

일반 과제(○) / 공개(○) / 발간등록번호(11-B552989-000084-01)

철도기술연구사업 최종보고서

R&D /
17RTRP-C137527-01

EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술개발 최종보고서

2019. 04.

주관연구기관 / (주)원파워
공동연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 오투스
공동연구기관 / 삼영기계(주)

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술개발 최종보고서

2019

국토교통부 국토과학기술진흥원

Development of pivot-type EFG rubber drawgear R&D Report

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘EGF형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술개발’(연구개발 기간 : 2017.10.31 ~ 2019. 02 .28) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019 . 04 . .

주관연구기관명 :	(주)원파워	박종현	(인)
공동연구기관명 :	한국철도기술연구원	김진성	
공동연구기관명 :	오톡스	김응석	
공동연구기관명 :	삼양기계(주)	한금태	

주관연구기관책임자: 박종현
공동연구기관책임자: 김진성
공동연구기관책임자: 김응석
공동연구기관책임자: 한금태

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17RTRP-C13752 7-01-000000	해당 단계 연구 기간	2017.10.30~ 2019.02.28	단계구분	1단계/ 1단계
연구사업명	중사업명	국토교통부소관 연구개발사업			
	세부사업명	철도기술연구 사업			
연구과제명	대과제명	EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술개발			
	세부과제명				
연구책임자	박종현	해당단계 참여 연구원 수	총: 19 명 내부: 19 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:669,000천원 기업:224,000천원 정부 외: 천원 계:893,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 19 명 내부: 19 명 외부: 명	총 연구개발비	정부:669,000천원 기업:224,000천원 정부 외: 천원 계:893,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)원파워 기술연구소			참여기업명 : (주)원파워	
	한국철도기술연구원			참여기업명 : 한국철도기술연구원	
	(주)오톡스 기술연구소			참여기업명 : (주)오톡스	
	삼영기계(주) 기술연구소			참여기업명 : 삼영기계(주)	
국제공동연구	-			-	
위탁연구	-			-	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
----------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	0	2	1								

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

본 보고서는 EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술개발에 대한 EFG 개발 보고서이다. EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기의 시제품을 제작하고, EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기에 설치되는 부속품인 Contering Device, Vertical Scope, Shear-off를 설계, 제작, 설치하여 성능평가를 실시하여 성능검증확인하였다.

보고서 면수 : 148 페이지

요약문

연구의 목적 및 내용	○목적 -EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술개발 ○내용 • EFG형식(전단변형방식)피봇형 고무완충기 설계기술 개발 -수요처(철도운영기관/철도차량제작사) 요구사항 조사, 분석 -EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 3P(특허, 논문, 제품) 분석 및 회피기술 적용 개발 -EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 설계 • EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 개발 -고무부품(Rubber cushion) 개발 -베어링 브라켓(Bearing bracket) 개발 -센터링장치 개발 -EFG형식(전단변형방식)피봇형 고무완충기 시제품 제작 • EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 성능검증 -시험절차서(기준)개발 및 현차 검증시험 -제3자 공인 시험 성적서 획득				
연구개발성과	• EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 시제품 • EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 설계(안) • 고무완충기(고무+베어링브라켓+센터링장치)성능평가 결과보고서 -기술적 요건(SPEC, 목표성능 등), 국내외 인증요건(법제도, 인증서, 성적서, 절차서, 형식승인서 등) 및 시장요건(가격, 품질 등) 포함 • 고무소재의 물성치 연구결과보고서 • 충돌시험 결과보고서 • 고무 수명가속시험 결과보고서 • 베어링 브라켓 내구성 시험 결과보고서 • 센터링장치 반복시험 결과보고서 • 기존 제품과의 호환성시험 결과보고서 • 현차시험 결과보고서				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 국내발주 고속열차에 적용 가능 • EFG형식(전단변형방식)피봇형 고무완충기 핵심기술을 응용하여 서울 등 지방 도시철도 신조차량에 사용 가능한 제품개발 및 적용가능 • 현차시험 결과 등을 토대로 국내 상용화 후 해외시장 진출 추진 • 세계고속철도 시장은 유럽의 고속철도망 확대, 미주 및 아시아 신흥국의 고속철도 도입 정책에 따라 폭발적으로 증가할 것으로 예상됨 • 전단변형방식 고무완충기 개발로 수입대체 및 보수품의 적기 조달이 가능해져 유지지보수비용 절감 가능 • 전단변형방식 고무완충기 제작기술 확보에 따라 차량제작 기술 경쟁력이 높아져 해외사업 수주 가능성 제고 가능 • EFG형식(전단변형방식)피봇형 고무완충기의 핵심기술을 응용하여 내구성 및 신뢰성이 요구되는 타 산업분야로 기술파급 및 성과확산 가능				
국문핵심어 (5개 이내)	완충기	고무	연결기	EFG	
영문핵심어 (5개 이내)	Drawgear	Rubber	Coupler	EFG	

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	14
가. 연구개발 배경 및 필요성	14
나. 국내외 현황	15
다. 연구개발 목표 및 주요내용	16
2. 핵심 원천기술 개발 내용 및 성과	29
가. 고무완충기 해석 및 설계기술	29
나. 고무제품 제조 기술	61
다. 주조제품 제조 기술	87
라. 센터링 디바이스 제조 기술	108
마. 시험 시제품 성능평가	113
바. 시험 항목별 평가 결과	129
사. 수요처 성능검토 결과	132
아. 결론	133
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	135
가. 목표 달성도	135
나. 연구 성과 지표 대비 달성도	136
4. 연구개발성과의 활용계획	137
가. 핵심 연구성과 활용 계획	137
붙임. 참고문헌	138

〈 표 목 차 〉

<표 1.1> 핵심성과지표	18
<표 1.2> 완충기의 종류 및 특징	23
<표 1.3> 기존 고무완충기 및 개발기술 비교	28
<표 2.1> 각 부품 유한요소 모델 상세	32
<표 2.2> 고무완충기 각 부품 재료 특성	34
<표 2.3> 고무완충기 정하중 해석결과	41
<표 2.4> 각 부품 유한요소 모델 상세	42
<표 2.5> 고무완충기 각 부품 재료 특성	44
<표 2.6> 고무완충기 정하중 해석결과	50
<표 2.7> 해석결과 비교	53
<표 2.8> Gap 크기 study 결과 비교	55
<표 2.9> 인장, 압축 시험결과	57
<표 2.10> 고무재료 모델에 따른 RSS 분석	58
<표 2.11> 고무 소재의 일반적인 물성 비교	61
<표 2.12> 촉진제 비율에 따른 배합표 - 1	64
<표 2.13> 가황시간 20분 물성치 변화표	64
<표 2.14> 가황시간 30분 물성치 변화표	64
<표 2.15> 촉진제 비율에 따른 배합표 - 2	65
<표 2.16> 가황시간 20분 물성치 변화표	65
<표 2.17> 가황시간 30분 물성치 변화표	66
<표 2.18> 가황시간 40분 물성치 변화표	66
<표 2.19> 가황시간 50분 물성치 변화표	66
<표 2.20> A와 B의 가황시간에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표	67
<표 2.21> 촉진제 비율 및 종류에 따른 배합표	68
<표 2.22> 가황시간 5분 물성 변화표	68
<표 2.23> 가황시간 10분 물성 변화표	68
<표 2.24> 가황시간 20분 물성 변화표	69
<표 2.25> 가황시간 30분 물성 변화표	69
<표 2.26> 가황시간 40분 물성 변화표	70
<표 2.27> 가황시간 50분 물성 변화표	70
<표 2.28> 보강제 첨가	71
<표 2.29> 보강제A 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표	71
<표 2.30> 보강제B 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표	72

<표 2.31> 보강제C 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표	72
<표 2.32> 보강제 비율 및 종류에 따른 배합	73
<표 2.33> 보강제 비율 및 종류에 따른 물성 변화표	73
<표 2.34> 보강제 A 첨가	74
<표 2.35> 보강제 A 비율에 따른 물성 변화표	74
<표 2.36> 보강제 비율 및 종류에 따른 배합	75
<표 2.37> 보강제 비율 및 종류에 따른 경도 변화표	75
<표 2.38> 보강제 비율 및 종류에 따른 인열강도 변화표	76
<표 2.39> 노화방지제 비율 및 종류에 따른 배합	76
<표 2.40> 노화방지제 비율 및 종류에 따른 물성 변화표	76
<표 2.41> 가소제 비율 및 종류에 따른 배합	77
<표 2.42> 가소제 비율 및 종류에 따른 물성 변화표	77
<표 2.43> 가소제 및 가황촉진제 비율, 종류에 따른 배합	78
<표 2.44> 가황시간 15분 물성 변화표	78
<표 2.45> 가황시간 30분 물성 변화표	79
<표 2.46> 주조 부품별 재질	96
<표 2.47> 구상흑연주철의 화학 성분(%)	96
<표 2.48> 구상흑연주철의 기계적 성질	96
<표 2.49> 화학성분 분석(Chilled 시편 검사 결과)	97
<표 2.50> Bearing bracket 조직 검사 결과 및 현미경 조직	98
<표 2.51> Upper shell 부품 조직 검사 결과 및 현미경 조직	98
<표 2.52> Lower shell 부품 조직 검사 결과 및 현미경 조직	98
<표 2.53> Drawbar 부품 조직 검사 결과 및 현미경 조직	98
<표 2.54> EFG2 고무완충기 인장 시편의 기계적 성질	99
<표 2.55> EFG3 정하중 강도시험 스트레인게이지 부착 위치	120
<표 2.56> 스트레인게이지별 최대응력 값(2,000 kN 압축)	124
<표 2.57> 각 하중 단계별 최대 변형률값	129
<표 3.1> 연구 성과 지표 대비 달성도	136

〈 그림 목차 〉

<그림 1.1> 개발대상 품목 장착위치 및 작동선도 예시	14
<그림 1.2> EFG 완충기 예시(Dellner사)	14
<그림 1.3> 국외 연결기시장에 대한 경쟁관계[참고문헌 3]	15
<그림 1.4> EFG형식 고무완충기의 핵심부품도(그림: Voith Turbo 카탈로그 발췌)	17
<그림 1.5> EFG3 작동 개요[Voith Turbo 참고문헌 1]	17
<그림 1.6> Voith Turbo EFG3 특성 곡선(정적)[참고문헌 1]	19
<그림 1.7> 철도공사 연결기 완충장치 성능 분류[참고문헌 2]	19
<그림 1.8> 철도공사 연결기 완충장치 특성시험 예시 선도[참고문헌 2]	20
<그림 1.9> EFG 고무완충방식의 원천 특허 대표 도면(1999.03 출원)	23
<그림 1.10> Y社 EFG	26
<그림 1.11> D社 EFG	26
<그림 1.12> V社 EFG	27
<그림 1.13> M社 EFG	27
<그림 2.1> 역설계 과정	29
<그림 2.2> EFG 형식 고무완충기 주요 부품의 3차원 스캔 작업	29
<그림 2.3> Design-X S/W를 활용한 역설계 과정	30
<그림 2.4> 역설계 작업을 통해 완료한 EFG2 고무완충기 3D CAD 모델	31
<그림 2.5> EFG2 각 부품 3D 모델	32
<그림 2.6> Bearing bracket 상세 모델	33
<그림 2.7> Draw bar 상세모델	33
<그림 2.8> Upper & Lower shell 상세모델	34
<그림 2.9> EFG2 고무완충기 작동에 따른 하중 전달 메커니즘	35
<그림 2.10> EFG3 고무완충기 정하중 시험결과 (좌:하중-변위 곡선, 우:에너지-변위곡선)	35
<그림 2.11> Bearing bracket 하중 및 경계조건	36
<그림 2.12> Bearing bracket 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)	36
<그림 2.13> Draw bar 하중 및 경계조건	36
<그림 2.14> Draw bar 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)	37
<그림 2.15> Upper & Lower shell 하중 및 경계조건	37
<그림 2.16> Upper shell 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)	37

<그림 2.17> Bearing bracket 정하중 해석결과	38
<그림 2.18> Draw bar 정하중 해석결과	39
<그림 2.19> Draw bar 1,2차 고무 접촉면 단차에 따른 해석결과 분석	39
<그림 2.20> Upper shell 정하중 해석결과	39
<그림 2.21> Lower shell 정하중 해석결과	39
<그림 2.22> EFG3 각 부품 3D 모델	42
<그림 2.23> Bearing bracket 상세 모델	43
<그림 2.24> Draw bar 상세모델	43
<그림 2.25> Upper & Lower shell 상세모델	44
<그림 2.26> EFG3 고무완충기 작동에 따른 하중 전달 메커니즘	45
<그림 2.27> EFG3 고무완충기 정하중 시험결과 (좌:하중-변위 곡선, 우:에너지-변위곡선)	45
<그림 2.28> Bearing bracket 하중 및 경계조건	46
<그림 2.29> Bearing bracket 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)	46
<그림 2.30> Draw bar 하중 및 경계조건	46
<그림 2.31> Draw bar 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)	47
<그림 2.32> Upper & Lower shell 하중 및 경계조건	47
<그림 2.33> Upper shell 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)	47
<그림 2.34> Bearing bracket 정하중 해석결과	48
<그림 2.35> Draw bar 정하중 해석결과	49
<그림 2.36> Upper shell 정하중 해석결과	49
<그림 2.37> Lower shell 정하중 해석결과	50
<그림 2.38> Draw bar, upper & lower shell FE 모델	51
<그림 2. 39> 고무파트 FE 모델	51
<그림 2.40> 고무완충기 FE 모델 Ass' y	51
<그림 2.41> 고무완충기 해석모델 경계 및 하중조건	52
<그림 2.42> 조립과정 준정적 해석	52
<그림 2.43> Draw bar 55mm 이동 해석결과	52
<그림 2.44> 고무완충기 하중-변위 선도 비교(test vs 해석결과)	53
<그림 2.45> Gap 크기에 따른 해석결과 분석	54

<그림 2.46> Gap 크기에 따른 하중-변위 선도 분석	54
<그림 2.47> Gap 크기에 따른 에너지 흡수량 비교	55
<그림 2.48> 완충기용 고무 시편 인장 시험	56
<그림 2.49> 공인시험성적서 (KTR)	56
<그림 2.50> 시험 전 시편	56
<그림 2.51> 시험 후 시편	56
<그림 2.52> 인장 시험 결과	57
<그림 2.53> 압축 시험 결과	57
<그림 2.54> 고무재료 모델별 test 결과 예측치 비교	58
<그림 2.55> 고무재료 인장 해석 결과	60
<그림 2.56> 재료 모델 검증을 위한 전산모사 (인장)	60
<그림 2.57> 고무재료 압축해석 결과	60
<그림 2.58> 재료 모델 검증을 위한 전산모사 (압축)	60
<그림 2.59> 가공공정도	62
<그림 2.60> 가황시간 20분 물성치 변화 비교그래프	64
<그림 2.61> 가황시간 30분 물성치 변화 비교그래프	65
<그림 2.62> 가황시간 20분 물성치 변화 비교그래프	65
<그림 2.63> 가황시간 30분 물성치 변화 비교그래프	66
<그림 2.64> 가황시간 40분 물성치 변화 비교그래프	66
<그림 2.65> 가황시간 50분 물성치 변화 비교그래프	67
<그림 2.66> A와 B의 가황시간에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프	67
<그림 2.67> 가황시간 5분 물성 변화 비교그래프	68
<그림 2.68> 가황시간 10분 물성 변화 비교그래프	69
<그림 2.69> 가황시간 20분 물성 변화 비교그래프	69
<그림 2.70> 가황시간 30분 물성 변화 비교그래프	70
<그림 2.71> 가황시간 40분 물성 변화 비교그래프	70
<그림 2.72> 가황시간 50분 물성 변화 비교그래프	71
<그림 2.73> 보강제A 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프	72
<그림 2.74> 보강제B 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프	72

<그림 2.75> 보강제C 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프	73
<그림 2.76> 보강제 비율 및 종류에 따른 물성 변화 비교그래프	74
<그림 2.77> 보강제 A 비율에 따른 물성 변화 그래프	75
<그림 2.78> 보강제 비율 및 종류에 따른 경도 변화그래프	75
<그림 2.79> 보강제 비율 및 종류에 따른 인열강도 변화그래프	76
<그림 2.80> 노화방지제 비율 및 종류에 따른 물성 변화그래프	77
<그림 2.81> 가소제 비율 및 종류에 따른 물성 변화그래프	77
<그림 2.82> 가황시간 15분 물성 변화그래프	78
<그림 2.83> 가황시간 30분 물성 변화그래프	79
<그림 2.84> COMPRESSION MOLD	80
<그림 2.85> TRANSFER MOLD	81
<그림 2.86> INJECTION MOLD	81
<그림 2.87> 손잡이 제작	82
<그림 2.88> 일반적인 금형 구조	82
<그림 2.89> 자사 금형 구조	82
<그림 2.90> SAMPLE PARTING LINE	83
<그림 2.91> COMPRESSION MOLD	83
<그림 2.92> 틀칼	84
<그림 2.93> 틀칼 작업 1	84
<그림 2.94> 틀칼 작업 2	84
<그림 2.95> 틀칼 작업 후 재단 고무	84
<그림 2.96> 제작 금형	85
<그림 2.97> Compression 및 Injection 차이 1	86
<그림 2.98> Compression 및 Injection 차이 2	86
<그림 2.99> 사출 금형 이미지	86
<그림 2.100> EFG2 고무완충기 부품의 설계 도면	87
<그림 2.101> EFG2 고무완충기 주요 부품의 주조 시뮬레이션 결과	88
<그림 2.102> EFG2 Drawbar 몰드 설계 후 몰드 제작 및 주조품 생산 과정	89
<그림 2.103> EFG2 고무완충기 주요 부품의 몰드 설계	90

<그림 2.104> EFG2 고무완충기 소재	91
<그림 2.105> 방사선 투과 검사 원리	91
<그림 2.106> EFG2 고무완충기 주요 부품의 방사선투과 검사(RT) 보고서	93
<그림 2.107> 침투탐상검사 절차 및 방법	94
<그림 2.108> EFG2 고무완충기 주요 소재의 PT 검사	95
<그림 2.109> EFG2 고무완충기 주물부품의 본품 시편 채취 사진	96
<그림 2.110> EFG2 고무완충기 주요 부품의 인장 시편	96
<그림 2.111> 고기능 금속 현미경(MA100N)	97
<그림 2.112> EFG2 고무완충기 시제품	99
<그림 2.113> EFG2 3차원 스캔 치수 성적서	99
<그림 2.114> 목금형 제작 절차	100
<그림 2.115> EFG2 목금형 제작	101
<그림 2.116> EFG3 고무완충기 부품의 설계 도면	101
<그림 2.117> EFG3 고무완충기 주요 부품의 주조 시뮬레이션 결과	102
<그림 2.118> EFG3 Drawbar 몰드 설계 후 몰드 제작 및 주조품 생산 과정	102
<그림 2.119> EFG3 고무완충기 주요 부품의 몰드 설계	103
<그림 2.120> EFG3 고무완충기 소재	103
<그림 2.121> EFG3 고무완충기 방사선 투과 검사 주요 부위	104
<그림 2.122> EFG3 고무완충기 주요 부품의 인장 시편	105
<그림 2.123> EFG3 고무완충기 시제품	105
<그림 2.124> EFG3 3차원 스캔 치수 성적서	106
<그림 2.125> EFG3 목금형 제작	107
<그림 2.126> 센터링 디바이스 부속품	108
<그림 2.127> 센터링 디바이스 장착 형상	108
<그림 2.128> 센터링 디바이스 커버	109
<그림 2.129> 수정된 센터링 디바이스	109
<그림 2.130> 버티컬 서포트	109
<그림 2.131> 전개	110
<그림 2.132> Rubber 삽입1	110

<그림 2.133> Rubber 삽입2	110
<그림 2.134> Rubber 삽입3	110
<그림 2.135> Drawbar 결합	111
<그림 2.136> Shell Ass' y1	111
<그림 2.137> Shell Ass' y2	111
<그림 2.138> Bearing Bracket 결합	111
<그림 2.139> EFG 조립완료	111
<그림 2.140> 버티컬서포트 결합	111
<그림 2.141> 센터링 디바이스 결합	112
<그림 2.142> 5,000 kN 정하중시험기 전경	113
<그림 2.143> EFG 고무완충기 압축시험용 지그	113
<그림 2.144> 정하중 시험기 교정성적서	113
<그림 2.145> 고무완충기 정적성능 1	114
<그림 2.146> 고무완충기 정적성능 2	114
<그림 2.147> 고무완충기 압축 성능	114
<그림 2.148> 충돌시험장 전경	115
<그림 2.149> 충돌시험 계측기기 배치도	115
<그림 2.150> 충돌시험편 장착 모습	116
<그림 2.151> 충돌시험 시편(EFG2)	116
<그림 2.152> 충돌시험 전면 기기배치	116
<그림 2.153> EFG2 충돌시험 결과 1	117
<그림 2.154> EFG2 충돌시험 결과 2	117
<그림 2.155> EFG2 충돌시험 순차적 변형형상	117
<그림 2.156> EFG2 고무완충기 스펙[참고문헌 3]	118
<그림 2.157> 2차 시제품(EFG3) 정적 하중시험 셋팅	119
<그림 2.158> EFG3 정적 하중-변위 선도	119
<그림 2.159> EFG3 정적 에너지-변위 선도	119
<그림 2.160> 정적 하중 시험 후 EFG3 분해 형상	120
<그림 2.161> EFG3 강도시험을 위한 스트레인게이지 부착 위치	120

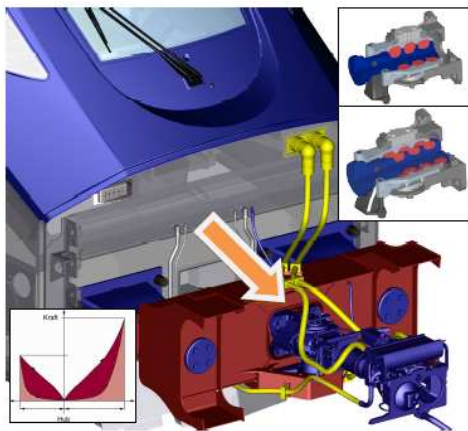
<그림 2.162> EFG3 정하중 강도시험 셋팅	121
<그림 2.163> EFG3 정하중 강도시험 하중 단계	122
<그림 2.164> EFG3 정하중강도시험 최대변형률 측정 결과 - 드로우바	122
<그림 2.165> EFG3 정하중강도시험 최대변형률 측정 결과 - Lower Shell	122
<그림 2.166> EFG3 정하중강도시험 최대변형률 측정 결과 - 베어링브라켓	123
<그림 2.167> EFG3 정하중강도시험 잔류 변형률 측정 결과 - 드로우바	123
<그림 2.168> EFG3 정하중강도시험 잔류 변형률 측정 결과 - Lower Shell	123
<그림 2.169> EFG3 정하중강도시험 잔류 변형률 측정 결과 - 베어링브라켓	124
<그림 2.170> EFG3 충돌시험 시험체 장착 사진	126
<그림 2.171> EFG3 고속촬영 영상 캡처(좌: 충돌시점, 우: 최대압축)	126
<그림 2.172> EFG3 충돌시험 하중-변위 선도	127
<그림 2.173> EFG3 충돌시험 에너지-변위 선도	127
<그림 2.174> Shear-off 지그시스템	127
<그림 2.175> Shear-off 고속촬영 영상 캡처(좌: 충돌시험, 우: Shear-off 직후)	127
<그림 2.176> EFG3 Shear-off 하중-변위 선도	128
<그림 2.177> EFG3 Shear-off 에너지-변위 선도	128
<그림 2.178> Shear-off 후 시험체 형상	128
<그림 2.179> 전단볼트 파단 형상	128
<그림 2.180> Draw gear 및 screw coupling 피로시험 기준(EN15566)	130
<그림 2.181> 현차 연결완충시험 연속장면(준비-연결-해방레버당김-해방)	131

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 배경 및 필요성

(1) 연구개발 배경

- 현재, 철도안전법 등 규정이 글로벌화로 진행되며, 그동안 글로벌화 되지 못한 국내 제품 스펙으로 인해 해외 제품과의 기술격차가 현격해 해외제품이 국내에 물밀듯 유입되면서, 국내업체의 입지는 더욱 좁아질 것으로 예상
- 전단변형방식 피봇형 고무완충기는 글로벌 시장을 크게 장악하고 있으며 국내 운영처에서도 선호하여 활용도가 높음
- 국내 운영처의 선호 이유는 유지보수에 유리하고 성능이 우수하여 향후 이러한 방식의 완충기가 국내 시장을 장악할 가능성이 농후함
- 국내 중소 업체의 역량으로는 완충기 시스템 엔지니어링 및 검증시험 등을 총괄적으로 리딩할 수 없으므로 공공기관 지원 하에 각 전문기업의 협업을 통하여 국산화기술을 확보할 경우 향후 국내 철도부품 시장의 활성화 및 글로벌 시장의 토대가 될 수 있음
- 국내 산업을 보호하면서도 철도 운영처의 요구 등을 수용하기 위해서는 핵심원천 기술 개발과 국내 기업에 보급 등이 절실함



<그림 1.1> 개발대상 품목 장착위치 및 작동선도 예시



<그림 1.2> EFG 완충기 예시(Dellner사)

(2) 연구개발 필요성

- 연결기 핵심부품(전단변형방식 피봇형 고무완충기) 국산화 필요
 - EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기는 유지보수가 용이 하고, 성능이 우수하여 글로벌 시장을 장악
 - 국내 운영기관도 선호하여 해외 제품이 국내 시장을 장악할 가능성이 매우 큼
- 철도안전법 등 글로벌화 된 규정에 대비
 - 국내제품은 해외 선진업체 제품과의 기술격차로 인해 해외제품이 국내에 유입되면서, 국내업체의 입지는 더욱 좁아질 것으로 예상됨
- 연결기는 시스템 설계, 해석, 검증시험 등의 엔지니어링 역량 등이 필수적인 아이템임
 - 특히 연결기의 완충장치는 국내 산업 보호를 위한 핵심원천 기술개발이 절실히 요구됨

나. 국내의 현황

(1) 국내 기술 개발 현황

우리 나라 전동차에 사용되고 있는 완충기는 1974년 서울지하철 1호선 전동차가 일본에서 제작되어 처음 도입될 때 다판식 싱글형(Single type) 고무 완충기가 사용됨. 이후 1990년대 중반까지 국내에서 제작된 모든 전동차에 다판식 싱글형 고무 완충기를 사용한다.

1995년 이후 서울 지하철 5호선과 같은 신설노선에 자동운전방식(ATO: Auto train operation)차량을 도입 후, 기존 다판식 싱글형 고무완충기의 구조적 특성에 의해 자동 운전 시 정밀 정지제어가 곤란하고, 제동 및 역행시 앞뒤 차량간 제동력과 견인력 불일치로 연결장치에서 충격과 소음이 발생하는 문제점을 보완하기 위해 1999년도 이후 서울 지하철 6, 7, 8호선과 부산 지하철 2호선 차량에 저 소음, 저 충격형의 링형(Ring type)고무 완충기와 다판식 더블형(Double type)고무 완충기를 사용한다.

하지만, 철도차량의 연결 완충 안전기준 강화 등으로 완충기의 성능개선이 필요하게 되어 이에 따라 관절형(EFG type)고무 완충기가 인천공항철도 차량부터 적용되기 시작였으며 점차 확대 적용 확대되고 있으나 관련 기술은 부족한 실정이다.

현재 진행 중인 서울도시철도공사 200량 프로젝트(다원시스 수주)를 포함한 대부분의 프로젝트에서 EFG3 완충기가 적용되어 제작중이며, 5호선 신규 32량 프로젝트(현대로템 수주)에 EFG2가 신규 적용, 동해선 신규 28량 프로젝트에는 EFG3가 적용될 것으로 예상되며, 5호선에는 대부분 EFG2가 장착되어 운용 중으로 유지보수에 대한 요구가 점진적으로 늘어나고 있다.

국내 타 산업에는 각 분야(고무, 유압, 충격흡수재 등)에 해외업체와 경쟁할 수준의 전문기업들이 있다.

(2) 해외 기술 개발 현황

해외 유럽의 글로벌 연결기 회사인 Voith(독일), Dellner(스웨덴) 등이 세계 시장을 장악하고 있으며 국내 시장 점유율을 높이고 있다. EFG형식 고무완충기의 경우 Voith, Dellner, Miira CAF사 등이 제작공급하고 있으며 국내 연결기 제조업체는 해외 업체와 일부 기술제휴로 국내 시장에 공급 중인 실정이다.



<그림 1.3> 국외 연결기시장에 대한 경쟁관계[참고문헌 3]

(3) 국내의 기술규격 현황

고무완충기의 국내외 기술규격을 분석한 결과 고무완충기 자체의 성능평가나 인증을 위한 규격은 없고, 제작사의 자체기준을 사용하여 제품을 평가하는 것으로 알려졌다. 제작사 평가기준은 보안사항으로 접근이 쉽지 않기 때문에 고무완충기를 포함한 연결기 규격이나 기타 유사성이 있는 철도차량 부품의 국제규격을 활용하여 본 연구를 수행하였다.

다. 연구개발 목표 및 주요내용

(1) EFG 고무완충기의 핵심기술 개요 및 목적

EFG 형식의 고무완충기의 핵심 부품 및 기술은 아래와 같다.

(가) Upper/Lower Shell

- 이 셸 구조는 위아래에 대칭으로 존재하며 드로우바와 고무를 사이에 끼운 형태임
- 드로우바에 전달된 축력을 고무를 통해 전달받으며 베어링브라켓으로 힘을 전달함

(나) 드로우바

- 앞부분은 연결기 헤드(또는 중간몸체)와 연결되며 축력을 고무에 전달함
- 연결기 헤드와 머프커플링을 통하여 연결됨

(다) 고무

- Upper/Lower Shell과 드로우바 사이에 삽입하여 압착함
- 압착량에 따라 초기 하중이 부과됨
- 완충기 에너지흡수 기능의 중추적인 역할을 함

(라) 베어링브라켓

- Upper/Lower Shell을 통하여 전달된 축력을 철도차량의 센터실로 전달함
- 일반적으로 구조품의 형태임

(마) 버티컬 서포트

- 연결기의 처짐을 보상할 수 있도록 드로우바의 앞부분을 지지함
- 일반적으로 고무가 사용됨

(바) 센터링 디바이스

- 전두부 연결기에 주로 사용되며 연결기를 중심위치로 복원시키는 역할을 함
- 일반적으로 스프링, 캠 등을 이용한 기계적 장치임

(사) 베어링 피봇

- Upper/Lower Shell과 베어링브라켓 사이에 원활한 회전을 위하여 삽입하는 일종의 베어링임
- 연결기의 원활한 회전을 위하여 마찰이 적으며 내구성이 높은 재질을 이용하여야 함



<그림 1.4> EFG형식 고무완충기의 핵심부품도(그림: Voith Turbo 카탈로그 발췌)

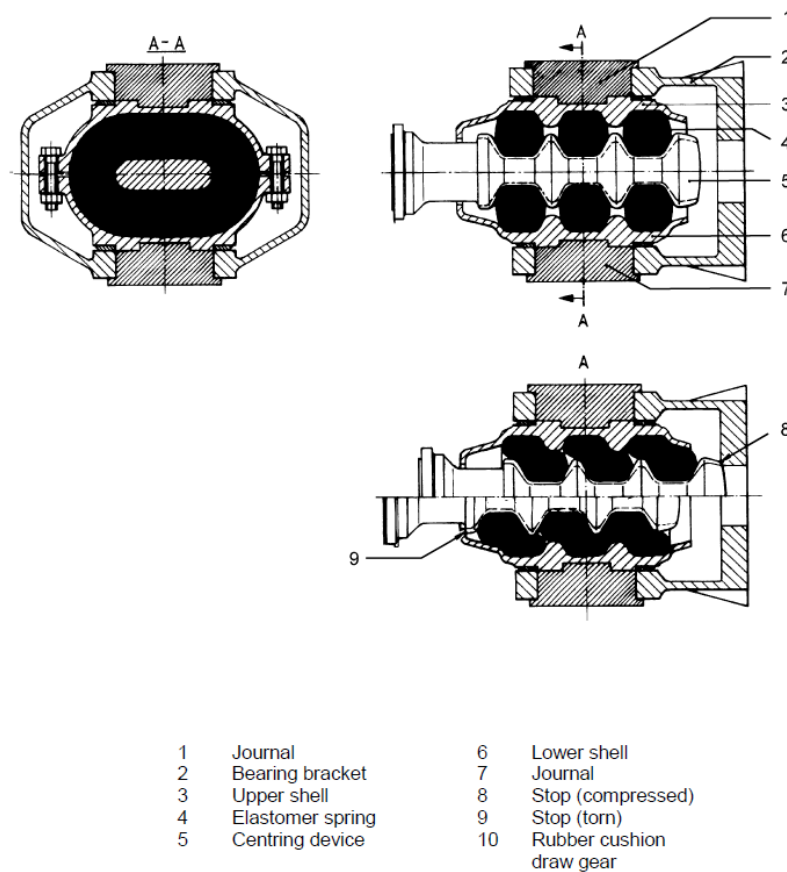


Fig. 1-3-G2 : Method of operation

<그림 1.5> EFG3 작동 개요[Voith Turbo 참고문헌 1]

EFG3 완충기의 핵심적인 성능은 크게 세가지로 분류되며 각 항목에 따라 목표 수준을 설정하였다.

① 에너지흡수용량

- 에너지흡수용량은 철도차량 완충기의 핵심적인 역할이며 이는 아래 그림에서 제시한 타사 제품의 특성곡선을 참조하였음
- 압축 시 55 mm 스트로크에서 정적 에너지흡수용량이 14.1 kJ로 제시되어 있음
- 철도공사 규격서에서도 마찬가지로 정적 에너지흡수용량은 14.1 kJ, 동적 에너지흡수용량은 19 kJ로 제시되어 있음
- 따라서, 달성목표는 정적 14.1 kJ, 동적 19 kJ로 설정하였음

② 정하중 강도 및 스트로크

- 철도공사 규격서에 따르면 연결기의 압축강도를 1560 kN 이상으로 규정하고 있으며 EN 16019에 따르면 1500 kN으로 규정하고 있음
- 본 연구에서는 강제규정인 EN 규정에 따라 압축강도 1500 kN에서 영구변형이 발생하지 않음을 목표로 설정하였음
- 스트로크는 기존 제품과 호환을 위하여 동일한 수준인 55 mm 로 설정하였음

③ 수직/수평 작동 범위

- 철도공사 규격서 및 타사 규격서에 의거하여 수직 $\pm 6^\circ$, 수평 $\pm 45^\circ$ 로 설정하였음

주요 핵심 성과지표는 아래와 같다.

<표 1.1> 핵심성과지표

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적성과목표	실적
				질적 성과지표		목표치	측정 방법	검증 방법	기준 치(%)				
A	전단변형 방식 고무완충 기 핵심기술	A-1	고무해석 및 제조기술	①	에너지 흡수용량	14.1KJ±10% (정적) 19kJ±10% (동적)	시험 성적서	시험 성적서	30	오톡스	100	시제품: 1 건	시제품: 1 건
				②	해석 및 시험 기반기술	±10%	보고서	보고서	20	철도연	200	논문: 1 건	논문: 1 건
		A-2	주조부품 국산화 제조기술	①	내하중 특성	1건	시험 성적서	시험 성적서	20	삼영 기계	150	특허:출원 1건	특허:출원 1건
				②	주조결함	0%	시험 성적서	시험 성적서	10				
		A-3	센터링 및 Shear-off 장치 제조기술	①	자동복원기 능	1건	시험 성적서	시험 성적서	10	원파워	219	특허:출원 1건	특허:출원 1건
				②	Shear-off 기능	1건	시험 성적서	시험 성적서	10				
									100		669	특허:출원 2건 논문: 1 건 시제품: 1 건	특허:출원 2건 논문: 1 건 시제품: 1 건

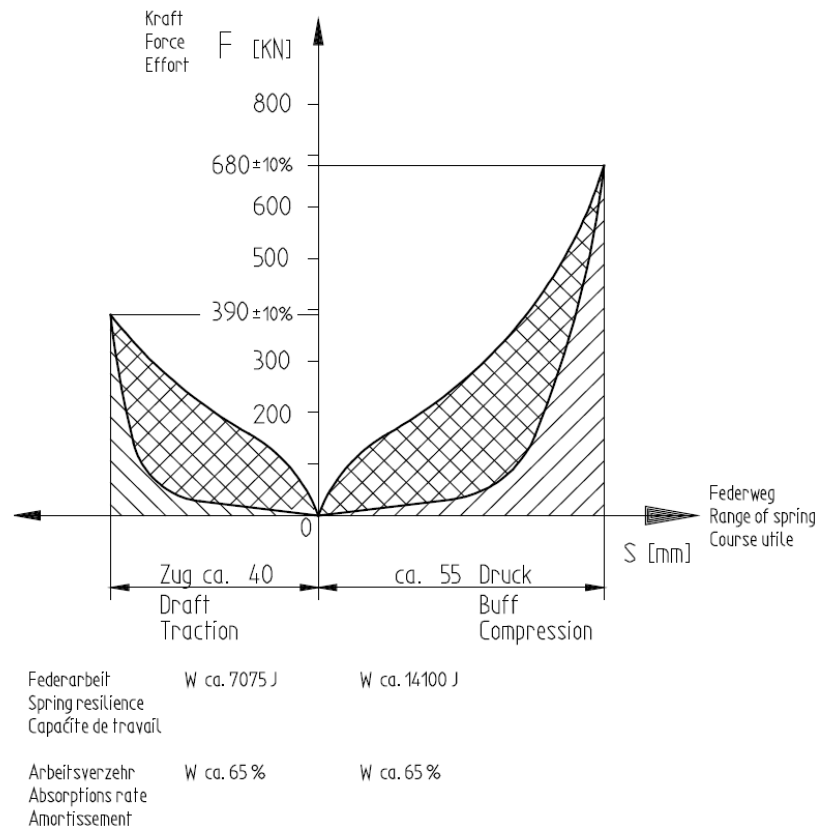


Fig. 1-3-G1 : Static characteristic D095

<그림 1.6> Voith Turbo EFG3 특성 곡선(정적)[참고문헌 1]

3.5 특성

3.5.1 연결기의 성능

구 분	1 종	2 종, 3 종	비 고
압축강도	1560kN(159ton) 이상	60ton 이상	

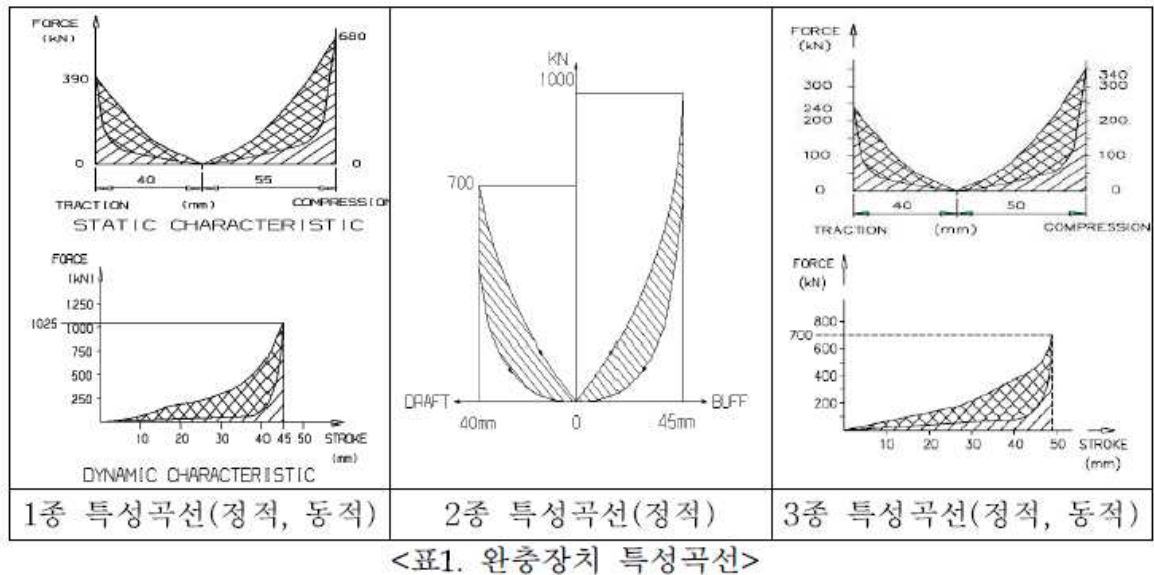
3.5.2 완충장치의 성능

구 분		1 종	2 종	3 종	비 고
강도 (스트로크)	압축	680kN이상 (55mm)	1000kN이상 (45mm)	340kN이상 (50mm)	
	인장	390kN이상 (40mm)	700kN이상 (40mm)	240kN이상 (40mm)	
충격흡수	정적	압축 : 14.1kJ	10kJ	인장 : 4.1kJ 압축 : 6.3kJ	
	동적	압축 : 19kJ	-	-	
수직 작동범위		±6°	±4°	±6°	
수평 작동범위		±45°	±17°	±45°	

<그림 1.7> 철도공사 연결기 완충장치 성능 분류[참고문헌 2]

마. 완충기 특성시험

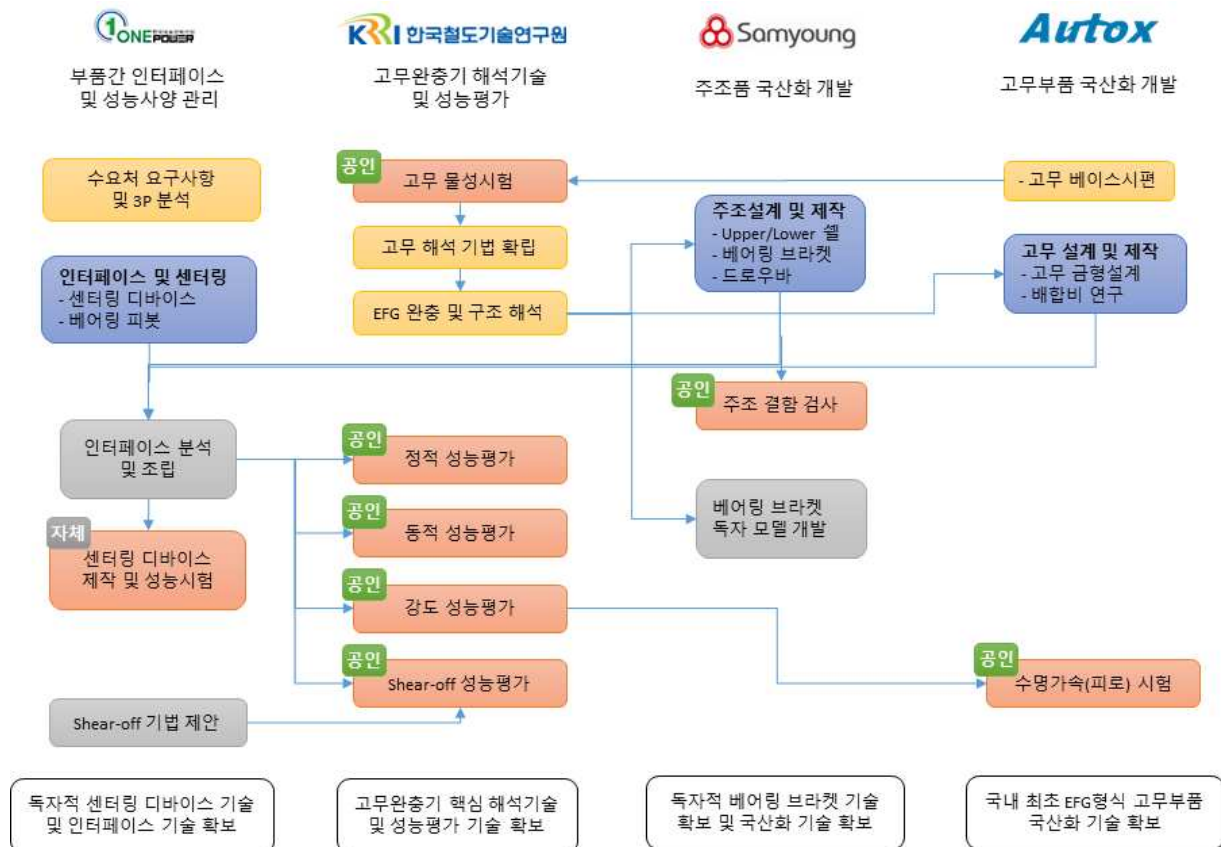
하중과 변위의 곡선은 표1의 특성곡선을 만족할 경우 양호로 한다. 또한 하중을 가하였을 때 균열, 절단, 박리 이상한 음(과열음)이 없어야 한다.



<그림 1.8> 철도공사 연결기 완충장치 특성시험 예시 선도[참고문헌 2]

(2) EFG 고무완충기 핵심기술 개발 범위 및 추진 전략

본 과제의 핵심기술 개발 범위 및 추진전략은 아래 그림과 같다.



추진전략에 따른 추진 방법은 아래와 같다.

- ① 수요처 요구사항 및 3P 분석
- ② Upper/Lower Shell, 드로우바, 베어링브라켓, 베어링 피봇, 고무 등 핵심 부품 역설계
- ③ EFG 완충구조해석을 통한 재질 선정
- ④ 주조/고무 부품 제조를 위한 설계 및 해석
- ⑤ 1차 시제품(EFG2) 제작
- ⑥ 정/동적 에너지흡수성능 시험평가
- ⑧ EFG3 고무완충기 설계 및 2차 시제품(EFG3) 제작
- ⑨ 정/동적 에너지흡수성능, 정하중 강도, 피로성능, 현차 인터페이스, 연결시험 평가

(3) 수요처 요구사항 및 3P 분석

(가) 수요처 요구사항 분석

① 운영처

- 운영처의 현업에서 EFG 고무완충기의 핵심기술에 대한 요구사항을 청취하였다.
- 조사결과는 아래와 같다.

- ㉠ EFG3 고무완충기는 현재 발주하여 진행 중인 프로젝트 및 신규 발주 프로젝트에 대부분 적용 예정이다.
- ㉡ EFG3 고무완충기의 성능요구조건은 제작사 제시조건 상 EN 16019의 강도조건(인장 1,000 kN, 압축 1,500 kN), 에너지흡수용량 조건(정적 14.1 kJ, 동적 19kJ 이상) 등이 주요한 요구조건이다.
- ㉢ 센터링 디바이스의 경우 기존 제품의 외관 치수 이내로 설계하는 것이 바람직하다.
- ㉣ 머프 커플링 및 헤드부 취부가 호환되도록 설계 필요하다.
- ㉤ 통상적으로 연결기 제작업체에서 EFG3를 포함한 연결기 완제품의 형태로 차량에 적용 중이므로 연결기 완제품 형태의 납품이 바람직하다.
- ㉥ EFG에 적용되는 고무부품의 경우 유지보수품이 수요가 일부 있다.

② 차량제작사

- 차량제작사의 현업에서 EFG 고무완충기의 핵심기술에 대한 요구사항을 청취하였다.
- 조사결과는 아래와 같다.
- ㉠ 차량제작사(다원시스)에서는 EFG3 타입의 고무완충기를 대부분 적용 중이며 향후 진행될 프로젝트에서도 적용 예정이다.
- ㉡ EFG 고무완충기가 적용되는 경우 연결기 완제품을 대부분 외국(독일 등)산에 의존하는 현실이다.
- ㉢ EFG3 고무완충기의 성능요구조건은 기존 제품의 성능요구조건을 따라야한다.
- ㉣ 센터링 디바이스의 경우, 곡선 조차등의 이유로 인하여 일정 회전각에서 잠금기능이 있는 것이 바람직하다.
- ㉤ 차량제작사에서 EFG 고무완충기 단독으로 채택하기 힘들며 연결기 완제품 형태로 납품되어야 한다.
- ㉥ 기존 연결기 제작사의 EFG3 단가는 공개할 수 없으나 전체 차량가액 대비 연결기의 단가의 비율이 높은 편이다.
- ㉦ 형식승인 대응을 위하여 용품승인이 필요하다.
- ㉧ 형식승인 및 납품에 있어 차량 제작사가 요구하는 자료를 원제작사는 제공할 의무가 있다.(도면, 규격서, 절차서, 정비지침서, 유지보수매뉴얼 등)

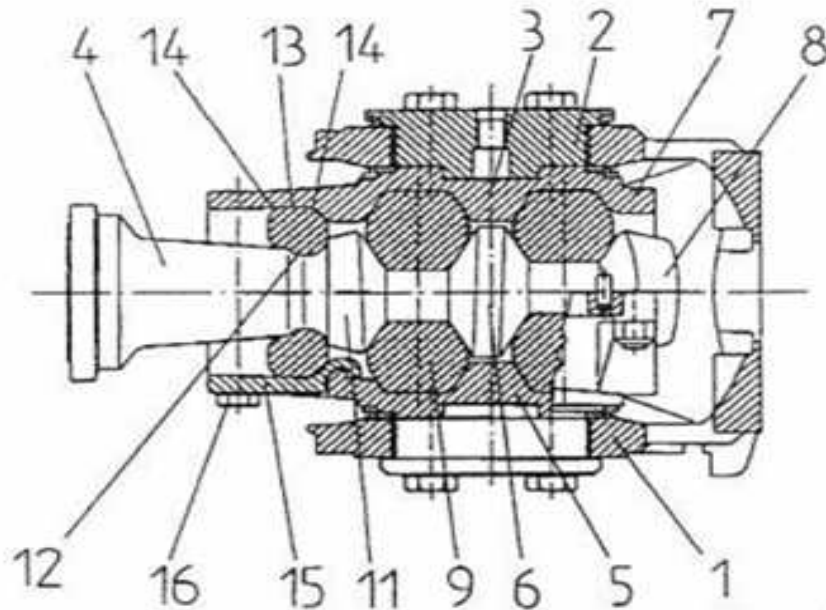
③ 요구사항 분석 결론

- 현재 진행 중인 프로젝트 및 향후 프로젝트에서 EFG3가 대부분 적용될 예정이다.
- 성능요구조건은 기존 제품 수준(정적 14.1 kJ, 동적 19 kJ 등)이 적절하다.
- 기존 제품과 호환되도록 설계해야 한다.
- 형식승인 대응을 위한 용품승인 필요하다.

(나) 3P 분석

① 특허(Patent)

철도차량용 고무완충기에 관련된 특허의 경우 8건이 있었으며, 본 연구와 직접적으로 관련이 있는 EFG고무완충기에 대한 특허는 중복이 되지 않았다. 특허의 분석 및 회피내용은 보고서를 별첨하였다.(증빙 4-1) EFG 고무완충방식의 원천 특허는 1999년 3월에 등록되었으며 2019년 3월에 특허만료가 되었다. 또한, 등록료 불납으로 인하여 이미 소멸된 특허로 자유실시기술이다. 이후 2006년 출원된 특허의 경우 EFG3 완충기를 기반으로 하여 과하중이 발생하였을 때 완충기 내에서 Shear-off 되는 메커니즘에 관한 것으로 EFG 고무완충 방식의 원천특허로 볼 수 없다.



<그림 1.9> EFG 고무완충방식의 원천 특허 대표 도면(1999.03 출원)

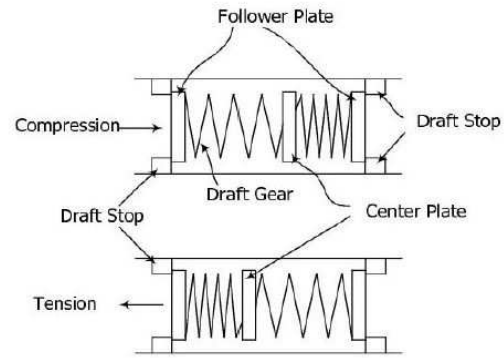
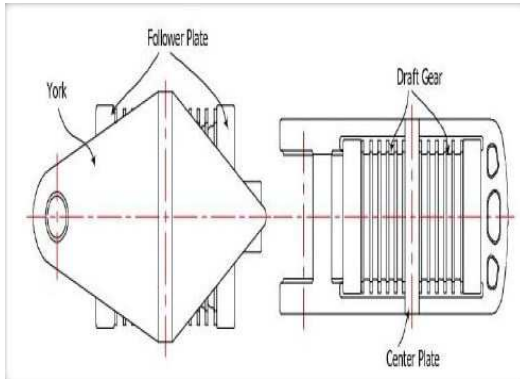
② 제품(Product)

EFG제품을 분석하기 위해 현재까지 개발, 사용되는 완충기의 종류와 특징을 조사하였고 완충기의 종류로는 싱글형 고무완충기, 더블형 고무완충기, 링형 고무완충기, 관절형 고무완충기, 유압완충기가 있고 각각의 특징 및 장점은 다음과 같다.

<표 1.2> 완충기의 종류 및 특징

□ 싱글형 고무 완충기 -고무를 강판에 접착하고 고무패드를 수매 겹쳐 붙인 것으로 고무를 압축할 때의 저항력을 이용하여 완충작용	

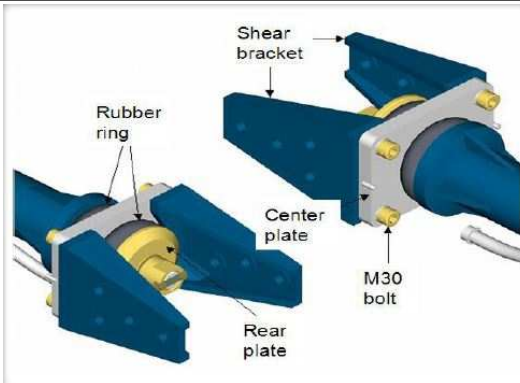
-요크와 드래프트 기어가 금속접촉을 하게 되어 충격과 소음이 발생



□ 더블형 고무 완충기

-드래프트 기어 중앙에 분리판을 설치하여 요크와 드래프트 기어가 접촉을 하지 않게 되어 소음 발생이 적음

-드래프트 기어 중앙의 분리판에서 인장과 압축을 받도록 설계

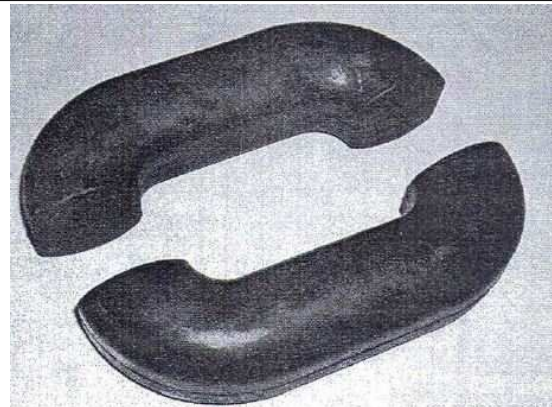
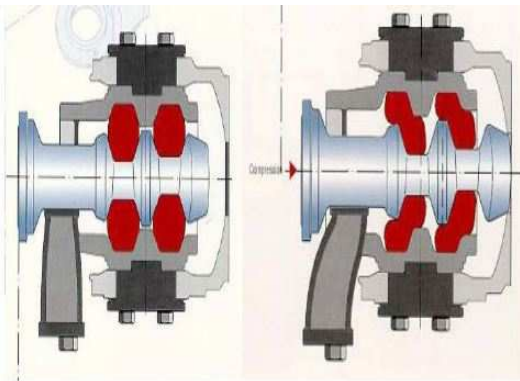


□ Ring형 고무완충기

-앞뒤 2개의 고무링에 각각 인장력과 압축력이 작용

-금속과 금속이 연결되는 부위에 유격이 없어 소음 및 충격이 없어 승차감 향상

-곡선 및 구배구간 통과 시 차량에 발생하는 변위에 최대 대응



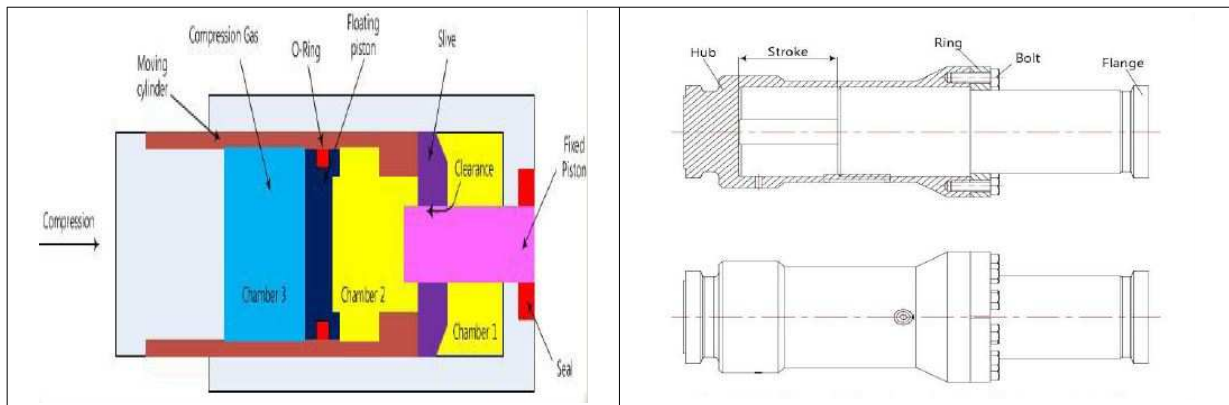
□ 관절형 고무완충기(EFG형식)

-특수모양의 고무와 피봇, 케이싱을 조합하여 충격에너지를 흡수하는 구조

-고무의 압축 및 인장응력에 의해 완충작용을 수행함으로써 완충특성이 우수

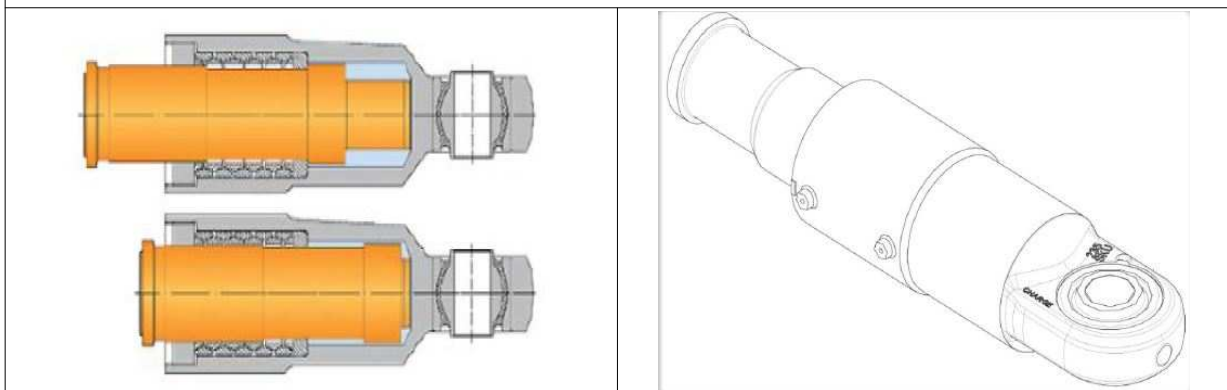
-완충작용에 금속접촉이 일어나지 않아 소음 발생이 적음

-완충고무의 수량에 따라 EFG2, EFG3로 구분



□ 유압 완충기(TYPE1)

- 고무완충기는 기본 모델이 정해지면 에너지 흡수용량을 변경 할 수 없으나 유압 완충기는 강도와 변위량을 이용하여 에너지 흡수용량을 조절
- 작은 힘이 작용 할 경우 작동하고 있지 않다가 특정한 힘 이상이 작용할 때 변위가 발생하여, 높은 충격 에너지를 흡수



□ 유압 완충기(TYPE2)

- TYPE1보다 길이가 짧고 완충용량이 크고, 고무완충장치의 기능까지 포함
- 연결기 몸체는 충격을 흡수할 수 있는 고리 모양의 금속 스프링의 형상을 가지며 인장하중에 대한 충격흡수와 압축하중에 대해 유압버퍼의 충격흡수 기능

5개의 완충기 종류 중 관절형 고무완충기(EFG형식)의 국내, 외제품을 살펴보면 국내 Y社, 독일의V社, 스웨덴의 D社, 스페인의 M社가 있다. 국내 Y社의 경우 핵심부품은 대부분 수입에 의존하며, 일부부품을 제작하여 납품중인 것으로 조사되었다. 외국의 3사의 특징을 살펴보면 EFG고무완충기의 외관모양은 일치하는 것으로 보이는데 철도차량의 Centersill의 크기가 500*300으로 직사각형인 형태이기 때문에 가로의 길이가 길고 세로가 짧은 타원형의 EFG고무를 사용하며, EFG고무완충기와 철도차량 사이의 인터페이스를 위해 Bearing bracket의 형상이 비슷하다.



<그림 1.10> Y社 EFG

3 types of EFG 3 with internal release functions



<그림 1.11> D社 EFG



Type 10

The Type 10 Scharfenberg coupler is used in many national railways around the world, even in high-speed applications. This coupler is characterized by its especially high-strength and a large gathering range laterally and vertically. This coupler has been the standard on high-speed trains since 2002 and has now been incorporated into the TSI Standards. The Type 10 can transmit a buff load of 1,500 kN and a draft load of 1,000 kN.



Type 35

The Type 35 is especially well-suited for vehicles without a compressed-air system. On these fully electrified vehicles, the coupler can transmit a buff load of 1,300 kN and a draft load of up to 850 kN. The Type 35 is used primarily in light rail and tram, metro and regional transportation applications.



Type 330

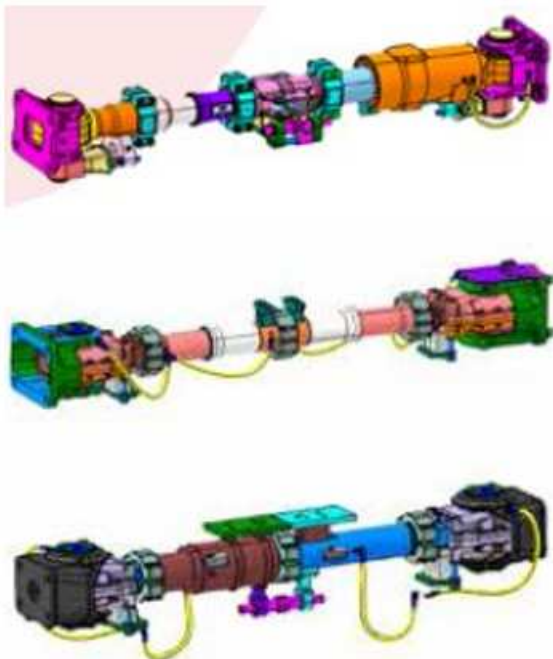
The Type 330 is used primarily in light rail and tram applications. It is small yet strong. Locating the electrical coupling underneath at the head is also possible. The coupler can transmit a buff load of 800 kN and a draft load of up to 600 kN.



Type 430

Its especially compact and lightweight construction makes the Type 430 Scharfenberg coupler the ideal type of coupler for low-floor trams and monorails. As a folding coupler, it also fits behind front covers. It can transmit compressive and tensile forces of up to 300 kN.

<그림 1.12> V社 EFG



<그림 1.13> M社 EFG

③ 논문(Paper)

3P분석결과 완충기 관련된 특허가 국내외 약 800개가 있으며 현재까지 유효한 특허는 약 350개정도 된다. 본 연구에서의 특허관련 회피기술 및 전략은 센터링디바이스에 관해서 고무 몸통부에 대한 특징을 부각시키고 센터링디바이스와 EFG고무완충기의 저널부분의 결합부 및 체결부에 대한 특징과 고무의 탄성부에 대한 부가적인 특징을 부각시켜 기존 특허를 회피하여 개발하였다. EFG제품의 외관형상의 경우 Centersill의 고정적인 치수에 의해 비슷한 형상을 하고 있지만 가격 타 제품과는 빠른 유지보수성, 유지보수비용 및 에너지 흡수 용량 면에서 경쟁력을 가지고 있다. 현재까지 개재된 논문에서 본 연구에서 연구하고자하는 EFG고무완충기의 핵심적인 기술을 찾을 수 없었다. 관련논문은 별도 첨부하도록 하겠다.

④ 분석 결론

EFG고무완충기의 특허, 제품, 논문을 조사하여, 이전의 선행연구가 이루어졌는지와 선행연구와의 차별화를 위해 3P분석을 하였다. 3P분석 결과 EFG고무완충기에 관련된 특허는 8건, 관련제품은 4건이 있으며, 관련 논문은 약 350개의 논문 중 5건이 본 연구와 가장 근접하다. 특허의 경우 EFG 고무완충 방식의 원천특허가 소멸되었으므로 문제의 소지가 없다. 또한 제품의 외형은 철도차량의 Centersill의 구조적 특성상 외국제품과 비슷한 형상을 가질 수밖에 없으며, 5건의 논문을 분석한 결과 본 과제와 중복되는 기술은 찾아볼 수 없었다. 논문의 경우 EFG 고무완충방식의 핵심기술은 발견되지 않았다. 기존기술과 본 과제의 개발기술간의 비교분석 내용을 <표 1.3>와 같이 정리하였다.

<표 1.3> 기존 고무완충기 및 개발기술 비교

		다관형 고무완충기	링형 고무완충기	관절형 고무완충기(개발기술)	
				EFG2형	EFG3형
에너지 흡수 부재		다관형 고무	링형 고무	관절형 고무	
에너지 흡수 용량	정적	580 kg-m 이상	10 kJ 내외	4.1 kJ	14.1 kJ
	동적			6.3 kJ	19 kJ
스트로크(mm)		40	압축 45 인장 40	압축 45 인장 40	압축 55 인장 40
압축강도(kN)		600 이상	800	700	1000

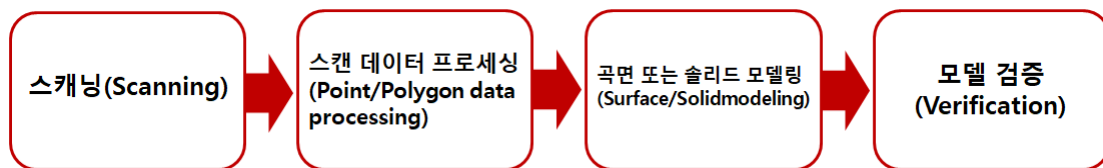
2. 핵심 원천기술 개발 내용 및 성과

가. 고무완충기 해석 및 설계기술

(1) EFG2 설계 원천기술 개발

(가) 역설계

역설계는 설계 데이터가 존재하지 않는 실물의 형상을 스캔하여 디지털화된 형상 정보를 획득하고, 이를 기반으로 3D CAD 모델 데이터를 만드는 작업이다. 역설계의 작업 과정은 대상체 3차원 스캔 작업, 스캔 데이터 프로세싱, 모델링 작업, 모델 검증 순으로 이뤄진다.



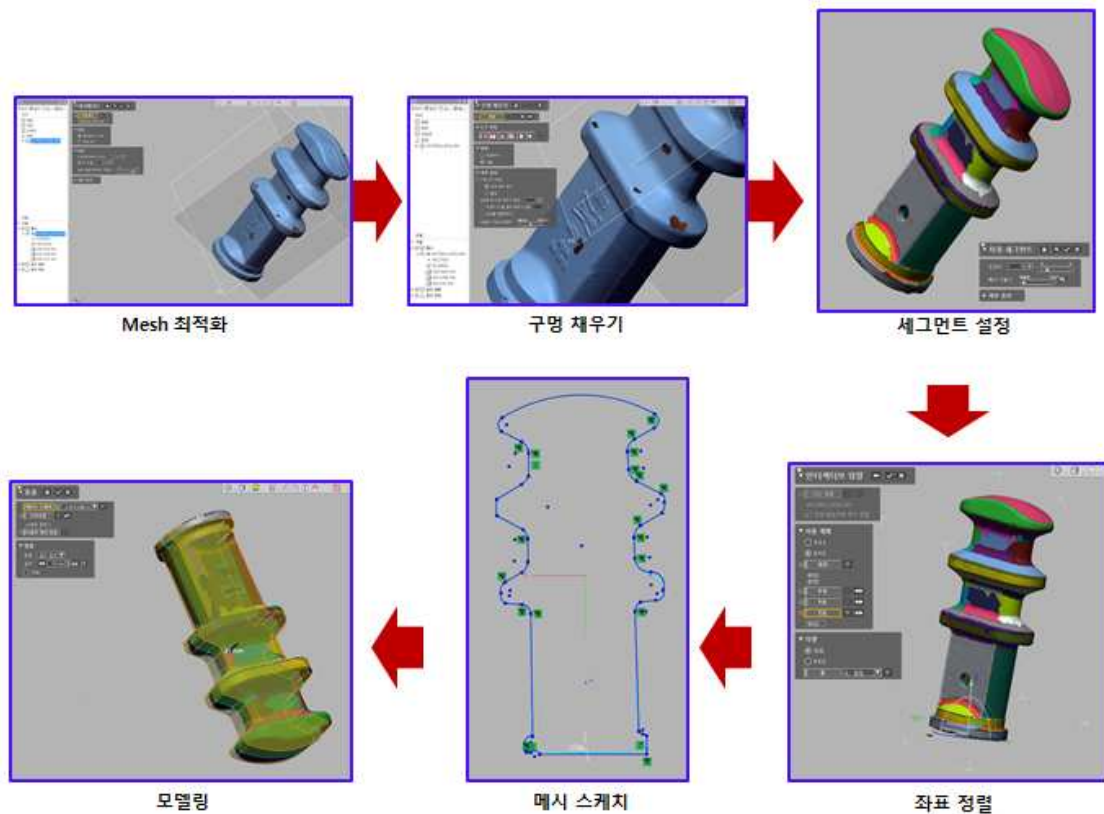
<그림 2.1> 역설계 과정

먼저 3차원 측정 스캐닝 장비를 사용하여 역설계 할 대상체를 스캐닝한다. 스캐닝을 시작하기 전에 대상의 크기, 수량, 형상의 복잡성, 표면 광택 등의 특성과 요구되는 정밀도를 파악하여 적합한 스캐너 셋팅이 요구된다.



<그림 2.2> EFG 형식 고무완충기 주요 부품의 3차원 스캔 작업

스캐닝을 통해 획득한 점군(Point cloud)데이터를 처리하여 양질의 포인트 또는 폴리곤 데이터를 생성하게 된다. 이 과정에서 불필요한 정보를 삭제하고 속아내 점군 데이터에서 삼각메쉬를 생성하는 폴리곤화, 서로 다른 위치에서 측정한 데이터를 동일 기준좌표로 맞추는 정합, 각 데이터를 하나의 데이터로 합치는 병합, 삼각 메쉬의 표면을 매끄럽게 하는 스무딩의 작업이 이뤄진다.



<그림 2.3> Design-X S/W를 활용한 역설계 과정

3D 스캔 장비를 통해 획득한 스캔 파일(STL 파일)을 역설계 전용 S/W인 Design-X 를 활용하여 위의 과정을 통해 역설계 모델링 작업을 수행하였다. Design-X 에서 STL 파일을 불러오면 그 데이터를 기반으로 곡선, 곡면, 솔리드 형상같은 CAD 모델링 작업을 수행하게 된다. Design-X에서 완료한 3D 모델링은 Solidworks, Creo 등과 같은 3차원 CAD 모델 S/W로 변환이 가능하며, Design-X 프로그램과의 호환성이 가장 좋은 Solidworks S/W를 사용하여 EFG 고무완충기 주요 부품의 3차원 CAD 모델링을 수행하였다.



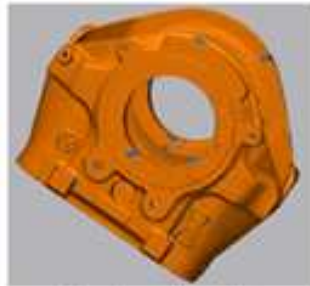
Upper shell



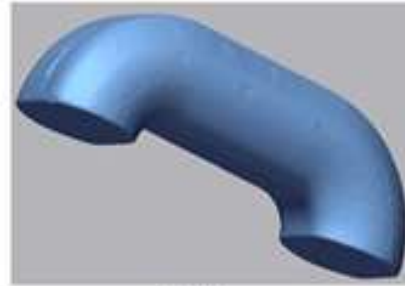
Lower shell



Draw bar



Bearing bracket



Rubber

EFG2 고무완충기 3D 스캔 모델(STL 파일)

역설계 S/W Design -X 작업 수행



Lower shell



Draw bar



Rubber



Upper shell



Bearing bracket



Journal



Assembly

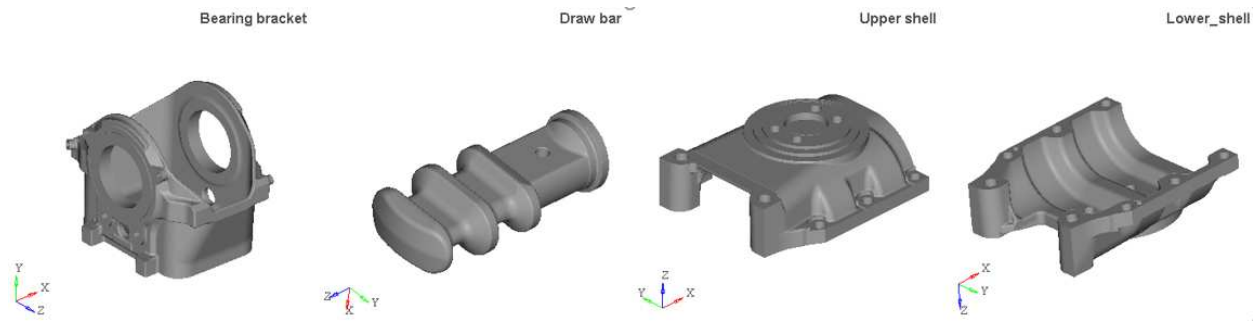
EFG2 고무완충기 부품의 Solidworks 3D CAD 모델

<그림 2.4> 역설계 작업을 통해 완료한 EFG2 고무완충기 3D CAD 모델

(나) 구조해석 및 소재선정

① 정하중 강도해석 개요

EFG2 고무완충기의 정하중 강도해석은 최대 압축 및 인장하중 작용 시 고무완충기를 구성하고 있는 구조품(Bearing bracket, Draw bar, Upper shell, Lower shell)이 하중을 지지하는 충분한 강도설계가 적용되었는지 확인하기 위해 수행하였다. 해석은 선형 유한요소 해석 상용 Implicit solver인 Altair사의 Optistruct 2018을 사용하여 수행하였다.



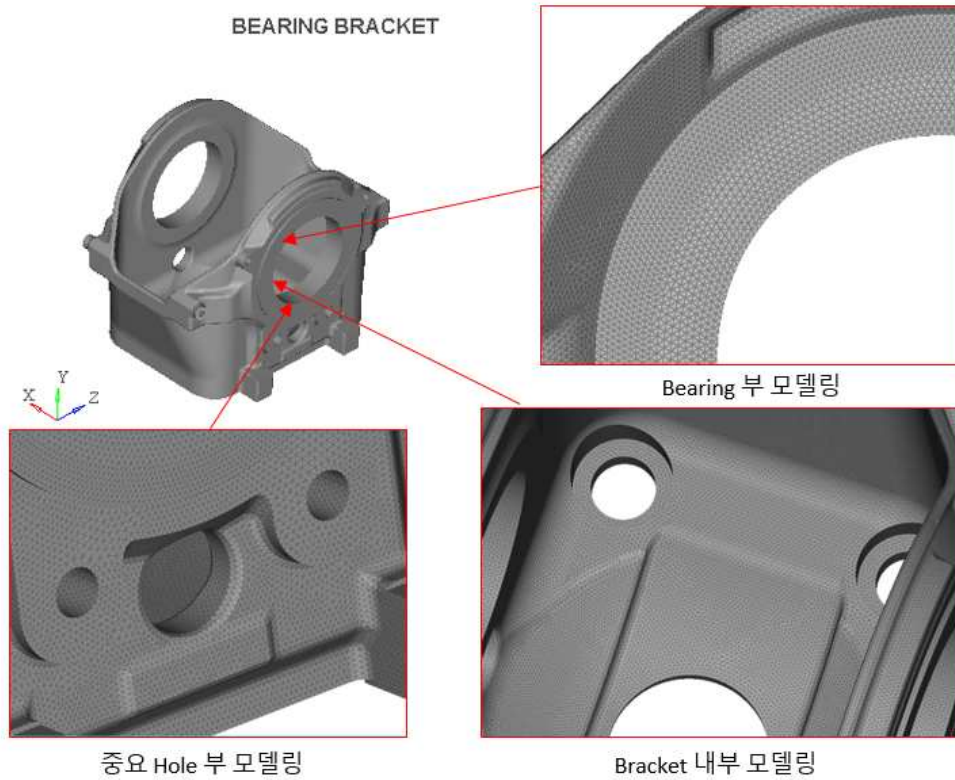
<그림 2.5> EFG2 각 부품 3D 모델

② FE 모델링

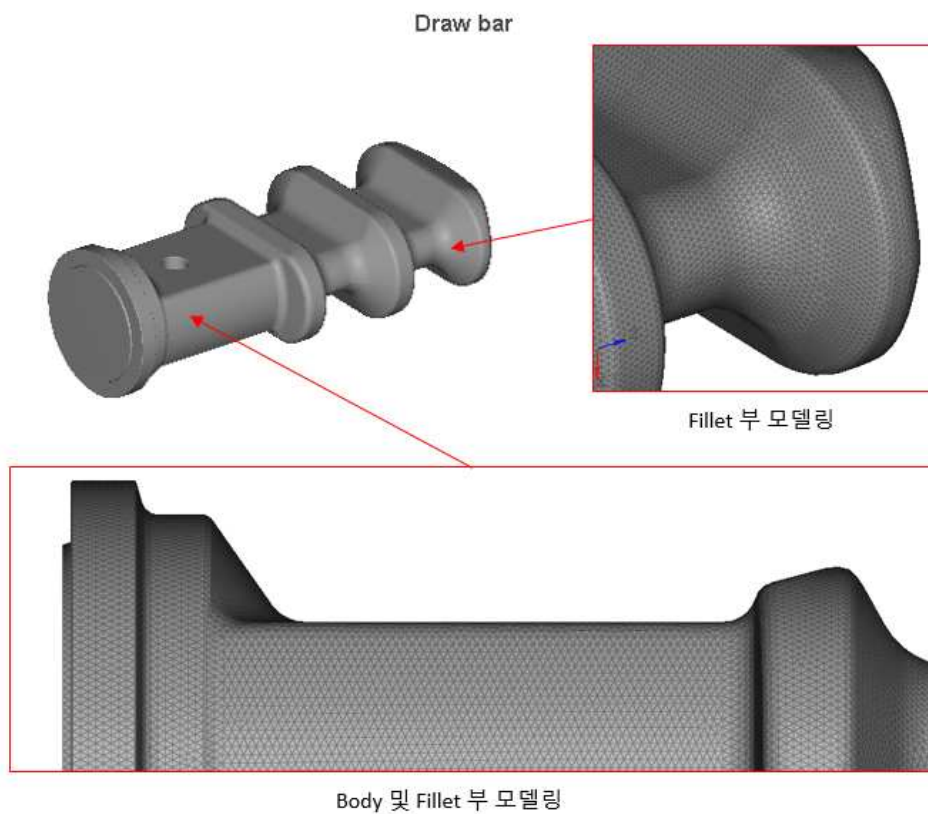
EFG2 고무완충기의 3D CAD 모델의 Geometry 정보를 바탕으로 유한요소 모델링을 수행하였다. 고무완충기를 구성하는 각 부품이 주조품이기 때문에 복잡한 굴곡을 가진 표면 형상을 감안하여 TETRA4 요소를 사용하여 탄성체로 모델링하였으며, 요소 크기는 2mm를 사용하여 Fillet부와 같이 특수 형상을 최대한 구현하였다. <표 2.1> 및 <그림 2.6~8>에 각 부품의 유한요소 모델의 정보와 상세 요소모델을 정리하였다.

<표 2.1> 각 부품 유한요소 모델 상세

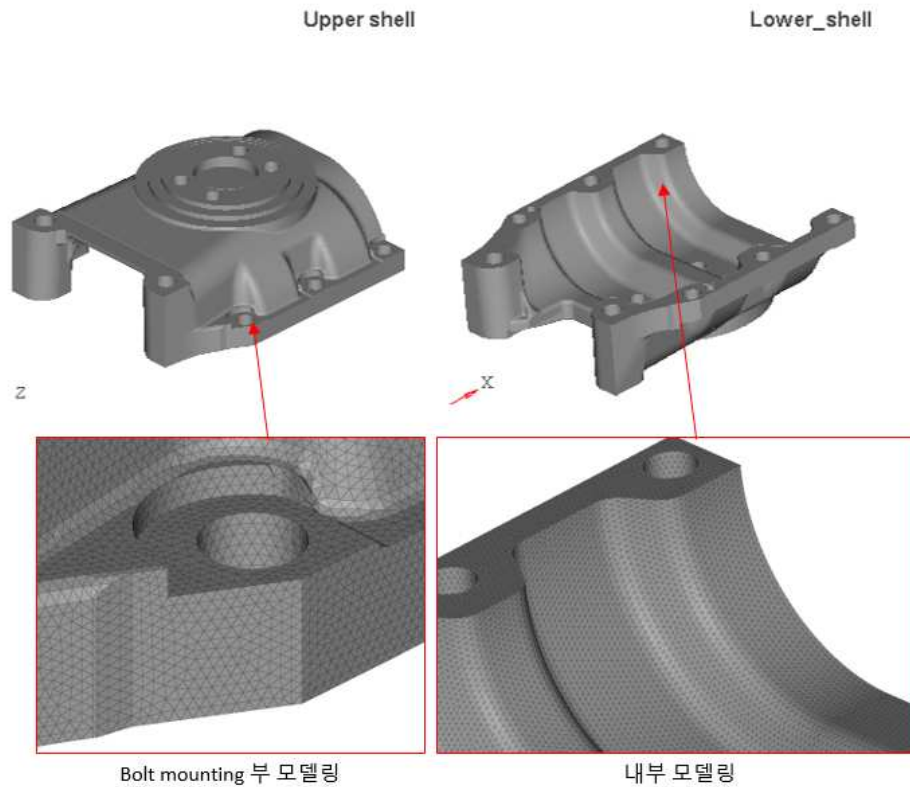
Part name	Node(ea)	Element(ea)	Element size
Bearing bracket	351,317	1,642,075	2mm
Draw bar	186,219	936,094	
Upper shell	171,886	801,124	
Lower shell	162,034	751,980	



<그림 2.6> Bearing bracket 상세 모델



<그림 2.7> Draw bar 상세모델



<그림 2.8> Upper & Lower shell 상세모델

③ 재료

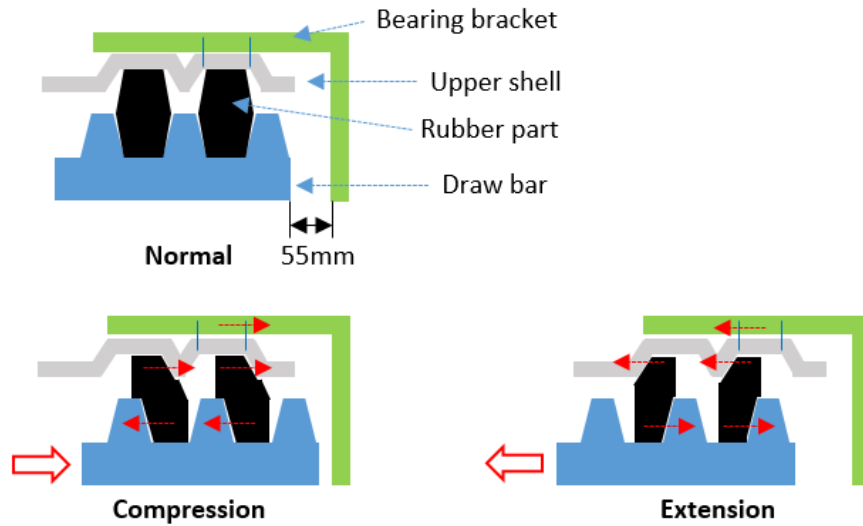
고무완충기의 각 부품은 구상 흑연주철(Spheroidal graphite iron)으로 GCD 500 및 GCD 700 재료를 사용하였다. 구상 흑연주철은 우수한 강성과 충격강도를 가지며, 다른 주철 재료와는 다르게 충분한 연성을 갖는 재료이다. 정하중 강도해석을 위해 재료 모델은 탄성체로 모델링 하였으며, Optistruct의 MAT1(Isotropic linear elastic material) card를 사용하였다. <표 2.2>는 고무완충기 각 부품의 재료 특성을 나타낸다.

<표 2.2> 고무완충기 각 부품 재료 특성

Part	Material	Standard			Test result			
		Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Young's modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
Bearing bracket	GCD 500	500↑	320↑	7↑	169	521	413	13.6
Upper shell						530	419	17.9
Lower shell						523	409	17.6
Draw bar	GCD 700	700↑	420↑	2↑	180	929	569	5.4

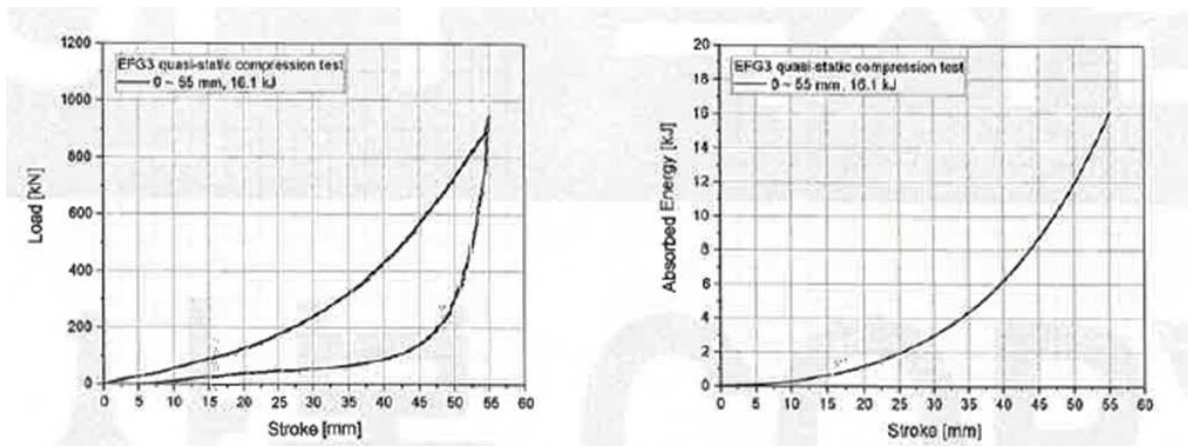
④ 하중 및 경계조건

하중 및 경계조건은 고무완충기 작동원리에 따라 각 부품에 작용하는 하중 크기를 계산하여 설정하였다. 고무완충기는 Draw bar에 작용하는 하중 방향에 따라 Shell 부품과 Draw bar 부품 사이의 고무 부품으로 인하여 각 부품에 작용하는 하중 전달방향이 결정된다. Draw bar 압축 및 인장시 하중 작용 방향은 <그림 2.9>와 같다.



<그림 2.9> EFG2 고무완충기 작동에 따른 하중 전달 메커니즘

<그림 2.9>에서와 같이 Draw bar는 압축 방향으로 약 55mm 이동 후 Bearing bracket이 취부되는 차체부와 Hard contact이 발생하는 구조로 설계되어 있다. 이때 하중은 약 900~1000 kN사이의 하중이 발생하게 된다.(<그림 2.10> 참고) 결국 고무완충기의 압축하중 발생시 Draw bar는 1500 kN까지 압축하중을 받게 되지만, Bearing bracket, Upper & Lower shell의 경우 1000 kN 이상의 하중이 부하되지 않는 메커니즘을 갖고 있다.

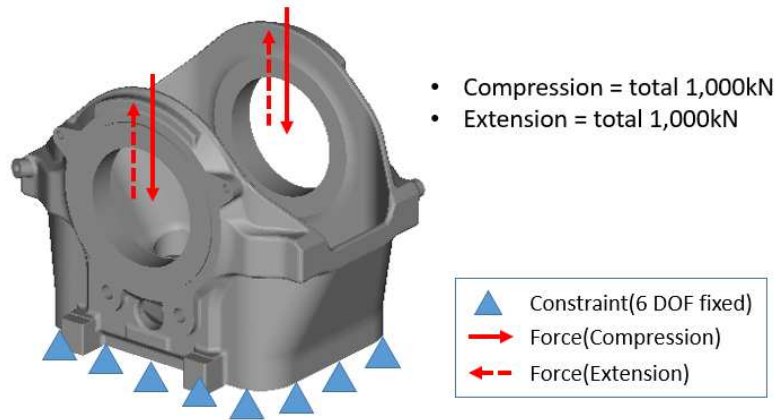


<그림 2.10> EFG3 고무완충기 정하중 시험결과
(좌:하중-변위 곡선, 우:에너지-변위곡선)

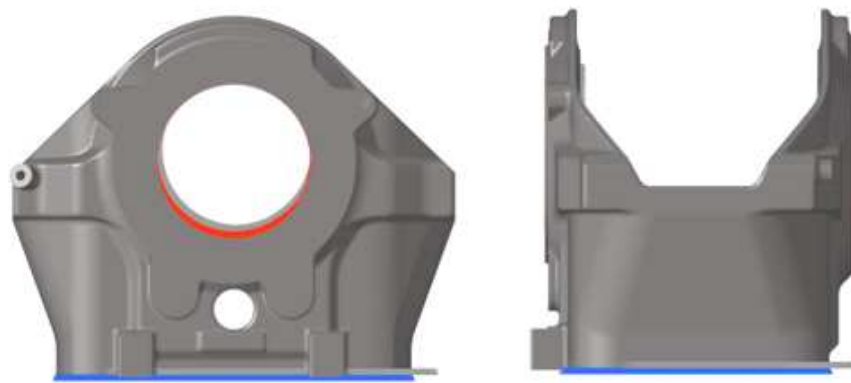
각 부품의 정하중 강도해석을 위해 고무완충기 작동에 따른 하중 전달 메커니즘을 고려하여 아래와 같이 하중 및 경계조건을 설정하였다.

㉔ Bearing bracket 정하중 강도해석

Bearing bracket은 Upper & Lower shell과 연결되어 EFG2 고무완충기의 하중을 차체에 전달하는 역할과 완충기의 회전을 담당한다. 그러므로 <그림 2.11, 12>와 같이 Bracket 바닥의 차체 고정부는 모든 자유도를 구속하였고, Shell body와 연결되는 양측 Bearing부에 하중을 부하하였다. 하중은 Bearing bracket의 최대 압축하중(1,000 kN)과 인장하중(1,000 kN)을 각각 분포하중으로 부하하였다.



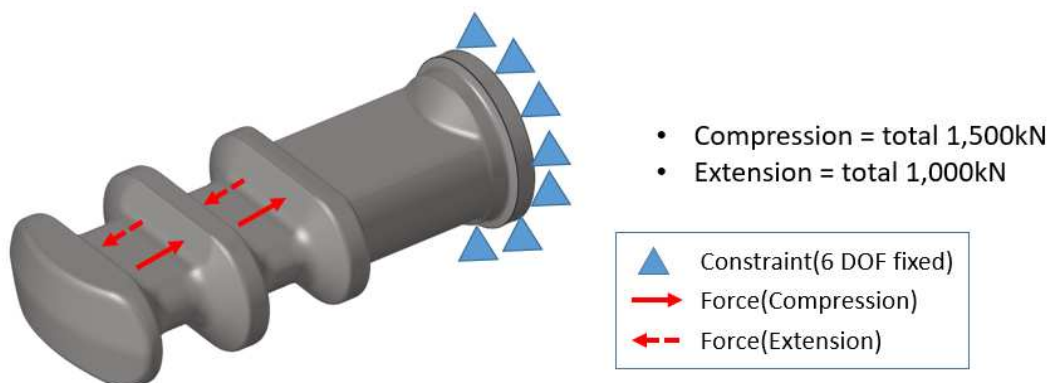
<그림 2.11> Bearing bracket 하중 및 경계조건



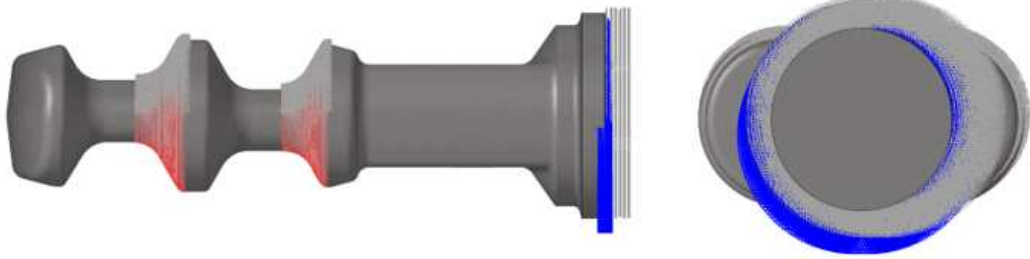
<그림 2.12> Bearing bracket 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)

㉔ Draw bar 정하중 강도해석

Draw bar는 고무완충기 작동시 고무 파트와 접촉하며, Upper & Lower shell 파트와 함께 고무파트를 압축시키는 역할을 담당한다. <그림 2.9>와 같이 고무파트 압축에 따라 Draw bar는 고무완충기 이동 방향에 반대 방향으로 하중이 작용하게 되므로 <그림 2.13~14>와 같이 압축 및 인장 상태의 하중조건을 정리할 수 있다. 하중 작용면에 6 자유도 모두 구속하고, 고무파트 접촉면에 분포하중으로 압축(1,500kN) 및 인장(1,000kN)하중을 부과하였다.



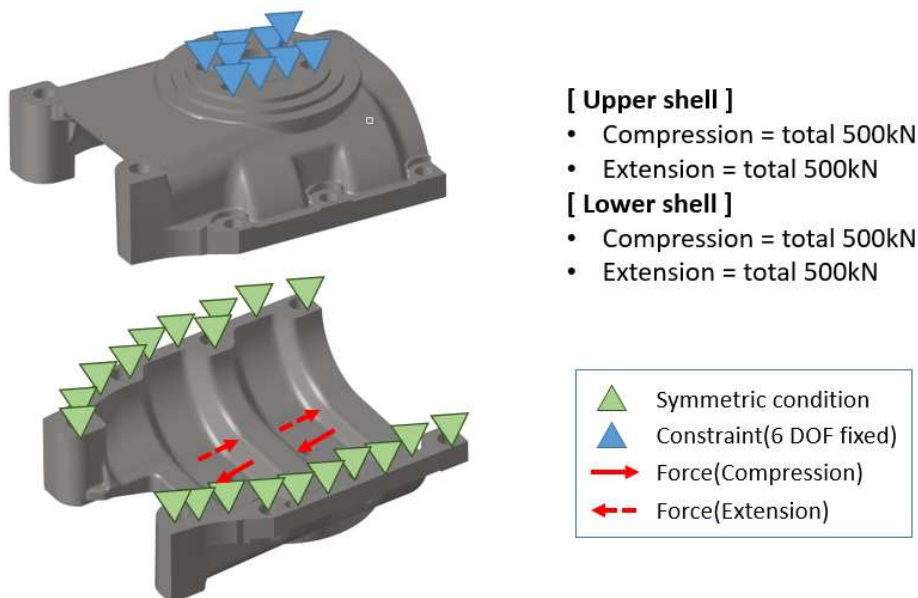
<그림 2.13> Draw bar 하중 및 경계조건



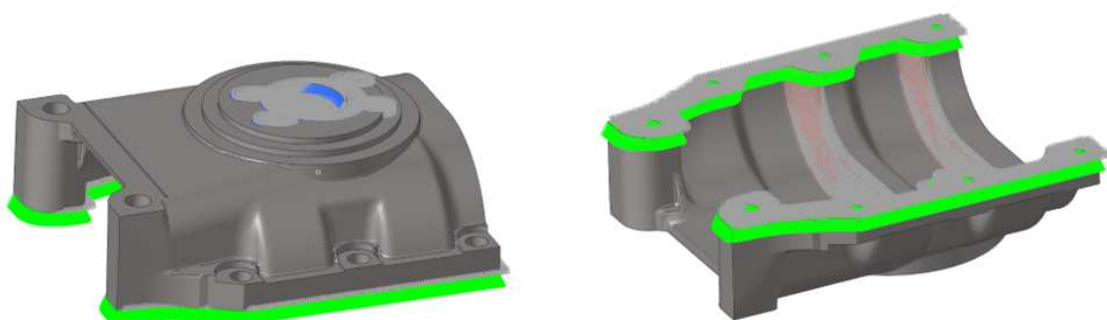
<그림 2.14> Draw bar 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)

㉔ Upper & Lower shell 정하중 강도해석

Upper 및 Lower shell은 Draw bar로 인하여 압축된 고무부품의 반력을 지지하는 역할을 담당하며, 고무부품과 Draw bar를 감싸는 형태로 제작된다. <그림 2.9>와 같이 하중 작용방향은 Draw bar의 이동방향과 같은 방향으로 작용하게 되고, Upper shell과 Lower shell이 압축 및 인장하중을 각각 1/2씩 나누어 지지한다고 가정하면 <그림 2.15>와 같이 하중 및 경계조건을 정리할 수 있다. Upper & Lower shell이 Bearing bracket과 연결되는 부분을 6자유도 모두 구속하였고, Upper & Lower shell이 연결되는 접촉면에 symmetric 경계조건을 설정하였다. 하중은 고무파트의 접촉면에 하중전달 방향으로 Upper & Lower shell 각각 압축 및 인장하중의 1/2인 500 kN을 부과하였다.



<그림 2.15> Upper & Lower shell 하중 및 경계조건



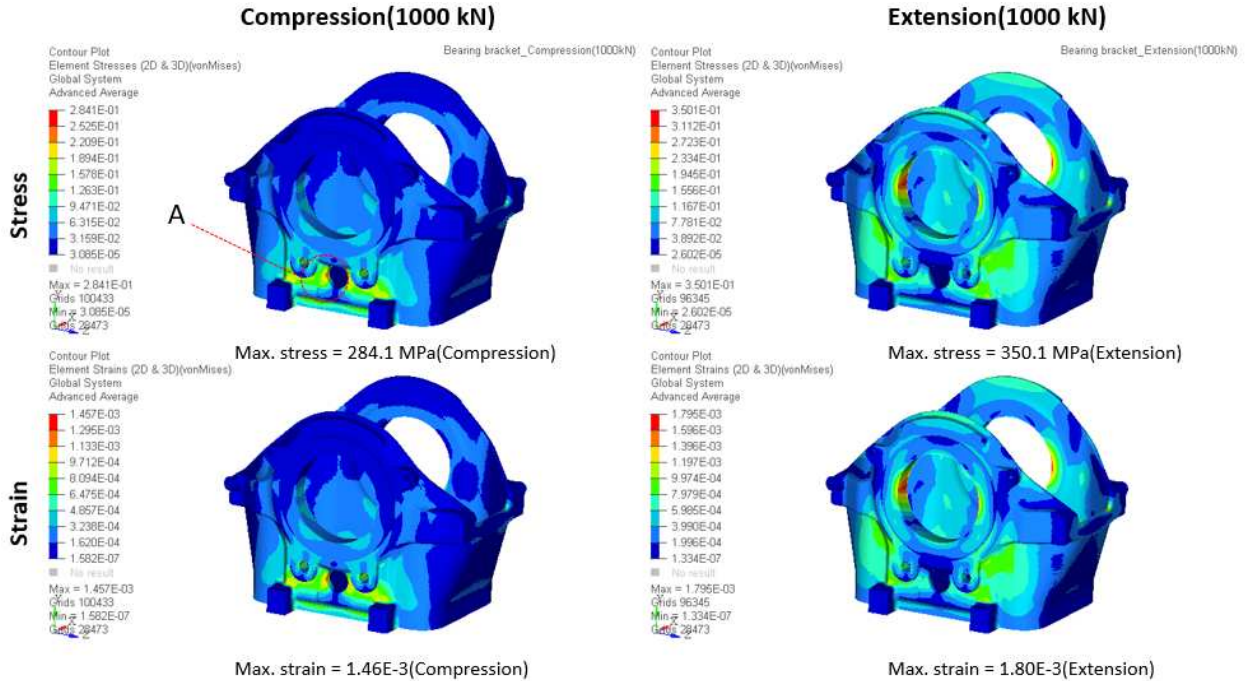
<그림 2.16> Upper shell 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)

⑤ 해석 결과

고무완충기를 구성하는 각 구조품의 최대 압축 및 인장하중에 대한 해석결과 발생한 최대응력은 재료의 항복응력 이하임을 확인할 수 있었다. 각 부품의 상세 해석결과는 아래와 같다.

㉞ Bearing bracket 정하중 해석결과

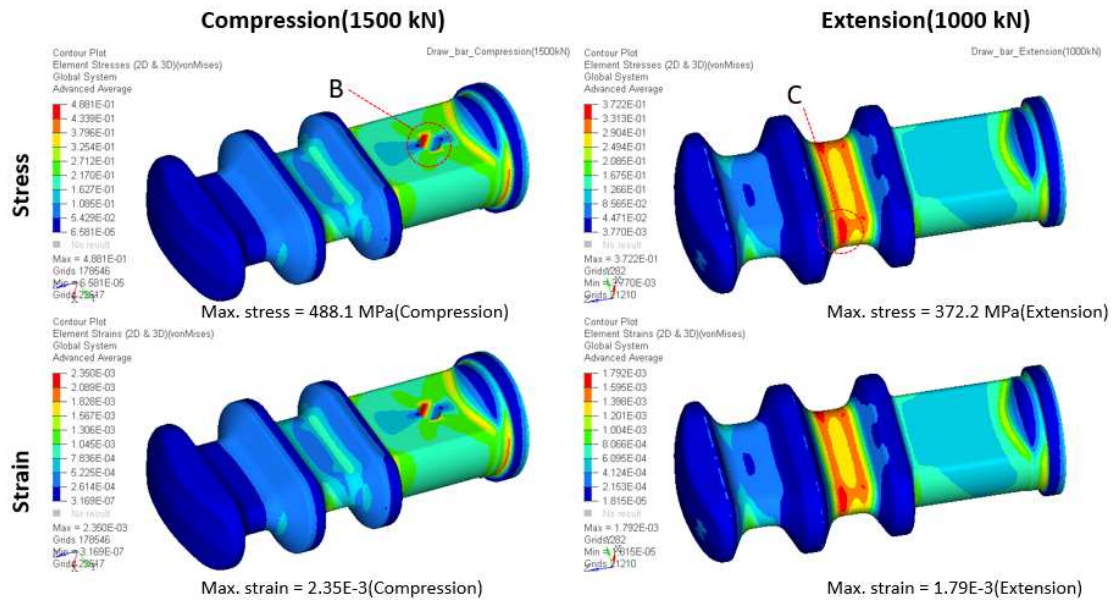
Bearing bracket 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 284.1 MPa, 인장시 350.1 MPa으로 재료의 항복응력인 413 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 Bearing 부근에서 압축 및 인장하중을 지지하는 <그림 2.17>의 A지점에서 발생하였다.



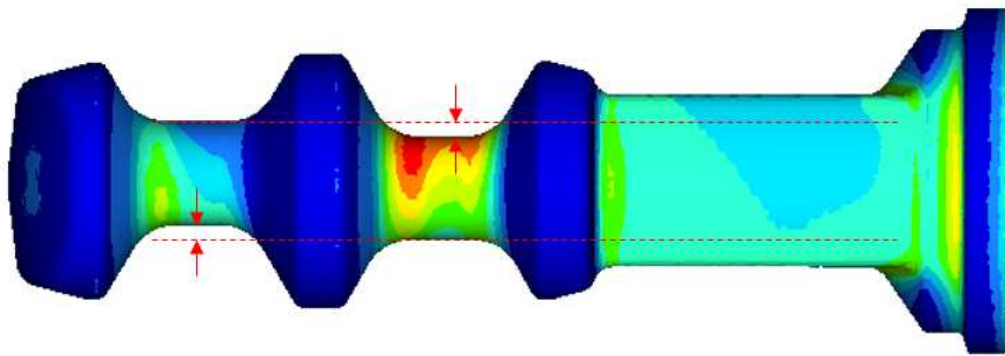
<그림 2.17> Bearing bracket 정하중 해석결과

㉟ Draw bar 정하중 해석결과

Draw bar 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 488.1 MPa, 인장시 372.2 MPa으로 재료의 항복응력인 569 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 <그림 2.18>과 같이 Draw bar 본체의 Hole 부근(B)에서 발생하였으며, 인장하중의 경우 첫 번째 고무파트와 조립되는 Draw bar 필렛부(C)에서 발생하였다. 특히 인장하중 작용시 첫 번째 접촉면과 두 번째 접촉면의 해석결과가 상이하게 다른 이유는 고무압축의 효율을 높이기 위해 각 접촉면의 단차를 주어 설계하였기 때문이다.<그림 2.19> 참고)



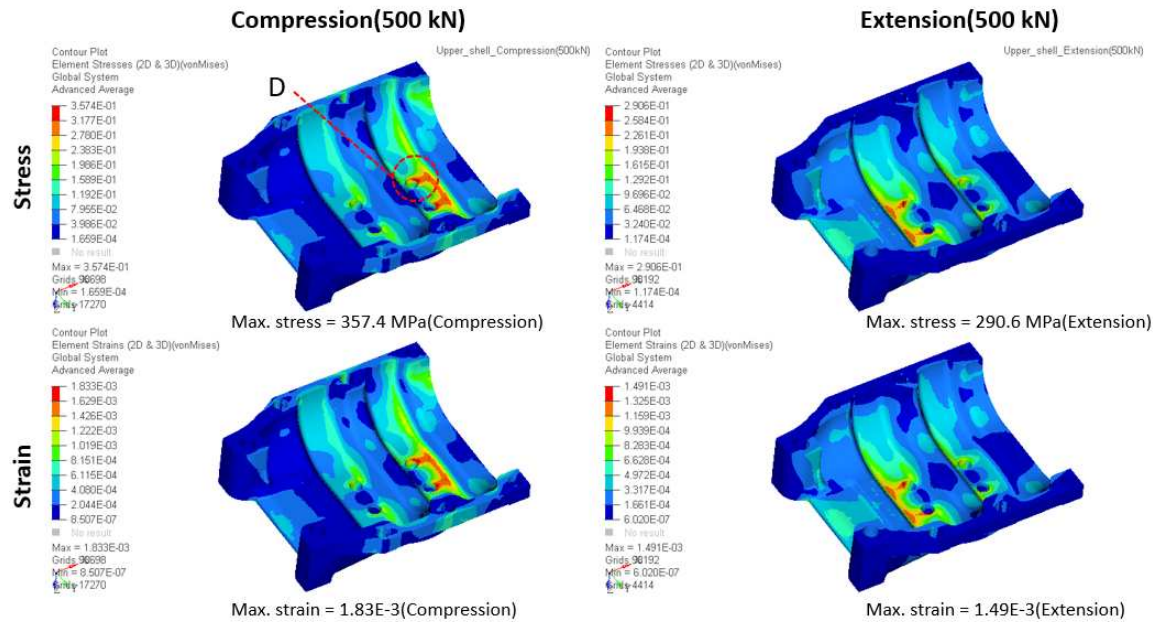
<그림 2.18> Draw bar 정하중 해석결과



<그림 2.19> Draw bar 1,2차 고무 접촉면 단차에 따른 해석결과 분석

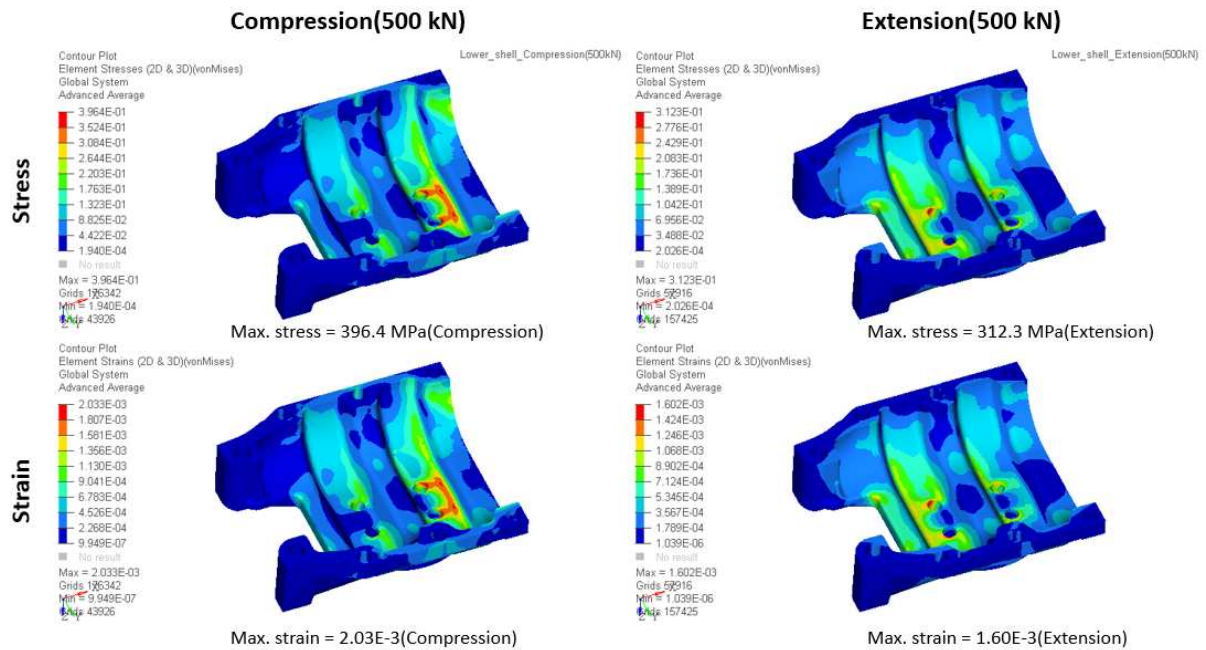
㊤ Upper & Lower shell 정하중 해석결과

Upper shell 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 357.4 MPa, 인장시 290.6 MPa으로 재료의 항복응력인 419 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 <그림 2.20>과 같이 Bearing bracket과 연결되는 볼트 홀 부근(D)에서 발생하였다.



<그림 2.20> Upper shell 정하중 해석결과

Lower shell 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 396.4 MPa, 인장시 312.3 MPa으로 재료의 항복응력인 409 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 Upper shell과 마찬가지로 <그림 2.21>과 같이 Bearing bracket과 연결되는 볼트 홀 부근에서 발생하였다.



<그림 2.21> Lower shell 정하중 해석결과

⑥ 해석결과 분석 및 결론

고무완충기 구조품의 정하중 구조해석결과 발생한 최대응력은 재료의 항복응력 내에서 발생하였으므로 고무완충기 작동시 구조적 문제가 발생하지 않을 것으로 예측할 수 있다. 고무완충기 구조품 중 최대응력은 Draw bar에서 예측되었으며, 압축하중 작용시 488.1 MPa로 항복강도 대비 85% 수준(안전율 1.16)으로 설계되었다. Lower shell 압축시 최대응력은 396.4 MPa으로 항복응력 대비 97% 수준의 응력이 발생한 것으로 나타났다. 고무완충기의 안전율 기준이 규정되지 않은 점을 감안하면 항복응력 이하로 구조적 문제는 발생하지 않을 것으로 예상되지만 해당 부분의 응력수준을 시험을 통해 확인할 필요가 있다.

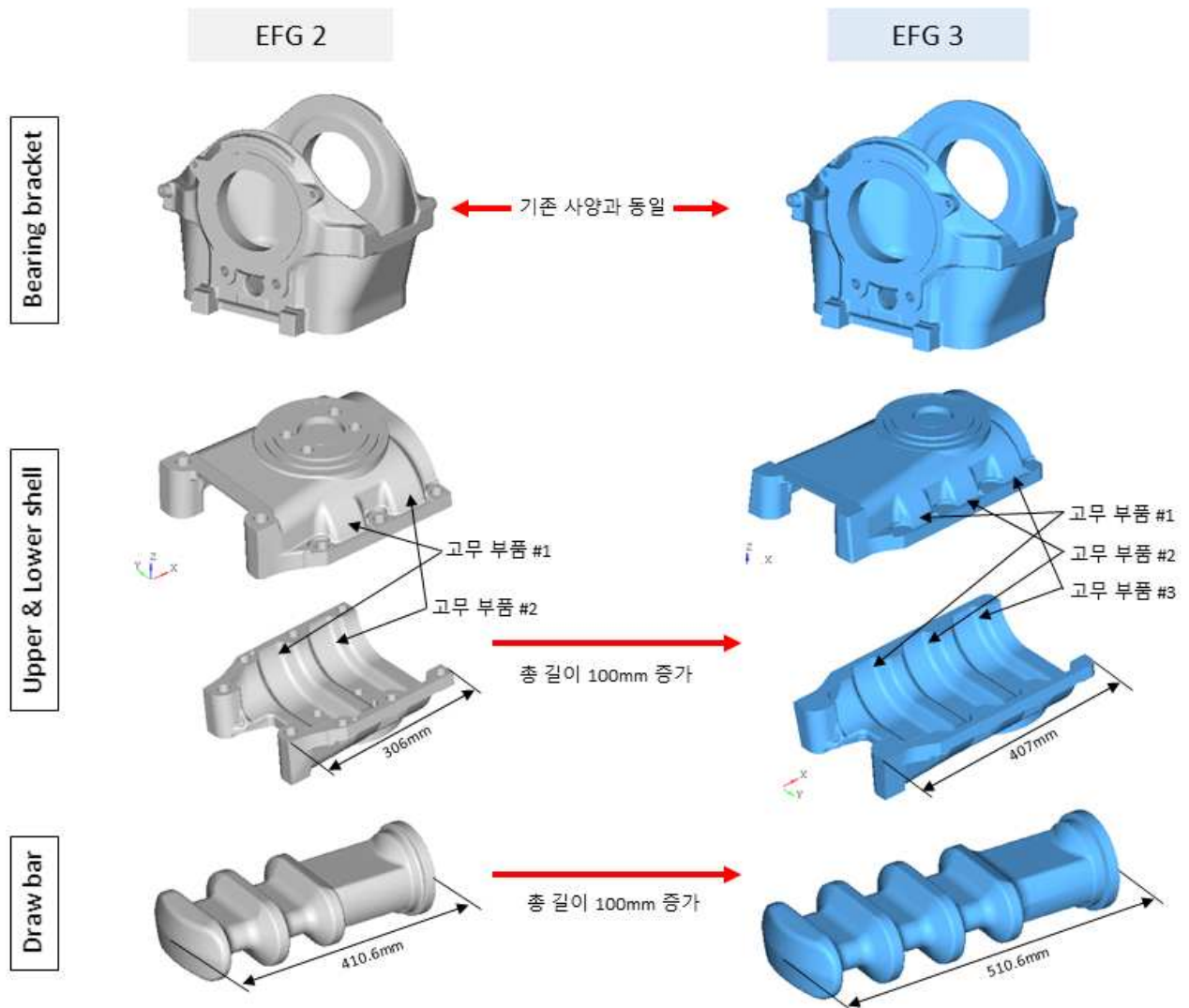
<표 2.3> 고무완충기 정하중 해석결과

Part	Material(Test)			Simulation result			
	Material	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Compression		Extension	
				Max. stress (MPa)	Max. strain	Max. stress (MPa)	Max. strain
Bearing bracket	GCD500	413	521	284.1	1.46E-3	350.1	1.80E-3
Upper shell		419	530	357.4	1.83E-3	290.6	1.49E-3
Lower shell		409	523	396.4	2.03E-3	312.3	1.60E-3
Draw bar	GCD700	569	929	488.1	2.35E-3	372.2	1.79E-3

(2) EFG3 설계 원천기술개발

(가) EFG3 설계

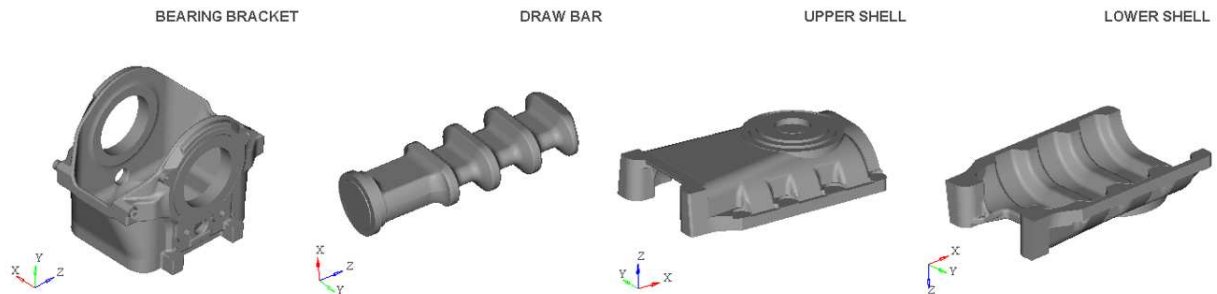
EFG3의 경우 EFG2를 기반으로 하여 설계하였으며 설계안은 아래와 같다. 베어링 브라켓과 베어링피봇부는 변화가 없으며 Upper/Lower Shell 및 드로우바의 고무부품 삽입부가 1열씩 추가하였다.



(나) 구조해석 및 소재선정

① 정하중 강도해석 개요

본 과제에서 개발된 EFG3 고무완충기의 정하중 강도해석은 최대 압축 및 인장하중 작용시 고무완충기를 구성하고 있는 주요부품(Bearing bracket, Draw bar, Upper shell, Lower shell)이 하중을 지지하는 충분한 강도설계가 적용되었는지 확인하기 위해 수행하였다. 해석은 선형 유한요소 해석 상용 Implicit solver인 Altair사의 Optistruct 2018을 사용하여 수행하였다.



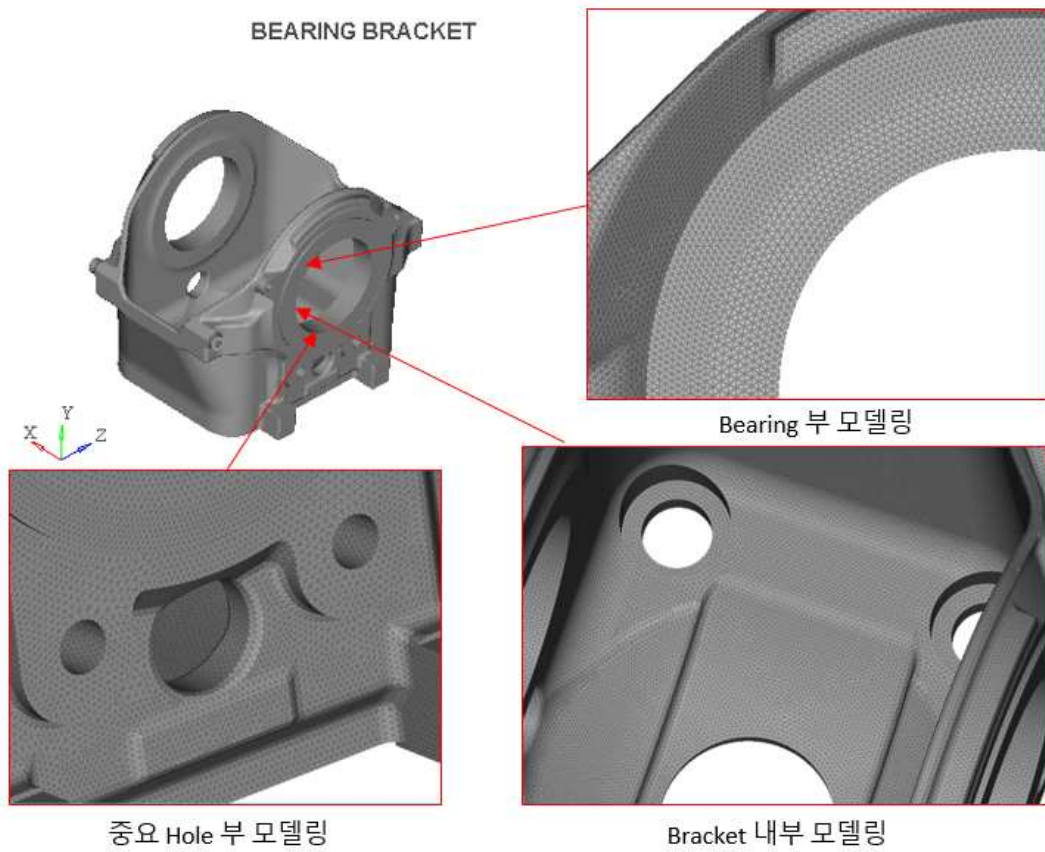
<그림 2.22> EFG3 각 부품 3D 모델

② FE 모델링

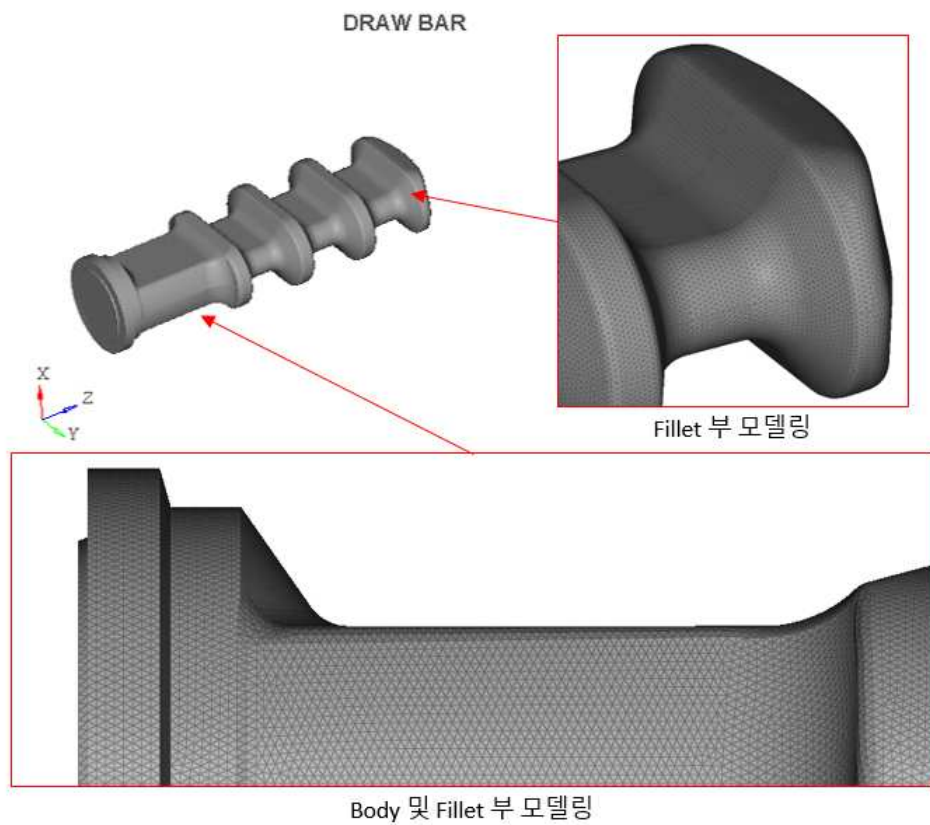
본 과제에서 개발된 고무완충기의 3D CAD 모델의 Geometry 정보를 바탕으로 유한요소 모델링을 수행하였다. 고무완충기를 구성하는 각 부품이 주조품이기 때문에 복잡한 굴곡을 가진 표면 형상을 감안하여 TETRA4 요소를 사용하여 탄성체로 모델링하였으며, 요소 크기는 2mm를 사용하여 Fillet부와 같이 특수 형상을 최대한 구현하였다. <표 2.4> 및 <그림 2.23~25>에 각 부품의 유한요소 모델의 정보와 상세 요소모델을 정리하였다.

<표 2.4> 각 부품 유한요소 모델 상세

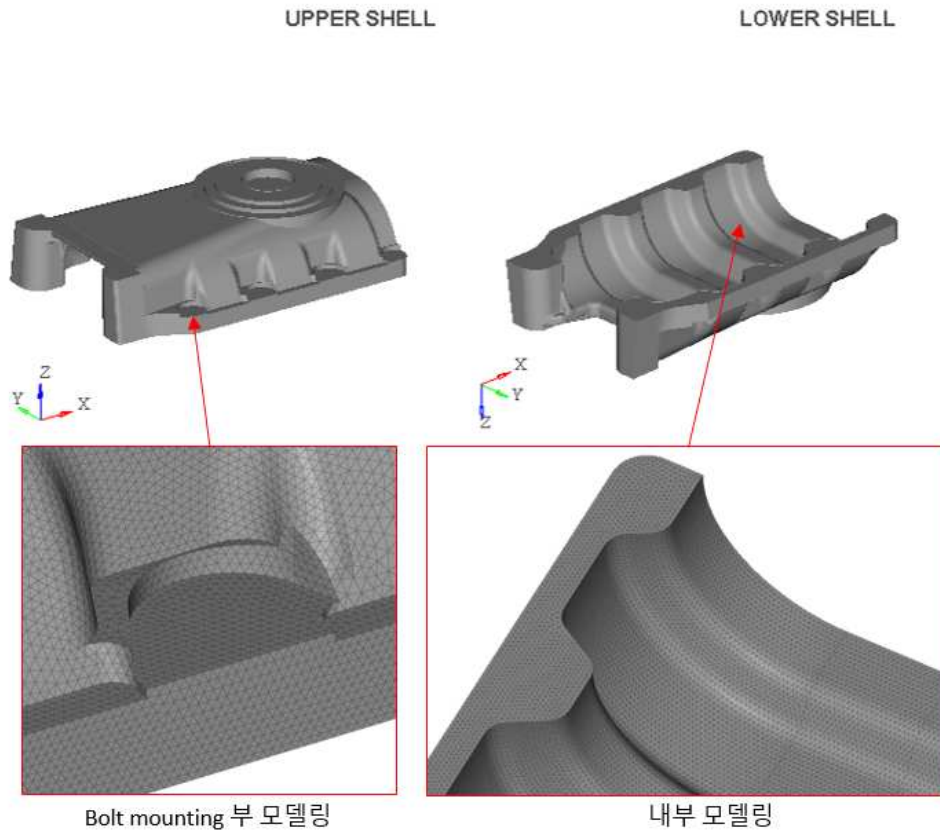
Part name	Node(ea)	Element(ea)	Element size
Bearing bracket	351,317	1,642,075	2mm
Draw bar	193,101	944,877	
Upper shell	207,628	971,476	
Lower shell	205,477	960,440	



<그림 2.23> Bearing bracket 상세 모델



<그림 2.24> Draw bar 상세모델



<그림 2.25> Upper & Lower shell 상세모델

③ 재료

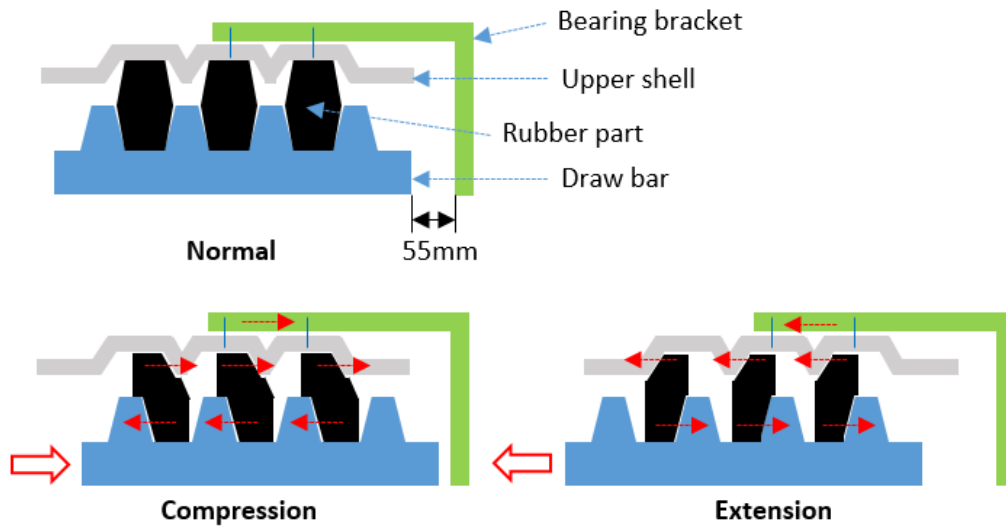
고무완충기의 각 부품은 구상 흑연주철(Spheroidal graphite iron)으로 GCD 500 및 GCD 700 재료를 사용하였다. 구상 흑연주철은 우수한 강성과 충격강도를 가지며, 다른 주철 재료와는 다르게 충분한 연성을 갖는 재료이다. 정하중 강도해석을 위해 재료 모델은 탄성체로 모델링 하였으며, Optistruct의 MAT1(Isotropic linear elastic material) card를 사용하였다. <표 2.5>는 고무완충기 각 부품의 재료 특성을 나타낸다.

<표 2.5> 고무완충기 각 부품 재료 특성

Part	Material	Standard			Young's modulus (GPa)	Test result		
		Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)		Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
Bearing bracket	GCD 500	500↑	320↑	7↑	169	521	413	13.6
Upper shell						530	419	17.9
Lower shell						523	409	17.6
Draw bar	GCD 700	700↑	420↑	2↑	180	929	569	5.4

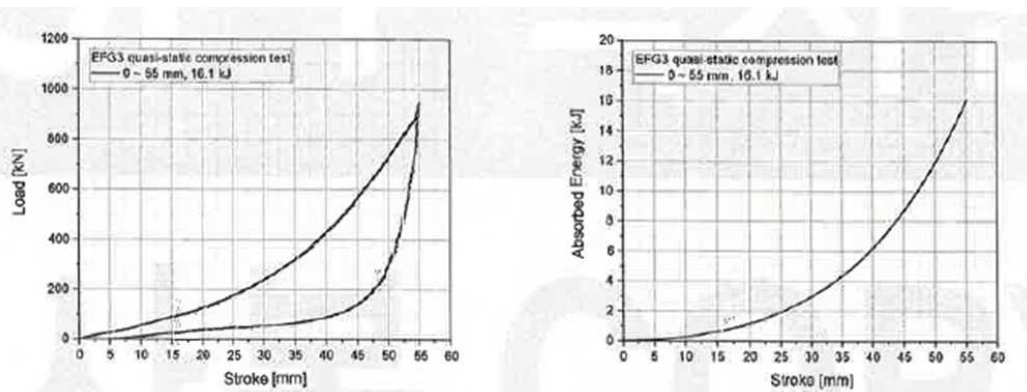
④ 하중 및 경계조건

하중 및 경계조건은 고무완충기 작동원리에 따라 각 부품에 작용하는 하중 크기를 계산하여 설정하였다. 고무완충기는 Draw bar에 작용하는 하중 방향에 따라 Shell 부품과 Draw bar 부품 사이의 고무 부품으로 인하여 각 부품에 작용하는 하중 전달방향이 결정된다. Draw bar 압축 및 인장시 하중 작용 방향은 <그림 2.26>과 같다.



<그림 2.26> EFG3 고무완충기 작동에 따른 하중 전달 메커니즘

<그림 2.26>에서와 같이 Draw bar는 압축 방향으로 약 55mm 이동 후 Bearing bracket이 취부되는 차체부와 Hard contact가 발생하는 구조로 설계되어 있다. 이때 하중은 약 900~1000 kN사이의 하중이 발생하게 된다.(<그림 2.27> 참고) 결국 고무완충기의 압축하중 발생시 Draw bar는 1500 kN까지 압축하중을 받게 되지만, Bearing bracket, Upper & Lower shell의 경우 1000 kN 이상의 하중이 부하되지 않는 메커니즘을 갖고 있다.

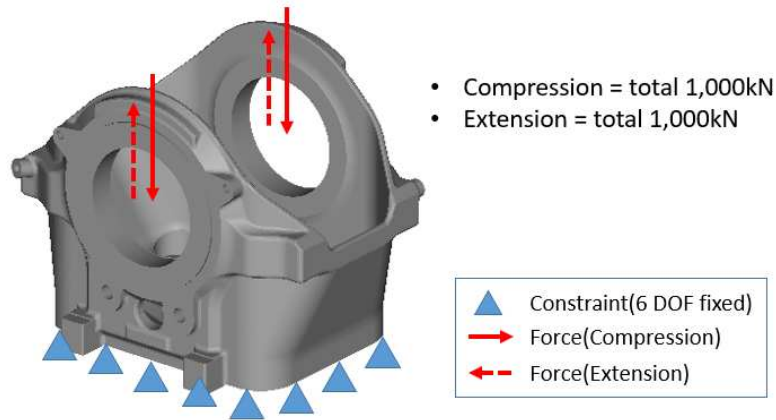


<그림 2.27> EFG3 고무완충기 정하중 시험결과
(좌:하중-변위 곡선, 우:에너지-변위곡선)

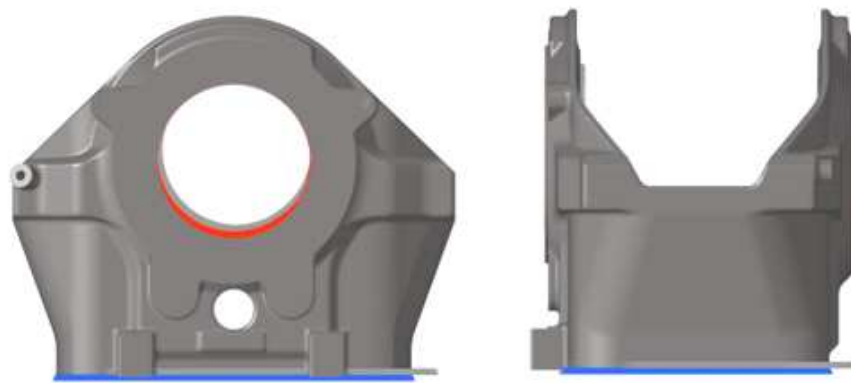
각 부품의 정하중 강도해석을 위해 고무완충기 작동에 따른 하중 전달 메커니즘을 고려하여 아래와 같이 하중 및 경계조건을 설정하였다.

㉓ Bearing bracket 정하중 강도해석

Bearing bracket은 Upper & Lower shell과 연결되어 EFG 고무완충기의 하중을 차체에 전달하는 역할과 완충기의 회전을 담당한다. 그러므로 <그림 2.28, 29>와 같이 Bracket 바닥의 차체 고정부는 모든 자유도를 구속하였고, Shell body와 연결되는 양측 Bearing부에 하중을 부하하였다. 하중은 Bearing bracket의 최대 압축하중(1,000 kN)과 인장하중(1,000 kN)을 각각 분포하중으로 부하하였다.



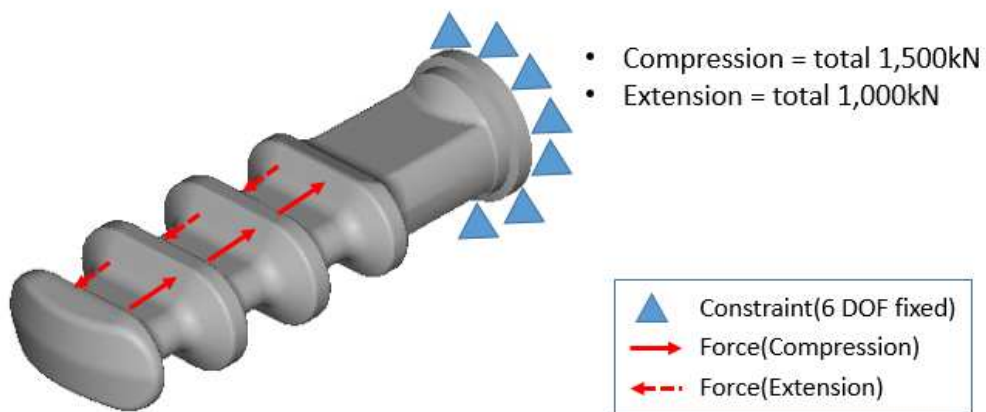
<그림 2.28> Bearing bracket 하중 및 경계조건



<그림 2.29> Bearing bracket 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)

㉔ Draw bar 정하중 강도해석

Draw bar는 고무완충기 작동시 고무 파트와 접촉하며, Upper & Lower shell 파트와 함께 고무파트를 압축시키는 역할을 담당한다. <그림 2.26>과 같이 고무파트 압축에 따라 Draw bar는 고무완충기 이동 방향에 반대 방향으로 하중이 작용하게 되므로 <그림 2.30>과 같이 압축 및 인장 상태의 하중조건을 정리할 수 있다. 하중 작용면에 6 자유도 모두 구속하고, 고무파트 접촉면에 분포하중으로 압축(1,500kN) 및 인장(1,000kN)하중을 부하하였다.



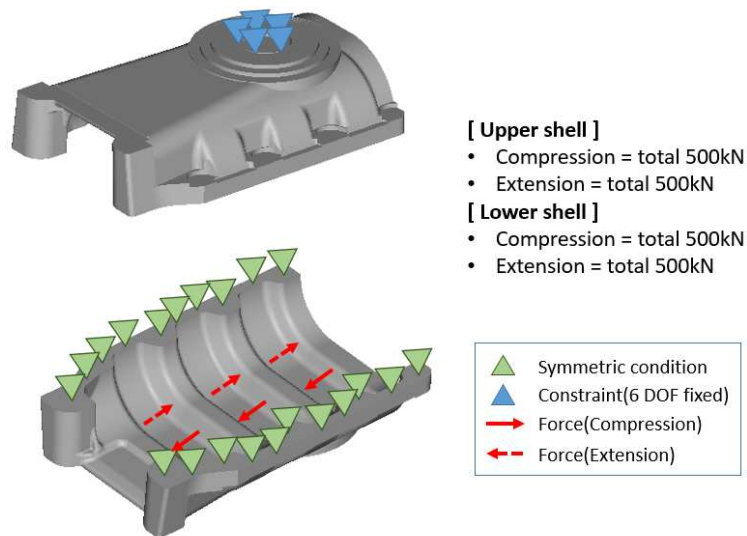
<그림 2.30> Draw bar 하중 및 경계조건



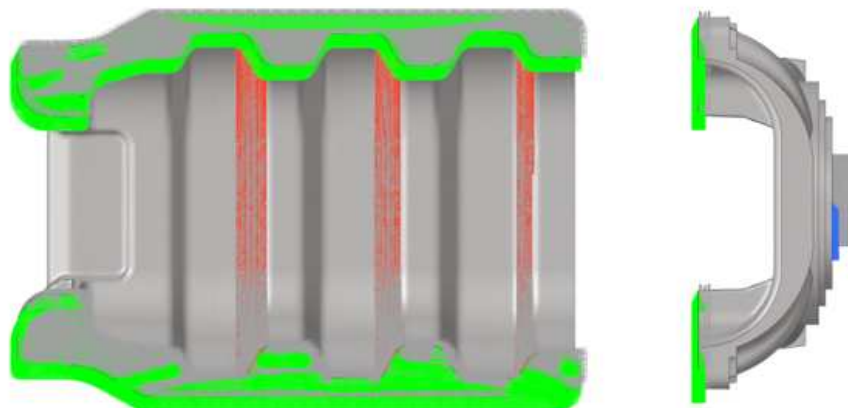
<그림 2.31> Draw bar 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)

㉔ Upper & Lower shell 정하중 강도해석

Upper 및 Lower shell은 Draw bar로 인하여 압축된 고무부품의 반력을 지지하는 역할을 담당하며, 고무부품과 Draw bar를 감싸는 형태로 제작된다. <그림 2.26>과 같이 하중 작용방향은 Draw bar의 이동방향과 같은 방향으로 작용하게 되고, Upper shell과 Lower shell이 압축 및 인장하중을 각각 1/2씩 나누어 지지한다고 가정하면 <그림 2.32>와 같이 하중 및 경계조건을 정리할 수 있다. Upper & Lower shell이 Bearing bracket과 연결되는 부분을 6자유도 모두 구속하였고, Upper & Lower shell이 연결되는 접촉면에 symmetric 경계조건을 설정하였다. 하중은 고무파트의 접촉면에 하중전달 방향으로 Upper & Lower shell 각각 압축 및 인장하중의 1/2인 500 kN을 부하하였다.



<그림 2.32> Upper & Lower shell 하중 및 경계조건



<그림 2.33> Upper shell 해석모델 하중 및 경계조건(압축하중)

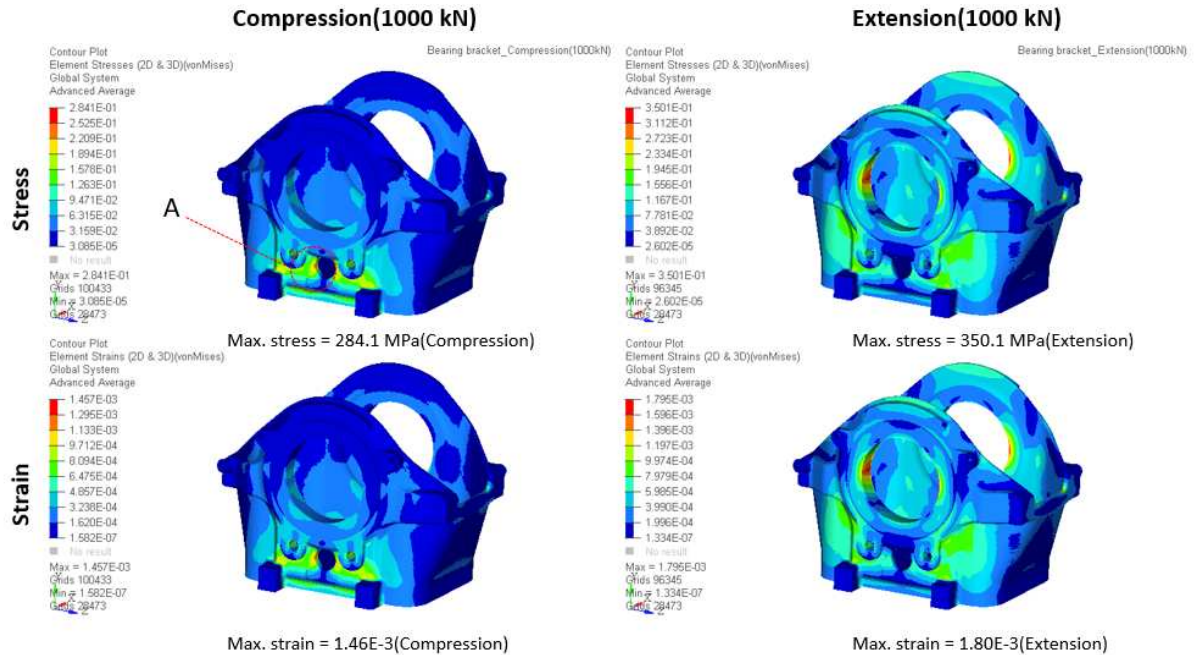
⑤ 해석 결과

고무완충기를 구성하는 각 구조품의 최대 압축 및 인장하중에 대한 해석결과 발생한 최대응력은 재료의 항복응력 이하임을 확인할 수 있었다. 각 부품의 상세 해석결과에는 아래와 같다.

㉞ Bearing bracket 정하중 해석결과

Bearing bracket은 EFG2 부품과 같은 부품을 사용하였으므로 해석결과는 EFG2 해석결과와 같다. EFG3 정하중 해석결과의 이해를 위해 본 절에서 다시 한번 아래와 같이 기술하였다.

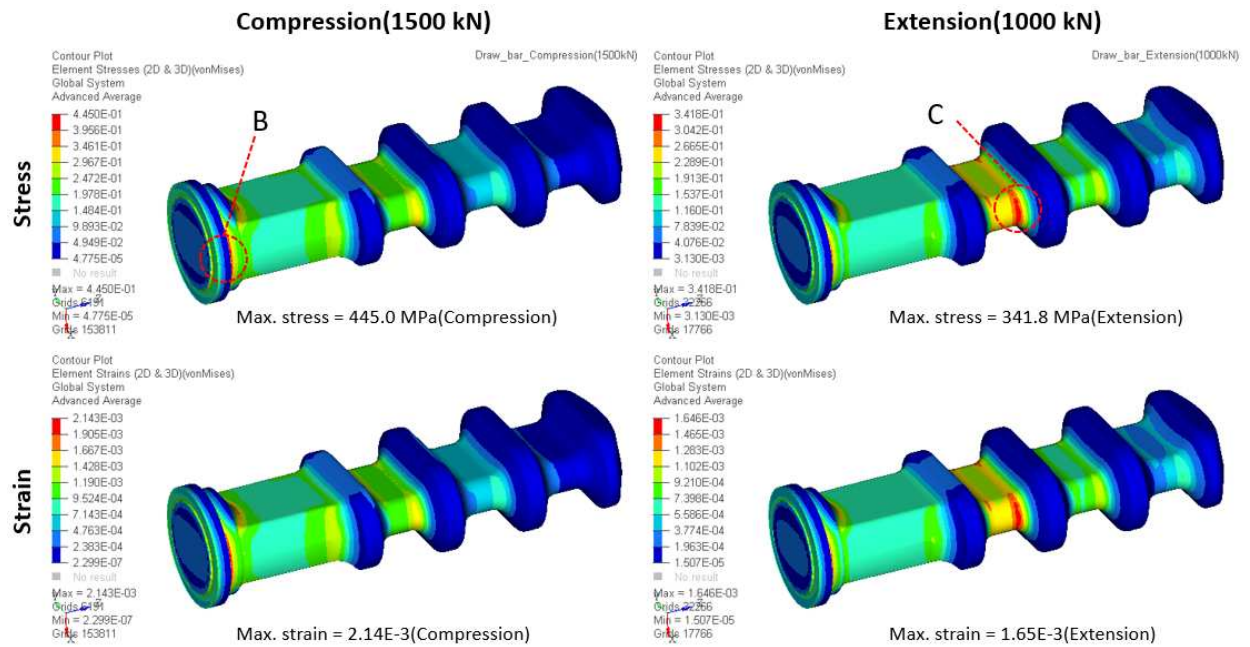
Bearing bracket 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 284.1 MPa, 인장시 350.1 MPa으로 재료의 항복응력인 413 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 Bearing 부근에서 압축 및 인장하중을 지지하는 <그림 2.34>의 A지점에서 발생하였다.



<그림 2.34> Bearing bracket 정하중 해석결과

㉟ Draw bar 정하중 해석결과

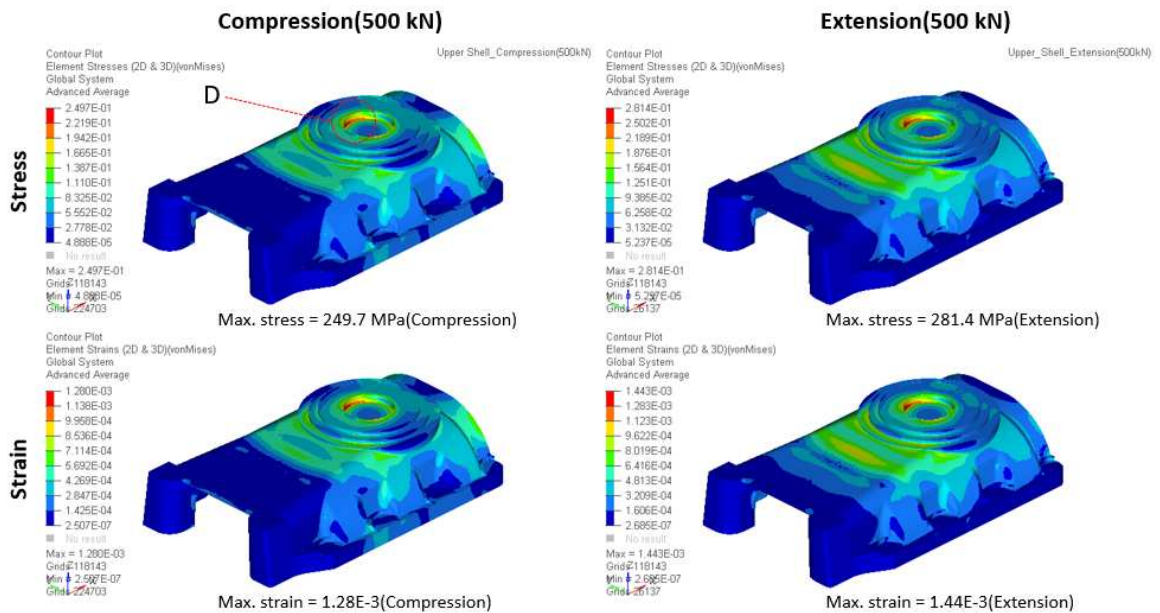
Draw bar 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 445.0 MPa, 인장시 341.8 MPa으로 재료의 항복응력인 569 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 <그림 2.35>와 같이 압축하중의 경우 연결기와 연결되는 접촉면 부근(B)에서 발생하였으며, 인장하중의 경우 첫 번째 고무파트와 조립되는 Draw bar 필렛부(C)에서 발생하였다.



<그림 2.35> Draw bar 정하중 해석결과

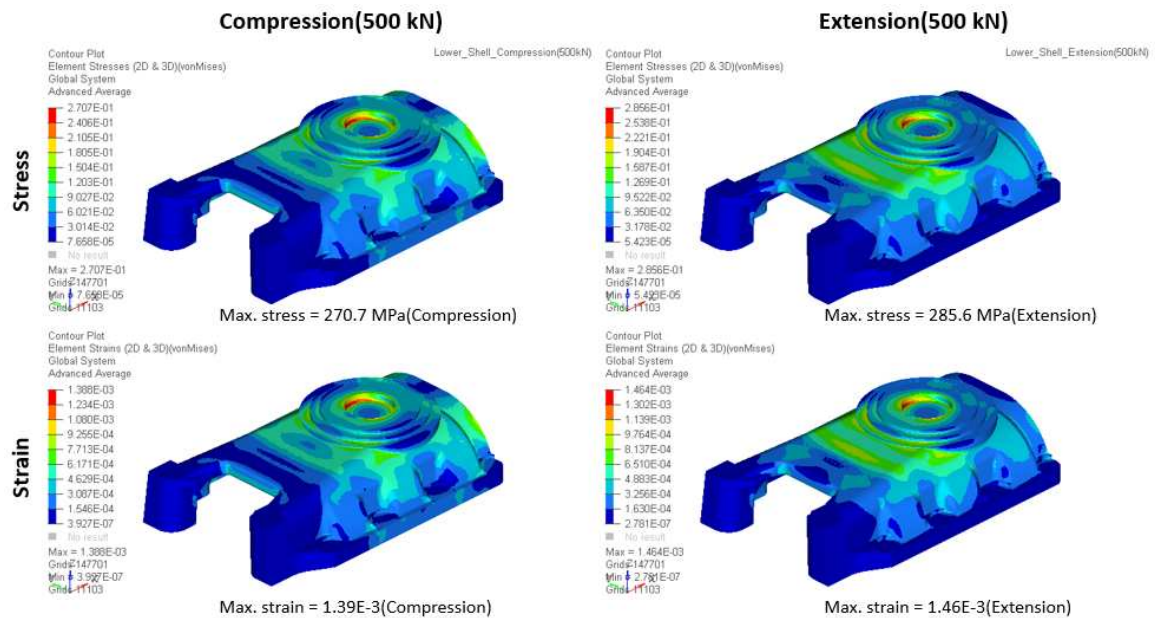
㊤ Upper & Lower shell 정하중 해석결과

Upper shell 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 249.7 MPa, 인장시 281.4 MPa으로 재료의 항복응력인 419 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 <그림 2.36>과 같이 Bearing bracket과 연결되는 원형 홈(D)에서 발생하였다.



<그림 2.36> Upper shell 정하중 해석결과

Lower shell 해석결과 Von mises 최대응력은 압축시 270.7 MPa, 인장시 285.6 MPa으로 재료의 항복응력인 409 MPa 이하로 예측되었다. 최대응력 발생지점은 Upper shell과 마찬가지로 <그림 2.37>과 같이 Bearing bracket과 연결되는 원형 홈에서 발생하였다.



<그림 2.37> Lower shell 정하중 해석결과

⑥ 해석결과 분석 및 결론

고무완충기 구조품의 정하중 구조해석결과 발생한 최대응력은 재료의 항복응력 내에서 발생하였으므로 고무완충기 작동시 구조적 문제가 발생하지 않을 것으로 예측할 수 있다. 고무완충기 구조품 중 최대응력은 Draw bar에서 예측되었으며, 445 MPa로 항복강도 대비 78% 수준(안전율 1.28)로 설계되었으므로 고무완충기 작동시 구조적 문제는 없음을 확인할 수 있다.

<표 2.6> 고무완충기 정하중 해석결과

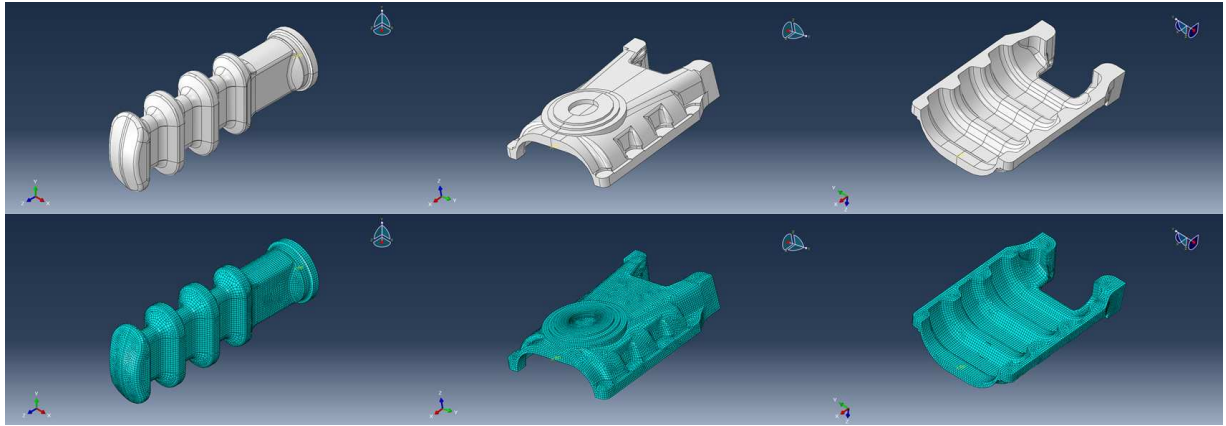
Part	Material(Test)			Simulation result			
	Material	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Compression		Extension	
				Max. stress (MPa)	Max. strain	Max. stress (MPa)	Max. strain
Bearing bracket	GCD500	413	521	284.1	1.46E-3	350.1	1.80E-3
Upper shell		419	530	249.7	1.28E-3	281.4	1.44E-3
Lower shell		409	523	270.7	1.39E-3	285.6	1.46E-3
Draw bar	GCD700	569	929	445.0	2.14E-3	341.8	1.65E-3

(다) 에너지흡수성능 해석

① 드로우바, 베어링브라켓 강체로 모델링, 55mm 압축

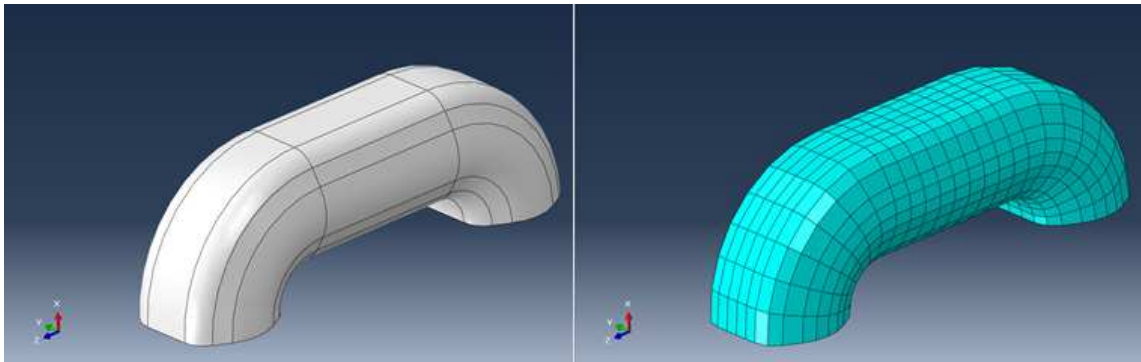
유한요소해석방법을 이용하여 EFG3 타입 고무완충기 해석기술을 확보하였다. 아래 그림과 같이 설계가 완료된 고무완충기 CAD 모델로부터 유한요소해석을 위한 형상정보를 획득하였고, 이를 바탕으로 해석에 필요한 요소망 생성을 하였다. 전/후 처리 및 해석에는 철도연이 보유 중인 상용 유한요소 해석 프로그램 ABAQUS/CAE 6.16을 활용하였다.

고무완충기의 Drawbar 및 상/하 Cover의 경우 Discrete rigid body로 모델링하였고 계산시간의 효율을 고려하여 Solid 모델로부터 Shell 모델을 생성하여 고려하였다. CAD 모델의 경우 국부적인 곡면 및 볼트삽입을 위한 홀등이 포함되어 있으므로 전체적으로는 사각형 요소를 이용하여 국부적으로 복잡한 형상이 나타날시에는 삼각형 요소를 이용하여 요소망을 생성하였다.



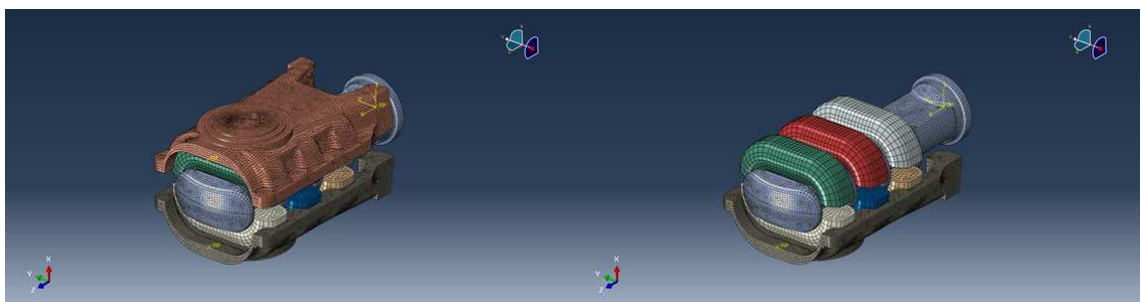
<그림 2.38> Draw bar, upper & lower shell FE 모델

고무의 경우 사각형 Solid 요소를 이용하여 요소망을 생성하였다. 기하비선형성 및 재료비선형성을 고려하기 위해 비선형요소를 이용하였고, 비압축성으로 인한 Volumetric Locking 등의 수치적 문제를 제어하기 위해 하이브리드 정식화 요소를 사용하였다.



<그림 2. 39> 고무파트 FE 모델

고무완충기 조립품의 요소망 최종형상은 아래 그림과 같다.

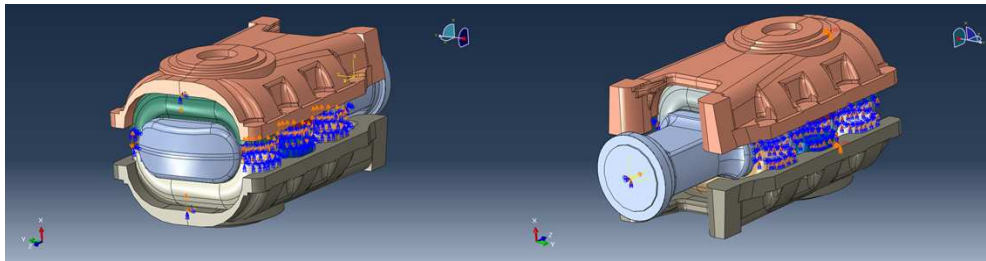


<그림 2.40> 고무완충기 FE 모델 Ass'y

경계 및 하중조건은 조립 과정과 정하중 시험과정의 2단계로 나누어 부여하였다.

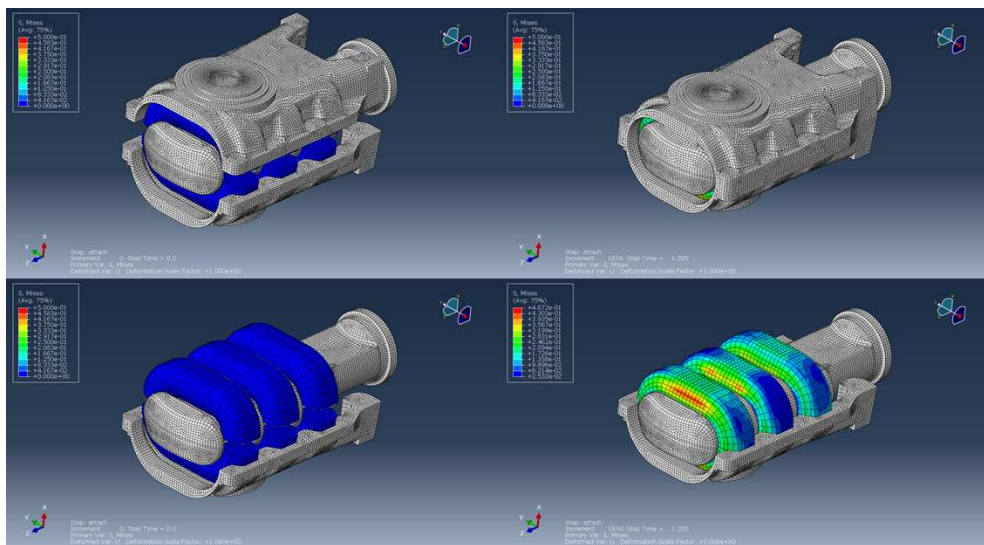
먼저, Drawbar가 고정되어 있는 상태에서 Initial penetration 이 없도록 배치된 완충기 고무와 상/하 Cover 가 수직방향으로 이동하여 조립되는 과정을 모사하였다. 이 과정에서 완충기 고무는 압축되어 초기 응력이 발생하게 된다.

다음으로 상/하 Cover를 고정시킨 상태에서 Drawbar를 55mm까지 이동시켜 정하중 시험과정을 모사하였다. 부여한 경계 및 하중조건은 아래 그림과 같다.



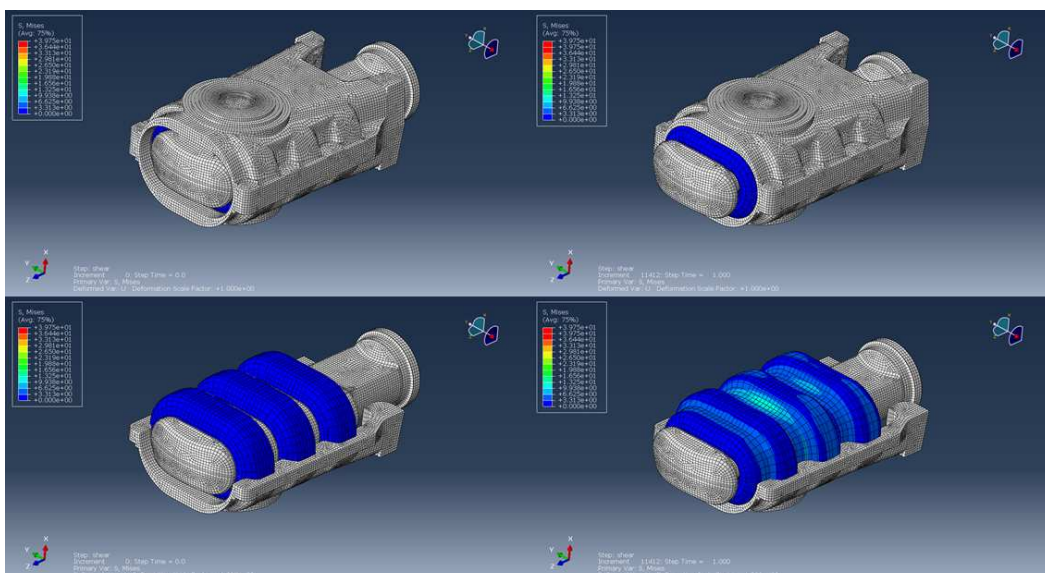
<그림 2.41> 고무완충기 해석모델 경계 및 하중조건

후술할 시편시험으로부터 도출된 Ogden 3차 모델을 이용하여 조립과정에 대한 준정적 해석을 수행한 결과는 다음과 같다. 좌측이 초기상태이고 우측이 해석 종료 시점에서의 von-Mises 응력 분포이며 아래쪽은 확인을 위해 Cover를 제거한 그림이다. 조립과정에서 고무에 걸리는 최대 압축응력은 약 0.47MPa 로 조립과정 상에서 고무의 손상은 발생하지 않는다고 볼 수 있다.



<그림 2.42> 조립과정 준정적 해석

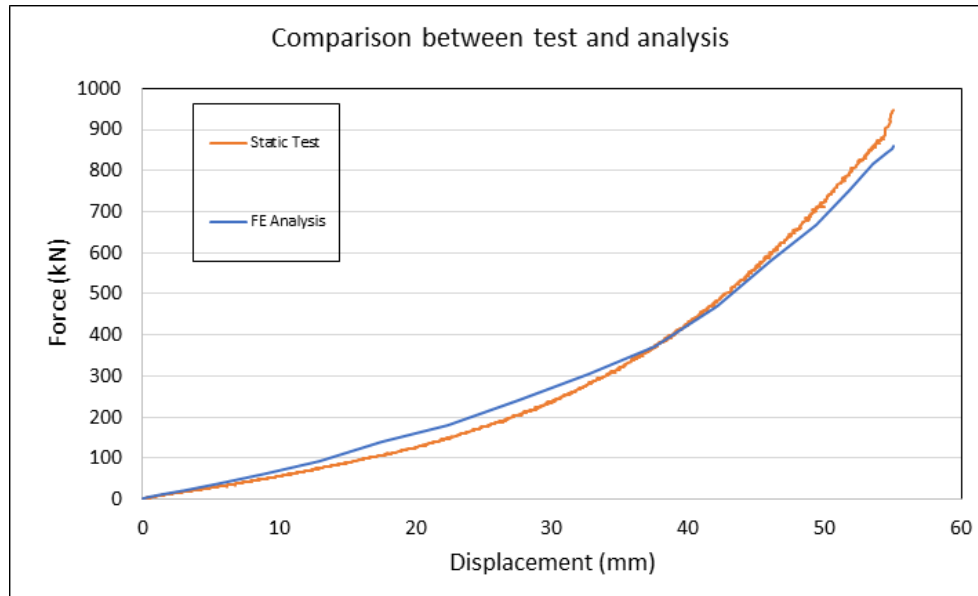
정하중 시험을 모사하여 55mm 까지 Drawbar를 밀었을 때의 응력해석 결과이다. 55mm 변위 발생 시 최대 응력이 39.75 MPa 이다.



<그림 2.43> Draw bar 55mm 이동 해석결과

② 정하중해석결과와 시험결과 비교 검증

전술한 해석결과와 정하중 시험결과를 비교하기 위하여 아래 그래프와 같이 각각의 결과에 대한 하중-변위 그래프를 도시하였다. 도출된 Ogden 3차 모델을 이용하여 EFG3 형 고무완충기의 정하중시험을 전산모사한 결과 시험결과와 정성적으로 유사한 결과를 나타내는 것으로 보이며, 아래 표와 같이 흡수 에너지의 경우도 약 2%차이로 매우 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 고무완충기의 해석 평가에 대한 기준이 불확실하기 때문에 해석-시험 유사도 평가 기준은 EN15227 기준을 바탕으로 10%이내의 오차가 발생하면 유사한 것으로 판정하였다. 개발된 해석모델을 이용하여 추후 고무완충기 설계에 활용 가능할 것으로 예상된다.



<그림 2.44> 고무완충기 하중-변위 선도 비교(test vs 해석결과)

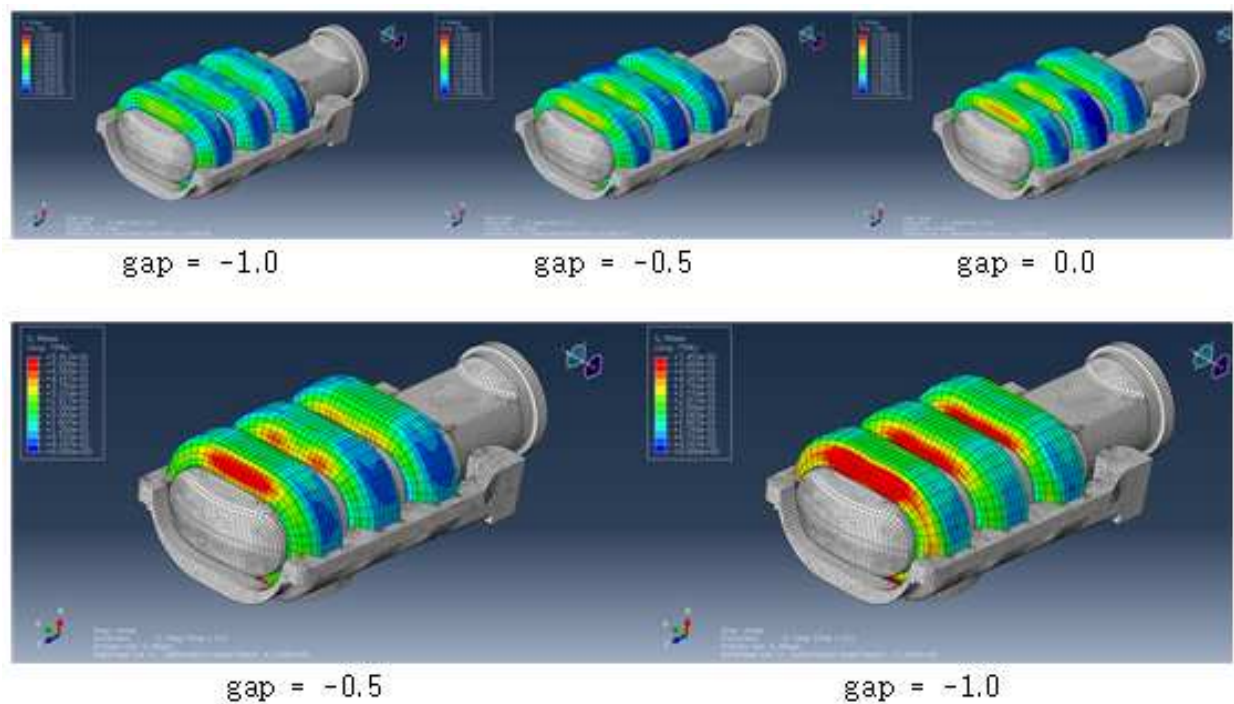
<표 2.7> 해석결과 비교

(a) 흡수 에너지 (실험), kJ	(b) 흡수 에너지 (해석), kJ	(b)/(a), %
16.076	16.398	102.00

③ Upper/Lower shell의 간극 케이스 스터디 (-1, -0.5, 0, 0.5, 1)

개발된 EFG3 형 고무완충기 해석 모델 및 재료 모델을 이용하여 위아래 Shell 의 Gap size 에 대한 수치연구를 수행하였다. Gap size 는 -1.0mm ~ +1.0mm 까지 0.5mm 단위로 변화해가며 고려하였으며, Gap size 의 부호가 (-)인 경우는 shell 간의 간섭을 피하기 위해 모델을 수정하여 높이를 줄였다.

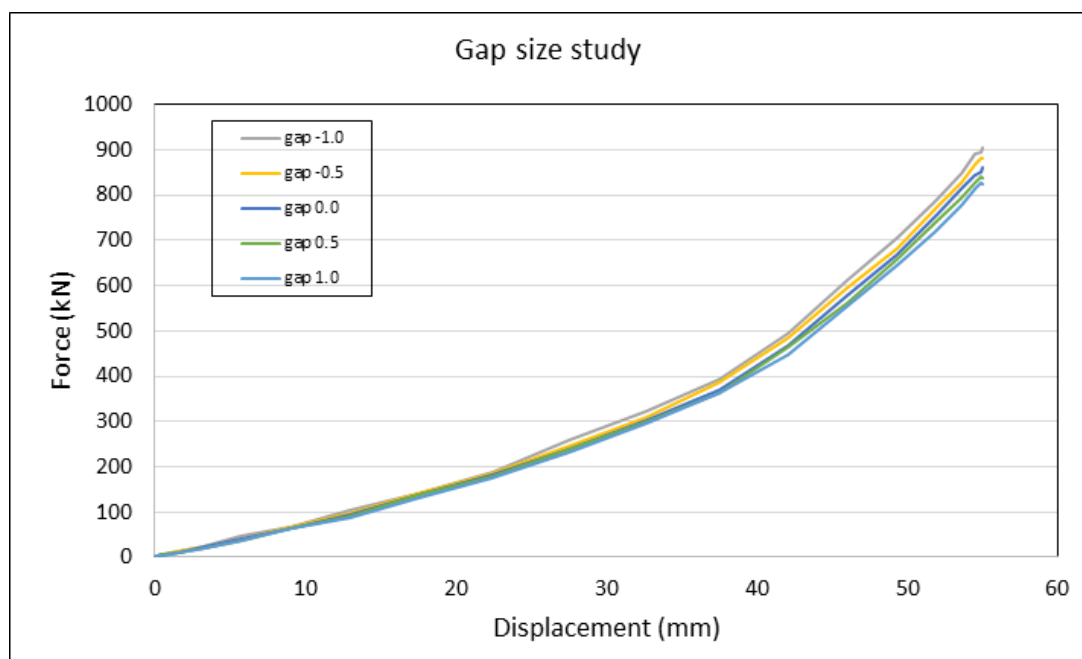
먼저, 1단계 조립과정의 경우는 Gap size가 미세함에 따라 눈에 띄는 고무변형의 차이는 없었지만 Gap size에 따라 고무에 발생하는 최대응력의 크기가 변화하였다. gap = -1.0의 경우 최대응력은 0.75MPa 인데 반해 gap = +1.0의 경우에는 0.38MPa 로, +1.0mm 의 gap 이 발생하는 경우 조립과정에서의 고무의 최대응력은 약 2배정도 차이 나는 것으로 나타났다.



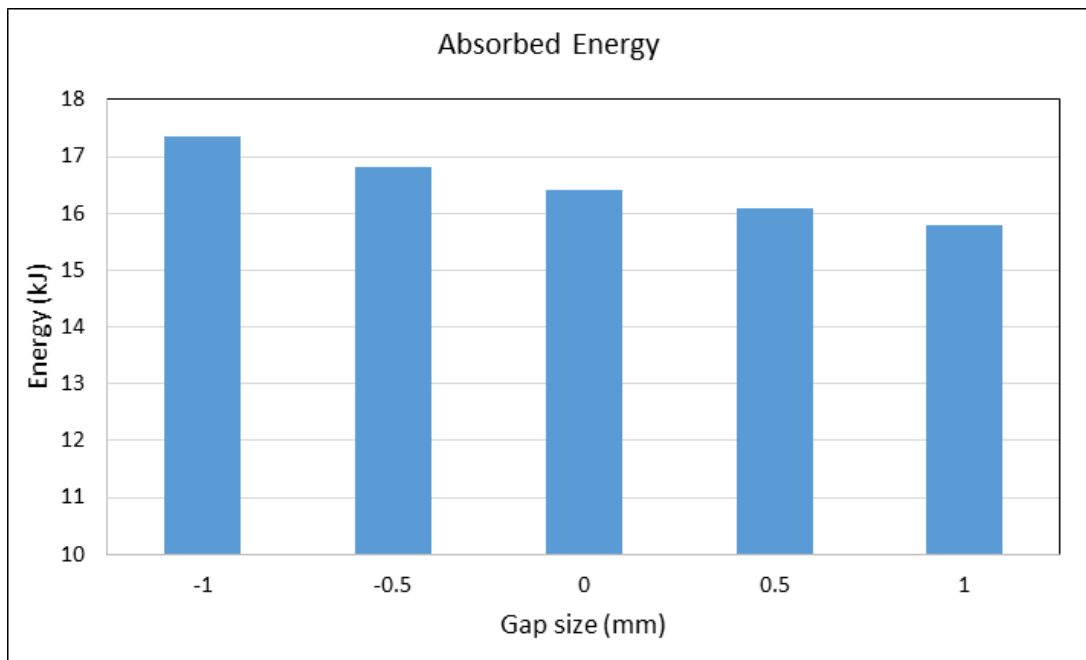
<그림 2.45> Gap 크기에 따른 해석결과 분석

2단계 정하중 시험의 경우는 하중-변위 그래프를 도시하여 Gap size에 따른 거동의 변화를 분석하였다. 그래프의 개형은 크게 변화가 없으며, 흡수 에너지 량의 경우는 Gap = 0.0 인 경우와 비교하여 gap = -1.0 일 때 5.75% 증가하였고, gap = +1.0 일 때 3.73% 감소하는 것으로 나타났다.

gap size가 감소할 때 흡수 에너지의 증가율은 gap size가 증가할 때 흡수 에너지의 감소율 보다 약 2배 가까이 큰 것으로 나타나는 데, 이는 고무 재료의 특성상 인장 보다 압축시에 높은 하중을 필요로 하기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 2.46> Gap 크기에 따른 하중-변위 선도 분석



<그림 2.47> Gap 크기에 따른 에너지 흡수량 비교

<표 2.8> Gap 크기 study 결과 비교

Gap size	흡수에너지 량(kJ)	Gap=0.0 과 비교
-1.0	17.34	+ 5.75%
-0.5	16.82	+ 2.60%
0.0	16.40	-
+ 0.5	16.10	-1.83%
+ 1.0	15.79	-3.73%

④ 고무시편 시험 정리

㉓ 시편시험 개요

실제로 사용되는 완충기용 고무의 기계적 특성을 정하중 해석 모델에 반영하기 위하여 시편 단위 물성측정 시험을 수행하였다. 고무와 같은 비선형성이 큰 초탄성체의 경우 최종 변형 모드에 따른 물성측정이 중요하며, 본 연구의 대상품인 고무완충기의 경우 충돌에너지 흡수과정에서 인장과 압축이 동시에 일어나는 복잡한 변형 양상을 보이므로 인장 및 압축에 대한 물성측정을 모두 하기로 하였다. 시험은 공인시험기관인 한국화학융합시험연구원에서 진행하였으며, 인장시험은 ASTM D 412 “Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers - Tension”, 압축시험의 경우 ASTM D 1056 “Standard Specification for Flexible Cellular Materials.Sponge or Expanded Rubber” 규준에 따라 수행하였다.



<그림 2.48> 완충기용 고무 시편 인장 시험

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

KTR
KOREAN TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (02)2164-0011 FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TAK-2019-031438 접수 일자 : 2019년 02월 21일
대 표 자 : 나희송 시험완료일자 : 2019년 02월 26일
업 체 명 : 한국철도기술연구원
주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (불암동)
시 료 명 : 완충기용 고무시편

시험 결과				
시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도	MPa	-	19.2	ASTM D412-16(Die C)
조 % 압축강도	kPa	-	2.684	ASTM D1056-14[*]

[*]시험속도 : 50 mm/min
- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 총보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Kang Woo Young
작성자 : 강우영
Tel : 02-2082-3608

Park Joonyoung
기술책임자 : 박준형
Tel : 1577-0091(ARS 3D-48)

2019년 02월 26일

KTR 한국화학융합시험연구원

위변조 확인용 QR code

전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다. 전자문서본(Electronic Copy)

Page: 1 of 1

KTR KOREAN TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-T09-F01-02000 A4(210 X 297)

<그림 2.49> 공인시험성적서 (KTR)



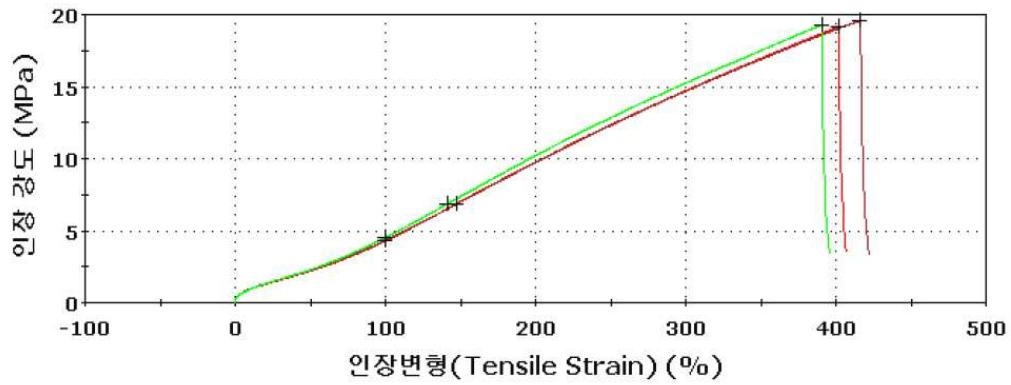
<그림 2.50> 시험 전 시편



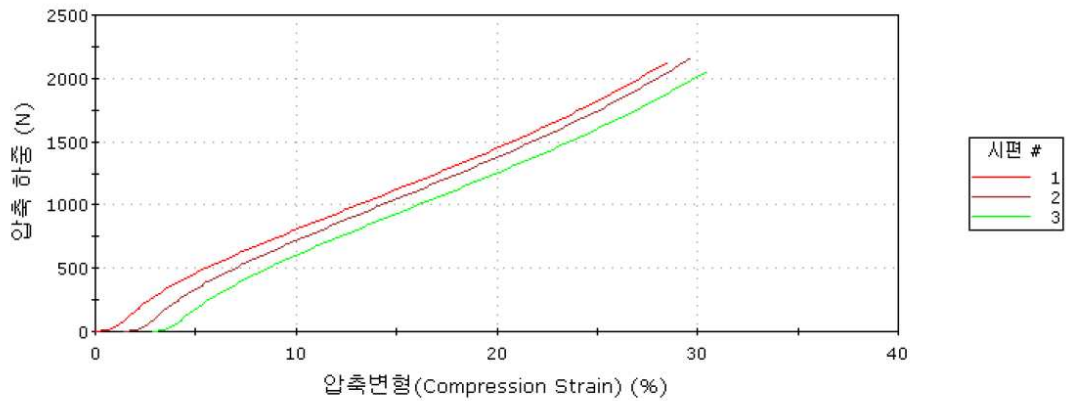
<그림 2.51> 시험 후 시편

시험 규준에 따라 각각 3개의 시편을 이용하여 시험을 수행하여 인장 강도 및 압축 강도는 평균내어 계산한다. 시험 종류별 결과를 아래 그래프와 표에 정리하였다.

Test Graph



<그림 2.52> 인장 시험 결과



<그림 2.53> 압축 시험 결과

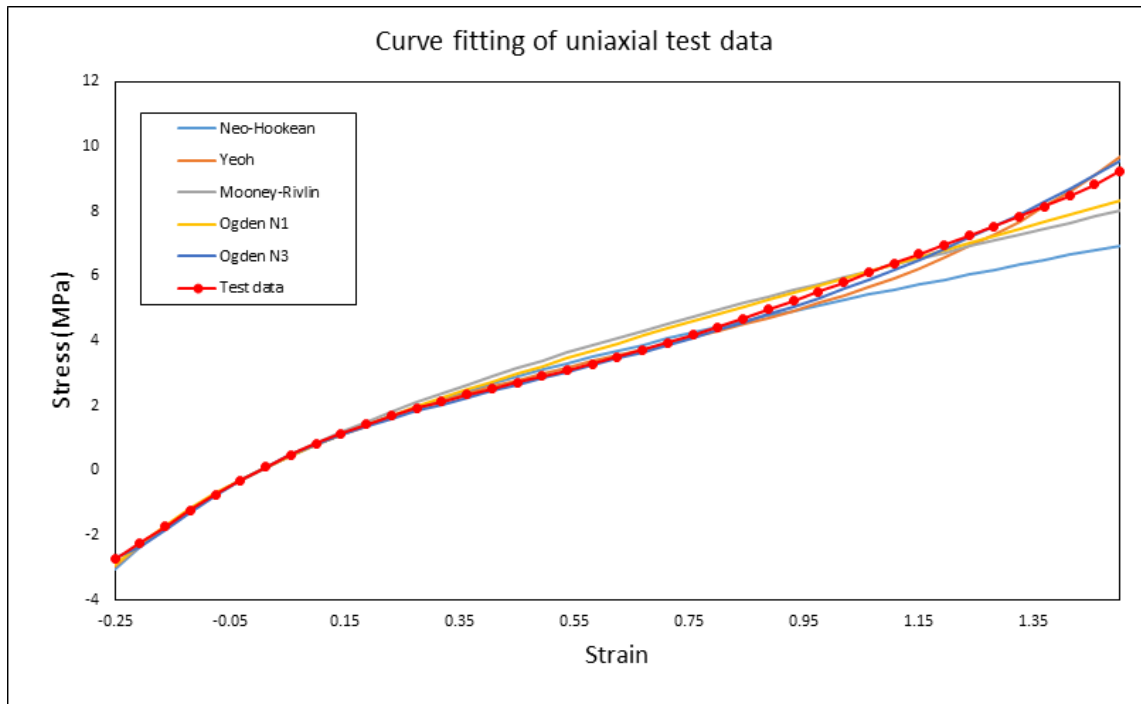
<표 2.9> 인장, 압축 시험결과

시험항목	단위	결과치	시험방법
인장 강도	MPa	19.2	ASTM D412-16(die C)
압축 강도 (25%)	kPa	2.684	ASTM D1056-14

㉔ 물성모델링 과정 및 결과

고무 및 실리콘, 폴리우레탄 폼, 신체조직등의 소재는 Hooke's law를 따르지 않으면서 (비선형 탄성거동) 높은 탄성 변형 영역을 갖는 재료로 초탄성 재료 모델을 이용하여 모델링하게 된다. 재료의 초탄성 거동은 변형 에너지 밀도 함수에 의해 응력 변형을 관계가 정의되는 탄성재료의 구성 모델을 뜻하며 대표적인 hyperelastic model 은 Fung, Mooney-Rivlin, Ogden, Arruda-Boyce, Neo-Hookean 등이 있다. hyperelastic 거동은 크게 rubberlike material (작은 압축 변형률) 과 elastomeric foam (높은 압축 변형률)의 2가지로 분류되는데 본 연구에서 대상 소재인 천연고무 소재의 경우는 등방성, 비선형 거동과 동시에 작은 압축 변형률을 보이는 rubberlike material 거동으로 분류할 수 있다.

아래의 그래프 및 표와 같이 전술한 인장 및 압축 실험을 통해 얻은 기계적 물성 데이터를 토대로 다양한 재료 모델을 적용하여 Model parameter를 계산하였으며, 최적의 재료 모델과 차수를 선정하기 위해 실험데이터와 모델데이터 사이의 Residual of Squared Sum(RSS) 를 계산하여 비교해 보았다.



<그림 2.54> 고무재료 모델별 test 결과 예측치 비교

<표 2.10> 고무재료 모델에 따른 RSS 분석

	RSS
Poly_N1 (Mooney-Rivlin)	0.069
R_Poly_N1 (Neo-Hookean)	0.122
R_Poly_N3 (Yeoh)	0.033
Ogden_N1	0.048
Ogden_N3	0.020

재료 모델 비교 분석을 통해 3차 Ogden model 이 가장 최소의 RSS 값을 보이며, 최적의 재료모델로 선정되었다. 본 연구에서 활용하게 될 Ogden model 에 대해 간략하게 정리해 보면 아래와 같다. 비선형 초탄성체의 Strain energy potential 은 Ogden model에 기반하여 principal stretch λ_i 에 대한 함수로 식 (1)과 같이 주어진다.

$$U = \sum_{k=1}^N \frac{2\mu_k}{\alpha_k} [\lambda_1^{\alpha_k} + \lambda_2^{\alpha_k} + \lambda_3^{\alpha_k} - 3 + f(J)]. \quad (1)$$

여기서, U 는 strain energy density, N 은 차수, $f(J)$ 는 volumetric function으로 식 (2)와 같은 형태로 주어진다.

$$f(J) = \frac{1}{\beta_k} (J^{-\alpha_k \beta_k} - 1). \quad (2)$$

여기서, J 는 $J = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ 를 만족하는 elastic volume이며, 식 (1)과 (2)에서 μ_k , α_k , β_k 가 재료 상수로써 시험데이터에 대한 fitting 과정을 통해 얻어내게 된다.

1-방향에 대한 1축압축 시험을 고려하면 $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$ 으로 무시된다. 이를 식 (1)에 대입하여 1-방향으로의 응력은 다음 식과 같이 계산된다.

$$T_1 = \frac{\partial U}{\partial \lambda_1} = \frac{2}{\lambda_1} \sum_{k=1}^N \frac{\mu_k}{\alpha_k} [\lambda_1^{\alpha_k} - J^{-\alpha_k \beta_k}]. \quad (3)$$

상수 β_k 의 경우 식 (4)으로부터 계산하게 되며, 포아송 비 $\nu_k = 0$ 으로 가정하여 $\beta_k = 0$ 으로 사용하였다.

$$\beta_k = \frac{\nu_k}{1 - 2\nu_k} \quad (4)$$

단순전단시험에 대한 전단응력은 다음과 같이 구해진다.

$$T_S = \frac{\partial U}{\partial \gamma} = \sum_{j=1}^2 \left[\frac{2\gamma}{2(\lambda_j^2 - 1) - \gamma^2} \sum_{k=1}^N \frac{\mu_k}{\alpha_k} (\lambda_j^{\alpha_k} - 1) \right]. \quad (5)$$

여기서, γ 는 전단변형률이고, 전단면에 대한 principal stretch λ_1 과 λ_2 와의 관계는 다음의 식으로 유도된다.

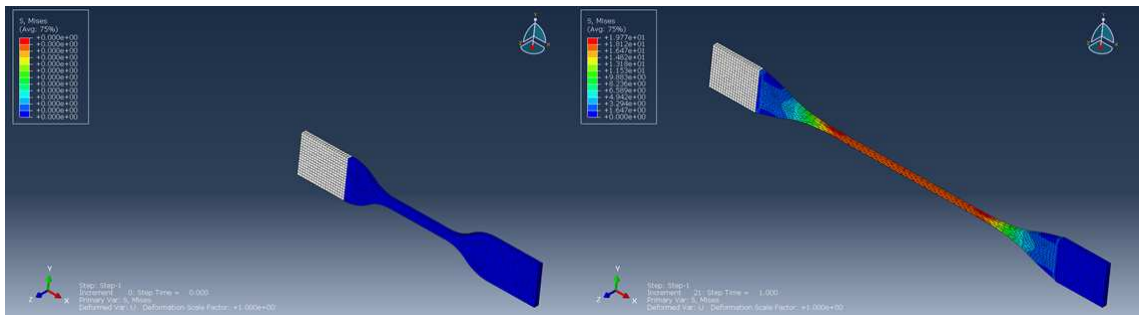
$$\lambda_{1,2} = \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{2} \pm \gamma \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{4}}}. \quad (6)$$

앞서 얻은 단축압축시험 데이터와 단축인장시험 데이터를 이용하여 식(3)과 식(5)를 동시에 고려하여 최소자승방법(Least square method)에 의해 재료상수 μ_k 와 α_k 를 구하였다.

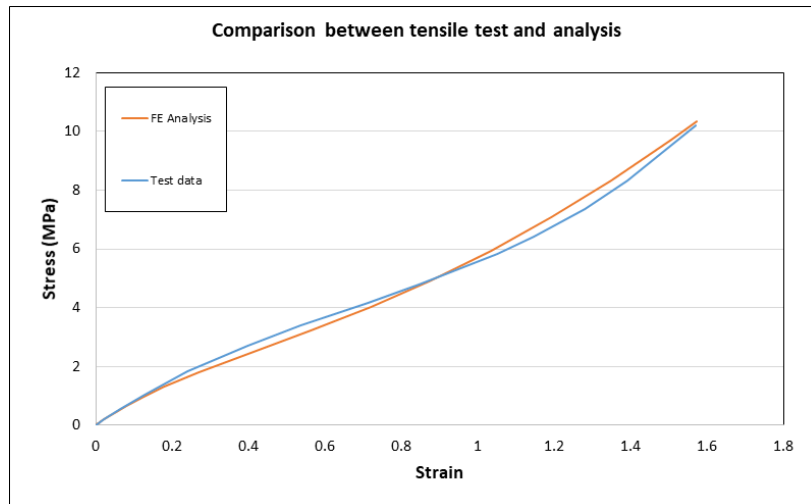
⑤ 해석 및 시험 결과 비교

도출한 Ogden 3차 재료 모델을 검증하기 위하여 단축압축 및 단축인장시험에 대한 유한요소해석 모델을 생성하여 시험조건과 동일하게 응력-변형률 선도를 얻었다. 유한요소해석은 상용 프로그램인 ABAQUS를 이용하였으며, 시험과 동일한 size의 시편을 기하비선형을 고려한 3차원 Solid 요소를 이용하여 모델링하였고, 하중이 작용하는 면에 강제 제약조건을 부여한 후 변위 하중을 적용하여 해석을 수행하였다.

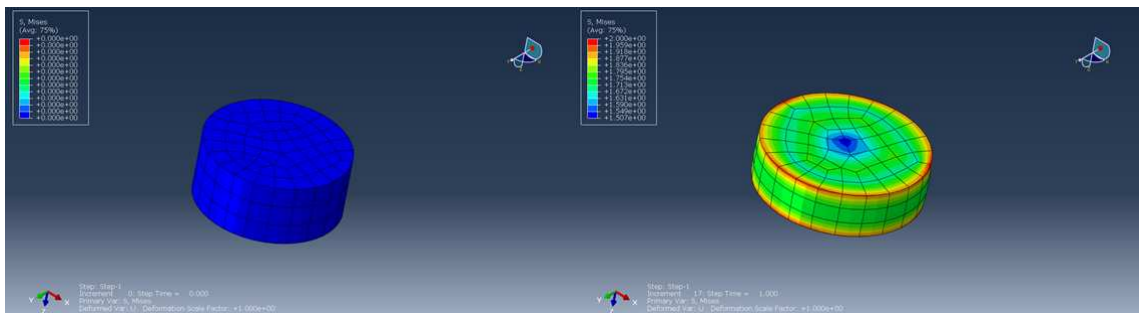
해석 결과 인장 및 압축 실험 모두 도출된 Ogden 3차 재료 모델이 실험 데이터의 비선형 거동에 부합하는 결과를 보여 적합하게 도출되었다고 판단할 수 있다.



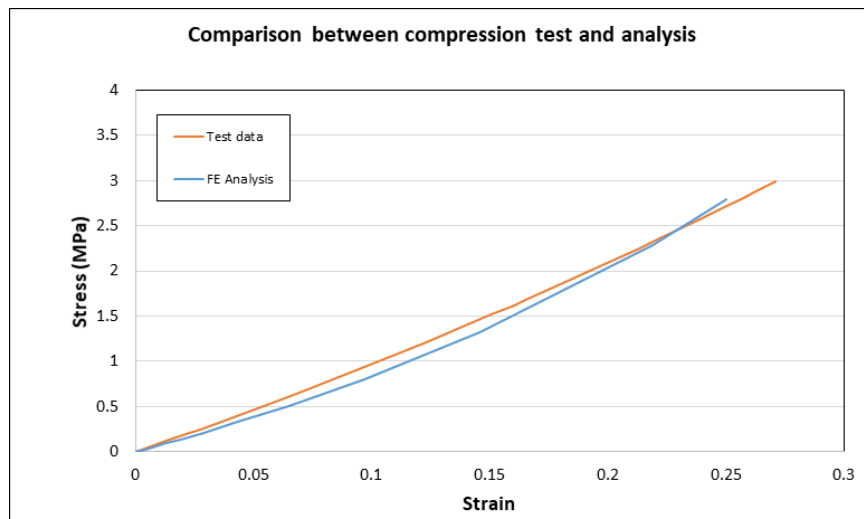
<그림 2.55> 고무재료 인장 해석 결과



<그림 2.56> 재료 모델 검증을 위한 전산모사 (인장)



<그림 2.57> 고무재료 압축해석 결과



<그림 2.58> 재료 모델 검증을 위한 전산모사 (압축)

나. 고무제품 제조 기술

(1) 고무제품 설계 및 제작

(가) 최적의 고무 소재의 선정

① 고무 소재의 일반적인 물성 비교

<표 2.11> 고무 소재의 일반적인 물성 비교

	NR TYPE	BR TYPE	SBR TYPE	EPM TYPE	CR TYPE	NBR TYPE
가공성	상	상	상	중	상	상
경도	10~100	30~100	30~100	30~90	10~90	15~100
인장강도	30~300	20~200	50~200	50~200	50~250	20~250
신률	100~1000	100~800	100~800	100~800	100~1000	100~800
반발탄성	상	상	중	하	상	중
압축영구줄음	상	중	중	중	중	상
내마모성	상	상	상	중	중상	상

- EFG 완충기는 극심한 전단하중 및 장기간 하중을 견뎌야 하는 내하중 특성과 복원력이 중요하여 일반적인 고무의 물성을 비교함.
- 상기표와 같이 NR TYPE 소재의 신률, 반발탄성, 압축영구줄음이 가장 우수함을 확인하였음. 일반적으로 방진 및 완충이 목적인 경우 NR TYPE 소재를 사용함.
- 자사는 이를 바탕으로 NR TYPE 소재를 선정하였으며, 지속적으로 연구 및 시험을 통해 최적의 고무 소재 배합을 개발하고자 함.

② 고무 배합약품의 분류

- 고무 배합에 필요한 대표적인 약품으로 적절한 비율과 종류의 선택이 가장 중요한 부분으로 자사는 오랜 경험을 통해 충분한 노하우를 보유하고 있음.

● 가황제

- 고무상 탄성을 나타내는 고분자는 분자간 상호작용이 약하므로 고무제품을 만드는 데는 반드시 분자간의 미끄러짐을 막고 물성을 향상시키기 위하여 가황제에 의한 가교가 필요함.

● 가황촉진제

- 고무와 가황체의 반응을 촉진하고 가황시간의 단축 및 가황온도 저하, 황의 양을 감소시키며 가황제품의 물리화학적 성질을 향상시키는 역할을 함.

● 가황촉진조제

- 가황촉진제와 병용하여 그 촉진효과를 완전하게 하기 위해 사용

● 충전제

- 미가황 고무 생지의 경도 상승으로 가황 전 성형품의 변형을 방지하며, 수축 및 팽창 등에 제품의 치수 안정화에 필요함. 성형시의 흐름성 향상 및 조절가능하며 가황고무 물성개선에 필요하며, 배합시 가장 많이 사용 함.
- 보강성 충전제 : 고무 소재의 물성을 보강
- 불활성 충전제 : 증량제 역할

- 보강제

- 탄성체 성질의 한가지 또는 여러 가지를 강화하기 위해 사용

- 노화방지제

- 노화에 의한 고무의 상태변화는 고무의 소재 및 노화조건에 따라 다름
- 동종 고무라도 가황상태에 따라 다름

- 카본블랙

- 증강제, 내유성, 내열성 등을 향상시키기 위해 사용

③ 고무 배합설계

- 배합설계 공정

- 사용목적에 따른 고무 소재 선택 배합 약품의 종류와 양을 결정하는 공정
- 배합의 목적, 배합에 사용되는 고무 소재와 각종 배합제의 성질, 배합의 기초, 제품이 만들어 질 때까지의 작업 및 설비 등을 고려해야 함

- 가공공정

- 정해진 배합에 따라 고무 소재와 배합약품을 MIXING하여 일정한 두께의 고무 시트를 제조하고 만들고자 하는 모양으로 절단하는 공정



<그림 2.59> 가공공정도

<내림작업>

- 고무에 전단력을 주고 가온하여 탄성 원료고무가 점차적으로 해중합되어 연화되면서 균일한 가소화 상태로 변화되는 작업임
- 충분한 가소성을 주어서 배합제의 혼합을 쉽게하여 가황전의 가공성에 필요한 성능 부여하고 배합약품을 다량으로 균질하게 혼합할 수 있음
- 고무 소재에 따라 내림효과에 차이가 있으며, NR TYPE은 아주 예민함으로 내림작업시
- 가소도는 여러 가지 조건을 고려하여야 함.
- 고무 배합공정 중 가장 핵심적인 기술로 철저한 관리를 하고 있음

<혼연작업>

- 내림된 고무에 배합작업을 균등히 혼합하여 분산시키는 작업으로 결과에 따라 제품에 직접적 영향을 줌
- 배합제의 분산이 불량일 경우 흑반점이 생기거나 밖으로 나오는 BLOOMING 현상이 발생하며, 백색 충전제가 충분히 분산이 안될 경우 백색점이 생기며 기계적 강도 등의 물성 저하 발생함
- 혼연작업에 따라 고무 소재 및 성형 작업성에 큰 영향을 미치므로 자사에서는 적합한 작업조건을 설정하고 관리함.

● 가황공정

- 절단한 미가황 고무에 탄성을 갖게 하고 물성을 개선하는 공정

(나) 최적의 고무 소재 선정을 위한 연구 및 시험

① NR TYPE 소재 가황에 대한 연구

- 하기표 참고

	A	B	C
NR TYPE	100	100	100
황	3	3	3
고무산화제	-	5	5
촉진제 A	-	-	1
촉진제 B	-	-	1
배합시간	느림	중간	빠름

- 상기 배합 A, B, C의 가황시간에 따른 비교

가황시간 (분)	A	B	C
10	미가황	미가황	가황
60	미가황	가황(물성 저하)	가황
120	가황	가황	가황

- 상기 시험을 통해 첨가제에 따른 상관관계를 분석
- 황만 첨가한 NR TYPE A는 가황시간이 현저히 느림을 확인
- 산화제와 촉진제의 첨가 유무에 따라 가황에 차이가 있음을 확인
- 이에 따라 산화제와 촉진제를 첨가하여 가황시간을 줄이는 방안을 시험

② NR TYPE 소재 촉진제에 대한 연구

- NR TYPE 소재 배합비는 자사 기준 배합비를 기준으로 함
- 자사의 배합은 하기표와 같다. (일반 기본 배합비)

자사 배합표	
NR TYPE	100
촉진제 H	-
촉진제 E	0.4
촉진제 J	0.1
산화방지제 A	5
촉진조제	2
노화방지제	1
충전제 A	50

- 촉진제 H의 경우 촉진에 문제가 있을 시 0.5 투입
- 자사 배합표의 가황조건은 150℃ / 10분
- 자사 기본 배합을 이용하여 촉진제 및 충전제 변경 등을 통해 최적의 물성 연구 및 신 배합 개발에 중점

③ NR TYPE 소재 촉진에 관한 연구

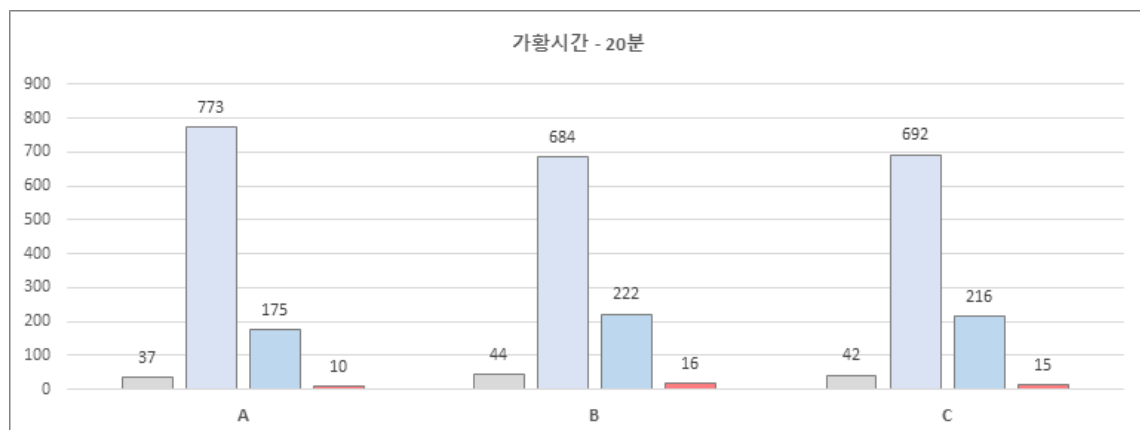
<표 2.12> 촉진제 비율에 따른 배합표 - 1

	A	B	C
NR TYPE	100	100	100
산화방지제 A	5	5	5
스코치 방지제	2.5	2.5	2.5
촉진조제	1	1	1
촉진제 A	0.6	-	-
촉진제 B	-	0.6	-
촉진제 C	-	-	0.6

- 상기 내용을 토대로 완충에 가장 유리한 저경도(40°)로 설정하여, 가황시간 및 촉진제 종류에 따른 물성의 비교를 확인하는 시험을 진행함 (경도±5°의 범위)
(하기표와 그래프 참고)

<표 2.13> 가황시간 20분 물성치 변화표

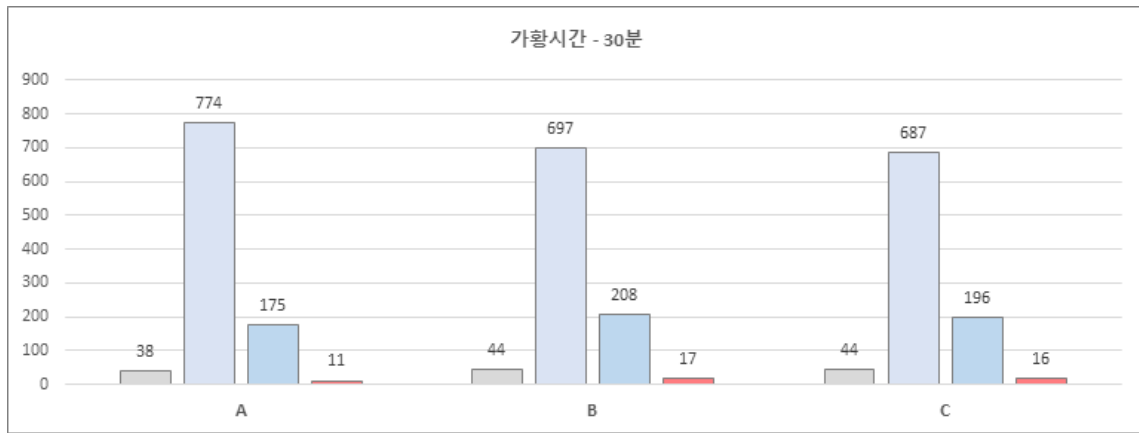
물성	A	B	C
H (JIS)	37	44	42
EB (%)	773	684	692
TB (KG/CM ²)	175	222	216
M300 (KG/CM ²)	10	16	15



<그림 2.60> 가황시간 20분 물성치 변화 비교그래프

<표 2.14> 가황시간 30분 물성치 변화표

물성	A	B	C
H (JIS)	38	44	44
EB (%)	774	697	687
TB (KG/CM ²)	175	208	196
M300 (KG/CM ²)	11	17	16



<그림 2.61> 가황시간 30분 물성치 변화 비교그래프

- 가황시간 및 촉진제 종류에 따라 물성에 변화가 있음을 확인하였음
- 촉진제B는 EB(신률)이 증가하고, TB(인장강도)는 감소함을 확인
- 촉진제C는 EB(신률), TB(인장강도)는 감소함을 확인
- 촉진제에 종류에 따라 EB(신률), TB(인장강도)의 변화가 있음을 확인

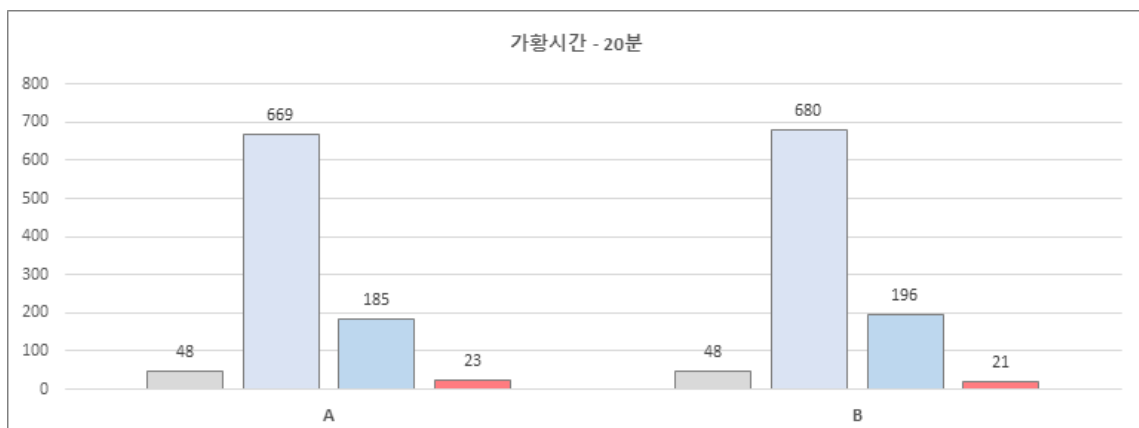
④ NR TYPE 소재 촉진에 관한 연구

<표 2.15> 촉진제 비율에 따른 배합표 - 2

	A	B
NR TYPE	100	100
산화방지제 A	5	5
스코치 방지제	3.0	3.0
촉진조제	1	1
촉진제 A	0.5	-
촉진제 B	-	0.5
촉진제 C	0.3	0.3

<표 2.16> 가황시간 20분 물성치 변화표

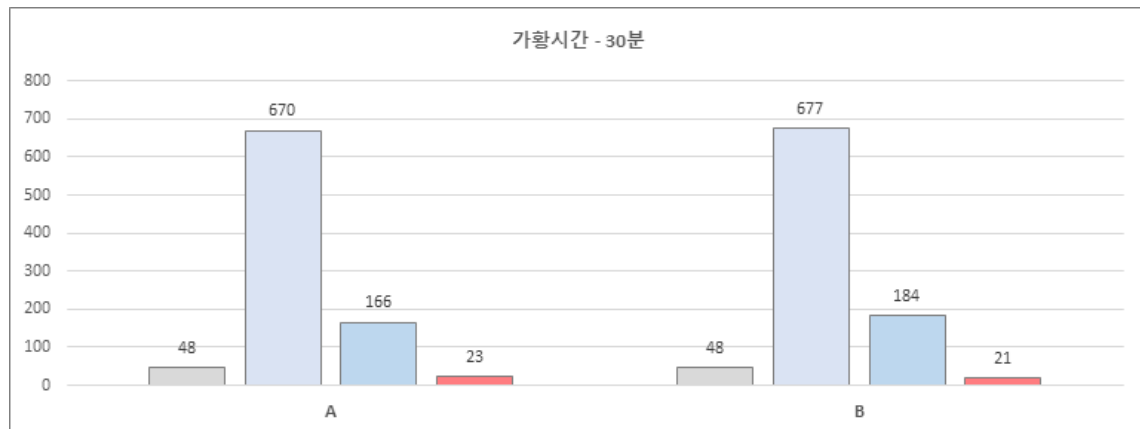
물성	A	B
H (JIS)	48	48
E _B (%)	669	680
T _B (KG/CM ²)	185	196
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	23	21



<그림 2.62> 가황시간 20분 물성치 변화 비교그래프

<표 2.17> 가황시간 30분 물성치 변화표

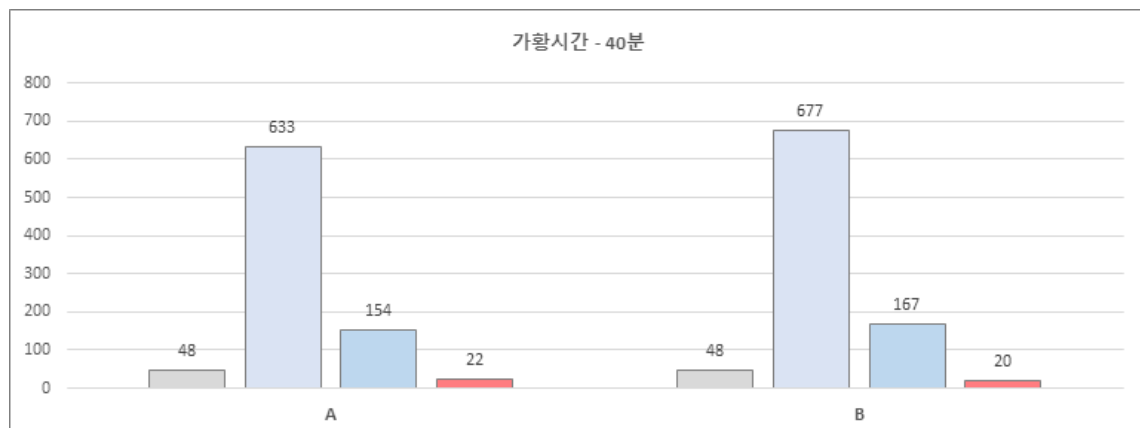
물성	A	B
H (JIS)	48	48
E _B (%)	670	677
T _B (KG/CM ²)	166	184
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	23	21



<그림 2.63> 가황시간 30분 물성치 변화 비교그래프

<표 2.18> 가황시간 40분 물성치 변화표

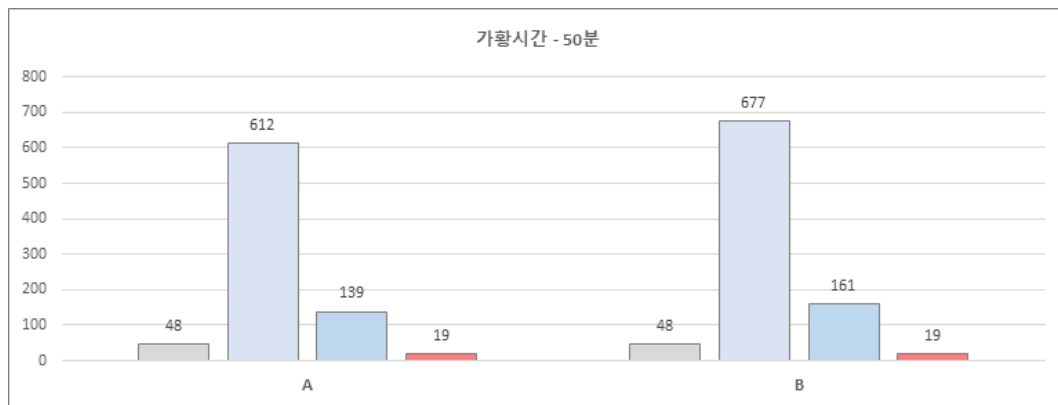
물성	A	B
H (JIS)	48	48
E _B (%)	633	677
T _B (KG/CM ²)	154	167
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	22	20



<그림 2.64> 가황시간 40분 물성치 변화 비교그래프

<표 2.19> 가황시간 50분 물성치 변화표

물성	A	B
H (JIS)	48	48
E _B (%)	612	677
T _B (KG/CM ²)	139	161
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	19	19

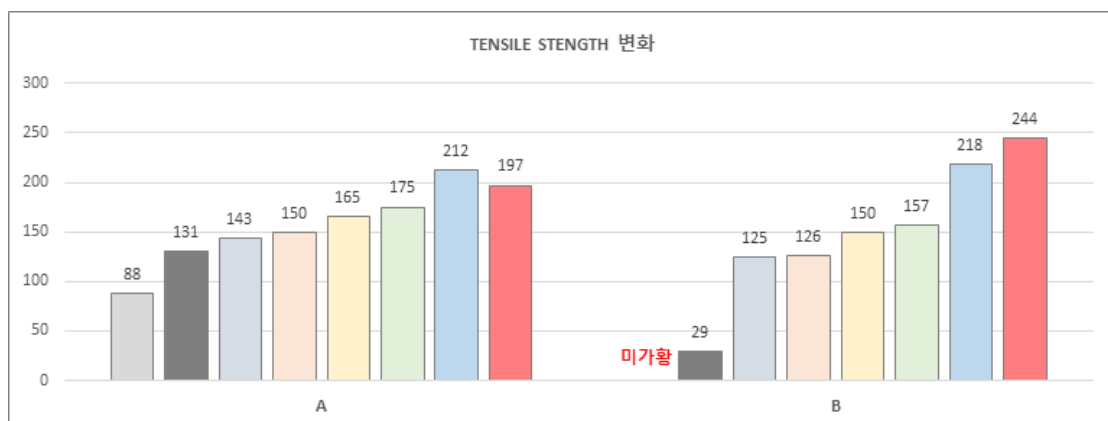


<그림 2.65> 가황시간 50분 물성치 변화 비교그래프

- 촉진제 A를 첨가한 TYPE A는 가황시간 30분부터 EB((신률), TB(인장강도)가 급격히 감소함을 확인
- 촉진제 B를 첨가한 TYPE B는 가황시간에 따른 EB((신률)의 변화가 거의 없으나, TB(인장강도)가 가황시간 30분부터 점차 감소함을 확인
- 촉진제 B가 물성의 안정성에 유리한 것으로 시험을 통해 확인
- 고무의 중요물성인 TENSILE STRENGTH의 확인이 필요 (하기표 및 그래프 확인)

<표 2.20> A와 B의 가황시간에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표

가황시간	A	B
25분	88	미가황
40분	131	29
50분	143	125
70분	150	126
85분	165	150
100분	175	157
120분	212	218
140분	197	244



<그림 2.66> A와 B의 가황시간에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프

- 촉진제 B는 촉진제 A보다 스코치 현상이 현저히 적음을 확인
- 가류온도에 가까운 상태가 되면 서서히 가류가 진행 되어 원하지 않는 조건에서 부분가류가 일어나 고무의 물성이 저하되는 스코치현상은 고무배합에 가장 중요하게 고려할 부분임
- 시험을 통해 촉진제는 단독 사용보다 결합 사용에서 더 좋은 물성을 얻을 수 있음을 확인하였으며, 촉진제 비율 및 종류를 다르게 한 추가시험의 필요성을 확인

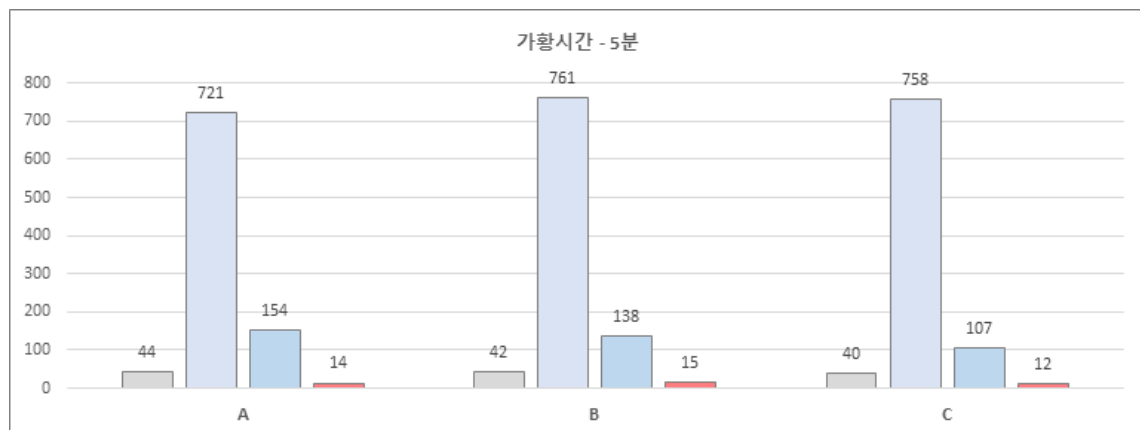
<표 2.21> 촉진제 비율 및 종류에 따른 배합표

	A	B	C
NR TYPE	100	100	100
산화방지제 A	5	5	5
스코치 방지제	3	3	3
촉진조제	1	1	1
촉진제 A	0.5	—	—
촉진제 B	—	0.5	—
촉진제 C	—	—	0.5
촉진제 D	0.2	0.2	0.2

- 상기 내용을 토대로 가황시간을 다르게 하여 물성변화를 확인 (하기표와 그래프 참고)

<표 2.22> 가황시간 5분 물성 변화표

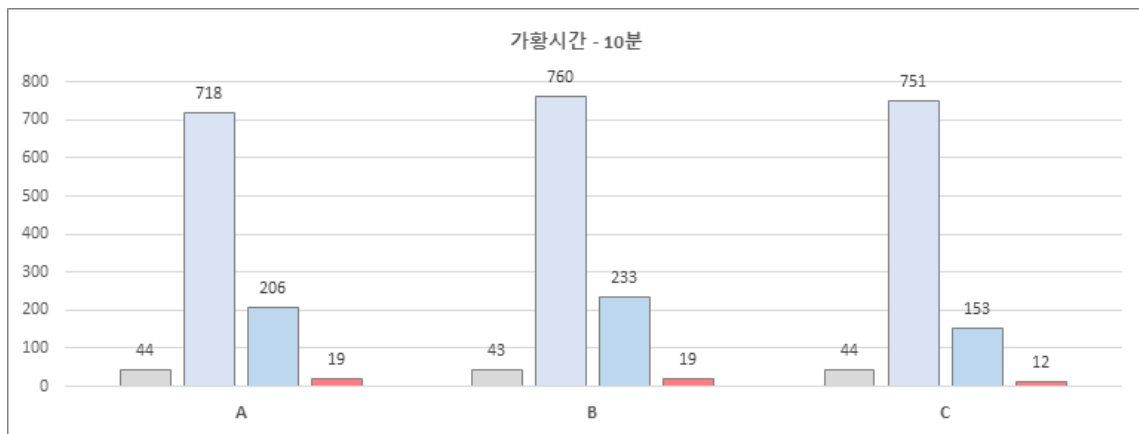
물성	A	B	C
H (JIS)	44	42	40
E _B (%)	721	761	758
T _B (KG/CM ²)	154	138	107
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	14	15	12



<그림 2.67> 가황시간 5분 물성 변화 비교그래프

<표 2.23> 가황시간 10분 물성 변화표

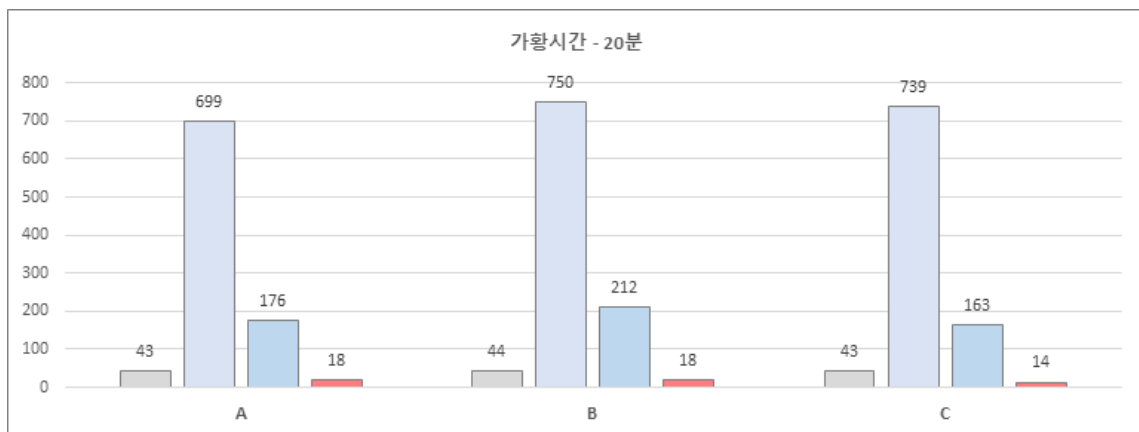
물성	A	B	C
H (JIS)	44	43	44
E _B (%)	718	760	751
T _B (KG/CM ²)	206	233	153
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	19	19	12



<그림 2.68> 가황시간 10분 물성 변화 비교그래프

<표 2.24> 가황시간 20분 물성 변화표

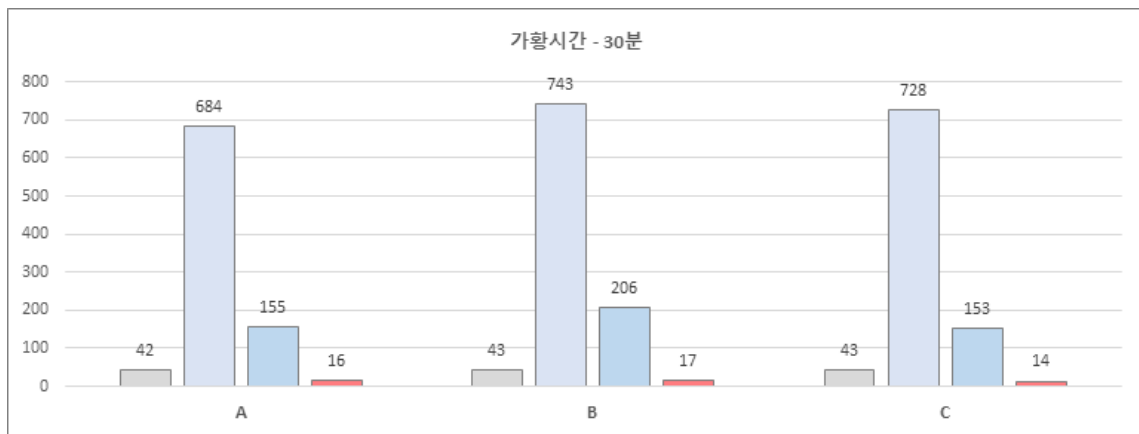
물성	A	B	C
H (JIS)	43	44	43
E _B (%)	699	750	739
T _B (KG/CM ²)	176	212	163
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	18	18	14



<그림 2.69> 가황시간 20분 물성 변화 비교그래프

<표 2.25> 가황시간 30분 물성 변화표

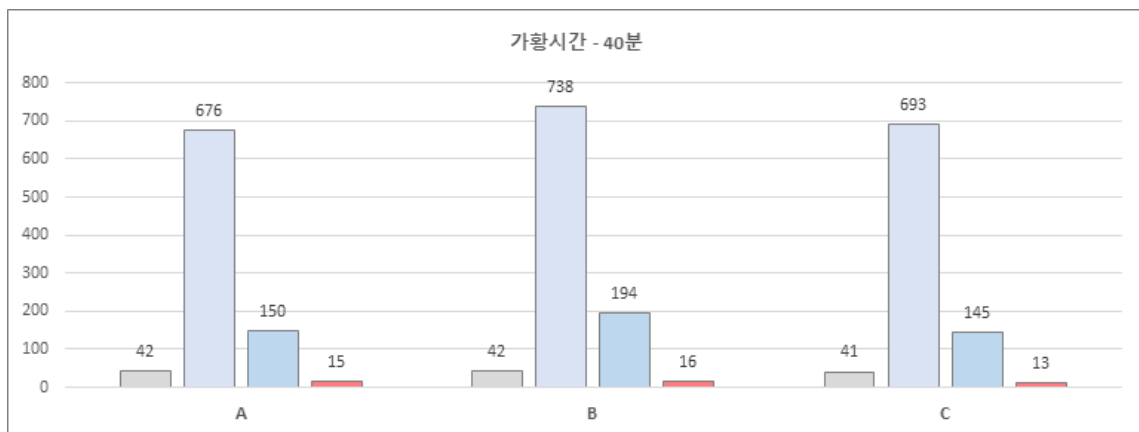
물성	A	B	C
H (JIS)	42	43	43
E _B (%)	684	743	728
T _B (KG/CM ²)	155	206	153
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	16	17	14



<그림 2.70> 가황시간 30분 물성 변화 비교그래프

<표 2.26> 가황시간 40분 물성 변화표

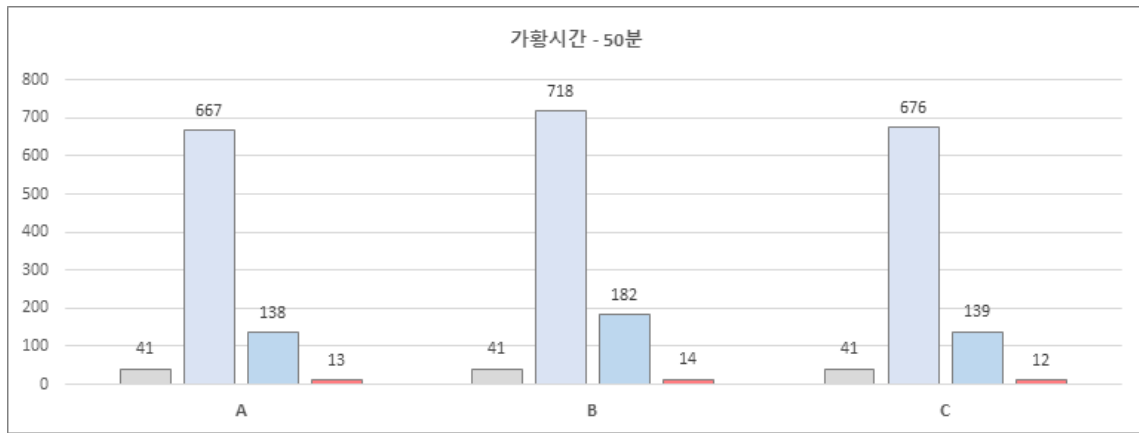
물성	A	B	C
H (JIS)	42	42	41
E _B (%)	676	738	693
T _B (KG/CM ²)	150	194	145
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	15	16	13



<그림 2.71> 가황시간 40분 물성 변화 비교그래프

<표 2.27> 가황시간 50분 물성 변화표

물성	A	B	C
H (JIS)	41	41	41
E _B (%)	667	718	676
T _B (KG/CM ²)	138	182	139
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	13	14	12



<그림 2.72> 가황시간 50분 물성 변화 비교그래프

- 촉진제B는 이번 시험에서도 EB(신물), TB(인장강도)의 변화가 가장 적은 것을 확인함에 따라 자사 연구 배합시 촉진제B 사용을 결정함
- 촉진제D의 첨가시 고속 가황이 가능하며, 자사 연구 배합시 촉진제D 사용을 결정함
- 일부 촉진제는 반응속도가 빨리지는 활성력이 강력하기 때문에 스코치 현상 위험성에 주의가 필요함. 이에 따라 상호보완할 수 있도록 2종류 이상의 촉진제를 사용하는 것이 좋으므로, 시험을 통해 확인한 촉진제B, 촉진제D를 사용함을 결정

⑤ NR TYPE 소재 보강제에 관한 연구

- NR TYPE 소재 배합비는 자사 기준 배합비를 기준으로 함
- 자사의 배합은 하기와 같다 (일반 기본 배합비)

자사 배합표	
NR TYPE	100
산화방지제 A	5
촉진제 H	0.5
황	2.5
촉진조제	2
노화방지제	2

- 배합표에 하기와 같이 보강제 비율을 달리하여 시험

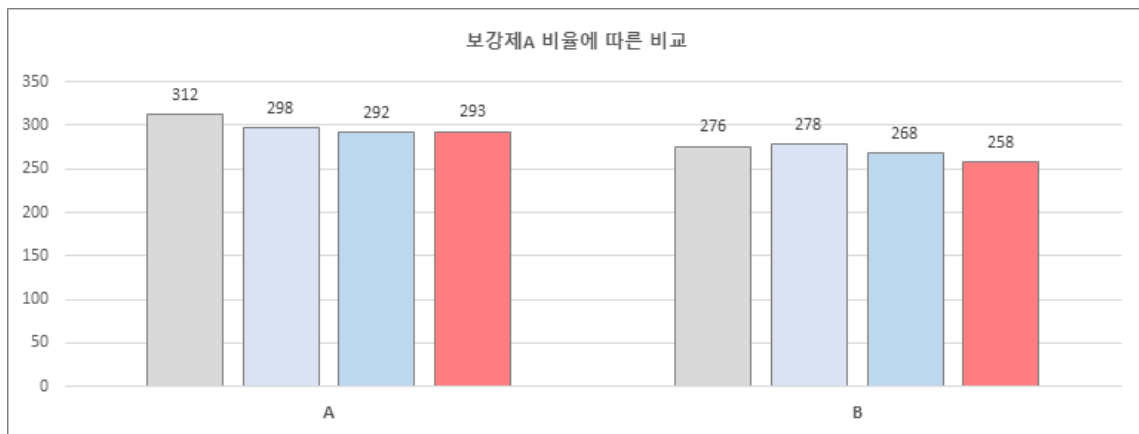
<표 2.28> 보강제 첨가

	A	B
보강제 A	30	50
보강제 B	30	50
보강제 C	30	50

<표 2.29> 보강제A 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표

140℃ 기준	A	B
30분	312	276
40분	298	278
60분	292	268
90분	293	258

- TYPE A는 가황시간 30분과 40분에 변화가 있음을 확인
- TYPE B는 가황시간 60분과 90분에 변화가 있음을 확인

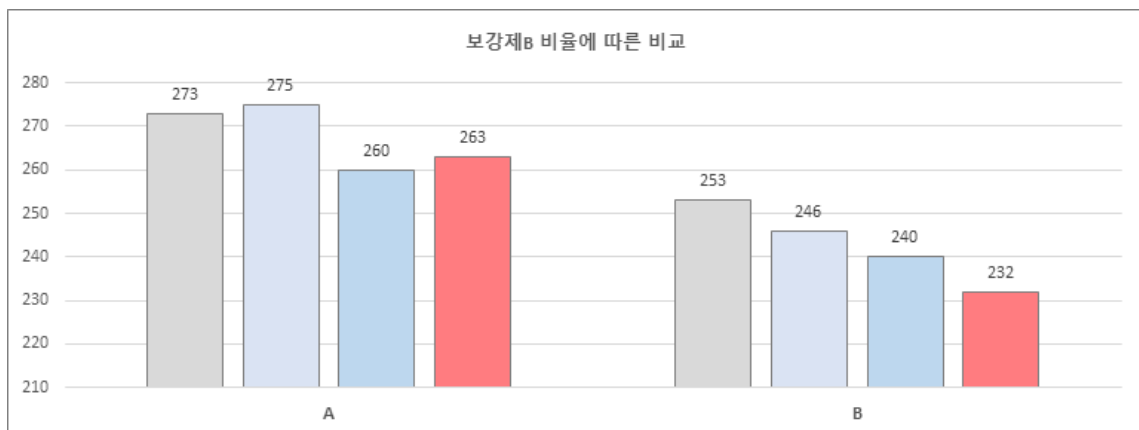


<그림 2.73> 보강제A 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프

<표 2.30> 보강제B 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표

140℃ 기준	A	B
30분	273	253
40분	275	246
60분	260	240
90분	263	232

- TYPE A는 가황시간 40분과 60분에 변화가 있음을 확인
- TYPE B는 가황시간 30분과 40분에 변화가 있음을 확인

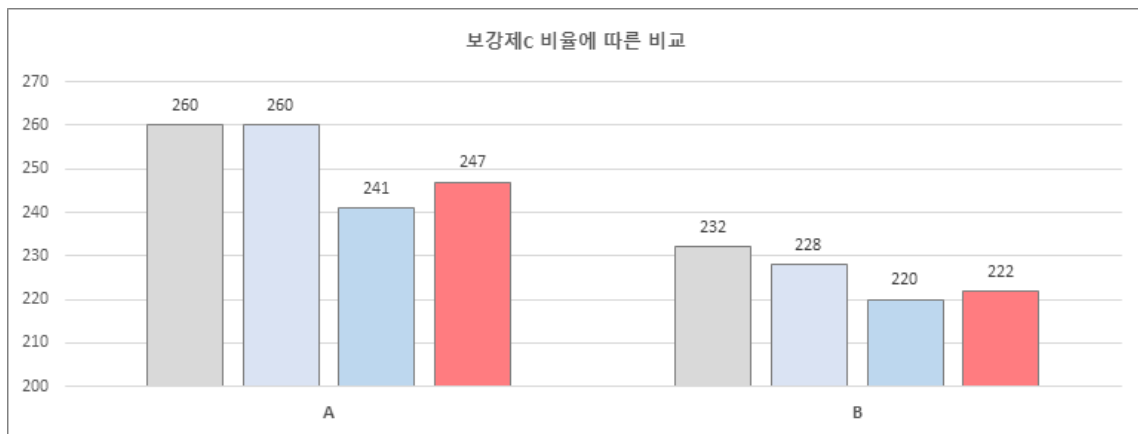


<그림 2.74> 보강제B 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프

<표 2.31> 보강제C 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화표

140℃ 기준	A	B
30분	260	232
40분	260	228
60분	241	220
90분	247	222

- TYPE A는 가황시간 40분과 60분에 변화가 있음을 확인
- TYPE B는 가황시간 40분과 60분에 변화가 있으나, 편차가 심하지 않음을 확인



<그림 2.75> 보강제C 비율에 따른 TENSILE STRENGTH 변화 비교그래프

- 시간이 길어질수록 과경화 현상을 보임
- 보강제 종류에 따라 TB(인장강도)의 결과치가 차이를 보였으나, 보강제 선정에 필요한 충분한 결론이 어려워 보강제 비율 및 종류를 다르게 하여 추가시험이 필요함을 확인

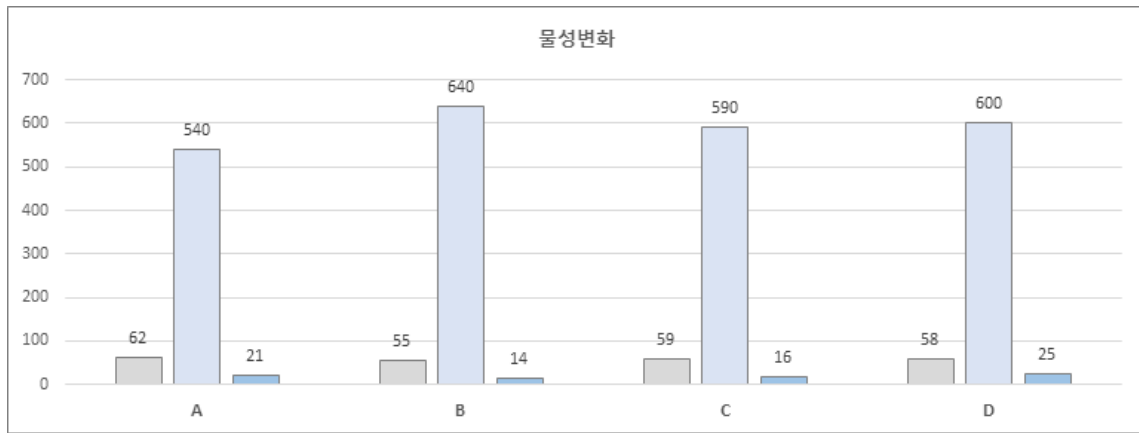
<표 2.32> 보강제 비율 및 종류에 따른 배합

	A	B	C	D
NR TYPE	100	100	100	100
산화방지제 A	5	5	5	5
촉진조제 A	2	2	2	2
촉진조제 B	1	1	1	1
황	2.5	2.5	2.5	2.5
촉진제 H	0.5	0.5	0.5	0.5
보강제 A	50	20	40	20
보강제 B	-	-	-	20
보강제 C	-	-	20	-
OIL	5	5	10	4

- 촉진제 시험은 완충에 가장 유리한 저경도(40°)로 진행하였으나, EFG 완충기의 특성상 충격 및 장시간 하중에도 형상을 유지해야 하므로 이에 따라 경도를 높여 시험을 진행함. (경도 60°(±5° 범위))

<표 2.33> 보강제 비율 및 종류에 따른 물성 변화표

140℃ 기준/20분	A	B	C	D
H (JIS)	62	55	59	58
E _B (%)	540	640	590	600
M ₁₀₀ (KG/CM ²)	21	14	16	25



<그림 2.76> 보강제 비율 및 종류에 따른 물성 변화 비교그래프

- 보강제는 HARDNESS, ELONGATION, MODULUS에 영향을 주는 것을 확인 (즉, 가교제의 효율을 높이는 것을 확인)
- 보강제는 강도 및 경도를 맞추는데 용이하나, 반발탄성에는 (-)조건을 가지는 것을 확인

⑥ NR TYPE 소재 보강제에 따른 경도 연구

- NR TYPE 소재 배합비는 자사 기준 배합비를 기준으로 함
- 자사의 배합은 하기와 같다 (일반 기본 배합비)

자사 배합표	
NR TYPE	100
산화방지제 A	5
촉진조제	1
촉진제 E	0.4
촉진제 I	0.4
황	2.5

- 배합표에 하기와 같이 보강제 A 비율을 달리하여 시험

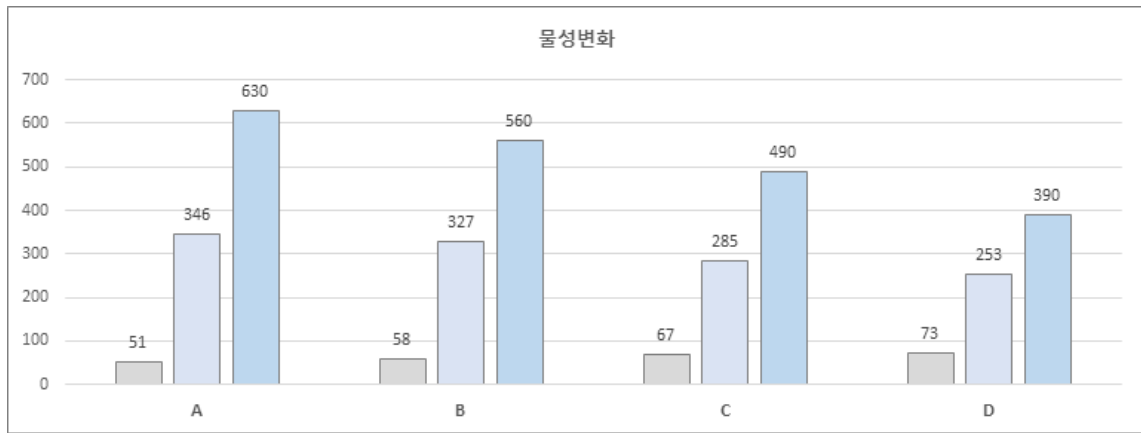
<표 2.34> 보강제 A 첨가

가황조건 140℃ / 15분	A	B	C	D
보강제 A	15	30	45	60

- EFG 완충기의 특성상 충격 및 장시간 하중에도 형상을 유지해야 하므로 이에 따라 경도를 높여 시험을 진행함. (경도 60°, 경도 70°(±5° 범위))

<표 2.35> 보강제 A 비율에 따른 물성 변화표

가황조건 140℃ / 15분	A	B	C	D
H (JIS)	51	58	67	73
E _B (%)	346	327	285	253
M ₁₀₀ (KG/CM²)	630	560	490	390



<그림 2.77> 보강제 A 비율에 따른 물성 변화 그래프

- 보강제 (HARD GRADE)의 경우 첨가 비율에 따라 경도 변경이 용이함을 확인
- 단, 과다 첨가시 물성 저하의 우려가 있어 보강제 (SOFT GRADE)와 같이 사용하는 것이 좋은 것을 확인

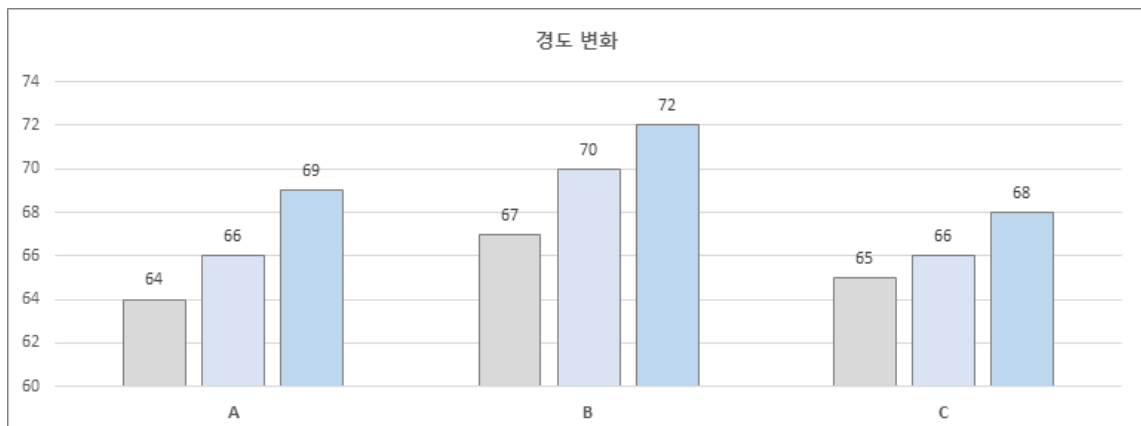
⑦ NR TYPE 소재 보강제에 따른 인열강도 연구

<표 2.36> 보강제 비율 및 종류에 따른 배합

	A	B	C
NR TYPE	100	100	100
촉진조제	1	1	1
산화방지제 A	5	5	5
황	2.5	2.5	2.5
촉진제 H	1	1	1.4
보강제 D	-	60	-
보강제 E	60	-	55

<표 2.37> 보강제 비율 및 종류에 따른 경도 변화표

	A	B	C
8분	64	67	65
9분	66	70	66
10분	69	72	68

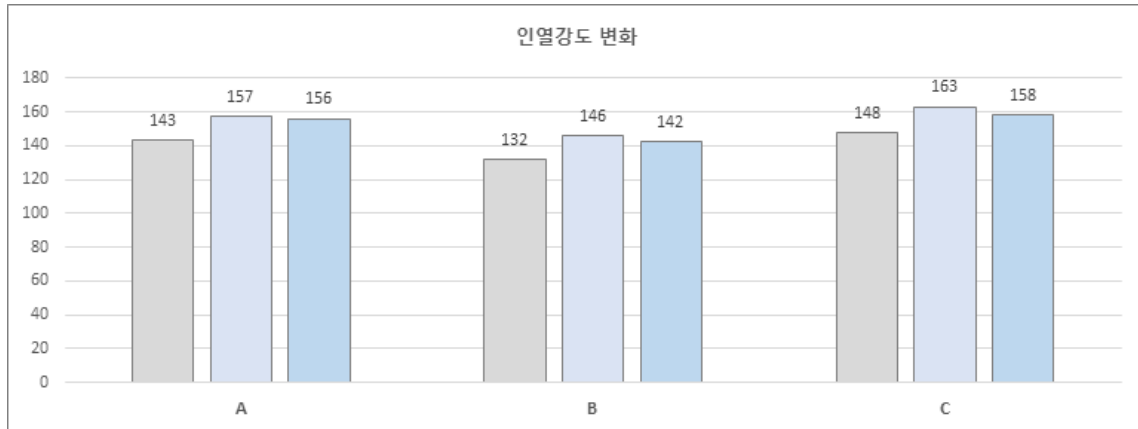


<그림 2.78> 보강제 비율 및 종류에 따른 경도 변화그래프

- 내하중 특성에 필요한 인열강도의 시험 진행

<표 2.38> 보강제 비율 및 종류에 따른 인열강도 변화표

	A	B	C
8분	143	132	148
9분	157	146	163
10분	156	142	158



<그림 2.79> 보강제 비율 및 종류에 따른 인열강도 변화그래프

- 보강제 E에 대한 인열강도가 다소 높게 측정됨을 확인
- 여러 보강제의 추가시험이 필요함 (EX) 노화시험, 오존 시험)

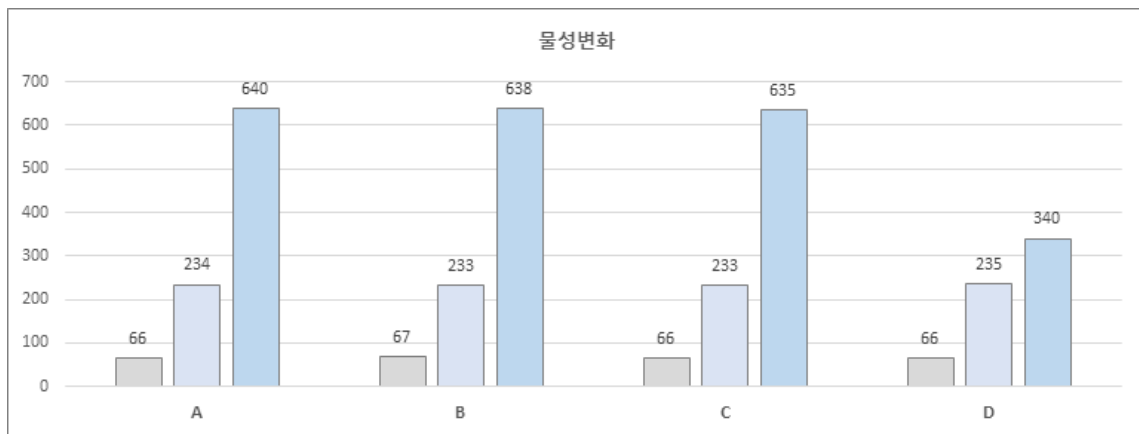
⑧ NR TYPE 소재 노화방지제에 관한 연구

<표 2.39> 노화방지제 비율 및 종류에 따른 배합

	A	B	C
NR TYPE	100	100	100
산화방지제 A	5	5	5
황	1.5	1.5	1.5
촉진조제	1	1	1
보강제 B	40	40	40
촉진제	1.5	1.5	1.5
노화방지제		A2	B2

<표 2.40> 노화방지제 비율 및 종류에 따른 물성 변화표

	A	B	C	D
H (JIS)	66	67	66	66
T _B (KG/CM ²)	234	233	233	235
E _B (%)	640	638	635	640



<그림 2.80> 노화방지제 비율 및 종류에 따른 물성 변화그래프

- 노화방지제는 인열, 인장에는 큰 영향이 없음을 확인이 없으나, 고무 노화를 방지하기 위해 필수적으로 첨가가 필요
- C의 경우 롤러 및 리더기의 가공성이 매우 좋은 것을 확인
- 병용 사용 가능 제품을 찾아 사용시 가공성의 극대화 예상

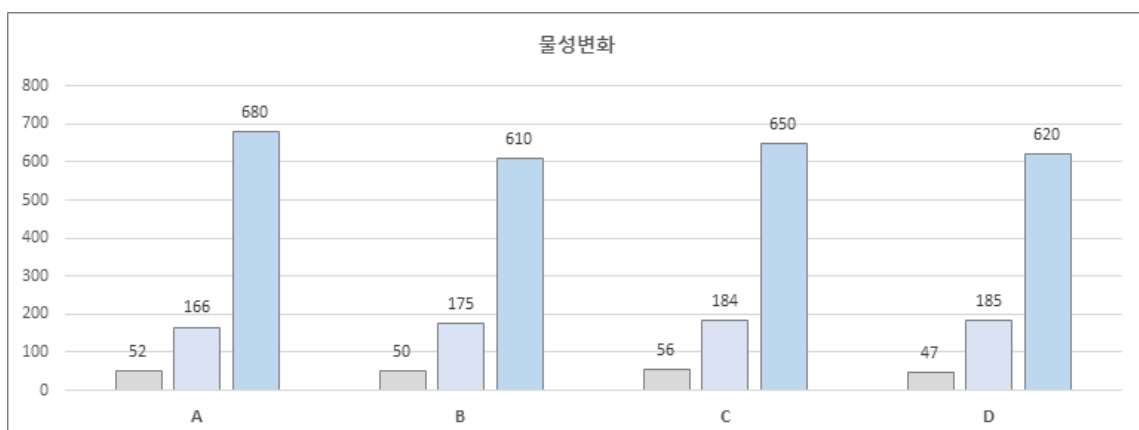
⑨ NR TYPE 소재 가소제에 관한 연구

<표 2.41> 가소제 비율 및 종류에 따른 배합

	A	B	C	D
NR TYPE	100	100	100	100
산화방지제	5	5	5	5
황	1.5	1.5	1.5	1.5
촉진조제	1	1	1	1
보강제 C	65	65	65	65
가소제	A20	B20	C20	D20
촉진제 E	1.5	1.5	1.5	1.5

<표 2.42> 가소제 비율 및 종류에 따른 물성 변화표

	A	B	C	D
H (JIS)	52	50	56	47
T _B (KG/CM²)	166	175	184	185
E _B (%)	680	610	650	620



<그림 2.81> 가소제 비율 및 종류에 따른 물성 변화그래프

- 가소제의 경우 저온특성이나 열발생, 탄성, 경도 등의 기본 물성에 영향을 미치는 것을 확인
- 기본적 물성을 감안했을 때 가소제 C가 적합한 것으로 확인
(자사 연구 배합시 가소제C 사용을 결정)
- 단, 경도를 떨어트리는 단점도 있어 보강제의 적절한 선택과 비율이 중요

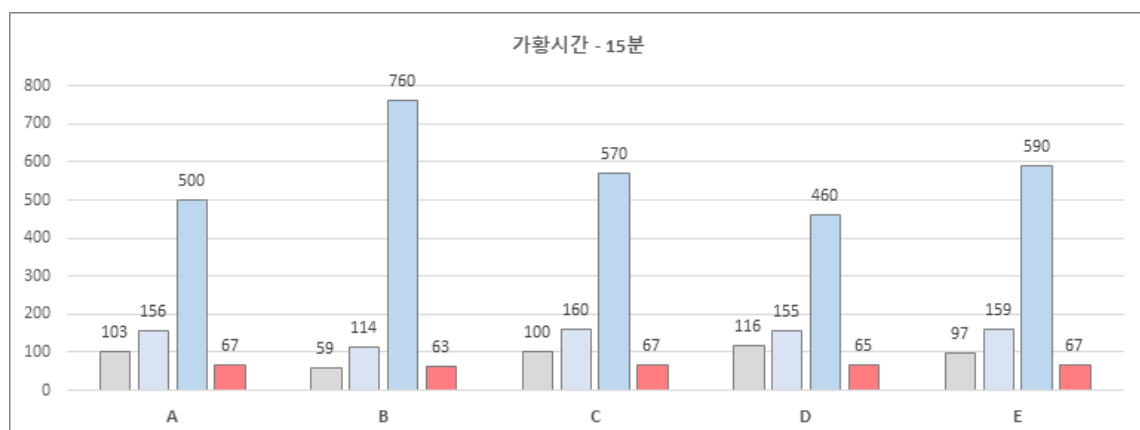
⑩ NR TYPE 소재 가소제 및 가황촉진제에 관한 연구

<표 2.43> 가소제 및 가황촉진제 비율, 종류에 따른 배합

	A	B	C	D	E
NR TYPE	100	100	100	100	100
황	1.5	-	1.5	0.5	0.5
촉진조제	1	1	1	1	1
보강제 C	65	65	65	65	65
가소제 A	15	-	-	15	-
가소제 B	-	15	15	-	-
가소제 C	-	-	-	-	15
가황촉진제 J	0.4	-	-	-	-
가황촉진제 E	-	-	1.5	-	-
가황촉진제 H	-	-	-	1	1
가황촉진제 D	-	3.5	-	2	2

<표 2.44> 가황시간 15분 물성 변화표

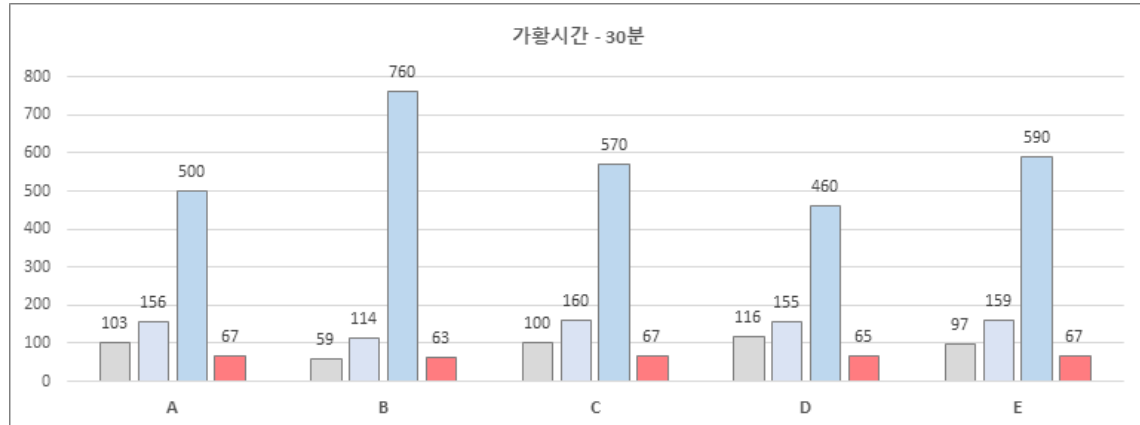
15분 기준	A	B	C	D	E
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	103	59	100	116	97
T _B (KG/CM ²)	156	114	160	155	159
E _B (%)	500	760	570	460	590
H (JIS)	67	63	67	65	67



<그림 2.82> 가황시간 15분 물성 변화그래프

<표 2.45> 가황시간 30분 물성 변화표

30분 기준	A	B	C	D	E
M ₃₀₀ (KG/CM ²)	113	61	112	115	100
T _B (KG/CM ²)	155	129	158	154	166
E _B (%)	460	700	480	440	600
H (JIS)	67	64	67	66	67



<그림 2.83> 가황시간 30분 물성 변화그래프

- 가소제 및 보강제에 따른 일반 물성의 차이가 큰 것으로 확인
- NR TYPE 시험을 통해 촉진제B, 촉진제 D, 가소제 C를 사용하여 신배합이 필요함을 확인
- 경도의 선정은 EFG 완충기의 극심한 전단하중 및 장기간 하중을 견뎌야 하는 내하중 특성과 복원력이 중요함에 따라 저경도(40°)에서 고경도(70°)로 변경하여 선정
- 위에 언급한 내용을 토대로 한 신배합의 공인기관 (KTR) 물성 시험을 의뢰함
- 하기표 참고 (성적서 원본은 별도 첨부)

	단위	NR TYPE A	NR TYPE B
인장강도	MPa	22.7	20.1
신장률	%	5.3X10 ²	4.2X10 ²
100% 인장응력	MPa	2.2	4.0
200% 인장응력	MPa	5.3	9.3
300% 인장응력	MPa	9.4	14.4
인열강도	kN/m	62	68
경도		60	70
영구압축줄임률	%	41	22
반발탄성	%	70	53

- 상기표와 같이 NR TYPE B의 완충기 특성에 유리한 인장응력, 인열강도, 영구압축줄임률이 우수함을 공인기관(KTR) 물성 시험을 통해 확인
- 공인기관(KTR) 물성 성적서를 토대로 NR TYPE B로 선정
- 자사는 이를 바탕으로 NR TYPE 소재를 선정하였으며, 지속적으로 연구 및 시험을 통해 최적의 고무 소재 배합을 개발하고자 함

⑪ 고무 블렌딩에 관한 연구

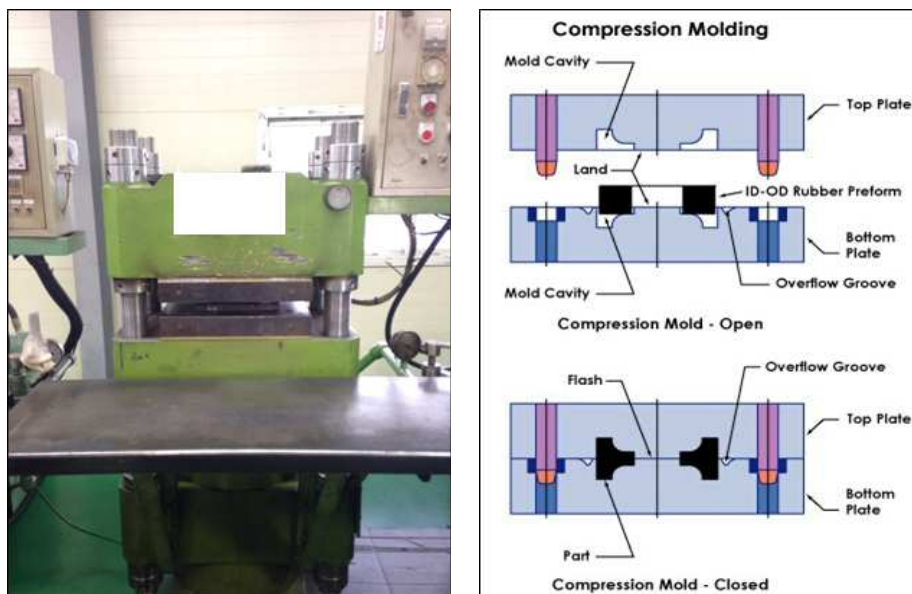
- 부족한 물성을 높이는 방안으로 보통 마스터 배치 방법과 러버 블렌딩 방법으로 나뉜다.
- 고무의 특성상 모든 물성이 좋을 수 없어 블렌딩 방법으로 물성을 높이는 방법이 효과적이다.
- 공가항성이 없는 경우도 있기 때문에 공가항성이 요구되는 제품에는 별도 촉진제를 사용하는게 좋을 것으로 사료된다. 자사는 NR TYPE에 부족한 물성을 보강하기 위해 불소 TYPE, NBR TYPE, HNBR TYPE, EP TYPE의 추가적인 시험을 진행하였다.
(성적서 원본 별도 첨부)

(다) 금형의 설계

① 고무 금형의 종류 및 특징

㉠ COMPRESSION MOLD

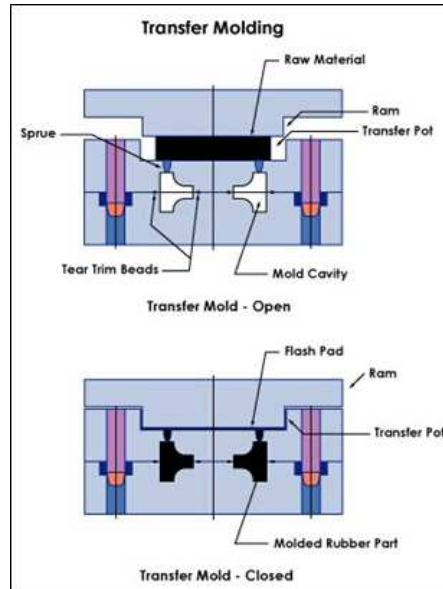
- 금형의 제작이 쉽고 수작업을 하는 금형
- 소량 생산용 또는 소형 제품등을 생산할 때 적용하는 금형
- 금형의 상판을 열고 원재료를 적정량을 투입하여 작업하는 구조
- 재료 투입량에 따라 BURR 두께가 좌우됨
- 사상작업이 어려울 경우가 많아 BURR량이 제품의 기능에 영향을 주지 않을 경우 적용



<그림 2.84> COMPRESSION MOLD

㉡ TRANSFER MOLD

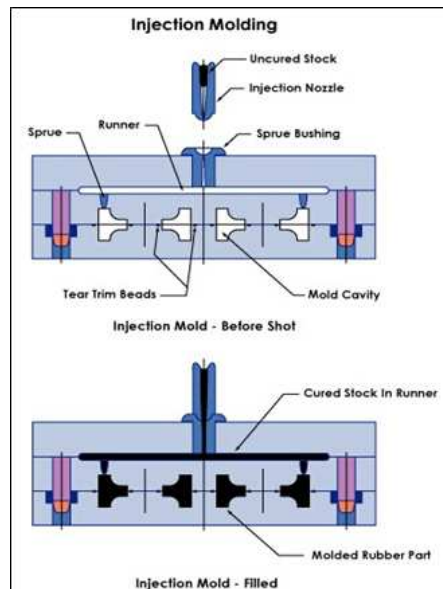
- COMPRESSION 금형으로 작업시 사상이 곤란한 제품으로 INJECTION MOLD 제작이 곤란한 경우 적용
- 금형의 상판, 하판을 닫고 상판 윗부분에(POT) 고무를 투입하여 금형이 닫혀지는 힘으로 고무를 제품 현상부에 재료를 투입하는 구조
- BURR량은 COMPRESSION MOLD보다 훨씬 적으나 LOSS량이 매우 많아 제품원가에 영향을 미치는 경우가 많고 작업 공정시간도 길다
- 보통 적은 제품으로 치수 정도가 정밀할 경우 적용



<그림 2.85> TRANSFER MOLD

㉔ INJECTION MOLD

- 생산수량이 일정량 이상될 경우 적용
- 재료가 금형에 투입되기전에 예열이 되어 성형시간이 단축
- 사출기 SPRUE를 통과시 적절한 믹싱 효과도 있어 품질이 우수한 제품을 얻을 수 있다
- 제품의 형상이나 금형의 설계방법에 따라 다양한 작업성을 얻을 수 있다
- 대량 생산시 적절



<그림 2.86> INJECTION MOLD

② SAMPLE 금형 제작

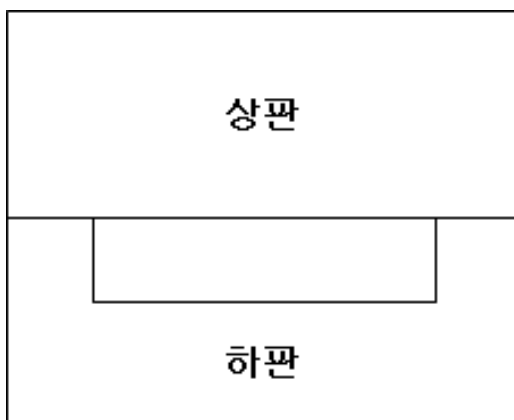
- 제품의 형상, 성형성 검토
- SAMPLE 제작에 따라 CAMPRESSION MOLD 적합
- 금형재질 및 두께 검토
- 내구성 강화를 위해 강성소재 사용
- 금형의 두께를 두껍게 하여 제작
- 100TON 이상의 압력에 견딜 수 있는 내구성이 필요

- 제품의 생산수량 검토
 - SAMPLE 제작에 의한 소량생산
- 금형의 적정 CAVITY 검토
 - 소량생산에 의한 1CAVITY 제작
- 제품의 품질 수준에 의한 검토
 - 치수정도, 중요부위, 재료의 특성, BURR의 관리기준 등 고려
- 작업의 편의성 검토
 - 제품의 탈거 및 작업의 효율성 고려
 - 금형의 특성상 작업자가 상판을 들어 제품을 탈거
 - 상기 이미지와 같이 손잡이를 제작하여 작업자의 편의를 높임

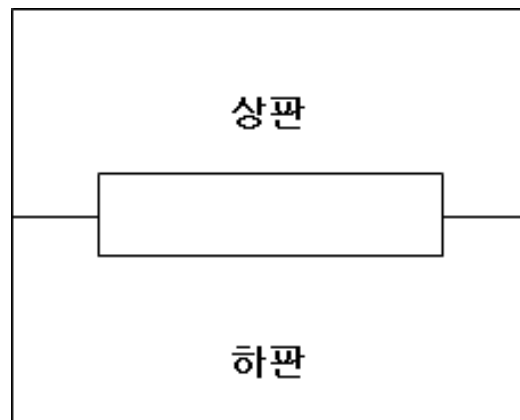


<그림 2.87> 손잡이 제작

- PARTING LINE 검토
 - 제품의 기능에 해가 되지 않는다면 PARTING LINE이 필요함
 - 공기배출이 좋고 제품의 탈거가 용이하고 금형의 가공성에 유리
 - 단, 가공이 불가능한 PARTING LINE은 불필요하므로 충분한 검토를 고려



<그림 2.88> 일반적인 금형 구조



<그림 2.89> 자사 금형 구조

- 일반적인 금형 구조는 BURR가 두껍고 탈거가 어려움
- 자사 금형 구조는 제품의 분리가 용이
- 중앙부 PARTING LINE (일정한 BURR가 발생되며, 사상이 용이함)



<그림 2.90> SAMPLE PARTING LINE

● 치수 공차 및 수축률 검토

- 고무 소재의 수축은 배합되는 약품이나 소재의 종류에 따라 많은 차이가 있어 이에 대한 충분한 검토가 필요
- 자사는 NR TYPE 소재에 대한 수축률에 대한 노하우를 가지고 있음
- 단, 제품의 치수 및 중량에 따라 몇 번의 수정이 필요함
- SAMPLE 금형은 이를 바탕으로 수축률 약 2.2%를 감안하여 제작



<그림 2.91> COMPRESSION MOLD

㉔ 샘플 제작

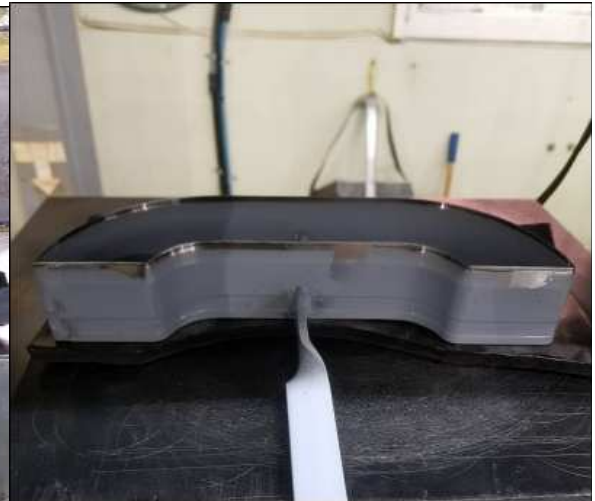
- 고무 비중 : 1.09
- 투입 중량 : 1,040G
- 생산공정
- 틀갈 작업 : 고무 재단



<그림 2.92> 틀칼



<그림 2.93> 틀칼 작업 1



<그림 2.94> 틀칼 작업 2



<그림 2.95> 틀칼 작업 후 재단 고무

- 재단 고무 투입 및 성형
 - 성형시간 : 약 2,700초 (45분)
- 사이즈 측정
 - 제품 설계 도면 치수기준 측정 (단, 상온에서 충분히 식힌 후 측정)
- 사이즈 확인
 - 사이즈의 오차로 인해 수축률 1.6%로 신금형 제작 필요 (금형 수정 불가)
 - 추가 샘플 제작 불가

③ 금형 재제작

- ㉔ SAMPLE 금형을 토대로 설계
 - 수축률 1.6%로 설계
 - 1차 금형과 동일한 두께로 제작
 - 1차 금형과 동일한 강성소재로 제작



<그림 2.96> 제작 금형

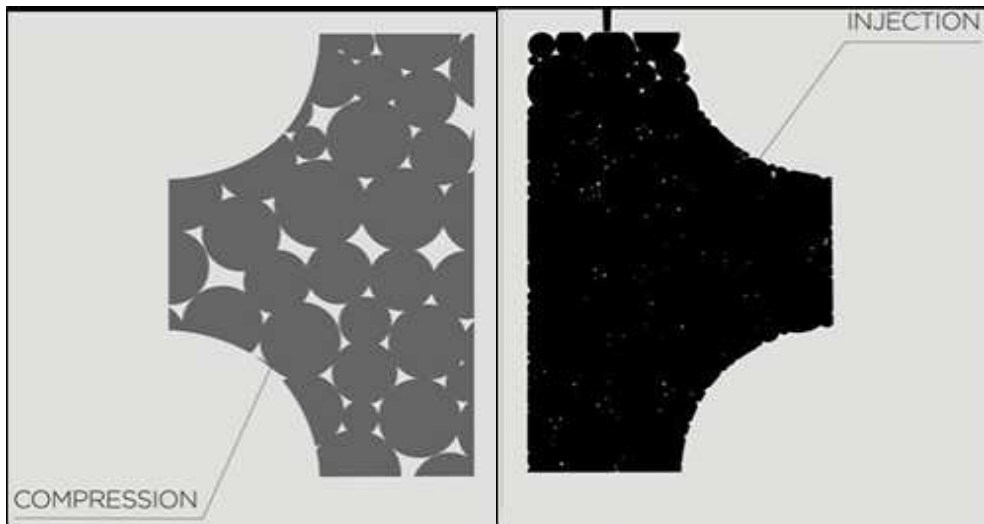
㉔ 샘플 제작

- 고무 비중 : 1.09
- 투입 중량 : 1,040G
- 생산공정
- 틀갈 작업 : 이전과 동일
- 재단 고무 투입 및 성형 : 이전과 동일
- 사이즈 측정 : 이전과 동일
- 사이즈 확인
 - 사이즈 이상 없음
 - 추가 샘플 제작 가능

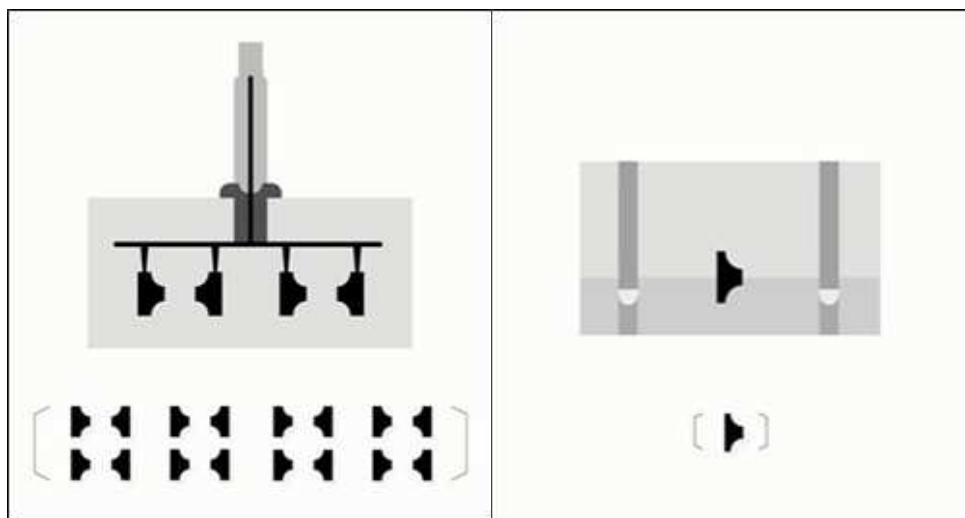
(라) 사출 금형 제작 - 하기와 같은 이유로 선정

① 장점

- ㉔ 우수한 물성 - 밀도가 차이가 월등함
- ㉔ 작업의 용이함
- ㉔ 대량생산 적합
- ㉔ 예열 고무 투입으로 성형시간 단축
- ㉔ 고압력에 의한 생산방식으로 금형 두께 두껍게 제작
- ㉔ 강성소재 사용으로 내구성 강화



<그림 2.97> Compression 및 Injection 차이 1



<그림 2.98> Compression 및 Injection 차이 2



<그림 2.99> 사출 금형 이미지

다. 주조제품 제조 기술

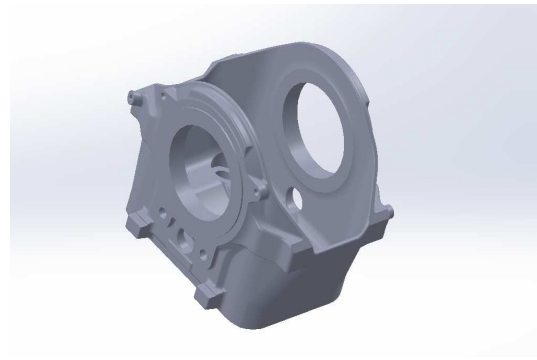
(1) EFG2 주조제품 설계 및 제작

(가) EFG2 고무완충기 부품 설계 도면 완료

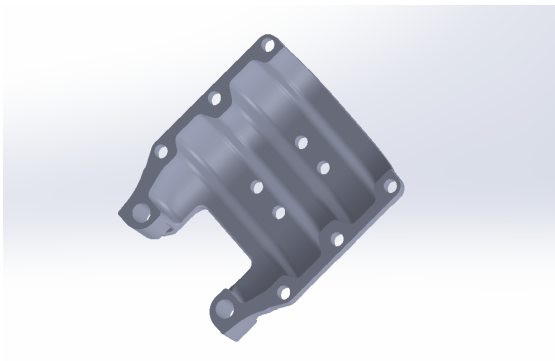
역설계를 통해 1차 시제품인 EFG2 고무완충기 주요 부품의 설계 도면을 아래와 같이 완료하였다.



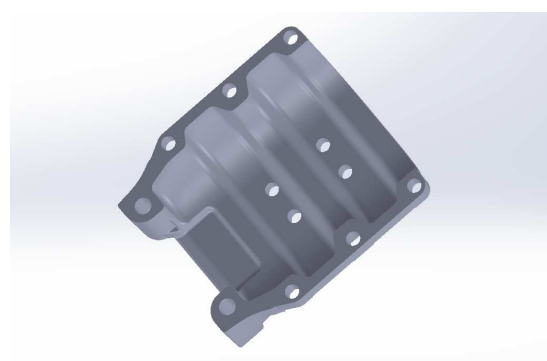
(a) Drawbar



(b) Bearing bracket



(c) Lower shell



(d) Upper shell

<그림 2.100> EFG2 고무완충기 부품의 설계 도면

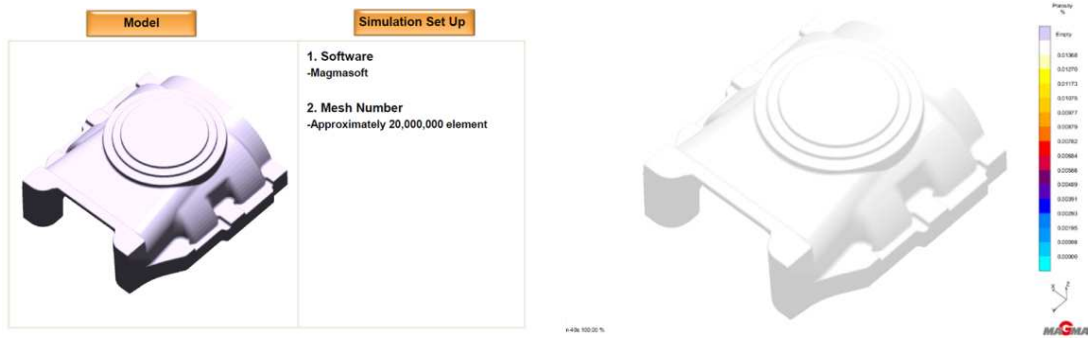
(나) EFG2 고무완충기 부품의 주조 해석

역설계를 통해 완성된 EFG2 고무완충기 주요 부품의 모델링 완료 후, 부품의 도면은 증빙에 첨부하였다.(증빙 7-1) 역설계 작업을 통해 EFG2 고무완충기 주요 부품의 CAD 모델이 완성되면 시제품 제작을 위한 몰드 설계가 이뤄진다. 적절한 주조방안이 고려되지 않은 몰드 설계를 기반으로 몰드가 제작될 경우, 몰드 내에 용탕 주입시 주조품에 결함이 발생될 수 있다. 따라서, 공정 중에 발생할 수 있는 주조품의 결함(형태, 위치)을 예측하고 결함이 없는 고품질의 주조품을 얻기 위해서는 사전에 결함 검증 작업이 반드시 필요하다. 이를 위해, EFG2 고무완충기 주요 부품 각각에 대하여 주조 시뮬레이션 S/W인 MAGMA 해석을 수행하였다.

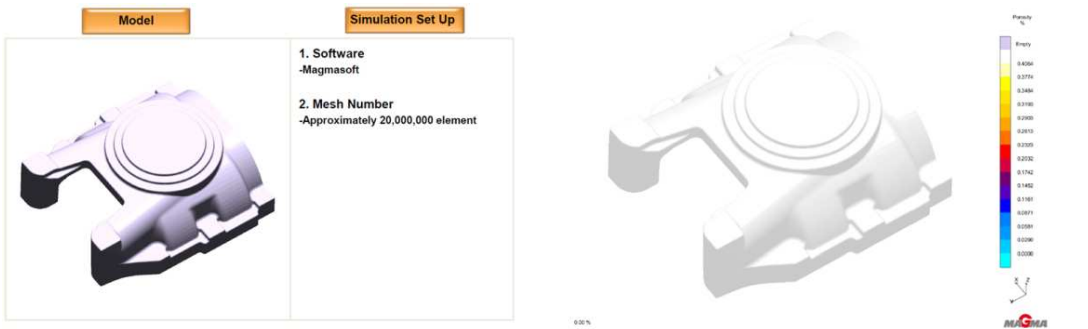
EFG2 고무완충기의 주요 부품에 대한 최적의 주조방안이 고려된 주조 시뮬레이션 해석 결과는 아래와 같다.



(a) Bearing Bracket 주조 해석 결과



(b) Upper shell 주조 해석 결과



(c) Lower shell 주조 해석 결과



(d) Drawbar 주조 해석 결과

<그림 2.101> EFG2 고무완충기 주요 부품의 주조 시뮬레이션 결과

Bearing bracket, Upper shell, Lower shell, Drawbar 각각의 해석 모델의 mesh 개수는 대략 2천만개 정도 되며, Bearing bracket, Upper shell, Lower shell의 재질은 FCD500, Drawbar의 재질은 FCD700이다. 초기 주입 온도는 모두 1360℃로 동일하다.

해석 결과 4개의 모델에 대하여 제품 내에 기공(porosity)이 존재하지 않음을 확인하였다. 이로써 최적의 주조방안을 확정하였고, 이를 바탕으로 몰드 설계를 수행하였다.

(다) EFG2 고무완충기 몰드 설계 및 주조품 제작 과정

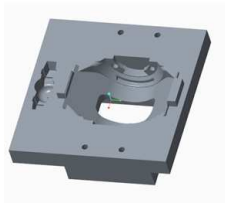
주조 시뮬레이션 해석 결과, 주조품의 무결함 검증이 완료되면 주조방안이 고려된 몰드 설계가 이뤄진다. 주조 작업을 위한 기존의 몰드 제작 방식은 패턴 제작이 요구되고, 복잡한 형상일수록 코어와 몰드의 개수가 많아져서 합형 공정에 많은 시간이 소요되므로 작업효율도 떨어지게 된다. 하지만, 3D 샌드 프린팅을 이용하면 패턴이 없이도 몰드의 제작으로만 주조품을 생산할 수 있으며, 어떠한 복잡한 형상의 주조품도 최적의 몰드 설계를 통한 최소한의 몰드와 코어로 주조품을 생산할 수 있는 몰드 제작이 가능해진다.

3D 샌드 프린팅을 이용한 몰드 설계 및 몰드 제작을 통하여 주조품이 만들어지는 과정은 아래와 같다. 역설계 작업을 통해 획득한 3D CAD 모델링을 기반으로 최적의 주조방안이 고려된 3D 몰드 설계가 이뤄지며 몰드 설계가 완료된 stl 파일을 가지고 3D 샌드 프린터를 통해 샌드 몰드를 출력한다. 용탕의 주입시, 몰드와 용탕 간의 반응에 의해 주물사가 주물표면에 융착되는 소착(sand burying)을 방지하기 위해 몰드 표면에 도형제를 칠해주게 되며, 주입 준비를 위한 몰드의 합형 과정이 이뤄진다. 이후, 용탕 주입이 이뤄지면, 몰드의 탈사 과정 및 주물의 후처리 작업(그라인딩, 사상)을 거쳐 주조품이 만들어진다.

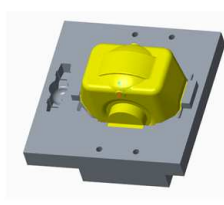


<그림 2.102> EFG2 Drawbar 몰드 설계 후 몰드 제작 및 주조품 생산 과정

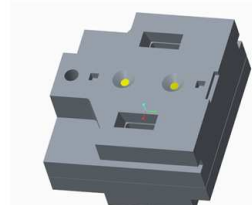
EFG2 고무완충기의 주요 부품의 몰드 설계는 아래와 같다. Bearing bracket의 경우 3개의 몰드와 1개의 코어로 합형이 이뤄지며, Drawbar, Uppershell, Lowershell은 모두 3개의 몰드로 합형된다.



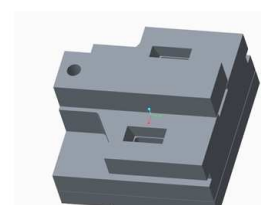
Lower 준비



Core 삽입



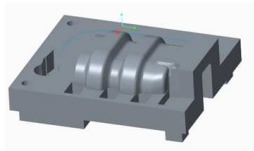
Upper 조립



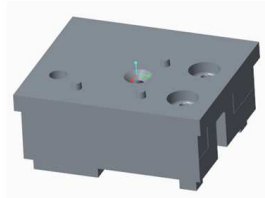
압탕 Cover 조립

(a) Bearing bracket

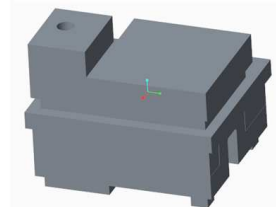
Mold size : 445x575x570(WxDxH)



Lower 준비



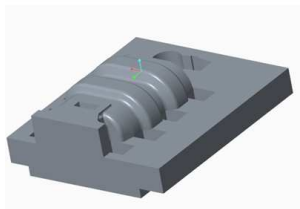
Upper 조립



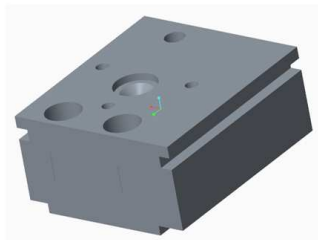
압탕 Cover조립

(b) Upper shell

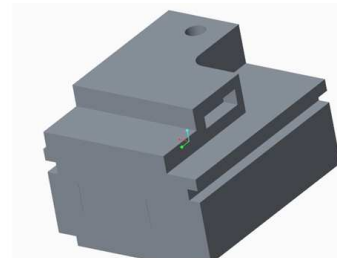
Mold size : 550x470x450(WxDxH)



Lower 준비



Upper 조립



압탕 Cover조립

(c) Lower shell

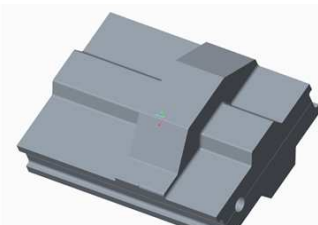
Mold size : 500x440x000(WxDxH)



Lower 준비



Upper 1 조립



Upper 2 조립

(d) Draw bar

Mold size : 800x575x320(WxDxH)

<그림 2.103> EFG2 고무완충기 주요 부품의 몰드 설계

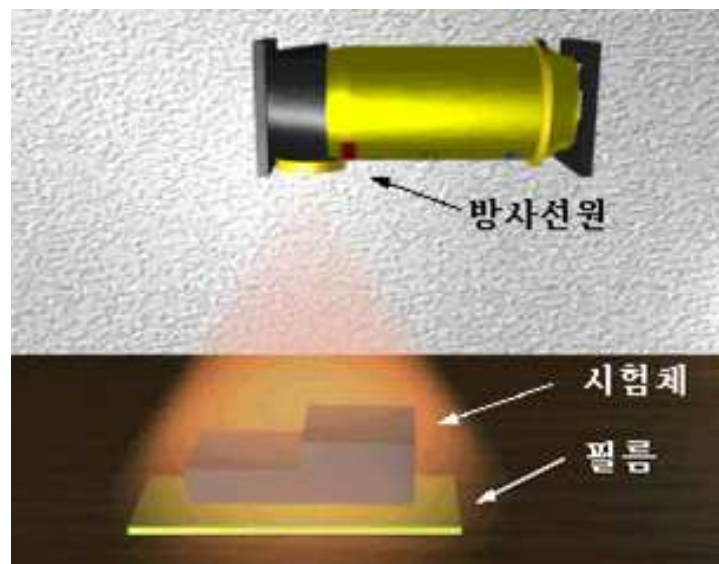
3D 샌드 프린팅 공정을 적용한 몰드 설계를 통하여 아래와 같이 EFG2 고무완충기의 주요 소재 모델 2set를 제작하였다.



<그림 2.104> EFG2 고무완충기 소재

(라) EFG2 고무완충기 부품의 방사선투과 검사(RT)

병원에서 X-ray 검사로 인체 내부의 이상 유무를 검사하는 방법과 동일하게 강(steel)이나 기타 재질 내부에 존재하는 불연속(결함)을 검출하는데 적용하는 비파괴검사 방법이다. 방사선은 눈으로 볼 수 없으며, 물질을 전리시키며, 파장이 짧아 물질을 쉽게 투과하는 성질을 보유하고 있다. 투과된 방사선원은 필름을 감광시키며, 이 때 투과된 방사선량에 따라 필름의 감광 정도가 다르게 되고 이를 현상하여 필름에 나타난 밝고 어두운 정도를 비교하여 시험체 내부의 상태를 파악하게 된다.



<그림 2.105> 방사선 투과 검사 원리

EFG2 고무완충기 부품의 방사선 투과 검사 관독 결과 주요 부위에 블로홀, 모래박힘, 개재물의 결함 등은 검출되지 않았으며 주물의 내외부가 상태가 깨끗한 상태임을 확인할 수 있었다. EFG2 고무완충기 주요 부품의 방사선 투과 검사 결과는 아래와 같다.

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선 투과 검사 보고서

서울특별시 금천구 가산동 234-1 디지털융합타워 4층 403호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-6094-2631		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070501 Page No. 페이지 번호 1 of 2																																																																																						
Customer(당주)	Project No./Name(프로젝트명/명)																																																																																							
상영기계(주)	N/A																																																																																							
Item No./Name(품목번호/명)	Part No./Name(부품번호/명)																																																																																							
BEARING BRACKET	See Identification No.																																																																																							
TRV No. / Revision Operation No.	Procedure No./Code(절차/코드)																																																																																							
N/A	ASME Sec. V Article 2																																																																																							
Y-ray Projector(선 조사기)																																																																																								
S.No.	Source Type	Intensity																																																																																						
DB920	■ B-192 □ Co-60	30Ci																																																																																						
Focal Size	Exposure Time																																																																																							
2.7 x 2.2mm																																																																																								
Material Type(재료)	Mat'l Thickness(두께)	Penetration Thickness(투과두께)																																																																																						
FCD500	T. 10~40mm	N/A																																																																																						
Penetrometer(투과도계)	Contrastmeter(대조계)	Shim Thickness(삽두께)																																																																																						
■ S. Side □ F. Side	□ with □ without	N/A																																																																																						
Min. SOD/Max. OFD	Density(농도)	Sensitivity(감도)																																																																																						
400mm/40mm	2.0~4.0	0.33~0.63mm																																																																																						
Film Brand/Type(필름회사/종류)	Screen(스크린)	Developing Condition(현상조건)																																																																																						
KODAK / T200, AA400	■ Front □ Back	20 °C 5 Min																																																																																						
Film Viewing(필름관망)	Number of Film(필름장 수)	Remarks(비고)																																																																																						
□ Single ■ Double	2 장	N/A																																																																																						
Remarks (Shooting Sketch)																																																																																								
*Shooting Sketch attached																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FILM IDENT. NO.</th> <th rowspan="2">A.C.C.</th> <th colspan="10">Interpretation (판정)</th> <th rowspan="2">REMARKS</th> </tr> <tr> <th>CRACK</th> <th>NOTTING</th> <th>INSERT</th> <th>HOT TEAR</th> <th>OTHERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">A</td> <td>1-2</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>2-E</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">B</td> <td>1-2</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>2-E</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">C</td> <td>1-E</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>			FILM IDENT. NO.	A.C.C.	Interpretation (판정)										REMARKS	CRACK	NOTTING	INSERT	HOT TEAR	OTHERS	A	1-2	√											NONE	2-E	√											NONE	B	1-2	√											NONE	2-E	√											NONE	C	1-E	√											NONE
FILM IDENT. NO.	A.C.C.	Interpretation (판정)										REMARKS																																																																												
		CRACK	NOTTING	INSERT	HOT TEAR	OTHERS																																																																																		
A	1-2	√											NONE																																																																											
	2-E	√											NONE																																																																											
B	1-2	√											NONE																																																																											
	2-E	√											NONE																																																																											
C	1-E	√											NONE																																																																											
	Examined by 시 검 자 H. G. JEONG 재 명 II Interpreted by 판 독 자 H. G. JEONG 재 명 II Approved by 승 인 자 Song Byoung Ho 재 명 III		Date of Examination 검사일자 2018. 07. 05 Owner/Customer 주문주/고객 김득문 ☐ Third Party Inspector 공인 검사원 ☐ ANIA (Authorized Nuclear Inspector/Authorized Inspector)																																																																																					

RTR-(3)-A(A4 210×297mm)

Betagen Inc.

(a) Bearing bracket

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선 투과 검사 보고서

서울특별시 금천구 가산동 234-1 디지털융합타워 4층 403호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-6094-2631		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070501 Page No. 페이지 번호 2 of 2
EXPOSURE PLACEMENT MAP - BEARING BRACKET		
SHOOTING SKETCH		

RTR-(3)-A(A4 210×297mm)

Betagen Inc.

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선 투과 검사 보고서

서울특별시 금천구 가산동 234-1 디지털융합타워 4층 403호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-6094-2631		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070502 Page No. 페이지 번호 1 of 2																																																												
Customer(당주)	Project No./Name(프로젝트명/명)																																																													
상영기계(주)	N/A																																																													
Item No./Name(품목번호/명)	Part No./Name(부품번호/명)																																																													
UPPER SHELL	See Identification No.																																																													
TRV No. / Revision Operation No.	Procedure No./Code(절차/코드)																																																													
N/A	ASME Sec. V Article 2																																																													
Y-ray Projector(선 조사기)																																																														
S.No.	Source Type	Intensity																																																												
DB920	■ B-192 □ Co-60	30Ci																																																												
Focal Size	Exposure Time																																																													
2.7 x 2.2mm																																																														
Material Type(재료)	Mat'l Thickness(두께)	Penetration Thickness(투과두께)																																																												
FCD500	T. 25~55mm	N/A																																																												
Penetrometer(투과도계)	Contrastmeter(대조계)	Shim Thickness(삽두께)																																																												
■ S. Side □ F. Side	□ with □ without	N/A																																																												
Min. SOD/Max. OFD	Density(농도)	Sensitivity(감도)																																																												
400mm/55mm	2.0~4.0	0.50~0.81mm																																																												
Film Brand/Type(필름회사/종류)	Screen(스크린)	Developing Condition(현상조건)																																																												
KODAK / T200, AA400	■ Front □ Back	20 °C 5 Min																																																												
Film Viewing(필름관망)	Number of Film(필름장 수)	Remarks(비고)																																																												
□ Single ■ Double	2 장	N/A																																																												
Remarks (Shooting Sketch)																																																														
*Shooting Sketch attached																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FILM IDENT. NO.</th> <th rowspan="2">A.C.C.</th> <th colspan="10">Interpretation (판정)</th> <th rowspan="2">REMARKS</th> </tr> <tr> <th>CRACK</th> <th>NOTTING</th> <th>INSERT</th> <th>HOT TEAR</th> <th>OTHERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1-E</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1-E</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1-E</td> <td>√</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>			FILM IDENT. NO.	A.C.C.	Interpretation (판정)										REMARKS	CRACK	NOTTING	INSERT	HOT TEAR	OTHERS	A	1-E	√											NONE	B	1-E	√											NONE	C	1-E	√											NONE
FILM IDENT. NO.	A.C.C.	Interpretation (판정)										REMARKS																																																		
		CRACK	NOTTING	INSERT	HOT TEAR	OTHERS																																																								
A	1-E	√											NONE																																																	
B	1-E	√											NONE																																																	
C	1-E	√											NONE																																																	
Examined by 시 검 자 H. G. JEONG 재 명 II Interpreted by 판 독 자 H. G. JEONG 재 명 II Approved by 승 인 자 Song Byoung Ho 재 명 III		Date of Examination 검사일자 2018. 07. 05 Owner/Customer 주문주/고객 김득문 ☐ Third Party Inspector 공인 검사원 ☐ ANIA (Authorized Nuclear Inspector/Authorized Inspector)																																																												

RTR-(3)-A(A4 210×297mm)

Betagen Inc.

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선 투과 검사 보고서

서울특별시 금천구 가산동 234-1 디지털융합타워 4층 403호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-6094-2631		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070502 Page No. 페이지 번호 2 of 2
EXPOSURE PLACEMENT MAP - UPPER SHELL		
SHOOTING SKETCH		

RTR-(3)-A(A4 210×297mm)

Betagen Inc.

(b) Upper shell

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선투과검사보고서

서울특별시 금천구 가산동 14-1 디지털융합기술센터 1415호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-2629-2025		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070503 Page No. 페이지 번호 1 of 2																																									
Customer(고객) : 삼성기계(주)		Project No./Name(프로젝트명) : N/A																																									
Item No./Name(제품명/부품명) : LOWER SHELL		Part No./Name(부품명/부품명) : N/A																																									
TRV No. Revision Operation No. : N/A		See Identification No. : N/A																																									
Procedure No./Code(절차번호/코드) : ASME Sec. V Article 2																																											
γ-ray Projector(γ선 조사기) S.No. : D8920 Source Type : ☒ Ir-192 ☐ Co-60 Intensity : 30Ci Focal Size : 2.7 x 2.2mm Expose Time : N/A Material Type(재료) : FCD500 Mat'l Thickness(두께) : T. 25~55mm Penetration Thickness(투과두께) : N/A Penetration(투과도) : ☒ S. Side ☐ F. Side Contrastmeter(대조계) : ☐ with ☒ without Shim Thickness(삽두께) : N/A Min. SOD/Max. OFD : 400mm/55mm Density(밀도) : 2.0~4.0 Sensitivity(감도) : 0.50~0.81mm Film Brand/Type(필름제조사/종류) : KODAK / T200 , AA400 Screen(스크린) : ☒ Front 0.13 ☒ Back 0.13 Developing Condition(현상조건) : 20 ℃ 5 Min Film Viewing(필름관찰) : ☐ Single ☒ Double Number of Film(개사드럼 필름수) : 2 개 Remarks(비고) : N/A																																											
Remarks (Shooting Sketch) • Shooting Sketch attached																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FILM IDENT. NO.</th> <th rowspan="2">A.C.C.</th> <th rowspan="2">REJ.</th> <th rowspan="2">GRADE</th> <th colspan="4">Interpretation (판정)</th> <th rowspan="2">REMARKS</th> </tr> <tr> <th>SAND SLAG INCL.</th> <th>CRACK</th> <th>NOTTING</th> <th>OTHERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1-E</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1-E</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1-E</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>				FILM IDENT. NO.	A.C.C.	REJ.	GRADE	Interpretation (판정)				REMARKS	SAND SLAG INCL.	CRACK	NOTTING	OTHERS	A	1-E	✓						NONE	B	1-E	✓						NONE	C	1-E	✓						NONE
FILM IDENT. NO.	A.C.C.	REJ.	GRADE					Interpretation (판정)					REMARKS																														
				SAND SLAG INCL.	CRACK	NOTTING	OTHERS																																				
A	1-E	✓						NONE																																			
B	1-E	✓						NONE																																			
C	1-E	✓						NONE																																			
Examined by : H. G. JEONG (Level II) Interpreted by : H. G. JEONG (Level II) Approved by : Song Byeong Ho (Level III) Date of Examination (검사일) : 2018. 07. 05 Owner/Customer (주요위/고객) : 한국수력원자력 ☐ Third Party Inspector (공인 검사관) ☒ ANRI (Authorized Nuclear Inspector/Authorized Inspector)																																											

(c) Lower shell

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선투과검사보고서

서울특별시 금천구 가산동 14-1 디지털융합기술센터 1415호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-2629-2025		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070503 Page No. 페이지 번호 2 of 2	
EXPOSURE PLACEMENT MAP - LOWER SHELL 			
SHOOTING SKETCH Sec S1-S1 			

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선투과검사보고서

서울특별시 금천구 가산동 14-1 디지털융합기술센터 1415호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-2629-2025		Report No. 보고서 번호 RTGDJ-SY-R18070504 Page No. 페이지 번호 1 of 2																																
Customer(고객) : 삼성기계(주)		Project No./Name(프로젝트명) : N/A																																
Item No./Name(제품명/부품명) : DRAWBAR		Part No./Name(부품명/부품명) : N/A																																
TRV No. Revision Operation No. : N/A		See Identification No. : N/A																																
Procedure No./Code(절차번호/코드) : ASME Sec. V Article 2																																		
γ-ray Projector(γ선 조사기) S.No. : D8920 Source Type : ☒ Ir-192 ☐ Co-60 Intensity : 30Ci Focal Size : 2.7 x 2.2mm Expose Time : N/A Material Type(재료) : FCD700 Mat'l Thickness(두께) : T. 80~140mm Penetration Thickness(투과두께) : N/A Penetration(투과도) : ☒ S. Side ☐ F. Side Contrastmeter(대조계) : ☐ with ☒ without Shim Thickness(삽두께) : N/A Min. SOD/Max. OFD : 600mm/140mm Density(밀도) : 2.0~4.0 Sensitivity(감도) : 1.01~1.60mm Film Brand/Type(필름제조사/종류) : KODAK / T200 , AA400 Screen(스크린) : ☒ Front 0.13 ☒ Back 0.13 Developing Condition(현상조건) : 20 ℃ 5 Min Film Viewing(필름관찰) : ☐ Single ☒ Double Number of Film(개사드럼 필름수) : 2 개 Remarks(비고) : N/A																																		
Remarks (Shooting Sketch) • Shooting Sketch attached																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FILM IDENT. NO.</th> <th rowspan="2">A.C.C.</th> <th rowspan="2">REJ.</th> <th rowspan="2">GRADE</th> <th colspan="4">Interpretation (판정)</th> <th rowspan="2">REMARKS</th> </tr> <tr> <th>SAND SLAG INCL.</th> <th>CRACK</th> <th>NOTTING</th> <th>OTHERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DRAWBAR</td> <td>1-2</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2-E</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NONE</td> </tr> </tbody> </table>				FILM IDENT. NO.	A.C.C.	REJ.	GRADE	Interpretation (판정)				REMARKS	SAND SLAG INCL.	CRACK	NOTTING	OTHERS	DRAWBAR	1-2	✓						NONE		2-E	✓						NONE
FILM IDENT. NO.	A.C.C.	REJ.	GRADE					Interpretation (판정)					REMARKS																					
				SAND SLAG INCL.	CRACK	NOTTING	OTHERS																											
DRAWBAR	1-2	✓						NONE																										
	2-E	✓						NONE																										
Examined by : H. G. JEONG (Level II) Interpreted by : H. G. JEONG (Level II) Approved by : Song Byeong Ho (Level III) Date of Examination (검사일) : 2018. 07. 05 Owner/Customer (주요위/고객) : 한국수력원자력 ☐ Third Party Inspector (공인 검사관) ☒ ANRI (Authorized Nuclear Inspector/Authorized Inspector)																																		

(d) Draw bar

REPORT OF RADIOGRAPHIC EXAMINATION
방사선투과검사보고서

서울특별시 금천구 가산동 14-1 디지털융합기술센터 1415호 TEL: 070-4044-8520 / FAX: 02-2629-2025		Report No. 보고서 번호 BTGDJ-SY-R18070504 Page No. 페이지 번호 2 of 2	
EXPOSURE PLACEMENT MAP - DRAWBAR 			
SHOOTING SKETCH Sec S1-S1 			

<그림 2.106> EFG2 고무완충기 주요 부품의 방사선투과 검사(RT) 보고서

(마) 침투탐상 검사(PT)를 통한 EFG2 고무완충기 소재 건전성 확인

EFG2 고무완충기의 소재 건전성 확인을 위해 소재 부품의 절단 및 침투탐상검사(Penetration inspection)를 수행하였다. 침투탐상검사(Penetration inspection)는 검사하고자 하는 대상물의 표면에 침투력이 강한 적색 또는 형광성 침투액을 칠하여, 표면의 개구결함 부위에 충분히 침투시킨 다음 표면의 침투액을 닦아내고 백색 분말의 현상액으로 결함 내부에 스며든 침투액을 표면으로 꺼집어내고, 그것을 직접 또는 자외선 등으로 비추어 관찰함으로써 결함 여부를 확인하는 방법이다.

PT 검사는 전처리 과정, 침투과정, 제거처리(세척처리), 현상 처리, 관찰(판독), 후처리 작업 순으로 진행된다. 먼저 전처리 과정에서는 침투탐상검사를 할 대상의 표면을 닦아 이물질, 물기, 기름 등을 닦아 시험체 표면을 깨끗하게 한다. 침투처리는 전처리 과정을 끝낸 시험체 표면에 침투성이 좋은 즉, 크랙이나 흠집이 있다면 그 부분으로 잘 파고 들어갈 수 있는 용액을 시험체 표면에 뿌린다. 침투액을 뿌리고 난 다음에 결함부분에 침투할 수 있게 5분의 대기시간을 갖는다. 제거(세척)처리는 침투처리과정에 시험체표면을 얇은 막처럼 덮고 있는 침투액을 제거하고 결함부분으로 들어간 침투용액만 남겨놓도록 표면을 세척하는 과정이다. 그림처럼 결함부분으로 들어간 침투용액을 제외하고는 다 제거해줘야 한다. 현상 처리는 세척처리 과정을 마친 시험체의 표면에 현상제를 뿌리는 작업이다.

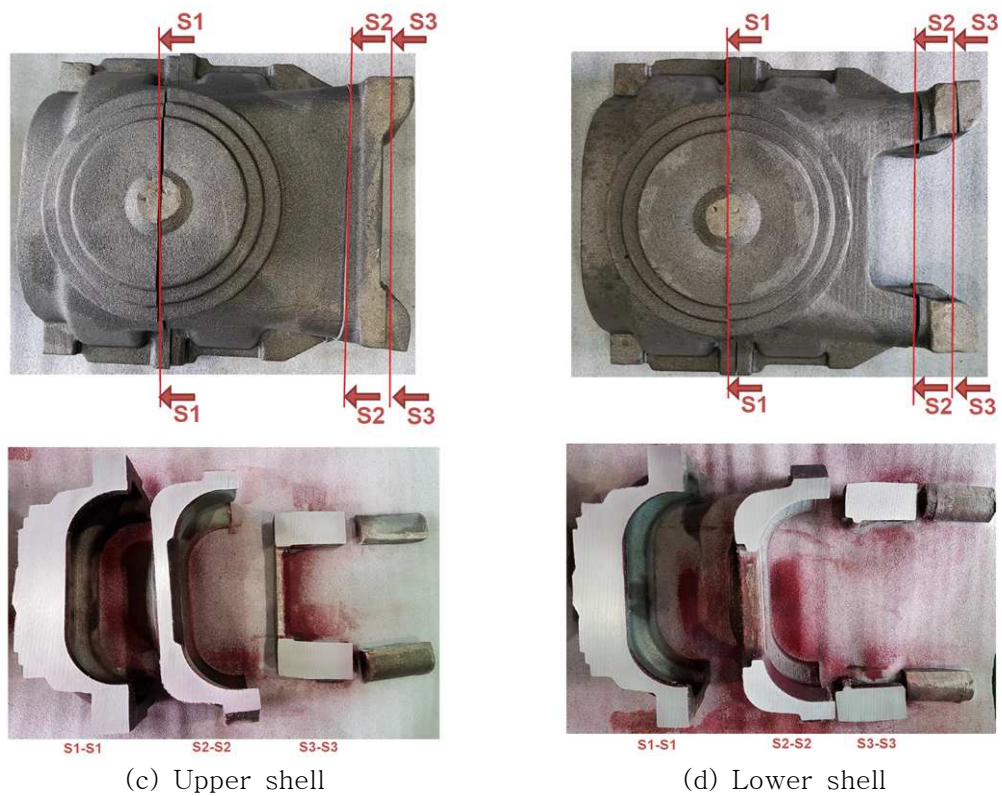
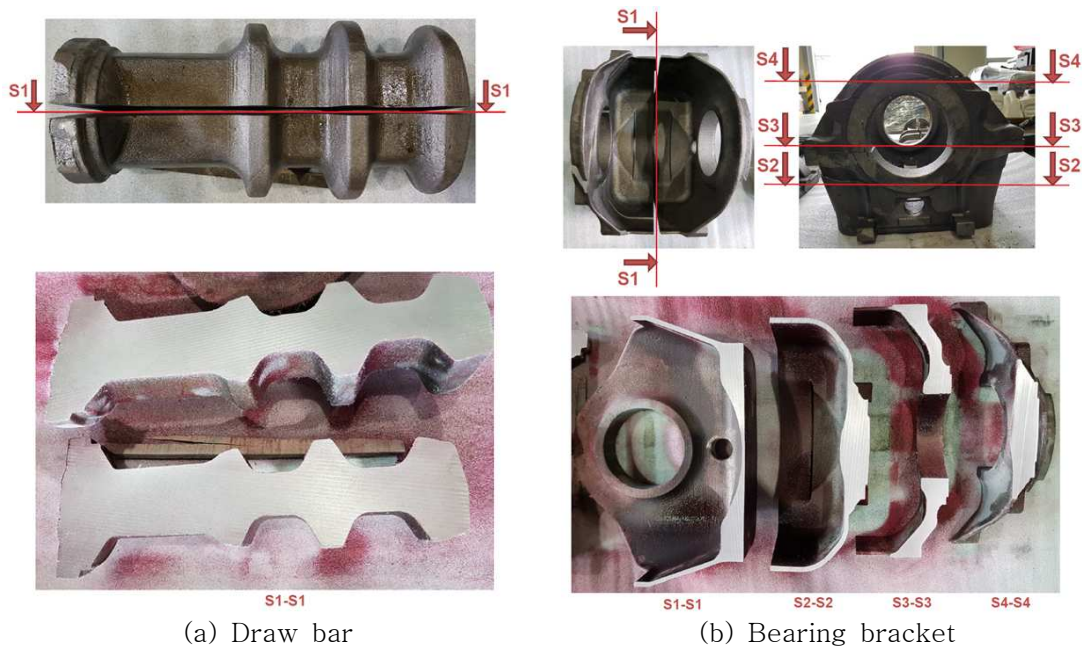
현상제란, 침투액을 시험체 표면으로 나오게 하여 지시 모양을 눈으로 볼 수 있게 확대시켜 주는 하얀가루이다. 현상처리로 시험표면은 현상제가 뿌려져 흰색으로 나타나지만 결함이 있다면 적색의 침투액이 올라오는 것을 판별할 수 있게 된다.

결함유무를 판독 후에는 후처리 작업으로 세척액을 사용하여 검사부위를 닦아준다. 침투탐상검사의 절차와 방법은 아래 그림과 같다.



<그림 2.107> 침투탐상검사 절차 및 방법

EFG2 고무완충기의 각 소재 부위를 절단하고 PT 검사를 수행한 결과 아래와 같이 결함이 검출되지 않았고 모든 절단 표면이 깨끗하였다. 이로써, EFG2 고무완충기의 소재 건전성을 확인할 수 있었다.



<그림 2.108> EFG2 고무완충기 주요 소재의 PT 검사

(바) EFG2 고무완충기 부품의 조직 검사 및 기계적 성질 시험

EFG 형식 고무완충기는 철도 연결기 부품으로서 안전이 매우 중요하며 이에 고무완충기에 조립되는 주물의 품질확보와 재질의 강도 검증이 필요하다. 따라서, 주물 부품의 본품 시편을 채취하여 공인시험 기관인 한국화학시험연구원(KTR)에 의뢰하였고, 아래 Spec에 만족함을 확인하였다. 공인시험 성적서는 증빙에 첨부하였다.(증빙 1-7)

<표 2.46> 주조 부품별 재질

부품명	재질명	화학 성분	기계적 성질
Bearing bracket Upper shell Lower shell	GCD 500 (FCD 500)	<표 2.40> 참조	<표 2.41> 참조
Draw bar	GCD 700 (FCD 700)		

<표 2.47> 구상흑연주철의 화학 성분(%)

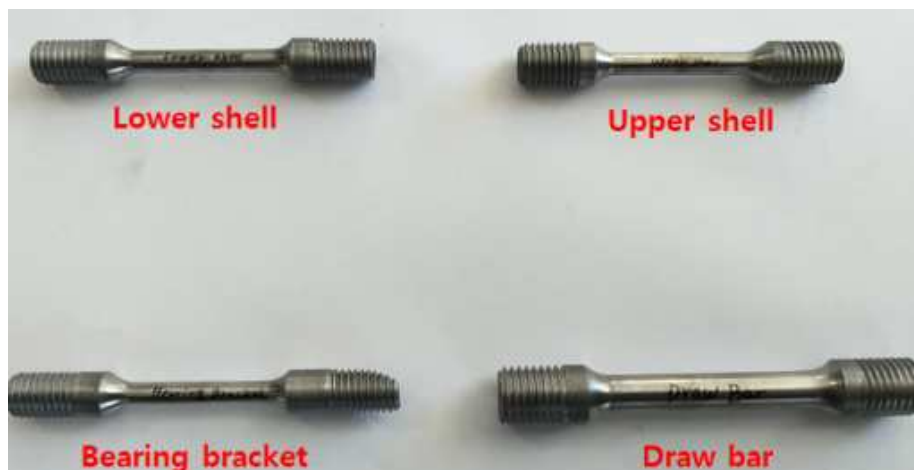
	C	Si	Mn	P	S	Mg
GCD500	2.5 이상	-	-	-	0.02 이하	0.09 이하
GCD700						

<표 2.48> 구상흑연주철의 기계적 성질

	인장강도(N/mm ²)	항복강도(N/mm ²)	연신율(%)	경도(HB)
GCD500	500 이상	320 이상	7 이상	150~230
GCD700	700 이상	420 이상	2 이상	180~300



<그림 2.109> EFG2 고무완충기 주물부품의 본품 시편 채취 사진



<그림 2.110> EFG2 고무완충기 주요 부품의 인장 시편

본 과제를 통하여 구매한 고기능 금속현미경을 활용하여 고무완충기 주요 소재 시편의 조직 검사를 자체적으로 수행하였다.



<그림 2.111> 고기능 금속 현미경(MA100N)

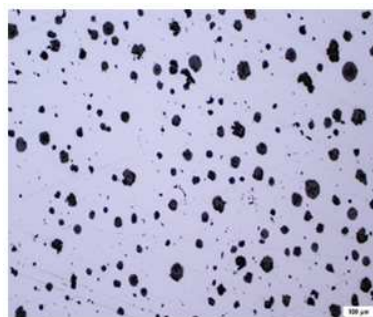
EFG2 고무완충기 부품의 소재 시편을 채취하여 가공 후 조직 검사를 통해 아래와 같은 항목을 확인하였다.

- 페라이트 / 펄라이트 기지 조직의 양적 비율 측정(%)
- 단위 면적당 흑연 개수
- 주철 조직의 흑연형상 분류와 비율(%) 및 크기 측정(㎜)
- 구상화율

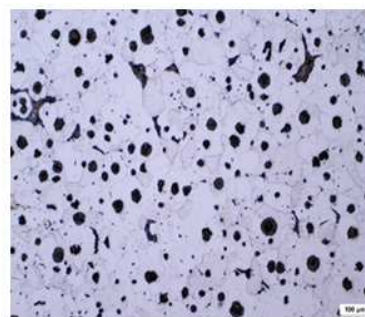
고기능 금속현미경을 통한 EFG 주요 부품의 재질 시험 결과는 아래와 같으며, 모두 해당 spec에 만족함을 확인하였다.

<표 2.49> 화학성분 분석(Chilled 시편 검사 결과)

	C	Si	Mn	P	S	Mg
Spec	2.5 이상	-	-	-	0.02 이하	0.09 이하
FCD500	3.3	-	-	-	0.014	0.043
FCD700	3.55	-	-	-	0.012	0.039



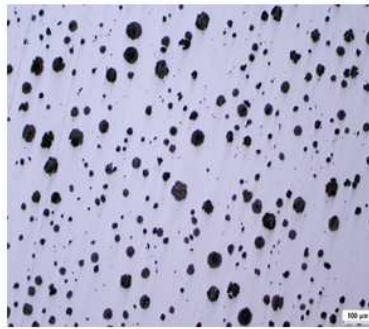
(a) 부식 전



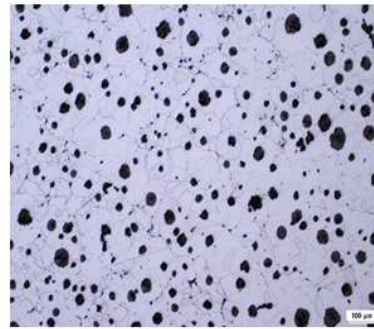
(b) 부식 후

<표 2.50> Bearing bracket 조직 검사 결과 및 현미경 조직

Nodularity(%)	Size	Graphite type	Ferrite(%)	Pearlite(%)	Count per 1mm ² (EA)
91	6	VI	96	4	119



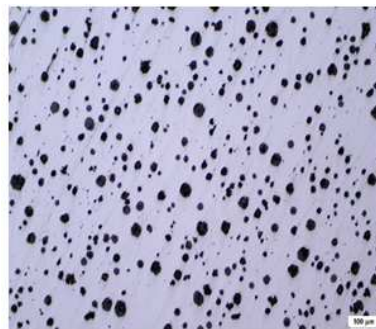
(a) 부식 전



(b) 부식 후

<표 2.51> Upper shell 부품 조직 검사 결과 및 현미경 조직

Nodularity(%)	Size	Graphite type	Ferrite(%)	Pearlite(%)	Count per 1mm ² (EA)
92	6	VI	98	2	134



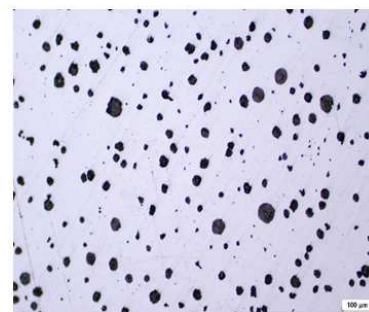
(a) 부식 전



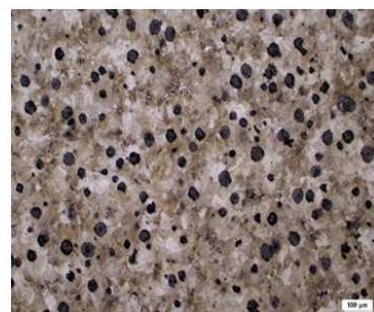
(b) 부식 후

<표 2.52> Lower shell 부품 조직 검사 결과 및 현미경 조직

Nodularity(%)	Size	Graphite type	Ferrite(%)	Pearlite(%)	Count per 1mm ² (EA)
91	6	VI	98	2	164



(a) 부식 전



(b) 부식 후

<표 2.53> Drawbar 부품 조직 검사 결과 및 현미경 조직

Nodularity(%)	Size	Graphite type	Ferrite(%)	Pearlite(%)	Count per 1mm ² (EA)
91	6	VI	99	1	112

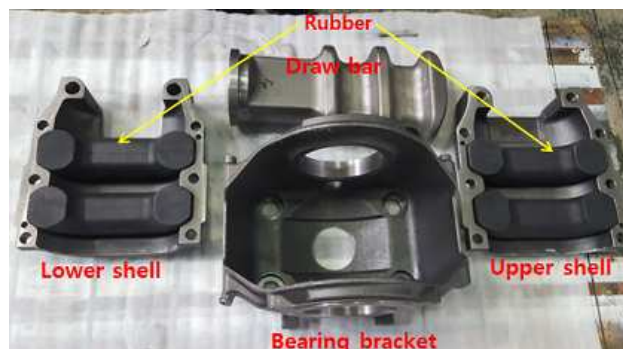
또한, EFG 주요 부품의 재질 시험 결과는 아래와 같으며, 모두 해당 spec에 만족함을 확인하였다.

<표 2.54> EFG2 고무완충기 인장 시험의 기계적 성질

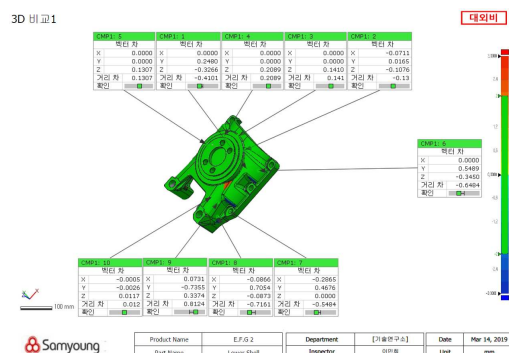
	인장강도(N/mm ²)	항복강도(N/mm ²)	연신율(%)
Bearing bracket	521	413	13.6
Upper shell	530	419	17.9
Lower shell	523	409	17.6
Draw bar	929	569	5.4

(사) EFG2 고무완충기 시제품 제작 및 치수 검증

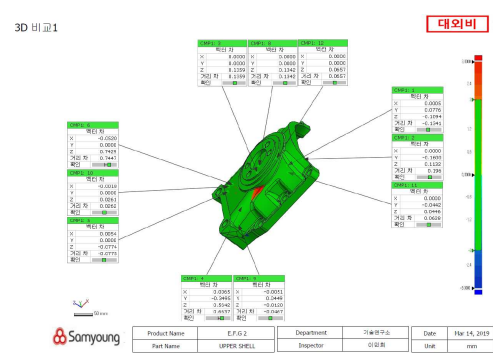
아래 그림은 EFG2 고무완충기 주요 소재 부품의 가공과 조립이 완료된 1차 시제품이다. 가공이 완료된 1차 시제품의 치수검증을 위하여 제품의 가공 부위는 설계 도면치수 기준으로 치수 검사를 수행한 결과 모두 공차 범위에 만족하였다. 또한, 제품의 소재 부위는 3D 품질 검사 S/W인 Control-X로 KS B 0412-00 규격(구상흑연주철의 허용차)에 근거하여 Spec에 만족하는 스캔 치수 성적서를 작성하였다.



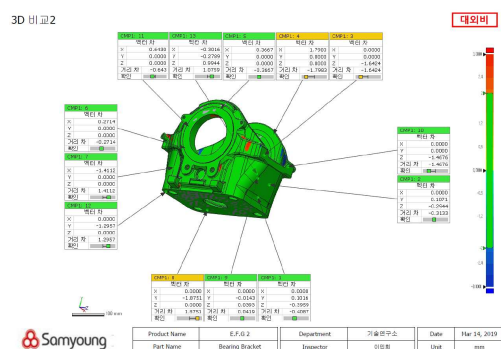
<그림 2.112> EFG2 고무완충기 시제품



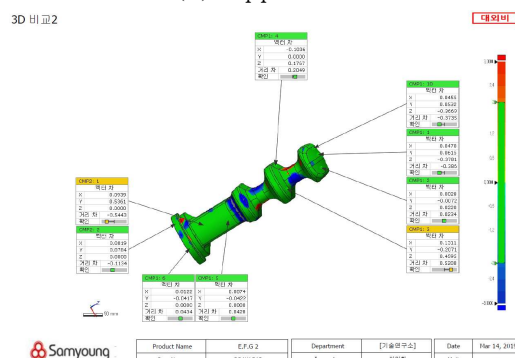
(a) Lower Shell



(b) Upper shell



(c) Bearing bracket

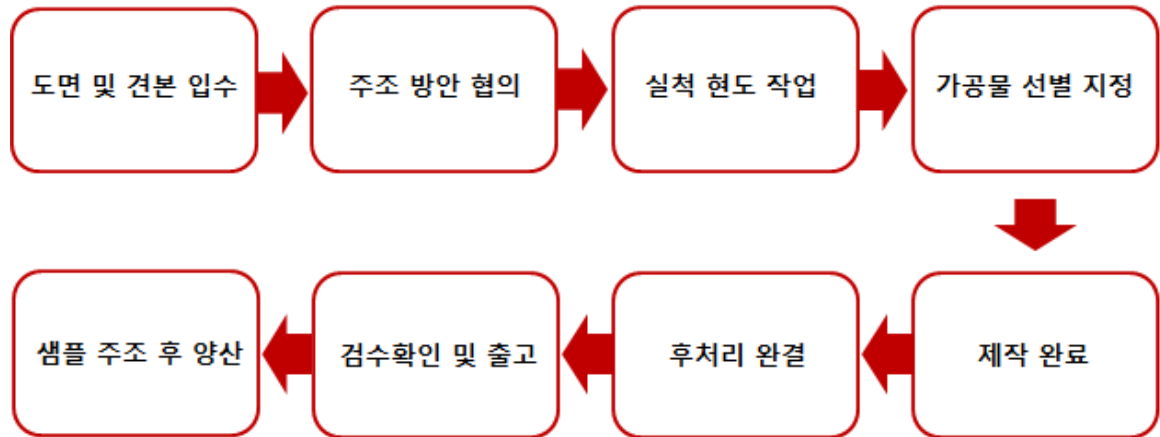


(d) Draw bar

<그림 2.113> EFG2 3차원 스캔 치수 성적서

(아) EFG2 고무완충기 목금형 제작

목금형 제작 과정은 아래와 같은 절차에 따라 진행된다. 제품 견적이 승인되면 도면 및 견본 입수가 이뤄지며 가공여유, 압탕크기, 압탕위치 설정, 수축여유, 분할선, 빼기 구배등의 주조 방안 협의가 이뤄진다. 그 후, 축적을 하지 않고, 현물과 동일 치수로 그리는 실척 현도 작업이 마치면 가공물 선별 지정이 이뤄진다. 선별된 가공물의 가공제작이 완료되면 사포와 도장작업(목형의 경우) 등 후처리 작업을 끝으로 목금형 제작이 완료된다. 이렇게 완료된 목금형은 샘플 주조 후 양산공정에 활용된다.



<그림 2.114> 목금형 제작 절차

EFG2 고무완충기 주요 소재인 Upper shell, Lower shell, Bearing bracket, Draw bar 각각의 목금형을 아래와 같이 제작하였다.



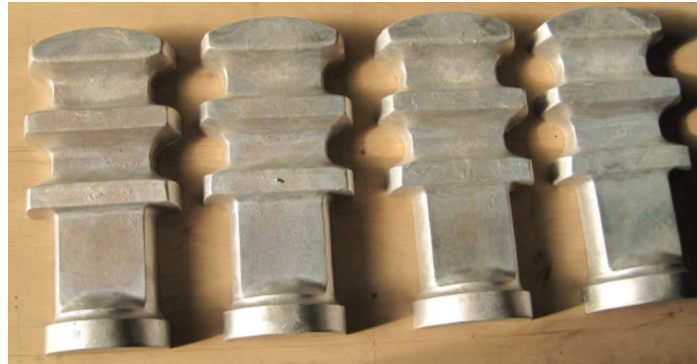
(a) Upper shell



(b) Lower shell



(c) Bearing bracket



(d) Draw bar

<그림 2.115> EFG2 목금형 제작

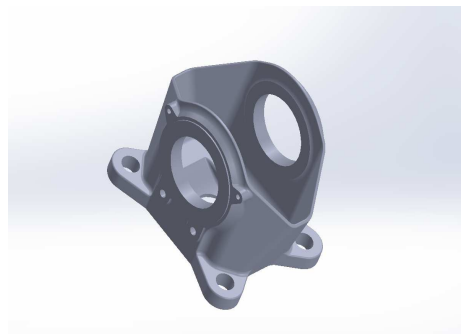
(2) EFG3 구조제품 설계 및 제작

(가) EFG3 고무완충기 부품 설계 도면 완료

독자 설계를 통하여 EFG3 고무완충기의 부품의 설계 도면을 완료하였다. EFG2에서 고무가 한 열 추가되어 Drawbar, Upper shell, Lower shell의 길이가 길어진다. 또한, 기존의 Bearing bracket에서 새롭게 독자 설계한 Bearing bracket을 통하여 바닥면의 4개의 홀(hole)의 위치를 안쪽에서 바깥쪽으로 변경하여 작업의 효율성을 좋게 하였다.



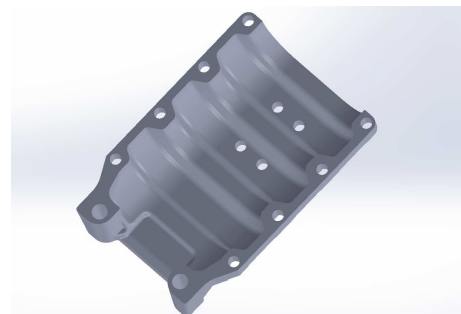
(a) Drawbar



(b) 설계 변경된 Bearing bracket



(c) Lower shell



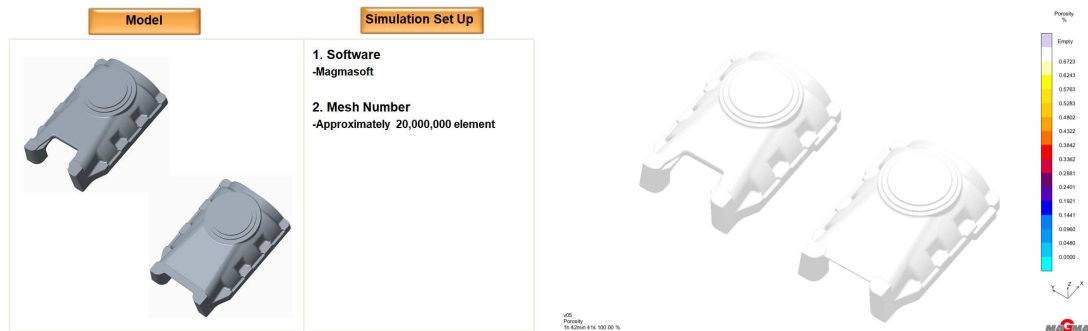
(d) Upper shell

<그림 2.116> EFG3 고무완충기 부품의 설계 도면

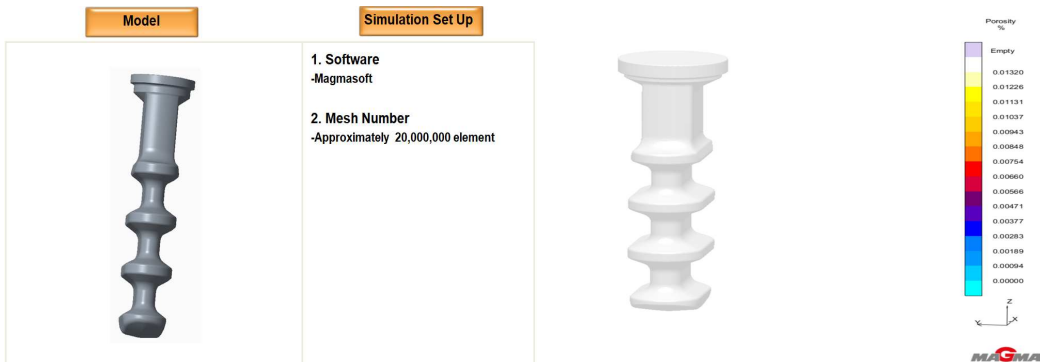
(나) EFG3 고무완충기 부품의 구조 해석

2차 시제품인 EFG3 고무완충기는 EFG2 고무완충기의 형상에서 한 열의 고무가 추가가 되면서 Drawbar, Uppershell, Lowershell이 길이가 길어지나 Bearing bracket의 경우는 1차 시제품인 EFG2 고무완충기와 동일 적용하였다. 1차 시제품 EFG2 고무완충기의 제작 완료 후 2차 시제품인 EFG3 고무완충기의 설계 및 제작을 위하여 구조 시뮬레이션 해석을 아래와 같이 수행하였다. EFG3 고무완충기의 주요 부품에 대한 최적의 구조방안이 고려된 구조 시뮬레이션 해석 결과는 아래와 같다.

Upper shell, Lower shell, Drawbar 각각의 해석 모델의 mesh 개수는 대략 2천만개 정도 되며, Upper shell, Lower shell의 재질은 FCD500, Drawbar의 재질은 FCD700이다. 초기 주입 온도는 모두 1360℃로 동일하다. 해석 결과 3개의 모델에 대하여 제품 내에 기공(porosity)이 존재하지 않음을 확인하였다. 이로써 최적의 구조방안을 확정하였고, 이를 바탕으로 몰드 설계를 수행하였다.



(a) Upper shell & Lower shell 구조 해석 결과



(c) Draw bar 구조 해석 결과

<그림 2.117> EFG3 고무완충기 주요 부품의 구조 시뮬레이션 결과

(다) EFG3 고무완충기 몰드 설계 및 주조품 제작 과정

3D 샌드 프린팅을 이용한 몰드 설계 및 몰드 제작을 통하여 EFG3 고무완충기 부품(drawbar)의 몰드 제작 및 주조품 생산 과정은 아래와 같다.

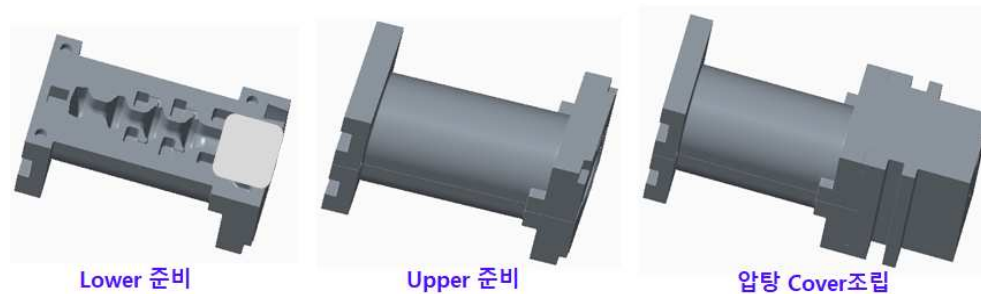


<그림 2.118> EFG3 Drawbar 몰드 설계 후 몰드 제작 및 주조품 생산 과정

EFG3 고무완충기의 주요 부품의 몰드 설계는 아래와 같다. Upper shell과 Lower shell은 각각의 몰드를 제작하지 않고 Two cavity 설계로 진행하여 3개의 몰드로 합형되며 Drawbar 도 3개의 몰드로 합형된다.



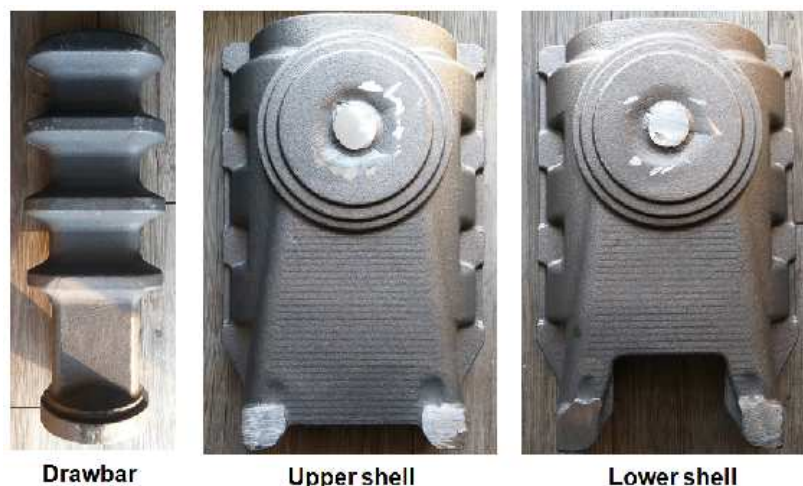
(a) Upper shell, Lower shell
Mold size : 774x538x318(WxDxH)



(b) Draw bar
Mold size : 930x502x338(WxDxH)

<그림 2.119> EFG3 고무완충기 주요 부품의 몰드 설계

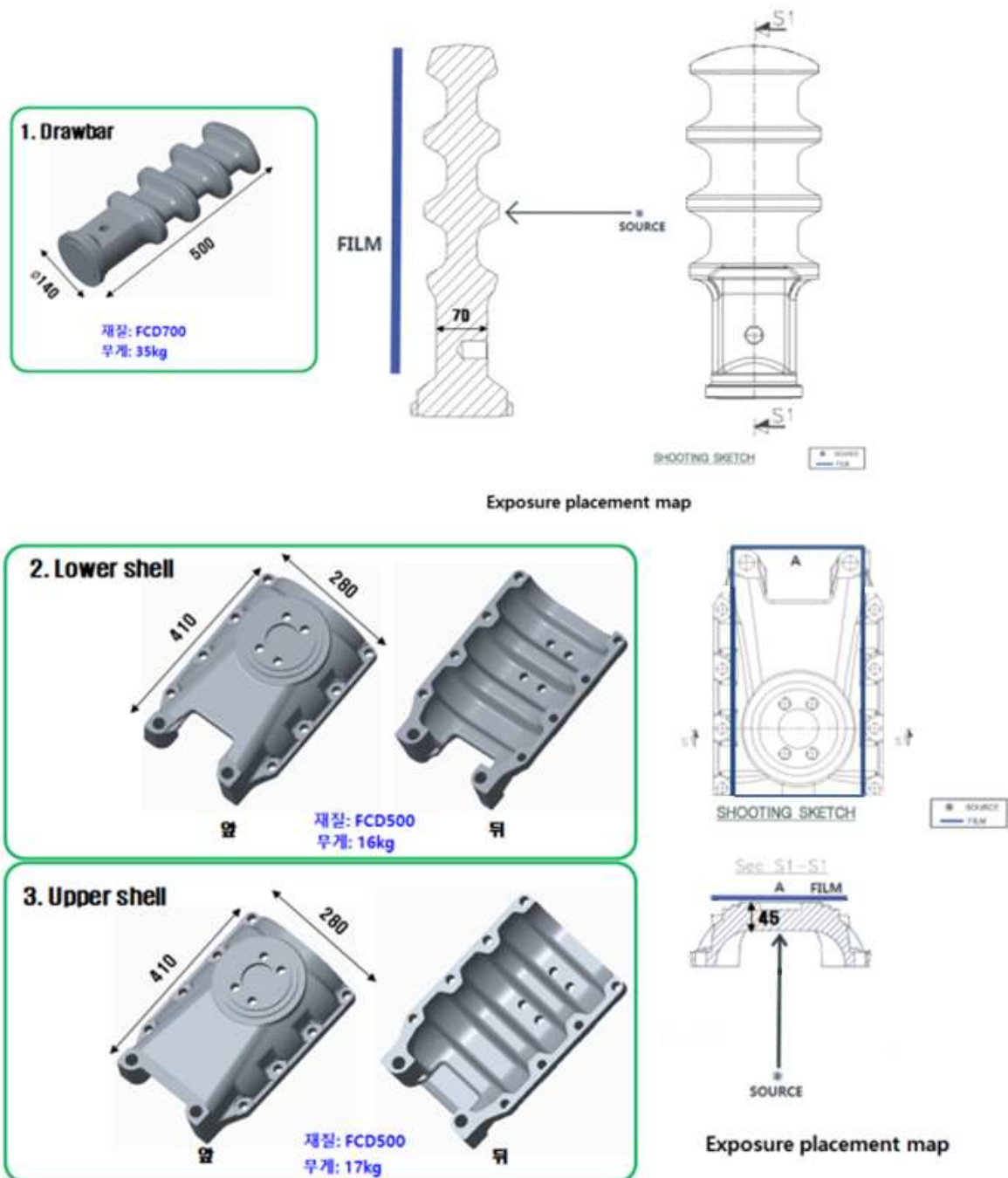
3D 샌드 프린팅 공정을 적용한 몰드 설계를 통하여 EFG3 고무완충기의 주요 소재를 아래와 같이 제작하였다.



<그림 2.120> EFG3 고무완충기 소재

(라) EFG3 고무완충기 소재 건전성 확인을 위한 방사선 투과 검사(RT)

공인시험기관에 의뢰하여 EFG3 고무완충기 주요 부품(Drawbar, Uppershell, Lowershell)의 방사선 투과검사를 수행하였다. 철도 차량 연결기의 방사선 투과검사는 주조품 상태 및 내부 결함을 검사하기 위해 한국철도표준규격(철도차량-연결기 시험방법)근거하여 KS D 0227 시험 규격에 따라 방사선 투과 검사를 수행하게 되어 있다.

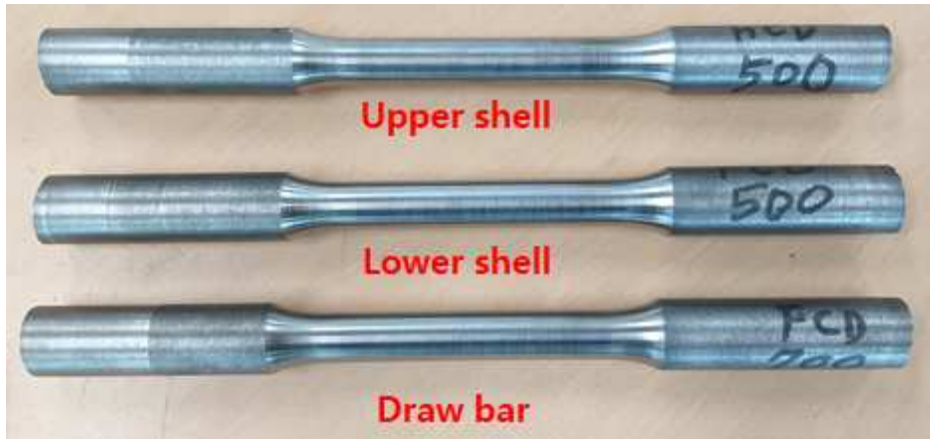


<그림 2.121> EFG3 고무완충기 방사선 투과 검사 주요 부위

검사부위는 응력집중이 일어나는 주요 부위에 필름을 위치하여 방사선 투과하였다. KS D 0227 시험 규격에 따르면 철도연결기 구조품의 경우 결함 분류에서 블로홀, 모래박힘과 게재물, 슈팅키지는 3류 이상보다 큰 결함은 허용하지 않으며, 갈라짐, 열간균열 및 주물덩어리는 없어야 한다. 한국철도표준 검사 규격을 근거로 방사선 투과검사의 합격 등급을 2류로 정하여 진행하였고, 방사선 투과 검사 결과, Drawbar, Upper shell, Lower shell 모두 2류 이내에 들어움을 확인하였다. 방사선 투과 검사 공인시험 성적서는 증빙에 첨부하였다.(증빙 2-7)

(마) EFG3 고무완충기 부품의 조직 검사 및 기계적성질 시험

EFG3 고무완충기 주물의 품질확보를 위해 EFG3 고무완충기의 Drawbar, Upper shell, Lower shell 각 주물 부품의 본품 시편을 채취하여 공인시험 기관인 한국화학시험연구원(KTR)에 의뢰하였고, 시편의 조직 검사와 기계적 성질 결과가 모두 해당 Spec에 만족함을 확인하였다. EFG3 고무완충기 인장 시편의 공인시험 성적서는 증빙에 수록하였다.(증빙 2-6)



<그림 2.122> EFG3 고무완충기 주요 부품의 인장 시편

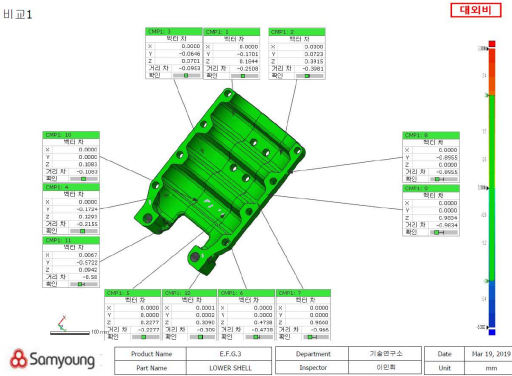
(바) EFG3 고무완충기 시제품 제작 및 치수 검증

EFG3 고무완충기 주요 소재 부품의 가공과 조립이 완료된 시제품은 아래와 같다. 가공이 완료된 2차 시제품의 치수검증을 위하여 제품의 가공 부위는 설계 도면치수 기준으로 검사를 수행한 결과 모두 공차 범위에 만족하였다. 또한, 제품의 소재 부위는 3D 품질 검사 S/W인 Control-X로 KS B 0412-00 규격(구상흑연주철의 허용차)에 근거하여 Spec에 만족하는 스캔 치수 성적서를 작성하였다.



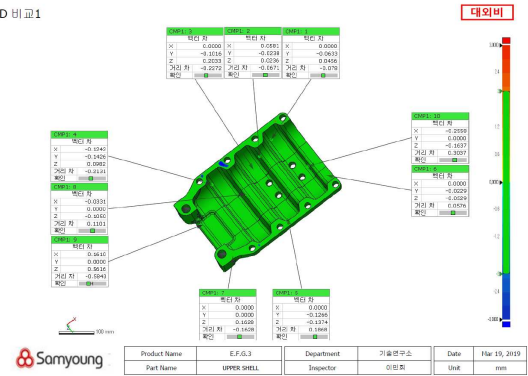
<그림 2.123> EFG3 고무완충기 시제품

3D 비교1



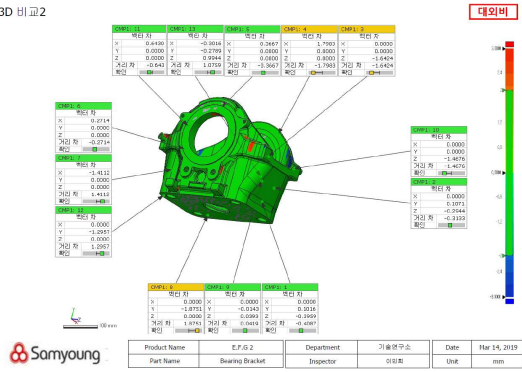
(a) Lower Shell

3D 비교1



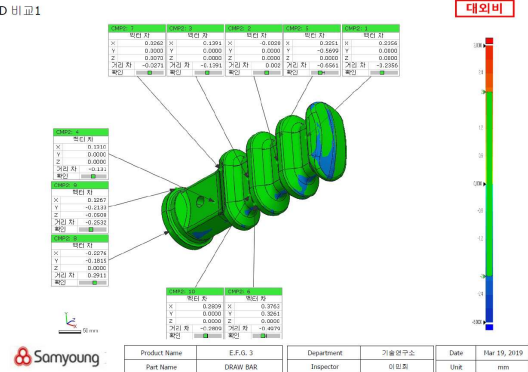
(b) Upper shell

3D 비교2



(c) Bearing bracket

3D 비교1



(d) Drawbar

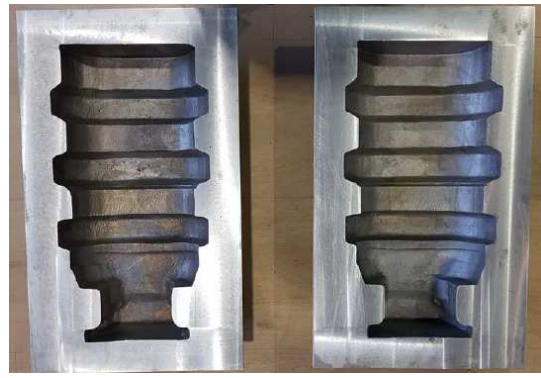
<그림 2.124> EFG3 3차원 스캔 치수 성적서

(사) EFG3 고무완충기 목금형 제작

EFG3 고무완충기 주요 소재인 Upper shell, Lower shell, Draw bar 각각의 목금형을 아래와 같이 제작하였다.



(a) Upper shell



(b) Lower shell



(c) Drawbar



(d) Bearing bracket

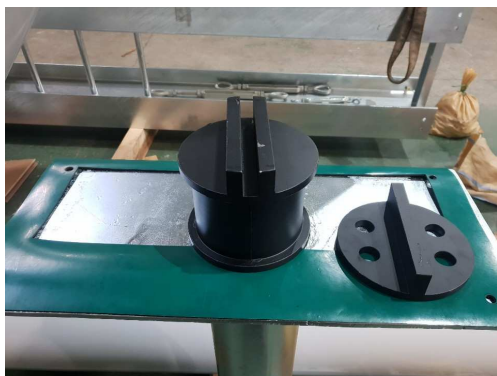
<그림 2.125> EFG3 목금형 제작

라. 센터링 디바이스 제조 기술

(1) 센터링 디바이스 설계 및 제작

본 연구에 있어서 EFG고무완충기의 완충역할과 더불어 센터링디바이스 또한 중요한 장치이다. 열차의 결합 및 구원 연결 시 자동으로 중심을 복원하는 장치로서 두 열차의 EFG고무완충기 전면부에 부착되는 연결기의 중심이 일치하여야 원활한 체결이 이루어진다. 센터링 디바이스가 좌, 우 방향의 중심복원장치라면 버티컬서포트는 EFG고무완충기의 Drawbar에 설치되는 중간연결기와 연결기 헤드부분의 하중에 의해 처짐이 발생하는데 이러한 처짐을 방지하여 상, 하 방향의 중심을 유지하는 장치이다. 센터링디바이스와 버티컬서포트의 시험에 대한 보고서는 별도첨부 하겠다.

센터링디바이스의 경우 고무의 비틀림 탄성을 이용하여 좌, 우로 회전할 때 복원능력을 부여하는 장치이다. EFG고무완충기의 저널부분에 선단고정부를 체결하고 선단고정부와 센터링디바이스 고무사이의 결합으로 이루어져 있으며 센터링디바이스 커버는 베어링케이스에 고정되어 센터링 디바이스 고무와 결합된다. 따라서 센터링디바이스 고무의 하단부는 고정되고 상단의 선단고정부와 체결된 부분이 회전운동을 하면서 고무의 비틀림 탄성에 의해 중심위치로 복원하게 된다. 본 연구의 철도차량 센터링 장치는, 제1 철도차량과 제2 철도차량 사이에 배치되어 철도차량 간의 연결을 용이하게 하기 위한 철도차량 센터링 장치에 있어서, 상기 제2 철도차량의 선단에 연결된 채, 수용공간을 형성하는 선단연결부, 상기 선단연결부에 회동 가능하도록 연결되며, 상기 제1 철도차량의 후단에 연결되는 회동부, 상기 선단연결부와 상기 회동부 사이에 형성되어, 상기 회동부의 상기 선단연결부에 대한 회동이 구현되는 회동 축에 형성되며, 상기 회동부의 상기 선단연결부에 대한 회동시, 뒤틀림 탄성 변형되어 상기 회동부와 상기 선단연결부에 대한 센터링이 유지되도록 하는 센터링부를 포함한다. 아래의 <그림 2.141>은 센터링디바이스 부속품이고 <그림 2.142>는 센터링 디바이스를 장착한 EFG고무완충기의 모습이다.



<그림 2.126> 센터링 디바이스 부속품



<그림 2.127> 센터링 디바이스 장착 형상

1차로 제작된 센터링디바이스를 가지고 수요처(철도운영기관, 철도차량제작사)와 면담을 거친 결과 센터링디바이스의 높이가 너무 높다라는 답변을 얻을 수 있었다. 지금의 절반수준의 높이를 요구하여 센터링디바이스의 높이를 수정하여 설계하였다. 전반적인 높이가 낮아지면서 고무의 높이 또한 조절이 되었다. 1차 센터링디바이스의 고무의 60%수준의 높이로 설계하여 높이가 낮아진 만큼 고무의 강도를 조절하여 자동중심복원기능을 수행하도록 하였다. 그림에서와 같이 센터링 디바이스의 크기를 줄이고 커버의 높이가 현저히 낮아진것을 확인할 수 있다.



<그림 2.128> 센터링 디바이스 커버



<그림 2.129> 수정된 센터링 디바이스

(2) 버티컬 서포트 설계 및 제작

버티컬서포트는 고무로 설계되어 상부와 하부 철판에 의해 고정되고, 상부철판과 하부철판사이의 고무가 압축하중과 전단하중을 받게 된다. 상부철판의 중앙에 위치한 고정 핀이 Drawbar의 하단부에 위치한 고정 핀 삽입부에 삽입되어 버티컬서포트의 위치를 고정해주고 버티컬서포트의 하부철판에 있는 체결 공에 의해 Lower Shell의 전면부의 버티컬서포트 체결 공에 볼트 체결을 하여 볼트를 조임으로써 Drawbar의 각도를 조절하여 버티컬서포트가 압축하중을 받으며 Drawbar의 수평을 유지하도록 하였다. 제1 철도차량과 제2 철도차량의 연결 작업으로 EFG완충기가 하중을 받게 되면 Drawbar가 후방으로 약 55mm가량 후퇴하게 된다. 이때 Lower Shell에 고정된 버티컬서포트의 하부철판은 후퇴하지 않지만 상부철판은 Drawbar와 함께 후퇴하게 된다. 이때 상부철판과 하부철판사이의 버티컬서포트 고무가 전단하중을 받게 된다. 따라서 버티컬서포트는 상, 하, 전, 후의 탄성운동을 하게 되어 탄성을 가진 고무로 설계하는 것이 적합하다고 판단된다. 1차적으로 버티컬서포트를 제작할 때는 NR50의 고무로 제작하였고, EFG고무완충기에 체결하였는데 Drawbar의 수평 조절을 위해 버티컬서포트에 압력을 가하자 변형이 너무 심하였다. 두 번째는 NR60재질로 버티컬서포트를 제작하여 실험을 진행하였고, 실험에서 고무의 변형이 적고 탄성이 적당하여 EFG고무완충기가 작동할 때 Drawbar를 따라 원활하게 작동하는 모습을 볼 수 있어 버티컬서포트의 고무는 NR60이 적합하다고 판단된다.



<그림 2.130> 버티컬 서포트

(3) 완제품 조립

EFG고무완충기를 구성하는 부품은 총 14개의 종류로 구성이 된다. Drawbar, Upper Shell, Lower Shell, Bearing Bracket, 저널, V-ring(Type1), V-ring(Type2), Rubber, Antifriction Disk, Bush, 센터링디바이스 고정부, 센터링디바이스 Rubber, 센터링디바이스 Housing, 버티컬서포트로 구성되며, EFG2와 EFG3타입에 따라 Drawbar을 감싸고 있는 Rubber의 수량이 결정된다. 조립순서는 Lower Shell과 Upper Shell에 Rubber을 끼우고 Lower Shell 위에 Drawbar을 올려둔 뒤 Upper Shell을 결합하여 Shell Ass'y를 완성한다.(〈그림 2.131-136〉) 완성된 Shell Ass'y를 Bearing Bracket에 삽입한 뒤 저널을 통해 Bearing Bracket와 Shell Ass'y를 결합하게 된다.(〈그림 2.137〉) 이때 2종류의 V-ring와 Bush, Antifriction Disk를 삽입하게 된다. 두 개의 V-ring은 먼지 등의 이물질이 회전마찰부에 들어가는 것을 방지하는 역할을 하며, Antifriction Disk는 Shell Ass'y와 Bearing Bracket의 회전마찰을 감소시키는 역할을 한다. Bush는 저널과 Bearing Bracket사이의 마찰력을 줄여 Drawbar의 회전운동에 마찰저항을 감소시키는 역할을 한다.(〈그림 2.138〉) 이렇게 완성된 EFG고무완충기에 추가적으로 버티컬서포트와 센터링디바이스를 장착하게 된다. 버티컬서포트는 Lower Shell의 고정부에 Bolt체결을 하게 되어 Shell Ass'y는 상, 하로 운동하지 않고 고정된 상태에서 Drawbar만 상, 하 위치를 조절할 수 있도록 한다.(〈그림 2.140〉) 센터링디바이스의 장착에는 우선 저널의 고정부와 동일한 고정부를 사용하게 되며, 저널위에 센터링디바이스 고정부를 올려두고 Bolt 체결을 한다. 센터링 디바이스 고정부와 센터링디바이스 Rubber의 위치를 일치시키고 센터링 디바이스 Housing을 체결하여 센터링 디바이스 Rubber의 상부철판과 센터링디바이스 Housing을 고정시키면 EFG고무완충기 전체가 조립이 되게 된다.



〈그림 2.131〉 전개



〈그림 2.132〉 Rubber 삽입1



〈그림 2.133〉 Rubber 삽입2



〈그림 2.134〉 Rubber 삽입3



<그림 2.135> Drawbar 결합



<그림 2.136> Shell Ass' y1



<그림 2.137> Shell Ass' y2



<그림 2.138> Bearing Bracket 결합



<그림 2.139> EFG 조립완료



<그림 2.140> 버티컬서포트 결합



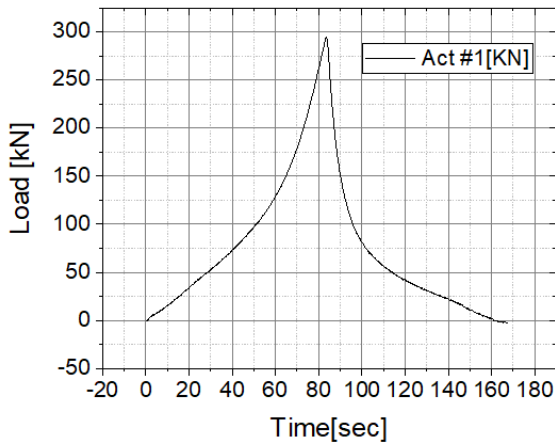
<그림 2.141> 센터링 디바이스 결합

처음 EFG2타입 고무완충기를 제작하였을 때 에너지흡수량이 목표치에 미치지 못하였다. 그래서 고무의 크기를 크게 하여 초기 압축력을 강화시키는 방법과 Shell의 크기를 작게 하여 압축력을 높이는 방법을 강구하게 되었다. 분석결과 Shell의 크기를 줄이는 것이 더 효과적이기 때문에 EFG3타입 고무완충기를 제작할 때는 Upper Shell과 Lower Shell을 2mm가량 작게 제작하고 스페이서를 이용하여 간격을 조절하기로 하였다. EFG3 고무완충기를 조립할 때 처음 EFG2의 간격과 동일하도록 스페이서를 조절하여 규정토크로 Shell을 결합하고 시험하였는데 EFG3 고무완충기의 시험결과 목표치에 도달하는 모습을 볼 수 있었다. EFG2 고무완충기를 분석결과 Upper Shell과 Lower Shell을 결합할 때 규정토크보다 작은 토크로 볼트를 체결하여 볼트의 인장으로 인한 Shell사이의 간격이 발생하여 에너지 흡수량이 작게 나온 것이라는 결론을 얻을 수 있었다.

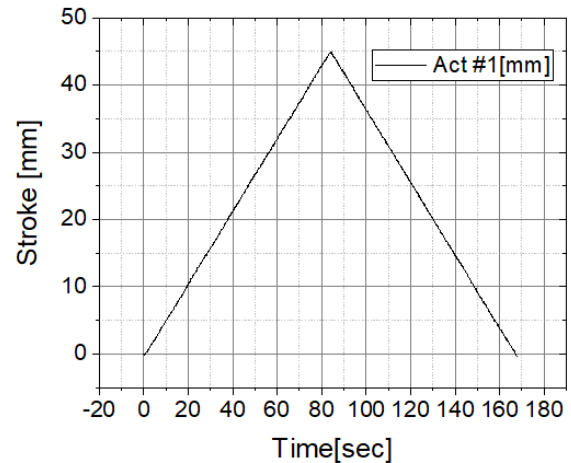
- 113 -

② 고무완충기 정적 성능평가 절차

고무완충기의 정적성능은 0~45mm까지 4단계로 나뉘서 진행하였다. 압축속도는 분당 40mm 내외로 저속으로 설정하였다. 고무완충기의 한쪽 끝단은 시험기의 고정벽에 고정하고 다른쪽 끝단을 가압하였다. 완전히 밀착된 상태를 변위 0mm로 셋팅하였으며 이 상태를 기준으로 총 45mm 압축 후 제하하여 원위치로 돌아오는 형태로 시험을 진행하였다. 아래 그래프는 0~45mm 압축시의 시간에 따른 변위 및 하중응답의 예시를 보여준다.



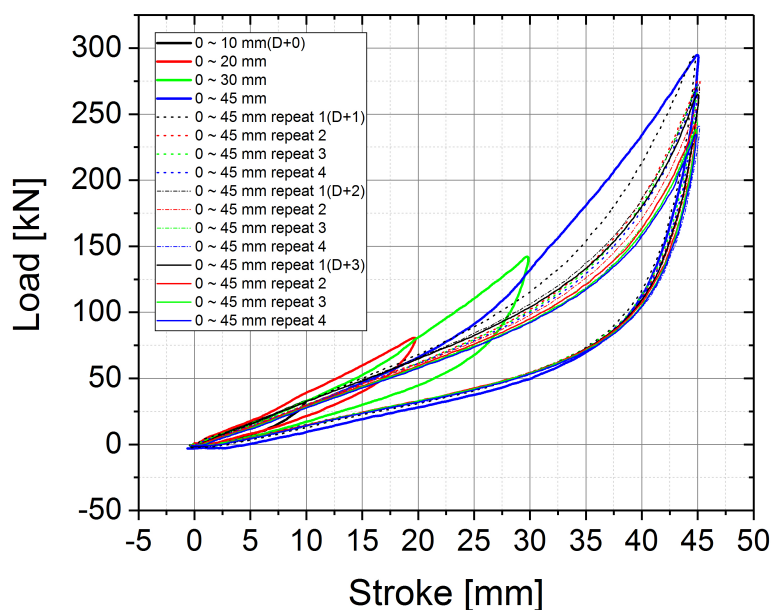
<그림 2.145> 고무완충기 정적성능 1



<그림 2.146> 고무완충기 정적성능 2

③ 고무완충기 정적 성능평가 결과

시험결과는 아래와 같다. 45mm 압축 시 최대하중은 약 300 kN이며 에너지흡수량은 4.7 kJ 이다. 아래의 그래프를 보면, 0~10mm, 0~20mm, 0~30mm, 0~45mm의 단계적인 압축변위를 발생시켰을 때 변위를 반복해서 주면 반력이 기존 커브에서 다소 떨어짐을 볼수 있다. 이러한 현상을 보다 세밀하게 관찰하기 위하여 24시간 간격으로 총 4일동안 압축시험을 통해 하중커브를 비교하였다. 72시간 경과(D+3) 후 압축강도는 초기(D+0)의 압축강도 대비 에너지흡수량은 3.4 kJ로 28% 감소한 결과를 보였다. 그러나 동일한 조건의 시험을 계속반복할 경우 정적 특성이 일정 수준에 수렴함을 관찰할 수 있다.



<그림 2.147> 고무완충기 압축 성능

(나) 고무완충기 동적 성능평가

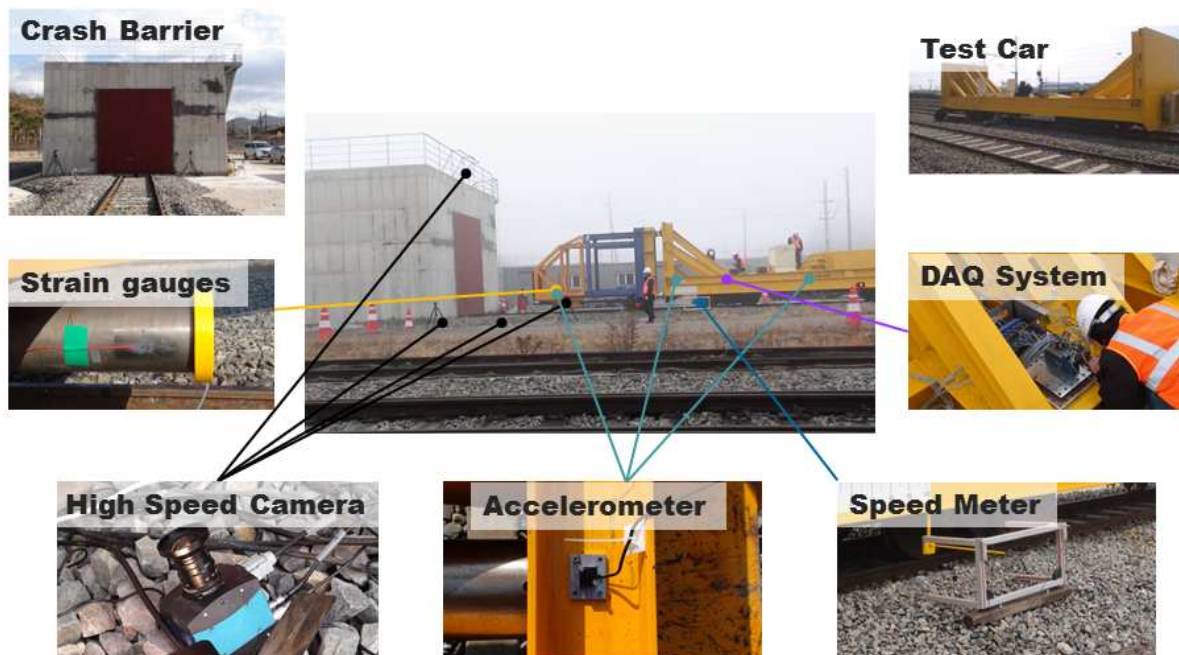
① 철도차량 충돌시험설비

철도차량 충돌시험설비는 철도연에서 보유 중인 대형 시험장비이다. 충돌시험장은 충청북도 영동군 심천면에 위치하고 있으며 아래 그림과 같이 충돌고정벽, 직선선로, 충돌차량, 모터카 등의 고정적 시험장비와 DAS(Data Acquisition System), 가속도계, 로드셀, 스트레인게이지, 고속카메라 등의 이동식 시험장비로 구분된다.



<그림 2.148> 충돌시험장 전경

충돌시험장은 유효 직선거리 약 400m로 최대 충돌속도는 40 km/h 이다. 충돌시험은 기본적으로 충돌차량에 탑재된 데이터계측장비를 이용하며 데이터계측장비는 100g 이상의 내충격성을 가지고 있다. 충돌속도는 시험차량의 측면에 장착된 봉이 일정한 거리를 두고 있는 레이저 빔을 끊고 지나가는 속도를 환산하여 계측된다.



<그림 2.149> 충돌시험 계측기기 배치도

② 고무완충기 동적 성능평가 절차

고무완충기의 충돌시험은 일반적인 철도차량용 에너지흡수부재에 비하여 충돌에너지흡수량이 현저히 떨어진다. 따라서 충돌시험용 차량은 보유하고 있는 시험차량 중에 최저 중량인 20톤 충돌차량을 이용하였다. 먼저 고무완충기를 시험차량에 장착하기 위하여 아래 그림과 같이 어댑터 지그를 설계하여 장착하였으며 이는 실제 차량에 EFG완충기를 장착하는 형태와 유사하다. 시험체의 장착 후에 시험차량에 탑재된 계측장비와 고속카메라 영상의 동기화를 위하여 일종의 전기적 접점 스위치인 테이프 스위치를 이용한다. 이는 충돌시점에 일정한 압력이 가해지면 전기적으로 트리거(trigger)되어 이 시점을 충돌시점으로 설정하며 전후 데이터를 저장한다. 하중측정을 위하여 3,000 kN급 동적 로드셀을 총 4개 이용하여 지그를 구성하였다. 각 로드셀은 차량에 탑재된 DAS와 연결되어 있으며 충돌하중을 계측한다. 고속카메라는 시험체 전체의 거동 및 시험차량의 변위 계측을 위하여 초당 1,000 프레임을 촬영한다. 촬영된 영상은 시험체 거동 분석 및 DIC(Digital Image Correlation) 기법을 이용한 변위 분석에 활용하였다. 충돌시험은 시험차량을 일정 거리만큼 고정벽에서 띄워놓은 후 가속하여 정해진 충돌속도에 도달하면 돌방하는 방식으로 진행된다. 충돌시험이 완료되면 시험차량의 DAS와 외부에 설치한 고속카메라 영상을 분석하여 하중 및 변위 데이터를 취득하고 이를 동기화(Synchronization)한다.



<그림 2.150> 충돌시험편 장착 모습



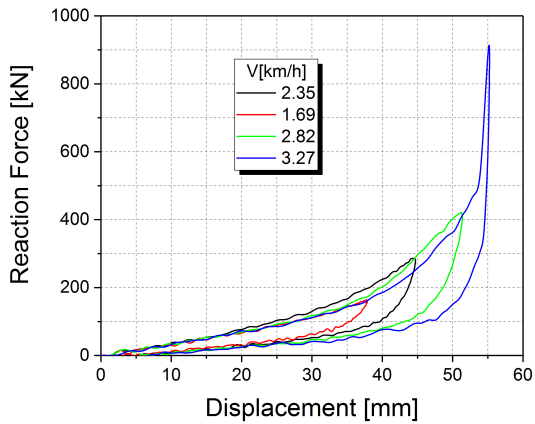
<그림 2.151> 충돌시험 시편(EFG2)



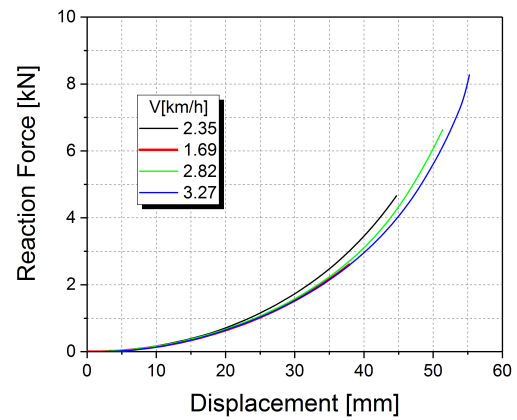
<그림 2.152> 충돌시험 전면 기기배치

③ 고무완충기 동적 성능평가 결과

충돌시험은 총 총 4회 수행하였으며 그 결과는 아래 그래프와 같다. 최소 1.69 km/h에서 최대 3.27 km/h까지 수행하였다. 충돌속도가 증가함에 따라 최대 에너지흡수량은 유사하게 증가함을 보이며 최대 에너지흡수량은 약 8.3 kJ이다.



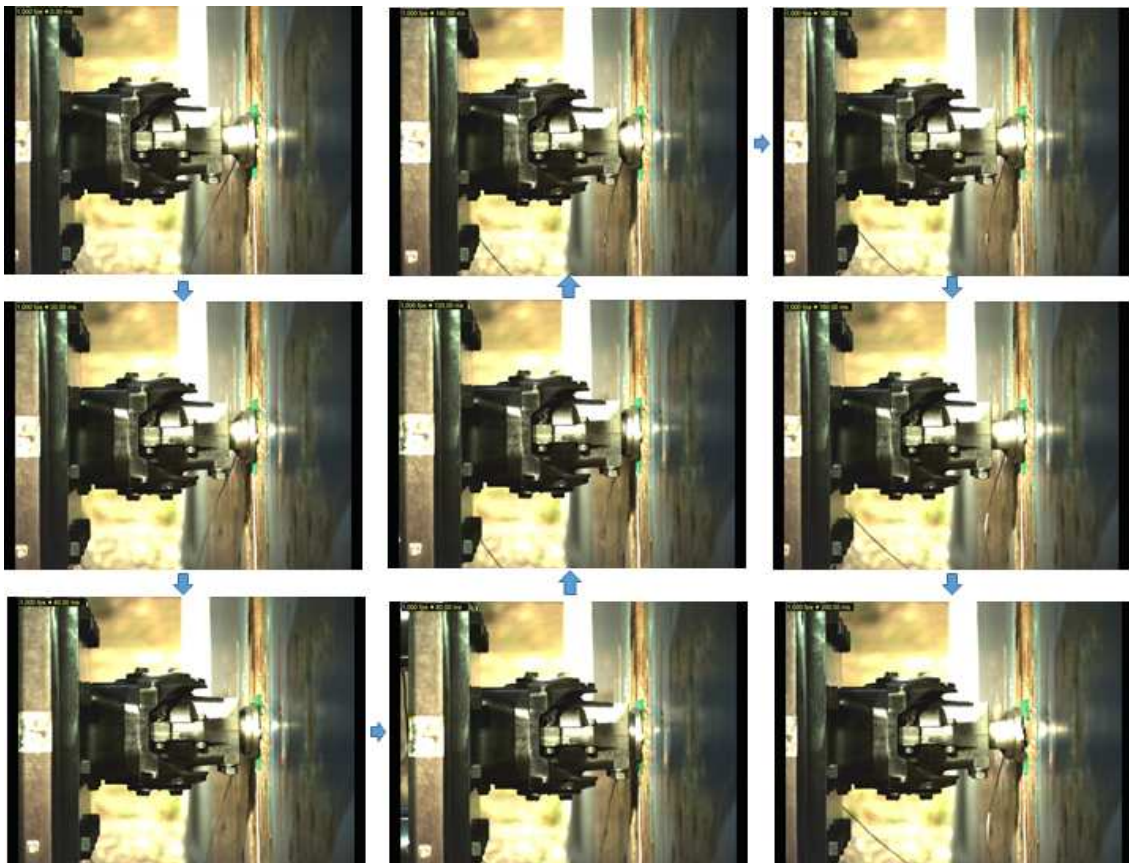
<그림 2.153> EFG2 충돌시험 결과 1



<그림 2.154> EFG2 충돌시험 결과 2

충돌시험 시 고무완충기의 변형거동은 아래 그림과 같다. 충돌이 발생한 시점부터 순차적으로 변형하였으며 시험속도마다 다소 차이는 있지만 약 200 msec안에 충돌 시작과 탄성복원을 완료하였다.

안정적인 변형거동을 보였으며 정적 성능평가 결과와 유사한 거동을 보였으나 전체적인 하중 응답은 증가하였다.



<그림 2.155> EFG2 충돌시험 순차적 변형형상

(다) 1차 시제품 성능평가 결론

본 고무완충기 해석기술 확보 및 성능평가 과제의 결론은 아래와 같다.

- 고무완충기의 3D 모델을 기반으로 해석모델을 구축하였음.
- 고무완충기의 정하중 시험을 통하여 개발된 고무완충기의 준정적 하중 및 에너지흡수특성을 평가하였으며 45mm까지 최대 4.7 kJ을 흡수하였으며 최대하중 약 300 kN임. 반복 하중시험 시 압축특성이 일정수준에 수렴함.
- 고무완충기의 동하중 시험을 통하여 개발된 고무완충기의 동적 하중 및 에너지흡수특성을 평가하였으며 최대하중 약 500 kN이며 최대 8.3 kJ을 흡수하였음. 충돌시험 시 안정적 변형거동을 보임.
- 아래 참고문헌에서 발췌한 EFG2의 정하중 에너지흡수용량 4.1 kJ, 동하중 에너지흡수용량 6.3 kJ과 비교할 때 각각 약 15%, 32% 가량 높은 에너지흡수량을 보임
- 1차 시제품(EFG2)의 성능평가 결과, 고무완충기 시스템의 기능이 정상적으로 작동하며 에너지흡수용량이 기존 제품 스펙을 만족함

Table 1 Specification of the EFG2 drawgear

No.	Divide		Capacity	Remark
1	Stroke		Tension : 40mm Compression : 50mm	Shear of rubber
2	Energy absorption	Static	Compression : 4.1kJ	Shear of rubber
		Dynamic	Compression : 6.3kJ	Shear of rubber
3	Vertical movement		$\pm 6^\circ$	
4	Horizontal movement		$\pm 45^\circ$	

<그림 2.156> EFG2 고무완충기 스펙[참고문헌 3]

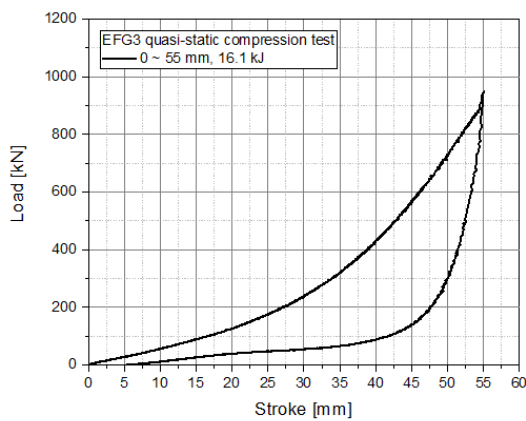
(2) EFG3 시제품 성능평가

(가) 정적 에너지흡수용량 및 강도 시험

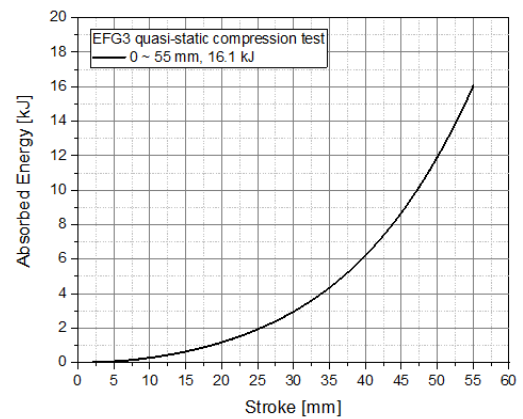
EFG3 시제품의 정적 에너지흡수용량 및 강도시험은 앞서 1차 시제품(EFG2)의 성능평가와 동일한 설비로 시험을 수행하였다. 시험 장비는 한국철도기술연구원에서 보유중인 5,000 kN 정하중시험기를 이용하였으며 시험편의 셋업은 1차 시제품의 경우와 동일하며 아래와 같다.



<그림 2.157> 2차 시제품(EFG3) 정적 하중시험 셋팅



<그림 2.158> EFG3 정적 하중-변위 선도



<그림 2.159> EFG3 정적 에너지-변위 선도

EFG3 시제품의 정적 에너지흡수용량 시험 결과 스트로크 55 mm까지 약 16.1 kJ을 흡수하였으며 하드컨택이 발생하는 54.0 mm까지의 에너지흡수량은 15.2 kJ이다. 이는 정적 에너지 흡수량의 목표치인 14.1 kJ 이상을 만족하는 수치이다.

시험 후 시제품을 분해한 형상은 아래와 같으며 치수 및 외관정도는 양호하였다.

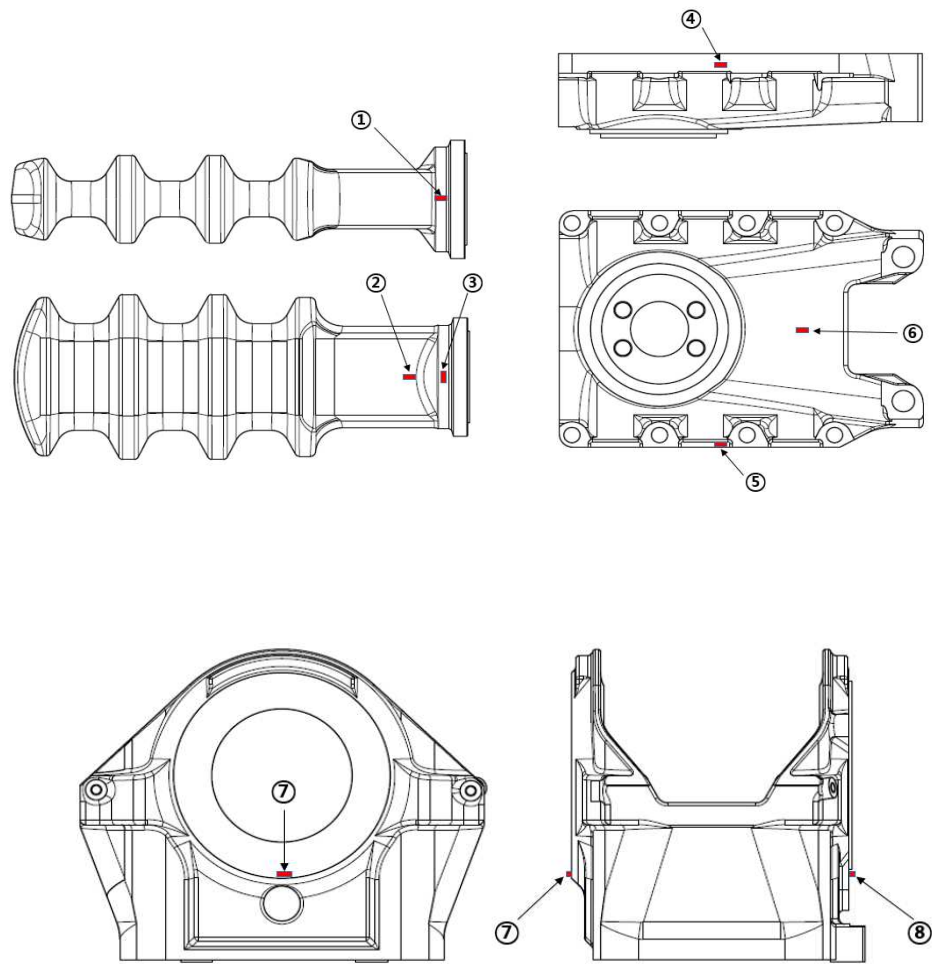


<그림 2.160> 정적 하중 시험 후 EFG3 분해 형상

EFG3 시제품의 정하중 강도시험은 에너지흡수량 시험과 동일하게 진행하되 하중을 단계적으로 증가시키며 주요 응력발생지점에 스트레인게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다. 측정된 변형률은 소재의 탄성계수를 곱하여 단축응력을 환산하여 계측하며 하중이 제거된 후 영구 변형률을 측정하여 소재에 영구변형이 발생하였는가를 판단하는 근거로 활용한다. 정하중 강도시험은 최대 2,000 kN까지 수행하였으며 시험장면은 아래와 같다.

<표 2.55> EFG3 정하중 강도시험 스트레인게이지 부착 위치

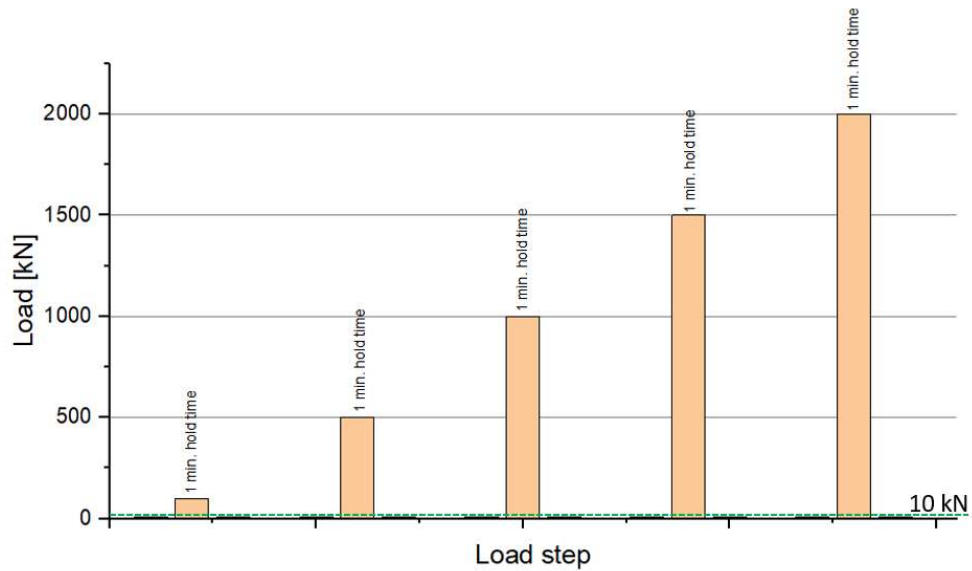
스트레인 게이지	부품명	부착위치
1	Draw bar	Drawbar 밀착면 부근 Fillet 1
2		Drawbar 밀착면 부근 Fillet 2
3		Drawbar 밀착면 부근 Fillet 3
4	Lower shell	Lower shell 측면 2번째 Bolt hole 부근 1
5		Lower shell 측면 2번째 Bolt hole 부근 2
6		Lower shell 중앙 부근
7	Bearing bracket	Bearing bracket Bearing 부 부근 1
8		Bearing bracket Bearing 부 부근 2



<그림 2.161> EFG3 강도시험을 위한 스트레인게이지 부착 위치

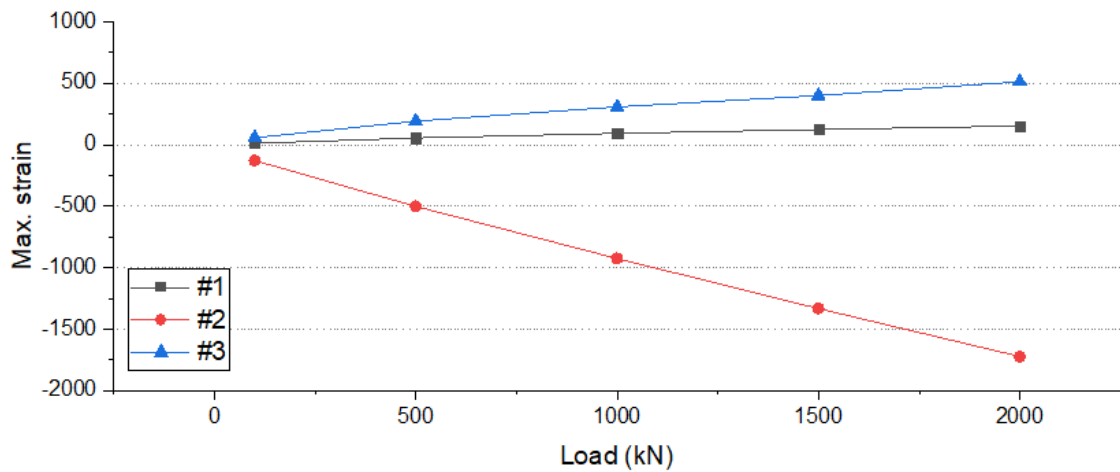


<그림 2.162> EFG3 정하중 강도시험 셋팅

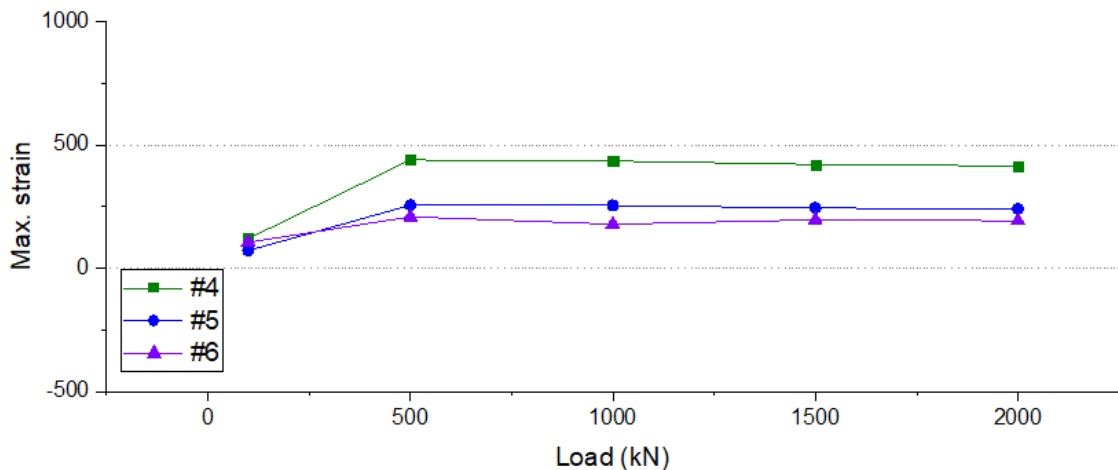


<그림 2.163> EFG3 정하중 강도시험 하중 단계

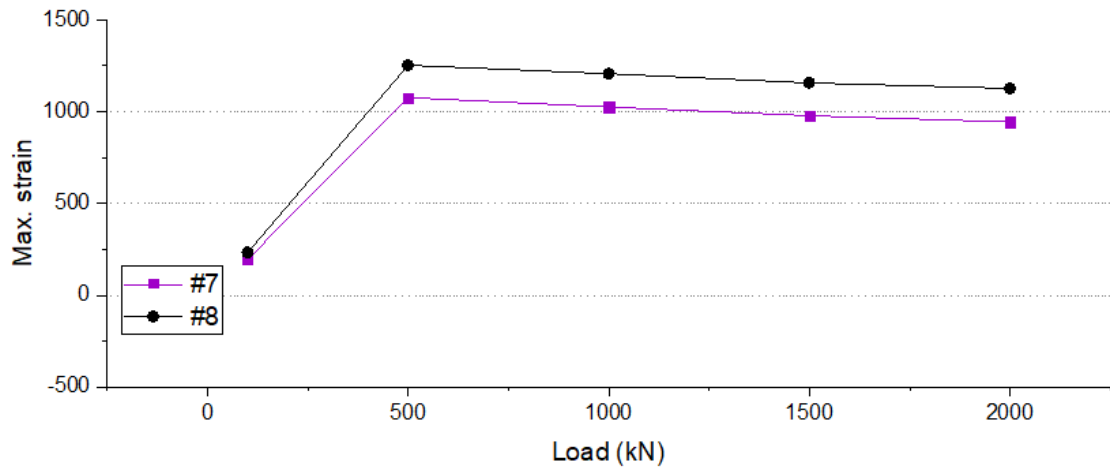
EFG3 시제품의 정하중 강도시험은 위 그래프와 같다. 하중 단계는 초기 10 kN의 압축력을 부과하고 점진적으로 100 kN, 500 kN, 1000 kN, 1500 kN, 2000 kN으로 상향한 후 초기 압축력인 10 kN으로 낮추고 최종적으로는 0 kN으로 원상복구한다. 각 최대하중 단계에서는 1 분간 하중을 유지하였다.



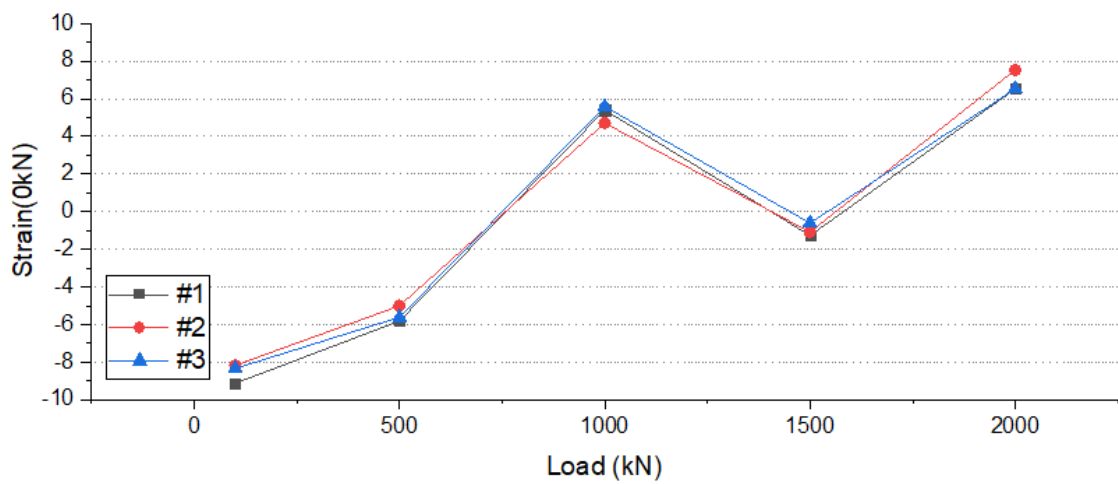
<그림 2.164> EFG3 정하중강도시험 최대변형률 측정 결과 - 드로우바



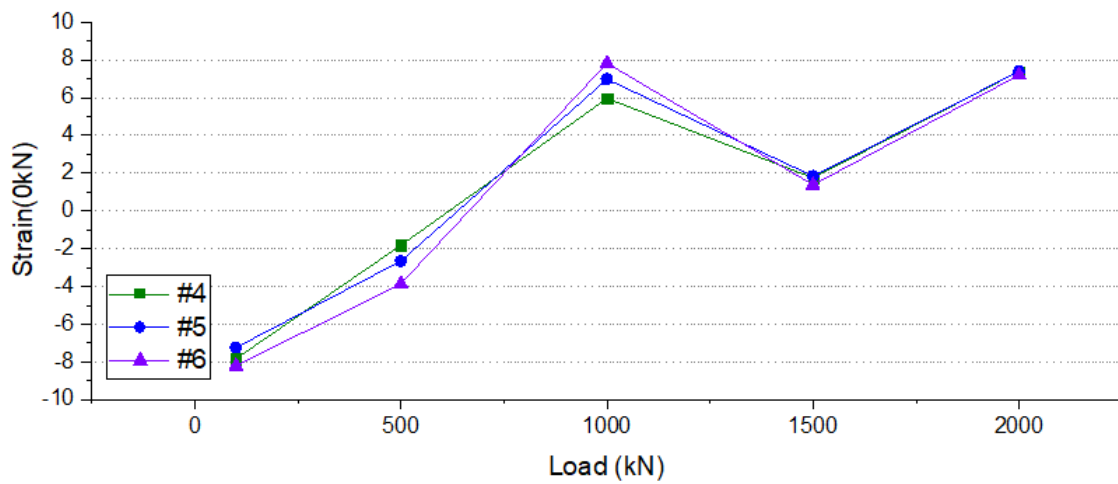
<그림 2.165> EFG3 정하중강도시험 최대변형률 측정 결과 - Lower Shell



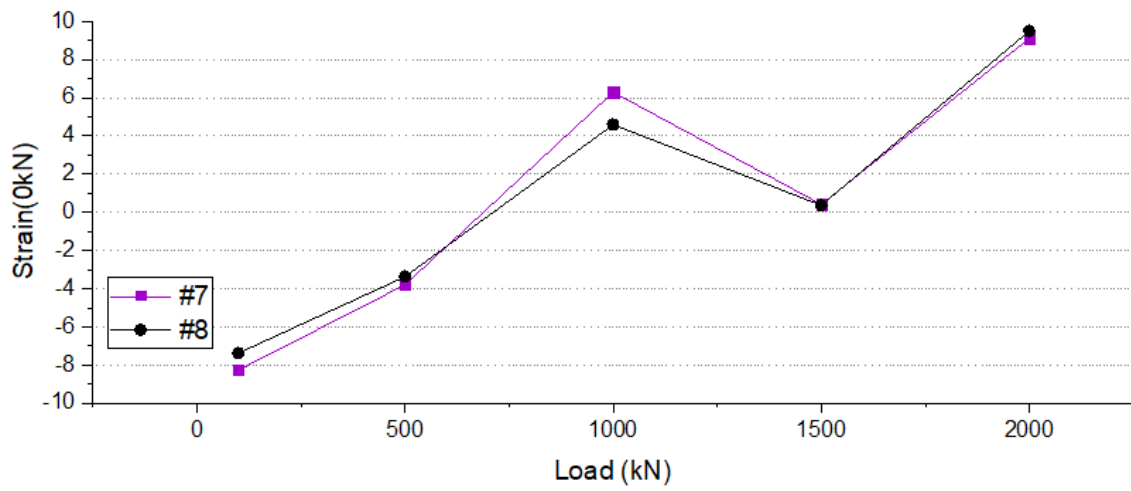
<그림 2.166> EFG3 정하중강도시험 최대변형률 측정 결과 - 베어링브라켓



<그림 2.167> EFG3 정하중강도시험 잔류 변형률 측정 결과 - 드로우바



<그림 2.168> EFG3 정하중강도시험 잔류 변형률 측정 결과 - Lower Shell



<그림 2.169> EFG3 정하중강도시험 잔류 변형률 측정 결과 - 베어링브라켓

<표 2.56> 스트레인게이지별 최대응력 값(2,000 kN 압축)

Part	Yield strength (MPa)	Strain gage #	Max. strain at 2,000 kN ($\mu\text{m}/\text{m}$)	Max. stress (MPa)
Draw bar	420 ↑	1	150.3	31.5
		2	-1722.4	-361.7
		3	511.6	107.4
Lower shell	320 ↑	4	414.0	86.9
		5	239.9	50.4
		6	192.8	40.5
Bearing bracket	320 ↑	7	943.7	198.2
		8	1126.6	236.6

<표 2.57> 각 하중 단계별 최대 변형률값

Load(kN)	Strain($\mu\text{m/m}$)							
	SG #1	SG #2	SG #3	SG #4	SG #5	SG #6	SG #7	SG #8
0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-1.4	-1.3	-0.9
10	-5.4	2.3	-6.5	1.8	0.0	1.2	-8.6	22.7
100	9.8	-130.0	55.5	120.2	71.8	104.8	195.7	233.0
10	-6.1	4.7	-9.0	8.2	4.3	3.9	-13.1	28.0
0	-9.1	-8.2	-8.3	-7.8	-7.2	-8.2	-8.3	-7.4
0	0.2	0.1	-0.2	0.4	-0.2	-0.6	-0.3	0.4
10	-3.6	2.4	-5.0	5.6	3.5	3.9	-6.1	26.4
500	53.1	-503.1	191.3	439.2	254.8	208.4	1076.8	1253.2
10	-3.1	7.4	-6.6	19.8	11.7	10.9	-14.4	28.8
0	-5.8	-5.0	-5.6	-1.8	-2.7	-3.9	-3.8	-3.4
0	0.1	0.5	0.3	0.0	-0.2	-0.2	0.2	0.0
10	4.9	13.0	3.2	12.2	12.0	14.6	1.1	35.1
1000	91.7	-925.5	307.4	434.3	254.2	178.4	1025.2	1206.4
10	7.3	13.3	4.9	23.1	18.6	18.9	-5.3	26.9
0	5.4	4.7	5.6	6.0	7.0	7.8	6.3	4.6
0	2.5	2.1	2.7	2.1	2.4	2.6	2.1	1.4
10	2.8	10.9	0.7	13.5	11.6	12.8	0.7	36.4
1500	122.8	-1332.4	398.0	420.2	243.6	196.2	977.5	1156.5
10	1.2	7.8	-1.4	20.7	14.9	12.8	-8.2	24.4
0	-1.3	-1.1	-0.6	1.8	1.8	1.4	0.4	0.4
0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.3	1.4	1.4	0.8
10	4.1	10.9	1.9	13.8	12.3	13.5	1.1	35.2
2000	150.3	-1722.4	511.6	414.0	239.9	192.8	943.7	1126.6
10	2.1	33.1	-1.2	21.7	9.7	5.3	-12.8	34.5
0	6.5	7.5	6.5	7.4	7.4	7.2	9.1	9.5

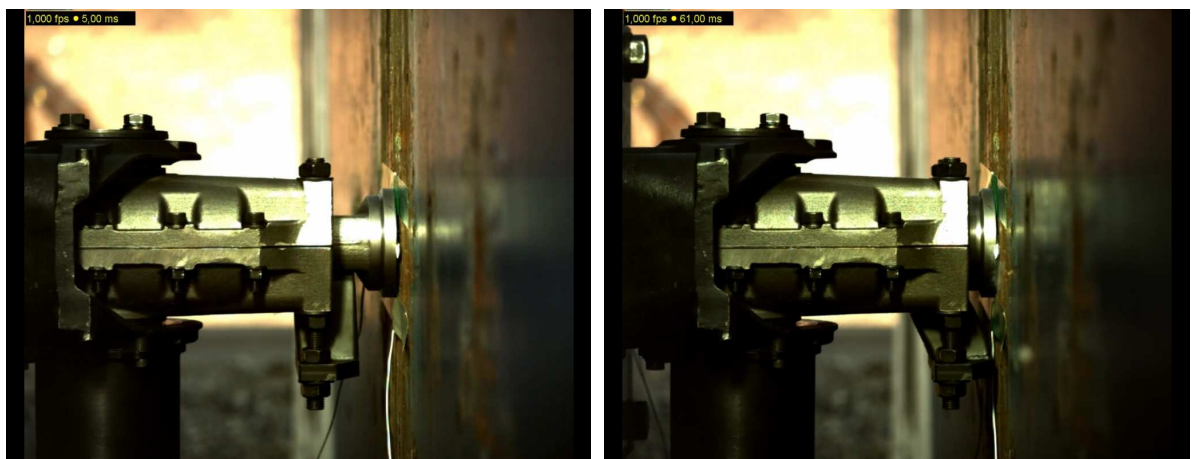
(나) 동적 에너지흡수용량 및 Shear-off 시험

동적 에너지흡수용량 및 Shear-off 시험은 한국철도기술연구원에서 보유 중인 철도차량 실물충돌시험설비를 이용하여 수행하였다. 시험설비는 앞서 EFG2의 충돌시험과 동일한 설비를 이용하였다. 시험체를 포함한 시험 셋팅은 아래와 같다.

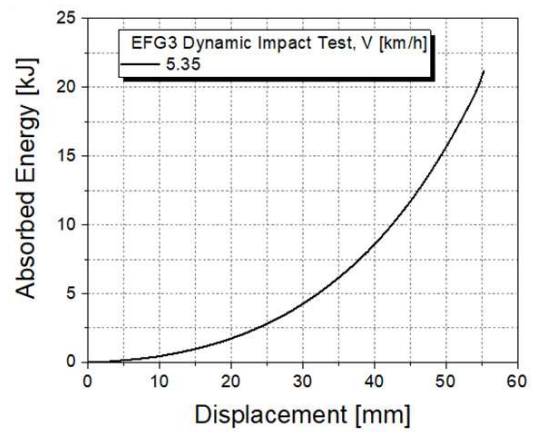
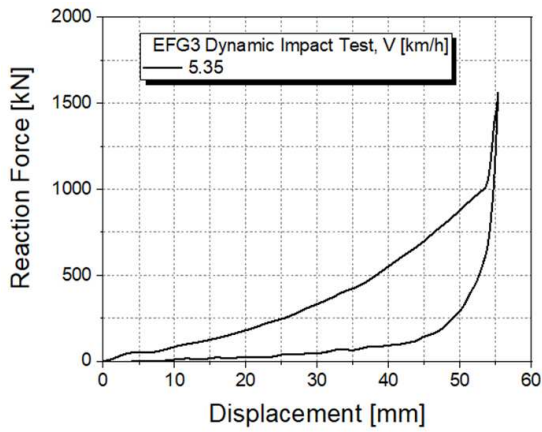


<그림 2.170> EFG3 충돌시험 시험체 장착 사진

동적 에너지흡수용량의 요구조건은 19 kJ이므로 이보다 높은 충돌에너지를 발생시키기 위하여 20톤 차량으로 5.35 km/h, 즉 약 22 kJ의 충돌에너지로 충돌시켜 완충특성을 검증하였다. 아래 그림은 충돌시점과 최대 압축시의 고속카메라 영상을 캡처한 것이다. 시험은 버티컬서포트 및 센터링 디바이스를 포함한 EFG3 시제품을 이용하였다.



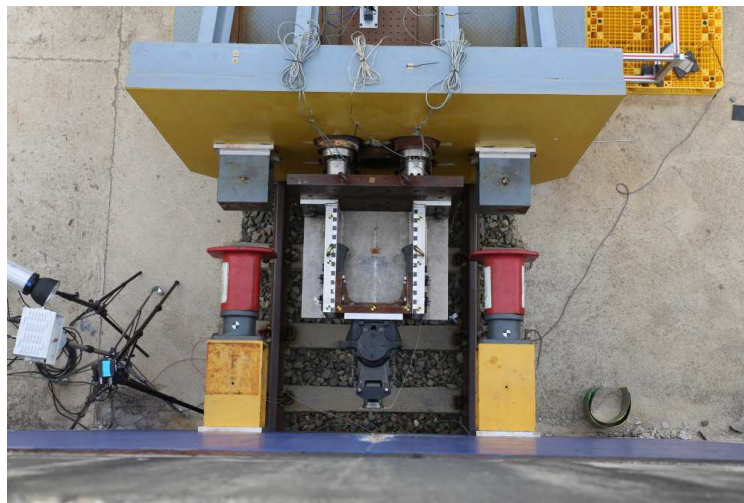
<그림 2.171> EFG3 고속촬영 영상 캡처(좌: 충돌시점, 우: 최대압축)



<그림 2.172> EFG3 충돌시험 하중-변위 선도 <그림 2.173> EFG3 충돌시험 에너지-변위 선도

시험결과는 위 그래프와 같다. 하드컨택이 발생하는 스트로크는 53.7 mm이며 여기까지 흡수된 충돌에너지는 19.1 kJ로 목표 에너지흡수량인 19 kJ 이상을 만족하였다. 시험 후 시험편의 외관 및 기능은 양호하였다.

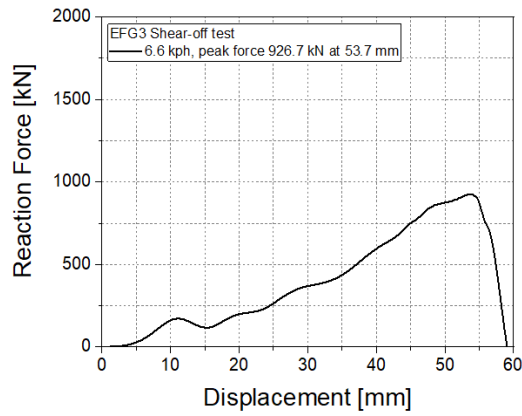
Shear-off 시험을 위한 지그 셋업은 아래 그림과 같다. Shear-off 시스템은 국내 기적용된 전동차의 센터실과 동일한 형태로 제작하였으며 목표 Shear-off 하중은 $900 \text{ kN} \pm 5\%$ 로 기적용된 사례와 동일한 스펙을 적용하였다. 본 Shear-off 시스템은 단위 전단볼트의 파단하중이 112.5 kN으로 총 8개의 전단볼트의 파단하중을 합하면 900 kN이 된다. 지그 시스템의 양쪽에는 전단파단후에 충돌시험설비를 충격으로부터 보호하도록 완충장치를 적용하였다.



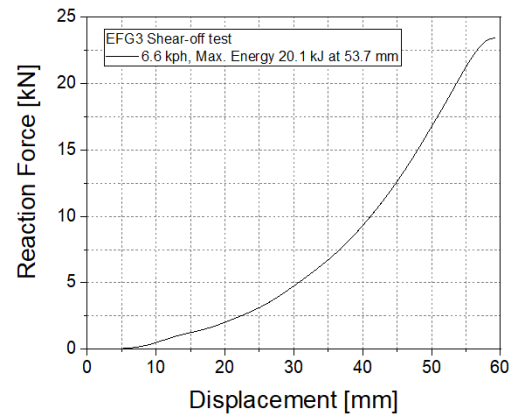
<그림 2.174> Shear-off 지그시스템



<그림 2.175> Shear-off 고속촬영 영상 캡처(좌: 충돌시험, 우: Shear-off 직후)



<그림 2.176> EFG3 Shear-off 하중-변위 선도



<그림 2.177> EFG3 Shear-off 에너지-변위 선도

Shear-off 시험 시 완충기가 최대로 압축된 지점 부근에서 Shear-off가 발생하며 그 결과는 위 그래프와 같다. Shear-off 하중은 926.7 kN으로 목표 Shear-off 하중인 $900 \text{ kN} \pm 5\%$ 를 만족하였다. 전단볼트 총 8개의 파단형상은 아래 그림과 같다. Shear-off 후 시험체는 안정적으로 슬라이딩 후 정지하였으며 시험차량은 좌우 완충기에 의해 완충후 안정적으로 리바운드하여 정지하였다.



<그림 2.178> Shear-off 후 시험체 형상



<그림 2.179> 전단볼트 파단 형상

바. 시험 항목별 평가 결과

(1) 정적 에너지흡수용량 시험

시험은 별첨의 “고무완충기 정하중 강도 및 내구성 시험절차서”(증빙 1-1)에 의거하여 수행하였으며 상세 결과는 별첨의 “EFG 고무완충기 정하중 강도 및 내구성시험”의 제3자 검증보고서(증빙 1-5)에 수록하였다.

정적 에너지흡수용량은 별첨의 시험보고서(증빙 1-5)의 최대에너지흡수량(정적)에 표기되어 있으며 15.2 kJ(54 mm 하드컨택 이전까지)의 에너지흡수량을 보였다. 이는 14.1 kJ의 성능목표치를 달성한 결과이다. 시험 후 외관형상 등은 양호하였다.

(2) 정적 강도 시험

시험은 별첨의 “고무완충기 정하중 강도 및 내구성 시험절차서”(증빙 1-1)에 의거하여 수행하였으며 상세 결과는 별첨의 “EFG 고무완충기 정하중 강도 및 내구성시험”의 제3자 검증보고서(증빙 1-5)에 수록하였다.

정적 강도시험은 EN 16019의 요구조건인 압축하중 1,500 kN보다 상향된 2,000 kN으로 진행하였으며 최대 잔류변형률 9.5 $\mu\text{m}/\text{m}$ 로 영구변형의 발생기준인 2,000 $\mu\text{m}/\text{m}$ 보다 현저히 낮아 영구변형이 발생하지 않은 것으로 판단된다. 시험후 외관형상 등은 양호하였다.

(3) 동적 에너지흡수용량 시험

시험은 별첨의 “고무완충기 충돌시험 절차서”(증빙 1-2)에 의거하여 수행하였으며 상세 결과는 별첨의 “EFG 고무완충기 충돌시험”의 제3자 검증보고서(증빙 1-6)에 수록하였다.

동적 에너지흡수용량 시험은 EN 15227의 검증절차를 기반으로 한 절차서에 의거하여 수행하였다. 시험 결과 동적 에너지흡수량은 19.1 kJ(53.7 mm 하드컨택 이전까지)로 성능목표치인 19 kJ 이상을 만족하였다. 시험 후 외관형상 등은 양호하였다.

(4) Shear-off 충돌시험

시험은 별첨의 “고무완충기 충돌시험 절차서”(증빙 1-2)에 의거하여 수행하였으며 상세 결과는 별첨의 “EFG 고무완충기 충돌시험”의 제3자 검증보고서(증빙 1-6)에 수록하였다.

Shear-off 충돌시험은 EN 15227의 검증절차를 기반으로 한 절차서에 의거하여 수행하였다. 시험 결과 본 Shear-off 모듈의 성능목표치인 900 kN $\pm$ 5%를 만족하는 926.7 kN을 만족하였다.

(5) 고무 수명가속(피로) 시험

시험은 별첨의 “고무완충기 피로시험 절차서”(증빙 2-1)에 의거하여 수행하였다.

고무완충기 피로시험을 위한 기준은 국내외 철도차량 연결기 규격에서 제시하고 있지 않으며, 연결기 제조사의 자체 규격으로 평가하는 것으로 알려져있다. 하지만 제조사의 자체규정은 보안상의 이유로 알려지지 않고 있다. 철도차량 연결기에 작용하는 하중으로는 충돌사고시 충격력, 입환 충격력, 제동 충격력으로 나눌 수 있다. 이중 운행시 항상 작동하는 제동 충격력이 빈도수가 높기 때문에 고무완충기의 피로강도에 영향을 많이 미칠 것으로 예상된다. 장대 화물 열차의 제동 충격력을 해석적으로 계산한 조병진 외[28]의 연구에서는 일반 도시철도차량보다 두배 이상의 무게를 갖는 화물열차의 제동시 연결기 압축하중은 약 50~400 kN으로 예측된다. Cantone L[29]의 연구에 따르면 프랑스 SNCF 고속열차에 80%의 승객 탑승을 가정하였을 때 제동시 연결기 하중은 최대 약 100 kN으로 예측할 수 있다. 이와 같이 기존연구결과를 바탕으로 피로시험을 위한 연결기 압축하중 범위를 약 50~100 kN을 재현할 수 있도록 선정하

였다.

평가수명은 Draw gear 의 시험기준인 EN15566을 기반으로 100만회 수명을 20년 사용기간으로 가정하였다. 초기 50만회 시험 후 최대하중, 에너지 흡수량을 측정하여 그 변화값을 확인하고, 추가 50만회를 더 시험하여 총 100만회 시험으로 검증하였다.

상세 결과는 별첨의 “EFG 고무완충기 피로시험”의 제3자 검증보고서(증빙 2-4)에 수록하였다.

Table 3 — Condition of dynamic tests

Operational requirements			Range of forces to be applied		
Lifecycle in years	Survival probability %	Safety factor f_N	Designation	Step 1	Step 2
			1MN	$\Delta F1=200 \text{ kN}$	$\Delta F2=675 \text{ kN}$
			1.2 MN	$\Delta F1=240 \text{ kN}$	$\Delta F2=810 \text{ kN}$
			1.5 MN	$\Delta F1=300 \text{ kN}$	$\Delta F2=1015 \text{ kN}$
				N1 in cycles	N2 in cycles
20	97.5	1.7	All	10^6	1.45×10^7
30	97.5	1.7	All	1.5×10^6	2.15×10^7

<그림 2.180> Draw gear 및 screw coupling 피로시험 기준(EN15566)

(6) 고무소재의 재료물성시험

시험은 ASTM D 412, ASTM D 1056에 의거하여 수행하였으며 공인시험결과보고서는 별첨의 “고무 재료시험 성적서”(증빙 1-7)에 첨부하였다.

(7) 주조제품의 기계적성질, 화학분석 시험 및 결함 검사

EFG 고무완충기 주조 제품의 기계적 성질은 KS B 0802 시험 규격에 따라 수행하였으며 구상흑연 주철품의 구상화율 시험은 SPS-KFCA-D4302-5016 시험 규격에 따라 수행되었다. 각각의 결과는 별첨에 수록하였다.(증빙 2-5,6)) 시험 결과, EFG2/EFG3 고무완충기의 항복강도는 FCD500재질의 경우 모두 320N/mm^2 이상이며 연신율은 7%이상을 만족하였고, FCD700재질의 경우 강도는 420N/mm^2 이상을 만족하였고, 연신율은 3%이상을 만족하였다. EFG2/EFG3 고무완충기 주조품 모두 최소 82%이상의 높은 구상화율을 확인하였다.

EFG3 고무완충기 주조품의 방사선 투과 검사는 KS D 0227 시험 규격에 따라 수행하였으며 상세 결과는 별첨에 수록하였다.(증빙 2-7) EFG3 주조품의 방사선투과 검사 결과 3품목 모두 2류 이내에 만족하였다.

(가) 센터링 장치 반복시험

시험결과는 별첨의“센터링디바이스 자체시험보고서”(증빙 3-2)에 수록하였다.

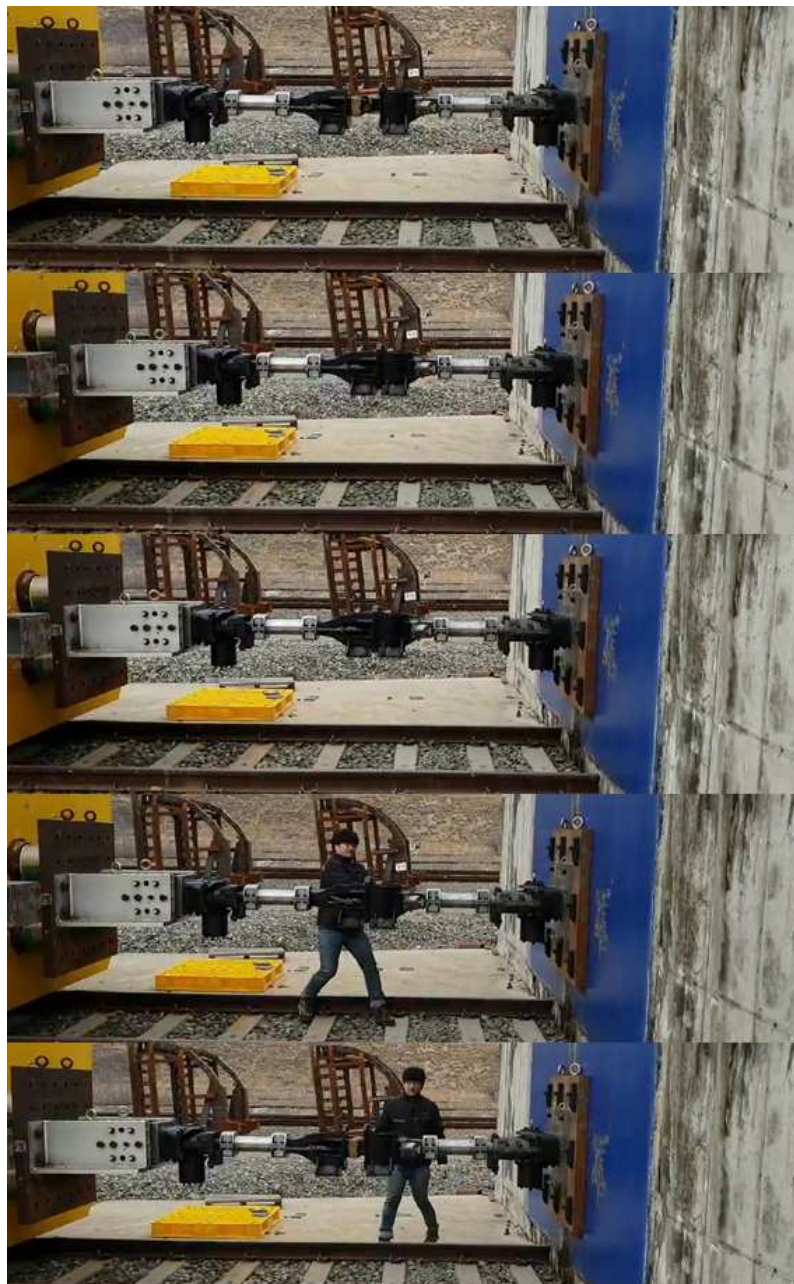
센터링 장치의 기능시험에 대한 기준으로 “KRCS B416-04 한국철도공사 철도용품 공사규격서:전기기관차용 유압완충식 연결장치 조립체”를 참조하였다. 규격서에서는 ‘시험품을 좌/우측으로 회전시킨 후 임의의 점에서 힘을 제거하였을 때 연결기가 중앙으로 복귀되어야 한다.’라고 기술하였다. 본 과제에서는 반복시험시 중앙 복귀를 확인하기 위해서 2Hz의 속도로 6000회 왕복시험을 수행하였고, 시험 후 목표했던 것과 같이 Drawbar의 위치가 EFG고무완충기의 중앙으로 복귀하였다.

(8) 현차 인터페이스 시험

현차 인터페이스 시험은 본 연구에서 개발한 EFG3고무완충기를 현차에 설치하여 원활한 체결이 이루어지는지 확인하는 시험이다. 현차 인터페이스 시험은 기존 차량에 고무완충기 설치에 문제가 없는지 확인하는 시험이기 때문에 장착 후 외관을 확인하는 방식으로 진행하였다. 시험은 지축차량기지에서 서울교통공사 3호선 객차에 실시하였으며 결과는 보고서를 별첨하였다.(증빙 3-1)

(9) 현차 완충 시험

시험용 차량을 이용한 연결완충 반복시험은 EN16019에 기술된 function test를 참고하여 수행하였다. 고속철도 영동기지에서 시험용 화차와 고정벽에 고무완충기를 포함한 연결기를 설치하여 시험을 수행하였으며, 초기 1회 시험후 반복시험을 수행하였다. 시험보고서는 증빙 1-3에 별첨하였다. 시험 후 외관형상 등은 양호하였다.



<그림 2.181> 현차 연결완충시험
연속장면(준비-연결-해방레버당김-해방)

사. 수요처 성능검토 결과

(1) 수요처 성능검토 결과

(가) 운영처

- 운영처에서 EFG 고무완충기의 시험시제품 성능에 대한 검토의견을 청취하였음
- 조사결과는 아래와 같음
 - ㉠ 국토교통부 R&D로 개발된 EFG 고무완충기는 강도, 에너지흡수용량, Shear-off 메커니즘 등의 성능요구조건을 만족하는 것으로 판단됨
 - ㉡ 시제품의 형상 및 성능이 기존 제품과 유사하나 호환성 검토가 추가로 이루어져야함
 - ㉢ 수명가속(피로) 내구성 평가는 기존에는 찾아보기 힘든 데이터이며 잔존 성능이 80%대로 유지되는 것은 우수한 성능으로 보임
 - ㉣ 회전 및 압축/인장을 고루 받는 회전부 쉘링의 경우 보다 심층적 연구가 필요함

(나) 차량제작사

- 차량제작사에서 EFG 고무완충기의 시험시제품 성능에 대한 검토의견을 청취하였음
- 조사결과는 아래와 같음
 - ㉠ 국토교통부 R&D로 개발된 EFG 고무완충기는 강도, 에너지흡수용량, Shear-off 강도 등의 성능요구조건을 만족하는 것으로 판단됨
 - ㉡ 개발된 EFG 고무완충기는 연결기 제작사를 통하여 연결기 완제품 형태로 제품화되어야 적용 가능할 것으로 판단됨(형식승인을 위한 용품승인 포함)
 - ㉢ 연결기 형식승인 시 EFG 고무완충기의 주장제곱에 대한 재질, 강도 등의 시험성적서를 요구하는데 이에 대한 자료 필요함
 - ㉣ 현재 센터링 디바이스는 기존 제품 대비 크기가 커서 소형화 필요함
 - ㉤ Shear-off 메커니즘은 현재 적용 중인 차체와 호환되어 적용 가능함
 - ㉥ 고무제품의 경우 LOT관리를 철저하게 할 필요 있음(제작년월, 제작사 등 표기)
 - ㉦ 센터링 기능은 특수상황(구원운전, 곡선구간)에서 각도 조정이 가능해야 함
 - ㉧ 완충기 고무는 내구성이 입증되어야 하며 교환주기는 반드시 명시되어야 함
 - ㉨ 정비가 용이하여야 하며 소모품을 최소화 하여야 함

(다) 성능검토 결론

- 전반적인 EFG 고무완충기의 성능요구조건을 만족함
- 센터링 디바이스 소형화 필요
- 센터링의 기능적 요소(구원운전 상황, 곡선구간) 추가 필요
- 완충기 고무의 내구성 입증 및 교환 주기 제시 필요

아. 결론

(1) 핵심 원천 기술별 결론

(가) 주조제품

- EFG형 고무완충기 정하중 해석 결과를 기반으로 최적 주조 재질 선정 및 정하중 강도 시험을 통한 검증
- 3차원 스캐닝 장비, 역설계 전용 S/W를 활용하여 1차 시제품(EFG2)의 역설계
- 주요 부품에 대한 최적의 주조방안 설계 및 주조 해석 수행(응고해석, 유동해석)
- 주요 소재 부품의 빠른 제작과 검증을 위해 3D 샌드 프린터를 도입하여 무결함 주조방안이 고려된 몰드의 설계 및 제작을 통해 EFG 고무완충기의 1, 2차 시제품 제작
- EFG 고무완충기 주요 부품의 비파괴검사(침투탐상검사:PT, 방사선투과검사:RT), 조직 검사, 기계적 성질 시험을 통하여 1, 2차 시제품 품질 검증
- 자체 검사 및 품질 검사 S/W를 통하여 가공 완료된 1,2차 시제품의 치수 검증
- 양산 적용 가능한 EFG2/EFG3 고무완충기 주요 품목의 목금형 제작
- Bearing Bracket 고유모델 설계

(나) 고무제품

- EFG 고무 완충효과 및 기계적 성질이 우수한 최적 고무 배합기술 확보
- EFG 고무부품 제조를 위한 금형 설계 및 제작 검증 완료
- 고무 시제품의 제3자 공인시험(기계적 성능시험)을 통한 검증 완료
- 기존 EFG 고무제품과 동등이상의 성능을 나타내는 시제품 개발 성공 및 보다 우수한 신배합 고무부품 선행 개발 완료

(다) 인터페이스, 센터링 디바이스 및 Shear-off 메커니즘

- 고무완충기 부품 간 인터페이스 설계 및 현차 검증완료
- 고무의 비틀림 탄성을 이용한 독자적 센터링 디바이스 개발
- Shear-off 메커니즘 설계 및 시험검증 완료

(라) 해석 및 성능평가 기술

- 고무완충기 해석기술은 유연하고 능동적인 설계를 위한 핵심 원천기술로 본 연구를 통하여 고무재료의 구성방정식 계수를 도출하고 시험결과 비교평가를 통하여 유효성을 확인하였음
- 고무재료의 구성방정식은 Ogden N3 모델을 이용하였으며 고무재료시험을 통하여 얻은 물성트를 기반으로 계수를 결정하였음
- EFG 고무완충기의 고무 대변형 해석 기술 확보하였음
- 고무 압축량에 따른 케이스스터디를 통하여 압축량이 완충특성에 미치는 영향 파악
- 정하중 강도해석을 통한 소재 선정 및 강도설계 기술 확보
- EFG형식의 고무완충기 설계를 위한 핵심 원천해석기술 확보

(2) 종합 결론

- 본 과제는 “EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기 핵심원천 기술 개발”이라는 제목으로 추진하였으며 아래와 같이 핵심원천 기술을 성공적으로 확보하였음

㉠ 고무 제조 및 해석 기술

: 해외 제품에 의존 중인 EFG 완충기용 고무의 국내 자력제조 기술 확보
전단변형 방식 고무 해석 원천 기술 확보

㉡ 구조제품 제조 및 해석 기술

: 해외 제품에 의존 중인 드로우바, 쉘의 국내 자력제조 기술 확보 및 베어링브라켓 독자 모델 개발

㉢ 센터링 디바이스 및 Shear-off 설계 기술

: 해외 제품에 의존 중인 센터링 디바이스 국내 자력제조 기술 확보 및 Shear-off 기술 적용

㉣ 고무완충기 시험평가 기술

: 국내 최초 EFG형 고무완충기 시험평가 수행 및 관련 기술 확보

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

#	핵심 성과지표	요구사항	결과	달성도	비고
1	완충특성	정적 14.1 kJ±10% 동적 19 kJ±10%	만족, 정적 15.2 kJ 동적 19.1 kJ	100%	제3자 공인성적서 [증빙 1-5,1-6]
2	해석 및 시험 기반기술	시험결과 대비 오차 10%이내	오차 2%	100%	자체보고서 [증빙 1-5,1-6]
3	내하중 특성	항복응력 이내	항복응력 이내	100%	제3자 공인성적서 [증빙 1-5]
4	구조결합	2류 이내	Drawbar 2류 Uppershell 1류 Lowershell 2류	100%	제3자 공인성적서 [증빙 2-6]
5	자동복원기능	반복시험 복원특성	복원특성 양호	100%	자체보고서 [증빙 3-2]
6	Shear-off 기능	Shear-off 하중 및 정상작동 여부	Shear-off 하중 900 kN ± 5% 만족 및 정상작동	100%	제3자 공인성적서 [증빙 3-3]
7	고무물성치 재료시험	-	제3자 공인성적서 발급	100%	제3자 공인성적서 [증빙 1-4, 1-8]
8	구조제품 기계적성질 및 현미경 조직시험	-	제3자 공인성적서 발급	100%	제3자 공인성적서 [증빙 2-5,2-6]
9	수명가속(피로) 시험	-	제3자 공인성적서 발급	100%	제3자 공인성적서 [증빙 2-2]
10	호환성 시험	-	호환성 양호	100%	자체보고서 [증빙 3-1]
11	현차 완충시험	-	완충기능 양호	100%	자체보고서 [증빙 1-3]
12	논문	1건	0건	0%	-
13	시제품	1건	EFG3 시제품 1건	100%	제품도면 및 증빙모델 [증빙 6-1]
14	특허	2건	2건	100%	[증빙 5-1] [증빙 5-2]

나. 연구 성과 지표 대비 달성도

(1) 성과점검기준표

<표 3.1> 연구 성과 지표 대비 달성도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검기준					해당 기관	예산 (백만원)	양적성과목표	실적	
				질적 성과지표		목표치	측정 방법	검증 방법					가중 치(%)
A	전단변형 방식 고무완충 기 핵심기술	A-1	고무해석 및 제조기술	①	에너지 흡수용량	14.1KJ±10% (정적) 19kJ±10% (동적)	정적 또는 동적 시험	기존품 시험 결과 비교	30	오투스	100	시제품: 1 건	시제품: 1 건
				②	해석 및 시험 기반기술	±10%	시험 결과와 비교	시험- 해석 결과 비교	20	철도연	200	논문: 1 건	논문: 0 건
		A-2	주조부품 국산화 제조기술	①	내하중 특성	1건	최대 하중 측정	항복 응력 이내	20	삼영 기계	150	특허:출원 1건	특허:출원 1건
				②	주조결함	0%	X-ray 검사	결함 측정	10				
		A-3	센터링 및 Shear-off 장치 제조기술	①	자동복원기 능	1건	반복 시험	복원 특성	10	원파워	219	특허:출원 1건	특허:출원 1건
				②	Shear-off 기능	1건	충돌 시험	정상 작동 확인	10				
									100		669	특허:출원 2건 논문: 1 건 시제품: 1 건	특허:출원 2건 논문: 0 건 시제품: 1 건

(2) 관련 분야 기여도

(가) 기술적 기대성과

- ① EFG형식(전단변형방식) 피봇형 고무완충기의 핵심기술을 응용하여 내구성 및 신뢰성이 요구되는 타 산업분야로 기술파급 및 성과확산 가능

(나) 사회·경제적 기대성과

- ① 전단변형방식 고무완충기의 국산화 개발로 수입대체 및 보수품의 적기 조달이 가능해져 유지보수 비용 절감 가능
- ② 전단변형방식 고무완충기 제작기술 확보에 따라 차량제작 기술 경쟁력이 높아져 해외사업 수주 가능성 제고 가능
- ③ 세계고속철도 시장은 유럽의 고속철도망 확대, 미주 및 아시아 신흥국의 고속철도 도입 정책에 따라 폭발적으로 증가할 것으로 예상

4. 연구개발성과의 활용계획

가. 핵심 연구성과 활용 계획

(1) EFG 고무부품 제조기술

- 철도차량용 연결기의 완충에 응용되는 고무제품의 핵심 제조기술을 기반으로 향후 타 산업계에 유사 분야에 적용 및 연구개발에 활용

(2) 완충기 주조품 제조기술

- EFG 고무완충기의 연결 취부 등의 요구조건에 따른 유연한 설계 변경에 활용

(3) EFG 고무완충기 해석 및 성능평가기술

- 고무완충기 해석기술을 기반으로 새로운 개념의 고무완충기 연구개발에 활용
- 완충기 성능평가기술을 바탕으로 형식시험 등의 시험용역에 활용

붙임. 참고 문헌

- [1] 장현목, “철도차량 연결장치 완충기의 구조 및 특징”, 철도차량기술, 2011년 봄호, pp. 44~51.
- [2] 철도용품 공사규격서, “전기동차 중간연결기”, KRCS B511 00, 2015. 12. 28. 제정.
- [3] 국토교통과학기술진흥원, “철도 핵심 2단계 철도차량간 자동연결 및 분리시스템 개발 기획 보고서“
- [4] Rathner, Voith Turbo Scharfenberg GmbH & Co KG, “Description of the automatic SCHARFENBERG coupler according to drawing no. 1.010.414 for CAP METRO”, 2006.
- [5] EN 16019, “Railway applications-Automatic coupler-Performance requirements, specific interface geometry and test method“
- [6] EN 15227, “Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies“
- [7] 선의영 외, “대용량 에너지 흡수장치가 적용된 중간연결장치의 유지보수 방안 연구“, 2018년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집, KSR2018F103.
- [8] 장현목 외, “연결기용 완충기의 시뮬레이션 모델 비교“, 한국자동차공학회 논문집, Vol. 18, No. 4, pp. 107-114, 2010.
- [9] 김남옥, 박영일, “유압 장치를 이용한 철도 연결기용 고용량 충격완충기의 성능시험“, 한국 안전학회 논문집, Vol. 31, No. 1, pp. 33-40, 2016.
- [10] Moon, S. I., Cho, I. J., Woo, C. S., & Kim, W. D., “Study on determination of durability analysis process and fatigue damage parameter for rubber component“. Journal of mechanical science and technology, 25(5), 1159., 2011.
- [11] Park, H. S., & Woo, C. S., “Mechanical properties evaluation of natural and synthetic rubber.“ Elastomers and Composites, 42(1), 32-46., 2007.
- [12] Kayaci, S., & Serbest, A. K., “COMPARISON OF CONSTITUTIVE HYPER-ELASTIC MATERIAL MODELS IN FINITE ELEMENT THEORY.“
- [13] Shahzad, M., Kamran, A., Siddiqui, M. Z., & Farhan, M., “Mechanical characterization and FE modelling of a hyperelastic material.“ Materials Research, 18(5), 918-924, 2015
- [14] Crocker, L. E., Duncan, B. C., Urquhart, J. M., Hughes, R., & Olusanya, A., “The application of rubber material models to analyse flexible adhesive joints.“ Proceedings of Adhesion, 99., 2007
- [15] Yurdabak, V., & Özüpek, S., “EXPLICIT SOLUTION METHODS IN QUASI-STATIC ANALYSES OF RUBBER-LIKE MATERIALS“. Rubber Chemistry and Technology., 2019
- [16] Oscar, J., & Centeno, G., “Finite Element Modeling of Rubber Bushing for Crash Simulation Experimental Tests and Validation. Lund, Sweden: Structural Mechanics“, Lund University, 2009
- [17] 우창수, & 박현성. “천연 및 합성고무의 기계적 물성 평가.“ Elastomers and composites, 42(1), 32-46., 2007
- [18] 문성인, 우창수, & 김완두. “다축하중이 작용하는 방진고무부품 피로손상 파라미터 결정에 관한 연구“. Elastomers and Composites, 47(3), 194-200., 2012

- [19] Mullins, L., "Softening of rubber by deformation. Rubber chemistry and technology", 42(1), 339-362., 1969
- [20] Ogden, R. W.. "Large deformation isotropic elasticity-on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids." In Proc. R. Soc. Lond. A (Vol. 326, No. 1567, pp. 565-584). The Royal Society., 1972
- [21] ASTM D412. Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers-tension. ASTM book of standards.
- [22] ASTM D1056. Standard Specification for Flexible Cellular Materials—Sponge or Expanded Rubber. ASTM book of standards.
- [23] Altair engineering. "Optistruct – Basic Lineear and Dynamic Solutions", 2017
- [24] University of Colorado. "Introduction to Finite Element Methods" 2004
- [25] Javier B., Richard D. W, "Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis", Cambridge University Press. 2004
- [26] G. Thomas M, Ronald E. S., Goerge E. M., "Continuum mechanics for engineers", CRC Press. 2009
- [27] W.Y Lee. "Analysis on the Cushion Characteristics of Draft Gear for Electric Railcar", Master thesis., Seoul National University of Science and Technology, 2015
- [28] 조병진, 이정준, 심재석, 구정서, 문형석. "장대화물열차의 분산제어 제동시 연결기에 발생하는 충격력 해석 및 분석", 한국기계가공학회지, 제18권, 제2호, 2018
- [29] Cantone L., Durand T. "Longitudinal forces evaluation of SNCF trains", WCRR2011, 2011
- [30] BS EN15566:2009+ A1:2010 "Railway applications – Railway rolling stock – draw gear and screw coupling", 2009,

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.