

BEM 해석을 통한 FAN 제작용 사출성형 금형의 냉각채널 위치 결정 Decision of Cooling Channel Position of Injection Mould for Plastic FAN Using BEM Analysis

[#]안동규¹, *박승화², 한길영¹, 김형수³

[#]D. G. Ahn (smart@chosun.ac.kr)¹, *S. H. Park², G. Y. Han¹, H. S. Kim³
¹ 조선대학교 기계공학과, ²조선대학교 일반대학원 기계공학과, ³(주)우성정공

Key words : Injection molding, Cooling channel position, Fan mould, BEM analysis

1. 서론

우리나라의 산업 발전은 제조업을 중심으로 발전해왔으며 제조업 중 주요 분야인 금형 산업은 최근 첨단 설계기술을 바탕으로 선진기술을 접목시켜 자동차 산업, 전기/전자 산업, 항공 산업 등의 발전에 기여하기 위하여 도약하고 있는 과정이다. 금형산업 중 상당한 부분을 차지하고 있는 사출성형 분야는 특히 기술이 복잡하고, 다양한 지식과 선진국의 최신 기술 및 숙련된 경험의 요구로 연구 및 관심이 많이 필요하다. 플라스틱 제품의 개발과정은 제품의 설계, 금형설계, 금형가공 및 시사출 등의 과정을 거쳐서 개발된다. 사출성형 금형의 경우 제품의 형상, 재료 및 공정에 따라 금형 설계가 계속적으로 바뀌는 주문적응형 특성이 강하다. 그래서 금형 초기단계에서는 사출성형의 시행착오를 줄이기 위해 여러 가지 CAE 프로그램을 활용하고 있으며 BEM (Boundary Element Method) 사출성형 해석 프로그램을 사용함으로써 금형 제작 후 시험평가를 거치지 않아 시간적 손실을 줄여 금형 납기 기간을 단축하고, 재료비 절감 및 제품의 품질 향상을 도모하고 있다¹.

사출성형은 크게 충전 과정, 보압 과정, 냉각 과정, 취출 과정으로 구분할 수 있으며, 이 중 60 % 이상을 차지하는 냉각 과정은 사출성형 공정 중 제품의 품질에 가장 큰 영향을 준다. 사출성형 시 충전과 보압 과정을 거친 금형 내의 수지는 냉각에 의해 액상에서 고상되기까지 약 15 % 정도 부피 변화를 하게 되며 이것은 최종 성형 제품에 수축 (Shrinkage) 이나 휨 변형 (Warpage) 등의 현상으로 나타나게 된다². 특히 냉장고 및 컴퓨터 등의 일상생활에 사용하는 가전제품 속에 설치되어 있는 팬 제품은 냉기순환 시스템 및 열 교환을 위하여 사용되는데 블레이드의 불균일한 냉각 때문에 편수축이나 휨 현상으로 인한 진동이 발생하게 되고, 전체 시스템의 성능 저하와 소음 등의 문제를 일으킨다³. 그래서 팬 제작용 사출금형은 수축, 휨 변형 및 구조적인 문제를 고려하여 제품의 두께에 대해 균일하게 제품의 열을 제거할 수 있는 효율적인 냉각채널 설계를 필요로 하고 있다. 하지만 팬 금형은 지금까지 드릴가공으로 인한 직선 냉각채널을 사용하기 때문에 제품의 균일냉각을 기대하기가 어렵고, 제품의 두께에 따라서 잔류응력이 제거되지 않아 제품의 품질이 저하되는 원인이 되어왔다. 이를 해결하기 위해 제품 형상에 적응하는 냉각채널로 설계하면 균일한 냉각을 통하여 제품 내 잔류응력을 제거할 수 있고, 냉각시간을 줄여서 제품의 품질 및 생산성을 향상시킬 수 있다⁴.

본 논문에서는 BEM 사출성형 해석을 통하여 팬 제작용 사출성형 금형의 폭방향 냉각채널의 위치에 대하여 사출성형 해석을 통해 제품의 충전 특성, 사출압력 특성, 수축, 웰드라인 (Weld-line), 휨 변형 및 잔류응력 등의 분포에 대해 비교 및 분석하여 금형 내 냉각채널의 위치를 결정하고자 한다.

2. 해석 과정

본 연구의 대상금형은 Fig. 1 과 같이 230 mm x 230 mm x 210 mm 의 크기를 가진 단일 캐비티 (Cavity) 로서 2 개의 상·하형 금형으로 설계된 냉장고에 사용되는 팬 제작용 사출성형 금형이며, 팬의 평균두께는 1.5 mm 이다. 사출성형 금형 및 팬 제품은 Unigraphics NX 5 를 이용하여 설계한 후, STL 파일로 변환하고,

Moldflow MPI 6.1 을 이용하여 사출성형 해석 격자 (Mesh) 를 생성하였다.

사출성형 해석을 위한 제품의 격자 생성조건은 에지 길이 (Edge length) 3 mm, 현 간격 (Chord height) 0.1 mm 이고, 생성된 격자의 품질 향상을 위해 자유 에지 (Free edge) 제거, 형상비 (Aspect ratio) 의 최대값, 비 매니폴드 에지 (Non manifold edge) 및 격자 매치 비율 (Mesh match ratio) 등을 확인 및 수정하여 사출성형 해석에 필요한 BEM 해석 격자를 완성하였다. 사출성형 해석을 위한 격자의 개수는 팬 및 금형 각각 13,587 개, 1,425 개이다.

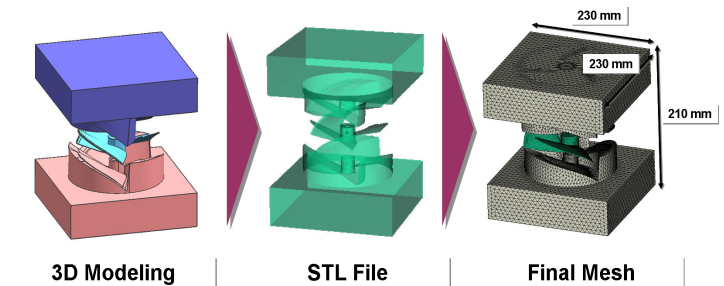


Fig. 1 Procedure of mesh generation

런너시스템 (Runner system) 설계는 Fig. 2 와 같이 콜드 런너 (Cold runner) 를 사용하였고, 스프루 (Sprue) 시작 지름은 3.5 mm, 끝 지름은 6.5 mm 이며, 게이트 (Gate) 는 흔적이 거의 없는 핀 포인트 게이트 (Pin point gate) 로서 시작지름 3 mm, 끝 지름 1 mm 인 3 점 게이트로 설계하였다.

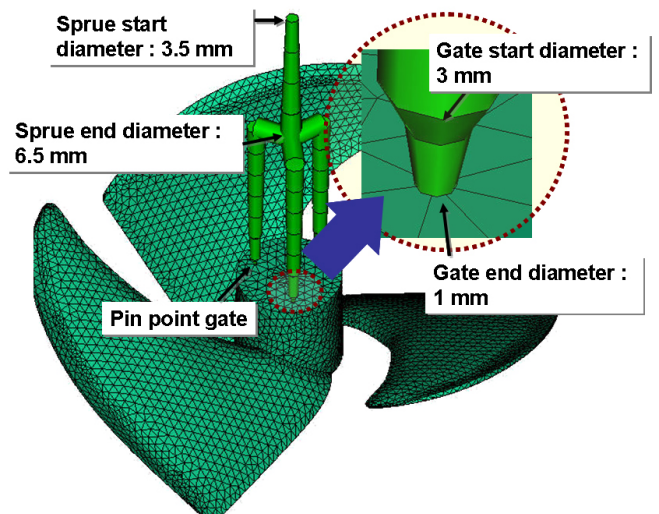


Fig. 2 Design of runner system

본 논문에서는 Fig. 3 과 같이 두께가 0.04 mm ~ 2.5 mm 인 얇은 팬 제품을 사용하였고, 사출성형 해석을 위한 냉각채널은 실제 제작이 가능한 형상 적응형 냉각채널로써 제품 두께분포에 대하여 사출금형의 폭방향으로 약간의 거리를 변경하여 설계하였다.

냉각채널의 지름은 상·하형 모두 5.14 mm이며, 냉각채널 입·출구간 폭방향 거리는 세 가지 유형별로 각각 21.9 mm / 7.5 mm, 25.4 mm / 11.3 mm 및 37.1 mm / 16.1 mm의 위치로 선정하였고, 제품과 냉각채널과의 두께방향 거리는 6 mm로 설계하였다.

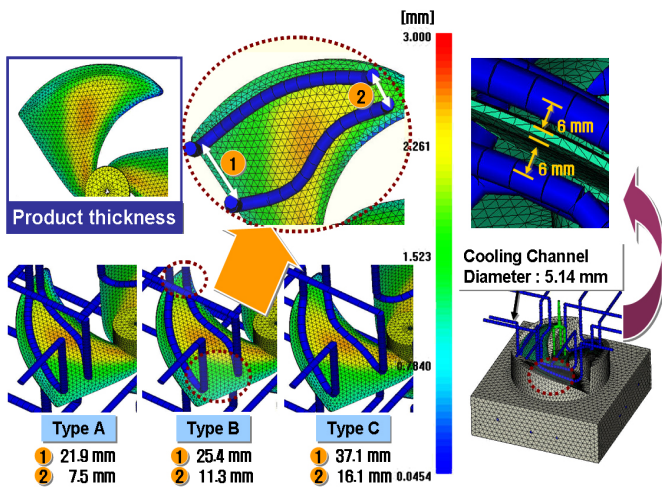


Fig. 3 Design of cooling channels and results of analysis

사출금형 설계는 상·하코어 모두 에지 길이가 8 mm인 사면체(Tetrahedron) 격자로 생성하였다. 사출성형 해석 방법은 두께가 얇은 팬 제품에 대하여 사출금형의 폭방향 냉각채널 위치에 따른 제품의 수축 및 두께 변화 등의 사출성형 특성을 분석하고 코어-시프트(Core-shift) 해석을 선택하였고, 초기 사출성형 공정 조건은 Table 1과 같다.

해석에 사용된 수지는 충격 저항, 경도 및 성형성이 우수하고, 다른 엔지니어링 플라스틱에 비해 가격이 낮아 자동차 제품, 전자 제품, 사무기기 등 실생활에서 널리 쓰이고 있는 비결정성 코폴리머(co-polymer)인 열가소성 수지로서 삼성 제일모직에서 생산하는 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)이고, 평균 수축을 최소화하기 위하여 유리섬유(Glass fiber)가 20% 포함되어 있다.

Table 1 Initial conditions of injection moulding analysis

Filling Control	Mould temperature	Melting temperature of resin	Coolant temperature
Automatic	80 °C	230 °C	20 °C

3. 결과 및 고찰

본 논문은 연구 대상인 팬 제품에 대하여 사출금형의 폭방향 냉각채널의 위치에 따른 사출성형 해석을 수행하였고, Fig. 3과 Table 2는 세 가지 냉각채널 유형에 대한 사출성형 해석 결과이다.

Table 2 Results of injection moulding analysis

	Type A	Type B	Type C
Fill time (sec)	1.77	1.77	1.77
Packing time and pressure (sec / MPa)	9.97 / 40.44	10.71 / 40.52	9.99 / 40.49
Max. injection pressure (MPa)	50.55	50.65	50.63
Average shrinkage (%)	2.72	2.70	2.70
Average residual stress (MPa)	8.33	8.29	8.32
Coolant temperature at inlet and outlet (°C)	20.00 / 20.11	20.00 / 20.09	20.00 / 20.15
Max. deflection (mm)	0.42	0.41	0.42
Cycle time (sec)	23.21	22.84	22.87

각각의 냉각채널 폭방향 위치에 따른 사출성형 해석결과, 사출/보압 시간, 사출압력 및 보압의 크기가 거의 같았으며, 세 가지 유형 모두 충전 패턴도 동일하였다. 유리 섬유로 인하여 충전 패턴(Pattern) 등고선이 조밀해지는 부분 역시 세 가지 유형 모두 동일하게 나타나서 웰드라인 및 공기 트랩도 냉각채널의 위치에 관계없이 같은 곳에서 분포하였다.

세 가지 설계안 중 제품의 두께가 1.5 mm인 부분을 따라 가장 일정하게 냉각채널을 설계한 B 유형의 설계안이 최대 사출압력 50.65 MPa, 취출 시 평균 수축률이 2.70%, 제품의 평균 잔류응력이 8.29 MPa, 냉각수 입·출구 온도차가 0.09 °C 및 사출 공정시간이 22.84 초로 가장 낮게 나타났다.

이 결과로부터 제품의 두께분포에 대하여 냉각채널의 위치가 제품의 냉각 및 변형에 영향을 미침을 알 수 있었고, B 유형의 냉각채널로 금형설계 시 제품의 변형이 가장 적음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 팬 제작용 사출금형의 폭방향 냉각채널 위치에 따른 사출성형 해석을 통해 제품의 품질에 미치는 특성에 대하여 연구를 수행하였으며 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 웰드라인 및 공기트랩은 냉각채널의 위치에 관계없이 충전 패턴 및 보압의 영향만을 받아 세 가지 유형 모두 일정한 위치에서 발생함을 알 수 있었다.

둘째, 냉각채널의 위치에 따라 최대 및 평균 수축률은 제품 두께에 대하여 미세하게 차이가 남을 알 수 있었고, 그 편차는 B 유형의 냉각채널이 가장 적어서 균일하게 제품을 냉각시키고 수축이 전체적으로 일정함을 알 수 있었다.

셋째, 제품의 온도를 균일하고 빠르게 제거하기 위한 냉각 시간 및 냉각수 입·출구 온도차가 사출금형 내 냉각채널의 위치에 따라 차이를 알 수 있었다.

넷째, 팬 제품의 냉각 후 변형은 두께가 1 mm 이하인 곳에서 일어났고, 폭방향 냉각채널의 위치에 따라서 서로 차이가 남을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 팬 제품 제작용 사출금형은 미세한 냉각채널의 변화로도 수축 및 변형으로 인하여 진동 및 소음의 원인이 됨을 확인할 수 있었다. 팬 제작용 사출성형 금형의 폭방향 냉각채널 설계안에 대하여 입·출구 거리가 각각 25.4 mm, 11.3 mm인 B 유형의 설계안이 제품의 수축, 잔류응력 및 휨 등의 변형이 최소이므로 최종 사출성형 금형 설계안의 냉각채널 위치로 결정하였다.

참고문헌

- Lin, Z. C. and Chou, M. H., "Design of the Cooling Channels in Nonrectangular Plastic Flat Injection Mold", Journal of Manufacturing Systems, 21, 167-186, 2002.
- Tang, L. Q., Chassapis, C. and Manoochchri, S., "Optimum Cooling System Design for Multi-cavity Injection Molding", Finite Element in Analysis and Design, 26, 229-251, 1997.
- 박성관, 최동규, "최적 축류팬 개발을 위한 통합공정(설계, 시제품 제작, 측정, 금형 가공, 사출, 조립)", 한국 CAD/CAM 학회논문집, 3, 201-209, 1998
- 안동규, "고속 냉각 특성을 가진 사출성형 금형 코어 제작 및 사출성형", 한국소정가공학회지, 17, 549-554, 2007
- Dalgarno, K. W. and Stewart, T. D., "Manufacture of Production Injection Conformal Cooling Channels via Indirect Selection Laser Sintering", Proc Instn Mech Engrs, 215, 1323-1332, 2001