

화장품 디스펜서 펌프 고정밀 실캡 사출성형 공정 최적화 연구

조진표*, 조명식**, 현승균*, 김광희*

*인하대학교 제조혁신전문대학원

** (주) 연우

e-mail : realwind@inha.ac.kr

Optimization of Cosmetic Dispenser Pump High-precision Sealcap Injection Molding Process

Jin-Pyo Cho*, Myoung-sik Cho**, Seung-Gyun Hyun*, Kwang-Hee Kim*

*Manufacturing Innovation School, Inha University

**Yonwoo CO., Ltd.

요약

본 연구에서는 소형 정밀 사출기(12 Cavity)를 사용하여 화장품 디스펜서 펌프(Dispenser Pump)의 주요 부품인 실캡(Sealcap)의 치수 및 디스펜서 펌프의 토출량 품질 관리를 위한 최적화 사출 성형 공정 조건을 개발하였다. 또한 기존 대형 사출기(64Cavity)의 생산 제품과 소형 정밀 사출기에서 생산된 실캡의 치수와 디스펜서 펌프 토출량 데이터를 분석하여 공정능력지표(Cp, Cpk)를 검토하였다.

실캡 치수 표본 평균은 소형 정밀사출기와 기존의 대형 사출기의 모든 경우에서 치수 규격 7.30~7.35mm 이내로 합격품에 준하는 결과를 보였다. 실캡 치수 공정능력지표(Cp) 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 2.00으로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 산포와 중심치를 동시에 고려한 실캡 치수 공정능력지표(Cpk)도 조건 #3의 경우가 1.91로 가장 큰 값으로 분석 되었다.

디스펜서 펌프 토출량 표본 평균은 소형 정밀 사출기와 기존의 대형 사출기의 모든 경우에서 토출량 0.15±0.02 g 이내로 기준 합격 조건을 충족하였다. 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표(Cp) 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.32으로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 산포와 중심치를 동시에 고려한 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표(Cpk) 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.31로 가장 큰 값으로 분석 되었다.

6 시그마 불량률 관리에서 백만개 중에서 결함 발생 수(DPMO: Defects per million opportunities)는 산포와 중심치를 동시에 고려한 실캡 치수측정 공정능력지표(Cpk)관점에서 보면 소형사출기 조건#3의 경우 1.91로 11개의 불량률로 관리되고 있음을 알 수 있다.

1. 서론

플라스틱 소재는 유리, 종이 등 기타 소재에 대비하여 성형성이 좋고, 내유화성, 내열연성, 내부식성이 우수하며, 산업 전반에 핵심 소재로 활용되고 있다. 플라스틱을 활용하여 제품을 성형하는 과정에는 금속 소재의 금형에 사출기를 사용하여 고압으로 용융된 플라스틱 소재를 금형 내에 형성된 제품 성형공간(Cavity)으로 주입 시키고 금형을 플라스틱 소재의 고형화 온도 아래로 냉각시켜 제품 형태를 유지 시킴으로 플라스틱 제품을 생산하고 이런 공정을 반복하며 제품을 생산하고 있다.

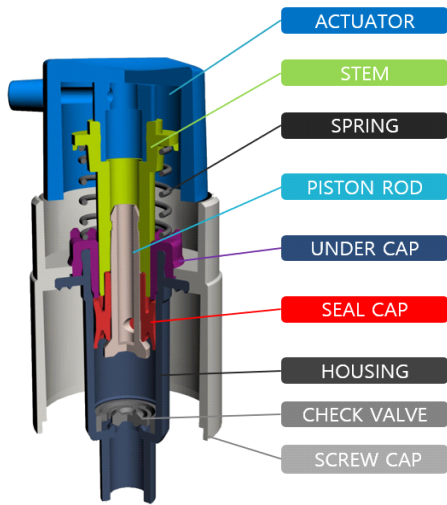
현재까지의 사출 성형공정 기술은 주로 금형의 성형공간(Cavity)을 다수로 가공하여 1회 사출시 생산하는 제품의 수를 늘리는 방식으로 최적화 되어 있으나, 한번의 사출 공정으로 대량 생산을 진행하면, 성형공간(Cavity)의 설계에 따라

최적의 금형 기술을 적용하더라도 성형 위치에 따른 제품 치수 편차 관리에 많은 어려움이 발생한다.

화장품 용기에 플라스틱을 적용할 경우 이러한 치수 편차 관리는 더욱 중요한데, 화장품은 고가의 기능성 액을 사용하기 때문에 소량의 편차로도 소비자 불만으로 이어지는 경우가 크다.

액체 화장품을 토출하기 위한 부품은 디스펜서 펌프(Dispenser Pump) 9가지 부품으로 구성되는데, 매회 토출량의 일정 편차의 관리는 매우 중요한 품질 요소이다. [그림 1]에 디스펜서 펌프의 부품 조립도가 나타나 있다.

본 연구에서는 화장품 디스펜서 펌프(Dispenser Pump)의 주요 부품인 실캡(Sealcap)의 성형 품질 향상을 위해 기존 대형 사출기(64 cavity) 성형 공정을 소형 정밀 사출기(12 cavity) 성형 공정으로 바꾸어 단기 공정능력지표 Cp(Process Capability Index)와 치우침을 고려한 공정능력지표 Cpk를 비교하였다.

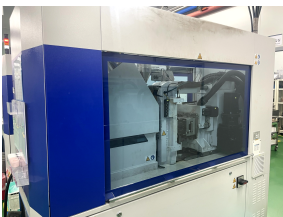


[그림 1] 화장품 디스펜서 펌프 부품 조립도

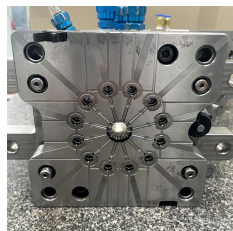
2. 시험방법

2.1 시험장치

사출 조건에 따른 실캡의 치수 안정화 연구를 위하여 비트만바텐필드코리아(주)의 MicroPower 15ton 정밀 소형 사출기를 사용하여 사출 성형 시험을 진행하였다. 사출기의 사이즈는 2.6x2.2x1.3(WxHxD, m)이고, 시험에 사용된 금형은 자체 설계 및 제작한 성형공간(Cavity) 12개, 치수를 정밀하게 가공할수 있는 사이드 게이트(Side gate) 방식을 사용하였으며, 금형 사이즈는 150x169x150(WxHxD, mm)이다.



(a) 사출 성형기



(b) 사출 금형



(c) 이미지 치수 측정기



(d) 전자저울(토출량 측정)

[그림 2] 시험장치 및 시편

기존 실캡(Sealcap) 부품 재료와 동일하게 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE)과 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 적절하게 혼합하여 사용하였다. 폴리에틸렌 소재는 인체에 무해한 재질이며, 식품 용기뿐만 아니라 젓병과 장난감 등의 영유아용 제품에도 다양하게 사용되고 있으며, 분리배출을 통해 100% 재활용이 가능한 친환경 소재이다.

그림 2 에는 본 연구에 사용된 사출성형기와 측정기를 나타내었다. 실캡(Sealcap)의 측정을 위해 비접촉식 이미지 치수 측정기(Keyence, IM-6225, 0.001mm, 2018년)를 사용하였으며, 디스펜서 펌프의 토출량 분석을 위해 전자저울(AND, FX-200i, 0.001g)을 사용하였다.

치수 측정 및 토출량 분석을 위한 샘플의 제작은 실제 사출 생산 공정에서와 동일하게 11번째 사출 제품부터 샘플링하여 이후 80회 사출 수량인 960개를 표본을 제작하여 실캡의 치수 및 디스펜서 펌프의 토출량을 기존 대형 사출기 제작 제품 비교 분석 하였다. 기존 대형 사출기의 경우 성형공간(Cavity) 64개로 18회 사출하여 1,152개를 비교 대상으로 하였다. 실캡의 치수비교 및 디스펜서 펌프의 토출량 분석은 Minitab 21.1.1을 사용하여 단기 공정능력지표 Cp(Process Capability Index)와 치우침을 고려한 공정능력지표 Cpk를 비교하였다.

2.2 사출 성형 조건

사출 성형 조건은 성형 제품의 치수 정밀도, 성형 시간에 영향을 주는 요인으로 품질 경제성 측면에서 매우 중요한 영향을 끼친다. 아라 표 1에는 사출성형 조건에 대하여 나타내었다. 시험 조건은 보압 시간, 사이클 타임을 기준으로 3개의 조건을 지정하여 시험을 수행하였으며, 기존 대형 사출기의 최적 양산 조건에서 생산된 제품과 비교 분석하였다. 제작된 실캡의 치수 규격은 7.30~7.35mm로 규정하였으며, 치수 규격 외 외관 불량 및 미성형 불량은 생산 품질 규격과 동일하게 적용하였다. 시험 항목 설정은 다음과 같다.

[표 1] 사출 성형 조건 설정

구분	소형 정밀 사출기			대형 사출기
	조건 #1	조건 #2	조건 #3	
보압시간 [sec]	3.0	3.2	3.5	-
보압 [bar]	385	385	385	-
사이클타임 [sec]	7.2	7.4	7.7	13.0
냉각수 온도 [°C]	15	15	15	19
실린더 노즐온도[°C]	170	170	170	180

[표 2] 실캡 치수측정 공정 능력지표 분석

구분	소형 정밀 사출기			대형 사출기
	조건 #1	조건 #2	조건 #3	
표본 수량 [개]	960	960	960	1,152
표본 평균 [mm]	7.33222	7.32831	7.32612	7.31236
표준 편차	0.000517131	0.000583075	0.00416017	0.00773477
공정능력지표(Cp)	1.61	1.43	2.00	1.08
공정능력지표(Cpk)	1.15	1.24	1.91	0.53

소형 정밀 사출기의 경우 보압시간을 3.0~3.5sec로 조건을 3가지로 구분하여 수행하였고 이때, 사이클타임은 7.2~7.7sec 였다. 3가지 조건 모두 보압 385bar, 냉각수 온도 15℃, 실린더 노즐온도 170℃의 조건을 유지하였다.

대형 고속 사출기의 경우 사이클타임은 13.0sec, 냉각수 온도 19℃, 실린더 노즐온도 180℃의 조건을 유지하였다.

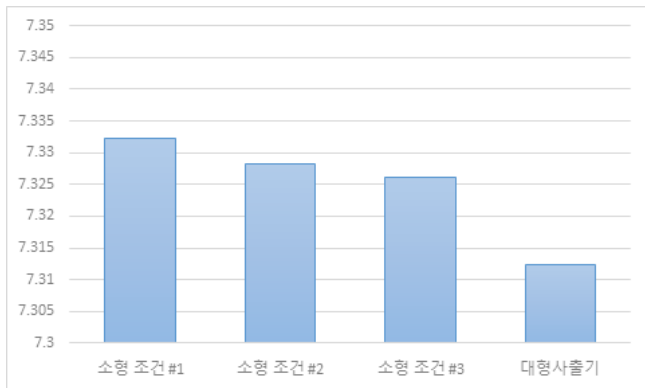
3. 시험결과

3.1 실캡 치수 공정능력지표 분석

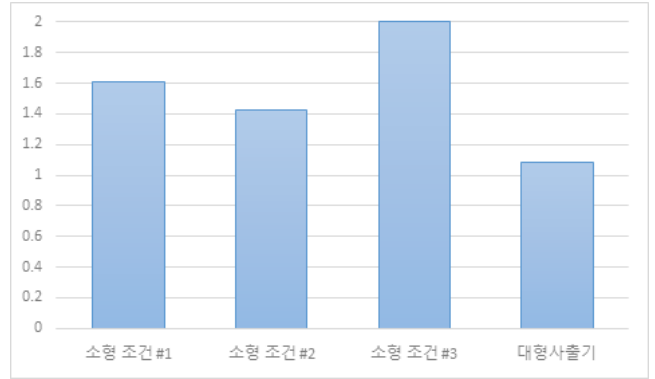
치수 규격은 7.30~7.35mm로 생산 품질 규격과 동일하게 적용하였다. 4가지 시험 조건으로 생산된 실캡 부품의 외경 치수를 측정하였으며, 각각의 측정데이터를 이용하여 공정 능력지표(Cp, Cpk) 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 프로그램은 Minitab 21.1.1 버전이다.

표 2에는 조건별로 사출한 실캡의 외경치수 공정능력지표를 분석하여 나타내었다.

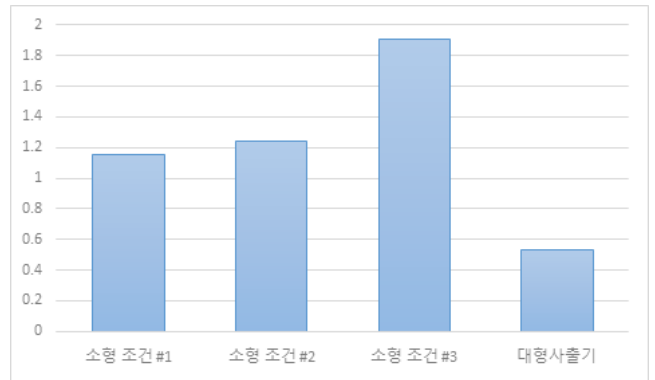
그림 2에는 각 조건별 실캡 치수의 표준 평균을 나타내었다. 표준 평균은 소형 정밀사출기와 기존의 대형 사출기의 모



[그림 2] 사출 조건별 실캡 치수 표준 평균



[그림 3] 사출 조건별 실캡 치수 공정능력지수(Cp)



[그림 4] 사출 조건별 실캡 치수 공정능력지수(Cpk)

든 경우에서 치수 규격 7.30~7.35mm 이내로 합격품에 준하는 결과를 보였다.

그림 3에는 각 사출 조건별 공정능력지표(Cp)를 나타내었다. 공정능력지표 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 2.00으로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 조건 #1, 조건 #2의 순으로 나타났다. 대형 사출기의 경우 1.08로 가장 작은 값을 나타내었다.

그림 4에는 산포와 중심치를 동시에 고려한 사출 조건별 공정능력지표(Cpk)를 나타내었다. 공정능력지표 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.91로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 조건 #2, 조건 #1의 순으로 나타났다. 대형 사출기의 경우 0.53으로 가장 작은 값을 나타내었다.

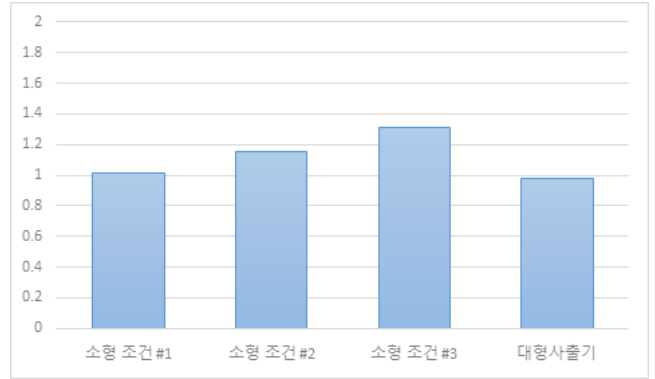
3.2.2 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표 분석

토출량 규격은 0.15±0.02 g으로 생산 품질 규격과 동일하게 적용하였다. 4가지 조건으로 생산된 실캡을 적용한 디스펜서 펌프의 토출량 측정데이터를 이용하여 공정 능력지표(Cp, Cpk) 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 프로그램은 Minitab 21.1.1 버전이다.

표 3에는 조건별로 사출한 실캡을 적용한 디스펜서 펌프

[표 3] 토출량 중량 Data 공정 능력 분석

구분	소형 정밀 사출기			대형 사출기
	조건 #1	조건 #2	조건 #3	
표본 수량 [개]	1,008	1,008	1,008	1,008
표본 평균 [g]	0.151353	0.151567	0.149978	0.152234
표준 편차	0.0061661	0.00535689	0.00506526	0.00603378
공정능력 지표(Cp)	1.08	1.24	1.32	1.10
공정능력 지표(Cpk)	1.01	1.15	1.31	0.98



[그림 7] 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지수(Cpk)

의 토출량의 공정능력지표를 분석하여 나타내었다.

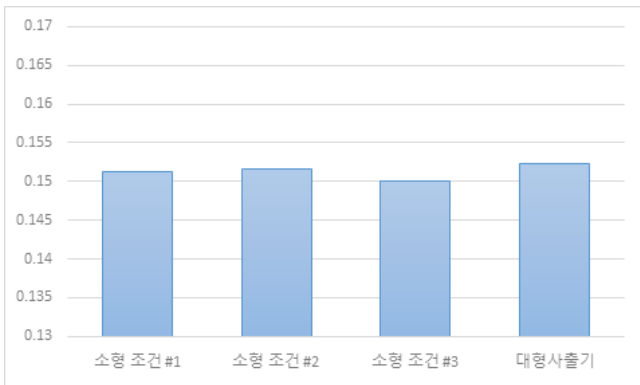
그림 5에는 각 조건별 디스펜서 펌프 토출량 표본 평균을 나타내었다. 표본 평균은 소형정밀사출기와 기존의 대형 사출기의 모든 경우에서 토출량 0.15±0.02 g 이내로 기준 합격 조건을 충족하였다.

그림 6에는 각 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표(Cp)를 나타내었다. 공정능력지표 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.32으로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 조건 #2, 조건 #1의 순으로 나타났다. 대형 사출기의

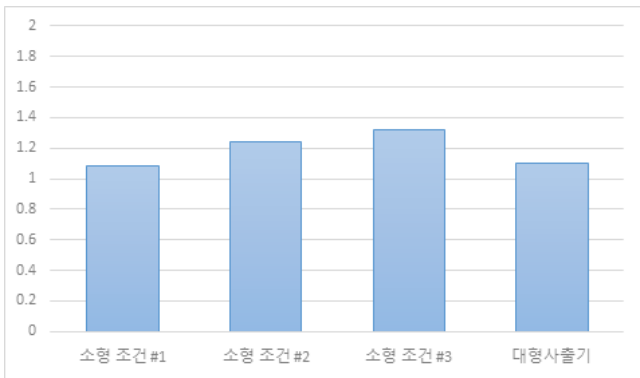
경우 1.10로 가장 작은 값을 나타내었다.

그림 7에는 산포와 중심치를 동시에 고려한 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표(Cpk)를 나타내었다. 공정능력지표 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.31로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 조건 #2, 조건 #1의 순으로 나타났다. 대형 사출기의 경우 0.98으로 가장 작은 값을 나타내었다.

6 시그마 불량률 관리에서 백만개 중에서 결함 발생 수 (DPMO: Defects per million opportunities)는 실캡 치수측정 공정능력지표(Cpk)관점에서 보면 소형사출기 조건#3의 경우 1.91로 11개의 불량률로 관리되고 있음을 알 수 있다.



[그림 5] 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 표본 평균



[그림 6] 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지수(Cp)

4. 결론

본 연구에서는 소형 정밀 사출기(12 Cavity)를 사용하여 화장품 디스펜서 펌프(Dispenser Pump)의 주요 부품인 실캡 (Sealcap)의 치수 및 디스펜서 펌프의 토출량 품질 관리를 위한 최적화 사출 성형 공정 조건을 개발하였다. 또한 기존 대형 사출기(64Cavity)의 생산 제품과 소형 정밀 사출기에서 생산된 실캡의 치수와 디스펜서 펌프 토출량 데이터를 분석하여 공정능력지표(Cp, Cpk)를 검토하였다.

실캡 치수 표본 평균은 소형 정밀사출기와 기존의 대형 사출기의 모든 경우에서 치수 규격 7.30~7.35mm 이내로 합격 품에 준하는 결과를 보였다. 실캡 치수 공정능력지표(Cp) 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 2.00으로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 산포와 중심치를 동시에 고려한 실캡 치수 공정능력지표(Cpk)도 조건 #3의 경우가 1.91로 가장 큰 값으로 분석 되었다.

디스펜서 펌프 토출량 표본 평균은 소형 정밀 사출기와 기존의 대형 사출기의 모든 경우에서 토출량 0.15±0.02 g 이내로 기준 합격 조건을 충족하였다. 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표(Cp) 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.32으로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 산포와

중심치를 동시에 고려한 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정 능력지표(Cpk) 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.31로 가장 큰 값으로 분석 되었다.

6 시그마 불량률 관리에서 백만개 중에서 결함 발생 수 (DPMO: Defects per million opportunities)는 산포와 중심치를 동시에 고려한 실캡 치수측정 공정능력지표(Cpk)관점에서 보면 소형사출기 조건#3의 경우 1.91로 11개의 불량률로 관리되고 있음을 알 수 있다.

[후기]

본 논문은 인하대학교 제조혁신전문대학원 석사학위 프로젝트 진행과 학위논문 제출을 위해 발표한 논문입니다.

참고문헌

[1] 정수진, 문성준, 정선경, 이평찬, 문주호, 대구치 법을 통한 다이슬라이드식 사출성형의 공정파라미터 최적화, 화학공학, 50(2), 264-269, (2012).

[2] 권운숙, 광재섭, 정영득, 기어의 사출 성형에서 공정변수가 수축률에 미치는 영향 평가 및 최적화, 한국기계공학회 춘추계학술대회논문집, 257-261, (2006).

[3] 권운숙, 정영득, 대구찌 실험계획법을 이용한 사출성형공정의 최적화, 대한기계학회 춘추학술대회, 1,332-1,336, (2006).

[4] 조예진, 대구찌 방법을 활용한 플라스틱 피스톤 사출성형 공정 최적화, 공학석사학위논문, 창원대학교 산업대학원 산업시스템공학과, (2022)

[5] 임환용, 폐플라스틱 재활용 소재의 사출 성형 조건에 따른 소형 제품의 치수에 관한 연구, 경영학석사학위논문, 서경대학교 경영문화대학원 경영학과, (2023)

[6] 박영미, 블로우 공정 성형 해석을 이용한 멀티캐비티 금형 최적설계에 관한 연구, 공학석사학위논문, 인천대학교 공학전문대학원 기계공학과, (2012)

[7] 이충훈, 2차원 백터 공정능력지수 Cp 와 Cpk의 근사 신뢰영역, 이학석사학위논문, 충북대학교 대학원 통계학과, (2002)