

Moldflow를 이용한 인라인스케이트 프레임의 사출성형공정에 관한 연구

이형우¹ · 박철우[†]

(원고접수일 : 2009년 7월 14일, 원고수정일 : 2010년 1월 8일, 심사완료일 : 2010년 3월 22일)

A Study on the Injection Molding Process of Inline Skate Frame Using Moldflow

Hyoung-Woo Lee¹ · Chul-Woo Park[†]

요 약 : 플라스틱 재료를 사용한 가공법 중에서 가장 보편적인 가공법이 사출성형이다. 플라스틱 재료의 활용도는 지속적으로 증가하고 있으며, 신소재 등의 개발로 그 적용범위 또한 확대되고 있다. 사출성형에서 수축현상은 수지의 종류, 즉 결정성 수지인지 비결정성 수지인지에 따라 크게 다르게 나타나며 사출성형시의 운전조건에 따라서도 다르다. 본 연구에서는 Al합금으로 제작되고 있는 인라인 스케이트의 프레임입을 플라스틱 재료로 대체하기 위한 최적화 공정에 관한 것이다. 금형설계 전 해석을 통하여 성형공정이 최소화되는 런너와 게이트의 치수와 형상을 결정하겠다. 런너와 게이트의 치수 변화에 따른 제품의 사출성형성을 알아보겠다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 사출성형해석용 소프트웨어인 Moldflow를 이용해서 해석을 수행하였다.

주제어 : 사출성형, 수축, 인라인스케이트, 몰드프로, 유한요소법

Abstract: Injection molding process is one of the most important methods to produce plastic parts with high efficiency and low cost. Today, injection molded parts have been increased dramatically the demand for high strength and quality applications. In this study, In-line skates are made of Al alloy and plastic materials to replace the frame for the optimization process is all about. I interpreted through mold design, Injection molding process that minimizes the runner and the gate dimension will determine the size and shape. Runner and gate dimensions of change based on availability of the product, I'll discuss the injection molding. This report investigates that the optimum injection molding condition for minimum of shrinkage. The FEM Simulation CAE tool, Moldflow, is used for the analysis of injection molding process.

Key words: Injection molding, Shrinkage, Inline skate, Moldflow, FEM

1. 서 론

플라스틱재료를 사용한 가공법 중에서 가장 보편적인 가공법이 사출성형이다. 플라스틱 재료의 활용도는 지속적으로 증가하고 있으며, 신소재 등의 개발로 그 적용범위 또한 확대되고 있다. 기계부품

중 금속재료들의 경제성 및 생산성 향상을 위해 플라스틱으로 대체되는 경우가 많아지고 있다. Y. Choi[1]는 자동차용 알루미늄 다이캐스팅 부품 및 프레스 부품이 플라스틱으로 바뀌어 가고 있다. 기계적 강도 및 내구성이 우수한 플라스틱재료가 알

[†] 교신저자(한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터, E-mail:p016535@empas.com, Tel: 042-869-0786)

¹ 부산대학교 기계공학부

루미늄을 대체하고 있다. C. W. Park[2]은 철판으로 만들어지는 세탁기용 케이스를 ABS(BASF, GP-35)로 대체하는 사출해석을 수행하였다. 사출성형변수로는 보압과 보압시간의 변화에 따른 제품의 성형성을 평가하였다. 사출성형공정은 저렴한 비용으로 복잡한 형상의 플라스틱 제품을 대량으로 신속, 정밀하게 생산할 수 있는 제조공정이다[3]. 사출성형으로 플라스틱 제품의 생산량이 증가함에 따라 불량률도 높아지고 있다. 불량률의 원인은 웰드라인(weld line), 싱크(sink), 미충전(soft shot), 취성(brittleness), 유동자국(flow marks), 휨(warpage), 공기 갇힘(air traps)등이 있으며 특히 금형 내에서의 성형수축은 성형품의 변형, 잔류응력 및 치수 오차들의 여러 가지 문제를 야기시킬 수 있다[4~6]. 사출성형에서 수축현상은 수지의 종류, 즉 결정성 수지인지 비결정성 수지인지에 따라 크게 다르게 나타나며 사출성형시의 운전 조건에 따라서도 다르다[7,8].

본 연구에서는 AI합금으로 제작되고 있는 인라인 스케이트의 프레임에 플라스틱 재료로 대체하기 위한 최적화 공정에 관한 것이다. 금형설계 전 해석을 통하여 성형공정이 최소화되는 런너와 게이트의 치수와 형상을 결정하겠다. 런너와 게이트의 치수 변화에 따른 제품의 사출 성형성을 알아보겠다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 사출성형해석용 소프트웨어인 Moldflow를 이용해서 해석을 수행하였다.

2. 본 론

Figure 1은 인라인스케이트의 제품 형상을 나타내고 있다. 제품의 크기는 75× 350[mm]이며 부위별 단면적이 차이가 많이 나고 있다. 아랫부분은 바퀴가 4개 장착되는 곳이며, 윗부분으로는 부츠가 장착되는 곳이다.

2.1 사출성형공정의 개요

Figure 1은 사출성형 공정을 나타내고 있다. 가소화단계(plasticization phase)는 중력 혹은 기계적인 방법으로 호퍼에 주입된 수지가 스크류의 회전과 병진운동으로 배럴을 따라 진행하면서 열에 의해서 용융되는 단계이다.

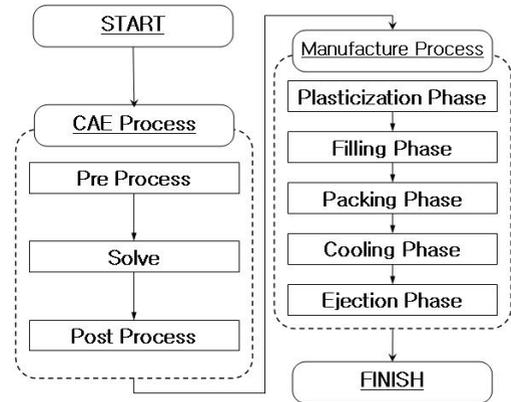


Figure 1: Flowchart of the injection molding process

충진단계(filling phase)는 스크류 구동장치에 연결된 유압실린더가 용융된 수지를 스크류를 통하여 캐비티(cavity)에 연결된 런너와 게이트를 통하여 캐비티를 채우는 과정이다. 보압단계(holding phase and packing phase)는 냉각을 통한 수지의 수축률을 보상하기 위해 수지가 고화되어 유동성이 없어질 때까지 압력을 고압으로 유지시켜준다. 냉각단계(cooling phase)는 냉각수에 의한 열 방출로 수지가 냉각되는 단계이다. 취출단계(ejecting phase)는 이젝트 핀에 의해서 제품이 금형에서 취출 되는 단계이다.

2.2 시뮬레이션

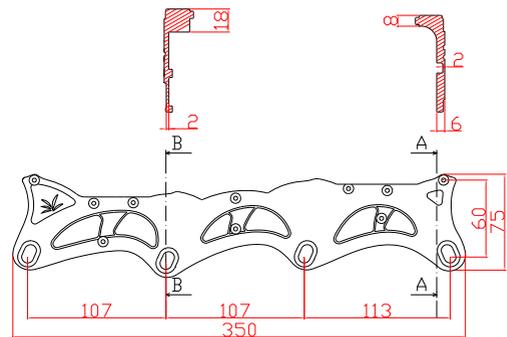


Figure 2: A sample drawing of inline skate Frame

본 연구에서는 제품의 제작 이전에 사출성형해석 프로그램을 이용해서 제품의 성형성 및 최적의 런

너와 게이트의 설계를 위해서 해석을 수행하였다. 인라인스케이트 프레임은 NX를 이용해서 모델링을 하였다. 본 인라인스케이트의 단면적이 일정하지 않아서 Mid plane mesh 보다는 Fusion mesh가 해석에서 정확하므로 Fusion mesh를 이용하였다[9]. **Figure 2**의 단면 A-A, B-B 부분을 보면 잘 나타나 있다.

2.2.1 런너 및 게이트 설계

에지 게이트(edge gate)는 가장 기본적인 게이트 방식이다[10]. M. Y. Lyu[11]는 게이트 크기 변화에 따른 성형수축의 정도를 연구하였다. 본 연구에서는 인라인 스케이트에 응용할 수 있는 게이트의 형상과 게이트의 숫자 및 런너의 개수를 설계 변수로 하여서 해석을 수행하였다. 런너(runner)는 원형 단면적을 가지고 있다. **Table 1**은 런너와 게이트의 설계변수를 나타내고 있다. 게이트의 치수는 살 두께의 70~80 %가 적당하다[12]. 인라인스케이트 프레임의 부피는 [95 cm³]이며, POM[Dupont, Delrin 500p]의 밀도는 [1.19 g/cm³]이다. 프레임의 무게는 113[g] 이다. 런너의 설계지름은 5~7 [mm]이다[13]. **Table 2** 는 런너와 게이트의 형상치수를 나타내고 있다.

Table 1: Processing parameters of runner and gate

	Gate type	Gate number start(mm)-end [mm]	Runner number [mm]
Case 1	Edge type	1 [1-5]	1 [5]
Case 2	Edge type	2 [1-5]	1 [5]
Case 3	Edge type	3 [1-5]	1 [5]

Table 2: Processing parameters of runner and gate

	Gate diameter start(mm) - end(mm)	Runner diameter [mm]
Case 4	2 - 5	5
Case 5	3 - 5	5
Case 6	1 - 5	6
Case 7	1 - 5	7

2.2.2 사출성형 재료의 선정

인라인스케이트 프레임은 내충격성과 강도가 높아야 한다. 기계부품에 많이 사용하고 있는 ABS/PC재질과 기어(gear)류 제작에 사용되는 베크라이트(peek), 내충격성이 높은 아세탈(acetal) 재질을 선택했다. ABS/PC[20℃, 아이조드 충격강도 98 Kgf-cm/cm²] 수지는 비결정성 엔지니어링 열가소성수지로서 높은 충격강도, 치수안정성이 높은 원료이다. 아세탈[20℃, 아이조드 충격강도 108 Kgf-cm/cm²] 수지는 결정성 엔지니어링 열가소성 플라스틱수지이다[14]. **Table 3**은 사출성형 재료의 물성치를 나타내고 있다.

Table 3: Physical property of ABS/PC, PEEK and ACETAL

		Case 8	Case 9	Case 3
Name		ABS/PC	PEEK	ACETAL
Manufacturer		Diamond	Victrex	Dupont
Commercial		FC-30 Grey	150CA30	Delrin500p
Density [g/cm ³]	Melt	1.16	1.12	1.19
	Solid	1.27	1.37	1.45
Ejection tem. [℃]		109	315	118
Transition tem. [℃]		115	330	140
Melt Tem. [℃]	Min.	230	150	210
	Max.	260	190	221
Shear stress [MPa]		0.4	0.5	0.45
Shear rate [1/s]		40,000	10,000	40,000

2.3 시뮬레이션 조건

2.3.1 런너 및 게이트 설계

Table 4는 사출성형의 성형온도를 나타낸다. Dupont사의 Delrin500p(Case 3)재료를 이용해서 해석을 수행하였다. 에지 게이트의 형상은 원형(∅1mm × ∅5mm × 10mm)이다. 런너(∅5mm × 100mm)는 원형 단면이다. **Table 1**과 **Table 2**의 조건을 이용해서 게이트와 런너의 변수를 이용해서 해석을 수행하겠다.

Table 4: Mold Injection conditions of Moldflow

Mesh model	Fusion mesh	
	Mesh number	21,332
	Aspect ratio [%]	79
	Mesh volume [cm ³]	95
	Mesh area [cm ²]	629
Molding condition	Mold tem.[°C]	89
	Material tem.[°C]	215

2.3.2 사출성형 재료의 선정

Case 3의 게이트와 런너 설계변수를 이용해서 인라인스케이트 프레임의 성형성을 알아보았다. **Table 5**는 재료별 금형과 재료의 추천 설정온도를 나타내고 있다.

Table 5: Mold Injection conditions of Moldflow

Name		ABS/PC	PEEK	ACETAL
Molding Condition	Mold Tem.[°C]	32	170	89
	Material Tem.[°C]	231	380	215

3. 결과 및 고찰

3.1 런너 및 게이트 설계

에지 게이트(edge gate type)의 개수에 따른 인라인스케이트 프레임의 충전 시간(Fill time)을 **Figure 3**에서 나타내고 있다. 에지 게이트(edge gate type)의 개수에 따른 인라인스케이트 프레임의 충전 시간(Fill time)을 **Figure 3**에서 나타내고 있다. Case 1은 2.881[s], Case 2은 2.79[s], Case 3은 2.745[s]의 충전 시간이 소요된다. 체적수축률(volumetric shrinkage)은 보압, 냉각 과정에서 각 부위의 온도 이력과 압력 이력에 의하여 결정된다. 냉각속도가 빠를수록 압력이 클수록 수축률은 작아진다. 체적수축률의 [+]값은 수축을 의미하고 [-]값은 팽창을 의미한다. 게이트의 개수가 증가할수록 체적 수축률이 낮아지고 있다. 체적 수축률은 제품의 영역별 체적수축률로써 냉각속도가 빠를수록 수축률이 작아진다. Case 3은 Case 1,

Case 2보다 충전 시간이 짧게 소요되기에 전체적으로 제품이 일정하게 냉각이 된다. **Figure 4**는 체적 수축률 값을 나타내고 있다.

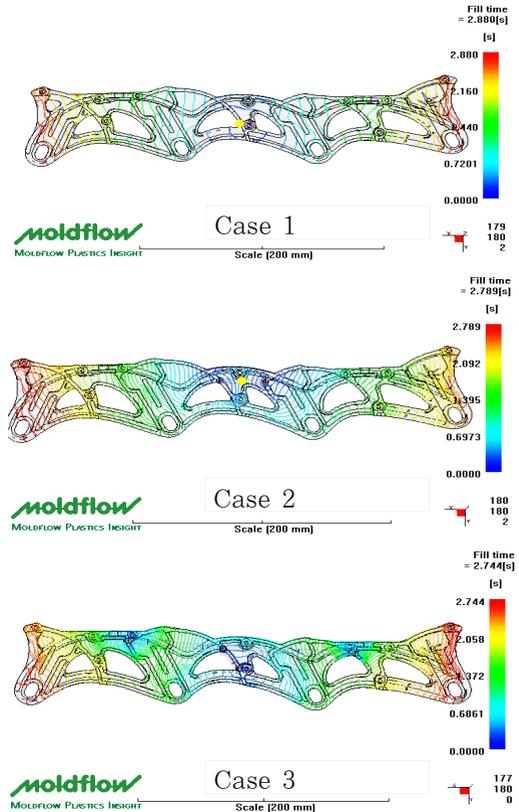
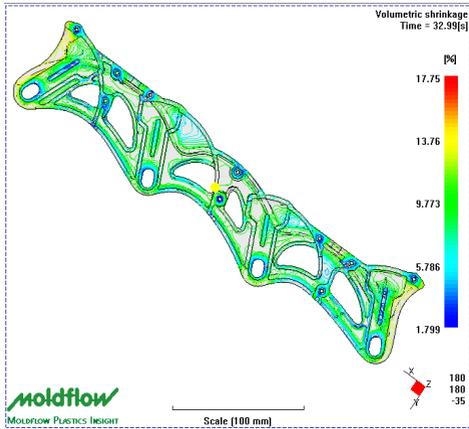
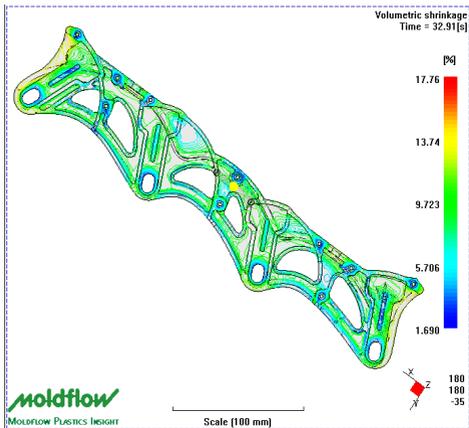


Figure 3: The result of fill time analysis [Case 1, Case 2, Case 3]

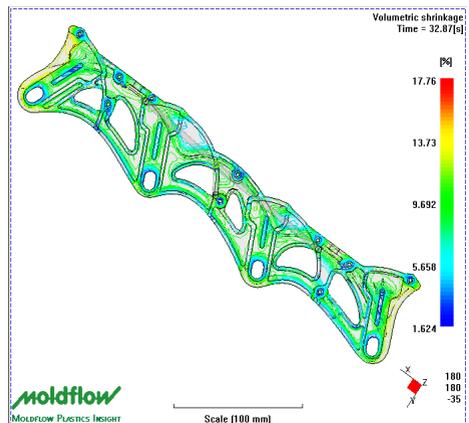
게이트와 런너의 지름이 변함에 따른 제품 성형시 요구되는 최대 사출압력을 **Figure 5**에 나타내고 있다. 게이트의 입구 지름(Case 3 = 1mm, Case 4 = 2mm, Case 5 = 3mm)이 증가 할수록 사출압력은 감소하고 있다.(Case 3 = 61MPa, Case 4 = 59MPa, Case 5 = 58MPa) 런너의 지름(Case 3 = 5mm, Case 6 = 6mm, Case 7 = 7mm)이 증가 할수록 사출압력은 감소하고 있다.(Case 3 = 61MPa, Case 6 = 49MPa, Case 7 = 40MPa) 본 해석의 결과로써 사출기의 용량이 작다면 게이트의 지름을 증가하는 것보다는 런너의 지름을 증가하는 것이 사출압력의 감소에 효과적이다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Figure 4: The result of volumetric shrinkage analysis

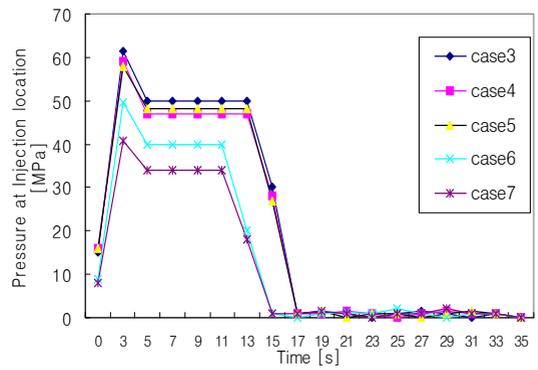


Figure 5: The result of pressure analysis [Case 3, Case 4, Case 5, Case 6, Case 7]

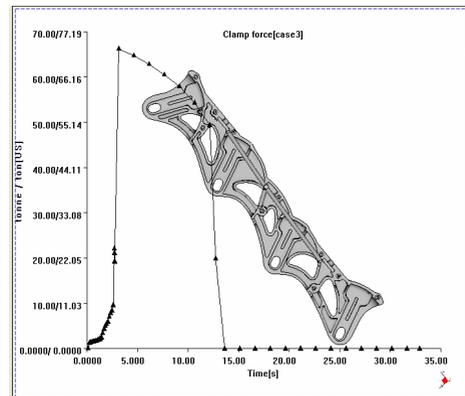


Figure 6: The result of Clamp force [case3]

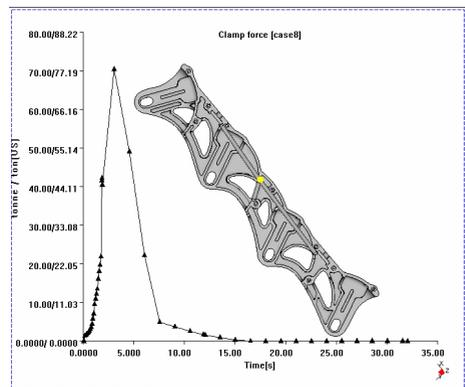


Figure 7: The result of clamp force [Case 8]

3.2 재료선정

형체력($F = \text{clamping force}$)은 사출 성형 공정 때 금형에 가해지는 사출력에 의해서 금형이 밀

리는 것을 방지하기 위해서 금형을 닫아 주는 힘이 다. 형체력은 사출력에 의해서 금형이 밀리는 것을 방지하기 위해서 금형을 닫아 주는 힘이다[10]. **Figure 6**은 Case 3에 대한 형체력 분포를 나타내고 있다. 아세탈(Acetal)재질은 충전 시간 동안 제품의 형체력이 균일하게 발생하고 있다. **Figure 7**은 Case 8에 대한 형체력 분포를 나타내고 있다. Case 8은 최고 형체력(70 tone) 이후 급격하게 형체력이 감소하고 있다. 캐비티 내부의 평균사출압력의 감소가 형체력의 감소로 이루어지고 있다. 형체력이 급격하게 감소하게 되면 제품의 보압 단계적으로 가져야한다. 보압을 단계적으로 주지 않는다면 제품의 미성형 부분이나 수축에 의한 미성형이 발생할 수 있다. Case 9의 형체력(130 tone)의 크기가 너무 높게 나타나고 있다. 형체력이 높을 경우에는 플래시(flash)가 발생할 가능성이 있으며, 유동 끝단에서 미성형이 발생할 수 있다. 따라서 과도하게 높은 보압은 대형 제품에서는 형체력을 크게 상승시키므로 다단 보압에서 적절한 초기 보압을 선정하여야 한다. **Figure 8**은 Case 9에 대한 형체력을 나타내고 있다. Case 8과 Case 9는 다단의 보압단계를 가져야 한다.

$$F = \text{캐비티 내부 평균압력} \times \text{제품의 투영면적} \quad (1)$$

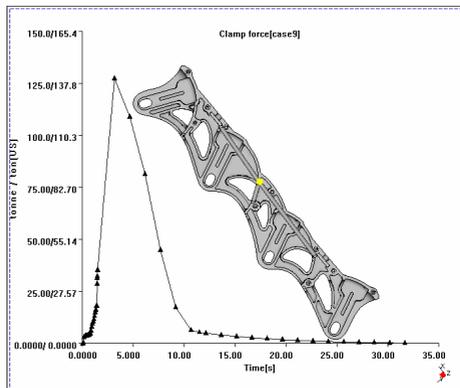


Figure 8: The result of clamp force [Case 9]

4. 결 론

본 연구에서는 런너와 게이트의 설계 변수에 따

른 인라인스케이트 프레임의 사출성형해석을 적용하였다. Moldflow 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션 해석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 게이트의 개수 : 게이트의 개수에 따른 충전 시간은 Case 1은 2.881[s], Case 2는 2.79[s], Case 3은 2.745[s]가 소요된다. 게이트의 개수가 증가할수록 제품의 충전 시간은 짧게 된다.
- 2) 게이트의 지름 변화 : 게이트 지름이 증가할수록 사출압력은 감소한다.(Case 3 = 61MPa, Case 4 = 59MPa, Case 5 = 58MPa)
- 3) 런너의 지름 변화 : 런너 지름이 증가할수록 사출압력은 급격히 감소한다.(Case 3 = 61MPa, Case 6 = 49MPa, Case 7 = 40MPa)
- 4) 형체력 변화 : ABS+PC, PEEK, ACETAL에 따른 형체력의 변화는 ABS+PC는 보압의 단계를 가져야한다. PEEK는 형체력이 높아서 플래시가 발생할 수 있다. ACETAL은 가장 좋은 형체력의 변화를 가지고 있다.

참고문헌

- [1] Y., Choi, Y., Lee, "The effect of discharge condition on mechanical properties of injection moldings," Journal of Korean Society of Machine Tool Engineers, vol. 6, no. 1, pp. 84-91, 1997.
- [2] C. W. Park, "A study on the injection molding process of the case of drum type washer using moldflow", J. of the Korean Society of Marine Engineering, vol.33, no.1, pp. 369-375, 2009.
- [3] Seong Kwun Ahn, "Optimization of Warpage of ABS Injection Molding Part using Design of Experiments", Hanyang University Graduate Master degree, 2007.
- [4] 민병현, "실험계획법에 의한 플라스틱 풀리의 사출성형공정에 관한연구", 동의대학교 산업기술연구소, vol 13, pp. 145~149, 1999.

- [5] Jung Hyuk Mo, "A Study on the Part Shrinkage for Different Resins and Various Operational Conditions in Injection Molding", Seoul National University of Technology Master degree, 2003.
- [6] Sang Do Jang, "The Analysis of Cell Phone Housing by Moldflow Software", Hanyang University Graduate Master degree, 2002.
- [7] M. Fujiyama and T. Wakino, "Molecular orientation in injection-molded polypropylene copolymers with ethylene", Intern. Polymer Processing, vol. 7, no 159, 1992.
- [8] N. Prabhu, J. Schultz and S. G. Advani, "Role of coupling microscopic and macroscopic phenomena during the semicrystalline polymers", Polymer Engineering and Science, vol. 41, no. 1871, 2001.
- [9] 정영득, 예제로 쉽게 배우는 사출성형CAE, 도서출판인터비전, 2008.02.10.
- [10] Y. D. Jung, "Computer aided engineering moldflow MPI 6.0-6.1", Intervisionpub, 2008.
- [11] M. Y. Lyu, J. H. Mo, and W. J. Chung, "Shrinkage in injection molded part for operational conditional and resins", Elastomer, vol. 38, no. 4, pp. 295-302, 2003.
- [12] 신남호, 오희성, 강승규, The Optimization of Injection Modeling Process by CAE, 대광서림, 2007.
- [13] 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 사출성형 CAE 설계지침, 문운당, 2007.
- [14] 노원기, 정진수, 황규선, World Best를 위한 사출성형과 제품설계, 교보문고, 2007.

저 자 소 개



박철우(朴哲雨)

2001년 경일대학교 기계공학과 졸업
 2006년 부산대학교 공과대학 정밀기계공학과 졸업(공학박사)
 2009년 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터 선임연구원



이형우(李炯佑)

1999년 부산대학교 대학원 생산기계공학과 졸업(공학박사), 2009년 기계기반융합부품소재인재양성센터 교수, 2009년 한국마린엔지니어링학회 편집위원