

CAE 해석을 이용한 오토바이 리어카울 사출성형에 관한 연구

성시명¹ · 정상준[†]

한국폴리텍대학교 인천캠퍼스 금형공학과^{1,†}

A study on the motorcycle rear cowl injection molding by CAE analysis

Si-Myung Sung¹ · Sang-Jun Jung[†]

Department of Mold & Die Design, Incheon Campus of Korea Polytechnic^{1,†}

(Received December 17, 2019 / Revised December 28, 2019 / Accepted December 31, 2019)

Abstract: In this paper, in order to improve the formability and quality of the injection molded parts in the molds for molding the motorcycle rear cowl injection molded parts with different volumes at the same time, the flow of the molded parts is changed through the injection molding CAE analysis by changing the gate position, runner size and position. It is to find the optimum gate position, the diameter of the runner and the position where the balance is equal. The molded article formed by the optimization resulted in the uniformity of the molten resin at the same time at the corner of the product, thereby maintaining the flow balance favorable for mass production at lower injection pressure.

Key Words: CAE analysis, Flow balance, Gate, Injection molding, Motercycle rear cowl, Runner, Runner system

1. 서 론

사출성형은 가장 널리 쓰이는 플라스틱 성형공정 중의 하나이며 지금까지 폭넓게 쓰이고 있지만, 서로 복잡하게 연관된 수많은 공정 변수 때문에 최근 까지도 설계변수와 재료 및 공정 조건에 따른 성형 품의 품질을 정확히 예측하기란 매우 어려운 실정이다^[1,2]. 따라서 성형 공정에 따른 성형품의 품질을 사전에 확인하고 그 문제점을 해결하기 위하여 최근 4차 산업 혁명으로 진입하는 시점에서 사출성형 해석(Computer-Aided Injection Molding Analysis) 기술을 접목시켜 적용하면 성형품이 제조되기 전에 개발 및 생산과정에서 예상되는 많은 문제점을 미리 분석하여 기존 방법에서 빈번하게 발생되는 설계변경, 금형수정, 시험사출 반복 등으로 인한 시간 낭비와 비용지출을 방지 할 수 있다^[3,4]. 또한 성형품의 품질을 향상 시킬 수 있는 사출 성형 금형의 설계, 성형에 필요한 조건 및 변수들을 최적화할 수 있다.

사출성형해석 기술은 제품 설계 단계부터 금형제작 후 시사출에서 오는 시행착오를 줄여서 제품 개발기간을 단축하기 위한 작업이다. 따라서 시사출 시 성형품의 불량 원인을 수차례 시사출을 통하여 해결하던 종래의 방법을 탈피하여 컴퓨터를 이용한 최적화 해석을 통하여 사출 성형기의 공정조건을 입력하여 얻어진 결과로서 문제를 해결하는 것을 말한다.

내연기관 방식인 오토바이 부품 경쟁력을 높이기 위해서 많은 노력을 하고 있으며, 그 중에서 사출 구성품에 대한 경쟁력을 높이고 생산성을 높이기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 내연기관 오토바이에 사용되는 체적이 서로 다른 Left/Right 2개의 리어커버 사출성형품을 하나의 금형에서 제작하여 전체 금형 제작 비용을 1/3로 줄이고, 체적이 서로 다른 2개의 부품을 하나의 사출성형기에서 생산하여 생산수량의 조절과 사출성형기의 사용을 줄이고자 하였다.

이에 사출성형해석을 기반으로 체적이 서로 다른 2개의 사출성형품을 양산 시 발생 할 문제를 최소화하기 위하여 충전 불균형에 대한 수지의 유동 균

1, † 교신저자: 한국폴리텍대학 인천캠퍼스 금형공학과
E-mail: jungsj@kopo.ac.kr

일화를 이루고 성형과 품질에 영향을 미치는 러너(runner), 게이트(gate)의 크기와 위치를 CAE 해석을 통하여 최적화를 진행하였다.

2. 실험

2.1. 실험 모델

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 성형품의 모델을 나타내고 있다. 이 모델은 좌측과 우측이 서로 다른 모양으로 유동전달 시스템(Delivery System: 스프루, 런너, 게이트)이 함께 나타나 있으며 두 개의 러너와 두 개의 팬 게이트로 구성되어 있다^{5,6)}. 성형품의 평균 살 두께가 2.4mm이고, 체적이 서로 다른 성형품(좌측: 262,273㎤, 우측: 202,318㎤)이다.

사출성형 CAE 프로그램은 사출전용 국내 Software인 MAPS-3D(Mold Analysis & Plastics Solutions-3D)를 사용하였다.

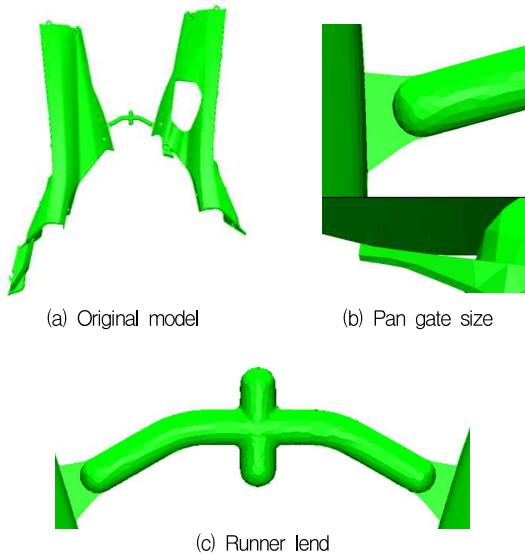


Fig. 1 Original model

2.2. 실험 변수 및 실험방법

본 연구의 실험결과에 영향을 미치는 변수로는 게이트 위치, 러너 직경, 공정 조건 및 수지와 같은 변수들이 있고, 다음과 같이 실험을 진행하였다.

2.2.1. 게이트 위치

원본 모델에 대한 유동 해석을 수행 후 Fig. 2는 Flow Pattern 80% 및 99%일 때 좌측 성형품과 우측

성형품을 비교 시 유동 불균형으로 최적의 유동 벨런스를 찾기 위한 게이트의 위치를 Fig. 1 (a)모델에서 좌측 성형품에 대하여 4개의 위치를 구분하여 해석을 수행하였으며, 러너치수($\phi 12$)는 동일하게 적용하였다.

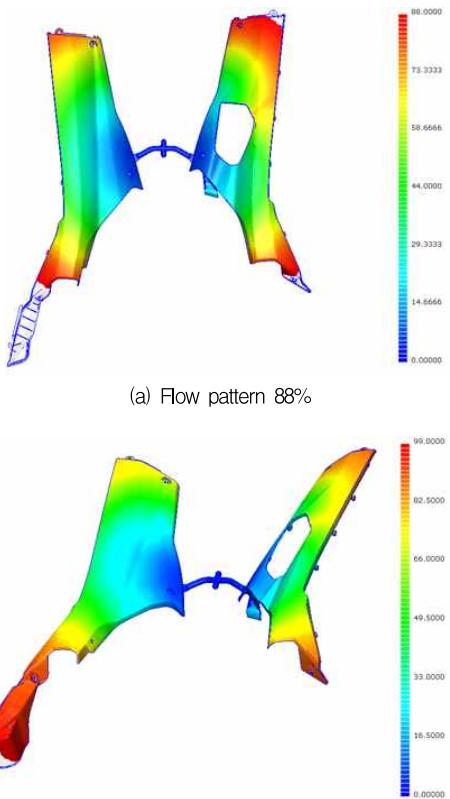


Fig. 2 Flow pattern

2.2.2. 러너 직경

성형품에 대한 최적의 러너 직경을 선정하기 위해서 수정 전 Fig. 1의 (a) 좌/우 모델의 유동길이를 준수하고 실험은 러너 직경 $\phi 12$, 러너 길이 57mm인 우측 모델에서만 러너의 직경을 $\phi 12$, $\phi 10$, $\phi 8$, $\phi 6$ 로 구분하여 해석을 수행하였다.

러너의 직경이 줄어들면 스프루에서 게이트까지 압력 강하가 증가하여 게이트의 압력이 감소한다^{7,8)}. 따라서 러너의 직경을 변화시켜가면서 유동 벨런스를 찾고자 MAPS-3D를 이용하여 3차원 해석을 수행하였다.

위의 CAE 해석 결과를 종합적으로 분석하여 최적의 러너 직경 크기를 결정하였다.

2.2.3. 공정 조건 및 수지

사출성형해석 조건은 Table.1에 나타내었다. Fig. 3, Fig. 4는 적용 수지에 대한 점도 및 pvt선도를 나타낸 것이다.

Table 1 Processing condition for analysis

Factos	Conditions
Mold Temperature(℃)	Min 20 ~ Max 80
Resin melt Temperature(℃)	Min 200 ~ Max 280
Solid Density(g/cm³)	0.929
Filling time(sec)	4
Packing time(sec)	2
Packing pressure(MPa)	85
Cycle time(sec)	20
Part Volume(cm³)	Left 262,273, Right 202,318
Material Description	PP/Exxon Mobil Chemical / PP-1052

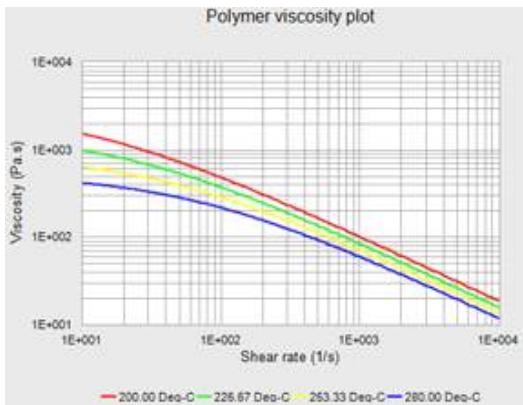


Fig. 3 Polymer viscosity plot

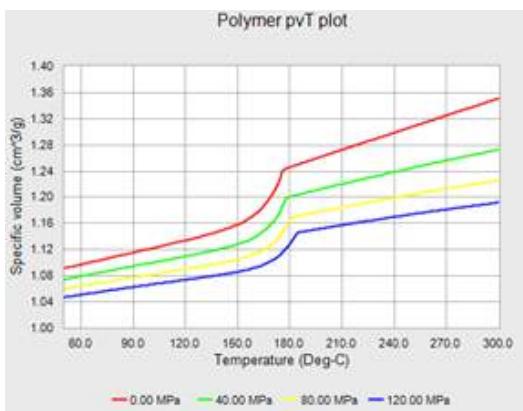


Fig. 4 Polymer pVT plot

3. 실험결과 및 분석

3.1. 충전 불균형 및 게이트 위치 분석

원본 성형품에 대하여 각각 위치가 다른 4개 게이트 위치에서의 충전에 미치는 영향을 분석하였고, 유동패턴 90% 상태에서의 유동밸런스 현상을 Fig. 5에 나타내었다.

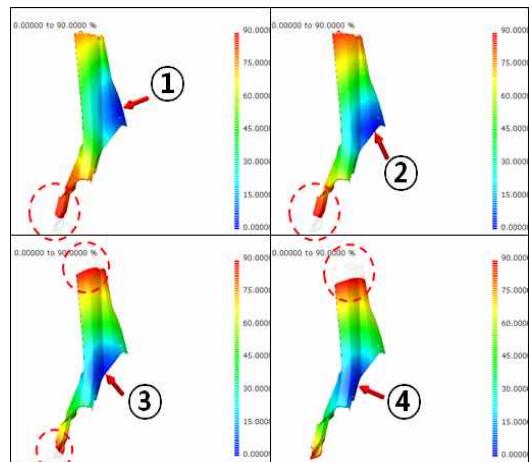


Fig. 5 Flow pattern 90%

충전 현상은 90%에서 볼 때 게이트의 위치를 변경시켜 유동해석을 수행한 결과 게이트의 위치 ①, ②에 대하여 성형품 상단이 먼저 충전되고 하단이 늦게 충전되는 현상이 발생하였다. 게이트 위치 ④는 ①, ②와 반대로 성형품의 상단이 늦게 충전되는 현상이 발생되었고 게이트위치 ③에서는 성형품 상, 하단이 균일하게 충전되었으며, ①, ②, ④의 게이트 위치에서의 유동밸런스가 아래 또는 윗 부분이 너무 늦게 충전되어 유동밸런스가 좋지 않으며, ③의 게이트 위치에서의 유동밸런스가 아래와 윗 부분이 균등하게 충전되었다.

Fig. 6은 유동해석 후 압력분포도를 나타낸 것이다. 성형품에서 게이트 위치는 유동길이와의 연관성이 있는데, 제품의 두께가 균일할 때 유동길이가 길어질수록 압력이 높아짐을 알 수 있다.

유동불균형이 발생되는 경우, 유동거리가 길어져서 충전 시 높은 사출압력이 요구됨으로 게이트 ①, ②, ④의 압력보다 게이트 ③의 압력이 45.3MPa 값으로 충전에 필요한 압력을 낮게 유지하기 위해서는 적절한 게이트의 위치 선택이 매우 중요하다.

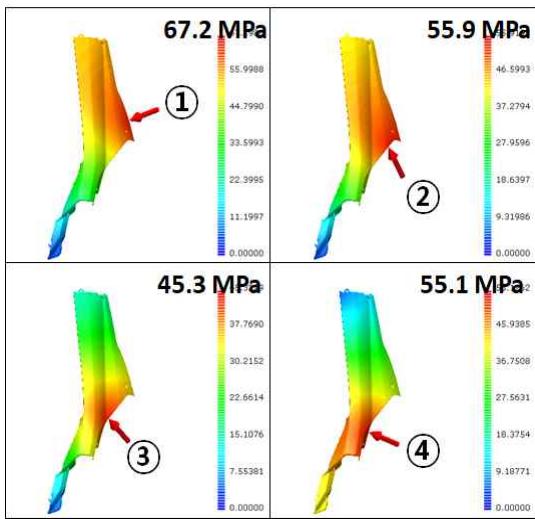


Fig. 6 Pressure at the gate position

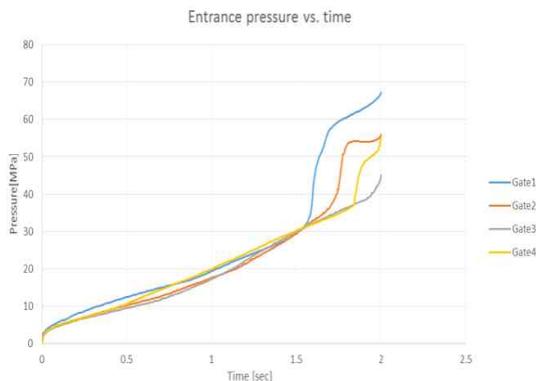


Fig. 7 Entrance pressure vs. time

충전 공정 시 최종 성형 압력이 높을수록 성형품 내의 잔류응력이 커지게 되고 이에 따라 최종 성형품의 변형량이 커지게 될 가능성이 높아진다. 그러므로 게이트 ③의 위치가 최적의 게이트 위치로 볼 수 있다. Fig. 7은 유동해석 후 충전시간 대비 게이트위치 별 압력그래프를 나타낸 것이다. 시간에 따라 수지가 일반적으로 충전이 진행됨에 따라 수지 주입구(게이트)의 압력이 순차적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 해석 결과에서 압력이 갑자기 증가하는 부분이 존재하는데 일반적으로 이러한 경우는 수지의 흐름상에서 제품의 한부분이 먼저 충전되어 유동 선단의 면적이 갑자기 변화하는 경우이며, 압력의 급격한 상승을 동반한다.

게이트 ①, ②, ④의 압력이 1.5초~2초 시간대에서 급격한 압력상승이 발생되며, 게이트 ③의 압력

은 시간이 증가하더라도 압력이 완만하게 상승됨을 알 수 있다.

3.2. 충전 균형을 위한 러너 직경 설계

Fig. 8은 좌측 모델을 기준으로 ③번쨰 위치에 게이트를 적용하여 러너의 직경은 좌측 성형품 ø12mm, 우측 성형품 ø8mm로 하여 러너 배열을 수정한 모델이다.

게이트 및 러너배열을 수정한 성형품에 대하여 정해진 금형의 크기 내에서 러너의 직경을 결정하였다. 이를 위해 먼저 러너의 직경을 좌측 성형품에 대한 러너는 ø12mm로 고정시키고 우측성형품에 대한 러너의 직경을 Fig. 9와 같이 ø6mm, ø8mm, ø10mm로 변화시키면서 사출성형 해석을 수행하여 충전에 미치는 영향을 유동파턴 100% 상태에서의 유동밸런스의 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

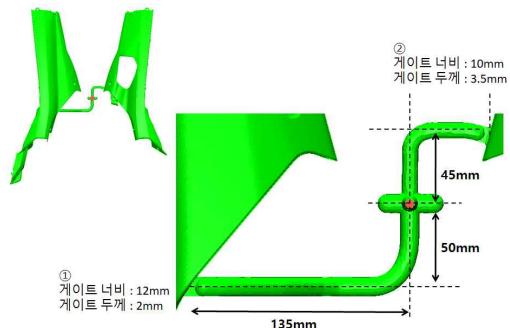


Fig. 8 Modified gate & modified runner lay-out

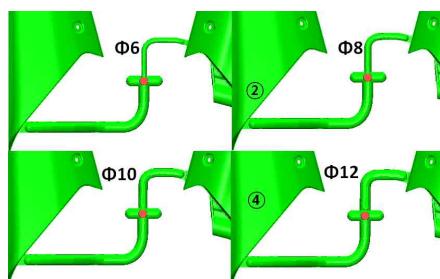


Fig. 9 Modified runner of ø6, ø8, ø10, ø12

Fig. 9의 경우, 러너의 직경이 ø8mm, ø6mm로 작아질수록 좌,우측 성형품의 충전이 균등하게 나타났다. 그리고 러너의 직경이 ø10mm, ø12mm로 커질수록 좌측 성형품에서는 미충전이 나타나며, 우측 성형품에서는 충전이 완료된 상태로 유동불균형이 나타났다.

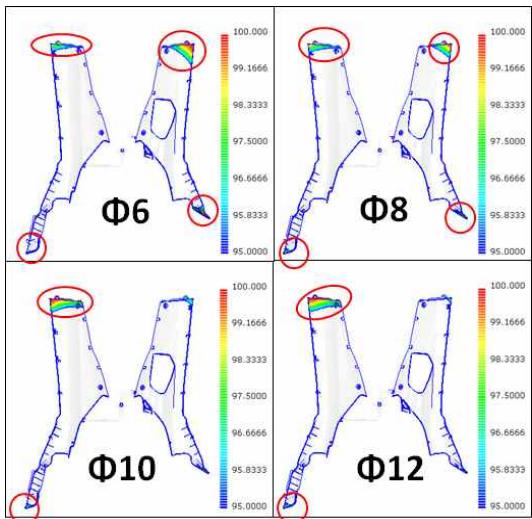


Fig. 10 Flow pattern from 95% to 100%

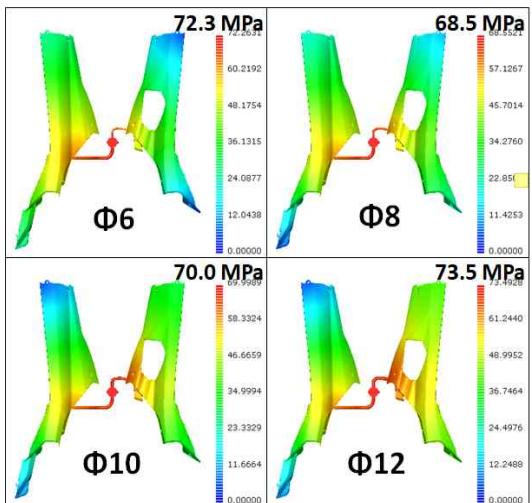


Fig. 11 Pressure according to runner diameter

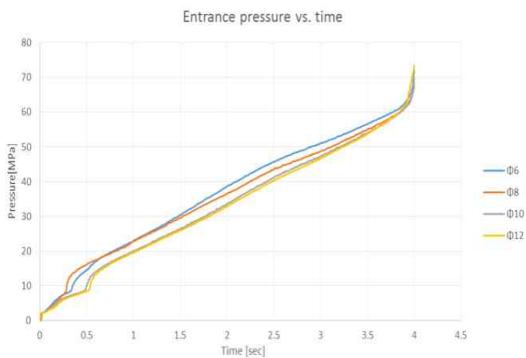


Fig. 12 Entrance pressure vs. time

이는 적절한 러너 직경을 수정하여 유동균형을 얻을 수 있음을 해석을 통하여 확인할 수 있다. Fig. 10 과 Fig. 11은 러너의 직경의 변화에 따른 해석 결과를 나타낸 것으로, 러너 직경 $\varnothing 8\text{mm}$ 에서의 유동균형이 가장 양호하고 압력 또한 최저의 값으로 나타났다.

따라서 Fig. 12의 경우 러너의 직경에 따라 나타나는 게이트의 압력이 4초 이전에서 급격하게 상승하는 것은 충전이 완료된 시점으로서 게이트의 압력과 충전에 따라 나타나는 러너 직경 중 $\varnothing 8\text{mm}$ 러너가 최적의 성형품을 얻는데 가능한 러너 직경이라 할 수 있다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 체적이 서로 다른 다수 캐비티 성형품 생산 시 게이트 위치 및 러너 크기(직경)의 최적화를 통하여 유동균형을 확인하였다. 이러한 해석 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 좌측 성형품에서 사출압력이 가장 낮고 제품의 상·하측에 대한 유동밸런스가 균등한 최적의 게이트 위치를 얻을 수 있었다.
- 2) 우측 성형품은 러너 직경 변경만으로 유동밸런스가 확보되는 것을 검증하였으며, 도출된 러너의 직경에 의해서 성형품 양쪽 코너부에 용융수지가 동시에 충전되고 사출압력이 낮게 도출되어 양산에 유리한 성형조건을 임을 알 수 있었다.
- 3) 유동밸런스 불균형으로 인한 제품의 불량을 사전에 방지하고자 CAE해석을 진행하였으며 이를 바탕으로 적절한 delivery system 설계 치수인 게이트의 위치와 러너의 직경을 제안할 수 있었다.

참고문헌

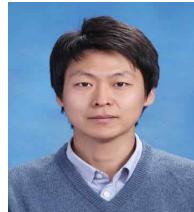
- 1) Ki-Yoon Park, Hyun-Sung Kim, Jin-Hyun Kang, Jong-Chun Park “CAE Analysis and Optimization of Cell Phone Cover Injection Molding”, J. The korea society of manufacturing process engineers, Vol.11, No.2, pp. 60-65, 2012.
- 2) Jacque, M. S., “An Analysis of Thermal Warpage in Injection Molded Flat parts Due to Unbalanced Cooling”, Polymer Engineering and Science, Vol. 22, No. 4, pp. 241-247, 1982.

- 3) Jae-Yeol Jung, Dong-Hak Kang, "A Study on Weldline and Deformation of Molded Parts Using Extruded CAE Analysis", J. Korean Academic Industrial Society, pp. 371-374, 2008.
- 4) Ji-Eun Hwang, Dong-Wook Lee, Jong-Soon Kim, Tea-Ho Kang, "The Analysis of Injection Molding for Electronic Dehumidifier" J. The korea society of manufacturing process engineers, pp. 167-171, 2006.
- 5) Yuan Zhongshuang, Li Dequn, Chen Xing, Ye Xiangao, Gao Xianke, Xiao Jingrong, "Interated CAD/CAE/CAM system for injection molds by intergrating CAE, iterative redesign and feature, Trasactions of the ASME", Journal of Engineering for industry, Vol. 117, pp. 72-77, 1995.
- 6) Jun-Min Kim, Min-young Ryu "Application of CAE to optimize runner size in injection molding", J. The Korean Society For Technology of Plasticity, Vol.15, No.5, pp347-353, 2006.
- 7) Irvin I. Rubin. "Injection Molding, Theory and Practice", John Wiley & Sons, USA, pp. 3-11, 1972.
- 8) D. G Baird, D. I. Collias. "Polymer Processing", John Wiley & Sons, USA, pp. 277-282, 1998.

저자 소개

성 시 명(Si-Myung Sung)

[정회원]



- 2016년 2월: 한양대학교 기계공학과(공학석사)
- 2017년 12월~현재: 한국폴리텍대학 인천캠퍼스 금형공학과, 조교수

< 관심분야 >

사출, 프레스 성형 및 금형설계, CAE해석

정 상 준(Sang-Jun Jung)

[정회원]



- 1996년 8월: 서울산업대학교 금형설계과(공학석사)
- 1992년 8월~현재: 한국폴리텍대학 금형공학과, 교수

< 관심분야 >

사출성형 및 금형설계/제작, 사출성형해석