

휴대폰 중간면의 인서트 사출성형공정에 관한 연구

민병현^{1*}, 김병곤², 예상돈¹

¹동의대학교 기계자동차로봇부품공학부, ²LG전자 생산기술원

A Study on the Insert Injection Molding of the Middle Cover of Mobile Phone

Byeong-Hyeon Min^{1*}, Byeong-Gon Kim², Sang-Don Ye¹

¹Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University

²Manufacturing Technology Institute, LG Electronics

요약 휴대폰 외관의 미려함과 견고함을 확보하기 위해 고정밀 기능 부품들이 결합된 휴대폰 중간 면에 금속 부품과 플라스틱 수지를 결합한 인서트 사출 성형을 하였다. 휴대폰 중간면은 PBT(Polybutylene terephthalate) 보강재로 유리섬유 40% 함유 플라스틱 수지를 사용해 인서트 사출을 진행했다. USB 홀의 전체 길이는 성형품의 체적 수축으로 인한 치수 관리 위치로 사용되었다. 기존의 공정능력을 분석하여 USB 단자 전장 치수의 안정성 확보와 사이클 타임 축소를 통한 생산성 향상의 두 가지 목표를 연구 방향으로 설정하였다. USB 단자의 전장 치수의 관리 규격인 8.49 ± 0.04 mm를 만족하면서 사이클 타임을 55초에서 33초로 22초 단축하는 사출성형공정조건을 최적화하였다. 양산 단계에서의 최적화 검증으로 장기공정능력지수 Z_{lt} 는 4.22σ , 단기공정능력지수 Z_{st} 는 4.89σ , Z_{shift} 는 0.67σ 를 도출하였으며, 개선 전 공정능력과 비교하여 Z_{lt} 는 3.03σ 높아지고 Z_{shift} 는 0.57σ 낮아지는 등 기술력과 관리력에 대한 공정능력이 향상되었음을 확인하였다.

Abstract The middle surface of a mobile phone, where high-precision functional parts are combined, is usually insert injection molding to achieve beauty and rigidity of the mobile phone's exterior. In particular, injection molding can combine metal parts and plastic resin in the middle surface of a mobile phone effectively. This study insert injection molded the middle surface of a mobile phone from a plastic resin containing 40 % glass fiber as reinforcement in polybutylene terephthalate (PBT). The length of the USB hole was used as the measure in managing dimensional changes in the molded product due to its volumetric shrinkage. Next, two goals were set for further research after analyzing the existing process capability. These goals include securing the stability of the USB terminal's overall dimensions and improving productivity by reducing cycle time. Subsequently, fixing the average target value for the length of the USB terminal to 8.49 mm minimized the average dimensional deviation. In addition, optimized insert injection molding conditions shortened the cycle time from 55 seconds to 33 seconds. The long-term process capability index Z_{lt} was 4.22σ , the short-term process capability index Z_{st} was 4.89σ , and the Z_{shift} was 0.67σ for the optimized insert injection molding. Hence, the capability of the insert injection molding in terms of technology and management has improved with the proposed modifications.

Keywords : Metal Insert Injection Molding, Dimensional Stabilization, Shrinkage, Optimization, Mobile Phone

*Corresponding Author : Byeong-Hyeon Min(Dong-eui Univ.)

email: bhmin@deu.ac.kr

Received January 27, 2022

Accepted April 1, 2022

Revised March 8, 2022

Published April 30, 2022

1. 서론

최근의 휴대폰 외관 디자인은 경량화가 진행되면서 현재의 금속 소재를 플라스틱 수지로 대체하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1,2]. 하지만 모든 금속 소재를 플라스틱 수지로 변경하는 것은 불가능하기에 금속 소재와 플라스틱 수지를 혼용하여 사용하고 있다[3-6].

휴대폰 외관의 미려함과 강성을 확보하기 위해 고정밀 기능성 부품들이 결합되는 휴대폰의 중간면은, 금속 성형 및 가공성의 한계를 극복하기 위해 금속 부품과 플라스틱 수지를 결합하는 인서트 사출성형을 하게 된다. 금속 부품을 사출금형에 삽입하여 성형하면 플라스틱 수지와 결합이 잘되어야 하나 물리적 및 화학적 결합이 미비하여 제품의 품질 및 생산성에 영향을 미친다. 이를 보완하기 위해 삽입되는 금속 표면에 미세한 기공을 만들어 플라스틱 수지가 미세한 구멍으로 충전되어 결합되는 사출성형법을 사용하고 있다[7,8]. 사출성형 중 금속 표면의 미세한 구멍으로 플라스틱 용융수지가 효율적으로 충전되기 위해서는 고온의 금형 온도가 필요하다. 고온의 용융온도는 수지가 고화되면서 상변화에 따른 수축률 증가로 치수 관리가 불안정해지며 냉각 시간의 증가 등에 따라 전체적인 사이클 타임도 증가하게 된다[9,10].

적용제품은 휴대폰 중간면의 금속 인서트 커버로 금속 소재 알루미늄이 적용된 사출성형품이며, 도레이사의 폴리부틸렌 테레프탈레이트(PBT)에 보강재인 유리섬유 40%를 함유한 TORAY 2107GX01 플라스틱 수지를 사용하였다. 일반적으로 PBT는 빠른 결정화 속도와 높은 강도 및 강성을 지니고 있고, 치수 안정성, 낮은 흡습성 및 강력한 절연 저항을 제공하므로 전기, 전자 분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 금속 부품의 인서트 사출을 위해 형체부와 노즐부가 모두 수직으로 구성되어 인서트 부품의 삽입이 쉽고, 노즐부가 세로로 놓여 수지의 흐름을 균일하게 유지할 수 있는 수직사출성형기(Engel사 220톤)를 사용하였다.

중간면 금속 인서트 커버의 사출성형공정의 기존 공정능력을 분석하여 USB 단자 전장 치수의 안정성 확보와 사이클 타임 축소를 통한 생산성 향상의 두 가지 목표를 연구 방향으로 설정하였다. 두 가지 연구목표를 달성하기 위한 사출성형공정조건의 최적화는 통계적 분석법인 6 시그마 기법을 적용하여 이루어졌다. 6시그마 기법은 완벽에 가까운 제품을 개발하려는 품질경영 기법으로, 불량률의 원인을 찾아 체계적으로 해결하는 방법을 제공한

다. 문제 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control) 등을 거쳐 제품의 품질이 최종적으로 6시그마 수준에 도달하게 되며, 이에 대해 5단계의 DMAIC 6시그마 기법으로 설명할 수 있다. 시그마(σ)는 정규분포의 표준편차를 의미하며 6시그마는 제품 100만 개 중 3.4 개의 불량률을 의미한다. 일반적인 휴대폰 커버의 사이클 타임이 18~34초인 반면, 중간면 금속 인서트 커버의 사이클 타임은 고온의 용융수지로 인한 냉각 시간 증가로 55초 정도가 되어 일반 사출성형품에 비해 21~37초 정도 길다.

성형품의 체적 수축에 의한 치수의 관리 위치로는 USB 구멍의 전장 치수를 기준으로 하였다. 휴대폰 중간면 금속 인서트 커버 성형품의 수축률에 영향을 주는 인자에 대해 특성요인도 및 RPN(Risk Priority Number) 분석을 통해 7개 설계 인자를 가인자로 선정하였다[11]. 선정된 가인자는 사출압력, 사출속도, 보압, 보압시간, 금형온도, 냉각시간 및 냉각 형태 등이었다. 2-샘플 T 분석을 통하여 가인자에 대한 치명인자로 보압 시간 및 냉각 시간을 도출한 후, 사출성형공정 최적화를 위해 실험계획법 중 2인자 3수준의 완전배치법을 적용하였다. 이를 통해 USB 단자의 전장 치수의 관리 규격인 8.49 ± 0.04 mm를 만족하면서 사이클 타임을 55초에서 33초로 22초 단축하 사출성형공정조건을 최적화하였다. 양산 단계에서의 최적화 검증은 공정능력지수 분석을 통하여 이루어졌다[12]. 장기공정능력지수 Z_{Lc} 는 4.22σ , 단기공정능력지수 Z_{St} 는 4.89σ , Z_{Shift} 는 0.67σ 로 도출되어, 개선 전 공정능력과 비교하여 Z_{Lc} 는 3.03 σ 높아지고 Z_{Shift} 는 0.57 σ 낮아지는 등 기술력과 관리력에 대한 공정능력이 향상되었음을 확인하였다.

2. 적용제품 개요

2.1 휴대폰의 중간면 금속 인서트 커버

Fig. 1과 같이 휴대폰 중간면의 금속 인서트 커버로 금속 소재가 적용된 사출성형품이다. 금속 인서트 사출품은 금속 소재가 구현하지 못하는 복잡한 형상 및 제품 특성상 플라스틱 수지가 필요한 부위에 대해서 적용한다. 즉 금속 성형 및 가공성의 한계를 극복하기 위해 금속 부품과 플라스틱 수지를 결합하는 인서트 사출성형을 통해 제작된다.

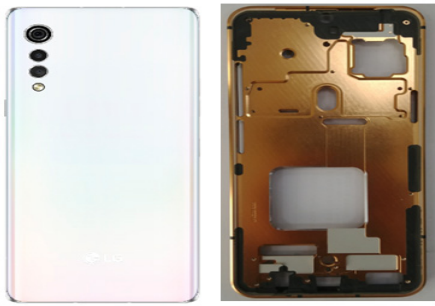


Fig. 1. Middle cover of mobile phone inserted by metal part

Fig. 2는 플라스틱 레진이 금속 표면에 물리적 및 화학적으로 잘 결합되도록 미세 결합구조를 적용한 구조이다. 금속 인서트 사출성형품은 사출 후 금속과 플라스틱 수지의 접합부에 박리가 발생하지 않도록 물리적인 결합구조를 만들지만, 휴대폰의 경우는 제품 특성상 물리적인 결합구조를 설계할 수 있는 두께가 되지 않는다. 휴대폰 중간면 커버의 경우 0.5~1.0 mm의 박육 두께로 인한 접합구조를 극복하기 위해 대부분의 핸드폰에 적용되는 공법이다. 접합면의 미세기공으로 플라스틱 레진이 침투하기 위해서는 유동성이 우수해야 하며, 유동 중에 고화되지 않도록 금형 온도를 고온으로 유지해야 한다 [7,8].

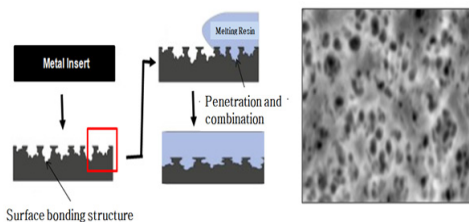


Fig. 2. Schematic diagram of metal bonding process

2.2 금속 인서트용 사출성형기

금속 인서트용 접합 사출성형기는 수직형 사출기를 사용하였다. 수평형 사출기는 사출 후 제품이 낙하하는 방식의 사출기이며 수직 사출기는 사출 후 제품이 코아측에 남아 있는 방식의 사출기이다. 형체부와 노즐부가 모두 수직으로 구성된 사출성형기로 기계의 설치 면적을 적게 하며 인서트 사출 시에 인서트 부품의 삽입이 쉽고 안정적이며, 노즐부가 세로로 놓임으로써 용융 수지의 흐름이 균일한 장점이 있다.

2.3 시삭 금형 설계 및 제작

Fig. 3은 휴대폰 중간면 금속 인서트 커버를 사출성형하기 위한 금형 구조를 보여주는데, 4개의 핫런너(Hot Runner)와 2개의 캐비티(Cavity)로 구성되어 있으며, 상측 금형 1개에 하측 금형 2개로 제작되어 있다. 금속 인서트의 삽입과 취출이 용이하도록 4면 슬라이드를 적용하였다. 금속 인서트 삽입 시 고온으로 예열하기 때문에 금속의 팽창을 고려하여 금형의 치수를 결정하였다. 높은 용융 수지 온도에 따른 금형의 냉각 시간 축소 및 균일한 냉각을 위하여 사출 영역과 냉각 영역 등 2개의 영역을 구분하여 적용하였다. 즉 사출 영역에서 사출된 성형품의 추가적인 냉각을 위해 금형 내에 추가로 냉각 영역을 설치하여 사이클 타임을 단축할 수 있도록 하였다.

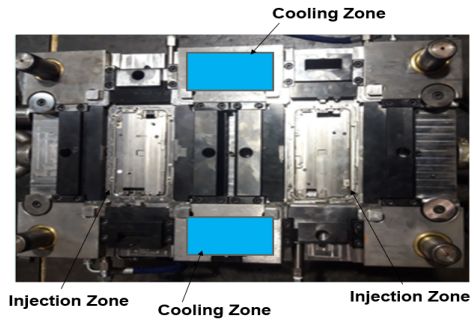


Fig. 3. Metal insert mold of the middle cover of mobile phone

3. 금속 인서트 사출성형공정

3.1 기존 금형에서의 사이클 타임 축소 한계

휴대폰 중간면 금속 인서트 커버의 사출은 통상적인 사출성형공정조건과 다르게 고온의 금형 온도를 사용한다. 즉 플라스틱 수지만만 이루어진 사출성형품의 사이클 타임과는 공정상 다른 점이 있다. 일반적인 PBT/GF 40%의 금형 온도는 90 ℃로 사출이 가능하나, 금속 인서트의 경우 금속과의 접합을 위해 금형 온도가 140 ℃ 이상을 유지하므로 사이클 타임에 영향을 줄 수 있다. 기존 금형을 적용한 휴대폰 중간면 금속 인서트 커버의 공정별 사이클 타임은 사출시간 2초(사출속도 65 mm/s), 보압시간 12초, 냉각시간 33초, 형개시간 3초, 형폐시간 3초, 회전시간 2초 등이었으며 전체 사이클 타임은 55초였다.

Table 1은 현재 휴대폰 중간면 금속 인서트 커버의 양산을 위한 사출성형공정 조건으로, 기존의 냉각 시간 33초를 반영한 사이클 타임 55초(case 1) 및 냉각 시간을 14초를 줄여 19초로 변경한 사이클 타임 41초(case 2)의 두 가지 공정 조건이다.

Table 1. Two injection molding condition for mass production based on the present mold

Condition	Case 1	Case 2
Melt temperature(℃)	240	240
Mold temperature(℃)	150	150
Insert temperature(℃)	150	150
Injection velocity(mm/s)	65	65
Packing pressure(Bar)	120	120
Packing time(sec)	12	12
Cooling time(sec)	33	19
Cycle time(sec)	55	41

Fig. 4는 현재 생산되는 휴대폰 중간면 금속 인서트 커버의 USB 단자의 전장 치수 부위 및 기준 규격을 보여 준다. 조립을 위한 8개 주요 부위가 있지만, 우선 치수 안정성 확보를 위한 연구 방향을 분석하기 위해 치수의 안정성 검토 위치로 USB 단자의 전장 치수를 정하였고, 현재 치수 관리 규격은 8.49 ± 0.04 mm이다.

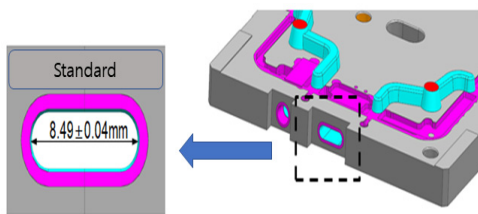


Fig. 4. Dimensional standard of length of USB terminal unit

Table 2는 두 가지 사이클 타임에 대한 USB 단자 전장 치수에 대한 6개 그룹별 30개 성형품의 측정 결과이다. 사이클 타임이 41초 및 55초 일 때 평균값 및 표준편차는 8.45 ± 0.008 mm 및 8.49 ± 0.009 mm로 41초로 줄였을 때 기준 규격 범위인 8.49 ± 0.04 mm를 벗어날 수 있어 치수 안정성 확보 및 사이클 타임을 줄이기 위해서는 금형의 냉각 구조 변경 및 사출성형공정 조건의 최적화가 필요하다.

Table 2. Length of USB terminal according to two cycle time(Cycle time 41 seconds and 55 seconds)

Gr..	41(s)	55(s)	Gr..	41(s)	55(s)
1	8.45	8.49	4	8.44	8.49
1	8.44	8.48	4	8.45	8.48
1	8.46	8.50	4	8.46	8.50
1	8.46	8.51	4	8.45	8.50
1	8.44	8.50	4	8.45	8.48
2	8.46	8.49	5	8.47	8.48
2	8.44	8.50	5	8.46	8.48
2	8.45	8.49	5	8.46	8.50
2	8.47	8.48	5	8.45	8.49
2	8.45	8.49	5	8.46	8.48
3	8.45	8.48	6	8.45	8.48
3	8.45	8.49	6	8.45	8.48
3	8.45	8.48	6	8.46	8.49
3	8.44	8.49	6	8.44	8.48
3	8.45	8.48	6	8.45	8.49
Average(mm)				8.45	8.49
Standard deviation(mm)				0.008	0.009

기존 양산 공정에서 USB 단자 전장 치수의 장기공정능력지수 Z_{lt} 와 단기공정능력지수 Z_{st} 및 이 두 지표의 차이인 Z_{shift} 를 Table 2의 측정 결과를 적용하여 분석하였다. 장기공정능력지수 Z_{lt} 는 공정이 장기간에 진행되는 공정의 균간 변동이 충분히 반영된 변동을 의미한다. 단기공정능력지수 Z_{st} 는 공정의 각종 변동 요인이 공정 간에 발생하지 않는다고 가정한 이상적인 공정능력을 말하며 군내 변동만을 가정하여 값이 클수록 공정의 기술력이 우수하다는 것을 의미한다. 현재 장기공정능력지수 Z_{lt} 는 1.19σ , 단기공정능력지수 Z_{st} 는 2.13σ , 두 지표의 차이 Z_{shift} 는 0.94σ 로 도출되었다. 기술력과 관리력에 대한 4 Block Diagram을 통해 관리력은 적절하나 기술력은 부족한 것으로 파악되었다. 따라서 USB 단자의 전장 치수를 관리 규격 범위 내로 조절하면서, 사이클 타임 단축으로 생산성을 향상하도록 공정능력의 개선이 필요하다.

3.2 성형품의 수축률에 영향을 주는 인자 분석

휴대폰 중간면 금속 인서트 커버의 사출성형에서 사이클 타임을 단축하면서 USB 단자 전장 치수의 기준 규격을 만족해야 할 필요가 있다. 금형 설계자와 사출 전문가의 평가를 바탕으로 사출속도, 사출압력, 보압, 보압시간, 금형온도, 냉각시간 및 금형의 냉각 구조 등 7가지를 가인자로 도출하였다.

Table 3은 7개의 가인자에 대해서는 2-샘플 T 분석을 통해 치명 인자를 도출하였다. 가인자에 대하여 P-value가 0.05보다 작으면 H_1 을 채택하여 보압 시간과 냉각 시간을 치명 인자로 선정하였다. 나머지 5개 가인

자에 대한 P-value는 0.05보다 커서 H_1 을 기각하였고, 그에 따른 USB 단자의 전장 치수의 평균값에서는 차이가 없었다.

Table 3. Result of 2 sample t-test of 7 processing conditions

Condition	2 sample	p-value	Hypothesis	Significance
Injection vel.(mm/s)	65/100	0.921	H_1	No
Injection pres.(Bar)	130/150	0.275	H_1	No
Packing pres.(Bar)	80/120	0.433	H_1	No
Packing time(s)	6/12	0.004	H_0	Yes
Mold temp.(C)	140/150	0.737	H_1	No
Cooling time(s)	20/30	0.001	H_0	Yes
Cooling time by cooling structure(s)	20/30	0.752	H_1	No

Table 4는 2-샘플-T 분석을 통해 선정된 치명 인자인 보압 시간과 냉각 시간에 대해서 실험계획법 중 2인자 3수준의 완전배치법을 적용한 실험조건이다.

Table 4. Full factorial experimental condition of 3 levels

Factor	Level		
	1	2	3
Packing time(sec)	8	10	12
Cooling time(sec)	10	15	20

Fig. 5는 두 개의 치명 인자에 대한 주 효과를 나타내며, 보압 시간 10초와 냉각 시간 10초 일 때 USB 단자 전장 치수가 목표 치수인 8.49 mm에 더 근접함을 확인하였다.

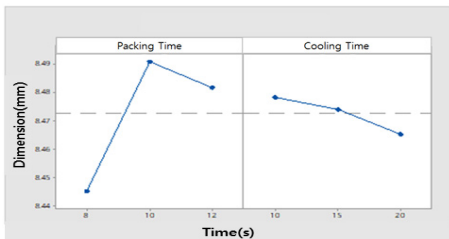
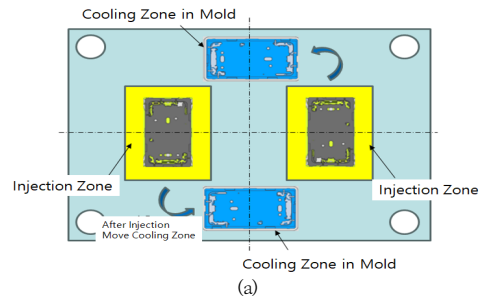


Fig. 5. Main effect according to packing time and cooling time

3.3 사이클 타임 단축을 위한 금형 구조 개선

Fig. 6은 보압 시간 및 냉각 시간에 대한 완전배치법의 분석 결과 10초의 냉각 시간이 개선된 금형에서 어떻게 반영되는지를 보여준다. 개선된 금형 구조는 사출용(#1 금형) 및 금속 인서트 삽입용(#2 금형) 등 두 개의 금형을 동시에 사용하고, 각각의 금형은 고온의 인서트 성형품의 냉각을 효율적으로 진행하기 위해 금형 내부의 사출 영역에 추가로 냉각 영역을 만들었다. #1 금형의 사출 영역에서 사출 후 10초의 기본적인 냉각공정을 거친 후, 금형을 회전하여 냉각 영역으로 성형품을 이송한 후 추가로 26초의 냉각공정을 더 진행하여 삽입된 성형품이 충분히 고화되도록 한다. 26초의 냉각 시간이 추가되지만, 사출 금형의 공정과 동시에 진행되므로 전체적인 사이클 타임의 증가는 없고 사출 금형에서의 냉각 시간인 10초만 냉각 시간으로 이바지하게 된다. #2 금형에서는 #1 금형에서 사출성형공정이 진행되는 동안 금속 인서트의 삽입과 성형된 제품의 취출이 이루어지고, #1 금형과 시간의 균형을 맞추기 위해 남은 시간은 대기하게 된다. 7번째 가인자인 냉각구조의 변경에 따른 냉각 시간의 2-샘플-T 분석 결과에서 냉각구조를 이처럼 적용하더라도 냉각 시간 30초와 20초에 따른 치수 평균의 차이가 없어 20초를 선택할 수 있었고, 추가적인 완전배치법 분석 결과 냉각 시간을 10초까지 줄여갈 수 있었다.



Cycle Time(s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Station1_Injection Zone	Mold Close	Inject	Packing	Cooling	Mold open	Rotation																											
Station1_Cooling Zone				Cooling																													
Station2_Injection Zone	Mold Close	Wait	Eject	Wait	Metal Insert	Mold open	Rotation																										
Station2_Cooling Zone	Mold Close	Eject	Wait	Insert	Cooling	Mold open	Rotation																										

(b)

Fig. 6. Injection and cooling zone system of mold

(a) Injection & cooling zone of injection and insert mold

(b) Processing time of injection & cooling zone of injection mold(station 1) and insert mold(station 2)

4. 사이클 타임 단축에 따른 공정능력 분석

4.1 USB 단자 전장 치수 및 사이클 타임 개선 효과

Table 5는 치명 인자인 보압 시간 10초 및 냉각 시간 10초를 포함하여 USB 단자 전장 치수 규격 및 사이클 타임 단축에 따른 공정능력지수 분석을 위한 실험조건이다. 기존의 사출성형공정 조건과 비교하여 보압 시간은 12초에서 10초로 2초 단축 및 냉각 시간은 30초에서 10초로 20초 단축되었으며, 이외 조건들은 3.2절의 2-샘플 T 분석을 통하여 검증된 기존의 사출성형공정 조건을 적용하였다. 냉각 시간의 경우 2-샘플 T 분석 결과 시간 단축에 따른 유의성이 없어, 금형의 추가적인 냉각 영역에서 공정시간을 반영하여 20초에서 최대 10초까지 단축하였다. 금형의 냉각 영역에서 26초의 냉각 시간은 금속 인서트 성형품의 실질적인 냉각을 위해 반영된 시간이지만, 사출 공정과 동시에 금형의 냉각 영역에서 이루어진 냉각 시간이므로 전체적인 사이클 타임에는 전혀 영향을 주지 않는다. 결과적으로 금속 인서트를 사용한 휴대폰 중간면에 대한 사출성형공정의 사이클 타임은 33초가 된다.

Table 5. Experimental condition for the analysis of process capability index

Condition	Unit	Value
Melt temp.	℃	240
Mold temp	℃	150
Injection vel.	mm/s	65
Injection Pres.	Bar	150
Holding Pres.	Bar	120
Holding time	sec.	10
Cooling time at injection zone	sec.	10
Cooling time at cooling zone	sec.	(26)
Cycle time	sec.	33

Table 6과 같이 USB 단자의 전장 치수에 대한 검증을 진행하였으며, 평균에 대한 검증은 P-Value가 0.001로 0.05 이하이므로 개선 전과 개선 후의 유의차가 있는 것으로 도출되었다. 개선 후 USB 단자 전장 치수의 규격 범위가 8.48 ± 0.008 mm로 기준 규격인 8.49 ± 0.04 mm와 비교하여 평균값에서 0.01 mm의 편차를 보였다. 이는 공정 개선 전 평균 전장 치수 8.45 mm와 비교하였을 때 평균값이 0.03 mm 개선되었으며, 전장 치수의 규격 내로 평균치가 이동한 것을 알 수 있었다.

Table 6. Verification of the length of USB terminal before and after improvement of processing conditions

Sample	N	Mean	Std. Dev.	Group Std. Dev.	T	DF	P
Before	30	8.4519	0.0069	0.0013	-17.34	56	0.001
After	30	8.4851	0.0079	0.0014			

냉각 시간이 30초에서 10초로 20초 단축되었고, 보압 시간이 12초에서 10초로 2초 단축되어 사이클 타임이 22초 단축되었다. 이로부터 USB 단자 전장 치수의 규격이 8.48 ± 0.008 mm로 관리 규격인 8.49 ± 0.01 mm를 만족하면서 동시에 사이클 타임을 개선 전 55초에서 개선 후 33초로 22초 단축하였다. 이는 금형 내에 사출부와 추가로 냉각부를 설치하여 사출과 냉각공정이 동시에 이루어지도록 냉각구조를 반영한 사이클 타임의 단축 결과도 반영되었다.

4.2 주요 조립 부위 치수 검증

Fig. 7은 USB 단자 전장 치수를 제외한 8개의 주요 측정 위치를 보여준다. 사출성형공정의 최적화를 통해 도출된 USB 단자 전장 치수의 안정화뿐만 아니라 양산 시 치수 품질 문제를 제어하기 위해 성형품과 연관되는 주요 치수에 대한 치수 검증도 필요하다. 이는 휴대폰 중간면 금속 인서트 성형품과 다른 부품의 조립에서 중요한 위치로 결정하였으며, 각 위치에서 30개의 성형품을 수집하여 측정하였다.

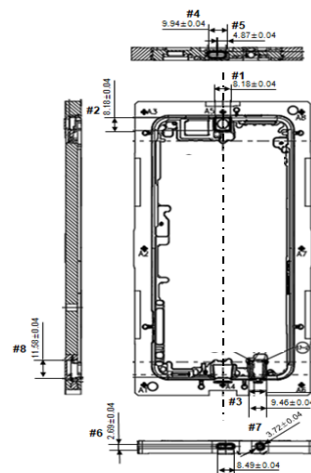


Fig. 7. Schematic diagram of dimension standard of 8 assembly positions

Table 7. Dimensional standard of 8 assembly positions

Pos.	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
Spec.	8.18 ±0.04	8.18 ±0.04	9.46 ±0.04	9.94 ±0.04	4.87 ±0.04	2.69 ±0.04	3.72 ±0.04	11.58 ±0.04
1	8.18	8.17	9.45	9.96	4.88	2.69	3.73	11.57
2	8.17	8.17	9.46	9.94	4.88	2.70	3.74	11.58
3	8.17	8.18	9.45	9.94	4.89	2.71	3.75	11.58
4	8.19	8.18	9.46	9.94	4.9	2.70	3.73	11.57
5	8.18	8.18	9.45	9.94	4.89	2.71	3.74	11.57
6	8.17	8.18	9.45	9.93	4.88	2.71	3.74	11.58
7	8.18	8.17	9.47	9.95	4.88	2.69	3.75	11.59
8	8.18	8.18	9.45	9.93	4.89	2.71	3.74	11.59
9	8.18	8.19	9.44	9.94	4.89	2.69	3.75	11.59
10	8.19	8.17	9.46	9.93	4.89	2.69	3.74	11.58
11	8.19	8.18	9.45	9.93	4.87	2.70	3.75	11.58
12	8.17	8.19	9.45	9.93	4.87	2.70	3.74	11.58
13	8.18	8.19	9.45	9.93	4.88	2.69	3.74	11.58
14	8.19	8.19	9.45	9.93	4.88	2.69	3.72	11.59
15	8.19	8.17	9.45	9.94	4.87	2.69	3.75	11.57
16	8.19	8.16	9.47	9.94	4.88	2.69	3.74	11.58
17	8.17	8.19	9.46	9.95	4.89	2.69	3.74	11.59
18	8.17	8.18	9.46	9.94	4.89	2.70	3.72	11.57
19	8.16	8.19	9.47	9.95	4.88	2.70	3.74	11.57
20	8.16	8.18	9.44	9.93	4.89	2.70	3.74	11.59
21	8.18	8.17	9.46	9.94	4.87	2.69	3.75	11.57
22	8.19	8.17	9.47	9.93	4.89	2.70	3.74	11.58
23	8.17	8.19	9.46	9.96	4.89	2.69	3.74	11.59
24	8.19	8.19	9.47	9.94	4.89	2.71	3.74	11.59
25	8.18	8.17	9.44	9.95	4.89	2.68	3.73	11.58
26	8.17	8.18	9.46	9.93	4.87	2.69	3.74	11.58
27	8.18	8.17	9.45	9.94	4.88	2.70	3.74	11.59
28	8.18	8.16	9.47	9.94	4.88	2.70	3.74	11.58
29	8.17	8.16	9.45	9.94	4.88	2.69	3.73	11.59
30	8.17	8.17	9.45	9.94	4.88	2.69	3.73	11.60
Ave.	8.18	8.18	9.46	9.94	4.88	2.70	3.74	11.58
Std. Dev.	0.009	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008

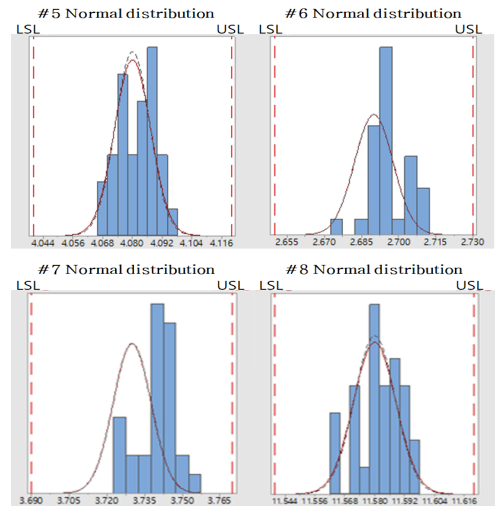


Fig. 8. Normal distribution of the dimensions measured at 8 positions

Table 7은 30개 성형품의 8개 주요 부위에 대한 측정치수 결과이며, Fig. 8에서 8개 주요 부위의 치수가 정해진 규격 상한과 하한 범위 내에서 정규분포를 보여주고 있어, USB 단자의 전장 치수 및 사이클 타임 단축에 최적화된 사출성형공정 조건이 양산 단계에서도 적용될 수 있음을 보여준다.

4.3 공정능력지수의 개선 효과 검증

Fig. 9는 사출성형공정 조건의 최적화에 의해 개선된 장기공정능력과 단기공정능력에 대한 분석 결과이다. 장기공정능력 Z_{lt} 는 4.22σ , 단기공정능력 Z_{st} 는 4.89σ , 이 두 지표의 차이인 Z_{shift} 는 0.67σ 로 분석되었다. 개선 전 공정능력지수인 Z_{lt} 1.19σ , Z_{st} 2.13σ , Z_{shift} 0.94σ 과 비교하여 Z_{lt} 는 3.03σ 높아지고, Z_{shift} 는 0.57σ 낮아지는 등 개선 효과가 나타났다. 기술력과 관리력에 대한 4 불

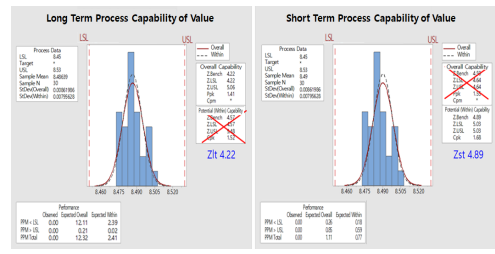
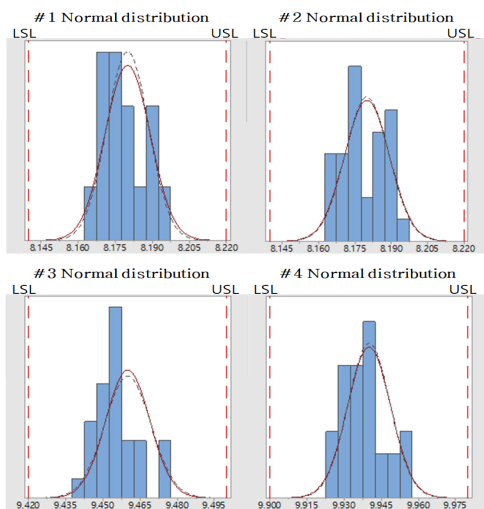


Fig. 9. Process capability index after process optimization (a) Long term(Z_{lt}), (b) Short term(Z_{st})

록 다이어그램으로부터 기술력과 관리력이 개선되었음을 확인하였다. 이로부터 사이클 타임을 22초 단축하면서도 USB 단자 전장 치수의 평균치 및 산포에 대한 공정능력은 설계 치수의 규격인 8.49 ± 0.04 mm 내에서 기술력 및 관리력 측면에서 잘 조절되고 있음을 확인하였다.

5. 결론

- (1) 기존의 금형 구조를 활용하여 휴대폰 중간면 금속 인서트 사출의 사이클 타임을 기존 55초에서 41초로 줄였을 때, USB 단자 전장 치수 규격이 8.45 ± 0.008 mm로 관리 규격 범위인 8.49 ± 0.04 mm를 벗어났다. 이에 대한 개선을 위하여 기존 금형의 사출 영역에 추가로 냉각 영역을 포함한 금형 구조를 반영하였다.
- (2) USB 단자 전장 치수 및 사이클 타임에 영향을 주는 사출속도, 사출압력, 보압, 보압시간, 금형온도, 냉각시간 및 금형의 냉각 구조 등 7가지 가인자에 대한 2-샘플-T 검정 및 완전배치 실험계획법을 진행하여 보압 시간 10초 및 냉각 시간 10초를 도출하였다. 냉각 시간을 30초에서 10초로 20초, 보압 시간을 12초에서 10초로 2초 단축하여 사이클 타임을 22초 단축하였으며, USB 단자 전장 치수의 규격은 8.48 ± 0.008 mm로 관리 규격인 8.49 ± 0.04 mm 기준을 만족하였다.
- (3) 금속 인서트 중간면의 조립과 연관되는 8곳의 치수에 대하여 치수 검증을 한 결과, 측정된 치수의 기준값(2.69~11.58 mm) 및 공차(0.008~0.01 mm)가 모두 규격의 정규분포 범위 안에 분포하고 있어, 사이클 타임을 22초 줄였음에도 치수 안정화에는 문제가 없음을 확인하였다.
- (4) 최적화된 양산조건에서 공정능력분석을 분석하였다. 장기공정능력지수 Z_{Lr} 는 4.22σ , 단기공정능력지수 Z_{St} 는 4.89σ , Z_{Shift} 는 0.67σ 로 도출되어, 개선 전 공정능력과 비교하여 Z_{Lr} 는 3.03σ 높아지고 Z_{Shift} 는 0.57σ 낮아지는 등 기술력과 관리력에 대한 공정능력이 향상되었음을 확인하였다.

References

- [1] K. Y. Park, H. S. Kim, J. H. Kang, J. C. Park, "CAE analysis and optimization of injection molding for a mobile phone cover", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.11, No.2, pp.60-65, 2012.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01834812>
- [2] J. J. Chung, W. G. Ahn, "Digital engineering in the smart phone development process", *Mechanical Journal*, Vol.53, No.1, 2013.
- [3] S. D. Choi, Y.B. Ji, Y. H. Kim, "The research of the defect rate reduction result from external contraction of the insert part smart phone", *Proceedings of the Spring Conference of the KSPE*, The Korean Society of Precision Engineering, pp.454-457, 2017.
- [4] Y.B. Ji, C. H. Han, "Study on the Improvement of External Contraction in the Insert Part", *Proceedings of the KSMPE Conference*, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp.276-276, 2017.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07262046>
- [5] J. I. Son, G. H. Kim, H. W. Lee, G. S. Yoon, "A Study on Injection Molding Analysis Using Metal and Plastic Inserts", *Mold Machining Symposium*, The Korean Society For Technology of Plasticity, pp.121-127, 2011.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02111134>
- [6] Y. D. Chung, Y. S. Kim, I. G. Kim, H. C. Chung, "Research of Shrinkage Phenomenon on Metal Insert Injection Molded Parted", *Proceedings of the Korean Society of Power and Mechanical Engineering Conference*, The Korean Society For Power System Engineering, pp.127-131, 1997.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01034661>
- [7] K. Maghsoudi, R. Jafari, G. Momen, M. Farzaneh, "Micro-nanostructured polymer surfaces using injection molding: A review", *Materials Today Communications*, Vol.13, pp.126-143, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.09.013>
- [8] G. Tosello, F. S. Costa, "High precision validation of micro injection molding process simulations", *Journal of Manufacturing Processes*, Vol.15, pp.236-248, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imapro.2019.10.014>
- [9] H. M. Li, G. L. Li, X. Q. Hou, X. P. Ma, J. T. Chen, Z. Kang, "Core melt temperature effects on cylindrical structures of co-injection molded polypropylene parts", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol.97, pp.56-63, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.07.003>
- [10] M. Lakkanna, G. C. M. Kumar, R. Kadoli, "Computational design of mould sprue for injection moulding thermoplastics", *Journal of Computational Design and Engineering*, Vol.3, pp.37-52, 2016.
DOI: <http://lps3.doi.org.libproxy.deu.ac.kr/10.1016/j>

[1] K. Y. Park, H. S. Kim, J. H. Kang, J. C. Park, "CAE

icde.2015.06.006

- [11] K. O. Kim, M. J. Zuo, "General model for the risk priority number in failure mode and effects analysis", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.169, pp.321-329, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.ress.2017.09.010>
- [12] J. Basil, K. Shunmugesh, M. P. Kumar, K. Arun K, "Optimization in turning of 11sMn30 through process capability index", *Materials Today: Proceedings 11*, pp.961-970, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.matpr.2018.12.025>

예 상 돈(Sang-Don Ye)

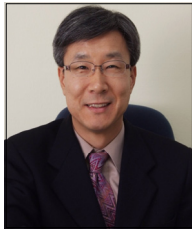
[정회원]



- 2001년 2월 : 동의대학교 동의대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 동의대학교 동의대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2008년 2월 : 동의대학교 산업기술개발연구소 P.D. 연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동의대학교 기계공학과 교수

민 병 현(Byeong-Hyeon Min)

[정회원]



- 1985년 2월 : 부산대학교 부산대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1992년 12월 : 노스웨스턴대학교 노스웨스턴대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 1995년 2월 : 고등기술연구원 책임연구원
- 1995년 3월 ~ 현재 : 동의대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

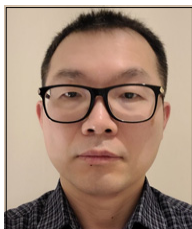
유변학, 사출성형공정, 최적화

<관심분야>

생산 및 설계, CAE, 소성가공, 사출성형

김 병 곤(Byeong-Gon Kim)

[정회원]



- 2002년 2월 : 동의대학교 동의대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2022년 2월 : 동의대학교 동의대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 11월 ~ 현재 : LG전자 생산기술원 책임연구원

<관심분야>

생산 및 설계, CAE, 사출성형, 금형, 6시그마