한국금형공학회지, 제15권 제2호, 2021
J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.15 No.2, 2021 ISSN 2092-9692

파이프(Annular) 형상 제품의 사출성형 조건에 따른 수축 변형에 관한 연구

전대선†
한국폴리텍대학 익산캠퍼스 컴퓨터응용기계과†

A study on shrinkage deformation according to injection molding conditions of pipe (annular) shaped products

Dae-Seon Jeon†
Department of Computer Aided Machinery, Iksan Campus of Korea Polytechnics†
(Received June 14, 2021 / Revised June 28, 2021 / Accepted June 30, 2021)

Abstract: The 3 dimensional Pipe (Annular) Shaped Products was selected as a test sample, then a attribute of a molding shrinkage according to the parameters of a injection process was examined with PC, which is the typical engineering plastic. Both the inside and the outside diameter of the Pipe (Annular) sample were shrank into the inner direction of the part. And then the comparative analysis of the samples proved that a increasing thickness led a bigger shrinkage rate in the equal outside diametric samples , and a decreasing outside diameter caused a bigger shrinkage rate in the same thickness samples. The comparative study of the cushion volume of a injection machine showed that the molding shrinkage was most affected by the pressure strength among the resin temperature, the maintenance pressure strength and the maintenance pressure duration time. Each of the shrinkage rates according to the measuring direction and the gate position was different. As a result, the injection molded sample had not a typical circular shape.

Key Words: Annular Shape, Molding Shrinkage, Injection Mod, Injection Process

1. 서 론

수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데 사출성형 공정 동안 금형 내의 온도와 압력이 변하기 때문에 성형 중에 나타나는 체적의 변화는 피할 수 없는 일이다. 이러한 수축 현상은 수지 온도, 보압 시간, 보압 크기, 금형의 온도 등 사출 성형시 조건에 따라 크게 달라진다. 또한 제품의 두께, 제품의 형상 등 제품의 디자인에 따라서도 달라진다. 그 외 게이트의 종류와 치수, 금형 설계 요소들 사이에서도 큰 영향을 받는다. 성형 수축은 치수정밀도가 높은 제품을 성형할 때 매우 중요하게 여겨지기 때문에 성형 수축에 영향을 주는 요인 등에 따른 연구는 정밀 사출성형에 있어서 매우 중요하다. 그러나 현재 보고 되고 있는 연구는 단편적으로 수지 또는 성형 조건의 변화에 따른 연구로 제한된 범위의 연구가 대부분이다. 또한 ASTM 규격을 D955를 살펴보면 수축 관련 시편들은 2차원 형상의 제품의 관한 내용만 다루어지고 있다. 실제로 사용되고 있는 제품은 2차원 형상보다는 3차원형상이 더 많이 사용되고 있으며, 여러 가지 요소가 복합적으로 작용되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 요구되고 있다.

Lyu 외 2인은 성형조건과 수지의 종류에 따른 사출 성형품의 성형 수축 연구를 통하여, 결정성 수지와 비결정성 수지의 수축률을 비교 실험[1]하였으며, 또한 Lyu 외 1인은 유리섬유가 첨가된 수지에서 사출성형품의 성형수축에 관한 연구를 통하여 유리강화수지 PBT와 PC에 대하여 다양한 조건에서 성형수축에 대하여 연구[2]를 수행하였다.

Han 외 3인은 열가소성 엘라스토머의 기계적 물

† 교신저자: 한국폴리텍대학 익산캠퍼스 컴퓨터응용기계과
E-mail: jds@kopo.ac.kr

성과 수축에 관한연구를 통하여 TPE의 기계적 특성과 수축변화에 대하여 연구하였다[3].

Moon 외 3인은 온도 및 잔류응력을 고려한 플라스틱 부품의 점탄성 해석을 통하여 다양한 조건에서 플라스틱수지의 점탄성 거동에 대하여 연구를 수행하였다[4].

Choi는 단섬유 보강 사출성형품의 휨 감소를 위한 게이트 위치, 성형 조건 및 제품 구조 설계연구를 통하여 단 섬유강화 제품의 섬유 배향과 이방성, 잔류응력에 의한 휨 변형에 대하여 연구를 수행하였다.[5] 그러나 연구 동향을 분석한 결과 단순한 표본에 의한 수축현상과 변형, 수지의 종류에 따른 변형 연구에 대해서는 많은 연구가 수행되고 있으나, 축 대칭을 이루는 원형의 제품에 대해서는 연구가 부족한 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 여러 가지의 3차원 형상 중 가장 많이 사용되고 있는 축 대칭인 파이프 형상을 시편으로 선정하고 PC수지를 이용하여, 수지온도, 보압 시간, 보압 크기와 사출성형 공정변수에 따른 성형수축을 분석하고, 내경과 외경의 수축이 어느 방향으로 발생되는지를 연구 고찰하여 추후 금형설계에 적극 활용하고자 한다.

2. 실험 및 사출성형 해석

2.1. 실험모델

본 연구에서 파이프형상(Annular) 사출 성형품의 수축 현상을 알아보기 위해 사용한 실험 모델로 Fig. 1에 나타내었다.

시편의 외경은 60 mm, 40 mm, 20 mm으로 정하였고, 각 외경에 따른 시편 두께를 1.5 mm, 3 mm, 4 mm로 선정, 총 9개의 시편을 이용하여 실험을 수행하였다. 이와 같이 동일한 두께의 시편을 비교함으로써 외경이 달라짐에 따라 수축이 어떠한 경향을 갖는지 알 수 있고, 같은 외경의 시편들을 비교함으로써 두께가 달라짐에 따라 수축이 어떠한 변화를 가지는지 알 수 있다.

모든 시편의 높이는 40 mm로 동일하게 적용하였으며, 시편의 세부 치수는 Table 1 나타내었다.

2.2. 실험 장비 및 실험 조건

본 연구에서 사출성형을 수행하기 위해 재료는 PC 수지 (삼양사-TRIREX 3025IR)를 사용하였으며, 성형기는 Woo-jin Selex 사출 성형기 (Selex NE-80)

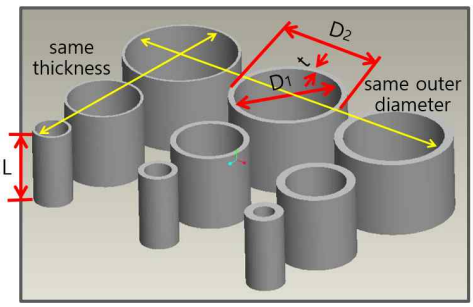


Fig. 1 Shape of annular

Table 1 Dimension of annular specimen [unit : mm]

t	D2/D1	D2/D1	D2/D1	L
1.5	60/57	40/37	20/17	40
3	60/54	40/34	20/14	
4	60/52	40/32	20/12	

를 사용하였다. 사출기의 형체력은 110ton이고 최대 사출용량은 78g이다. 성형 조건의 변수로는 수지온도, 보압 시간, 보압 크기로 정하였다.

먼저 수지온도는 PC 수지 사출 성형 시 가장 많이 사용되는 온도인 295 ℃에서 ±15 ℃로 정하였다. 즉, 280 ℃, 295 ℃, 310 ℃에서 실험을 하였다.

보압은 보충 압력으로 수축을 보상하는 중요한 요소이다. 따라서 보압에 따라 어떻게 수축이 변화하는가를 알아보기 위해 보압 크기와 보압 시간을 변수로 선정하였다.

보압 크기는 시편을 사출 성형 할 때의 최대 사출압력의 70 %, 80 %, 90 %로 선정하였으며 보압 시간은 미성형과 플래시(flash)가 일어나지 않는 범위인 2 sec, 3 sec, 4 sec로 선정하였다.

금형 온도는 금형 온도 조절기를 사용하여 80 ℃로 고정하여 실험하였으며, 실험에 사용된 조건은 Table 2 에 나타내었다.

Table 2 Injection molding conditions

Thickness (mm)	Outside diameter (mm)	Injection pressure (bar)	Injection temperature (℃)	Holding time (sec)	Holding pressure (%)
1.5	60	2550	280	2	70
	40		295	3	80
	20		310	4	90
3.0	60	2250	280	2	70
	40		295	3	80
	20		310	4	90
4.0	60	1800	280	2	70
	40		295	3	80
	20		310	4	90

측정기기는 1/1000 mm까지 측정이 가능한 형상 측정 공구 현미경을 이용하였고, 측정 시간을 정하기 위해 사출 성형 후 24 시간에 걸쳐 3 시간에 한 번씩 시편을 측정하였다. 이 결과 15 시간 이후에는 수축이 거의 이루어지지 않음을 알 수 있었다. 따라서 사출 성형 후 24 시간이 지난 시점에서 성형품의 치수를 측정하였다.

시편은 Fig. 2 와 같이 성형품의 균일한 충진을 위하여 120° 등간격으로 3점 사이드게이트를 선정하였고 사출 성형된 제품은 상측과 하측을 각도 별 (첫 번째 게이트를 기준으로 0 °, 60 °, 90 °)로 측정하였다.

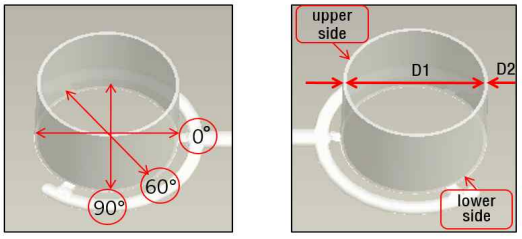
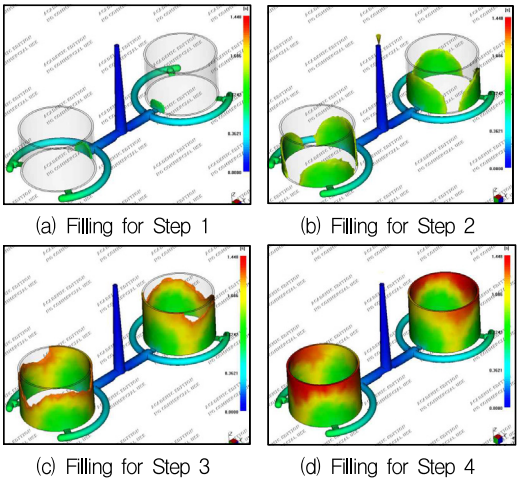


Fig. 2 Shape of measured the position

2.3. 사출성형 해석

파이프형상(Annular)의 충전현상을 모사하기 위해 사출성형해석 전용 프로그램인 Moldflow를 사용하였다. 메쉬는 3D 메쉬를 사용하였고, 해석 조건은 사출 성형실험의 조건과 동일하게 적용하였다.

시편 선정은 외경 60 mm에 두께 1.5 mm와 외경 20 mm에 두께 4.0 mm 두 가지를 선정하여 해석을 하였다.



(a) Filling for Step 1 (b) Filling for Step 2

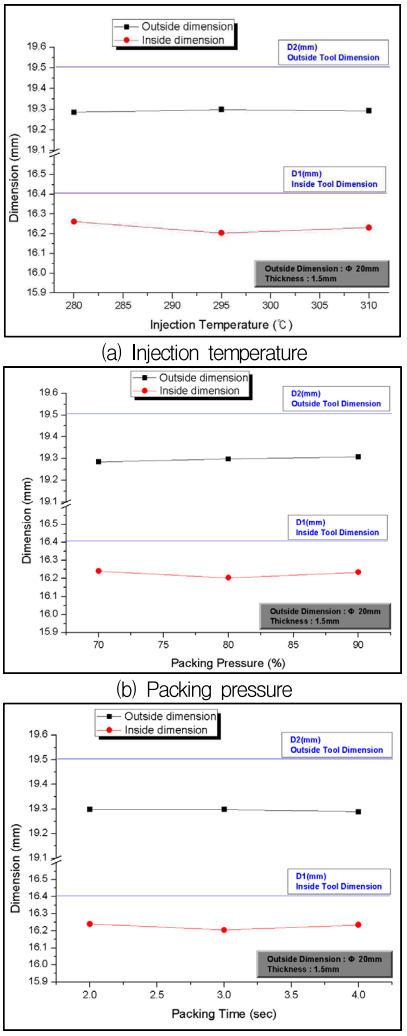
(c) Filling for Step 3 (d) Filling for Step 4

Fig. 3 CAE results of mold filling (D2=60mm, T=1.5mm)

3. 결과 및 고찰

3.1. 성형 조건별 수축

Fig. 4는 외경 20 mm, 두께 1.5 mm시편을 가지고 수지온도, 보압 크기, 보압 시간에 따른 외경과 내경의 치수를 나타낸 그래프이다.



(a) Injection temperature

(b) Packing pressure

(c) Packing time

Fig. 4 Part dimension according to the molding conditions

(a)는 수지온도에 따른 치수 변화로, 금형 치수에 비해 성형품의 내·외경 치수가 모두 감소하였음을 알 수 있다. 수지온도 280 ℃ ~ 295 ℃까지는 치수의 변화가 온도가 높아짐에 따라 외경은 미소량이 증가하고, 내경은 감소하였음을 알 수 있다. 이는

수지 온도가 증가함에 따라 제품 두께가 두꺼워 짐을 의미 한다. 이와 반대로 295 ℃ ~ 310 ℃에서는 외경은 감소하고, 내경은 증가하였다. 이는 310 ℃에서는 고온에 의한 냉각 수축이 커짐에 따라 제품 두께가 얇아지고 있음을 보여주고 있다.

(b)는 보압의 크기에 따른 치수 변화로 보압 크기 70 % ~ 80 % 까지는 치수의 변화가 보압이 커짐에 따라 외경은 증가하고, 내경은 감소하였음을 알 수 있다. 이는 보압 크기가 증가함에 따라 제품 두께가 두꺼워 짐을 의미 한다. 80 % ~ 90 % 에서는 내・외경 모두 증가 되는 것으로 나타났다. 이는 90 % 에서는 보압에 의한 충진 밀도가 커짐에 따라 수축이 적게 되어 전체적으로 제품 크기가 커짐을 알 수 있다.

(c)는 보압의 시간에 따른 치수 변화로 보압 크기에 비하여 제품 치수변화에 큰 영향을 주지 않고 있다. 이는 제품의 치수변동률은 보압 크기에 영향을 받는 인자이고, 보압 시간은 이미 게이트가 고화 된 상태에서는 보압 시간이 지연된다 하더라도 충진 밀도에는 영향을 주지 못하여 결국 제품 치수 변동률에 큰 영향을 주지 못하기 때문이라 사료된다.

(a), (b), (c) 세 그래프를 통해 외경과 내경 모두 실제치수보다 작아졌음을 알 수 있다.

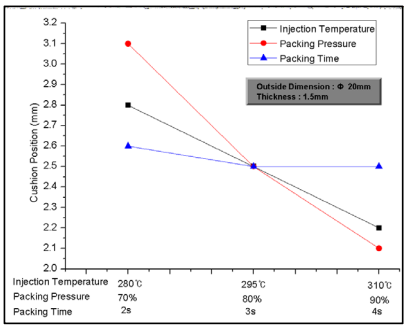


Fig. 5 Part cushion position according to molding conditions

3.2. 성형 조건에 따른 쿠션 위치

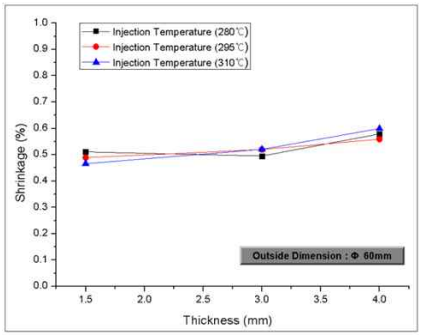
Fig. 5는 외경 20 mm, 두께 1.5 mm 시편의 성형 조건에 따른 사출성형 시 계량과 쿠션량을 보여준다. 이를 비교하면 캐비티 내로 들어간 수지의 양을 구할 수 있다. 여기서 보압 크기가 커짐에 따라 쿠션 위치는 큰 폭으로 변화를 보인다.

보압 시간은 거의 변화를 보이지 않으며 수지 온도는 변화가 있으나 보압 크기에 비해 작은 변화를 보인다. 따라서 보압 크기가 치수 변화에 가장 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

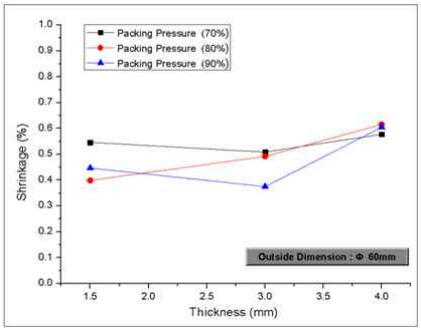
3.3. 시편 형상에 따른 분석

Fig. 6은 외경이 60 mm일 때 성형 조건에 따른 두께별 외경 수축률의 변화를 나타낸 그래프이다.

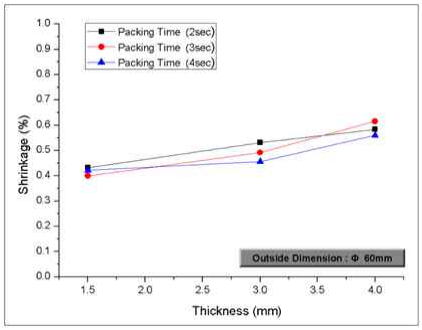
(a)는 수지 온도에 따른 외경의 수축율 변화로, 제품 두께가 증가할수록 수축율이 계속해서 증가함을 알 수 있다. 이는 수지 온도를 변화시켜도 동일하게 발생된다. 즉, 제품 두께가 두꺼울수록 온도에 의한 성형 수축률이 커짐을 알 수 있다.



(a) Injection temperature



(b) Packing pressure



(c) Packing time

Fig. 6 Part shrinkage according to the same outside dimension

(b)는 보압 크기에 따른 외경의 수축률 변화로, 보압 크기가 70 %일 때는 대체로 수축률이 높으며 90 %일 때는 수축률이 낮게 나타났고, 일정 두께 이

상이 되면 보압 크기에 상관없이 수축률이 비슷한 값을 가진다. 이는 1.5 mm의 얇은 두께에서는 보압 크기에 따라 수축에 영향을 크게 받지만 일정 두께 이상이 되면 보압 크기에 따라 영향을 상대적으로 적게 받음을 알 수 있다.

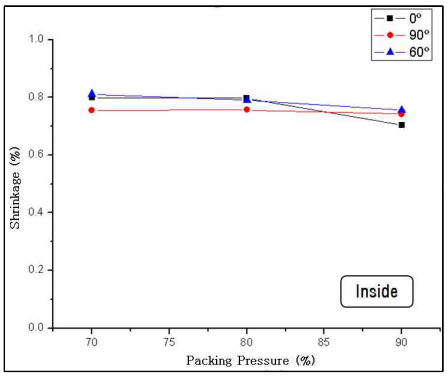
(c)는 보압 시간에 따른 외경의 수축률 변화를 나타낸 그래프이다. 보압 시간에 따른 그래프 역시 수지온도에 따른 수축율 변화와 같이 두께가 증가할수록 수축률이 증가함을 알 수 있다.

3.4. 수축의 이방성

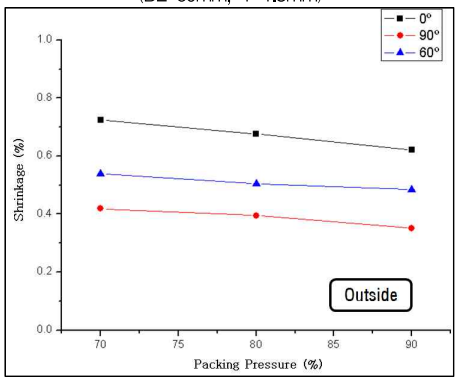
Fig. 7은 외경 60 mm, 두께 1.5 mm의 시편을 보압 크기에 따라 각도 별 외경과 내경의 경향을 나타낸 그래프이다.

그래프를 보면 각도에 따라 서로 다른 수축률을 가진다. 이는 성형 후 게이트 위치별 수축률 차이에 의한 변형이 발생됨을 나타낸다. 이는 성형 해석을 통해서도 알 수 있듯이 1차 메인 런너 부위 즉, 0° 부근에서 전단 변형률이 가장 크고 이에 따라 유동 속도도 가장 빠르게 나타났다. 이로 인해 각각의 게이트에서 충진 속도 차이가 발생되고, 충진 밀도가 상이하게 됨에 따라 수축률 차이가 발생 되고 있다. 특히, 두께가 얇은 1.5mm에서는 외경 치수에 대한 위치별 수축률 편차가 가장 많이 발생하고 있고, 제품의 살 두께가 얇을수록 외경 치수는 게이트 위치에 따른 수축 변형률이 크게 나타난다.

Fig. 8은 두께 변화에 따른 수축 현상을 도시화한 것으로 4.0 mm에서 내측 형상의 진원도가 가장 나쁜 것으로 나타났다.

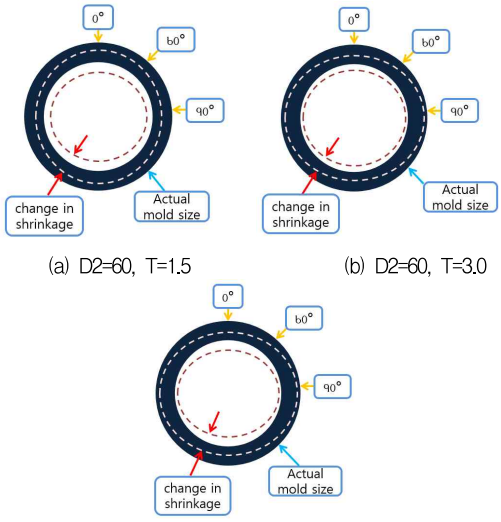


(a) Part inside Shrinkage according to measure position (D2=60mm, T=1.5mm)



(b) Part outside Shrinkage according to measure position (D2=60mm, T=1.5mm)

Fig. 7 Part Shrinkage according to the to measure position



(a) D2=60, T=1.5 (b) D2=60, T=3.0

(c) D2=60, T=4.0

Fig. 8 Part shrinkage shape

4. 결론

사출 성형시 공정변수에 따른 파이프 형상(Annular) 제품의 살두께 변화 및 크기 변화가 수축변형에 미치는 영향을 연구하고, 아울러 성형 조건에 따른 수축 거동의 관계를 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

1) 공정변수에 따른 치수변화를 보면 금형 치수를 기준으로 내경은 0.15 ~ 0.20 mm, 외경은 0.20 mm ~ 0.25 mm로 수축현상이 발생되는 것으로 고찰되었다.

2) 시편간 분석을 통해 동일 외경에서 두께가 증가할수록 수축율은 0.1 ~ 0.2 % 증가하는 경향을 보였으며, 보압 크기에 대한 수축률은 0.2 % 정도로

가장 큰 변화를 보였다.

3) 사출 성형 시 성형 조건에 따른 계량과 쿠션량을 비교한 결과 보압 크기에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

4) 파이프형상(Annular)의 성형품은 측정 각도와 게이트의 위치에 따라 서로 다른 수축률을 가지며, 내·외경 모두 타원 형상으로 불 균일 수축되는 것으로 고찰되었다.

이와같은 결과를 통해, 파이프형상(Annular) 형상의 제품인 경우 제품의 형상 및 크기, 공정조건, 게이트 위치 등에 따라 수축 거동이 다르기 때문에 금형설계시 원하는 치수 정밀도를 갖추기 위해서는 이러한 수축 변동요인을 충분히 고려해야 하며, 특히 진원도를 확보하기 위해서는 제품의 두께를 너무 두껍지 않게 적정한 두께로 결정 해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1) M. Y. Lyu, J. H. Mo, W. J. Chung, “Shrinkage in Injection Molded Part for Operational Conditions and Resins”, Elastomer, vol,38, No.4, pp. 295-302, 2003.
2) M. Y. Lyu, J. H. Mo, “Investigation of the Part Shrinkage in Injection Molding for Class Fiber Reinforced Thermoplastics”, Journal of the Korean society for technology of plastics, v.13 no.6, pp. 515-521, 2004.
3) S. R. Han, J. H. Kin, S. G. Jeon, Y. D. Jeong, 2007 “A Study on the Mechanical Properties and Shrinkage of Thermoplastic Elastomer”, Journal of the Korean society for technology of plastics v.16 no.1=no.91, pp. 36-41, 2007.
4) H. I. Moon, C. W. Choi, K. S. Jeong, H. Y. Kim, “Thermal Viscoelastic Analysis of Plastic Part Considering Residual Stress”, Journal of the Korean society for technology of plastics v.17 no.7=no.105, pp. 496-500, 2008.
5) C. D. Choi, “Design of Gate Locations, Molding Conditions, and Part Structure to Reduce the Warpage of Short-Fiber Reinforced Injection Molded Part”, Journal of the Korean society for technology of plastics v.17 no.6 = no.104, pp. 443-448, 2008.

저자 소개

전 대 선 (Dae-Seon Jeon) [정회원]

- 2010년 2월 : 서울과학기술대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2002년 8월~2007년 3월 : LS 오토모티브 금형설계팀 주임연구원
- 2021년 2월~현재: 한국폴리텍대학 익산캠퍼스 컴퓨터응용기계과, 조교수

< 관심분야 >
사출성형 및 금형