

DC 모터 케이스 제조를 위한 사출성형공정 분석

민병현(동의대 기계공학과), 김병곤*(동의대 대학원 기계공학과)

An analysis of Injection Molding Process for the Manufacturing of DC Motor Case

B. H. Min(Mech. Eng. Dept., Dong-eui U) and B. G. Kim(Mech. Eng. Dept., Dong-eui U)

ABSTRACT

Injection molding process was taken to manufacture DC motor case that surrounds DC motor used as automobile parts. Up to now, DC motor case has been made by the deep drawing process or bending process of metal materials. Simulations of filling, packing and cooling processes were done by CAE tool like Moldflow software. Optimal delivery system was decided from the analysis of flow balance, and packing and cooling analyses were performed by using the design of experiment to minimize the volumetric shrinkage of molded part and the temperature difference between mold and part.

Key Words : DC motor case (DC 모터 케이스), Injection molding process (사출성형공정), Filling analysis (충전해석), Packing analysis (보압해석), Cooling analysis (냉각해석), DOE (실험계획법)

1. 서론

일반적으로 DC 모터 케이스는 안쪽 3면에 120° 방향으로 전자석을 부착하고 있으며 내부 DC 모터를 감싸는 역할을 수행하는데 지금까지는 금속재료를 이용하여 디프드로잉(deep drawing)이나 굽힘 가공(bending)에 의하여 제품을 생산하였다. 디프드로잉을 이용한 제조공정은 작업에 따른 제품의 파단을 방지하기 위하여 두꺼운 소재가 사용되어 재료의 손실이 많았고, 재료의 연성을 이용한 제조공정에 따른 드로잉 된 벽면과 플랜지 부분 등에 주름이 발생하거나, 두께의 불균일성 및 파단 특성이 있다.¹⁾ 블랭킹홀더(blanking holder) 또는 드로우 비드(draw bead)를 이용하여 다이 공동부 안으로 유입되는 소재의 유동을 조절하여 주름 발생, 두께의 불균일성 및 파단 특성을 줄일 수 있으나 많은 기술적 경험을 요구하는 단점이 있다. 한편 디프드로잉 공정에 의하여 DC 모터 케이스를 제조하는 대신에 판재를 360° 굽힘 가공에 의하여 DC 모터케이스를 제조하는 경우에는 굽힘 공정 시 모서리 부분의 한계가 있고, 굽힘 성형의 둘레방향에 견딜 만큼의 연성을 재료가 지니지 못해 발생하는 굽힘 면에서의 표면 수축이나 균열, 가장자리 균열 수축, 성형품을 이형했을 때에

탄성 변형분의 회복에 따른 굽힘각 불량, 또한 굽힘 성형시에 바깥쪽의 재료는 둘레방향으로 늘어나고 폭 방향으로 수축하는데 대하여 안쪽의 재료는 그 반대로 변형하기 때문에 발생하는 힘이나 단면불량 등이 발생하는 문제점이 있다.²⁾ 하지만 최근에는 DC 모터 케이스와 같은 원형 제품을 굽힘 가공으로 제조하는 경우 가장 큰 문제점인 양 끝단의 적절한 처리가 용이하지 않음을 판재의 끝단에 치(齒)형 구조를 적용하여 해결하는 기술도 개발되어 있다.³⁾ 즉, 판재의 양 끝단을 치(齒) 형상으로 처리하여 3번의 굽힘 공정에 의하여 판재가 360° 말렸을 때 양 끝단에 처리된 치(齒)형 구조의 억지 끼워 맞춤 힘이 스프링 백 힘을 증가하여 판재가 원 상태로 돌아가는 특성을 방지하는 기술로 양 끝단의 처리를 1:1로 주지 않고 좌우의 형상조건에 따라 5/100의 공차를 가감하여 억지 끼워 맞춤을 적용하여 스프링 백을 감소시키는 방법도 있으나 이러한 제조공정도 블랭킹, 피어싱, W-굽힘, U-굽힘 등의 많은 공정과 정밀한 치형 끼워맞춤 기술을 요구하므로 본 연구에서는 DC 모터 케이스가 요구하는 특성을 만족시키면서 제조공정이 간단한 사출성형공정을 적용하여 DC 모터 케이스를 제조하는 공정을 분석하였다.

2. 제품 개요

본 연구에서 적용될 DC 모터 케이스가 기존의 급합 가공을 통하여 생산된 제품이 Fig. 1에 보여지며 제품의 특성상 360° 회전방향에서 대칭구조가 아니다. 공정 수를 줄이고 생산성을 높이려는 목적에서 사출 성형공정이 적용되었으므로 제품이 DC 모터를 지지할 수 있을 정도의 강도와 내진성, 내약품성 및 내유성이 뛰어난 엔지니어링 플라스틱 수지의 일종인 나일론 수지(PA66)를 성형재료로 사용하였다. PA66은 POM보다도 뛰어난 내마모성, 강인성 및 높은 굴곡강도를 지니며 낮은 온도에서 가공이 용이해 성형온도 범위가 넓고 가공하기 용이한 재료이다. 성형수축은 0.010 ~ 0.020mm/mm 이고 수축의 양은 성형품의 두께에 의존하며 두께의 증가와 함께 수축이 커짐은 결정화도의 증가에 대한 기회가 증가하기 때문이며 성형후 2년 정도도 수축을 계속한다. 흡수성은 2.5% 이며 기어, 캠, 레벨, 문, 비품, 전기기기 하우징, 팬, 임펠라, 도어 핸들, 안전벨트 컴포넌트, 욕실부품 등에 사용되며 유리섬유를 첨가한 나일론은 일반 PA보다 큰 강성과 치수안정성을 필요로 할 때 사용된다.⁴⁾

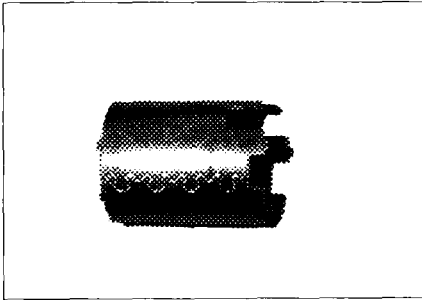


Fig. 1 DC motor case made by metal materials

3. 성형공정 분석

3.1 충전공정 분석

DC 모터 케이스 성형품은 제품의 사용 특성상 대칭구조가 아니라 하단부에 ㄷ 형의 홈이 파여져 있어 충전공정에서는 균일한 유동평형을 이루면서 용융 수지가 캐비티 내를 채워나감에 중요한 인자가 된다. 따라서 본 연구에서는 핀 포인터 게이트와 디스크 게이트 등 두 가지 형태의 게이트를 이용하여 시뮬레이션을 행하며 해석결과가 양호한 형태의 게이트를 결정하고자 한다.

3.1.1 3점 핀 포인터 게이트에 의한 충전

게이트는 120° 간격으로 3점에 핀 포인트가 배치

되는 게이트로 게이트 말단은 원통형 구조이며 게이트 입구의 지름은 1mm로 하고 런너의 지름은 3mm, 5mm 및 6mm 3가지 경우로 하였다. DC 모터 케이스 제품은 하단부에 서로 다른 크기의 ㄷ 형태로 절단된 부위가 있어 3점 핀 포인터 게이트를 0°, 30°, 60° 및 90° 회전을 시키면서 유동의 평형상태를 살펴보았다. 핀 포인터 게이트의 지름이 1mm로 같더라도 런너의 지름이 3mm, 5mm, 및 6mm일 때 충전의 형태가 다름을 알 수 있었는데 런너의 지름이 3mm일 경우 한 쪽으로 편향되어 충전이 일어남을 시뮬레이션으로 볼 수 있었다. 런너의 지름이 5mm일 경우 동시충전에 근접하게 일어나고 있지만 동시충전은 일어나지 않고 있다. 런너 지름이 6mm때 모든 각도에서 동시 충전이 일어나고 있으며 게이트의 회전 각도에 따른 위치와 관계없이 모든 각도에서 동시 충전이 됨을 볼 수 있었다. 그 중에서 30° 방향 회전의 경우 Fig. 2에서와 같이 웰드 라인이 적게 나타나는 해석결과를 보았으며 공정과 냉각 공정해석에 이용하였다.

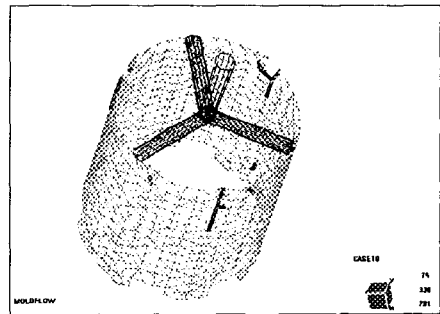


Fig. 2 Weldline distribution from filling simulation

3.1.2 디스크 게이트에 의한 충전

디스크 게이트는 무한개의 핀 포인터 게이트를 사용한 것으로 생각할 수 있으며 물이 폭포에서 낙하하는 것과 같이 용융 수지가 원주형의 낙하 경로를 통하여 일시에 캐비티 내로 채울 수 있어 동시충전의 장점을 지니고 있다. 디스크 게이트까지 통로가 되는 스프루의 크기는 5mm, 7mm, 9mm 및 11mm 중에 충전 결과를 검토하여 최적의 스프루 크기를 선정하였다. 디스크 게이트의 두께는 1mm, 1.3mm, 1.5mm 및 1.7mm로 하여 각 경우에 대하여 충전성을 검토하였다. 디스크 게이트는 핀 포인터 게이트와 달리 디스크 게이트의 두께가 1mm로 일정하고 스프루의 지름이 변할 때 동시 충전 여부에 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었고, 스프루의 두께가 일정하고 디스크 게이트의 두께가 1.3mm일 때 제품의 동시 충전이 가장 양호함을 알 수 있었다. Fig. 3은 위의 기하학적인 조건에서 충전상태를 보여준다.

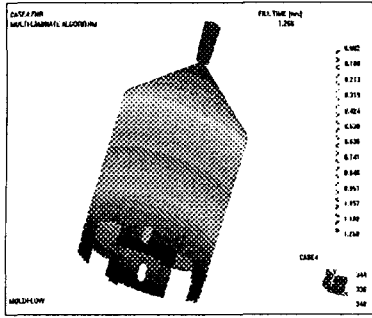


Fig. 3 Filling balance from filling simulation with disk gate

3.2 보압공정 분석

보압공정은 충전공정 동안에 캐비티를 채워나가는 용융 수지가 차가운 금형 면과 접하면서 수축을 일으켜 줄어든 수지 량을 보충하여 체적 수축을 보상하고 역류(Back Flow)를 방지하며 게이트가 냉각되어 고화 될 때까지 지속된다. 수축될 때까지 캐비티 내로 밀어 넣는 양은 수지의 양에 따라 최대 15%에 이르며 보압공정을 세분화하면 압축공정과 냉각공정까지 포함되며 이는 일정압력 하에서 지속적으로 유지 될 수 있으나 게이트가 고화 된 이후에는 아무리 압력을 가하여도 전달이 되지 않으므로 게이트가 고화 될 때까지만 압력이 가해지고 이 후에는 냉각만 지속되는 것이 좋다.

보압 프로파일을 구성하는 보압과 보압시간의 결정은 우선 보압시간을 결정하고 그 이후 보압크기 변화를 관찰하여 본다. 본 연구에서는 게이트의 Element(19 및 20)가 100% 고화 하는 시간을 보압시간으로 결정하면 대략 13초 정도였으며, 성형품 취출이 가능한 취출온도 210° C 까지 성형품의 온도가 도달되는 동안 보압시간이 지속되어야 하므로 캐비티의 가장 안쪽 노드(481 및 1218)의 온도를 검토하여 약 9초로 게이트 고화시간 내의 범위에 있으므로 보압시간은 13초로 결정하였다. 본 연구에서 사용되는 성형품의 투영 면적이 64cm²이고 α를 0.5로 할 때 적용 될 수 있는 최대 보압은 156Mpa 까지 가능하다.⁹⁾ 이는 사출성형기에서 줄 수 있는 최대 보압으로 PA66 수지에 실제 적용되는 최대 보압 내에 포함되므로 충전 후 압력 30Mpa 보다 큰 50Mpa에서 125Mpa까지 25Mpa씩 증가시키면서 보압 크기가 체적 수축률에 미치는 효과를 관찰하였다.

Fig. 4는 주어진 압력 프로파일 하에서 체적수축률의 결과를 보여주는데 게이트에서 멀어질수록 수축이 커짐을 알 수 있다. Fig. 5는 보압의 크기에 따른 성형품의 체적수축률을 보여 주는데 최대, 최소 및 평균값을 나타내었으며 보압이 증가함에 따라 체

적수축률은 감소하는 현상을 볼 수 있는데 보압이 증가할수록 체적수축률의 평균값이 1.4%에서 1%까지 감소함을 알 수 있었다. 적정 보압은 사출성형기의 최대 형체력의 범위내에서 성형품에 과부압과 잔류응력을 발생시키지 않는 보압이 가장 적당하다.

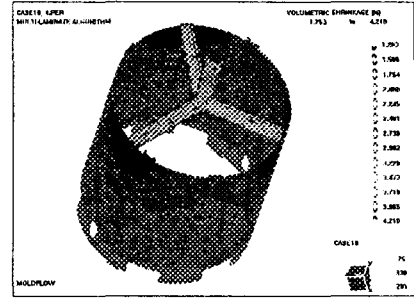


Fig. 4 Distribution of volumetric shrinkage

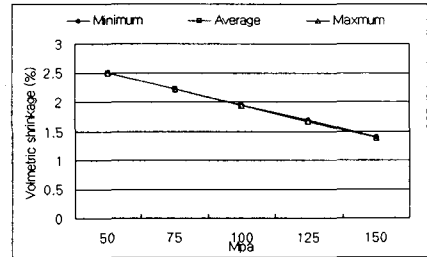


Fig.5 Volumetric shrinkage of molded part according to the increase of holding pressure

3.3 냉각공정 분석

냉각공정의 분석에서는 성형품의 균일 냉각에 초점을 맞추었으며 냉각공정과 관련된 냉각수 입구 온도 및 냉각 수량, 냉각시스템과 관련된 냉각관의 배치, 냉각관의 직경 및 성형품 표면으로부터의 거리 등 여러 가지가 있다. 냉각관의 배치는 일자형, U자형, W자형 등을 고려한 중에 단순히 U자형을 채택하여 성형품의 안쪽과 바깥쪽을 Fig. 6에서 보여주는 바와 같이 설치하였다.

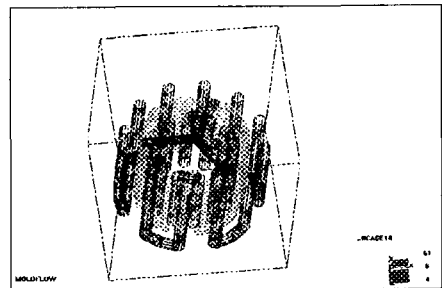


Fig. 6 Cooling channel layout with U-type

시뮬레이션 소프트웨어에 의한 충전, 보압, 및 냉각공정의 모의실험을 행한 후 균일 냉각을 간접적으로 보여줄 인자로 성형품의 온도 편차나 금형의 부위별 온도 편차를 정의하고 이를 최소화하는 것을 균일 냉각의 측도로 규정하였다. 본 해석에서는 대구씨의 실험계획법에 의한 4인자 3수준의 실험조건을 포함 할 수 있는 직교배열표를 이용하였다. 본 시뮬레이션에서 고려하는 독립인자는 냉각관 직경(A), 냉각관과 캐비티 사이의 거리(B), 냉각수 입구 온도(C), 냉각관 입구에서의 유량(D) 등 4개이므로 $L_9(3^4)$ 직교배열표는 본 시뮬레이션의 목적에 충분히 부합된다. 상세한 실험 조건은 Table 1에서 보여지며 각 인자의 수준은 실제 입력인자의 실험 조건 값을 변환하여 1, 2, 3의 3 수준으로 하였으며 수준에 따른 설계변수의 값은 사출금형 핸드북의 값을 그 범위로 선정하였으며 시뮬레이션에 의한 실험은 각 조건에서 한번 만 실시되었다.

균일냉각의 정도를 판단할 수 있는 성능인자로 목표료한 금형온도와 성형품의 상부온도와의 최대 온도편차(NS1), 목표료한 금형온도와 하부온도와의 최대 온도 편차(NS2), 성형품 상·하부의 최대 온도 편차 (NS3), 냉각수 온도 상승값(NS4) 등으로 규정하였다. 잡음인자에 강한 설계를 위하여 신호대 잡음비(SN ratio)를 분석하는데 냉각시스템의 설계에서는 위에서 언급한 인자들의 값이 작을수록 시스템의 성능이 좋다고 할 수 있으므로 이들을 최소화하는 것이 균일냉각을 위한 방안으로 하여 망소특성을 기준으로 구한 SN비를 Table 1에 보여 준다.⁶⁾

Table 1 SN ratios according to experimental conditions

	A	B	C	D	Temperature(°C)				SN
					NS1	NS2	NS3	NS4	
1	1	1	1	1	4.1451	4.0729	4.6395	2.589	-11.9031
2	1	2	2	2	4.6038	4.5359	4.7134	2.014	-12.3071
3	1	3	3	3	4.7918	4.7461	3.5477	1.392	-11.7616
4	2	1	2	3	3.3995	3.3307	4.6516	1.594	-10.6844
5	2	2	3	1	3.2600	3.2601	2.6983	1.161	-8.0109
6	2	3	1	2	5.0067	4.9425	2.8510	2.1	-11.9056
7	3	1	3	2	3.9302	3.9177	1.8881	0.96	-9.45485
8	3	2	1	3	5.3722	5.3770	3.8944	1.717	-12.7810
9	3	3	2	1	5.2331	5.2529	2.0665	1.413	-11.8501

SN비에 대한 분산분석에 따르면 냉각수 입구 온도(C)가 기여율이 53%로 가장 크고, 냉각관 직경(A)의 기여율이 25%, 냉각관과 캐비티 사이의 거리(B)의 기여율이 14%이며 입구에서의 유량(D)의 기여율이 8%로 가장 낮게 나타났다.

Fig. 7은 설계인자의 각 수준에서 SN비의 점 추경치를 보여주는데 냉각관의 직경(A)은 1수준, 냉각

관과 캐비티 사이의 거리(B)의 수준은 3수준, 냉각수 입구 온도(C)의 수준은 1수준 및 입구에서의 유량(D)의 수준은 3수준으로 조합될 때 최소의 SN비를 가짐을 알 수 있다.

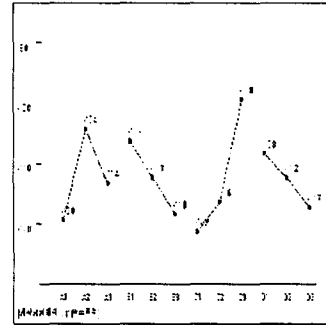


Fig. 7 SN ratios according to the levels of design variables

4. 결론

DC 모터 케이스의 제조를 위하여 사출 성형공정이 적용되었으며, 시뮬레이션 S/W를 이용하여 충전, 보압 및 냉각공정 분석이 행해졌다. 유동평형을 이룰 수 있는 적합한 유동시스템이 설계되었으며, 성형품의 수축 및 향후 변형까지도 최소화할 수 있는 보압 및 냉각시스템의 설계를 위하여 실험계획법이 적용되었다. 체적수축률을 1.4%에서 1.0%까지 줄였으며, 변형의 주요원인인 온도편차를 줄이는데는 냉각관의 직경이 가장 중요함을 분석하였다.

참고문헌

1. Kalpakjian, S., "Manufacturing Processes for Engineering Materials," McGraw Hill, pp.404-409, 1991.
2. Staring, C. W., "The Theory and Practice of Flat Rolling," The University of London Press, pp.125-128, 1962.
3. 민병현, 허관도, 여흥태, "굽힘 가공에 의한 DC 모터 케이스 제조," 금형저널, No. 12, pp.192-199, 1999.
4. Tadmor, Z. and Gogos, C. G., "Principles of Polymer processing," John Wiley & Sons, pp.31-42, 1979.
5. 민병현, "사출성형공정에 의한 엔지니어링 플라스틱 기어 개발," 한국정밀공학회지, 제16권, 제8호, pp. 71-78, 1999.
6. Taguchi, G. "Introduction to Quality Engineering : Designing Quality into Products and Processes," Asian Productivity Organization, pp.101-102, 1986.