedings of the Polymer Processing Society 26th Annual Meetings, pp. 4-8, July, 2010.
- [3] Tae-Jung Lho, Kyung-Soo Lim, "An analysis of plastic injection molding process for automobile gearbox cover by moldflow" The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.9, No.6, pp.1494-1499, 1996.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.6.1494>

- [4] Seung-Hyun Lim, Kang-Il Jeon, Young-Gon Son and Dong-Hak Kim, "Estimation of viscosity of by compaing the simulated pressure profile from CAE analysis with the Long Fiber Thermoplastic(LFT) measuring cavity pressure" The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.12, No.4, pp.1982-1987, 2011.
- [5] S. Vinay Seeba, S. Srikari, V. K. Banthia , "Design and analysis of a plastic door module for car body application" SASTECH, Vol.9, Issue.1, pp.1-8, April, 2010.

유 호 영(Ho-Young You)

[정회원]



- 1985년 2월 : 부산대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 울산대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 울산대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 교수

<관심분야>

금형설계자동화, 고등소성가공

박 시 환(Si-Hwan Park)

[정회원]



- 1999년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
- 2001년 2월 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 (공학석사)
- 2011년 2월 : 서울대학교 대학원 기계항공공학부 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 교수

<관심분야>

사출금형, Polymer Processing