

빠른 냉각과 재료절감을 위한 새로운 가스성형 프로세스 개발

한성렬*(부경대 대학원 정밀기계공학과), 박태원(창원기능대학), 곽진관(나라 M&D), 김철주(나라 M&D), 하만영(나라 M&D), 정영득 (부경대 기계공학부)

Development of New GAIM Process for Faster Cooling and Material Reduction

S. R. Han*(Graduate School of Precision Mech. Eng. PKNU), K. J. Kwag(NARA M&D Co., Ltd.), C. J. Kim(NARA M&D Co., Ltd.), M. Y. Ha(NARA M&D Co., Ltd.), T. W. Park(Computer Aided Die&Mold. Dept., CWPC), Y. D. Jeong(School of Mech. Eng. PKNU)

ABSTRACT

Gas-Assisted Injection Molding(GAIM) process, that can be used to provide a hollow shape in a molding, is a variant of the conventional injection molding process. GAIM has many advantages such as reduction of material, sink mark, warpage, and lower injection pressure. Thus, GAIM has been widely applied in the industry to make moldings with a hollow channel such as handles, TV frames and so on. On the other hand, GAIM has some disadvantages such as slow cooling time and flow marks. In the disadvantages, hot gas core causes slow cooling of a molding and the overflow, which is to prevent flow mark, is waste of materials.

To solve these problems, we developed a new GAIM system that we called RGIM(Reverse Gas Injection Molding). The RGIM has two special units; one is the overflow buffer, which is used for reduction of a material, and the other the air unit, which is used for faster cooling of a molding.

We conducted an experiment and simulation to verify the efficiency of the RGIM system. Through experiments and simulation, we confirmed the effectively operating of the RGIM system and extracted the optimum process conditions.

Key Words : Gas-Assisted Injection Molding(가스사출성형), RGIM(Reverse Gas Injection Molding), Air unit(에어 유닛), Overflow buffer(오버플러 버퍼)

1. 서론

사출성형은 플라스틱 제품을 생산함에 있어 가장 중요한 프로세스로 대표된다. 또한, 원재료를 한 번의 가공으로 제품을 만들 수 있기 때문에 대형의 제품을 생산하는데 적합하다[1]. 로사토(Rosato)[2]에 따르면 플라스틱 제품의 약 32%가 사출성형으로 생산된다고 하였다. 이렇게 사출 성형은 플라스틱 성형품을 생산하기 위해서 널리 사용되고 있다.

최근에 사출성형의 변형인 가스사출성형(Gas-Assisted Injection molding, GAIM)이 중공부를 가지는 성형품을 만들기 위해서 개발되었다[3,4]. 원래 GAIM 성형은 25 년 전부터 알려졌으나, 일반적인 GAIM 을 위하여 가압 된 가스의 상용화는 1978 년

에 Friederich 가 미국에서 특허를 획득하면서부터라고 전해진다[5].

GAIM 은 다음과 같이 크게 쇼트샷(Short shot) 방식과 풀샷(Full shot) 방식으로 나눌 수 있다. 첫 번째 쇼트샷 방식은 75~98%까지 용융수지를 캐비티에 충전하고, 일정지연 시간 후 가압 된 질소 가스를 주입하여 중공부를 성형하고, 마지막으로 주입된 고압의 가스가 성형품의 수축을 보상하는 보압으로 작용하는 세 단계로 나눌 수 있다[6]. 쇼트샷법은 핸들과 튜브와 같이 두꺼운 살두께를 가지는 성형품을 생산할 때 사용된다. 쇼트샷법의 장점은 재료의 절감에 있다. 그러나 제품의 표면에 헤지테이션 마크(Hesitation mark)[7]가 생길 수 있는 단점이 있다. 풀샷방법은 처음에 금형의 캐비티에

용융수지를 완전히 충전한 후 일정지연 시간 후 가압된 질소가스를 캐비티의 용융수지에 주입하여 중공부를 형성시킨다. 이때 가스에 의해서 캐비티 밖으로 밀려나온 용융수지는 오버플로우로 들어간다. 중공부 형성 후 주입된 가스를 성형품의 수축을 보상하기 위해서 보압으로 사용된다. 풀셋방법은 두께가 두껍거나 얇은 성형품 모두에 사용될 수 있다.

그러나, 두 GAIM 방법은 몇 가지 단점을 가지고 있는데 가압가스에 의한 성형품의 터짐, 가스의 섞임에 의한 성형품의 흐려짐, 가스 노출의 설계의 제한, 오버플로우에 의한 재료의 낭비와 성형품의 냉각이 길어짐 등이다. 성형품의 냉각시간이 늦어지는 이유는 성형품의 중공부에 존재하는 질소가스가 용융수지가 가진 고온에 의해서 가열되어 성형품 내부에서 핫코어(Hot core)로 작용하기 때문이다. 여기서, 오버플로우의 설치는 재료의 낭비를 의미하며, 성형품의 냉각은 생산성과 깊은 관련이 있으므로 길어진 냉각시간의 단축이 필히 요구되고 있는 현실이다.

2. Reverse Gas Injection Molding(RGIM)

일반적인 GAIM 에서 문제가 되었던 헤지테이션 마크, 오버플로우에 의한 재료 낭비와 가스사출성형시 중공부의 고온의 가스에 의한 성형품의 냉각의 효율감소를 해결할 필요가 있었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 RGIM(Reverse Gas Injection Molding) 시스템을 개발하였다. 이 시스템에는 중공부의 고온가스를 배기하기 위한 에어유닛(Air unit)과 기존의 오버플로우에 의한 재료의 낭비를 막기 위한 오버플로우 버퍼(Overflow buffer)를 갖추고 있다. Fig. 1은 RGIM 시스템을 나타낸 것이다.

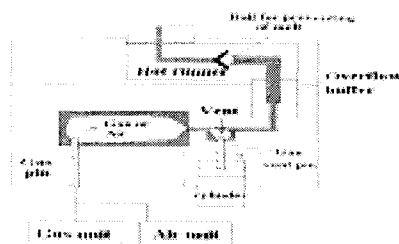


Fig. 1 Schematic of the RGIM system

RGIM 시스템은 4 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 캐비티 내의 수지의 충전이다. 풀셋과 같이 캐비티에 98~100%까지 수지를 충전시킨다. 두 번째 단계는 몇 초간의 지연시간 후 가압된 질소가스를 주입하여 중공부를 형성시키는 것이다. 전통적인 GAIM의 풀셋방법에서는 주입된 가스에 의해서 캐

비티 밖으로 수지가 밀어난 후 밀려난 수지가 오버플로우에 들어가면서 중공부가 성형되지만 RGIM 시스템에서는 밀려나온 수지가 다시 오버플로우 버퍼(Overflow buffer)속으로 들어가면서 다음 성형에 다시 사용됨으로 낭비되었던 재료가 절감되는 장점이 있다. 세 번째 단계는 주입된 가스가 중공부가 완전히 성형되면 보압으로 작용하여 중공부를 가압하는 단계이다. 마지막의 네 번째 단계는 일반적인 GAIM에서 문제가 되었던 중공부의 고온 가스에 의한 성형품의 냉각이 지연되는 문제점을 해결하기 위하여 중공부의 고온의 분위기를 제거하면서 성형품의 빠른 냉각을 위하여 중공부에 에어를 불어넣는 것이다.

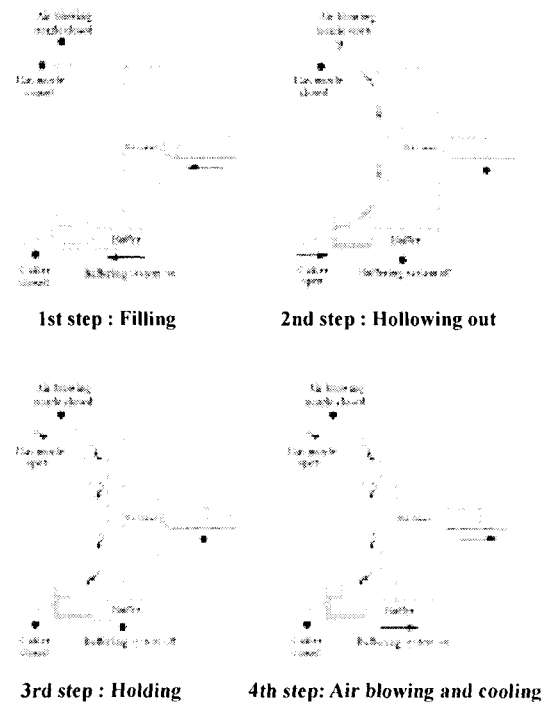


Fig. 2 4steps of the RGIM system

3. RGIM 시스템의 실험

3.1 실험장치

RGIM의 유효성을 검증하기 위하여 성형실험을 실시하였다. 실험에 사용된 금형은 전자렌지용 손잡이를 생산하던 것으로 한 개워 캐비티를 갖는 것이다. 그리고, 질소가스를 가압하는 장치는 GAIN Technologies[8]에서 생산한 것을 사용하였으며, 성형품의 냉각을 위하여 에어유닛(Air unit)을 특별히 제작하였다. 금형 온도는 50℃, 에어온도는 15℃이며, 사출성형기는 LG 기계의 LGH 140N를 사용하였

다. Fig. 3 는 질소가스 가압장치 및 에어유닛을 나타낸다. Fig. 4 는 RGIM 시스템에서 성형된 성형품을 나타낸 것이다.



Fig. 3 Gas pressure-generating unit and air unit

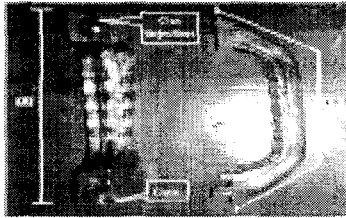


Fig. 4 Molding produced by the RGIM

3.2 실험계획법

RGIM 의 효율과 최적성형조건을 도출하기 위하여 GPPS(General purpose polystyrene, LG 케미컬 25SPI)와 PP(Polypropylene, LG 케미컬 M580)수지에 대하여 성형실험을 실시하였다. 실험의 효율성을 위하여 다구치 방법을 사용하여 실험 계획하였으며 [9], ANOVA 를 이용하여 실험결과 값을 분석하여 최적 조건을 예측하였다[10]. 성형품질에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되는 세 가지 인자를 선택하였으며 각각의 인자에 대하여 세 가지 수준으로 나누었다. Table 1 은 실험 인자와 수준을 나타낸 것이다.

Table 1 Experimental variables and levels

| | Melt temperature(°C) | Delay time for air blowing(sec) | Duration for air blowing(sec) |
|--------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Level1 | 210 | 21 | 50 |
| Level2 | 220 | 31 | 60 |
| Level3 | 230 | 41 | 70 |

3.3 성형실험

첫 번째 성형실험에서 GPPS 수지를 220°C의 수지온도로 사출하였다. 이 실험에서 취출된 성형품의 온도, 길이(Fig. 4 참조)와 무게를 측정하였다.

RGIM 시스템에서 성형된 성형품과의 비교를 위하여 에어순환 없이 일반적인 가스성형 방법으로 성형하여 취출한 성형품의 온도는 175°C였다. RGIM

시스템에서 생산된 성형품중 가장 낮은 성형품 온도는 7 번째 성형공정에서 나타났다. 그리고, 가장 큰 성형품 온도는 8 번째에서 나타났다. 두 성형조건간의 온도차이는 26°C이었다. 그리고, 일반적인 가스성형으로 성형된 성형품의 온도와 RGIM 시스템에서 생산된 성형품의 온도를 비교하면 약 50%의 증가된 냉각효율을 나타냄을 알 수 있었다. 성형품의 길이는 3 번째 성형조건에서 가장 길게 측정되었다. 그리고, 성형조건이 변하여도 성형품의 중량은 변화하지 않았다.

측정결과를 기초로 하여 각각의 성형변수에 대한 S/N 비를 구하였다. Fig. 5 는 GPPS 의 성형실험으로 구한 S/N 비를 나타낸 것이다. Fig. 5 에서 성형품의 냉각에 가장 영향을 미치는 것이 에어부름 유지시간인 것을 알 수 있다. 그리고, ANOVA 에서 예측된 최적의 성형조건은 수지온도 220°C, 에어주입 지연시간 21 초와 에어부름 유지시간 70 초 였다.

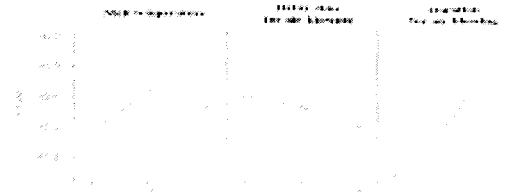


Fig.5 S/N ratio plot of molding temperature for GPPS

두 번째 성형실험에서 PP 수지를 220°C의 수지온도로 사출하였다. 이 실험에서 취출된 성형품온도, 길이, 높이(Fig. 4 참조)와 광택도를 측정하였다.

세 번째 성형조건에서 측정된 성형품 온도와 에어를 순환 시키지않고 성형한 성형품에서 측정된 성형품 온도를 비교하면 약 45%의 냉각이 증가함을 알 수 있었다. 그리고, 성형품의 길이와 높이, 광택도는 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

Table 4 을 기초로 하여 각각의 성형변수에 대한 S/N 비를 구하였다. Fig. 6 는 PP 의 성형실험으로 구한 S/N 비를 나타낸 것이다. 성형품의 냉각에 가장 영향을 미치는 것이 GPPS 수지에서와 같이 에어순환 유지시간인 것을 알 수 있다. 그리고, 예측된 최적의 성형조건은 수지온도 210°C, 에어주입 지연시간 31 초와 에어부름 유지시간 70 초 였다.

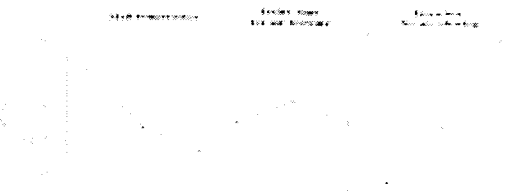


Fig. 6 S/N ratio plot of molding temperature for PP

4. 냉각시간

4.1 냉각시간 계산

RGIM의 이론적 검증을 위하여 냉각방정식을 사용하여 수치적으로 계산하여 보았다. 우선 일반적인 성형품의 냉각을 위하여 Fourier의 열전도 방정식을 사용하여 냉각시간을 계산하였다. 식(1)은 Fourier의 냉각 방정식이다.

$$t_c = \frac{s^2}{\alpha} \ln \frac{T_M - T_c}{T_s - T_c} \quad (1)$$

$$t_c = \frac{s^2}{\alpha} \ln \frac{T_M - T_c}{T_s - T_c} \quad (2)$$

여기서, t_c 는 냉각시간(sec), s 는 성형품의 살두께(mm) 그리고, α 는 열확산도(mm^2/s)를 나타낸다. 계산결과에 의하면 일반적인 냉각에서는 약 733(sec)가 소요되는 것으로 나타났다.

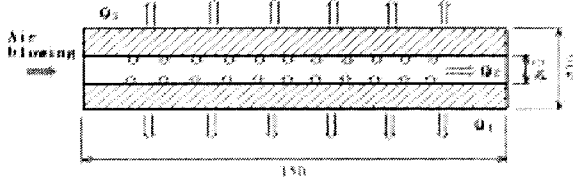


Fig. 7 Model for numerical calculation of heat transfer

에어순환을 이용한 성형품의 냉각을 위하여 성형품이 가지는 열량(Q), 에어순환에 의하여 냉각되는 열량(Q1) 그리고, 금형벽면의 접촉에 의한 열전달(Q2) 량을 각각 구하였다. 그 값은 Q1은 6.98kcal, Q2는 0.047kcal/s, Q3는 0.0638kcal/s였다. 계산에 의한 냉각시간은 약 126(sec)였다. 이는 에어순환에 의한 성형품보다는 약 5.5배 가량의 냉각시간 단축이 있음을 알 수 있었다. Fig. 7는 냉각시간 계산을 위한 모델이다.

4.2 MARC에 의한 열전달 해석

MARC의 열전달 해석을 이용하여 RGIM의 냉각효율을 검증하였다. Fig. 8은 에어를 20초동안 성형품의 중공부에 불었을 때의 성형품 내부의 냉각정도를 나타낸 것이다. 20초간 에어를 순환시켰을 때 성형품의 내부 온도가 취출온도인 약 70°C까지 냉각됨을 알 수 있었다.

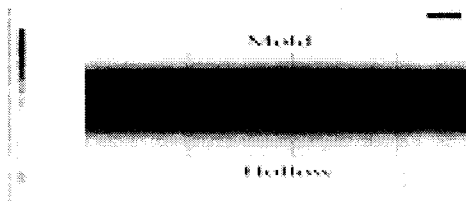


Fig. 8 Temperature distribution with air blowing during 20sec

5. 결론

기존의 가스사출성형 공정에서 문제가 되었던 중공부의 고온화로 인한 성형품 냉각시간의 증가와 오버플로우에 의한 재료가 낭비됨의 보완을 위해서 RGIM(Reverse Gas Injection Molding) 시스템을 개발하고 시스템의 유용성을 검증하기 위하여 성형실험, 이론적 수치계산과 MARC를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 수행된 각각의 결과에서 기존의 가스성형에서 보다 RGIM 시스템에서 생산된 성형품의 냉각이 약 50% 더 우수함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 나라엠엔디㈜에서 수행한 '02 중소기업 기술혁신개발사업의 연구 결과이며, 부경대학교 BK21 사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. G. Pötsch, W. Michaeli, Injection Molding: An Introduction, Hanser Gardner Publication, Inc., Cincinnati, 1995
2. Zheng, Tianmin, Ph.D., An investigation of gas-assisted injection molding: Effects of process variables on gas bubble formation, The Ohio State University, 1994
3. M. Chen, D. Yao and B. Kim, Optimization Of Process Conditions In Gas Assisted Injection Molding, Proc. ANTEC 2001, Dallas, Texas, 2001, 754-758.
4. E. Moritzer and H. Potente, Theoretical and Practical Results For The Gas Injection Molding Process Variant: Melt Displacement Into An Overflow Cavity, Proc. ANTEC96, Indianapolis, 1996, 674-678.
5. J. Avery, Gas-Assist Injection Molding: Principles and Applications, Hanser Gardner Publication, Inc., Cincinnati, 2001
6. R.J. Crawford, Plastics Engineering, Third Edition, Butterworth-Heinemann, England, 1998
7. C-MOLD, C-MOLD Design Guide: A Resource for Plastics Engineers, Third Edition, ITHACA, NEW YORK, U.S.A., 1999
8. J. F. Stevenson, Innovation in polymer Processing Molding, Hanser Gardner Publication, Inc., Cincinnati, 1996
9. G.S. Peace, Taguchi Methods, Addison-Wesley, New York, 1993
10. Minitab, Users Guide 2: Data Analysis and Quality Tools, USA, 2002