

다구찌 기법을 이용한 원판 기어의 평탄도 향상

정태성*

*인하공업전문대학 기계설계과
e-mail:tsjung@inhac.ac.kr

Improvement of the Flatness for Disk type Gear using Taguchi Method

Tae-Sung Jung*

*Dept. of Mechanical Design, Inha Technical College

요 약

기어는 중요한 핵심 기계요소 중 하나로서 기계적 물성이 강화된 엔지니어링 플라스틱의 개발과 제품의 성능 향상 및 소형화, 경량화, 저소음화 등의 소비자 요구를 만족시키기 위한 노력에 편승하여 정밀도가 높은 플라스틱 기어에 대한 생산 요구가 증대되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 시력 측정 장치인 자동굴절검사기용 디스크 기어에 대하여 변형을 최소화하기 위한 성형조건 최적화를 수행하였다. 사출 공정의 주요 공정변수를 사출온도, 충전시간과 보압압력, 금형온도로 정하고 다구찌 방법에 의해 성형 해석으로 예측된 변형량을 분석한 결과 사출온도와 보압압력이 원판형 기어의 Z방향 변형에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

1. 서론

플라스틱기어는 경제적 대량생산이 용이하고, 경량화가 가능하며, 무원활 사용, 각종 기계 요소와의 일체 성형 등의 이점 이외에도 진동 흡수성이 있고, 내식성, 내약품성이 뛰어나 그 사용이 증대되고 있으며,[1]국내에서도 정밀 플라스틱 기어 제조기술 개발이 꾸준히 진행되고 있다.

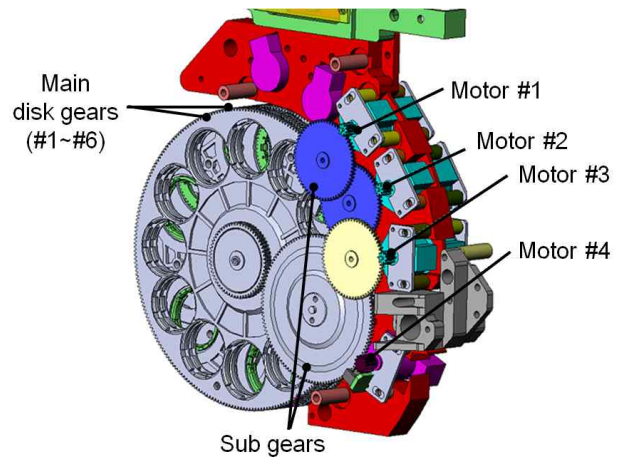
본 연구는 자동굴절검사기(auto phoropter)에 사용되는 110mm급 대형 원판형 기어의 성형 품질을 향상하기 위한 연구로서 다양한 연구분야에서 실험인자와 특성치의 상호관계를 효과적으로 분석하는 방법으로 널리 알려진 실험 계획법(Design of Experiments; DOE)을 적용하여 공정 조건이 기어의 평탄도에 미치는 영향을 살펴보았다.[1~3]

사출온도, 충전시간, 보압압력과 금형온도를 4가지 주요 공정변수로 선택하고 직교 배열법을 적용하여 성형 해석을 수행하였으며, 성형해석으로 예측된 변형량 결과를 분석하였다. 그 결과 유리 강화섬유가 포함된 원판형 플라스틱 기어의 성형에 있어 사출온도와 보압압력이 평탄도에 가장 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

자동굴절검사기는 시력을 측정하여 환자에게 편안한 적응시력을 자각식으로 검사하는 계측기기로서 시험테를 사용할 때보다 환자가 더 편안함을 느끼며, 검사자에게도 측정오차 및 유지보수에서 유리한 장점이 있어 안과 등에서 사용이 증가되고 있다.



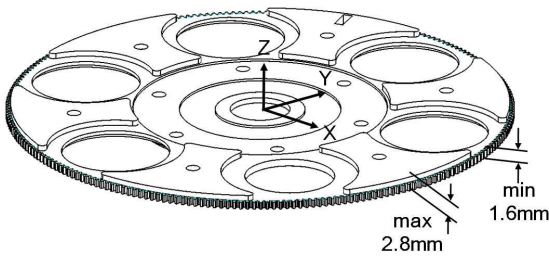
[그림 1] 자동굴절검사기의 기구도

본 연구에서의 자동시력검사기는 그림 2와 같이 서로 다른 4종류의 6개 주 원판형 기어로 구성되는데, 광학 기기의 특성상 디스크의 휨(warpage)에 의해 렌즈 사이의 초점 거리가 달라질 경우 측정 시력

이 달라지므로 렌즈가 삽입된 디스크의 평탄도가 중요한 품질관리 기준이 된다. 특히, 디스크 기어가 동일 축 상에 6개 삽입되므로 각각의 변형량이 누적되어 제품 품질에 영향을 미치므로 사출품의 성형 공정 관리가 매우 중요하며, 해당 시스템에서 누적공차를 고려한 변형 허용치는 일반적으로 0.2mm 이내로 제한된다.

본 연구에서는 대형 원판형 플라스틱 기어의 성형에 있어서 평탄도 향상을 위하여 실험계획법을 적용하여 변형량을 최소화하였으며, 4종류의 주 원판형 기어 중 두께가 가장 얇아 변형에 취약할 것으로 예상되는 디스크 기어(#3, #4)를 대상으로 성형해석과 실험계획법을 기반으로 한 성형공정 최적화를 수행하였다.

표 1과 그림 2는 디스크 기어(#3, #4)의 개략적인 형상과 사양을 보여준다.



[그림 2] 원판형 기어(#3,#4)의 형상

[표 1] 원판형 기어(#3,#4)의 제원

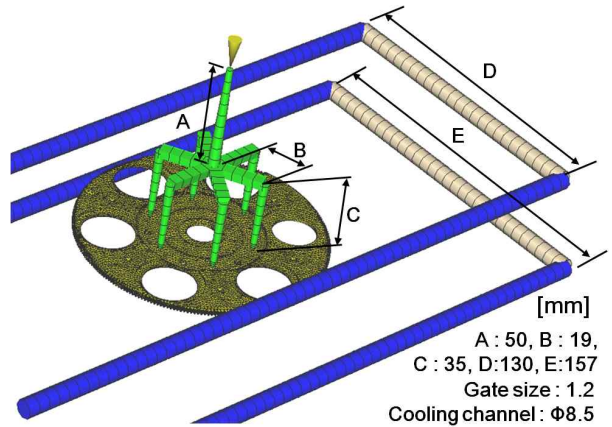
잇수	240
모듈	0.45mm
피치원의 지름	108mm
재질	PC + GF30%

2.2 실험 방법

본 연구에서는 디스크 기어의 변형량을 예측하기 위한 시뮬레이션 도구로 Autodesk사의 Moldflow MPI v.2010을 사용하여 소프트웨어로 모의 실험을 하였으며, 충전, 보압, 냉각과정의 해석을 수행하였다.

그림 3은 성형해석을 위한 유한요소와 유동시스템, 냉각시스템의 모델링을 나타낸다. 대상물이 전체적으로 두께 변화가 적은 평판 구조의 형상을 지니는 점을 고려하여 퓨전 메쉬(fusion mesh)를 사용하였다. 해석모델은 39374개의 삼각형 메쉬와 19536개의 노드(node)를 가지며 87.8%의 매칭률 (match percent)을 나타내었다.

사출성형품의 품질 특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 사출 성형 후 Z방향의 변형량으로 정하고, 표 2와 같이 성형 공정 변수 중 섬유 배향 및 수축으로 인한 기어의 변형에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 사출온도(A), 사출 시간(D), 보압압력(C), 금형온도(D)를 제어인자로 선정하였다. 각 인자에 대한 수준은 성형 한계 내에서 재료의 물성치와 생산성을 고려하여 각각 3수준으로 결정하였다. 성형 해석에서 보압전환은 95% 충전 시점으로 하였으며, 게이트 고화시간을 고려하여 3초간 보압 후 10초간 냉각하였다.



[그림 3] 성형해석을 위한 메쉬

[표 2] 주요인자와 수준

인자	수준			단위
	1	2	3	
사출 온도 (A)	300	320	340	℃
충진 시간 (B)	0.5	1	1.5	sec
보압 압력 (C)	10	13	16	MPa
금형 온도 (D)	80	95	110	℃

3. 실험 결과 및 분석

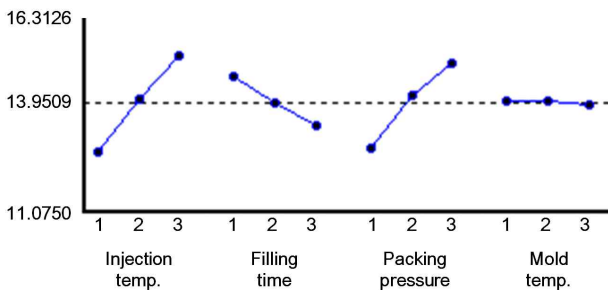
[표 3] S/N에 대한 분산분석표

인자	자유도	제공합	평균제공합	F값
A	2	34.1481	49.1288	505.5991
B	2	8.6722	12.4040	128.4009
C	2	25.8000	37.0945	381.9957
D	2	0.0448	-0.0328	0.6632
AxB	4	0.0743	-0.0877	0.5497
AxC	4	0.2618	0.1827	1.9384
BxC	4	0.1661	0.0447	1.2296
오차항	6	0.2026	1.2657	
합계	26	69.3699		

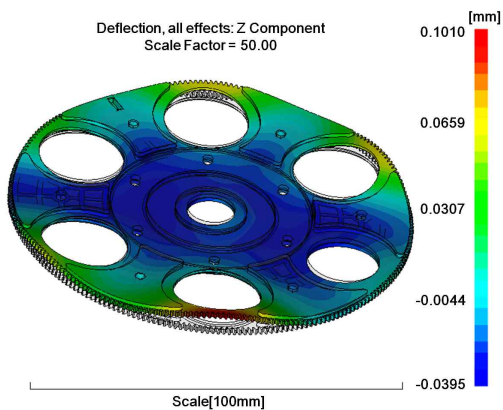
본 논문은 최적화 목표치를 Z방향 변형값으로 잡고 망소 특성으로 진행하였으며, 분석 도구는 KAIST 산업공학과에서 개발된 다구치 해석용 소프트웨어인 KAISTAT version 1.3을 사용하였다.

원판형 기어의 변형에 미치는 주인자와 2인자교호작용 별 영향력을 표 3의 분산분석(ANOVA)을 통해 확인할 수 있으며, 가장 큰 영향을 미치는 요인은 사출온도로 분석되었고, 보압 압력, 충전시간의 순으로 기여도가 있었다. 금형온도는 타 제어 인자 대비 기여도가 작음을 알 수 있다.

그림 4는 신호 대 잡음 비의 분석결과를 보여준다. 분석결과에서 수지 온도가 높을수록, 보압이 클수록, 사출속도가 빠를수록 기어의 평탄도가 향상되었고, 최적 성형조건은 A₃B₁C₃D₁으로 예측되었다. 이때 통계적으로 예측된 Z방향 변형량은 0.140mm 로 성형해석으로 예측한 0.141mm와 유사하다.



[그림 4] Z방향 변형에 대한 신호대 잡음비



[그림 5] A₃B₁C₃D₁ 성형조건에서 예측된 Z방향 변형량

수지 온도가 높을수록, 보압이 클수록, 사출속도가 빠를수록 기어의 평탄도가 향상되는 것은 수지 온도가 높을 때 수지의 점도가 낮아지고, 사출 속도가 빠를 때 수지의 냉각이 지연되므로 유동 선단의 말단까지 고른 압력 전달이 이루어져 해당 조건에서 압력분포와 섬유 배향이 균일하기 때문으로 사료

된다. 그림 5에서 제품의 변형 형태를 보면 중심부의 수축으로 인해 새들(saddle) 형태로 변형되는 것을 확인할 수 있는데 보압압력이 높을 때 중심부의 수축이 줄어들어 전체적으로 평탄도가 높아지는 것을 알 수 있다. 또한, 사출온도가 높을수록 사출시간이 짧을수록 중심부와 말단부의 압력 차가 적게 발생되고 고른 압력 분포를 보인다.

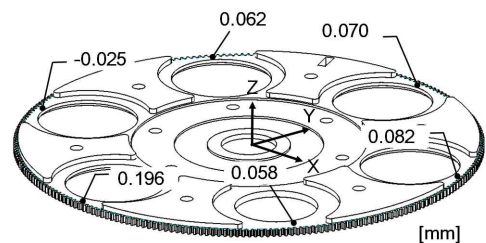
또한, 금형온도가 크게 영향을 미치지 않는 것은 두께 변화가 적은 평판 형태의 성형품에서 냉각 속도 차이에 의한 수축률 변화가 크지 않고, 충전 시간이 짧아 금형면에서의 열전달이 상대적으로 늦게 일어났기 때문으로 판단된다. 성형해석의 예측 결과에서도 Z방향의 변형량 중 섬유 배향에 의한 변형이 약 0.119 mm 로 전체 Z방향 변형량의 84.7%를 차지하였으며, 수축률 차이와 냉각에 의한 변형은 15.3%에 불과하였다.

3. 실험 및 측정결과

그림 6과 그림 7은 실제 사출품의 사진 및 평탄도를 비접촉식 3차원 측정기를 이용하여 측정한 결과를 보여준다. 최대 변형은 0.196mm 로 예측 결과와 근소한 차이를 보였으나, 품질 기준치를 만족함을 알 수 있다.



[그림 6] 제작된 자동굴절검사기용 기어(#3,#4)



[그림 7] 원판형 기어(#3,#4)의 평탄도 측정값

4. 결론

본 연구에서는 시력 측정장치인 자동굴절검사기에 사용되는 110mm급 대형 디스크 기어에 대하여 성형해석과 실험계획법을 적용하여 성형조건 최적화를 수행하였다. 사출공정의 주요 공정변수를 사출온도, 충전시간과 보압압력, 금형온도로 정하고 다구치 방법에 의해 $L_{27}(3^4)$ 직교표에 배치하여 분석한 결과 사출온도와 보압압력이 본 연구의 품질 특성치에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 수지 온도가 높을수록, 보압이 클수록, 사출속도가 빠를수록 유리강화섬유가 포함된 원판형 플라스틱 기어의 평탄도가 향상되었다.

참고문헌

- [1] 정태형, 하영욱, “초미세발포 플라스틱 기어에 관한 연구(I) - 초미세발포 플라스틱 기어의 공정설계 -,” 대한기계학회 논문지 A, 제29권, 제5호, pp. 647-654, 2005.
- [2] 권영숙, 박재섭, 정영득, “기어의 사출 성형에서 공정변수가 수축률에 미치는 영향 평가 및 최적화,” 한국기계가공학회 추계학술대회논문집, pp. 257-261, 2006.
- [3] 권영숙, 박재섭, 정영득, 실험계획법을 이용한 기어의 사출 성형 공정 최적화,” 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 113-114, 2006.