



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

뮤셀공법 적용 전류가열 금형에 의한 자동차  
사출제품의 표면개선에 관한 연구

A Study of Surface Improvement for  
Injection-Molding Automotive Part by Mold of  
Electronic Heating with Mc-cell process

울산대학교 대학원

첨단소재공학과

최 동 혁

# 뮤셀공법 적용 전류가열 금형에 의한 자동차 사출제품의 표면개선에 관한 연구

지도교수 김 대 일

이 논문을 공학박사 학위 논문으로 제출함

2020년 2월

울산대학교 대학원

첨단소재공학과

최 동 혁

최 동 혁의 공학박사학위 논문을 인준함

심사위원

진 정 호 (인)



심사위원

공 영 민 (인)



심사위원

김 대 일 (인)



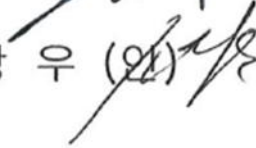
심사위원

황 현 태 (인)



심사위원

소 상 우 (인)



울산대학교 대학원

2020 년 2 월

## 국문요약

세계 인구의 증가속도는 빠르고, 경제활동이 활발해짐에 따라 지구 온난화와 이상기후 등의 환경오염이 문제화 되고 있다. 이로 인해 각 산업 전반에 걸쳐 CO<sub>2</sub> 절감과 에너지 및 자원의 사용절감에 대한 적극적인 활동이 이루어지고 있다. 특히 자동차 산업분야에서는 유럽을 필두로 세계 각지에서 CO<sub>2</sub> 절감의 엄격한 수치 목표를 설정하여 경량화와 연비절감의 연구가 진행되고 있다.

자동차 내장재의 경량화 연구개발은 해외자동차 업체를 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 기술개발이 꾸준히 이루어지고 있다. 공법 개선을 통한 제품 경량기술 개발이 연비개선 효과로 큰 주목을 받고 있다. 최근 들어서 경량화 효과 극대화를 위하여 자동차 내장재 제품에 초임계 유체를 이용한 발포 사출성형 공법 적용이 많이 이루어지고 있으며, 이를 뮤셀공법이라고 한다. 이 공법은 사출성형시 제품의 중앙부에 발포 셀을 형성시켜 경량화하는 방법으로 발포 셀이 제품 표면층으로 드러나면서 제품 표면 품질 문제를 야기 시킨다. 이를 극복하기 위하여 전류가열을 통해 사출금형을 일정 온도까지 올려서 제품의 품질을 높이는 연구가 많이 진행되고 있다.

본 연구에서는 전류가열 온도에 따른 뮤셀공법 적용 성형성을 사출성형해석(Injection Molding Analysis)을 통해 사전 검증하였다. 사출성형해석 결과를 통해 뮤셀공법이 적용된 전류가열 금형을 제작하여 금형 온도 변화에 따라 사출제품의 표면 특성을 분석하였다.

# 목 차

< 국문 요약 >	
< 목 차 >	I
< 표 목 차 >	III
< 그림 목차 >	IV
1. 서론	1
1.1 연구 배경 및 동향	3
1.2 연구 목적 및 내용	9
2. 이론적 배경	13
2.1 전류가열 금형을 이용한 사출성형 특성	15
2.2 초임계 유체를 이용한 사출성형 특성	19
2.3 미세 사출성형 공법에 사용되는 수지 특성	23
2.4 사출성형 공정 및 사출결합 특성	27
3. 전류가열 금형을 이용한 미세 공법 사출성형 특성 연구	33
3.1 서론	35
3.2 해석 방법	36
3.3 유동해석 및 경제조건	41
3.4 해석 결과 및 고찰	49
3.5 시제품 품질특성 평가	72
3.6 시제품 표면특성 평가	77
3.7 결론	85
4. 전류가열 금형 설계 및 미세공법 적용 연구	87
4.1 서론	89
4.2 금형 설계를 위한 대상 제품 및 사출성형 장비 검토	90

4.3 전류가열 금형 설계 .....	93
4.4 결론 .....	131
5. 듀셀공법 적용 전류가열 금형을 통한 시제품 제작 및 검증 ——	133
5.1 서론 .....	135
5.2 전류가열 적용 금형 및 제품 제작 .....	136
5.3 제품 품질특성 평가 .....	146
5.4 결론 .....	166
참고 문헌 ——	167
Abstract ——	172

## 표 목차

표 1-1. 현재 적용중인 해외 차의 플라스틱 비율 .....	6
표 2-1. 관련 사출성형법 비교 .....	22
표 3-1. Test 모델에 사용된 해석 조건 .....	46
표 3-2. 해석에 사용된 소재 특성 .....	48
표 3-3. 경량화율에 따른 사출성형 특성 .....	53
표 3-4. 초기 가스 농도에 따른 사출성형 특성 .....	55
표 3-5. 단위 체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성 .....	60
표 3-6. 사출성형 조건 .....	72
표 3-7. 전류가열 금형 온도 상승에 따른 가열 시간 .....	73
표 4-1. 사출기 주요 제원 .....	91
표 5-1. 사출성형시 실린더 부위별 온도 .....	141
표 5-2. 계량 및 홀링 방지 조건 .....	141
표 5-3. 사출 및 보압 조건 .....	142
표 5-4. 사출성형 조건별 제품 품질 분석 .....	145
표 5-5. 내약품성 시험 결과 .....	147
표 5-6. 연소성 시험 결과 판정 기준 .....	147
표 5-7. 내스크래치성 시험조건 .....	148
표 5-8. 내스크래치성 평가 판정기준 .....	148
표 5-9. 공인인증시험기관 성적서 .....	149
표 5-10. 복합환경내구 시험 전·후 변형량 .....	154
표 5-11. 진동에 의한 소음 측정량 .....	154
표 5-12. 제품 표면경도 분석 결과 .....	165



## 그림 목차

그림 1-1. 국내 2020년 CO <sub>2</sub> 배출량 감축 목표 .....	3
그림 1-2. 국내 CO <sub>2</sub> 배출량 현황 .....	3
그림 1-3. 2020년 국가별 자동차 연비 및 배출가스 규제 현황 .....	4
그림 1-4. 연료 소모 비율별 연비 개선 효과 비교 .....	5
그림 1-5. 자동차에 사용되는 플라스틱 비율 .....	6
그림 1-6. 유리섬유 복합소재 적용 제품군 .....	7
그림 1-7. 연구 흐름도 .....	11
그림 2-1. Electricity-Mold 사출 프로세스 .....	16
그림 2-2. 전류가열 금형에서 웰드라인의 변화 .....	17
그림 2-3. 초임계 유체의 상태도 .....	20
그림 2-4. 뮤셀 사출성형에서의 셀 형성 과정 .....	20
그림 2-5. 사출공정 개략도 .....	27
그림 2-6. 캐비티 내 수지의 유동선단 .....	28
그림 2-7. 플로우 마크(Flow Mark) 결함 .....	29
그림 2-8. 충전불량 .....	30
그림 2-9. 웰드라인(Weld Line) 불량 .....	30
그림 2-10. 싱크마크(Sink Mark) 결함 .....	31
그림 2-11. 제팅마크(Jetting Mark) 결함 .....	31
그림 3-1. 상대속도 편차를 나타내는 전단율 .....	37
그림 3-2. 전단 유동과 층류 유동의 플라스틱 흐름 .....	38
그림 3-3. 두께방향의 속도 차이 및 전단율 .....	38
그림 3-4. 사출성형 사이클 .....	40
그림 3-5. 사출성형 해석 사이클 .....	42
그림 3-6. Test 해석 모델 .....	43
그림 3-7. 제품 검토 해석 모델 .....	44
그림 3-8. 뮤셀 성형 제품의 단면 구조 .....	45

그림 3-9. 사출성형 해석 공정 조건 .....	45
그림 3-10. Test 해석 모델의 냉각 가열 구조 .....	46
그림 3-11. 제품 검토 해석 모델의 냉각 가열 구조 .....	47
그림 3-12. 해석에 사용된 비결정성 수지의 PVT 선도 .....	48
그림 3-13. 무셀 사출성형공법의 성형성 .....	50
그림 3-14. 기존 사출성형 공법과 무셀 적용 공법과의 사출압 비교 .....	50
그림 3-15. 기존 사출성형 공법과 무셀 사출성형 공법과의 Fill time 비교 .....	51
그림 3-16. 기존 사출성형 공법과 무셀 사출성형 공법과의 중량 비교 .....	52
그림 3-17. 경량화율에 따른 사출압 비교 .....	54
그림 3-18. 경량화율에 따른 포화셀 분포 비교 .....	54
그림 3-19. 초기 가스 농도에 따른 Fill time .....	56
그림 3-20. 초기 가스 농도에 따른 사출압 비교 .....	57
그림 3-21. 초기 가스 농도에 따른 포화셀 분포 비교 .....	57
그림 3-22. 초기 가스 포화 압력에 따른 사출압 비교 .....	59
그림 3-23. 초기 가스 포화 압력에 따른 포화셀 분포 비교 .....	59
그림 3-24. 단위 체적당 셀 수에 따른 Fill time .....	61
그림 3-25. 체적당 셀 수에 따른 사출압력 비교 .....	62
그림 3-26. 체적당 셀 수에 따른 포화셀 분포 비교 .....	62
그림 3-27. 사출성형 해석에 사용된 금형 형상 .....	64
그림 3-28. 사출성형 해석에서의 히팅 및 냉각 시스템 .....	64
그림 3-29. Heating 온도에 따른 사출압 비교 .....	65
그림 3-30. Heating 온도에 따른 포화셀 분포 비교 .....	65
그림 3-31. Heating 온도에 따른 냉각 상태 .....	66
그림 3-32. 제품 검토 해석 모델의 성형성 분석 .....	68
그림 3-33. 성형성 분석을 통한 게이트 형상 변경 .....	68
그림 3-34. 히팅 온도 150℃의 Fill time .....	69
그림 3-35. 히팅 온도 150℃에서의 에어트랩 .....	70
그림 3-36. 히팅 온도 150℃에서의 웰드라인 .....	70
그림 3-37. 제품 검토 해석 모델의 히팅 온도에 따른 포화셀 분포 비교 .....	71
그림 3-38. 사출성형 중 전류 가열 금형 온도 변화 .....	73

그림 3-39. 전류가열 금형온도에 따른 제품 특성 .....	74
그림 3-40. 내열 사이클 시험 범위 .....	75
그림 3-41. 표면단차 계측 장치 및 시료 측정 위치 .....	77
그림 3-42. 전류가열 금형 온도에 따른 시제품 표면 조도 .....	78
그림 3-43. 금형 온도에 따른 화학결합 상태 .....	82
그림 3-44. 금형 온도 0℃에서 화학결합 성분을 .....	83
그림 3-45. 금형 온도 150℃에서 화학결합 성분을 .....	84
그림 4-1. 대상 제품 설계 .....	90
그림 4-2. 350톤 사출기 .....	90
그림 4-3. 사출성형기의 스크루·배럴 .....	91
그림 4-4. 사출성형기의 인터페이스 장치 개조 .....	92
그림 4-5. 사출성형기의 시스템 컨트롤러 장치 .....	92
그림 4-6. 금형설계를 위한 1차 게이트 위치 검토 .....	94
그림 4-7. 사출해석에 사용된 물성 .....	95
그림 4-8. 1차 사출해석에 사용된 게이트 위치 .....	96
그림 4-9. 1차 사출해석에서의 충진율 .....	97
그림 4-10. 2차 사출해석에 사용된 게이트 위치 .....	102
그림 4-11. 2차 사출해석에서의 충진율 .....	103
그림 4-12. 제품 해석 모델의 히팅 및 냉각 시스템 비교 .....	107
그림 4-13. 금형에서 히팅 및 냉각 시스템이 포함된 제품 해석 모델 .....	108
그림 4-14. 전류가열 금형 검토 단면 위치 .....	108
그림 4-15. 전류 가열 금형에서의 센서 위치 .....	109
그림 4-16. 전류가열 금형 적용에 따른 해석결과 .....	109
그림 4-17. 전류 가열 코어 라인 설계 .....	110
그림 4-18. 금형 냉각 라인 구조 .....	111
그림 4-19. 3차 사출해석에 사용된 게이트 위치 .....	112
그림 4-20. 3차 사출해석에서의 충진율 .....	113
그림 4-21. 최종 게이트 위치 .....	115
그림 4-22. 게이트 및 런너 현상 .....	116
그림 4-23. 게이트와 전류 가열 코어와의 간섭 검토 .....	116

그림 4-24. 게이트와 냉각라인과의 간섭 검토 .....	117
그림 4-25. 최종 가상 금형 구조도 .....	117
그림 4-26. 4차 사출해석에 사용된 게이트 위치 및 형상 .....	118
그림 4-27. 4차 사출해석의 충전 상태 .....	119
그림 4-28. 5차 사출해석을 위한 모델 수정 .....	121
그림 4-29. 5차 사출해석에 사용된 게이트 위치 및 형상 .....	122
그림 4-30. 5차 사출해석에서의 충진율 .....	122
그림 4-31. 스프루 압력(Sprue Pressure) .....	124
그림 4-32. 형체력(Clamping Force) .....	124
그림 4-33. 사출성형시 에어 트랩 .....	125
그림 4-34. 사출성형시 변형 예측 .....	126
그림 4-35. 가스 셀 발포 .....	128
그림 4-36. 셀 사이즈 .....	128
그림 4-37. 부위별 셀 발포 단면 .....	129
그림 4-38. 전류가열 금형 반영된 부위별 셀 발포 단면 .....	130
그림 5-1. 전류가열 금형 기자재 .....	136
그림 5-2. 전류가열 금형 조립 .....	137
그림 5-3. 전류가열 금형온도 컨트롤러 구조 .....	138
그림 5-4 사출성형기와 금형온도 컨트롤러 연동 .....	139
그림 5-5 제품 제작 과정 .....	140
그림 5-6 사출성형해석 신뢰성 검증 .....	143
그림 5-7 제품 표면부 포화 셀 발생 부위 .....	144
그림 5-8 내열 사이클 시험 범위 .....	146
그림 5-9 복합환경 챔버 .....	150
그림 5-10 시험품 복합환경시험 셋업 .....	151
그림 5-11 온도 센서 설치 .....	152
그림 5-12 진동에 의한 소음 측정 셋업 .....	153
그림 5-13 시료번호 표기 .....	153
그림 5-14. 3D 프로파일러 .....	155
그림 5-15. 표면 조도 분석 결과 .....	156

그림 5-16. 개발된 사출성형품 .....	158
그림 5-17. 사출성형품의 셀크기 .....	159
그림 5-18. 사출성형품의 공극율 .....	162
그림 5-19. 표면경도 측정기 .....	164

# 제1장 서론



## 1.1 연구 배경 및 동향

환경 및 에너지 관련 규제인 온실가스 감축에 대한 규제가 전 세계적으로 강화되고 있으며[1], 대한민국의 온실가스 감축 목표는 2030년 배출전망치( BAU : Business As Usual) 대비 37%이다. 2009년 11월 온실가스 감축목표는 국제사회의 약속이며 국내는 저탄소 녹색성장기본법 시행령 제 25조에 명시되어 있다.

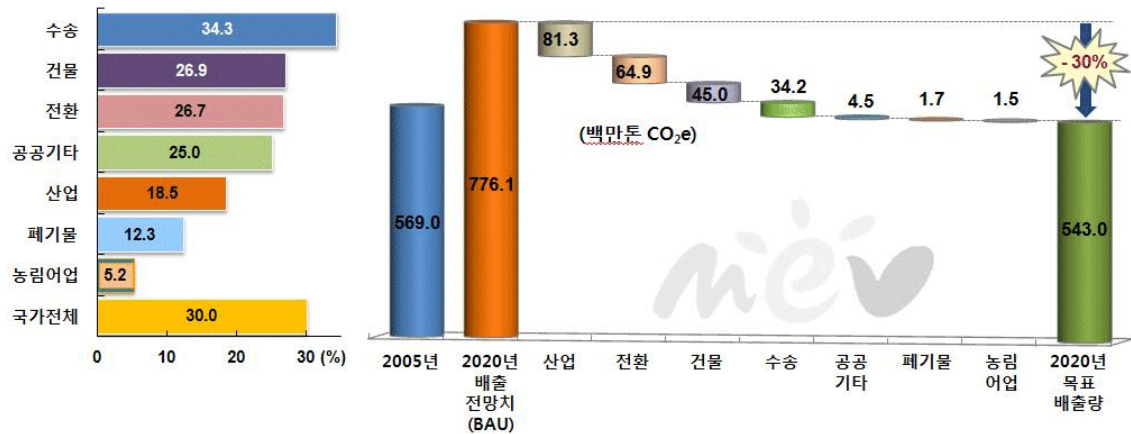


그림 1.1 국내 2020년 CO<sub>2</sub> 배출량 감축 목표

2010년 기준 국내 수송기기 산업 CO<sub>2</sub> 배출은 국내 연간 총 CO<sub>2</sub> 배출량의 16.3%에 해당되며 수송기기 산업 배출량은 10,921만톤으로 그 중에서 자동차 수송기기 산업이 85.1%인 9,293만톤 배출되고 있다[2].

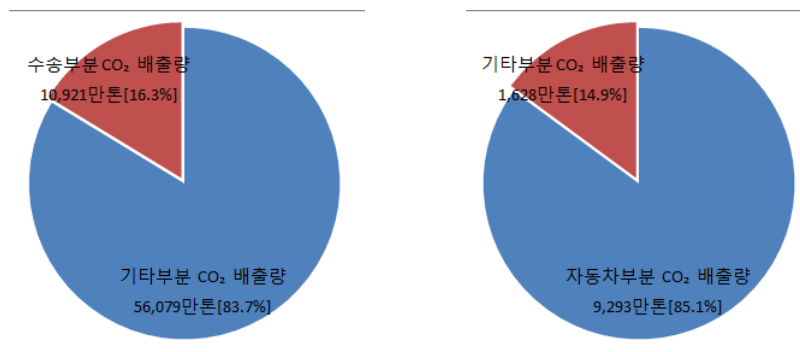


그림 1.2 국내 CO<sub>2</sub> 배출량 현황

수송기기 산업에서 배출되는 CO<sub>2</sub>는 제조, 생산 및 폐기 과정이 14.9%, 운행과정이 85.1% 차지하고 있으며, 수송기기 산업 2020년 감축 목표는 BAU대비 34%로 가장 효율적인 감축 수단으로서 수송기기 경량화가 시급한 과제이다.

2020년까지 1,640만톤 온실가스 감축 시 5년간 총 8조원의 사회적 편익 발생이 예상되고 2020년까지 BAU 34% 감축 달성 시 연료절감에 따른 경제적 편익 51.4조



원 발생이 예상된다. 수송기기 산업의 CO<sub>2</sub> 배출 저감 목표 달성 시 사회 및 경제적 편익은 총 59조원으로 예상된다.

그림 1.3은 2014년 환경부/산업통상자원부 보도자료의 2020년 국가별 자동차 연비 및 배출가스 규제 현황을 나타냈다. 수송기기 산업에서 CO<sub>2</sub> 발생의 85%를 차지하는 자동차 산업의 연비 및 배출가스 규제는 2020년까지 2015년 대비 평균 25% 이상 강화되었다. 2020년 EU는 규제대비 5% 수준인 CO<sub>2</sub> 배출 5 g/km 초과 시 10조 9천억원 부담금이 발생(EU 1g/km 당 €95, 1,730만대)되고, 2020년 북미는 규제대비 5%인 2.3 mpg 초과 시 2조 6천억원 부담금이 발생(북미 0.1mpg당 \$5.5 1,740만대) 된다. 또한 2020년 국내는 규제대비 5%인 CO<sub>2</sub> 배출 5 g/km 초과 시 2,250억원 부담금이 발생(국내 1 g/km 당 1만원, 450만대) 된다.

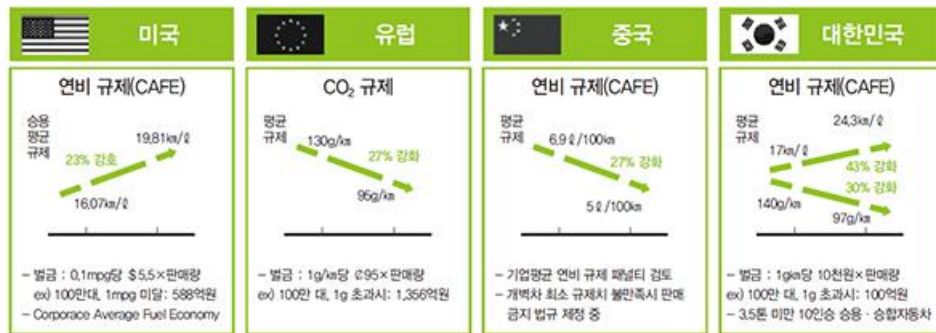


그림 1.3 2020년 국가별 자동차 연비 및 배출가스 규제 현황

특히, 중국의 경제발전과 함께 중국사막화와 산업발전으로 인한 요인으로만 여겨지던 미세먼지가 최근 폭스바겐 디젤게이트 사건과 함께, 디젤 차량에서 문제시 되고 있는 Nox와 분진에 대해서 EU 의회에서는 2014년부터 자동차 배기가스 배출기준을 강화한 EURO 6을 시행하고 있으며, 이전에 시행되어 왔던 EURO규제 중 가장 높은 수준의 배출규제로 바로 앞선 EURO 5기준 보다 질소산화물(NOx) 80%, 분진(PM) 60%강화된 규제로 시행되고 있다.

디젤 차량의 Nox 배출 및 PM에 대해 갑론을박이 많지만, 현재 몇몇 전문가들은 EURO 6기준으로 배출가스를 규제할 때, 실제 가솔린 차량보다 적은 Nox가 배출된다는 논리를 펼치고 있어, 정부의 보다 정확한 장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다[3].

다만, 세계건강기구 및 기타연구소에서 Nox 및 PM에 대한 문제점을 이전부터 제시하였음에도 불구하고 간과한 점이 있는 우리의 과오도 다시 되짚어볼 필요가 있다. 2012년 6월 12일, 세계보건기구(WHO)산하 국제암연구소(IARC)는 디젤엔진에서 배출되는 Nox와 PM으로 인해 폐암과 방광암이 유발될 수 있으며, 석면이나 주류, 담배와 같은 1급 발암물질로 선정되었다고 보고되고 있다.

자동차 경량화를 실현하는 방법에는 크게 3가지가 있다. 기존 소재보다 가벼운 소재로 변경하는 방법, 성형 및 가공기술을 개발하는 방법, 기존부품의 형태를 최적

화 설계하는 방법으로 나눈다. 이 중 소재를 변경하는 방법이 다른 방법에 비해 중량 절감 효과가 가장 크지만 재료비 상승으로 인해 원가측면에서 불리한 단점이 있다. 그래서 완성차업체들은 경제성을 고려하여 다양한 방법을 혼용하고 있다.

향후 획기적인 경량화를 추진하기 위해서는 소재 변경이 불가피하므로 점차 비철소재의 사용 비중이 늘어날 것으로 예상된다. 경량소재를 가장 적극적으로 사용하고 있는 유럽의 2020년 목표를 기준으로 보면, 국내 자동차의 철강 사용비중은 현재 68%에서 41%로 27% 낮아지면서 비철금속 및 합성수지의 사용비중은 각각 12% 증가할 것으로 추정된다.

대표적인 경량소재인 비철금속계열 알루미늄합금, 마그네슘합금과 합성수지계열 엔지니어링 플라스틱, 탄소섬유강화 플라스틱(CFRP)으로 대체되며 비철금속과 합성수지는 경합의 관계를 형성하면서 발전할 것으로 전망된다[4].

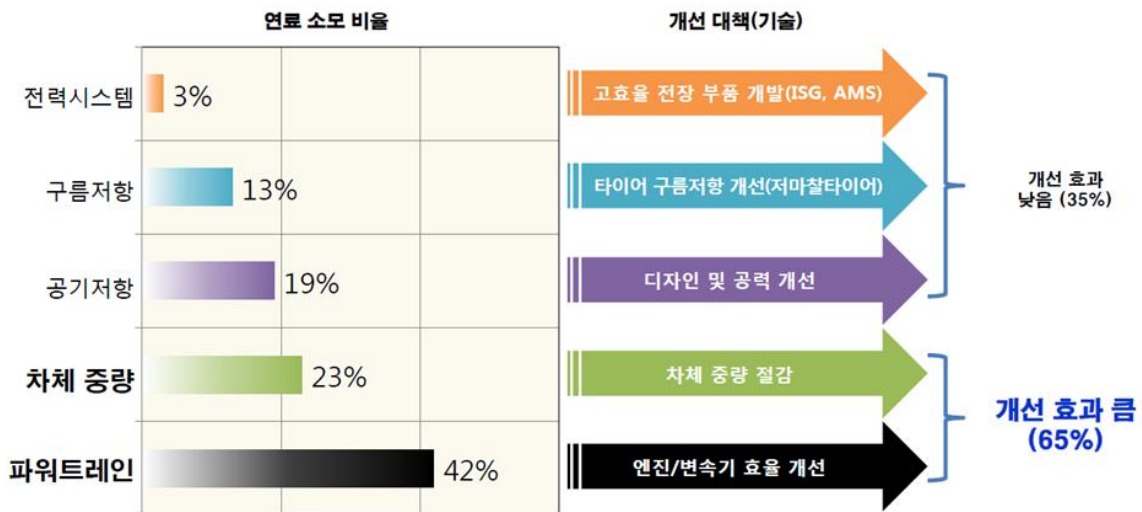


그림 1.4 연료 소모 비율별 연비 개선 효과 비교

생산공법 개선을 통한 자동차 경량화는 핫프레스 포밍(Hot Press Forming) 기술과 중공 구조 재료 개발, 하이드로 포밍 등의 뿌리기술을 활용한 구조로 프로세싱 공법 개발 등이 진행되고 있다. 합성수지 소재의 경우 가스 인젝션 공법, 화학발포제에 의한 발포 공법, 뮤셀에 의한 발포 공법 등이 있다. 여기서 가스 인젝션 공법은 성형 중 가스 주입으로 제품을 중공으로 만드는 기술이고, 화학발포제에 의한 발포 공법의 단점은 발포제 혼입 수지를 일반 사출 성형하는 방법으로 환경 유해가스가 발생하고 제품의 외관이 나빠지며, 성형 사이클이 길어지는 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 뮤셀에 의한 발포 공법은 초경계 유체를 사출하는 성형방법으로 최근 많은 연구가 이루어지고 있고 이는 고압가스 주입장치가 필요하고 제품 외관이 나쁘다는 문제점이 있지만 최근 국내에서 외관 향상방법으로 전류가열 금형 기술을 적용함으로써 뮤셀 사출 공법 개발에 많은 관심을 두고 있다.

경량화를 목적으로 사용된 플라스틱 소재는 1980년 자동차 한 대당 사용량이 약 5%였으나 2005년에는 약 9%로 증가하였고, 25년간 자동차 한 대당 사용량이 50 ~ 250 kg으로 약 2.5배 증가하였다. 플라스틱은 금속에 비해 비중이 0.9 ~ 2.3으로 낮아 경량화에 유리하며 단순히 부품자체의 중량 경감에 그치지 않고 성형성이 뛰어나 대량생산이 가능하며 복잡한 형상의 부품을 일체 성형함으로써 부품 및 구조 단순화 등 부가적인 효과 때문에 자동차의 경량화에 크게 기여하였다[5].

자동차에 사용되는 대표적인 플라스틱은 ABS(Acrylonitrile-butadiene-styrene), PE(Polyethylene), PA(Polyamide or Nylon), PP(Polypropylene), PU(Polyurethane)이며, 이 중에서 PP가 최고 48%를 차지하고 있다. 특히 소형차의 경우 PP의 사용 비율이 매우 높다[6].

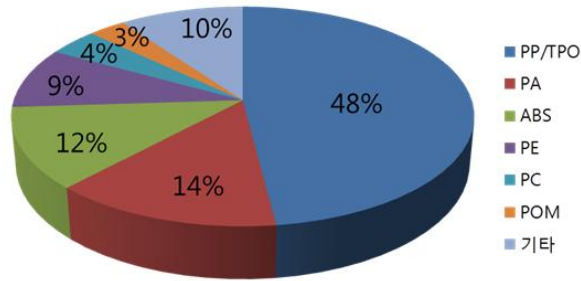


그림 1.5 자동차에 사용되는 플라스틱 비율

[표 1.1] 현재 적용중인 해외 차의 플라스틱 비율

구분	BMW1	Toyota Aygo	Renault Clio
플라스틱 비율	20%	15%	13%
플라스틱 총중량	279 kg	128 kg	167 kg
PP	33%	52%	48%
PA	14%	9%	7%
PUR	14%	13%	13%
ABS	7%	2%	2%
PE	6%	8%	8%
PVC	4%	3%	3%
PBT/PET	3%	1%	4%
PC	1%	3%	1%
PPE	1%	-	2%
기타	15%	8%	11%

자동차용 플라스틱은 많은 장점에도 불구하고 금속재료에 비해 기계적 강도나 치수안정성 측면에서 불리한 점이 많다. 이런 플라스틱의 단점을 보완하고자 개발된 것 중의 하나가 폴리머와 보강 섬유를 조합한 섬유강화 복합소재이다. 섬유강화 복합소재 중에 자동차 부품용으로 가장 주목받는 소재가 유리섬유 복합소재(Glass Fiber Reinforced Thermoplastics, GFRP)이다. 유리섬유 복합소재는 일반 플라스틱의 단점인 기계적 강도, 치수안정성을 상당히 개선할 수 있고, 자동차 경량화와 직접 관련 있는 비강성, 비강도 측면에서도 금속이나 일반 플라스틱에 비해 월등히 뛰어나다[7-9].

여러 경량 복합소재 중 부품 적용 가능성, 우수한 기계적 물성 및 낮은 가격이란 이점 때문에 각광받게 된 소재가 PP 베이스에 첨가물로 장 유리섬유(Long Glass Fiber)를 넣은 것이다. PP + LGF 수지는 상대적으로 점도가 매우 높다. 높은 점도를 가진 수지는 거친 표면 등 여러 가지 외관 결함이 발생하기 때문에 이를 대체하는 기술이 활발히 연구되고 있다. 그 중에서 외관 결함을 줄일 수 있는 방법 중 한 가지로 금형 표면 온도를 제어하는 것이다[10-12].

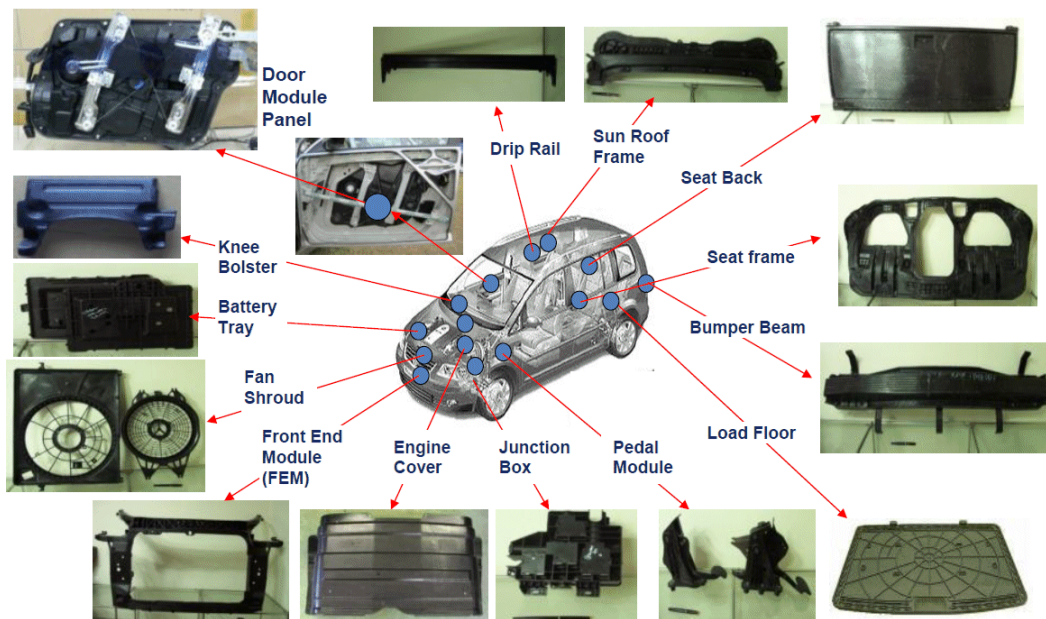


그림 1.6 유리섬유 복합소재 적용 제품군

향후 자동차 경량화 기술로 섬유복합소재의 사용은 더욱 더 증가할 것이며 지금까지 상업화된 섬유복합소재 성형기술로는 다양한 요구조건에 한계가 있다. 특히, 경제성과 한층 복잡해진 형상과 부드러운 표면을 표현하기에는 제조 공정이 복잡하고, 성형 기술 특성상 모든 자동차 부품에 적용하기에 한계가 있다. 따라서 본래의 경량화 해결뿐만 아니라 경제성을 갖추고, 섬유복합소재가 적용된 제품이 표면에 사용될 수 있는 자동차분야에서 더 많은 적용이 가능한 섬유복합소재 성형기술의

개발이 필요한 시점이다.

플라스틱 소재는 1868년 미국 John. W. Hyatt 가 상아로 된 당구공의 대용품으로 발명한 셀룰로이드가 세계 최초의 플라스틱이다. 그 후 Leo Baekeland가 1909년 발명한 페놀포르말린 수지(Bakelite)가 이를 대체하였으며, 이것이 외관상 송진(Resin)과 비슷했기 때문에 일반적으로 합성수지라고 하였고 베크라이트(페놀수지)의 출현으로 공업기술의 발전과 석유화학공업의 발달로 인해 대량생산이 가능하게 되고 결정화 진행 여부에 따라 결정성과 비결정성으로 나누어진다[13-15].

최근에는 두 가지 이상의 재료가 각각의 재료의 특성을 살려서 상호 결점을 보완할 수 있게 인위적으로 만든 재료로서 물리적으로는 서로 구분되고 기계적으로는 연속인 상태의 재료로 복합소재를 많이 사용하고 있다. 이는 항공우주, 자동차, 스포츠, 산업기계, 의료기기, 군수용품, 건축 및 토목자재에 이르기까지 다양하게 응용되고 있다[16-18].

복합소재 중 유리섬유의 경우 1893년 컬럼비아 박람회에서 오엔스리피 유리회사가 유리막대의 한 끝을 가열하고, 이것을 잡아당겨 회전 드럼에 감아 섬유처럼 만든 것이 유리섬유의 시초이다. 녹인 유리를 기계적으로 잡아 늘이는 방법, 공기나 수증기로 날리는 방법, 원심력에 의해 주위에 날려 붙이는 방법 등으로 섬유 모양을 만든다. 용도에 따라 장섬유와 단섬유(유리솜·글라스울)가 있으며, 장섬유의 생산에는 백금포트 속에서 녹인 유리를 포트의 바닥에 뚫은 작은 구멍을 통해서 밀어내는 방법이 많이 이용된다[19].

유리섬유에는 연속섬유와 비연속섬유로 나누어지며 연속섬유에는 직조섬유가 있다. 비연속섬유에는 장섬유와 단섬유가 있으며 장섬유는 용융된 GLASS를 고속으로 인출하여 WINDING한 실이다. 유리장섬유는 제품상에서 글라스 양(GLASS YARN)과 글라스 로빙(GLASS ROVING)으로 구분된다. 원료를 약 1600℃의 고온에서 용융하여 100 ~ 4000 본을 호제로 집속한 것은 스트랜드(STRAND)라고 하며, 이것에 꼬임을 가한 것을 양(YARN)이라고 한다. 꼬임을 가하지 않고 수십 본을 합한 것을 ROVING이라고 하며, 호제의 종류에 따라 여러 품종으로 나누어진다[20]. 유리섬유 생산 공정은 크게 유리용융(Melting) 공정, 섬유화(Fiberizing) 공정, 사이징(Sizing) 공정, 후처리(Treatment) 공정으로 나누어진다[21].

유리섬유의 복합소재는 보강 섬유의 길이에 따라 단섬유강화플라스틱과 장섬유강화플라스틱으로 나눈다. 단섬유강화플라스틱은 통상적으로 1.0mm 이내의 섬유로 보강되며, 비강화 플라스틱 대비 모듈러스(Modulus), HDT(Heat distortion temp)증가, 열팽창개선, 수축개선, Creep변형 축소 등의 장점을 갖고 있으며, 사출성형의 경우 최대 40wt%까지 섬유를 보강할 수 있다[22].

## 1.2 연구 목적 및 내용

최근 자동차 시장 경쟁이 치열해지고 있으며, 이와 동시에 환경규제에 따른 자동차 중량 감소를 통한 연비 개선에 모든 노력을 기울이고 있다. 이는 완성차뿐만 아니라 자동차 모든 회사의 부품 단위까지 요구되는 노력이기도 하다. 이에 따라 본 연구에서는 전류가열 금형을 이용한 뮤셀 공법 적용 사출성형 특성을 분석하고자 하였다. 뮤셀 공법의 경우 사출소재에 가스를 혼입하여 초임계 유체를 통해 제품의 두께 방향의 중앙부에 기포를 만들어 제품의 경량화를 추구 하는 공법이다. 뮤셀 공법의 경우 국내 전기·전자 회사에서 사용되어지는 공법이기도 하며 이러한 기술은 10년 전부터 자동차 업계에서 많은 관심을 가져왔다. 그러나 자동차 부품의 특성상 부품의 표면이 매우 우수하여야 하며 기존에 제품은 이를 극복하기 위해 페인팅 도장을 추가적으로 실시하였다. 최근 도장공정의 경우 VOCs(휘발성 유기화합물) 규제가 강화 되면서 도장 공정을 없애기 위한 노력도 기울이고 있다. 이러한 환경 속에서 뮤셀 공법은 초임계 유체가 금형 내에 유입되면서 발포를 하게 되는데 일부 표면이 복잡한 구간에서 발포된 기포가 표면으로 들어나는 문제로 자동차 부품에는 사용되지 못하였다. 또한 전류가열 금형의 경우 자동차 내장재 사출제품의 도장 공정을 삭제하기 위해 제품 표면을 개선시키는 방법으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 이러한 두 기술에 대해 보완하는 측면에서 동시 적용 한다면 자동차 내장재 사출 부품에 대한 최근 대두되고 있는 환경규제에 따라 중량 감소를 통한 연비 개선에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다. 이는 뮤셀 공법이 자동차 사출부품에 적용하게 되면 발생하는 표면의 기포문제를 전류가열 금형을 통해 제품 표면의 기포를 현저히 축소시킬 수 있는 동시에 사출성형에서 일반적으로 나타나는 웰드라인과 플로우 마크 등을 감소시켜 도장 공정 없는 사출제품을 생산할 수 있는 효과가 있다. 본 연구를 통해 전류 가열금형을 이용한 뮤셀 공법 적용에 따른 제품을 검증하고 자동차 내장재인 센터 페시아 제품에 적용 해 봄으로써 본 연구의 적용 가능성을 검증하고, 본 논문의 구성은 다음과 같으며, 그 흐름을 그림 1.1의 흐름도에 나타내었다.

제 1장에서는 본 연구의 배경과 동향 그리고 연구의 목적과 그 범위에 대하여 기술 하였다.

제 2장은 이론적 배경을 기술하였으며 이는 전류가열 금형을 이용한 사출성형 특성에 대한 개선 내용을 기술하였다. 또한 뮤셀 공법에 따른 초임계 유체를 이용한 사출성형 특성에 대해 조사하여 기술하였고, 이는 타 사출성형 공법과의 장·단점에 대해 기술하였다. 또한 뮤셀 사출성형 공법에 사용되는 수지의 특성을 기술 하였으며, 사출성형 공정과 특징 그리고 사출성형에 따른 결합에 대해 여러 각도에서 기술하였다.

제 3장은 전류가열 금형을 이용한 무셀 공법 사출성형 특성을 연구하였으며, 이는 사출성형해석을 선행하여 금형제작 및 사출성형 조건을 제시하고자 하였다. 사출성형해석은 경제조건과 유동해석 접근방법에 대해 연구하였으며, 접근방법은 해석을 선행하였으며, 해석 시간을 단축하기 위하여 TEST 해석 모델을 이용하여 무셀 공법의 조건인 경량화율에 따른 사출성형 특성, 질소가스 농도에 따른 사출성형 특성, 질소가스 포화 압력에 따른 사출성형 특성, 단위 체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성, 전류가열 금형에 따른 사출성형 특성 등을 조건별 해석을 통해 결과를 제시하였다. 또한 최종 개발제품인 센터 페시아 개발 전 단계로 축소 금형제작을 통하여 전류가열 금형 기술을 적용하여 전류가열 금형에 따른 효과를 검증하고자 하였다. 이는 전류가열 금형을 이용한 시제품을 제작 하여 자동차 내장재 부품으로 사용가능한지에 대한 품질특성을 평가 제시하였으며 전류가열 금형 적용 장점인 표면 특성 평가도 제시하였다.

제 4장은 자동차 내장재인 센터 페시아 부품에 대한 전류가열 금형 설계 및 무셀 공법 적용에 대한 연구를 하였으며, 먼저 대상 제품 및 사출성형 장비의 특성을 분석하였다. 또한 무셀 공법 적용을 위한 사출성형 장비를 개조하여 초임계 유체를 통한 사출성형이 될 수 있도록 하였으며 무셀 공법의 성형성을 사전 확보 차원에서 사출성형해석을 선행 추진하였다. 본 장에서 사출성형해석은 무셀 공법에 따른 사출성형 조건을 반영하여 실시하였으며 1차적으로 초임계 유체가 금형 내에서 발포가 원활히 이루어지게 하기 위한 게이트 위치 선정을 하였고 금형에 대한 최적 전류가열 코어 및 냉각 라인 설계에 따른 성능 검토와 우선 반영된 게이트와의 간섭 문제를 검토 보완하였다. 그리고 전류가열 코어와 냉각 라인 그리고 금형 불림이 확정된 금형을 가정하고 무셀 공법 적용 사출 성형성 검증을 하였고 마지막으로 전류 가열금형에 따른 금형내 온도 분포와 냉각 작동 특성을 분석하여 설계 반영하는 단계로 연구하였다.

제 5장은 앞장에서 확인된 결과를 통하여 전류가열 금형을 제작하고, 제작된 금형을 통해 사출성형 제품을 생산하였다. 이때 전류가열 금형의 온도는 사출성형기와 연동되어 금형온도를 컨트롤할 수 있도록 하였다. 제품은 무셀 공법 적용 전류가열 금형온도별 사출성형품을 만들었으며, 이를 통해 앞 장에서 제시된 사출성형해석과 비교 분석하였다. 그 결과 사출성형해석과 사출성형품 제작 공정과정이 비슷하여 제품 성능을 사출성형해석을 통해 예측 할 수 있을 것으로 판단하였다. 사출성형 제품은 품질특성평가를 하여 제품의 성능을 평가 하였으며, 이는 기존 공법으로 제작된 제품과 비교 분석 하였다. 제품 성능분석은 내열사이클, 내약품성, 연소성, VOCs(휘발성 유기화합물), 내스크래치성, 복합환경과 진동소음시험, 표면조도, 셀 크기 및 공극율 등을 분석하여 제시하였다.

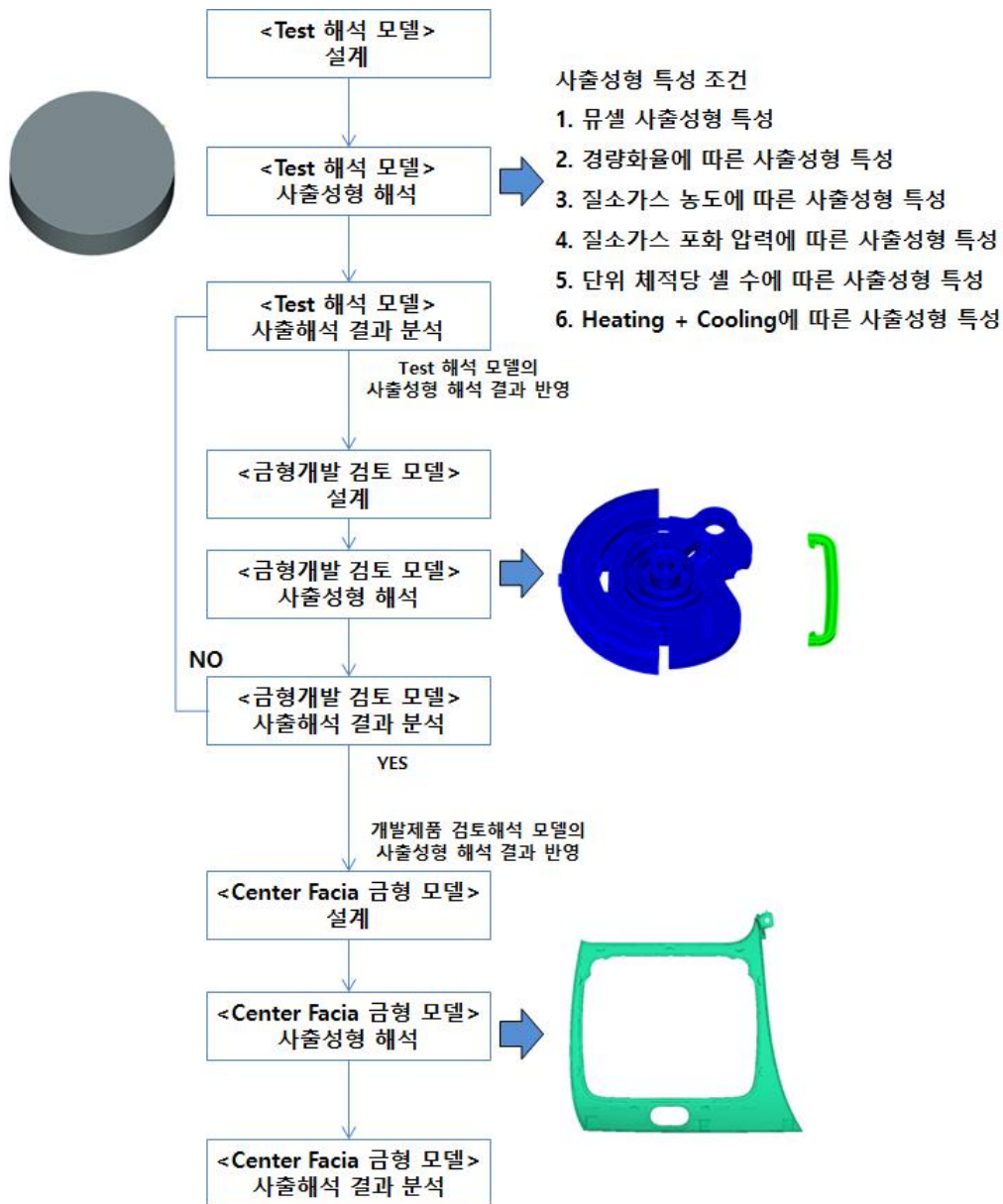


그림 1.7 연구 흐름도





## 제2장 이론적 배경



## 2.1 전류가열 금형을 이용한 사출성형 특성

전류가열 금형(Electricity-Mold)을 이용한 사출성형에 있어 금형 표면온도와 용융수지의 온도 차이가 필연적으로 발생하는 표면 결함 및 미성형 등의 다양한 사출성형 문제를 해결하기 위해 사출성형 사이클에 맞추어 금형 표면 온도의 급가열-급냉각을 제어할 수 있는 기술을 전류가열 금형 시스템이다.

최근 AV 가전, 모바일, 자동차 내장의 사출성형부품에 있어서 디자인 차별화 요구는 기능의 차별화에 비해 그 중요성이 점점 커지고 있는 실정이다. 디자인적 차별화 수단으로 착색, 소재 표면처리 등이 다양하게 적용되고 있으나, 이는 효과적인 구현을 위한 기본적인 전제로 사출품의 외관품질이 높아야 한다는 점이다. 또한 광학부품 또는 정밀기능부품에서는 요구 기능 구현을 위해 유리, 금속 등의 소재로 사용되던 많은 부품이 플라스틱 사출성형이 가지는 높은 생산성 때문에 사출부품으로의 전환이 활발하게 이루어지고 있다.

이와 같이 사출성형에 있어 생산성을 만족시키기 위해서는 성형 시에 불가피하게 발생하는 웰드라인(Weld line), 플로우 마크(Flow Mark), 표면 얼룩 등의 외관불량에 대한 개선과 고풍택의 표현 등이 가능해야 하고, 플라스틱 사출부품은 휨, 비틀림 등의 개선, 표면 미세형상의 재현, 고기능 첨가제에 따른 성형의 어려움 등 다양한 과제를 극복해야만 가능해진다. 더불어 친환경의 관점에서 부품의 경량화, VOC 배출 규제 만족을 위한 무도장화 등에 대한 요구는 점점 커지고 있는 추세이다.

이러한 요구를 만족시키기 위한 다양한 노력이 시도되어 왔지만, 기존 사출 금형의 틀 안에서 수지, 사출조건 등의 개선만으로는 일정한 한계가 있어 생산성과 품질 간의 적당한 타협을 통해 제품을 생산해 온 것이 사실이다. 근본적인 과제 해결을 위해서는 사출-성형(냉각)사이클에 따라 금형 표면을 가열-냉각하는 과정이 반복될 수 있게끔 금형 온도를 제어하는 것이 필요하다. 사출과정에서는 수지 유리 전이온도( $T_g$ ) 이상으로 금형 표면 온도를 유지하여 금형 내 유동성과 전사성을 향상시키고, 사출 후에는 바로 급격하게 표면 온도를 낮추어 줌으로써 변형 없이 빠르게 성형이 완료될 수 있게 해 주면 대부분의 문제 해결이 가능해진다. 다만, 사출 생산성의 손실(사출 사이클 타임 증가에 따른 생산성 저하) 없이 금형 내에서 어떻게 급가열-급냉각 사이클을 구현할 수 있는가가 상용화의 관건 이다.

이러한 상용화의 문제를 해결한 기술이 2000년 전·후하여 시장에 출현되었고, 특히 고풍택, 고품질의 무도장 사양을 요구하는 디자인 차별화의 시장 수요에 부응하여 TV 등 가전시장을 중심으로 급격하게 보급되기 시작 하였다. 전류가열 금형 시스템도 2005년 양산화에 성공, 현재까지 가전 시장을 중심으로 기술개발 되어 왔다.

초고온금형 히팅 사이클(Heating Cycle)의 전류가열 금형을 이용한 성형시스템의 특징은 가열, 냉각매체의 단열과 열전도의 기구적 구성을 갖추고 있는 독특한 금형 구조에 있다. 금형의 가열에 관해서는 가열 캐비티(Cavity)라 불리는 최소화된 전류가열 금형 체적을 갖고 열용량이 극히 적은 구조에 가열 원으로 에너지 발생 효율

이 매우 높은 카트리지 히터가 금형 표면으로부터 균일한 깊이로 삽입된 구조로 되어 있다. 냉각에 관해서는 냉각 블록(Block)이라고 불리는 냉각 전용 기능을 갖는 구성 부품이 가열 캐비티 배면에 가열 캐비티와 분리되어 배치되어 있다. 또한 가열 캐비티의 승온 효율, 냉각블록에 의한 냉각 효율을 높이기 위해 캐비티와 블록 사이에 공기 단열층을 갖는 구조로 되어 있다.

그림 2.1은 금형 동작 시에 공기 단열층의 유무를 발생시켜 고체 금속의 접촉에 의한 고효율의 열전도성을 이용하여 높은 사이클의 냉각 프로세스를 만들어낼 수 있는 시스템이다.

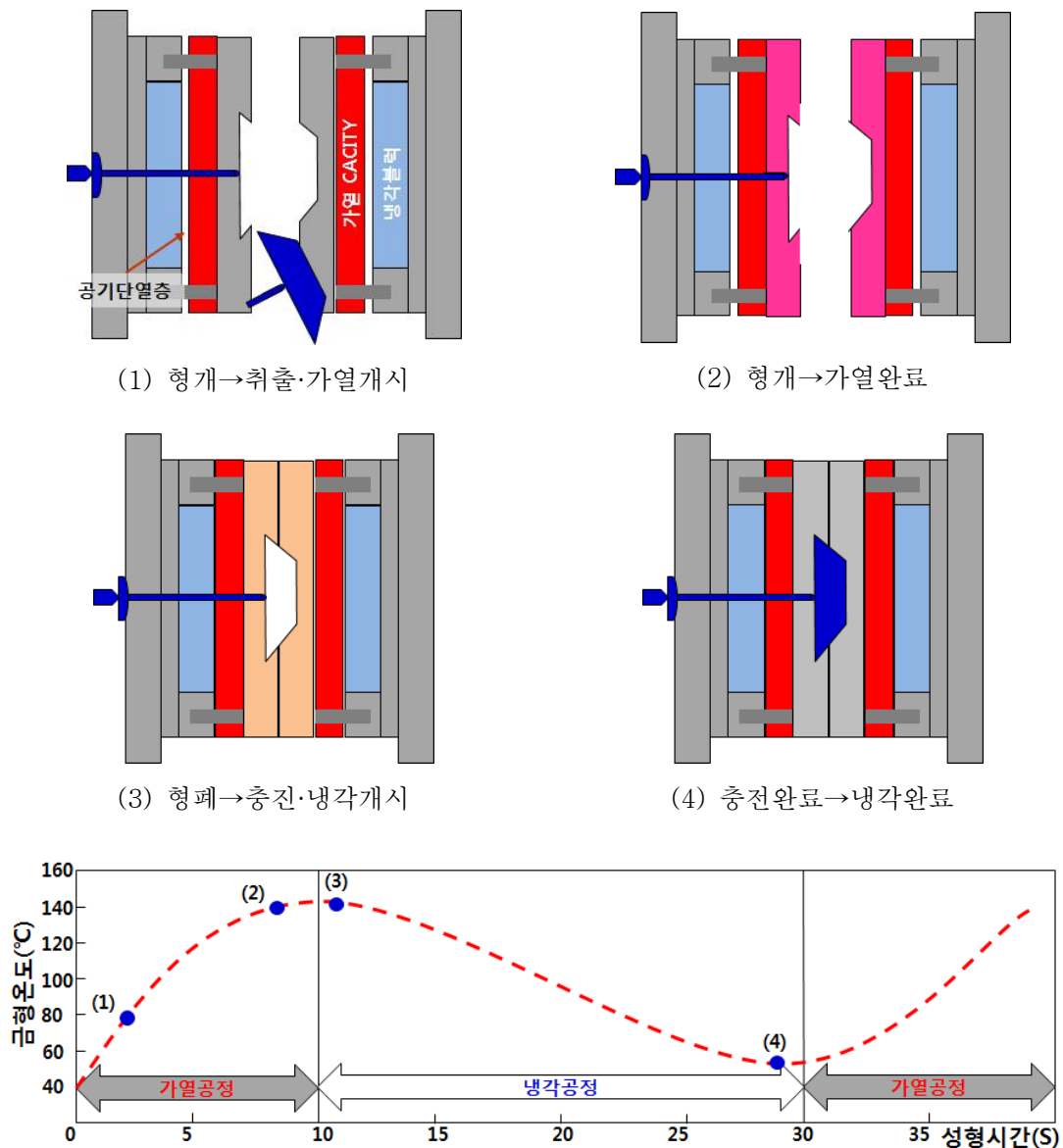


그림 2.1 Electricity-Mold 사출 프로세스

물이나 증기에 의한 사출성형 금형의 온도를 높이는 것은 폴리카보네이트(PC) 등 150℃ 근방의 높은 유리전이 온도( $T_g$ )를 갖는 수지의 경우 한계가 있다. 전류가열 금형 시스템은 높은 와트밀도를 갖는 특수한 카트리지 타입의 히터를 개발하여 다른 가열원에 비해 매우 용이하게 승온 시킬 수 있고, 최대 300℃까지 승온이 가능하다. 히터의 설치는 가열 캐비티에 표면으로부터 균일한 깊이, 균일한 간격으로 가공된 구멍에 삽입하는 형태로 되어 있으며, 특별히 가공의 어려움은 없다. 또한 캐비티의 직경은 6 mm 정도의 미세경구조로 금형 강도의 유지와 가열 캐비티의 박판 구조가 양립될 수 있도록 개발되었다. 또한 정기 점검을 통해 히터의 교환이 필요한 경우, 쉽게 교환이 가능한 구조로 되어 있다.

작은 열용량을 갖게 하기 위해 가열 캐비티는 박판으로 되어 있는데 높은 강도와 함께 충전시 수지의 가스 발생에 따른 부식을 고려하여, SUS계의 재료를 추천하고 있고, 냉각블록은 열전도율이 좋은 Al계 또는 Cu계의 재료를 사용하고 있다. 사출 충전 시에는 형체와 함께 냉각블록이 가열 캐비티에 밀착되는 구조로 냉각블록이 캐비티를 지지하게 되어 있어 사출 압력에 의해 금형 변형과 같은 문제는 없다.

가열·냉각성능으로 가열 캐비티는 일반적으로 히터에 의해 가열 온도 구배가 15 초에 30℃에서 150℃까지 승온이 가능한 구조로 배치되며, 히터의 와트밀도를 높이면 보다 빠른 승온 속도를 얻을 수 있다. 동시에 냉각블록의 온도 구배는 통상적으로 30초 내에 150℃에서 30℃까지 냉각이 이루어지도록 설계하고 있으나, 이 또한 냉각 칠러(Chiller)의 설정 여부로 그 시간의 단축 및 조정이 가능하다. 형체와 동시에 열용량이 큰 냉각블록이 가열 캐비티에 접촉되게 되면 순간적으로 냉각이 빠르게 이루어진다.

전류가열 금형 시스템의 가장 큰 목적은 제품의 표면을 고품택 고외관 품질을 구현하기 위해서이다. 앞에서 언급하였듯이 전류가열 금형기술은 TV 등의 가전제품에서 사출제품의 표면 의장성 개선의 목적으로 적용되기 시작하였다. 사출성형 충전 공정에 있어서 금형을 수지의 유리전이온도 근방의 초고온 상태를 유지하게 되면, 경면의 금형 표면을 그대로 전사하게 되어 고품택의 외관 품질을 얻을 수 있다.

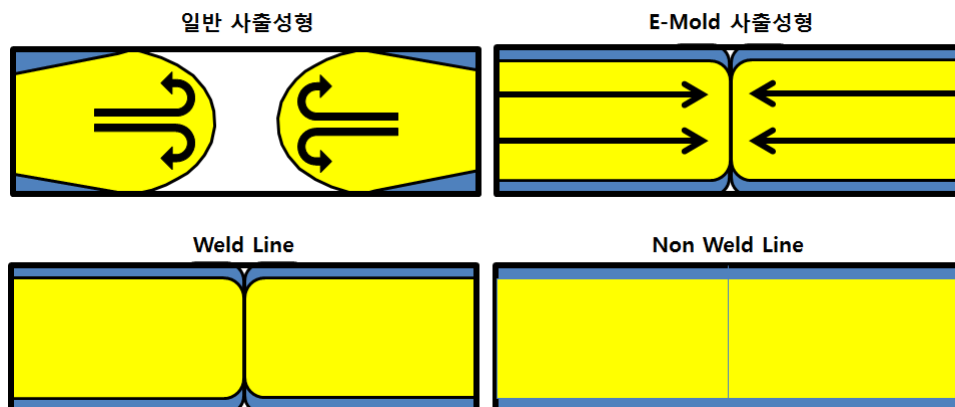


그림 2.2 전류가열 금형에서 웰드라인의 변화

광학 관련 부품의 경우, 광특성 등의 개선을 목적으로 표면에  $1\mu\text{m}$  이하 수십 나노미터 단위의 미세 형상 패턴의 성형이 필요한 부품이 있다. 이런 부품의 경우, 일반 금형으로 사출 시 캐비티 충전과정에서 유동성 저하로 미세 패턴의 전사가 불가능하게 되나, 초고온 금형 사출은 전사성이 우수하다는 특징으로 미세 패턴의 성형이 가능하다.

전류가열 금형 기술을 적용하면 최대  $300^{\circ}\text{C}$ 까지 금형의 표면 온도를 올릴 수 있다는 것에 대해서는 전술한 바와 같다. 이에 따라 전기 커넥터 등에 초고온 내열특성 및 전기 절연성의 향상을 목적으로 하는 LCP 수지 등의 성형이나, 높은 전기 전도도 특성을 요구되는 연료전지용 분리판의 성형이 가능해져 그 적용이 구체화되고 있다.

자동차 휠 커버과 같이 3차원 자유 곡면을 갖는 제품의 경우, 카트리지 히터로는 가열 캐비티 면에서 균일한 거리로 배치하는 것이 곤란하다. 이 경우, 캐비티 표면 형상을 따라 가열 캐비티 배면에 균일한 깊이로 홈 가공을 해 주고, 그 가공 면을 따라 곡면의 히터를 매립, 고정하는 방법을 채택함으로써 자유롭게 금형 표면의 온도를 균일하게 유지시킬 수 있다.

이와 같이 전류가열 금형 시스템은 그 나름의 차별적인 특징을 바탕으로 하여 가전 분야에 한정되어 있는 기술의 수요를 자동차, 핸드폰 시장을 비롯한 다양한 분야의 시장 확대를 가시화하고 있다. 2010년 10월부터 미국 포드자동차가 이스케이프 2011년 모델에 본 기술로 사출된 제품이 양산 적용되기 시작하였고, 그를 통해 미국 SPE(Society of Plastic Engineers)로부터 작년 2010년 11월 Innovation Awards를 수상하였다. 이러한 일련의 평가를 바탕으로 포드자동차가 전세계 지사 개발 차종에 본격적인 확대 적용을 위해 특허 기술 사용권을 구매 하였다. 또한 핸드폰 분야에서는 주요 관련사와 양산 적용을 위한 연구 개발이 마무리 단계에 있는 등 시장에서 요구되는 품질의 수준을 만족시키고, 원가절감으로 대표되는 생산성의 향상, 친환경적 기술을 양립시킬 수 있는 기술의 구현을 위한 그간의 노력이 급격한 시장 확대로 이어질 것으로 기대하고 있다.

## 2.2 초임계 유체를 이용한 사출성형 특성

초임계 유체(Supercritical Fluid)는 임계점(Critical point), 즉 어떤 물질의 임계 온도(Critical temperature)와 임계압력(Critical pressure) 이상에서 존재하는 유체로서 액체와 기체의 특성을 모두 가지고 있으며 이를 사출에 이용한 공법을 뮤셀 공법이라 한다[23,24]. gas와 같이 질량 전달 특성과 액체의 용매화 특성을 가지고 있다. 일반적으로 용매의 물성은 분자의 종류와 분자간 상호작용에 따라 결정되기 때문에 비압축성인 액체용매는 분자간 거리가 거의 변화하지 않아 단일 용매로서는 커다란 물성의 변화를 기대하기 어렵다. 하지만 초임계 상태에 있는 물질은 그 임계점 부근에서 압력을 변화시키면 그의 밀도, 점도, 확산계수와 극성 등과 같이 기체에 가까운 상태로부터 액체에 가까운 상태에까지 연속적으로 매우 큰 변화를 가져올 수 있다[25].

순수 물질은 온도, 압력의 변화에 따라 기체 및 액체 그리고 고체 등의 상태로 나타난다. 기체 및 액체의 상전이 곡선인 증기압 곡선을 살펴보면 온도가 증가함에 따라 압력도 함께 증가하는데 이는 새로운 평형점에 도달하기 위한 결과로써 증기압의 증가를 가져오고 결국 액상과 기상 사이의 밀도 차이가 감소된다. 이러한 액체와 기체의 밀도 차이가 임계점이라는 곳에서 동일해져 구별할 수 없게 된다. 임계점 이상에서 기체의 중간 성격을 갖는 유체를 초임계 유체라 정의한다. 일반적으로 임계값에 가까운 온도와 압력에서 초임계 유체는 유체 임계 밀도보다 더 큰 밀도를 갖는다. 초임계 유체의 밀도는 액체의 값에 가까운 용질에 대해 높은 용해력을 가지게 되며, 동일 온도와 압력조건의 이상기체에 비해서  $10^6$ 배 이상의 용해력을 지닌다. 초임계 유체는 압축성이고, 작은 압력 변화에도 밀도와 용해 능력이 크게 변한다. 또한 초임계 유체는 표면 장력이 없으므로, 저 다공성 물질을 통화할 수 있다.

초임계 유체는 미세한 온도, 압력 변화에도 밀도가 크게 변하므로 용해력을 쉽게 조절할 수 있으며 또한 기체 및 액체와는 또 다른 고유의 특성을 갖추고 있다. 이런 임계점 이상에서는 작은 압력 변화에 따른 용해도 변화는 증류, 침출 및 추출공정에서 손쉽게 분해물을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 높은 확산력과 낮은 점도는 고분자 물질인 경우 높은 침투력을 가질 수 있다는 것을 보여준다. 또한 기존의 반응 및 분해, 결정화, 흡수, 건조 등의 공정에서 저효율, 저품질, 저속환경에서 악영향 등과 같은 기술적 어려움을 해결할 수 있는 새로운 혁신기술로서 주목받고 있다 [26-30].

그림 2.3은 초임계유체 상태도를 나타내었다. 초임계 유체를 이용한 발포 사출성형에서의 플라스틱 제품 경량화를 위하여, 사출기의 실린더 내부로 초임계 상태의 가스를 주입하여 성형재료와 가스를 혼합시켜 금형의 내부로 주입한 후 고분자 재료의 내부에 미세한 크기의 기포(5~50 $\mu$ m)를 생성하여 제품을 성형하는 기술로써 발포제로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 혹은 질소가스(N<sub>2</sub>)를 이용하는 물리적 발포 프로세스이고



이러한 공정을 뮤셀(MuCell) 사출성형 공법이라 한다.

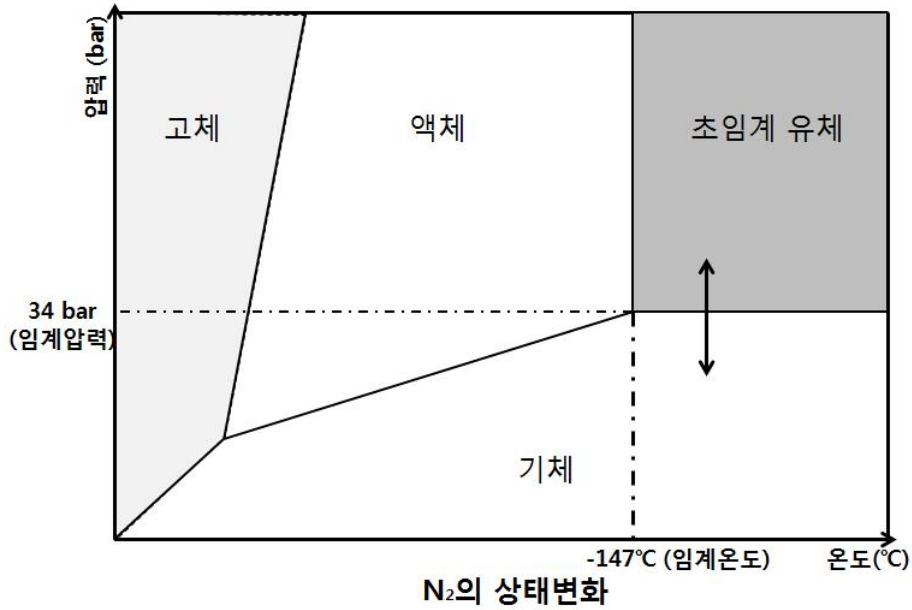


그림 2.3 초임계 유체의 상태도

그림 2.4는 뮤셀 사출성형에서의 셀 형성 단계를 나타낸 것으로 발포성형고분자와 초임계유체의 균일한 혼합을 위한 성형단계는 크게 4단계로 이루어진다[31-33].

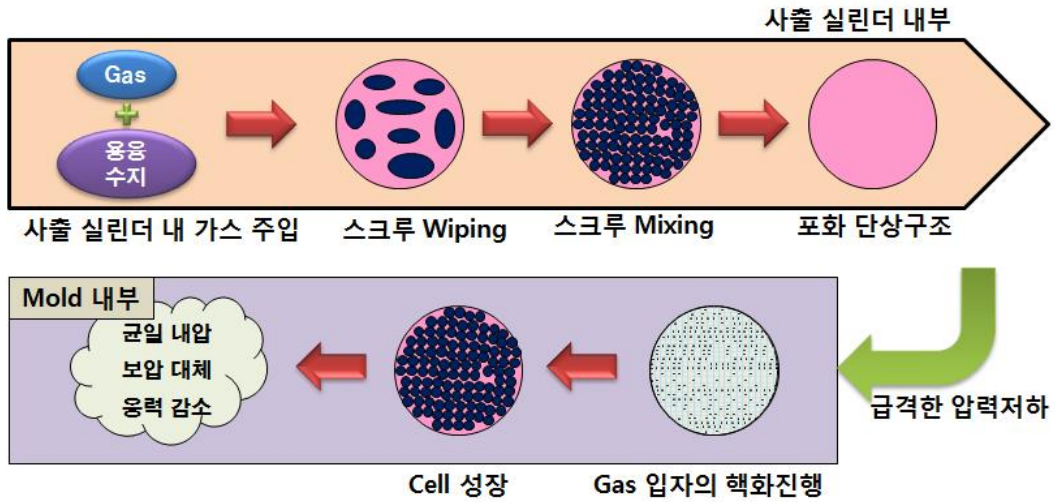


그림 2.4 뮤셀 사출성형에서의 셀 형성 과정

첫 번째 단계는 초임계 유체를 실린더에 주입하는 단계로 고분자와 기체의 분리된 두상으로부터 초임계 유체가 빠른 속도로 고분자 수지내부로 용해되어 들어가 균일한 단일상의 혼합물을 생성 한다.

두 번째로 발포 셀이 형성되는 단계로써 순간적인 압력강화가 일어나면 고분자/초임계 유체는 더 많은 셀을 형성 한다. 압력강화는 한정된 시간에서 일어나므로,

더 빨리 압력강화가 일어날수록, 더 큰 열역학적 불안정성이 유도되어 더 많은 수의 셀이 형성 된다. 그러므로 균일한 발포셀의 형성을 위하여 빠른 압력강화가 필요하다.

세 번째로 셀 성장 단계로 두 번째 단계에서 형성된 셀이 고분자 계에 용해되어 있는 가스가 셀 내부로 분산함으로써 발포셀이 성장한다. 셀이 형성하고자 하는 제품의 부피에서 더 많은 수의 작은 셀을 형성하기보다 작은 수의 더 큰 셀을 형성하려고 하므로, 정확한 온도와 압력의 제어가 요구된다.

마지막으로 셀의 성형단계로 셀의 안정화를 나타낸다. 금형에 주입하여 성형하는 단계로 일반적인 사출에 비하여 수지의 점도가 낮으므로 스프루(Sprue)와 러너(Runner)에 대해 설계 시 고려되어야 한다.

초임계 유체를 이용한 발포 사출성형의 장점으로는 화학적 발포제를 사용하지 않고 초임계 상태의 질소가스를 수지와 혼합함으로써 수지의 외관상 점도가 저하(외관상 점도는 증가)하기 때문에 수지의 유동성이 비약적으로 향상되며 이산화탄소가 발생하지 않은 친환경적인 공정이다[34].

초임계 유체를 이용한 발포를 통하여 성형품의 경량화를 이룰 수 있기 때문에 재료비를 절감할 수 있으며, 자동차 부품으로 이용시 자동차의 연비를 향상 시킬 수 있다[35,36].

사출성형시에 고분자 수지와 초임계 유체가 혼합됨으로써 수지의 점도가 낮아짐으로 사출압력을 낮출 수 있으며, 결과적으로 수지의 가공온도와 금형온도를 낮출 수 있다. 낮은 사출압력, 수지온도, 금형온도로 인하여 사출성형품 생산시 운영비를 절감할 수 있으며, 금형마모를 최소화할 수 있다. 보압 시간을 없애고 냉각시간 최소화를 통하여 사이클 타임(Cycle time)의 감소를 가져와 생산성 증가를 가져온다. 주로 금형 내에서의 냉각시간 단축이지만, 대폭적인 성형 사이클의 단축을 기대할 수 있으며, 전체 20 ~ 50% 사이클 타임 단축이 가능 하다. 이런 사이클 타임을 단축시켜 보압 시에 기포생성, 균일내압, 균일수축, 잔류응력을 감소할 수 있다.

후 변형 감소로 인하여 제품의 치수안정화를 가져올 수 있으며, 금형내에서 압력이 개방됨으로써 초임계 상태에서부터 기체로 변하여 발포하는 상태가 되기 때문에 금형 내면과 수지의 밀착도가 높고 통상의 미발포 성형으로 생기는 냉각시 수지의 밀도변화에 의한 싱크마크가 없어 효율적으로 냉각이 가능하다. 저압 사출로 인한 잔류 응력 제거로 휨 및 뒤틀림 불량방지, 치수 정확도 및 제품 디자인의 유연성이 획기적으로 개선된다.

일반 사출성형은 대형 및 박막에 한계가 생기고 다양한 불량이 발생하며, 재료, 제품 설계, 금형 설계에 있어 제약되며 사출압력이 높은 문제점이 발생한다. 이에 반해 무셀 기술은 작은 발포셀로 박막제품에 적용이 가능한 특성을 가지고 있다. 무셀 사출성형 기술에 있어서 성형품의 중량 절감은 수지 소요량 10~20% 절감 및 중량 감소 4~17% 효과가 있다.

성형품의 내부에 미세한 기공을 형성하여 제품의 중량을 절감하는데 가스량의 조

절로 최대 50%까지 중량 절감이 가능하다. 제품의 표면은 솔리드(Solid) 구조로 형성되어 있으며, 코어층은 미세한 기공으로 형성되어 있다. 균일한 내압으로 잔류응력이 감소하고 균일 수축으로 변형을 감소시키며 품질을 효과적으로 올릴 수 있다.

표 2.1 관련 사출성형법 비교

성형법	상태	성형방법비교	단점	장점
가스 인젝션법	부분적 중공	성형직후, 냉각 고화 전 금형내 용융수지 내에 가스 주입으로 부분적 중공을 형성	·가스 주입 장치 필요 ·특허 승인 계약 필요 ·부분적 중공으로 경 량화율 낮음 ·박육품에 적용어려움 ·장치가 고압가스법에 해당	·함몰방지 ·경량화 5~10% 정도 ·강도향상
화학발포제에 의한 발포	발포 80~150 $\mu\text{m}$	발포제를 드라이 블 랜드하여 발포제 혼 입 수지로 일반 사출 성형 방법	·환경에 영향 미치는 가스 발생 ·강도부재에는 쓸 수 없음 ·외관이 나쁨 ·박육화가 곤란 ·성형 사이클이 길어짐	·일반 성형기로 대응 가능 ·경량화 5~50% 정도 ·단열/차음 효과
Mucell에 의한 발포	발포 20~50 $\mu\text{m}$	초임계 유체를 사출 성형기의 실린더내에 주입하여 발포체를 얻는 성형방법	·가스 주입 장치 필요 ·특허 승인 계약 필요 ·특수한 사출성형기 필요 ·외관이 나쁨 ·장치가 고압가스법에 해당	·경량화 ·에너지 절약(형체력과 사출압력 저감) ·함몰/왜곡방지 ·성형 사이클 단축 ·저온형성 ·수지 유동성 향상 ·화학발포제나 프레온 류가 없는 프로세스

## 2.3 뮬셀 사출성형 공법에 사용되는 수지 특성

### 2.3.1 ABS 수지 특성

ABS수지는 아크릴로 니트릴(nitrile), 부타디엔(Butadiene) 및 스티렌(Styrene)의 3성분으로 이루어져 있으며 내충격성 열가소성 수지의 총칭이며 이들 세 성분의 머리글자를 취하여 ABS수지 혹은 ABS Tert-폴리머라고 한다[37-41].

ABS 수지는 유리상 폴리머인 ABS 수지의 연속상에 BR, SBR, NBR 등의 고무상 폴리머가 미세하게 분산한 2상 불균일계의 구조를 갖는 폴리머 블랜드이다. 이 수지 고무의 2상 구조는 HI폴리스티렌과 전적으로 동일한 것으로서 ABS 수지는 내충격성 AS 수지 또는 합성고무 강화 AS 수지라 하고, AS 수지는 스티렌에 아크릴로 니트릴을 공중합시킴으로써 폴리스티렌의 뛰어난 투과성, 가공성, 전기적 특성을 유지하면서 그 기계적 강도, 내열성, 내유성, 내후성 등을 개선한 것이다. 그러나 내충격성은 반드시 만족할 만한 것만은 아니다. 폴리스티렌의 취약성은 합성고무와의 블랜드 혹은 그래프트 중합체인 HI폴리스티렌에 의해 일단 해결되어 있으나, 이 경우 내열성, 강성이 부족하다는 단점이 있다.

이와 같이 공중합 및 합성고무강화라는 2개의 수단을 조합함으로써 폴리스티렌의 단점 및 AS 수지 혹은 HI폴리스티렌에 있는 단점을 한번에 해결한 것이 ABS 수지이다. 따라서 ABS 수지는 그 제조법의 성장 모두가 HI폴리스티렌과 유사하고, 최초의 ABS 수지인 KRALASTIC가 U.S. Rubbet사의 Naugatuck Chem, Div.에 의해 발표된 것은 1974년 이였지만, 현재의 ABS 수지는 그래프트 형이 그 주류를 이루고 있다. ABS 수지는 미국에서는 아주 오랜 역사를 갖고 있는데 이 수지가 본격적으로 발전을 본 것은 일본에서 1963년 생산을 시작하여 그 수요량이 해마다 급격히 증대하여 현재 대표적인 내충격성 열가소성 수지의 자리를 차지하고 있다.

ABS 수지의 기본적인 제조법은 블랜드법, 그래프트법 및 이 양자를 병용하는 그래프트 블랜드 복합법 세가지로 구분된다. 사용하는 수지의 조성 및 분자량, 고무의 종류, 조성, 입자지름, 가교도, 그래프트율, 수지와 고무와의 비율 등을 바꿈으로써 혹은 제 4의 새로운 성분을 첨가함으로써, 그 성질을 대폭적으로 바꿀 수 있다. 다시 말해 ABS 수지는 용도에 따라서 거기에 적합한 특성을 갖는 재료를 광범위하게 또는 자유롭게 만들어 낼 수 있다.

ABS 수지의 특징은 제일 먼저 인장강도(Tensile strength) 나 강성(Stiffness)에 대한 저하 없이 뛰어난 내충격강도 특히 저온에서 최고의 충격강도를 가지며 열변형 온도가 높다는 장점이 있다. 그밖에 전기적 성질, 내화학약품성, 내유성이 뛰어나고 가공 적응성도 좋으며 사출성형, 압출성형, 진공성형, 취입성형, 캘린더 가공 등 모든 성형법이 적용될 수 있다. 또한 치수안정성, 내크립성, 내스트레스 크래킹성이 뛰어난 광택의 좋은 성형품을 얻을 수 있다. 또한 ABS 수지는 모든 플라스틱 중에서 가장 도금하기 쉬운 재료라는 것도 큰 특징 중 하나이다.

ABS 수지를 구성하는 세가지 성분의 특성, 즉 스티렌의 광택, 전기적 성질, 성형

성, 아크릴로 니트릴의 내열성, 강성, 내유성, 내후성 및 부타디엔의 내충격성에서 유래하는 것이지만 ABS 수지는 이들 세 성분의 단순한 혼합물이 아니라, 이들 세 성분이 교묘한 구조로 결합되어 저마다의 특성을 잘 발휘할 수 있다는 것도 중요한 장점이다.

ABS 수지의 위와 같은 성형재료로 뛰어날 뿐만 아니라 다른 수지와 의 상용성이 좋기 때문에 다른 수지의 개질 보강재로서 이용할 수 있다. 그 중에서도 염화비닐 수지와 블렌드는 특히 중요하며, ABS 수지의 용도에서 커다란 분야의 하나이기도 하다. 염화비닐수지에 ABS 수지는 5 ~ 20%를 블렌드면 뚜렷하게 충격강도가 향상되고 인장강도, 경도는 그다지 변하지 않지만, 열변형 온도는 크게 상승하고 가공성도 개선된다. 이와 같은 것은 보통의 가소제나 니트릴 고무와의 블렌드에서는 불가능한 일이며, 그야말로 타 수지에 비해 주목되는 현상이다.

여기서 중요한 점은 블렌드에 사용한 ABS 수지의 종류 및 사용하는 염화비닐수지의 분자량에 따라서 그 효과에 큰 차이가 나타난다는 것이다. 따라서 사용 목적에 따라 그레이드를 선택하는 것이 중요하다. 이는 블렌드용에 한하지 않고 다른 ABS 수지에 대해서도 고려되어야 한다.

ABS 수지는 PVC 이외에 폴리카보네이트, 폴리우레탄, 나일론 등과의 블렌드도 하고 있다[42-44]. ABS 수지는 각종 기계적 강도, 가공성, 가격 등 모든 점에서 균형이 잡힌 뛰어난 수지이지만 결코 만능은 아니다. 투명성, 내후성 등에 약간의 문제가 있다. 앞에서 언급했듯이 ABS 수지는 연속상에 고무의 미립자가 분산된 2상 불균일계의 구조를 갖고 또한 그 구성 성분인 수지와 고무의 굴절률이 다르기 때문에 이 계면에서 빛의 굴절, 산란이 일어나며 그 결과 본질적으로 불투명이 된다. 따라서 이와 같은 블렌드 폴리머를 투명하게 하기 위해서는 수지와 고무의 굴절률을 어떤 범위내로 하든가 혹은 고무입자의 크기를 가시광선의 산란이 일어나지 않을 정도로 작게 하면 된다.

ABS 수지에서 SBR를 고무성분으로 하고 여기에 그래프트(Graft) 및 수지(Resin) 성분으로서 스티렌, 메틸메타아크릴레이트를 조합시킴으로써 양자의 굴절률을 상당한 정도까지 일치시킬 수가 있고 수지를 투명화 할 수도 있다. 이와 같은 수지에 의해 현재는 대체로 폴리카보네이트와 같은 정도의 투명성을 갖는 ABS 수지가 투명등급으로써 시판되고 있다.

ABS 수지의 성형가공법은 그 주성분인 스티렌(Styrene)에서 이어받은 것으로 매우 뛰어나다. 단지 폴리스티렌에 비해 유동성이 약간 뒤지고 약간의 흡습성이기 때문에 성형전에 예비건조가 필요하고 약간의 차이는 있지만 이러한 여러 점들은 HI폴리스티렌 AS 수지와 같다. 아무리 성형성이 뛰어나고 또 내충격성, 강성, 내열성, 표면광택 등이 뛰어난 성질을 함께 가진 ABS 수지라 할지라도 성형조건이 적당하지 못하면 그 본래의 성질을 충분히 발휘할 수 없다. ABS 수지의 성형법의 다른 스티렌계의 수지와 같이 사출성형이 중심이며, 그밖에 압출성형, 진공성형, 취압성형, 발포성형 등이 중요한 성형법이지만 최근 2Layer 사출, 회전성형 등의 기술에도 적용되

고 있다.

이러한 ABS의 응용분야를 보면 에어컨, 청소기, 세탁기, 캠코더 등의 가전제품 대부분을 차지하는 전기·전자 분야는 노무비 증가와 품질 경쟁력 약화로 어려운 입장에 있으나 중국, 특수 선진국의 완만한 경기 회복 및 국내가전제품의 대형화 보급률 증가로 꾸준한 상승세를 유지해 왔다. 일반 ABS를 고풍택, 저광택, 무광택 ABS 등이 요구되는 시장으로서, 그 외 통신기기분야에서는 전화기, 팩스, 퍼스널 컴퓨터의 모니터, 타이프 라이터, 플로피 디스크, 이동전화 및 노트북 등이 주된 사용처로서 주로 다품종 소량 생산 위주이며 사무자동 및 컴퓨터의 보급 및 확대, 이동 전화기의 급속한 보급에 힘입어 높은 수요증가가 되어 왔다. 자동차 분야의 경우 내열, 초내열, 도금, 무광택 ABS 등이 계기판 콘솔박스 후사경 및 방열기(Radiator)그릴 등 내·외장 분야에 폭넓게 사용 되고 있다. 연비 증가를 위한 차량 경량화를 위해 자동차 차체 부품에 수지 대체 및 공기저항을 감소시키기 위해 중공 성형용 ABS로 제작한 에어스포일러(Air-spoiler) 부착과 아울러 차량 보급 댓수의 급속한 증가 등 ABS 수지의 증가 요인이 크지만 근래 내열 및 복합PP와 EP 등의 꾸준한 용도 확대로 일부 시장을 잠식당해 향후 ABS 수요 증가는 차량 댓수 증가만큼 커지지는 않을 것으로 판단된다.

문방구, 레저용품, 유아완구, 실내장식 및 화장품 용기 등의 잡화분야는 완만히 성장하고 있다. 현재 미국에 활발히 용도 확대 되고 있는 건축자재 분야는 파이프 및 피팅(Fitting)류가 대부분으로 국내에서는 거의 용도가 개발되어 있지 않는 분야이다. 파이프 이외에도 조립식 주택의 부엌 가구 압출품과 각종용기 제작용 중공성형 기술 등 향후 높은 수요증가가 예상되는 분야로 고충격 및 내화확성 ABS 제품이다.

### 2.3.2 폴리카보네이트(PC) 수지 특성

PC 수지는 폴리카보네이트로 밀셀 사출성형 공법에서 ABS 수지와 혼합하여 많이 사용되고 있다. 이 수지는 투명하고 자소성을 띄며 기계적 성질, 내열성, 내한성, 전기적 성질 등을 고루 갖추고 있는 플라스틱 제품이다.

폴리카보네이트 수지는 잘 깨어지고 변형되기 쉬운 아크릴 및 일반 판유리의 대용재로 제너럴 일렉트릭(GE)사에서 개발한 것으로 제품으로 열가소성 플라스틱의 일종으로 수지층+유리섬유층+수지층으로 구성된다. 폴리카보네이트는 시원한 평면 연출, 자연스러운 곡면 시공, 다양한 열가공 제품의 응용 등 언제 어디서나 다양한 용도로 사용할 수 있다. 또한 내충격성, 내열성, 내후성, 자기 소화성, 투명성 등의 특징이 있으며, 강화유리의 약 150배 이상의 충격강도를 지닌 폴리카보네이트는 유연성 및 가공성이 우수하다. 플라스틱 재료는 일반적으로 충격강도와 항장력의 균형이 맞지 않으나, 폴리카보네이트 수지는 이 두가지 모두 높은 값을 나타낸다. 또 크리프 특성이 뛰어나고 특히 고온에서 우수하다. 하중 굴곡 온도도 가장 높은 분류에 속해 있으며, 하중의 대소에 의해 하중의 굴곡 범위가 큰 폭으로 변화하지 않는 특성을 가지고 있다. 저온 특성도, 투명성, 내후성이 우수하며, 전기적 성질도 뛰어나고 온도, 주파수에 의한 변화도 적으며 흡수율이 작기 때문에 습기의 영향을 받지 않는 특성을 가지고 있다. 과학적 성질은 알코올, 기름, 약산 등에 안전하고 잘 깨지고 변형되기 쉬운 아크릴의 대체 재료로 사용되며, 일반 판유리의 보완재인 폴리카보네이트 시트는 건축 신소재로 여러 분야에서 활용되며, 내구성과 황변현상 방지를 위해 불소 수지를 피막하기도 한다.

폴리카보네이트 수지의 용도로는 천장, 캐노피, 건축물의 연결통로, 건물 및 거실, 공장 등의 채광 재료 및 지붕 재료, 고층 아파트의 창호 및 안전유리, 박물관, 병원의 창, 수영장, 실내체육관 지붕, 사격장 수족관 및 식물원 온실, 동물원의 울타리, 방탄 및 방음벽, 자외선 차단 구역, 각종 약품 저장소, 버스정류장의 대기소, 주유소 캐노피, 공중전화 박스, 자동판매기 및 진열장, 실내칸막이, 실내·외 샤인 보드, 자동차의 내장재 등 사용 범위가 넓다.

## 2.4 사출성형 공정 및 사출결합 특성

### 2.4.1 사출성형 공정 특성

사출성형공정은 고분자를 용융시켜 금형의 캐비티(Cavity)에 높은 압력을 가하여 채워 넣음으로서 제품을 생산하는 일련의 공정을 말한다. 사출성형공정은 가소화 단계, 충전 단계, 보압 단계, 냉각 단계, 취출 단계로 이루어져 있으며 공정변수로는 사출온도, 금형온도, 사출압력, 보압 등이 있다.

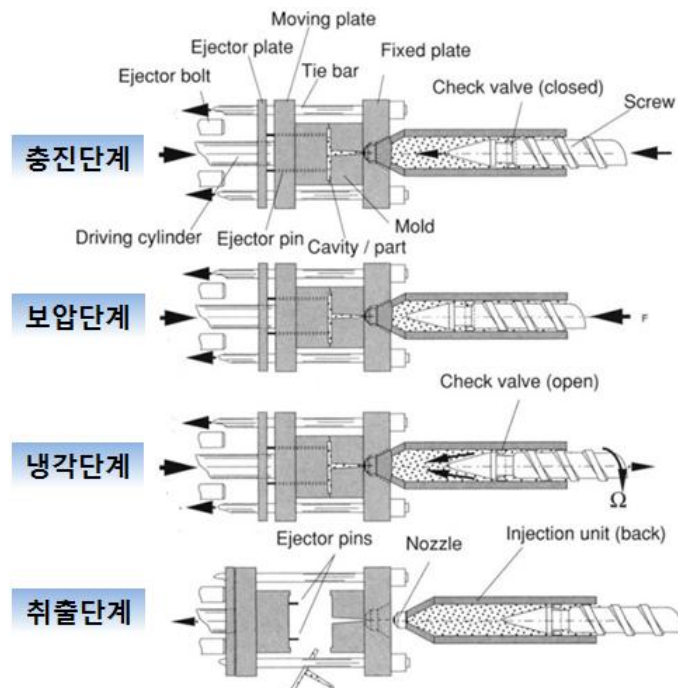


그림 2.5 사출공정 개략도[54].

가소화 단계(Plasticization Phase)는 플라스틱 재료에 열이나 압력을 가해 유동하기 쉽게 만드는 것을 가소화 또는 계량이라 한다. 고체상태의 고분자가 호퍼에 주입되고 실린더내의 스크류의 전단력과 히터의 열로 인해 용융되는 단계를 가소화 단계라고 한다. 공정인자는 재료의 온도 및 계량 속도, 스크류 회전수, 배압, 배럴 온도 등에 의하여 결정된다.

충진 단계 (Filling Phase)는 스크류의 회전이 멈추고 유압실린더가 작동되면서 스크류가 직선 운동을 하는데 실린더 끝은 노즐을 통하여 수지가 금형으로 이동한다. 수지는 스프루(Sprue), 러너(Runner), 게이트(Gate), 캐비티(Cavity) 순으로 흘러 들어간다. 이와 관련된 공정인자로서는 배럴(Barrel)온도, 사출압력, 사출속도, 사출시간 등이 있다. 배럴온도는 수지의 종류에 따라 다르지만 용융수지의 충전이 어려운 얇은 성형품, 제품형상이 크고 유동거리가 길 때나, 표면 광택이 요구될 때는 일반적으로 배럴온도를 높게 설정하여 유동저항을 작게 한다. 그러나 극단적으로 높이는 것은 수지의 열분해를 일으킬 수 있으므로 주의해야 한다. 사출압력과 사출속도는



캐비티 내의 수지온도, 밀도, 표면광택, 성형수축, 잔류응력 등의 발생에 영향을 미침으로 사출조건을 고려하여야 한다[45].

또한 온도와 전단률의 변화에 따른 점성의 변화와 실제 압력과 온도에서 제품의 형상을 고려한 유동 패턴을 이해하는 것이 중요하다. 금형의 캐비티내 유입된 수지는 금형의 차가운 벽에 접촉하여 그 벽면을 따라 고화층(Frozen Layer)을 형성하게 되며, 더 이상의 유동이 일어나지 않는다.

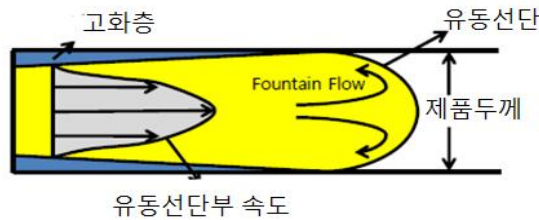


그림 2.6 캐비티 내 수지의 유동선단[54].

보압 단계(Holding Phase)는 금형 내에 들어간 수지가 용융상태에서 식으면서 부피가 줄어들게 되는데 그것을 보충해 주는 압력을 보압 또는 유지압이라 한다. 적절한 보압 과정은 체적 수축의 보상과 역류 방지뿐만 아니라 성형품 내부의 압력분포를 균일하게 하기 위하여 게이트에서의 압력이 집중되지 않도록 고려되어야 한다. 보압이 낮게 작용하면 성형품의 표면에 싱크마크나 내부에 기포가 발생, 수지가 역류하여 수축의 문제가 발생 할 수 있다. 너무 높은 보압이 작용하게 되면 플래시(Flash)현상이 발생하므로 보압의 세기와 유지 시간이 적정하게 작용되어야 한다. 게이트가 고화할 때 까지 작용하는 보압은 냉각과 함께 성형품의 변형, 수축률, 내부 응력등 물성에 미치는 영향이 크므로 아직도 많은 연구가 진행 중에 있다[46].

냉각 단계(Cooling Phase)는 금형내에 들어간 용융된 상태의 플라스틱을 고체 상태로 만드는 것을 냉각이라 하며, 냉각시간은 사이클 타임에서 70 ~ 80%를 차지 할 정도로 가장 큰 영향을 미친다. 냉각단계와 관련된 성형인자로는 금형온도와 냉각 시간이 있다. 금형을 냉각시킨다는 것은 고온으로 주입된 수지의 온도를 금형 밖으로 배출하는 것이며, 이를 위해 냉각수는 항상 금형 내부를 순환하고 있어야 한다. 냉각은 금형의 냉각수 라인으로 냉각이 진행되며 금형 벽면을 통하여 대류와 복사가 진행되어 제품 취출 가능 온도까지 온도를 내린다. 충분히 냉각하면 성형품의 변형을 작게 할 수 있으나 사이클 시간이 길어지고 금형으로부터 제품 취출이 좋지 않게 된다. 냉각시간이 짧을 경우에는 성형품이 충분히 고화되어 있지 않으므로 이 형에 의한 외력으로 변형을 일으키거나 치수 안정성이 나빠질 뿐만 아니라 금형이 열릴 때 이미 변형되어 재현성이 떨어질 우려가 있다.

취출 단계(Ejecting Phase)는 냉각이 완료되면 금형의 캐비티측과 코어(Core)측이 분리되고 이젝터 장치가 제품을 밀어내어 제품을 취출 한다. 형개폐 과정은 최소화 하는 것이 좋으며 과도한 형개폐 시간은 불균일하고 과도한 냉각으로 제품 변형의

원인이 될 수 있다. 성형품의 품질저하에 영향을 주는 성형조건에 있어서는 수지온도, 사출속도와 압력, 균일한 냉각에 의해서 형성된다. 이러한 관계에 있어서 문제가 야기되고 있는 것이며 성형품의 형상, 크기, 사용재료에 따라 성형성은 더욱 복잡하게 되어 각 성형품별로 표준화를 하여야 한다. 또한 밀핀의 힘 또한 제품 표면의 변형 원인이 되므로 적절히 설정하여야 한다.

## 2.4.2 사출결함 특성

성형불량은 사출성형기의 기능 부족, 성형조건의 부적절, 금형 자체의 결함, 원료 수지의 결함, 제품 설계상의 결함 등과 같은 원인으로 주로 발생하며 그 외의 원인으로 발생 할 수 있다.

### (1) 플로우 마크(Flow Mark)

플로우 마크는 금형 내에서 수지가 흐르는 자국이 게이트를 중심으로 하여 얼룩무늬가 나타나는 현상으로 사출성형 시에 캐비티내에서 낮은 수지온도와 금형온도, 낮은 사출속도로 인하여 수지가 균일하게 냉각하지 않고 고화하지 못하기 때문에 발생하는 현상이며 용융수지의 흐름 흔적이 줄무늬 모양, 파상 또는 흐름 줄무늬로 되어 나타난다. 플로우 마크 형성은 외부표면층의 냉각은 금형표면 근처의 유동선단에 냉각을 일으키고 또한 낮은 사출속도에 의해 냉각이 되면 고화된 유동선단의 수지가 바로 전의 유동에 장애를 줄 수 있다. 따라서 그 다음의 용융 수지가 보통 때와 같이 금형표면으로 향하지 못하여 외부 층 부위가 금형벽면과 접촉하지 않으면서 플로우 마크가 형성된다. 플로우 마크의 원인은 수지의 점도가 너무 클 경우, 수지의 온도가 불균일할 경우, 금형온도가 부적합할 경우 등에서 나타난다.

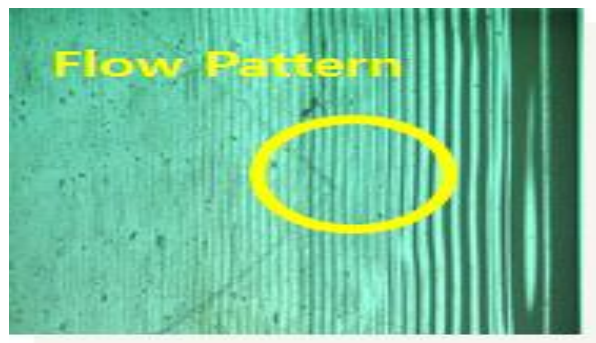


그림 2.7 플로우 마크(Flow Mark) 결함[45].

### (2) 충전 불량 (Short Shot)

성형품의 일부가 부족한 현상으로 일반적으로 수지의 유동성이 부족하기 때문에

금형 전체에 수지가 미치지 못하여 일어나는 경우가 많다. 충전불량의 원인은 사출되는 수지량이 너무 적을 경우, 에어벤트(Air Vent) 문제로 수지흐름에 지장을 받을 경우, 사출압력이 충분하지 못할 경우, 낮은 사출속도에 의하여 수지 충전시 유로의 고화가 빠를 경우, 금형온도가 낮아서 수지 유로의 선단부가 고화가 일어날 경우 등이 있다.



그림 2.8 충전 불량[65].

### (3) 웰드 라인(Weld line)

웰드라인은 두 개 혹은 그 이상의 전단부가 만나거나 합쳐질 때 생기거나 구멍부나 얇은 부위가 존재하는 성형품의 경우, 수지의 합류가 일어나거나 제품두께가 일정하지 않은 경우에 발생한다. 웰드라인은 외관상 흔적을 남기며 일반 사출품과 다른 조직형태와 특성을 가지고 있어서 강도상의 많은 차이점을 가진다. 웰드라인의 원인은 수지의 흐름이 부족한 경우, 공기 또는 휘발분이 있는 경우, 이형제에 의한 경우, 금형온도가 부적합할 경우 등이 있다.

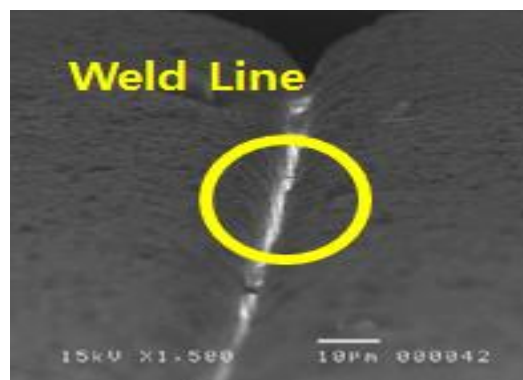


그림 2.9 웰드 라인(Weld line) 불량[65].

### (4) 싱크 마크(Sink Mark)

Sink Mark는 성형품의 외측 벽이 불충분한 냉각 때문에 충분히 안정되지 못하면 냉각 응력에 의해 표면층이 안쪽으로 빨려 들어오는 결함이다. 이것은 수지의 성형

수축에 의한 것으로 제거하기가 곤란하다. 싱크마크의 형성 원인은 금형내에서 수지의 고화가 너무 늦을 경우, 유효 보압 시간이 너무 짧을 경우, 금형내의 유동저항이 너무 높기 때문에 충분한 보압이 전달되지 못한 경우, 제품두께가 균일하지 못할 경우 등이 있다.



그림 2.10 싱크 마크 결함[65].

#### (5) 제팅 마크(Jetting Mark)

제팅 마크는 금형의 캐비티내 수지 유동 선단이 미처 생기지 못하여 발생하는 현상이다. 제팅 마크의 형성과정은 수지 줄기는 게이트에서 시작하여 제어되지 않는 운동 하에 캐비티내로 들어가고 수지 줄기는 어느 정도 냉각되어 나머지 수지와 불균일하게 융합되어 발생한다. 제팅 마크의 생성 원인은 수지의 점도가 높을 경우, 금형온도가 부적절한 경우, 금형설계가 부적절한 경우 등이 있다.

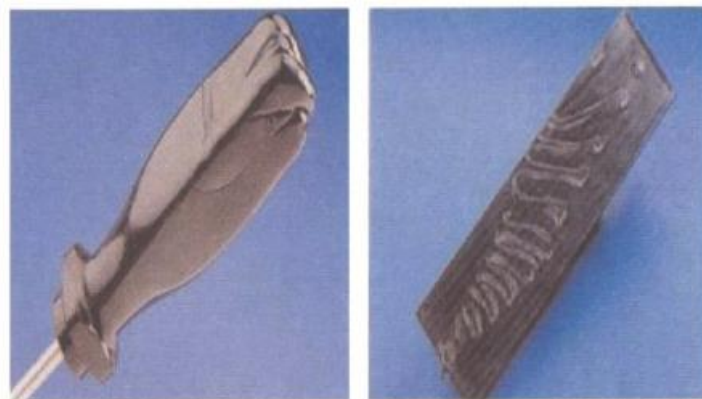


그림 2.11 제팅 마크 결함[65].



### 제3장 전류가열 금형을 이용한 뮤셀공법 사출성형 특성 연구



### 3.1 서론

사출성형공정은 개발 중 빈번한 금형 수정으로 인해 금형의 품질이 저하되며 금형 제작비용이 상승한다. 사출성형의 특성상 제품의 결함은 시험사출이나 생산과정에서 밝혀지는 것이 보통이다. 그 결과 품질의 균일성 확보가 어렵고 문제 해결에 많은 비용이 들며 시행착오의 반복으로 개발기간이 연장되어 제품생산이 지연되는 경우가 많다. 따라서 CAE(Computer Aided Engineering) 기술을 접목시켜 사용하면 제품이 제조되기 전에 개발 및 생산과정에서 예상되는 모든 문제점들을 미리 분석하여 최적의 설계치를 얻을 수 있으므로 종래의 방법에서 빈번하게 발생하는 설계 변경, 금형수정, 시험사출 반복 등으로 인한 시간 낭비와 비용지출을 방지할 수 있고 품질을 향상시킬 수 있다.[47,48]

CAE는 제품 개발 중에 불확실 요인을 검증된 이론과 축적된 데이터를 이용하여 분석, 문제점을 사전에 제거함으로써 최적 설계를 이루는 기술이다. 제품설계는 물론 제품이 개발되고 제조되는 전체 과정을 최적화 하고 제어하는 것을 목적으로 한다. 금형설계와 가공, 사출성형기의 효과적인 운전과 사용하는 재료의 특성을 고려한 능동적인 선택이 포함된다. 설계도를 토대로 제품을 개발하는 과정에서 최종 제품의 강도나 기타 성능 면에서 설계자가 의도했던 특성이 유지될 수 있는지를 파악하기는 어렵다. 설계된 제품모델을 실제로 제작하기에 앞서 컴퓨터 안에서 수치해석을 통하여 상세히 분석하고 그 결과를 토대로 최적화 설계를 구현하는 시스템이 CAE라고 할 수 있다.[49,50]

CAE의 효과는 CAE기술을 사용하지 않을 경우와 비교하면 극면하게 대비된다. 보편적인 사출성형 제품 제조과정에서는 대부분의 경우 몇 번의 시행착오를 거치게 된다. 제품이 대형화되고 높은 정밀도가 요구될수록 시행착오를 범할 가능성은 증가한다. 이는 곧 개발기간의 지연과 제품의 원가상승으로 이어져 경쟁력을 떨어뜨리는 원인이 된다.[51]

최근에 사출성형해석은 제품의 경량 단순화, 신소재의 등장, 단납기 추세에 비추어 볼 때, 경험에 의한 시행착오적인 방법으로는 제품 개발의 납기 지연, 원가 측면의 손실 및 품질저하로 기업 경쟁력의 약화를 초래하고 있다. 사출성형해석 전용시스템들은 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최적재료의 선정에서 금형설계 양산단계에서 발생하는 문제점을 사전에 컴퓨터를 통해 검증함으로써 최적의 설계변수와 공정조건을 결정하고 성형불량의 진단 및 해결을 할 수 있다.[52,53]

본 연구에서는 상용 유한요소해석 프로그램인 Moldflow를 이용하여 사출금형에 전류를 급속 공급하여 가열하는 방식과 성형도중에는 전류 공급을 중단하고 냉각시스템을 작동하는 방식의 사출성형 시뮬레이션을 하였고, 사출성형해석시 소재는 무셀소재(PC+ABS+N<sub>2</sub>)를 이용하여 금형의 조건과 PC+ABS 소재에 질소가스의 공급 조건을 예측 하였다. 또한 사출성형해석을 통해 금형의 가열 온도 조건으로 무셀 특성을 분석하고, 이를 통해 충전, 냉각, 보압, 취출 후 제품 변형에 대해 검토 하였다.



## 3.2 해석 방법

### 3.2.1 유동 지배 방정식 (Flow governing equations)[54]

#### (1) 연속 방정식 (Conservation of mass)

연속 방정식의 물리적 의미는 질량보존의 법칙으로, 어떤 유로를 흘러가는 유체인 경우 유로의 어느 단면에서나 흘러가는 유량(Flow rate)이 항상 일정해야 한다는 것을 나타낸다. 고체인 경우는 재료가 변형되면서 서로 분리되거나 이탈되지 않는 것을 의미한다.  $\rho$ 는 밀도,  $t$ 는 시간,  $v$ 는 속도이다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V \cdot \nabla \rho + \rho(\nabla \cdot V) = 0 \quad (3-1)$$

#### (2) 운동 방정식 (Conservation of momentum)

운동 방정식은 고체가 힘을 받아 변형을 일으키는 상황이나, 유체가 힘을 받아 유동하는 상황을 지배하는 방정식이다. 다만 고체와 유체에서의 응력의 방정식, 즉 구성 방정식이 다르며, 이 운동 방정식에서 밀도가 일정하게 점도  $\eta$ 가 일정하다면 이를 Navier-Stokes 방정식 이다.

$$\rho \left( \frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V \right) = -\nabla P + \nabla \cdot (\eta \nabla V + \eta (\nabla V)^T) + \rho g = 0 \quad (3-2)$$

#### (3) 에너지 방정식 (Conservation of energy)

열의 이동을 지배하는 방정식은 아래와 같고, 여기에는 대류(Convection)에 의한 열의 이동과 전도(Conduction)에 의한 열의 이동이 계산된다. 유체의 점성유동에서 기인된 열, 즉 전단발열(Shear heating)도 계산되며,  $C_p$ 는 비열,  $T$ 는 온도,  $k$ 는 열전도도,  $\eta$ 는 점도,  $\gamma$ 는 전단율,  $P$ 는 압력이다.

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + V \cdot \nabla T \right) = \beta T \left( \frac{\partial P}{\partial t} + V \cdot \nabla P \right) + \eta \gamma^2 + \nabla \cdot q = 0 \quad (3-3)$$

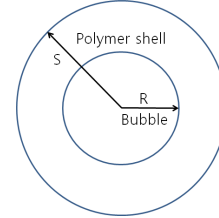
#### (4) 버블 성장 모델링 (Bubble Growth Modeling)

무셀의 사출성형시 가스가 주입될 때 유체가 성장하고 확산에 의해 계산된다.

$$4\eta R / \dot{R} = (P_g - P) - 2\sigma / R \quad (3-4)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{p_g R^3}{R_g T} \right) = \frac{6\rho^2 D k_h R_g T (p_{g0} - p_g)^2 R^4}{p_g R^3 - p_{g0} R_0^3} \quad (3-5)$$

$p_g$  : Pressure inside bubble     $P$  : The melt pressure  
 $\sigma$  : Surface tension                 $R_g$  : Universal gas constant  
 $R$  : Radius of the bubble             $R_0$  : Initial radius of bubble



### 3.2.2 플라스틱의 거동

#### (1) 점도의 정의

플라스틱의 점도(Viscosity)는 플라스틱이 흐를 때 이 흐름에 대해 느끼는 저항을 의미한다. 아래와 같이 책상위에 용융된 플라스틱이 있고 넓은 평판을 살짝 올려 놓은 상태에서  $V$ 의 속도로 움직일 때 책상 면과 넓은 평판 사이의 유체는 아래 그림과 같은 속도 장을 만들며 평판이 움직이는 방향으로 흘러갈 것이다.

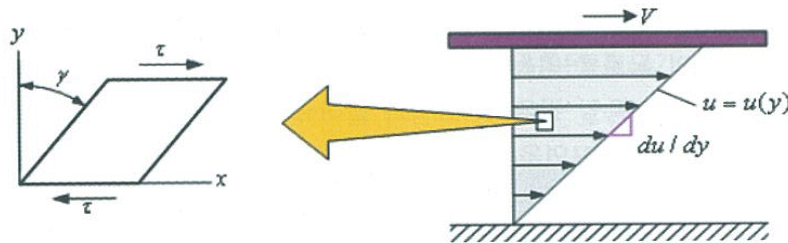


그림 3.1 상대속도 편차를 나타내는 전단율(Shear rate)[54].

힘이 평판 바닥과 평행하게 작용되기 때문에, 평판 면의 방향과 힘의 방향이 수직이므로 여기서 작용된 응력은 전단 응력이 된다. 이러한 전단 응력에 의해 형성된 플라스틱의 속도 장은 고정된 평판과 닿고 있는 플라스틱의 속도가 0이고, 속도  $V$ 로 움직이는 위판과 닿고 있는 플라스틱의 속도는 미끄럼이 없다는 가정하에  $V$ 이다. 이 때 용융 플라스틱의 내부에는 속도의 기울기가 존재하게 되는데 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\gamma = \frac{V}{h} \quad (3-6)$$

여기서  $h$ 는 두 평판 사이를 균등하게 잘랐을 때(위 그림에서 책상면과 넓은판

을 동일 간격으로 6개로 나눔) 그중 한 개의 거리이다. 만약 더 큰 힘으로 위 평판을 당기면 속도  $V$ 가 더 커지게 되므로 속도 기울기  $\gamma$ 는 더 커진다.

$$\tau \propto \gamma \quad (3-7)$$

만약 전단응력과 전단 속도 관계가 선형으로 비례한다면 비례상수를 도입하여 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\tau = \eta \frac{V}{h} \Rightarrow \tau = \eta \gamma \quad (3-8)$$

## (2) 전단 유동

플라스틱 수지는 사출 성형 공정 중에 금형 내부에서 층류 유동과 전단 유동을 한다. 유체 입자들이 평행을 유지하는 직선의 유로를 따라 움직이고(층류 유동) 흐르는 방향으로 미끄러지며 흐르기(전단 유동)도 한다. 평판 제품일 경우 아래 그림과 같이 중심층의 수지는 유동 선단에서 표면층으로 이동하기 때문에 유동 선단은 표면을 결정하는 중요한 지점이다. 표면 불량률의 주요 원인은 유동 선단의 속도와 온도가 균일하지 못하기 때문에 발생한다.

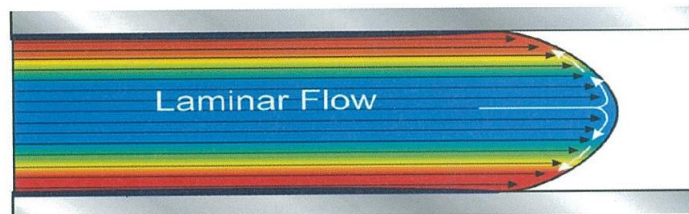


그림 3.2 전단 유동과 층류 유동의 플라스틱 흐름

아래 그림은 제품의 두께 방향으로 속도를 나타내고 있다. 중심층의 속도가 가장 빠르지만 속도 차이는 파란색으로 나타낸 것처럼 작고 표면층 근처의 속도 편차는 매우 크다. 그래서 아래 오른쪽 그림에 나타나 있는 것처럼 속도의 기울기를 나타내는 전단율을 보면 중심층은 작고 유동층과 고화층의 사이가 최대가 된다.

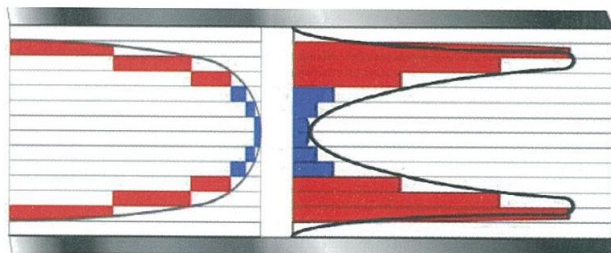


그림 3.3 두께방향으로 속도 차이 및 전단율

(3) 점도에 영향을 미치는 인자 : 온도, 전단율, 압력

플라스틱 수지의 점도는 온도에 의존한다. 온도가 높을수록 점도는 낮아지고 온도가 낮을수록 점도는 높아진다. 이는 높은 온도로 인해 고분자 상호간의 간격이 넓어지고, 상호 결합력도 낮아져 흐름성이 좋아지기 때문이다.

플라스틱의 종류에 따라 점도의 온도 의존성은 다르지만 플라스틱의 점도는 전단율에 영향을 받는다. 전단율에 의하여 흐름 방향으로 배향되는 것이 그렇지 않은 경우에 비하여 흐름성이 좋아지기 때문이다. 전단율 증가에 따라서 수지의 점도가 낮아지는 현상을 전단 담화 또는 전단 박하(Shear thinning)현상이라고 하고, 이 현상으로 제품의 두께가 얇은 박판 제품을 사출할 수 있다.

플라스틱의 종류에 따라 전단율 의존성도 다르지만 플라스틱의 점도는 압력에 영향을 받는다. 압력이 높을수록 점도는 높아지고 압력이 낮을수록 점도는 낮아진다. 이것은 높은 압력으로 인하여 고분자 상호간의 간격이 좁아지고 밀도가 높아져서 흐름성이 나빠지기 때문이다. 일반적으로 플라스틱 수지의 점도는 낮은 압력 영역에서는 압력에 크게 영향을 받지 않지만 높은 압력 영역에서는 크게 영향을 받는다. 아래는 본 연구에 사용된 Moldflow에서 열가소성 수지의 점도를 예측하기 위해 사용하는 Cross-WLF 모델이고, 수지의 점도를 모든 온도, 압력, 전단율 조건에서 측정할 수 없으므로 특정 조건에서의 점도를 필요한 개수만큼 측정하고 그 측정값을 이용하여 아래 수식의 상수 값들을 계산한다. 측정되지 않은 나머지 부분에 대해서는 완성된 Cross-WLF 점도 거동 모델을 이용하여 계산한다.

$$\text{Cross WLF Eq} : \eta = \frac{\eta_0}{1 - \left(\frac{\eta_0 \cdot \gamma}{\tau}\right)^{1-n}} \quad (3-9)$$

### 3.2.3 사출성형 해석 사이클(Cycle)

사출성형의 사이클은 형폐에서 시작되어 충전과정, 보압과정, 냉각과정, 취출과정 형개가정을 한 사이클이라 하고, 일반적으로 성형 사이클 중에서 가장 많은 시간을 보내는 공정이 냉각 과정이다. 충전시간의 비중이 전체 사이클 중 약 3~5% 정도 밖에 차지하고 있지 않는 반면 냉각시간은 50% 이상이 필요한 경우가 많다.

#### (1) 충전과정

충진과정은 스크류 구동장치에 연결되어 있는 유압실린더가 스크류 앞 부위에 모여있는 용융수지를 고압 및 고속으로 금형 캐비티 안으로 주입하는 과정입니다. 이때 스크류는 회전하지 않고 전진하여 용융된 수지를 스프루 부싱을 통해 런너와 게이트를 거쳐 캐비티 속으로 밀어 넣는 과정이며, 이 과정에 소요되는 시간을 사출 시간이라고 한다.

## (2) 보압과정

충전 과정에서 V/P 절환 점에 도달하면 스크류는 속도제어에서 압력제어로 바뀌게 된다. 이 동안에 금형은 냉각 작용으로 인하여 수지는 용융상태에서 고체 상태로 변화되면서 수축이 발생한다. 이 과정에서 줄어든 제품의 체적을 보상하기 위해 적당한 압력 즉 보압을 가하여 배럴에 남아 있는 여분의 수지를 캐비티 안으로 밀어 넣게 된다. 이 과정을 보압과정이라 한다.

## (3) 냉각 및 가소화과정

냉각 과정은 보압 과정을 통하여 압축된 수지가 충분히 고화되어 제품의 취출이 가능한 시점까지 대기하는 과정이다. 금형 내부에 설치된 냉각채널을 통하여 열전달이 일어나면서 성형품은 냉각이 되고, 성형품이 냉각을 하는 중에 스크류는 후퇴 회전 운동에 의하여 실린더의 수지를 가소화하게 된다.

## (4) 취출과정

성형품이 충분히 고화가 되면 성형품의 취출을 위해서 금형을 열게 된다. 적당한 거리로 금형을 연 다음 이젝트 핀 또는 압축공기 등을 이용하여 제품을 금형에서 탈착하게 되는데, 일반적으로 성형품은 두께 방향에 대해 취출 온도에 80% 이상의 고화가 되면 취출이 가능하며, 콜드런너의 경우 취출온도에 50% 이상 고화가 일어나면 취출하는데 문제가 없게 된다. 하지만 이것은 단순한 이론적인 수치일 뿐 변형량에 대한 공차에 벗어난다면 추가적인 냉각 시간이 필요하다.

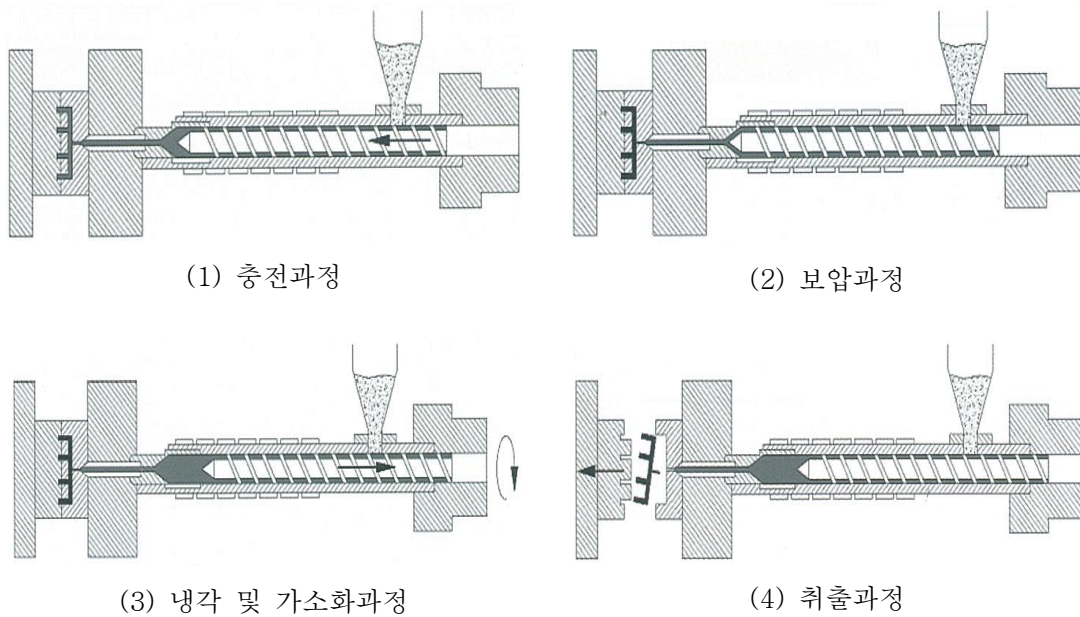


그림 3.4 사출성형 사이클

### 3.3 유동해석 및 경계조건

#### 3.3.1 유동해석 접근방법

본 연구에서 개발하고자 하는 센터 페이스(Center Facia) 부품은 자동차 내장부품으로 오디오, 네비게이션, 에어컨 및 히터 등을 조작하는 각종 버튼이 모여 있는 컨트롤 패널 가이드로 고객이 승차 후 계기판 다음으로 시선이 많이 집중되는 곳이며, 디자인이나 품질에서 높은 완성도를 요하는 중요 부품이다. 이를 기존 공법이 아닌 금형에 전류 가열과 PC+ABS에 N<sub>2</sub>를 주입하는 뮤셀 사출공법을 사용하여 개발할 예정이다.

유동해석 접근은 이러한 신 공법개발에 있어 조건에 따른 사출성형 특성을 알아보고 이와 같은 노하우(Know-how)를 금형 개발 및 시제품 사출성형 시 해석에서 발생한 특성을 분석하여 개발시간을 단축할 예정이다. 따라서 사출 유동해석의 경우 사출성형시 발생할 수 있는 많은 조건들을 발취하여 해석을 통해 간접 경험을 유도하고자 한다. 또한 사출 유동해석은 단시간에 많은 조건들을 해석하기 위해서 짧은 시간에 많은 결과를 얻을 수 있는 Test 해석모델을 설계하여 조건에 따른 특성을 분석하고 비용과 시간을 감안하여 본 연구의 대상 개발 부품 특성을 반영할 수 있는 금형을 통해 해석 결과를 반영한 실 금형을 개발할 예정이다. 이후 본 연구에서 개발할 센터 페이스 부품 금형개발을 최종 완료하는 것을 목적으로 하고 있다.

여기서 Test 해석 모델은 해석시간이 30분 내에 가능한 직경 15 mm, 두께 3 mm 원형 형상으로 설계 하였다. 본 해석에서 기존 공법(PC+ABS) 대비 뮤셀(PC+ABS)+N<sub>2</sub> 공법의 특성을 분석하고, 뮤셀공법의 경우 제품내 포화층을 형성함으로써 제품 경량화에 따른 사출성형 특성, 질소가능 농도에 따른 사출성형 특성 및 질소가스 포화 압력에 따른 사출성형 특성, 단위 체적당 포화된 셀 수에 따른 사출성형 특성 마지막으로 히팅(Heating) 및 쿨링(Cooling)에 따른 사출성형 특성을 분석하고자 하였다. 사출성형 해석은 약 20회 실시 하였다. 개발제품 검토해석 모델 사출해석의 경우는 본 연구에서 개발하고자하는 형상을 감안하여 자동차 내 풍량 조절 부품과 콘솔박스내 작은 부품으로 구성하였다. 이는 본 연구에서 개발하고자 하는 부품의 리버부내 포화 단상 구조를 알아보기 위함과 기존 사출성형 대비 성형성을 관찰하기 위함이다. 또한 개발 제품의 실패 손실을 줄이기 위해 기존 형상보다 작은 부품을 선택 하였다. 부품의 크기는 풍량 조절 부품으로 직경이 약 45 mm, 두께가 약 10 mm이고 콘솔박스내 작은 부품은 30×6×1 mm<sup>3</sup>되는 형상으로 해석 기간은 약 9시간 소요 되었다. 이는 실 금형을 제작하여 해석 결과를 반영하고 이에 대한 문제점을 분석한 후 본 연구에서 개발하고자 하는 부품 금형개발에 문제점을 줄이고자 하였다.

본 연구의 최종 개발 제품은 약 279×242×3 mm<sup>3</sup>의 금형 크기가 되는 형상으로 해석 시간은 약 48시간 이상 소요 될 것으로 판단되어 해석 시간 최소화를 위해 본 장에서는 개발제품 검토해석 모델을 통해 사출성형시 발생할 수 있는 모든 조건을 검토 하였다.

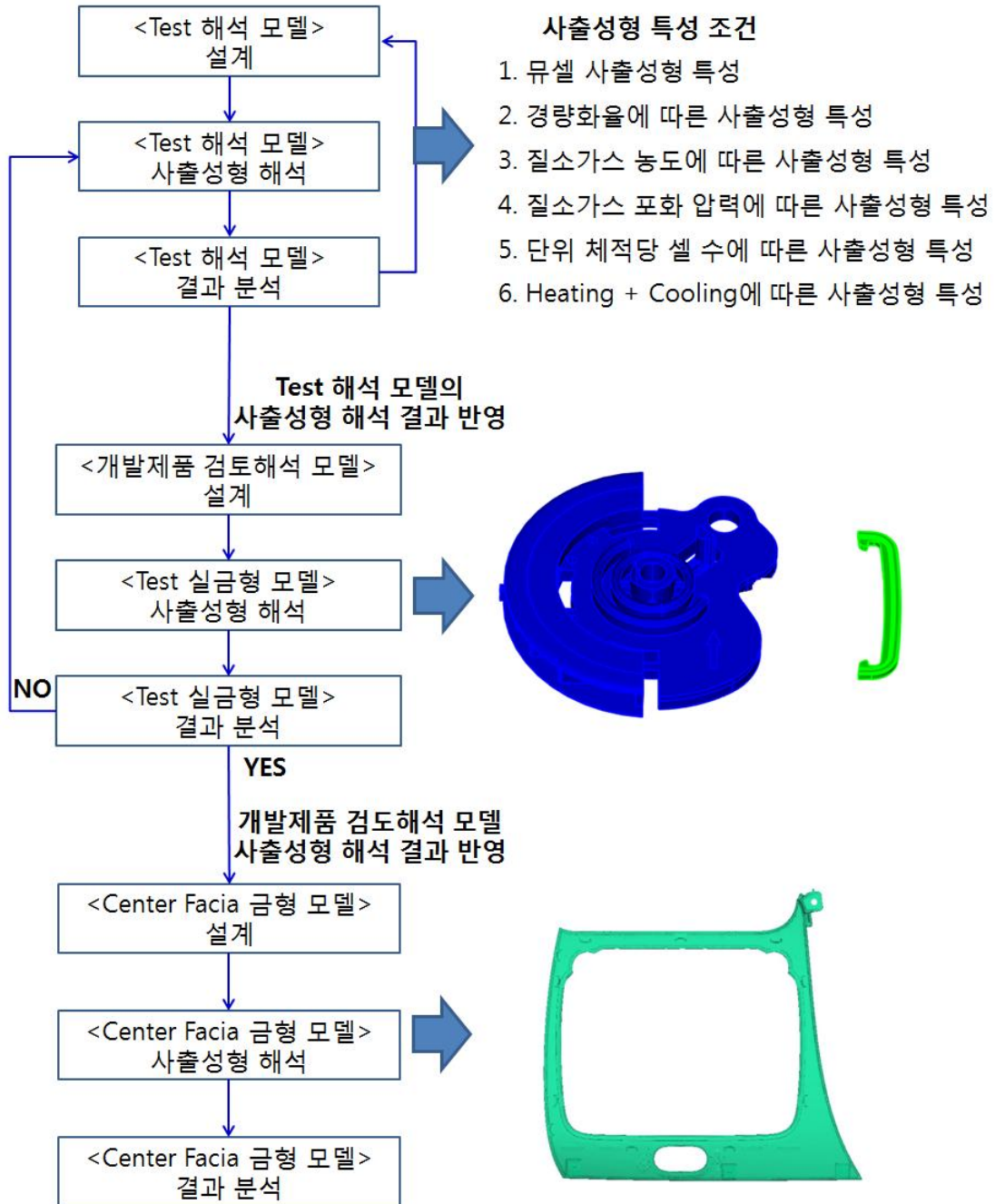
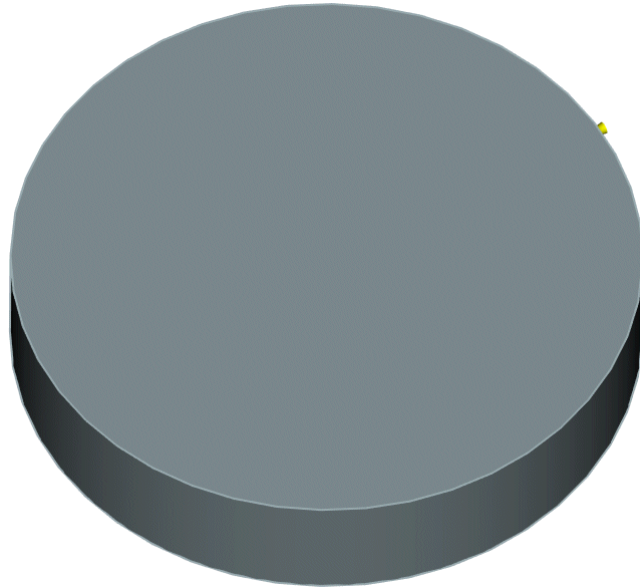


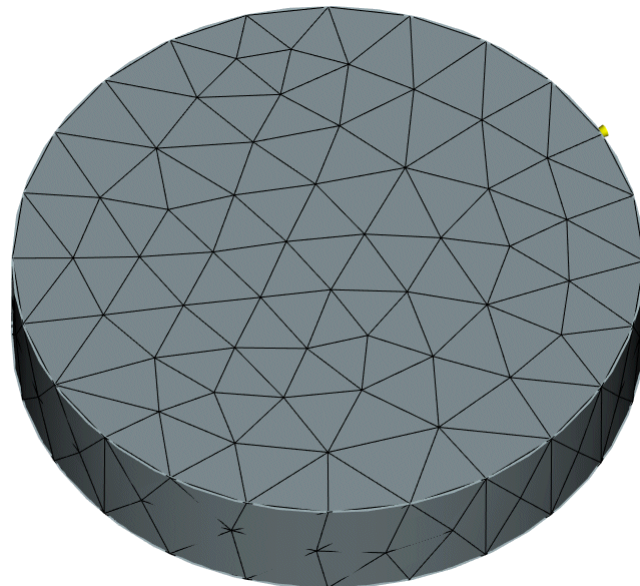
그림 3.5 사출성형 해석 사이클

(1) TEST 해석 모델

본 연구에서 사용된 테스트 해석 모델은 엘리먼트(Element) 수 2,638개, 금형 메쉬는 73,849개로 구성되어 해석 하였다. 해석 시간은 약 30분 안에 끝나도록 모델링 되었으며, 뮤셀에 대한 조건별 사출성형 해석을 통해 뮤셀 사출 특성을 분석하고 전류에 의한 금형 가열 방법[55-60]과 냉각 특성을 분석하였다.



(1) 3D Model



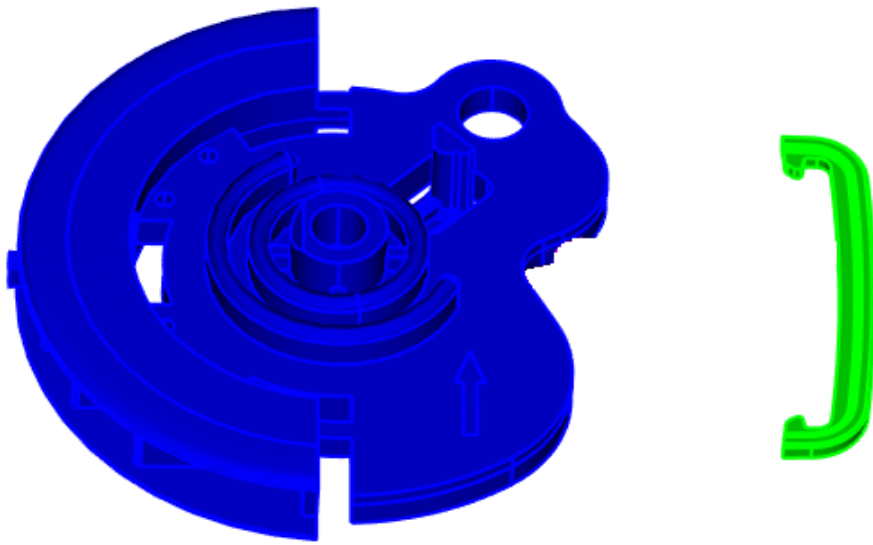
(2) 3D Mesh Model

그림 3.6 Test 해석 모델

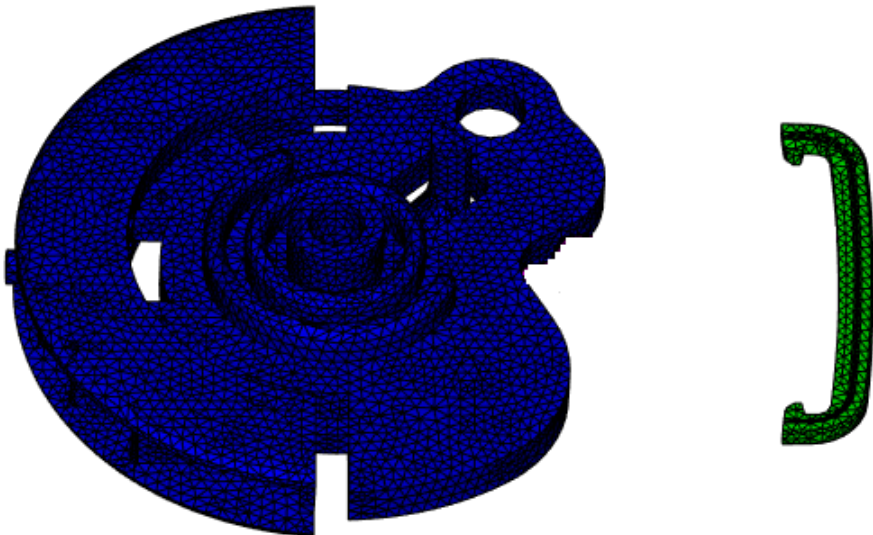


## (2) 제품 검토 해석 모델

본 연구에서 사용된 금형의 모델은 아래 그림과 같으며 형상이 복잡하다. 이는 개발하고자 하는 제품의 실패 손실을 줄이고자 검토하였다. 모델은 3D 메쉬(Mesh)로 엘리먼트(Element) 수 624,988개, 금형의 메쉬는 937,201개의 엘리먼트로 구성되어 해석 하였다. 해석 시간은 약 9시간 이상 소요되며 본 연구에서 해석 경우의 수가 많은 것을 고려하여 테스트 모델(Test Model)을 설계하여 기본적인 해석을 수행하고 테스트 모델의 결과를 반영하여 제품 검토 사출성형 해석을 수행하였다.



(1) 3D Model



(2) 3D Mesh Model

그림 3.7 제품 검토 해석 모델

### 3.3.2 해석 경계조건

뮤셀 성형법은 초임계상태의 질소를 수지와 혼합한 것으로 미세한 발포상태의 플라스틱을 만들어 성형하는 프로세스로, 발포 셀의 미세화(5~50  $\mu\text{m}$ )에 의해서 넓은 범위의 사출성형품에 있어 원가 저감 할 수 있는 획기적인 기술로써 주목받고 있다 [23,24]. 뮤셀 사출성형 기술에 있어서 성형품의 중량 저감은 최대 50% 통상 5~30% 정도로 알려져 있으며, 성형품의 내부에 미세한 기공을 형성하여 제품의 중량을 절감하여 가스량의 조절로 중량 절감이 가능하다. 성형 후 스킨층은 솔리드 구조로 형성되어 있으며 코어 층은 미세한 기공형성으로 제품 중량이 감소한다.

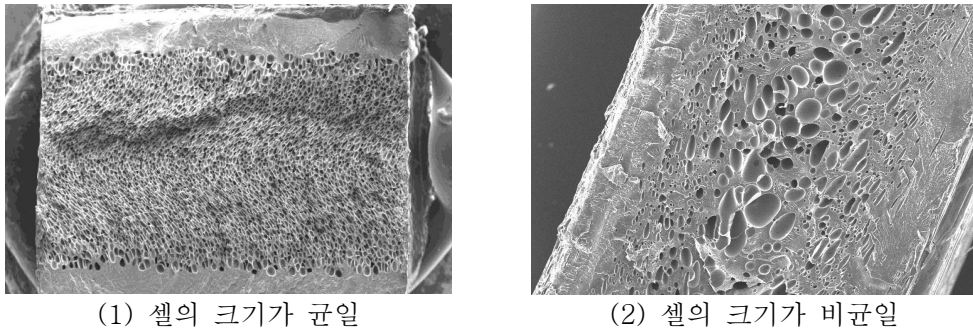


그림 3.8 뮤셀 성형 제품의 단면 구조

위의 그림과 같이 코어 층에 미세한 기공의 형상이 일정한 구조로 성형하는 것이 중요한데 이는 일정 크기의 볼륨(Volume)당 셀(Cells)의 수를 얼마로 할 것인가가 중요하다. 또한 이 구조에 의해 제품의 강도가 결정되기도 하는데 일정 크기의 볼륨 안에 너무 적은 량의 셀이 분포하게 되면 셀의 크기가 커졌다는 의미가 되며 제품의 강도가 약해지는 문제점이 있다. 셀의 크기가 크게 분포되면 경량화에는 장점이 있으나 강도적인 측면에서 약점이 있기 때문에 제품의 특징을 고려한 경량화율을 산정하여야 한다.

사출성형 공정조건에 따른 가열 및 냉각 조건은 다음과 같으며, 가열은 금형이 형개되면 ON되고 형폐되면 OFF 되는 방식이다. 이때 냉각 조건은 금형내 냉각수는 흐르고 있으나 가열 및 제품부 금형과 분리 되어 있는 방식으로 형폐가 되면 가열 및 제품부와 연결되고 형개가 될 때 분리 되는 구조로 해석에서 반영 하였다[61].

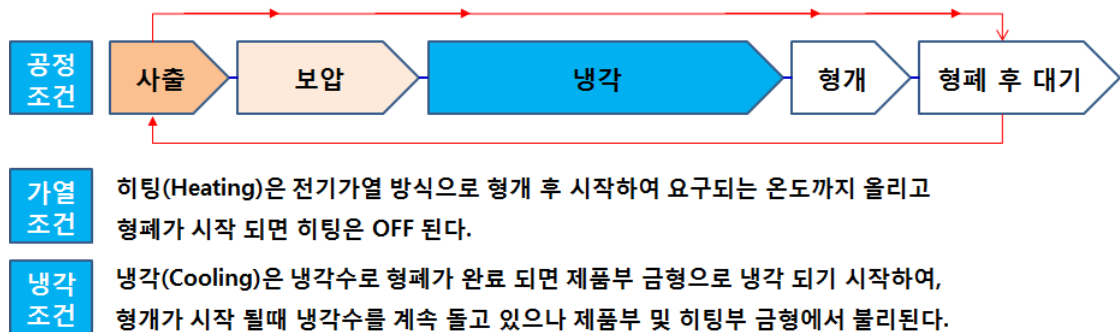


그림 3.9 사출성형 해석 공정 조건

(1) TEST 해석 모델

Test 해석 모델을 통하여 분석 하고자 한 내용은 기존 공법과 무셀 사출성형과의 특성 그리고 무셀 사출성형 공법에서의 발포셀에 따른 경량화율, 질소가스 농도 및 포화 압력에 따른 사출성형 특성 그리고 단위체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성을 분석하고자 하였다. 마지막으로 히팅 및 냉각에 따른 사출성형 특성을 분석하고자 하였으며, 각각의 해석 별 조건은 다음과 같다.

표 3.1 Test 모델에 사용된 해석 조건

구 분	조 건
기존 대비 무셀 공법 사출성형 특성	PC+ABS 대비 PC+ABS+N <sub>2</sub>
경량화율에 따른 사출성형 특성	경량화율 10%, 20%, 30%
질소가스 농도에 따른 사출성형 특성	가스농도 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%
질소가스 포화 압력에 따른 사출성형 특성	가스발포 압력 (1, 3, 5, 10)MPa
단위 체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성	체적당 셀수 (1e <sup>3</sup> , 1e <sup>6</sup> , 1e <sup>9</sup> , 1e <sup>12</sup> )cm <sup>3</sup>
히팅+냉각에 따른 사출성형 특성	히팅 온도 100℃, 150℃, 200℃

히팅 및 냉각 구조는 아래 그림과 같이 히팅 라인과 냉각 라인으로 구성하였으며 히팅의 경우 금형을 가열 하는 구조로 일정한 볼륨을 가지는 금형형상으로 구현 하였다.

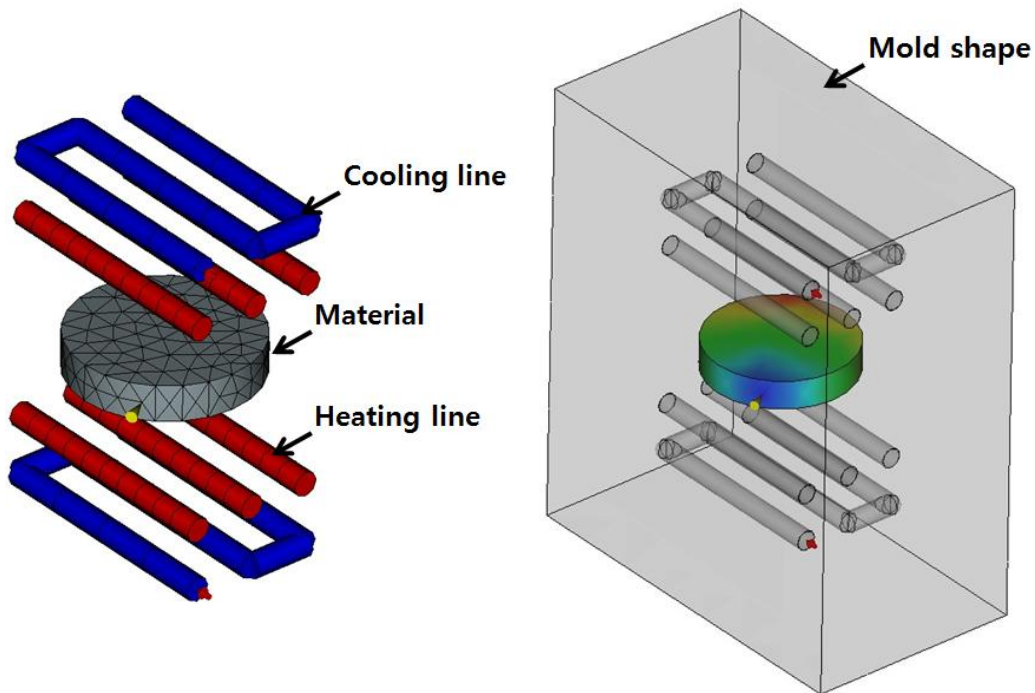


그림 3.10 Test 해석 모델의 냉각 가열 구조

## (2) 제품 검토 해석 모델

Test 해석 모델을 통해 얻어진 결과를 참고하여 뮤셀 사출성형 공법으로 경량화율 10%, 질소가스 농도 0.5%, 단위 체적당 셀수  $1e^6/cm^3$ 의 조건으로 해석을 수행하였다. 이때 가열라인은 직경 8 mm 전기 히팅 카트리지로 구현하였다. 전기 히팅 카트리지는 제품의 상·하 10 mm 거리를 두고 설치하였으며, 온도 컨트롤은 제품에서 가까운 금형 표면부에 온도 센스 방법을 채택 하였다. 이때 온도 컨트롤은 요구 온도 조건 100℃, 130℃, 150℃로 설정하였고 냉각시 50℃ 미만으로 되면 히팅 카트리지가 구동되는 조건으로 수행하였다.

냉각라인은 직경 10 mm 홀을 금형에 가공하는 방식으로 구현하였고, 입구와 출구를 구분 하였다. 냉각 컨트롤은 레이놀스 수(Reynold number)로 제어를 하였고, 이는 무차원군으로 레이놀드 수가 2,100이하이면 층류, 4,000 이상이면 특수한 경우를 제외하고는 난류가 된다. 본 해석에서는 레이놀스 수를 90,000으로 하여 난류 조건으로 구현 하였고, 냉각수 온도는 25℃로 하였다[62].

본 제품 검토 해석 모델을 통해 얻고자 한 결과는 본 조건에서의 사출성형 특성과 3가지 온도 변화에 따른 포화셀의 크기 균일성 등을 파악하기 위함이다. 먼저 사출성형 특성은 본 연구에서 개발할 센터 페시아 제품 금형 개발에 있어 실패 손실을 줄이기 위해 사전 제작한 실 금형이다. 따라서 가열 및 냉각 구조가 구현된 사출성형 시 성형성, 에어트랩(Air traps)과 웰드라인(Weld line) 등을 분석 하였다. 두 번째는 포화셀 크기의 균일성을 파악하기 위함으로 포화셀이 너무 크게 이루어지면 경량화율은 좋으나 제품의 강도에 문제가 되기 때문이며, 너무 작을 경우 경량화 효과를 낮아지는 단점이 있어 본 연구에서 경량화율 10%에 가까운 포화셀의 크기와 분포를 파악 하였다.

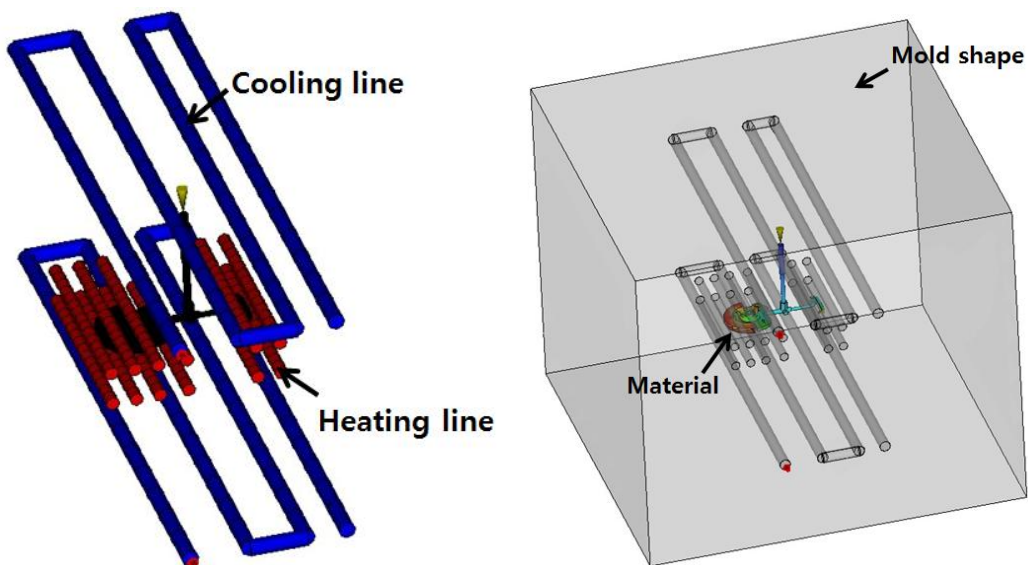


그림 3.11 제품 검토 해석 모델의 냉각 가열 구조

### 3.3.3 해석에 사용된 소재 특성

본 연구에 사용된 소재는 열가소성 수지로 온도의 증감에 따라 반복적으로 부드러워지거나 딱딱해질 수 있다. 이와 같이 화학변화를 수반하지 않는 상변화 때문에 사출 성형품으로부터 제거된 런너나 스프루와 같은 수지의 스크랩은 재사용할 수 있으며, 재활용 수지의 물성은 처음 수지의 물성과는 차이가 있을 수 있다. 열에 대한 반응으로는 직선 또는 가지분자 구조로 분자들 사이에 화학적 결합이 없으며, 일반적으로 높은 충격 강도와 쉬운 가공공정 그리고 복잡한 설계에 적합한 물성의 소재 이다.

표 3.2 해석에 사용된 소재 특성

Material	PC+ ABS
Density in melting	1.0063 g/cm <sup>3</sup>
Solid density	1.1314 g/cm <sup>3</sup>
Melting temperature	265 °C
Max. shear stress	0.4 MPa
Max. shear rate	40000/s

비체적(Specific Volume)은 밀도의 역수로서 아래 그림과 같이 수지의 압력 변화 및 온도의 변화에 따라 비체적의 변화가 발생하며, 본 데이터를 이용하여 수지의 수축 및 변형을 예측할 수 있는 척도가 된다.

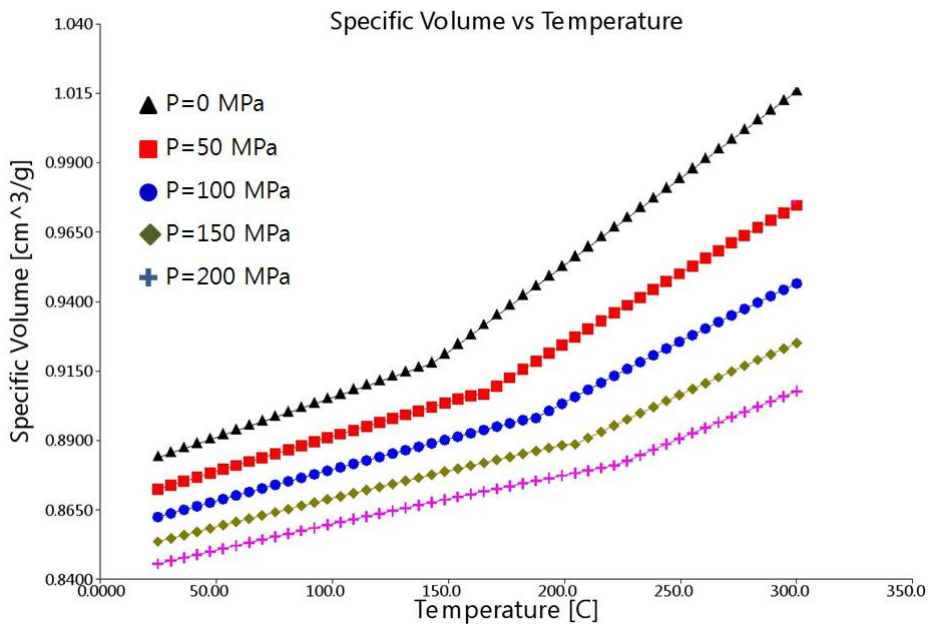


그림 3.12 해석에 사용된 비결정성 수지의 PVT 선도

## 3.4 해석 결과 및 고찰

### 3.4.1 TEST 해석 모델을 통한 사출성형 특성 분석

#### (1) 뮤셀 성형법에 의한 사출성형 특성

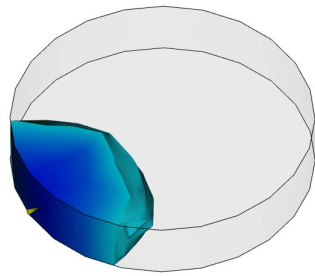
기존 사출공법과 뮤셀 사출공법의 사출압, 제품 단면 내부 포화셀 형상 등을 분석하였다. Test 해석 모델은 직경 15 mm, 두께 3 mm 원형으로 기존 사출공법의 소재는 PC+ABS, 뮤셀 사출공법 소재는 PC+ABS 소재에 N<sub>2</sub>가스를 주입하는 방식으로 해석 조건을 설계 하였다. 이때 뮤셀 사출공법의 해석 조건은 경량화율 10%, 질소 가스 농도 0.5%, 단위 체적당 셀수  $2e^5/cm^3$ 의 해석 조건을 입력 하였으며, 모델의 메쉬는 3D로 설계하여 내부의 성형 수지 움직임이나 뮤셀 사출성형 공법시 포화셀의 분포를 분석할 수 있게 하였다.

그림 3.13은 Test 해석 모델의 성형성을 분석한 것을 나타내었다. 이를 통해 성형성은 문제없는 것으로 나타났으며, Test 해석 모델의 크기가 작아서 기존 사출공법과 뮤셀 사출공법의 성형성은 크게 변화 없는 것으로 나타났다.

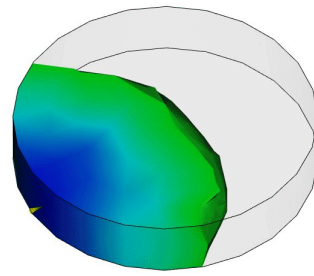
그림 3.14은 기존 사출성형 공법 대비 뮤셀 적용 공법으로 사출압을 나타내었다. 기존 사출성형 공법의 사출압의 경우 사출 초기 1.747 MPa의 높게 올라갔다가 약 1.4 MPa에서 일정한 사출압을 유지하는 모드로 나타났다. 이에 반해 뮤셀 사출성형 공법의 사출압은 최대 1.44 MPa로 사출 초기에서 점진적으로 증가하다가 점진적으로 감소하는 모드로 나타났다.

그림 3.15는 Test 해석 모델의 성형시간(Fill time)을 분석한 것을 나타내었다. 성형시간은 Test 해석 모델의 크기가 작아 기존 사출공법 성형시간(0.0829/s)과 뮤셀 사출공법의 성형시간(0.0975/s)의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

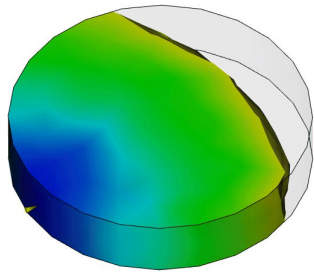
그림 3.16은 기존 사출성형 공법과 뮤셀 사출성형 공법과의 중량을 비교하였다. 뮤셀 사출성형 공법 해석 조건에서 경량화율 10%가 되게 입력하였으며, 기존 사출성형 공법의 제품 성형 후 무게는 0.4258 g이고 뮤셀 사출성형 공법의 제품 성형 후 무게는 0.3891 g으로 나타나 약 8.6%정도 무게 절감이 된 것으로 나타났다. 또한 뮤셀 사출성형 공법에서의 단면의 경우 포화셀의 형성이 되어 있는 것으로 나타났으며, 중앙부 빨간색의 경우 직경이 0.085 mm, 노란색의 경우 직경이 약 0.0632 mm로 나타났다. 포화셀의 형성 직경의 크기 변화가 크게 나타나지는 않았으나, 제품의 품질 완성도 측면에서 균일한 직경으로 포화셀이 형성되는 것이 유리한 것으로 알려져 있다.



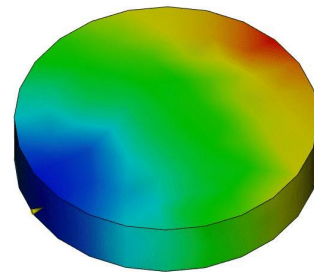
(1) Fill time : 0.0203



(2) Fill time : 0.0447



(3) Fill time : 0.0691



(4) Fill time : 0.0975

그림 3.13 뮤셀 사출성형공법의 성형성

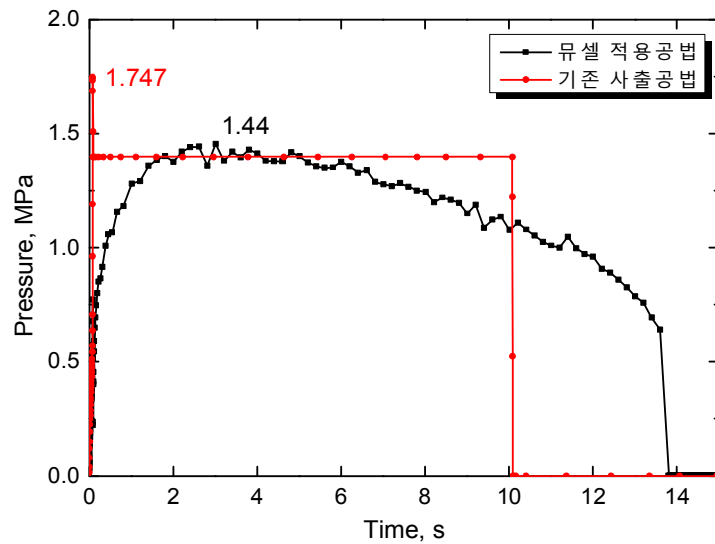
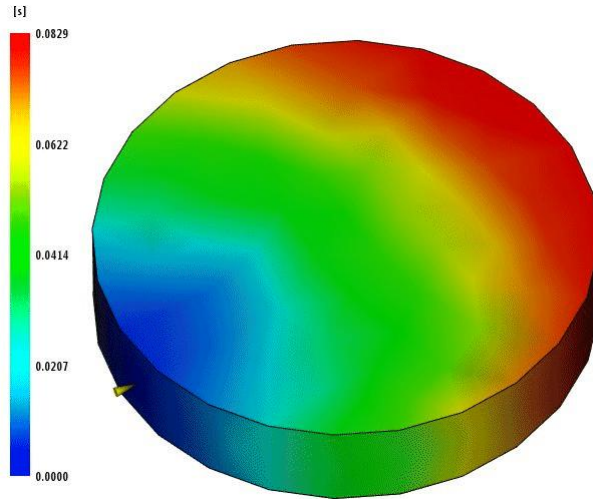
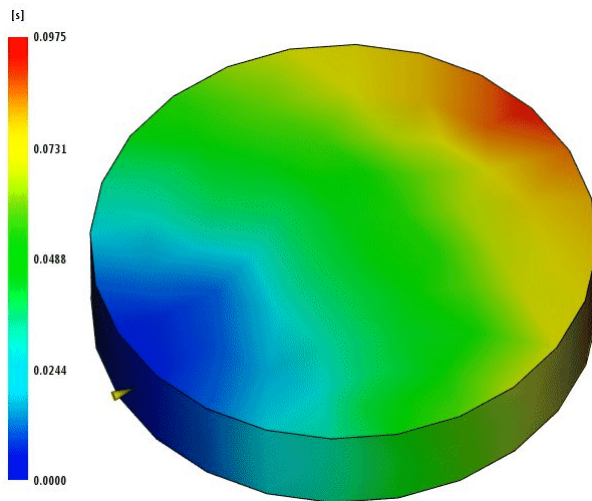


그림 3.14 기존 사출성형 공법과 뮤셀 적용 공법과의 사출압 비교



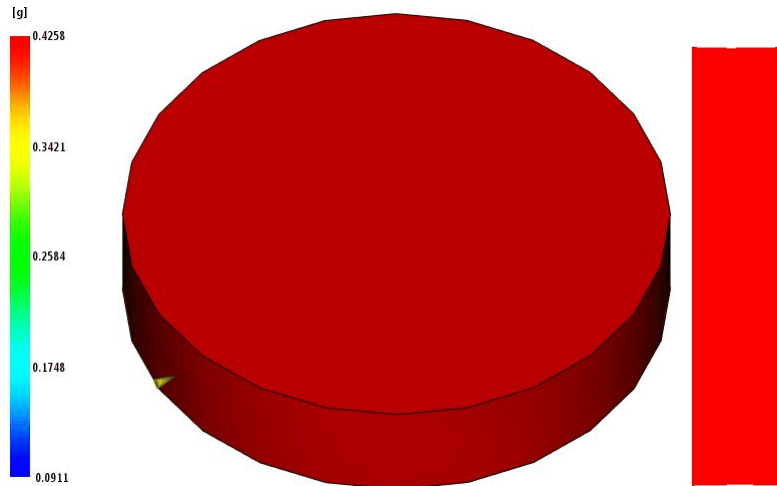
(1) 기존 사출성형 공법



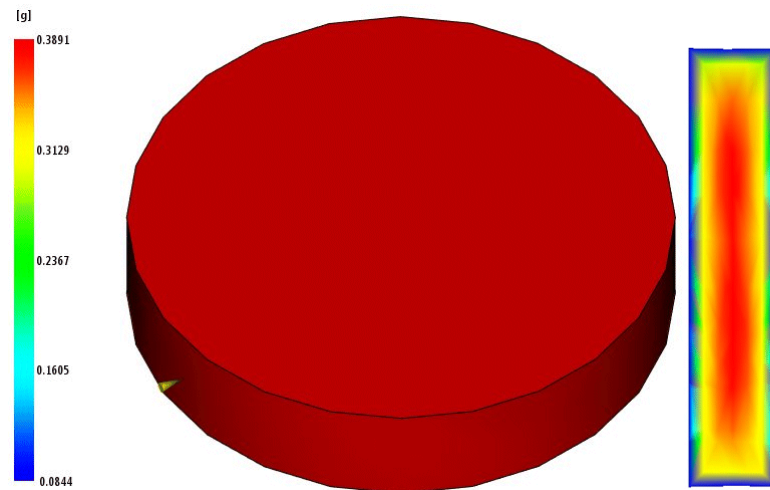
(2) 뮤셀 사출성형 공법

그림 3.15 기존 사출성형 공법과 뮤셀 사출성형 공법과의 Fill time 비교





(1) 기존 사출성형 공법



(2) 무셀 사출성형 공법

그림 3.16 기존 사출성형 공법과 무셀 사출성형 공법과의 중량 비교

## (2) 경량화율에 따른 사출성형 특성

사출성형 해석에서는 경량화율을 최대 50%까지 가능한 조건을 반영 할 수 있는 것으로 되어 있다. 이는 제품의 면적 대비 두께가 두꺼운 것으로 제품 단면 방향으로 포화셀이 많이 분포될 수 있기 때문이다.

본 연구에서 개발하고자하는 부품의 경우 자동차 내장제로 제품 두께가 3mm 정도 되는 부품이다. 따라서 경량화율은 사출성형 해석으로 가능한 50% 달성은 어려운 현실이다. 이로 인해 본 해석에서는 경량화율은 10%, 20%, 30% 등 3가지 모델로 분석 하였다. 또한 질소가스 농도는 0.5%, 단위 체적당 셀수  $1e^5/cm^3$ 의 조건으로 사출 성형 해석을 수행 하였다.

아래 표와 같이 최대 사출압은 경량화율이 높을수록 사출압이 감소하는 것으로 나타났다. 경량화율은 경량화 10% 조건에서는 8.61%, 20% 조건에서는 14.75%, 30% 조건에서는 25.69%의 경량화율을 보였다. 또한 변형량은 경량화율이 클수록 증가하는 것으로 나타났으나, 그 크기는 미소하였다. 이는 해석한 모델의 크기가 작고 변형이 적은 해석 모델이기 때문인 것으로 예상되어 센터 페시아 해석 모델을 통하여 변형은 재검토 필요할 것으로 판단된다.

표 3.3 경량화율에 따른 사출성형 특성

구 분	경량화율		
	10%	20%	30%
최대 사출압 (MPa)	1.44282	1.32196	1.05399
사출성형 후 제품 무게 (g)	0.3818	0.363	0.3164
제품 경량화율 (%)	8.61	14.75	25.69
사출성형 후 변형량 (mm)	0.1163	0.1165	0.1167

그림 3.17는 경량화율에 따른 사출압을 비교한 것으로 앞에서 언급한 것과 같이 경량화율이 높을수록 전체적으로 사출압이 감소하는 것으로 나타났다.

그림 3.18은 경량화율에 따른 포화셀의 분포를 비교한 것을 나타내었다. 포화셀은 경량화율 10% 일 때 최대 버블(Bubble) 직경 0.0685 mm, 20% 일 때 직경 0.0777 mm, 30% 일 때 직경 0.0894 mm로 나타났다. 이는 경량화율이 높을수록 사출성형 제품내 버블과 같은 공간이 많이 생긴다는 의미로 일정 단위 체적당 셀수를 제한한 결과로 직경이 크진 것으로 판단된다. 버블 직경 균일성의 경우 경량화율 30%일 때 가장 균일 하다는 것을 알고 있었으며, 경량화율 10%의 경우 소재 두께 방향의 중앙부에서 버블 직경 0.0685 mm가 몰려 있고 이를 중심으로 버블 직경 0.0516 mm가 몰려 있는 것을 알 수 있다.

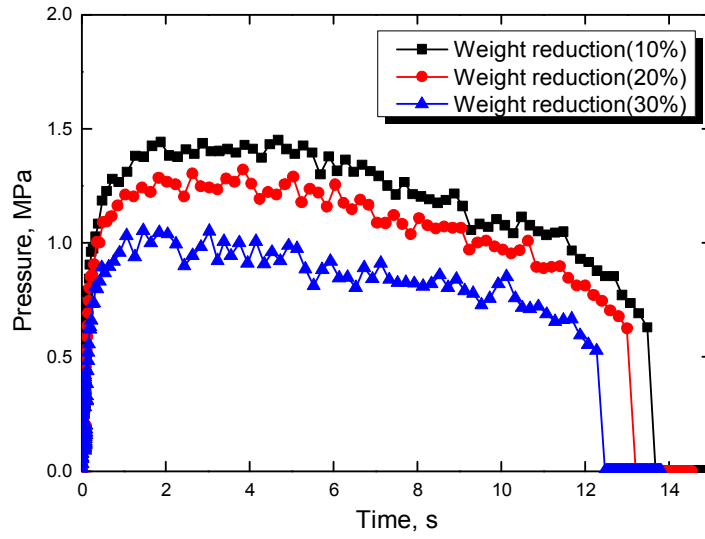


그림 3.17 경량화율에 따른 사출압 비교

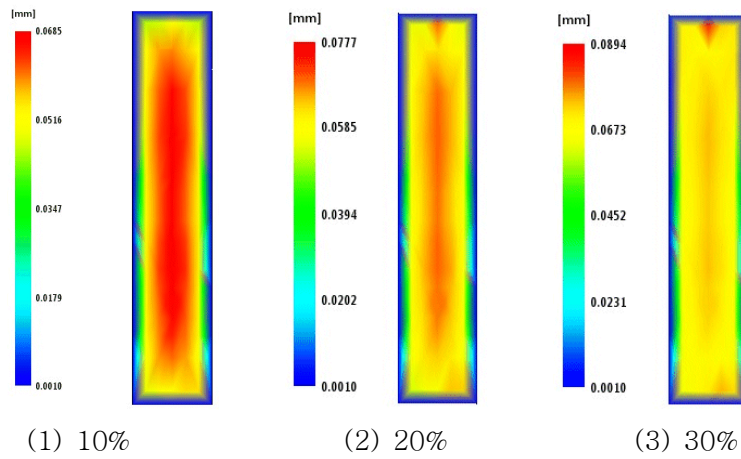


그림 3.18 경량화율에 따른 포화셀 분포 비교

### (3) 초기 가스 농도에 따른 사출성형 특성

뮤셀 사출성형 공법에서는 포화셀을 만들기 위한 가스 농도를 제어하는 것이 중요한 요소이다. 본 연구에서는 가스를 질소가스로 사용하였고, 질소 가스 농도는 0.1%에서 3%까지 제어가 가능하다. 그러나 본 연구에서는 사출제품의 특성을 반영하여 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0% 등 4가지 조건을 변경하면서 사출성형의 특성을 분석하였다.

사출성형 해석의 조건은 경량화율 10%, 초기 가스 농도는 4가지 조건, 단위 체적당 셀수는  $1e^5/cm^3$ 으로 하여 사출성형 해석을 수행하였다.

아래 표와 같이 초기 가스 농도에 따른 사출성형 특성으로 Fill time은 가스 농도가 높을수록 짧아지는 것으로 나타났다. 또한 사출성형 후 변형량은 미소하게 가스 농도가 높을수록 적은 것으로 나타났다.

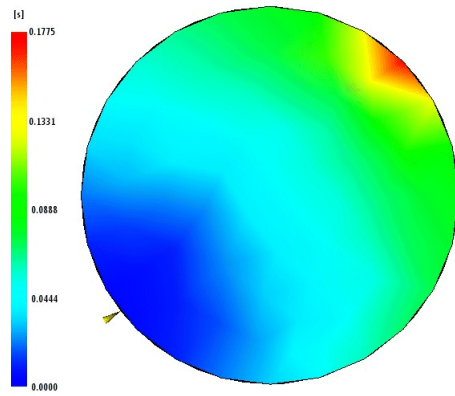
표 3.4 초기 가스 농도에 따른 사출성형 특성

구 분	초기 가스 농도			
	0.1%	0.3%	0.5%	1.0%
Fill time (s)	0.1775	0.1174	0.0947	0.0630
최대 사출압 (MPa)	0.408	1.024	1.451	1.598
최대 버블 직경 (mm)	0.0487	0.0608	0.0685	0.0925
사출성형 후 변형량 (mm)	0.1172	0.1167	0.1163	0.1162

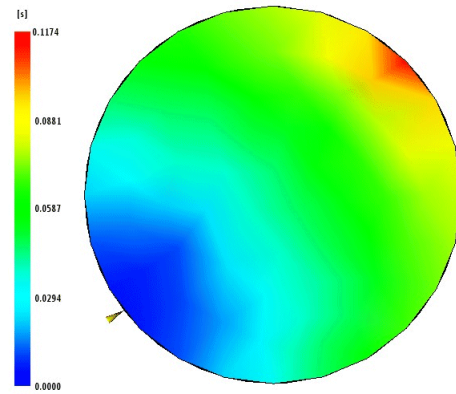
그림 3.19는 초기 가스 농도에 따른 Fill time를 나타내었고, 4가지 조건 모두 문제 없이 성형되었다.

그림 3.22는 초기 가스 농도에 따른 사출압을 비교한 것으로 최대 사출압의 경우 가스 농도 0.1%일 때 0.408 MPa, 0.3%일 때 1.024 MPa, 0.5%일 때 1.451 MPa, 1.0%일 때 1.598 MPa로 나타났으며, 초기 가스 농도가 높아질수록 사출압을 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 이때 가스 농도 1.0%의 경우 타 가스 농도와 달리 초기 사출압은 높으나 사출성형 시간이 지날수록 비정상적으로 낮아지는 것으로 나타났다.

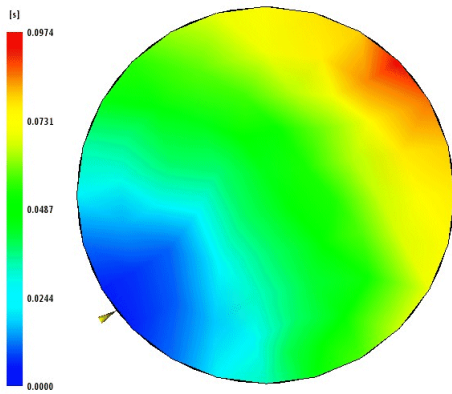
그림 3.21은 초기 가스 농도에 따른 버블 직경 변화를 나타내었다. 최대 버블 직경은 초기 가스 농도가 높아질수록 최대 버블 직경이 크게 커지는 것으로 나타났다. 전반적으로 버블 직경의 균일도는 낮은 것으로 나타났으며, 균일도의 버블 직경 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 초기 가스 농도 0.1%, 0.3%, 0.5%의 경우 제품 단면의 중심에서 버블 직경이 큰 것에서 중심과 멀어질수록 버블 직경이 낮아지는 것으로 나타났으나, 초기 가스 농도 1.0%의 경우 제품 직경의 한쪽 외각으로 쏠려 있는 것으로 나타났다. 쏠려 있는 방향은 게이트 입구 쪽으로 나타났다.



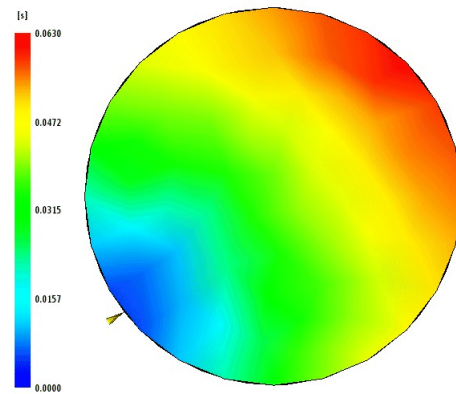
(1) 0.1%



(2) 0.3%



(3) 0.5%



(4) 1.0%

그림 3.19 초기 가스 농도에 따른 Fill time

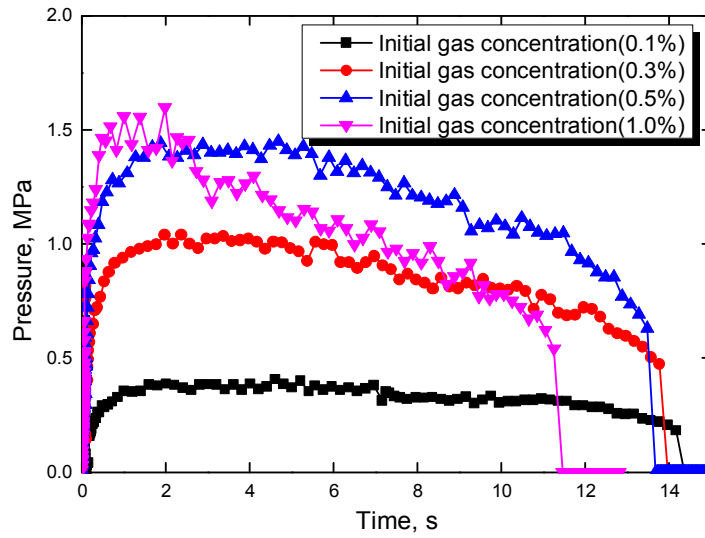


그림 3.20 초기 가스 농도에 따른 사출압 비교

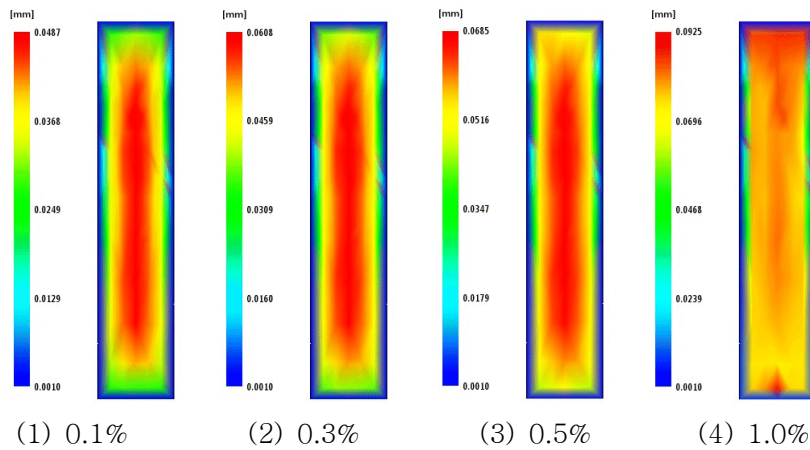


그림 3.21 초기 가스 농도에 따른 포화셀 분포 비교

#### (4) 초기 가스 포화 압력에 따른 사출성형 특성

뮤셀 사출성형 공법에서 포화셀을 만들기 위해 가스 농도를 제어하는 것과 같이 초기 가스 포화 압력을 제어하는 것도 중요한 요소이다. 초기 가스로 질소를 사용하였으며, 초기 가스 압력은 1 MPa, 3 MPa, 5 MPa, 10 MPa 등 4가지를 조건으로 하여 사출성형 특성을 분석하였다. 사출성형 해석의 조건은 경량화율 10%, 초기 가스 포화 압력은 앞에서 언급한 4가지 조건, 단위 체적당 셀수는  $1e^5/cm^3$ 으로 하여 사출성형 해석을 수행 하였다.

해석결과 앞에서 검토된 초기 가스 농도의 해석결과와 비슷한 유형으로 나타났다. **그림 3.22**는 초기 가스 포화 압력에 따른 사출압의 특성으로 가스 포화 압력이 높아질수록 최대 사출압은 높아진다. 이때 가스 포화 압력 5 MPa이상에서는 이보다 낮은 압력에 비해 사출압이 급속도로 올라가서 가스 포화 압력이 높아질수록 급하게 내려가는 것으로 나타났다.

**그림 3.23**은 초기 가스 압력에 따른 버블 직경 변화를 나타내었다. 초기 가스 농도와 같이 일정한 압력(10 MPa) 이상에서는 이 압력 이하에서와 달리 버블의 직경이 게이트 입구쪽으로 쓸림이 있는 것으로 나타났다. 이 또한 초기 가스 농도의 양상과 비슷하게 나타났다.

따라서 초기 가스 농도와 압력의 경우 둘 중 한가지만을 주요 요소로 관리되어도 될 것으로 판단된다.

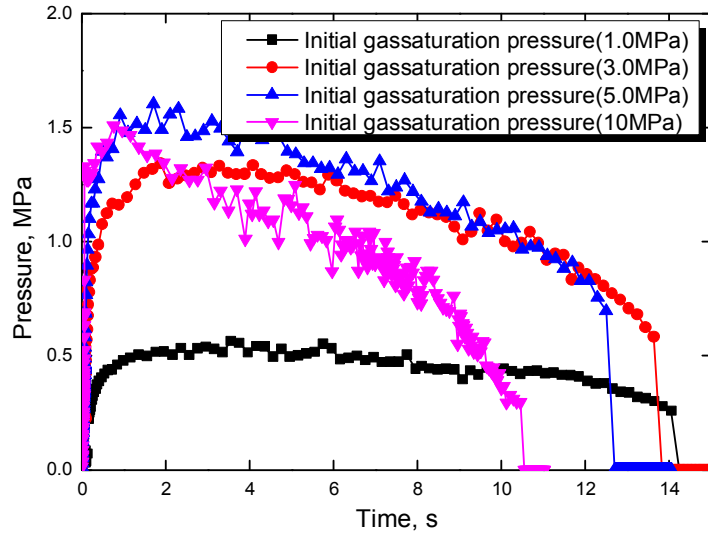


그림 3.22 초기 가스 포화 압력에 따른 사출압 비교

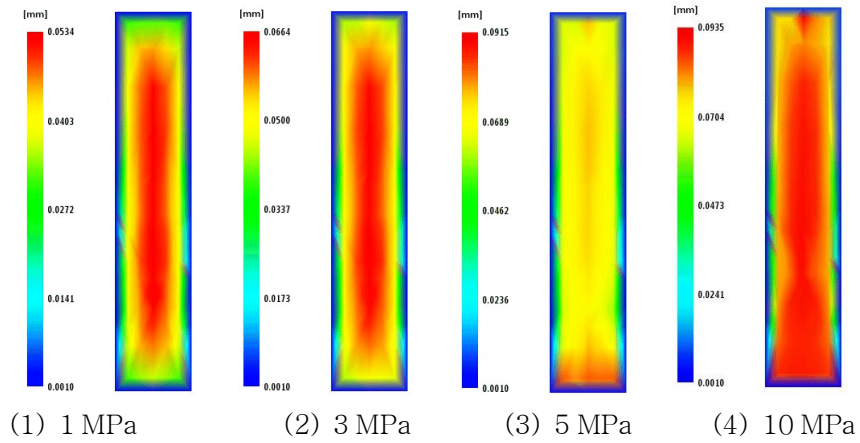


그림 3.23 초기 가스 포화 압력에 따른 포화셀 분포 비교



(5) 단위 체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성

뮤셀 사출성형 공법에서 제품의 단위 체적당 셀 수를 제어하는 것은 제품의 품질 면에서 매우 중요한 요소이다. 제품의 단위 체적당 셀 수가 너무 작으면 포화셀의 직경이 크게 형성되어 있다는 의미이고 셀 수가 너무 많으면 포화셀 직경이 작게 형성되어 있다는 의미이다. 이때 포화셀의 직경이 너무 크고, 제품 경량화율은 높아 지지만 제품 강도면에서 너무 낮아지는 원인이 된다. 또한 포화셀의 직경이 너무 작은 경우 기술개발 목표로 하는 경량화율을 만족시키지 못하는 원인이 된다. 따라서 본 연구에서 목표로 하는 경량화율 약 10% 내·외를 만족시키기 위해서는 포화셀의 적당한 크기를 유지하는 것이 중요하다.

사출성형 해석의 조건은 경량화율 10%, 초기 가스 농도 1.0%, 단위 체적당 셀 수는 ( $1e^3$ ,  $1e^6$ ,  $1e^9$ ,  $1e^{12}$ )/ $cm^3$  4가지 조건으로 하여 사출성형 해석을 수행 하였다.

아래 표와 같이 단위 체적당 셀 수에 따른 Fill time은 단위 체적당 셀의 수가 증가 할 수록 짧은 것으로 나타났다. 최대 사출압은 단위 체적당 셀 수의 증가에 따른 크게 상승 하는 것으로 나타났으며, 이 때 최대 버블 직경은 사출압 상승과 반대로 작아지는 것으로 나타났다. 실제 사출성형 실험에서는 해석과 같이 단위 체적당 셀 수를 제어하기는 힘들 다. 따라서 최대 사출압을 활용하여 버블 직경을 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

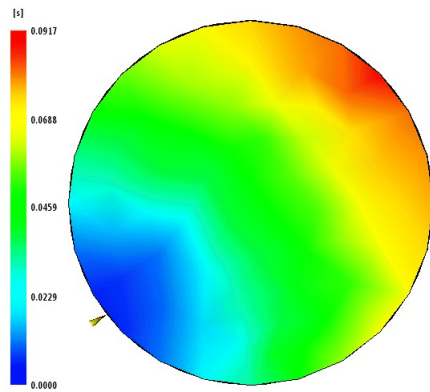
표 3.5 단위 체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성

구 분	단위 체적당 셀 수			
	$1e^3/cm^3$	$1e^6/cm^3$	$1e^9/cm^3$	$1e^{12}/cm^3$
Fill time (s)	0.0917	0.0567	0.0532	0.0525
최대 사출압 (MPa)	1.170	1.712	2.649	6.708
최대 버블 직경 (mm)	0.554	0.0543	0.0052	0.0011

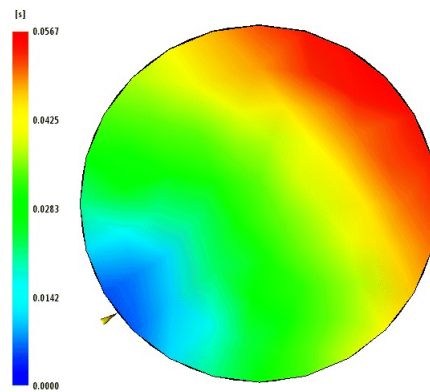
그림 3.24는 단위 체적당 셀 수에 따른 Fill time를 나타낸 것으로 단위 체적당 셀 수의 변화에 의한 Fill time의 변화는 존재하나 성형성에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

그림 3.25는 단위 체적당 셀 수에 따른 사출압을 비교한 것으로 단위 체적당 셀 수가 증가 할수록 최대 사출압은 급격하게 증가하는 것으로 나타났으며, 셀 수의 증가에 따라 사출압의 경우 사출 초기에 급격하게 증가했다가 급속도로 급감하는 것으로 나타났다.

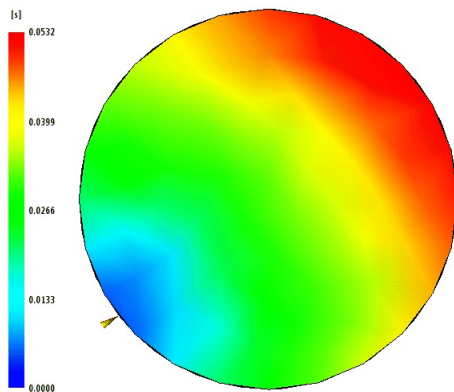
그림 3.26은 버블 직경 변화의 분포도를 나타내었다. 체적당 셀 수에 따라 버블 직경이 크게 변화하는 것을 알 수 있으며, 이는 제품의 강성과 품질성을 고려하여 알맞은 조건을 선정하여야 한다. 또한 버블 직경 변화의 변수인 체적당 셀 수는 실험에서 인위적으로 제어 되는 조건은 아니나, 단위 체적당 셀 수를 통해 전체 셀수를 파악하는 측면에서 고려 대상이 될 것으로 판단된다.



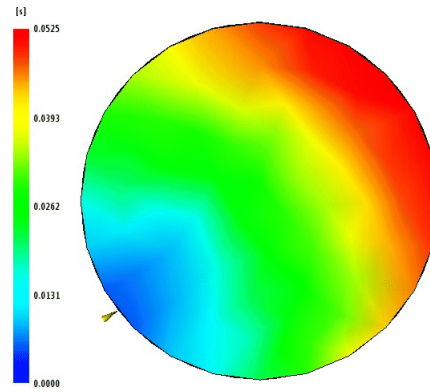
(1)  $1e^3/cm^3$



(2)  $1e^6/cm^3$



(3)  $1e^9/cm^3$



(4)  $1e^{12}/cm^3$

그림 3.24 단위 체적당 셀 수에 따른 Fill time

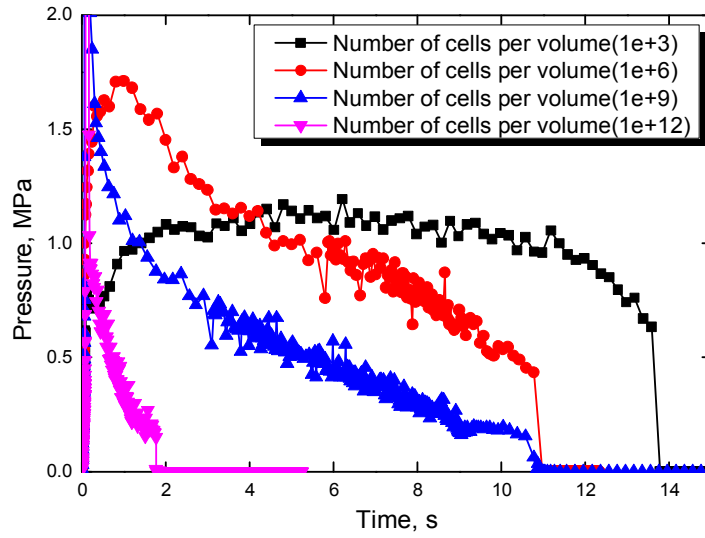
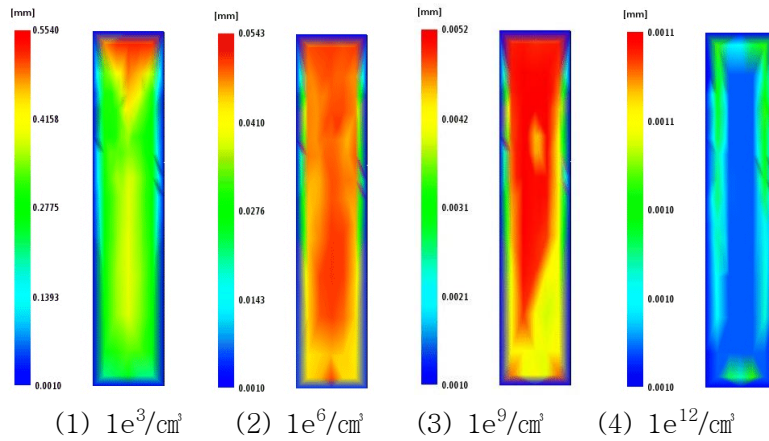


그림 3.25 체적당 셀 수에 따른 사출압력 비교



(1)  $1e^3/cm^3$     (2)  $1e^6/cm^3$     (3)  $1e^9/cm^3$     (4)  $1e^{12}/cm^3$

그림 3.26 체적당 셀 수에 따른 포화셀 분포 비교

## (6) Heating 및 Cooling에 따른 사출성형 특성

본 연구에서 사출금형 내 히팅(Heating) 카트리지를 설치한다. 이는 금형을 가열하여 금형내 전도에 의해 제품에 간접 가열되는 방식이다. 이를 통해 무셀 사출성형의 단점을 보완하는 방식으로 가열은 전기 방식이며 ON, OFF가 자유로운 방식으로 설계되어 있다. 쿨링은 사출성형시 계속적으로 냉각수가 흐르며 이는 사출성형 금형이 형개되는 시점부터 히팅 금형 및 제품부 금형쪽으로 냉각되도록 설계되어 있고 형폐시 금형이 불리 되어 냉각효과를 차단되게 설계되어 있다. 이에 따라 히팅은 냉각과 반대로 사출성형 금형이 형폐시점에 가열되어 일정한 온도까지 금형을 가열하고 형개 시점에 히팅을 OFF 하는 방식으로 되어 있다.

사출성형 해석 조건은 경량화율 10%, 초기 가스 농도 1.0%, 단위 체적당 셀 수  $1e^4/cm^3$ 으로 하여 사출성형 해석을 수행 하였다.

그림 3.27은 히팅 및 냉각 라인이 포함된 무셀 사출성형 해석에서 사용된 금형으로 그림과 같이 일정한 크기의 볼륨이 있도록 설계 하였다. 이는 전기 히팅시 금형에 대한 간접 히팅으로 금형내 열전달에 의해 온도를 상승하는 방식이다. 금형 단면을 보면 히팅 및 냉각 라인 제품 상·하 각 6개로 구성 되어 있다. 또한 실 금형에서 작동하는 히팅과 냉각 타임을 해석에 반영 하였다.

그림 3.28은 사출성형 해석에서의 히팅 및 냉각 시스템을 나타낸 것으로 가열 온도를 제품부 금형 표면에 온도 센스를 부착하여 제어 되며, 온도 센스는  $150^{\circ}C$ 로 셋팅 하였다. 냉각은  $25^{\circ}C$  냉각수를 냉각 라인으로 흐르게 하여 냉각 하는 방식으로 제어 되며, 냉각 장치로 인해 금형표면 온도가  $50^{\circ}C$  미만으로 될 때 히팅 시스템이 가동 되는 것으로 셋팅 하였다. 이에 따라 사출성형 시간에 따라 히팅과 냉각이 되는 형상이 정상적으로 됨을 알 수 있다.

그림 3.29는 히팅 온도에 따른 사출압의 변화를 나타낸 것으로 히팅 온도에 따른 사출압의 최대치는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

그림 3.30은 히팅 및 냉각 시스템을 포함한 금형에서의 히팅 온도에 따른 포화셀의 분포를 비교한 것을 나타내었다. 히팅 온도가 높을수록 포화셀의 직경이 큰 것을 알 수 있으며, 그 변화는 크지 않았다. 또한 포화셀의 직경의 크기 및 단위 체적당 셀 수의 경우 앞에서 고려되었기 때문에 본 해석에서는 고려하지 않았다. 앞에서 언급했듯이 포화셀의 직경 크기는 단위 체적당 셀 수와 초기 가스 농도 그리고 경량화율 등이 영향이 있는 것으로 예측되었다.

그림 3.31은 사출성형 금형 형개 직전 약  $150^{\circ}C$  내·외로 증가 하였다가 형개 후 냉각라인의 냉각수에 의해 금형의 온도가 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 히팅 조건 약  $150^{\circ}C$  이하에서는 냉각이 잘 이루어지는 것으로 판단되나 금형 온도  $200^{\circ}C$ 에서는 냉각이 더디게 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 금형 온도  $150^{\circ}C$  이상으로 될 때 냉각 조건을 변경하여야 할 것으로 예상되며, 실험을 통해 히팅 온도에 따른 제품 품질 분석이 되어야 할 것으로 판단 된다.

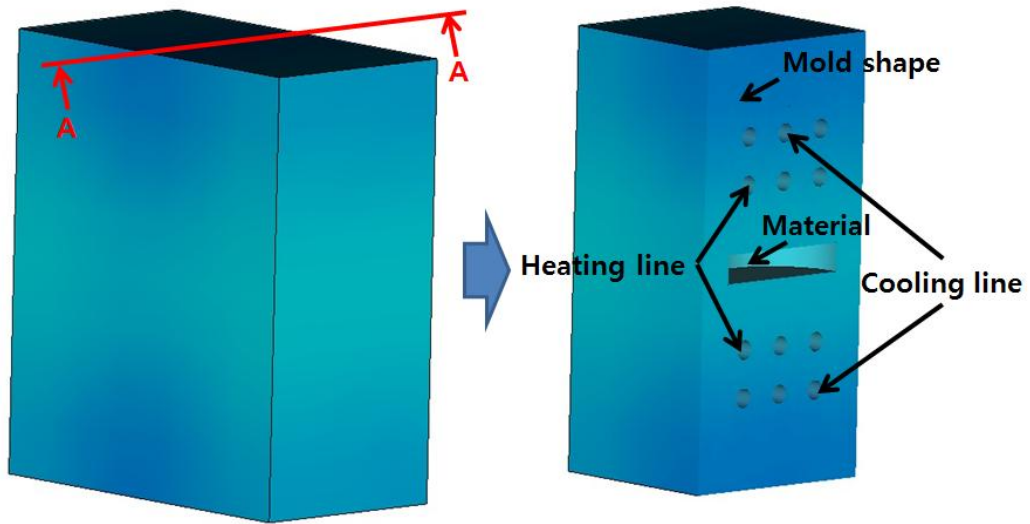


그림 3.27 사출성형 해석에 사용된 금형 형상

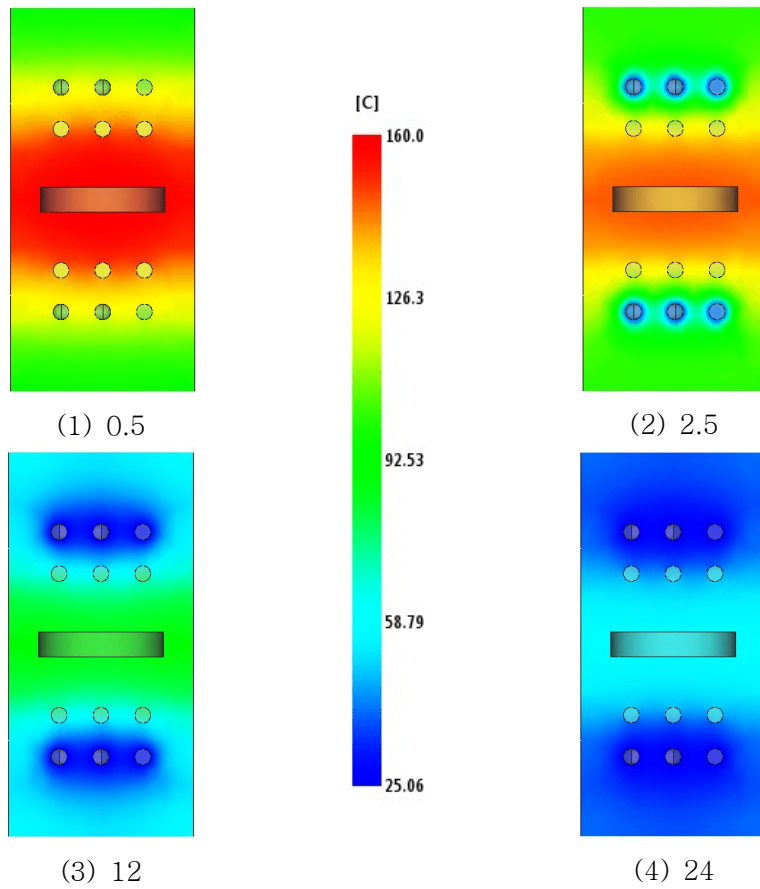


그림 3.28 사출성형 해석에서의 히팅 및 냉각 시스템

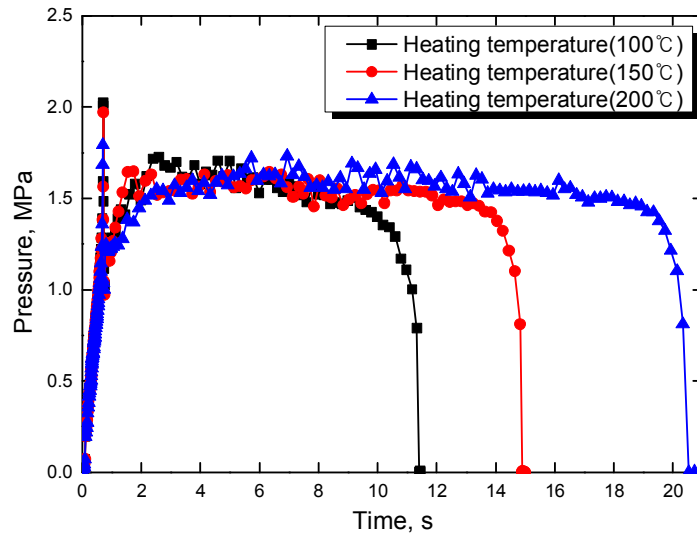


그림 3.29 Heating 온도에 따른 사출압 비교

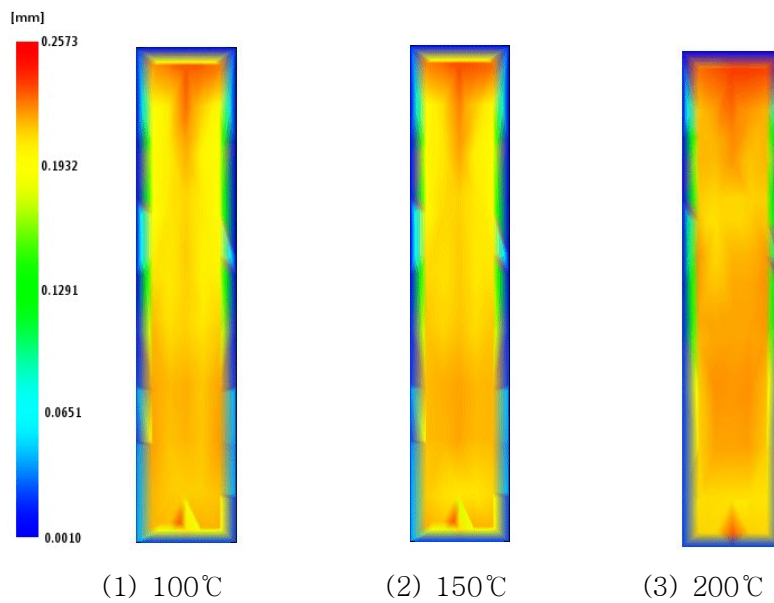


그림 3.30 Heating 온도에 따른 포화셀 분포 비교

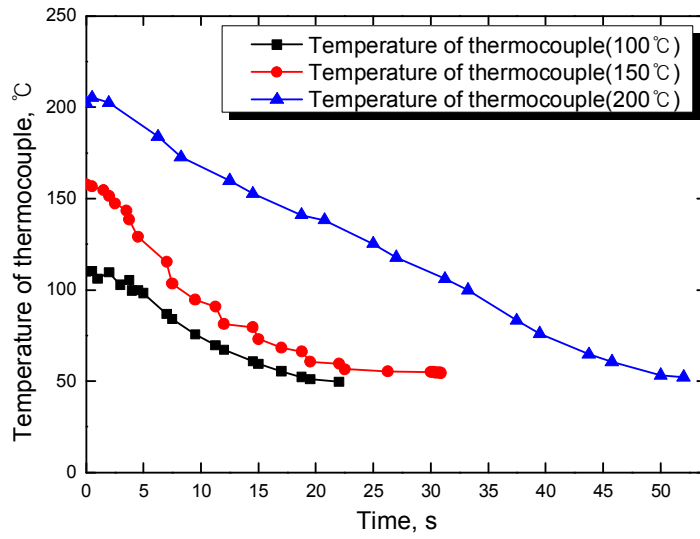


그림 3.31 Heating 온도에 따른 냉각 상태

### 3.4.2 제품 검토 해석 모델을 통한 사출성형 특성 분석

본 연구에서 최종 개발하고자 하는 제품은 센터 페시아 이다. 본 제품은 히팅 및 냉각 라인이 포함된 금형으로써 이는 사출성형 해석 시간이 과다하게 발생하고 금형 개발을 통해 시 사출 할 경우 실패에 대한 위험 부담이 크다. 따라서 센터 페시아의 구조적 검토 내용과 성형성 분석을 위해 최종 개발 제품 검토 모델을 선정하여 해석 하였다. 선정 해석 부품은 자동차의 에어컨 바람 송출구 조절 부품과 콘솔박스 내 작은 부품으로 검토 하였다. 성형성은 콘솔박스 내 작은 부품으로 검토 하였으며, 송출구 바람 조절 부품은 최종 제품의 리버와 같이 복잡한 형상을 가진 부품으로 선정 하여 성형성 및 미세 사출성형 공법에 의한 제품 내부 버블직경에 대해 검토 하였다.

사출해석 조건은 경량화율 10%, 초기 가스 농도 0.5%, 단위 체적당 셀 수는  $1e^5/cm^3$ , 냉각라인의 냉각수 온도는  $25^\circ C$ 로 하여 해석을 수행 하였다.

그림 3.34는 히팅 온도  $150^\circ C$ 에서의 성형성 분석을 위해 나타낸 그림으로 해석결과 콘솔박스 내 작은 부품부에서 미 성형이 발생하였다. 이를 해결하기 위해서 금형 온도, 냉각 조건 등 여러 변수를 고려하여 검토 하였으나 미성형 부는 해결 되지 않았다. 이를 해결하기 위해 금형 설계자와 사출성형 T/O 전문가와 협의한 결과 게이트 형상을 원형에서 사각으로 변경하는 것으로 검토 하였다.

이결과 그림 3.33와 그림 3.34과 같이 미성형부를 해결 할 수 있었다. 냉각 구조 및 히팅 구조의 경우 금형 구조상 냉각수는 지속적으로 흐르면서 히팅은 전기 가열 방식으로 ON, OFF가 자유롭게 제어 되는 구조로 구현 되었다. 이때 히팅 라인은 형폐때 히팅 되고 형개때 가열이 OFF 되어 냉각수에 의해 금형이 냉각 되는 구조로 금형 설계 되었다. 이는 히팅 금형 파트와 냉각 라인 금형 파트를 분리하여 설계 하였으며, 냉각 라인 금형 파트부에 스프링을 부착하여 형개 시 형개압에 의해 스프링에 힘이 가해져 히팅 금형 파트와 냉각 금형 파트가 붙게 되어 열전달에 의한 냉각 구조를 구현 하였다.

그림 3.35과 그림 3.36은 제품 검토 해석 모델 금형 온도는  $150^\circ C$ 에서 사출성형 해석 결과의 에어트랩과 웰드라인을 나타낸 것이다. 에어벤트의 경우 제품 품질과 연계 되며, 에어벤트가 큰 곳일 경우 제품 미성형 형태로 남게 되기 때문에 금형 설계시 반영 되어야 한다. 웰드라인은 제품의 리버 등 복잡한 형상으로 웰드라인이 많이 형성되어 제품의 강도 약화 우려가 되고 있다. 본 연구의 본질인 미세를 통한 제품 무게 절감과 미세 성형 공법의 단점인 표면 품질 향상의 목적과는 차이가 있으나 기본적으로 제품의 품질 확보가 우선되어야 된다는 차원에서 설계 반영이 필요하다.

그림 3.37는 제품 검토 해석 모델의 히팅 온도에 따른 포화셀 분포를 비교한 것으로 금형 온도  $150^\circ C$ 에서 포화셀의 크기가 가장 균일 하였다. 따라서 포화셀의 요구하는 크기와 균일성을 유지하기 위해서는 가스 농도, 경량화율, 금형 온도 등을 제어할 필요가 있다.



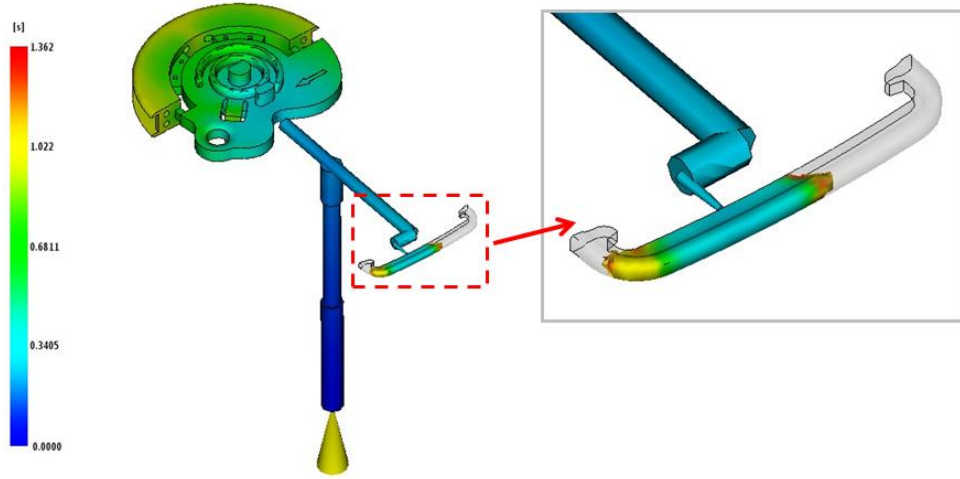


그림 3.32 제품 검토 해석 모델의 성형성 분석

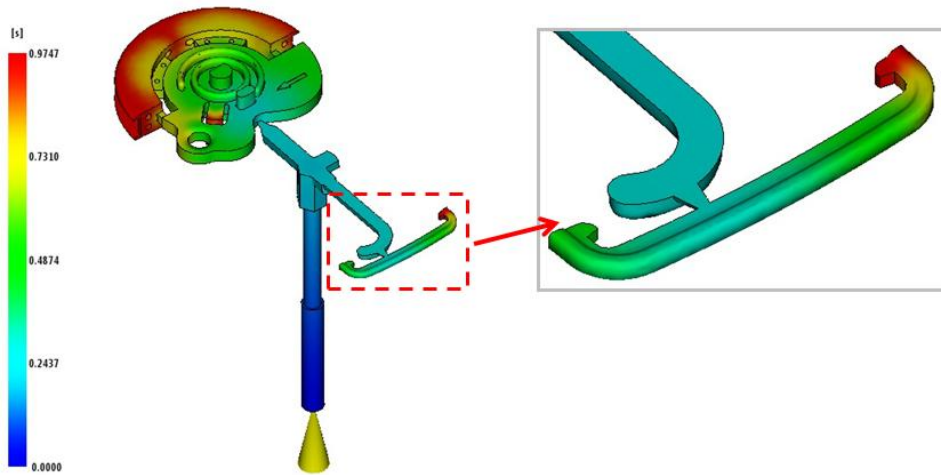
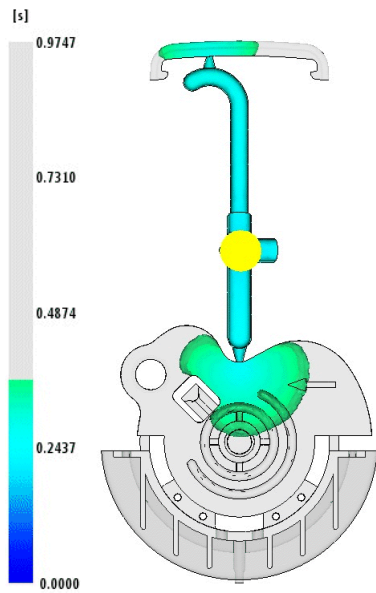
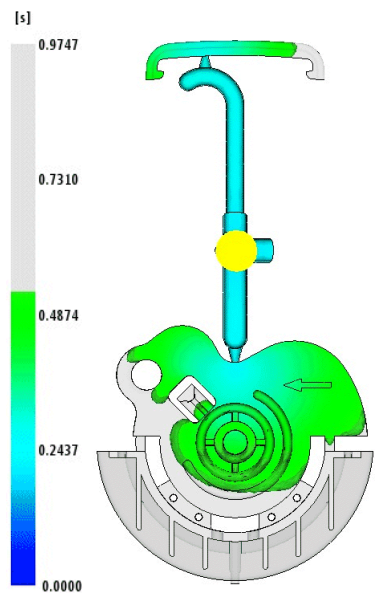


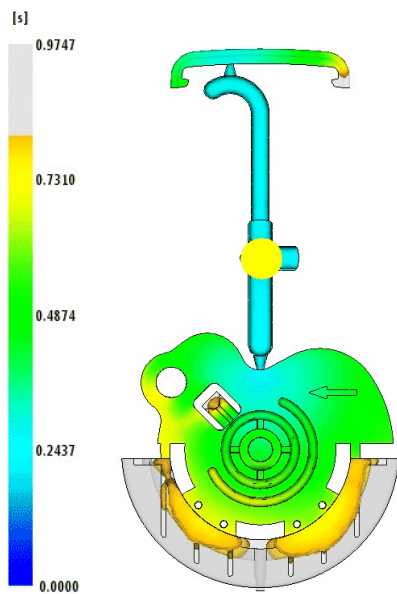
그림 3.33 성형성 분석을 통한 게이트 형상 변경



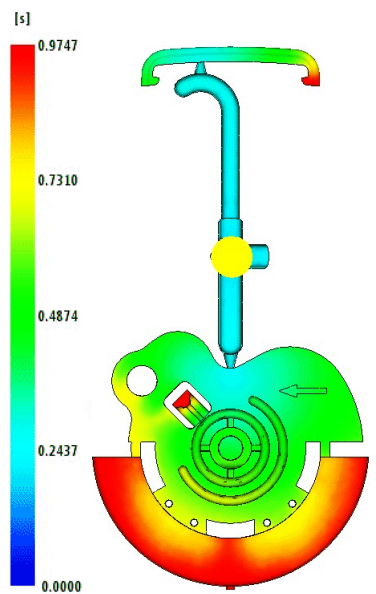
(1) 0.3655/s



(2) 0.528/s



(3) 0.8123/s



(4) 0.9747/s

그림 3.34 히팅 온도 150°C의 Fill time

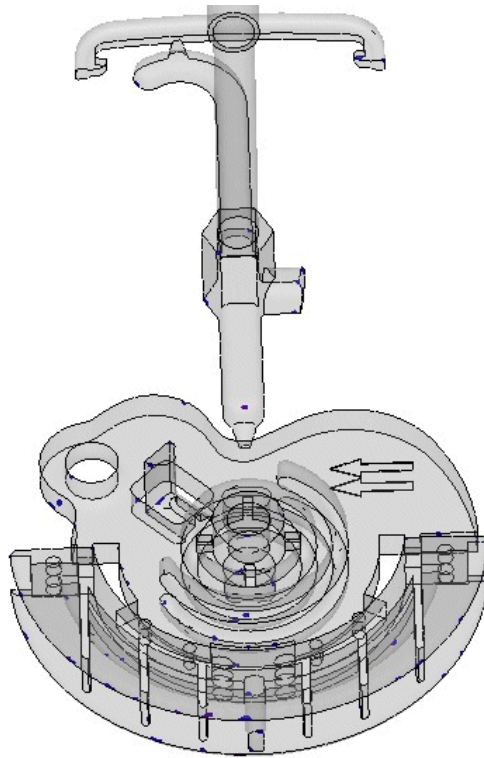


그림 3.35 히팅 온도 150℃에서의 에어트랩

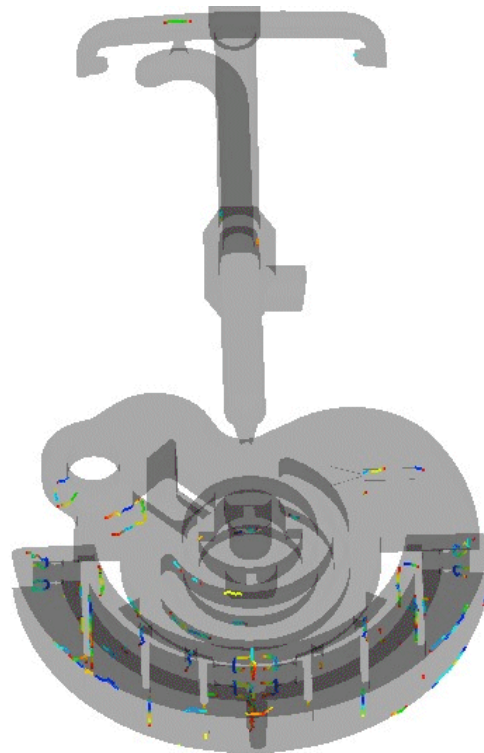


그림 3.36 히팅 온도 150℃에서의 웰드라인

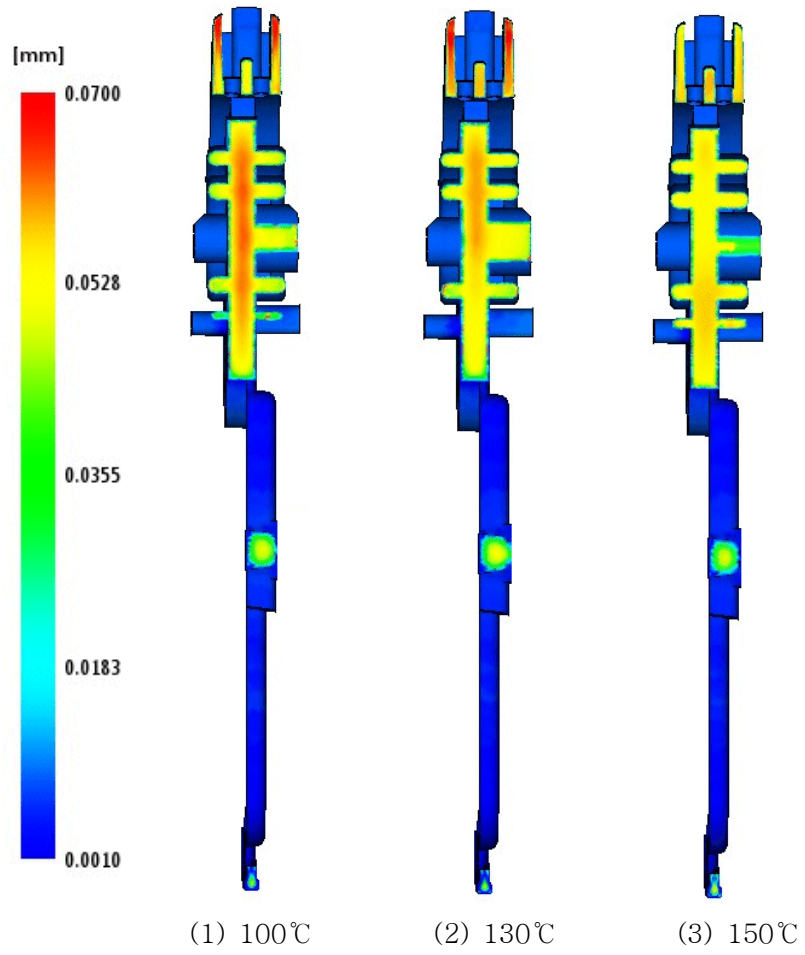


그림 3.37 제품 검토 해석 모델의 히팅 온도에 따른 포화셀 분포 비교

### 3.5 시제품 품질 특성 평가

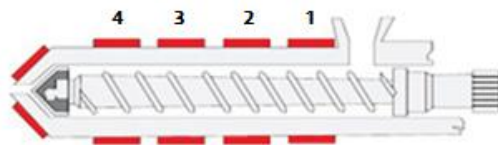
본 연구에서는 앞에서 언급된 제품 검토 모델에 대해 사출해석 특성을 분석하여 금형제작을 실시하였다. 본 장에서는 뮤셀 사출성형은 고려되지 않았으며, 이는 뮤셀 사출성형을 위해서는 사출장비의 개조 부분이 포함되어야하기 때문에 다음 장에서 검토 할 예정이다. 본장에서는 전류가열 금형에 대한 내용으로 연구되었으며, 전류가열 금형에 의한 제품의 표면 특성에 대해 언급하고자 한다. 이는 앞에서 언급된 사출성형해석에서 전류 가열에 의한 금형의 균일한 온도 상승, 금형 온도 변화 등에 따른 제품의 특성에 대해서 분석 되었다. 그러나 사출성형해석의 경우 실제 제품의 표면 특성에 대한 분석은 표현되지 않기 때문에 본 장에서는 금형제작 및 시제품 제작을 통해 전류가열 금형에 따른 제품 표면 특성을 파악하고자 하였다.

전류가열 금형 제작은 사출성형해석 결과인 에어트랩과 웰드라인, 게이트 형상 등을 금형 설계에 반영하였으며[63], 금형 구조로 냉각수는 지속적으로 흐르면서 히터를 이용한 전류가열 금형에 ON, OFF 되는 구조를 금형에 반영하였다.

사출성형 조건으로는 사출온도, 속도, 계량거리, 보압 등 여러 변수들이 많으며, 이는 기존의 경험에 따른 조건으로 설정하였다. 사출성형해석에서 고려한 전류가열 금형 온도에 따른 제품 표면 특성은 전류가열 금형 온도에 따라 분석하였으며, 이는 육안으로 구별되는 웰드라인을 분석 하였다. 사용된 소재는 사출성형해석에서 사용된 LG 화학의 PC+ABS 소재를 사용하였다.

표 3.6 사출성형 조건

구 분	PC/ABS				보압 조건	
	4	3	2	1	보압	1
사출	4	3	2	1	보압	1
속도 [%]	10.0	15.0	25.0	1.0	압력 [bar]	90
위치 [mm]	0.0	12.0	14.0	18.0	사출압력 [MPa]	115.9
압력 [bar]	90	100	100	100	시간 [초]	5.00
사출압력 [MPa]	115.9	128.8	128.8	128.8	속도 [%]	10.0



전류가열 금형을 이용한 사출성형 공정은 금형에 수지를 충전 후 금형이 열리면 전류가열 금형 내 가열코어에 전류가 공급되어 열선에서 열을 발열하게 되며 이는 금형온도를 열선의 열로서 15 ~ 20초 내로 가열하여 수지온도 수준까지 가열하고

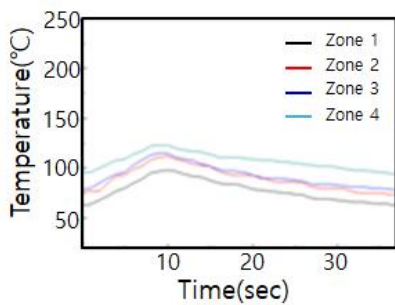
금형이 닫히면 수지를 사출 충전시키고 냉각 공정에서는 이동가열코어에 전류를 차단시키고 냉각수를 금형내 급속하게 공급시켜 금형 및 제품이 냉각이 이루어지도록 한다. 냉각완료 되면 제품을 취출하게 되며 이러한 사이클을 반복하게 하는 구조로 금형 제작 및 사출기 프로세스를 정립하였다. 전류가열 금형에 있어 금형 온도에 따른 가열 시간은 금형 온도 상승에 따른 가열 시간이 일정하게 상승되는 프로세스로 하였으며, 온도 상승에 따른 가열 시간의 설정 값은 다음과 같다.

표 3.7 전류가열 금형 온도 상승에 따른 가열 시간

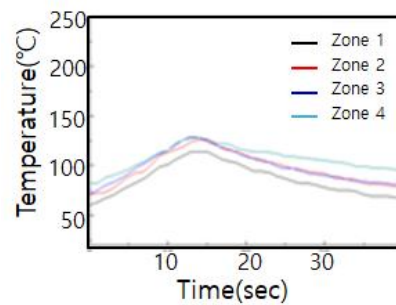
금형 온도(°C)	100	110	120	130	140	150	160	170
가열 시간(sec)	9.0	10.0	11.9	14.2	14.9	16.5	18.0	20.0

표 3.7에 따라 금형 온도 레인지(Range)로 제어는 120°C부터 10°C 증가 하면서 금형과 제품이 맞닿은 부분의 금형표면에 온도 센스를 이용하여 제어를 하였다. 온도 센스는 제품과 맞닿은 금형 표면부 4곳을 선정하여 센스를 부착하였으며 이는 사출 성형시 온도 변화를 모니터링 하기 위한 장치로 활용 하였다.

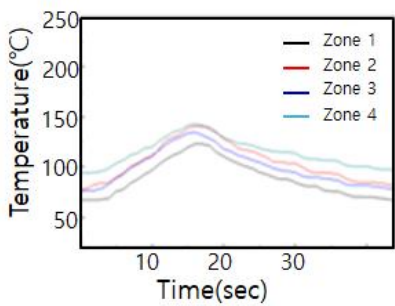
그림 3.38에서 전류가열 금형의 온도 변화에 따라 급 가열과 냉각 선도의 변화 차이는 있으나 온도 변화 추이는 비슷한 것으로 나타났다.



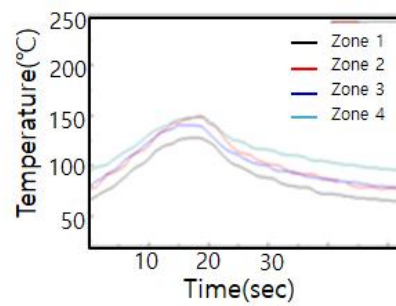
(1) 120°C



(2) 130°C



(3) 140°C



(4) 150°C

그림 3.38 사출성형 중 전류 가열 금형 온도 변화

시제품 제작은 전류가열 금형의 온도별 제품 품질 특성 분석을 위해 온도 레인지 (Range)로 제어 하였으며, 온도 레인지는 0℃와 110℃부터 10℃ 증가 하면서 제품 표면에 웰드라인이 발생하지 않는 범위의 온도까지 시제품을 제작 하였다.

전류가열 금형 온도별 제품의 표면 특성은 0℃를 포함하여 130℃까지 수지가 만나는 지점에서 웰드라인 마크가 발생하는 것을 확인하였으며, 온도의 증가에 따라 웰드라인 마크의 정도는 차이가 나타나며, 150℃에서 웰드라인 마크가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 또한 온도가 증가함에 따라 미세하지만 성형성이 양호한 것을 확인하였으며, 제품 표면의 광택도도 증가하고 150℃이상에서 특히 성형성 및 광택도가 높아지는 것을 확인하였다.

전류가열 금형 온도 150℃ 이상에서는 웰드라인 마크는 발생하지 않으나 제품이 금형에 접착되는 현상을 보여 제품 양산성을 검토할 때 연속 생산에 어려움이 있을 것으로 판단하였다.



(1) 0℃



(2) 100℃



(3) 130℃



(4) 150℃

그림 3.39 전류 가열 금형온도에 따른 제품 특성

전류가열 금형에 의해 금형 온도 150℃에서 웰드라인 마크나 플로우 마크가 없는 제품을 완성하였다. 그러나 본 부품은 자동차 내장재 부품으로 자동차의 신뢰성 평가를 통과하여야 한다. 전류가열 금형에 의해 시각적으로 양질의 제품을 얻는 다고 하더라도 신뢰성 평가인 내열 사이클, 내약품성, 연소성, VOCs(휘발성 유기화합물) 등의 시험을 만족하여야 하기 때문이다.

내열 사이클 시험은 환경시험으로 환경챔버내에서 시험을 하며 환경챔버는 내열·내한 조건을 만족할 수 있는 대기와 분리 된 공간을 가진다. 이때 시험은 제품표면 온도  $110\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 환경챔버내 분위기 온도  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 내열 범위와  $-40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 내한 범위 및  $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 90% 상대습도 환경 범위를 1사이클(24시간)로 하는 시험을 3사이클 시험 후 제품 특성을 육안 검사하는 방법이다. 육안 검사는 제품이 육안으로 판단할 수 있는 범위의 비틀림, 변형, 변색, 균열, 잔금, 박리, 제품 표면에서의 끈적임 등이 없어야한다. 시험결과 이에 요구되는 제품 품질은 양호한 것으로 나타났다.

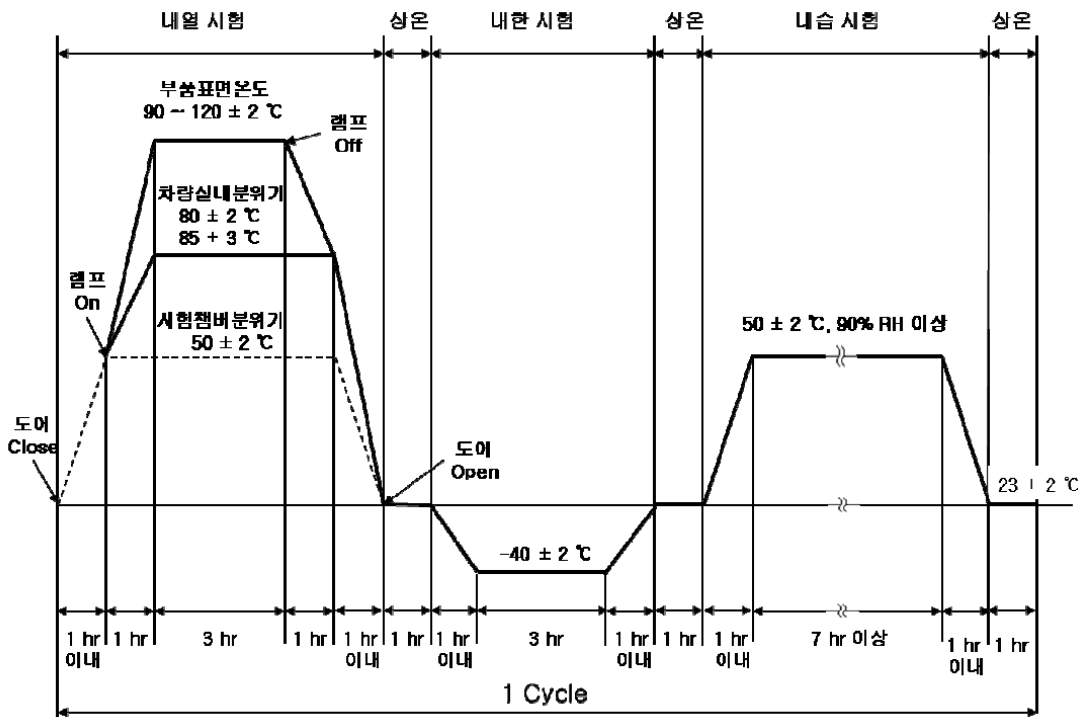


그림 3.40 내열 사이클 시험 범위

내약품성 시험은 제품 표면을 약품에 적신 헝겊으로 3회 닦고 환경챔버내에  $-23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 와  $50\pm 5\%$ 의 절대습도 조건에서 24시간 방치 후 육안으로 확인되는 범위내에서 제품의 비틀림, 변형, 변색, 균열, 잔금, 박리, 제품 표면에서의 끈적임 등이 없어야한다. 이때 약품은 자동차 용품으로 많이 사용되어지는 그리스, 내장용 왁스, 유리 세정대 등을 말한다. 또한  $80^{\circ}\text{C}$  항온조 내에서 3시간 유지한 후에도 육안검사를 통해 제품의 특성을 평가 하였다. 시험결과 자동차 제품 특성에 요구되는 제품 품질은 양호한 것으로 나타났다.

연소성 시험의 경우 국토해양부 안전기준 제95조에 준하여 시험하였으며 자동차 실내에서 내장재 연소성 시험방법 및 요구품질에 대한 규정으로 자동차 실내에 사용되는 내장재료 중 표피에서 13 mm 이내인 내장 재료를 대상부품으로 하기 때문에 연소성 시험을 실시하였다. 시험방법은 제품에서 시험을 위한 시료를 채취하고 일반 시료 상태와 고온에서 방치한 시료 두 종류로 나누어 시험을 실시하였다. 채



취된 시료는 연소상황 3가지(연소속도가 80 mm/min 이하일 것, 불꽃이 15초 달라도 연고하지 않을 것, 착화는 하나 연소가 500 mm 이하에서 또는 60초 이내에 자연적으로 꺼질 것)를 모두 만족하여야 하고 시험은 각 5회 반복시험을 한다. 시험결과 모두 만족 하였다.

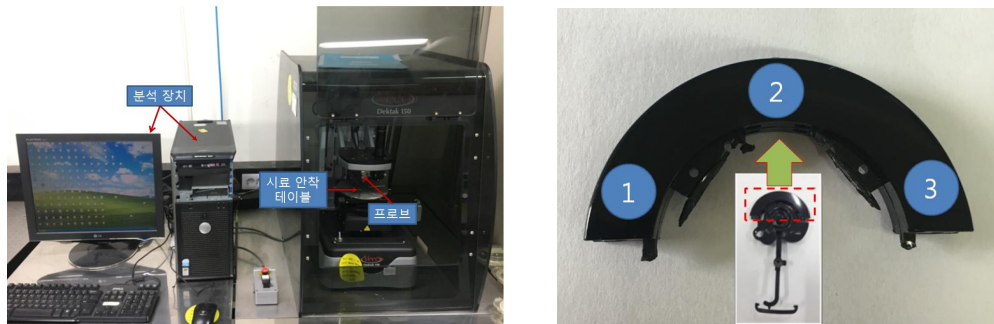
최근 VOCs (휘발성 유기화합물)에 의한 자동차 법규가 강화 되면서 자동차 내장재에 대한 VOCs 시험은 반드시 실시되어야하는 시험 품목이다. 시험방법은 시료 시험용과 배경시험용 샘플링 백을 각각 준비하고 샘플링 백에 질소를 채운 후 충전된 질소를 펌프를 이용하거나 손으로 눌러서 완전히 빼낸다. 이 과정을 3회 반복 실시하여 샘플링 백을 세척하고, 샘플링 백을 시험편이 들어갈 수 있도록 가장자리를 최소한의 크기로 절개한 후 준비된 시료를 샘플링 백에 넣는다. 이후 샘플링백의 절개된 부위를 두 번 접은 후 테이프를 밀봉하거나 열융착기로 접합하고 배경시험용은 시료를 넣지 않고 모든 과정을 동일하게 실시한다. 샘플링 백 내부에 질소를 가득 채운 후 손으로 눌러 새는 곳이 없는지 확인한 후 다시 샘플링 백 내부의 질소를 완전히 빼낸다. 이 과정을 3회 반복 실시하고 샘플링 백에 질소를 2/3을 넣은 후 마개를 막는다. 샘플링 백은 65℃로 맞추어진 오븐에 넣고 2시간 동안 유지한 후 오븐에서 샘플링 백을 꺼내어 환경챔버내 실온 23±2℃에 30분간 방치하고 내부온도를 실온까지 식힌 후에 샘플링백이 완전히 충전되도록 질소를 채운다. 그리고 샘플링 백에 DNPH 카트리지를 연결하여 유속 0.5 l/min으로 1.5 l의 시료를 채취한 후, 바로 TENAX-TA 가 충전된 흡착관을 연결하여 유속 0.1 l/min 으로 1 l를 채취하는 방식으로 간이측정기를 이용하여 부품의 포름알데히드와 TVOC를 분석하였고, 그 결과 포름알데히드 0.01 ppm 미만, TVOC도 0.01 ppm 미만이라는 결과를 확인하였다. 이때 포름알데히드는 1.5 ppm 미만, TVOC는 4.5 ppm미만이어야 한다.

이와 같이 본 장에서는 시제품 제작 후 본 연구에서 전류가열 금형으로 개발된 시제품을 자동차 내장재로 사용할 수 있는지에 대한 타당성을 확보하기 위해 사출 성형해석으로 확인 할 수 없는 제품 표면 정도, 내열 사이클, 내약품성, 연소성, VOCs 등의 시험을 통해 증명하였다.

### 3.6 시제품 표면 특성 평가

자동차 내장재의 경우 제품 표면의 시각적인 품질이 요구되고 있다. 특히 승객의 시각에 보여지는 부분의 제품이라면 더욱 표면 품질을 요구한다. 앞장에서 전류가열 금형 150℃에서 웰드라인 마크나 플로우 마크는 발생되지 않았다. 이는 제품의 기능에서 큰 도움이 되나 승객의 시각에서 보면 더 정밀한 표면 정도를 요구한다. 따라서 본 연구에서 승객의 시각적 측면에서 제품의 표면 특성을 평가하고자 한다.

먼저 시제품에 대한 표면 특성을 평가하기 위해 표면단차계측기를 이용하여 분석하였다. 이 방법은 제품의 표면에 프로브를 제품 표면에 접촉시켜 스캔하는 방식으로 제품의 표면 거칠기를 측정하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 제품에서 육안으로 표출되는 웰드라인 마크 또는 플로우 마크가 발생하는 부를 비교 측정하였다. 표면단차계측 장치는 모델 DEKTAK 150, 측정범위 157 μm x 118 μm의 장치를 사용하였다.



(1) 표면단차계측 장치

(2) 시료 측정 위치

그림 3.41 표면단차 계측 장치 및 시료 측정 위치

그림 3.42은 전류가열 금형 온도에 따른 시제품의 표면 조도를 나타낸 것으로 전류가열 금형에 온도를 올리지 않은 것은 시제품 3구역 평균 53.3 nm로 전류가열 금형에 온도가 있는 것 보다 표면조도 특성이 불리한 것으로 나타났다. 또한 전류가열 금형의 온도 100℃에서 20℃씩 증가한 시제품에 대해 표면조도를 측정하였으며 이때 금형의 온도를 높일수록 표면조도도 좋아 지는 것을 확인하였다. 그러나 너무 높은 금형의 온도는 표면조도가 좋아 질수 있으나 앞 절에서 논한 바 있듯이 제품이 금형에 접촉되는 결점이 있어 성형성에 문제가 있을 우려가 있다. 본 연구에서는 150℃에서 연속 사출성형을 할 경우 제품 일부가 금형에 접촉이 되는 문제가 발생하였다. 따라서 제품의 표면과 제품 연속 사출 성형시 문제가 되지 않는 범위는 150℃이하 130℃ 이상인 것으로 나타났다. 이는 제품의 형상과 크기에 따라 결과는 변화 할 수 있으며, 제품에 따라 전류가열 금형의 온도를 제어할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

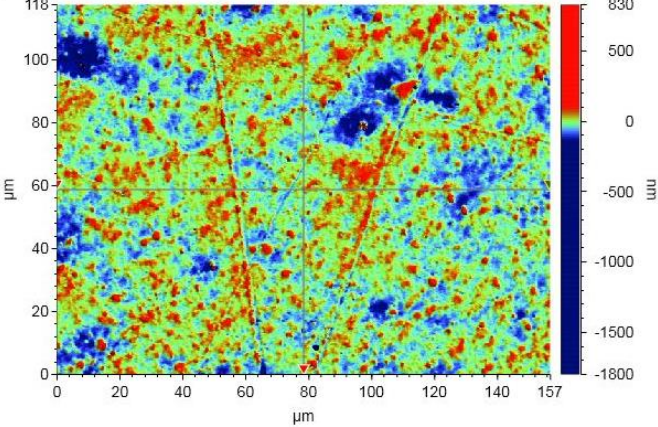
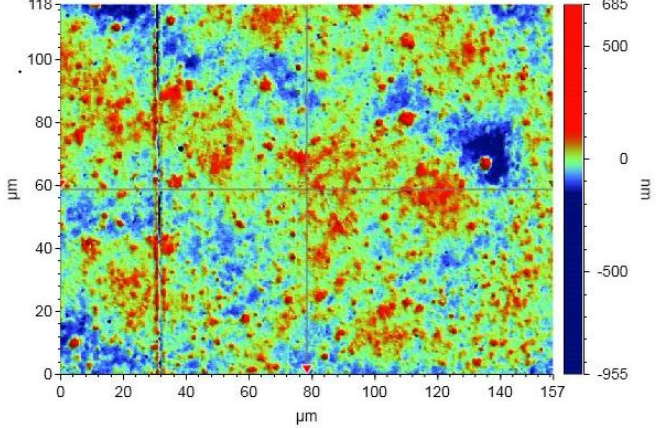
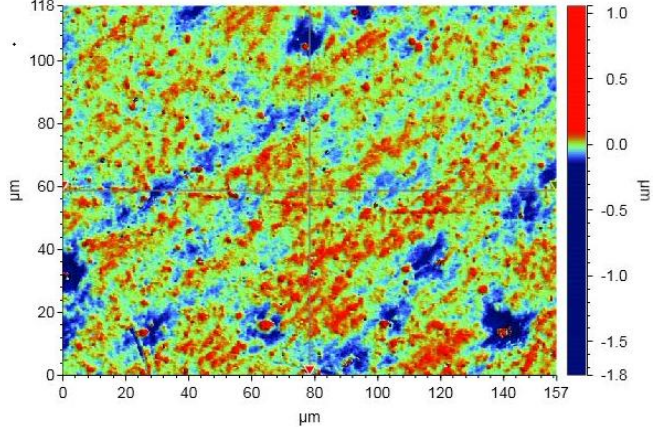
구 분	표면 형상	표면조도	표면조도 평균
① 구역		53.8nm	
② 구역		54.6nm	53.3nm
③ 구역		57.6nm	

그림 3.42 전류가열 금형 온도에 따른 시제품 표면 조도(금형 온도 0°C)

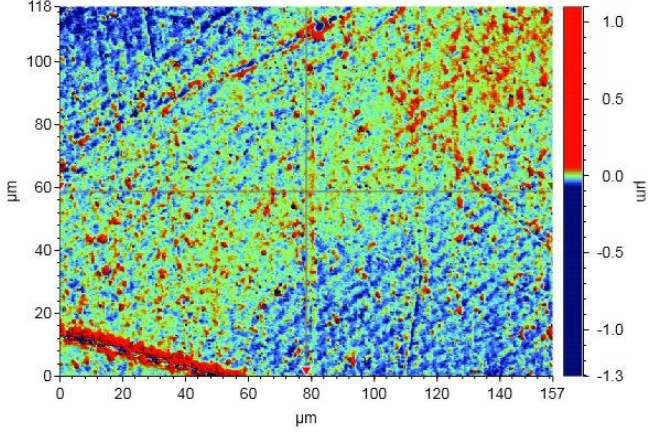
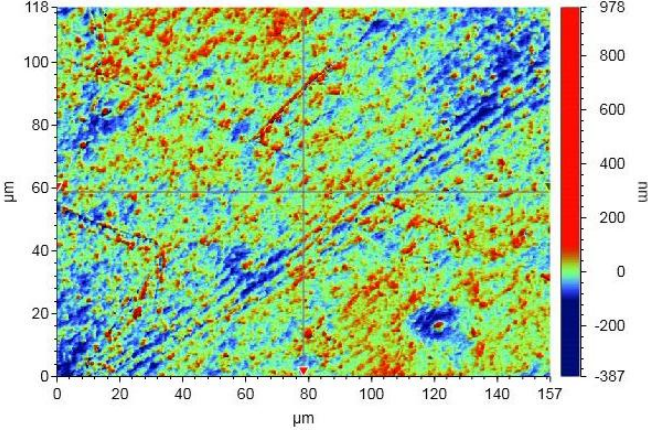
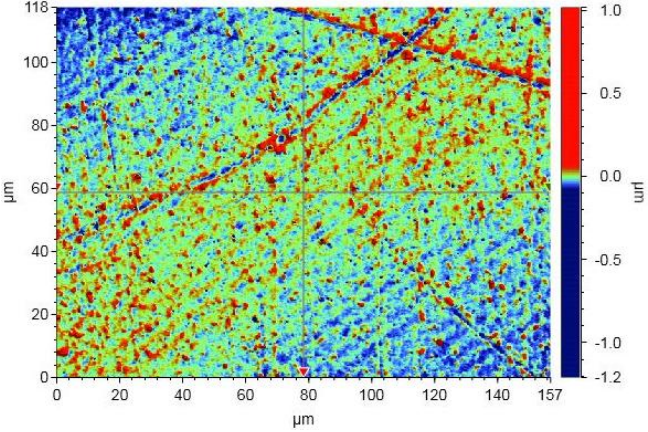
구 분	표면 형상	표면조도	표면조도 평균
① 구역		47.0nm	
② 구역		40.5nm	43.2nm
③ 구역		42.0nm	

그림 3.42 To be continued(금형 온도 100℃)

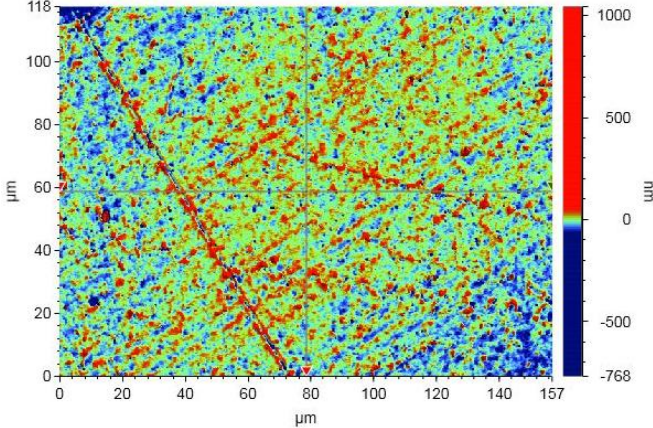
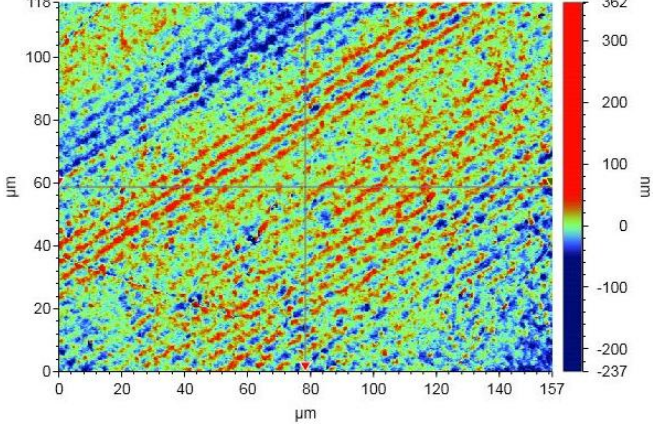
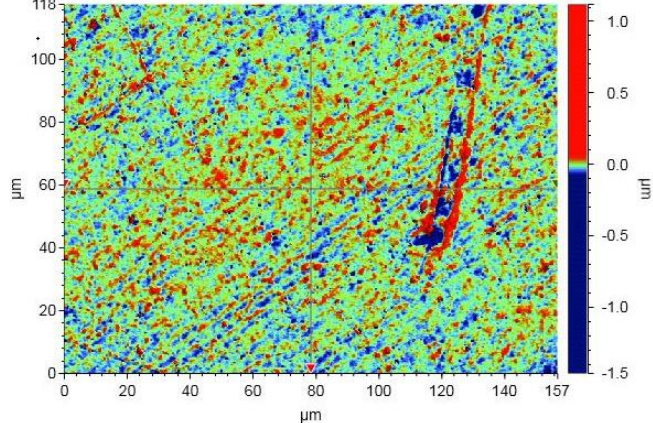
구 분	표면 형상	표면조도	표면조도 평균
① 구역		33.4nm	
② 구역		32.6nm	33.7nm
③ 구역		35.0nm	

그림 3.42 To be continued(금형 온도 130℃)

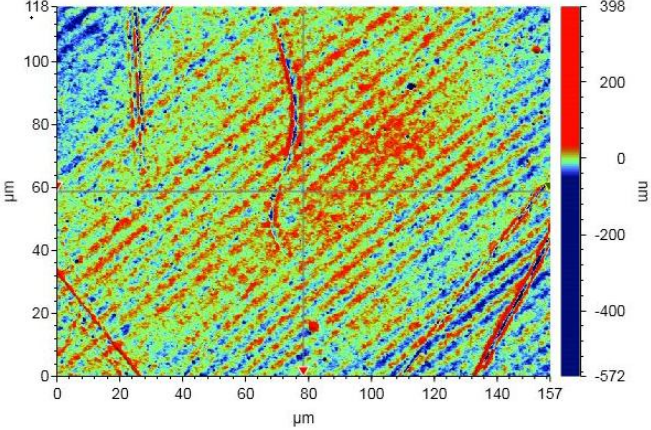
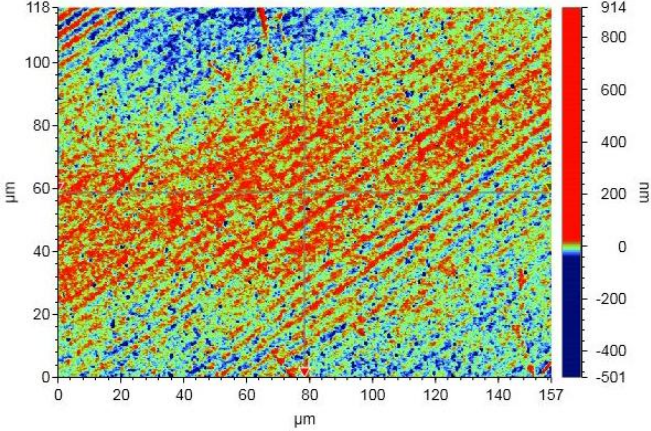
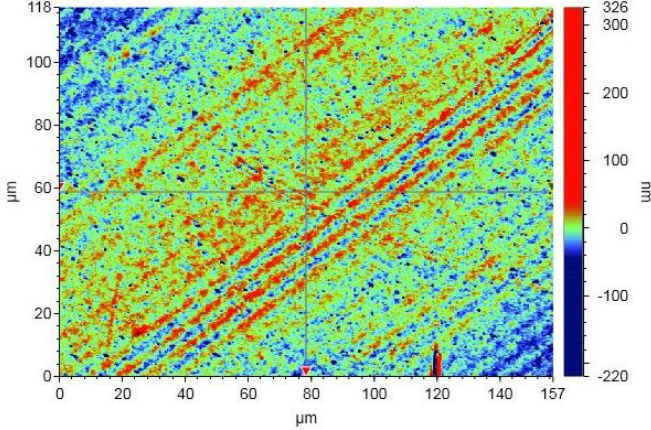
구 분	표면 형상	표면조도	표면조도 평균
① 구역		19.3nm	
② 구역		18.2nm	18.3nm
③ 구역		17.4nm	

그림 3.42 To be continued(금형 온도 150℃)

제품 표면의 조도는 제품의 품질에 크게 좌우를 한다. 그러나 전류가열 금형에 있어 가열 온도는 제품 표면 조도에도 영향이 있지만 금형 온도가 너무 높을 경우 연속 사출성형에 문제가 된다. 이러한 문제는 가열 금형에 대한 온도의 문제인지 사출성형 소재가 너무 높은 온도로 올라갈 때 제품 표면에서의 화학적 성분의 변화로 발생하는 것인지에 대한 증명이 되어야 한다. 따라서 이를 증명하기 위해 XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)장비를 이용한 시료의 화학결합 상태를 확인하고자 하였다. 이는 시료 표면에 X-선을 입사하여 방출되는 광전자로 고체표면과 계면의 구성 원소나 그의 화학결합 상태를 밝히는 방법이다. 시료는 전류가열 금형에 온도를 올리지 않은 경우와 금형 온도 150℃로 올린 경우의 시제품에서 시료를 추출하였다.

그림 3.43은 전류가열 금형에서 금형 온도 0℃인 것과 150℃인 것에 대한 화학결합 상태를 나타낸 것이다. 두 시료 모두 화학결합은 탄소(Carbon), 산소(Oxygen), 질소(Nitrogen), 규소(Silicon), 소듐(Sodium), 염소(Chlorine) 등으로 구성되어 있는 것을 확인하였다.

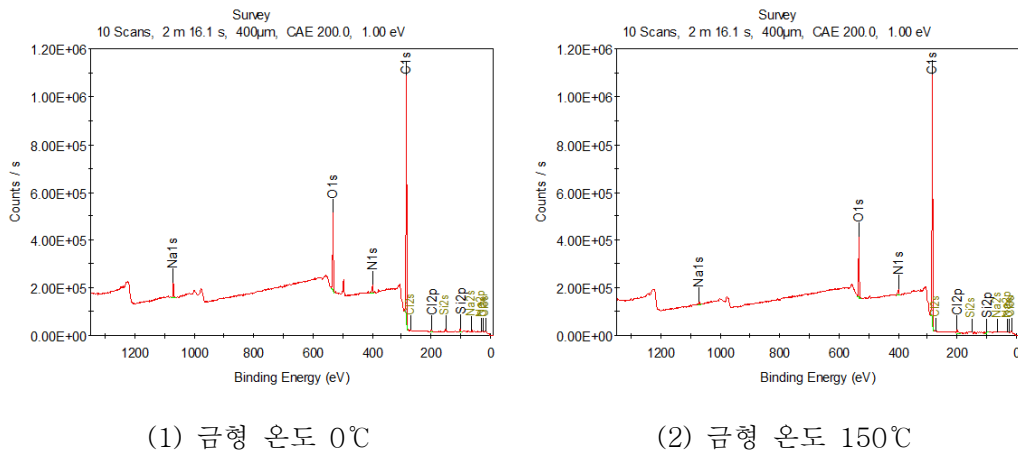
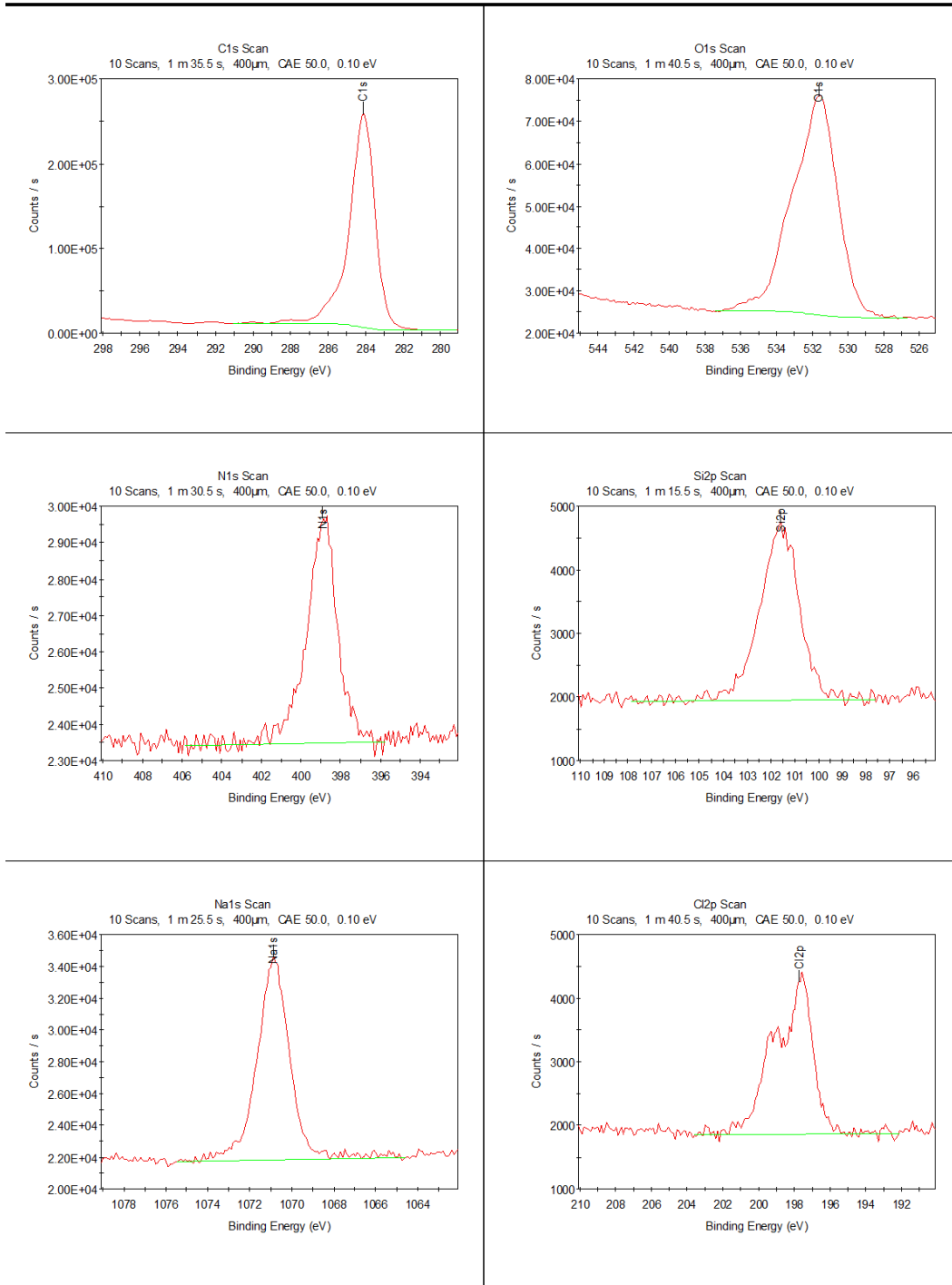


그림 3.43 금형 온도에 따른 화학결합 상태

그림 3.44와 그림 3.45는 금형 온도 0℃과 150℃에서의 화학결합 성분율을 나타내었다. 이때 두 조건 모두 탄소가 80% 이상을 함유하고 있고 다음으로 산소가 10% 이상을 함유하고 있어 이 두 원가가 90% 이상을 차지하고 있는 것을 확인하였다. 또한 탄소, 산소, 질소, 규소, 소듐, 염소 모두 두 조건이 비슷한 화학결합 성분율을 함유하고 있으며 이 성분율은 미소하게 차이가 있다. 그러나 이 미소한 성분율 차이로 인해 앞에서 언급한 금형 온도가 일정 이상이 될 때 제품의 일부가 금형에 접착되는 문제로 발생하는 것은 아닌 것으로 판단된다.

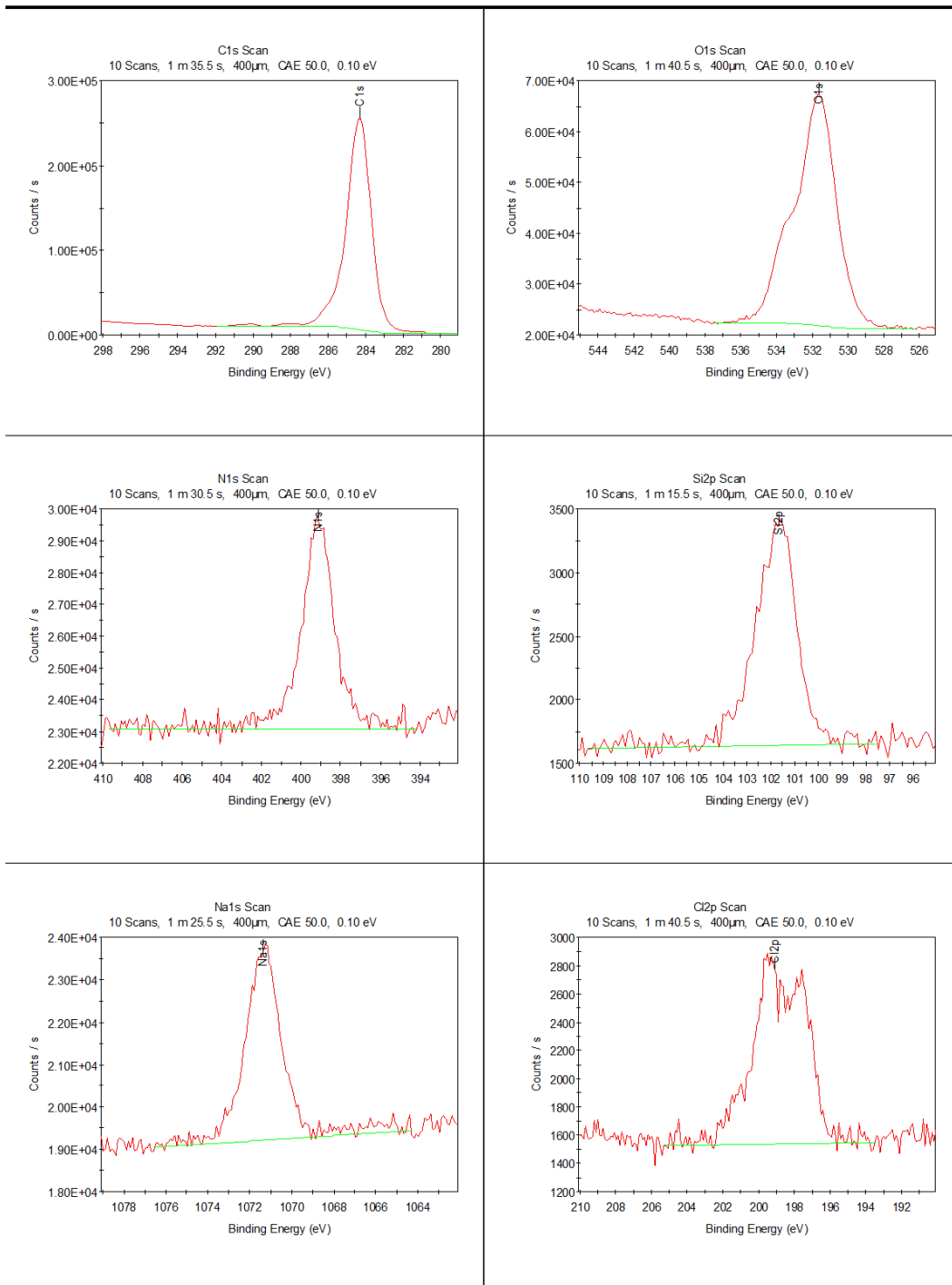
따라서 전류가열 금형에서의 사출성형시 제품 표면의 품질 향상을 위해서는 금형 온도에 크게 영향이 있는 것으로 판단되어 일정 온도 범위에서 사출성형을 하여야 제품 양산시 효과가 극대화 된다는 것을 확인 하였다.



성분	Carbon(%)	Oxygen(%)	Nitrogen(%)	Silicon(%)	Sodium(%)	Chlorine(%)
합량	83.23	12.76	1.51	1.1	0.97	0.43

그림 3.44 금형 온도 0°C에서 화학결합 성분율





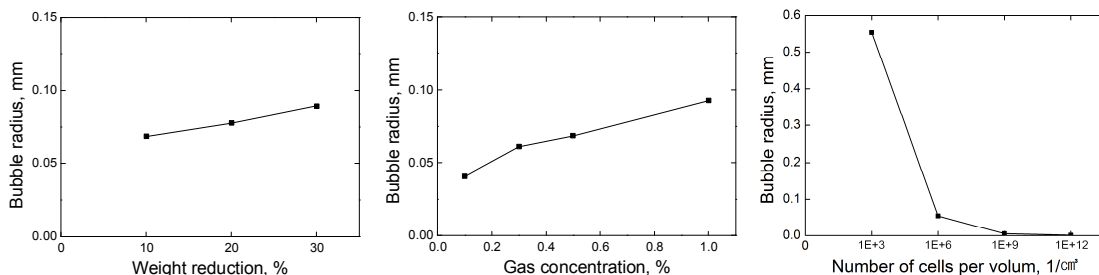
성분	Carbon(%)	Oxygen(%)	Nitrogen(%)	Silicon(%)	Sodium(%)	Chlorine(%)
함량	85.29	11.25	1.9	0.78	0.43	0.34

그림 3.45 금형 온도 150°C에서 화학결합 성분율

### 3.7 결론

본 연구에서는 상용유한요소해석 프로그램인 Moldflow를 사용하여 사출성형 해석을 수행하였으며, 3D 메쉬(Mesh) 모델링은 Hyperworks을 이용하여 설계 하였다. 사출성형 해석을 통해 본 연구에서 구현하고자 하는 “전류가열 금형과 뮤셀 발포성형을 통한 경량 센터 페시아 개발”을 목표로 시제품 제작 시 발생할 수 있는 사출성형 조건을 제시 하고자 하였다. 이때 사출성형 해석 접근 방법은 해석기간을 단축하기 위해 TEST 해석 모델을 만들어 전류가열 금형 적용 뮤셀 발포성형 조건을 검증하고, 사출성형해석을 통해 검증 되지 않은 부분인 전류가열 금형에 의한 제품 표면 품질 향상은 시험을 통해 검증 하고자 하였다.

1. 뮤셀 사출성형 공법에서 경량화율은 사출 소재를 적게 사용하면서 제품을 미성형 없이 완성하는 것으로 경량화율 만큼 제품의 소재 중심부에서 부터 포화셀이 성형되어 제품 경량화가 이루어진다. 이는 제품 중심부에 포화된 셀의 직경이 커지거나 셀의 양이 많아져야 되는 경우로 포화셀의 직경을 제어하는 것이 중요하다. 이를 위해 경량화율 10%, 20%, 30%를 각각 해석한 결과 경량화율에 비례하여 포화셀의 직경이 커지는 것으로 나타났다.
2. 초기 가스 농도는 PC+ABS 소재에 N<sub>2</sub> 가스의 농도를 의미하는 것으로 가스 농도에 따라 포화셀의 직경이 변화한다. 또한 가스의 혼합 압력 즉 초기 가스 압력에 따라서도 초기 가스 농도와 같은 포화셀의 직경 변화를 보였다. 따라서 초기 가스 농도나 압력의 증가에 따라 포화셀의 직경이 커지는 것으로 나타났다.
3. 단위 체적당 셀 수에 따른 사출성형 특성에서 포화셀의 수를 사출성형 해석에서는 제어가 가능하다. 따라서 정해진 공간에 포화셀의 수를 증가한 다는 것은 포화셀의 직경이 작아진다는 의미이기도 하다. 이는 실험에서는 제어할 수 없으나 실험 후 분석시 제품내 셀 수를 파악하는 측면에서 고려 할 필요가 있을 것으로 판단된다.



4. 보통의 사출성형 금형은 냉각라인을 포함하고 있다. 본 연구에서는 제품 개발 목 표적인 제품 표면 조도 개선을 위해 히팅라인이 포함되어 있다. 이때 히팅라인에

의한 포화셀의 영향을 파악하기 위해 히팅 온도(100℃, 130℃, 150℃)별 포화셀의 직경을 분석 하였다. 해석결과 온도에 따른 포화셀의 직경 변화는 미비하나 온도 증가에 따라 포화셀의 최고 직경이 큰 셀의 분포가 많아지는 것으로 나타났다.

5. 본 연구에서 최종 개발하고자 하는 제품 개발 전 제품 검토 해석 모델을 분석 하였다. 이 과정은 금형 개발시 개발 비용과 시간을 단축하고 제품 적용에 있어 위험부담을 줄이고자 고려한 절차이다. 성형성, 냉각 및 히팅 금형 구조는 실 금형 설계에 반영 하였고, 온도별 포화셀 분포의 경우 Test 금형에서 분석된 온도가 높을수록 포화셀의 직경이 커진 것과 달리 낮은 온도에서 국부적으로 포화셀의 직경이 커고, 150℃에서 포화셀의 직경이 균일하게 나타났다. 따라서 온도별 포화셀의 직경의 경우 제품 특성에 따라 변화하고 있는 것으로 판단된다.
6. 사출성형해석을 통해 검증 되지 않은 부분인 전류가열 금형을 제작하여 제품에 대한 품질 특성 평가를 실시하였다. 전류 가열조건은 사출성형해석에서 사용된 조건으로 금형을 제작하고 사출성형을 통해 제품을 제작 하였다. 이렇게 제작된 제품을 통해 내열 사이클, 내약품성, 연소성, VOCs 등의 시험을 통해 제품 품질 특성을 평가 하였고 이에 만족 하였다.
7. 전류가열 금형 공법을 사용하는 가장 큰 사유는 제품에 후속 공정인 페인팅 공정을 하지 않을 만큼의 표면 특성을 향상 시키는 것이다. 따라서 전류가열 금형을 이용하여 금형 온도별 표면특성을 분석 하였으며, 본 연구에서의 가장 우수한 금형 온도는 150℃로 확인 되었다.

제4장 전류가열 금형 설계 및  
뮤셀공법 적용 연구



## 4.1 서론

사출성형은 생산비용의 절감, 제품 디자인의 제약성 극복과 대량생산 측면에서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 플라스틱 성형에 대한 응용기술이 전기, 전자 산업과 자동차 산업에 널리 보급되면서 그 중요성은 매우 강조되고 있다. 특히 자동차의 연료효율 향상 및 기타 원가 절감 등의 목적으로 비금속 재료 가운데 플라스틱이 차지하는 비율은 고무 성분을 포함하면 약 15%에 육박하고 있으며 앞으로도 꾸준히 증가세를 지속할 것으로 예상되고 있다.

또한 국내 금형업체는 비효율적인 금형설계에 의하여 금형의 수정에 많은 시간과 비용을 소모하고 있다. 더욱이 소비자의 기호가 다양화 되어 점점 복잡한 기능을 요구하므로 금형의 구조 및 부품수가 크게 증가하고 있는 실정이다. 설상가상으로 제품의 정밀도를 유지해야 함에도 불구하고 성형 수축량이 큰 플라스틱 재료를 사용하는 경우가 생긴다. 이때 여러 차례 금형 수정이 이루어지므로 컴퓨터를 이용한 사출성형해석이 필요하게 된다[64]. 이는 게이트의 위치나 형상을 검토해 줄 수 있을 뿐만 아니라 본 연구에서와 같이 전류가열 금형에 무셀 소재를 사용하는 복잡한 금형에서의 냉각라인 및 히팅라인에 대한 배치의 검증 그리고 이들 라인들 사이로 게이트가 설계 되어야하기 때문에 사출성형해석을 통해 금형 구조도 검토하게 된다.

금형설계에서는 먼저 사출성형기를 검토하게 되는데 이는 금형을 사출성형기내에 안착이 가능한지를 검토해야하기 때문이다. 금형의 볼륨(Volume)은 금형 히팅 및 냉각에서의 열전달 성능에 영향을 주며 이는 생산성과도 밀접한 관계를 가진다. 시제품의 성능 및 품질을 요구하는 수준으로 맞추기 위해서는 금형 설계에서 모든 것을 반영하지 않으면 시제품 사출 시 공정 조건 잡는 시간이 과도하게 많이 소요되며, 금형 수정도 동반할 수 있다. 이와 같이 금형 수정은 금형의 내구성을 불리하게 하는 요소이기도 하다.

따라서 금형 설계 완료 전 본 연구에서 요구되는 기술에 대한 사전 검토 협의가 필요하며, 이를 토대로 사출성형해석, 히팅라인 최적화, 냉각라인 최적화, 금형 구조 설계, 사출공정, 무셀 소재 특성 등의 각각의 전문가들의 역할 분담을 통해 본 연구에서 요구하는 제품 특성을 포함한 금형설계를 하고자 하였다.

본 연구에서는 상용유한요소해석 프로그램인 Moldex3D와 Moldflow를 이용하여 사출 금형에 전류를 급속 공급하여 가열하는 방식과 성형도중에는 전류 공급을 중단하고 냉각시스템을 작동하는 방식의 사출성형 시뮬레이션을 하고, 제품부에 냉각과 히팅이 일정한 온도로 유지될 수 있도록 냉각 및 히팅라인 구조를 검토하며, 이러한 금형구조에 대한 무셀 사출성형성 검토 후 금형설계를 완료 하고자 한다. 본 연구에서 시제품 제작 사출시 발생할 수 있는 가능성을 검토하여 금형설계 반영 하며, 시제품 제작시 사출기의 사출압, 속도, 수지량, 무셀 가스량, 사출금형온도 등에 대한 주요 인자를 검토하여 시제품 제작을 하고자 한다.

## 4.2 금형 설계를 위한 대상 제품 및 사출성형 장비 검토

### 4.2.1 대상 제품 검토

대상 제품은 센터 패시아라는 자동차 부품으로 차량의 실내와 엣지부를 격리하는 대시보드 중앙부에 장착되어 있으며, 오디오, 네비게이션, 에어컨/히터 등을 조작하는 컨트롤 패널이다. 이는 승객이 표면처리 등으로 인한 감성과 시각적으로 표현되는 디자인적인 측면에서 중요한 부분이기도 하며, 이와 같은 기능의 부품은 자동차 내부 부품에 크게 증가하고 있다.

본 연구에 사용된 소재는 PC+ABS을 사용하였다.



그림 4.1 대상 제품 설계

### 4.2.1 사출성형 장비 검토

#### (1) 사출성형 장비

성형장비는 (주)현대프라텍 SPE-350 모델의 350톤 사출기로 사출부는 스크류 직경과 사출압력, 사출중량 등 형체부 데이터이트, 형체 스트로크, 최대/최소형 두께, 타이바 간격 등의 제원은 표 4-1과 같다.



그림 4.2 350톤 사출기

표 4.1 사출기 주요 제원

사출부(INJECTION UNIT)	
스크류직경(mm)	66 75 85
사출압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1825 1413 1100
사출중량(g)	866 1118 1436
형체부(CLAMPING UNIT)	
데이라이트(mm)	1370
형체 스트로크(mm)	650
최대/최소형 두께(mm)	720/320
타이바 간격(mm)	700X700
일반(GENERAL)	
펌프모타용량(kW)	45
히타용량(kW)	60
총 전기용량(kW)	67.6
외형크기(m)	7.73X1.63X2.15

(2) 무셀 사출성형을 위한 사출성형 장비 개조

본 연구에서의 무셀 사출성형은 소재를 공급하고 가스와 혼합하여 사출하는 공정으로 사출기 계량 공정 중 스크루 위치와 배럴 압력을 실시간 감지하여 그에 상응하는 압력과 유량 시간동안 지정된 양을 주입하여 소재와 가스가 혼합된 초임계유체를 배럴에 주입할 수 있는 시스템으로 개조 하여야 하며, 일반 사출과 달리 스크루의 밀립 방지 시스템을 요구하기 때문에 유압차단 밸브, 인젝터, 유량계로 구성된 시스템으로 개조 하여야 한다.

여기서 스크루 및 배럴의 경우 수지 압축 및 용융을 하는 기능, 인젝터를 통해 주입되는 가스(본 연구에서의 가스는 질소가스)를 잘라주는 와이핑(Wiping) 기능, 용융수지와 가스를 섞어주는 믹싱(Mixing) 기능이다.

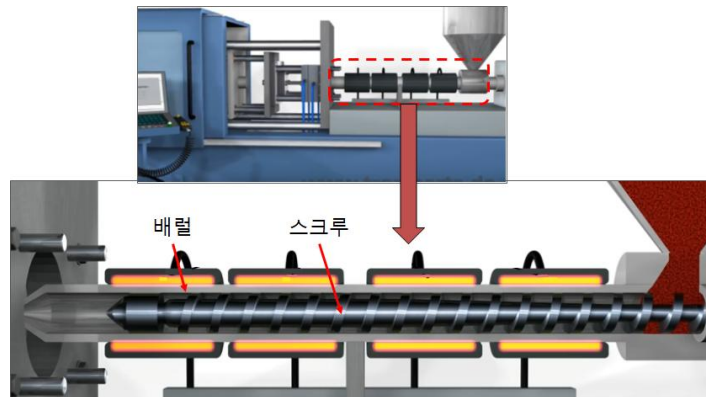


그림 4.3 사출성형기의 스크루·배럴



인터페이스 장치(Interface kits)의 경우 레귤레이터(Regulator), 이송 압력 제어, 압력 및 유량 공급 기능을 하며, 그림과 같이 사출성형기의 압력 및 기타 유량 제어를 위해 게이지부를 개조하였으며 이에 따른 인터페이스 장치를 추가 하였다.



(1) 게이지 개조 부분



(2) 인터페이스 장치 추가 부분

그림 4.4 사출성형기의 인터페이스 장치 개조

시스템 컨트롤러 장치의 경우 수지와 혼합되는 가스 주입방법을 제어하는 기능을 가지고 있으며, 위 그림에서의 게이지 역할을 인터페이스 장치를 통해 시스템 컨트롤러 장치에서 제어하는 기능을 한다.



(1) 시스템 컨트롤러 앞면



(2) 시스템 컨트롤러 뒤면

그림 4.5 사출성형기의 시스템 컨트롤러 장치

## 4.3 전류가열 금형 설계

### 4.3.1 전류가열 금형설계 개념

금형설계는 사출성형에서 아주 중요한 공정중 하나로 금형의 설계가 전체 공정의 80%이상 차지한다고 해도 과언이 아니다. 금형설계가 제대로 된다면 사출성형에서 쉽게 시제품을 생산할 수 있지만 금형설계가 제대로 되지 않는다면 사출성형 장비와 아무리 우수한 사출성형 인력이 있다고 하더라도 본 연구에서 요구되는 시제품을 생산할 수 없기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 사출성형 업체, 금형업체, 전류가열 업체, 무선편 관련 업체 등이 동시에 협력하여 금형설계가 되었다는 점을 미리 공지 한다.

금형설계에서 고려하여야 하는 것은 다음과 같다

- 제품 데이터 정보
- 사출 소재 정보
- 전류 가열 장치 정보
- 냉각 데이터 정보
- 사출기 사양

이와 같은 기본 정보를 이용하여 금형설계를 하며, 본 연구에서는 제품 데이터를 통해 게이트 위치 선정을 우선 검토 하였다. 이는 기존 사출방식과 달리 무선편 공정은 사출성형 중 일정 이상의 압력을 유지하는 것이 중요하며 이는 게이트의 형상과 위치가 중요한 역할을 하기 때문이다. 본 연구에서의 사출성형 게이트는 사출성형품내 2개가 존재한다. 이때 2개 게이트 위치에 따라 사출성형시 수지가 금형내 유동하면서 제품을 만들게 되는데 2개의 게이트에서 서로 만나는 웰드라인이 같아야 한다. 이는 한쪽에서 먼저 만나게 되면 나머지 한곳에 수지를 주입하기 위해 압력이 증가 되고 이와 같이 압력증가로 먼저 웰드라인이 생기 부위에서 무선편의 기포가 파손되는 일이 발생하기 때문이다. 따라서 게이트의 밸런스는 무선편 성형 공법에서 우선 해결해야 하는 숙제이기도 하다.

전류 가열 장치 및 냉각 장치는 금형을 급가열 및 급냉각하는 역할로 온도 특성·성능 곡선이 중요하며, 이는 제품 표면을 균일하게 가열하고 냉각 하는 기술로 균일함을 유지하지 못할 경우 제품의 표면 특성이 나빠지고 변형이 발생할 수 있다. 또한 무선편 공법에 의한 사출성형의 경우 기포가 표면으로 올라오면서 기포가 파손되는 경우가 발생하며 이는 제품의 표면 품질을 저하시키는 원인이 된다. 따라서 이를 해결하기 위해 금형에 일정한 온도로 가열하는 것은 중요한 요소이다.

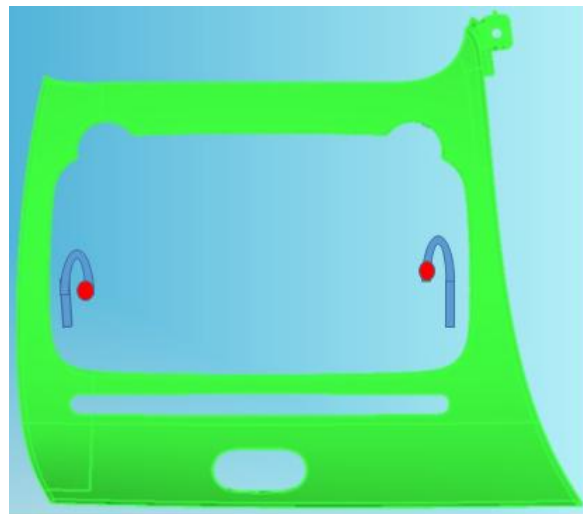
이에 따라 금형 설계 공정을 사출성형 해석과 연계하여 추진하며 사출성형 결과로는 게이트 위치 및 핫 런너 사이즈(Hot Runner Size)를 제시하고 사출성형 밸런스(Balance)를 검토함과 동시에 350톤 사출기 사양 적용과 무선편 발포성형 조건을 고려하여 형체력과 제품 변형을 검토하고자 하였다.

#### 4.3.2 금형에 대한 최적 게이트 위치 설계

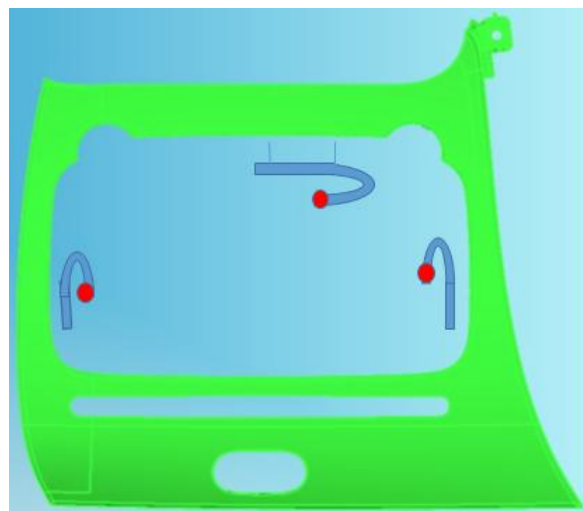
##### (1) 1차 게이트 위치 설계

본 연구에서 게이트 위치를 검토하기 위해 뮤셀 전문 기업, 금형설계 전문 기업, 금형 가열 전류 전문 기업, 사출해석 기관과 공동으로 게이트 위치 안을 검토하였다. 게이트 위치는 사출 성형시 밸런스를 통해 검토 하였으며, 뮤셀 성형공정 특성 상 핫 런너로 구성하였다.

이를 검토하기 위하여 사출해석 상용 프로그램인 Moldex 3D를 사용 하였으며, 해석에 사용된 수지는 PC+ABS, LG화학, 수축율 5/1000의 소재이다.



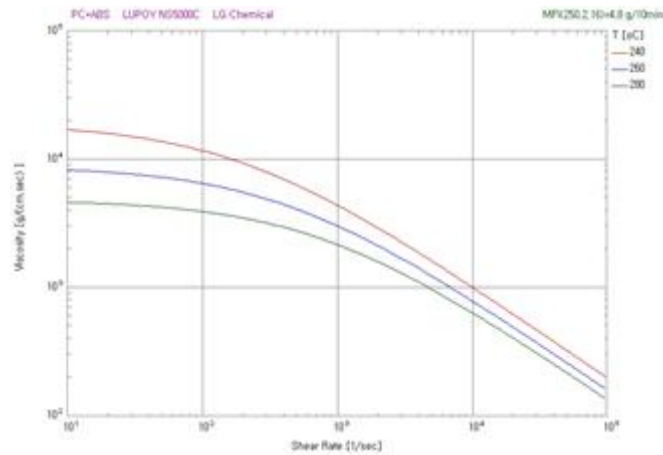
(1) 2 게이트



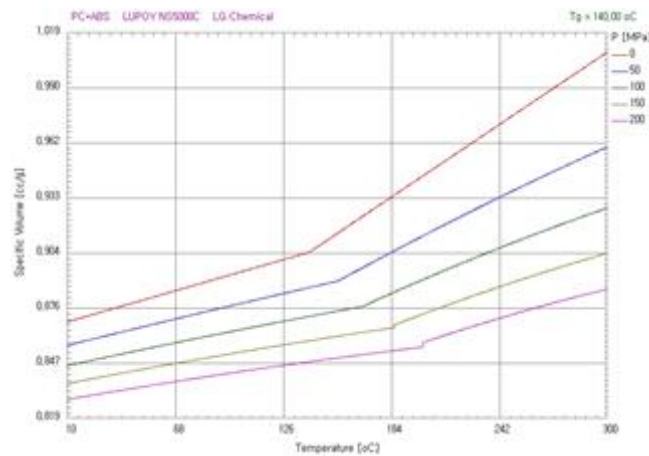
(2) 3 게이트

그림 4.6 금형설계를 위한 1차 게이트 위치 검토

아래 그림은 사출해석에 사용된 물성치로 온도와 전단을 변화에 따른 점도 곡선과 비결정 수지의 PVT 선도를 나타내었다. 이는 소재의 물성으로 수지 제조사인 LG 화학에서 제시된 물성치이다.



(1) 온도와 전단을 변화에 따른 점도 곡선

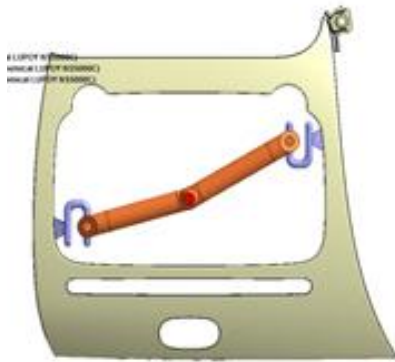


(2) 비결정 수지의 PVT 선도

그림 4.7 사출해석에 사용된 물성

그림 4.8을 바탕으로 2점 게이트 3종, 3점 게이트 1종으로 총 4종의 해석을 실시하였으며, 사출해석에 사용된 게이트 위치는 다음과 같다. 이때 Type-1과 Type-2는 사이드 엷지 게이트를 사용 하였으며, Type-3와 Type-4는 코끼리 게이트를 사용하였다. 사이드 엷지 게이트의 경우 뭉셀 발표 성형에 유리한 게이트로 알려져 있으며, 코끼리 게이트는 기존 센터 페이스아 부품 사출성형시 사용되는 게이트 이다.

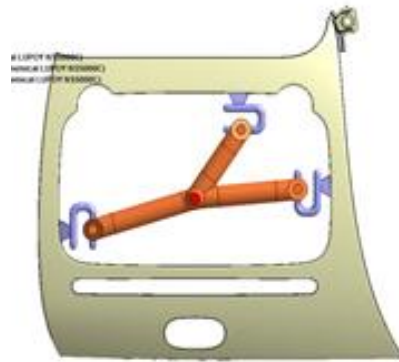
Type-1



3 Dimensional Drawing  
 1. PE 1278 FACIL\_0266\_03 2.AN.PC=482\_L.U.PC=03000C\_1.AN.CT8\_FACIL\_PipeBalance\_2.ppt  
 079 229 x 244 82 x 252.07 mm, 62=628.369 8mm 8mm 0.7mm 0.5mm 1.75mm  
 14. 14225a - 01

(1) 사이드 엷지 게이트 2점

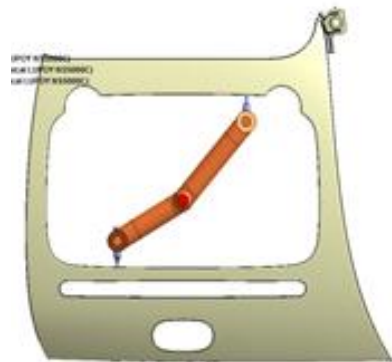
Type-2



3 Dimensional Drawing  
 1. PE 1278 FACIL\_0266\_03 2.AN.PC=482\_L.U.PC=03000C\_1.AN.CT8\_FACIL\_PipeBalance\_7.ppt  
 079 229 x 244 82 x 252.07 mm, 62=628.369 8mm 8mm 0.7mm 0.5mm 1.75mm  
 14-14-0 - 01

(2) 사이드 엷지 게이트 3점

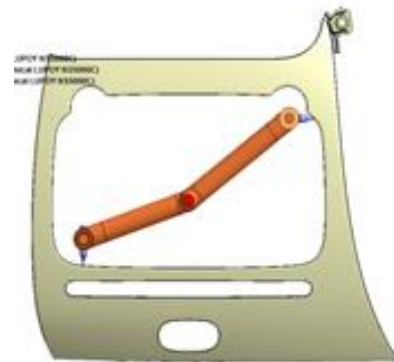
Type-3



3 Dimensional Drawing  
 1. PE 1278 FACIL\_0276\_04 2.AN.PC=482\_L.U.PC=03000C\_1.AN.CT8\_FACIL\_PipeBalance\_1.ppt  
 079 229 x 244 82 x 252.07 mm, 62=628.369 8mm 8mm 0.7mm 0.5mm 1.75mm  
 07.08

(3) 코끼리 게이트 2점

Type-4



3 Dimensional Drawing  
 PE 1278 FACIL\_0276\_04 2.AN.PC=482\_L.U.PC=03000C\_1.AN.CT8\_FACIL\_PipeBalance\_1.ppt  
 079 229 x 244 82 x 252.07 mm, 62=628.369 8mm 8mm 0.7mm 0.5mm 1.75mm  
 1.08

(4) 코끼리 게이트 2점

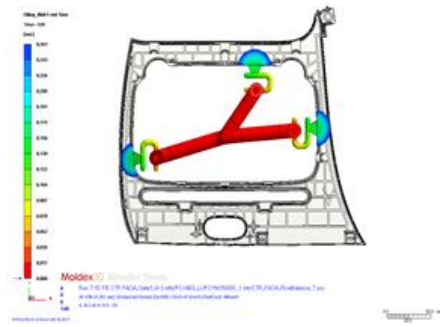
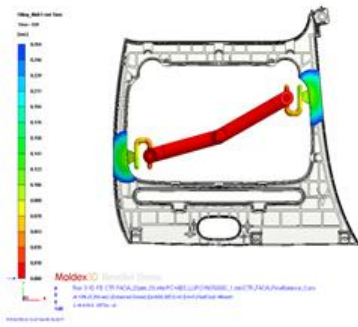
그림 4.8 1차 사출해석에 사용된 게이트 위치

그림 4.9는 게이트 위치에 따른 사출성형 밸런스를 확인하고자 사출성형해석을 추진하였다. 충전 속도로는 Type-1, Type-2, Type-4가 2.6초, Type-3이 2.8초로 나타났으며, 충전 60%에서 Type-3의 경우 위쪽에서 충전 진행 되는 모습을 보이며 사출성형 밸런스 측면에서 가장 불균일한 것으로 나타났다. 충전 70%에서 Type-2도 사출성형 밸런스 측면에서 불균일한 것으로 나타났으며, Type-1과 Type-4가 사출성형 밸런스 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

따라서 2차 사출성형해석에서 Type-1과 Type-4를 재평가하며 이때 게이트 위치를 미세 조정하여 사출성형 밸런스를 높일 예정이다.

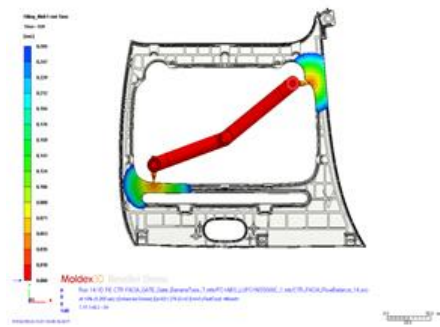
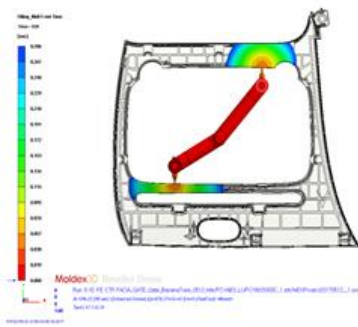
Type-1

Type-2



Type-3

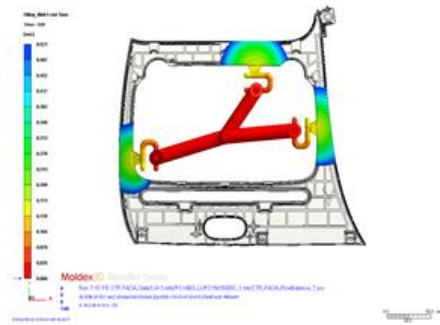
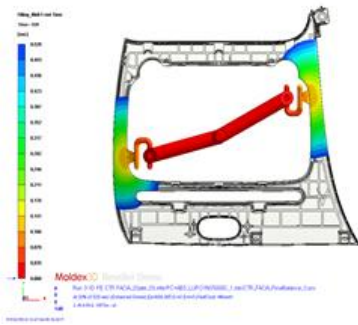
Type-4



충진 10%

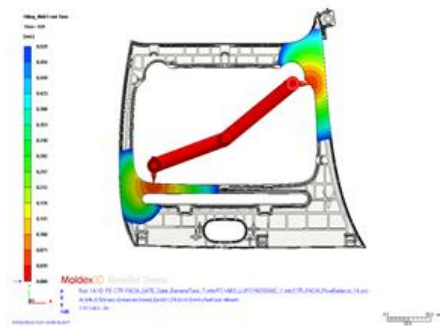
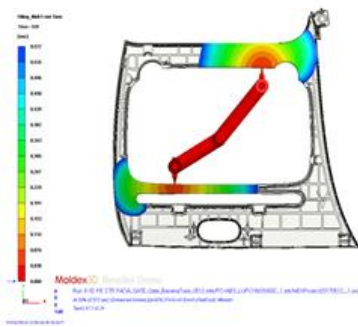
Type-1

Type-2



Type-3

Type-4

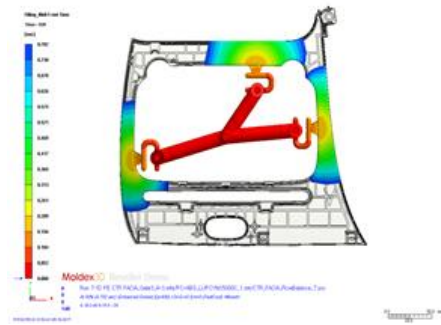
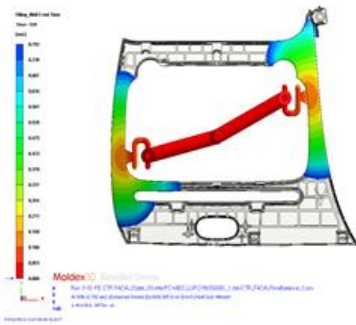


충진 20%

그림 4.9 1차 사출해석에서의 충진율

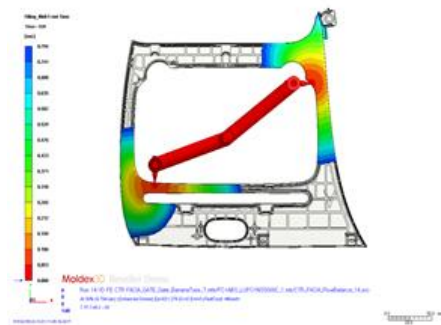
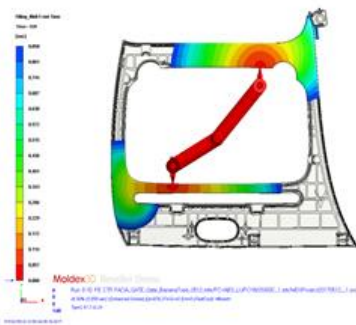
Type-1

Type-2



Type-3

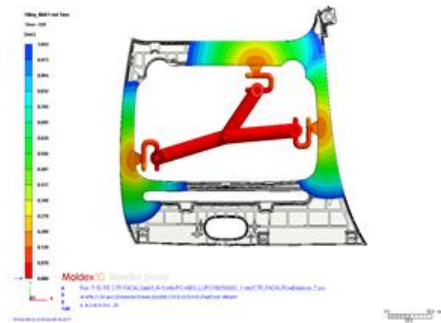
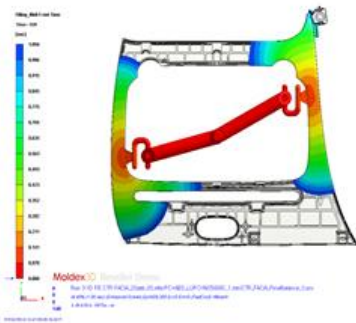
Type-4



충진 30%

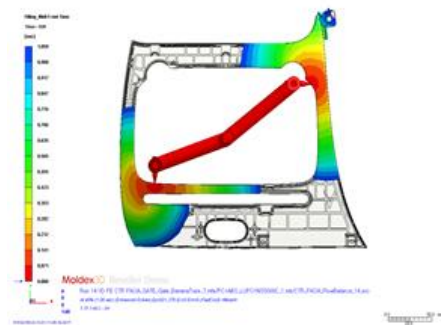
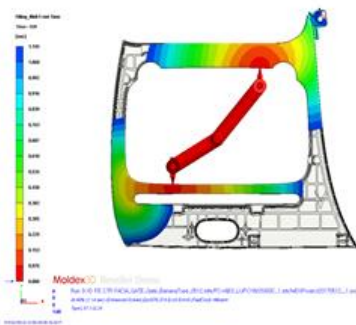
Type-1

Type-2



Type-3

Type-4

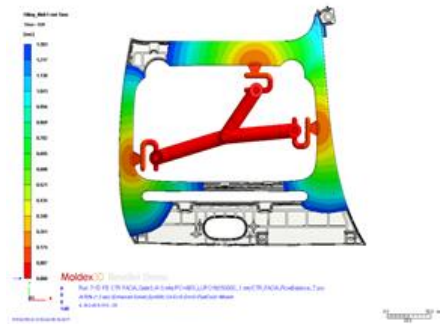
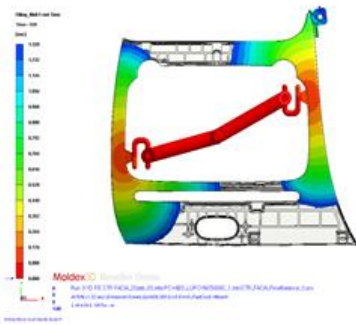


충진 40%

그림 4.9 To be continued

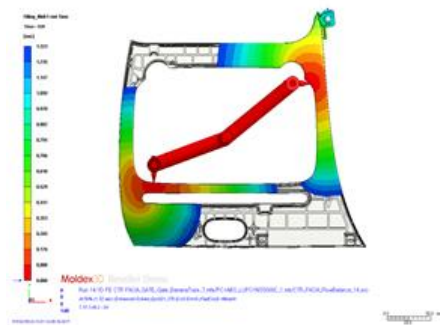
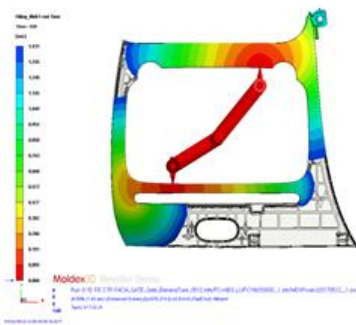
Type-1

Type-2



Type-3

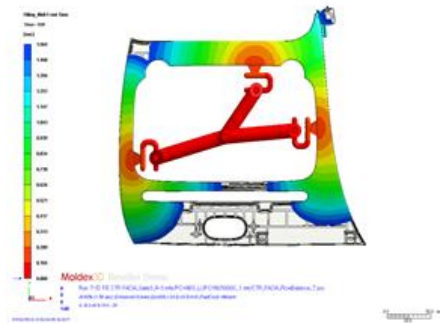
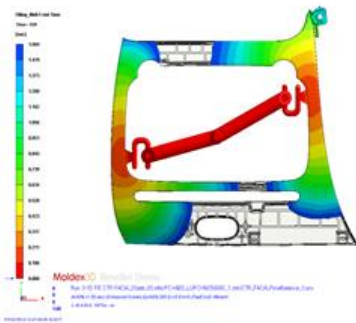
Type-4



충진 50%

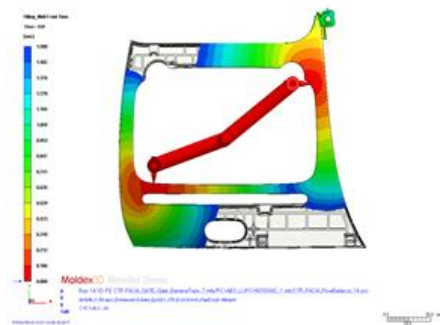
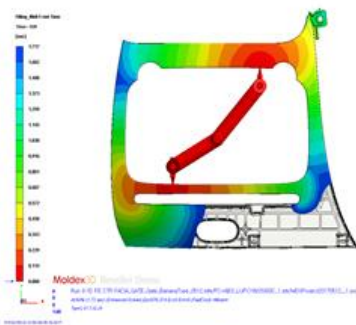
Type-1

Type-2



Type-3

Type-4



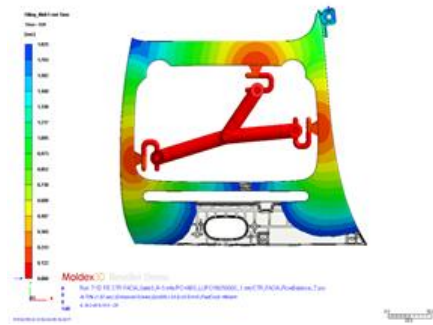
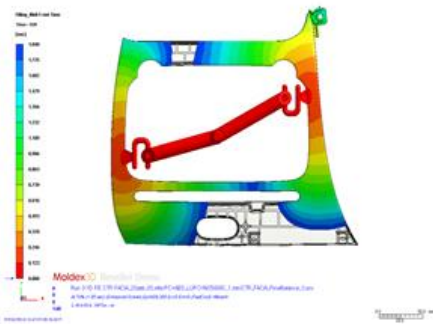
충진 60%

그림 4.9 To be continued



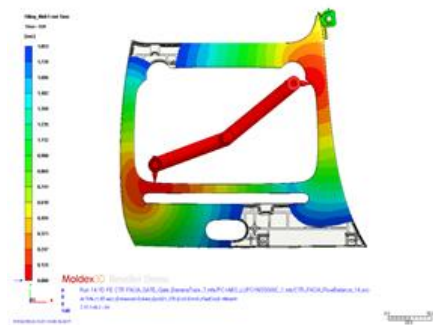
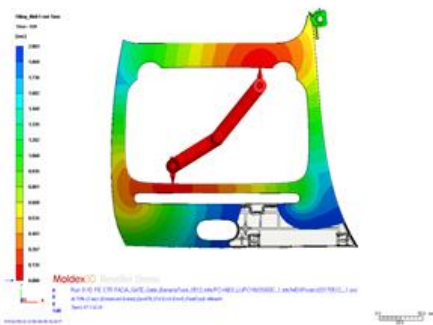
Type-1

Type-2



Type-3

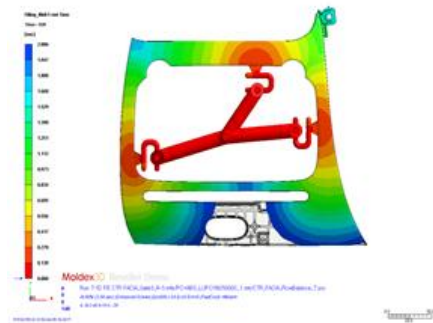
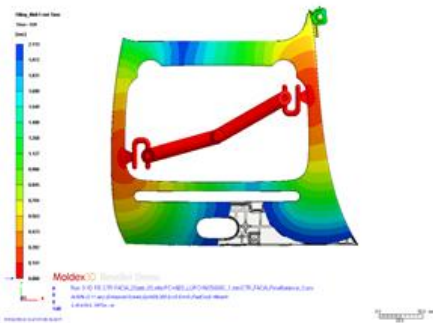
Type-4



충진 70%

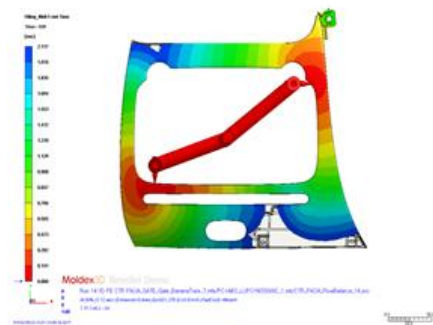
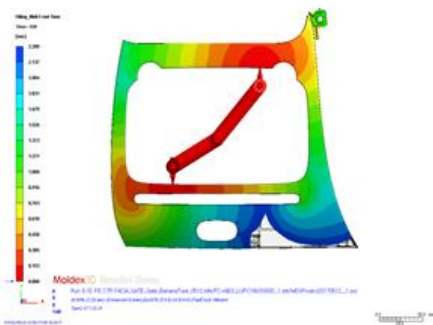
Type-1

Type-2



Type-3

Type-4

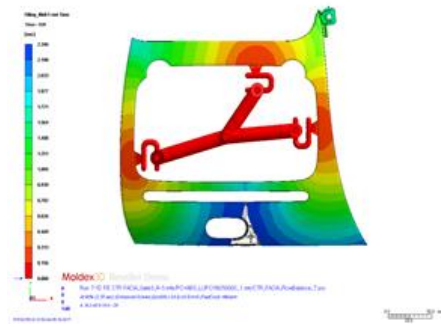
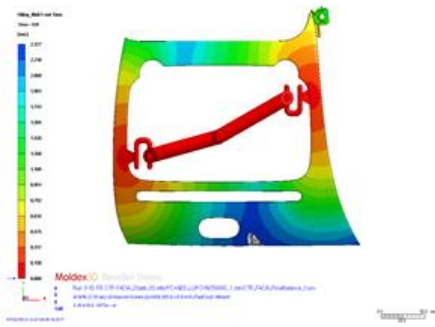


충진 80%

그림 4.9 To be continued

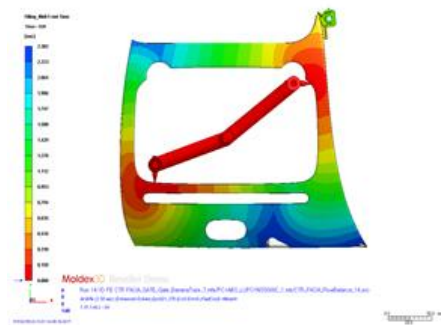
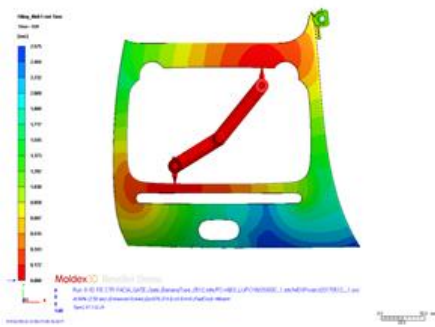
Type-1

Type-2



Type-3

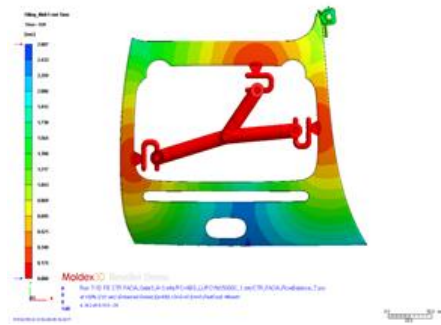
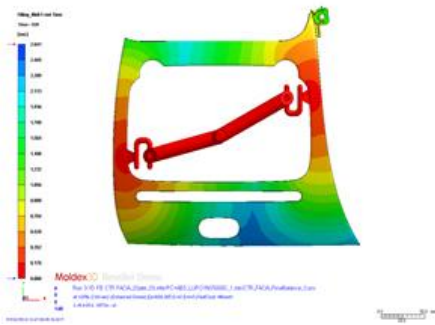
Type-4



충진 90%

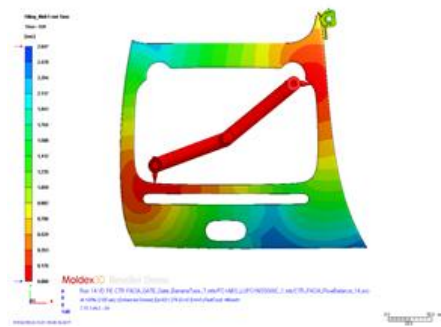
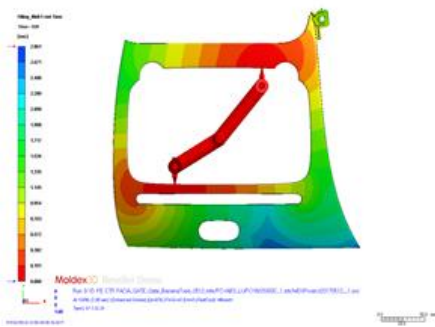
Type-1

Type-2



Type-3

Type-4



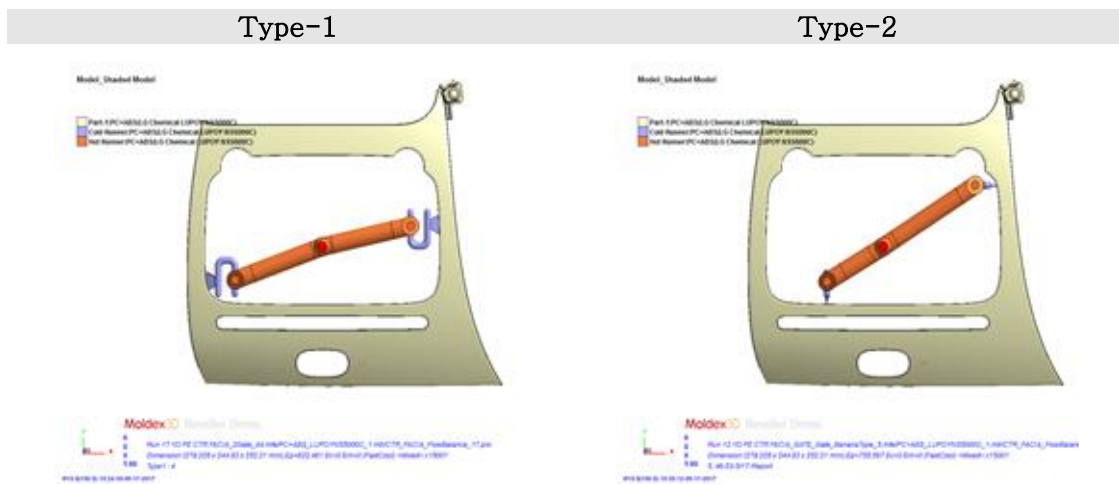
충진 100%

그림 4.9 To be continued

## (2) 2차 미세 조정 게이트 위치 설계

본 연구는 1차 게이트 위치 설계를 토대로 2차 사출성형 해석을 진행을 위해 두 가지 Type을 선정하였다. 1차 사출성형 해석에서 밸런스 측면에서 가장 좋은 두가지 모델로 두 모델 모두 밸런스를 향상시키기 위해 게이트를 미세 조정하였다.

이때 뮤셀 발포성형에서 유리하다고 뮤셀 전문기업에서 제안한 게이트이며, 코끼리 게이트는 사출성형 전문기업에서 제안한 게이트로 본 사출성형 해석 결과를 바탕으로 향후 재구성 할 예정이다.



(1) 사이드 엣지 게이트 2점

(2) 코끼리 게이트 2점

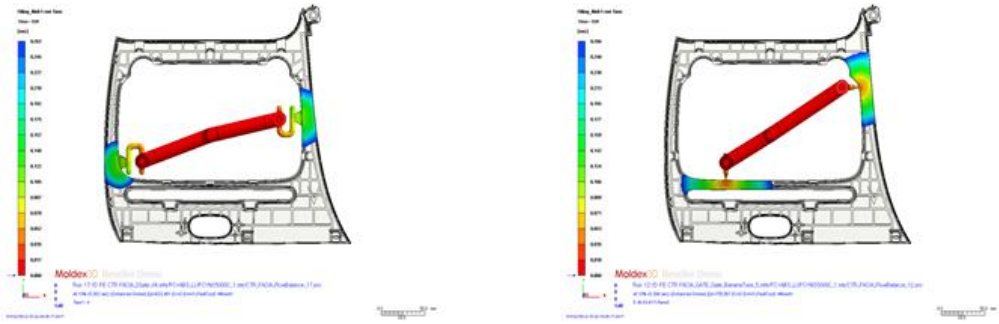
그림 4.10 2차 사출해석에 사용된 게이트 위치

그림 4.11은 1차 게이트 위치 설계를 위한 사전 검토 해석 결과에서 4가지 모델 중 우수한 두가지 모델을 대상으로 사출성형 밸런스 미세조정 후 해석한 결과를 나타내었다. Type-1은 사이드 엣지 2점 게이트이고 Type-2는 코끼리 2점 게이트로 사출성형 해석결과를 나타내었으며, 두 모델 모두 충전 시간은 2.6초로 나타났다. 사출성형 밸런스의 경우 충전 90%에서 보여 지는 것과 같이 Type-1이 Type-2보다 조금 우세한 것으로 나타났으나, 형체력의 경우 Type-1이 204톤, Type-2가 179톤으로 Type-1이 높은 것으로 나타났다. 그리고 스프루(Sprue) 압력은 두 모델 모두 48MPa로 나타났다.

따라서 Type-2의 게이트 위치에서 Type-1의 게이트 형상으로 설계 하는 것이 사출성형 결과 측면에서 유리 할 것으로 판단하였다. 이와 같은 결과를 토대로 냉각 라인 배치 설계와 전류 가열 라인 배치 설계를 통하여 게이트 위치를 확정하고 금형 내부의 간섭 및 구조 성능을 평가한 후 금형설계에 반영할 예정이다.

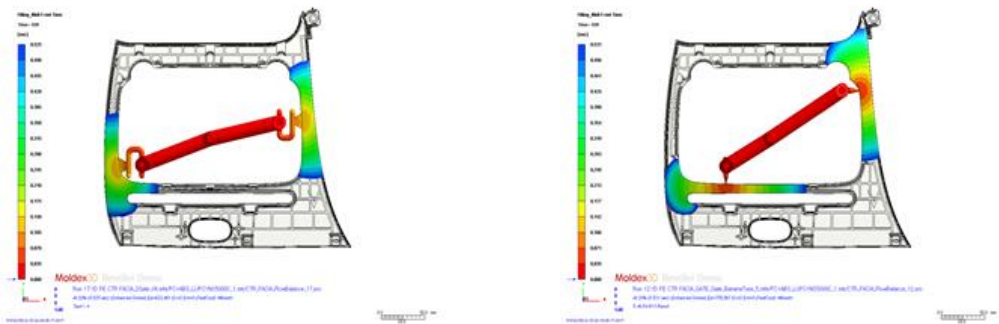
또한 전류 가열 라인의 경우 최대 200°이상 온도가 상승하고 냉각라인의 경우는 최소 20°까지 온도가 하강하기 때문에 핫 런너와 게이트 부의 온도 급상승과 급냉각 측면에서 검토 되어야 한다.

Type-1 Type-2



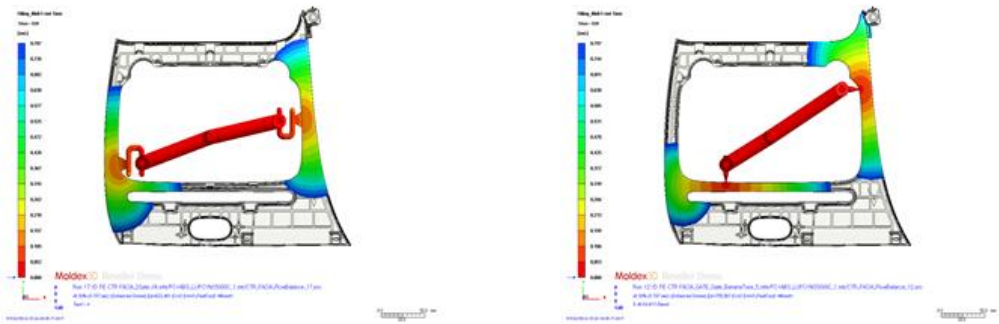
충진 10%

Type-1 Type-2



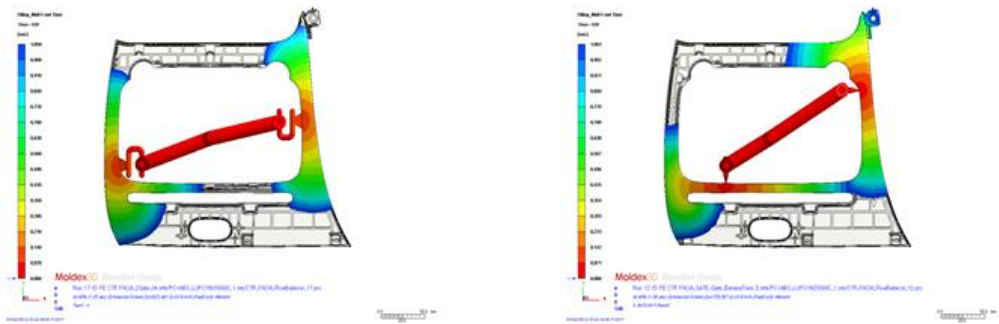
충진 20%

Type-1 Type-2



충진 30%

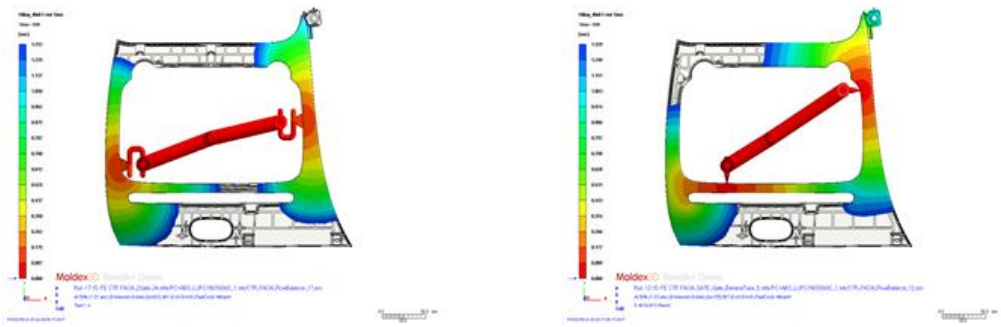
Type-1 Type-2



충진 40%

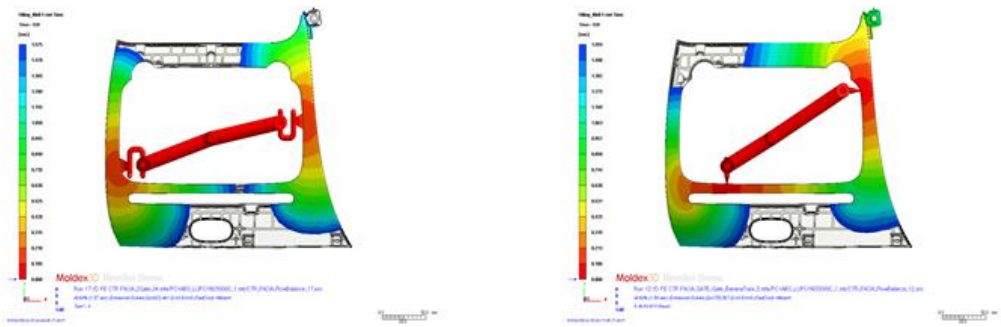
그림 4.11 2차 사출해석에서의 충진율

Type-1 Type-2



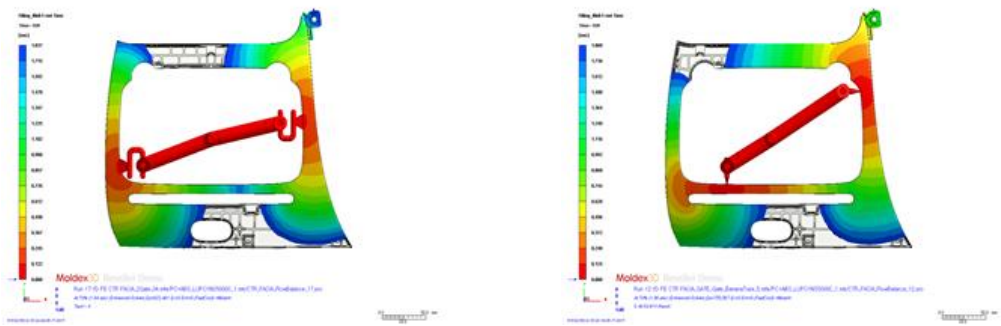
충진 50%

Type-1 Type-2



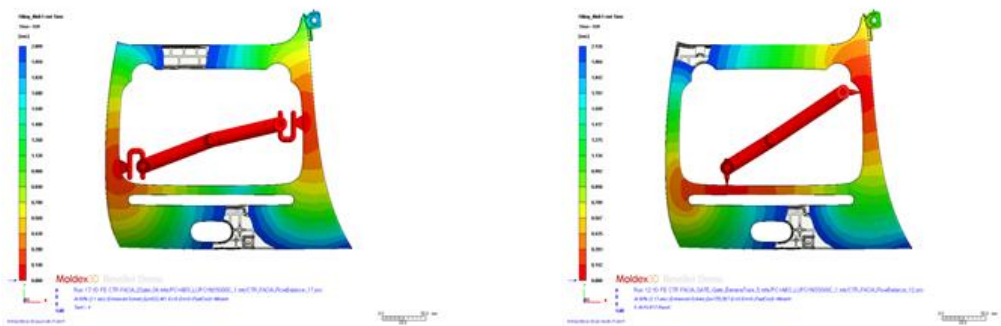
충진 60%

Type-1 Type-2



충진 70%

Type-1 Type-2

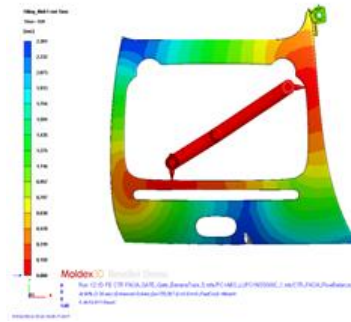
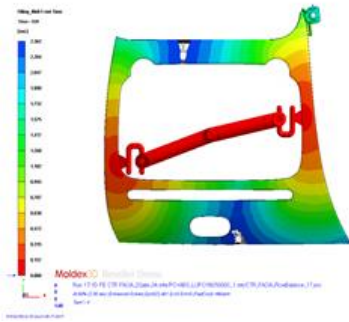


충진 80%

그림 4.11 To be continued

Type-1

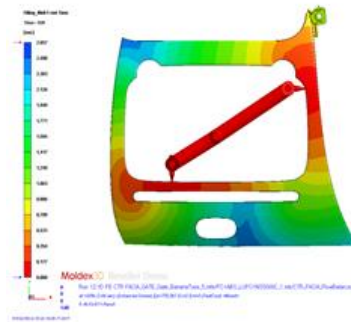
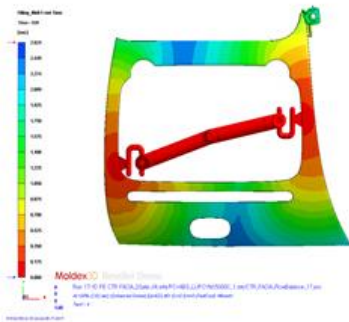
Type-2



충진 90%

Type-1

Type-2



충진 100%

그림 4.11 To be continued

### 4.3.3 금형에 대한 최적 전류 가열 코어 및 냉각 라인 설계

#### (1) 전류 가열 코어(히터) 설계

본 연구에서는 최종 개발하고자하는 제품 해석 모델(Center Facia)을 통하여 전류 가열 코어 특성을 분석하고자 하였다. 분석 제품은 1차적으로 기존 제품 및 금형 모델을 이용하여 분석하였으며 분석 결과를 토대로 본 연구의 전류 가열 코어 설계를 반영하고 제품의 특성을 분석하고자 하였다. 따라서 기존 금형 구조에 전류 가열 코어를 임의로 배치하여 해석 후 본 연구의 금형에 전류 가열 코어를 반영하여 금형 설계를 완성 하였다.

전류가열 금형 적용 사출성형 해석 조건은 뮤셀 발포에 의한 경량화율 10%, 초기 가스 농도 0.5%, 단위 체적당 셀 수  $1e^6/cm^3$ , 냉각라인의 냉각수 온도 25℃, 히팅 온도는 최대 150℃ 최소 50℃로 하여 해석을 수행 하였다.

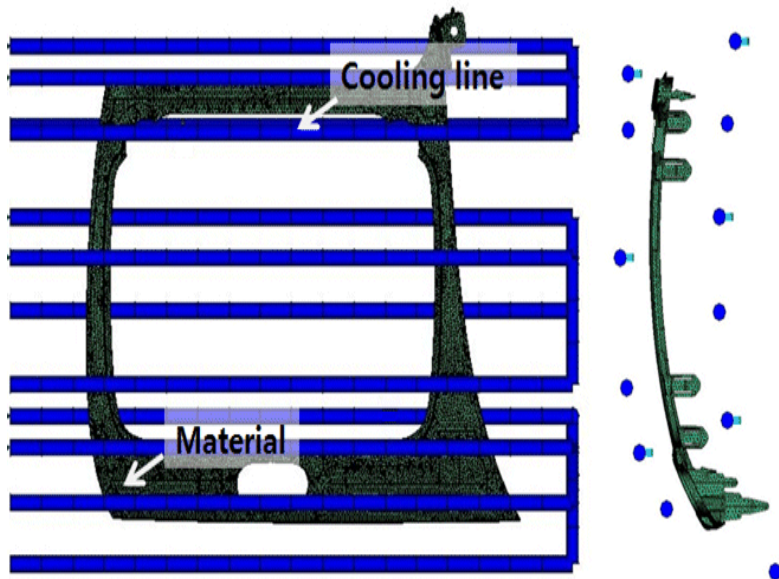
그림 4.12는 기존 양산 금형과 전류가열 금형 구조를 비교한 것으로 기존 사출성형 공법의 경우 (1) 금형 구조와 같이 제품 소재는 PC+ABS를 사용하였고, 금형내 냉각 시스템만 포함하고 있다. 본 연구에 사용된 뮤셀 사출성형 공법의 금형 구조는 (2)와 같이 소재는 PC+ABS에 질소(N<sub>2</sub>)가스를 발포한 것으로 기존 냉각 시스템에 히팅 시스템을 포함하고 있는 구조이다. 히팅 시스템은 제품의 상·하에 직경 6 mm 히트를 각 7개를 설치하여 금형에 필요한 가열 온도까지 올릴 수 있는지를 검토 하였다.

기존 양산 금형에 전류가열 금형을 적용하여 사출해석 결과를 그림 4.13에 나타내었고, 전류 가열 코어에서 온도 조건에 맞는 150℃로 금형이 가열되었다가 금형이 형폐되고 냉각 라인에 의해 금형이 냉각되는 현상을 나타냈다. 이때 냉각의 경우 제품부 주위로 냉각이 이루어지는 것을 확인하였으나 가열 금형에 따른 가열 조건은 제품부 주위에 일정한 온도로 올라가지 않는 것을 확인하였다. 이에 따라 본 사출해석 결과를 토대로 본 연구의 금형 설계에 반영할 전류 가열 코어 위치를 결정하였고, 이를 그림 4.14에 나타내었다.

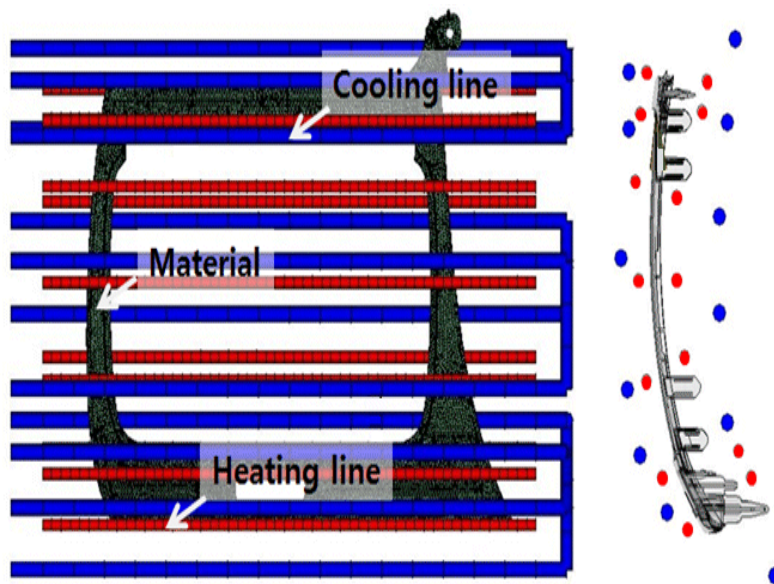
전류가열 금형을 이용한 사출성형 해석에서 금형의 온도를 센싱 할 온도센서 위치는 그림 4.15에 나타내었다. 이때 온도 센서의 정확한 위치는 히터와 히터 사이에 위치시켰으며, 이는 금형내 제품 성형부와 가까이 위치 되도록 설치하였다.

이는 사출성형해석 시 해석온도 조건보다 온도가 올라가게 되면 전류가열을 OFF하는 기능을 하게 된다. 전류 가열 코어는 직경 6 mm로 제품 표면부에 가까이 위치시켰으며, 제품부 뒷면은 제품의 표면 품질과 관계가 없어 전류 가열 코어를 설치하지 않았다.

그림 4.16은 수정된 전류 가열 코어 적용된 금형을 이용하여 사출성형해석을 실시한 결과를 나타내었으며, 사출성형에서 주어진 조건의 온도 150℃까지 금형온도를 올렸을 때 본 연구에서 요구되는 금형온도 분포를 검증하였다.



(1) 기존 사출성형 공법 금형 구조



(2) 미세 채널 사출성형 공법 금형 구조

그림 4.12 제품 해석 모델의 히팅 및 냉각 시스템 비교



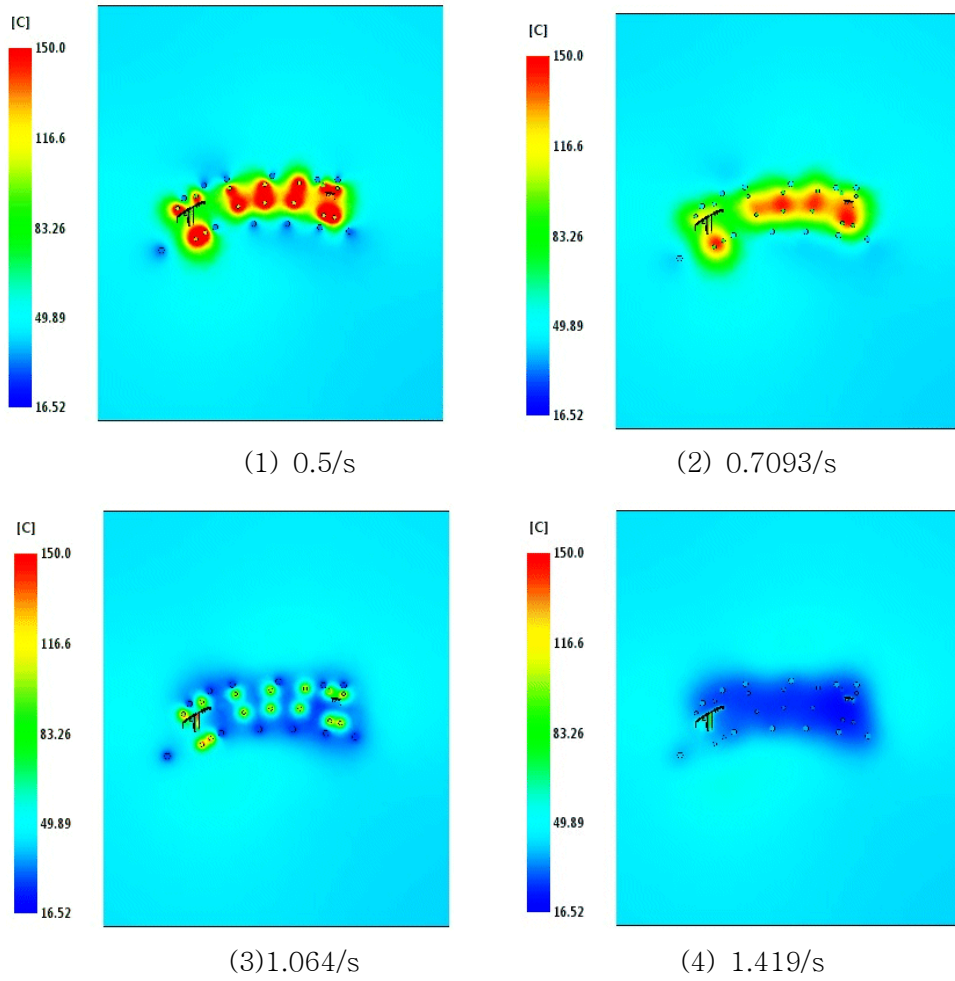


그림 4.13 금형에서 히팅 및 냉각 시스템이 포함된 제품 해석 모델

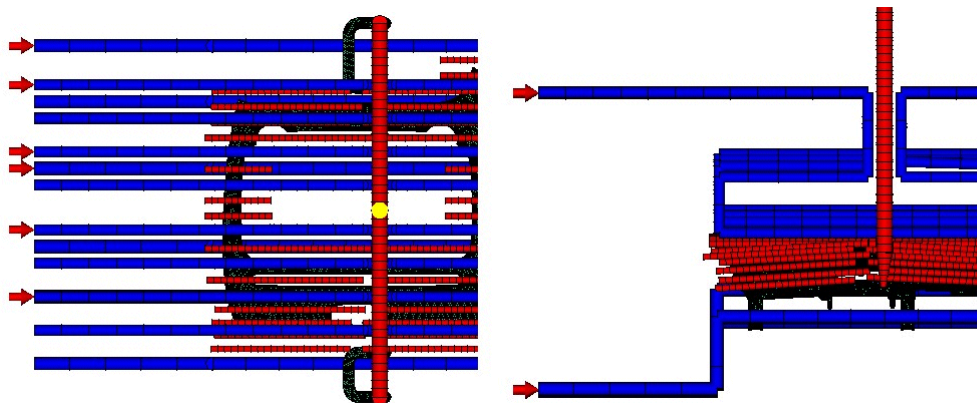


그림 4.14 전류가열 금형 검토 단면 위치

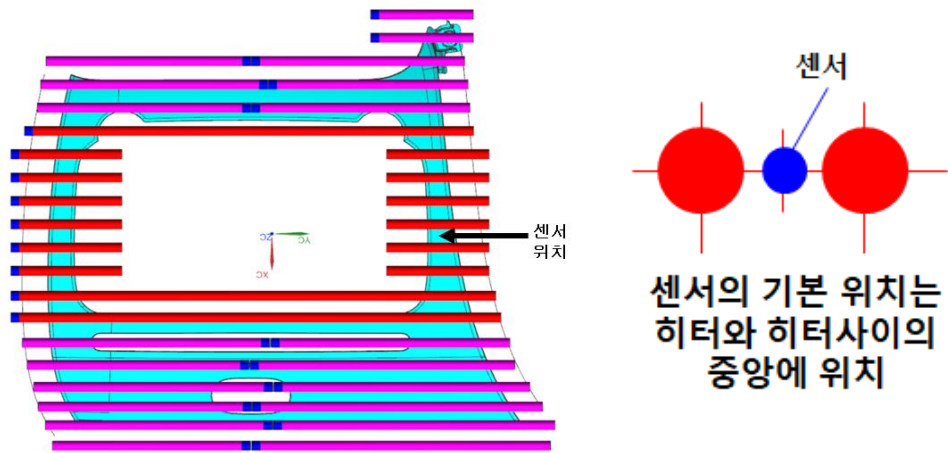


그림 4.15 전류 가열 금형에서의 센서 위치

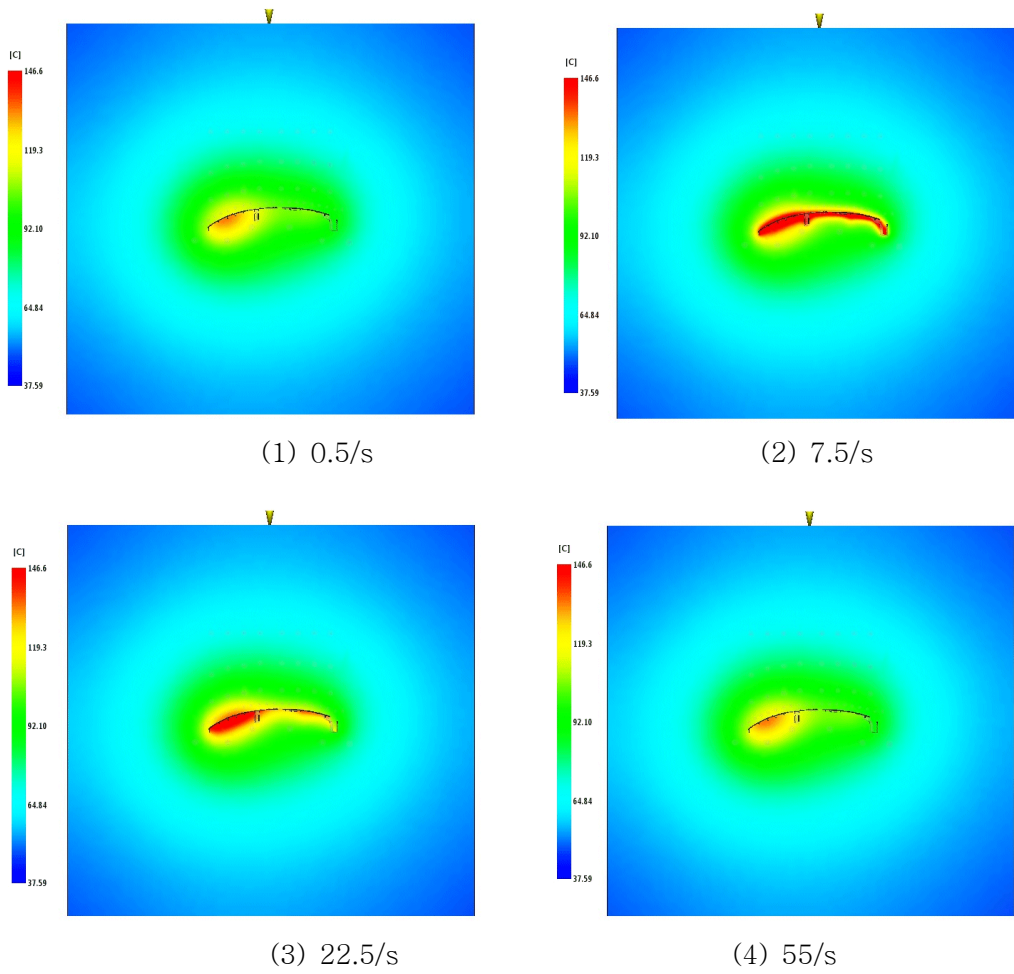


그림 4.16 전류가열 금형 적용에 따른 해석결과

그림 4.17은 전류 가열 코어 라인 설계도를 나타낸 것으로 전류 가열 코어의 역할을 금형의 표면을 일정 온도까지 가열하여 제품의 표면 품질을 높이기 위함이다. 따라서 제품 표면 품질을 높이기 위해서는 제품과 접촉하는 금형부에 균일하게 온도를 급가열 및 급냉각하는 것이 중요하다. 이런 목표 달성을 위해 금형 표면부 전류 가열 코어 라인 사이에 온도센서를 위치시켜 온도를 제어하였다. 본 연구에서 온도센서를 제품 표면과 맞닿은 금형부 4곳에 위치 시켰다.

전류 가열 코어 라인은 그림과 같이 배치하였으며, 다음과 같은 구성으로 온도제어기를 통해 금형 가열 온도를 제어 하였다.

- 전류 가열 코어 수량 : 27개
- 온도 센서 : 4개
- 전류 가열 코어 커넥터 : 2개
- 센서 커넥터 : 1개

전류 가열 코어는 제품부와 맞닿은 금형부 온도를 일정하게 유지하기 위하여 제품의 상·하부 제품 구배를 고려하여 전류 가열 코어 홀을 구배로 설계 반영 하였다. 제품부 중앙부는 제품 표면부가 없는 공간으로 불필요한 금형 가열을 줄이기 위해 전류 가열 코어를 설치하지 않았으며, 홀을 직선가공하고 제품 표면부가 있는 부분만 전류 가열 코어를 설치하였다.

전류 가열 코어의 형상은 파란색부가 고정부이고 설치부는 회색으로 직경 10 mm로 제작하였다. 전류 가열 코어의 발열부는 직경 6 mm로 설계 하였으며, 이는 전류 가열 코어으로써 효율이 높은 것으로 알려진 형상 이다.

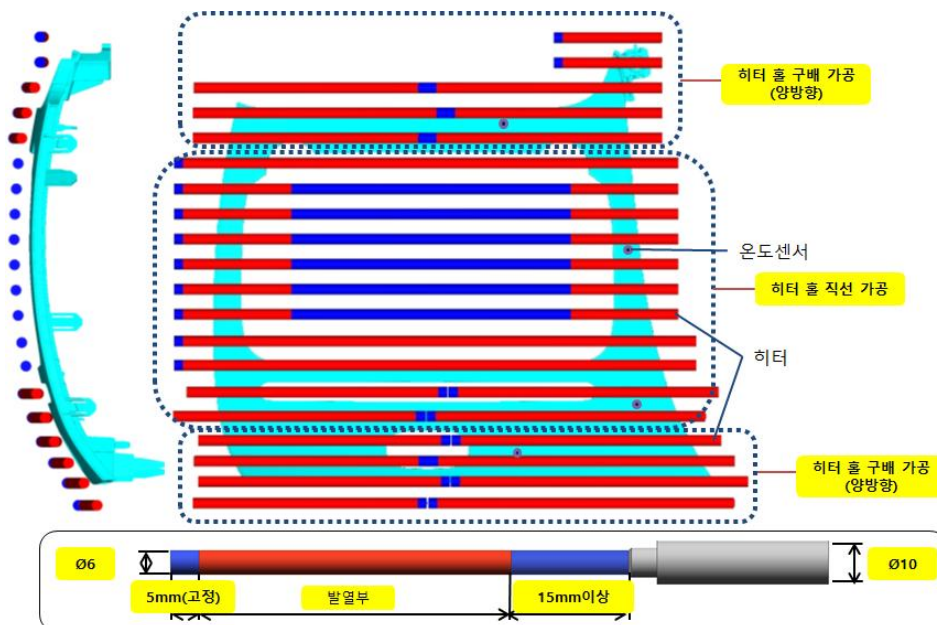


그림 4.17 전류 가열 코어 라인 설계

## (2) 냉각 라인 설계

본 연구에서 냉각 라인 구조는 전류 가열 코어만큼 중요한 역할을 한다. 전류 가열 코어는 전류를 온·오프하여 제어가 가능하지만 냉각 라인의 경우 라인 내부에 냉각수가 흐르는 것을 밸브를 통해 제어는 가능하나 금형 구조나 사출성형 특성상 효과적이지 못하다. 따라서 냉각 라인은 사출 성형하는 동안 항상 흐르는 구조이며 본 연구의 개발 대상 부품의 특성상 변형이 특별히 고려되어야 하는 부품으로 **그림 4.18**과 같이 제품의 상·하측에 3차원으로 설계하였다.

냉각 라인의 효과를 최대화 하기 위해 전류 가열 코어 측 히터 라인은 냉각 라인 과 분리된 블록에 설치 되도록 설계 하였으며, 전류 가열 코어의 전류가 오프 되는 시점부터 냉각 라인 블록이 전류 가열 코어 블록에 접촉하여 금형의 냉각을 하는 방식으로 설계 구현 하였다.

또한 전류 가열 코어 라인과 냉각 라인이 복잡한 형태로 구성되어 있어 서로 간섭이 되지 않도록 설계 반영 하였다.

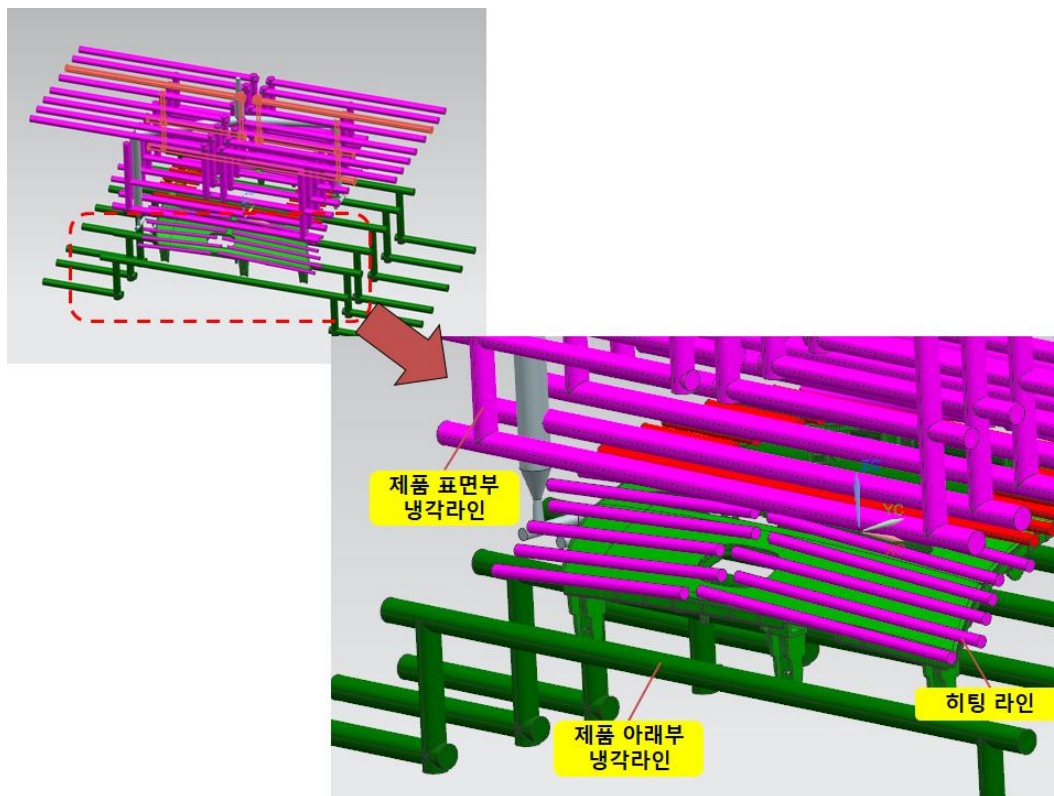


그림 4.18 금형 냉각 라인 구조

#### 4.3.4 금형 구조 설계

사출금형 설계에 있어 각 파트 별 금형 설계가 이루어지며 이때 초기에 주요 파트별 간섭 검토는 필수적이다.

본 연구에서는 전류 가열 코어 라인 및 냉각 라인과 제품 그리고 금형 주요 파트별 간섭 검토를 하였다. 이때 초기에 검토되었던 게이트의 위치가 제품의 중심부에서 양쪽으로 설치되는 것으로 검토하여 설계 반영 되었으나, 냉각 라인 및 전류 가열 코어 라인이 복잡하게 설계 되면서 간섭이 발생 하였다. 이러한 간섭은 게이트를 이동 설치하든지 전류 가열 코어 라인 및 냉각 라인을 변경 설계 하여야 한다. 본 연구에서는 전류가열 금형에 일정 온도와 냉각 라인으로 일정한 냉각 효과를 통해 제품 표면 품질을 높이는 측면에서 검토되어 게이트 위치를 이동하여 런너 위치 변경 설계를 검토 하였다.

2차에 거쳐 게이트 위치 결정한 결과는 **그림 4.19**에서와 같이 기존 게이트 위치와 Type-1과 Type-2의 개선된 게이트 위치를 재설계 하여 사출성형 해석을 하였다.

**그림 4-20**은 게이트 위치 변경에 따른 사출성형 해석 결과를 나타내었으며, 검토된 2가지 모두 적용 가능 할 것으로 판단되었다.

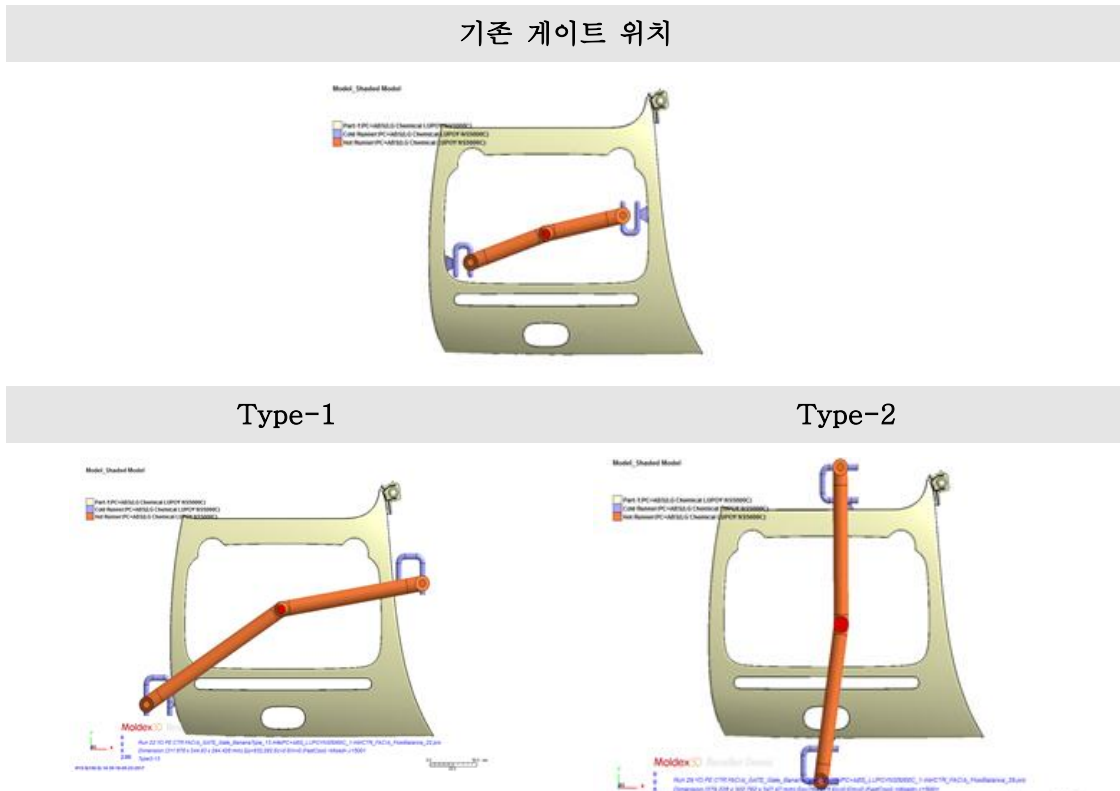
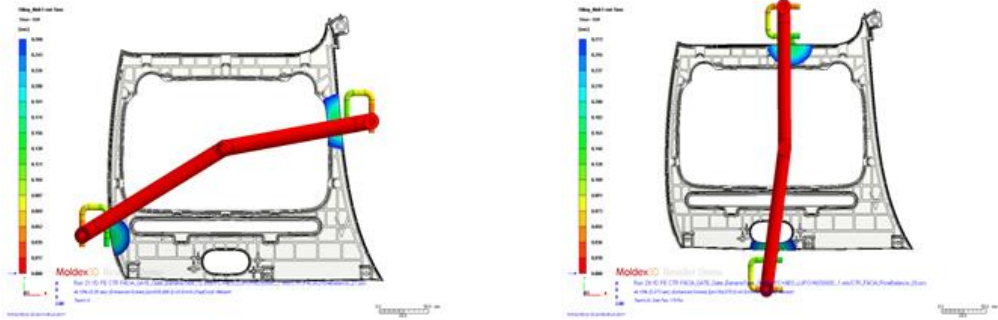


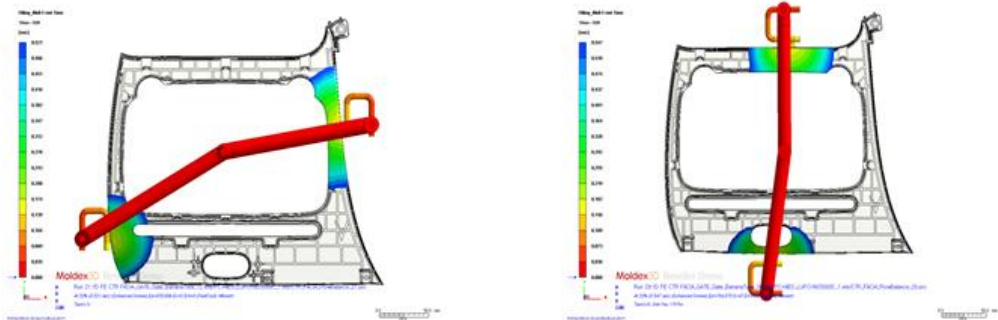
그림 4.19 3차 사출해석에 사용된 게이트 위치

Type-1 Type-2



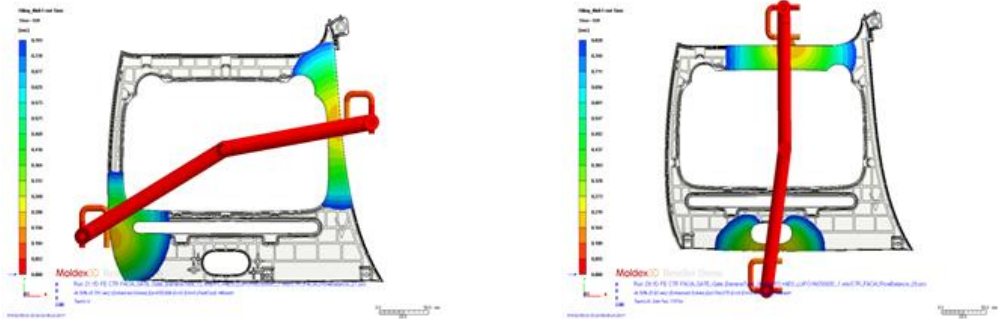
충진 10%

Type-1 Type-2



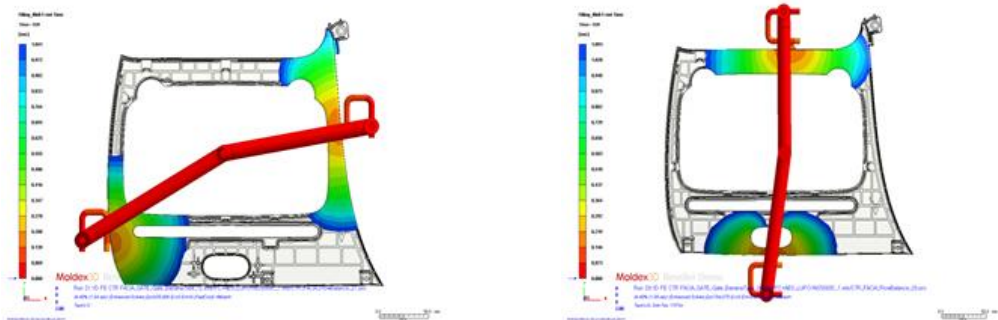
충진 20%

Type-1 Type-2



충진 30%

Type-1 Type-2

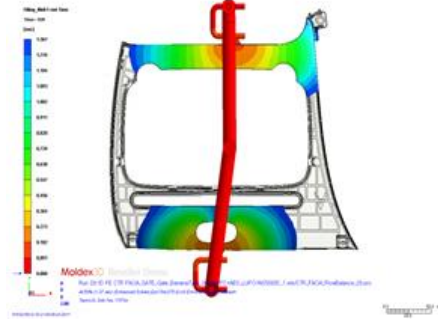
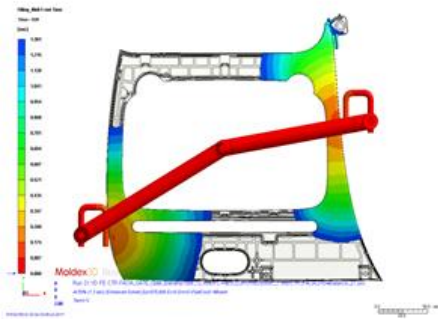


충진 40%

그림 4.20 3차 사출해석에서의 충진율

Type-1

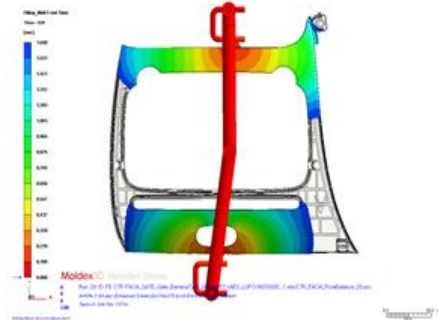
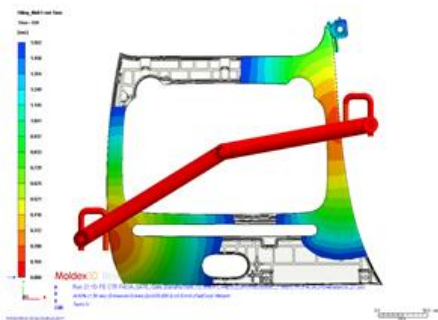
Type-2



충진 50%

Type-1

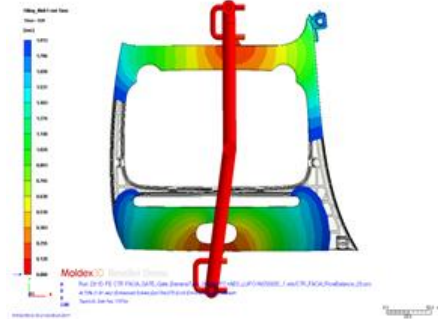
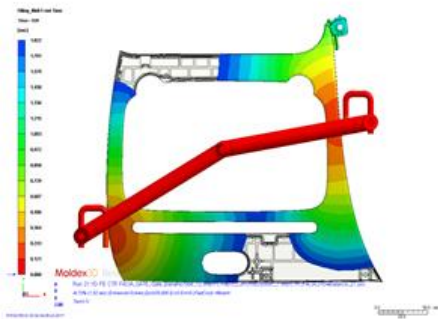
Type-2



충진 60%

Type-1

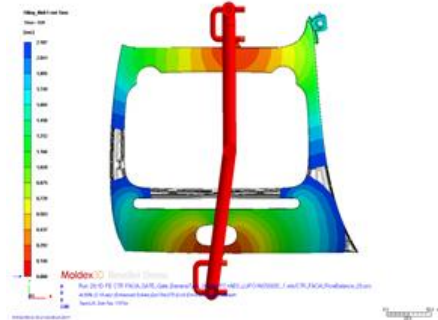
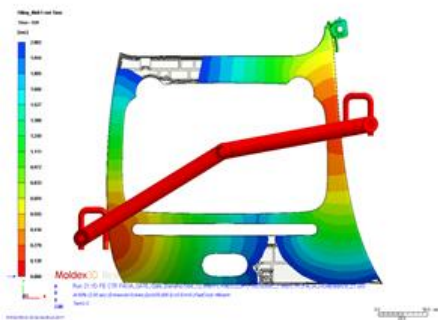
Type-2



충진 70%

Type-1

Type-2



충진 80%

그림 4.20 To be continued

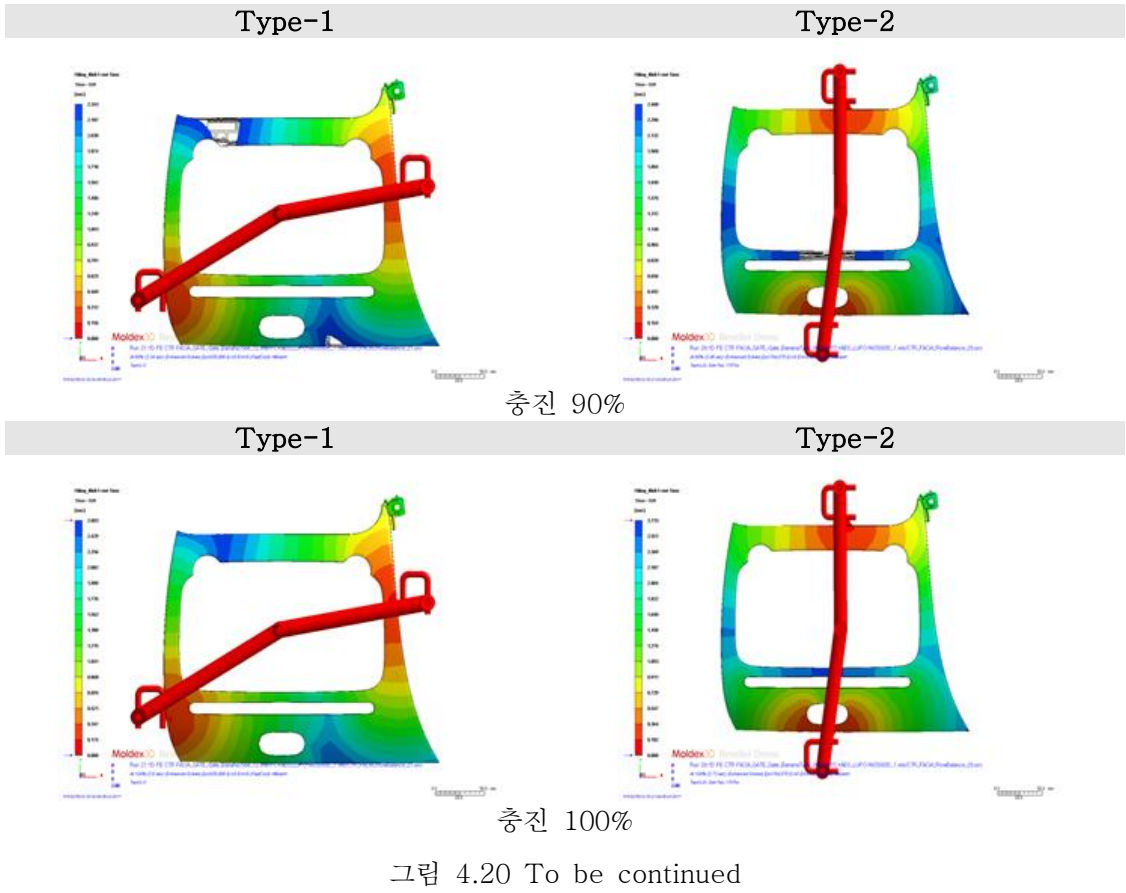


그림 4.21에서와 같이 사출성형 해석 결과에는 큰 차이가 없으나, 전류 가열 코어 라인과 냉각 라인 등 전반적으로 검토 할 때 Type-2가 더 안정적이라는 검토 결과를 얻었다. 그림 4.22는 런너와 게이트부의 형상을 나타내었으며, 제품부와 연결되는 부분을 팬 게이트 형상으로 설계 하였다. 이는 사출성형에 따른 제품 취출 후 게이트 형상 표시를 최소화하기 위함이다.

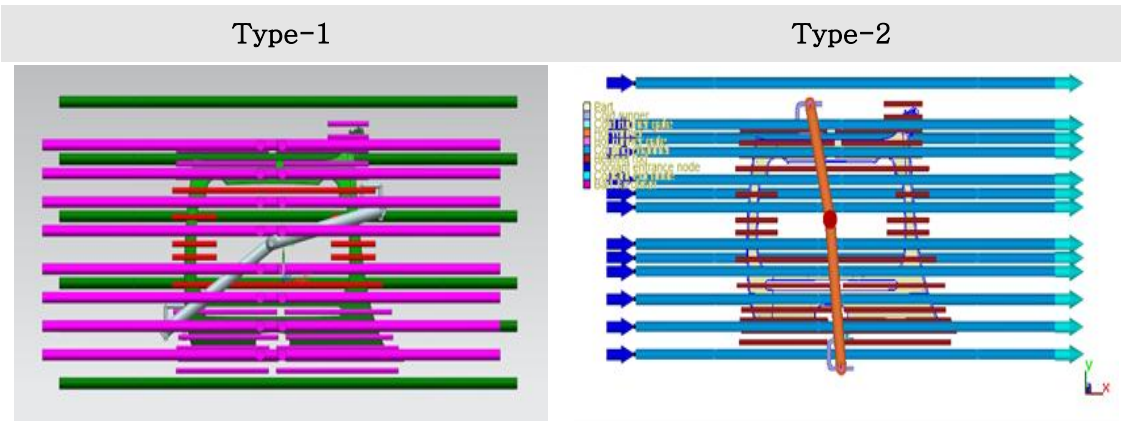


그림 4.21 최종 게이트 위치



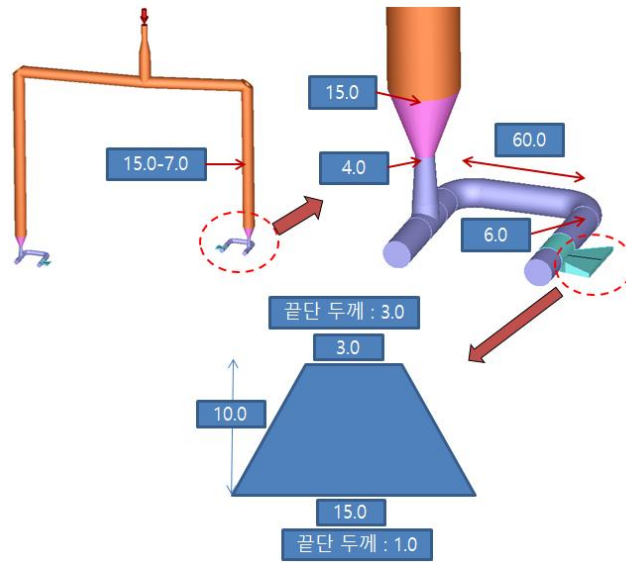


그림 4.22 게이트 및 런너 현상

그림 4.23과 그림 4.24는 게이트 및 런너 설계를 반영한 전류 가열 코어와 냉각 라인 간 간섭 검토를 한 결과를 나타내었다. 설계 반영 후 상세 검토를 통해 간섭 부는 설계 변경 반영하였고 향후 금형 구조 설계 시 추가 변경 필요시 반영할 예정이다.

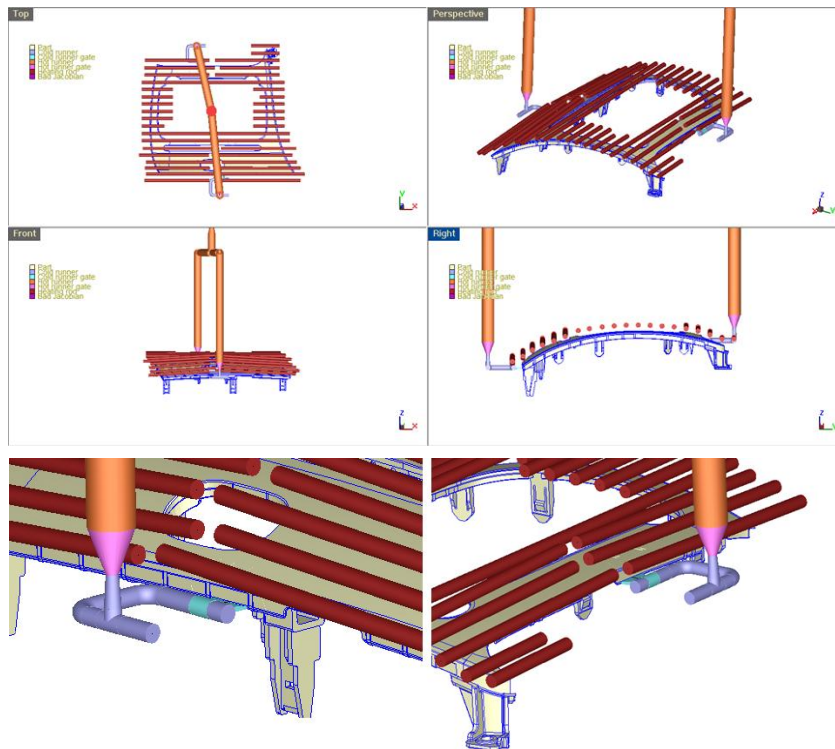


그림 4.23 게이트와 전류 가열 코어와의 간섭 검토

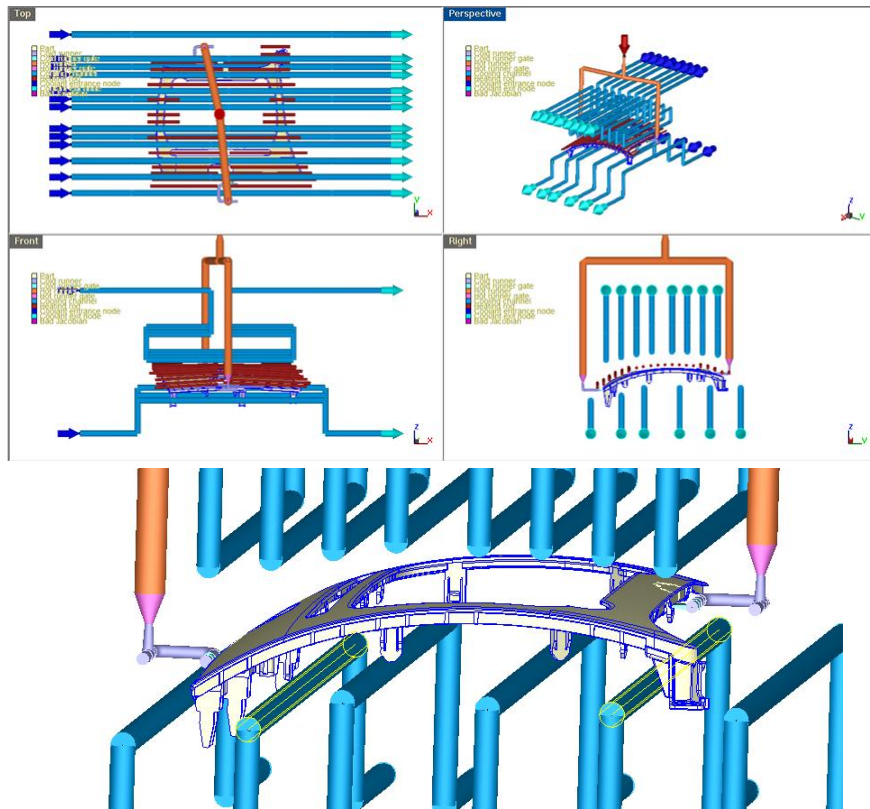


그림 4.24 게이트와 냉각라인과의 간섭 검토

그림 4.25는 제품과 전류 가열 코어, 냉각 라인, 게이트 및 런너, 금형 볼륨 등을 전반적으로 사출성형 특성, 구조 및 간섭 등을 검토한 3D 데이터를 구성하여 나타내었다. 전체 파트별 간섭 적인 측면에서는 서로간의 구조를 검토하여 최대한 사출성형 특성을 살리는 범위 내에서 수정 반영하였다.

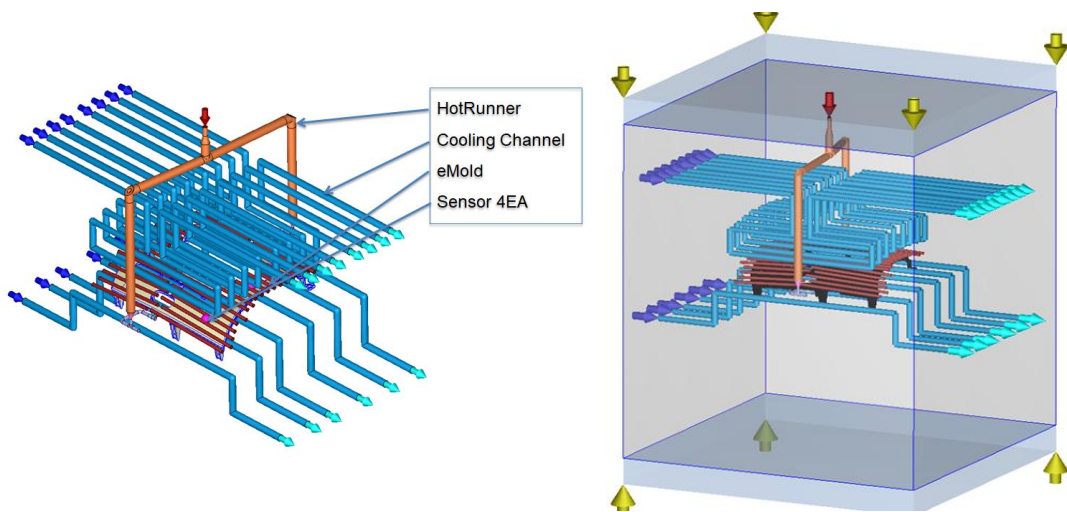


그림 4.25 최종 가상 금형 구조도

#### 4.3.5 뮤셀 적용 사출성형 해석

제품과 전류 가열 코어, 냉각 라인, 게이트 및 런너, 금형 볼륨 등을 전반적으로 사출성형 특성, 구조 및 간섭 등을 검토하여 최종 게이트 위치 및 형상을 나타내었다.

사출성형 해석 조건으로는 최종 게이트 위치와 형상을 적용하여 전류 가열 코어를 설계 반영되었으나, 급가열, 급냉각 조건은 적용되지 않았다. 그리고 금형 볼륨은  $594 \times 594 \times 750 \text{ mm}^3$ , 런너는 핫 런너로 구성하였으며, 소재는 뮤셀 반영을 위해 PC+ABS에 질소가스를 혼입 하였다. 충전 시간을 2.5초, 사출성형 볼륨 98%에서 압력제어로 스위칭 되며, 패키징 시간(Packing Time)을 3초의 조건으로 해석 하였다.

사출성형 해석 결과 100% 충전은 2.7초에서 충전되며, 충전 90%에서 전반적으로 충전이 완료 되나 하단 계단부에서 충전이 가장 늦은 것을 볼 수 있었다. 이는 게이트 위치에 따라 전체적으로 충전 완료 시점을 제어 할 수 있다. 전류 가열 코어나 냉각 라인 등의 간섭 및 금형 구조상 설계 반영상태가 가장 유리한 조건이라 판단되나, 밸런스 측면에서 불리한 것으로 나타났다. 따라서 밸런스를 좀 더 유리하게 하기 위해 상단 게이트 위치 조정과 제품부 하단 계단부의 충전 속도를 높이기 위해 플로어 리더(Flow Leader) 설치를 제안 하였다. 본 제품에서 플로어 리더는 충전 속도를 높이는 역할도 하지만 본 연구의 경우 뮤셀 공법으로 셀의 발포 특성을 높이는 역할도 한다. 따라서 플로어 리더의 크기나 위치 결정이 중요한 요소이다.

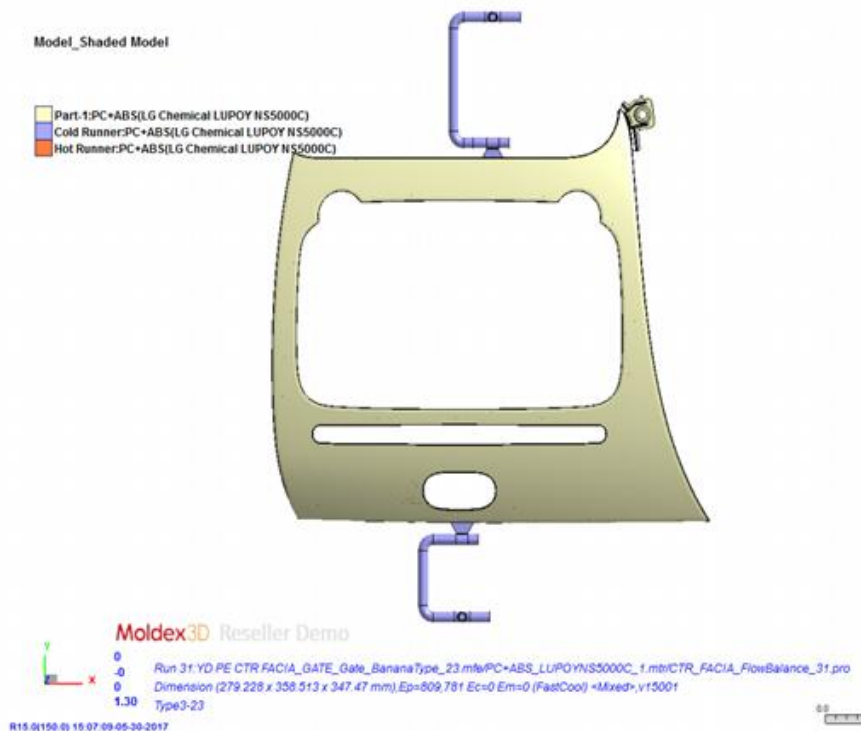


그림 4.26 4차 사출해석에 사용된 게이트 위치 및 형상

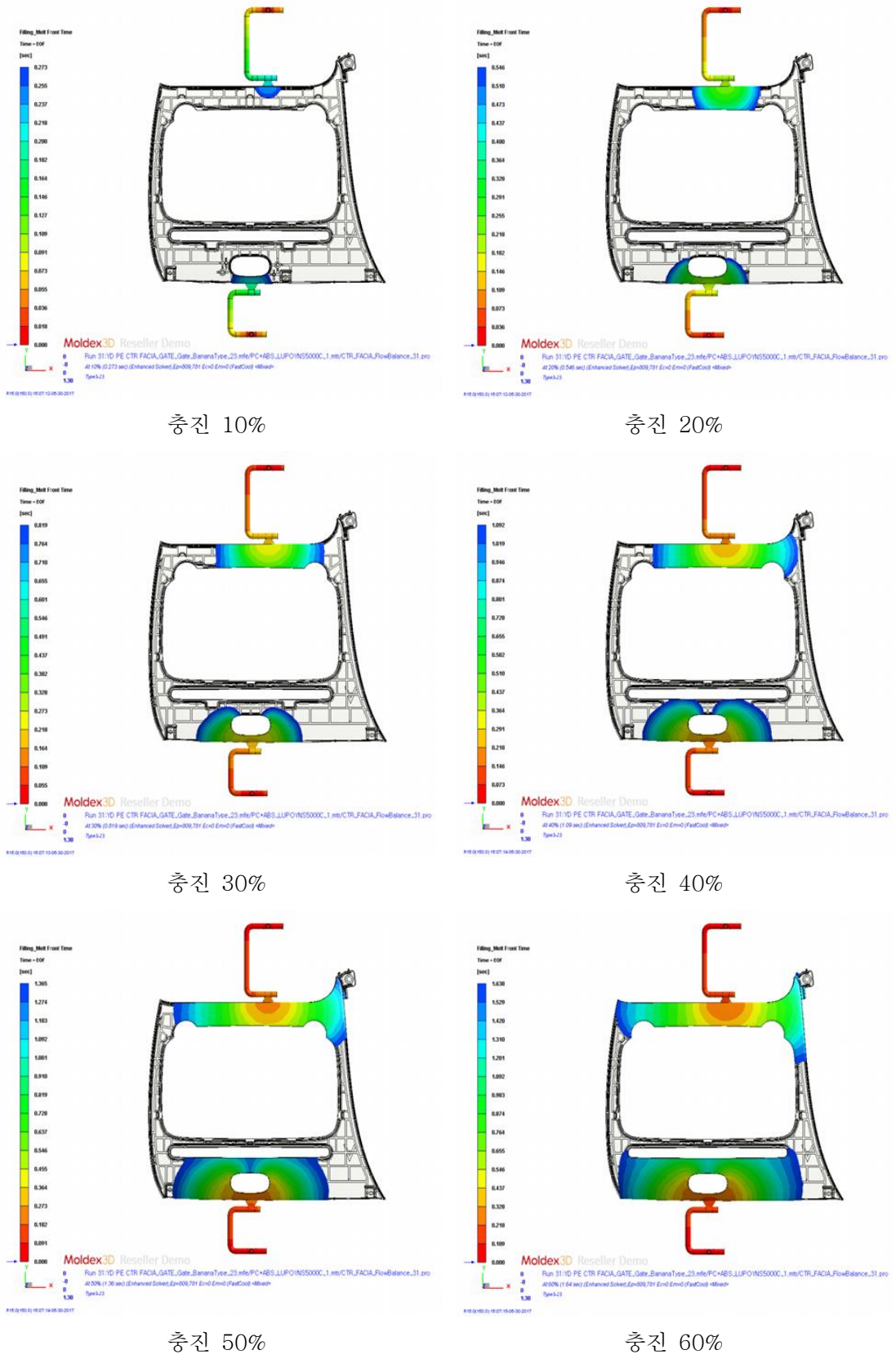
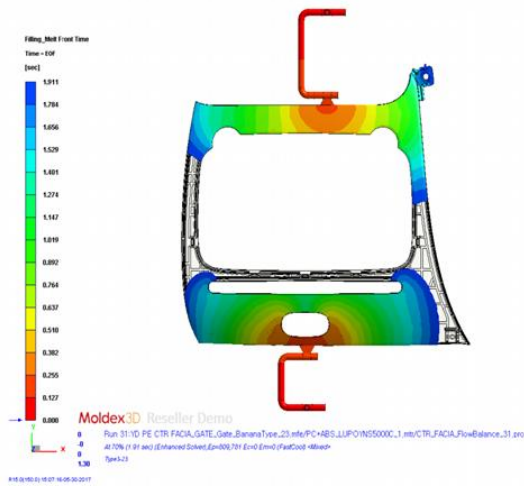
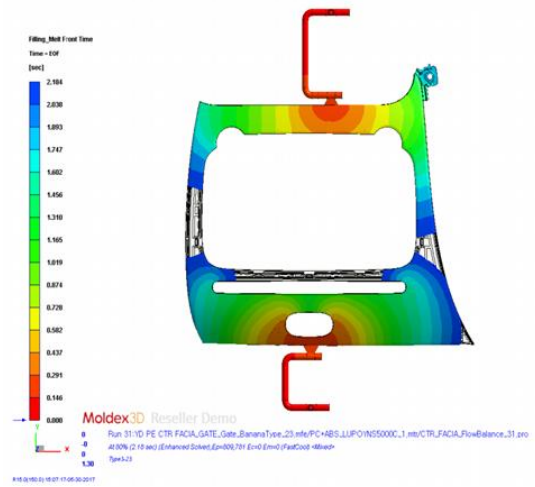


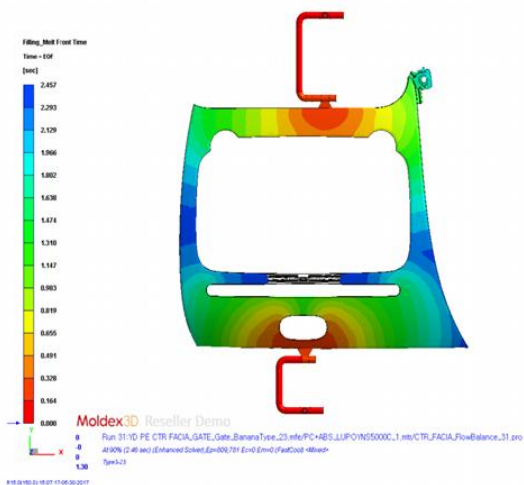
그림 4.27 4차 사출해석의 충전 상태



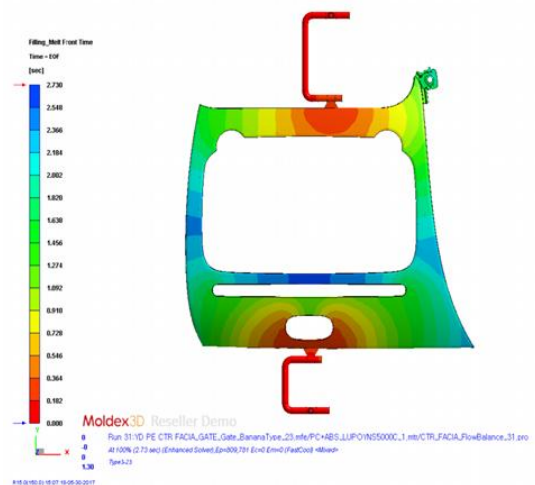
충진 70%



충진 80%



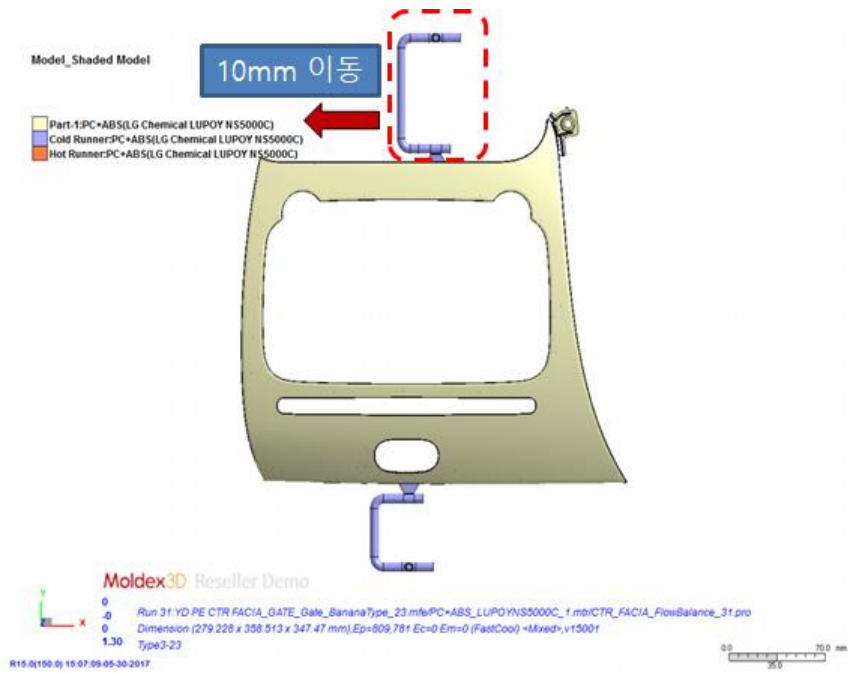
충진 90%



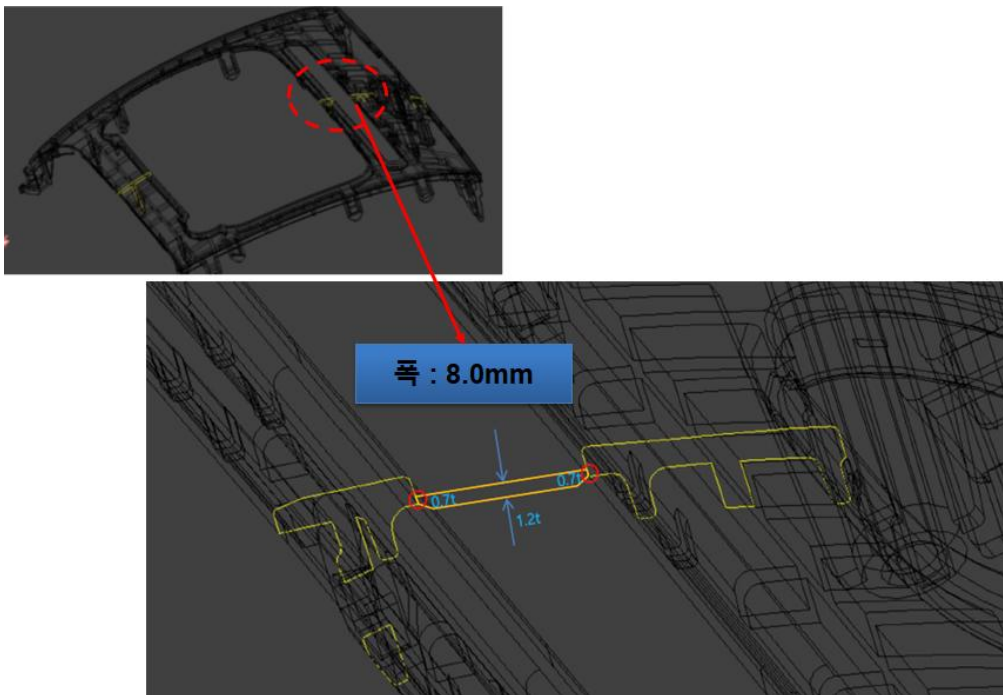
충진 100%

그림 4.27 To be continued

4차 사출성형 해석에서 발생한 제품 하단 계단부에서 충진 밸런스가 좋지 않으면서 뮤셀 가스 포밍율이 6.2%로 나타났다. 이러한 충진 밸런스 및 가스 포밍율을 높이기 위해 아래 그림과 같이 상부 게이트를 왼쪽으로 10 mm 이동하였고, 제품 하단 계단부에 플로우 리더를 설치하였다. 이때 플로우 리더는 뮤셀 가스 포밍율을 10% 전·후가 되도록 플로우 리더의 사이즈를 사출성형해석을 통해 조정된 마지막 결과를 5차 사출성형해석에 반영 하였다.



(1) 상부 게이트 위치 수정



(2) 플로우 리더 설치 반영

그림 4.28 5차 사출해석을 위한 모델 수정

5차 사출성형 해석은 뮤셀 발포 사출성형을 위해 초기 가스 농도를 0.5%로 설정하고 4차 사출성형 해석 조건과 같은 조건으로 사출성형 해석을 실시하였다.

사출성형 해석 결과 충진 50%에서 보는 것과 같이 사출성형 밸런스는 조금 언밸런스 하다. 그러나 프로우 리더를 통해 제품 하단 계단부의 경우 사출성형 밸런스가 좋아진 것을 알 수 있다.

또한 충진 100%는 2.1초이며, 스프루 압력은 127 MPa, 형체력은 67톤, 에어 트랩(Air Trap)은 제품 표면부보다 제품 뒷면에서 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 금형설계 시 반영하여 에어 트랩이 최대한 발생하지 않게 설계 반영 하였다.

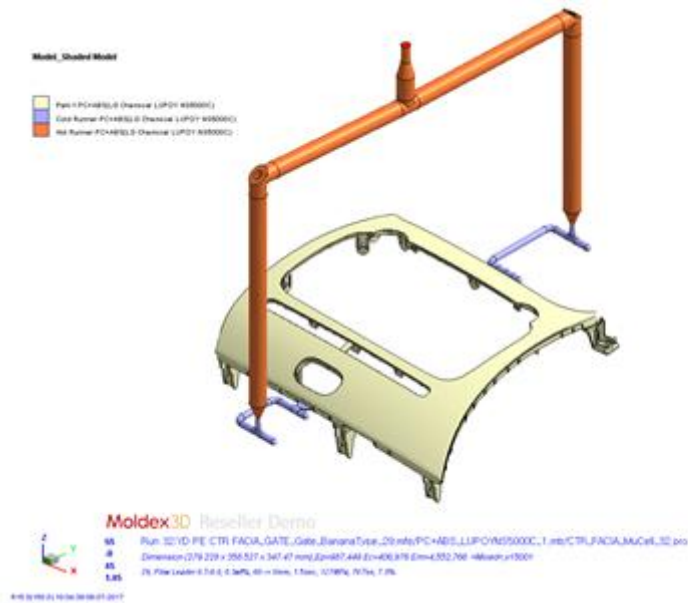


그림 4.29 5차 사출해석에 사용된 게이트 위치 및 형상

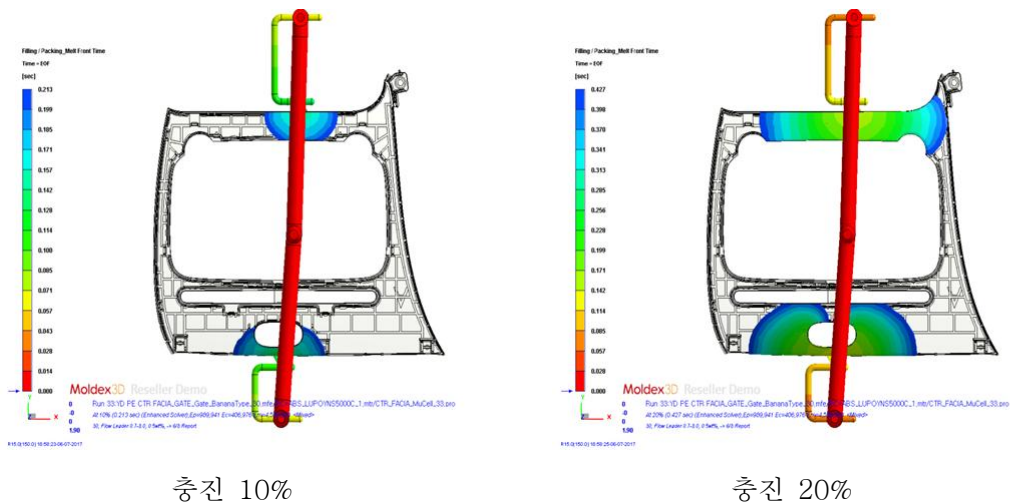
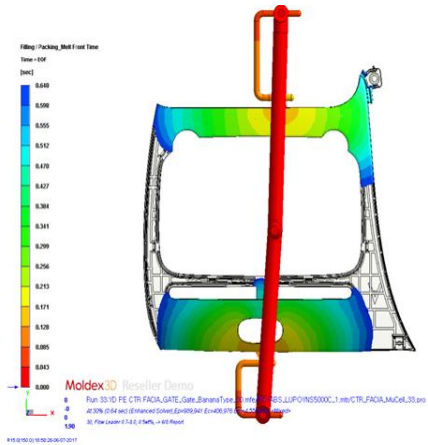
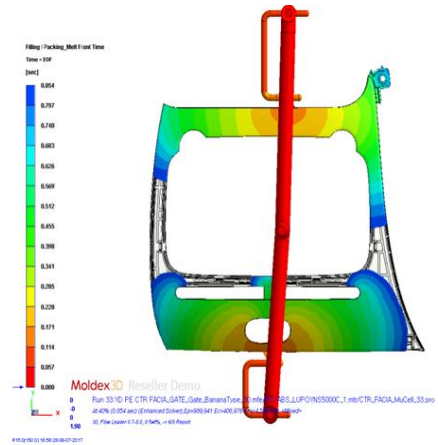


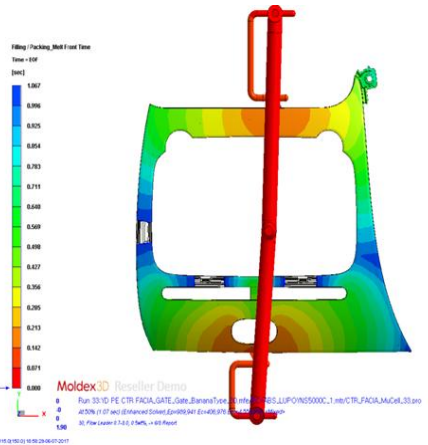
그림 4.30 5차 사출해석에서의 충진율



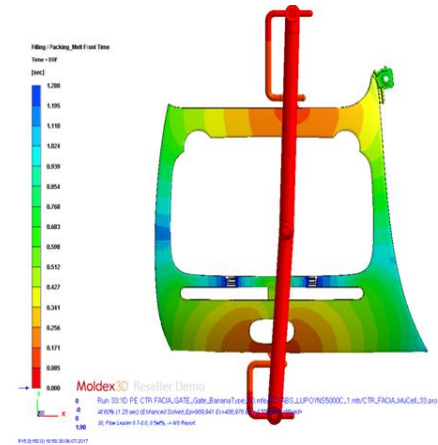
충진 30%



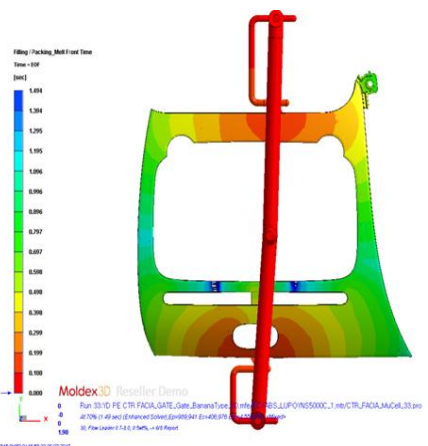
충진 40%



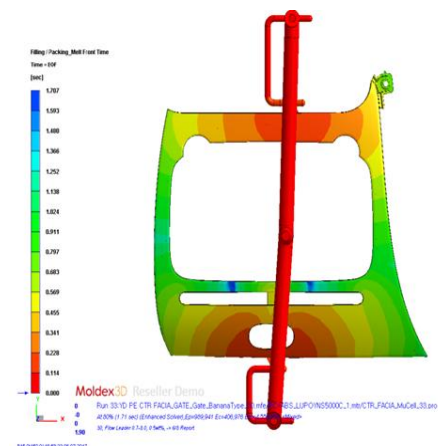
충진 50%



충진 60%



충진 70%



충진 80%

그림 4.30 To be continued



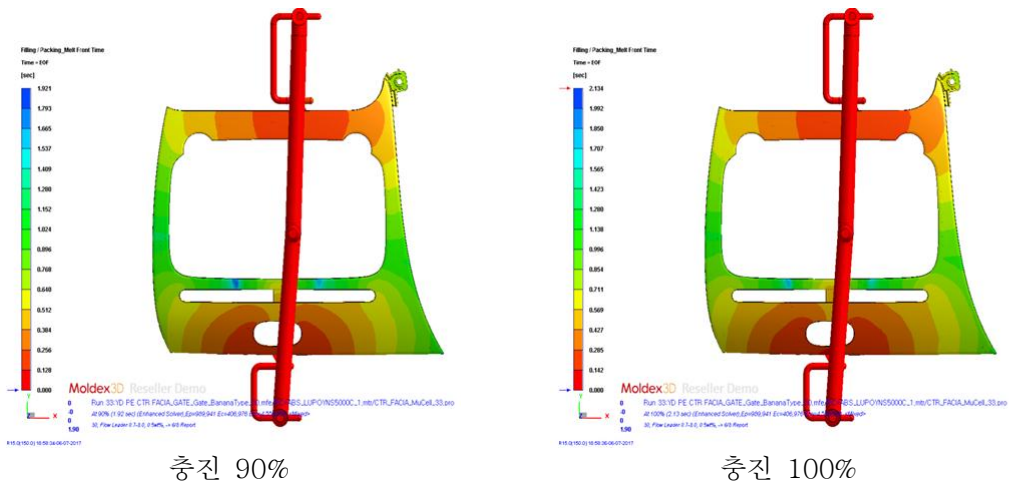


그림 4.30 To be continued

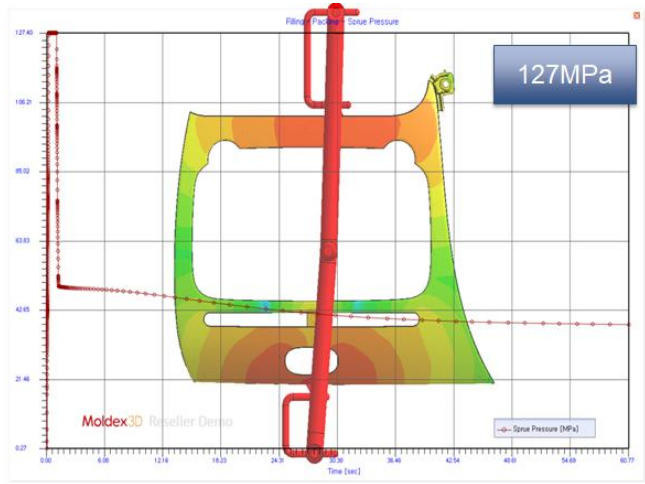


그림 4.31 스프루 압력(Sprue Pressure)

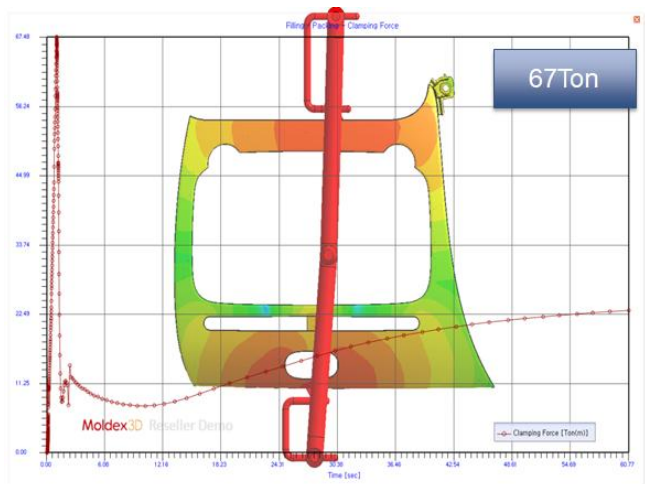
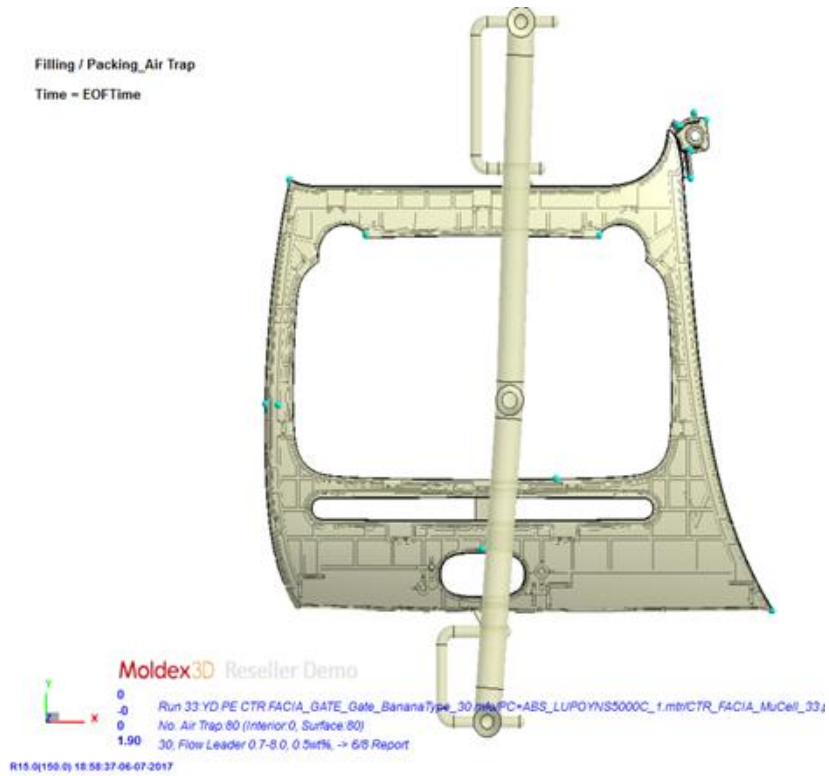
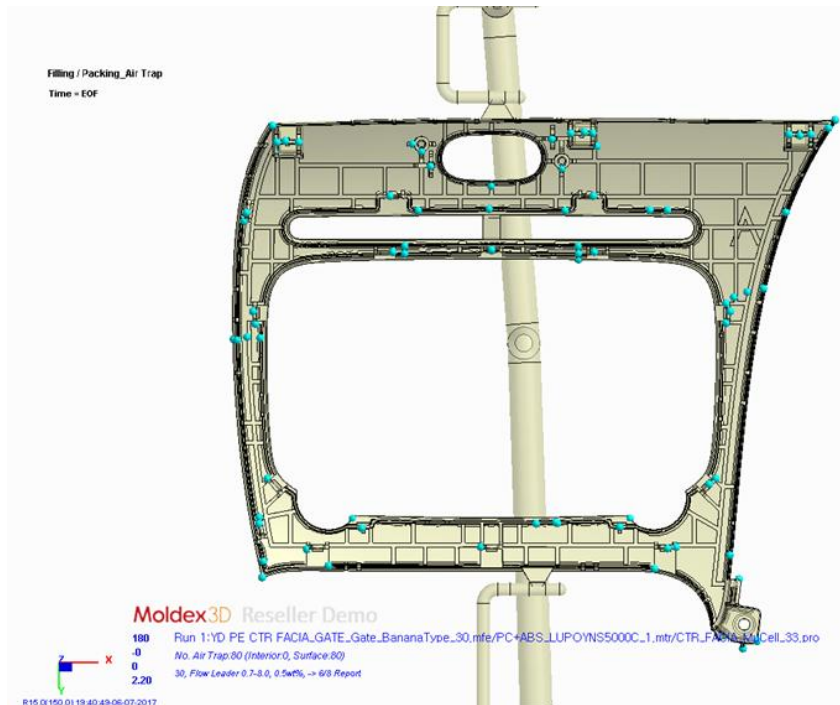


그림 4.32 형체력(Clamping Force)



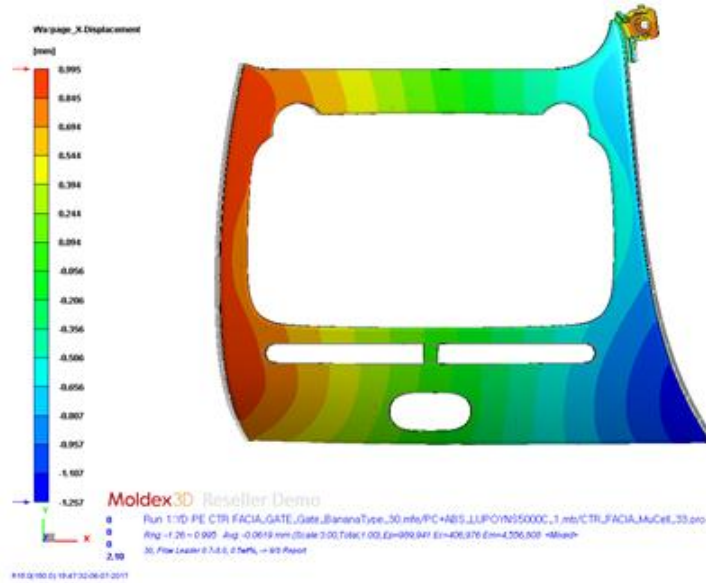
(1) 제품 표면부



(2) 제품 뒷면부

그림 4.33 사출성형시 에어 트랩

사출성형시 변형은 X방향으로 -1.25~0.99 mm 변형 예측되며, 마이너스 부호는 제품의 수축 또는 마이너스변형을 의미하고 플러스 부호는 제품 변형을 의미한다. Y방향 변형은 -2.07~1.4 mm, Z축 변형은 -1.73~4.14 mm, 최대 변형은 4.41 mm 변형되는 것으로 나타났다. 최대 변형 부위는 제품 상부 오른쪽 타 부품과 접합되는 부위이다.

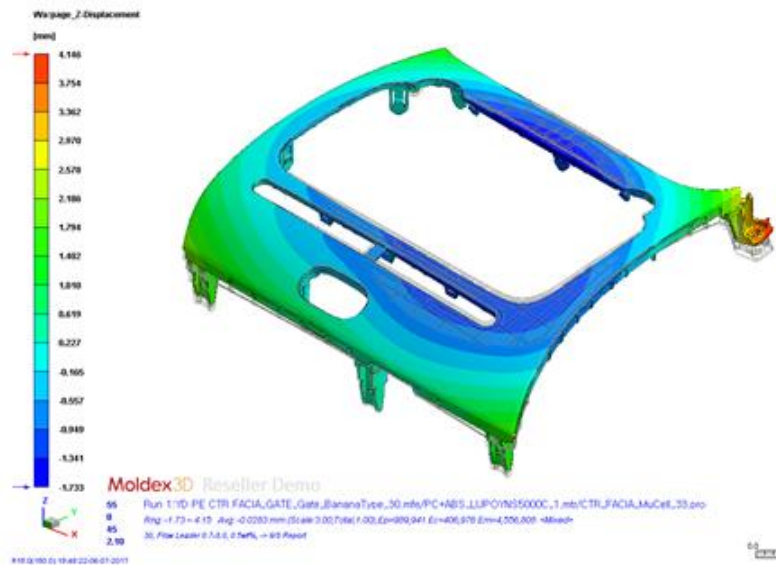


(1) X-Displacement

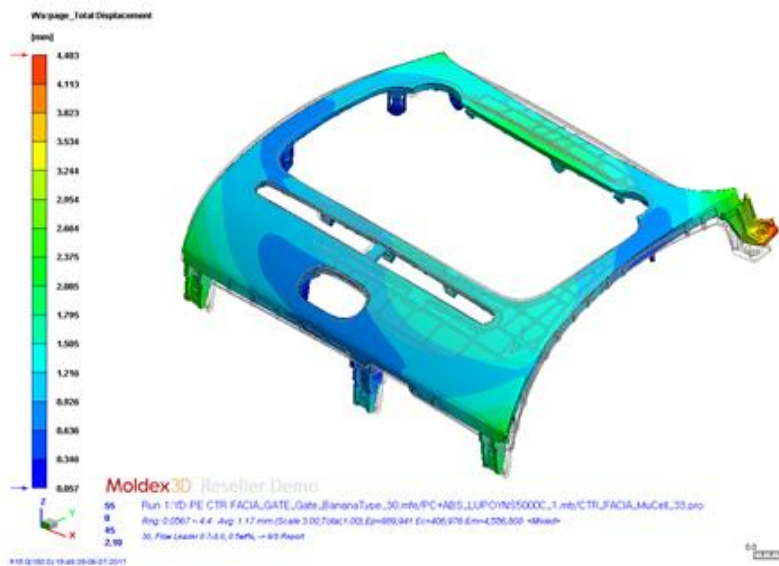


(2) Y-Displacement

그림 4.34 사출성형시 변형 예측



(3) Z-Displacement



(4) Total Displacement

그림 4.34 To be continued

금형 설계에서 최종 반영된 플로우 리더와 게이트 위치, 냉각 및 히팅라인 등을 고려하여 사출성형해석 결과에서 나타난 가스 셀 발포율은 9.2%로 나타났다. 셀의 사이즈는 최대 0.083.9 mm로 나타났으며 크기 판단은 색상으로 파랑색이 가장 낮으며 녹색과 노란색으로 이어지면서 빨강색이 가장 큰 사이즈로 표현되었다. 이때 플로우

우 리더 부의 양쪽 일부에서 셀 사이즈가 가장 크게 나타났으며, 이는 표면에서 셀이 형성된 것으로 나타났다. 또한 제품 양 사이드 표면에서 셀 사이즈가 약 0.045 mm 크기로 나타났으며 이와 같이 셀이 제품 표면에 나타나게 되면 제품의 표면 품질이 낮아지는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 전류가열 금형을 통해 제품 표면부 셀 발포가 발생하지 않도록 하는 역할을 하게 된다.

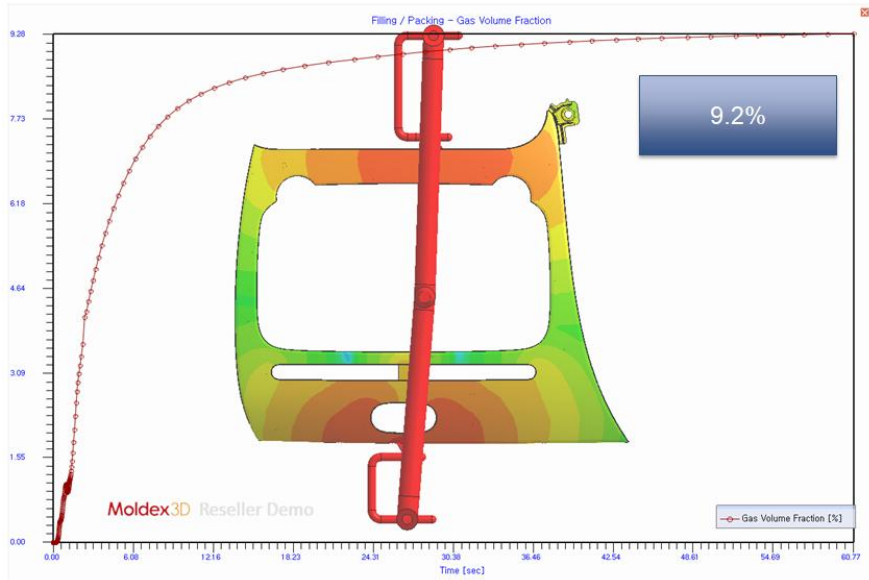


그림 4.35 가스 셀 발포

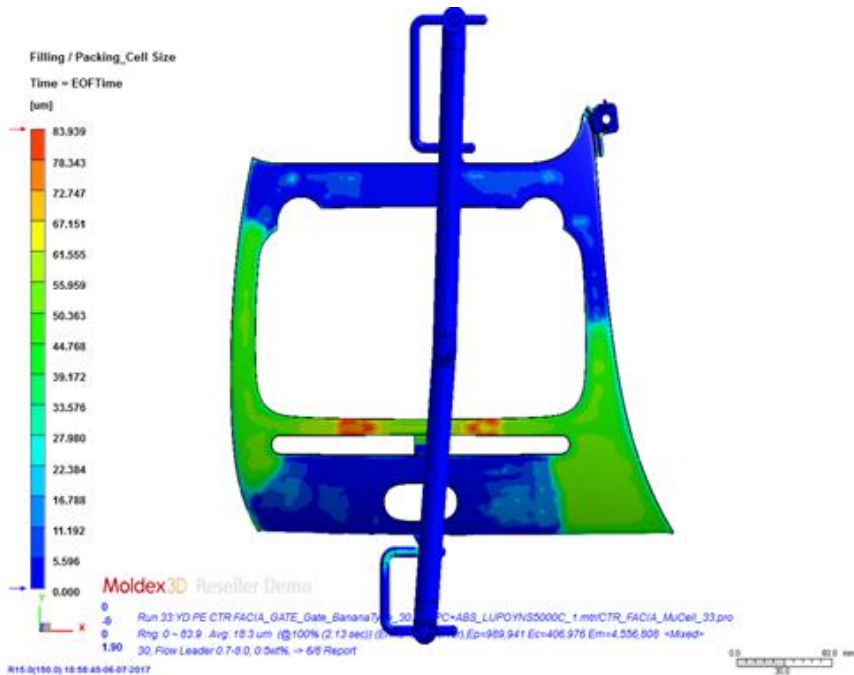


그림 4.36 셀 사이즈

가스 셀 발포 특성을 검토하기 위해 제품 위치별 단면을 검토하였다. 검토결과 일부구간에서 제품 표면까지 발포 셀이 형성되어 있는 것을 확인하였다. 이는 품질에 큰 영향을 미치는 것으로 반드시 개선되어야 한다. 그림 4.37과 같이 표면에 발포 셀이 발생한 사유는 전류가열 금형을 적용하지 않은 결과라 판단된다.

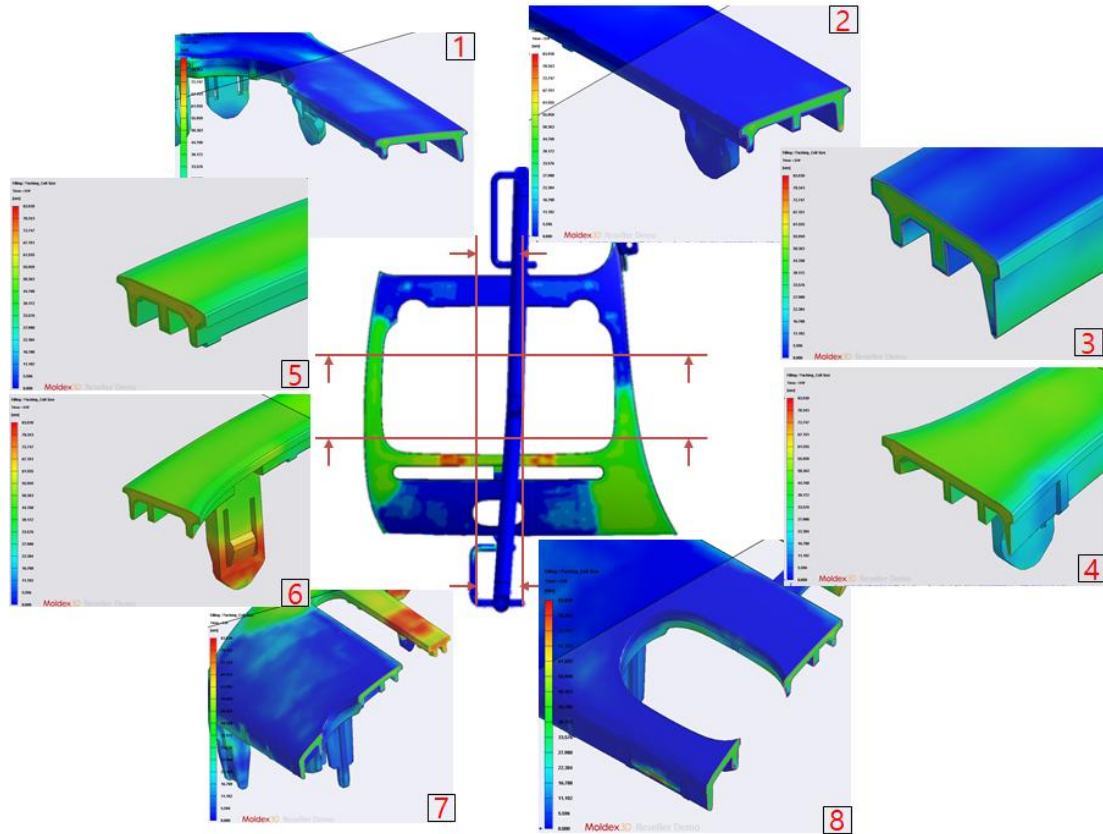


그림 4.37 부위별 셀 발포 단면

그림 4.38은 그림 4.37의 제품 표면부에서 발포 셀 발생을 개선하기 위해 전류가열 금형 적용 사출성형 해석 결과를 나타내었다. 해석조건은 뮤셀 발포에 의한 경량화율 10%, 초기 가스 농도 0.5%, 단위 체적당 셀 수  $1e^6/cm^3$ , 냉각라인의 냉각수 온도 25℃, 히팅 온도는 최대 150℃ 최소 50℃로 하여 해석을 수행 하였다. 제품 소재는 PC+ABS를 사용하였고, 발포 셀 형성을 위한 가스는 질소( $N_2$ )를 사용하였다.

전류가열 금형을 이용한 뮤셀 사출성형해석 결과 제품 4면의 단면을 나누어 나타 분석 하였다. 이때 최대 버블 직경이 0.0433 mm정도로 분포되어 있는 것을 확인 할 수 있었고 약 0.022 mm 전·후로 버블 직경이 분포하고 있는 것을 확인하였다. 또한 제품 표면으로 갈수록 버블 직경은 작아지는 것으로 나타났으며 전류가열 금형을 적용하지 않은 해석에서 나타난 제품 표면층의 발포 셀 발생은 개선되었다.

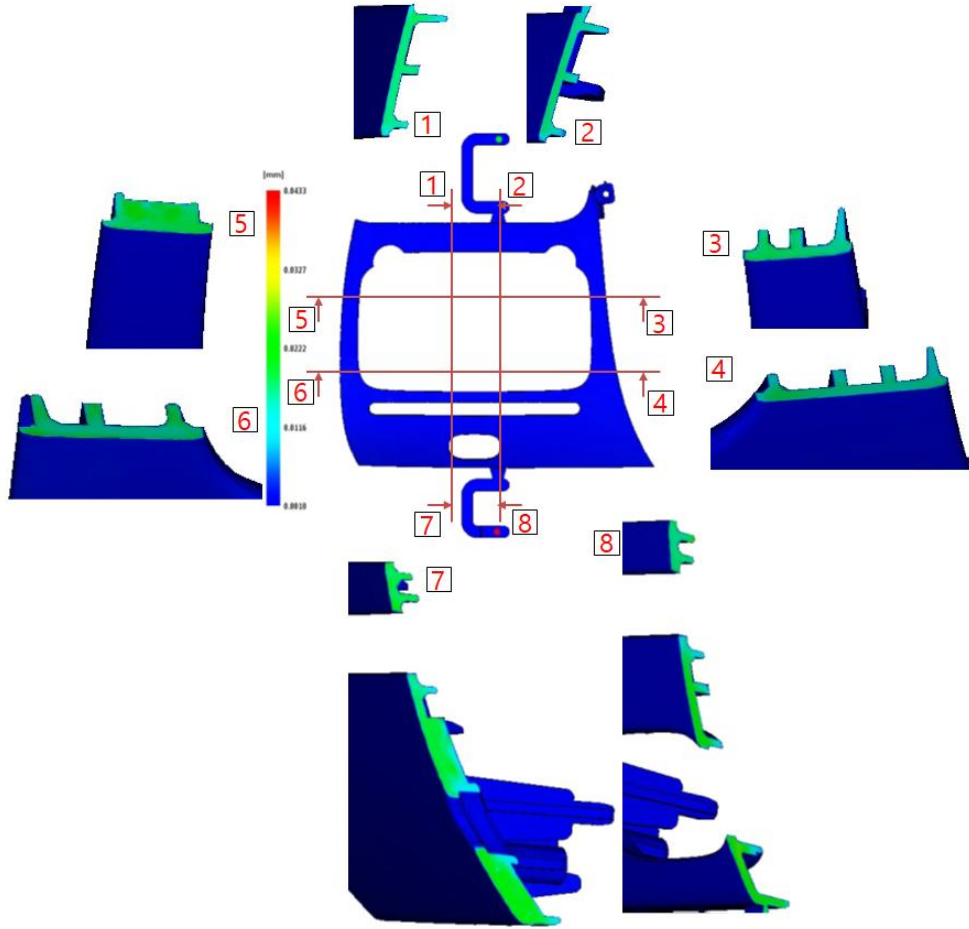


그림 4.38 전류가열 금형 반영된 부위별 셀 발포 단면

#### 4.4 결론

본 연구에서는 전류가열 금형 설계 및 무셀 공법 적용 연구를 위한 내용으로 전류가열 금형 설계를 위한 사전 유한요소해석을 실시하였다. 상용유한요소해석 프로그램인 Moldex3D와 Moldflow를 사용하여 사출성형 해석을 수행하였으며, 3D 메쉬(Mesh) 모델링은 Hyperworks을 이용하여 설계 하였다. 사출성형 해석을 통해 사출성형 시 발생할 수 있는 사출금형 조건을 제시 하였으며 이를 반영하여 전류가열 금형 설계를 하였다. 또한 제품의 특성과 사출장비의 특성을 분석하여 금형설계에 반영하였고, 무셀 공법을 위해 사출장비 개조를 하고 이를 반영하여 전류가열 금형을 이용 무셀 공법 사출성형을 사출성형 해석을 통해 사전 점검하고 금형설계에 반영하는 방법으로 수행 하였다.

1. 전류가열 금형을 이용한 무셀 공법 적용을 위해 사출장비 개조를 수행 하였으며 용융수지와 가스를 섞어주는 기능의 스크루와 배럴을 제작 교체 하였다. 또한 가스 셀 발포를 위해 레귤레이터 이송 압력 제어, 압력 및 유량 공급 기능을 하는 인터페이스 장치 그리고 이를 컨트롤할 수 있는 통합 시스템을 구성 하였다.
2. 전류가열 금형 설계에 있어 가장 먼저 게이트 위치 결정을 하였다. 이는 무셀 공법에 있어 사출성형 밸런스를 점검하기 위함이며 이를 검토 되지 않았을 경우 사출압의 밸런스의 차이로 인해 무셀 발포가 일정하게 되지 않는다. 따라서 게이트의 형상은 사이드 엣지 게이트로 결정하였으며 게이트 수는 2개로 결정하였다.
3. 냉각 라인은 기존 양산 금형을 토대로 설계되었으며 히팅 라인의 경우 임의로 사전 전류 가열 히팅 라인을 설계하여 1차 사출성형해석을 통해 결과 검토 후 이를 토대로 금형 설계시 히팅 라인을 반영하였다. 히팅 라인은 직경 6mm로 제품 표면부위에 가까운 금형부에 설치하였으며 제품 반대쪽은 설치하지 않았다.
4. 냉각 라인과 히팅 라인을 반영한 게이트의 위치에 대한 구조 검토를 하였으며 이때 게이트와 냉각 및 히팅 라인의 간섭으로 인해 게이트의 위치를 재검토 하였다. 이로 인해 게이트의 위치가 제품 안에서 제품 바깥쪽으로 이동 설치하였다.
5. 무셀 공법 적용에 따른 가스 셀 발포율을 검토 하였으며 가스 셀 발포율을 높이기 위해 제품부 플로우 리더를 설치하였다. 또한 가스 셀 발포율을 최대한 높이기 위해 플로우 리더의 사이즈를 결정하였으며 이에 따른 제품 부위별 가스 셀 발포 직경을 검토 하였다.





제5장 뮐셀공법 적용 전류가열 금형을 통한  
시제품 제작 및 검증



## 5.1 서론

뮤셀공법 적용 전류가열 금형을 통한 시제품 제작 및 검증은 앞 장에서 표현되고 연구된 내용을 적용하고 검증하는 차트이다. 국내 처음으로 뮤셀공법 적용 전류가열 금형을 사출해석 상용 프로그램을 통해 구현되었고, 이를 금형설계 및 제작에 반영하였다. 또한 많은 참고문헌들을 통해 전류가열 히터, 센서, 시그널 케이블 등을 선정하고 적용하였다. 전류가열 금형에 히터 위치는 금형설계, 히터, 뮤셀공법, 사출성형 전문가들로 구성된 운영위원회에서 제안하였고, 이를 사출성형해석을 통해 전류가열 금형의 히터 위치가 적정한가를 판단하였다. 이 결과를 통해 금형 설계에 반영하고 제작 하였다. 금형내 설치된 히터에 의해 원하는 온도를 제어하는 방법은 온도센서를 금형내 설치하고 이를 전기적 컨트롤에 의해 자동 제어 되도록 하였다. 또한 이는 사출성형장비와 연동 될 수 있도록 설계하고 장비 연동 제어 시스템을 개발하여 적용하였다.

시제품 제작은 먼저 뮤셀공법 및 전류가열 금형이 적용된 상태에서 사출성형을 통해 시제품 제작을 하였고 이는 사출성형해석 결과에 대해 신뢰성을 확인하는 차원에서 실시하였다. 시제품은 성형 20%, 30%, 40%, 50% 등에서 사출성형해석과 시제품 제작시 제품 성형 형상을 통해 검증하였다. 또한 사출성형해석에서 뮤셀공법 적용 전류가열 금형 미적용된 상태에서 사출해석결과와 사출성형된 시제품과의 비교 검증 하였다. 이는 뮤셀공법에서 발생하는 단점인 발포 셀의 경우 제품 중앙부에서 유지하고 제품 표면부에는 발생하지 않아야 하나 제품 표면부까지 발포셀이 발생하는 가에 대해 확인하기 위함 이었다.

뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 시제품을 제작하여 제품 품질 특성을 평가 검증하고자 하였다. 본 연구에서 제작한 시제품은 센터 페시아 제품으로 자동차 실내 오디오를 가이드 하는 제품이다. 따라서 제품의 표면 품질도 중요한 요소이지만 제품 특성도 중요한 요소이다. 따라서 본 제품의 특성 평가는 내열 사이클, 내약품성, 연소성, 휘발성 유기화합물 함유 정도를 확인하고 검증하였다. 검증은 공인 시험기관에 의뢰하여 실시하였다.

제품의 특성 평가로 복합환경 시험과 진동시험을 실시하여 제품의 변형 및 소음 특성을 분석하였다. 이는 제품의 특성상 고객의 시각에 가장 잘 뛰는 부위로 어떠한 경우에도 변형이나 비정상적 소음이 발생하면 안되기 때문이다. 또한 제품의 시각적 품질 특성은 표면 거칠기를 분석하여 검증하였으며, 이는 3D 성형 프로파일러 장비를 이용하였다.

제품의 강성 및 경량화를 좌우하는 제품 두께 방향으로의 발포셀의 크기 및 공극율은 제품의 강성과 경량화에 중요한 요소이다. 이는 발포셀의 크기와 공극율을 통해 증명하였다. 마지막으로 제품의 일정 범위의 강성을 가져야 하는 제품 표면 경도는 일반사출품과 뮤셀공법 적용 사출품, 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출품을 각각 제작하여 비교 분석 하였다.

## 5.2 전류가열 적용 금형 및 제품 제작

### 5.2.1 금형제작 및 조립

본 연구는 사출성형 기술, 금형기술, 전류가열 기술, 무선통신 적용 기술 등이 융합된 금형 설계와 제작이 진행되었다. 금형설계 시 제품 데이터, 사출소재, 전류가열 장치, 냉각 데이터, 및 사출기 사양 등의 기본 정보를 취합하여 금형설계를 하였다. 우선 본 연구에서 개발 중인 센터페시아 제품 데이터와 함께 현재 양산품 기준으로 레진 정보(PC+ABS, LG화학, YNS5000C) 및 수축율 5/1000을 확인 하였다. 그리고 금형 표면부 측 전류가열 코어 라인 사이에 온도센서를 위치 시켜 온도를 제어하고, 금형부에 균일하게 온도를 급가열 및 급냉각하기 위한 조건에 맞는 냉각시스템, 히터 배선 데이터를 우선으로 적용하였고 전류가열 코어 수량은 사출성형해석에서 제시된 27개, 온도 센서 4개, 전류가열 코어 커넥터 2개, 센서 커넥터 1개를 그림과 같이 준비하여 금형 제작 시 설치하였다.

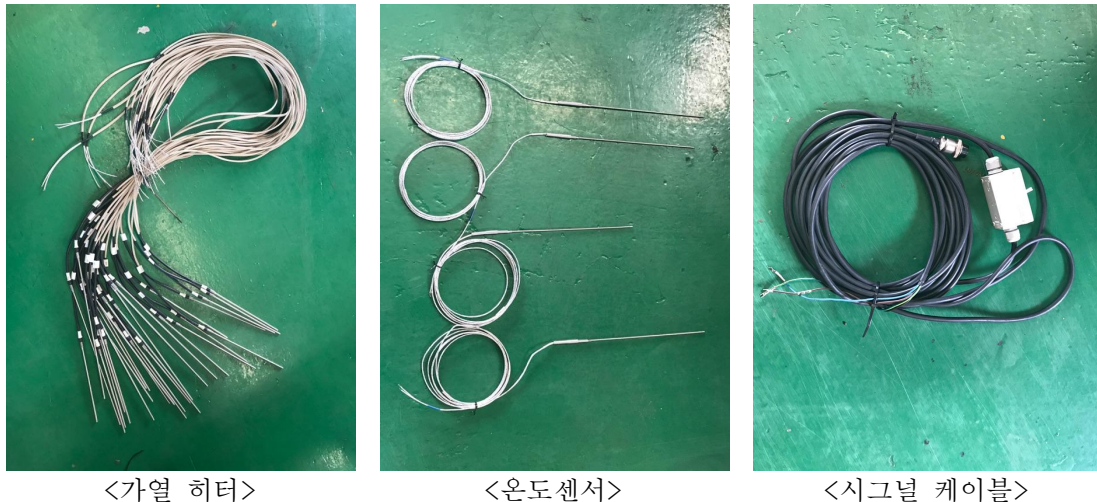


그림 5.1 전류가열 금형 기자재

최종 금형 설계 및 제작은 사출성형해석의 결과를 반영하였으며, 특히 플로우 리더, 콜드 슬러그 웰, 온도센서 등의 내용을 반영하였다. 금형 제작은 금형설계 재검토 후 금형소재 선정 그리고 히터 및 센서 설치를 위한 건드릴 라디알 가공, NC 가공, 방전 가공 마지막으로 표면 광택 작업 순으로 진행하였다. 제작된 금형은 상·하 금형의 습합을 확인하고 최종 조립하였다. 또한 상측 코어, 하측 코어, 상측 냉각 코어를 제작하였다. 특히 사출성형해석에서 냉각라인과 가열 코어 위치 그리고 게이터부의 간섭에 대해 금형 제작 시 재검토 하였다.

아래 그림은 제작된 금형과 전류가열 금형에 가열 코어 및 센서 등을 설치한 것을 나타내었으며, 전류가열 코어 위치와 온도 센서 위치는 사출성형해석에 적용된 위치와 동일한 위치에 설치하였다.



그림 5.2 전류가열 금형 조립

### 5.2.2 금형온도 제어 컨트롤러 및 사출성형장비와 연동 시스템 개발

전류가열 금형의 온도 제어 컨트롤러는 터치패널, 히터 커넥터, 시그널 커넥터, 센서 커넥터, 주전원 인입구 등으로 구성된 외부와 히터 단선의 과전류로 인한 사고 방지기능, PLC로부터 신호를 받아 히터로 전원 공급 및 차단하는 역할을 하는 SSR(Solid State Relay), CT(각 Heater에서 소모하는 전류를 측정)를 통하여 히터 단선 여부를 확인하고 PLC로 신호를 보내는 역할을 하는 단선 경보기, 제어기 메인 전압(3상 380V/3상 220V)을 PLC 및 터치스크린에서 사용하는 220V로 변환해주는 기능을 하는 변압기, 메인 회로에서 공급 받는 전원의 전압을 일정한 전압으로 공급 역할을 하는 AVR 등으로 구성된 내부로 설계하였다.

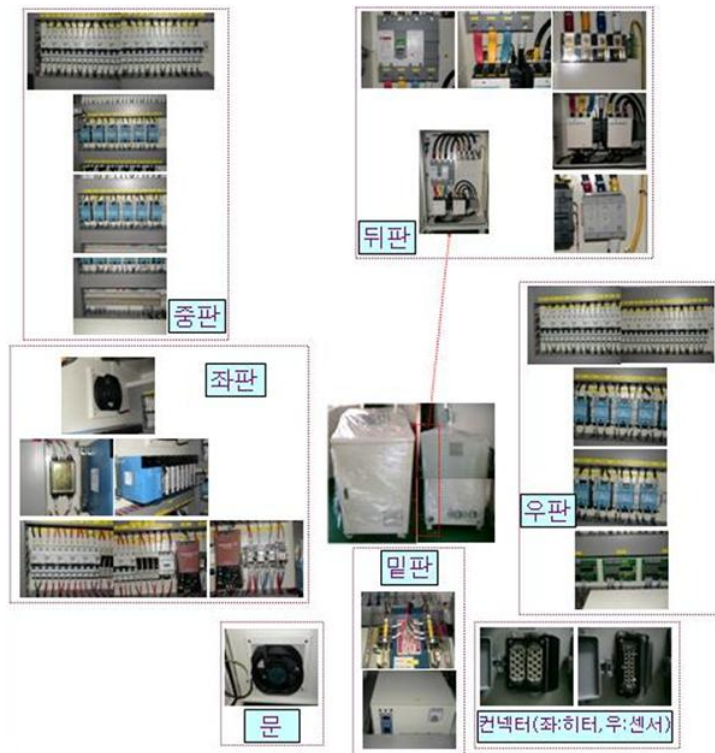
그리고 금형에 온도 센서와 냉각판, 가열 히터가 설치되어 있으며, 온소 센서는 금형과 전류가열 컨트롤러와 연결하였다.

본 연구에서 적용한 컨트롤러는 마그네틱 On/Off 스위치와 SSR(형개 및 Heat

On/Off)로 구동되는 가열부분을 히터에 연결하였고, 이때 전류를 계산하기 위해 전선 주위의 자기장 세기를 측정하고 히터의 단선 여부를 경보기로 확인하여 PLC에 시퀀스(Sequence)를 보내는 컨트롤러 부분의 구동을 통해 전류가열 금형을 구동하였다.



(1) 컨트롤러 외부



(2) 컨트롤러 내부

그림 5.3 전류가열 금형온도 컨트롤러 구조

전류가열 공정은 금형 내 히팅 장치를 설치하여 금형을 전도에 의한 간접 가열 방식으로 제작 설치되었으며, 이를 무셀공법의 단점인 제품 표면 품질을 높이기 위해 적용된 기술이다. 이를 사출 성형시 금형이 형개 시점에서 가열되어 컨트롤러에서 요구된 온도까지 가열하고 형폐 시점에는 히터는 OFF 되는 방식으로 사출성형 장비와 연동 작동되게 설치 컨트롤 하였다.

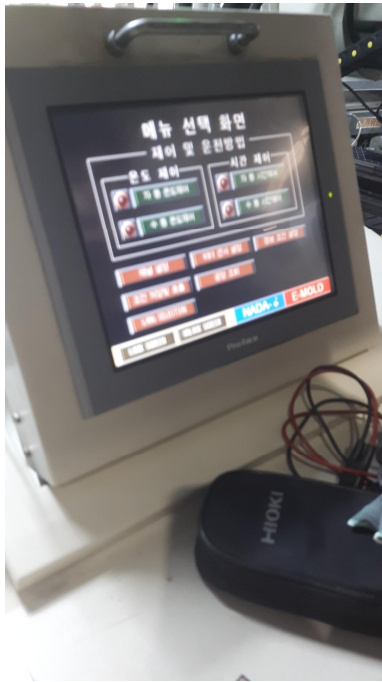


그림 5.4 사출성형기와 금형온도 컨트롤러 연동



### 5.2.3 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 제품 제작

뮤셀공법 및 전류가열 금형을 적용하여 제품 제작을 하였다. 제품은 기존 사출방식과 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 제품 2가지 방법으로 제작 하였으며, 이는 기존 방법 대비 본 연구에서 적용된 방법과의 품질 비교하기 위함 이였다.

사출성형기의 조건은 사출압력, 사출속도, 사출시간, 보압속도, 실린더 온도, 계량 거리, 보압 전환점, 홀림 방지 등을 설정하여 제품 제작을 하였다. 이때 제품의 중량과 치수를 일정한 품질로 유지하기 위해 수지 량과 실린더 온도를 일정하게 유지 하였다. 가열 실린더 온도는 재료 용융에 필요한 에너지의 60~85%는 실린더 구동에 너지에 의해 발생된다.

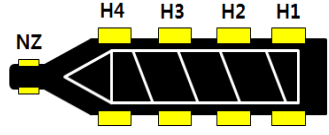


그림 5.5 제품 제작 과정

사출성형시 실린더 각 위치별 설정온도와 편차온도에 대해 다음 표로 나타내었다. 이때 설정온도 H3의 270℃은 기존 사출성형 조건이며 280℃은 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출성형 조건이다. H2도 기존 사출성형 조건과 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출성형 조건을 나타내었다.

[표 5.1] 사출성형시 실린더 부위별 온도

구 분	NZ	H4	H3	H2	H1
설정온도	280	0	270/280	260/270	240/260
편차온도(+)	50	0	50	50	50
편차온도(-)	30	0	30	30	30



수지가 노즐선단으로 흘러내리는 것을 방지하기 위해 흘림방지 거리를 스크류 직경의 10~20%로 설정하고, 계량거리는 성형품의 중량과 치수 재현성 확보를 위해 최소 계량량과 최대 계량량의 비율을 고려하였다. 이때 계량압력, 속도, 위치, 배압의 경우 ???/???의 앞의 수치는 기존 사출성형 조건이며 뒤의 수치는 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출성형 조건이다. 계량압력 및 속도의 경우 기존 사출성형 조건보다 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출성형 조건이 낮게 설정하였으며, 계량배압의 경우 높게 설정 하였다. 이는 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출성형에서 질소가스가 혼입되어 초임계 유체를 만들어 주기 위한 조건을 부여하였다.

[표 5.2] 계량 및 흘림 방지 조건

계량	흘림방지1	계량 1	계량 2	계량 3	계량 4	계량 5	흘림방지2
압력(kgf/cm <sup>2</sup> )	0	100/60	100/60	100/60	100/60	100/60	85/0
속도(%)	0	65/35	65/35	65/35	65/35	65/30	55/0
위치(mm)	0	10	20	30	40/70	80/76	81/0
배압(gf/cm <sup>2</sup> )	-	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	0/0

충진에서 보압으로 전환 되는 시점인 전환점은 산출된 계량거리의 20%에 스크류 직경 20%(쿠션량)을 더하여 설정하였고, 계량양 과다 설정으로 인한 충진 과다를 방지하기 위해 산출된 계량거리의 20%를 보압 구간으로 포함하여 사출성형을 하였다. 초기 보압 속도는 사출압력에서 1차 보압으로 전환되는 압력 25 kgf/cm<sup>2</sup>를 설정 하였다. 사출 속도를 구현하기 위한 도구로 사용되는 사출압력 조건은 사출 압력

최대값으로 사출압력을 초기에 설정하였고, 계량거리 및 보압, 속도, 시간 설정이 완료되면 사출압력을 최소압력으로 수정하여 다음 표와 같이 설정하여 사출성형 하였다. 이때 보압은 압력, 속도, 위치의 경우 ???/???의 앞의 수치는 기존 사출성형 조건이며 뒤의 수치는 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출성형 조건이다.

[표 5.3] 사출 및 보압 조건

보압	보압 3	보압 2	보압 1	사출 5	사출 4	사출 3	사출 2	사출 1
압력(kgf/cm <sup>2</sup> )	0	0	90/50	140/145	140/145	140/145	140	140
속도(%)	-	-	25	35/95	38/95	40/80	45/45	25
시간(sec)	0	0	0.5	0	0	0	0	0
위치(mm)	-	-	-	11/4	12	13/62	14/67	76/72

그림 5.6은 사출성형해석과 사출성형품을 비교한 것을 나타내었다. 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 제품제작은 앞 장에서 실시한 사출성형해석과 사출성형장비에 의한 제품제작과의 유사성 확인을 위해 사출성형 패턴을 확인하였다. 사출성형 패턴은 Melt Front Time 20~50%의 조건에서 미성형 사출시 해석과의 유사성을 검토하였고 이는 사출성형해석 신뢰성을 확인하는 차원에서 실시하였다.

사출성형해석과 미성형 사출성형 검증 결과 Melt Front Time 20~40%는 제품 상부의 부분의 충전량으로 평가하였으며, 결과적으로 사출성형해석과 비슷한 양상을 보였다. 충전량을 평가하는 이유는 충전량이 사출성형에서 압력, 속도 등 기타 조건을 예측할 수 있는 종합적인 검증결과로 판단되어 진행하였다. Melt Front Time 50%의 결과에서 보면 제품 아랫부분 플로우 리더 부에서 실 제품과 조금의 차이가 있는 것을 확인하였다. 이는 사출성형 후반부에서의 사출장비의 사출압력이 기계적 미세 변화에 의해 차이가 발생하는 것으로 판단하였고 사출성형해석결과를 실 사출성형에 사용되는 것은 큰 문제가 없을 것으로 판단하였다.

그림 5.7은 사출성형해석의 뮤셀공법 적용 결과와 시제품 제작 결과를 나타낸 것으로 이는 전류가열 금형을 적용하지 않은 결과이다. 이때 사출성형해석 결과에서 나타난 제품 표면부까지 포화셀이 발생한 것을 확인하였다. 제품 표면부 포화셀은 사출성형해석 보다 실 제품에서 더 많이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 그리고 제품 표면부 포화셀로 인해 제품의 표면 품질이 문제가 있는 것으로 확인하였고, 이는 후 공정인 도장으로 해결할 수 없는 수준으로 판단되었다. 이와 같은 결과를 통해 뮤셀공법 적용의 경우에서 사출성형해석과 비슷한 양상으로 나타나는 것을 확인하여, 향후 제품 개발에 있어 뮤셀공법 적용 사출성형해석이 많은 시간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단하였다.

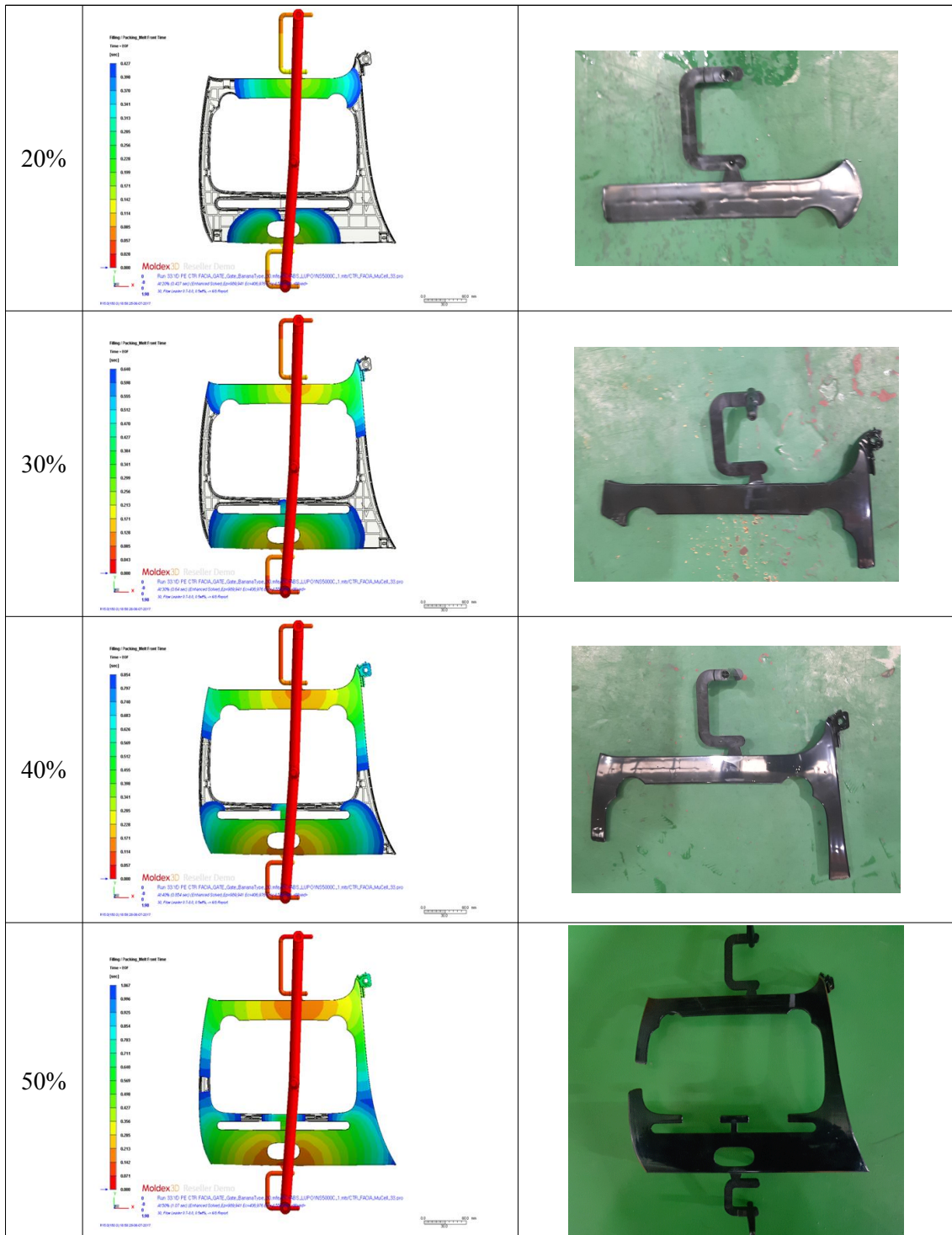
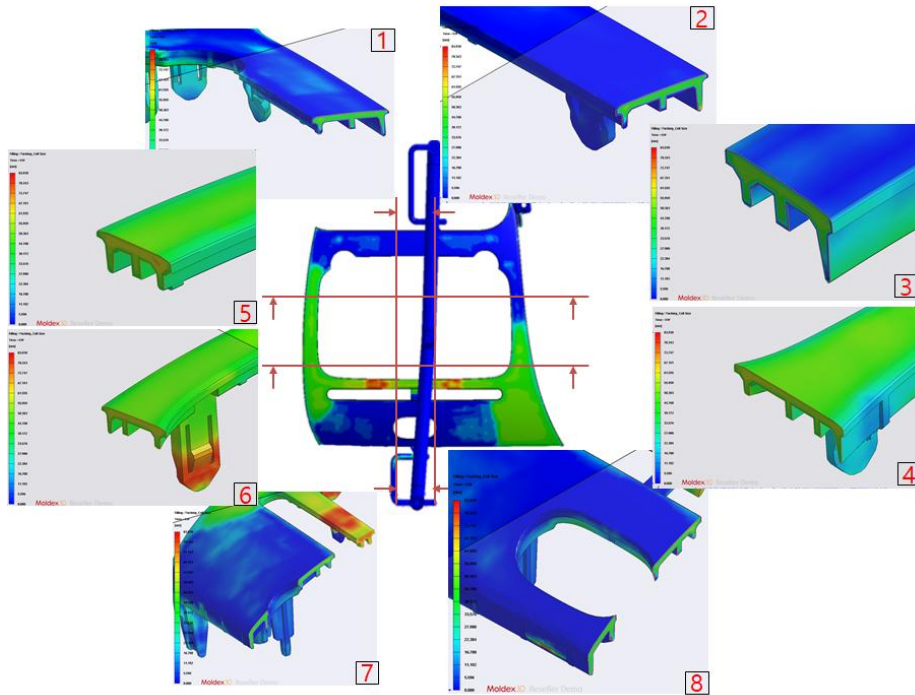


그림 5.6 사출성형해석 신뢰성 검증



(1) 사출성형 해석 결과



(2) 시제품 결과

그림 5.7 제품 표면부 포화 셀 발생 부위

뮤셀공법은 사출성형시 수지에 초임계유체 가스를 투입하여 사출하는 방법이다. 이때 초임계유체 가스량은 제품 경량화 율과 관계가 있으며, 가스압력에 의해 제품 표면부 가스자국이 발생할 수 있다. 또한 전류가열 금형온도에 따라 제품의 웰드라인 마크와 광택도에 영향을 준다. 따라서 제품은 이 두가지를 조정하면서 제품 개발을 하였다. 금형온도는 앞 절에서 정의한 것과 같이 150℃, 160℃의 조건으로 하였으며, 초임계유체 가스는 0.1 ~ 1% 범위에서 조정하면서 제품 개발을 하였다.

제품 개발 결과 목표 경량화율 10%에 근접하면서 제품 상품성이 있는 조건은 초임계유체 가스 0.4~0.6%, 금형온도 160℃로 나타났다.

[표 5.4] 사출성형 조건별 제품 품질 분석

구분	뮤셀+E-Mold 조건	성형 결과
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.1~0.4%</li> <li>금형온도 150℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰드라인 마크 ↑</li> <li>가스자국 ↑</li> <li>광택도 ↓</li> <li>경량화 ↓</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.1~0.4%</li> <li>금형온도 160℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰드라인 마크 ↓</li> <li>가스자국 ↓</li> <li>광택도 ↑</li> <li>경량화 ↓</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.4~0.6%</li> <li>금형온도 150℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰드라인 마크 ↑</li> <li>가스자국 ↑</li> <li>광택도 ↓</li> <li>경량화 ↑</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.4~0.6%</li> <li>금형온도 160℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰드라인 마크 ↓</li> <li>가스자국 ↓</li> <li>광택도 ↑</li> <li>경량화 ↑(12%)</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.6~1.0%</li> <li>금형온도 150℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰드라인 마크 ↑</li> <li>가스자국 ↑</li> <li>광택도 ↓</li> <li>경량화 ↑</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.6~1.0%</li> <li>금형온도 160℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>웰드라인 마크 ↓</li> <li>가스자국 ↑</li> <li>광택도 ↑</li> <li>경량화 ↑</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>수지 PC+ABS</li> <li>초임계유체 가스 0.1~1.0%</li> <li>금형온도 160℃ 이상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>성형성 ↓</li> <li>연속생산성 ↓</li> <li>금형품질 저하 및 플로우 마크 발생</li> </ul>

### 5.3 제품 품질 특성 평가

#### 5.3.1 제품 신뢰성 평가

자동차 제품의 신뢰성 평가는 보통 내열 사이클, 내약품성, 연소성, VOCs(휘발성 유기화합물), 내스크래치성 등으로 평가한다.

내열 사이클의 환경조건은 내열성 범위 조건에서  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ , 1시간 → 표면온도  $110 \pm 2^\circ\text{C}$  및 분위기 온도  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ , 3시간 →  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ , 1시간 → 상온 1시간을 진행하고, 내한성 범위 조건  $-40 \pm 2^\circ\text{C}$ , 3시간 → 상온 1시간 → 상온 1시간, 내습성 범위 조건  $50 \pm 2^\circ\text{C}$ , 90% RH, 7시간 → 상온 1시간으로 아래 그림과 같이 3사이클 진행 후 평가한다. 평가는 위의 환경조건에서 72시간 방치 후 제품의 심각한 비틀림, 변형, 변색, 균열, 잔금, 박리, 끈적임 등이 없어야 하며, 시험결과 이와 같은 문제는 발생하지 않았다.

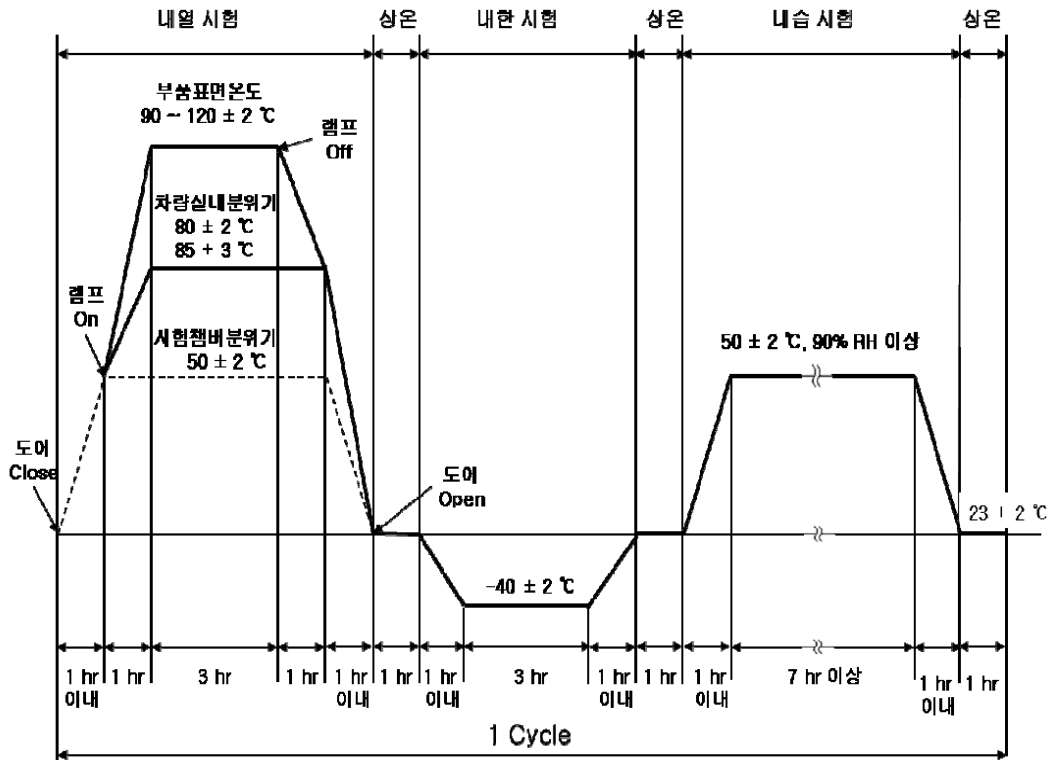


그림 5.8 내열 사이클 시험 범위

내약품성 시험은  $-23 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5\%$  PH조건에서 24H 방치 후 평가하고,  $80^\circ\text{C}$  항온 조 중에 3H 유지 후 평가하는 두 가지 방법으로 진행하였고, 그 결과 아래 표와 같이 그리스, 내장용 왁스, 유리 세정제를 사용하였을 때 육안으로 확인되는 변색, 벗겨짐, 균열, 부풀음 등이 없음을 확인하였다.

[표 5.5] 내약품성 시험 결과

구분	24H 방치 후	80℃ 항온조 중에 3H 유지 후
그리스	육안으로 확인되는 비틀림, 변형, 변색, 균열, 잔금, 박리, 현저한 정도의 변화나 끈적거림 등이 없음	육안으로 확인되는 비틀림, 변형, 변색, 균열, 잔금, 박리, 현저한 정도의 변화나 끈적거림 등이 없음
내장용 왁스		
유리 세정재		

연소성 시험은 21±5℃, 상대습도 55±5%에서 24시간 방치하여 측정하는 일반 시료와 80±3℃의 건조로에서 168 시간 노출 후 24시간 방치하여 측정하는 고온 방치 시료 두 종류로 나누어 규정된 시험조에 샘플을 넣고 15초 간 불꽃이 닿게 한 후 바로 끄고 연소상태를 아래 연소상황에 맞게 5회 반복해서 진행하였다. 시험결과 합격하는 범위에 있는 것을 확인하였다.

[표 5.6] 연소성 시험 결과 판정 기준

기준	연소상황
합격여부	연소속도가 80mm/min 이하일 것
불연성(O)	불꽃이 15초가 닿아도 연소하지 않을 것
자기소화성(SE)	착화는 하나, 연소가 50mm 이하에서, 또는 60초 이내에 자연스럽게 꺼지는 것

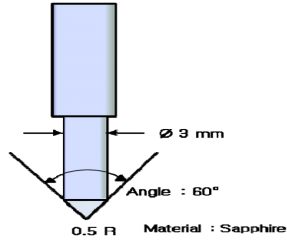
VOCs 시험은 시험 시편 시험용과 배경시험용 샘플링 백을 각각 준비하고 샘플링 백에 질소 주입과 배기를 3회 반복 실시한다. 샘플링 백을 65℃로 맞춰진 오븐에 넣고 2시간 동안 가열하고, 2시간 후 샘플링 백을 꺼내어 실온 23±2℃에 30분간 방치하고 내부온도를 실온까지 식힌 후에 샘플링백이 완전히 충전되도록 질소를 채운다. 그리고 샘플링 백에 DNPH 카트리지를 연결하여 유속 0.5 l/min 으로 1.5 l의 시료를 채취한 후, 바로 TENAX-TA가 충전된 흡착관을 연결하여 유속 0.1 l/min으로 1 l를 채취하는 방식으로 간이측정기를 이용하여 부품의 포름알데히드와 VOCs를 분석하였고, 그 결과 포름알데히드 0.4ppm미만, VOCs도 0.2ppm 미만이라는 결과를 확인하였다.

내스크래치성 시험인 사파이어 평가법은 시험품 또는 이것과 동등한 조건으로 제조된 시험편의 표면을 아래 표의 방법을 적용하여 진행하였다. 시험편은 3개를 준비하고 시험하였으며, 평가는 산술 평균 값을 구하여 표면손상이 인지되거나 백화 없



는 3급으로 결과를 확인하였다.

[표 5.7] 내스크래치성 시험조건

항 목	조 건
하중 (N)	4.9 (긁힘자 중량 포함)
긁힘 길이 (mm)	100 ± 5
긁힘 속도 (mm/sec)	100
긁힘자	
긁힘 횟수	1 회

[표 5.8] 내스크래치성 평가 판정기준

급	판정 기준	
	스크래치 폭(μm)	외 관
5	< 100	표면손상이 인지되지 않음
4	100 ~ 250	표면손상이 약하게 인지됨
3	250 ~ 400	표면손상이 인지되나 백화 없음
2.5	400 ~ 475	부분적인 표면손상 및 백화발생
2	475 ~ 550	분명한 표면손상 및 백화발생
1	> 550	매우 심한 표면 손상

제품 신뢰성 평가 항목인 내열사이클, 내약품성, 연소성, VOCs 내스크래치성 시험의 경우 최종 품질 평가 공인인증을 받아 판정기준으로 제시하였다.



### 5.3.2 복합환경 및 진동에 의한 소음 시험 특성 분석

복합환경 및 소음시험에 의한 제품 품질 특성 평가는 중요한 시험이다. 제품을 자동차에 장착하고 온도 환경 변화에 따라 제품은 변형이 생기기도 하고 이탈되기도 한다. 또한 자동차의 진동에 의해 소음이 발생하기도 하며, 복합환경과 진동을 동시에 발생시키면 제품에서 다른 형태의 소음 및 변형이 발생한다.

#### (1) 복합환경 시험

본 연구에서 개발된 센터 페시아 제품의 복합환경시험은 크래쉬패드 상면에 위치하며 이는 크래쉬패드 부품과 연계 제품을 조립후 시험하는 방법으로 완성자동차 업체에서 기술표준을 제시하고 있다. 이 부품에 대한 복합환경시험 조건은 제품이 자동차에 장착 되었을 때를 가정하기 때문에 직사일광을 계속적으로 받는 부품으로 간주할 수 있다. 따라서 표면온도는  $110\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 내부온도  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 완성자동차업체에서 제시된 기술표준으로 시험하였다. 온도 사이클 시험 조건은 그림 5.8과 같은 조건이며 이는 사면이 대기와 차단되어 있는 챔버로 자동차 부품에 대한 다양한 외부 환경조건을 재현하는 장비이다. 또한 적외선 조사, 온도저장, 온습도 사이클 시험을 통해 시스템의 변형 검출 및 작동성능 평가 기능과 시험대상품에 대한 표면 온도 측정이 가능한 기능을 가지고 있다. 시험에 사용된 복합환경 챔버는 실차 전체를 시험할 수 있는 장비로 시험가능 사이즈 6.0m(L) $\times$ 3.0m(W) $\times$ 3.0m(H), 재현 가능한 온도  $-30^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 냉각율  $20^{\circ}\text{C}\rightarrow -40^{\circ}\text{C}$ (Min.120min), 히팅율  $20^{\circ}\text{C}\rightarrow +100^{\circ}\text{C}$ (Min.120min), 습도 95%을 재현 할 수 있는 성능을 가지고 있다.



그림 5.9 복합환경 챔버

시험편은 시험 전  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 와  $50\pm 5\%\text{RH}$ 에서 24시간 동안 상태조절을 하였고, 온도 계측 위치에 TAPE 등으로 고정하여 열전대를 설치하였다. 또한 시작전에 시제품의 칼라를 먼저 확인하고 육안법 및 사진 촬영을 통하여 복합환경시험 전 제품의 칼라 사진을 확보 하였다.



그림 5.10 시험품 복합환경시험 셋업

시험을 위한 온도 조건은 아래 그림과 같이 완성자동차에서 제시된 기술표준에 의해 설치하였다.



그림 5.11 온도 센서 설치

## (2) 진동에 의한 소음 시험

진동에 의한 소음 시험은 자동차에서 발생하는 일반적인 진동을 이용하여 시험품에 강제 진동을 주는 조건으로 시험 하였다. 진동은 아스팔트 노면을 대상으로 발생하는 진폭을 사용하며 이는 시험을 통해 얻은 값을 사용하였다.

마이크로 폰은 소음을 측정하기 위한 장치로 크러쉬패드 부품 모듈을 정측할 경우 12개의 마이크로 폰을 설치한다. 그러나 본 연구는 개발된 센터페시아 단품에 대한 측정임으로 개발품 위치에 2개를 설치하였다. 2개의 마이크로 폰 설치 위치도 완성자동차 업체의 기술표준에 의거하여 설치하였다.

가진기 시스템의 경우 가진 프로파일과 5% 오차 내에서 가진 되게 하였으며, 전체 주파수는 5 Hz부터 200 Hz까지의 진동을 정확히 시험용 지그 및 시험 부품에 전달 가능하게 하였다. 가진기의 최대 진동 변위는 25 mm 이상으로 설정하였고, 가진기 작동 시 압소음은 40 dB(A) 이하가 되도록 하였다. 이를 **그림 5.12**에 나타내었다.

**그림 5.13**은 시험 환경 조건을 위해 표준온도 상태로  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 표준 습도  $50\pm 10\%\text{RH}$ 로 설정하였다. 센터 페시아 모듈 어셈블리 및 플로어 콘솔 어셈블리는 시험용 지그에 조립된 상태로 장착 하였고, 센터 페시아 모듈 어셈블리의 서브 부품 어셈블리는 완성차 조립 조건과 동일하게 조립하였으며, 센터 페시아 모듈 어셈블리내의 각 부품간의 갭/단차 및 상관 부품간의 갭/단차는 진동 측정 전에 이상 여부를 확인하였다. 또한 소음 발생 위치를 정확하게 인식하기 위하여 모든 측정 부위에는 시료번호를 표기하였다.

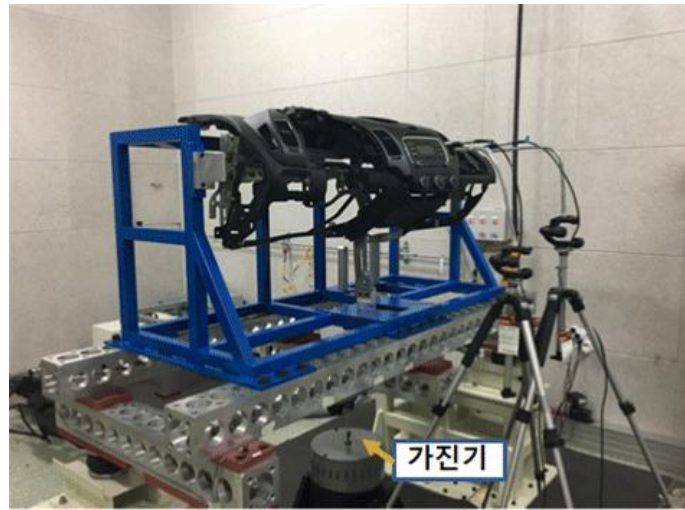


그림 5.12 진동에 의한 소음 측정 셋업



그림 5.13 시료번호 표기

(3) 복합환경 및 진동에 의한 소음 측정 결과

복합환경 내구 시험 전·후 진동 소음 조건은 복합환경 내구 시험 전 진동 소음 조건일 경우는 상온조건, 중형차 조건으로 7sone 이하이며, 복합환경 내구 시험 후 진동 소음 조건일 경우 8 sone 이하 일 때 만족하는 사양이다.

진동소음 측정에서 사인 스위프 가진 프로파일은 Z축 방향으로 0.15 g의 크기로 5Hz에서 120 Hz 까지 0.48±0.1 Hz/s의 속도로 증가한다. 잡음·이음 측정은 마이크로폰을 최소 15 Hz~25 Hz 까지 측정이 가능한 것으로 설치하였고, 시험중 발생한 잡음/이음은 각각 60초 이상 저장하고 데이터 샘플링 데이트는 44 Hz로 설정하였다. 측정된 잡음/이음 데이터는 전용 분석 소프트웨어를 사용하였고, 분석 조건은 FFT(Filter analysis, Loudness Analysis, Statistics)법을 이용하여 분석하였다.

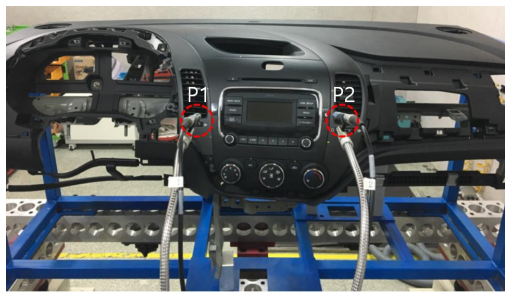
[표 5.10] 복합환경내구 시험 전·후 변형량

측정 위치	측정 결과		
	내구 전	내구 후	0.05
1	0.2	0.25	0.05
2	0.2	0.25	0.1
3	0.2	0.3	0.05
4	0.4	0.45	0
5	0.5	0.5	0
6	0.9	0.9	0.1
7	0.8	0.9	0.1
8	0.8	0.9	0.5



[표 5.11] 진동에 의한 소음 측정량

구분	마이크로폰 위치	소음 크기(sone)
그라운드 소음	P1	0.13
	P2	0.13
측정 소음	P1	6.53
	P2	5.91



### 5.3.3 제품에 대한 표면 거칠기 분석

뮤셀공법을 이용한 사출성형 제품은 물리적 발포에 의해 제품 두께 방향의 중앙부에 기포를 발생시켜 제품의 경량화를 이루는 방법이다. 이 방법은 제품 내 기포를 포함하면서 제품의 외관 표면 품질이 저하하는 원인이 된다. 이를 극복하기 위해 전류가열 금형을 적용하였으며, 전류가열 금형은 제품의 냉각 속도를 조정하면서 제품 표면 품질을 높이는 방법이다.

본 연구에서는 전류가열 금형에 의해 표면 품질 즉 표면 거칠기를 높이는데 얼마나 많은 공헌을 하고 있는지에 대해 분석하고자 하였다. 이는 기존의 사출성형 제품과, 기존 사출성형 방법에 전류가열 금형을 적용한 제품, 뮤셀공법에 전류가열 금형을 적용한 제품 3가지를 분석하고 비교 하였다.

표면 거칠기는 제품 표면 품질 저하와 광택도 등의 외관상 특성과 마찰, 마모 등의 제품 특성에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 이를 분석하기 위해 사용된 장비는 3D 프로파일러(3D optical profiler)를 사용하였다. 이 장비는 비접촉식 단차측정기라고도 하며, 측정 메커니즘은 광학현미경을 이용하여 다양한 파장을 갖는 백색광을 기준면과 샘플표면에 조사하여, 반사되어 돌아온 광이 상호 중첩되면, 보강간섭과 상쇄간섭이 발생한다. 이런 방법으로 샘플과의 거리를 변경시키면서 보강간섭이 일어나는 점을 계측하여 이미지 형상을 분석하였다.

Test Condition		
측정기기	Contour GT-K	
측정범위	160 $\mu$ m x 120 $\mu$ m	
측정시간	3.0 sec	

그림 5.14 3D 프로파일러

뮤셀공법 및 전류가열 금형을 적용하지 않고 사출성형 제품의 표면 조도는 62.2 nm, 뮤셀공법 적용하고 전류가열 금형은 적용하지 않은 사출성형 제품의 표면조도는 345.8 nm 나타났다. 따라서 같은 조건으로 뮤셀공법이 적용된 제품의 표면 조도가 5.5배 이상 좋은 것으로 나타났다.

뮤셀공법 적용 및 전류가열 금형 적용 제품의 경우 일반 사출 제품보다 표면조도



측면에서 우수한 것으로 나타났다. 또한 전류가열 금형온도가 올라 갈수록 표면조도가 우수해 지는 것을 확인하였다. 이 현상은 전류가열 금형에 의해 짧은 시간에 금형 표면온도를 상승시켜 수지의 고화를 지연시킴으로써 사출성형시 유동성 증대로 웰드라인, 미성형, 플로우 마크 등의 일반적인 사출성형 문제점이 극복되는 것을 확인하였다.

그러나 앞 3장에서 검토된 자동차 작은 부품의 표면조도보다 본 장에서 개발된 부품이 표면조도 측면에서 양상은 비슷하나 표면조도량은 크게 나타나 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 전류가열 금형에 의한 표면조도는 개발부품의 크기와 형상에 차이가 있는 것으로 판단되었다.

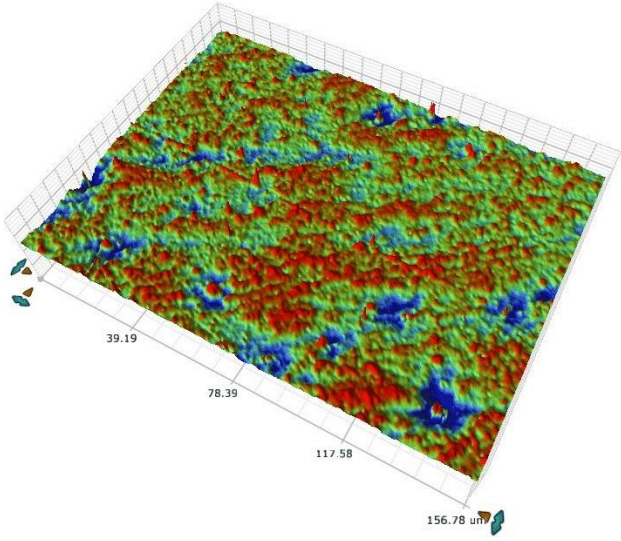
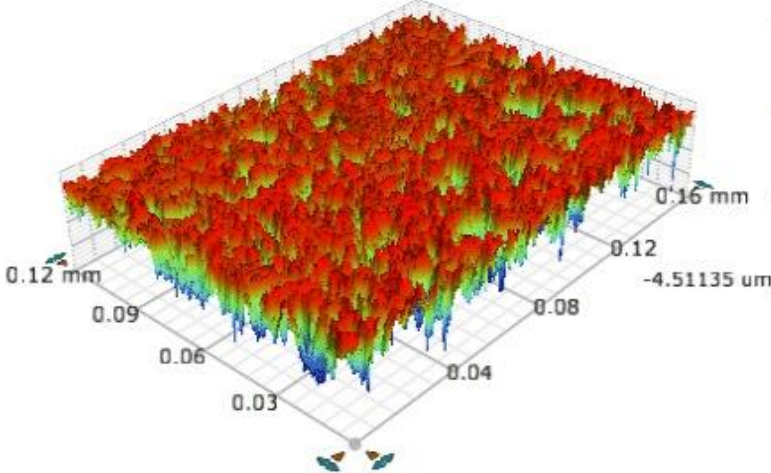
구 분	표면형상
일반 사출	 <p style="text-align: center;">표면조도 : 62.2nm</p>
뮤셀 적용	 <p style="text-align: center;">표면조도 : 345.8nm</p>

그림 5.15 표면 조도 분석 결과

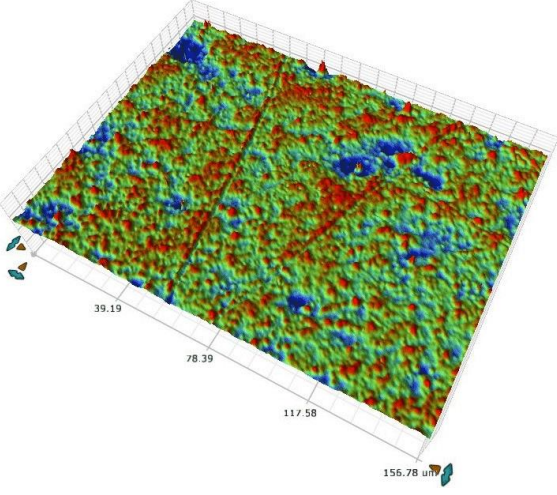
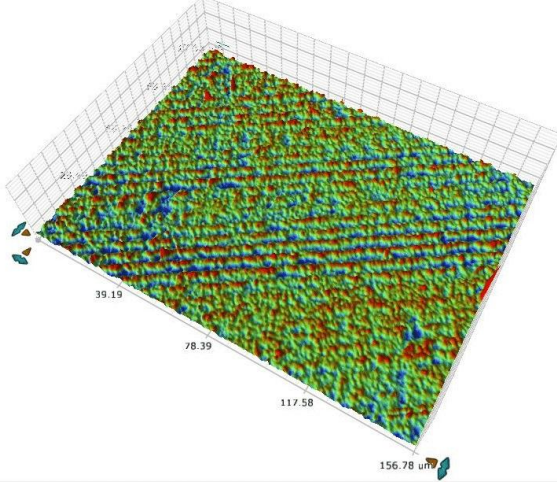
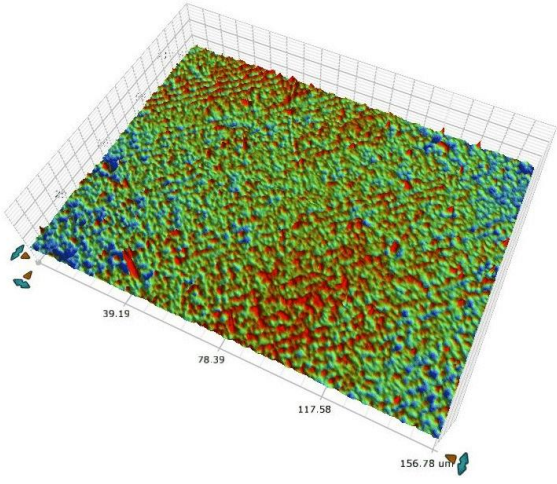
구 분	표면형상
<p>뮤셀 적용+ 전류가열 (100℃)</p>	 <p>표면조도 : 52.5nm</p>
<p>뮤셀 적용+ 전류가열 (130℃)</p>	 <p>표면조도 : 44.8nm</p>
<p>뮤셀 적용+ 전류가열 (150℃)</p>	 <p>표면조도 : 39.4nm</p>

그림 5.15 To be continued

### 5.3.4 뮤셀공법에 의한 제품 셀 크기 및 공극율 분석

셀크기는 아래 그림과 같이 개발된 제품의 4곳의 단면을 잘라 SEM를 통해 측정하였다. 셀은 제품의 사출성형시 수지의 흐름에 따라 타원 형태로 형성되며, 이때 셀의 크기는 단축의 길이를 셀의 크기로 규정하였다. 또한 셀의 크기는 제품의 각 단면에서 형성되어 있는 셀의 전체 평균직경을 셀의 크기로 나타내었다.

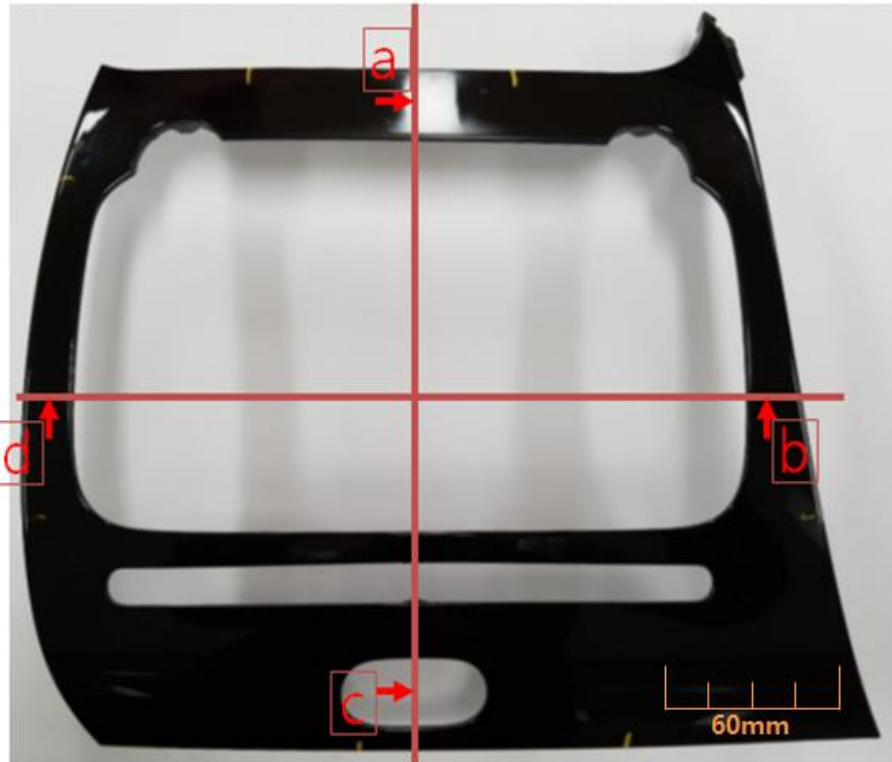


그림 5.16 개발된 사출성형품

뮤셀공법 적용 전류가열 금형에서의 사출성형 제품의 셀 크기 측정 결과를 나타내었다. 측정 위치는 위 그림에서 나타내듯이 제품 상·하 부위에 게이트가 있고 제품 성형시 수지의 흐름에 의해 제품 성형이 완성된다. 이때 a번 부위에서 셀 크기는 평균  $37.39 \mu\text{m}$ 로 나타났고 b번  $67.4 \mu\text{m}$ , c번  $35.6 \mu\text{m}$ , d번  $38.4 \mu\text{m}$ 으로 나타났다. 본 연구에서의 목표인 셀 크기는 평균  $44.7 \mu\text{m}$ 로 나타났으며 이는 제품의 강성적 측면에서 만족할 만한 수준이다. 셀의 크기는 게이트 위치에 가까운 위치가 먼 위치보다 크게 나타났다. 이는 사출성형시 수지의 거동의 차이로 판단되며, 측정된 4곳의 평균 셀 크기는  $42.0 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 각 부위에서의 셀 크기의 표준편차는 a번  $21.3 \mu\text{m}$ , b번  $31.8 \mu\text{m}$ , c번  $16.7 \mu\text{m}$ , d번  $18.2 \mu\text{m}$ 으로 나타났으며, 평균  $22 \mu\text{m}$ 으로 나타났다. 이와 같이 표준편차 및 셀크기가  $50 \mu\text{m}$ 이하인 점을 감안하면 제품의 내구성 및 기계적 특성 변화가 기존 제품 대비 크지 않을 것으로 판단된다.

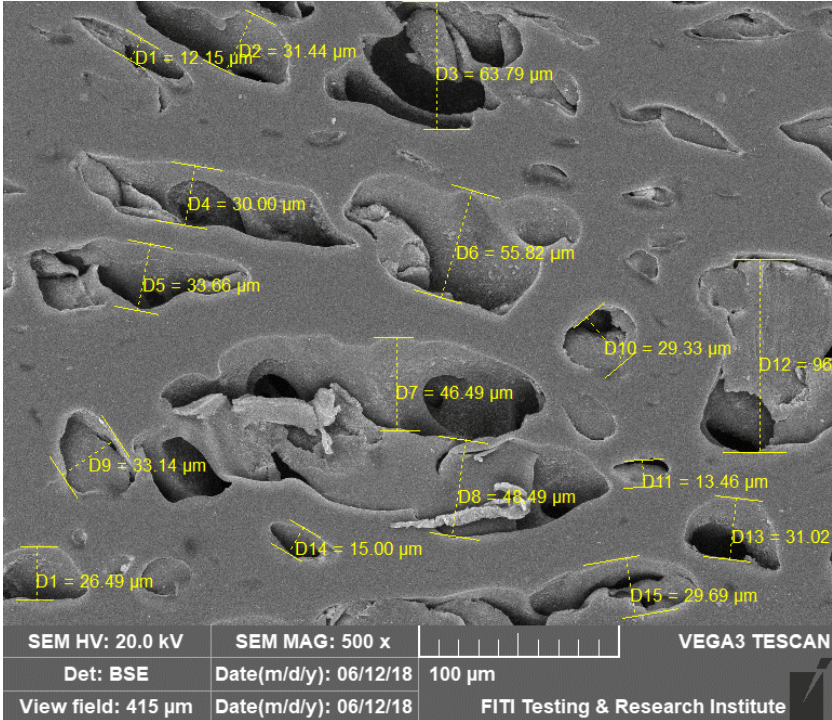
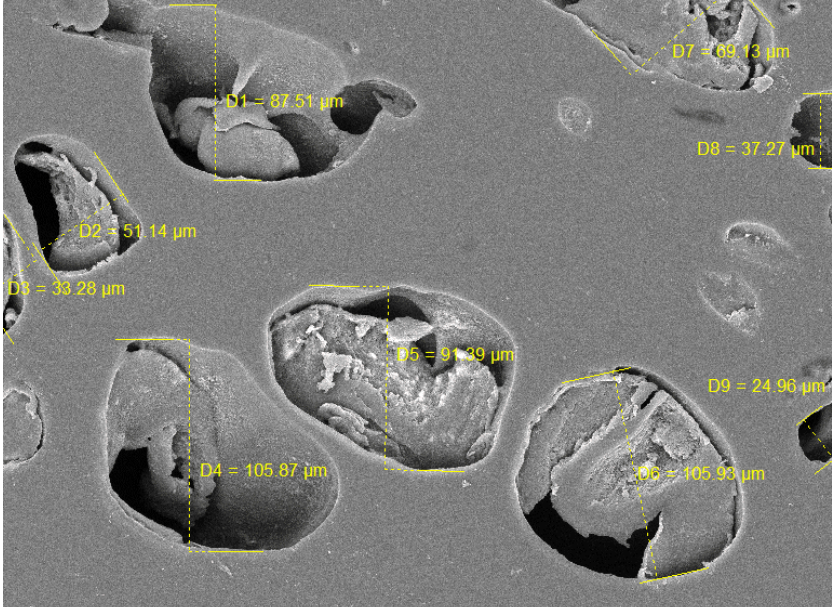
부 위	표면형상
1	 <p>SEM HV: 20.0 kV    SEM MAG: 500 x    VEGA3 TESCAN  Det: BSE    Date(m/d/y): 06/12/18    100 μm  View field: 415 μm    Date(m/d/y): 06/12/18    FITI Testing &amp; Research Institute</p>
2	 <p>SEM HV: 20.0 kV    SEM MAG: 500 x    VEGA3 TESCAN  Det: BSE    Date(m/d/y): 06/15/18    100 μm  View field: 415 μm    Date(m/d/y): 06/15/18    FITI Testing &amp; Research Institute</p>

그림 5.17 사출성형품의 셀크기

부 위	표면형상
3	
4	

그림 5.17 To be continued

공극율은 제품의 체적 대비 포화셀 분포율을 말한다. 이때 포화셀의 분포는 셀크기와 같이 4곳의 단면에 대한 포화셀의 분포율을 통해 제품 전체의 분포율로 예측하였다. 제품 단면의 면적은 SEM를 활용하여 셀의 면적을 측정하여 공극율로 정의하였다. 각 위치별 셀의 수와 셀의 크기 차이에 의해 공극율의 차이는 보이나 대체로 고른 결과를 보였다. 이는 면적을 이용한 공극율 결과를 통해 제품의 경량화율을 제품 부위별로 검토할 수 있다.

공극율 분석은 **그림 5.16**에서의 a, b, c, d 부분의 단면을 이용하여 단면에서의 공극율을 분석하였으며 이를 제품 전체의 공극율로 가정하였다. 공극율은 제품의 경량화율과 관계가 높기 때문에 제품의 경량화율과 공극율의 차이를 통해 4곳으로 단면 공극율이 제품 전체의 공극율로 가정할 수 있는 범위인가는 검토하였다.

**그림 5.18**에서와 같이 단면 a에서의 평균 공극 면적은  $2864.49 \mu\text{m}^2$ , 단면 b는  $4813.43 \mu\text{m}^2$ , 단면 c는  $2054.67 \mu\text{m}^2$ , 단면 d는  $2229.32 \mu\text{m}^2$ 로 나타났으며, 4곳의 단면에서의 총  $11961.89 \mu\text{m}^2$ 로 나타났다. 공극 면적을 측정한 4곳의 총 면적은  $1127892.1 \mu\text{m}^2$ 로 공극율은 30.83%로 예측하였다. 이는 제품의 기존 대비 경량화율 15% 이상인 것을 감안하며 일정 단면에서의 공극율이 경량화율에 비례하고 있음을 알 수 있다.

각 부위에서의 셀 크기의 표준편차는 a번  $2588.12 \mu\text{m}^2$ , b번  $4016.07 \mu\text{m}^2$ , c번  $2184.07 \mu\text{m}^2$ , d번  $1832.05 \mu\text{m}^2$ ,으로 나타났으며, 평균  $8.3 \mu\text{m}^2$ 으로 나타났다.

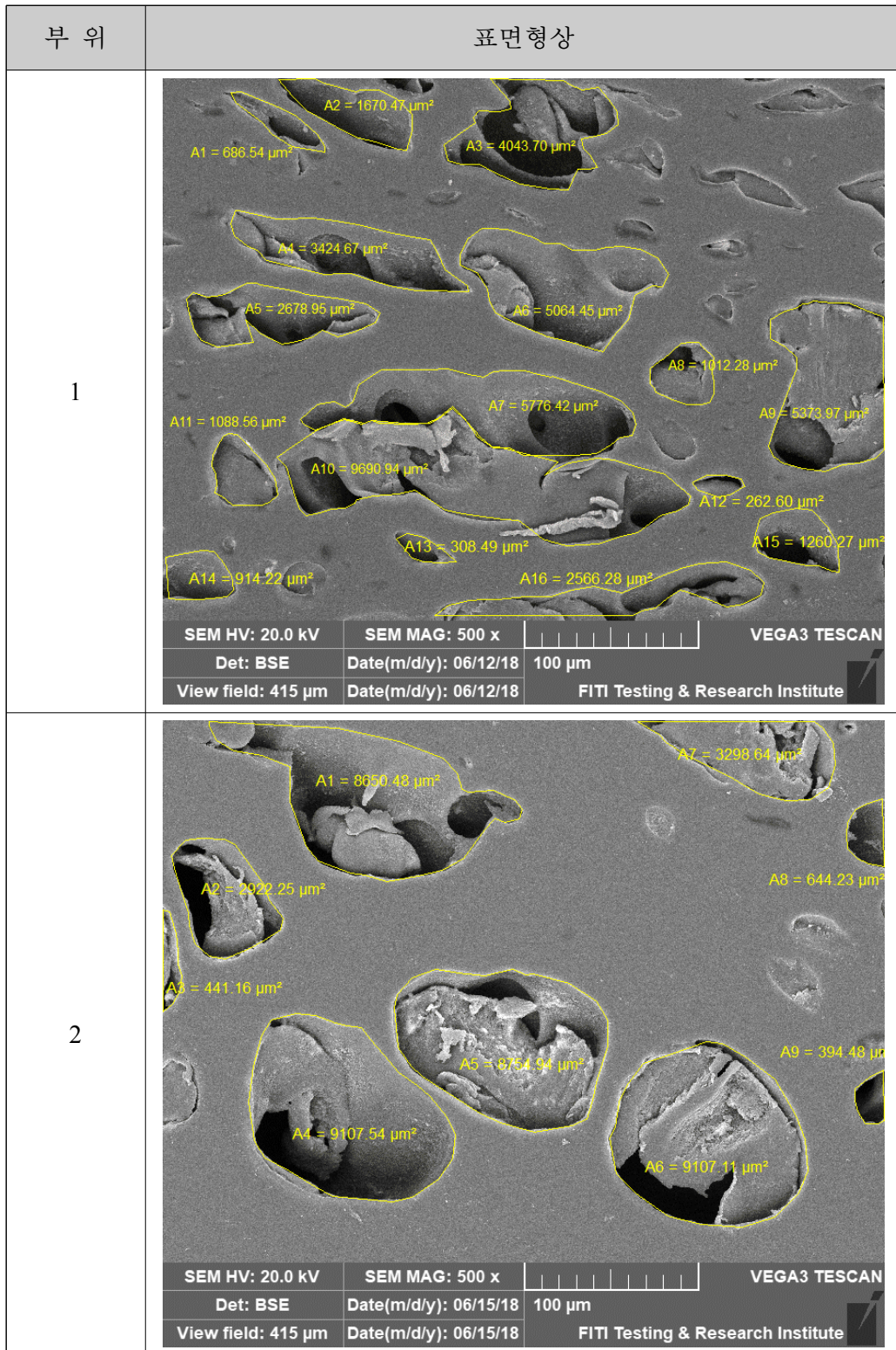


그림 5.18 사출성형품의 공극율

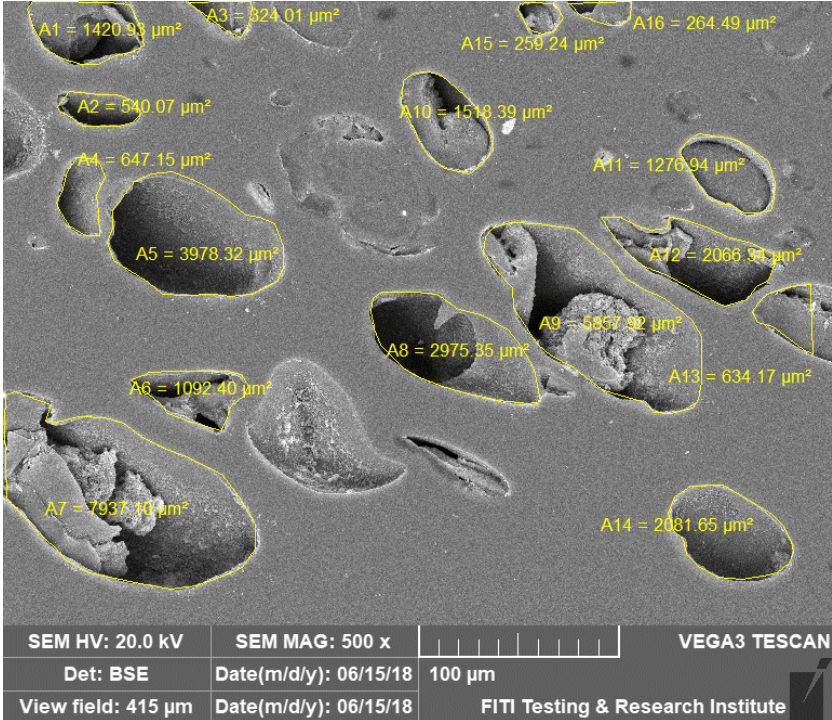
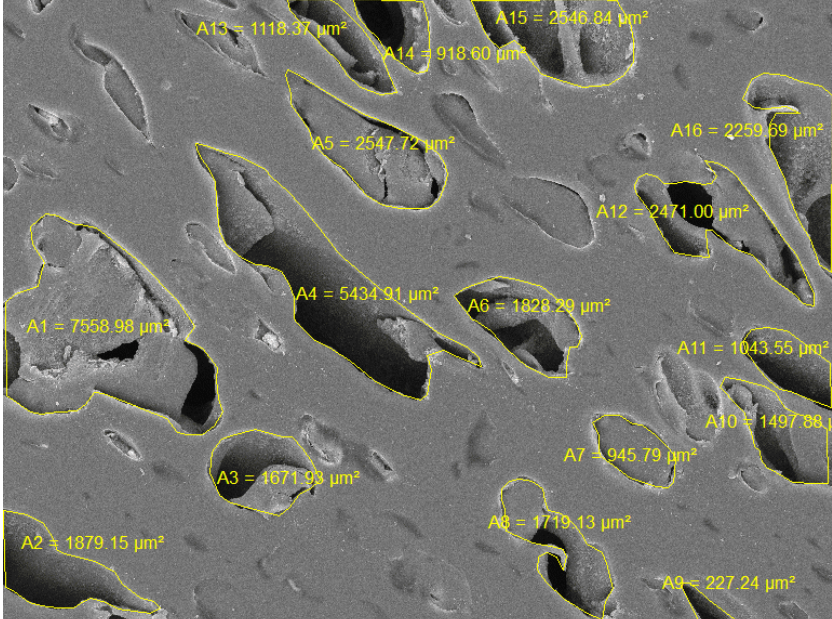
부 위	표면형상
3	
4	

그림 5.18 To be continued



### 5.3.5 무셀공법에 의한 제품 표면경도 분석

기존 사출성형 제품 대비 무셀공법의 사출성형 제품이 표면 상태가 불량하다는 것은 많이 알려져 있다. 또한 본 연구에서도 표면 품질이 낮은 것을 표면조도를 통해 확인하였다. 이를 극복하기 위해 전류가열 금형 공법을 적용하였다. 무셀공법에 의해 표면품질이 낮아지는 원인 중 하나는 사출성형 중 포화셀이 제품 두께 방향으로 발포될 때 포화셀이 제품 표면부까지 올라오기 때문인 것을 확인하였다. 이는 표면경도에도 영향이 있을 것으로 판단하여 본 장에서 분석 하였다. 제품의 표면경도는 기계적 물성 및 마찰, 마모, 특성변화에 중요한 인자이며, 이는 각각의 공정에 따라 표면 경도를 확인할 필요가 있다. 사출성형 제품의 표면 경도는 정해진 압자를 이용하여 시료 표면에 일정한 하중을 가하고, 이때 측정되는 반발력 혹은 압입 깊이, 면적을 통해 시편의 표면이 얼마나 단단하지를 나타낸다. 아래 그림은 표면경도 측정기로 시험조건으로 압입력 490 mN, 압력시간 5.0 sec, 압입후 정지 시간 10.0 sec으로 하여 시험하였다.

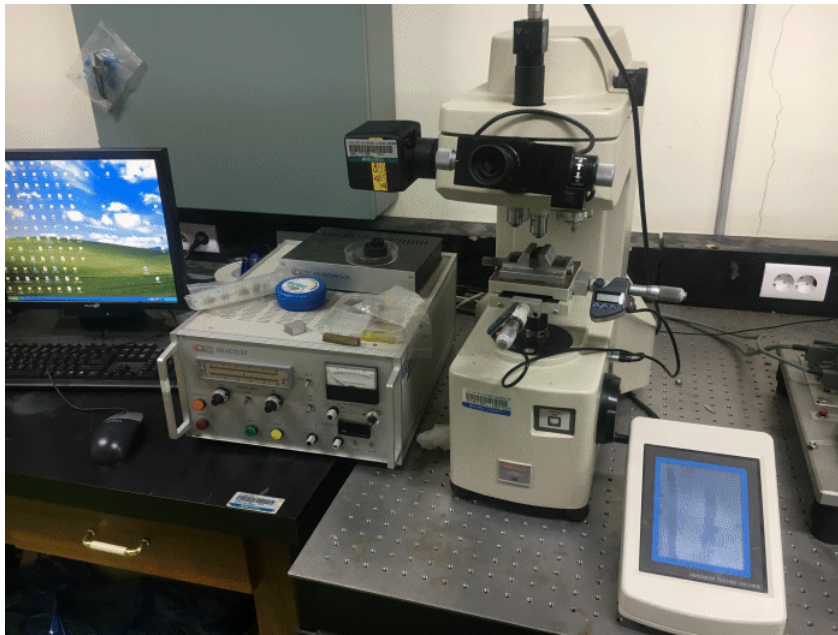


그림 5.19 표면경도 측정기

사출성형 제품의 표면경도는 시료에 5곳을 측정하여 평균값으로 나타내었다. 사출성형 제품의 표면경도 분석결과 많은 연구에서 예측된 일반사출성형품 대비 무셀공법 적용 사출성형품이 표면경도가 낮은 것을 확인하였다. 표면경도는 약 29% 기존 사출성형품보다 낮았다. 이에 반해 무셀공법적용 전류가열 금형에 의한 사출성형품은 표면경도가 기존 일반사출성형품과 비슷한 것을 확인하였고, 전류가열 금형 온도가 올라갈수록 표면경도는 조금씩 높아지나 큰 차이는 나지 않았다. 이에 따라 표면경도는 전류가열 금형을 적용만으로도 표면경도 측면에서 효과과 있을 것을 확

인하였다. 이는 전류가열 금형 적용 시 금형표면에 수지와 가스가 혼합된 포화셀이 나타나지 않았기 때문이다. 이는 수지와 가스가 혼합되어 표면으로 나타나는 것은 용융유체의 온도가 높고 점도가 매우 낮기 때문에 혼합가스 즉 포화셀이 압력이 낮은 제품 두께 방향의 중심부로 이동하였기 때문인 것으로 판단된다.

[표 5.12] 제품 표면경도 분석 결과

구 분	표면경도(Hv)
일반사출	13.3
뮤셀적용	9.5
뮤셀적용+전류가열(100℃)	13.6
뮤셀적용+전류가열(130℃)	13.9
뮤셀적용+전류가열(150℃)	14.6

## 5.4 결론

본 연구에서는 뮤셀공법과 전류가열 금형을 적용한 시제품을 제작하였고, 시제품에 대한 품질 특성 평가 검증을 하였다. 제품 품질 평가 검증으로는 내열 사이클, 내약품성, 연소성, 휘발성 유기화합물 함유 정도를 확인하고 검증 하였다. 또한 제품의 특성을 평가 검증 방법으로 복합환경 시험과 진동시험을 실시하여 제품의 변형 및 소음 특성을 분석하였다. 이는 제품의 특성상 고객의 시각에 가장 잘 뛰는 부위로 어떠한 경우에도 변형이나 비정상적 소음이 발생하면 안되기 때문이다. 제품의 시각적 품질 특성으로는 표면거칠기를 분석하여 검증하였고 이는 3D 성형 프토포파일러 장비를 이용하였다.

제품의 강성 및 경량화를 좌우하는 제품 두께 방향으로의 발포셀의 크기 및 공극율은 제품의 강성과 경량화에 중요한 요소이다. 이는 발포셀의 크기와 공극율을 통해 증명하였다. 마지막으로 제품의 일정 범위의 강성을 가져야 하는 제품 표면 경도는 일반 사출품과 뮤셀공법 적용 사출품, 뮤셀공법 및 전류가열 금형 적용 사출품을 각각 비교 분석 하였다.

1. 제품 신뢰성 평가는 완성차의 시험조건을 반영하여 시험을 실시하였다. 먼저 내열 사이클은 시험 후 제품의 변형 변색, 균열, 박리 등이 없어야 하며, 이를 만족하였다. 내약품성은 그리스, 내장용 왁스, 유리 세정제를 사용하여 육안으로 변색 균열, 부풀음 등이 없어야 하며, 이를 만족하였고, 연소성 및 휘발성 유기화합물, 내스크래치성 등도 모두 만족하였다.
2. 복합환경시험으로 진동에 의한 소음과 변형에 관계 되는 시험이다. 이때 복합환경시험 전·후 제품의 변형량과 복합환경시험 후 제품 진동을 통한 소음 측정량을 분석하였다. 변형량은 최대 0.5 mm, 소음은 8 sone이하로 나타났으며, 이는 완성차 조건에 만족하는 범위이다.
3. 제품의 표면 거칠기 분석은 기존에 생산되는 일반 사출품과 뮤셀적용 사출품, 뮤셀 및 전류가열 금형 적용 사출품을 비교 분석하였으며, 이때 본 연구에서 개발된 뮤셀 및 전류가열 금형 적용 사출품이 가장 우수하였다.
4. 본 연구에서 개발된 제품의 경량화는 뮤셀공법에 의해 발생한 제품 내부 셀의 분포에 의해 결정되며, 셀크기는 50  $\mu$ m 이하, 공극율은 경량화 15%로 이상이 되는 조건으로 분석 되었다.
5. 제품의 표면경도는 기존에 생산되는 일반 사출품과 뮤셀적용 사출품, 뮤셀 및 전류가열 금형 적용 사출품을 비교 분석하였으며, 본 연구에서 개발된 제품이 기존 대비 표면경도 이상으로 나타났다.

[ 참고문헌 ]

1. 국무회의 보고서 "국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵", 녹색성장위원회, pp10, 2014
2. 온실가스에너지 감축 연구회 "2012년 자동차 업종 온실가스·에너지 감축연구회 결과보고서", 한국자동차산업협회, 2012
3. C. Son, H. Kim, Y. Chun, M. Oh, H. Seo and M. Lee, The Korean Society Of Automotive Engineers, 11, pp. 1071, 2013.
4. A&D컨설팅트 편, 자동차 경량화 기술 동향 보고서, pp. 58-59, 514, 2011.
5. I. Kimpara, J. Matsui, Plastics and FRCM as lightweight materials for automobiles, CMC publishing, pp. 46, 2010.
6. 허민호, 신한금융투자 신한 스포캡 레이더, 40, 2001.
7. Kim, B. H. and Suh, N. P, "Low Thermal Inertia Molding" Polym Plast. Technol. Eng., 25, 73-93, 1986.
8. Jansen, K. M. B and Flaman, A. A. M., "Construction of Fast-Response Heating Elements for Injection Molding Applications," Polym. Eng. Sci., 34, 894-897, 1994.
9. Yao, D. and Kim, B, Eng. Sci., 42, 2471-2481, 2002.
10. Yao, D. and Kim, B, J injection Molding Tech., 6, 11-17, 2002.
11. O. K. Kwon, J. H Yun, K. Park. KSME Jounal A, 31, 556-561, 2007.
12. L. Yu, C. G. Koh, L. J. Lee, K. W. Koelling, Polym. Eng. Sci., 42, pp. 870-888, 2002.
13. 김성룡, 황진택. 고기능성 엔지니어링 플라스틱.고분자과학과 기술, 제18권 (2007)
14. Abdulkadir Gullu, Ahmet Ozdemir, Emin Ozdemir, Materials and Design, 27, pp. 316-323, 2006.
15. 서홍석. 엔지니어링 플라스틱의 최신 동향과 앞으로의 과제. 한국과학기술정보연구원 (2008)
16. E. Kontou, A. Kallimanis. Composites Science and Technology, 66. pp. 1588-1596,

- 2006.
17. 이진희 “섬유강화플라스틱”기전연구소,(2003)
  18. Aaron P.R. Eberle, Gregorio M. Velez-Garcia, Donald G. Baird, Peter Wapperom, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, (2009) pp.10
  19. J. L. Thomason. Composites Science and Technology. 59. pp. 2315-2328, 1999.
  20. B. Mouhmid, A. Imad, N. Benseddiq, S. Benmedakhene, A. Maazouz. Experimental investigation (2006).
  21. A. Bernasconi, P. Davoli, A. Basile, A. Filippi. International Journal of Fatigue. 29, pp. 199-208, 2007.
  22. C. M. Sonsino, E. Moosbrugger. International Journal of Fatigue, 30, pp. 1279-1288, 2008.
  23. Y. S. Kim, I. C. Kim and S. W. Kim, (2000) "Crystallization of benzoic acid using supercritical carbon dioxide as anti-solvent", Hwahak konghak 38(2),210~218
  24. Rizvi, S. S. H, Benado, A. L, Zollweg, J, A. and Daniels, J. A, (1986) Supercritical fluid extraction : operating principles and food applications. Food technol, July, 57~64
  25. McHugh, M. A and Krukonis, V. J, (1994) Supercritical fluid extraction : Principles and practic, 2nd ed, Butterworth-Heinemann, Boston
  26. Pratt, J. A , Lee, S. H and McHungh, M. A, (1993) J. Appl. Polym. Sci., 49, 963
  27. Zhao, X, Watkins, R and Barton, S. W, (1995) J. Appl. Polym. Sci., 555, 773
  28. Wissinger, R/ G and Paulaitis, M. E, (1991) Ind. Eng. Chem. Res, 30, 842
  29. Goel, S. K and Beckman E. J, (1992) PMSE Prepints, 67, 506
  30. Dixon, D. J, Bodmeier, R. A and Johnston, K. P, (1993) AICHE, 39, 127
  31. J. S. Colton and N. P. Suh,(1987) "The nucleation of microcellular thermoplastic foam with additives - part I : theoretical considerations", Polym. Eng & Sci, 27, 7, 485~492
  32. J. H. Saunders, (1991) "Handbook of polymeric foams and foam technology", ed. by D. Klempner and K. C. Frisch, 2, 5 Hanser Publishers, N.Y
  33. C. B. Park, A. H. Behravesch and R. D. Venger, (1998) "Low dendity microcellular

- foam processing in extrusion using CO<sub>2</sub>, *Polymer Eng & Sci*, 38, 11, 1812~1823
34. Lang, Q. and Chien, M. W. (2001) Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies practical review. *Talanta*, 53, 771~782
  35. D. Klempner and K. C. Frisch, (1991) *Handbook of polymeric foams and foam technology*, Hanser, N.Y
  36. J. Throne, (1987) *Science and technology of polymer process*, N. P. Suh and N. Sung, eds, 77~131 MIT press, Cambridge, Mass
  37. Kulich, D. M, Kelly, P. D. and Pace, J. E. (1985) In *encyclopedia of polymer science and engineering*, John Wiley & Sons, N.Y , 1
  38. H. Keskkula. (2000) *Rubber-modified thermoplastics*, Pergaman, N.Y
  39. J. A. Bryson, (1999) *Plastics materials*. 7th ed, Butterw'orth-Heinenmann, Oxford
  40. Josephy C. Salamone, (1996) *Polymeric materials encyclopedia*, CRC press
  41. Irvin I. Rubin, (1990) *Handbook of plastic matericals and technology*, John Wiley & Sons, Inc
  42. D. R. Paul, (1994) *Makromal. chem, macromal, symp*, 78, 83
  43. R. Greco, (1994) *Makromal. chem, macromal, symp*, 78, 141
  44. L. Mobitzer, H. J. Kress, C. Lindner and K. H. Ott. *Angew. (1985) Makromal. chem*, 19, 132
  45. L. Yu, C. G. Koh, L. J. Lee, K. W. Koelling, "Experimental Investigation and Numerical Simulation of Injection molding with - Geatures" *Polym. Eng. Sci.*, 42, pp. 860-888, 2002.
  46. Erwin, B., Mattnias, S., and Jochen, M. *Kunststoffe*, Vol. 3, pp. 47-50, 2003.
  47. Beomho Kim, Woojin Jang, Junghoon Kim, Junghwan Cho, Yunghoon Park, Soonja Choe., "Application of CAE in Injection Molding Process", *Hwahak Konghak*, 41, p.p. 577~584, 2003.
  48. Jieun Hwang, Dongwook Lee, Jongsoon Kim, Taeho Kang., "The Analysis of Injection Molding for Electronic Dehumidifier", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, p.p. 167~171, 2006.

49. Youngjoon Park, Yong Chun, Chunsoo Park., "The Application of Injection Molding Analysis in Automotive Development Process", The Korean Society of Automotive Engineers, p.p. 980~1985, 2006.
50. Worlyong Kim, Shiho Lee., "CAE Application in Injection Molding and Its Software", Polymer Society and Technology, 9, p.p. 283~292, 1998.
51. Hyungsoo Lee, Hikoan Lee, Gyuneui Yang., "A Study on Injection Molding Analysis and Validation of Large Injection-Molding Body Using Design of Experiment", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, p.p. 109~114, 2005.
52. Cheolju Choe, Hogwan Lee., "CAE Application of Injection Molding Industry", The Korean Society of Mechanical Engineers, 31, p.p. 60~67, 1991.
53. Jaeyeop Jeong., "Development of Simulation Program for Optimization of E-MOLD Heating-line Structure by using Commercialized Softwares and Experimental Investigation of the Optimized E-MOLD", A thesis for a Master, 31, p.p. 1~4, 2008.
54. 황순환, 박승화, 박기윤, 황수진, 이재훈., "플라스틱 사출성형 엔지니어를 위한 Moldflow", 청담북스, p.p. 30~62, 2014.
55. B. H. Kim and N. P. Suh, Low Thermal Inertia Molding, Polym Plast. Technol. Eng, 25 (1986), 73~93
56. K. M. B. Jansen and A. A. M. Flaman, Construction of Fast-response Heating Elements for Injection Molding Applications, Polym. Eng. Sci, 34 (1994), 894~897
57. D. Yao and B. Kim, Development of Rapid Heating and Cooling Systems for Injection Molding Applications, Polym. Eng. Sci, 42 (2002), 2471~2481
58. D. Yao and B. Kim, Injection Molding High Aspect Ratio Microfeature, J. Injection Molding Tech, 6 ( 2002), 11~17
59. D. Klempner and K. C. Frisch, Handbook of polymeric foams and foam technology, Hanser, N.Y (1991)
60. K. Yano, A. Uauki, A. Oakida, T. Kurauchi and O. Kamigaito, Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid, j. polym. sci. polym. chem, 31 (1993), 2493
61. A. Uauki, M. Kawasumi, Y. Kojima, Y. Fukushima, A. Oakda, T. Kurauchi and O.

- Kamigaito, Synthesis of Nylon6-clay Hybrid, J. Mater. Res, 8 (1993), 1179
62. J. Y. Chung and D. H. Kim, Development of Simulation Method for Heating Line Optimization of E-Mold by using Commercial CAE Softwares, J. academia-industrial tech, 9 (2008), 1754~1759
63. Y. C. Lee, The Improvement of Weldline and Flow mark Defection by using Injection Molding Analysis, J. Korean Soc. Precis. Eng, 30 (2013), 1295~1301
64. Yeongchang Lee., "The Improvement of Weld-line and Flow mark Defection by using Injection Molding Analysis", J. Korean Soc. Precis. Eng, Vol30 No12, p.p. 1295~1301, 2013.
65. DONGHYUK-CHOI, "Effect of molding temperature on the surface improvement of fiber reinforced plastic", 2016.



# A Study of Surface Improvement for Injection-Molding Automotive Part by Mold of Electronic Heating with Mu-cell process

DONGHYUK-CHOI

Department of Materials Engineering,  
University of Ulsan

## Abstract

An increasing population and economic activity cause an environmental pollution such as global warming, abnormal climate. It is necessary that most of industries have made an effort for reducing CO<sub>2</sub> and energy, resources. Especially, owing to a restrict regulation for reducing CO<sub>2</sub>, the study for reducing weight and raising fuel efficiency in the automotive industry has being continued.

The light-weight of the research and development materials is actively carried out by overseas automobile companies and technology development continues in Korea. For the sake of fuel efficiency, the development of lightweight technology by improving the manufacturing method has been very effective. Recently, to maximize the effects of light weight, automotive interior parts have been applied by the micro-cellular injection molding using supercritical fluids and we call the Mucell manufacturing. This technique causes a problem in the quality of the surface of the products,

because the shooting cells are revealed as the surface layer of the products by forming micro cells at the center of the products during injection molding. To overcome these phenomenon, we increased the temperature of injection molding using joule heating until critical value.

In this study, we have predicted the problem of Mucell injection molding through the finite element analysis as changed the temperature by joule heating. From the result of finite element analysis, we have determined the optimized process and made the injection mold included electric current heating system with Mucell manufacturing analyzed the surface characteristics of the injection product according to changing mold temperature.

## 감사의 글

지나간 시간은 흐르는 시간과 달리 참 빨리 지났다고 느껴집니다. 직장인 신분으로 뒤 늦게 대학원에 다니게 된 설레임도 있었고 수업시간 맞추느라 애타는 시간들도 있었습니다. 조금이나마 결실을 맺게 되어 감사한 분들에게 감사의 인사를 올립니다.

정신없이 지나온 시간 속에 겨우 작성한 논문을 평가해주시고 조언해 주신 진정호 교수님, 공영민 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 지금까지 이끌어주시고 이렇게 논문까지 쓸 수 있게 해 주신 지도교수님 김대일 교수님께 어떻게 감사드려야 할지 모르겠습니다.

김대일 교수님을 만나 것이 제겐 큰 행운이고 복이었습니다. 감사합니다.

이렇게 무사히 학업을 마칠 수 있게 배려해주신 정명철 부회장님, 박치현 사장님과 손동일 이사님 그리고 설계팀과 선행연구 조직에게 감사드립니다. 특히 직장생활을 하면서 여러모로 사소한 부분까지 세밀하게 챙겨준 김선경님께 깊이 감사드립니다.

논문작성을 위해 자료도 모아주고 번역도 해주느라 고생하신 황현태 박사님과 소상우 박사님께 매우 큰 감사드립니다. 두분이 아니었으면 불가능하지 않았나 싶습니다. 정말 감사드립니다.

개인적으로 항상 응원해준 율곡회 친구들, 힘들 때 마다 놀아준 박한로 부장님, 사람 냄새를 맡게 해주신 김하수 사장님과 양호운 전무님께 평생 밥 같이 먹을 사랑의 증표를 드립니다.

지나온 세월이 그저 감사할따름인 어머니 감사합니다.

그리고 위에서 보고 계실 그분께 보고 싶다고 전하고 싶습니다...

마지막으로 가정의 학교생활을 이해하고 지켜봐준 와이프 이정수와 사랑하는 아들 최지호, 딸 최지유에게 감사하며, 사랑한다.