

새로운 3D 메싱 기법으로 충전 불균형을 예측할수 있는 사출성형 CAE 활용

고승우^{†,1} · 정수정¹ · 서상훈¹ · 정영득[#]

부경대학교 기계공학부^{†,1} · 부경대학교 기계공학부¹ · 부경대학교 기계공학부[#]

Injection Molding 3D CAE Applications for Estimating Filling Imbalance Using a New Runner system meshing

Seung-Woo Go^{†,1} · Su-Jung Jung¹
· Sang-hun Seo¹ · Yeong-Deug Jeong[#]

Undergraduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University^{†,1}

Undergraduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University¹

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University[#]

Abstract : Nowadays CAE has been used for almost all injection molding designs in order to find the best injection conditions. Almost all CAE use 2-D mesh, but the CAE with 2-D mesh can't indicate such as jetting, flow-mark and filling imbalance in multi cavity mold. In this study, we suggested a new 3D meshing, the method which can indicate the filling imbalance in geometrically balanced runner system with Mold Flow MPI 6.1 and we found out that the calculation times are saved. As a feasibility study, we verified that Melt Flipper, RC Pin etc appeared the balanced filling behaviors. of geometrically balanced runner system and Melt Flipper, filling imbalance was indicated more accurately.

Key Words : Filling imbalance, Melt FlipperTM, MAXTM, Computer aided-engineering(CAE), Multi cavity

1.서론1)

최근의 사출 금형 설계는 사출성형 CAE (computer aided-engineering) 의 활용도가 점점 넓어짐에 따라 개발 단계부터 금형 및 제품의 문제점을 파악하여 실제 금형 제작 시 불필요한 금형 수정비용과 시간을 아낄 수 있다. 사출성형 해석은 실제 제품이 성형이 가능한지 검증하고 최적의 사출조건을 찾아냄으로써 양질의 제품생산을 가능하게 하며, 제품생산의 효율적인 측면에서도 경제적인 이익을 창출해내고 있다.^[1] 현재까지의 사출성형 CAE 는 대부분이 2차원 메쉬를 활용하고 있으며, 그동안의 2차원 메쉬에 대한 많은 검증

을 바탕으로 사출성형해석의 유용성을 인정받아 여러 분야에서 사용되어지고 있다. 그러나, 러너시스템과 냉각시스템의 메쉬모델은 대부분 1D 빔 메쉬로 작성되어, 성형품에는 2차원 메쉬를 이용한 사출성형해석은 젯팅 (jetting), 플로우 마크 (flow mark) 및 다수 캐비티 (multi-cavity) 에서의 충전 불균형 (filling imbalance) 현상의 구현이 불가능하여 성형 불량에 대해 해석적으로 알 수 없는 제한점이 따른다.^[2]

그러나 최근에는 컴퓨터의 성능이 매우 빠른 속도로 발전하고 있으며 기존의 2차원 메쉬를 활용한 사출성형해석 기법이 아닌 3차원 메쉬를 활용한 사출성형해석용 프로그램이 개발 보급되어 2차원 해석 시에는 나타내지 못했던 충전 불균형 현상을 일부 구현 할 수 있어 더욱 정밀한 해석이 가능하게 되었으나 이러한 3차원 메쉬를 활용한 해석방법도 충전 불균형을 나타낼 수 있을 정도의 메쉬를 만들어 해석하기에는 시간이

^{†,1}부경대학교 기계공학부

¹부경대학교 기계공학부

[#] 교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

많이 걸리거나 해석조건의 변화에 따라서는 충전 불균형 현상을 볼 수 없는 등 아직까지 여러 문제점이 남아있다.

다수 캐비티 금형에서의 충전 불균형 현상은 제품의 치수나 외관상의 문제, 내부 물성치의 변화를 가져 오고 불균일한 온도차이에 의한 변형에 의해 제품 조립 시 문제가 발생하게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 다수 캐비티 금형 설계 시 모든 캐비티에 균형 충전이 가능하도록 러너를 기하학적 균형을 갖추도록 설계한다. 그러나 기하학적 균형을 가진 러너를 이용한 금형에서도 충전 불균형 현상은 실제로 일어나고 있다. 과거에는 이러한 충전 불균형 현상을 금형 내측과 외측의 온도 편차, 러너의 가공 오차, 금형의 조립 오차의 결과로 생각해 왔다. 그러나 1997년 Beaumont 교수에 의해 러너 내의 전단 불균형에 의한 충전 불균형 현상에 대한 연구 결과가 발표되었으며,^[3] 현재에도 충전 불균형을 해소하기 위한 많은 연구가 진행 중이다.^{[4][5][6]}

본 연구는 기하학적으로 균형이 갖춘 러너시스템의 형상에 따른 충전 불균형 현상을 3차원 사출성형 CAE 프로그램인 몰드플로우 MPI 6.1 을 이용하여 구현하는 방법과 해석하는 시간을 최대한 줄일 수 있는 균형 메쉬 모델을 제시하고 그것을 이용하여 기존에 연구되어서 발표된 균형충전용 기술 및 장치들을 대상으로 충전 불균형이 해소되는 것을 사례연구를 통해 밝혀내어, 본 연구에서 제안한 새로운 3D 메싱 방식의 유효성을 검증하였다. 이러한 연구 결과는 향후 다수 캐비티 금형 설계 및 3D 사출성형해석의 활용력을 제고시키는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 러너 시스템의 3D 메쉬 작성

2.1. 통상적인 3D 메싱 방식

사출성형 CAE 의 발달전에 따라 스프루부터 러너를 거쳐 게이트까지 이르는 러너시스템 부분을 3차원 메쉬로 모델링 하여 기존 2차원 메쉬에서는 볼 수 없었던 충전불균형 현상을 볼 수가 있게 되었다.

기존에 사용하던 2차원 메쉬인 퓨전 메쉬를 3차원 메쉬로 변환하여 사용하는 것이 일반적이다. 퓨전 메쉬를 3차원 메쉬로 변환하는 과정에 있어서 내부적인 레이어(층)의 수는 지정이 가능하나 내부 메쉬의 짜임새는 사출성형 CAE 프로그램에서 자체적으로 처리하기 때문에 메쉬의 모양을 쉽게 수정할 수 없는 단점이

있다.

사출성형 해석의 정확도는 메쉬의 정밀함에 영향을 많이 받게 되는데 메쉬의 형상이 복잡해짐에 따라 그 결과가 정확하지 못하거나 해석시간이 오래걸리는 등의 단점이 발생한다. Fig. 1 은 기존방식에 의해 작성된 3차원 메쉬에서 발생할수 있는 내부메쉬의 불균일성을 나타내는 것이다

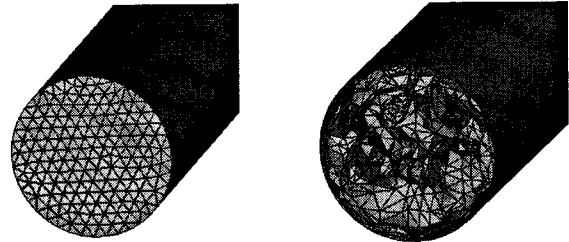
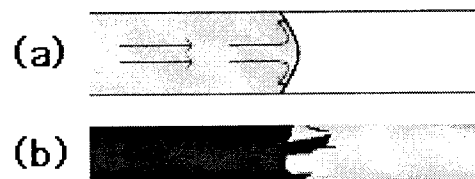


Fig. 1 Inside mesh shape by conventional 3D meshing.

이와같이 작성된 3차원 러너는 내부 메쉬의 불규칙성에 의해 수지의 분수유동의 모습이 아닌 불규칙적인 형태의 유동 모습을 보이거나 Fig. 2 와 같은 형태의 잘못된 유동 패턴을 나타낼 수 도 있다.



(a) regular flow
(b) irregular flow

Fig. 2 Flow patterns, according to mesh types

2.2. 개선된 3D 메싱 방식

본 연구에서 제안하는 개선된 3D 메싱 방식은 Fig. 3 에서 볼 수 있는 것과 같이 5개의 4면체의 메쉬로 구성되는 정육면체 형태의 메쉬를 기본 3D 메쉬요소로

취급하는 방식이다. 이러한 메시는 각 면마다 메시 나
 늻선이 두가지 방향의 사선으로 나타나기 때문에 이대
 로 합성하여 사용할 경우 각 면간의 분할선이 맞지
 않아 정확한 해석이 되지 않거나 그 값을 신뢰할 수
 없다.

이러한 문제를 해결하기 위해 해당 메시 8개를 이
 용하여 각 면이 모두 동일한 형태를 띠는 정육면체 메
 쉬를 생성하여 실용상의 기준 메시로 삼는다.

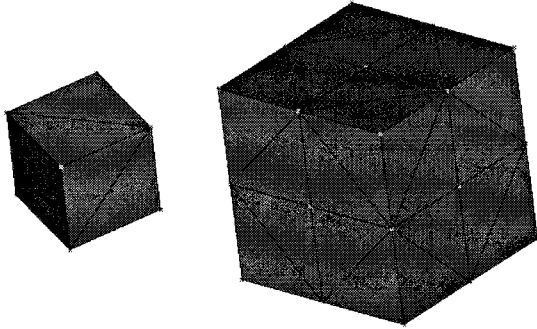


Fig. 3 Basic 3D mesh for runner system modeling.

Fig. 4 는 실용상의 기준 메시지를 이용하여 프로그램
 내의 복사, 회전, 반사등의 기능을 사용하여 구현한 여
 러 러너의 단면 형상을 나타낸 것이다.

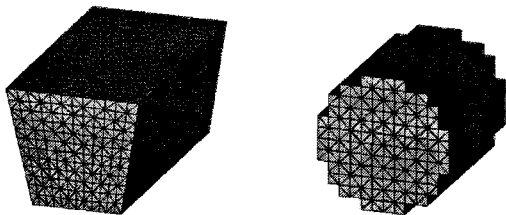


Fig. 4 Various sections created by improved 3D meshing method

Fig. 4 에서 생성된 3D 메시 단위를 이용하여 각종
 러너시스템 및 성형품의 메시모델링을 완성할 수 있
 다.

3. 사출성형 3D 유동해석

3.1. 사출성형해석 조건

사출성형해석 프로그램은 Moldflow MPI 6.1을 사
 용하였으며, 양측 분기형, 편측분기형 러너 시스템을
 대상으로 기존방식의 3차원 러너 형상과 개선된 방식
 의 러너 형상을 작성하여 해석수행한 결과가 충전 불
 균형 현상의 구현 여부와 그 정확도 및 소요된 해석시
 간에 대해 비교 해 보았다 .

대상 수지는 미국 GE Plastics 사의 PC (Lexan
 144)수지를 사용하였다. 기본적인 사출성형조건은
 Moldflow MPI 프로그램의 추천조건을 사용하였으며,
 사출율 (flow rate)을 100 cm/sec로 설정하였다.

3.2. 3D 메시 방식에 따른 해석 결과의 비교

아래의 Fig. 5 는 양측 분기형 러너에서 충전 시 러
 너 및 캐비티 내의 유동선단의 충전 불균형 현상과 온
 도분포를 나타낸 것이다. 1차 러너를 통과한 수지는
 전단 가열(shear heating) 효과에 의해 외부의 수지 온
 도가 상승하여 이후 2차 분기 러너에서 스프루에 가까
 운 캐비티 에는 뜨거운 수지가, 스프루에서 먼 부분에는
 상대적으로 차가운 수지가 유입되면서 기하학적 균
 형을 갖는 러너 형태에서 충전 불균형 현상을 볼 수
 있다. Fig. 5, Fig. 6 은 각각 기존의 3차원 메시에 의
 한 모델과 개선된 3차원 메시 모델에 의한 결과를 나
 타낸 것이다..

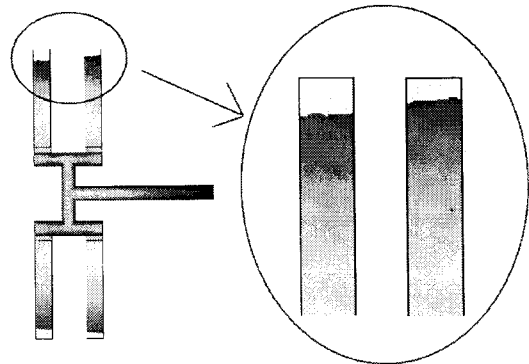


Fig. 5 Filling imbalances by conventional 3D meshing

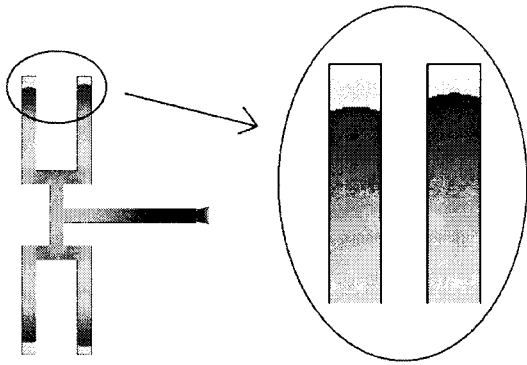


Fig. 6 Filling imbalances by improved 3D meshing

Table. 1 은 3D 메싱에 있어서 기존방식과 새로운 방식에 의해 작성된 러너 시스템을 대상으로 하여 해석을 수행한 결과 소요된 해석시간을 비교한 것이다. 새로운 3D 메싱에 의한 해석수행 시간은 기본방식의 약 10% 밖에 소요되지 않았다.

Table. 1 Comparisons of analysis times

method	Conventional meshng	New meshing
Bit	64-bit	32-bit
Hz	3 ~3211 MHz	2 ~1606 MHz
Core	Dual core	Single core
Memory	3454 MB	703 MB
Time	16246.50 s (4 hr, 30 min)	1861.73 s (0 hr, 31 min)

위 결과는 기존의 3차원 러너 형상의 해석에 성능이 좋은 컴퓨터를 사용하였으며 개선된 3차원 러너 형상의 해석에는 성능이 낮은 컴퓨터를 사용하였으나

개선된 3차원 모델에 의한 해석시간이 매우 짧은 시간에 끝났음을 볼 수 있다. 이와 같이 개선된 3차원 모델은 기존의 3차원 모델과 비교할 때 해석결과의 정확성뿐만 아니라 해석시간의 단축에도 좋은 결과를 보여주고 있다.

4. 사례 연구

4.1. Melt Flipper™ 에 대한 적용

기하학적 균형을 갖춘 다수 캐비티 금형에서의 충전 불균형 현상을 해결하기 위한 기술 중 하나인 Melt Flipper™^[4] 은 스프루에서 갈라져 나오는 러너를 다음 분기점에 진입하기 전에 수지의 흐름을 회전시켜 기존의 러너에서 발생하는 충전 불균형 현상을 해결하는 기술이다.

기존 러너에서의 수지의 유동은 스프루에서부터 내려오는 수지가 러너 벽과의 마찰로 인한 점도의 하강으로 2차 분기점에서의 온도 분포는 Fig. 7 과 같이 흐름방향에 균형된 유동상태를 보여준다.

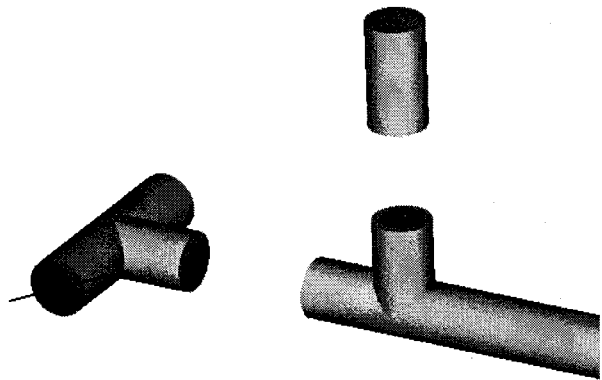


Fig. 7 Temperature distribution in regular runner.

Fig. 7 에 대한 것을 검증하기 위해 본 연구에서 제안한 새로운 3D 메싱 방식으로 모델링한 러너로 유동 해석한 경우 Fig. 7 의 모델과 거의 차이가 없는 유동상태를 Fig. 8 에서 알 수 있다.

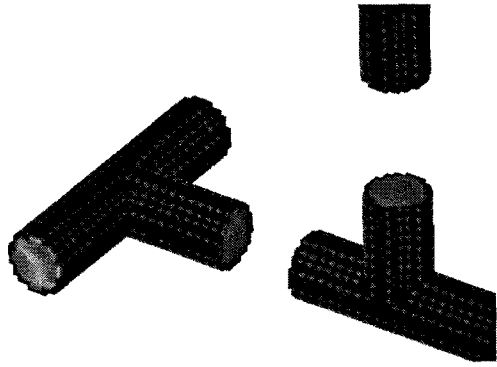


Fig. 8 Temperature distribution by improved 3D meshing.

Melt Flipper™ 은 기존의 직선형 러너를 한번 회전시켜 한쪽으로 치우쳐지는 온도분포를 균형있게 재분배 하는 기술이다. Fig. 9 는 Melt Flipper™ 의 효과를 설명한 그림이다.

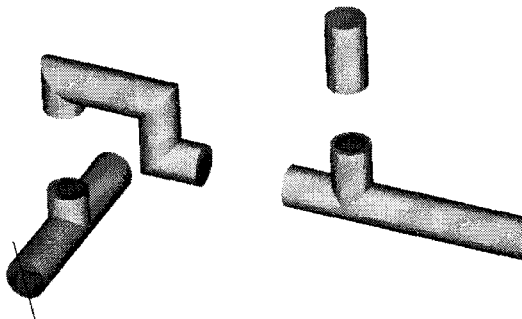


Fig. 9 Temperature distribution in MeltFlipper™

이를 본 연구에서 제안한 3D 메시징으로 모델링한 러너로 해석할 경우 Fig. 9 의 설명 모델과 거의 차이가 없이 Fig. 10 에서 구현됨을 알 수 있다.

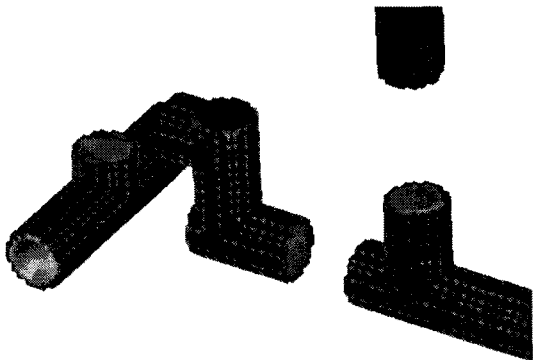


Fig. 10 Temperature distribution by improved 3D meshing.

Melt Flipper™ 의 경우 상당부분 충전 불균형을 해결할수 있으나 스프루에 의한 전단열의 효과까지 고려하면 온도분포가 정확하게 반으로 나뉘어지지 않고 약간 비틀린 상태에서 나뉘어지기 때문에 약간의 충전 불균형이 남게 된다.

4.2. MAX™ 에 대한 적용

위에서 제시한 Melt Flipper™ 모델은 충전불균형 현상을 많은부분 해소할수 있으나 약간의 충전불균형 현상을 보이게 된다.

이를 보완한 기술이 핫러너 금형에 적용되기를 추천하고 있는 MAX™^[5] 이다. Fig. 11 에서 보는바와 같이 분기에서 갈라진 수지 유동을 다시 합쳐 흐르게 함으로써 이후 다시 분기형 러너에서 갈라질 경우 균일한 온도 분포를 유지할수 있게끔 고안된 균형충전용 장치이다.

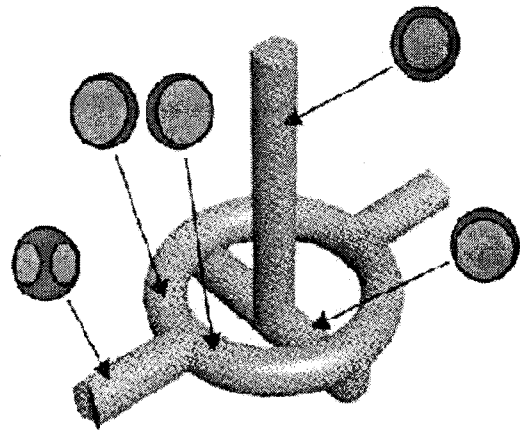


Fig. 11 Temperature distribution in MAX™

이를 본 연구에서 제안한 3D 메시징으로 모델링한 러너로 해석할 경우 약간의 차이를 보이게 되는데 Fig. 12 해석적 결과의 충전불균형도에 대해서는 이론적 모델과 거의 차이가 없이 나타났다.

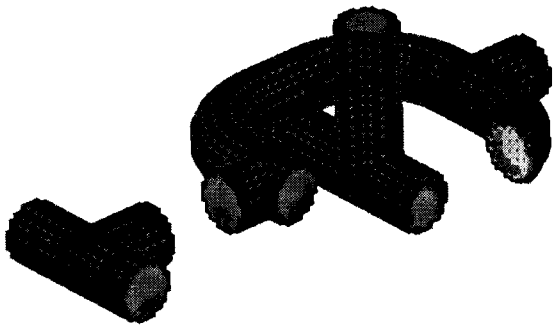


Fig. 12 Temperature distribution by improved 3D meshing.

4.3. RC Pin 에 대한 적용

또 다른 기술 중 하나인 RC Pin^[6] 은 수지회전 기술이 아닌 기존의 메인러너에 러너 핀 (RC Pin 으로 호칭) 을 삽입하여 충전 불균형 현상을 해소하는 기술이다. Fig. 13 과 같이 기존의 러너는 외부 벽과 만나는 곳의 온도는 높고, 상대적으로 내부는 온도가 낮게 되는데, 이 수지흐름이 두갈래로 갈라지면서 한쪽은 뜨거운 수지의 흐름이, 다른 쪽은 차가운 수지의 흐름으로 나뉘게 되어 충전 불균형 현상이 일어나게 되는데 RC Pin 을 적용함으로써 수지흐름 내부에 또 다른 벽을 생성하여 여기서 발생하는 마찰열로 인하여 기존의 차가운 수지부분이 온도가 상승하여 균형을 맞출수 있게끔 하는 기술이다.

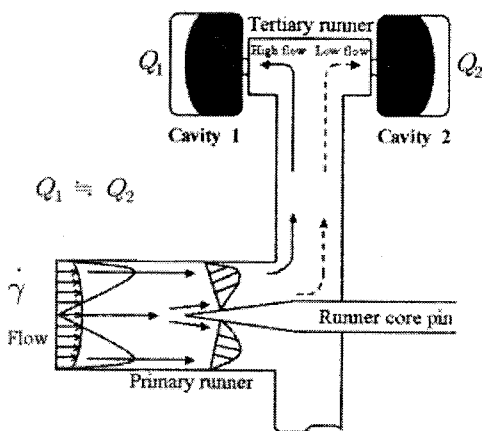


Fig. 13 Symmetrical shear distribution by RC Pin

Fig. 14 는 RC Pin 에 대한 유효성을 검증하기 위해 본 연구에서 제안한 새로운 3D 메싱 방식으로 모델링 한 러너로 해석할 경우 기존의 러너에서 볼 수 있는 온도 편차가 거의 해소되었음을 확인 할 수 있다.

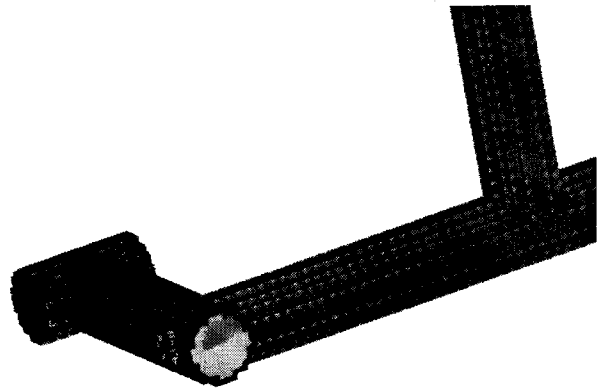


Fig. 14 Temperature distribution by improved 3D meshing.

5. 결론

본 연구는 기하학적으로 균형을 갖춘 양측 분기형 러너 시스템에서 생기는 충전 불균형 현상을 사출성형 CAE 상에서 구현할 수 있는 새로운 3D 러너 시스템의 메싱 방식을 제안 한 후, 이 방식의 유효성을 검증하기 위한 사례 연구로서 그동안에 특허기술 등으로 발표된 균형 충전용 러너 시스템 장치 3종을 대상으로 그 유효성을 검증하였다.

참고문헌

- 1) 정영득, 박태원, 김현필, “플라스틱 성형을 위한 알기쉬운 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 333 ~ 341, 2003.
- 2) 정영득, 구본홍, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 296 ~ 298. 2005.
- 3) Raymond W. Mckee, Joshua A. Hoover, “The Effects of Sharp Corners and Runner Length on Melt Flow Imbalances”, ANTEC 2006, pp. 2868 ~ 2872.
- 4) John P. Beaumont, “Runner and Gating Design Handbook”, Hanser Publishers, pp. 121 ~ 123.
- 5) John P. Beaumont, “Runner and Gating Design Handbook”, Hanser Publishers, pp. 122 ~ 123.
- 6) 재덕근, “다수 캐비티 사출금형에서의 균형충전에 관한 연구”, 공학박사 학위논문, pp. 73 ~ 87.