

게이트와 Glass Fiber 함유량이 사출품의 변형에 미치는 영향에 대한 연구

문성민¹, 전성영², 김성교³, 윤재웅^{4†}

동원테크놀로지㈜¹,

한창EGM²

몰드서비스코리아㈜³

공주대학교 디지털융합금형공학과^{4†}

A Study on the effect of gate and glass fiber content on deformation of injection molded products

Sung-Min Mun¹, Sung-Young Jun², Seong-Gyo Kim³, Jae-Woong Yun^{4†}

DongWon Technology¹

HanChang EGM²

Mold Service Korea³

Department of Digital Convergence Metal Mold Engineering, Kongju National University^{4†}

(Received January 12, 2024 / Revised March 22, 2024 / Accepted March 31, 2024)

Abstract: In this study, in order to minimize the deformation of the end-plate of plastic injection products used as automobile battery parts, we compared and studied the effect on the amount of product deformation by changing the number and position of gates and the glass fiber content of the injection raw material. To compare the amount of deformation, a molding analysis program was used, and 5 points on the main flat surface of the product were selected to compare the amount of product deformation. The amount of product deformation was compared by changing the number and location of gates to 5 types, and the amount of product deformation was compared by changing the glass fiber content of the raw material to 4 levels. The effect of improving the amount of deformation of the product was confirmed by changing the glass fiber content of the gate and raw materials, and it was confirmed that the addition of glass fiber had a significant effect on the amount of deformation of the product. Compared to products that did not contain glass fiber, the amount of deformation in products containing 30% glass fiber was reduced the most, and it was confirmed that the amount was reduced by about 80 to 90%.

Key Words: Deformation, Glass Fiber, Injection Molding Analysis, Warpage, Gate

1. 서론

사출성형이란 플라스틱 원료에 열을 가하여 액체상태로 만든 뒤 금형에 주입하여 일정시간이 지난 후 금형형상으로 굳혀 원하는 형상의 제품을 만들어내는 성형방법이다. 사출 성형은 사이클이 짧아 성형 능률이 높으며 대량생산에 유리하다. 자동화 또한 가능하며 대형 제품 및 복잡하고 정밀

한 제품도 성형 가능하다. 사출성형으로 사출된 제품들은 우리생활에 다방면으로 사용되고 있으며 경량화를 위해 자동차 부품에도 점점 확대 적용되고 있다. 자동차 부품으로 사용되는 플라스틱 제품은 변형 여부에 따라 기능 및 품질에 큰 문제가 생길 수 있으며 생산 사이클 타임에도 큰 영향을 미친다.^{1,2,3)} 과거에는 사출 제품의 품질 확인을 위해 사출 금형을 제작하여 직접 생산 후 문제점들을 평가 하였으나 재료나 성형 조건에 따라 지속적이 수정이 필요하여 물리적, 경제적 손실이 막심하였다. 그리고 고객의 요구에 따라 적합한 품질의 육성이 필요하고 납기 또한 단축이 필요하다. 이러한

†교신저자: yun.jw@kongju.ac.kr

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

문제점들을 개선하기 위해 사출 성형 해석 소프트웨어가 도입되며, 금형 제작 전 다양한 조건들을 사전 분석하여 설계단계에서 문제점들을 개선할 수 있게 되었다. 그로 인해 개선에 필요한 비용이 절감되고 납기의 단축 등 물리적, 경제적으로 큰 효과를 거두고 있다.^{4,5)} 사출 제품의 품질에 영향을 주는 요소로 금형의 구조적인 문제도 있지만 게이트 위치 및 수량, 사출 조건 및 원재료의 특성 등 요소들이 원인이 될 수도 있다. 또한 조립용으로 사용되는 플라스틱 제품들은 특성상 수축이나 변형으로 인해 조립성에 문제가 발생된다.⁶⁾ 이를 개선하기 위해 성형품의 변형과 불량 요소를 감소시키고 사출 조건 및 변형을 최적화 시키기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다.

Jang(2021)은 자동차 공기정화기의 보호 덮개 사출품의 변형을 최소화하기 위해 사출 성형해석 소프트웨어를 이용하여 게이트 형상 및 위치에 따라 제품의 변형에 미치는 영향을 연구하였다.⁷⁾ Lee(2011)는 축전지 용기를 성형해석 소프트웨어를 이용하여 제품을 분석하고 스프루, 런너, 게이트의 변형을 통해 충전상태, 온도변화, 압력분포 등 측벽에서 나타나는 변형을 최소화하여 금형설계를 단순화하고 생산력을 향상시키고자 하였다.⁸⁾ Yoo(2023)는 자동차 충전관리시스템에 사용되는 플라스틱 하우징을 성형해석 소프트웨어와 다구찌법을 이용하여 변형을 최소화하고 최적화된 성형조건을 찾기 위해 연구하였다.⁹⁾

본 논문에서는 자동차 배터리 부품에 사용되는 END-PLATE 제품을 성형해석 소프트웨어를 이용하여 게이트 별 원재료 Glass Fiber 함유량에 따른 변형을 최소화시키는 조건을 구하는 것을 목적으로 하였다.

2. 본 론

2.1. 자동차 배터리 제품 END-PLATE

본 연구에서 적용하는 제품은 자동차 배터리 측면에 부착되는 END-PLATE 제품으로 단독 사용되는 제품이 아닌 조립되어 사용되는 제품이다. 그러므로 해당 부품의 조립 공차 및 변형정도, 평면도가 중요하며 불만족 시 오작동 및 품질문제가 발생할 수 있다. 따라서 제품이 요구하는 품질 및 평면도를 만족하기 위하여 제품의 변형을 최소화 할

필요가 있다.

Fig. 1은 자동차 배터리 제품 END-PLATE에 대한 3D 모델링을 나타낸 것이다. 크기는 187.6 X 127 X 20.5 mm이며 두께는 3.5mm 이다.

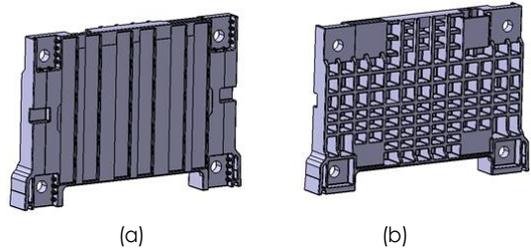


Fig. 1 3D model of Battery management system end-plate for automotive: (a) front side (b) back side

2.2. 사출 성형 해석

자동차 배터리 제품 END-PLATE의 성형해석을 위해 AUTODESK사의 Moldflow insight 2021을 사용하였다. Fig. 2는 성형해석을 위해서 Mesh 모델링과 냉각라인의 구성을 나타낸 것이다. Mesh Type은 Dual domain을 사용하였고 총 Mesh 개수는 99830 개 이다. Hot Runner와 다이렉트 게이트를 사용하였고 냉각라인은 $\varnothing 10$ 의 직선냉각회로를 사용하였다. 성형해석 소프트웨어에 사용한 사출조건은 Table 1과 같다.

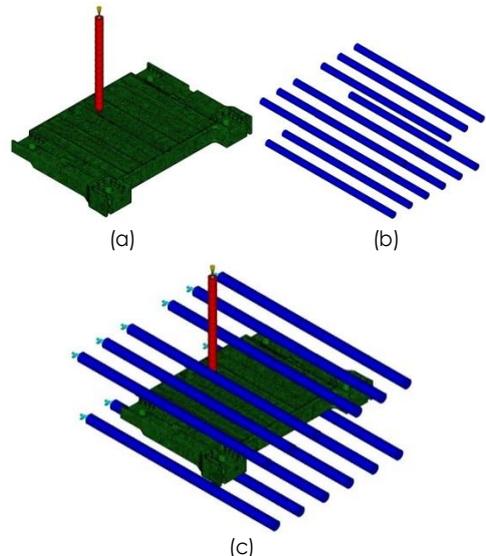


Fig. 2 Mesh models in moldflow: (a)mesh of flow system and part (b)circuit of cooling (c)analysis basic model

Table 1 Injection analysis conditions

Process conditions	Unit	Value
Injection time	sec	3.0
Packing pressure	%	최대압력의 80%
Packing time	sec	5
Cooling time	sec	40
Coolant temperature	°C	20
Melt temperature	°C	290

2.3. 실험 계획

본 연구에서는 게이트 수 및 위치에 따라 제품이 변형되는 정도를 비교하고 원재료의 Glass Fiber 함유량에 따라 제품의 변형에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

제품의 주요 평면구간의 변형량을 인자별로 비교하였으며 변형인자인 게이트의 수 및 위치는 Fig. 3과 같이 선정하였고, 원재료는 Table 2과 같이 적용하였다.

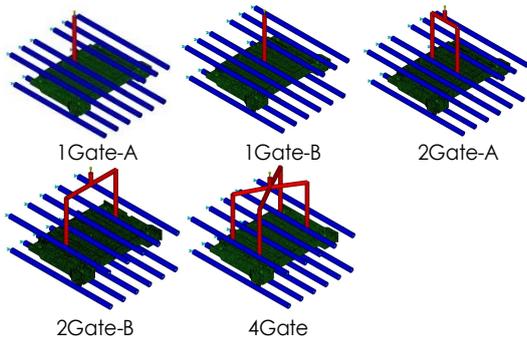


Fig. 3 Factors to be used in the experiment

Table 2 Materials to be used in the experiment

No.	Material	Glass Fiber Filled (%)	Grade	Manufacture
1	PA66	0	Ultramid A3W	BASF
2	PA66	15	Ultramid A3WG3	BASF
3	PA66	30	Ultramid A3WG6	BASF
4	PA66	50	Ultramid A3WG10	BASF

각각의 변형인자별 성형해석 결과를 확인하기 위해서는 총 20회의 성형해석이 필요하였다.

Table 3은 20회의 성형해석을 실시한 조건들을 정리한 표를 나타낸 것이다.

Table 3 Molding analysis condition table

No.	Gate	Material	No.	Gate	Material
1	1 Gate-A	PA66	11	2 Gate-A	PA66-GF30
2	1 Gate-A	PA66-GF15	12	2 Gate-A	PA66-GF50
3	1 Gate-A	PA66-GF30	13	2 Gate-B	PA66
4	1 Gate-A	PA66-GF50	14	2 Gate-B	PA66-GF15
5	1 Gate-B	PA66	15	2 Gate-B	PA66-GF30
6	1 Gate-B	PA66-GF15	16	2 Gate-B	PA66-GF50
7	1 Gate-B	PA66-GF30	17	4 Gate	PA66
8	1 Gate-B	PA66-GF50	18	4 Gate	PA66-GF15
9	2 Gate-A	PA66	19	4 Gate	PA66-GF30
10	2 Gate-A	PA66-GF15	20	4 Gate	PA66-GF50

3. 성형해석 결과 및 고찰

3.1. 제품의 변형량 측정위치 선정

Table 3의 해석조건들을 기준으로 성형해석을 실시하였으며 제품의 중요평면구간을 변형량 확인 기준으로 선정하였다. Fig. 4는 제품의 변형량 측정 위치를 선정한 것으로 상대물이 조립되는 평면부이다. 표시된 5 Point를 기준으로 제품의 변형량을 측정하였다.

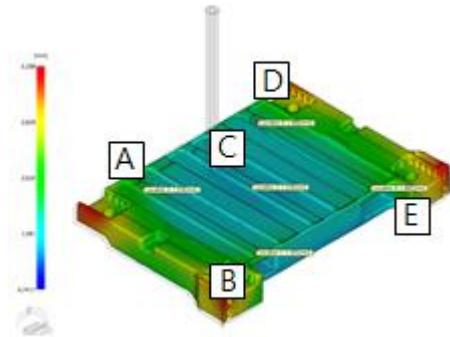


Fig. 4 Location for measuring the degree of deformation of the product

3.2. 게이트 위치별 제품 변형량 비교

Fig. 5는 PA66 소재 사용 시 게이트 위치별 제품의 변형량을 나타낸 그림이다.

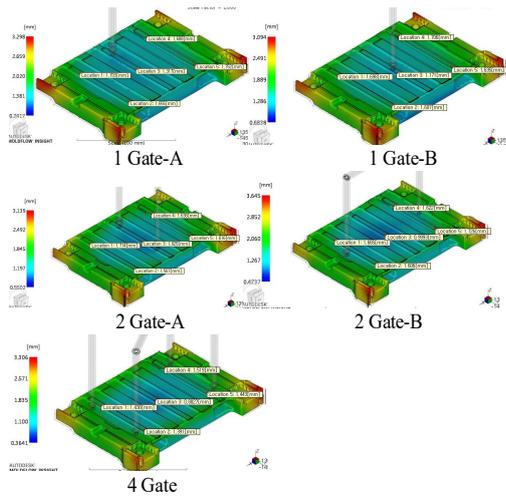


Fig. 5 Deformation analysis results by gate location

1 Gate-A는 중심부가 1.317mm, 최대 1.752mm 변형이 발생하였고 1 Gate-B는 중심부가 1.171mm, 최대 1.706mm 변형이 발생하였다. 2 Gate-A는 1.025mm, 최대 1.714mm 변형이 발생하였고 2 Gate-B는 중심부 0.999mm, 최대 1.726mm 변형이 발생하였다. 4 Gate는 중심부 0.882mm, 최대 1.519mm 변형이 발생되었다. 변형 경향은 제품 중심이 가장 변형이 적고 외곽으로 갈수록 변형이 커졌으며 게이트 위치 별로 모두 비슷한 경향을 보였다. 변형량은 4 Gate일때 가장 적은 것을 확인할 수 있었다.

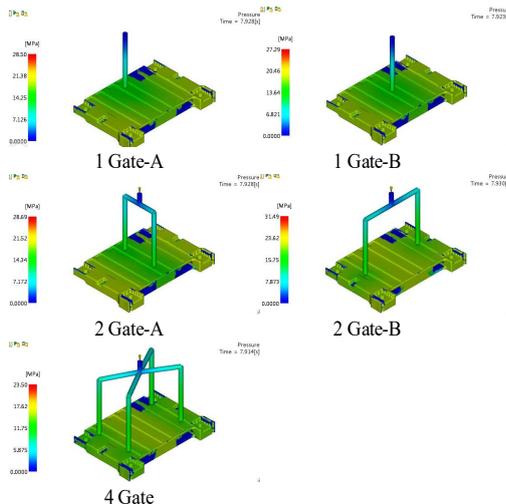


Fig. 6 Pressure analysis results by gate location

Fig. 6은 게이트 위치 별 보압 완료시의 압력을 나타낸 그림이다. 1 Gate-A는 게이트 위치로 인해 주요 평면부에 고르게 압력이 분포되어있지 않고 게이트에서 멀어질수록 압력이 높게 작용하였다. 4 Gate는 압력이 가장 낮았으며 게이트 위치로 인해 외곽에서 제품 중앙으로 균일하게 압력이 작용하였다. 게이트의 수 및 위치에 의해 제품 압력이 차이를 보이고 압력에 의한 잔류응력이 제품에 작용하여 제품 변형량에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.¹⁰⁾

3.3. Glass Fiber 함유량 별 제품 변형량 비교

Fig. 7은 1 Gate-A일때 원재료 Glass Fiber 함유량 별 제품의 변형량을 나타낸 그림이다.

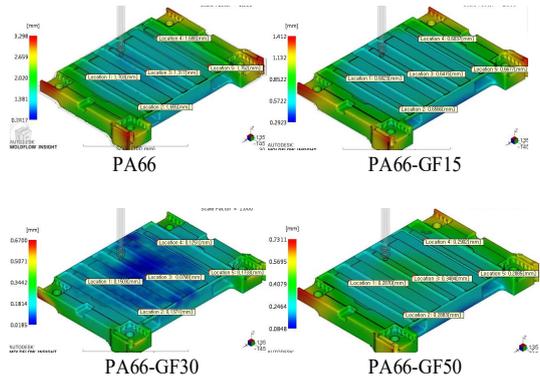


Fig. 7 Deformation analysis results by glass fiber content

PA66는 중심부가 1.317mm, 최대 1.752mm 변형이 발생되었고 PA66-GF15는 중심부 0.641mm, 최대 0.683mm 변형이 발생되었다. PA66-GF30은 중심부 0.079mm, 최대 0.173mm 변형이 발생되었고 PA66-GF50은 중심부가 0.348mm로 변형량이 가장 크게 나타났다. Glass Fiber 함유량이 클수록 제품 변형량도 확연하게 줄어들었으나 PA66-GF50에선 GF30에 비해 변형량이 늘어났다. 게이트에서 가까운 곳이 변형량이 가장 적었고 게이트에서 멀어질수록 제품 변형량이 높아지는 경향을 확인할 수 있었다.

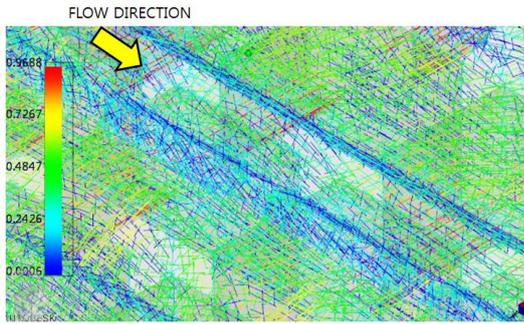


Fig. 8 Glass fiber orientation shape analysis results

Fig. 8은 제품 사출 시 Glass fiber 배향 형상을 나타낸 그림으로 소재 흐름방향으로 Glass fiber가 배향되어있고 제품 평면부 후면 보강리브 형상으로 인해 수직방향으로도 배향되어 있는 것을 확인할 수 있다. Glass fiber의 배향으로 인해 보강리브의 강성이 더해져 제품 변형을 억제하는 것을 확인할 수 있었다.¹¹⁾

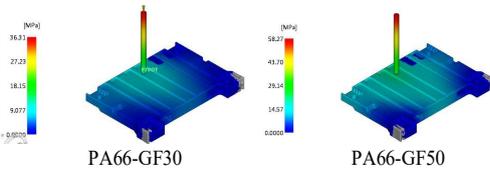


Fig. 9 Pressure analysis results by glass fiber 30% and 50%

원재료의 Glass fiber 함유량이 많을수록 제품 변형량은 감소하였으나 Glass fiber 50%의 경우 30%에 비해 제품 변형량이 다소 증대하였다. Fig. 9는 Glass fiber 30%와 50%일 때 제품 사출 시 최대 압력을 나타낸 것으로 50%일 때 사출 압력이 30% 대비하여 과다하게 증가하였다. 사출 시 사출압력이 높을 경우 제품 압축력의 증대로 제품 수축 및 변형량이 줄어들 수 있으나 적정수준 이상의 압력이 작용하면 제품 과 급형 변형을 야기하고 잔류응력에 의하여 제품 변형이 증가되는 것으로 판단된다.

3.4. 변형인자 별 제품 변형량 비교

Table. 4는 게이트 타입 별로 원재료의 Glass fiber 함유량을 변경하여 성형해석을 실시한 후 제품의 주요평면부의 변형량을 측정한 표이다.

Table. 4 Deformation analysis results by gate location and glass fiber content

Gate Type	G/F (%)	측정 위치				
		A	B	C	D	E
1 Gate A	0	1.703	1.655	1.317	1.688	1.752
	15	0.682	0.656	0.641	0.683	0.667
	30	0.150	0.137	0.079	0.125	0.173
	50	0.287	0.288	0.348	0.290	0.288
1 Gate B	0	1.698	1.607	1.171	1.706	1.635
	15	0.674	0.650	0.627	0.688	0.644
	30	0.151	0.138	0.054	0.160	0.155
	50	0.290	0.283	0.383	0.303	0.276
2 Gate A	0	1.714	1.567	1.025	1.638	1.616
	15	0.682	0.638	0.539	0.646	0.649
	30	0.131	0.174	0.084	0.162	0.174
	50	0.282	0.267	0.254	0.275	0.267
2 Gate B	0	1.665	1.606	0.999	1.622	1.726
	15	0.682	0.679	0.558	0.680	0.691
	30	0.138	0.096	0.133	0.106	0.127
	50	0.287	0.295	0.288	0.295	0.296
4 Gate	0	1.438	1.391	0.882	1.519	1.443
	15	0.639	0.627	0.515	0.664	0.635
	30	0.116	0.093	0.173	0.115	0.123
	50	0.267	0.261	0.259	0.290	0.282

모든 게이트 타입에서 Glass fiber 함유량이 30% 일 때 변형량이 가장 적게 나타났으며 Glass fiber 함유량이 50%일 때 30%보다 변형량이 다소 증가하는 동일한 경향이 나타났다. 게이트 수나 위치에 따른 차이보다 Glass fiber의 함유량이 제품 변형 개선에 큰 효과를 보였다. 모든 게이트 타입에서 Glass fiber가 없는 원재료에 비해 Glass fiber가 30% 첨가된 소재가 변형량이 약 80~90% 정도 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 게이트 수 및 위치, 원재료 Glass fiber 함유량에 따른 제품의 변형에 미치는 영향에 대해 연구하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 게이트 수 및 위치에 따른 제품 변형량은 1 Gate일 때 변형량이 1.317~1.752 mm 정도로 가장 높았고 4 Gate일 때 0.882~1.519 mm로 가장 변형이 적게 나타났다.
- 2) 원재료 Glass fiber 함유량에 따른 제품 변형량은 Glass fiber 함유량이 30%일 때 변형량이 가장 적게 나타났다.
- 3) Glass fiber가 함유되지 않은 원재료에 비해 Glass fiber가 30% 첨가된 원재료가 제품의 변형량이 약 80~90% 정도 개선된 것을 확인하였다.

제품의 변형 개선을 위해 Glass fiber가 함유된 원 재료를 사용하는 것이 유리하지만 Glass fiber가 함유될수록 원재료의 단가가 상승하고 사출압 및 형체력이 상승하는 등 다른 문제점들이 발생할 수 있다. 최적의 게이트 수와 위치를 고려하고 적절한 원 재료를 사용하여 제품의 품질을 향상시키기 위해 충분한 검토가 필요하다.

참고문헌

- 1) Kim, D. H., Lee, J. W., Kim, T. W., Effects of Mold Temperature on the Weldline and Dimensional Stability of Injection-molded Parts, J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc., 4:3 pp. 172-176, 2003.
- 2) Jang, S.M., Baek, S.Y., Effect of Gate Position on the Deformation of Injection Molds, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 30:1 pp. 85~91, 2021.
- 3) Park, C.H., Pyo, B.G., Choi, D.H. and Koo, M.S., Design optimization of an automotive injection molded part for minimizing injection pressure and preventing weldlines, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 19, No. 1, pp. 66-72, 2011.
- 4) Nam, S.D., A study on the injection mold design application method of CAE mold analysis data, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.13, No. 3, pp. 29-34, 2019.

- 5) Sung, S. M., Jung, S. J., A study on the motorcycle lear cowl injection molding by CAE, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.13 No.4, pp. 34-39, 2019.
- 6) Jung, E. C., Son, J. E., Min, S. K., Kim, J. H. and Lee, S. H., A study on light weighted injection molding technology and Warpge reduction for lightweight automotive head lamp parts, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.13 No.2, pp. 1-5, 2019.
- 7) Jang, S.M., Baek, S.Y., Effect of Gate Position on the Deformation of Injection Molds, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 30:1 pp. 85~91, 2021.
- 8) Lee, Y. U., A Study on the Battery Case Injection Molding by CAE Analysis, J. Korea Academia-Industrial cooperation Society, 12(1), pp. 55-61, 2011.
- 9) Yoo, Y.T., Mun, S.M., Jun, S.Y. and Kim, K.A., A Study on Injection Condition Optimization and Deformation Improvement using Taguchi Design of Experiments, Design & Manufacturing, Vol.17 No.02, pp. 62-69, 2023
- 10) Lee, J. H., Kim, J. S., A Study on the Experimental Verification and Prediction of Mold Deformation at Injection Stage during Injection Molding through Simulation Analysis, J. Korean Soc. Mech, Technol, 22(6) pp. 1061-1074, 2020.
- 11) Lee, M., Kim, H. and Lyu, M. Y., A Study on the Warpge of Glass Fiber Reinforced Plastics for Part Design and Operation Condition: Part 1. Amorphous Plastics, Polymer(Korea), Vol. 36, No. 5, pp. 555-563, 2012.

저자 소개

문성민 (Sung-Min Mun)



- 2024년 2월: 공주대학교 금형공학과
- 2015년 7월 ~ 현재: 주동원 테크놀로지 연구소

< 관심분야 >
사출성형 및 금형

전 성 형 (Sung-Young Jun)



- 2024년 2월: 공주대학교 금형공학과
- 2016년 12월 ~ 현재: 주한청이 지엠 금형팀 책임매니저

< 관심분야 >
사출성형 및 금형

김 성 교 (Seong-Gyo Kim)



- 2024년 2월: 공주대학교 금형공학과
- 2014년 10월 ~ 현재: 몰드서비스코퍼레이션 재직

< 관심분야 >
설계 사출금형 CAD, CAM

윤 재 응 (Jae-Woong Yun) [종신회원]



- 2005년 2월: 독일 하노버대학 기계공학부 프레스성형과(공학박사)
- 2005년 8월 ~ 2013년 1월 LG 전자 금형기술훈터장
- 2013년 2월 ~ 2018년 8월: OPS-INGERSOLL KOREA 대표이사
- 2018년 8월 ~ 현재: 공주대학교 디지털융합금형공학과 교수
- 2018년 8월 ~ 현재: 공주대학교 글로벌금형기술훈연구소

< 관심분야 >
프레스 성형 및 금형
