

# 화장품 디스펜서 펌프 고정밀 실캡 성형시간과 캐비티 위치에 따른 연구

조진표\*, 조명식\*\*, 조교빈\*\*, 현승균\*, 김광희\*

\*인하대학교 제조혁신전문대학원

\*\*㈜ 연우

e-mail : realwind1@inha.ac.kr

## A Study on the Formation Time and Cavity Position of Cosmetic Dispenser Pump High-precision Seal Cap

Jin-Pyo Cho\*, Myoung-Sik Cho\*\*, Kyo-Bin Cho\*\*, Seung-Gyun Hyun\*, Kwang-Hee Kim\*

\*Manufacturing Innovation School, Inha University

\*\*Yonwoo CO., Ltd.

플라스틱 소재는 성형성, 내유화성, 내절연성, 내부식성이 뛰어나 유리, 종이 등 다른 소재에 비해 다양한 산업에서 핵심 소재로 활용된다. 플라스틱 성형 공정은 금속으로 만든 금형에 사출기를 통해 고온에서 녹인 플라스틱을 고압으로 주입한 후, 냉각하여 제품의 형태를 유지하는 방식으로 반복 생산된다. 현재 사출 성형 공정은 금형 내 여러 개의 성형공간(캐비티)을 통해 한 번에 다수의 제품을 생산하는 방식으로 최적화되어 있으나, 여러 캐비티를 사용할 경우 캐비티 위치에 따른 제품 치수 편차가 발생하기 쉽다. 이로 인해 고가의 기능성 화장품 용기처럼 정밀성이 요구되는 제품에서는 치수 편차 관리가 더욱 중요하다. 특히 화장품 디스펜서 펌프는 용액을 정확히 토출해야 하므로, 이를 위한 부품인 실캡(Sealcap)의 공정 안정성이 품질에 큰 영향을 미친다.

본 연구는 화장품 디스펜서 펌프의 실캡을 생산하기 위해 소형 정밀 사출기(12 캐비티)를 활용하여 캐비티 위치별로 공정 능력지표 Cp와 Cpk를 비교하였다. 사출 성형 공정에서 사이클 시간과 캐비티 위치에 따른 Cp와 Cpk 분석 결과, 사이클 시간이 7.2초일 때는 캐비티별 Cp와 Cpk 차이가 크게 나타나 특정 캐비티에서 공정 편차가 발생할 가능성이 높은 것으로 보인다. 반면, 사이클 시간이 7.4초로 증가하면 Cp와 Cpk 값의 차이가 줄어들며 제품 품질의 균일성이 증가하는 경향을 보였고, 7.7초로 더 늘렸을 때는 모든 캐비티에서 유사한 Cp와 Cpk 값이 나타나 공정 안정성이 크게 향상되었음을 확인하였다. 이는 사이클 시간이 길어질수록 공정 변동성이 감소하고 전체 품질이 안정화되는 경향을 나타내며, 최적의 사이클 시간 설정을 통해 캐비티 간 품질 편차를 줄일 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있다.

또한, 사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량의 공정능력지표(Cp) 분석 결과, 조건 #3이 1.32로 가장 큰 값을 기록했으며, Cpk 분석에서도 조건 #3이 1.31로 최상위 값을 보였다. 6 시그마 기준으로 보면, 조건 #3에서는 백만 개당 11개의 불량률(DPMO)로 관리 가능한 것으로 분석되었으며, 이는 실캡 치수 측정에서 우수한 공정 안정성을 나타내었다.

### 1. 서론

플라스틱 소재는 유리, 종이 등 기타 소재에 대비하여 성형성이 좋고, 내유화성, 내절연성, 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 공정으

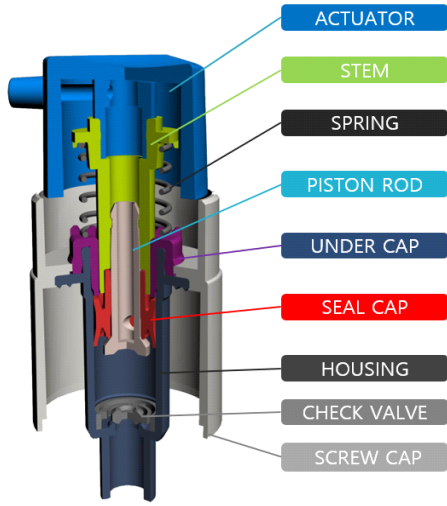
로 대량 생산을 진행하면, 성형공간(Cavity)의 설계에 따라 최적의 금형 기술을 적용하더라도 성형 위치에 따른 제품 치수 편차 관리에 많은 어려움이 발생한다.

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) 생산을 위해 소형 정밀 사출기(12 cavity)의 각 캐비티 위치별 공정능력지표 Cp(Process

Capability Index)와 치우침을 고려한 공정능력지표 Cpk를 비교하였다.

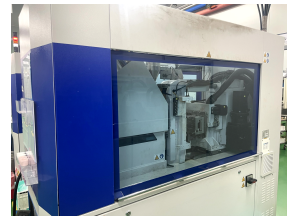


[그림 1] 화장품 디스펜서 펌프 부품 조립도

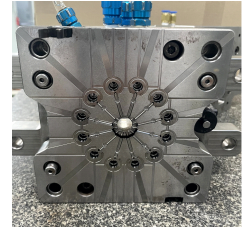
## 2. 시험방법

### 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 캐비티 위치에 따른 실캡의 치수 및 디스펜서 펌프의 토출량을 비교 분석 하였다. 실캡의 치수비교 및 디스펜서 펌프의 토출량 분석은 엑셀 함수를 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. 아래 표 1에는 사출성형 조건에 대하여 나타내었다. 시험 조건은 보압 시간, 사이클 타임을 기준으로 3개의 조건을 지정하여 시험을 수행하여 공정 능력지표(Cp, Cpk)

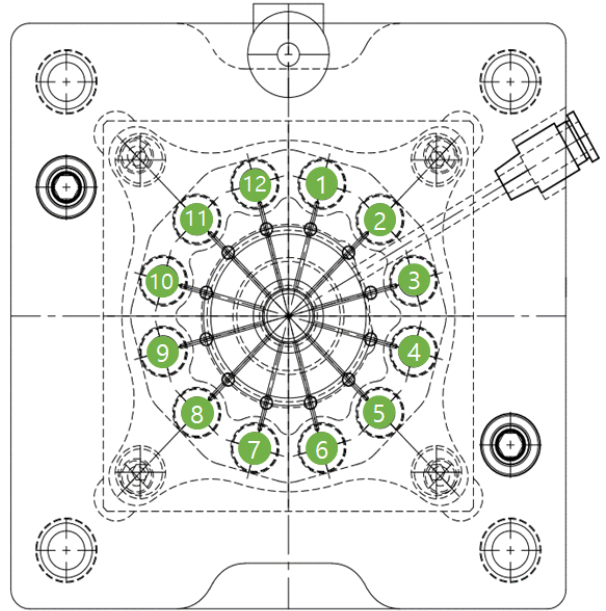
분석을 수행하였다. 제작된 실캡의 치수 규격은 7.30~7.35mm로 규정하였으며, 치수 규격 외 외관 불량 및 미성형 불량은 생산 품질 규격과 동일하게 적용하였다. 시험 항목 설정은 다음과 같다.

[표 1] 사출 성형 조건 설정

구분	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
냉각수 온도 [°C]	15	15	15
실린더 노즐온도[°C]	170	170	170

[표 2] 실캡 치수측정 공정 능력지표 분석

구분	조건 #1	조건 #2	조건 #3
표본 수량 [개]	960	960	960
표본 평균 [mm]	7.33222	7.32831	7.32612
표준 편차	0.000517131	0.000583075	0.00416017
공정능력지표(Cp)	1.33	1.18	1.41
공정능력지표(Cpk)	0.95	1.02	1.34



[그림 3] 사출 금형 캐비티 순서

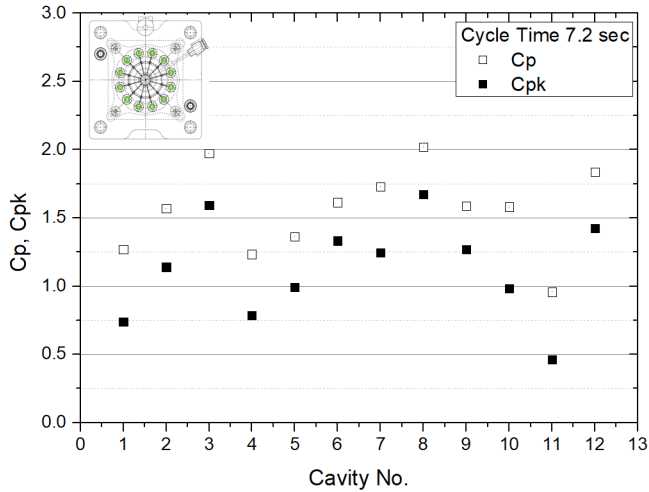
소형 정밀 사출기의 경우 보압시간을 3.0~3.5 sec로 조건을 3가지로 구분하여 수행하였고 이때, 사이클타임은 7.2~7.7 sec 였다. 3가지 조건 모두 보압 385 bar, 냉각수 온도 15°C, 실린더 노즐온도 170°C의 조건을 유지하였다.

그림 3에는 소형 사출 금형 캐비티 위치에 따른 공정능력지표 Cp와 치우침을 고려한 공정능력지표 Cpk를 비교하기 위해 위치별 순서를 표기하였다.

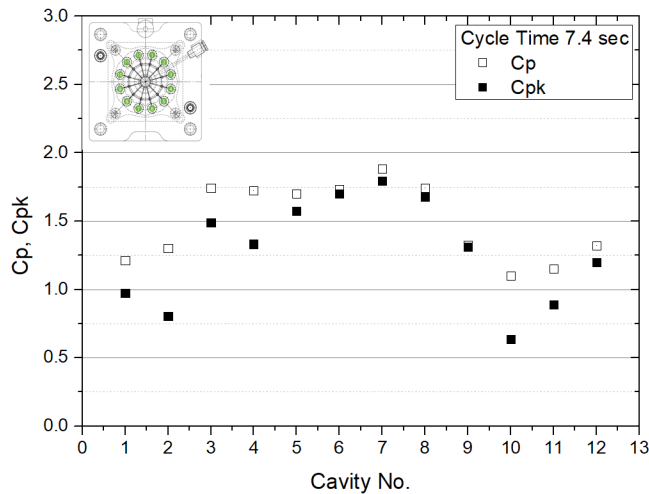
### 3. 시험결과

#### 3.1 캐비티 위치별 Cp, Cpk

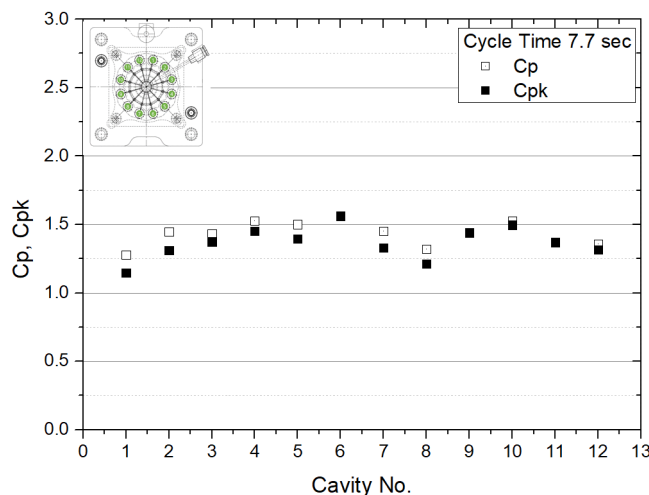
그림 4-6에는 사출 사이클 시간과 캐비티 위치에 따른 Cp, Cpk를 비교 분석 하였다. 사이클 시간이 7.2초의 경우 캐비티 위치별 공정능력지표 Cp와 Cpk 값의 차이가 크게 나타남을



[그림 4] 사이클 시간 7.2 sec 공정 능력지표(Cp, Cpk)



[그림 5] 사이클 시간 7.4 sec 공정 능력지표(Cp, Cpk)



[그림 6] 사이클 시간 7.4 sec 공정 능력지표(Cp, Cpk)

알 수 있다. 사이클 타임이 7.4초의 경우 7.2초에 비하여 차이가 적게 나타났으며, 7.7초의 경우 각 캐비티별 공정 능력지

[표 3] 토출량 중량 Data 공정 능력 분석

구분	조건 #1	조건 #2	조건 #3
표본 수량 [개]	1,008	1,008	1,008
표본 평균[g]	0.151	0.152	0.150
표준 편차	0.00613	0.005318	0.005059
공정능력지표(Cp)	1.09	1.25	1.32
공정능력지표(Cpk)	1.01	1.16	1.32

표(Cp, Cpk)의 차이점은 크지 않음을 알 수 있었다.

### 3.2 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표 분석

토출량 규격은  $0.15 \pm 0.02$  g으로 생산 품질 규격과 동일하게 적용하였다. 3가지 조건으로 생산된 실캡을 적용한 디스펜서 펌프의 토출량 측정데이터를 이용하여 공정 능력지표(Cp, Cpk) 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 프로그램은 엑셀 함수를 사용하여 분석하였다.

표 3에는 조건별로 사출한 실캡을 적용한 디스펜서 펌프의 토출량의 공정능력지표를 분석하여 나타내었다. 공정능력지표 분석 결과 소형 정밀 사출기 조건 #3의 경우가 1.31로 가장 큰 값으로 분석 되었으며, 조건 #2, 조건 #1의 순으로 나타났다.

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

## 4. 결론

본 연구에서는 소형 정밀 사출기(12 Cavity)를 사용하여 화장품 디스펜서 펌프(Dispenser Pump)의 주요 부품인 실캡(Sealcap)의 공정 능력지표(Cp, Cpk) 분석을 수행하였다.

사출 성형 공정에서 사이클 시간과 캐비티 위치에 따른 공정 능력 지표(Cp, Cpk)를 비교 분석한 결과, 사이클 시간이 7.2초일 때 각 캐비티 위치별로 Cp와 Cpk 값의 차이가 크게 나타났다. 이는 특정 캐비티에서의 공정 조건 편차가 발생할 가능성을 시사한다. 반면, 사이클 시간이 7.4초일 경우 7.2초보다 Cp와 Cpk 값의 차이가 줄어들어 상대적으로 균일한 품질을 보여준다. 또한, 사이클 시간이 7.7초일 때는 모든 캐비티에서 Cp와 Cpk 값이 비슷하게 나타나 공정 안정성이 높아

짐을 확인할 수 있었다. 이 결과는 사이클 시간이 길어질수록 공정 변동성이 감소하고 품질이 안정화되는 경향을 의미하며, 최적의 사이클 시간 설정을 통해 캐비티 간의 품질 편차를 줄일 수 있는 가능성을 보여준다.

사출 조건별 디스펜서 펌프 토출량 공정능력지표(Cp) 분석 결과조건 #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 실캡 치수측정 공정능력지표(Cpk)관점에서 보면 조건#3의 경우 1.91로 11개의 불량률로 관리되고 있음을 알 수 있다.

#### [후기]

본 논문은 인하대학교 스마트제조고급인력양성사업 산학공동프로젝트 결과와 제조혁신전문대학원 석사학위논문 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)