



스크루 형상에 따른 용융 수지 혼합과 성형품 밀도

홍청민^{a*}, 유중학^b, 정현석^c

Melting Plastic Mixing and Product Density Based on Screw Shape

Cheong-Min Hong^{a*}, Joong-Hak Yoo^b, Hyun-Suk Jung^c^a School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education,
1600, Chungjeol-ro, Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31253, Korea^b Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education,
1600, Chungjeol-ro, Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31253, Korea^c Department of Nano measurement, Korea Polytechnics II, 41-21, Songwon-gil, Gongdo-eup, Anseong, Gyeonggi-do, 17550, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	30	January	2019
Revised	11	April	2019
Accepted	13	April	2019

Keywords:

Barrier screw
Injection molding
Standard screw
Wight of injection product
Density of injection product

ABSTRACT

The screw in the injection molding machine mixes with plasticization. This study uses a standard screw and barrier screw to verify whether the screw shape in the mold affects the melt mixing. The relationship between the mixing of the molten resin and the weight and density of the injection molding was tested and the statistics were confirmed. The results show that color lines were generated only in the standard screw during the mixing of the master batch. The average weight of the injection products with the barrier screw was larger than that with the standard screw by 1.09% and the density was about 1.01%. The average distribution of the weight was lesser for the barrier screw than for the standard screw. Through statistical analysis, we confirmed that the screw shape affects the melt mixing and density, and the density of the barrier screw can be used to stabilize the densities.

1. 서론

사출성형은 플라스틱 제품 제작을 하는데 가장 효율적인 방법으로 자리잡혀있다. 제조원가가 비교적 저렴하여 다양한 산업 분야에서 기존에 금속, 유리, 고무 등의 산업재료를 대체해 사용되고 있다. 석유화학의 발달로 인하여 플라스틱 재료인 수지의 개발과 연구가 이루어지고 있다. 이것은 다양한 물적 특성을 갖는 수지의 개발과 연결되었으며 전기, 전자를 비롯하여 항공, 기계, IT 등 여러 사회 분야에 적용 및 사용되고 있다. 다양한 분야에 사용되고 있는 플라스틱 제품의 성형방법은 다양하지만, 사출성형은 가장

보편화되어 있다. 사출성형은 사출 금형 제작 및 성형기와 각종 장비가 고가이나, 대량생산 시 원가절감을 할 수 있어 대량생산에 유용한 제작방법이다. 사출성형은 수지, 사출 금형, 사출성형기가 기본요소이다. 사출성형기에 사출 금형을 체결하고 고온으로 용융된 수지를 금형의 유동 기구를 통하여 빈공간에 사출한다. 이러한 방법으로 플라스틱 제품을 대량으로 생산할 수 있다^[1]. 사출성형을 하여 플라스틱 제품을 제작할 때는 여러 가지 사항을 고려해야 한다. 이 중 플라스틱 제품의 수지선정은 물성과 결정구조, 내화학성, 내피로도, 전기적 특성 등을 확인하여야 한다. 또한 수지의 특징과 종류에 따라 용융 시 사출성형기 가소화 구조와 상태에 영향

* Corresponding author. Tel.: +82-32-715-5883

Fax: +82-32-518-5883

E-mail address: 282cjdalsl@naver.com (Cheong-Min Hong).

을 받을 수 있다. 다시 말해 사출성형 시 수지의 가소화 차이에 따라 영향을 받아 플라스틱 성형품의 품질 차이가 야기될 수 있다.

사출성형기의 가소화 장치 중 screw는 공급부, 압축부, 계량부로 분리할 수 있다. 사출성형기의 호퍼를 통하여 공급된 수지는 screw의 공급부로 들어가게 되고 회전을 통하여 전진하게 된다. 압축부에서 수지를 고온으로 용융시키고 계량부는 사출을 위하여 용융된 수지를 균질화시킨다^[3].

Pack과 Cho 등은 사출성형기의 barrier screw 디자인에 따른 Polypropylene 수지의 가소화 효율에 관하여 연구하였다. Barrier screw의 open type과 closed type이 PP수지 가소화 시 토출량, 배압 토크, 수지온도, 채널 내 용융특성과 용융 길이로 차이를 확인하였다^[4]. Dekker와 Lindt는 솔리드 베드가 screw 채널 중간에 위치하고, melt pool은 채널 좌, 우로 형성되어 용융이 진행될 때 용융막이 점차 증가하는 것을 관찰하였다^[5]. 가소화 장치인 screw 중 barrier screw와 standard screw로 가소화 실험을 하고 수지의 용융 거동 및 용융 길이 등을 비교하여 가소화 효율을 검토한 연구는 Park과 Cho가 실험으로 검증하였다^[6]. 그 외 사출성형 조건 설정 시 주요 인자들을 최적화하여 성형품 품질 향상을 위한 연구들이 이루어지고 있다^[7,8].

본 연구는 사출성형 시 screw의 형상에 따른 polypropylene (PP) 수지의 혼합차이를 조사하였다. Standard screw와 barrier screw를 선정하여 마스터 배치(master batch)를 적용한 용융 수지 혼합 정도를 확인하고, 사출된 성형품의 무게와 밀도 차이를 분석하였다. 또한 통계기법을 이용한 검증을 통하여 screw 형상이 사출 성형품에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험 장비 및 실험방법

2.1 Screw 모델과 실험 장비

Screw는 각 위치와 용도에 따라 공급부, 압축부, 계량부로 이루어져 있으며, 실험에 적용한 screw는 Fig. 1에 나타난 것과 같다.

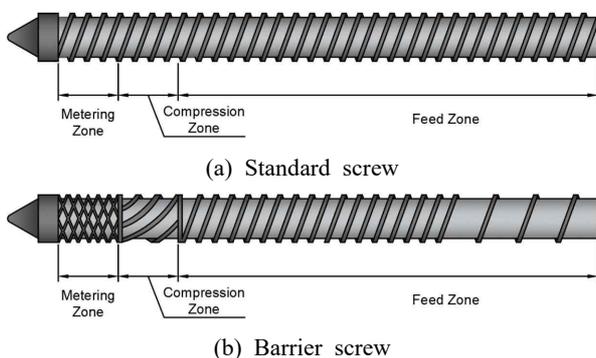


Fig. 1 Shape of screw

(a)는 현업에서 사출성형 시 일반적으로 사용되고 있는 standard screw로 공급부, 압축부, 계량부가 구분되어있지 않고 모두 같은 형상의 나선형으로 이루어져 있다. 실험에 사용한 barrier screw는 (b) 형상으로 되어있다. 공급부는 standard screw와 같이 기존의 나선형이다. 그러나 압축부는 색소틴형, 계량부는 파인애플형으로 각각 다른 형태로 되어있다.

Fig. 2는 실험에 사용한 사출성형기로 형체력 1,000 kN (EM200/100, ENGEL Co)인 전동사출성형기다. 사출성형을 위한 사출 금형은 insert cavity 방식으로 2 cavity, side gate를 적용하였다. 사출조건 설정과 성형품의 품질예측을 위하여 Auto desk사의 Mold flow 2016 Adviser로 성형해석을 실시하였다.

사출 중 수지의 유변물성을 예측하기 위하여 레오메타(CFD-500 D, Simadzu Co)를 사용하였다. 정온법으로 실험하였으며, 사출성형 조건을 고려하여 실린더 온도는 230°C, 압력은 20 MPa, 다이 내경은 Ø1, 다이 두께는 1 mm로 실험조건을 설정하였다.

2.2 실험방법

실험을 위한 수지는 한화토탈의 PP (BJ750)로 선정하였다. 실험 수지의 밀도는 0.91 g/cm³, 용융수지는 28 g/10 min이며, 수축률 1.5~1.8%, 사출 추천온도는 230°C이다. Screw 형상 차이에 따라 수지의 혼합차이를 눈으로 확인하기 위하여 수지에 파란색 마스터 배치를 첨가하여 실험하였다. 수지에 마스터 배치를 배합한 후 수지를 제조사 권장 사출 온도인 230°C로 하여 흐름과 혼합차이를 조사하였다. 핸드폰 부품 중 Lock plate를 이용하여 사출성형 시 성형품을 밀도 및 무게 차이를 확인하였다. 사출성형 해석을 통하여 실험 시 사출할 성형품이 가지고 있는 형상에 따른 불량 및 불량 유형을 사전에 확인하고 예측하였다. 또한 사출온도와 사출 시 압력을 고려하여 사출 중 수지의 유변물성을 레오미터로 예측하였다. 사출 조건은 양산시 조건과 성형해석을 고려하여 설정하고 사출하였다. 금형 온도는 90°C, 사출 온도는 230°C, 냉각시간은 15초, 보압은 8초에 5 MPa로 설정하였다. 동일한 사출성형기에 standard screw, barrier screw를 설치하고 시험 사출을 제외



Fig. 2 Experimental device for injection machine

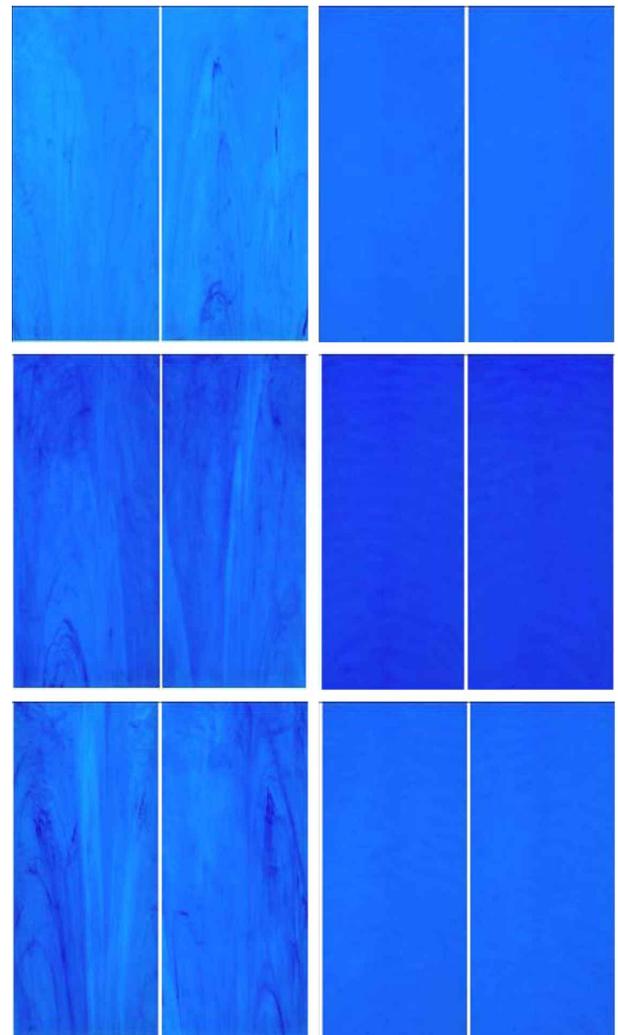
한 후 screw에 형상에 따른 각각 30개의 샘플을 사출하였다. 사출된 성형품을 1/1,000 g까지 무게와 밀도를 측정하고 통계프로그램을 통하여 분석하였다. 통계를 분석하여 유의미한 차가 있는지 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

레오미터를 이용하여 성형품 사출 중 유동 수지의 유변물성에 대하여 예측하였다. 실험 시 압력은 성형해석을 통하여 얻어낸 사출 시 압력을 고려하여 설정하였다. 실험 수지를 230°C의 실린더 온도에서 20 MPa의 압력으로 다이를 통과할 때 유변물성을 확인하였다. 그 결과 유량은 1.020 cm³/s, 전단속도는 1.039×10⁴ /s, 점도는 4.836×10² Pa·s으로 나타났다. 이 결과로 용융 수지가 사출될 때 물성을 예측할 수 있다.

Screw의 형상에 따른 용융 수지의 혼합차이를 알아보기 위하여 PP 수지에 마스터 배치를 추가하여 흐름을 확인하였다. 사출성형기에 standard screw와 barrier screw를 장착하여 같은 방법으로 실험하였다. 수지와 마스터 배치 배합 중 발생할 수 있는 차이를 고려하고 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 각각 3회씩 배합하였다. 각각 배합된 수지는 계량하여 2회씩 screw 별 용융 수지 혼합실험을 하고, 배합 후 사출된 용융 및 혼합 결과를 Fig. 3과 같이 확인하였다. (a)는 standard screw로 사출하였을 때 흐름을 나타낸 것이다. 배합의 비율과 상관없이 모든 실험에서 screw 내에 용융된 수지와 마스터 배치가 고르게 혼합되지 않은 것을 알 수 있다. 각 배합에 따른 마스터 배치의 농도가 달라 뭉쳐진 양이나 색의 차이는 있으나 전반적으로 마스터 배치가 충분히 섞이지 않아 중간에 뭉쳐있는 것을 육안으로도 확인할 수 있다. 이것으로 용융 수지가 충분히 혼합되지 않을 가능성과 용융 수지의 유동을 예측할 수 있다. Fig. 3의 (b)는 barrier screw의 마스터 배치와의 배합 후 용융 혼합을 나타낸 것이다. 수지의 흐름 방향으로 흐름 무늬가 발생하긴 하였으나, Standard screw와 달리 마스터 배치가 뭉쳐있는 것을 육안으로 확인하기 어려웠다. 또한 3회의 배합 모두 실험 시 각각 차이가 크지 않아 용융 수지 내에 마스터 배치가 원활하게 혼합된 것으로 예상할 수 있다. 마스터 배치를 첨가한 용융 수지의 혼합차이 실험결과 용융 수지의 혼합이 screw의 형상에 따라 차이가 발생할 수 있으며, standard screw와 비교하여 barrier screw가 용융 수지 혼합을 충분히 고르게 하는 것을 알 수 있었다.

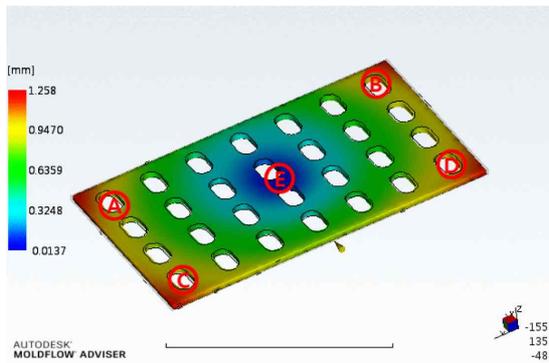
Fig. 4는 사출성형품의 형상에 따른 trouble shooting 확인을 위한 것으로 다음과 같이 성형해석을 실시하였다. 해석 시 사출성형기의 재원 중 screw는 실험에 선택한 standard screw와 맞추었으며 이를 토대로 실제 사출 조건 설정에 참고하였다. 성형해석 조건은 사출온도 230°C로 성형해석으로 확인한 결과 금형 내 유



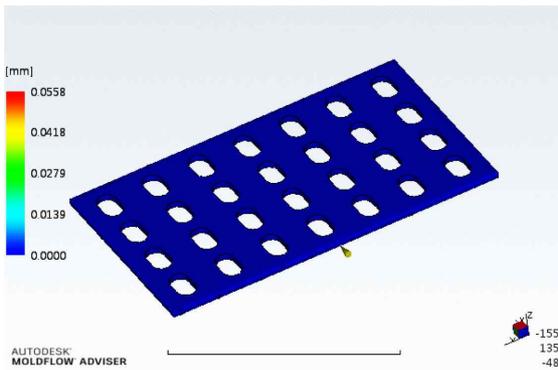
(a) Standard screw (b) Barrier screw
Fig. 3 Mixed condition with type of screw

동기구를 지나 게이트까지의 도달시간은 약 1.15초인 것으로 나타났다. 성형해석을 통하여 성형품의 무게는 5.689 g으로 확인할 수 있다. 사출 시 압력은 약 19.923 MPa로 나타났다. (a)의 경우 사출 시 발생할 수 있는 변형을 나타낸다. 해석결과와 같이 제품 중심부 즉 E의 부분 변형은 0.01 mm로 예측되지만, A~D 부분은 0.9~1.26 mm의 변형이 발생할 수 있는 것으로 확인되었다.

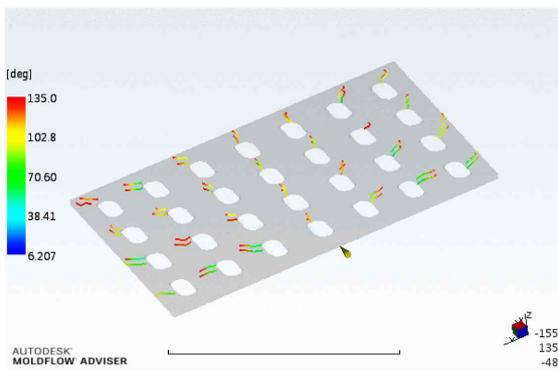
이 결과는 성형해석 중 성형품의 온도분포와 같은 양상을 보이는데 성형품의 온도 편차는 2.638°C로 나타났으며 중심부인 E의 온도와 모서리인 A~D의 온도차가 약 6.587°C 차이 발생할 수 있는 것으로 확인하였다. (b)를 통하여 싱크마크(sink mark)는 성형품의 1% 미만의 구간에서 발생할 수 있음을 알 수 있었고, 평균 0.05 mm, 최대 0.06 mm로 예측되었다. (c)는 게이트의 위치와 크기에 따라 생길 수 있는 웰드라인(weld line)을 예측한 것이다. 약 48개의 웰드라인이 발생할 것으로 예측되었으며 제품의 형상 중 다수의 타원형의 구멍이 있는 주변에 웰드라인이 수지의 흐



(a) Analysis of transform



(b) Analysis of sink mark



(c) Analysis of weld line

Fig. 4 Prediction of product quality

를 반대 방향에서 유동선단에 의해 발생할 수 있는 것을 알 수 있다. 웰드라인을 방지하기 위하여 사출성형 시 금형 온도와 형체력 등 성형조건 설정하였으며, 이는 해석결과를 참고하였다. 그 외 성형품의 취출 시 발생할 수 있는 수축은 최소 2.19%로 확인되었다. 그러나 게이트와 가까워 용융 수지의 온도가 높고 냉각이 오래 걸리는 부분에는 14.59%의 체적 수축이 발생할 수 있음을 확인하였다. 다음과 같은 사출 조건으로 사출하였을 때 전반적인 성형품의 품질 불량은 없는 것으로 확인되었다. 성형해석을 참고하여 성형품 사출을 위한 사출성형 조건을 설정하였다. Screw 형상에 따른 사출성형품의 무게 차이를 확인하기 위하여 하나의 사출성형기에 standard screw와 barrier screw를 설치하여 lock plate를 사출성

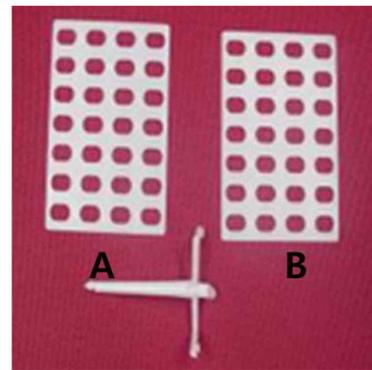


Fig. 5 Injection product with standard screw

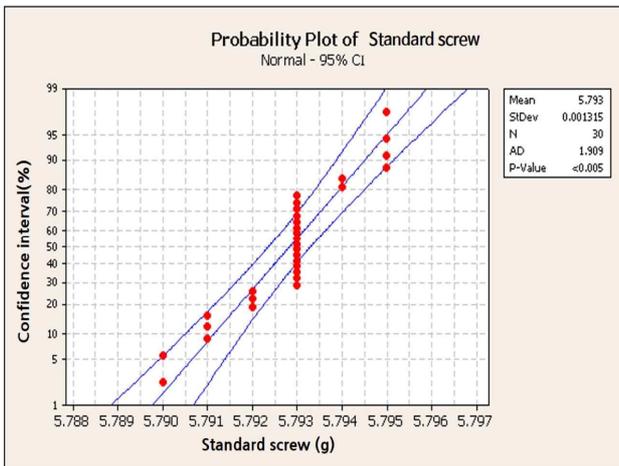
Table 1 Weight deviation of products

Screw type	Standard	Barrier
Weight (g)		
Max	5.795	5.846
Min	5.790	5.845
Average	5.793	5.846
Diff	0.005	0.001
Standard deviation	0.0006	0.0004

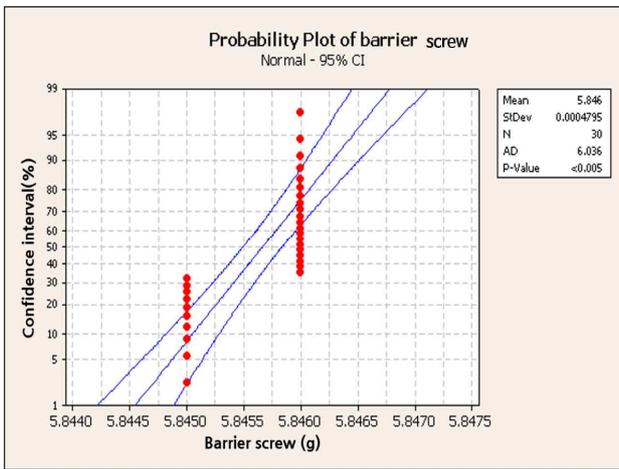
형 하였다.

Fig. 5는 실제 실험 시 사출된 성형품으로 standard screw로 사출된 성형품이다. 이때 cavity에 따른 차이를 배제하기 위하여 그림에서 A에 위치한 성형품의 무게를 측정하고 비교하였다. 사출성형 시 모든 성형품이 육안으로 확인되는 불량 발생하지 않았다. 사출성형에서 예측된 웰드라인을 방지하기 위하여 성형조건을 관리한 결과, 웰드라인의 수가 screw 형상과 상관없이 최소 7에서 최대 12개로 해석결과보다 적게 나타났다. 또한 미성형이나 플래시(flash)와 같은 성형품의 무게에 영향을 미치는 불량이 발생하지 않음을 확인하였다. 취출 후 각각 screw로 사출된 시편의 무게를 측정하였다. 실험결과를 통계프로그램인 Minitab (release 13)을 사용하여 Table 1과 같이 최대 무게, 최소 무게, 평균, 최대최소 무게차, 표준편차 등을 평균 밀도의 경우 성형품의 부피와 무게를 통하여 구한 후 비교하였다. 이때 밀도는 용융 수지의 혼합에 따른 성형품의 수지 조밀함을 예측할 수 있다. 실험과 동일한 조건으로 성형해석을 통하여 예측된 성형품의 무게는 5.689 g이었다. 실제로 사출된 성형품의 무게는 screw의 형상과 상관없이 모든 성형품이 성형해석으로 예측된 것보다 크게 사출되었다.

Fig. 6은 본 실험으로 각 screw에 따라 사출된 성형품의 무게를 측정한 후 신뢰구간에 관하여 나타난 것이다. Fig. 6의 (a)는 standard screw를 적용했을 때 성형품의 평균 무게 및 산포를 나타낸다. 평균 무게는 5.793 g이었고, 최대 무게는 5.795 g, 최



(a) Standard screw

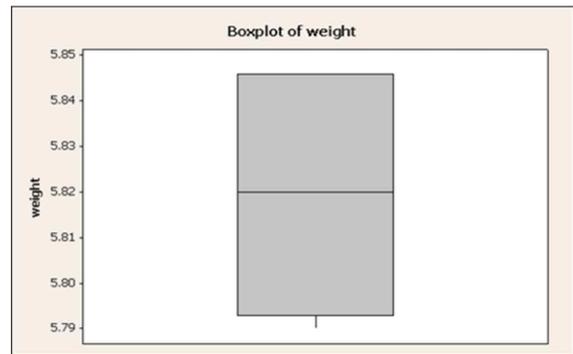


(b) Barrier screw

Fig. 6 Confidence interval of injection products weight

소 무게는 5.790 g이었다. 최대 최소 편차는 0.005 g으로 확인되었다.

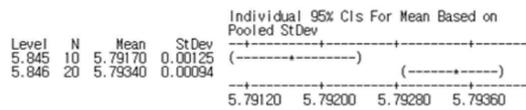
Fig. 6의 (b)는 barrier screw를 이용하여 사출하였을 때 측정된 무게 및 산포를 나타낸 것이다. Barrier screw로 사출된 5.846 g으로 standard screw로 사출한 성형품의 평균 무게보다 0.053 g 더 많은 것으로 확인되었다. 즉 성형품의 평균 무게가 barrier screw가 약 1.09% 더 나가는 것이다. 제품의 용융 수지의 밀도 균일화와 성형품의 무게 균일화를 확인할 수 있는 최대 최소 무게는 각각 5.846 g, 5.845 g으로 편차는 0.001 g의 차이를 보였다. Standard screw의 1/5 정도의 차이만 나타나 사출성형품의 무게가 보다 균일할 수 있다는 것을 예측되었다. 이것은 보다 일정한 무게 품질의 제품들을 생산할 가능성이 크고, screw에 따라 무게 품질의 차이가 발생할 수 있다는 것을 예측할 수 있다. Screw 형상에 따른 성형품 간의 평균값을 기준으로 좌우대칭이 되는 산포를 확인하여 신뢰성을 확보하고자 정규분포를 알아보았다. 각각 표본 통계량으로 집단 간 표준편차 크기에 대한 가설검증을 확인하였다. 1단계로



One-way ANOVA: Standard screw versus barrier screw

Source	DF	SS	MS	F	P
barrier	1	0.0000193	0.0000193	17.46	0.000
Error	28	0.0000309	0.0000011		
Total	29	0.0000502			

S = 0.001051 R-Sq = 38.41% R-Sq(adj) = 36.21%



Pooled StDev = 0.00105

Fig. 7 Analysis result of one way analysis of variance (ANOVA)

표본의 통계량에는 변화가 없을 것이라고 가정하는 귀무가설(H_0)과 사출성형 시 screw 형상에 따라 무게가 변할 것이라는 대립가설(H_1)을 설정하여 확인하였다. 2단계로는 유의수준 구간을 95%로 지정하여 분석하였다. 3단계로는 각 표본의 통계량을 계산하였다. 그 후 4단계로 검정 통계량인 P-value 값을 계산하였다.

Fig. 7과 같이 검정 통계량 P-value 값이 0에 근접한 상태이며 $P\text{-value} \leq 0.05$ 이다. 이는 신뢰구간 95% 수준 내에서 사출성형 시 가소화장치 인 screw 형상에 따라 사출 성형품의 무게 변화에 따른 유의수준의 차가 큰 것으로 나타나 각 집단 간 차이가 있는 것으로 나타났다. 이런 결과로 보았을 때 사출성형 시 screw의 형상에 따라 성형품 무게 변화가 없을 것이라는 가정의 귀무가설을 기각하고 표본 통계량이 신뢰구간 벗어나 존재하는 대립가설을 채택하였다.

밀도분석을 위하여 성형품의 부피를 제품 모델링으로 확인하였다. 이때 부피는 7.0529 cm^3 로 나타났다. Standard screw로 사출된 성형품의 평균 밀도는 약 0.821 g/cm^3 , barrier screw로 사출된 성형품의 평균 밀도는 0.829 g/cm^3 로 barrier screw로 사출된 성형품의 밀도가 약 1.01% 큰 것으로 확인하였다. Standard screw에 비하여 barrier screw의 성형품 무게가 약 1.09% 크고, 밀도도 1.01% 큰 것으로 보아 barrier screw를 적용하여 가소화되어 사출할 경우 용융 수지의 혼합이 비교적 더 잘 이루어질 수 있는 것으로 판단할 수 있다. 즉 밀도가 크고 조직이 좀 더 조밀한 것으로 예측할 수 있다. 이는 마스터 배치와 용융 수지의 혼합실험에서 확인한 것과 같이 용융 수지의 혼합이 잘 이루어져, 조밀한 조직의 성형품이 될 수 있을 것으로 예측할 수 있다. 그리고 성형

품의 최대 무게와 최소 무게의 편차도 barrier screw로 사출된 성형품이 0.004 g 더 작게 발생하였다. 이것은 standard screw에 비하여 barrier screw의 원활한 용융 수지 혼합으로 밀도와 흐름이 보다 균일한 것으로 추측할 수 있다. 사출성형품의 요구되는 품질 조건에 따라 사출성형기의 screw를 선택할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 standard screw와 barrier screw의 형상에 따라 용융 수지 혼합과 사출성형품의 무게 및 밀도에 미치는 영향을 알아보았다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

사출해석을 통하여 예측된 성형품의 무게보다 사출된 성형품이 더 무거웠다. Screw의 형상에 따라 사출된 성형품의 실제 평균 무게는 Standard screw가 5.739 g, barrier screw가 5.846 g으로 약 1.09%, 밀도는 약 1.01% 더 크게 나타나 차이가 있음을 확인하였다. 각 성형품의 무게 편차도 barrier screw가 약 1/5로 차이가 작게 발생했다. 이는 screw에 따라 용융수지 혼합에 차이가 있음을 확인한 것으로 마스터 배치와 용융수지 혼합실험으로 뒷받침할 수 있다.

실험결과와 정규분포 확인을 통하여 P-value가 0.05 이하로 screw의 형상에 따라 유의수준의 차가 큰 것으로 확인하였고 이를 통하여 screw 형상 간 제품의 무게에 차이가 발생한다는 대립가설을 채택하였다. 본 연구를 통하여 screw의 형상에 따라 용융 수지의 혼합과 무게 및 밀도에 차이가 발생하는 것을 확인하였고, 이를 통하여 사출성형품의 무게 품질 안정화 요구에 따라 제시 및 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2018년 한국기술교육대학교 교수 교육 연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] IBIS world, 2018, Viewed 12 December 2018, Global Plastic Product & Packaging Manufacturing Industry, <<https://www.ibisworld.com>>, USA.
- [2] Yoo, J. H., Park, G. H., 2010, New Injection Mold Design, Dongmyeong, Korea.
- [3] John, R., Wagner, Jr., Eldridge, M, Mount., Harold, F, Giles, Jr., 2014, Polymer Extrusion, Elsevier, Nederland.
- [4] Park, S. Y., Cho, H. S., 2016, Effect of Barrier Screw Design in Injection Molding Machines on the Plasticization Efficiency of Polypropylene Resin, J. Polym. Sci, 40 751-758.
- [5] Dekker, J., 1976, Kunststoffe, 66,130.
- [6] Park, S. Y., Rhee, G. H., Nam, Y. H., Lyu, M. Y., 2016, Transport Behavior of PP in Plastication Screw of an Injection Molding Machine : Comparison of Standard Screw and Barrier Screw, J. Polym. Sci, 40 414-420.
- [7] Woo, S. W., Park, S. H., 2016, Effects of Packing Pressure and Time on Injection Molding of Plastic Micro-channel Plates, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 25:3 224-229.
- [8] Choi, B. J., Kang, I. J., Jeon, Y. H., Hong, M. S., 2018, Deformation Analysis for Injection Molding of Lower Stiffener in Automobile Bumper, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 27:6 564-569.