

석사학위논문

CRASH PAD 제조에 있어서 사출
압력과 배럴 온도에 따른 사출품
중량과의 관계에 대한 연구

2024년

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

정 하 문

석사학위논문
지도교수 윤주일

CRASH PAD 제조에 있어서 사출 압력과 배럴 온도에 따른 사출품 중량과의 관계에 대한 연구

A study of the relationship between injection pressure
and barrel temperature and the weight of the injection
part in the manufacture of crash pads.

2024년 6월 일

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

정 하 문

석사학위논문
지도교수 윤주일

CRASH PAD 제조에 있어서 사출 압력과 배럴 온도에 따른 사출품 중량과의 관계에 대한 연구

A study of the relationship between injection pressure
and barrel temperature and the weight of the injection
part in the manufacture of crash pads.

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 6월 일

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

정 하 문

정하문의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 6월 일

심사위원장 홍정완 (인)

심 사 위 원 윤주일 (인)

심 사 위 원 오희석 (인)

국 문 초 록

CRASH PAD 제조에 있어서 사출 압력과 배럴 온도에 따른 사출품 중량과의 관계에 대한 연구

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원
스 마 트 융 합 컨 설 팅 학 과
스 마 트 팩 토 리 컨 설 팅 전 공
정 하 문

사출성형 공정으로 플라스틱 자동차 부품을 성형하는 경우, 사출품 중량은 투입 재료 건조 상태, 사출성형기의 가동 조건(구간별 배럴 온도, 사출

압력 및 시간, 보압 및 시간), 냉각수 온도에 따라 다르다.

본 논문에서는 재료 ABS/PC를 사용하여 자동차 CRASH PAD에 들어가는 플라스틱 자동차 부품 사출성형 공정에서 생성되는 사출성형기의 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 및 중량 데이터 27,000여 건을 수집하여 작업표준 최대사출 압력 및 구간별 배럴 온도와 공정가동 최대사출 압력 및 배럴 온도와의 차이가 있는지 확인하고, 최대사출 압력과 사출품 중량과의 관계와 구간별 배럴 온도와 사출품 중량과의 관계를 분석하였다.

작업표준 최대사출 압력과 구간별 배럴 작업표준 온도는 실제 최대사출 압력과 실제 구간별 배럴 온도와 차이가 있었다. 최대사출 압력과 중량 양의 상관관계가 있었고 구간별 배럴 온도와 중량은 상관관계가 미미했다.

작업표준 중량을 벗어난 실제 중량이 관측되었을 때 최대사출 압력의 변동 폭이 컸는데 최대사출 압력 상한치와 하한치 관리로 중량 편차의 최소화가 가능할 것으로 본다.

【주요어】 사출성형, 최대사출 압력, 배럴 온도, 중량, 캐비티

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구 배경	1
제 2 절 연구 동향	2
제 2 장 이론 배경	6
제 1 절 사출성형 공정과 사출품 중량	6
제 2 절 사출성형 공정 설비와 재료	7
제 3 장 연구 방법	9
제 4 장 연구 결과	12
제 1 절 수집 데이터 분석	12
(1) 최대사출 압력	12
(2) 구간별 배럴 온도	13
(3) 중량	19
(4) 관계 분석	22
제 2 절 고찰	29
제 5 장 결 론	31
참 고 문 헌	32
ABSTRACT	35

표 목 차

[표 4-1] 수집 데이터 분석 결과 요약	29
-------------------------------	----

그 립 목 차

[그림 2-1] CRASH PAD용 조립 부품 도면과 사출품 이미지	6
[그림 2-2] CRASH PAD용 부품 조립 위치	7
[그림 2-3] CRASH PAD용 조립 부품 금형	8
[그림 3-1] 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 수집 위치	9
[그림 3-2] 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 수집 방법	10
[그림 3-3] 사출품 중량 계량 및 데이터 수집 방법	10
[그림 3-4] 사출품 중량과 사출성형기 가동 데이터 1:1 매칭	11
[그림 4-1] 최대사출 압력 정규분포	12
[그림 4-2] 최대사출 압력 시계열	13
[그림 4-3] 배럴 온도1 정규분포	14
[그림 4-4] 배럴 온도1 시계열	14
[그림 4-5] 배럴 온도2 정규분포	15
[그림 4-6] 배럴 온도2 시계열	16
[그림 4-7] 배럴 온도3 정규분포	17
[그림 4-8] 배럴 온도3 시계열	17
[그림 4-9] 배럴 온도4 정규분포	18
[그림 4-10] 배럴 온도4 시계열	18
[그림 4-11] 중량1 정규분포	19
[그림 4-12] 중량1 시계열	20
[그림 4-13] 중량2 정규분포	20
[그림 4-14] 중량2 시계열	21
[그림 4-15] 최대사출 압력과 중량1의 관계	22
[그림 4-16] 최대사출 압력과 중량2의 관계	22
[그림 4-17] 배럴 온도1과 중량1의 관계	23
[그림 4-18] 배럴 온도1과 중량2의 관계	24
[그림 4-19] 배럴 온도2와 중량1의 관계	25
[그림 4-20] 배럴 온도2와 중량2의 관계	25
[그림 4-21] 배럴 온도3과 중량1의 관계	26

[그림 4-22] 배럴 온도3과 중량2의 관계	27
[그림 4-23] 배럴 온도4와 중량1의 관계	28
[그림 4-24] 배럴 온도4와 중량2의 관계	28

제 1 장 서론

제 1 절 연구 배경

제조(Manufacturing)란 부품이나 제품을 만들기 위해서 재료의 형상, 특성, 외관을 바꾸기 위해 물리적이고 화학적인 공정을 적용하는 과정으로 정의할 수 있다¹⁾. 제조 측면에서 플라스틱 사출성형(Plastic Injection Molding)은 가공 공정의 외형 형성 공정에 속한다²⁾.

사출품은 생산성이 높고 정밀성이 뛰어나며 가벼워 생활용품, 자동차부품, 의료부품 등 다양한 분야에서 사용되고 있으며 그 추세는 더욱 늘어날 것으로 전망된다. Custom Market Insights의 2024년 보고서에 따르면 향후 10년간 세계 플라스틱 사출성형 자동차 부품 시장은 2022년 57억 달러를 시작으로 2027년에 70억 달러, 2030년에는 80억 달러로 매년 4.8% 이상씩 증가할 것으로 전망하였다³⁾. 국내의 현대/기아 자동차 메이커는 차량 경량화를 위해 플라스틱 부품 비중을 점진적으로 높이고 있고, 전기 자동차 보급이 늘면서 더욱 확대될 것으로 전망되며, 자동차 부품의 엔지니어링 플라스틱 분야는 2028년까지 36% 성장할 것으로 예상된다⁴⁾.

사출성형 공정으로 플라스틱 자동차 부품을 성형하는 경우, 작업표준 중량 관리가 중요한데, 사출품의 작업표준 중량은 투입 재료 건조 상태, 사출성형기의 가동값(배럴 온도, 사출압력 및 시간, 보압 및 시간), 냉각수 온도에 따라 달라진다. 이러한 연구는 많이 되었으나 생산 현장에서는 여전히 작업표준 중량 관리에 어려움을 겪고 있어, 최대사출 압력과 사출품 중량 및 배럴 온도와 사출품 중량과의 관계를 알아본다.

1) Mekell P. Groover 현대제조공학 P.3.

2) Mekell P. Groover 현대제조공학 P.9.

3) 출처 : Custom Market Insights 2024년 보고서

4) 출처 : 조선비즈 2021.11.23.

제 2 절 연구 동향

사출품 품질에 관한 최근 연구 동향은 스마트 팩토리를 구축한 후 수집한 데이터로 인공지능 알고리즘을 활용해서 불량품을 예측하거나 최적 사출성형 조건을 제시하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 사출압력이 중량에 영향을 미치는 연구로 사출압력이 증가함에 따라 제품의 중량이 변하는 경향이 관찰되었는데, 사출압력이 증가할수록 내부 캐비티로의 유량 비율이 감소했다(JOHN P. BEAUMONT 외, 1999). 사출공정에서 사출압력은 중요한 변수 중 하나로, 중량에 직접적인 영향을 미친다. 압력이 높을수록 금형 내의 용융 재료가 더 많이 채워져 제품의 중량이 증가한다. 다양한 사출압력 조건에서의 실험을 통해 이 관계를 분석하였고 사출압력이 증가함에 따라 제품의 중량이 선형적으로 증가하는 경향을 보였다(Yang 외, 2022). 사출압력에서 실제 실험한 측정 값은 130MPa이 가장 성형성이 좋았으며 CAE 성형해석에는 155MPa이 도출 되었다. 사출압력이 높을 경우에는 제품 치수가 도면에 표기된 규정 치수 값보다 크게 나온다(김강곤, 2021)고 하였는데 도면 치수값 보다 크다는 것은 높은 사출압력으로 과성형이 되었을 가능성이 높다. 사출 압력이 클 때 사출 속도는 빨라 지지만 금형에 가해지는 형체력이 커지고 빠른 수지 속도로 인해 발열이 발생하여 수지 열화가 발생할 수 있다. 반대로, 사출 압력이 낮으면 형체력은 줄어들지만 수지와 금형 간 열전달로 인해 유동성이 줄어들어 미충전 및 밀도 불균일이 발생한다. 이러한 이유로 제품의 형상과 두께를 고려한 적절한 사출 압력과 사출 속도의 선정이 필요하다(김현수, 2012). 캐비티 내에서 이루어지는 충전, 보압, 냉각 단계는 압력과 온도에 의해 구분된다. 특히, 캐비티 내의 압력은 성형품의 치수 정밀도와 관련이 있으며, 부적절한 캐비티 내의 압력은 다양한 결함(예: Flash, Short Shot, Crack, 백화 현상)을 발생시킬 수 있다(임승현, 2010). 사출 속도는 충전 과정에서 금형에 주입되는 용융 수지의 흐름 속도를 결정한다. 충전 속도가 빠르면 금형 캐비티 내부의 압력도 급격히 상승하게 된다. 충전 속도가 너무 빠르면 금형 내에서 불균일한 압력 분포가 발생할 수 있다. 보압 단계에서는 캐비티 내에서 수지가 냉각됨에

따라 발생하는 수축을 보상하기 위해 추가적인 압력을 가해준다. 보압이 충분하지 않으면 수축 마크(sink mark)나 기포 현상이 발생할 수 있고, 보압이 너무 크면 금형의 상판과 하판 사이에서 플래시(flash)가 발생할 수 있다(김태훈, 2007). 사출성형 공정의 압력은 가소화 압력, 사출 압력, 보압 압력, 캐비티 압력으로 나눌 수 있으며 사출 압력이 너무 낮으면 수지가 완전히 채워지지 못하고, 너무 높으면 제품에 잔류응력이 많이 생겨 변형이 발생할 수 있다(우지에, 2018). 사출속도가 높을수록 충전 체적이 더 빨리 증가하여 목표 체적에 이르는 시점이 더 빨랐으며, 이는 낮은 사출 속도에 비해 상대적으로 보압 절환 시점이 더 빨라야 한다는 것을 의미한다. 사출 속도의 증가에 따른 충전 체적 또한 선형적으로 증가하였다는 것은 사출 속도가 빠르면 사출품 중량도 빨리 증가한다(김동한, 2017). 보압이 적절하게 설정되지 않으면 제품 내부의 밀도가 달라져 중량에 영향을 줄 수 있고 사출 속도가 너무 빠르거나 느리면 제품의 균일성에 영향을 미쳐 중량 변화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다(김종수, 2006). 사출압력은 각 소재의 점성과 고유의 성질을 고려하여 적절한 온도와 압력 조건을 설정해야 하며 너무 낮거나 높게 설정하면 런너와 게이트가 고화 완료될 때까지 보압이 작용하지 않아 중량이나 치수가 평균값에서 벗어 날 수 있다(신승동, 2017). 성형기기의 사출압력이 캐비티 용적에 비해 적절하게 높지 않으면, 수지가 충분한 가소성을 가질 수 없어서 발생하는 문제가 있으며 이 경우, 성형기기의 온도를 충분히 예열하여도 해결되지 않는 일시적인 현상이 아닌 경우도 있다. 이를 해결하는 방법으로는, 캐비티가 여러 개인 경우, 한 개 또는 그 이상의 캐비티를 막고 다른 캐비티에서 재료가 충분히 충전될 수 있도록 하는 것이 효과적이다(이승우, 2023). 사출 압력이 낮으면 적정량의 수지를 완전히 채우지 못하기에 사출품이 정상적으로 나오지 않게 되고 이는 사출 불량으로 이어지게 된다. 반대로 사출 압력이 높으면 제품 잔류응력이 커지 기 때문에 변형이 발생한다(정민수 외. 2022).

온도가 사출 성형품의 중량에 미치는 영향은 배럴 온도가 높아질수록 용융된 재료의 유동성이 증가하여 금형의 캐비티를 채우는 속도가 빨라지고, 이는 최종 제품의 중량 증가로 이어진다. 이는 재료의 점도가 온도에 따라

변하기 때문이다. 높은 온도에서 점도가 낮아져 재료가 더 쉽게 흐르고 금형 캐비티의 모든 부분을 잘 채우게 되어 제품의 중량이 증가하는 결과를 초래한다(김훈모, 2003). 배럴 온도는 용융 수지 내 기포의 크기와 개수에 영향을 미친다. 배럴 온도가 높을수록 기포가 병합되어 더 큰 기포가 형성되며, 배럴 온도가 낮을 때는 기포가 맞붙어 있어도 하나로 합쳐지지 않은 상태로 남아 있다. 스크루 회전속도가 느릴수록 기포가 더 많이 병합된다(김민수, 2018). 충전 불균형에 영향을 미치는 성형 조건으로는 성형온도, 사출속도, 사출압력, 금형온도가 있으며 이 중 성형온도와 사출속도가 중량에 중요한 영향을 미쳤고, 성형온도와 사출속도는 중량에 영향을 미치는 주요 성형 조건으로 실험으로 확인했다(권인숙, 2008). 금형 온도가 적절하지 않으면 제품의 수축이나 변형이 발생하여 중량에 영향을 줄 수 있고, 수지의 온도가 높거나 낮으면 제품의 품질과 중량에 영향을 미친다(김종수, 2006). 사출성형 공정에서 수지가 낮은 온도로 충전이 가능해지면 냉각 시간을 줄이는 효과가 있으며, 이는 사출성형의 사이클 시간을 줄일 수 있어 생산성 향상을 가져온다(박윤기, 2010). 수지의 온도는 중요한 파라미터로, 너무 높은 수지 온도는 수지의 열분해 및 탄화 과정을 유발할 수 있으며, 금형 내에 주입된 수지는 금형 온도에 의해 냉각되는데, 이때 용융된 수지는 체적 수축이 일어난다(정의철, 2015). 사출 공정 데이터의 센서 변수인 34개의 종속변수 특성에 따라 온도 감지 시간, 최대온도, 최대온도 감지 시간, 최대압력, 최대압력 감지 시간으로 나눠 예측하였으며, 예측 모델이 실제 데이터와 큰 차이가 없음을 확인하였다. 이후 최적의 사출 공정 변수값 도출을 위해 베이지안 최적화를 진행하였다. 최적화 결과의 검증을 위하여 시각화를 수행하였다. 사출 공정 변수 설정에 소요되는 시간과 소모되는 비용을 줄일 수 있고, 최종적으로 공정 전반의 효율성 향상에 기여할 수 있을 것이다(강성우, 2024). 금형에 충전되는 용융 수지는 온도나 압력의 변화에 따라 부피가 변화 하지만 질량은 일정하기 때문에 PVT(압력, 부피, 온도) 물성에서 밀도가 아닌 질량에 대한 부피를 나타내는 물성인 비체적을 사용하여 온도와 압력에 따른 플라스틱 재료의 부피 변화를 표현한다(한은수, 2021).

플라스틱이 환경에 미치는 영향이 날로 증가하고 있어 플라스틱 사출성형 후 발생하는 스크랩을 재활용할 때 용융온도에 관한 연구는 PBT, ABS, PC+ABS 의 3가지 신재료에 리사이클된 스크랩을 10%, 20% 30%, 40%, 50%, 100%로 혼합하여 사출할 경우 각 수지의 용융 온도는 적게는 1.5°C 에서부터 많게는 약 4°C까지 떨어지는 것을 실험을 통하여 관찰할 수가 있었다. 이러한 물성의 변화는 사출 성형 제품에 부정적 영향으로 작용할 수 있으므로 제품 설계 시에 리사이클 혼합 수지의 물성을 고려하여 설계한다면 재활용 수지를 사용한 사출 성형품의 신뢰도를 향상 시킬 수 있을 것이다(박정호, 2008).

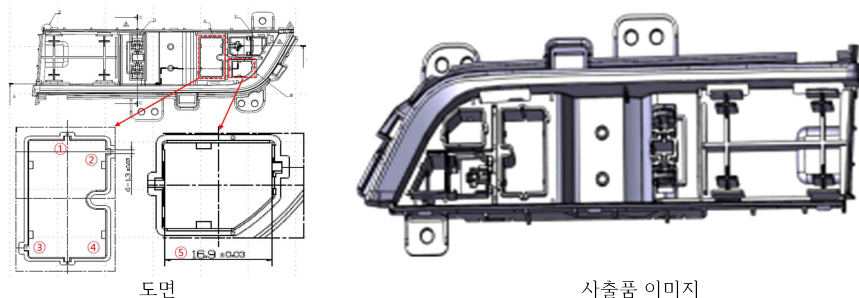
제 2 장 이론 배경

제 1 절 사출성형 공정과 사출품 중량

사출성형 공정은 용융(가소화), 충전, 보압, 냉각, 이형 및 탈출이다. 용융은 공급된 재료(수지)를 녹이는 과정이고, 충전은 용융된 재료에 압력(사출압력)을 가해서 캐비티(Cavity : 동공)에 밀어 넣는 과정이다. 재료는 캐비티 내에서 온도가 내려가면서 수축이 일어나는데 이 수축량을 채워주기 위해 추가로 용융된 재료를 캐비티로 넣는 압력이 보압이다. 냉각은 금형 캐비티에 충전된 재료가 상대적으로 낮은 온도의 금형에 의해 식는 과정이다. 금형 온도까지 냉각된 사출품을 금형에서 빼내는 것이 이형 및 탈출이다⁵⁾.

사출압력은 사출작업의 일반적인 표준이 되는 작업표준 압력, 사출성형 작업을 하면서 설정하는 설정압력, 사출성형기가 실제 사출을 하면서 가해지는 실제 압력으로 나누고, 재료를 녹이는 온도는 재료가 배럴로 내려오는 입구에 가해지는 온도(배럴 온도1), 배럴 내에서 재료를 녹이는 온도(배럴 온도2), 재료 점도를 높이는 온도(배럴 온도3), 사출 직전 재료의 점도를 유지하기 위한 온도(배럴 온도4)로 나누며, 사출성형 온도의 일반적인 표준이 되는 작업표준 온도, 사출성형 작업을 하면서 설정하는 설정온도, 사출성형기가 실제 사출하면서 나타나는 실제 온도로 나눈다. 사출품의 품질검사는 치수 측정, 중량 계량, 육안 등으로 한다. 본 연구 대상인 CRASH PAD용 조립 부품의 도면과 사출품 이미지는 [그림 2-1]과 같다.

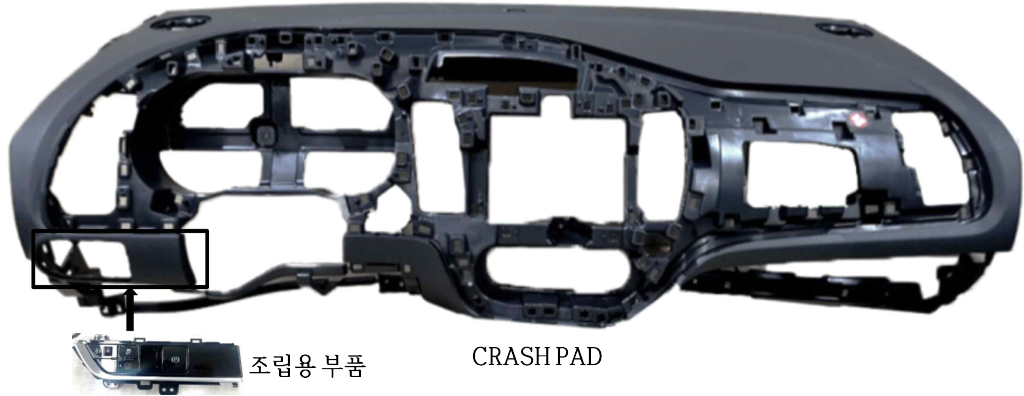
[그림 2-1] CRASH PAD용 조립 부품 도면과 사출품 이미지



5) 류민영 사출성형의 원리와 응용 P.8, 40, 41.

CRASH PAD에 부품을 조립하는 위치는 [그림 2-2]와 같다.

[그림 2-2] CRASH PAD용 부품 조립 위치



제 2 절 사출성형 공정 설비와 재료

사출품을 성형하기 위해 필요한 설비는 사출성형기, 금형, 재료 공급장치, 냉각 시스템이다. 사출성형기는 동력 전달 방식에 따라 유압식 사출성형기, 전동식 사출성형기, 하이브리드 사출성형기로 분류하는데⁶⁾ 본 연구는 LS Mtron 전동식 사출기 350톤을 대상으로 하였다. 재료 공급장치와 냉각수 공급 장치는 (주)유도가 제작한 시스템을 대상으로 하였다. 금형은 사출성형기의 형체에 고정하는 고정측 금형과 형체에서 이동하는 이동측 금형으로 구성되고 이동측 금형에 코어가 있고, 금형이 맞물리면 고정측 금형과 이동측 금형 사이에 공간이 생기는데 이 공간을 캐비티라 하며 용융된 재료가 이 공간에 채워지면 사출품이 만들어진다. 금형은 캐비티를 다수 개로 만들 수 있는데 본 논문은 캐비티가 2개인 CRASH PAD의 조립 부품용 금형을 대상으로 하며 금형은 [그림 2-3]와 같다.

6) 류민영 사출성형의 원리와 응용 P.8, 40, 41.

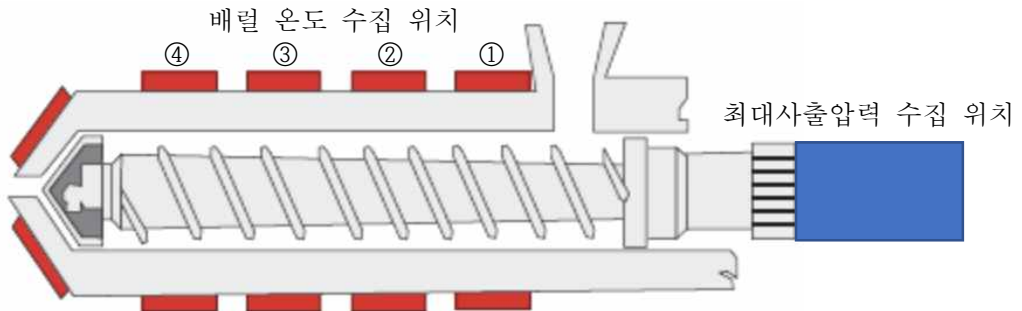
[그림 2-3] CRASH PAD용 조립 부품 금형



제 3 장 연구 방법

데이터 수집은 스마트 팩토리 구축 과정에서 설치하고 운영하는 장비를 최대한 활용하였다. 사출성형기 작업표준의 최대사출 압력은 1,220MPa이고 설정 압력은 사출성형기 가동 전에 설정하기 때문에 가동할 때마다 조금씩 다르다. 최대사출 압력은 금형 캐비티로 재료를 주입하는 최대압력이다. 배럴 구간별 작업표준의 표준온도는 재료를 공급하면서 열을 가하는 온도1(①275℃), 재료를 용융하기 위해 가하는 온도2(②280℃), 재료의 유동성을 높이기 위해 열을 가하는 온도3(③285℃), 사출 직전까지 유동성을 유지하기 위해 열을 가하는 온도4(④285℃)로 네 구간으로 나눈다. 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도를 수집하는 위치는 [그림 3-1]과 같다⁸⁾.

[그림 3-1] 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 수집 위치



사출품을 성형하는 과정에서 발생하는 실제 최대사출 압력과 배럴 온도는 LS Mtron 사출성형기의 모드버스 통신으로 제공하는 데이터다. 모드버스 TCP(Transmission Control Protocol) 프레임은 모드버스 어플리케이션 헤더(트랜잭션 아이디, 프로토콜 아이디, 길이, 유니트 아이디), 기능코드, 데이터로 구성되어 있다. 모드버스 어플리케이션 헤더의 트랜잭션 아이디는 모드버스 TCP의 요청과 응답을 한 쌍의 작업으로 구분하기 위한 번호로 마스터에서 설정되며, 프로토콜 아이디는 모드버스 프로토콜로 “0”이고, 길이는 프레임에서 유니트 아이디와 프로토콜 데이터 유니트 길이(2

8) 출처 : LS Mtron 사출기 통신자료

바이트)이다. 기능코드는 모드버스에서 지원하는 함수 구분자(1 바이트)고, 데이터는 함수 코드에 따른 데이터의 가변길이(252 바이트)이다. 이와 같은 모드버스 통신 프로토콜에 따라 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도를 수집하는 방법은 [그림 3-2]와 같다.⁹⁾

[그림 3-2] 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 수집 방법



금형에서 이형된 사출품은 취출 직교 로봇이 컨베이어로 옮기고 회전하는 컨베이어 벨트 속도에 의해 자연 냉각된다(바로 취출한 사출품은 뜨거워 손으로 잡기 어려움). 작업대에 도착한 사출품은 런너를 제거한 후 전자저울(AND CB-1200 $\pm$ 1g)로 중량을 계량하였다[그림 3-3]. CRASH PAD 조립용 부품의 작업표준 중량은 109.3 $\pm$ 2g이다.

[그림 3-3] 사출품 중량 계량 및 데이터 수집 방법



사출품 중량과 사출성형기 가동 데이터(최대사출 압력, 구간별 배럴 온도)를 1:1로 매칭 해야 하는데, [그림3-4]에서 보는 바와 같이 계량하고 있는 사출품과 사출되고 있는 사출품과 270초(2캐비티 X 5=10개) 시차가

9) 출처 : LS Mtron 사출기 통신자료

난다. 따라서 계량하고 있는 사출품의 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 데이터는 현재 사출성형되고 있는 사출품의 실제 데이터보다 10번째 앞 데이터이며 이 데이터와 매칭하면 된다.

[그림 3-4] 사출품 중량과 사출성형기 가동 데이터 1:1 매칭



사출최대 압력과 구간별 배럴 온도 데이터 27,168건을 수집하여 CRASH PAD용 조립부품의 중량 데이터와 매칭하였다.

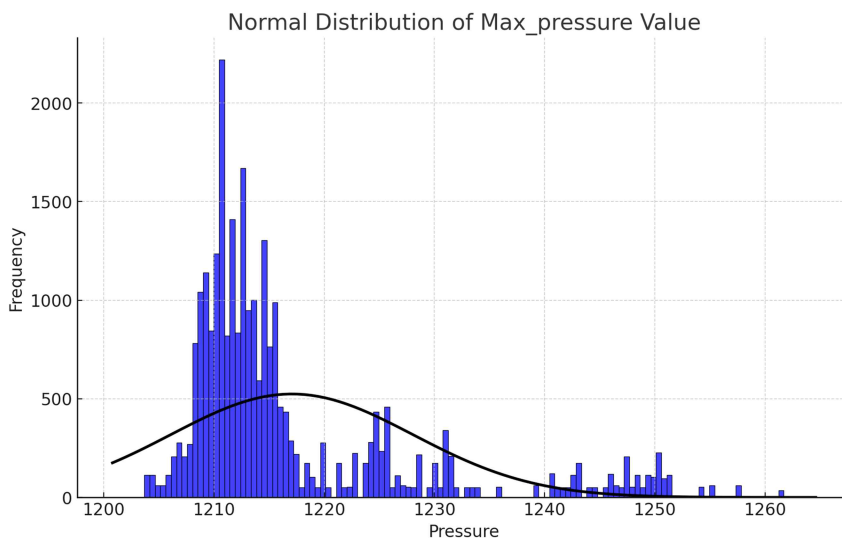
제 4 장 연구 결과

제 1 절 수집 데이터 분석

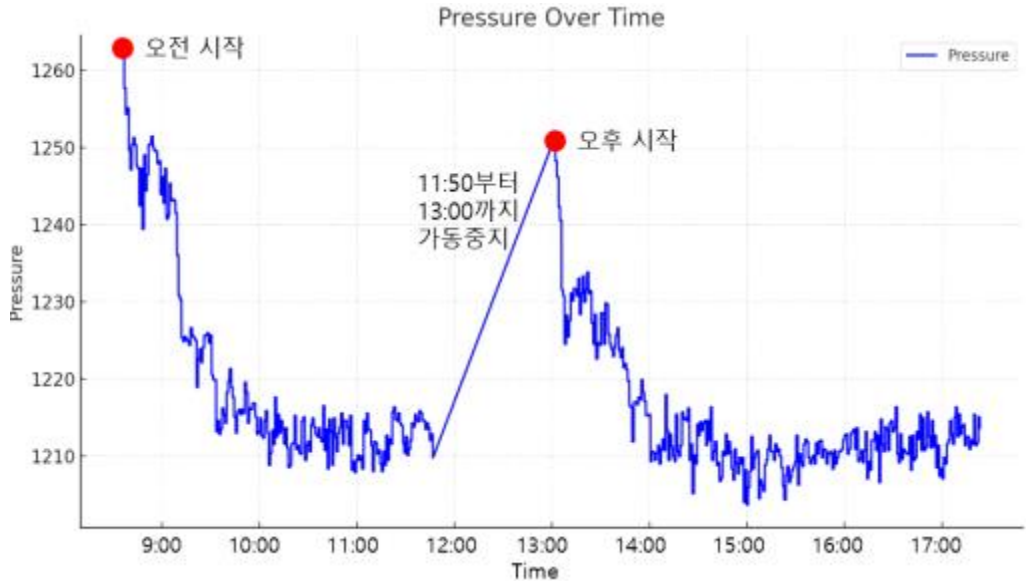
(1) 최대사출 압력

수집한 데이터 27,000여 건의 최대사출 압력 평균은 1217.07이고 표준편차 10.99이다. 최대사출 압력 정규분포는 [그림 4-1]과 같았고 대체로 평균값을 중심으로 압력이 집중되어 있어 작업표준 최대사출 압력에 가깝게 잘 관리되고 있다. 다만 왜도가 1.882로 오른쪽으로 꼬리가 긴데, 이는 사출성형기 가동을 시작했을 때 1261에서 시작하여 샷 카운터가 증가 함께 조금씩 내려가서 1시간 전후로 최대사출 압력의 평균인 1217 전후로 성형된다. 이러한 현상은 11시 50분에 성형 작업을 멈추고 13시에 다시 성형 작업을 시작했을 때도 1250에서 시작하여 점점 내려와 1시간을 전후로 평균압력을 중심으로 나타나고 있다([그림 4-2]).

[그림 4-1] 최대사출 압력 정규분포



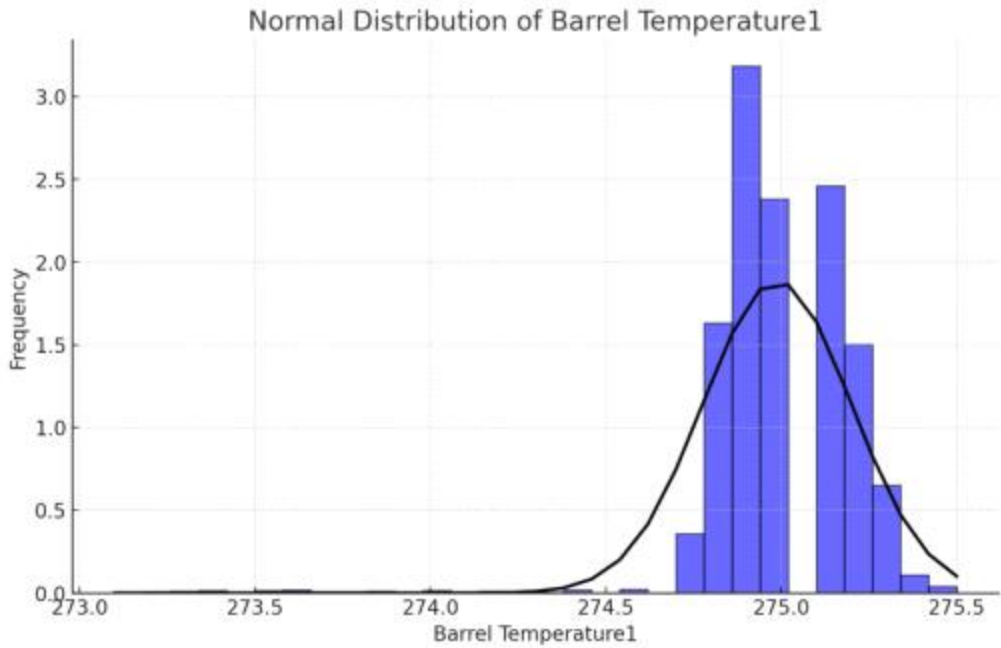
[그림 4-2] 최대사출 압력 시계열



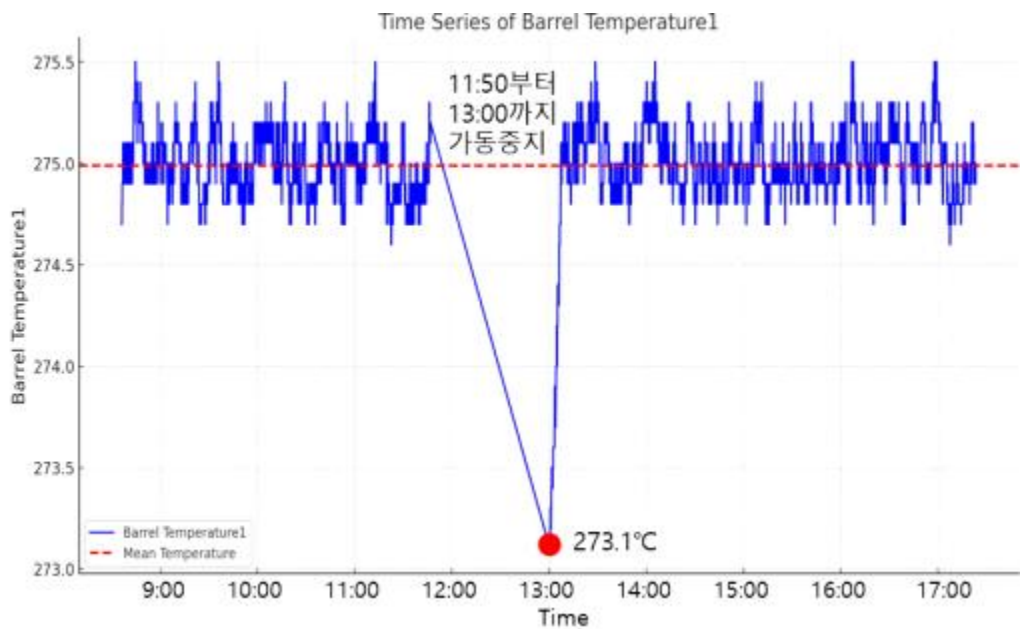
(2) 구간별 배럴 온도

수집한 27,000여 건의 구간별 배럴 온도를 분석하였다. 먼저 재료 공급장치인 호퍼에서 배럴로 재료가 이동하는 구간인 배럴 온도1의 평균온도는 274.99°C이고 표준편차는 0.21로 확인되었다. [그림 4-3]의 배럴 온도1의 정규분포는 수집한 온도가 작업표준 온도인 275°C 중심으로 집중되어 있는데 이는 배럴 온도1이 잘 관리되고 있음을 증명하고 있다. 왜도가 -2.83으로 정규분포 곡선이 왼쪽으로 길게 뻗어 있으며 가장 낮은 온도가 273.1°C로 점심 식사 시간이 막 지난 13시 31초에 관측되었다([그림 4-4]). 이 때 최대사출 압력은 1250.6으로 작업표준보다 40.6(평균 보다 33.53 높음)이 높는데 점심 식사 시간이 지나고 사출성형 작업을 막 시작한 시각이라 높게 나왔고, 중량1은 109.6으로 작업표준 중량보다 1이 높게 관측되었고 중량2는 109.4로 작업표준 내에 있음을 확인하였다. 그런데 배럴 온도1이 표준편차 하한인 274.78°C보다 1.88°C가 낮고 평균 온도보다 1.89°C가 낮은 273.1°C인 최저온도가 관측된 원인은 찾지 못 했다.

[그림 4-3] 배럴 온도1 정규분포

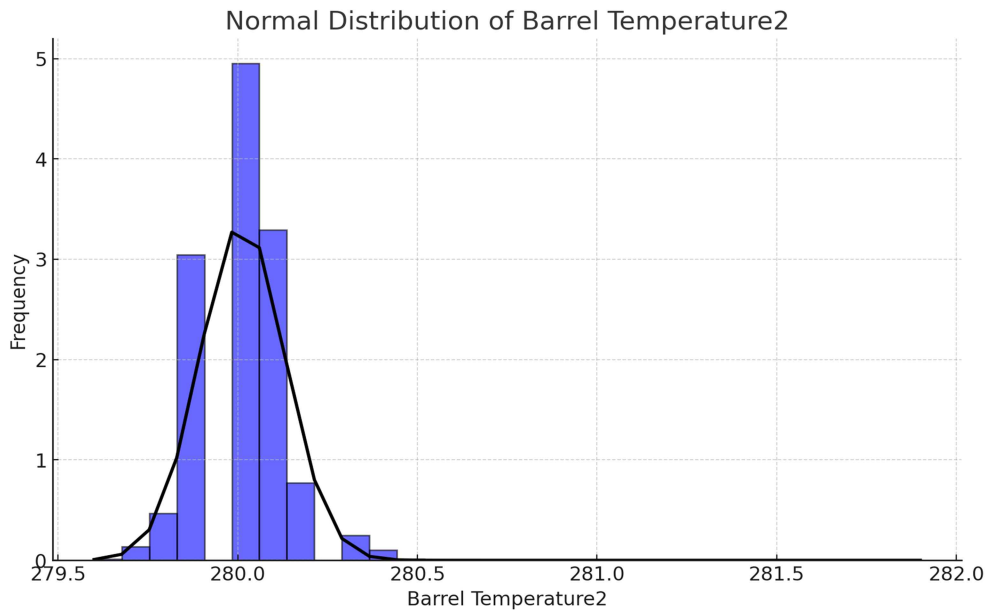


[그림 4-4] 배럴 온도1 시계열

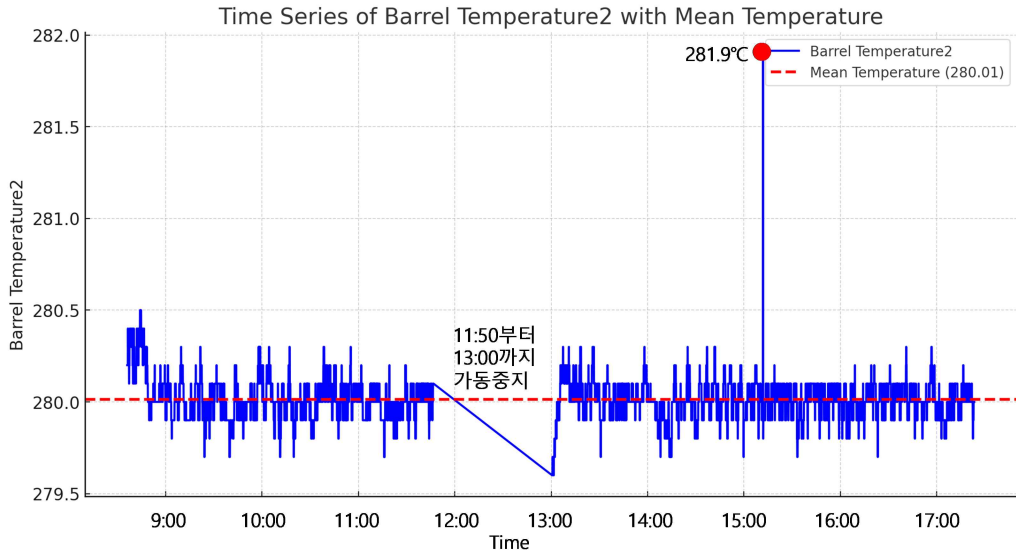


재료 용융 구간인 배럴 온도2를 분석한 결과 평균온도가 280.01°C고 표준편차가 0.12로 작업표준 온도인 280°C에 가깝게 아주 잘 관리되고 있음을 정규분포([그림 4-5])로 알 수 있다. 왜도가 1.64로 오른쪽으로 길게 뻗어 있는데 15시 11분 43초에 관측된 온도가 281.9°C([그림 4-6])로 표준편차 상한인 280.13°C보다 1.77°C가 높은 최고 온도가 그 이유인데 원인을 확인하지 못했다. 최고 온도가 관측된 시각의 사출압력은 1208.82로 표준편차 안에 있었고, 중량1은 109.3이고 중량2는 109.1로 작업표준 안에 있어 이 온도가 중량에 영향을 미치지 않았음을 확인하였다.

[그림 4-5] 배럴 온도2 정규분포

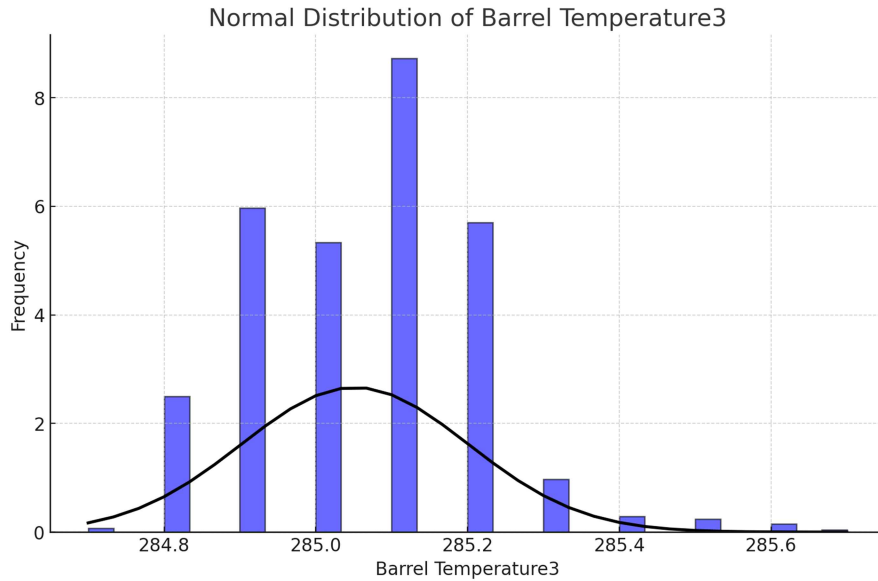


[그림 4-6] 배럴 온도2 시계열

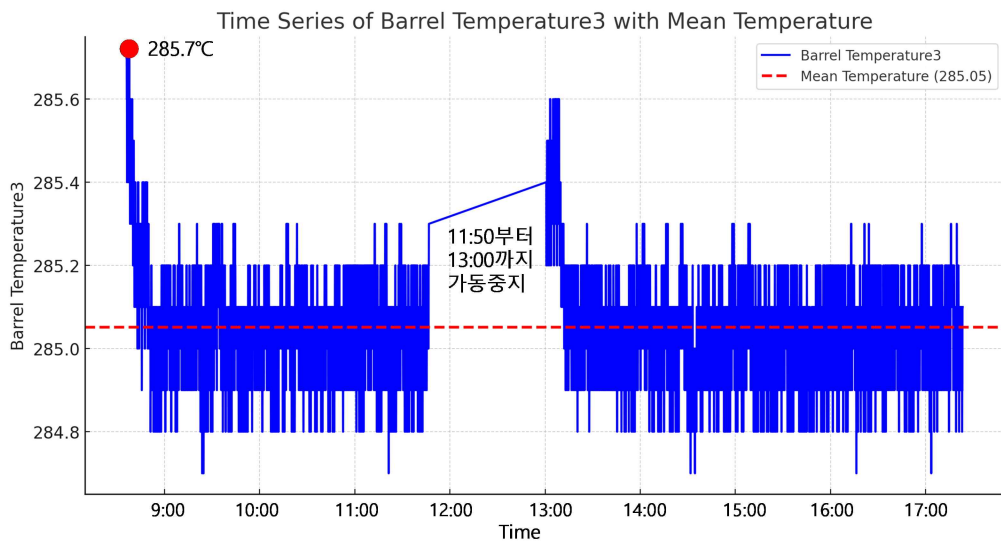


재료의 점도를 낮추어 유동성을 좋게 하기 위한 구간인 배럴 온도3은 평균온도가 285.05℃이고 표준편차는 0.15며 왜도는 0.41이다. 정규분포는 [그림 4-7]과 같고 작업표준 온도 중심으로 분포되어 있어 잘 관리되고 있음을 알 수 있다. [그림 4-8]은 온도 변화 시계열인데 08시 43분과 13시에 다소 높게 나타났는데 사출성형 작업 시작으로 사출압력과 중량도 높게 관측되고 있어 일관된 현상으로 볼 수 있다. 정규분포 곡선이 오른쪽으로 꼬리가 긴 것은 08시 43분에 작업을 시작할 때 285.7℃가 관측되었기 때문이다.

[그림 4-7] 배럴 온도3 정규분포



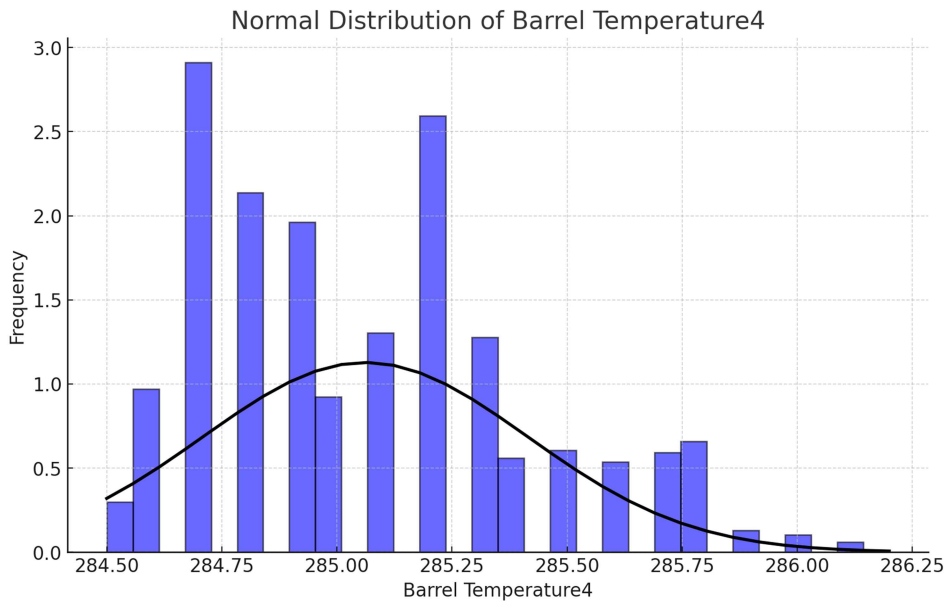
[그림 4-8] 배럴 온도3 시계열



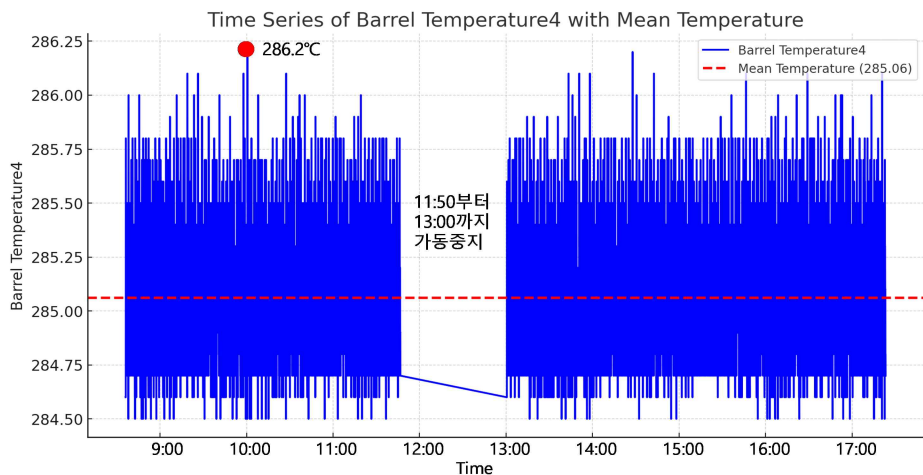
사출 직전에 점도를 유지하여 유동성을 확보하기 위한 온도인 배럴 온도 4는 평균온도 285.06°C, 표준편차 0.35, 왜도 0.66으로 분석되었다. 관측 온도가 작업표준 온도 285°C 중심으로 분포하고 있는 것을 정규분포([그림 4-9])에서 확인할 수 있으며 왜도 0.66 때문에 정규분포 곡선이 오른쪽으

로 길게 뻗어 있는데 그 이유는 시계열 그래프([그림 4-10])에서 확인되는 바와 같이 286℃를 넘어가는 온도와 최고 온도인 286.2℃가 관측되었기 때문이다. 그러나 이 온도는 관리 범위를 크게 벗어 나지 않는다.

[그림 4-9] 배럴 온도4 정규분포



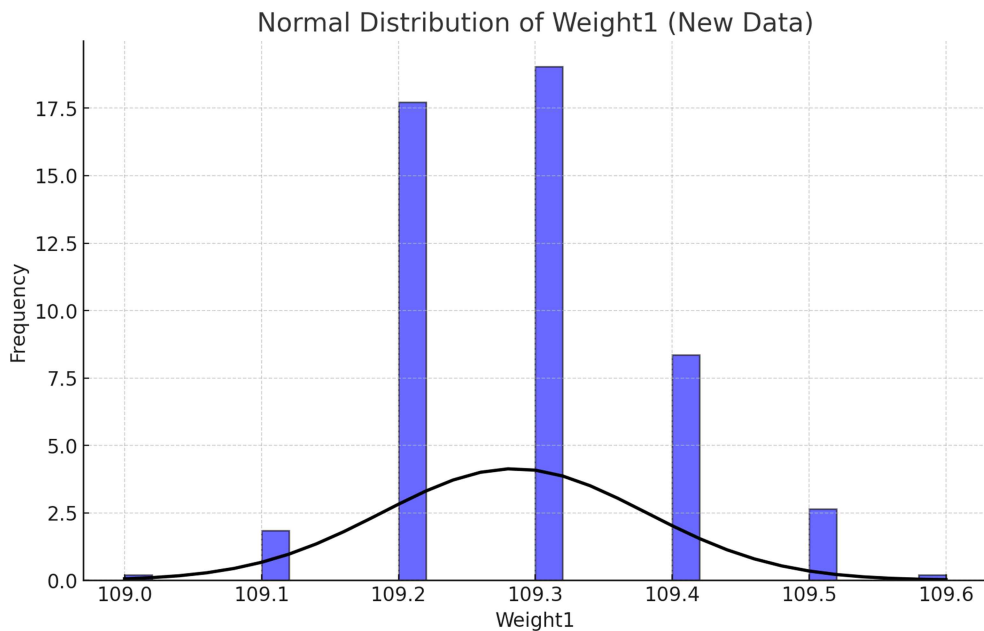
[그림 4-10] 배럴 온도4 시계열



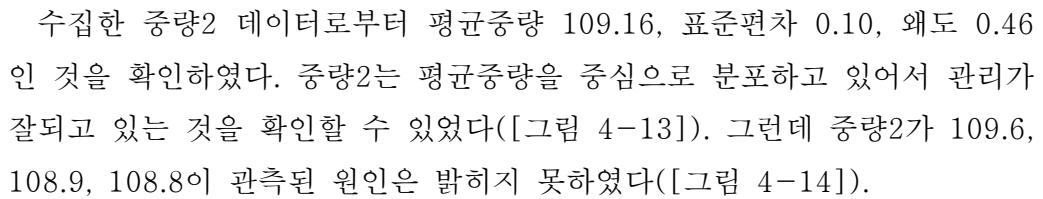
(3) 중량

중량1(Weight1, Cavity1)과 중량2(Weight2, Cavity2)는 런너를 제거하고 전자저울로 직접 계량한 후 샷 카운터에 맞추어 1:1로 대응하였다. 중량1 데이터 496개를 분석하여 평균중량 109.28, 표준편차 0.10, 왜도 0.42를 얻었다. 정규분포([그림 4-11])를 보면 평균중량을 중심으로 데이터가 집중되어 있어 관리가 잘되고 있음을 알 수 있다. 그런데 08시 43분에 중량 109.6이 관측된 것은 사출성형 작업이 시작될 때 사출압력이 1261로 평균 압력보다 43.93이 높은 것이 원인 중의 하나며, 점심 식사 시간이 지나고 다시 사출성형 작업을 시작했을 때도 중량 109.6이 관측되었는데 사출압력이 높은 것이 원인 중의 하나다([그림 4-12]). 중량1이 109.0인 경우가 2번 관측되었으며 이 때 사출압력은 1208.50와 1212.51이었고, 배럴 온도는 285.1과 285.2였는데 이 두 가지 변수로 중량1 109.0이 관측된 원인을 설명할 수 없다.

[그림 4-11] 중량1 정규분포



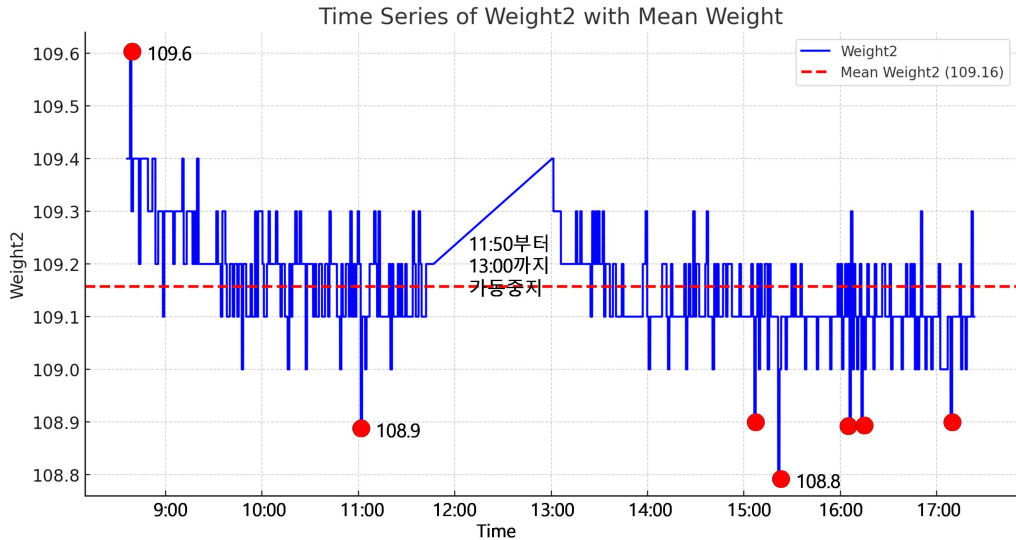
Time Series of Weight1 with Mean Weight



Normal Distribution of Weight2 (New Data)



[그림 4-14] 중량2 시계열

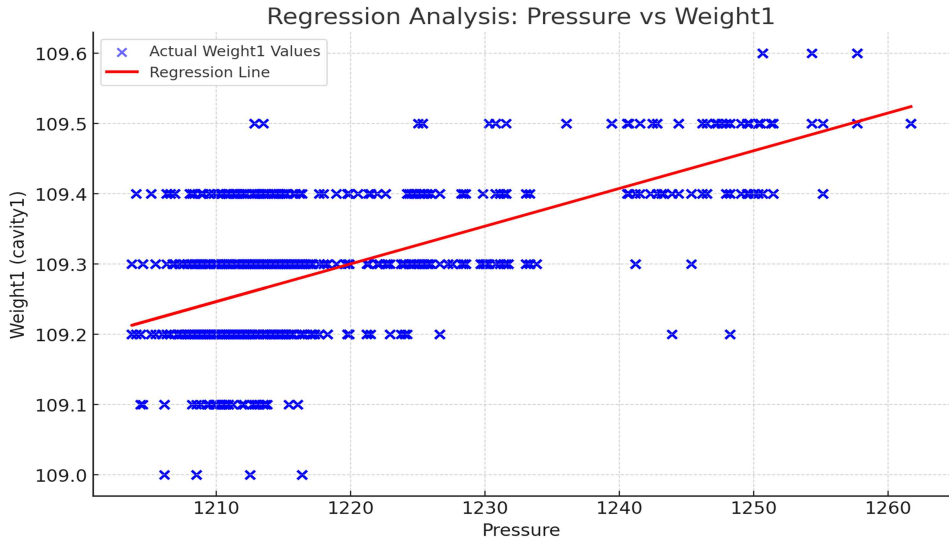


수집한 중량1과 중량2의 데이터를 확인해 보면 중량1이 중량2보다 평균 0.12가 더 높은 것을 알 수 있고, 중량1은 작업표준 중량을 벗어나는 중량이 2건, 중량2는 1건 더 관측되었고 작업표준 중량보다 낮은 중량은 중량1이 2건, 중량2가 6건 확인되었다.

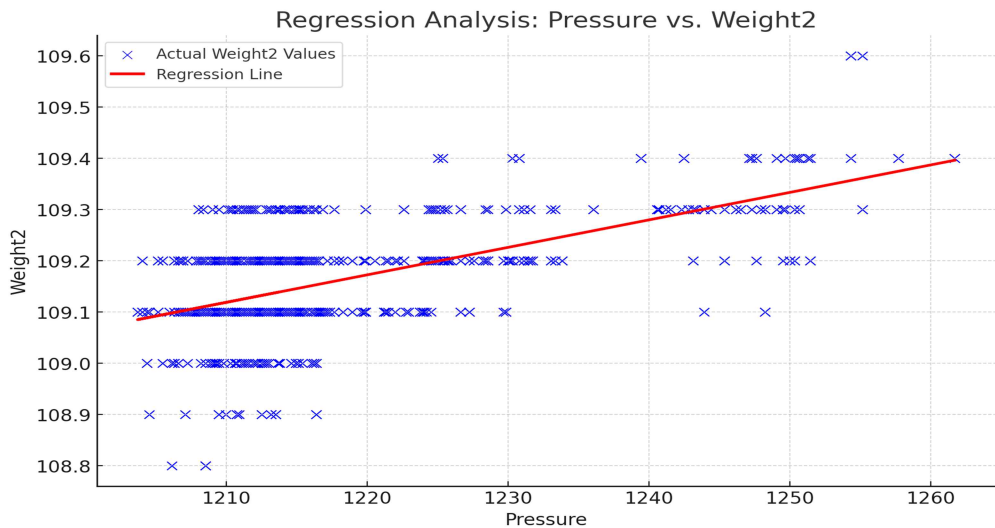
(4) 관계 분석

최대사출 압력과 중량1의 회귀 분석으로 절편 102.75, 기울기 0.0054, 결정계수 0.378이고 신뢰도 0.00인 것을 확인하고 최대사출 압력이 증가하면 중량1도 증가하는 양의 관계에 있다([그림 4-15]). 그러나 사출압력 1이 증가할 때 사출품 중량1은 0.0054가 증가하여 그 영향도 37.8%에 불과하다. 최대사출 압력과 중량2의 회귀 분석으로 절편 102.63, 기울기 0.0054, 결정계수 0.369이고 신뢰도 0.00인 것을 확인하고 최대사출 압력이 증가하면 중량2도 증가하는 양의 관계가 있다[그림 4-16]). 최대사출 압력이 증가하면 중량도 증가하지만 그 관계는 37%대로 약했다.

[그림 4-15] 최대사출 압력과 중량1의 관계



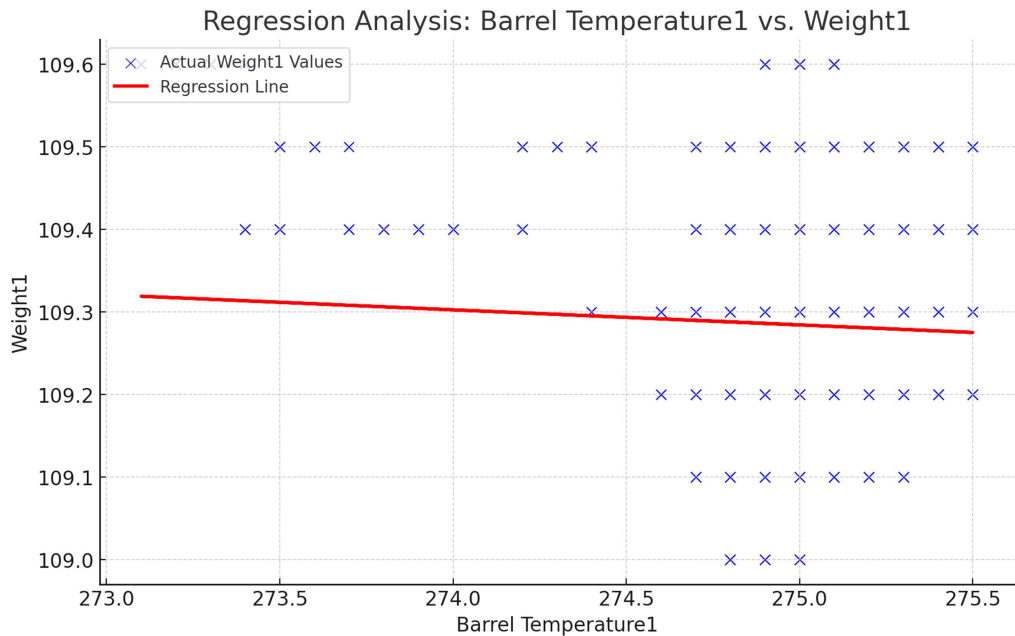
[그림 4-16] 최대사출 압력과 중량2의 관계



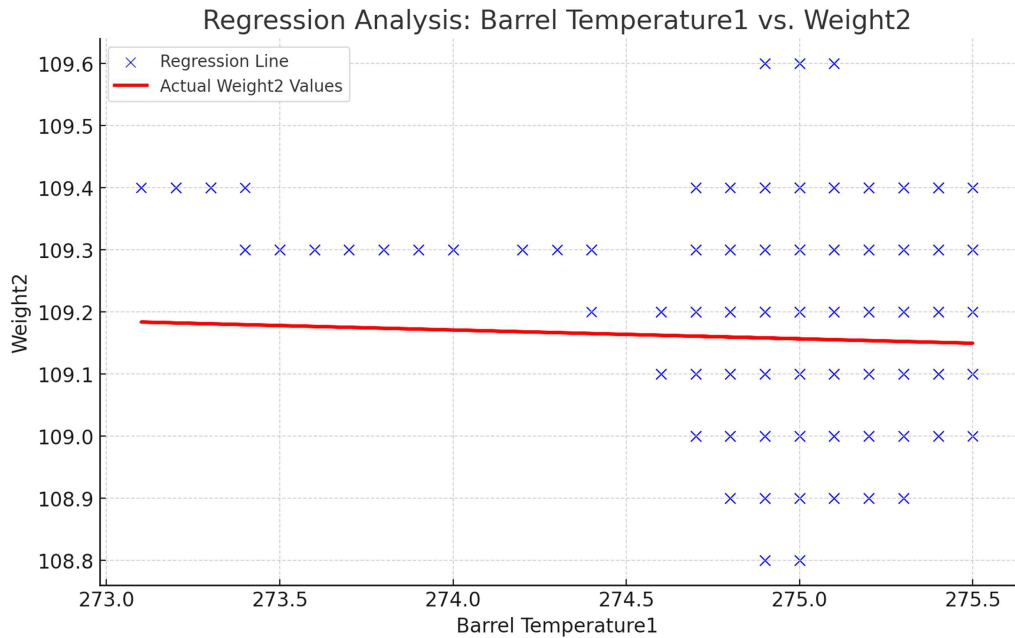
배럴 온도1과 중량1의 관계의 회귀 분석으로 신뢰도가 0.00으로 신뢰할 수 있는 값이 나왔으나 절편이 114.31, 기울기는 -0.018, 결정계수는 0.0016로 상관관계가 매우 약하여 배럴 온도1의 변화가 중량1에 미치는 영향은 아주 낮은 음의 관계로 나타났다([그림 4-17]). 즉 배럴 온도1이 1℃ 증가할 때 중량1은 -0.0016g 증가로 0.1%의 미미한 영향을 받는다. 배럴

온도1과 중량2의 관계를 회귀 분석한 결과 신뢰도가 0.00으로 신뢰할 수 있으나 절편이 113.07이고 기울기는 -0.014이며 결정계수는 0.001로 상관관계가 매우 약하여 배럴 온도1이 1℃ 증가할 때 중량2는 -0.014g 증가하는 아주 낮은 음의 관계로 나타났다. 중량2는 배럴 온도1에 의해 1%의 영향을 받고 99%는 다른 요인에 의해 변한다고 볼 수 있다([그림 4-18]).

[그림 4-17] 배럴 온도1과 중량1의 관계

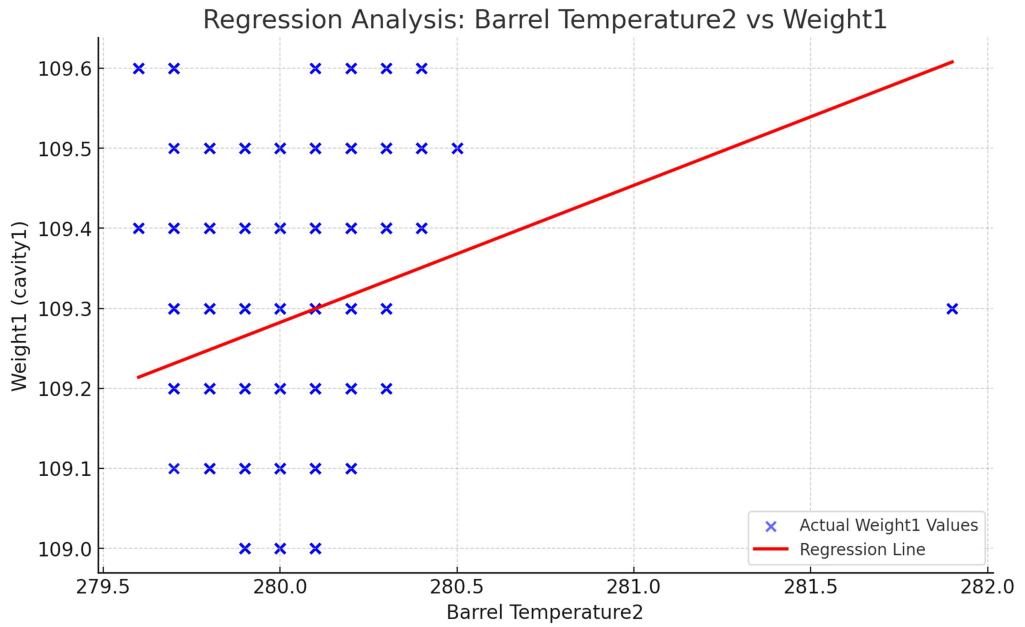


[그림 4-18] 배럴 온도1과 중량2의 관계

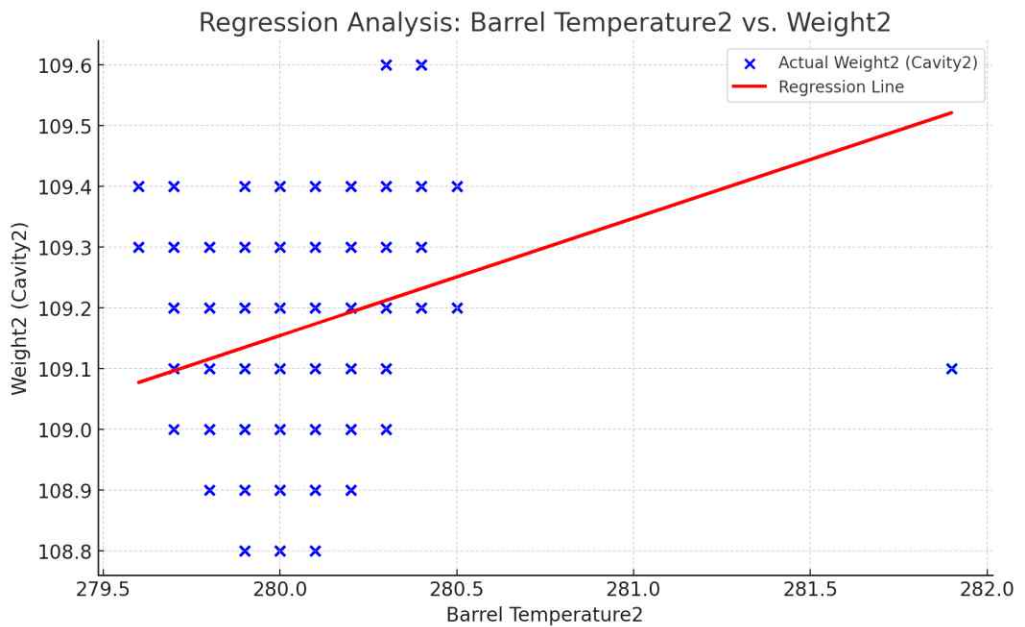


배럴 온도2와 중량1의 관계를 회귀 분석하였는데 신뢰도가 0.00으로 신뢰할 수 있는 값이지만 절편이 61.33, 기울기는 0.171, 결정계수는 0.045로 상관관계가 약하여 배럴 온도2의 변화가 중량1에 미치는 영향은 낮은 양의 관계로 배럴 온도2가 1℃ 증가할 때 중량1은 0.17g 증가하여 4.5%의 영향을 받고 있고 94.5%는 다른 요인에 의해 변한다고 볼 수 있다([그림 4-19]). 배럴 온도2와 중량2의 관계를 회귀 분석하였는데 신뢰도가 0.00으로 신뢰할 수 있는 값이지만 절편이 55.08, 기울기는 0.193, 결정계수는 0.055로 상관관계가 매우 약하여 배럴 온도2의 변화가 중량2에 미치는 영향은 낮은 양의 관계로 나타났다. 즉 중량2는 배럴 온도2가 1℃ 올라가면 0.19g이 증가하여 5.5%의 영향을 받고 94.5%는 다른 요인에 의해 변한다고 볼 수 있다.([그림 4-20])

[그림 4-19] 배럴 온도2와 중량1의 관계

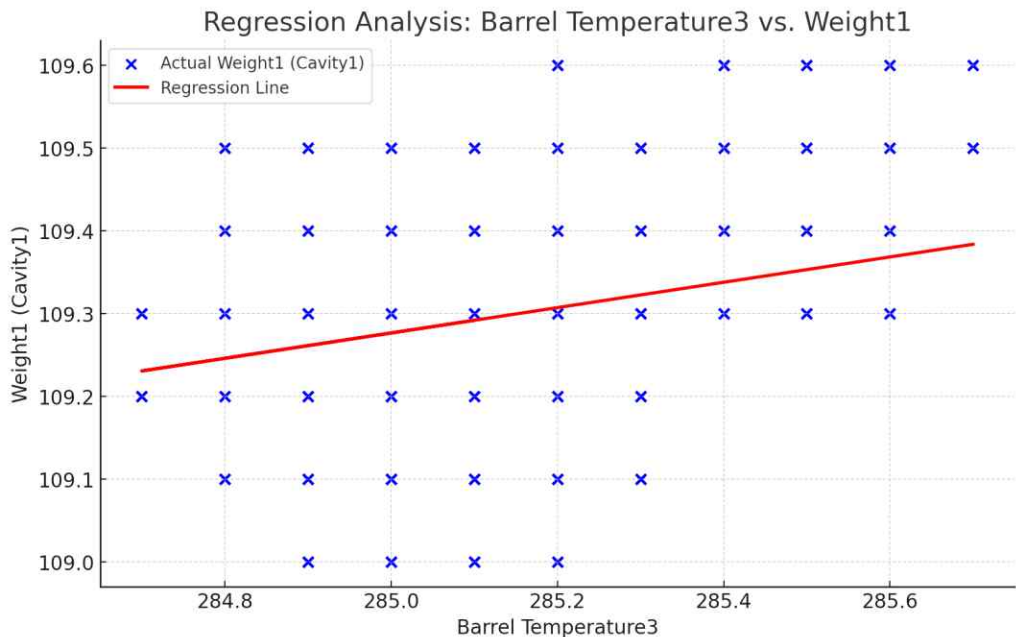


[그림 4-20] 배럴 온도2와 중량2의 관계

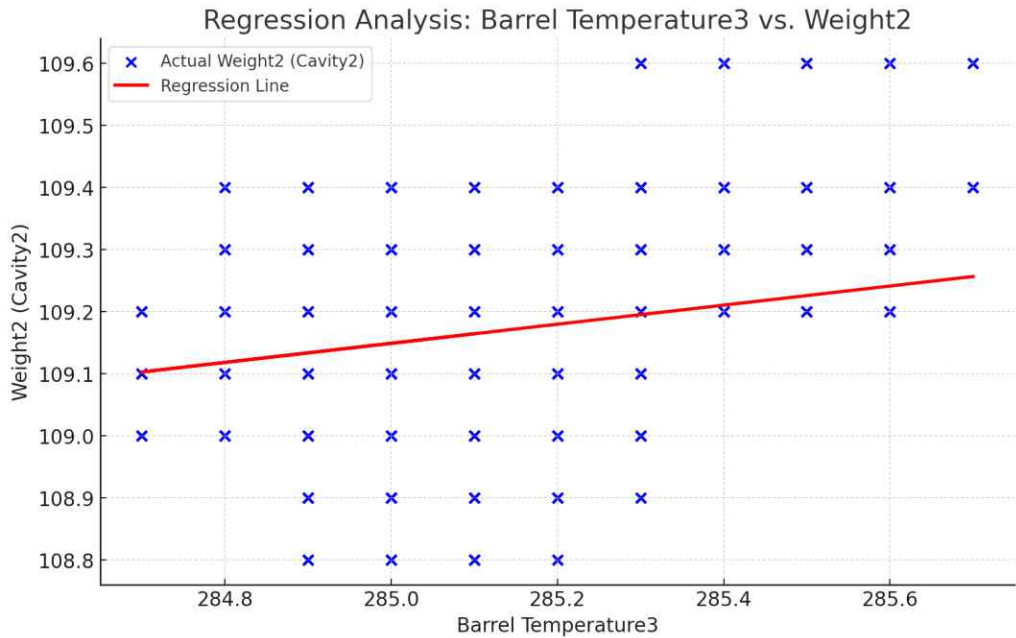


배럴 온도3과 중량1의 관계는 기울기가 0.153, 절편이 65.65, 결정계수가 0.057이고 신뢰도가 0.00으로 신뢰할 수 있으며, 배럴 온도3이 1℃ 증가할 때 중량1이 0.153g이 증가하는 양의 관계나 영향이 5.7%에 불과해 나머지 94.3%는 배럴 온도3이 아닌 다른 요인에 기인한다([그림 4-21]). 배럴 온도3과 중량2의 관계는 절편이 65.32, 기울기가 0.154, 결정계수가 0.056이고 신뢰도가 0.00으로 신뢰할 수 있으나, 배럴 온도3이 1℃ 증가할 때 중량2가 0.153g이 증가하는 양의 관계며 영향이 5.6%에 불과해 나머지 94.4%는 배럴 온도3이 아닌 다른 요인이 영향을 미친다([그림 4-22]).

[그림 4-21] 배럴 온도3과 중량1의 관계

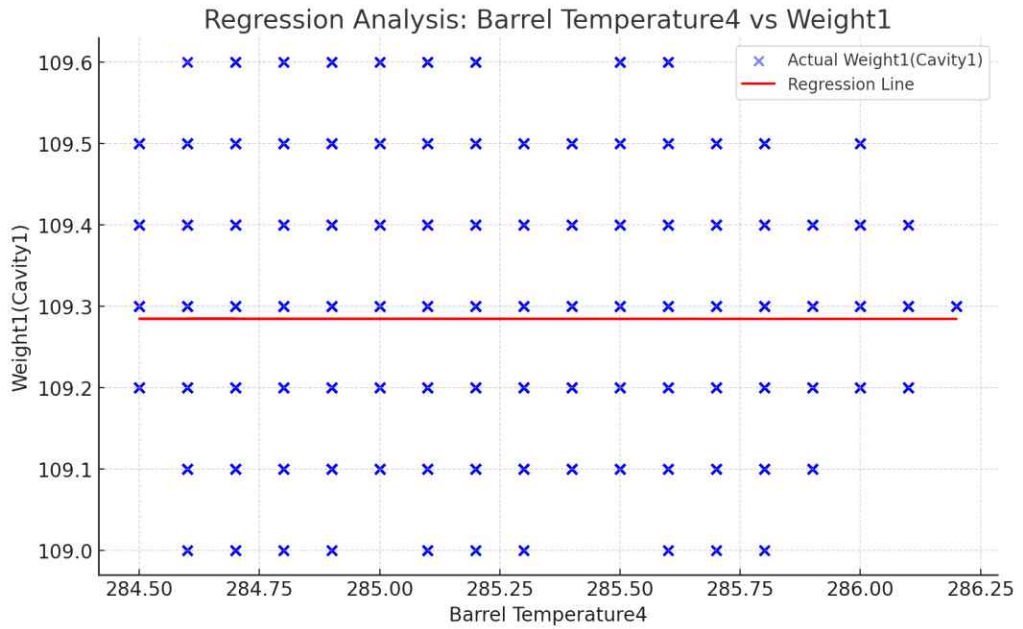


[그림 4-22] 배럴 온도3과 중량2의 관계

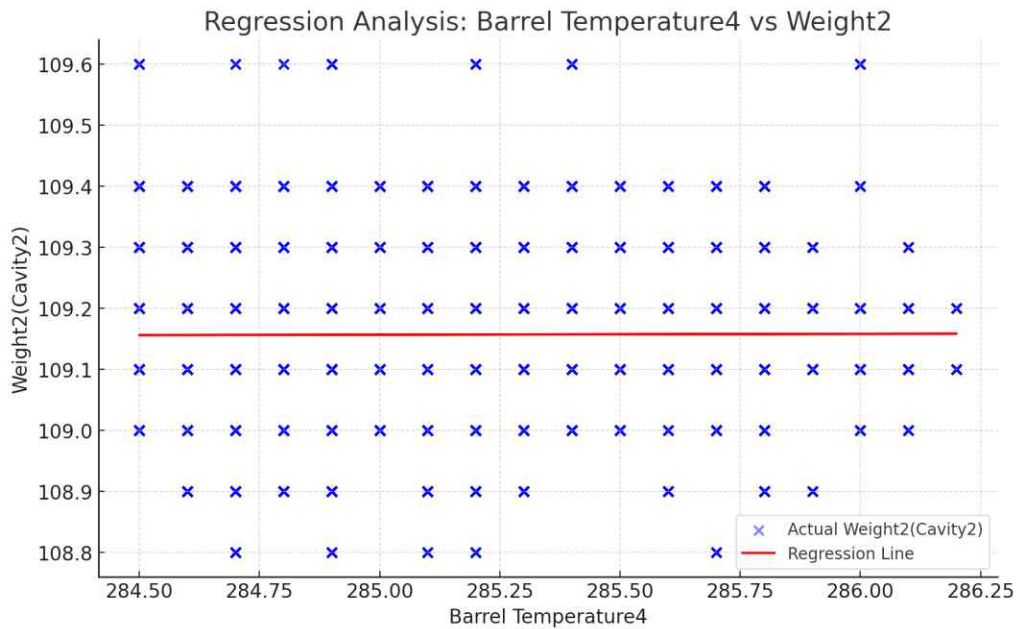


배럴 온도4와 중량1과의 관계를 회귀 분석한 결과 절편이 109.31, 기울기는 $-8.302e-05$, 결정계수가 0.00이며 신뢰도가 0.96로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 다만 배럴 온도4가 올라가면 중량1이 매우 적게 감소하는 경향이 있는 것으로 나타난다([그림 4-23]). 배럴 온도4와 중량2와의 관계를 회귀 분석한 결과 절편이 108.78, 기울기는 0.0013, 결정계수가 0.00이며 신뢰도가 0.42로 상관관계가 없는 것으로 나타났다([그림 4-24]).

[그림 4-23] 배럴 온도4와 중량1과 관계



[그림 4-24] 배럴 온도4와 중량2과 관계



제 2 절 고찰

수집한 데이터 분석 결과를 요약하면 최대사출 압력의 평균은 1217MPa로 작업표준 최대사출 압력인 1220MPa보다 3MPa 낮으며 표준편차가 10.99로 비교적 안정적으로 관리 되고 있었다. 배럴 온도1의 작업표준 온도는 275℃인데 수집한 온도는 평균이 274.98℃이고 표준편차가 0.21로 안정적으로 나왔다. 배럴 온도2의 작업표준 온도는 280℃인데 수집한 온도는 평균은 280.01℃이고 표준편차는 0.11로 안정적이었다. 배럴 온도3의 작업표준 온도는 285℃인데 수집한 온도의 평균이 285.05℃이고 표준편차는 0.14로 안정적이었다. 배럴 온도4의 작업표준 온도는 285℃인데 평균이 285.06℃이고 표준편차가 0.35로 안정적으로 나타났다. 특이한 점은 배럴 온도1에서 표준편차 하한값인 274.77℃ 보다 1.67℃가 낮은 273.1℃와 배럴 온도2에서 표준편차 상한값인 280.12℃보다 1.78℃ 높은 281.9℃가 각각 1회씩 나타났다. 중량은 작업표준이 109.3 ± 2 g인데 중량1의 평균이 109.28g이고 표준편차가 0.09, 중량2의 평균이 109.15g이고 표준편차가 0.09로 안정적이었으나 중량1에서 작업 표준을 벗어난 109.6g이 3회, 중량2에서 2회 수집되었고 중량2에서 108.9g이 6회 수집되었다. 내용을 정리하면 [표 4-1]과 같다.

[표 4-1] 수집 데이터 분석 결과 요약

구분	최대사출압력(MPa)	배럴 온도(℃)				중량(g)	
		1	2	3	4	1	2
작업표준	1220	275	280	285	285	109.3 ± 2	
평균	1217.06	274.98	280.01	285.05	285.06	109.28	109.15
분산	120.84	0.04	0.01	0.02	0.12	0.01	0.09
표준편차	10.99	0.21	0.11	0.14	0.35	0.09	0.09
특이값	1250	273.1	281.9			109.6	108.9

최대사출 압력과 중량 그리고 구간별 배럴 온도와 중량을 회귀 분석하였다. 최대사출 압력과 중량1은 압력이 1MPa 증가할 때 중량1은 0.0054g 증

가하는 양의 관계이며 37.8% 영향을 받는 것으로 나타나 낮은 상관관계이며, 최대사출 압력과 중량2는 압력이 1MPa 증가할 때 중량2가 0.0054g 증가하는 양의 관계이며 결정계수가 0.369로 63.1%는 다른 요인에 영향을 받는 것으로 나타나 최대사출 압력과 중량2는 약한 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

배럴 온도1과 중량은 음의 상관관계로 배럴 온도1이 증가하면 중량은 감소하며, 중량1과 중량2의 변동성은 -0.1%로 미미하다. 배럴 온도2와 중량은 배럴 온도2가 증가하면 중량1은 0.45%, 중량2는 0.55% 증가하는 것으로 나타났다. 배럴 온도3과 중량과 관계는 배럴 온도3이 증가하면 중량도 증가하는 양의 관계에 있는데 중량1은 0.57%, 중량2는 0.56%로 미미한 변화가 나타났다. 배럴 온도4와 중량과의 관계는 결정계수가 0.000으로 관계가 없는 것으로 나타났다.

작업표준 중량을 상한치로 벗어난 109.6g일 때 최대사출 압력은 1250 이상으로 사출압력 평균보다 32.94 높았고, 하한치로 벗어난 108.9g일 때 최대사출 압력은 1209.46으로 사출압력 평균보다 7.6이 낮았다. 따라서 사출품 중량 편차를 최소화하기 위해 사출압력 관리가 필요하다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 통계분석을 통해 ABS/PC를 재료로 사출한 CRASH PAD용 부품의 중량과 제조 공정 조건인 최대사출 압력과 구간별 배럴 온도 간의 관계를 연구하였다.

- 1) 최대사출 압력이 변하면 중량이 변화는 양의 관계이며 중량1의 결정계수는 0.378이고 중량2의 결정계수는 0.369로 중량은 최대사출 압력 변화에 37~8%의 영향을 받는다.
- 2) 구간별 배럴 온도와 중량은 상관관계는 미미하다.
- 3) 작업표준 중량을 벗어난 사출품 성형을 막기 위해 최대사출 압력 관리가 필요하다.

1. 국내문헌

- 강태호(2024년) - 다변량 다항 데이터 분석에 의한 사출 공정 변수 최적화 방법론 - 국내학위논문 - 인하대학교 (39)
- 권은숙(2008년) - 인터널기어 성형시 균형충전이 가능한 HR3P형 사출금형 및 성형공정의 최적화 - 국내학위논문 - 부경대학교(51, 74, 92, 103)
- 김강곤(2021년) - ABS 사출성형품의 치수안정성 개선을 위한 사출금형 CAE 해석 - 국내학위논문 - 동아대학교 (39)
- 김동한(2017년) - 사출성형기 모니터링 data를 이용한 용융수지의 체적유량 판단과 충전과정 제어 연구 - 국내학위논문 - 아주대학교 (34)
- 김민수(20218년) - 가소화 조건에 따른 배럴 내부 공기 포집의 가시화와 노즐압 측정을 통한 분석 - 국내학위논문 - 아주대학교 (22~31)
- 김종수(2006년) - 사출품 품질 예측을 위한 실시간 모니터링 시스템 개발 - 국내학위논문 - 울산대학교 (24)
- 김태훈(2007년) - 사출성형공정의 미세패턴 전사성에 관한 연구 - 국내학위논문 - 충남대학교 (15, 16, 23, 24, 25)
- 김현수(2012년) - 사출 금형의 병렬 냉각 채널 설계에 관한 연구 - 국내학위논문 - 전남대학교 (5)
- 김훈모(2003) - 충전 후 사출 성형품의 온도와 압력 분포의 최적화 - 국내학술논문 - 제어.자동화.시스템공학회 (770, 771, 772)
- 박기윤(2010년) - 충전 후 사출 성형품의 온도와 압력 분포의 최적화 - 국내학위논문 - 금오공과대학교 (6)
- 박정호(2008년) - 재활용 열가소성 수지를 사용하는 사출 성형품의 물성변화에 대한 연구 - 국내학위논문 - 연세대학교 (48)
- 신승돈(2017년) - 플라스틱 폴리의 정밀도 향상을 위한 사출성형 해석 및 공정조건에 관한연구 - 국내학위논문 - 영남대학교 (23)
- 우지에(2018년) - 사출성형의 품질 향상을 위한 다양한 공정조건에 대한 해석적 고찰 - 국내학위논문 - 한남대학교 (16)
- 이승우(2023년) - 중소형 플라스틱 커넥터 사출금형의 분할코어 설계 연구 - 국

내학위논문 - 서울과학기술대학교 (22)

임승현(2010년) - 사출성형 공정에서 캐비티 내 압력 측정 및 CAE해석을 활용한
Long Fiber Thermoplastic(LFT) 점도추정 - 국내학위논문 - 순천향대학
교 (21, 22)

임환웅(2023년) - 폐플라스틱 재활용 소재의 사출 성형 조건에 따른 소형 제품의
치수에 관한 연구 - 국내학위논문 - 서경대학교 (67~74)

정민수 외(2022년) - 플라스틱 시사출 폐기품 최소화를 위한 사출 공정 실테이터
센싱 IoT 시스템 개발 - 한국기계가공학회 논문집 (11)

정의철(2015년) - 사출압축 공정을 이용한 열가소성 탄소섬유강화 플라스틱
(CFRTP) 성형품 제작에 관한 연구 - 국내학위논문 - 단국대학교 (23))

한은수(2021년) - 압력변화에 따른 수지 점도측정을 위한 금형식 슬릿점도계 설
계 - 국내학위논문 - 아주대학교 (39)

홍청민(2020년) - 사출 제품 품질향상을 위한 사출기와 성형조건에 관한 연구 -
국내학위논문 - 한국기술교육대학교 (P 39~96)

2. 국외문헌

JOHN P. BEAUMONT 외 1999 16-Automated vision-based inspection of mould and part quality in soft tooling injection moulding using imaging and deep learning CIRP Annals – Manufacturing Technology (576, 577)

Yang Zhang 외 2022 17-beaumontetal 1999 Mold Filling Imbalances in Injection Molding of Thermally Sensitive Polymers *Journal of REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES* (431, 432)

ABSTRACT

Study the relationship between injection
pressure and barrel temperature to part weight

Jeong, Ha-Moon

Major in Smart Factory Consulting

Dept. of Smart Convergence Consulting

Graduate School of Knowledge &
Service Consulting

Hansung University

When molding plastic automotive parts by injection molding process, the weight of the injection part depends on the dryness of the input material, the operating conditions of the injection molding machine (barrel temperature, injection pressure and time in intervals, holding pressure and time), and the coolant temperature.

In this paper, we collected more than 27,000 data of injection molding machine's maximum injection pressure and barrel temperature and weight of plastic automotive parts produced in the injection molding process of automobile crash pad using ABS/PC material, and checked whether there is a difference between the working standard maximum injection pressure and barrel temperature and the process operation

maximum injection pressure and barrel temperature, and analyzed the relationship between maximum injection pressure and weight of injection parts and the relationship between barrel temperature and weight of injection parts.

The working standard maximum injection pressure and the working standard barrel temperature for each section were different from the actual maximum injection pressure and the actual barrel temperature for each section. The maximum injection pressure and weight were positively correlated, while the barrel temperature and weight were weakly correlated. When the actual weight was observed outside of the working standard weight, the maximum injection pressure fluctuated significantly, and it is expected that the weight deviation can be minimized by managing the upper and lower limits of the maximum injection pressure.

【Key words】Injection molding, Maximum injection pressure, barrel temperature, weight, Cavity