

유한요소해석을 이용한 인라인스케이트 프레임의 사출성형해석 및 구조해석에 관한 연구[§]

박 철 우*†

*한국과학기술정보연구원, 슈퍼컴퓨팅센터

Injection Molding and Structure Analysis of Inline Skate Frames Using FEA

Chul Woo Park*†

* Korea Institute of Science and Technology Information, Supercomputing Center

(Received April 12, 2011 ; Revised August 12, 2011 ; Accepted August 24, 2011)

Key Words : Inline Skate(인라인 스케이트), Injection Molding(사출성형), FEM Simulation(FEM 시뮬레이션), Structure Analysis(구조해석), Moldflow, ANSYS

초록: 플라스틱 재료를 사용한 가공법 중에서 가장 보편적인 가공법이 사출성형이다. 오늘날에는 플라스틱 재료의 활용도는 지속적으로 증가하고 있으며, 신소재 등의 개발로 그 적용범위 또한 확대되고 있다. 인라인 스케이트는 4 가지 구성품으로 이루어진다. 그 4 가지 구성품은 부츠, 프레임, 휠, 브레이크로써 프레임이 가장 중요한 부품이다. 사출 재질에 변화에 따른 사출 성형성을 알아보았다. 런너와 게이트의 치수 변화에 따른 제품의 사출 성형성을 알아보았다. 본 연구에서는 Moldflow 를 이용해서 사출성형 해석을 수행하였다. ANSYS 를 이용해서 구조해석을 수행하였다.

Abstract: Injection molding is the most commonly used process that uses plastic material. Today, the uses of plastic material are continuously increasing, and the range of application is also being extended by the development of novel materials. An inline skate consists of 4 components: the boot, frame, wheel and brake. Among these components, the frame is the most critical. The injection formability for a variety of injection materials for inline skate frames was studied. We also studied the injection formability of the product for various sizes of the runner and gate. In this study, injection molding analysis was performed using MOLDFLOW, and structural analysis was performed using ANSYS.

1. 서 론

인라인 스케이트(In-line skate)는 운동용(Fitness), 크로스 트레이닝용(Cross training), 경주용(Racing), 길거리용(Road), 하키용(Hockey), 비포장도로용(Off-load) 등으로 나뉘며 각각의 용도에 맞게 신발 형상, 재료, 프레임, 바퀴사이즈 등이 조금씩 다르게 되어 있다.⁽¹⁾ 과거 알루미늄을 이용해서 프레임을 제작하였다. 그러나, 인라인 스케이트의 제품 고급화를 하면서 프레임 및 형상의 설계에 더욱더 치중하고 있다. 제품의 경량화를 위해서 플

라스틱의 사용이 증가하고 있다. 플라스틱의 기술이 발전하면서 플라스틱재료를 사용한 가공법 중에서 가장 보편적인 가공법이 사출성형이다. Y. Choi⁽²⁾는 자동차용 알루미늄 다이캐스팅 부품 및 프레스 부품이 플라스틱으로 바뀌어 가고 있다고 주장하였다. C. W. Park⁽³⁾은 철판으로 만들어지는 세탁기용 케이스를 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene copolymer, 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.⁽⁴⁾ 사출성형에서 수축현상은 수지의 종류, 즉 결정성 수지인지 비결정성 수지인지에 따라 크게 다르게 나타나며 사출성형시의 운전조건에 따라서도 다르다.^(5,6) 또한 금형에서

§ 이 논문은 2011 년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회(2011. 4. 14.-15., SETEC) 발표논문임

† Corresponding Author, p016535@empas.com

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers



Fig. 1 An example of inline skate

게이트의 크기에 따라서도 다양하게 나타나고 있다. 정하중은 시간의 변화에 관계없이 일정한 크기로 영구적으로 작용하는 하중을 의미한다. 동하중은 시간의 현실적인 하중을 의미한다. 정하중을 받는 구조물은 평형위치에서 정지에 의해서 변형한다. 동하중을 받는 구조물은 시간적인 변화에 의한 진동이 발생하게 된다. 실제 구조물이 받는 하중은 동하중임에도 불구하고 해석의 편리함과 비용의 절감 등의 이점 때문에 구조물을 정적으로 해석하는 경우가 많다.⁽⁷⁾ 본 연구에서는 알루미늄 합금으로 제작되고 있는 인라인 스케이트의 프레임에 플라스틱 재료로 대체하기 위한 사출공정에 대한 해석을 연구하겠다. 인라인 스케이트에 작용하는 하중의 변화에 따른 구조해석을 수행하겠다. 본 연구는 사출성형용 소프트웨어인 Moldflow 를 이용해서 사출성형해석을 수행하였고, 구조해석을 위해서는 구조해석용 소프트웨어인 ANSYS 를 이용해서 수행하였다.

2. 본 론

2.1 인라인 스케이트의 개요

인라인 스케이트는 부츠, 프레임, 휠, 브레이크 등으로 구성된다. 부츠는 하드 부츠와 소프트 부츠로 2 종류가 있다. 하드부츠는 ABS 재질에 카본 재질을 혼합하여 사용하고 겨울철에 흔히 볼 수 있는 스키부츠와 유사한 형태이다. 소프트 부츠는 고가이나 제품자체가 가벼워서 발목의 움직임이 자연스러운 장점과 부츠의 재질이 인조피혁, 천을 사용하므로 통풍성이 좋다. 프레임은 부츠와 휠을 연결해주는 중요한 장치로써 알루미늄, 티타늄, 카본등이 사용된다. 휠은 인라인 스케이트의 바퀴를 가리키며, 바퀴 재질 특성과 용도에 따른 여러 종류가 있다. 브레이크 패드는 일반적으로 왼쪽에 브레이크가 장착되어 있다.⁽¹⁾

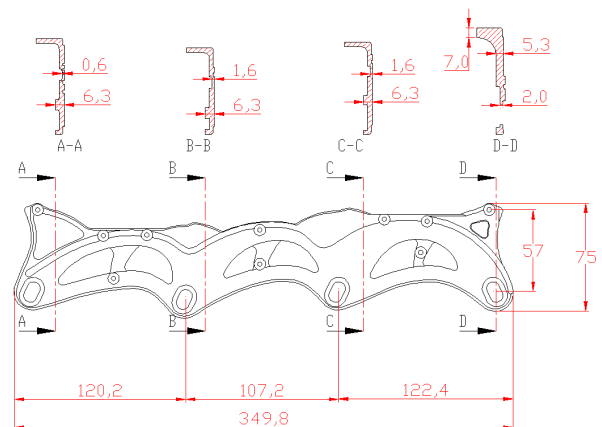


Fig. 2 Cross-section and drawing of inline skate frame

2.2 사출성형해석

Fig. 2 는 인라인 스케이트의 제품 형상을 나타내고 있다. 제품의 크기는 75[mm] × 350[mm]이며 부위별 단면적의 차이가 많이 나고 있다. 사출성형 공정은 충전단계(filling phase), 보압단계(holding phase and packing phase), 냉각단계(cooling phase), 취출단계(ejecting phase)로 나뉘어진다. 충전단계는 사출기 스크류가 전진되어 용융된 수지가 금형내로 충전되는 단계이며, 보압단계는 스크류는 계속 전진상태로 유지되면서 플라스틱이 용융상태에서 냉각 후 고체상태로 변화하면서 체적이 감소하는 단계이다. 냉각단계는 성형품이 금형 캐비티 내에서 취출할 수 있을 정도의 강도를 가질 때 까지 일정한 냉각시간이 필요한 단계이다. 취출단계는 금형을 개폐한 이후 캐비티 내에서 플라스틱 성형품을 취출해내는 단계이다. 인라인 스케이트의 단면적이 일정하지 않기에 Mid plane mesh 보다는 Fusion mesh 가 해석에서 정확하기에 Fusion mesh 를 이용하였다.⁽³⁾ Mid plane mesh 는 3D 모델을 중립면 형태로 바꾸는데 많은 시간과 노력이 필요하다. 그러나 중립면의 완성 이후에는 두께 변경과 형상 변경이 용이한 메쉬(mesh) 형태이다. Fusion mesh 는 3D 모델을 그대로 사용하므로 형상변경이 필요 없어 중립면 메쉬의 작성에 비하여 편집 작업시간은 1/5 ~ 1/10 정도로 줄일 수 있다. 그러나 상하 메쉬의 매칭(matching)정도에 따라 변형해석의 결과에 차이가 발생한다. Fig. 2 의 단면도를 보면 단면적의 변화가 큰 것을 알 수 있다.

2.2.1 사출성형 재료 변수

인라인 스케이트 프레임은 내충격성과 강도가 높아야 한다. 프레임 재료는 기계부품에 많이 사용하고 있는 ABS/PC, 기어류 제작에 사용하고 있는

PEEK(Poly Ether Ether Ketone), 내충격성이 높은 POM(Polyoxymethylene) 재질 3 가지를 선택했다. ABS/PC[20℃, 아이조드 충격강도 98 Kgf-cm/cm²] 수지는 비결정성 엔지니어링 열가소성수지로서 높은 충격강도, 치수안정성이 높은 원료이다. 아세탈(Acetal)[20℃, 아이조드 충격강도 108 Kgf-cm/cm²] 수지는 결정성 엔지니어링 열가소성 플라스틱수지이다. Table 1 은 사출성형 재료의 물성치를 나타내고 있다. Mesh volume 는 인라인스케이트의 메쉬 이후의 체적을 나타내며, Mesh area 는 인라인스케이트의 메쉬 이후의 표면적을 나타낸다. Mold tem 은 금형의 표면온도를 나타내며, Material tem 은 사출성형 재료의 온도를 나타내고 있다. 런너는 용융수지가 제품의 형상과 연결되어 이동하는 경로이다. 게이트는 용융수지가 캐비티로 들어가는 작은 통로로써 제품의 표면에 자국 없이 제품으로부터 쉽게 분리될 수 있어야 한다. 게이트의 형상은 스프루게이트(sprue gate), 탭게이트(tab gate), 엣지게이트(edge gate), 오버랩 게이트(overlap gate) 등이 있다. 사출장비에서 게이트와 런너(runner)를 지나 사출제품의 형상을 완성하게 된다.⁽⁸⁾ 엣지타입(Edge type)의 게이트 3 개와 1 개의 런너를 사용하였다. 엣지 게이트의 형상은 원기둥형($\varnothing 1\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$)이다. 런너($\varnothing 5\text{mm} \times 100\text{mm}$)는 원통형 단면이다. Table 2 는 사출성형 온도 및 메쉬(mesh)정보를 나타내고 있다.

2.2.2 런너 및 게이트 설계 변수
 엣지 게이트는 가장 기본적인 게이트 방식이

Table 1 Physical property of ABS/PC, PEEK and ACETAL

		CASE 1	CASE 2	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
Mold Tem.[℃]		32	170	89
Material Tem.[℃]		231	380	215

다.⁽⁸⁾ M. Y. Lyu⁽⁹⁾는 게이트 크기 변화에 따른 성형 수축의 정도를 연구하였다. 본 연구에서는 인라인스케이트에 응용할 수 있는 게이트의 형상과 게이트의 개수 및 런너의 개수를 설계변수로 해석을 수행하였다. 런너는 원형 단면적을 가지고 있다. Table 3 은 런너와 게이트의 설계변수를 나타내고 있다. 게이트의 치수는 살 두께의 70~80%가 적당하다.⁽¹⁰⁾ CASE 3 은 3 개의 엣지 게이트($\varnothing 1\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$)로써 이루어졌으며, CASE 4 는 1 개의 엣지 게이트($\varnothing 1\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$)로 이루어졌으며, CASE 5 는 2 개의 엣지 게이트($\varnothing 1\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$)로 이루어졌다. 인라인스케이트 프레임의 부피는 95 cm³ 이며, POM [Dupont, Delrin 500p]의 밀도는 1.19 g/cm³ 이다. 런너의 설계지름은 5~7 [mm²]이다. Table 4 는 런너의 개수는 한개이며, 런너와 게이트의 형상치수를 나타내고 있다. Table 4 는 게이트 3 개이며, 게이트의 지름 변화에 따른 변수를 나타내고 있다. CASE 6 은 게이트의 치수가 $\varnothing 2\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 이며, 런너의 치수는 $\varnothing 5\text{mm}$ 이다. CASE 7 은 게이트의 치수가 $\varnothing 3\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 이며, 런너의 치수는 $\varnothing 5\text{mm}$ 이다. CASE 8 은 게이트의 치수가 $\varnothing 1\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 이며, 런너의 치수는 $\varnothing 6\text{mm}$ 이다. CASE 9 는 게이트의 치수가 $\varnothing 1\text{mm} \times \varnothing 5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 이며, 런너의 치수는 $\varnothing 7\text{mm}$ 이다.

2.3 구조해석

2.3.1 인라인 스케이트 동작테스트

인라인 스케이트 프레임에 받는 하중을 3 차원 모션 캡처와 Multi-Body Dynamics 를 이용한 실험을 수행하였다. Fig. 3 은 3 차원 캡처 및 실험장치에 대한 설명이다. 디지털 CMOS 센서 탑재한 적외선 카메라 10 대와 38 개의 반사마커(Reflective

Table 2 Mold Injection conditions of Moldflow

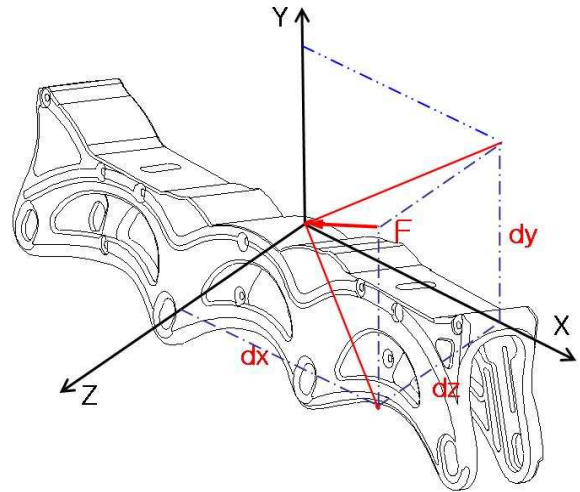
Fusion mesh		
Mesh model	Mesh number	21,332
	Aspect ratio [%]	79
	Mesh volume [cm ³]	95
Molding condition	Mesh area [cm ²]	629
	Mold tem.[℃]	89
	Material tem.[℃]	215

Table 3 Processing parameters of runner and gate

	Gate type	Gate number	Runner number
		start[mm]-end[mm]	[mm]
CASE 3	Edge type	3	1
		[1-5]	[5]
CASE 4	Edge type	1	1
		[1-5]	[5]
CASE 5	Edge type	2	1
		[1-5]	[5]

Table 4 Processing parameters of runner and gate

	Gate number	Runner number
	Diameter : start[mm] - end[mm]	Diameter : [mm]
CASE 6	3	1
	2 - 5	5
CASE 7	3	1
	3 - 5	5
CASE 8	3	1
	1 - 5	6
CASE 9	3	1
	1 - 5	7



	F_x	F_y	F_z
CASE 10	-9.56	286.72	-9.24
CASE 11	38.16	-1144.94	-519.71
CASE 12	-367.83	-794.32	-764.16

Fig. 4 Dynamic loads on inline skate frame

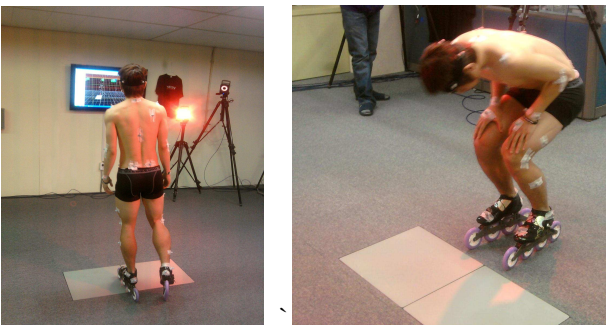
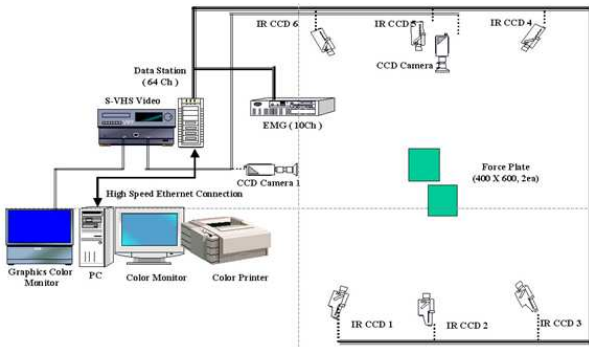
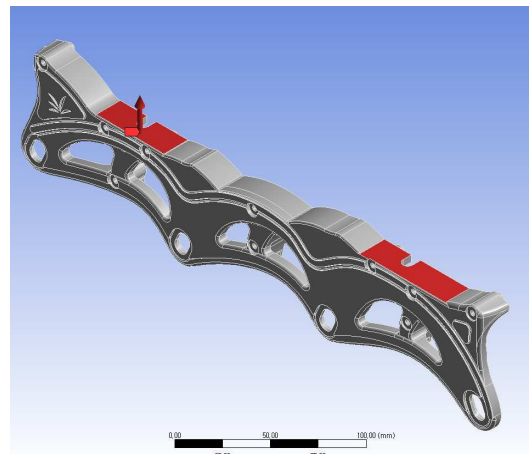


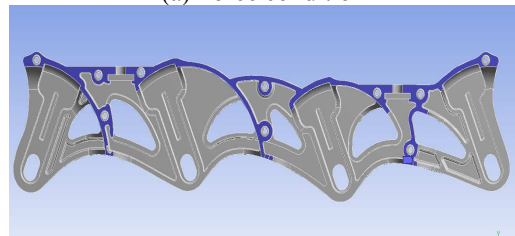
Fig. 3 Three dimensions capture Multi body dynamics and force plates

marker)를 부착해서 Force Plates 2 대로 지면반발력을 측정하였다.⁽¹¹⁾ 실험자의 몸무게는 65 Kgf 이다.

인라인 스케이트의 동작은 일반적으로 3 가지 형태로 나눌 수 있다. 바닥을 지지할 때와 바닥 방향으로 미는 경우 그리고 방향전환 하는 것으로 나눌 수 있다. CASE 10[정적인 상태]은 바닥방향



(a) Force condition



(b) Symmetric condition

Fig. 5 Structural analysis condition

(-Y direction)으로 지지하고 있을 때의 하중방향이다. CASE 11[동적인 상태]는 바닥을 미는 하중방향이다. CASE 12[동적인 상태]은 방향전환을 위한 회전상태를 나타내고 있다. 실험으로부터 방향별 반력은 다음과 같다.⁽¹²⁾ Fig. 4 는 인라인 스케이트에 받는 하중을 나타내고 있다.

2.3.2 구조해석 조건

전체 모델링 제품의 메쉬 크기[Body sizing]는 1.5mm 이며, 최종 절점[node]의 개수는 477,150 개이며 요소[Element]의 개수는 298,717 개이다. 대변형을 고려해서 Large Deflection 의 옵션을 설정한다. 대칭 제품이기에 절반만을 해석의 대상으로 고려한다. 바퀴의 축이 장착되는 부분을 고정조건[Fixed support]으로 부여하였다. 대칭면에 대해서 대칭조건인 Frictionless support 를 부여하였다. 인라인 스케이트에 작용하는 하중은 실험에서 측정된 값을 작용하겠다. Fig. 5 는 하중조건과 대칭조건을 나타내고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사출성형해석의 결과

3.1.1 사출재료변수에 따른 해석결과

형체력은 사출력에 의해서 금형이 밀리는 것을

방지하기 위해서 금형을 닫아 주는 힘이다.⁽⁸⁾ Fig. 6 은 CASE 1 에 대한 형체력 분포를 나타내고 있다. CASE 1 은 최고 형체력[70 tone] 이후 급격하게 형체력이 감소하고 있다. 캐비티 내부의 평균사출 압력의 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 2 의 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. Fig. 7 은 CASE 2 에 대한 형체력을 나타내고 있다. CASE 1 과 CASE 2 는 다단의 보압 단계를 가져야 한다. Fig. 8 은 CASE 3 에 대한 형체력 분포를 나타내고 있다. 아세탈재질은 충전 시간 동안 제품의 형체력이 균일하게 발생하고 있다.

3.1.2 런너 및 게이트 설계 변수에 따른 해석결과

엣지 게이트의 개수에 따른 인라인 스케이트 프레임의 충전 시간(Fill time)을 Fig. 9 에서 나타내고 있다. 엣지 게이트의 개수에 따른 인라인 스케이트 프레임의 충전 시간을 Fig. 9 에서 나타내고 있다. CASE 4 은 2.881 [초], CASE 5 은 2.79 [초], CASE 3 은 2.745 [초]의 충전 시간이 소요된다. 체적 수축률(volumetric shrinkage)은 보압, 냉각 과정에서 각 부위의 온도 이력과 압력 이력에 의하여 결정된다.

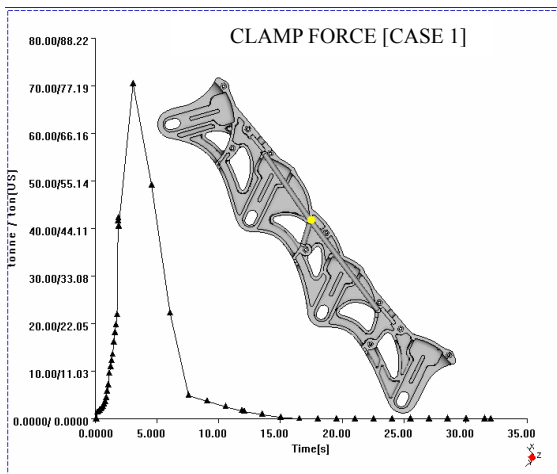


Fig. 6 The result of clamp force [CASE 1]

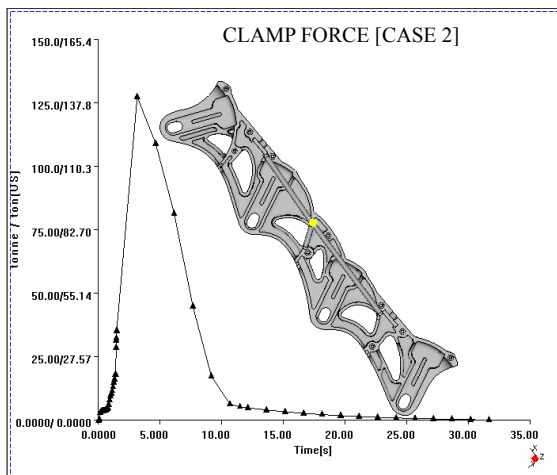


Fig. 7 The result of clamp force [CASE 2]

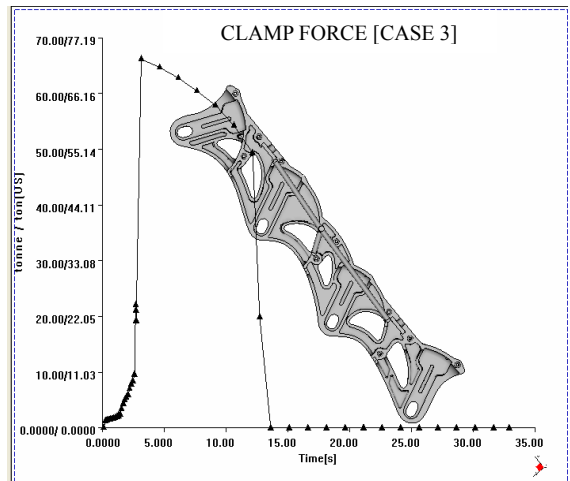


Fig. 8 The result of Clamp force [CASE 3]

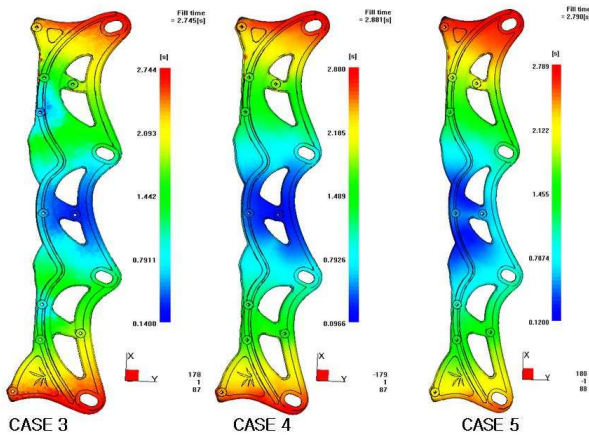


Fig. 9 The result of fill time analysis[CASE 3, CASE 4, CASE 5]

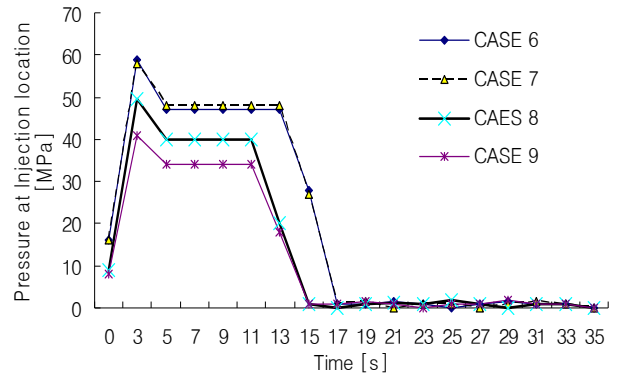
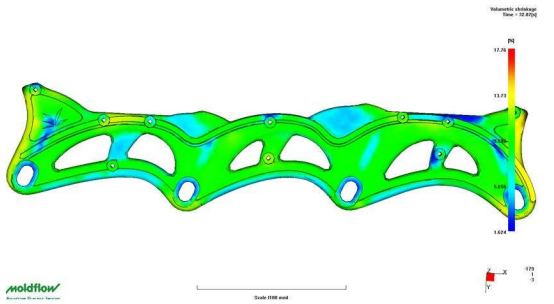
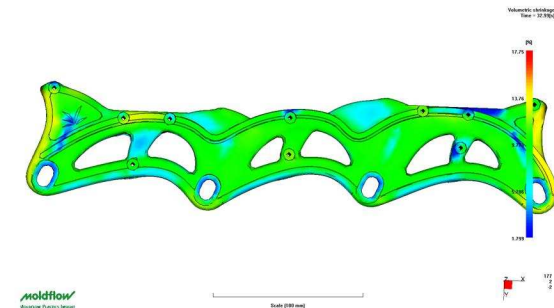


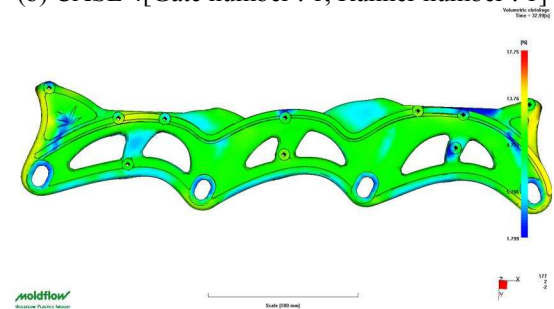
Fig. 11 The result of pressure analysis[CASE 6, CASE 7, CASE 8, CASE 9]



(a) CASE 3[Gate number : 3, Runner number : 1]

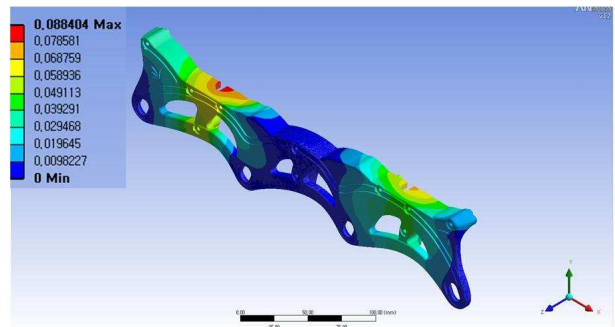


(b) CASE 4[Gate number : 1, Runner number : 1]

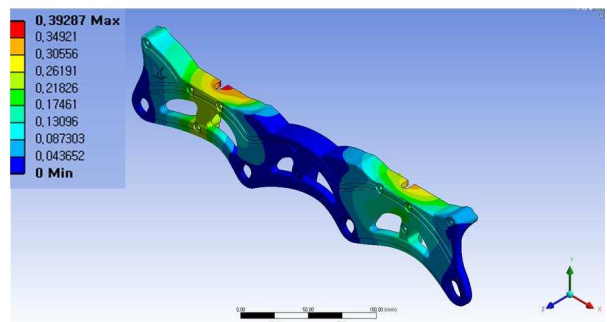


(c) CASE 5[Gate number : 2, Runner number : 1]

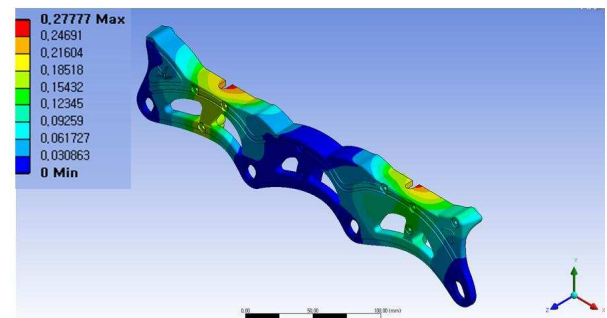
Fig. 10 The result of volumetric shrinkage analysis



(a) Total deformation of CASE 10[0.080404 mm]



(b) Total deformation of CASE 11[0.39287 mm]



(c) Total deformation of CASE 12[0.27777 mm]

Fig. 12 Total deformation of FEM analysis

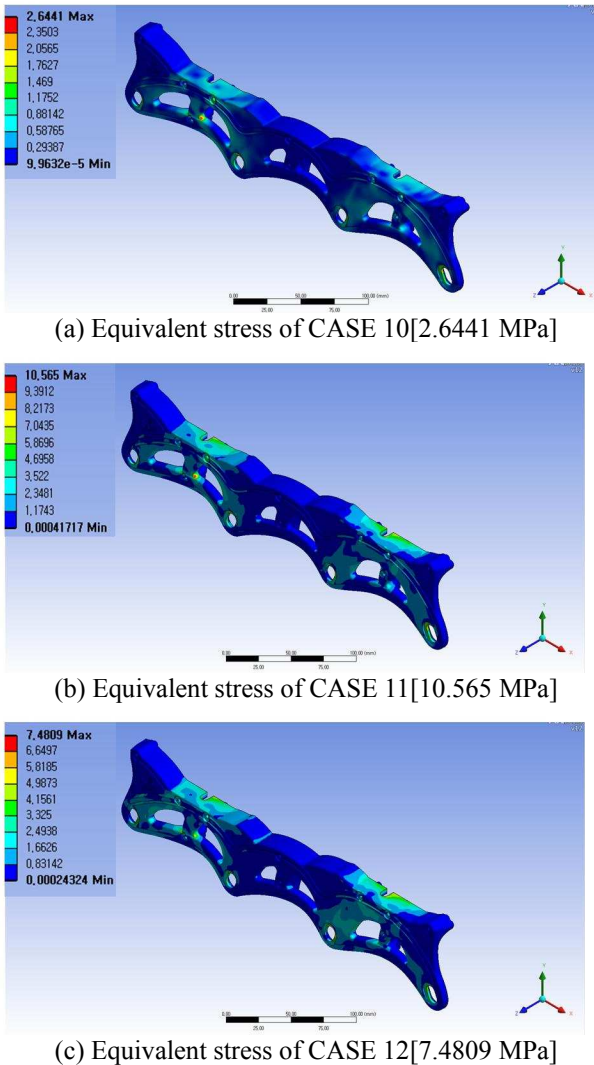


Fig. 13 Equivalent stress of FEM analysis

냉각속도가 빠를수록 압력이 클수록 수축률은 작아진다. 체적 수축률의 [+]^값은 수축을 의미하고 [-]^값은 팽창을 의미한다. 게이트의 개수가 증가할수록 체적 수축률이 낮아지고 있다. 체적 수축률은 제품의 영역별 체적 수축률로써 냉각속도가 빠를수록 수축률이 작아진다. CASE 3 은 CASE 4, CASE 5 보다 충전 시간이 짧게 소요되기에 전체적으로 제품이 일정하게 냉각이 된다. Fig. 10 은 체적 수축률 값을 나타내고 있다.

게이트와 런너의 지름이 변함에 따른 제품 성형시 요구되는 최대 사출압력을 Fig. 11 에 나타내고 있다. 게이트의 입구 지름(CASE 3 = 1mm, CASE 6 = 2mm, CASE 7 = 3mm)이 증가 할수록 사출압력은 감소하고 있다.(CASE 3 = 61MPa, CASE 6 = 59MPa, CASE 7 = 58MPa) 런너의 지름(CASE 3 = 5mm, CASE 8 = 6mm, CASE 9 = 7mm)이 증가 할수록 사

출압력은 감소하고 있다.(CASE 3 = 61MPa, CASE 8 = 49MPa, CASE 9 = 40MPa) 본 해석의 결과로써 사출기의 용량이 작다면 게이트의 지름을 증가하는 것보다는 런너의 지름을 증가하는 것이 사출압력의 감소에 효과적이다.

3.2 구조해석의 결과

Fig. 12 는 Total deformation [mm] 를 나타내고 있다. 바닥을 밟는 경우에 가장 큰 변형량이 발생한다. CASE 10 은 정적인 상태를 나타내고 있기에 동적인 상태를 나타내는 CASE 11 와 CASE 12 보다 작은 변형량이 발생하고 있다. Fig. 13 은 상당 응력(Equivalent stress)를 나타내고 있다. 아세탈의 영계수(Young's moduls)는 1,100 [MPa], 프아송비(Poisson's Ratio)는 0.42, 인장 항복강도(Tensile yield strength)는 25 [MPa], 인장 극한강도(Tensile ultimate strength)는 33 [MPa]이다. Fig. 13 의 응력분포는 모두 항복강도보다 작기에 안전한 것으로 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 런너와 게이트의 설계 변수에 따른 인라인 스케이트 프레임의 사출성형해석과 구조해석에 대해서 적용하였다.

(1) 형체력 변화 : ABS/PC, PEEK, ACETAL 에 따른 형체력의 변화는 ABS/PC 는 보압의 단계를 가져야 한다. PEEK 는 형체력이 높아서 플래시가 발생할 수 있다. ACETAL 은 가장 좋은 형체력의 변화를 가지고 있다.

(2) 게이트의 개수 : 게이트의 개수에 따른 충전 시간은 CASE 4 은 2.881 [초], CASE 5 는 2.79 [초], CASE 3 은 2.745 [초]가 소요된다. 게이트의 개수가 증가할수록 제품의 충전 시간은 짧게 된다.

(3) 인라인 스케이트 변형량 및 응력상태 : 인라인 스케이트는 정적인 상태보다 동적인 상태에서 많은 변형량 및 응력이 많이 발생하고 있다. 아세탈 재질의 항복강도 보다 작게 발생하기에 모두 안전한 것으로 알 수 있다.

참고문헌

- (1) Kim, S.-Y., 2004, "Research on the New Concept of In-Line Skate Design," Hongik University Graduage Master degree, pp. 1~25
- (2) Choi, Y. and Lee, Y., 1997, "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
- (3) Park, C.-W., 2008, “ A study on the Injection Molding Process of the CASE of Drum type Washer using Moldflow,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 33, No. 1, pp. 369~375
- (4) Ahn, S. K., 2007, “Optimization of Warpage of ABS Injection Molding Part using Design of Experiments,” Hanyang University Graduage Master degree
- (5) Fujiyama, M. and Wakino, T., 1992, “Molecular Orientation in Injection-Molded Polypropylene Copolymers with Ethylene,” *Intern. Polymer Processing*, Vol. 7, No. 159
- (6) Prabhu, N., Schultz, J. and Advani, S. G., 2001, “Role of Coupling Microscopic and Macroscopic Phenomena During the Semicrystalling Polymers,” Vol. 41, No. 1871
- (7) Choi, W.-S., Kang, S.-C., Shin, M.-J. and Park, G.-J., 1996, “ Transformation of a Dynamic Load into an Equivalent Static Load and Shape Optimization of the Road Arm in Self-Propelled Howitzer,” *KSME*, Vol. 20, No. 12, pp. 3767~3781
- (8) Jung, Y. D., 2008, “Computer Aided Engineering Moldflow MPI 6.0-6.1,” Intervision pub.
- (9) Lyu, M. Y., Mo, J. H. and Chung, W. J., 2003, “Shrinkage in Injection Molded Part for Operational Conditional and Resins,” *Elastomer*, Vol. 38, No. 4, pp. 295~302
- (10) Shin, N. H., H. S. O, Kang, S. G., 2007, “The Optimization of Injection Modeling Process by CAE,” Daegwang pub.
- (11) www.gyrowheels.com
- (12) Kim, S. C. and Jee, H. S., 2005, “Shape Design for a Inline-Skate Frame,” *International Journal of CAD/CAM*, Vol. 10, No. 1, pp. 17~26