최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부		사업명	사업명	국토교통기술촉진연구
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명	
공고번호	공고-제00호		총괄연구개발 식별번호		-
			연구개발과제번호		19CTAP-C152291-01
국가과학기술 표준분류	EI0399	80%	EH0503	20%	%

총괄연구개발명	국문	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발
	영문	Development of a new lightweight noise barrier tunnel structure system up tp four lane width
연구개발과제명	국문	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발
	영문	Development of a new lightweight noise barrier tunnel structure system up tp four lane width

주관연구기관	기관명	고려대학교 산학협력단		사업자등록번호	209-82-08298
	주소	(우)		법인등록번호	
주관연구책임자	성명	지 광 습		직위	정교수
	연락처	직장전화	02-3290-3324	휴대전화	010-6471-3324
		전자우편	g-zi@korea.ac.kr	국가연구자번호	1011-5546

연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9개월)
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12개월)
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	595,000	23,125	206,025	-	-	-	-	618,125	206,025	824,150	-
1년차	130,000	6,850	59,550	-	-	-	-	136,850	59,550	196,400	-
2년차	175,000	6,605	59,445	-	-	-	-	181,605	59,445	241,050	-
3년차	290,000	9,670	87,030	-	-	-	-	299,670	87,030	386,700	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	동아이엔지(주)	강덕만	대표이사	010-2010-5130	ace-kang@naver.com	공동	영리
위탁연구기관							
연구기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명	김기수	직위	연구원	
	연락처	직장전화	02-3290-3836	휴대전화	010-5340-4950
		전자우편	gisoo03@korea.ac.kr	국가연구자번호	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 2 월 4 일

주관연구책임자 : 지 광 습 (서명)

주관연구기관의 장 : 고려대학교 산학협력단 조 석 주 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

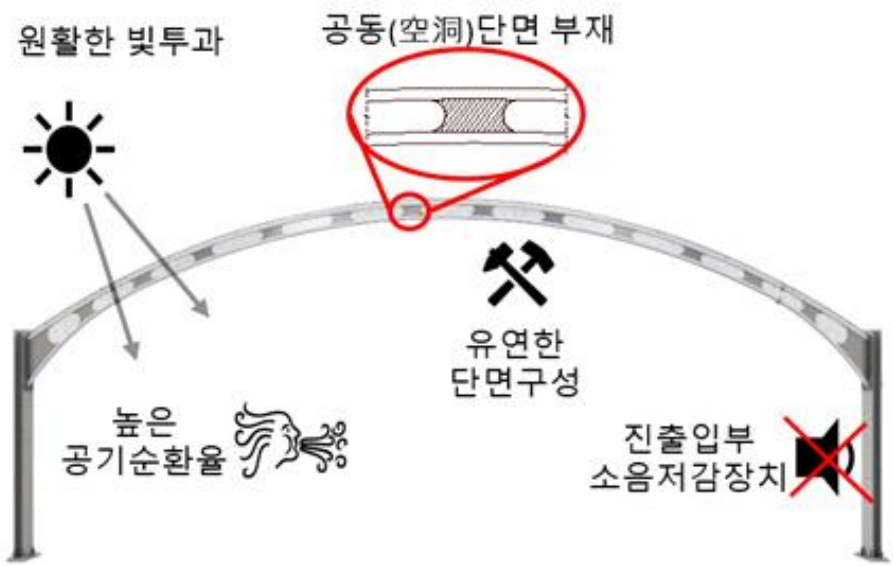
< 요 약 문 >

사업명	국토교통기술촉진연구사업				총괄연구개발 식별번호		–	
내역사업명	–				연구개발과제번호		19CTAP-C152291-01	
국가과학기술 표준분류	EI0399	80%	EH0503	20%				%
총괄연구개발명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발							
연구개발과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발							
전체 연구개발기간	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)							
총 연구개발비	총 824,150 천원 (정부지원연구개발비 : 595,000 천원, 기관부담연구개발비 : 229,150 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)							
연구개발단계	기초[ ] 응용[ ] 개발[✔] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]				기술성숙도		착수시점 기준( ) 종료시점 목표( )	
연구개발과제 유형	지정공모 [✔] 자유공모 [ ]							
연구개발과제 특성	실용화							

연구개발목표 및 내용 — 최종 목표

소음 없는 사회환경을 위한 신형식 차음시설 개발 및 사업화

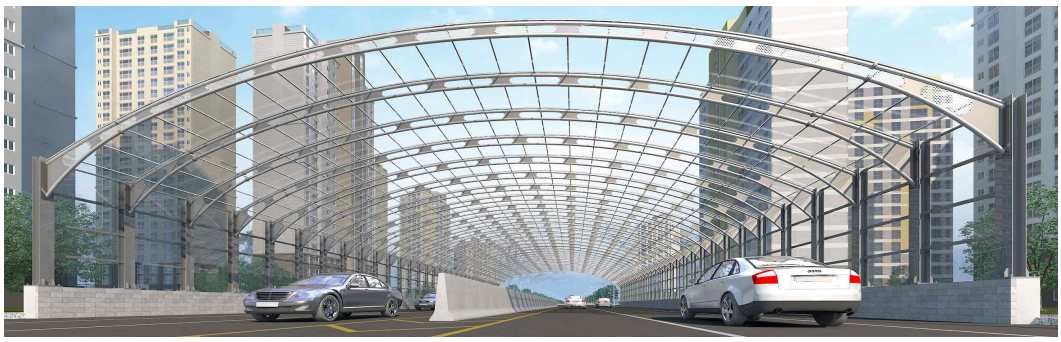
본 연구 개발을 통해 사회에서 요구하는 소음 저감에 능동적으로 대처하고자 한다. 신형식의 차음터널 구조의 개발로 기존 차음터널 구조물의 한계를 극복하고 나아가 시제품의 사업화를 통해 차음터널 시설에 대한 사회 관심을 재고하고자 한다.



<신형식 차음터널 구조물 개발 개요>

연구개발목표 및 내용 — 전체 내용

본 연구의 개발 목표를 달성하기 위해 신형식의 차음터널을 설계 및 개발하고자 한다. 차음터널의 최적의 성능을 확보하기 위해 기존 차음터널 구조형식별 장점을 조합한 새로운 구조형식을 개발한다. 차음터널의 심미성 개선을 위해 곡선형 제작이 용이한 부재 단면 및 체결부를 개발한다. 차음터널의 사용 성능 개선을 위한 소음 저감, 공기순환 개선 및 조도 편차 저감 시스템을 개발한다. 구조 성능 및 사용 성능 실험을 통해 개발한 신형식 차음터널을 검증하고 사업화를 진행한다.

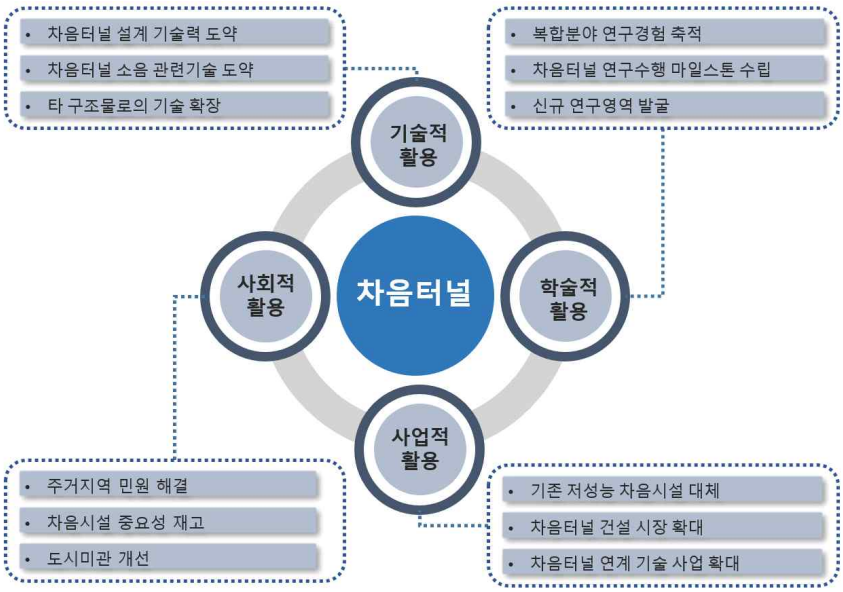
<table>
<tr><td rowspan="8"></td><td colspan="2"></td><td> 
<신형식 차음터널>

최종적으로 본 연구의 주요 목표는 다음 4가지 항목으로 요약할 수 있다.
(1) 제작성이 우수한 경량 차음터널 구조형식 개발
(2) 사용성능을 개선한 차음터널 시스템 개발
(3) 신형식 차음터널의 성능 검증
(4) 개발한 신형식 차음터널의 사업화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td>1. 구조 및 상세 개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>◆ 기존에 널리 사용되고 있는 H형 및 트러스형 차음터널 구조의 특성을 파악하였으며 신형식 차음터널 구조의 설계 지침서 작성
◆ 차음터널 구조의 경량화 달성을 위해 신형식 차음터널의 단위중량을 H거더의 단위중량 1.4ton/m 보다 작게 설계
◆ 트러스형 차음터널 대비 신형식 차음터널의 제작비 10% 절감</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td>1. 구조 및 상세 개발
2. 신형식 구조물 검증
3. 차음터널 시제품 제작 및 검증</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>◆ 신형식 차음터널 구조의 하중재하 실험 및 전산해석을 수행하고 실험과 전산해석의 신뢰도를 검증함과 동시에 신형식 차음터널 구조의 안정성을 검증
◆ 구조적으로 안정성이 높으며 채광성이 높은 신형식 차음터널의 복부판 형상을 개발
◆ 신형식 차음터널의 제작성 검증을 위한 양산규모 1/10규모의 신형식 차음터널 제작계획서 작성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3년차</td><td>목표</td><td>1. 구조 및 상세 개발
2. 공기순환 개선
3. 출입부 회절 소음 저감
4. 차음터널 시제품 제작 및 검증
5. 개발 시제품 사업화</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>◆ 양산 규모 1/10규모의 신형식 차음터널 시제품을 제작하였으며 시제품 구조실험을 통한 차음터널의 목표성능 검증
◆ KOLAS 공인인증 기관 실험실에서 실험을 수행하였으며 기관으로부터 구조 시험 성적서를 발급받아 신형식 차음터널의 구조적 성능을 검증
◆ 차음터널에 적합한 공기순환 성능 지표를 개발하여 차음터널의 형식별 공기순환 성능을 평가하고 공기흐름 유도 장치 적용으로 공기순환 성능 개선
◆ 차음터널 출입부 회절소음 소음저감 장치 개발 및 적용으로 기존 대비 소음 저감효과 달성
◆ 개발된 신형식 차음터널의 사업화 달성을 위한 국내 사업 수주 1건 달성</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과</td><td>• 최적 성능 차음터널 구조형식 및 단면 설계 상세
• 공기순환, 소음저감 및 운전자 시인성을 확보하는 차음터널 시스템
• 실험기반 성능 검증을 통한 신제품 인증
• 개발한 신형식 차음터널의 사업화</td></tr>
</table>

< 연구개발성과 유형 >

구분	특허출원	특허 등록	국내 논문	SIC급 논문	시제품 제작	기관 인증서	수주계약
건수	5	4	2	1	1	2	1

연구개발성과 활용방안 및 기대효과



기술적 기대효과	사회적 기대효과
▪ 신규 기술 요소의 제시로 기술 수요 형성 ▪ 선진 기술력 확보 및 국내 환경 맞춤형 적용 ▪ 요소 기술 간의 연계성을 파악하여 타 구조물로 기술력 확장	▪ 차음터널 성능 개선 및 향상을 통한 주거지역의 민원 저감 ▪ 차음시설 중요성을 재고하여 환경 소음차단의 필요성 환기 ▪ 도시미관에 부합하는 차음터널
학술적 기대효과	**사업적 기대효과**
▪ 차음터널 건설 시장을 확대하여 관련 기술 개발 연구 활성화 ▪ 개발 기술의 사업화를 통한 강구조물 설계 및 시공 전문 인력 양성 ▪ 차음터널 연계 기술 사업 확대를 통한 안정적 연구 인프라 확보	▪ 소음 대책을 확보하여 기존 차음시설의 성능적 한계 극복 ▪ 차음터널 건설 시장을 확대하여 침체된 차음터널 시장 활성화 ▪ 선진 기술력 확보를 통한 시장 경쟁력 확보

연구개발성과의 비공개여부 및 사유: 해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수

국내 논문	SCI 논문	특허 출원	특허 등록	보고서 원문	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
							생명정보	생물자원		정보	실물
2	1	5	4	1							

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	차음터널	경량화	제작성	사용성능	사업화
영문핵심어 (5개 이내)	Noise barrier tunnel	Lightweight	Workability	Serviceability	Commercialization

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 ····· 6

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 11
2.1 연구개발과제의 수행 과정 ····· 11

2.2 연구개발과제의 수행 내용 ····· 12
2.2.1 신형식 차음터널 구조의 설계 최적화 ····· 12
가. 차음터널 설계 문헌 조사 및 설계 절차 확립 ····· 12
나. 거더 형식별 구조 거동 비교 ····· 13
다. 부재 설계 최적화를 위한 매개변수 분석 ····· 14
라. 요소 단위 부재 성능 검증 실험 ····· 23
마. 거더 설계 최적화를 위한 전산해석 ····· 29
바. 거더 성능 검증 실험 ····· 44

2.2.2 공기순환 성능 확인 및 개선 방안 ····· 57
가. 역류량 지수 기반 공기 순환 성능 평가 ····· 57
나. 공기 순환 성능 평가 풍동실험 ····· 66
다. 공기 순환 개선 장치 도출 ····· 75
라. 공기 순환 개선 형상에 따른 차음터널 천장부 양력 확인 ····· 80

2.2.3 토출부 소음 평가 및 개선 방안 ····· 90
가. 소음 해석 개요 및 소음 영향 평가 ····· 90
나. 평가결과 및 개선방안 ····· 90

2.2.4 운전자 시인성 평가 ····· 93

2.2.5 신형식 차음터널 시제품 제작 및 사업화 ····· 104
가. 신형식 차음터널 구조 설계 및 Test-Bed구축 ····· 104
나. 시제품 제작 및 설치 ····· 107
다. 신형식 차음터널 사업화 ····· 109

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 110

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 115

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 116

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 118

별첨자료(참고문헌 등) ····· 125

1. 연구개발과제의 개요

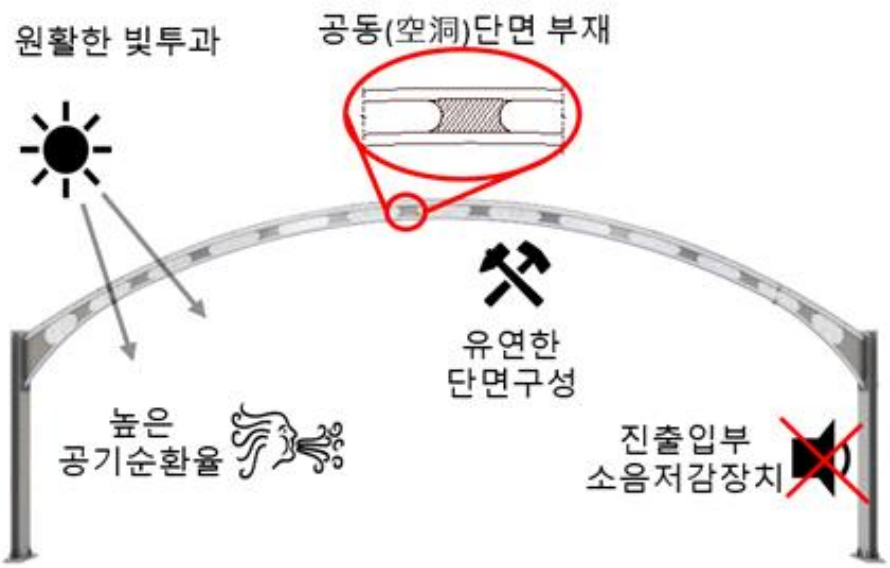
1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 차음터널 구조의 경량화 및 제작성 향상
- 기존 차음터널 구조 형식별 장점을 조합하여 최적의 성능을 확보한 신형식 차음터널 구조 형상 개발
- 차음터널 구조의 불필요한 단면 제거를 통한 경량화 달성
- 차음터널 구조의 단위 부재 체결부 개발로 제작성 향상

○ 신형식 차음터널의 구조적 성능 검증
- 전산해석과 실험을 통한 신형식 차음터널 구조의 안정성 평가 및 구조적 성능 검증

○ 신형식 차음터널의 사용 성능 개선 달성
- 차음터널 내부에서 발생하는 공기순환 특성 분석을 통한 H형 차음터널 대비 신형식 차음터널의 공기순환 개선효과 확인
- 신형식 차음터널의 계절 및 시간에 변화에 따른 조도 편차 시뮬레이션 분석을 통한 시인성 개선
- 소음저감

○ 신형식 차음터널의 사업화
- 사업 계약을 통한 신형식 차음터널의 사업화



<신형식 차음터널 구조물 개발 개요>

2) 연구개발과제의 연차별 목표

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2019)	차음터널 설계 및 기술 개념 정립	하중 조건 등 설계 필요사항 정리	▪ 신형식 차음터널 설계 절차 정리 ▪ 하중 분류 및 설계 조건 정리 ▪ 신형식 차음터널 단면 설계	▪ 하중 조건 기반 신형식 차음터널 구조 설계 ▪ 신형식 차음터널 구조물의 설계지침서 작성 ▪ 거더형식 비교검토 보고서 작성
		기존 차음터널 구조 특성 사항 분석	▪ 국내외 차음터널 설계 기준 정리 ▪ 기존 차음터널 구조 특성 파악 및 신형 차음터널 설계와의 비교	
		부재 수준 전산해석 수행	▪ H형강 빔, H형강 셀룰러 빔, 트러스 빔, 델타 빔, 나비형 복부판 빔을 대상으로 거더형식별 전산 해석 수행	
		설계요건 검증을 위한 비교 실험 설계	▪ 신형식 차음터널 구조의 구조 성능 검증을 위한 실험 계획 수립 ▪ 진출입부 공기흐름 개선을 위한 풍동 시험 계획 수립	▪ 구조 검증을 위한 3점 휨 실험 및 캔틸레버 빔 실험 구성 ▪ ACH 기반 신형 차음터널 지붕 형상에 의한 공기순환 평가 시험 계획
	신형식 차음터널 구조 설계 (안) 작성 및 Test-Bed 구축	기본 구조 개념 설계안 및 부재 단면도 도출	▪ 신형식 차음터널 구조 설계를 위한 설계 지침서 작성 및 부재 기본 단면 결정	▪ 신형식 차음터널 구조물의 설계지침서
		설계 요건 및 설계안을 바탕으로 한 설계 도면 작성	▪ 설계 지침서 및 목표 성능에 맞춘 신형식 차음터널 설계 도면 작성	▪ 신형식 차음터널 구조물의 설계 도면
		설계안 검증을 위한 Test-Bed 구축	▪ Test-Bed 규모, 부지 선정 및 활용방안 구축	▪ 경기도 이천시 내 약 150m^{2}의 Test-bed 구축 및 부지 활용 방안 수립

구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2020)	차음터널 요소 단위 부재 설계 최적화	구조 상세 부재 전산해석	▪ 차음터널 요소 단위 부재의 설계 최적화 ▪ 전산해석 및 부재 단위 성능 실험을 위한 단면 설정 ▪ 전산해석을 위한 하중 조건 및 경계 조건 설정 ▪ 실험에 앞서 시험체 모델의 타당성 검토를 위한 전산해석	▪ 전산해석에서 복부판과 플렌지의 연결부에 응력이 집중되는 것을 확인 ▪ 전산해석 결과와 시험 결과를 비교 검토한 결과 98% 이상의 일치율을 나타내고 있음 ▪ 기존의 H형 강 대비 신형식 차음터널 구조는 응력집중부에서 최대 30%의 항복 하중 증가 효과를 가져다 줌 ▪ 따라서 신형식 차음터널 부재 단위 시험 분석 결과 연결부에 응력완화 효과 확인 ▪ 복부판에 발생하는 응력 집중의 경우 복부판 부재의 두께 또는 강성 증가를 통해 해결 가능함
		부재 단위 성능 실험 수행	▪ 각기 다른 4가지 복부판 형상 CASE에 대한 실험을 수행 ▪ 시험체 설계 ▪ 응력 집중부 스트레인 게이지 부착 ▪ 실험은 각 단위 부재의 최대 내하력이 측정될 때까지 진행	
		실험결과 비교검토	▪ 응력 집중부에서 계측된 데이터 분석 ▪ 전산해석 결과와 비교검토 수행 ▪ 각 시험체 CASE를 비교하여 최적의 복부판 형상을 선별	
		부재 단위 성능 인증	▪ 전산해석 및 구조 실험을 통한 구조적 성능 검증 ▪ 구조 성능 검증을 위한 인증서 발급	▪ 요소 단위 구조 시험을 수행한 시험 기관에서 구조 시험 인증서 발급 완료
	시제품 설계 및 제작	시제품 설계 및 제작	▪ Test-Bed 구축 ▪ BIM용 전처리 3D모델링 데이터 구축 ▪ Test-Bed 설치용 시뮬레이션 활용	▪ 경기도 이천시에 Test-Bed 부지 조성 완료 ▪ 시제품 제작 시작 단계 돌입 (2021년 상반기 완공 예정) ▪ BIM 기술을 도입한 시제품 설계

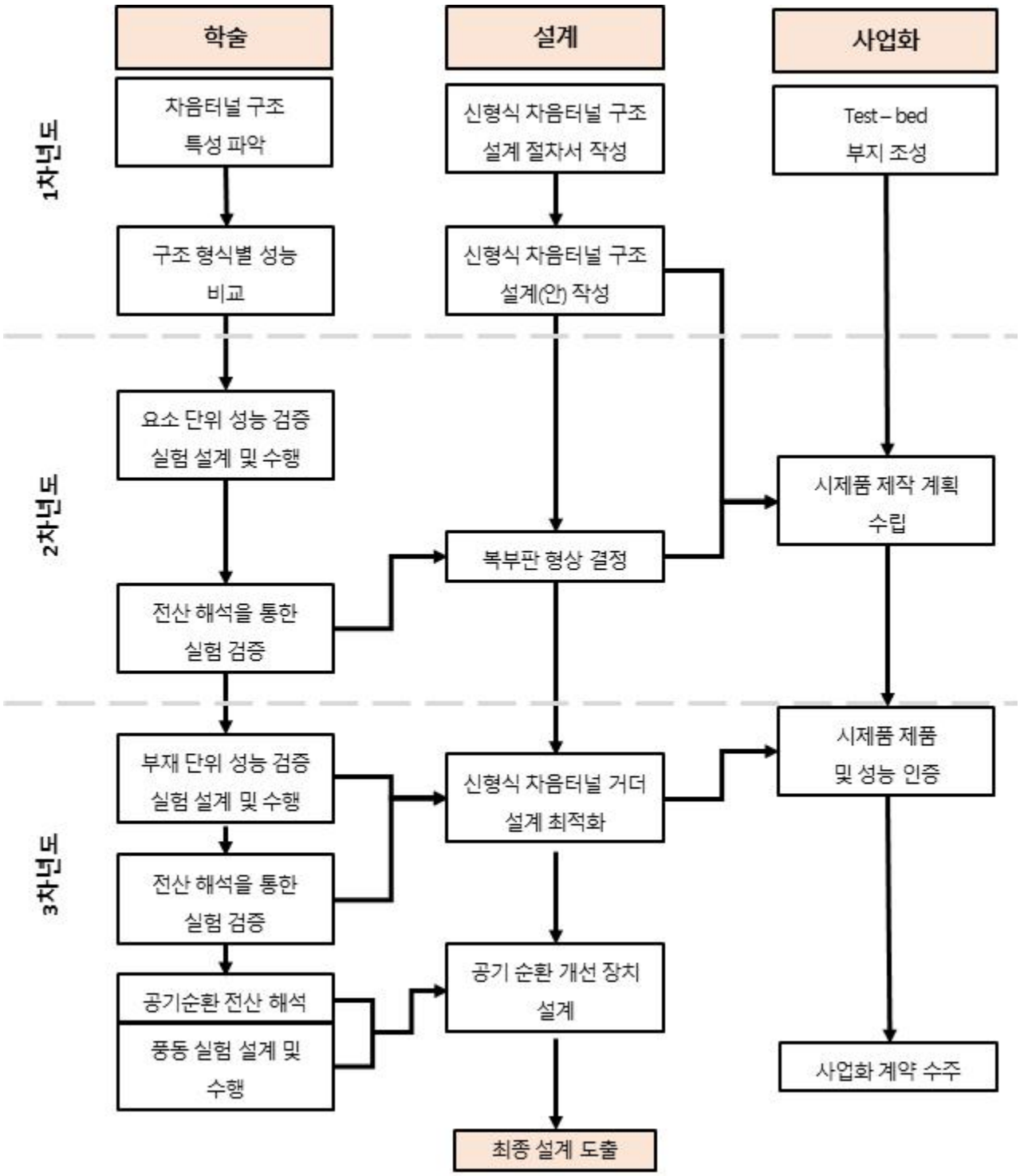
구분(연도/단계))	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2021)	신형식 차음터널 사용성능 검증	운전자 시인성 검토 및 개선	▪ 조도 시뮬레이션을 통해 계절 및 시간 변화에 따른 조도편차 평가	▪ 시뮬레이션 분석을 통해 차음터널 외부와 내부의 조도 편차 15%이상 절감효과 확인 ▪ 터널 구조물에 적합한 공기순환 성능 평가지표를 개발하였으며 관련하여 풍공학회에 논문 1건 게제 ▪ 신형식 차음터널 구조물에 특허품 적용으로 높이 250mm인 H거더 대비 공기순환 성능 약 60%개선효과 확인 ▪ 차음터널 출입구 회절소음 저감 장치 적용으로 회절소음 10%저감
		공기순환 성능 개선을 위한 CFD 시뮬레이션 및 분석	▪ 시뮬레이션 분석을 통해 터널에서 발생하는 공기유동 특성 분석 ▪ 역류량 산정을 바탕으로 한 공기순환 성능 지표 개발 ▪ 차음터널 거더의 형상에 따른 공기순환 성능 평가	
		회절소음 저감	▪ 차음터널 출입구에서 발생하는 회절 소음 시뮬레이션 분석 수행 ▪ 회절소음 저감 장치 개발	
	신형식 차음터널의 사업화	시제품 제작 및 성능 인증을 통한 사업화 달성	▪ Test-Bed 구축 ▪ 양산 규모의 1/10규모의 시제품 제작 ▪ 시제품 하중재하 실험을 통해 신형식 차음터널 구조물의 안정성 평가 및 인증	▪ Test-Bed 완공 ▪ 양산 규모의 1/10규모의 시제품 제작 완료 ▪ 실험결과를 바탕으로한 KOLAS 인증서 발급 ▪ 수주계약 1건

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	구조 및 상세 개발	구조 특성 파악	현재 차음터널 구조로 H형 및 트러스형을 주로 적용	설계 지침서 작성 및 구조 특성 파악	신형식 차음터널 구조 형상 개발	-
		부재 및 구조 상세 설계	단위 중량 1.4ton	단위 중량 1.3ton	차음터널 구조의 경량화	5
			트러스 제작비 100%기준	비교 대비 제작비용 90%	트러스형 대비 제작비 절감	-
2년차 (2020)	구조 및 상세 개발	요소단위 구조 성능 확인	신형식 차음터널 구조에 대한 성능인증 사례 적음	전산해석 신뢰도 95%	실험 및 시뮬레이션의 신뢰도 검증	10
		운전자 신인성 개선	차음터널 통과 시 플리커현상 발생	특허출원	채광성이 높은 구조 형상 개발	5
	신형식 구조물 검증	구조 성능 검증	현재 차음터널 구조로 H형 및 트러스형을 주로 적용	성능 인증서 1건	신형식 차음터널의 구조적 성능 검증	20
	차음터널 시제품 제작 및 검증	시제품 제작 계획	양산규모 1/10	제작성 검증을 위한 시제품 제작을 계획	-	-
3년차 (2021)	구조 및 상세 개발	운전자 시인성 개선	차음터널 통과 시 플리커현상 발생	조도 편차 15% 절감	개발된 신형식 차음터널 구조의 시인성 개선효과 확인	10
		부재 및 구조 상세 설계	단위 중량 1.3ton	단위 길이당 중량 1.0ton/m	차음터널 구조의 경량화	10
	공기순환 개선	공기순환 성능 확인	공기순환 성능 평가 시 ACH지표 사용	국내논문 게제 1건	터널 구조물에 적합한 공기순환 성능 지표 개발 및 난류로 인한 체결부 볼트풀림 방지	5
		공기순환 개선 방안 개발	특허출원	특허출원	-	5
	출입부 회절 소음 저감	회절 소음 저감	공기순환 특성 5% 향상	저감 처리 전/후 10% 저감	-	-
	차음터널 시제품 제작 및 검증	시제품 제작	터널 진입부 말발굽 형태의 구조 적용	저감 처리 전/후 10% 저감	소음이 가장 크게 발생하는 진입부 회절 소음 저감	10
	차음터널 시제품 인증	시제품 성능 인증 확보	현재 차음터널 구조로 H형 및 트러스형을 주로 적용	양산규모 1/10	신형식 차음터널의 제작성 검증	10
	개발 시제품 사업화	사업화 달성	인증서 1건	신형식 차음터널의 구조적 안정성 인증	-	10

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1 연구개발과제의 수행 과정

○ 본 연구에서는 다음과 같은 4차선급 도로용 신형식 차음터널 구조 개발을 위해 다음 그림 2.1과 같은 연구 수행 절차를 수립하였으며, 연구 절차에 따라 차년도별 연구를 수행하였음.



<그림 2.1 신형식 차음터널 구조 개발 연구 수행 절차>

2.2 연구개발과제의 수행 내용

2.2.1 신형식 차음터널 구조의 설계 최적화

가. 차음터널 설계 문헌 조사 및 설계 절차 확립

○ 신형식 차음터널 구조의 설계 개념 및 설계 절차를 정립하기 위해 국내외 설계 기준 조사하고, 설계 필요 사항(하중 조건, 설계 단면, 설계 특이점) 등을 파악하였음.

○ 본 연구에서 참고한 국내외 설계 기준은 다음 표 2.1와 같음

<표 2.1 국내외 차음터널 설계 관련 기준>

국가	구분		참고자료	참고내용
국내	설계법	설계흐름	도로설계편람(2009)	1004 방음시설 3.2 설계 흐름도
		설계고려사항	도로설계편람(2009)	3.3
		허용응력설계법	KDS 41 10 15	1.5.2 허용응력설계법
	재료	방음재료 선정	부재별 상이	2.2.1 방음터널 - 투명 방음판
		방음터널 강재	KCS 44 80 05	2.2.1 방음터널 - 방음터널용 강재
		방음판 치수	고속도로 건설재료 품질기준 (2016)	부대공 1. 방으시설 - 방음판 치수
		방음판 내하중등급	KDS 44 80 05	표 1004. 10 방음재 내하중등급
	하중	풍하중	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	5장 풍하중
		적설하중	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	6장 설하중
		지붕 집중활하중	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	3.3 건축물 활하중
		온도하중	KDS 41 10 15	8. 온도하중
		지진하중	KDS 41 17 00	지진하중
		설계하중	도로설계편람 (2009)	3.1.1 방음시설 설계하중
		지붕활하중	KDS41 10 15	3. 지붕활하중
	사용성검토	사용성 설계	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	4.4.1 처짐
		처짐기준	도로교설계기준	
		진동	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	4.4.2 진동
		수평변위	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	4.4.3 수평변위
	시공성	시공 제출물	LH 전문시방서	방음터널 설계 제출물
		지주 간격	KCS 44 80 05	3.2 방음터널 시공
국외	처짐	지붕 처짐	ICC International building code	1604.3.1. Deflection limits
		방음터널 구조요소	Eurocode en1794-1	A.3 Performance of structural elements
		구조물 설계 기초	Eurocode EN1992	1992-3 Steel Structures

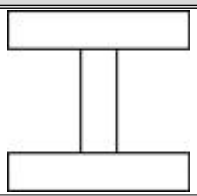
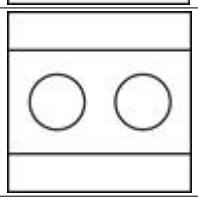
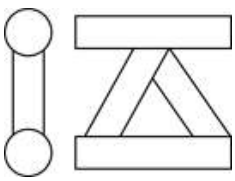
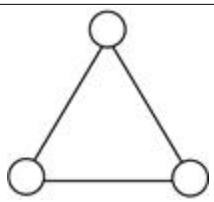
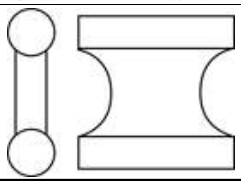
○ 국내외 설계 기준 조사 결과 **차음터널 설계는 현재까지 명확한 구조 설계기준에 따라 구조 설계가 진행되고 있지 않음**. 국내법상으로 주거시설이 아닌 공작물로 구분되며, 때에 따라 도시환경시설, 도로교 부대시설 등으로 설계 위치에 따라 구분이 달라짐. 따라서 도로설계편람, 건축구조기준, 도로교설계기준 등 **다양한 설계 기준에서 부분적으로 제시하는 값을 참고하여 차음터널 설계가 이루어질 필요가 있음**

○ 따라서 1차년도 연구 기간 동안 신형식 차음터널의 설계 기준 정립을 위해 **기존의 설계 조건을 반영 및 취합하여 신형식 차음터널 구조의 설계 절차서를 작성하였음 (별첨 31)**

나. 거더 형식별 구조 거동 비교

○ 신형식 차음터널 구조의 당위성 확보를 위해 거더 구조 형식에 따른 전산해석을 수행하였음. 전산해석은 H형강 빔, H형강 셀루러 빔, 트러스 빔, 델타 빔 그리고 신형식 차음터널의 나비형 복부판 빔을 대상으로 **5종의 거더형식별 구조 거동**을 확인하였음 **(별첨 2)**

<표 2.2 비교대상 거더 형상 및 특징>

명 칭	형 상	사 진	특 징
H형강빔			대표적인 주골조용 기성품으로 여러 구조형식에서 사용됨
H형강 셀룰러빔			H빔을 종방향으로 절단하고 상하 플랜지 간격을 확보하여 휨강성을 극대화시킨 거더 구조
트러스빔			상하현재와 가새구조로 효율적인 경량 거더구조
델타빔			상하현재를 3방향으로 배치함으로써 견고한 강성을 구축하는 거더구조
나비형 복부판 빔			기성품 파이프를 상하현재로 사용하고 유연한 복부면적을 갖춘 거더구조

○ 모델 구성은 H형 빔 규격에 맞춰 동일한 강재량을 갖는 타형식 거더를 모델링하였으며, 응력수준 및 처짐량에 대한 검토를 수행하였음.

○ 그 결과 H빔 규격이 5가지 형식 중 가장 높은 안정성과 강성을 확보하는 것으로 나타남

○ 델타빔을 제외한 모든 거더에서 재료 항복강도(275 MPa)를 초과하지 않는 결과를 확인하였으며, 처짐에 대해서도 설계 기준을 만족함을 확인하였음

○ 나비형 거더의 응력 및 변위 형상은 트러스빔과 비슷하였으며, 타 형식과 비교하여 유연한 단면 변경을 통해 응력 감소에 대처가 가능한 장점이 있을것으로 판단됨

다. 부재 설계 최적화를 위한 매개변수 분석

○ 신형식 차음터널 거더 형상 매개변수 분석

- 신형식 차음터널 구조는 불연속적인 복부판이 상하현재 파이프에 연결된 구조이기 때문에 복부판의 간격에 따라 신형식 차음터널 거더의 구조 효율성을 수치적으로 평가해야 함
- 4차선급 도로의 방음터널용 거더용으로 설계된 신형식 차음터널 거더 단면의 간격과 복부판을 참조하여 전체 거더의 길이 대비 복부판으로 비지지된 길이 비율 ρ를 매개변수로 하여 그림 2.2와 같이 매개 변수 모델을 구축하였음
- 플랜지 파이프는 프레임 요소를 사용하였고, 복부판은 사각형으로 단순화하여 쉘 요소로 모델링을 하였음. 플랜지 파이프의 단면 제원은 외경 D0=89.1mm, 내경 Di=81.1mm이고, 복부판의 단면 제원은 두께가 8mm임
- 복부판 끝단의 형상에 따라 응력의 집중도가 상이하지만, 본 프레임 모델에서는 단면력을 계산하는 것이 목적이므로 응력집중 계수를 계산하기 위해서는 별도의 모델을 사용하였음
- 거더의 양 끝은 지주대로 지지되므로 본 매개변수 해석에서는 완전 고정조건으로 단순화하였음. 매개변수 분석을 위해 기준 상재 하중으로 ω0=1N/mm 의 선하중을 재하하였음. 임의의 하중에 대한 효과는 상재하중 ω0에 하중 계수를 곱해서 그 효과를 검토함
- 비지지 비율 ρ는 단위 비지지 길이 L_h, 비지지구간의 개수 N 및 전체 거더의 길이 L0와 다음과 같은 관계가 있으며, 특정 비지지 비율에 대해 N과 L_h를 조절하면 매개변수 해석에 필요한 해석 모델 객체를 구성함

$$\rho = N\frac{L_h}{L_0} \qquad (1)$$

- 비지지 비율 ρ를 0.4, 0.6, 0.8로 가정하였으며, 그림 2.2의 모델을 이용해서 중앙점의 처짐 δ와 최대 축응력 지점의 단면력 N_{max}와 휨모멘트 M_{max}계산하였고, 그 결과값은 표 2.3에 정리하였음

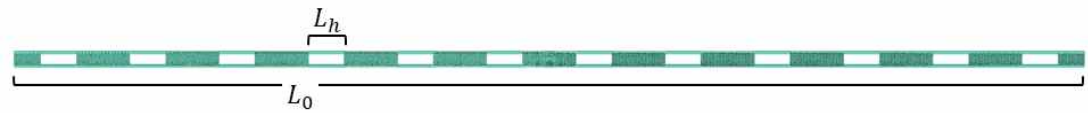
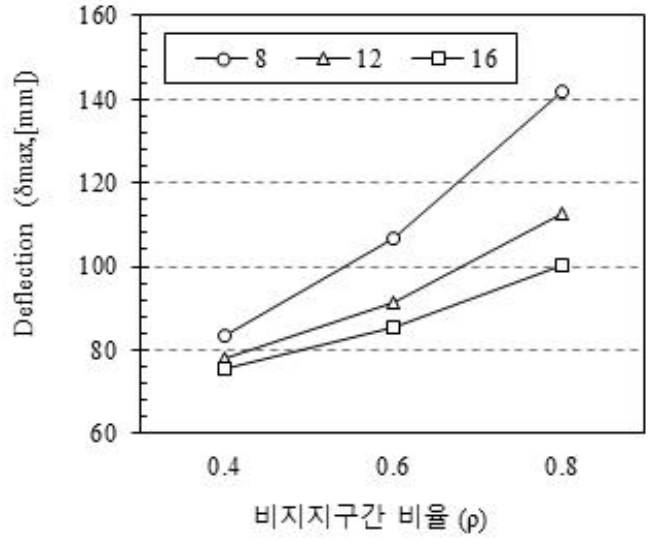


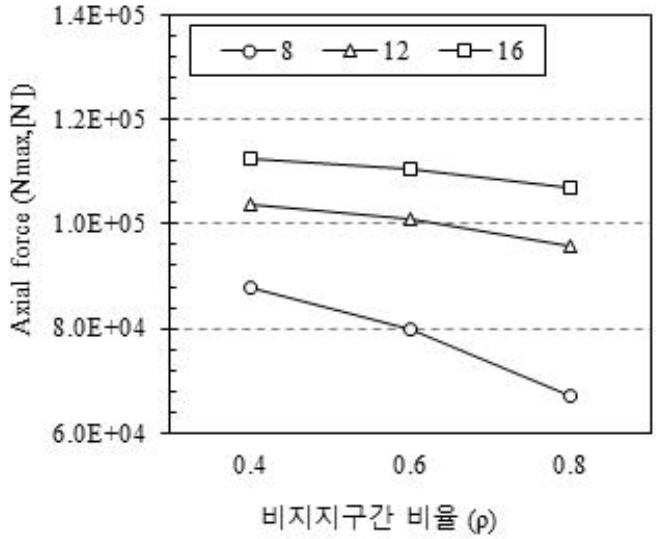
그림 2.2 신형식 차음터널 거더의 구조성능 매개변수 분석을 위한 모델

표 2.3 신형식 차음터널 거더의 매개변수 분석 결과

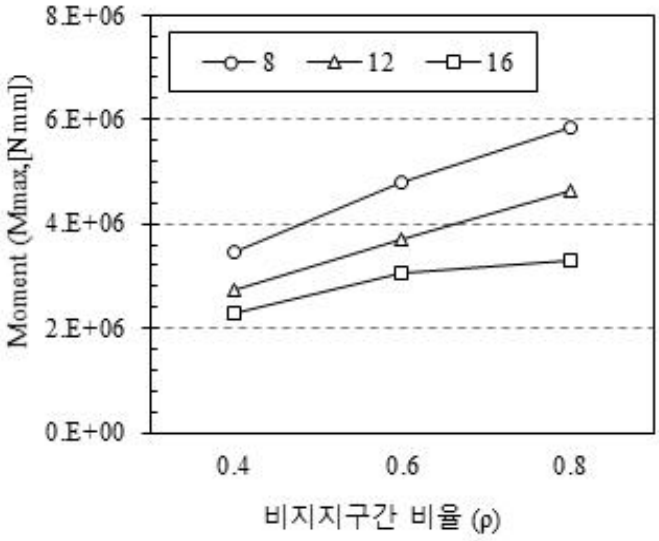
ρ	N	δ [mm]	N_{max} [N]	M_{max} [Nmm]
0.4	8	83.6	8.77E+04	3.47E+06
	12	77.8	1.04E+05	2.72E+06
	16	75.5	1.13E+05	2.27E+06
0.6	8	106.8	8.00E+04	4.80E+06
	12	91.5	1.01E+05	3.70E+06
	16	85.3	1.11E+05	3.07E+06
0.8	8	141.9	6.73E+04	5.83E+06
	12	112.7	9.56E+04	4.63E+06
	16	**100.3**	1.07E+05	3.29E+06



(a)



(b)



(c)

그림 2.3 신형식 차음터널 거더의 구조성능 매개변수 분석 결과 (a) 처짐량, (b) 축력, (c) 모멘트

- 표 2.3과 그림 2.3을 참고하면, 동일한 ρ 에 대하여 N 의 값이 증가할수록 또는 동일한 N 에 대하여 ρ 가 감소할수록 처짐량과 축력이 증가하고, 모멘트는 감소하였음. 그 결과에 대해서는 다음과 같이 해석할 수 있음
- 축응력의 크기(그림 4.(a))는 경계점에서 중앙점으로 갈수록 지지구간에서는 감소하고 비지지구간에서는 증가하며 또한 증감의 크기는 감소함
- 축력(그림 4. (b))은 비지지구간 경계조건에 가까울수록 축력의 값이 증가하였음. N 의 개수와 ρ 에 관계없이 경계조건으로부터 첫 번째 비지지구간이 끝나는 점에서 최대 축응력이 발생하게 되고, N 이 증가할수록 혹은 ρ 가 감소할수록 최대 축응력 지점이 경계조건에 가까워지게 되므로 이에 따른 축력도 증가하게 됨
- 휨 모멘트는 그림 4.(c)를 참고하면 지지구간에서는 휨모멘트의 크기가 일정하고, 비지지구간에서 휨모멘트의 크기가 증가하는 것을 알 수 있음. 그러나, N 이 증가할수록 혹은 ρ 가 감소할수록 비지지구간 길이가 감소하여 휨모멘트의 크기가 감소하는 결과를 확인하였음

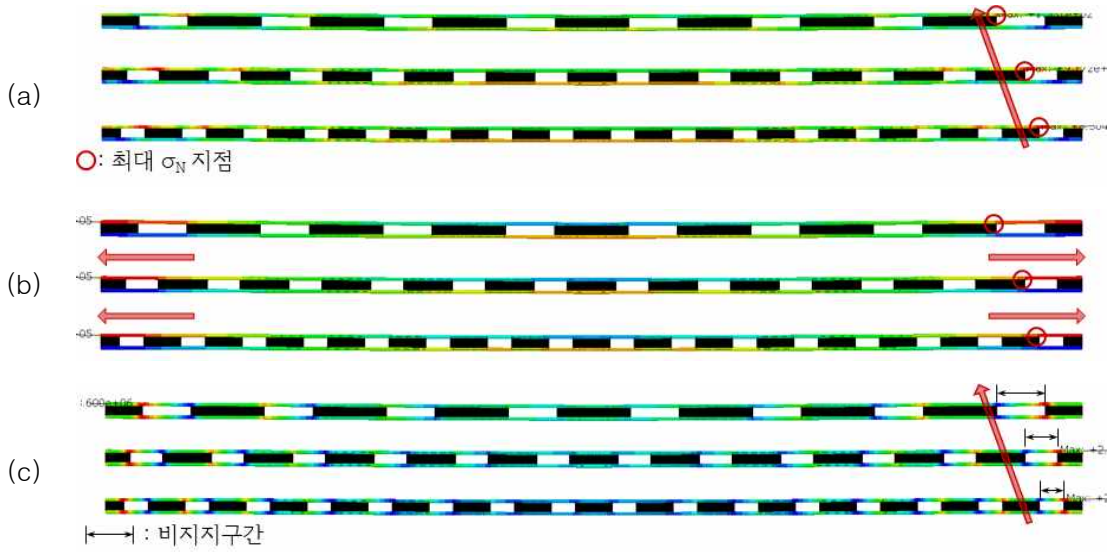
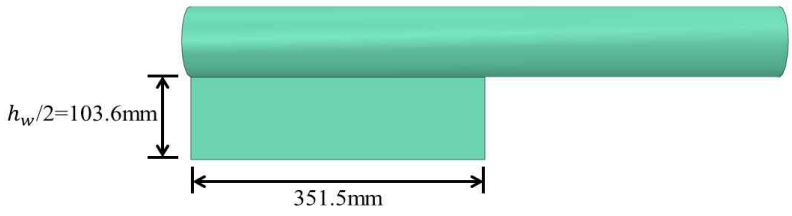


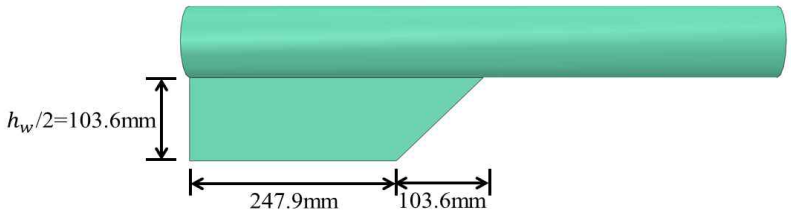
그림 2.4 신형식 차음터널 거더의 ρ 가 0.4일 때 비지지구간 개수 별 (a) 축응력, (b) 축력, (c) 모멘트 분포

○ 응력 집중을 고려한 매개변수 분석 보정

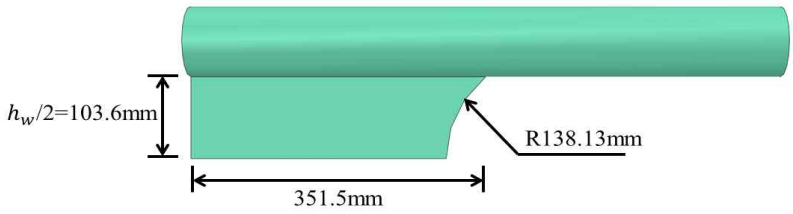
- 표 2.3의 단면력으로부터 응력을 계산할 수 있으나, 복부판의 끝단에서 응력이 집중되므로 응력 집중계수를 고려해야 실제 플랜지의 응력 계산이 가능함
- 복부판 단면 형상에 따른 응력집중계수를 산정하기 위해 그림 2.4와 같은 모델을 구성하였음. 복부판 측면의 형상에 따라 사각형, 45도 각형 그리고 지름이 서로 다른 원형 3 가지로 총 다섯 가지 형상에 대하여 응력 집중을 분석하였음
- 각각의 명명을 사각형, 45도 각형, R=0.67h_w, R=0.5h_w, R=0.43h_w으로 결정하며, R=0.43h_w는 상/하현재와 복부판 사이에 약 6.8㎜의 용접 접합부가 고려된 모델임



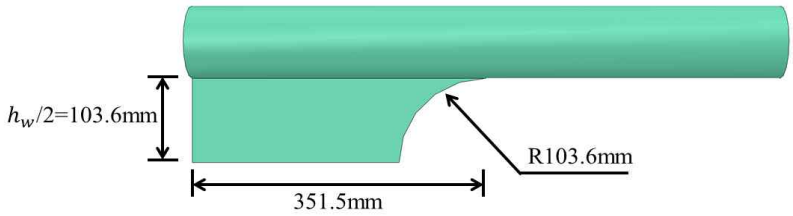
(a) 사각형



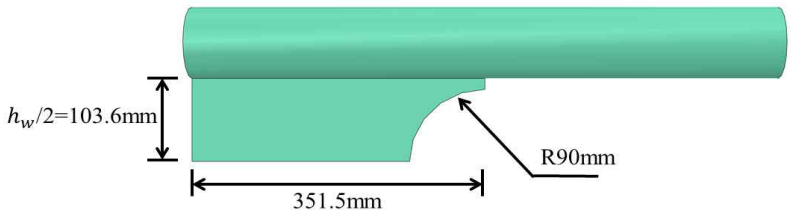
(b) 45도 각형



(c) R=0.67h_w



(d) R=0.5h_w



(e) R=0.43h_w (용접부 포함)

그림 2.5 응력집중계수 κ 계산용 모델; (a) 사각형, (b) 45도 각형, (c) R=0.67h_w, (d) R=0.5h_w, (e) R=0.43h_w

- 응력집중은 국부적으로 발생하므로 쉘 모델을 이용해서 그림 2.5와 같이 복부판 절반과 플랜지만을 고려하였음
- 하중 조건으로 단위 축력 N_0=1N과 단위 모멘트 M_0=1Nmm를 단부에 가력하였으며, 이때 축력에 대한 응력집중계수 χ_N과 휨모멘트에 대한 응력집중계수 χ_M는 다음과 같이 계산함

$$\kappa_N = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{N_0}} \quad \text{및} \quad \kappa_M = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{M_0}} \tag{2}$$

- 여기서 σ_{max}는 그림 2.5의 유한요소 모델에서 취득한 최대 응력을 의미함. 탄성모델에서 불연속성이 발생하면 응력이 수렴이 어려우므로 DNVGL-RP-C208 등 국외 강구조 설계기준에서는 최대 응력을 두께의 50% 위치와 150% 위치에서의 응력값을 통해 선형보간하도록 명시되어 있음. 즉 최대 응력 σ_{max}은 다음과 같이 선형 보간을 통해 결정되었음

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \frac{\sigma_{0.5t} - \sigma_{1.5t}}{t} 1.5t + \sigma_{1.5t} \\ &= 1.5\sigma_{0.5t} - 0.5\sigma_{1.5t}\end{aligned} \tag{3}$$

- 축력과 모멘트에 의한 응력 σ_{N_0}과 σ_{M_0}는 각각 다음과 같이 계산할 수 있음

$$\sigma_{N_0} = \frac{N_0}{A_f} \text{ 및 } \sigma_{M_0} = \frac{M_0 D_f/2}{I_f}$$
$$\text{여기서 } A_f = \pi(D_o^2 - D_i^2)/4 \quad (4)$$
$$I_f = \pi(D_o^4 - D_i^4)/64$$

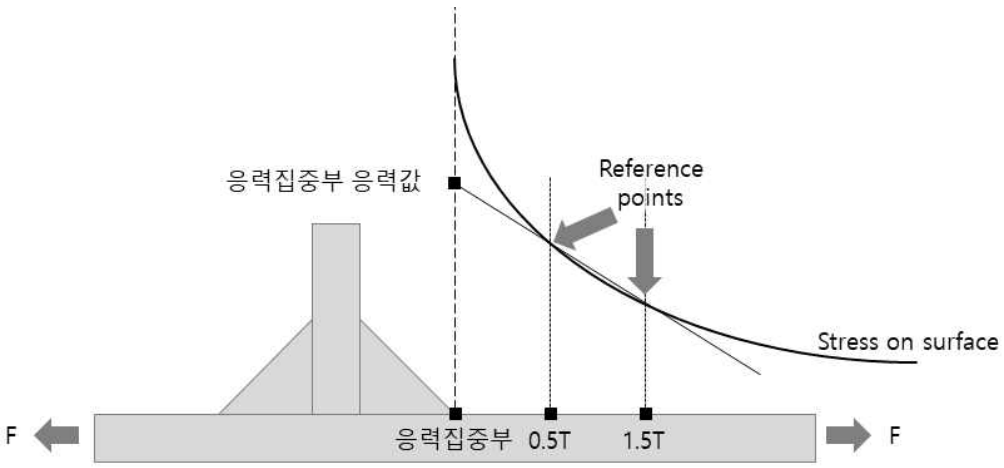


그림 2.6 응력집중부 선형보간 모식도

- 복부판 형상에 따른 응력집중 계수 계산 결과는 표 2.4와 그림 2.7에 정리하였음
- 복부판에 대한 R 의 비율이 감소할수록 응력집중계수가 감소하였으나 0.5보다 작아질 경우 응력집중계수가 다시 커지는 양상을 보였으며, 축응력보다 휨응력에 대한 응력집중계수가 상대적으로 더 큰 것을 알 수 있음
- 표 2.4의 응력집중계수를 고려하면 표 2.3의 기준하중에 의한 매개변수 분석 결과를 복부판의 형상별로 구체화할 수 있음. 즉, 간단한 프레임 및 쉘 모델로 산출한 단면력으로 계산한 축응력 σ_N과 휨응력 σ_M에 각각 해당하는 응력집중계수 χ_N과 χ_M을 곱하면 복잡한 모델을 사용하지 않고서도 실제 응력을 표 2.5과 같이 간단하게 계산 가능함
- 응력은 축응력과 휨응력을 각각 응력집중계수를 곱하고 이를 합한 값으로 계산되는데, 대부분 휨응력이 축응력보다 2배 이상 크고 응력집중계수 또한 더 크므로 휨응력의 크기를 줄이는 것이 설계에 있어 중요함. 따라서, 직선형 거더의 매개변수 분석에서 언급했듯이 ρ 가 작고 N 이 클수록 휨모멘트의 크기가 작고 h_w에 대한 R 의 비율이 클수록 휨응력에 대한 응력집중계수가 감소함. 따라서 가장 작은 응력이 발생하는 유형은 복부판 형상이 $R=0.5h_w$ 이고 ρ 가 0.4이고 N 이 16인 경우임

표 2.4. 복부판의 형상별 응력집중 계수

구분	χ_N	χ_M	비고
사각형	1.93	4.38	
45도 각형	1.65	3.64	
R=0.67h_w	1.51	3.57	
R=0.5h_w	1.00	1.23	최소 응력 집중 계수
R=0.43h_w (용접부 포함)	1.35	2.47	

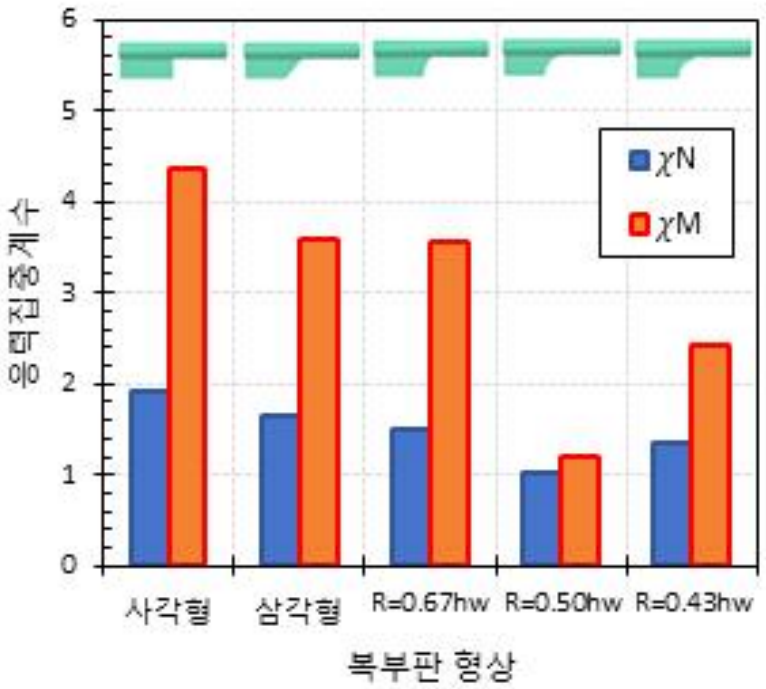


그림 2.7 복부판 형상에 따른 응력집중계수 계산 결과

표 2.5 단위분포하중 1N/mm 재하시 복부판 형상별 신형식 차음터널 거더의 매개변수 분석 결과

복부판	ρ	N	δ [mm]	단면력		응력				
				N_{max} [N]	M_{max} [Nmm]	σ_N [MPa]	χ_N	σ_M [MPa]	χ_M	σ [MPa]
사각형	0.4	8	83.6	**8.8E+04**	3.5E+06	81.97	1.93	159.38	4.38	855.71
		12	77.8	1.0E+05	2.7E+06	97.07	1.93	124.74	4.38	733.23
		16	75.5	1.1E+05	2.3E+06	105.32	1.93	104.30	4.38	659.68
	0.6	8	106.8	8.0E+04	4.8E+06	74.84	1.93	200.21	4.38	1020.66
		12	91.5	1.0E+05	3.7E+06	94.49	1.93	170.09	4.38	926.74
		16	85.3	1.1E+05	3.1E+06	103.46	1.93	141.10	4.38	817.16
	0.8	8	141.9	6.7E+04	5.8E+06	62.88	1.93	267.68	4.38	1292.89
		12	112.7	9.6E+04	4.6E+06	89.40	1.93	212.76	4.38	1103.68
		16	100.3	1.1E+05	3.3E+06	100.02	1.93	150.89	4.38	853.37
45도 각형	0.4	8	83.6	**8.8E+04**	**3.5E+06**	81.97	1.65	159.38	3.64	**715.26**
		12	77.8	1.0E+05	2.7E+06	97.07	1.65	124.74	3.64	614.03
		16	75.5	1.1E+05	2.3E+06	105.32	1.65	104.30	3.64	553.21
	0.6	8	106.8	8.0E+04	4.8E+06	74.84	1.65	200.21	3.64	852.15
		12	91.5	1.0E+05	3.7E+06	94.49	1.65	170.09	3.64	774.88
		16	85.3	1.1E+05	3.1E+06	103.46	1.65	141.10	3.64	684.12
	0.8	8	141.9	6.7E+04	5.8E+06	62.88	1.65	267.68	3.64	1078.07
		12	112.7	9.6E+04	4.6E+06	89.40	1.65	212.76	3.64	921.83
		16	100.3	1.1E+05	3.3E+06	100.02	1.65	150.89	3.64	714.09
R=0.33h$_w$	0.4	8	83.6	8.8E+04	3.5E+06	81.97	1.51	159.38	3.57	**693.87**
		12	77.8	1.0E+05	2.7E+06	97.07	1.51	124.74	3.57	592.93
		16	75.5	1.1E+05	2.3E+06	105.32	1.51	104.30	3.57	532.36
	0.6	8	106.8	8.0E+04	4.8E+06	74.84	1.51	200.21	3.57	829.02
		12	91.5	1.0E+05	3.7E+06	94.49	1.51	170.09	3.57	751.12
		16	85.3	1.1E+05	3.1E+06	103.46	1.51	141.10	3.57	661.08
	0.8	8	141.9	6.7E+04	5.8E+06	62.88	1.51	267.68	3.57	1052.07
		12	112.7	9.6E+04	4.6E+06	89.40	1.51	212.76	3.57	895.93
		16	100.3	1.1E+05	3.3E+06	100.02	1.51	150.89	3.57	690.87
R=0.5h$_w$	0.4	8	83.6	8.8E+04	3.5E+06	81.97	1.00	159.38	1.23	277.80
		12	77.8	1.0E+05	2.7E+06	97.07	1.00	124.74	1.23	250.36
		16	75.5	1.1E+05	2.3E+06	105.32	1.00	104.30	1.23	233.51
	0.6	8	106.8	8.0E+04	4.8E+06	74.84	1.00	200.21	1.23	320.82
		12	91.5	1.0E+05	3.7E+06	94.49	1.00	170.09	1.23	303.48
		16	85.3	1.1E+05	3.1E+06	103.46	1.00	141.10	1.23	276.85
	0.8	8	141.9	6.7E+04	5.8E+06	62.88	1.00	267.68	1.23	391.72
		12	112.7	9.6E+04	4.6E+06	89.40	1.00	212.76	1.23	350.80
		16	100.3	**1.1E+05**	**3.3E+06**	100.02	1.00	150.89	1.23	285.43
R=0.43h$_w$ (용접부 포함)	0.4	8	83.6	8.8E+04	3.5E+06	81.97	1.35	159.38	2.47	504.33
		12	77.8	1.0E+05	2.7E+06	97.07	1.35	124.74	2.47	439.15
		16	75.5	1.1E+05	2.3E+06	105.32	1.35	104.30	2.47	399.80
	0.6	8	106.8	8.0E+04	4.8E+06	74.84	1.35	200.21	2.47	595.55
		12	91.5	1.0E+05	3.7E+06	94.49	1.35	170.09	2.47	547.68
		16	85.3	1.1E+05	3.1E+06	103.46	1.35	141.10	2.47	488.19
	0.8	8	141.9	6.7E+04	5.8E+06	62.88	1.35	267.68	2.47	746.06
		12	112.7	9.6E+04	4.6E+06	89.40	1.35	212.76	2.47	646.21
		16	100.3	1.1E+05	3.3E+06	100.02	1.35	150.89	2.47	**507.73**

○ 매개변수에 따른 좌굴 검토

- 거더 상부에 하중이 작용하면 횡방향으로 좌굴 모드가 형성될 수 있으므로, 거더 상부에 가력하는 하중은 이 임계 좌굴하중을 초과할 수 없음.
- 표 2.6와 그림 2.8에 매개 변수에 따른 좌굴 해석 결과를 정리하였음
- 그 결과, 좌굴 임계 하중은 ρ 가 작을수록 N 이 클수록 증가하는 것을 알 수 있음. 즉, 좌굴에 대해서는 ρ=0.4, N=16인 조합이 가장 유리함

표 2.6 신형식 차음터널 거더의 횡좌굴 임계 하중

ρ	N	좌굴계수 λ	좌굴 임계하중 [N/mm]	비고
0.4	8	2.479	2.479	
	12	2.615	2.615	
	16	2.632	2.632	가장 큰 좌굴 임계 하중
0.6	8	2.411	2.411	
	12	2.48	2.48	
	16	2.495	2.495	
0.8	8	2.122	2.122	
	12	2.185	2.185	
	16	2.196	2.196	

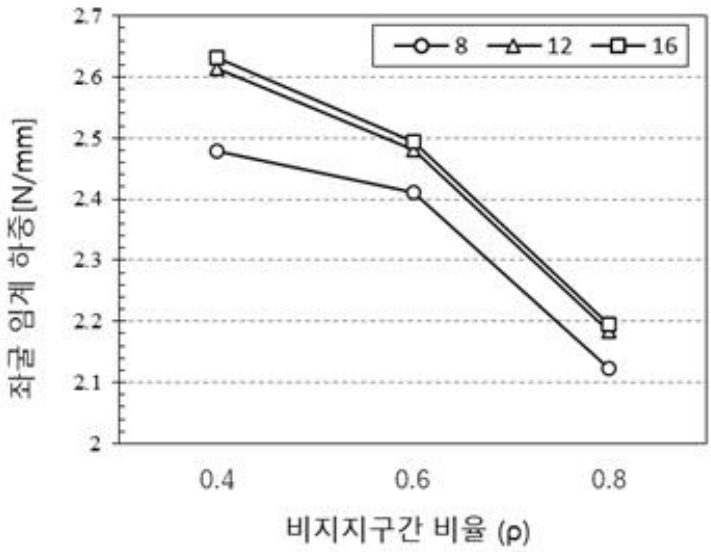


그림 2.8 신형식 차음터널 거더의 횡자굴 임계 하중 결과



(a)



(b)



(c)

그림 2.9 신형식 차음터널 거더의 횡자굴 모드 (a) XY 평면 (b) XZ 평면 (c) YZ 평면

○ 매개변수 분석에 대한 고찰

- 전체적인 거동을 검토하기 위해 다양한 복부판 배치에 대한 신형식 차음터널 거더의 거동을 매개변수 분석을 통해 검토하였음.
- 4차선급 도로용 거더에 작용하는 선하중은 2.78 N/㎜이므로 매개변수 분석 결과에 이 하중비 2.78을 곱하면 표 2.7와 같이 중앙점 처짐과 응력을 계산할 수 있음
- 이 검토 결과에 따르면 리브의 곡률비 R=0.5h_w, 공극비 ρ=0.4, 공극수 N=16이 최적 조합으로 판단됨. 즉, 공극비는 작고 공극수는 클수록 거더의 거동이 안정됨.
- 경간 24m에 최적 조합을 적용할 경우 지지 구간은 14.4m, 복부 중심 간 간격은 1.5m로 설계됨. 그러나, 실제 생산 방음판 규격을 고려할 때 시공성을 위해 복부 중심 간 간격을 2m로 설계하는 것이 바람직함

표.2.7 신형식 차음터널 거더의 거동

ρ	N	δ [mm]	σ [MPa]	좌굴 임계하중 [N/mm]	거더간 간격 [m
0.4	8	232.41	772.28	2.479	3
	12	216.28	696.00	2.615	2
	16	209.89	649.16	2.632	1.5
0.6	8	296.90	891.87	2.411	3
	12	254.37	843.68	2.48	2
	16	237.13	769.64	2.495	1.5
0.8	8	394.48	1088.99	2.122	3
	12	313.31	975.23	2.185	2
	16	278.83	793.50	2.196	1.5

라. 요소 단위 부재 성능 검증 실험

○ 요소 단위 구조 성능 검증을 위한 실험 계획

① 실험 목적

- 본 실험 설계의 목표는 신형식 차음터널의 구조 부재로 활용하기 위해 개발하는 구조용 부재의 역학적 거동 특성을 확인하는데 있음
- 차음터널의 구조부재들은 금속 재료를 기반으로하고 있으며, 금속 재료는 아래 그림 2.10과 같은 역학적 거동 특성을 가지는 것으로 알려져 있음
- 응력-변형률 선도에서 확인할 수 있는 것과 같이 탄성 구간을 넘어가는 재료의 변형 구간에서 금속 재료는 소성 거동을 하는 특성을 보이며, 이는 해당 재료를 사용하는 구조물의 설계 및 유지 보수 단계에서의 어려움을 유발함
- 특히, 목표하고자 하는 차음터널용 시설 구조물의 경우 명시되어 있는 관련 설계기준 또는 시방서가 미비하여 일반 강구조 설계기준을 바탕으로 설계하고 있으며, 강구조 설계 일반사항(국토교통부, 2019)에서 제시하는 바에 따라서 탄성 구간에서의 설계를 수행하도록 하는 허용응력설계법에 기초한 구조설계를 수행해야함
- 다만, 개발하고자 하는 공동(空洞)형 거더의 경우 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법) 4.5.5 (국토교통부, 2019)에서 제시하는 복부 변단면부재의 적용조건을 일부 따를 수 있음
- 따라서 위와 같은 내용을 바탕으로 개발하고자 하는 신형식 구조 부재의 설계 단계에서 예측하는 부재의 역학적 성능의 검토 및 확인이 가능한 실험 설계를 하여 전체 구조물의 안전성을 확보하는데 활용하고자 함

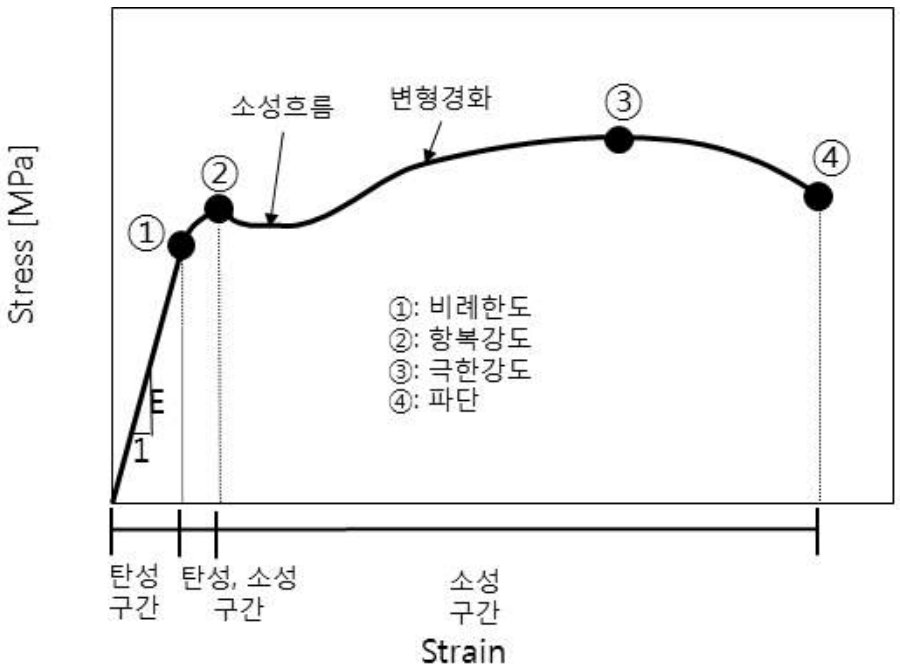


그림 2.10 금속 재료의 응력 변형률 곡선

② 실험 대상

- 본 실험의 대상은 기존 차음터널 거더부를 구성하는 H빔 및 트러스 구조와 함께 개발하고자 하는 신형식 차음터널의 요소 부재들로 한정함
- 목표 개발 대상 구조용 부재는 나비형상의 거더용 부재 및 차음터널 우각부의 날개형 접합부로 두 부재 모두 전체 구조물의 휨모멘트에 저항하는 휨 부재로 정의할 수 있음

③ 실험 방법

- 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법) 4.5.5에서 복부 변단면부재의 허용응력 설계 기준을 제시하고 있으나, 4.5.5.1의 적용조건에서 변단면 부재의 높이 변화가 직선적으로 변화하여야 한다는 규정을 제시하고 있어 해당 허용응력 기준을 목표 부재에 적용하기에는 부적합하다고 판단됨
- 따라서, 휨 부재의 거동 특성 파악을 위해 표준화된 실험법을 사용하여 부재의 탄성 구간 거동 범위의 확인이 필수적이라고 사료됨
- 이에 휨 부재의 역학적 거동 특성 확인을 위해 널리 쓰이는 휨 부재 성능시험을 통해 목표 개발 부재의 역학적 거동 특성을 확인하고자 함
- 휨 부재의 성능시험은 휨 부재의 하중에 대한 처짐량 및 응력 수준을 통한 강도 평가와 구조 부재에 가해지는 휨모멘트에 대한 저항 성능 평가를 목적으로 함
- 휨 부재는 일반적으로 휨모멘트에 대하여 안정적으로 거동하도록 설계되어야 하며, 이는 탄성 구간 해석에서 주요한 변수로 작용할 수 있는 좌굴 등에 대한 안정성을 확보하기 위함임
- 특히, 휨 부재에서 예측할 수 있는 대표적인 좌굴인 횡-비틀림좌굴(Lateral Torsional Buckling, LTB)의 경우 설계기준에서 제시하는 허용 강도식이 있으나, 대상 목표 연구 대상의 횡단면이 특수한 형태를 가지고 있기에 적합한 실험 방법을 통한 거동 평가가 필요한 실정임

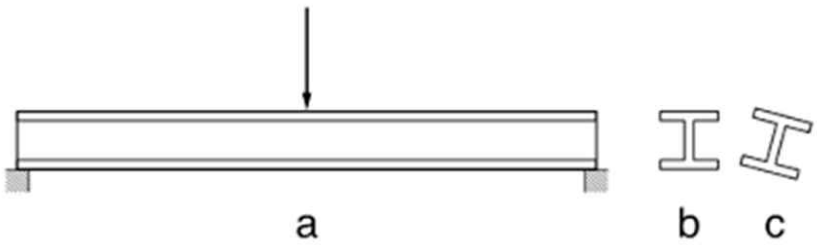
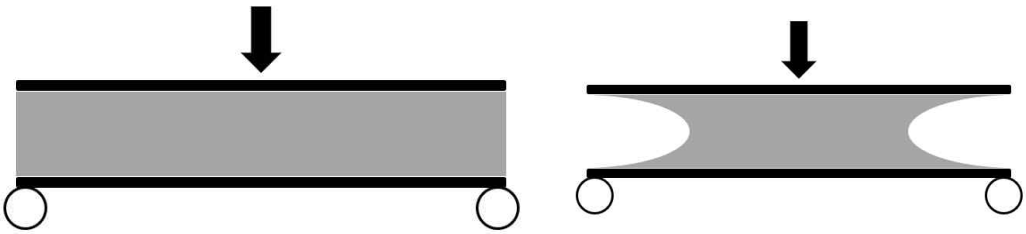
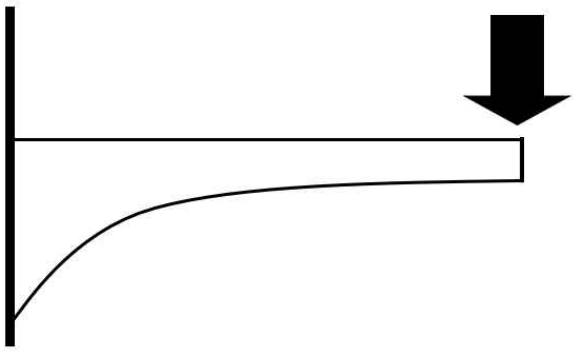


그림 2.11 휨 부재의 횡-비틀림 좌굴 모식도

- 휨 부재 성능시험은 연구 대상에 따라 2 종류로 나뉘며, 공동형 단면을 가지는 거더의 경우 거더 혹은 빔 구조물의 성능 확인을 위한 3점 휨 시험이 적합하며, 우각부 날개형 접합부 부재는 캔틸레버 빔 구조물의 성능 확인을 위한 휨 시험이 적합한 것으로 판단됨
- 3점 휨 시험은 널리 사용되는 표준 실험법인 ASTM D 790-03을 참고할 수 있으며, 캔틸레버 빔 휨 시험은 ASTM D 747을 참고할 수 있음
- 실험에 사용하는 대상 시료는 축소 모형 혹은 실제 부재 크기의 시료 및 대조군 설정을 위한 기존 H형 빔 구조에 사용되는 부재를 각 3개씩 제작하여 수행하고자 함



(a) 3점 휨 실험 방법의 모식도



(b) 캔틸레버 빔 휨 실험 방법의 모식도

그림 2.12 3점 및 켄틸레버 빔 휨 실험 방법의 모식도

④ 시험 결과 활용 방안

- 해당 실험의 실험 결과는 대상 부재의 거동 특성 파악 뿐 아니라 전체 과제 수행 단계에 있어 차후년도 개발 단계에서 활용될 수 있을 것으로 예상되며, 실험 설계 단계에서 예측할 수 있는 활용 방안들은 다음과 같음

표 2.8 요소단위시험 결과의 활용 방안

설계 기준 적합성 확인 및 기존 구조형식 대비 성능 개선의 정량화
▪ 본 실험 결과를 통해 휨 부재의 최대 처짐량 및 허용응력을 확인 할 수 있을 것으로 예상됨 ▪ 이에 설계 기준에서 제시하는 변단면 부재의 허용응력 예측식과의 비교 검토가 가능함 ▪ 본 연구 개발 사업의 목표로 제시한 기존 구조 형식에서 사용하는 부재 대비 중량-역학적 성능 개선 비율 혹은 비용-역학적 성능 개선 비율의 정량화가 가능할 것으로 예측됨
전산해석과의 비교 검토
▪ 차년도 연구개발 목표 사항인 전산해석 수행 결과와의 비교 검토를 통해 실험의 적합성 검토 혹은 전체 구조물 해석 단계에서의 신뢰성 확보에 기여
접합부의 개선 사항 제시
▪ 휨 부재의 거동 특성에 있어 연결 접합부가 적용된 휨 부재의 거동 양상은 다를 수 있을 것으로 예상됨 ▪ 따라서 전산해석 결과와 더불어 접합부의 설계에서 개선 사항을 제시 할 수 있을 것으로 예상함
풍동실험 단계에서의 반영사항 제시
▪ 3 절점 휨 실험 수행 결과 및 실험 단계에서 참고할 수 있는 사항들을 통해 풍동실험의 설계 및 실험 수행 단계에서 반영할 수 있는 결과물들을 확보

○ 부재 단위 성능 실험

- 본 시험의 목표는 신형식 차음터널의 구조 부재로 활용하기 위해 개발하는 구조용 부재의 역학적 거동 특성을 확인하는 데 있음
- 기존 차음터널 거더 형식인 직사각형 형태의 복부판의 경우 플랜지와 복부판 사이 도입부에서 응력 집중현상이 발생함. 따라서, 신형식 나비형 차음터널 거더를 개발하여 응력 집중부에서 응력을 완화시키고자 함
- 특히, 나비형상 복부판에서 Filet 치수를 다양하게 하여 Filet 치수에 따른 응력완화를 검증하고 최적의 복부판 형상을 선별함
- 또한, 신형식 차음터널 거더 단위 부재의 하중저항 능력을 확인하고 플랜지의 국부좌굴을 관찰함
- 따라서, 위와 같은 내용을 바탕으로 복부판의 중량을 감소시켜 차음터널 전체 거더의 경량화를 진행함과 동시에 더욱 안전성이 높은 부재를 개발하고자 함
- 실험은 3점 휨 시험은 널리 사용되는 표준 실험법인 ASTM D 790-03을 참고하여 실험을 진행하였음
- 시편은 강관 플랜지와 복부판으로 구성되어 있으며 복부판 형상별 4CASE로 2Set, 총 8개의 시편으로 실험을 진행하였음. 시편에 사용된 재료로는 강관 플랜지에 SGT275 강재로 제작되었고 복부판은 SS275 강재로 제작됨
- 실험 전 전산해석 결과를 바탕으로 실험 세팅은 목표 하중은 200kN, 목표 변위는 90mm, 재하속도 분당 5mm로 4가지 CASE 모두 동일하게 설정하여 실험을 진행함



가력 전

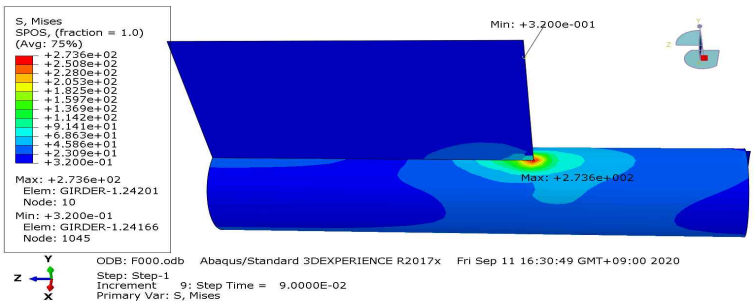


가력 후

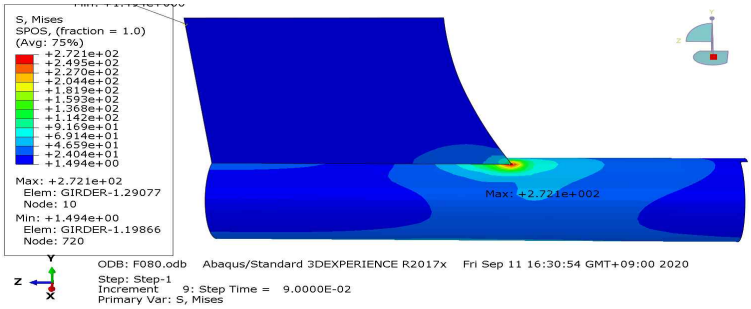
그림 2.13 부재 단위 성능 실험 사진

○ 비교 검증을 위한 전산 해석

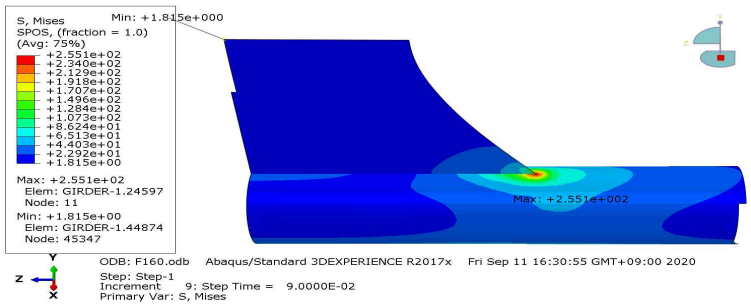
- 부재 단위 성능 실험 수행에 앞서 개발하는 구조용 부재의 역학적 거동을 확인하고 실험체 모델의 타당성 검토 및 경계조건 적용을 위한 전산해석실시
- 응력집중 여부를 확인하기 위해 Filet이 없을 때와 동일한 Filet 치수에서 Filet 곡률의 변화를 주어 전산해석을 실행한 결과 복부판과 플랜지 강관 사이 도입부에서 응력집중 현상을 확인하였고, Filet 곡률에 따른 감소량은 미소함을 확인
- 복부판과 강관 플랜지 도입부에서 강관의 강성 증대 방안을 검토하고, Filet 치수의 변화를 주어 전산해석실시
- 단위 부재 해석 결과 Filet 치수가 큰 모델의 플랜지 강관 도입부(응력 집중부) 응력이 완화되어 그림 2.14과 같이 항복 하중이 증가하는 것을 확인



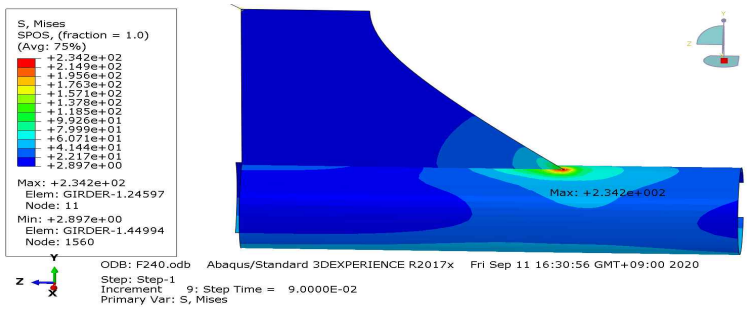
항복하중: 30kN



항복하중: 32kN



항복하중: 35kN



항복하중: 39kN

그림 2.14 플랜지 최대 응력 집중부

○ 실험 결과 검토 및 전산해석 결과와의 비교 검토

- 실험 결과 4CASE, 총 8개의 시편의 최대 내하력은 170kN 수준으로 유사하게 측정되었음
- 복부판의 탄성한계는 Filet 치수가 작을수록 높을 강성을 보유함, 플랜지의 경우 반대로 Fielt 치수가 클수록 높은 강성을 보였음
- 전산해석과 실험 데이터 비교는 탄성거동 구간에서의 하중에 따른 변형데이터를 통해 비교하였고 비교한 단위 부재 데이터 위치는 그림 2.15에 표시한 위치와 같음
- 본 결과를 바탕으로 요소 부재 단위 성능 실험 보고서(별첨 32)를 작성하였으며, 추가로 결과에 대하여 전문가 자문을 통해 구조 성능과 전산 해석에 대한 신뢰성을 확보하였음

표 2.9 전산해석 및 실험 결과 정합도

구분	1번위치		2번 위치		평균 정합도
	응력차[MPa]	정합도 [%]	응력차[MPa]	정합도 [%]	
CASE Ⅰ	1.793	97.9	2.934	95.9	98.09%
CASE Ⅱ	0.039	99.9	0.824	98.8	
CASE Ⅲ	0.274	99.7	1.111	98.2	
CASE Ⅳ	3.291	96.1	1.287	98.2	

○ 부재 단위 성능 인증

- 부재 단위 성능 실험을 진행한 ㈜토탈이엔씨(KOLAS 인증 기관)에서 부재 단위 성능 인증 시험에 참관하여 시험 설계, 수행 전과정과 시험 결과에 대한 적정성을 판단하여 시험 인증서를 발급하였음(별첨 11)

마. 거더 설계 최적화를 위한 전산해석

◯ 4차선급 신형식 차음터널 거더 모델의 제원 및 하중조건

- 앞에서 직선형 신형식 차음터널 거더를 대상으로 매개변수 분석을 수행했지만, 실제 4차선급 신형식 차음터널 거더에 대한 구조 해석이 필수적으로 동반되어야 함
- 거더 전산해석에 적용된 4차선급 신형식 차음터널 거더는 그림 2.15와 같음
- 전체 평면 길이는 23.9m, 지점부와 중앙부는 3.004m의 높이, 중앙부 플랜지 파이프 중심 간의 거리는 0.3m, 거더 간의 간격은 약 2m로 설계함

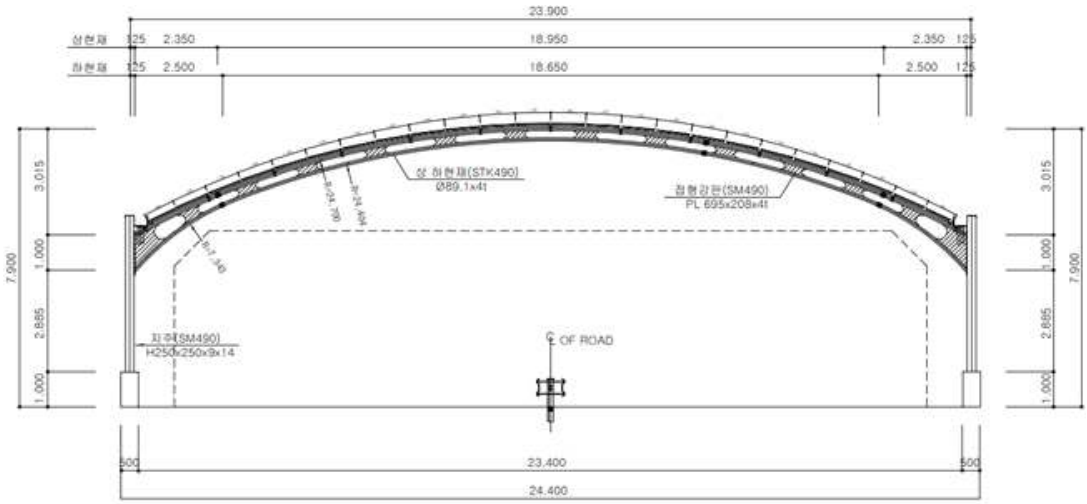


그림 2.15 4차선급 신형식 차음터널 거더의 제원

- 본 거더에 작용하는 하중은 도로교 설계 기준에 따라 결정되었으며 다음 표 2.10와 같음.

표 2.10 설계하중 조건

	구 분	표기	하중 방향	하중 [N/mm]
상현재	풍하중	W_W	수직	0.4840
	설하중	W_S	수직	1.008
	사하중	W_0	수직	0.0642
하현재	사하중	W_0	수직	0.0642
지주	고정하중	W_D	수평	0.6000
계			수직	1.6204
			수평	0.6000

- 4차선급 신형식 차음터널 거더의 프레임-쉘 모델은 그림 11과 같이 구성하였고, 복부판의 단면 형상은 매개변수 분석에서 성능이 뛰어난 원형 단면 세 개만을 고려하였음

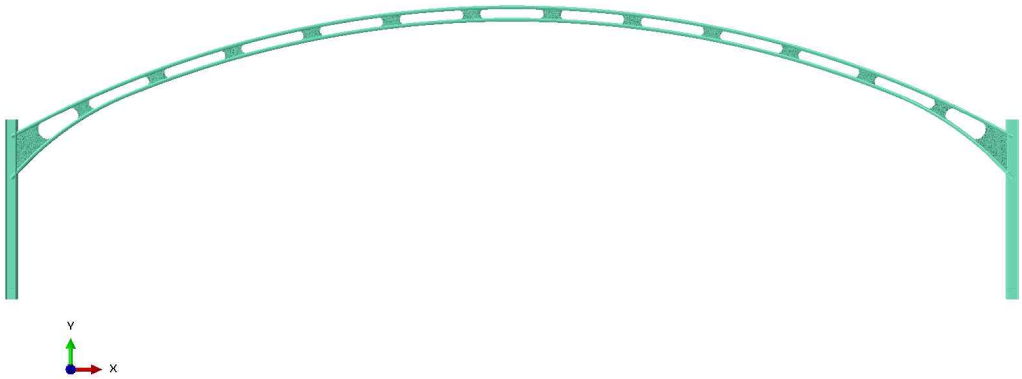


그림 2.16 4차선급 신형식 차음터널 거더의 프레임-쉘 요소 모델

- 또한, 이 모델을 통해 계산한 단면력을 매개변수 분석에서 수행한 선형 보간법의 절차에 따라 보정 과정을 진행함
- 여기서 응력집중계수는 매개변수 분석에서 활용한 계수 값과 동일한 값을 사용하였음

◯ 4차선급 거더 실물 모델 해석 결과

- 신형식 차음터널 거더의 허용 처짐은 130.2㎜이고 허용응력은 285MPa을 참고했을시, 모든 단면 형상의 변위 및 응력은 설계기준 범위 안의 값이 도출되었음.
- 직선 형태일 경우와 달리, R=0.43hw일 경우 가장 작은 변위, 단면력, 응력이 발생했고, 좌굴 임계 하중 또한 가장 큰 값이 도출되었으나, 세 단면의 결과값은 큰 차이가 없고 허용 범위의 값에 들어옴
- 좌굴하중의 경우, 직선 형태에서 아치 형태로 설계된 전체 모델의 경우 세 단면 모두 좌굴에 취약했으며, 그 크기는 직선 형태에 비해 1/5로 크기로 축소되었음
- 따라서, 설계 하중이 2.78 kN/m인 신형식 차음터널 거더를 단독으로 배치할 경우 반드시 횡좌굴이 발생할 것으로 판단되며, 이에 대한 대책으로 거더간 연결부 설계가 필수적이라고 고려됨

표 2.11 신형식 차음터널 실물 모델의 해석 결과

구분	δ [mm]	N_{max} [N]	M_{max} [Nmm]	σ [MPa]	좌굴 계수	임계 하중 [N/mm]
R=0.67h_w	61.96	7.37E+04	3.33E+06	243.73	0.199	0.554
R=0.5h_w	65.69	7.54E+04	3.43E+06	250.45	0.197	0.547
R=0.43h_w	61.73	7.14E+04	3.22E+06	235.66	0.200	0.554

◯ 4차선급 거더 실물 모델의 좌굴 해석

- 좌굴 방지를 위해서 신형식 차음터널 거더간 상현재에 약 2m 간격으로 연결하는 방안을 고안함
- 따라서, 인접한 3개의 거더를 연결하여 하중을 재하하여 임계좌굴하중을 평가하였으며, 평가 결과는 표 2.12에 정리가능함

표 2.12 신형식 차음터널 거더 실물 모델의 좌굴 해석 결과

구분	좌굴 계수	임계 하중 [N/mm]
R=0.67h_w	4.6875	13.008
R=0.5h_w	4.2302	11.739
R=0.43h_w	4.5445	12.611

- 해석한 결과, 세 단면 형상 모두 단일 거더에 비해 임계좌굴하중이 25배 가까이 증가하였으며, 거더간 연결부를 설계할 경우 해당 설계하중 2.78 kN/m에서 횡좌굴에 안정하다는 것을 알 수 있음

○ 응력 집중 완화를 위한 상세 해석
- 지금까지 전산해석에서 구현한 신형식 차음터널 구조는 복부판과 상/하현재 파이프가 접하는 부분에서 최대 응력이 발생하기 때문에 부재력을 고려한 상세 해석이 수반되어야 함
- 특히 복부판 하부에 용접부가 존재할 경우(R=0.43h_w 조건)에 접합부에 발생하는 응력이 증가할 것으로 예상되며, 상/하현재의 허용응력 이상일 경우 부재에 심각한 결함을 야기할 수 있음
- 접합부의 상세 해석을 수행하기 위해 차음터널 거더 제원에 따라 쉘 모델을 구성하였음
- 하중 조건은 표 6.과 동일하게 도로교 설계 기준에 따른 하중을 적용하였으며, 복부판 형상도 기존과 동일하게 R=0.67h_w, R=0.6h_w 그리고 R=0.43h_w 3가지 조건에 대하여 해석함
- 또한 거더 수를 변수로 하여 거더가 1개, 2개 그리고 3개일 때 응력 변화를 관측하여 거더 수가 증가함에 따른 최대 응력 변화를 확인함
- 상/하현재와 복부판의 허용응력은 각각의 일반 허용 응력에 허용응력증가계수 1.2를 적용하여 각각 258MPa, 168MPa임
- 쉘 모델을 활용한 접합부 상세 해석 결과는 다음 표 2.13 와 그림(2.17-2.25)와 같이 정리 가능함
- 그림 2-17에서 허용 응력에 따라 회색: 응력(절댓값) < 168 MPa, 빨간색: 168 MPa < 응력(절댓값) < 258 MPa 그리고 파란색: 258 MPa < 응력(절댓값)으로 나타내었으며, 상/하현재에 파란색으로 표현이 되었을 때 허용 응력을 초과하는 응력 집중이 발생한 것으로 판단함

표 2.13 모델별 최대응력 및 허용 응력 초과 지점수

구분	최대 응력 (MPa)			허용 응력 초과 지점 수 (n)		
	One span	Two span	Three span	One span	Two span	Three span
R=0.67h_w	386.6	385.4	385.5	6	12	18
R=0.5h_w	318.6	318.9	318.9	2	4	4
R=0.43h_w	317.2	384.5	384.6	2	6	6

- 해석 결과 복부판 형상과 거더 수에 관계 없이 모든 조건에서 허용응력 이상의 응력이 집중되어 발생함을 확인할 수 있음
- 특히 R=0.67hw와 R=0.43hw 조건에서 높은 응력 집중을 확인하였으며, 이는 상/하현재와 접하는 복부판 기울기가 높을수록 응력 집중이 커지며, 용접부가 존재할 경우에 매우 높은 응력 집중이 발생함을 의미함
- 이를 보완하기 위한 방법으로 다음과 같은 세가지 방법의 접근법에 따라 추가 해석을 진행하였

음

① 쌍곡선형 복부판 활용

② 복부판 수 증가

③ 복부판과 상/하현재 용접 접합부 길이 연장

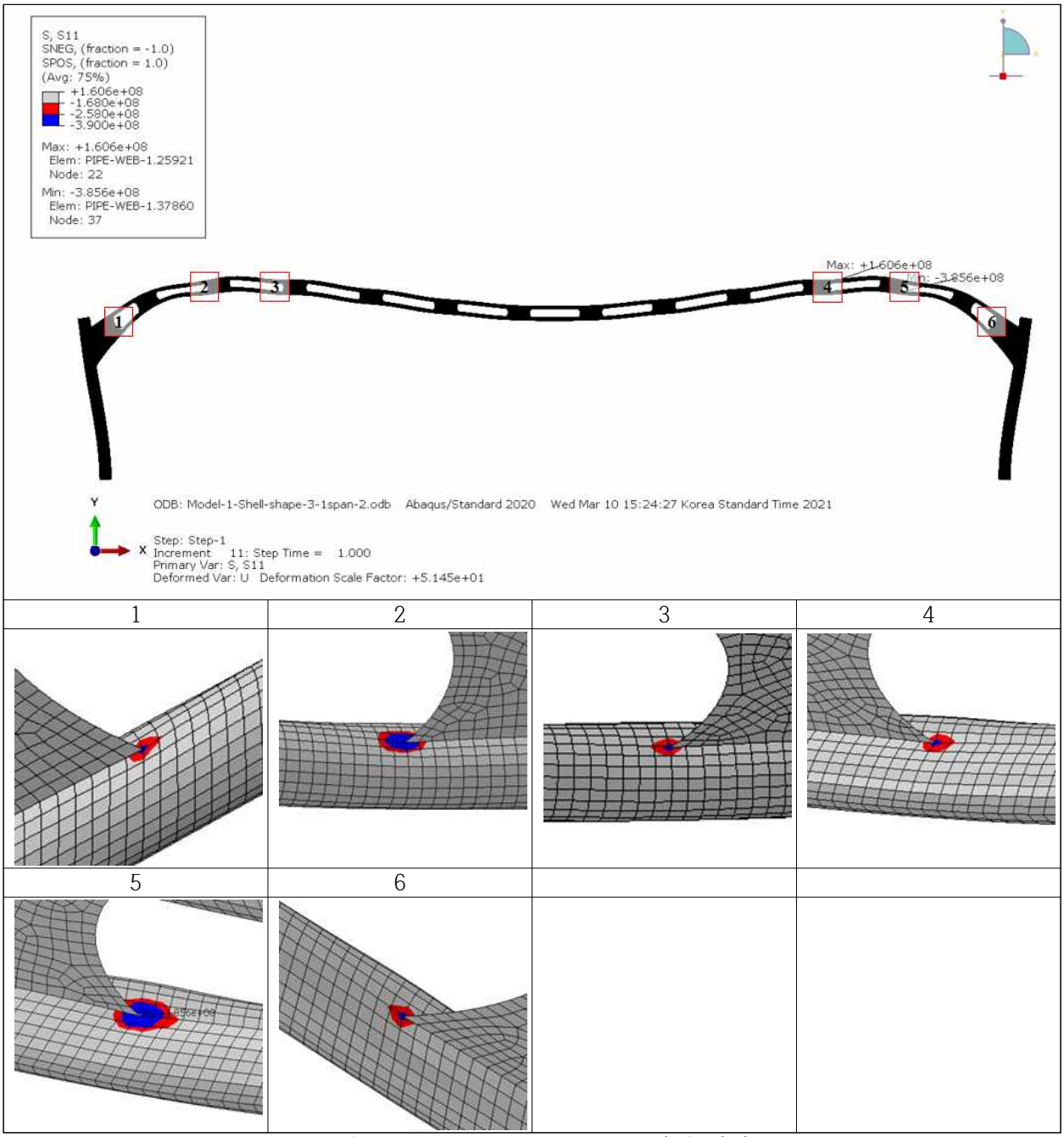


그림 2.17 R=0.67h_w - One span 해석 결과

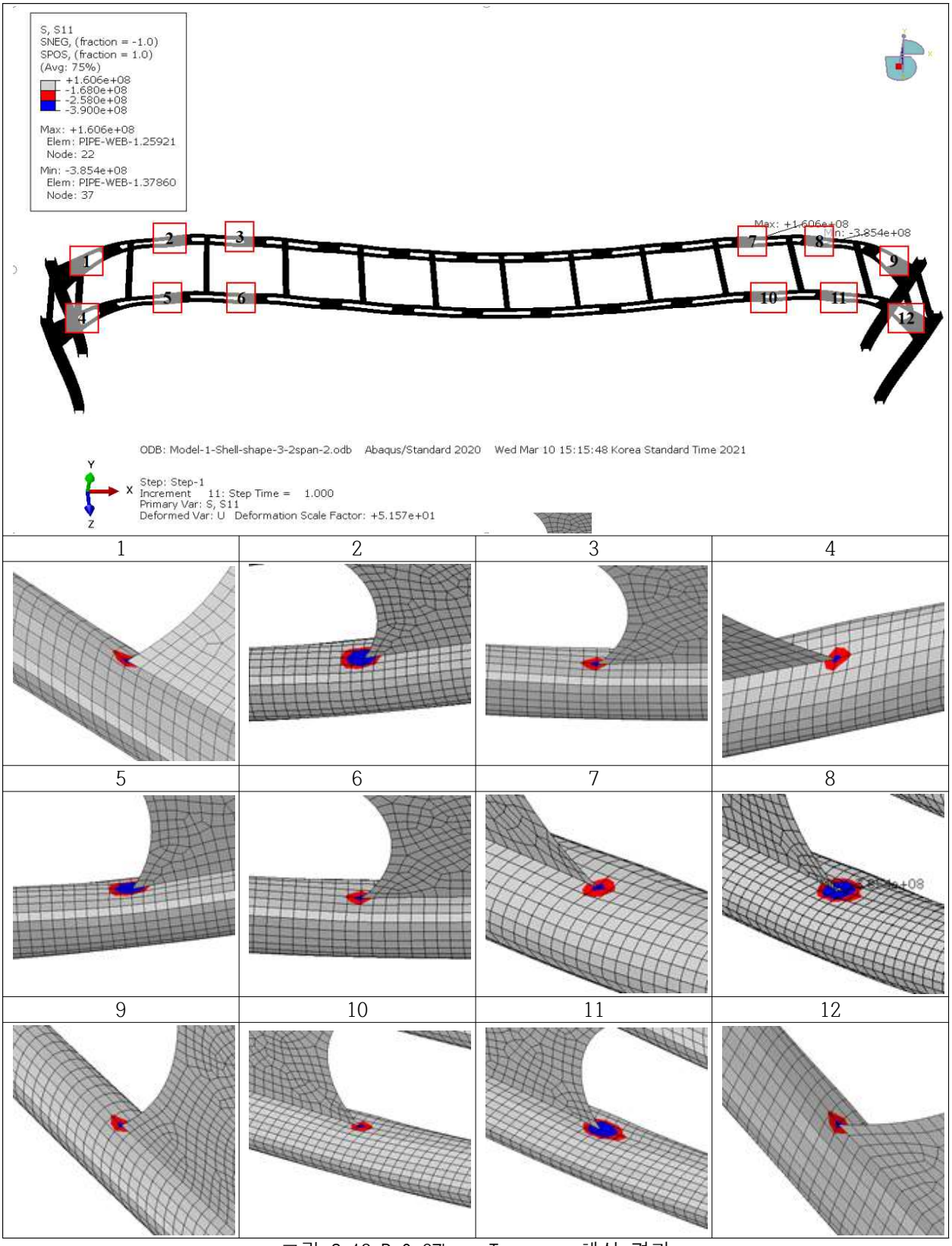
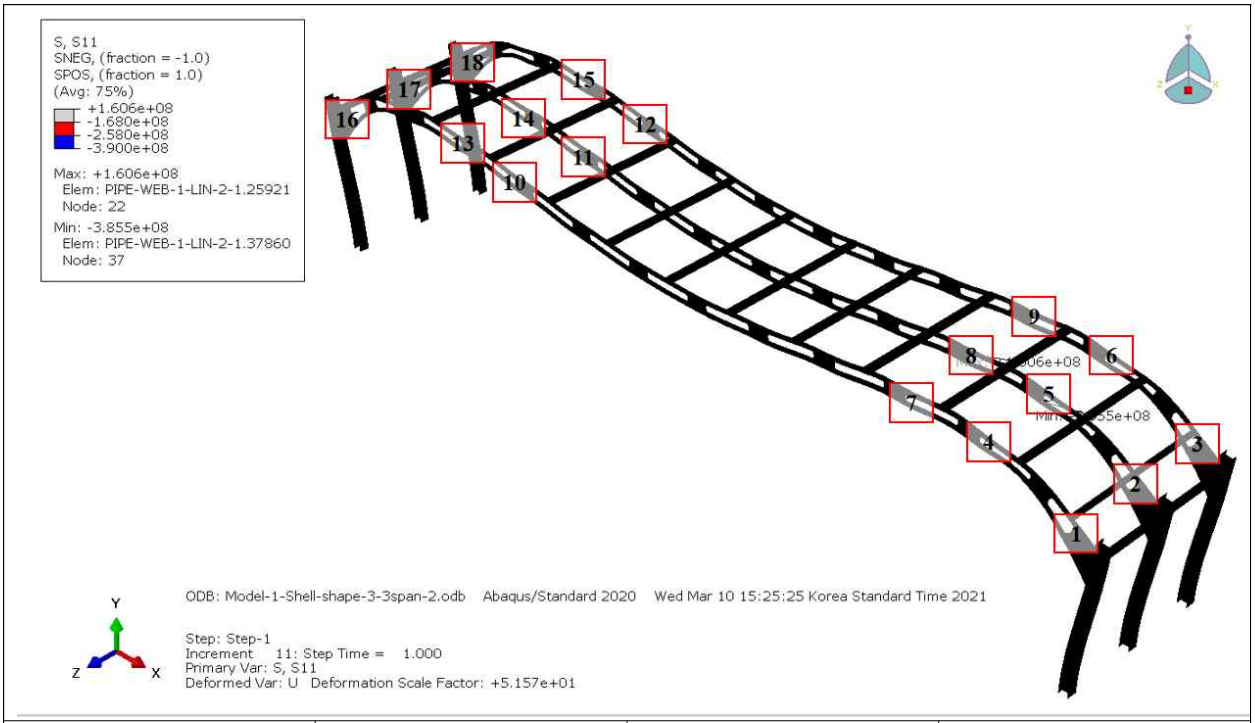


그림 2.18 R=0.67h_w - Two span 해석 결과



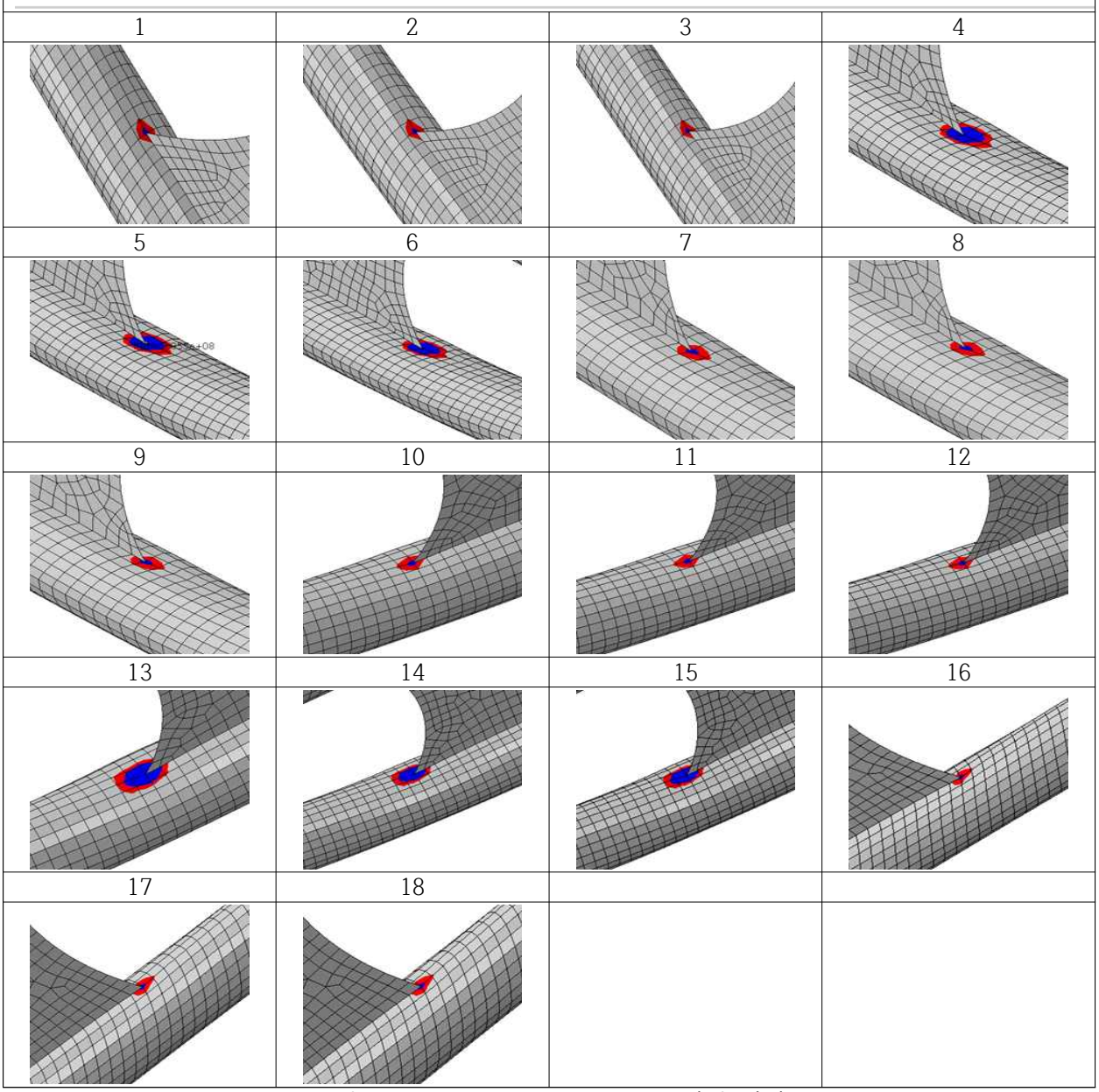


그림 2.19 R=0.67h_w - Three span 해석 결과

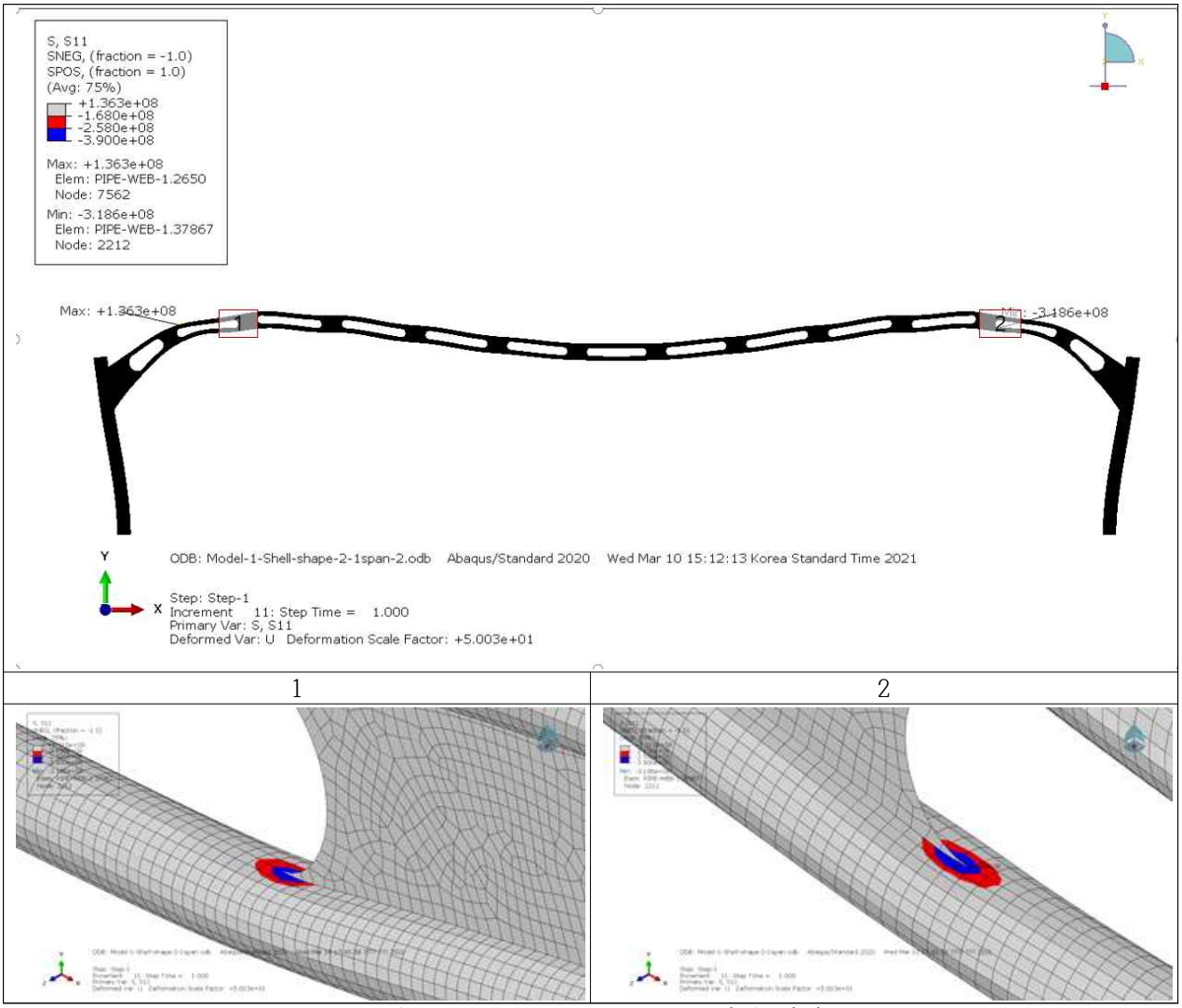
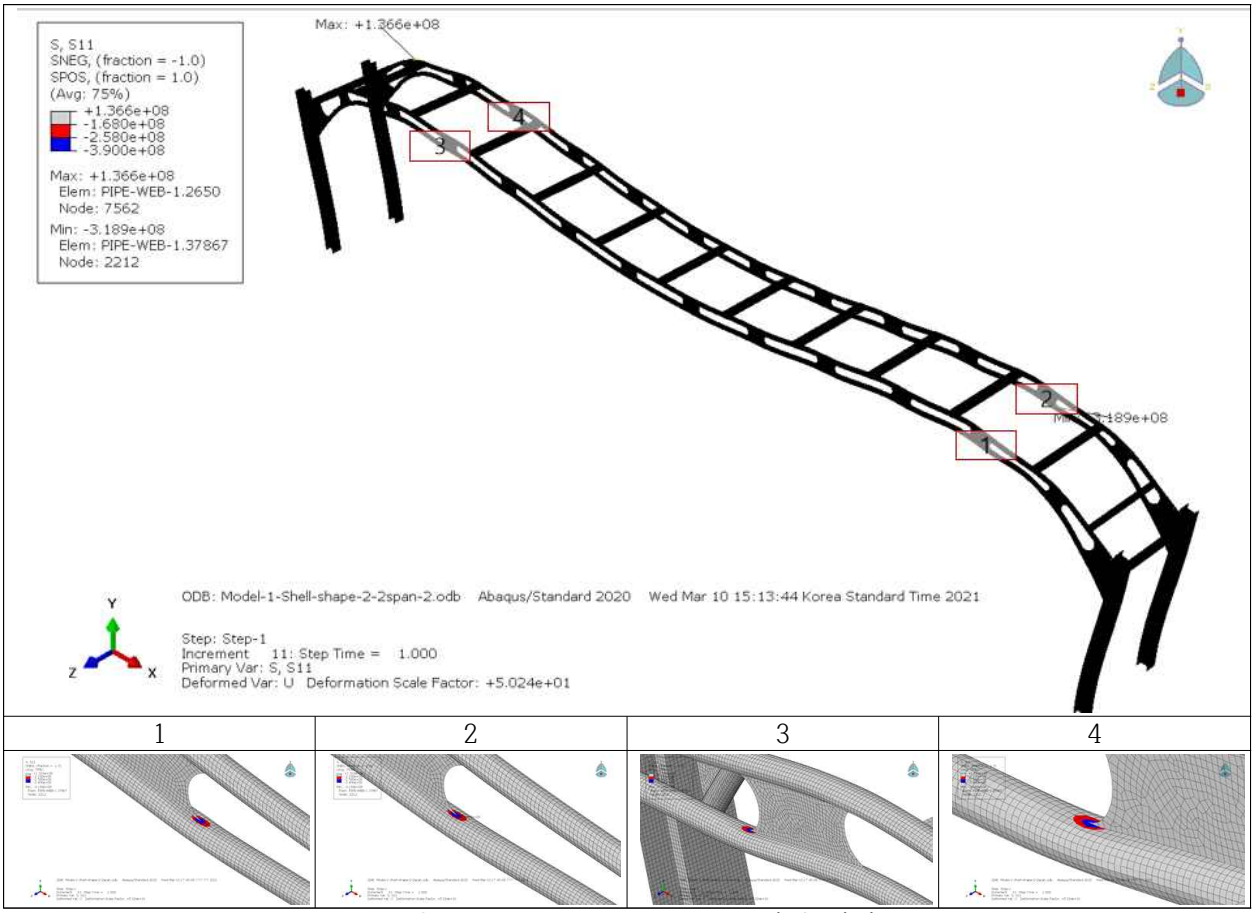
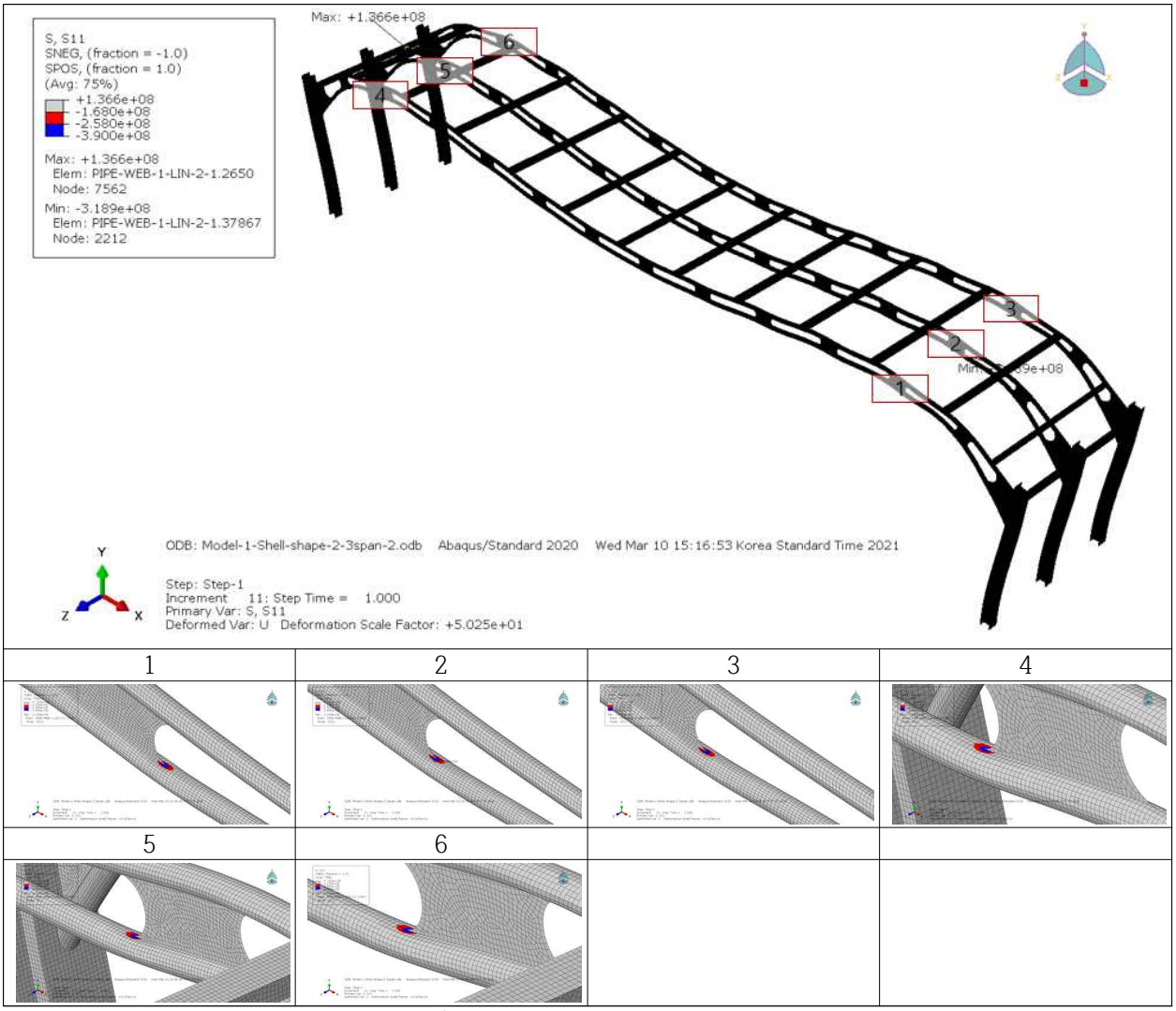


그림 2.20 R=0.5h_w - One span 해석 결과



1	2	3	4

그림 2.21 R=0.5h_w - Two span 해석 결과



1	2	3	4
5	6		

그림 2.22 $R=0.5h_w$ - Three span

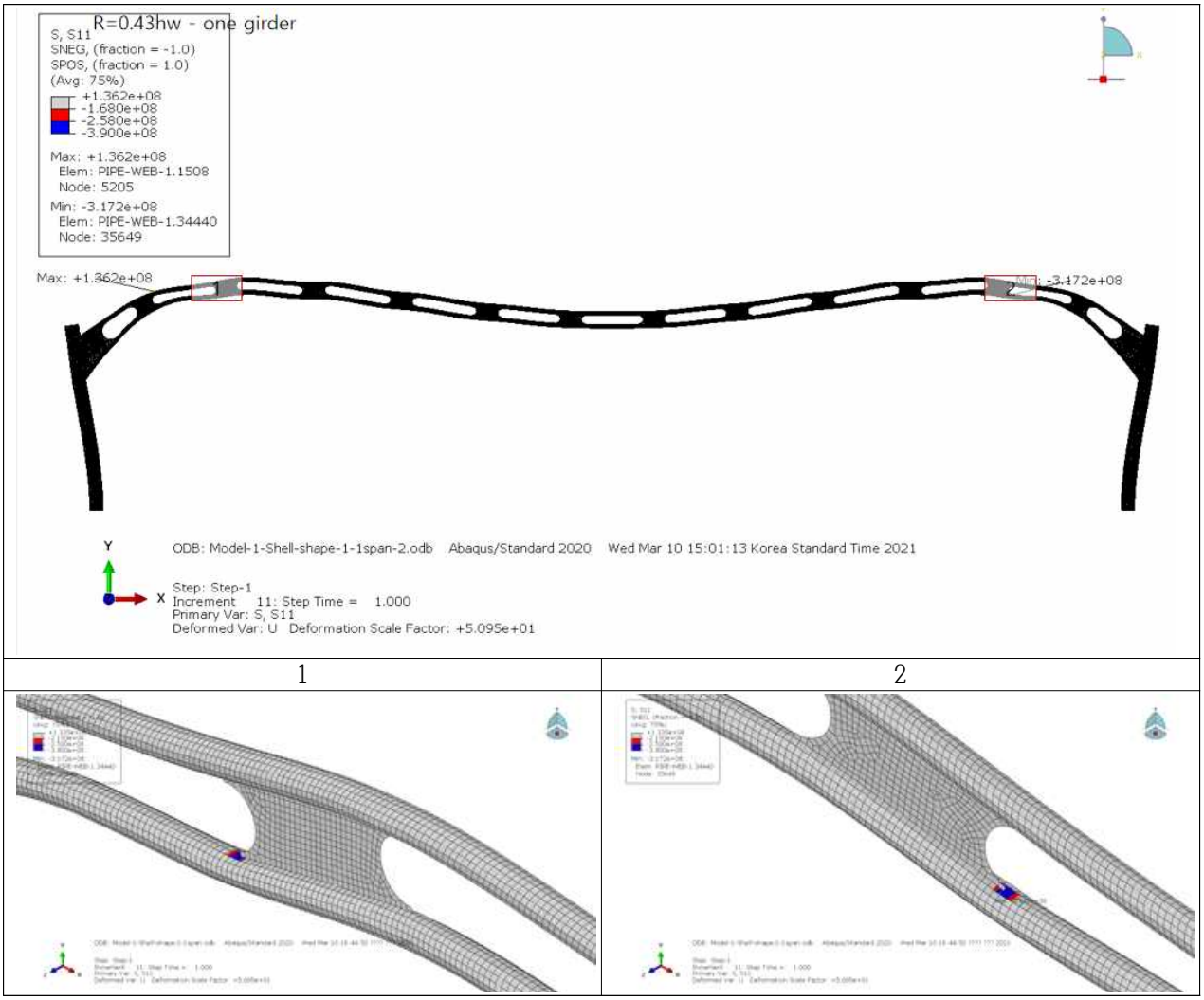
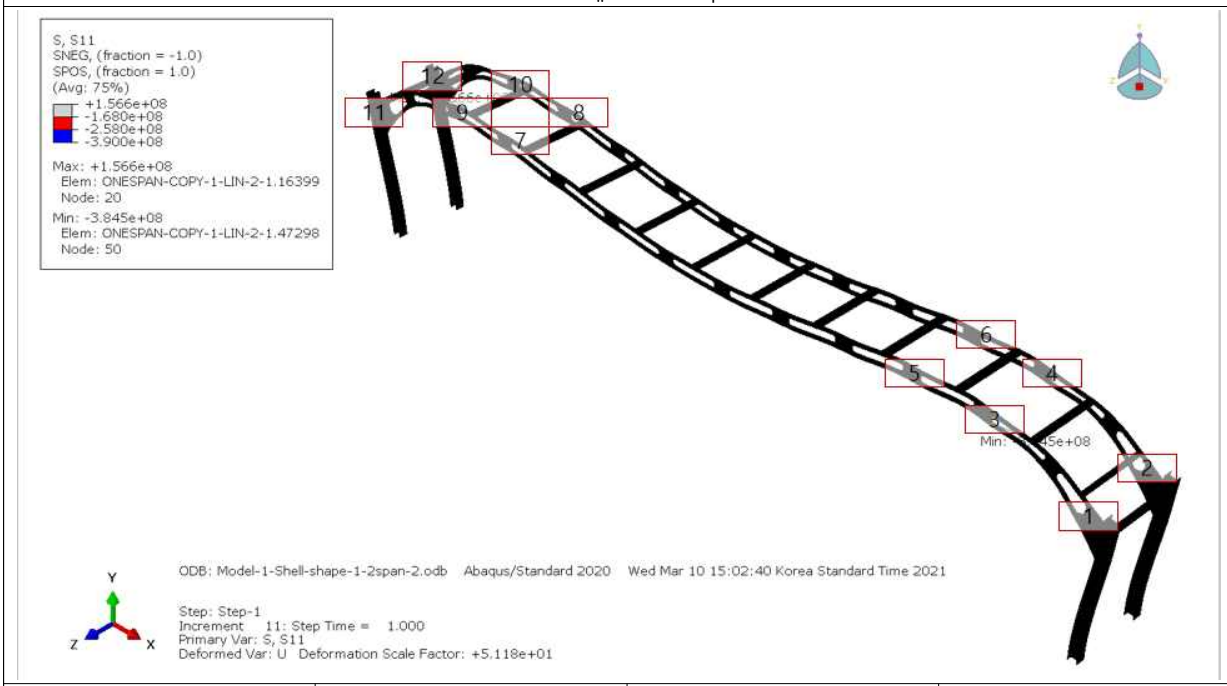


그림 2.23 R=0.43h_w - One span 모델 해석 결과

R=0.43h_w - Two span



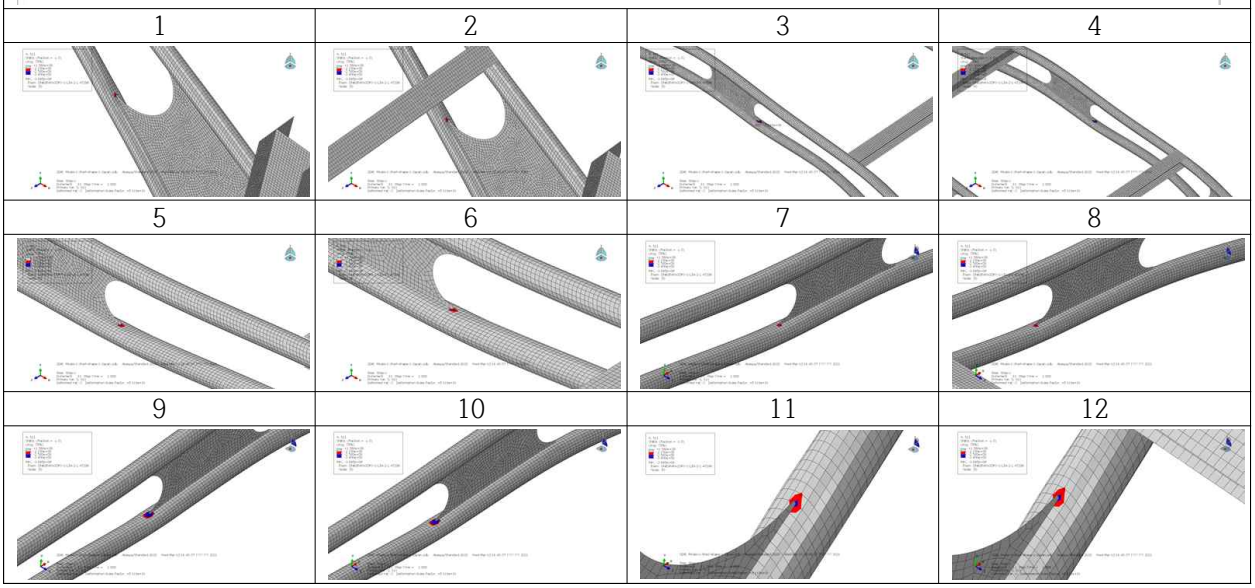
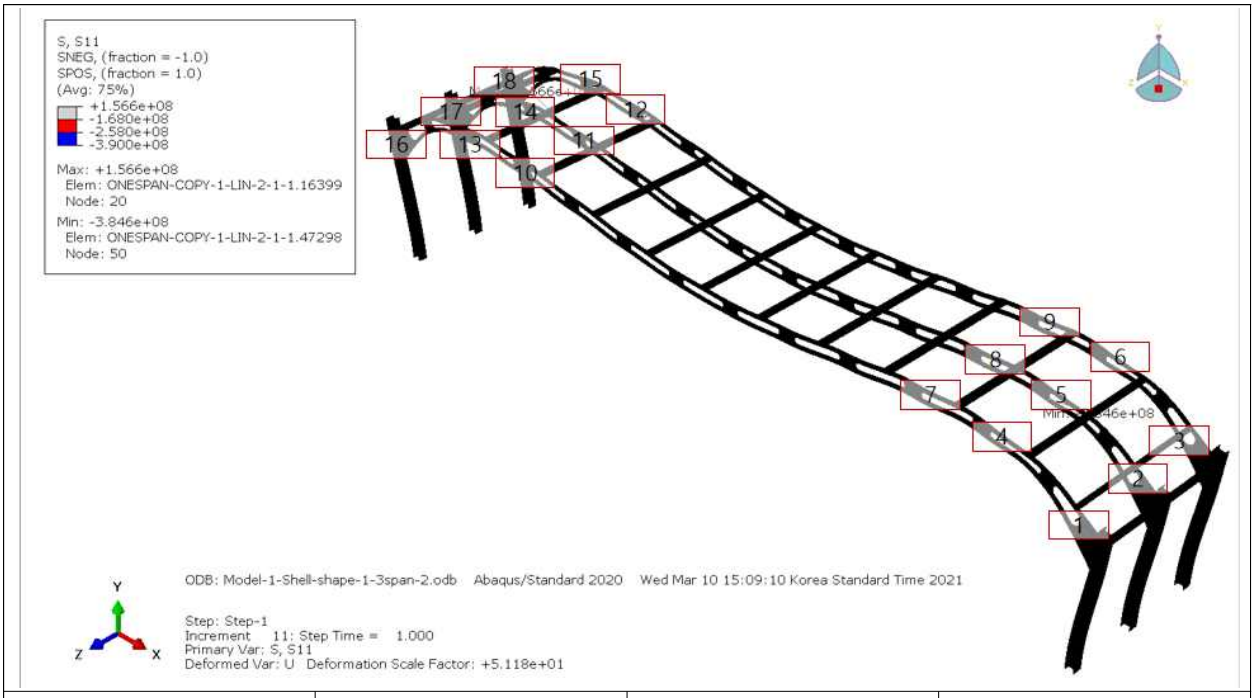


그림 2.24 R=0.43h_w - Two span



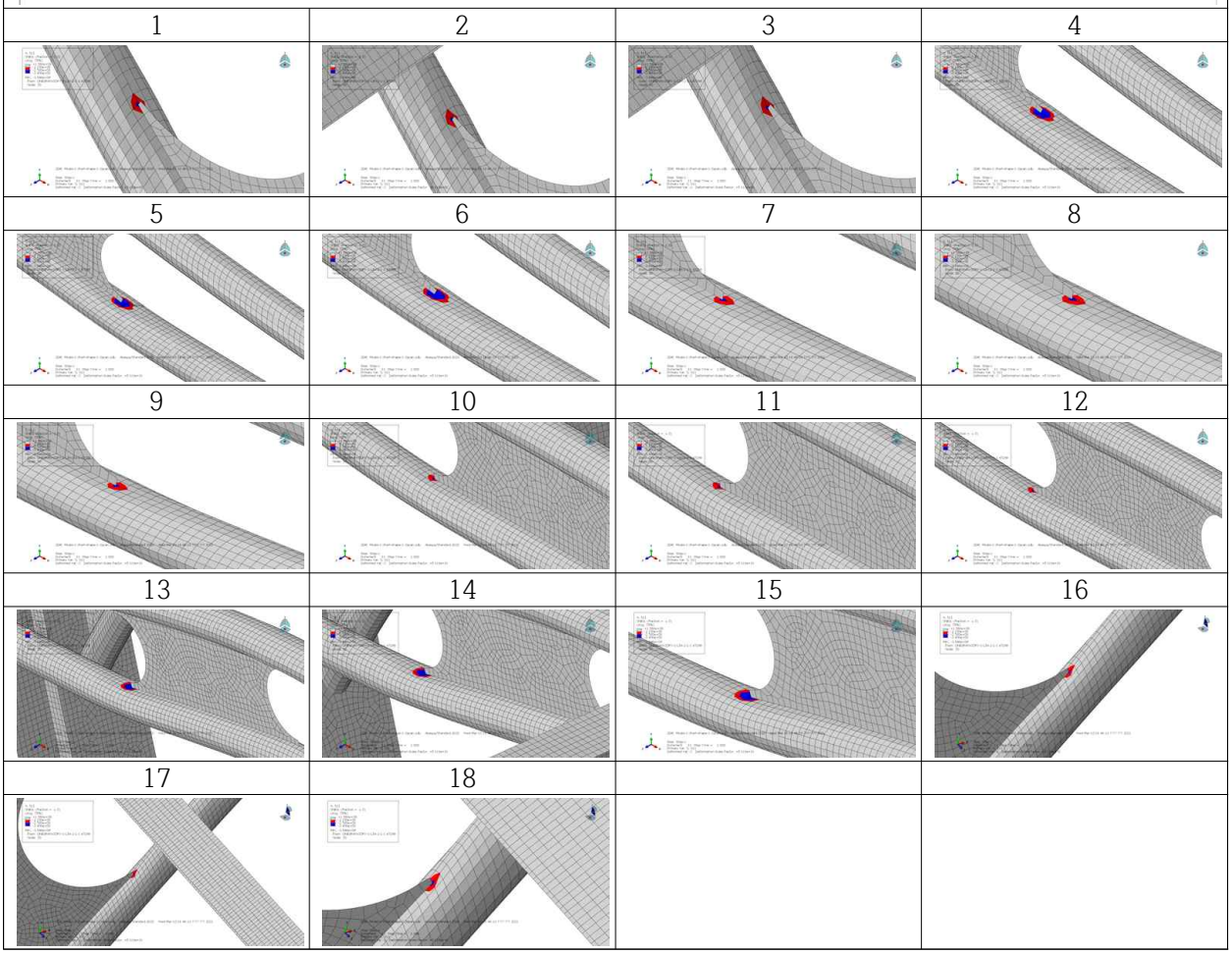
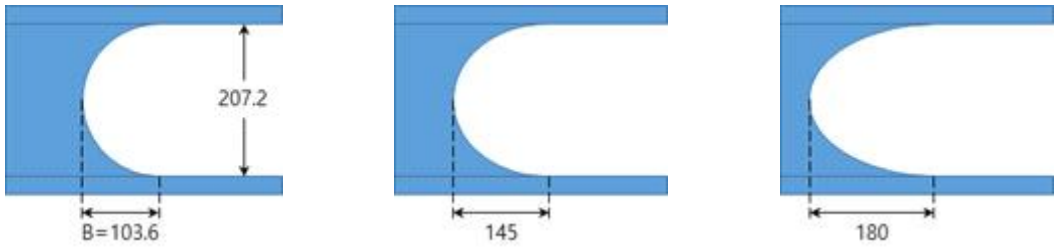


그림 2.25 R=0.43h_w - Three span

① 쌍곡선형 복부판 활용

- 쌍곡선형 복부판 활용은 나비형 복부판의 요(凹)부 깊이를 증가시켜 접합부 길이를 연장하는 방법임
- 다음 그림 2.26와 같이 기존 $R=0.5h_w$ 모델을 요부 길이 B=103.6㎜로 정의하고 B가 145 그리고 180㎜일 때 응력 집중을 관찰함



(a) B=103.6mm (b) B=145mm (c) B=180mm

그림 2.26 접합부 길이 연장을 위한 쌍곡선형 복부판 형상

- 쌍곡선형 복부판 형상을 적용하였을 때 해석 결과는 다음 표 2.14와 같음

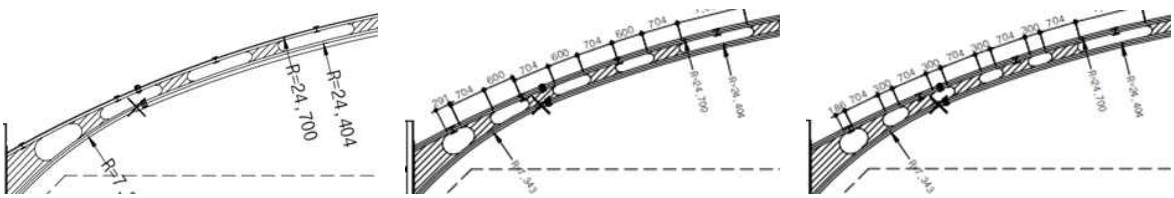
표 2.14 쌍곡선형 복부판을 적용한 해석 결과

구분	처짐 (mm)	최대 응력 (MPa)	허용응력 발생 지점
원형 (B=103.6mm)	36.5	318.9	6
쌍곡선 (B=145mm)	37.06	248.4	0
쌍곡선 (B=180mm)	37.67	231.9	0

- 결과를 통해 쌍곡선형 복부판 적용이 응력 집중 완화에 효과적임을 알수 있음
- 특히 접합부 길이를 연장하였을 때 접합부에 응력이 고르게 분포되어 끝단에 집중되는 응력을 큰폭으로 저감시킬 수 있음
- 다만 본 방법은 복부 부재 제작 시 다량의 폐기물이 발생하고 생산 효율을 저감시키는 단점이 있음

② 복부판 수 증가

- 다음으로 응력 집중이 발생하는 지주 근처의 복부판 수를 증가시키는 방법을 적용한 해석을 수행하였음
- 다음 그림 2.27와 같이 기존 설계의 지주에서부터 약 4,000㎜ 구간에서 복부판 수를 5개, 6개 그리고 7개로 배치한 경우에 대한 전산해석을 수행함



(a) 복부판 5개 (b) 복부판 6개 (c) 복부판 7개

그림 2.27 복부판 수 증가를 통한 해석 거더 형상

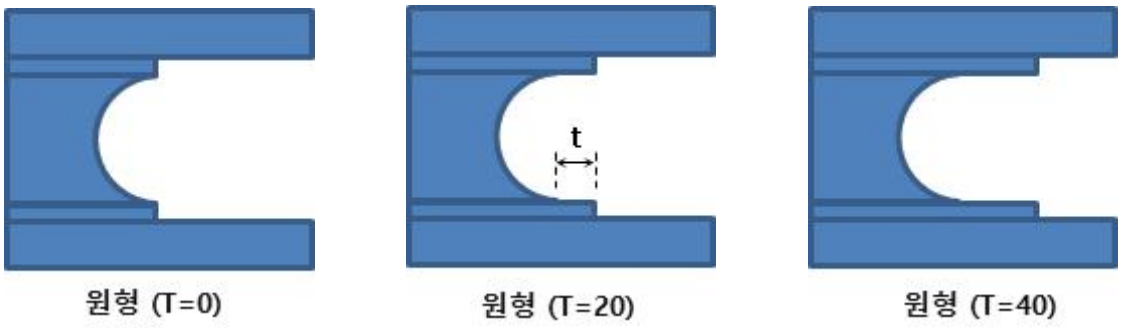
- 복부판 수를 증가하였을 때 해석 결과는 다음 표 2.15와 같음

표 2.15 복부판 수를 증가시켰을 때의 해석 결과

구분	처짐 (mm)	최대 응력 (MPa)	허용응력 발생 지점
복부판 5개	36.5	318.9	6
복부판 6개	38.85	263.4	2
복부판 7개	37.73	215.4	0

- 복부판 수를 증가시킨 경우의 해석 결과를 살펴보면, 7개의 복부판을 활용하였을 때 최대 응력이 허용 응력값 이하로 발생하는 것을 확인하였음
- 다만 복부판 수를 6개로 증가시켰을 때에도 258MPa보다 소폭 높은 응력이 발생하였으며, 복부판 수를 증가 시켰을 때 시공 난해성과 비용이 증가하는 것을 고려하였을 때 응력 집중 완화를 위한 적합한 방법이 되지 못할것으로 판단됨

③ 복부판과 상/하현재 용접 접합부 길이 연장
- 마지막으로 다음 그림 2.30와 같이 용접 접합부의 길이를 연장하는 방법을 적용하였음



(a) 연장 길이 0mm (b) 연장 길이 20mm (c) 연장 길이 40mm

그림 2.30 용접 접합부 길이 연장에 따른 복부판 형상

- 용접부 길이 연장에 따른 해석 결과는 다음 표 2.16와 같음

표 2.16 복부판 수를 증가시켰을 때의 해석 결과

구분	처짐 (mm)	최대 응력 (MPa)	허용응력 발생 지점
연장 길이 0mm	36.5	318.9	6
연장 길이 20mm	36.21	287.9	4
연장 길이 40mm	36.17	258.4	1

- 해석 결과 용접부 길이 연장은 응력 집중 완화에 큰 효과를 가져다 주지 못함
- 최대 40㎜까지 연장하였을 때에도 허용응력을 초과하는 응력이 발생하였으며, 거더 제작 비용을 고려하였을 때 더 이상 연장하는 것은 무의미 하다 판단됨
- 응력 집중 완화를 위한 해석 결과 쌍곡선형 복부판을 활용하는 것이 응력 집중 문제를 해결하는

가장 효율적인 해결책으로 판단됨

- 특히 용접 시 복부판이 쌍곡선형과 같이 접합부 길이가 증가하도록 용접을 하는 것만으로도 발생 응력을 큰 폭으로 저감시킬 수 있을 것으로 기대됨
- 따라서 본 구조물의 설계 및 시방에 접합부 용접에 대한 상세 방안을 기술하여 응력 집중에 의한 구조적 문제가 발생하는 것을 방지하고자 함
- 추가로 거더 부재가 큰 하중에 노출될 경우 상/하현재의 재료를 SGT355와 같은 고강성 재료를 활용하여 부재력을 증가시키는 것을 고려할 필요가 있음

바. 거더 성능 검증 실험

○ 시험 목표

- 4차선급 신형식 차음터널 구조의 역학적 거동 특성을 평가하고 설계 강도에 대한 구조적 안전성을 평가하기 위해 설계된 4차선급 신형식 차음터널 구조 실물 시험체를 활용한 하중 재하 실험을 수행하였음
- 2개의 신형식 차음터널 거더를 연결한 시험체를 제작 및 설치하였으며, 가력 지그를 활용하여 4개 지점에 총 100kN의 하중을 재하하는 것으로 설계함
- 최종적으로, 시험 결과는 전산 수치 해석 결과와 비교 분석을 통해 정확성을 검증하고자 함

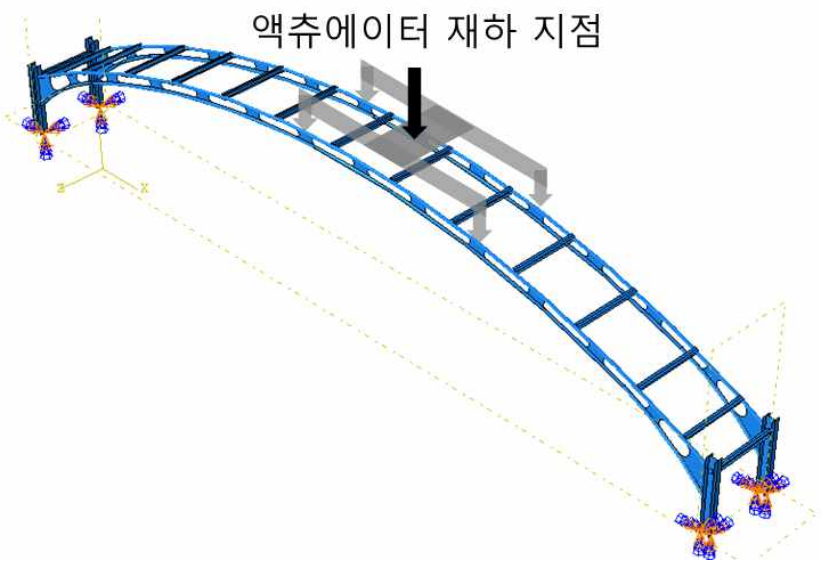


그림 2.31 4차선급 신형식 차음터널 실험체 및 하중재하 모식도

○ 시험체 설계

- 매개변수 해석의 4차선급 신형식 차음터널 모델과 동일한 제원으로 시험체를 설계/제작하였음
- 다만 상/하현재 강관의 응력 집중을 해결하기 위해 강관 강종을 SGT355로 변경하였음. 또한 구조 시험이 진행된 현대건설 구조시험동의 실험실 조건에 따라 시험체의 전체 높이를 5m 이하로 축소함
- 거더간 배치 간격은 시제품과 동일하게 2m 간격으로 하였으며, 그에 따라 최종적으로 결정된 시험체 규격은 그림 2.32와 같이 높이 약 4.3m, 너비 2m, 폭 24m로 결정하였음

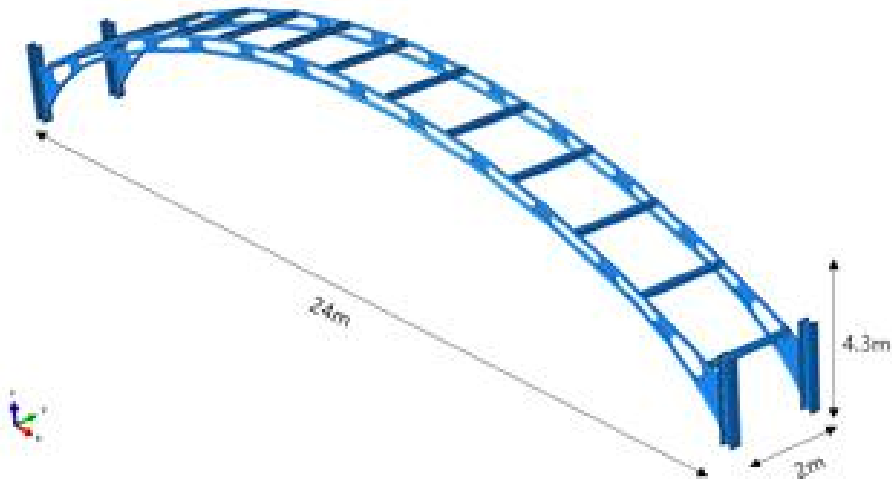


그림 2.32 4차선급 신형식 차음터널 실험체 규격

○ 시험 하중 결정

- 전술한 바와 같이 시험 하중 재하 지점은 거더당 2점, 시험체 전체 총 4점임. 시험 하중은 설계 하중대비 높은 단면력과 모멘트가 작용하도록 설계하였음
- 먼저 하중 재하 방향을 결정하고, 횡방향 변위 발생 여부에 따른 고정 필요 여부를 판단하기 위해 하중 방향에 따라 표 2.17과 같이 4가지 하중 재하 조건을 설정하였음. 각각의 하중조건에서의 수치해석을 통해 하중 조건에 따라 최대하중, 최대응력, 수직변위, 수평변위를 확인함(표 2.18)

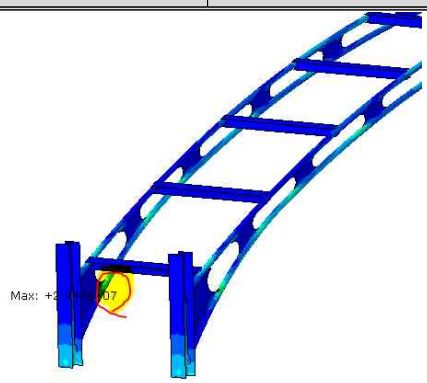
표 2.17 시험 하중 결정을 위한 하중 조건

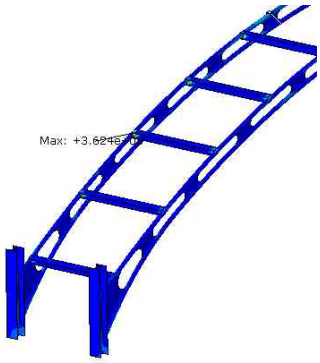
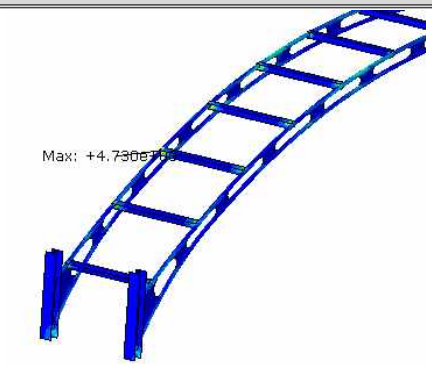
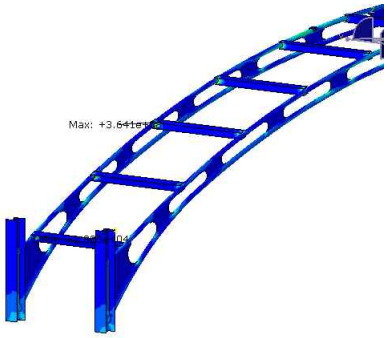
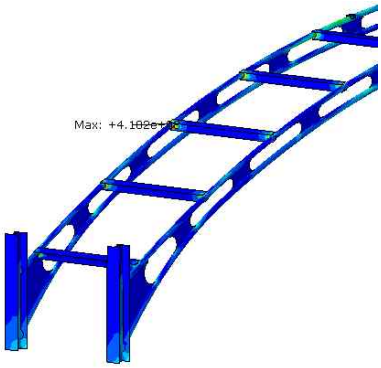
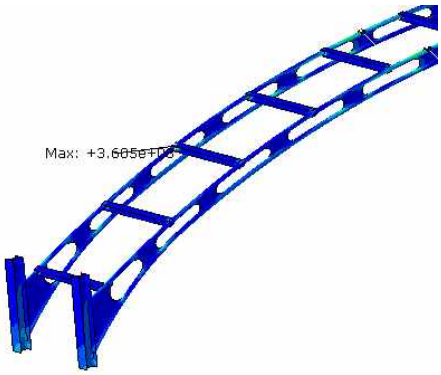
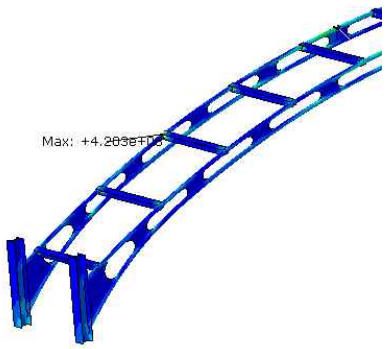
구분	자중	수직하중	수평하중
LC1	O		
LC2	O	O	
LC3	O	O	O 수직하중의 1/200, 약 1°
LC4	O	O	O 수직하중의 1/10, 약 6°

표 2.18 하중 조건별 응력 및 변위

구 분	최대하중 [kN]		최대응력 [MPa]		수직변위 [mm]		수평변위 [mm]	
	항복	극한	항복	극한	항복	극한	항복	극한
LC1	-	-	20.75	-	-	-	-	-
LC2	96.48	196.48	365	500	33.1	78.9	0.195	0.759
LC3	58.24	fail	362	418	21.5	-	101.5	-
LC4	36.6	fail	356	410	26.3	-	246.1	-
비 고	설계하중: 100kN							

표 2.19 모델별 해석결과

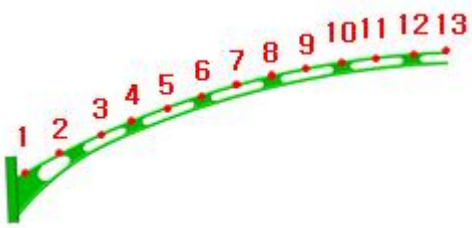
구 분	항복	극한
LC1		

구 분	항복	극한
LC2		
LC3		
LC4		

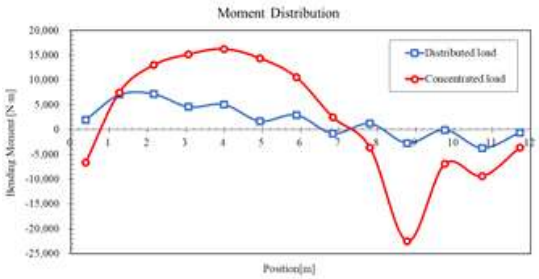
- 하중 조건별 응력 및 변위 분석 결과 자중과 수직하중만 작용한 LC2의 경우 96.48 kN의 하중을 재하하였을 때 최대 응력이 부재의 항복강도에 다다랐으며, 이때의 수직 변위는 33.1㎜, 수평 변위는 0.195㎜임
- 반면 수직하중 기준 1/200의 수평하중만 작용해도 58.24kN에서 항복강도에 도달함
- 이때의 경우 수직 변위는 21.5㎜이며, 수평 변위는 101.5㎜로 전도의 위험이 매우 큰 것을 알 수 있음
- 수직하중 기준으로 1/10의 수평하중을 작용하였을 때에는 36.6kN에 항복강도에 도달하였고, 수직 변위는 26.3㎜, 수평 변위는 246.1㎜임
- 따라서 작은 횡방향 하중에도 본 시험체가 좌굴에 의한 전도 위험이 매우 높을 것으로 예상되며, 횡방향 하중은 시험체의 단차 또는 엑츄에이터 설치 오차로 충분히 발생할 수 있기 때문에 횡변위 고정 프레임을 설치하여 횡변위를 제어하는 것이 필수적으로 동반되어야 함
- LC2의 하중 조건을 시험 하중으로 결정하였을 때 최대 하중은 부재의 항복 강도에 도달하는 96.48kN을 기준으로 100kN으로 결정하였음
- 시험 하중은 실험의 한계로 인해 설계 하중과 달리 거더당 2점에 집중하중으로 작용함. 이는 분포하중으로 작용하는 설계하중과 차이가 있으며, 시험 하중의 당위성 확보를 위해서는 부재

에 작용하는 단면력 및 모멘트 비교가 필요함

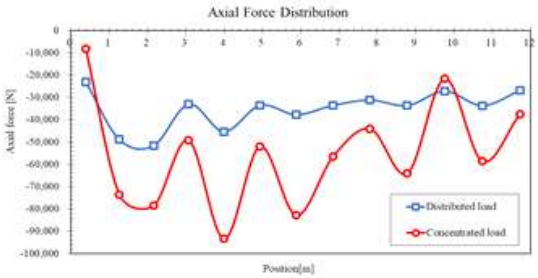
- 전산해석을 통해 설계하중과 시험하중에 따른 모멘트, 축력, 전단력을 비교한 결과는 다음 그림 2.3-4와 같으며, 표 2.3-4와 같이 정리하였음
- 비교 분석 결과 거더 전반에서 시험 하중에 의한 모멘트, 축력, 전단력이 설계 하중 대비 더 높은 결과를 확인하였음
- 최대값 비교 결과 모멘트, 축력, 전단력 각각 3.11, 1.81, 1.75배 더 높은 값을 나타냄
- 지주에서도 동일한 결과를 확인하였으며, 지주의 모든 지점에서 시험 하중에 의한 모멘트, 축력, 전단력 모두 더 높은 값을 나타냄
- 최대값 만을 비교하였을 때 시험 하중에서 모멘트, 축력, 전단력 각각 2.33, 1.99, 2.18배 더 높은 결과를 확인하였음
- 따라서, 비교 분석 결과를 통해 시험 하중 조건이 설계하중 대비 더 열악한 조건임을 확인하였으며, 시험 하중 조건에서 시험체의 구조 안전성이 확인된다면, 설계 조건에서 안전성이 충분히 확보된 것으로 판단할 수 있음
- 나아가 집중 하중으로 실험을 설계하였을 때 분포하중과 비교하여 3.11배의 최대 모멘트가 발생하기 때문에 분포하중 100kN을 기준으로 집중하중에서는 32.15kN까지의 응력 및 처짐 값이 설계 값에 포함됨을 알 수 있음
- 본 해석 결과를 바탕으로 추후 계획된 실험에 대한 결과 값은 엑츄에이터 하중 32.15kN까지의 하중 값을 확인하는 것으로 결정함



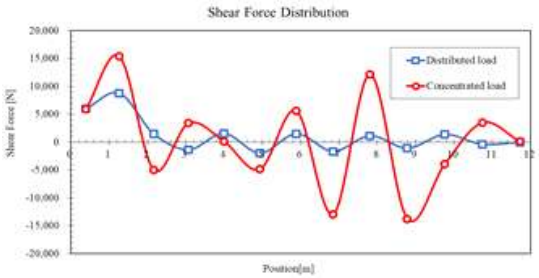
(a) 확인 지점



(b) 단면 모멘트



(c) 축력

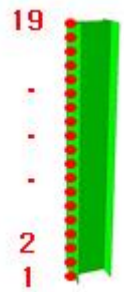


(d) 전단력

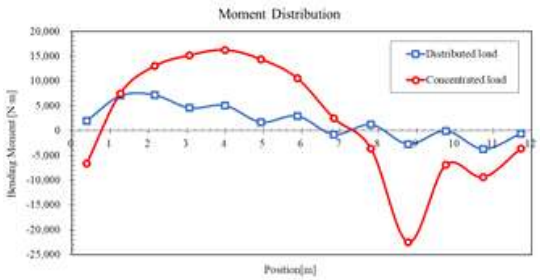
그림 2.33 거더에서의 설계하중과 시험하중 비교 결과;
|(a)확인 지점, (b) 단면 모멘트, (c) 축력, (d) 전단력

표 2.20 지주에서의 설계하중과 시험하중 비교 결과

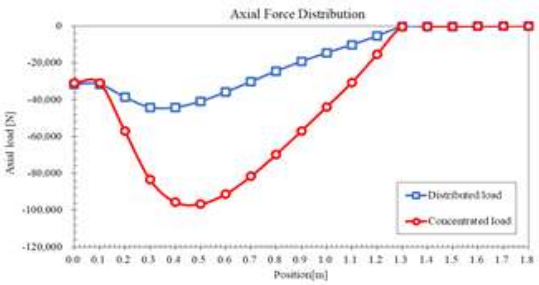
구분		설계하중 (위치)	집중하중 (위치)
Bending moment	최대 값 (kN · m)	7.23 (3)	22.47 (10)
	비율 (집중/설계)	**3.11**	
Axial force	최대 값 (kN)	51.53 (3)	93.38 (5)
	비율 (집중/설계)	**1.81**	
Shear force	최대 값 (kN)	8.81 (2)	15.41 (2)
	비율 (집중/설계)	**1.75**	



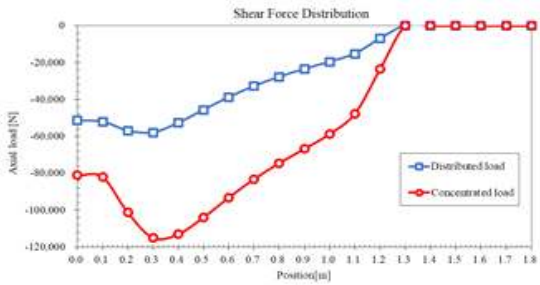
(a) 확인 지점



(b) 단면 모멘트



(c) 축력



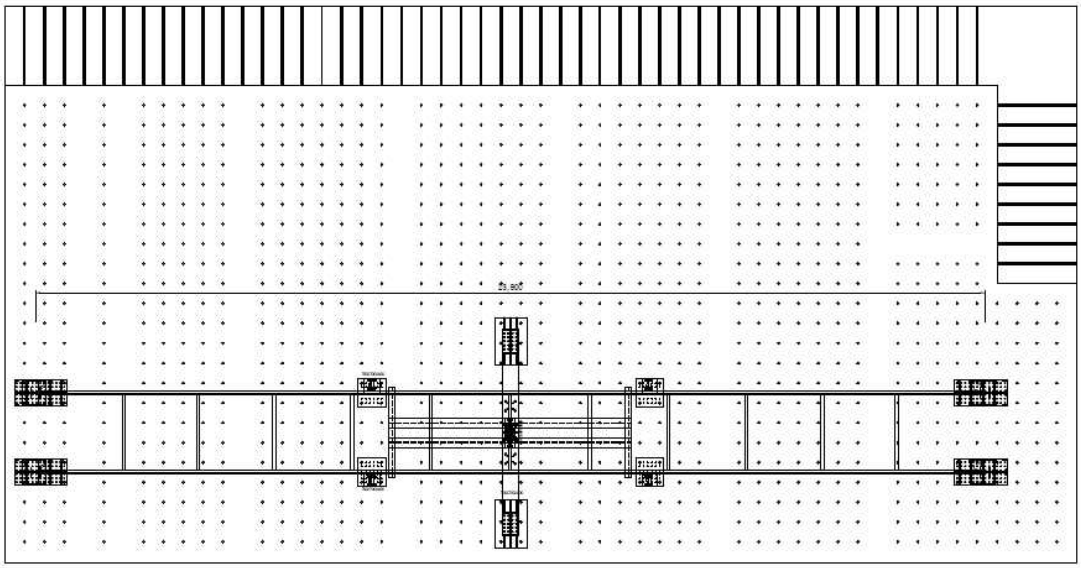
(d) 전단력

그림 2.34 지주에서의 설계하중과 시험하중 비교 결과;
|(a)확인 지점, (b) 단면 모멘트, (c) 축력, (d) 전단력

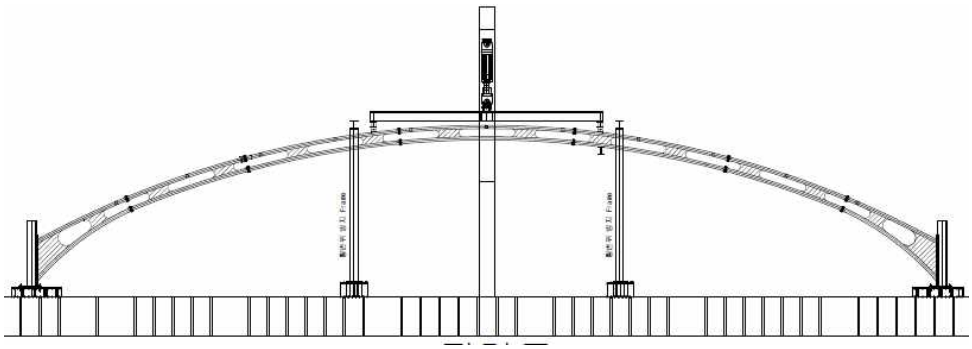
표 2.21 지주에서의 설계하중과 시험하중 비교 결과

구분		설계하중 (위치)	집중하중 (위치)
Bending moment	최대 값 (kN · m)	40.71 (1)	94.90 (1)
	비율 (집중/설계)	**2.33**	
Axial force	최대 값 (kN)	57.89 (4)	114.95 (4)
	비율 (집중/설계)	**1.99**	
Shear force	최대 값 (kN)	44.31 (5)	96.74 (6)
	비율 (집중/설계)	**2.18**	

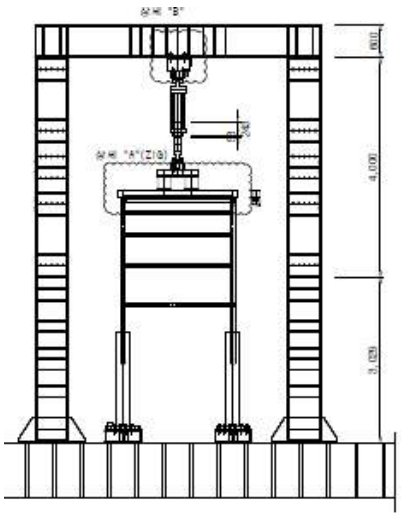
○ 시험 설계



(a) 정면도



(b) 평면도

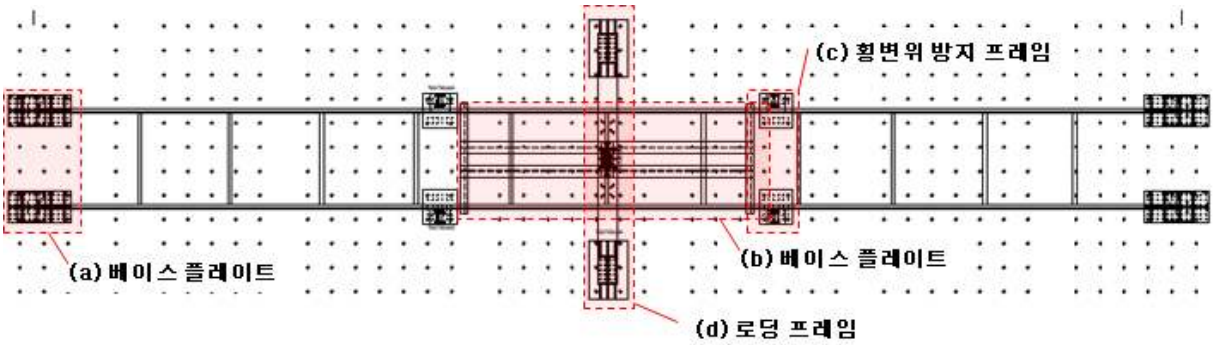


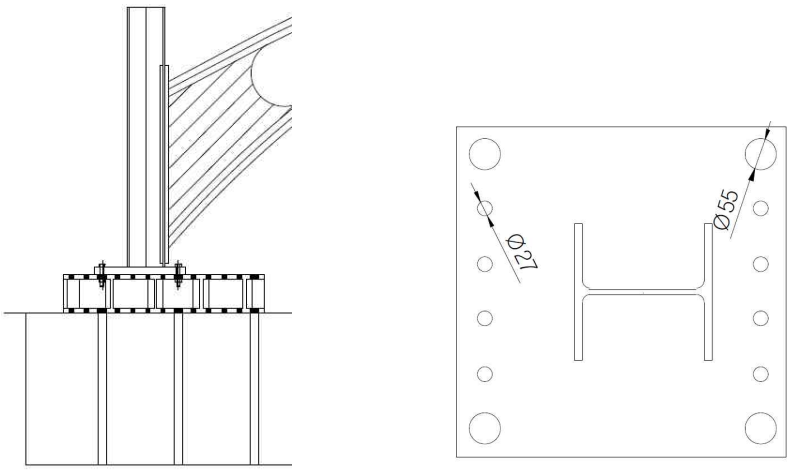
(c) 측면도

그림 2.35 4차선급 신형식 차음터널 시험체 설계 도면;
(a) 평면도, (b) 정면도, (c) 측면도

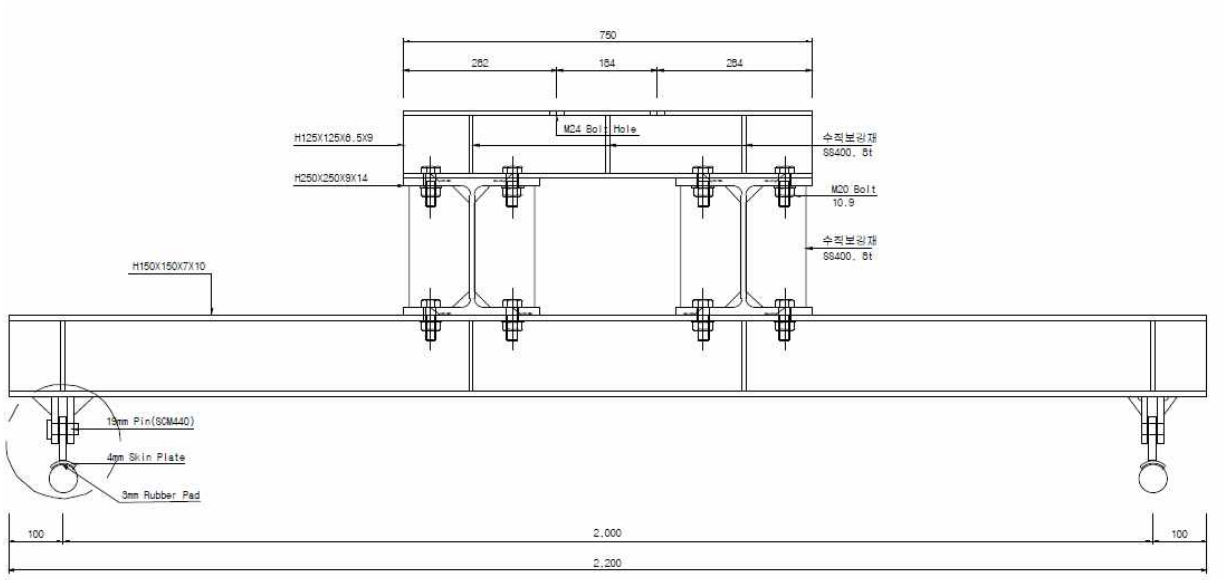
- 4차선급 신형식 차음터널 시험체의 설계 도면은 그림 2.35와 같음
- 시험체 설계 사항과 하중 재하 조건에 따라 베이스 플레이트, 가력 지그, 횡변위 방지 프레임,

로딩 프레임 설계가 수행되었으며, 각각의 상세 설계는 다음 그림 2.36과 같음

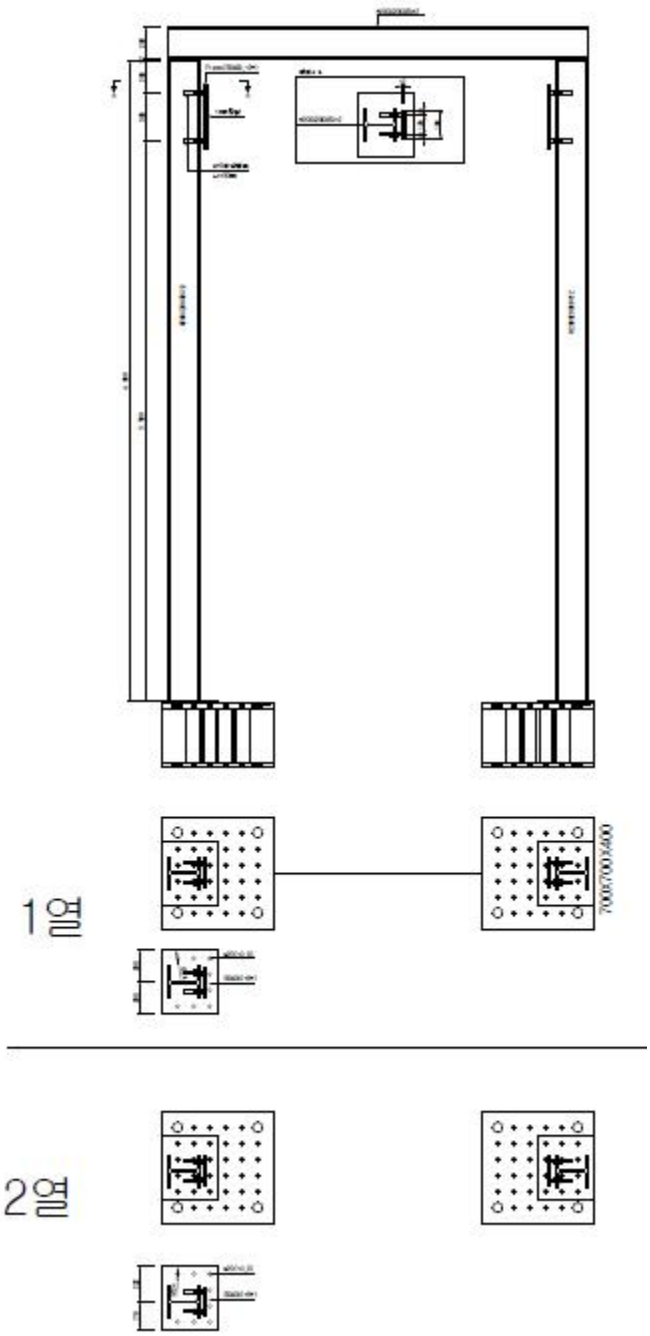




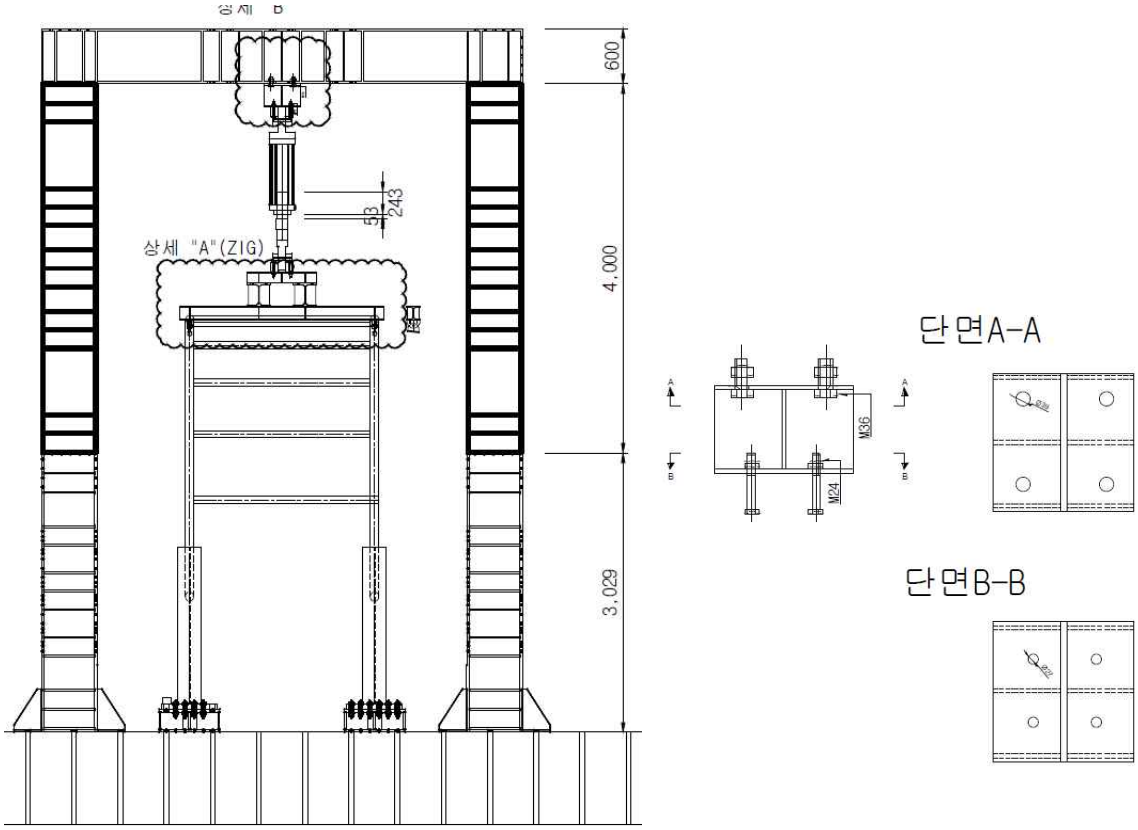
(a) 베이스 플레이트



(b) 가력 지그



(c) 횡변위 방지 프레임



(d) 로딩 프레임

그림 2.36 4차선급 신형심 차음터널 실물 시험 상세 도면;

(a) 베이스 플레이트, (b) 가력 지그, (c) 횡변위 방지 프레임, (d) 로딩 프레임

○ 시험체 제작

- 설계에 따라 시험체 제작이 완료되었으며, 시험체 제작 과정과 전경음 다음 그림 2.37과 같음



(a) 시험체 제작 과정



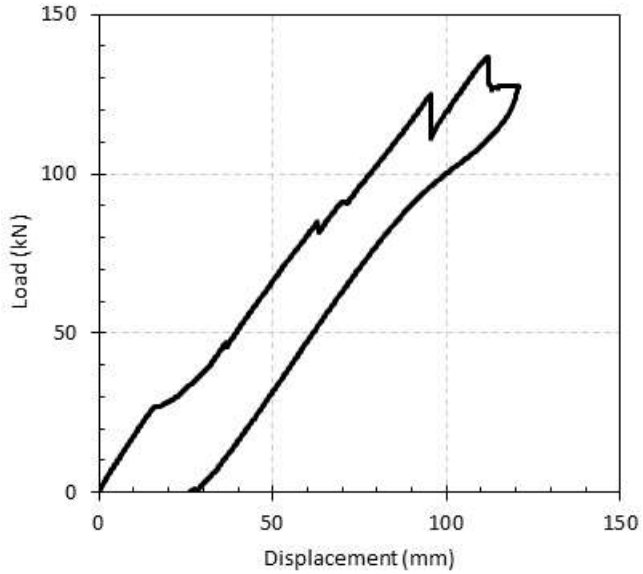
(b) 시험체 전경

그림 2.37 시험체 제작 과정 및 시험체 전경

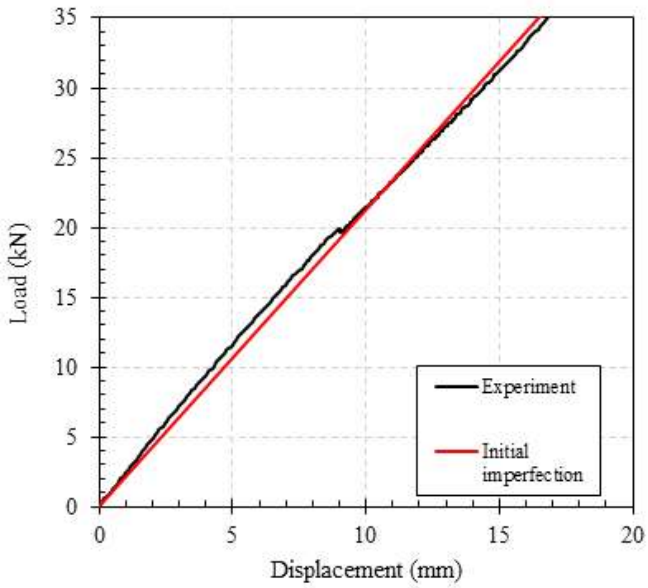
○ 차음터널 실물 시험 결과

① 변위

- 엑츄에이터는 변위 제어로 하중 재하를 진행하였으며, 목표 하중 100kN을 초과하여 137kN까지 하중 재하를 완료하였음. 엑츄에이터 변위는 최대 120.68mm까지 발생하였음
- 그림 2.38의 (a)를 참고하면 초반 30kN까지 하중 증가에 따라 변위가 선형으로 증가하였으나, 그 이후 기울기가 급변하였으며, 48, 82, 122 그리고 135 kN에 도달하였을 때 변위 증가 없이 하중값이 떨어지는 것을 확인함
- 이는 앞에서 논의한바와 같이 32.15kN 이상의 하중 값에서 설계 하중에서의 최대 모멘트 및 최대 응력 이상이 작용하는 것에 원인이 있음
- 따라서 약 35kN의 하중까지의 처짐을 바탕으로 전산해석 결과와 비교하고자 함



(a) 엑츄에이터 하중 및 변위

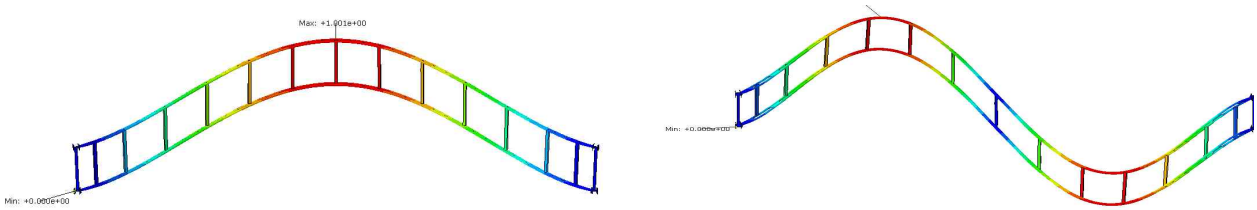


(b) 하중 대비 거더 중심 처짐

그림 2.38 차음터널 실물 시험체의 처짐 결과

- 중심부의 처짐값을 전산해석을 통해 예측하기 위해, 제작 단계에서의 변위를 반영하고 전산해석과 시험 결과의 오차를 보정하기 위해 Abaqus의 초기결함(Initial Imperfection) 해석을 적용함

- 초기결함 해석은 DNV-RP-C208(Determination of Structural Capacity by Non-linear FE analysis Methods, 이하 C208)을 기반으로 진행하였음. C208 기준은 기하학적 비선형성을 가진 판 부재에 대한 좌굴강도평가를 위한 기준으로 초기결함을 가진 비선형 구조의 좌굴 평가 방법을 제시하고 있음
- 본 연구에서는 좌굴 모드 I과 II의 조합으로 초기 변형을 가정하였으며, 각각의 최대 횡변위 값을 0.14, 0.07m로 설정하여 해석을 진행하였음
- 그 결과 다음 그림 2.40 (b)와 같이 해석 결과의 선형 기울기가 시험 결과와 근사한 값을 나타냄
- 결과론적으로 제작된 신형식 차음터널 시험체는 조립 단계에서 좌굴 모드 I과 II가 중첩된 형태의 변형이 발생한 상태로 시험이 진행되었으며, 전산해석에서 이러한 초기 변형을 반영하여 해석을 하였을 때 시험체의 선형 거동을 구현할 수 있었음

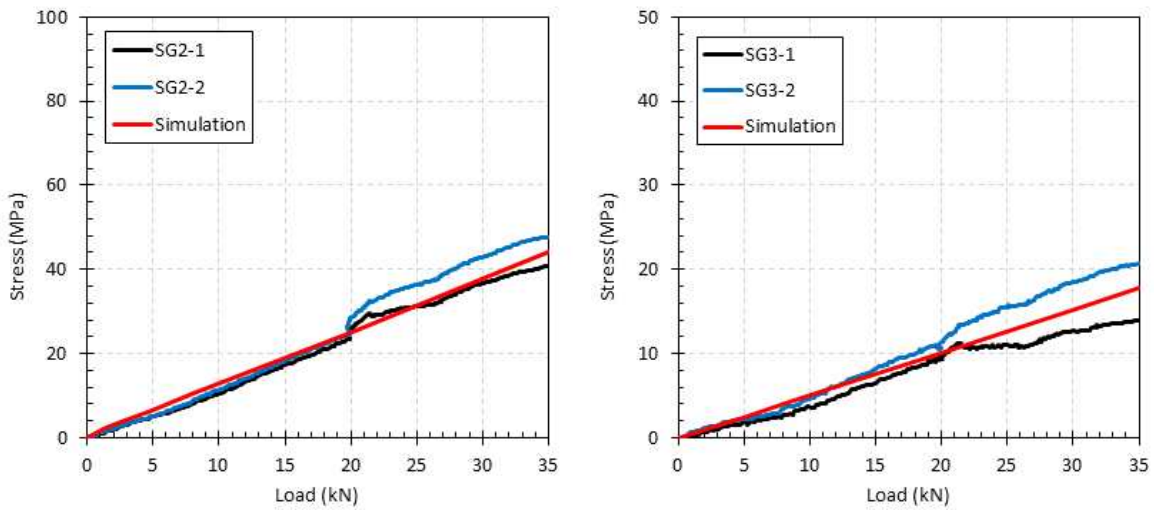


(a) 좌굴 모드 I: 최대 변위 0.14m　　(b) 좌굴 모드 II: 최대 변위 0.07m

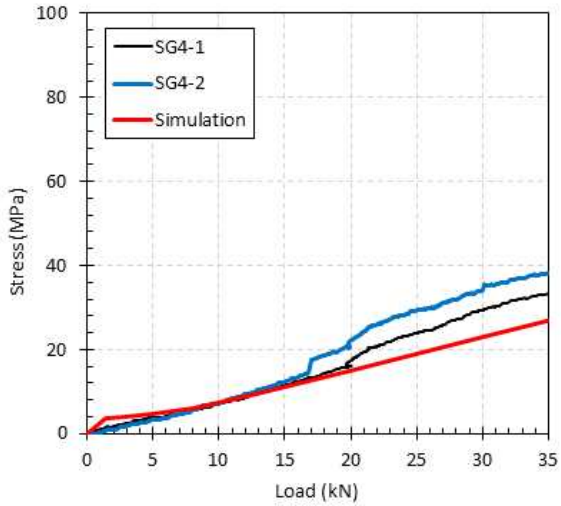
그림 2.39 초기 결함 해석에 적용된 좌굴 모드 및 최대 변위

② 응력

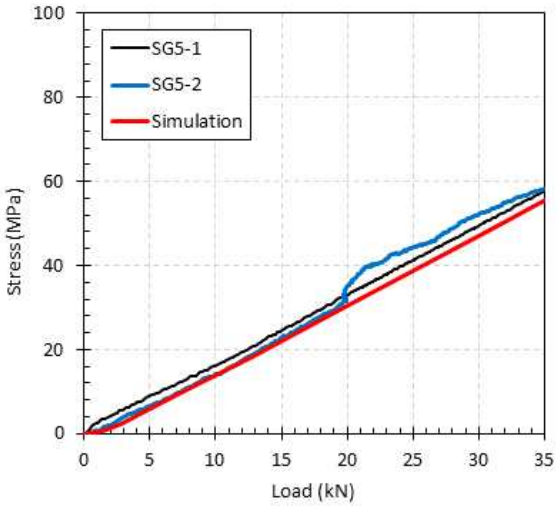
- 스트레인 부착 위치에서 차음터널 실물 시험체의 하중-응력 선도를 나타내면 다음 그림 X와 같음
- 응력 분포 선도와 전산해석 결과를 비교한 결과 거더 중심부에 가까운 지점에서 계측된 응력값은 전산해석과 매우 일치하는 거동을 나타내었으며, 지주에 가까워 질수록 차이를 오차가 발생하는 결과를 확인하였음
- 이러한 결과는 실제 차음터널 구조가 연결부를 활용하여 조립을 하는 구조임에 기인한 결과인 것으로 판단되며, 연결부 시공 단차 또는 결합 정도에 따라 영향을 받은 것으로 판단됨
- 다만 설계 하중에서의 허용 응력 값을 만족 하며, 거더 전반에 걸쳐 전산 해석과 10% 미만의 오차율을 나타내고 있기 때문에 본 실험 및 전산 해석 결과가 합당하며, 설계 하중에서 개발 신형식 차음터널 구조가 충분히 안정적으로 거동할 것으로 예상됨



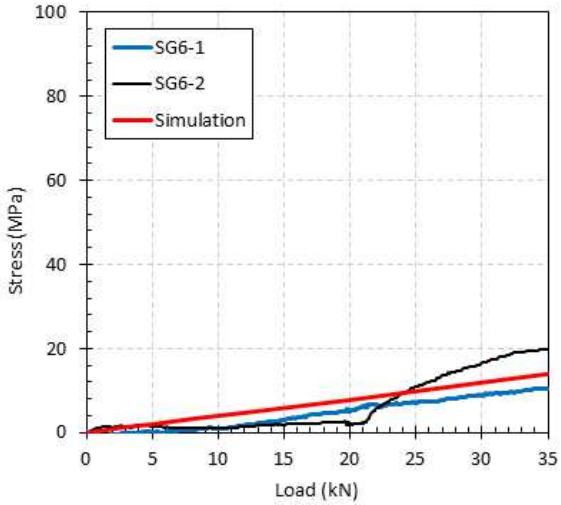
(a) Strain gauge #2　　(b) Strain gauge #3



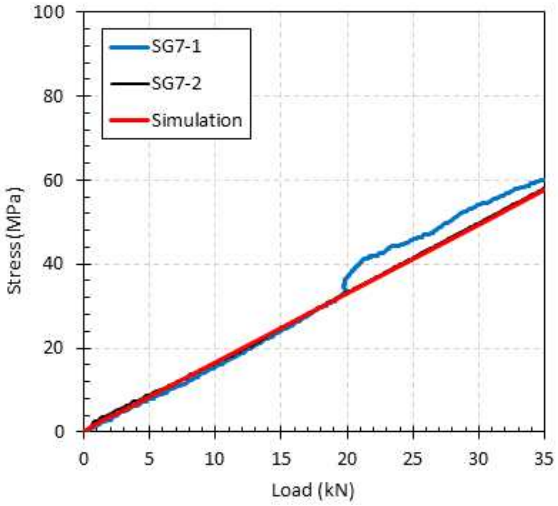
(c) Strain gauge #4



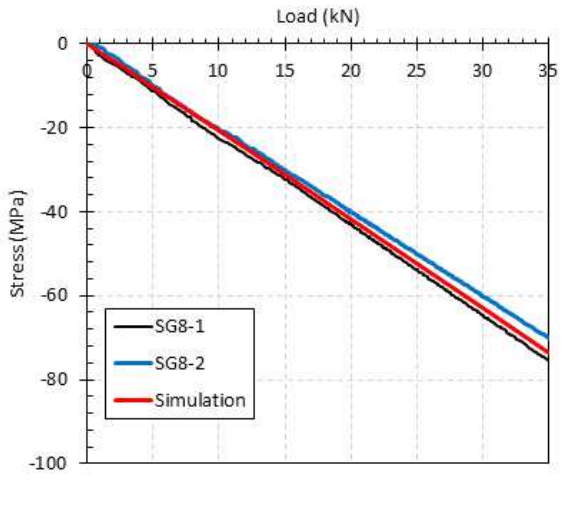
(d) Strain gauge #5



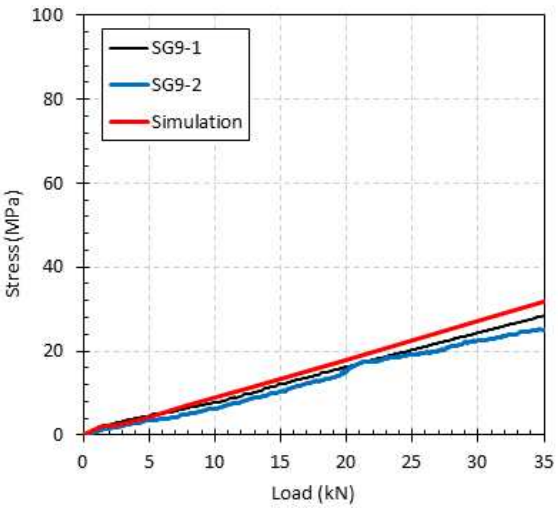
(e) Strain gauge #6



(f) Strain gauge #6



(g) Strain gauge #7



(h) Strain gauge #8

그림 2.40 스트레인게이지 위치별 하중-응력 측정 결과

2.2.2 공기순환 성능 확인 및 개선 방안

가. 역류량 지수 기반 공기 순환 성능 평가

○ 역류량 지수 지표 제안

- 구조물의 형상은 유체 유동의 변화를 유발하며, 정상상태의 특정 레이놀즈 수에서 구조물 내 갇힌 공기를 발생시키게 되고 이는 유체 유동에서 정체기류를 형성할 수 있음. 본 연구에서는 구조물에서 국부적으로 정체된 흐름을 정량적으로 나타내기 위해 역류량을 이용하여 새로운 지표 (κ: 역류량 지수)를 제안(제안된 지표는 논문으로 출판)
- 역류량 지수는 일정 시간 동안 음의 속도 값을 가지는 위치의 역류량(Q_R)을 구조물 내부 체적(V)으로 나눠 정의하며 식 (5)과 같이 나타나며, 여기서 음의 속도 값을 가지는 위치는 유체가 역류하는 위치를 의미하고, 매 시간 간격($n=1\cdots N$)에 대한 값을 합하여 역류량 (Q_R)을 산정하면 식 (6)와 같음

$$\kappa = \frac{Q_R}{V} \tag{5}$$

$$Q_R = \frac{\sum_{n=1}^{N}(\sum_{j=ja}^{jb}\sum_{k=ka}^{kb}|u_{j,k}^{n}|\Delta y_j,\Delta z_k)\Delta t^n}{T}\Bigg|_{Reverse-flow} \tag{6}$$

- 여기서 역류량 (Q_R) 산정을 위한 $u_{j,k}^{n}$, Δy_j, Δz_k, Δt^n, T는 공기가 역류하는 각 격자 위치에서의 속도, y축 격자의 크기, z축 격자의 크기, 단위 시간, 전체 시간이며, 격자 ($j=ja\cdots jb, k=ka\cdots kb$)에서의 합으로 표현함. 이와같이 산정된 유량은 전체 체적에 역류하는 유량 분포로 표현
- 일반적으로 구조물의 공기 순환성능 평가의 척도로써 사용되는 ACH는 단위 시간당 구조물 내부 체적 (V)을 통과한 유량 (Q_{mean})으로, 식 (7)과 같이 나타남

$$ACH = \frac{Q_{mean}}{V} \tag{7}$$

- ACH 지표의 유량산출과정은 κ의 유량산출과 유사하지만, ACH 지표의 경우 유량산출 과정에서 대상 구조물의 공기 유입부와 유출부의 유량 평균을 산정한다는 차이가 있고, 이론적으로 대상 체적에 유입되는 유량과 유출되는 유량은 같으므로 ($Q_{in} = Q_{out}$) ACH 지표에서의 유량 산출과정은 식 (8)와 같음

$$Q_{in} + Q_{out} = \sum_{j=ja}^{jb}\sum_{k=ka}^{kb}|u_{j,k}^{n}|\Delta y_j,\Delta z_k \tag{8a}$$

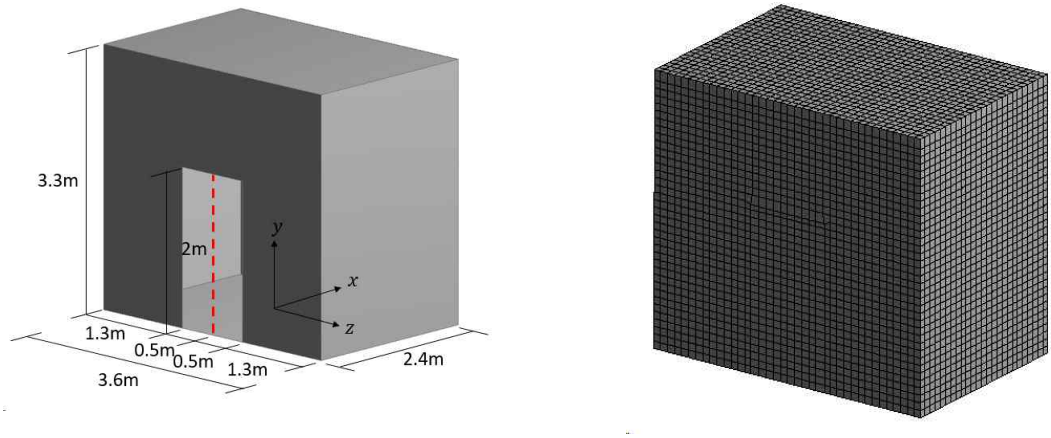
$$Q_{mean} = \frac{1}{2}(Q_{in} + Q_{Out}) \tag{8b}$$

$$Q_{mean} = \frac{\frac{1}{2}\sum_{n=1}^{N}(\sum_{j=ja}^{jb}\sum_{k=ka}^{kb}|u_{j,k}^{n}|\Delta y_j,\Delta z_k)\Delta t^n}{T}\Bigg|_{supply,exhaust} \tag{8c}$$

- ACH는 대상 구조물의 유체 출입구에서의 유속을 통해 유량을 산정하여 구조물 전체 체적에 대한 환기 성능을 평가하기 위한 지표이므로, 구조물 내 국부적인 유체의 정체 기류를 평가하기에 부적합
- 방음터널 및 지하터널 등의 토목 구조물의 경우 거대한 볼륨에 비하여 내부 구조형상이 비교적 단순하여 구조물 내 유체 흐름의 관심범위가 한정될 수 있으며, 유체의 주된 흐름이 일정하여 역류량 방향성이 확보된 비교적 단순한 내부 구조 형상의 경우, 전체 볼륨대비 국부적 요소의 정체 기류를 정량화하기 위해 역류량 지수가 활용될 수 있음

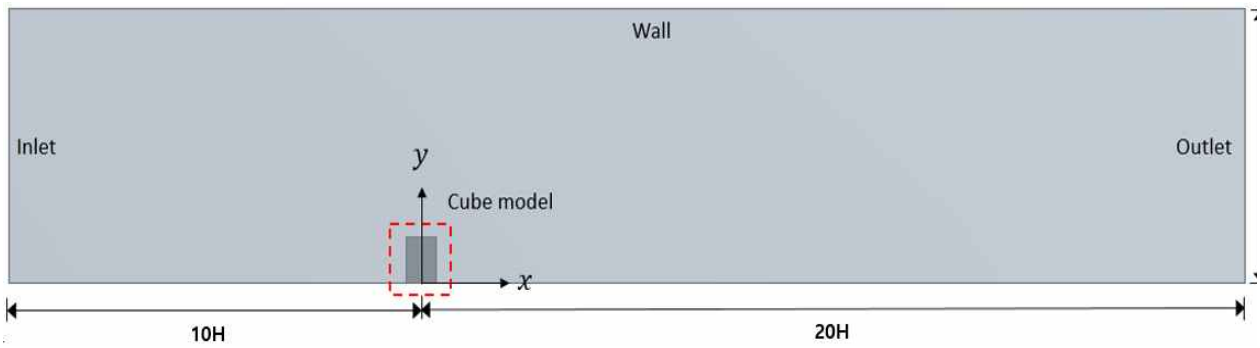
○ 제안지표와 기존지표의 비교·검증

- 방음터널 시뮬레이션에 앞서 시뮬레이션의 타당성을 검증하기 위해 Jiang and Chen의 공기순환 시뮬레이션 모델을 모사하여 검증.
- Ansys Fluid 시뮬레이션 프로그램을 통해 시뮬레이션 모델은 단일 공기 출입구를 가지는 Cube 형태이며 공기 출입구 중앙에서 실험을 통한 공기 속력 계측값과 공기 속력 데이터를 비교하였고, 공기순환성능을 또한 비교, 시뮬레이션 모델의 형상은 그림 2.41와 같음
- 구조물의 크기는 높이 3.3m, 폭 3.6m, 일이 2.4m 이며 중앙부의 공기 출입구의 크기는 폭 1m, 높이 2m이며, 높이 3.3m를 특성길이 H로 설정하여 공간 geometry를 형성함. 공간 geometry의 형상 크기는 높이 19.6m, 폭 66m, 길이 99m이며 공기의 흐름 방향은 Inlet에서 Outlet으로 흐르며 형상은 그림 2.42과 같음.

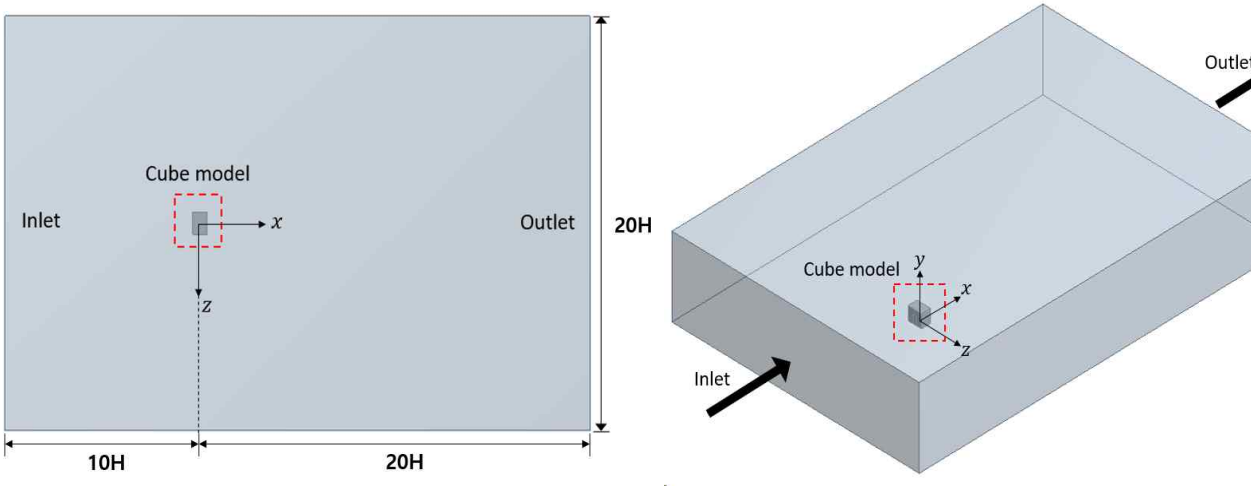


(a) Cube 형상 (b) Mesh 형상

그림 2.41 시뮬레이션 모델



(a) 측면도



(b) 평면도 (c) 시뮬레이션 전체 형상

그림 2.41 시뮬레이션 모델 공간 형상

- 경계조건은 Inlet과 Outlet 모두 대기압 상태이며 x축 방향으로 2m/s의 공기가 흐르는 상태이며, Grid size를 0.15m로 하여 Mesh를 형성함. Time step size는 0.024sec로 설정하여 120초에 대한 시뮬레이션 수행. 공기유동해석은 난류효과를 가장 잘 모사하는 k-ε 방정식 모델로 해석을 수행하였고 그 결과는 그림 2.42의 그래프와 같음

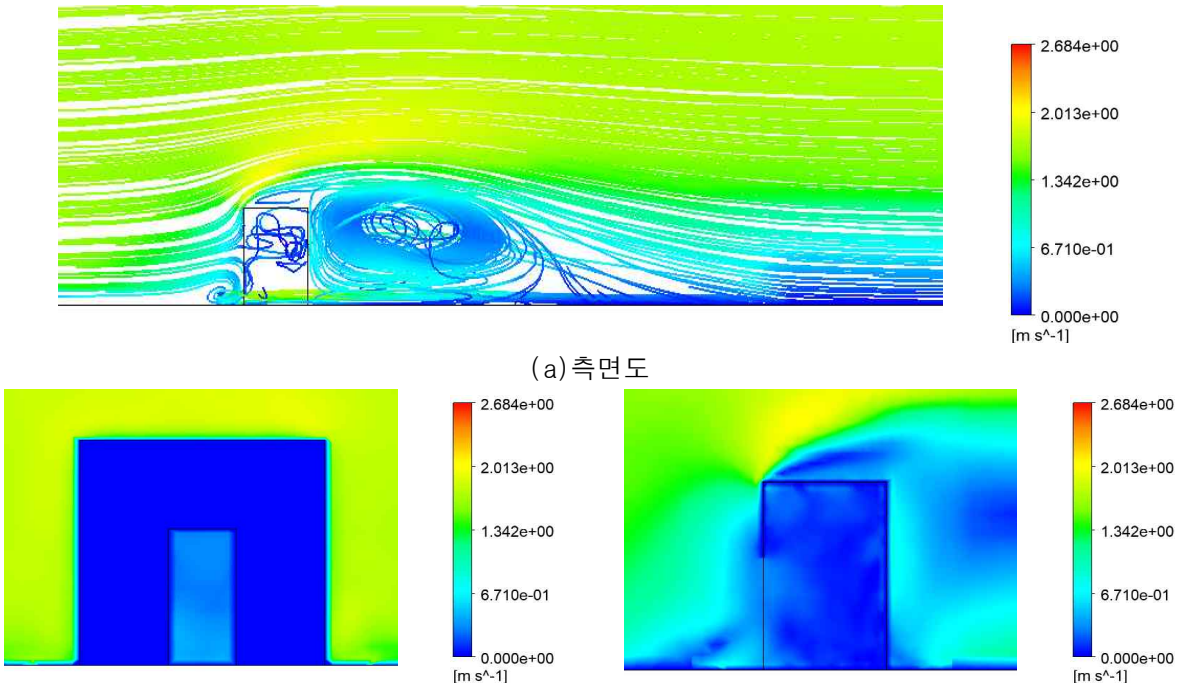


그림 2.42 시뮬레이션 모델의 유속분포

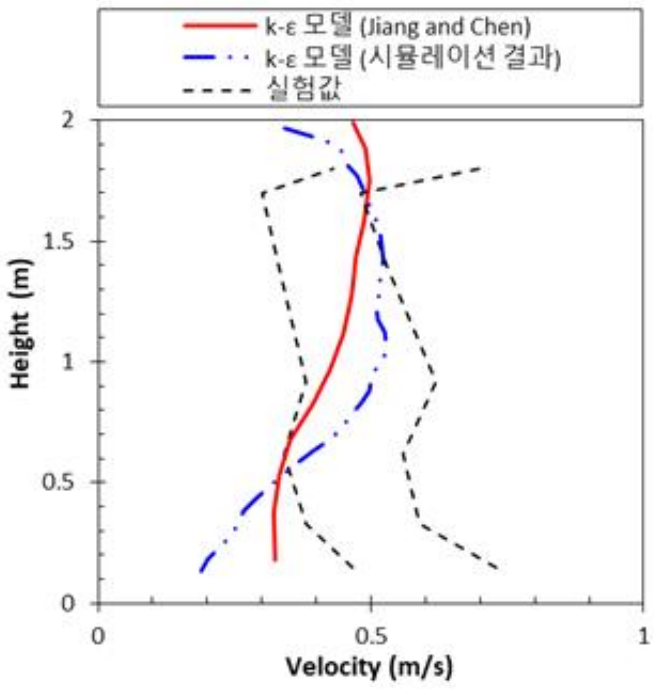
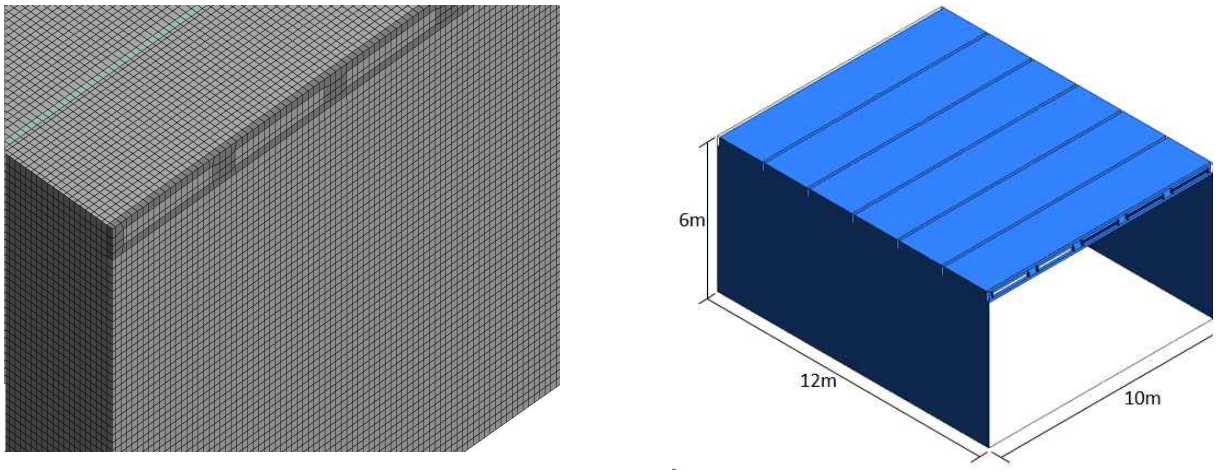


그림 2.43 출입구중앙 수직위치에 따른 유속분포

- 그림 2.43의 그래프는 출입구 중앙에서 120초 동안의 공기의 속력평균을 나타냄. 두 점선은 실험을 통해 계측된 유속의 범위이며, 시뮬레이션 결과 출입구 상부에서의 유속이 실험 계측값

보다 다소 작게 모사되었으나 전반적으로 실제 유속범위에 위치해있어 시뮬레이션 결과가 타당하다고 판단. 또한 단위시간당 Cube에 유입, 유출된 유량의 평균은 360.78m^3/h로 ACH지표은 12.7로 산정되었으며, Jiang and Chen의 ACH지표는 12.8로 1%정도의 차이를 보여 매우 유사하게 산정됨. 따라서 위의 시뮬레이션 비교분석을 통해 시뮬레이션의 타당성 확보.

- 차음터널 모델은 높이 6m, 폭 10m, 연장 12m규모의 터널에 대해 시뮬레이션 하였으며, 검증모델과 동일하게 공간 Geometry를 형성하였고, 공간 Geometry의 크기는 높이 36m, 폭 120m, 길이 180m 설정. 해석조건으로는 국내 연평균 풍속인 2m/s의 풍속을 적용하였고 터널 Mesh의 크기는 0.1m이며 Time step은 0.048sec로 설정하여 120초에 대한 해석을 수행



(a) 차음터널 모델 Mesh (b) 차음터널 형상

그림 2.44 차음터널 모델 Geometry

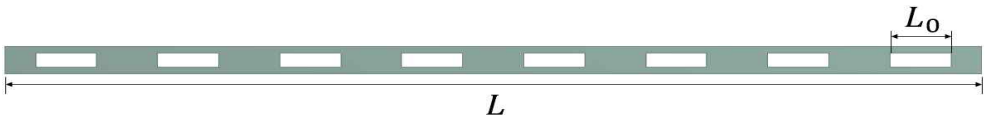


그림 2.45 차음터널 거더

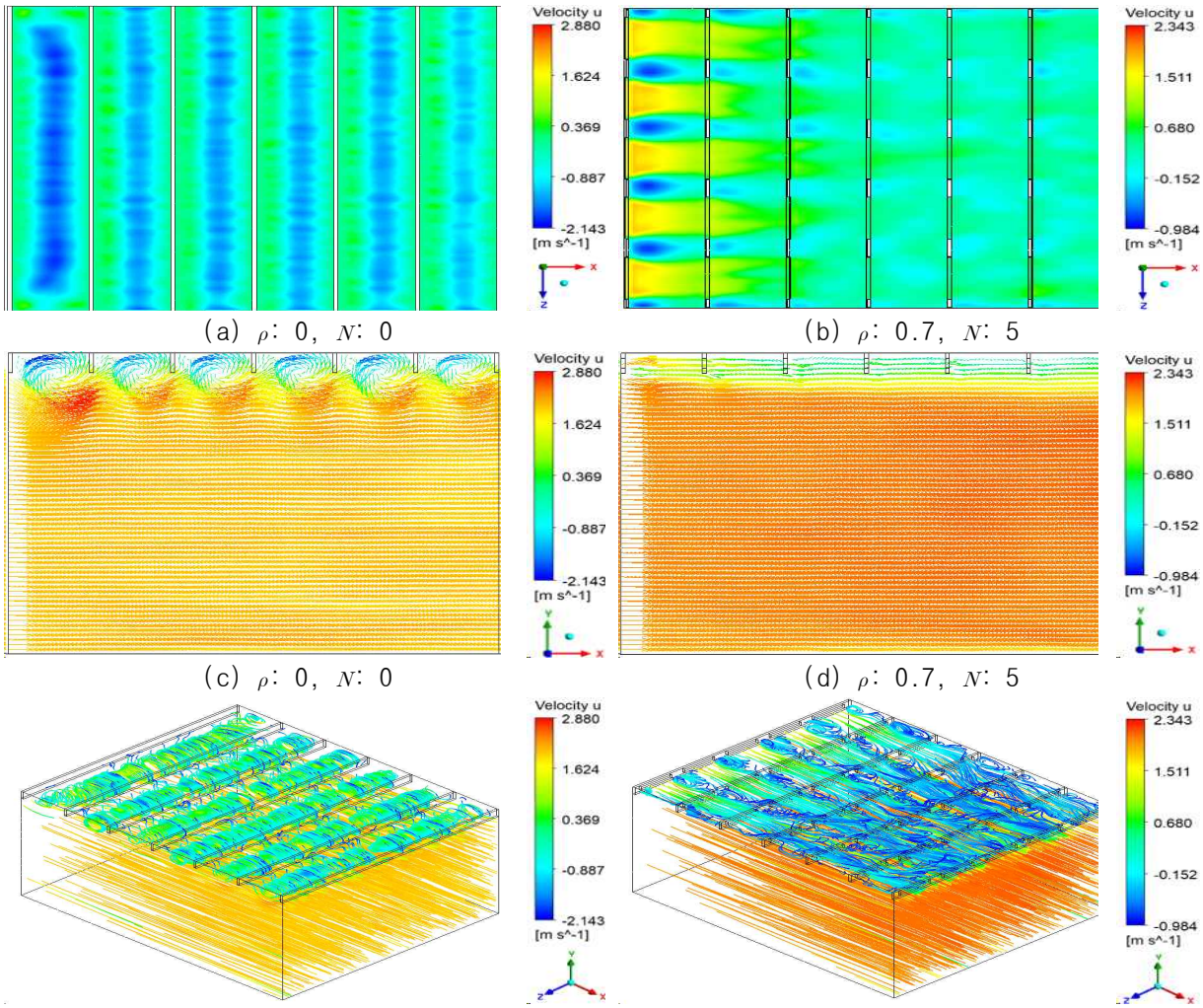
- 그림 2.45 은 차음터널 상부 거더의 형상을 나타낸 것이며 거더의 공극(ρ)을 달리하여 해석을 수행하였음. 공극은 비지지구간의 전체길이와 거더 전체의 길이의 비로 식으로 표현하면 다음과 같음

$$\rho = \frac{NL_0}{L} \tag{9}$$

- 여기서 L, L_0, N은 각각 거더 전체의 길이. 비지지구간의 길이, 비지지구간의 개수임
- 시뮬레이션은 H거더와 공극0.7, 비지지구간 개수가 5개인 거더 2CASE에대해 수행하였고 시뮬레이션을 통해 산정된 터널에 유입,유출되는 유량평균과 ACH지표는 표 2.23과 같음

표 2.23 거더별 유량평균

	H거더	신형식 거더(ρ=0.7, N=5)	Unit
Q_{mean}	106.5	108.23	m^3/s
ACH	532	541.1	-



(a) ρ: 0, N: 0 (b) ρ: 0.7, N: 5

(c) ρ: 0, N: 0 (d) ρ: 0.7, N: 5

(e) ρ: 0, N: 0 (f) ρ: 0.7, N: 5

그림 2.46 신형식 및 H거더의 공기유속 분포

- 차음터널 구조물과 같이 전체 체적에 비해 내부 구조물의 크기가 작은 경우 구조물의 변화에 따른 ACH지표의 차이는 미미하고, 시뮬레이션을 통해 산정된 ACH지표를 비교해보면 유속의 경우 그림 2.46과 같이 신형식 거더와 H거더의 유속분포의 분명한 차이가 존재하나 유량의 차이는 2%미만으로 매우 작고 ACH지표 또한 매우 작은 차이를 보였음. 따라서 역류량 산정을 통해 새로운 공기순환성능 지표를 제안.

- 공기유동에 있어 어떠한 구조물의 영향으로 난류효과가 발생하고, 난류효과에 의해 구조물 후면에서 공기가 회전하면서 공기 갇힘현상이 발생함. 공기의 회전은 공기를 역류시키며 따라서, 역류량 산정을 통해 간접적으로 갇힌공기의 크기를 파악할 수 있음. 역류량 지표 κ는 어떠한 체적에 발생하는 단위 시간당 역류량으로 식으로 표현하면 다음과 같음.

$$\kappa = \frac{Q_R}{V} \tag{10}$$

여기서 Q_R, V는 각각 단위시간당 역류하는 유량, 체적을 의미함.

○ 주요 형상 매개변수에 의한 공기 순환 성능 평가

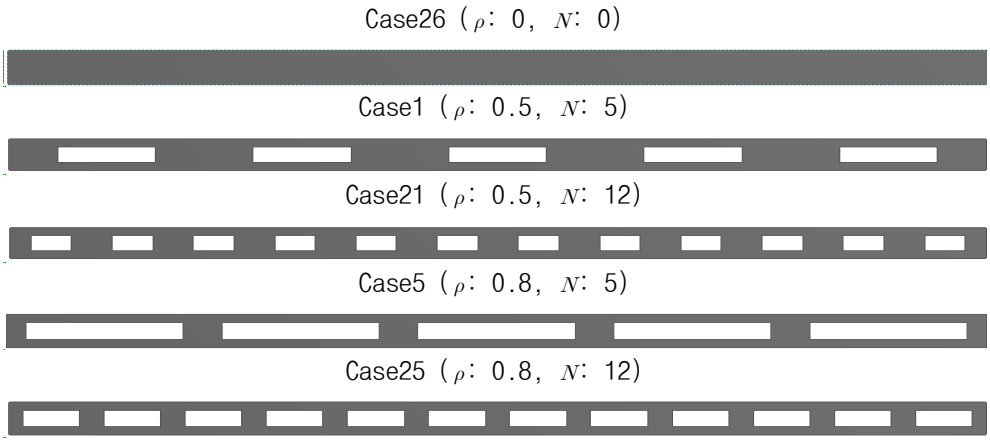


그림 2.47 공극 및 비지지구간 개수에 따른 거더 단면 형상

표 2.24 비지지구간 개수와 거더의 공극 변수 표

Variables		ρ					
		0	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
N	0	Case26	-	-	-	-	-
	5	-	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
	6	-	Case6	Case7	Case8	Case9	Case10
	8	-	Case11	Case12	Case13	Case14	Case15
	10	-	Case16	Case17	Case18	Case19	Case20
	12	-	Case21	Case22	Case23	Case24	Case25

- 시뮬레이션은 기존과 동일한 규모와 조건으로 수행하였으며, 거더의 공극(ρ)과 비지지구간 개수(N)을 변수로 선정하여 총 26개 Caes에대한 해석을 수행하였고 결과데이터를 바탕으로 역류량을 산정한 결과는 표 2.24 및 그림 2.48과 같음.

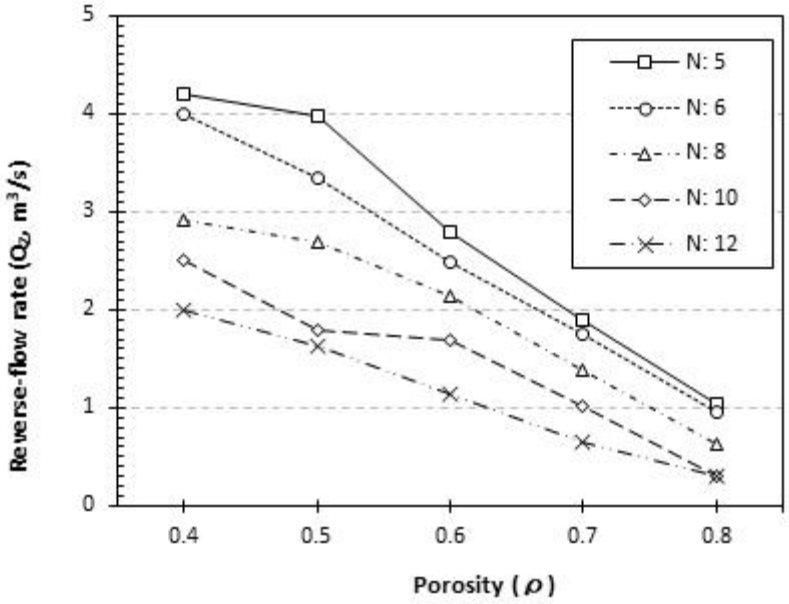


그림 2.48 변수에 따른 역류량 그래프

표 2.25 변수에 따른 역류량

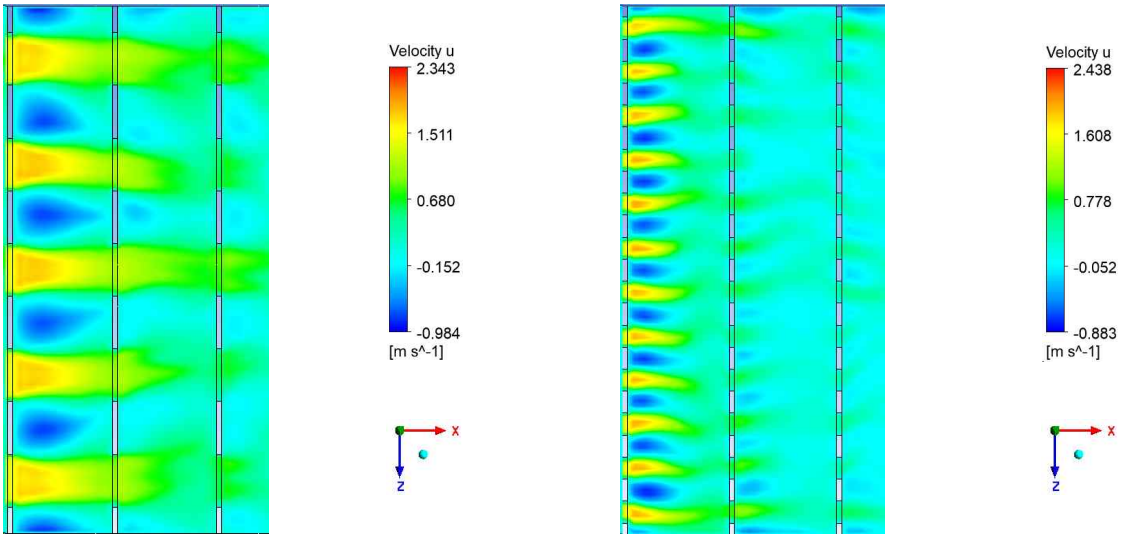
(Unit : m^3/s)

Variables		ρ					
		0	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
N	0	6.45	-	-	-	-	-
	5	-	4.20	3.98	2.79	1.89	1.04
	6	-	3.99	3.35	2.49	1.75	0.97
	8	-	2.92	2.70	2.14	1.38	0.63
	10	-	2.51	1.80	1.70	1.02	0.31

표 2.26 변수에 따른 공기순환 성능 (κ)

(Unit : m^3/s)

Variables		ρ					
		0	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
N	0	32.26	-	-	-	-	-
	5	-	15.12	14.33	10.04	6.80	3.74
	6	-	14.36	12.06	8.96	6.30	3.49
	8	-	10.51	9.72	7.70	4.97	2.27
	10	-	9.04	6.48	6.12	3.67	1.13



(a) Case1 (ρ: 0.5, N: 5)　　(b) Case21 (ρ: 0.5, N: 12)

(c) Case5 (ρ: 0.8, N: 5)　　(d) Case25 (ρ: 0.8, N: 12)

그림 2.49 터널 상부에서의 유속분포

- 결과에 따르면 역류량 산정을 통한 역류량 지표는 변수에 따라 분명한 차이를 보여 거더 형상에 따른 공기순환 성능을 확인할 수 있음. 따라서, 역류량 공기성능 지표를 통해 H거더와 신형식 거더의 차이를 확인하고자 함.

○ 주요 형상 매개변수에 의한 예측식 제시

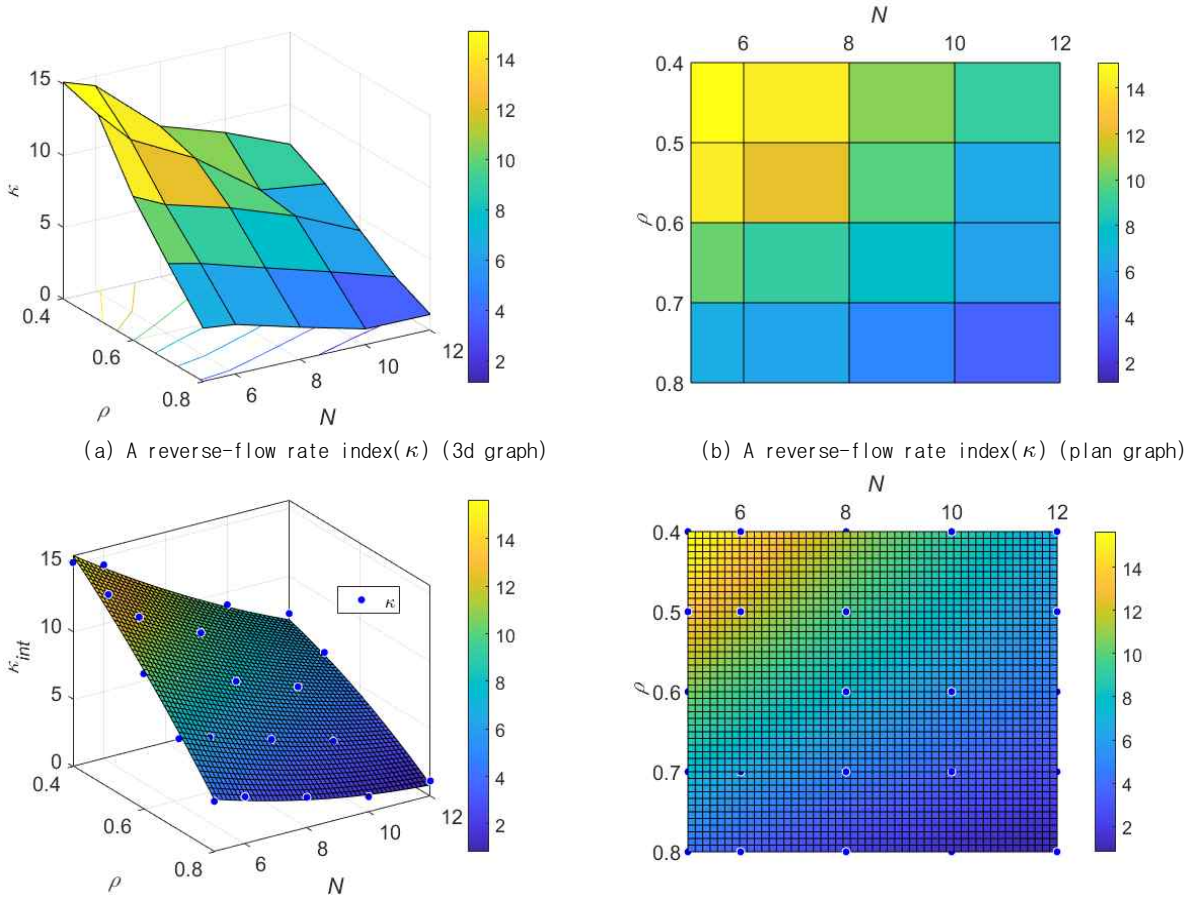
- ρ와 N에 의한 경향성은 그림 2.50 (a)와 같으며, 이를 평면화하여 나타내면 그림 2.50 (b)와 같음. 이는 ρ와 N이 각각 증가할수록 제안지표 κ 가 감소함을 나타냄.
- 공극비(ρ)와 공극 개수(N) 변수와 κ의 관계와 변수에 의한 근사한 κ를 산출하기 위한 회기 분석하였으며, 이는 식 (11a, b)과 같음.

$$\kappa_{int} = f(\rho, N) \tag{11a}$$

$$f(\rho, N) = b_1 \cdot \rho^2 + b_2 \cdot \rho + b_3 \cdot N^2 + b_4 \cdot N + b_5 \cdot \rho \cdot N + C_b \tag{11b}$$

- Table 5에 의해 $b_1 = -14.790$, $b_2 = -22$, $b_3 = 0.042$, $b_4 = -2.813$, $b_5 = 2.081$, $C_b = 35.660$ 의 계수가 신뢰한계 95% 내에서 산정된다. 제안된 계수를 통한 근사된 κ는 근사역류량과 유사한 경향을 나타냄. 즉, 공극비와 공극 개수 각각 증가할수록 근사된 κ은 감소함을 나타내고, ρ와 N 변수

는 2차 항에 의한 계수보다 1차 항의 개수 값이 큰 것으로 나타남. 이는 역류량 지수 산출을 위한 변수의 비선형성이 일부 존재하지만, 선형의 관계가 더 크다는 것을 나타내며, b_5의 계수 값은 제안된 지표 산출에 각 변수 사이의 상관관계 (correlation)가 있음이 나타남. 또한, 본 해석 범위 내에서 지표의 값은 항상 양의 값을 나타남. 그림 2.50(c) 는 구조형상 변수에 의한 근사된 κ를 나타내며, 그림 2.50 (d)는 이를 평면화하여 나타냄



(a) A reverse-flow rate index(κ) (3d graph)

(b) A reverse-flow rate index(κ) (plan graph)

(c) An approximated reverse-flow rate index(κ_{int}) (3d graph)

(d) An approximated reverse-flow rate index(κ_{int}) (plan graph)

그림 2.50 A reverse-flow rate index(κ), and approximation (κ_{int}) by the change of ρ, and N

○ H-Beam과 신형식 차음터널의 대응되는 형상 매개변수 분석

- 위의 결과를 토대로 신형식 거더의 역류량 지수는 6.3으로 평가됨. 이는 단면 변화에 따른 역류량 지수를 살펴볼 때, 비지지구간 개수(N): 6, 공극(ρ): 0.7에 대응되는 값으로, H-Beam 형식의 역류량 지수를 평가한 결과 아래 표와 같음.
- 각 거더 형식 별 역류량 지수는 신형식 거더: 6.3, 250mm 높이 H-beam 거더: 5.65, 300mm 높이 H-beam 거더: 12.29 이며, 이는 신형식 거더의 공기순환 성능이 역류량지수에 의한 공기순환 성능 평가 시 H-Beam 거더의 250mm~300mm 사이의 성능으로 나타남.

표 2.27 거더 높이에 따른 역류량지수

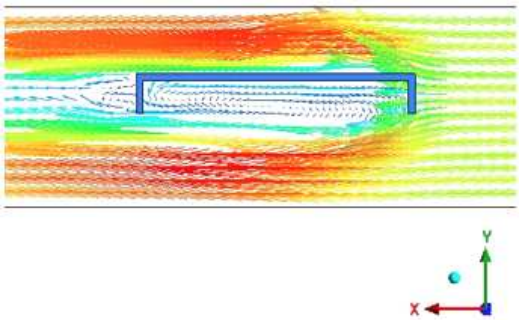
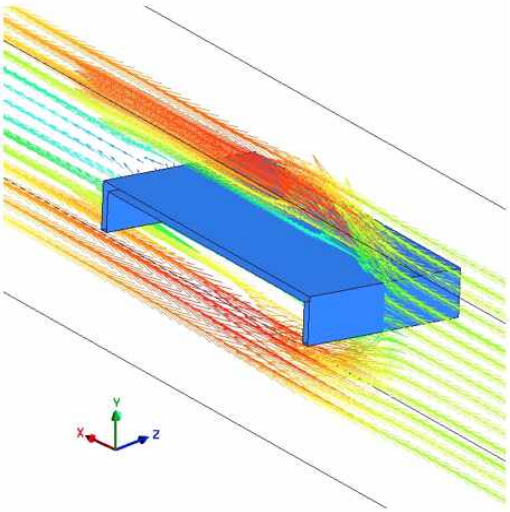
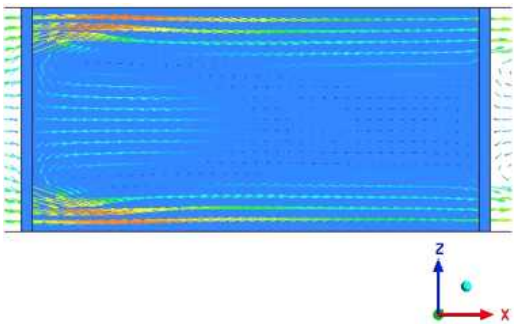
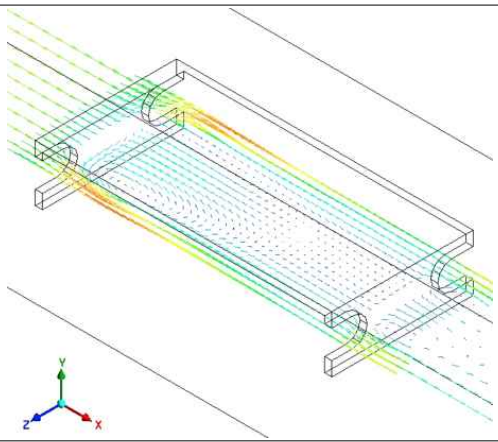
Height	50	100	150	200	250	300
역류량지수	0	0	0.07	0.81	5.65	12.29

Height	350	400	450	500	550	600
역류량지수	21.07	32.42	43.09	56.17	67.59	83.25

나. 공기 순환 성능 평가 풍동실험

○ 전산 유체 역학(CFD, Computational fluid dynamics) 시뮬레이션을 활용한 유동장 확인

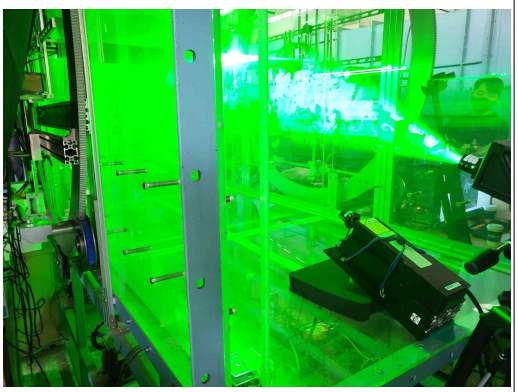
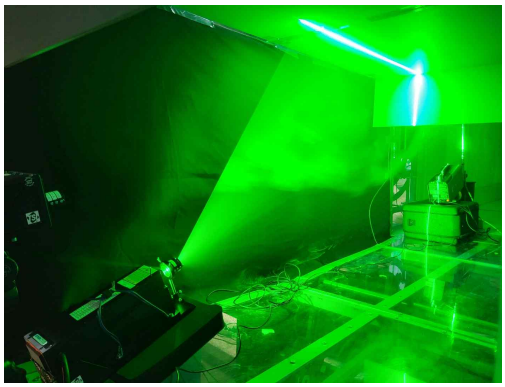
표 2.28 실험 케이스 별 공기 흐름(CFD)

구분	실험모델 View	
250H 및 300H		
	(a) 평면도	(b) 전체도
신형식		
	(c) 저면도	(d) 전체도

○ 화상 유속 측정법(PIV, Particle Image Velo-cimetry) 비교를 통한 유동장 검증

- 아래는 PIV와 가시화 장치 및 실험 전경을 나타냄

표 28 장치 및 실험

구분	PIV	가시화 장치
장치		
	(a) PIV 레이저	(b) 가시화 장치
실험전경		
	(c) 유체 입자 트레킹 I	(d) 유동관측 I
		
	(e) 유체 입자 트레킹 II	(f) 유동관측 II

○ 실험 시설 및 장비

- 2차원 단면모형 실험에 이용된 풍동은 고려대학교 공과대학에 설치된 풍동을 이용하여 수행하였으며, 풍동의 Test Section은 폭 1.2m, 높이 1.5m 그리고 길이는 총 4.5m로 구성되어 있음. 풍동의 형식은 순환형 풍동으로 풍속은 약 0.3m/s부터 15m/s까지 조절이 가능

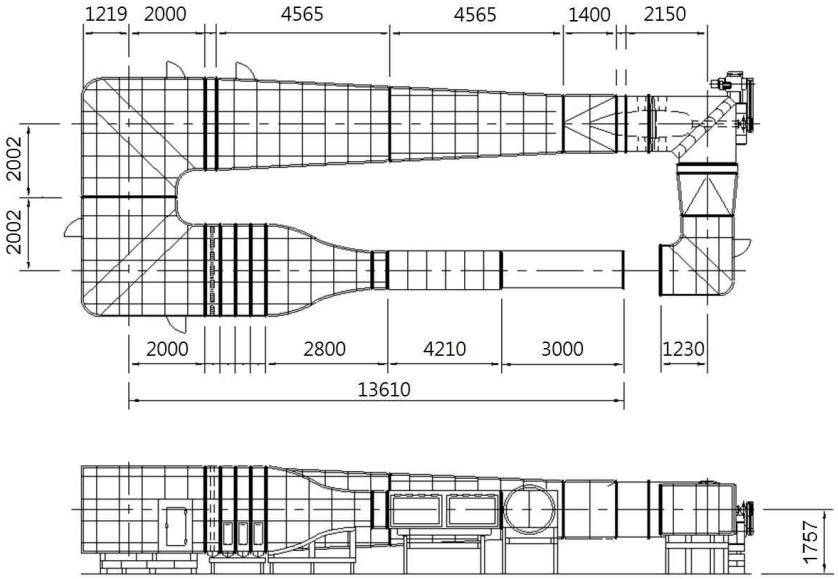
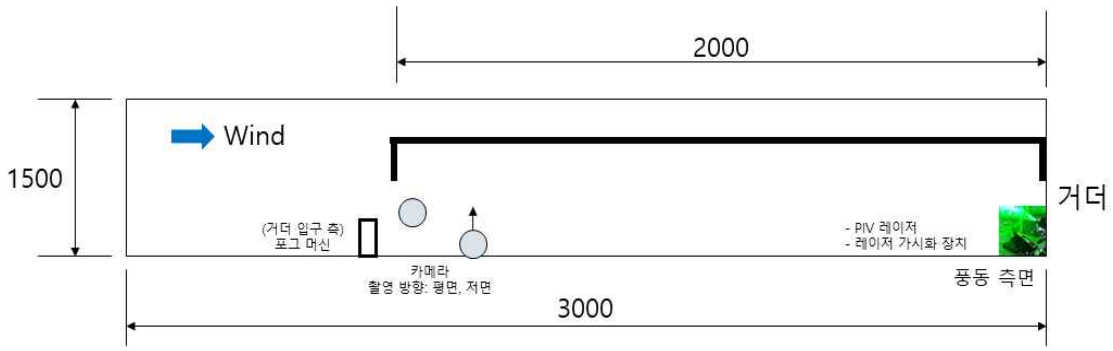
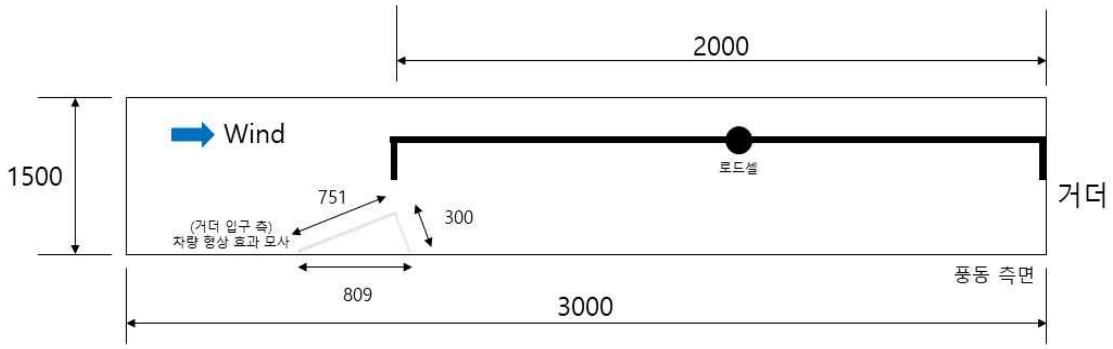


그림 2.51 풍동 상세



(a) 공기 순환 특성 확인을 위한 PIV 실험



(b) 거더 형상별 천장부 양력 비교

그림 2.52 실험별 장비 배치 간략도

- 장치 및 장비 세부 역할

(1) 삼분력계(로드셀): 풍압 하중 측정 장치

(2) 풍속 측정 장치

(3) 엠프: 칼리브레이터로부터 증폭된 하중 신호를 전기 신호로 바꿔 주는 장치

(4) 칼리브레이터 : 로드셀의 하중 신호를 증폭시켜 엠프로 넘겨주는 장치

(5) 초고속 카메라

(6) PIV 레이저

(7) 레이저 가시화 장치

(8) 포그 머신

(9) 데이터를 수집을 위한 소프트웨어

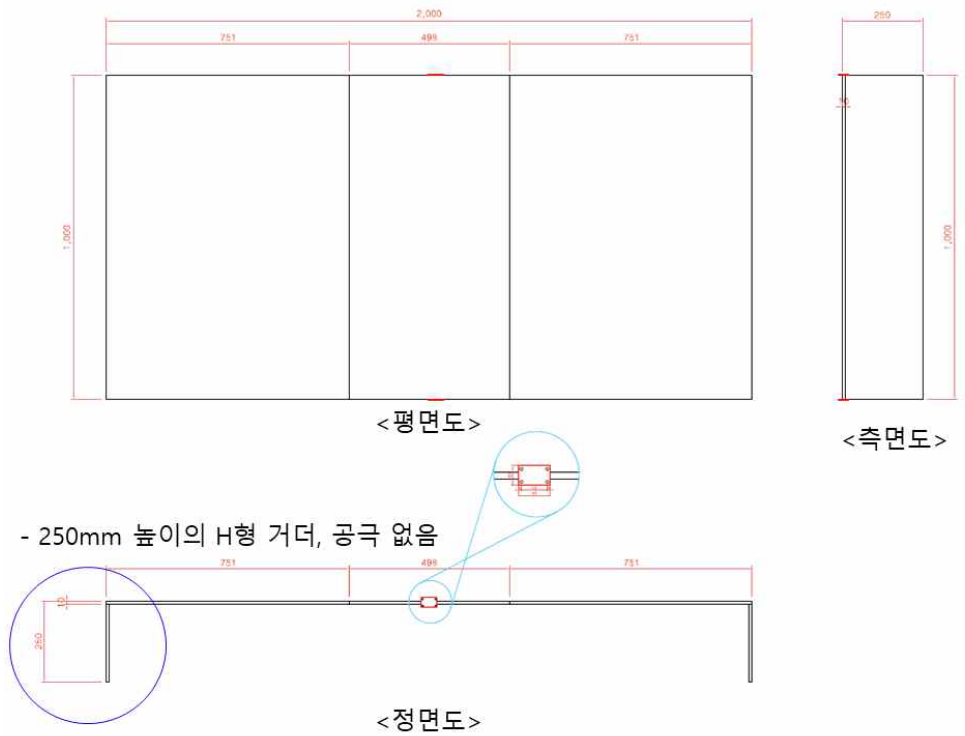
(10) NI사의 PCI-6040E: 데이터 수집 모듈

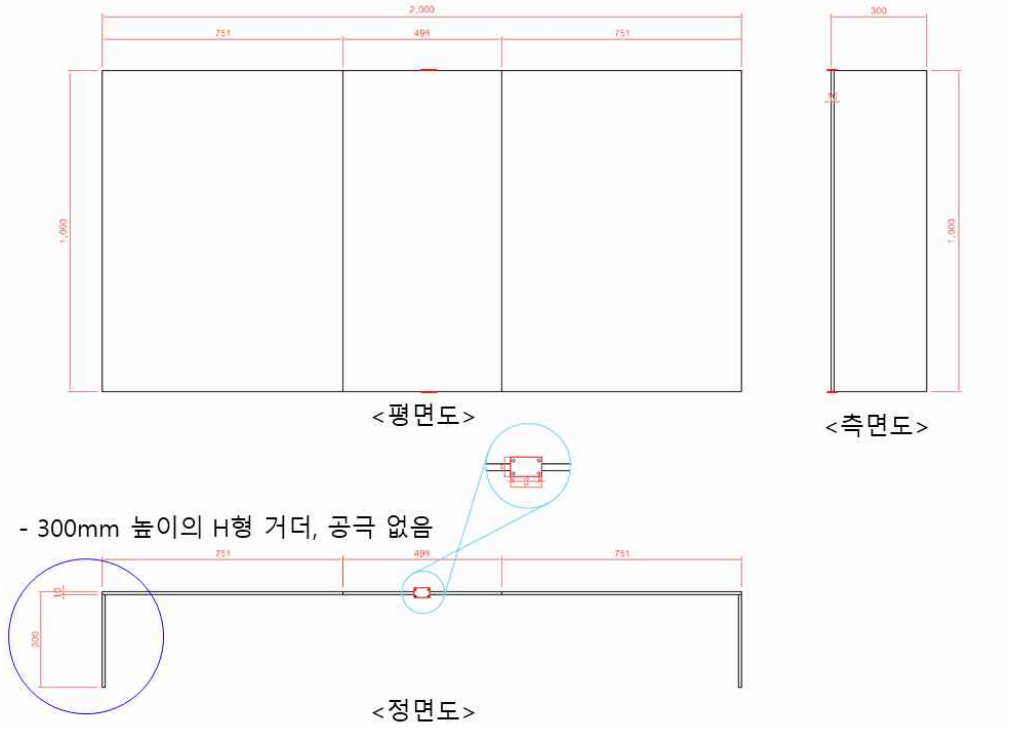
(11) NI사의 Labview: 데이터 수집 소프트웨어

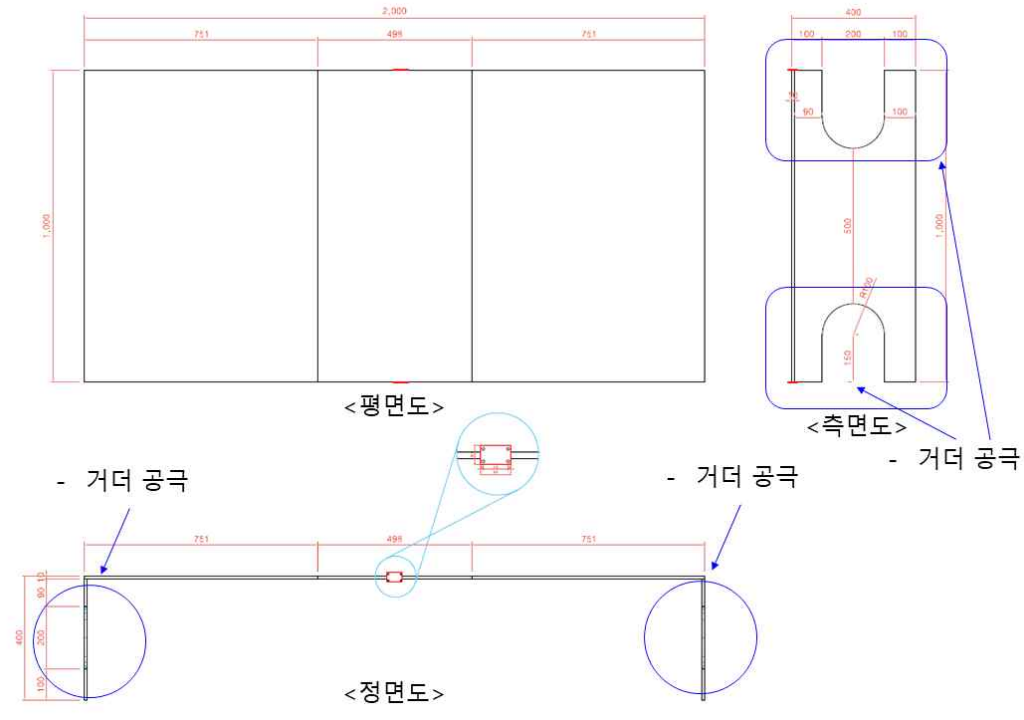
○ 실험 모델 및 형상

- 실험 형상 케이스 모델은 250H, 300H, 신형식, 공기흐름 유도장치 적용 4가지로 분류되며, 각 특징과 상세도면은 아래 표와 같음.

표 2.29 실험 모델 특징과 상세도면

구분	상세 도면
250H	
	(a) 250mm 높이의 H형 거더, 공극없음

구분	상세 도면
300H	
	(b) 300mm 높이의 H형 거더, 공극없음

구분	상세 도면
신형식	
	(c) 개량형 원형 공극이 있는 거더

○ 기류 조건

- 풍동 실험은 차음터널의 풍환경을 고려하여 약 1~4 m/s에서 등류(Smooth Flow) 기류조건에서 수행되었음. 등류에서는 평균 흐름 방향에 대한 연직방향 평균풍속의 편차가 최대 1% 정도로 측정됨

표 2.30 PIV 및 CFD(Contour)

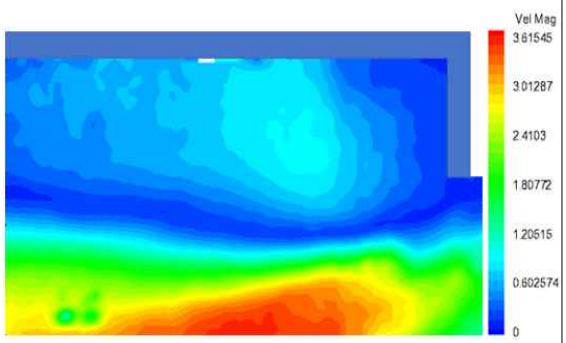
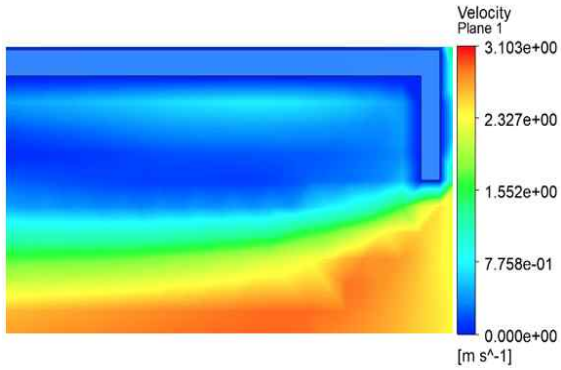
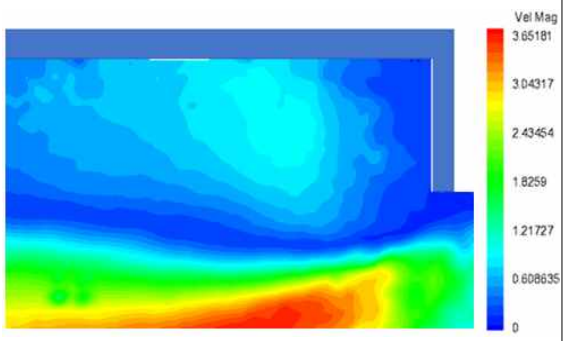
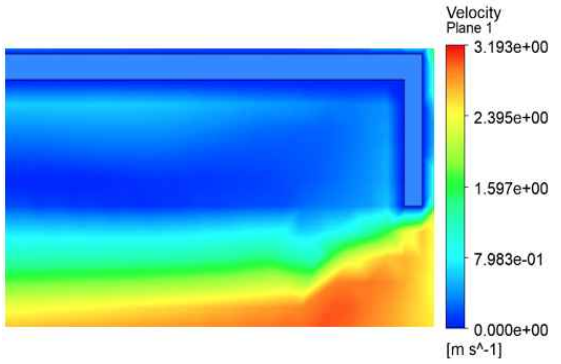
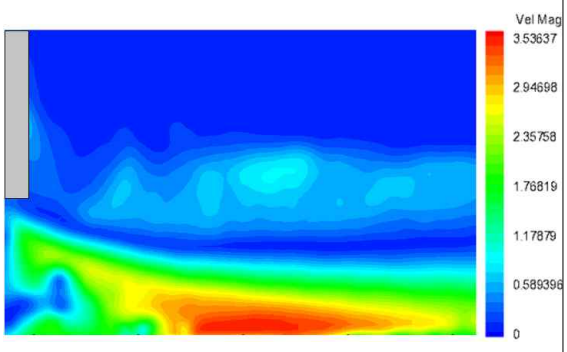
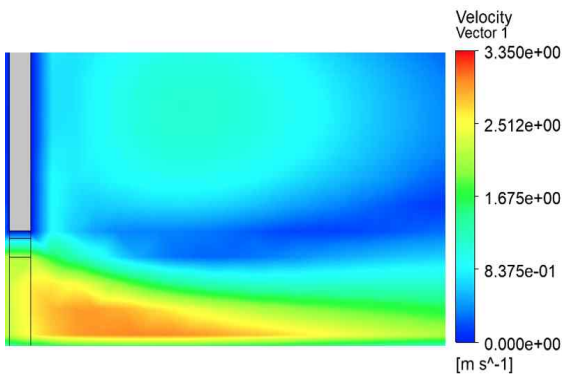
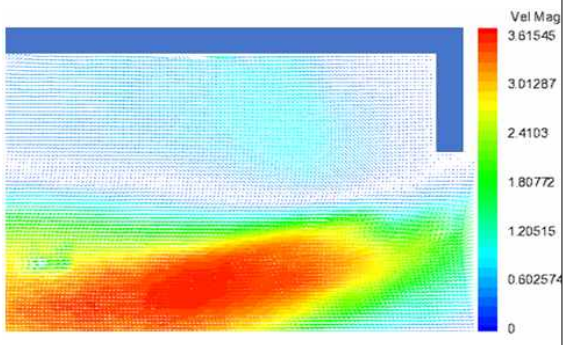
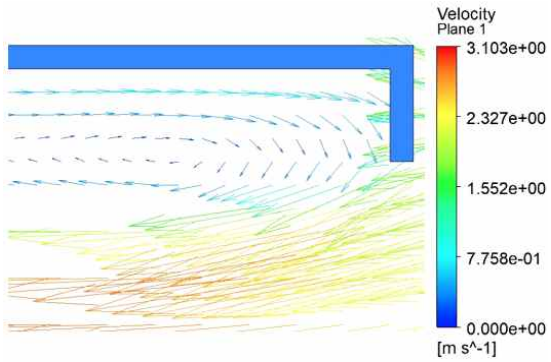
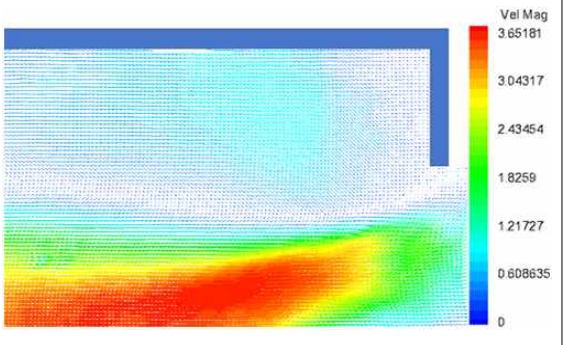
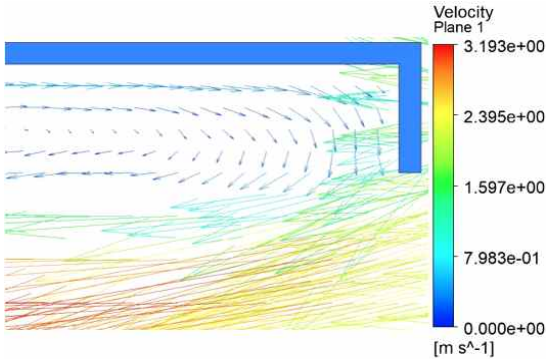
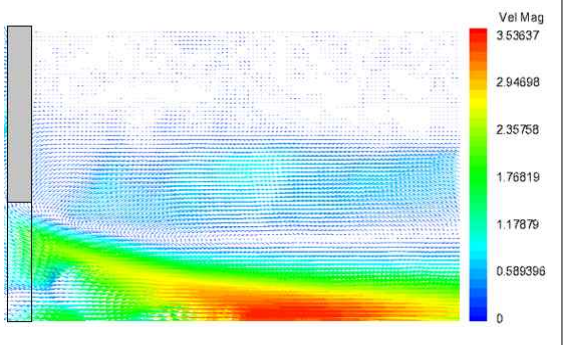
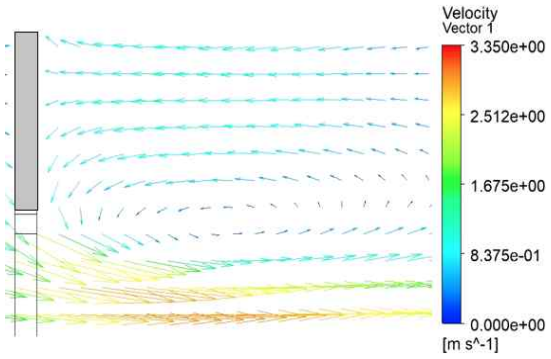
구분	PIV	CFD
250H		
	(a) 평면도	(b) 평면도
300H		
	(c) 평면도	(d) 평면도
신형식		
	(e) 저면도	(f) 저면도

표 2.31 PIV 및 CFD(Vector)

구분	PIV	CFD
250H		
	(a) 평면도	(b) 평면도
300H		
	(c) 평면도	(d) 평면도
신형식		
	(e) 저면도	(f) 저면도

○ 공기 순환 특성 5% 이상 확인

- 공기순환 특성 5% 이상에 관한 아래의 구체적 내용과 결과는 실험 보고서에 의한 전문가 자문 의견 검토 과정을 진행하였으며, 구체적 내용은 아래와 같음.
- 각 케이스별 역류량을 산정한 결과는 아래 표와 같음. 250H와 300H 비교 결과, 거더 높이 증가에 따라 역류량이 증가하는 것을 확인할 수 있음. 이는 PIV와 CFD 결과를 살펴볼 때, 유체의 박리가 거더 높이 끝단에 이뤄지면서 거더 높이만큼의 유체의 Recursive flow가 나타나고, 이로 인한 정체 기류 구간이 넓어지는 현상으로 보임.
- 신형식의 경우 역류량 지수는 공극이 없는 250H와, 300H 사이 값을 나타내며, 신형식의 공기순

환 성능이 H-형 거더와 비교 시 250H~300H 인 것으로 보임. 400㎜의 거더 높이를 가진 신형식이 250㎜~300㎜ H-형 거더 수준의 역류량 지수를 발현한 것은 공극 효과에 의해서 유체의 압력이 해소되어 거더 높이에 따른 역류량 증가분을 일정부분 해소한 현상에 기인한 것으로 보임. 즉 신형식의 경우 거더의 높이는 증가했지만, 공극률이 증가하여 역류량이 낮아진 것으로 보임. 또한 신형식의 경우 H 거더의 유동형태와는 달리 높이방향(z벡터)에서 유체 회전 흐름이 발생됨을 보이며, 이 또한 공극의 효과로 기인한 현상으로 보임.

- 공기흐름 유도장치 적용의 경우, 4가지 실험케이스 중 역류량이 가장 작은 경우로 나타남. 이는 PIV와 CFD 결과에서 볼 수 있듯이 공기흐름 유도장치 형상에 의해서 역류되는 공기가 빈 공간으로 채워지지 않고, 유체가 한 방향으로 거더 사이의 공간에서 배기되는 것을 확인 할 수 있음. (공기 순환 개선 장치에 관한 추가적 사안)

표 2.32 실험 케이스 별 역류량 산정

구분	250H	300H	신형식	공기흐름 유도장치 적용
역류량 (Q_R, m^3/s)	1.08	2.06	1.75	0.44

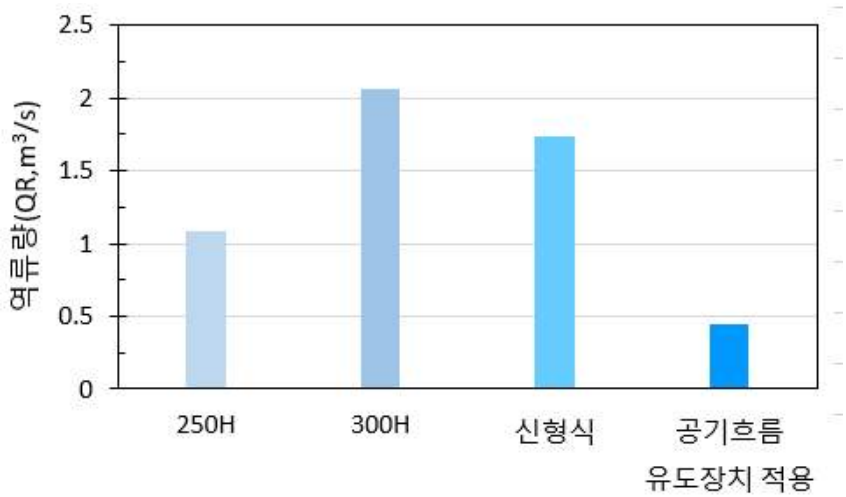


그림 2.53 실험 케이스 별 역류량 산정 도식화

표 2.33 동일 거더 높이에서 비교(400㎜): CFD 해석 결과

구분	형식	역류량	역류량 지수 (K)	공기순환 성능 향상도 (%)	비고
①	H-거더형 (공극률 0%)	6.45	32.26	-	-
②	신형식	1.75	6.3	80% (①-②)/① ×100	H-거더 상 250㎜ ~ 300㎜ 수준
③	공기흐름 유도장치 적용	0.44	2.2	93% (①-③)/① ×100	-

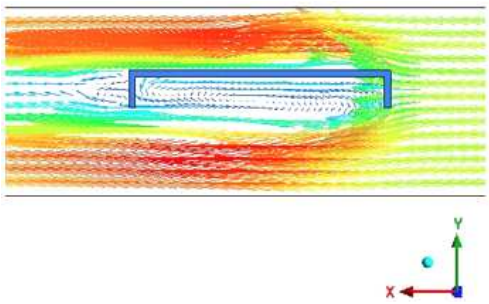
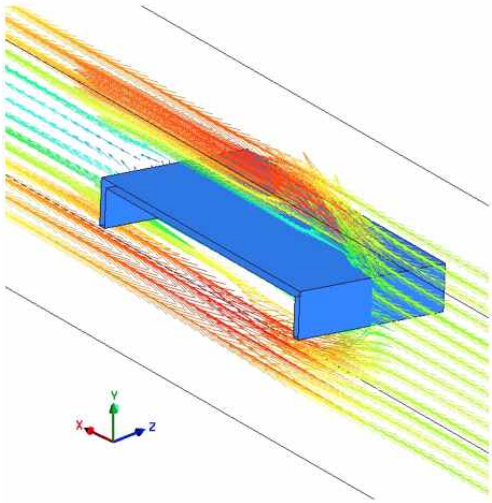
- 구조물에서 국부적으로 정체된 흐름을 정량적으로 나타내는 역류량 지수를 근거하여 공기순환 성능을 확인 함.
- H-형 거더의 높이 증가에 따른 역류량 지수 경향 분석 결과, 250H와 300H 비교에 의한 실험결과와 같이 거더 높이 증가에 따라 역류량 지수가 증가하였고, 이는 CFD와 PIV에서 확인되는 바와 같이 거더 높이가 증가함에 따라 공기의 정체 기류 구간이 넓어지는 현상에 기인한 것으로 보임.
- 신형식의 경우 역류량 지수는 공극이 없는 250H와, 300H 사이 값을 나타내며, 신형식의 공기순환 성능이 H-형 거더와 비교 시 250H~300H 인 것으로 보임. 400㎜의 거더 높이를 가진 신형식이 250㎜~300㎜ H-형 거더 수준의 역류량 지수를 발현한 것은 공극 효과에 의해서 유체의 압력이 해소되어 거더 높이에 따른 역류량 증가분을 일정부분 해소한 현상에 기인한 것으로 보임.
- 공기흐름 유도장치 적용의 경우, 4가지 실험케이스 중 역류량이 가장 작은 경우로 나타나며, 이는 공기흐름 유도장치 형상에 의해서 유체가 거더 사이에 정체되지 않고 배기되는 현상에 의한 것으로 보임.
- 역류량 지수를 통해 평가 할 때, 신형식은 공극이 없는 400㎜ 높이 H-거더에 비해 약 80% 공기순환 성능 향상도를 보였으며, 이는 해당 풍속에서 터널 내 정체되어 있는 공기가 정량적으로 적다는 것을 의미함.

다. 공기 순환 개선 장치 도출

○ 공기 순환 매커니즘 분석

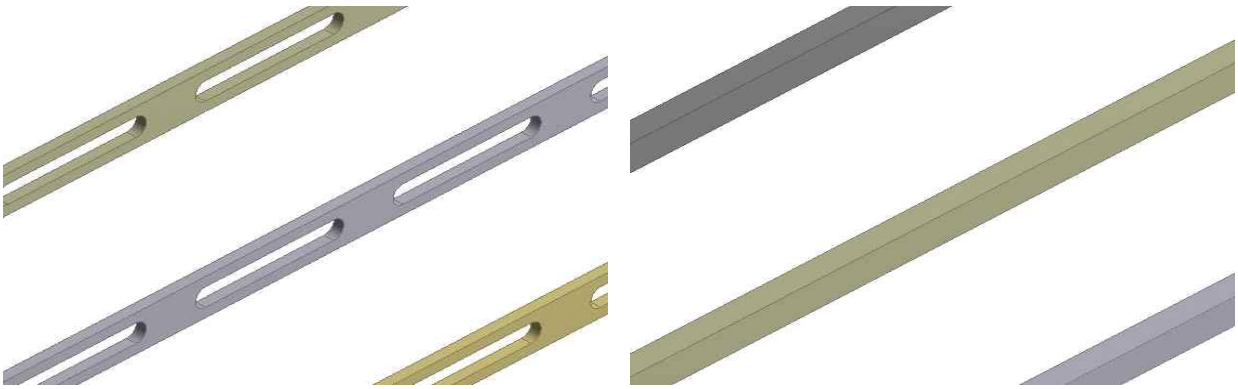
- H-형 거더형상에서 공기 순환의 매커니즘을 살펴본다면, 유체 흐름의 박리가 일어나고 갇혀있는 공기층이 형성되면서 역류량 지수가 높아지는 현상이 나타남.

표 2.34 유체 흐름 해석 결과

구분	실험모델 View	
250H 및 300H		
	(a) 평면도	(b) 전체도

○ 공기흐름 유도 장치 매커니즘 제안

- 상기 현상에 따라 갇혀있는 공기층 방지하기 위해 거더 사이 브레이싱을 설치함으로써 갇혀있는 공기흐름이 줄어들게 되고 역류량 지수가 낮아져 공기순환을 이롭게 할 수 있을 것이라는 기초 아이디어 수립 및 공기흐름 유도장치 제안
- 신형식 차음터널 거더의 경우 곡면으로 뚤린 복부판이 간헐적으로 지지되어 있는 형상임. 비교대상의 차음터널거더는 현재 널리 사용되고 있는 높이 250mm인 H거더와 비교함



(a) 신형식 거더 (b) H 거더

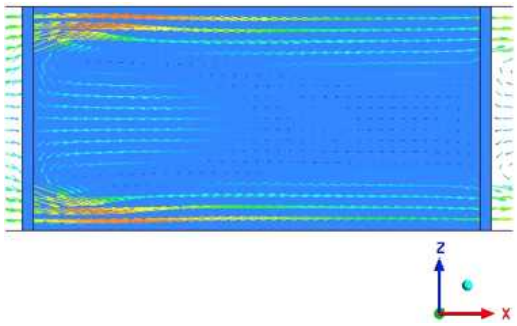
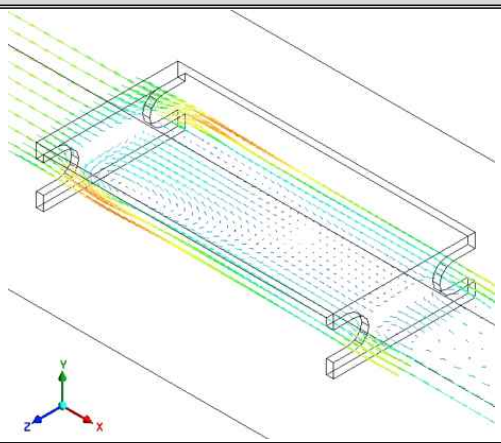
그림 2.53 차음터널 거더 형상

표 2.35 신형식 거더와 H형거더(높이 250㎜)의 역류량지수 비교

	신형식 거더	높이250㎜ H거더
κ	6.3	5.4

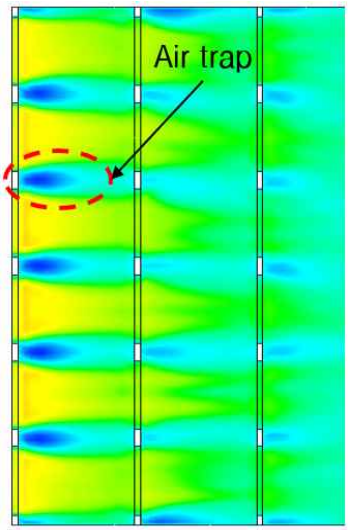
- 해석 결과에 따르면 높이 250mm인 H거더의 역류량지표는 5.4이며 신형식 차음터널 거더는 6.3으로 H거더 보다 역류량 발생이 다소 많은 것으로 나타남. 따라서 신형식 차음터널의 공기순환 성능을 개선하고자 공기순환 유도장치를 적용하여 H거더 보다 공기순환 성능을 향상시키고자 함.

표 2.36 신형식 모델 해석 결과

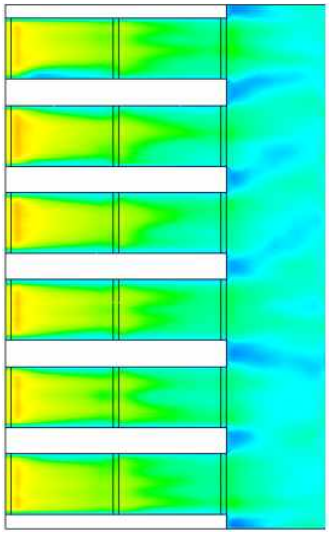
구분	실험모델 View	
신형식		
	(a) 저면도	(b) 전체도

○ 공기흐름 유도 장치 적용성 분석

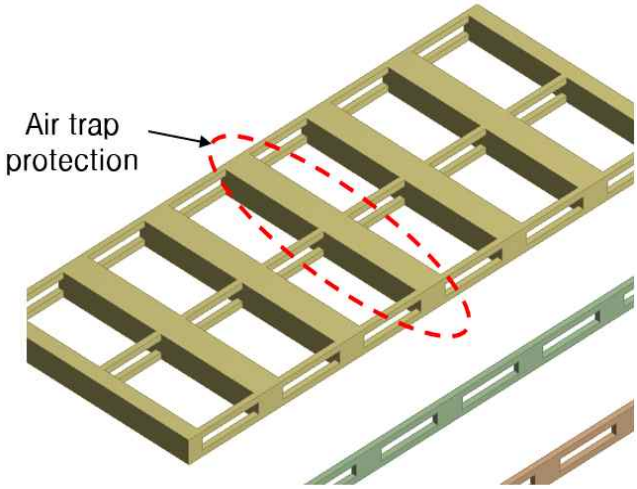
- 아래 공기흐름 유도장치를 통해 CFD해석, PIV 풍동실험 수행
- 그림 2.54 (a)와 그림 2.54는 터널 진입부 상부에서의 유속분포를 나타냄. 그림 2.54 (a)에 보이는바와 같이 터널 집입부 첫 번째 거더에서 공기 갇힘현상이 크게 발생. 따라서, 갇힌공기가 발생하는 부분에 구조물을 보강함으로써 공기순환을 유도하여 역류량 발생을 방지시키고자 함. 공기순환 유도장치는 그림 2.54 (c)에 나타냄.



(a) 공기순환 개선장치 무



(b) 공기순환 개선장치 유



(c) 공기순환 개선장치

그림 2.54 공기순환 개선장치 유/무에 따른 유속분포

표 2.37 거더 형상별 역류량 지수 비교

	신형식 거더	유도장치가 적용된 신형식 거더	H거더
κ	6.3	2.2	5.4

- 표 2.37은 공기순환 유도장치 적용에 따른 역류량 지표 값을 나타내고 있음. 결과에 따르면 공기순환 유도장치를 장착함으로써 60%이상의 공기순환 성능 개선효과가 있었으며 H거더와 비교하였을 경우 50%정도의 공기순환 개선효과 발생

표 2.38 공기흐름 유도장치 상세 도면

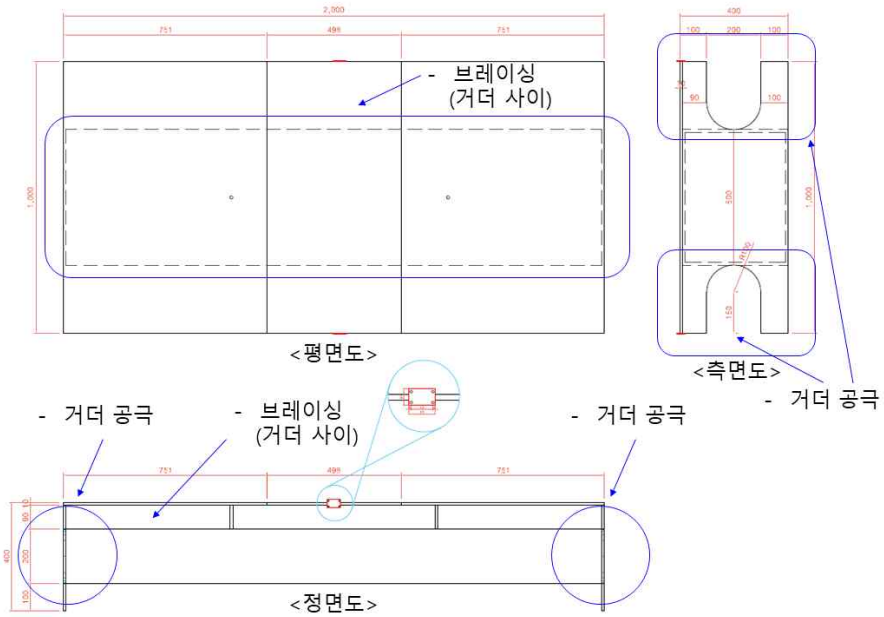
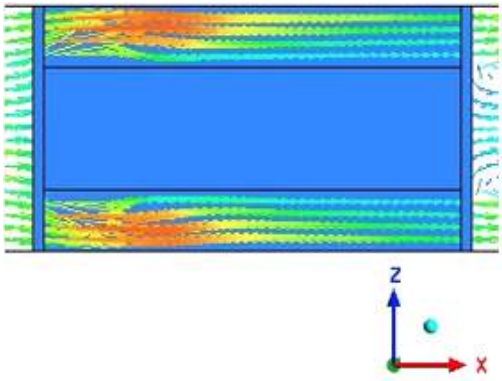
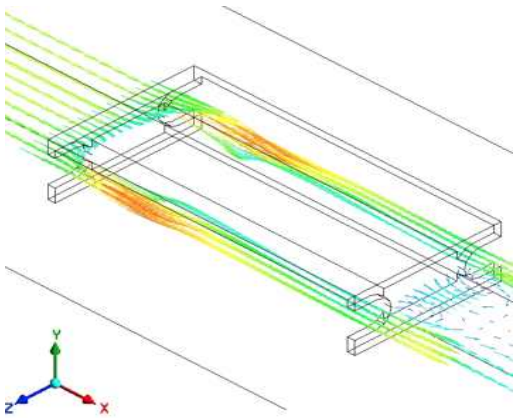
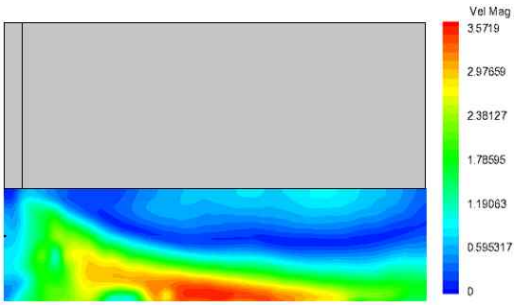
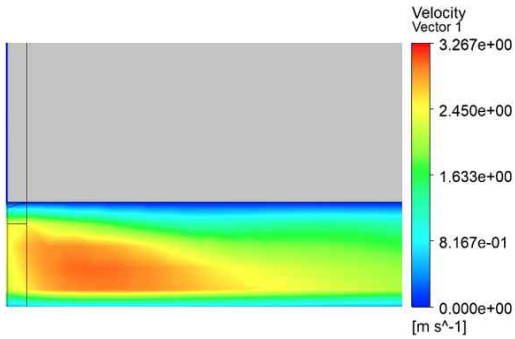
구분	상세 도면
공기흐름 유도장치 적용	
	(a) 개량형 원형 공극이 있는 거더 및 거더 사이 공기흐름 유도장치 적용

표 2.39 공기흐름 유도 장치 해석 결과

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">공기흐름 유도장치 적용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">CFD
해석</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) 저면도</td><td>(b) 전체도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">해석
방법
비교</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(c) PIV</td><td>(d) CFD</td></tr>
</table>

○ 공기 순환 개선 장치 제안 및 효과 검증

- 공극이 없는 250㎜ 높이 H-형 거더와 비교할 경우, 신형식은 역류량 지수가 낮게 평가되어(-17%) 비교적으로 터널 내 공기순환 성능이 약함을 나타내지만, 신형식에 공기흐름 유도장치 적용 결과 공기순환 성능 향상도는 59% 개선되어 250㎜ 높이 H-형 거더보다 공기순환 성능이 향상됨을 보임.

표 2.40 공기흐름 유도장치 적용 시 비교: CFD 해석 결과

구분	형식	역류량	역류량 지수 (K)	공기순환 성능 향상도 (%)	비고
①	250mm 높이 H형 거더	1.08	5.4	-	-
②	신형식	1.75	6.3	-17% (①-②)/① ×100	상용화된 250mm H 거더 보다 큰 역류량 지수 보유
③	공기흐름 유도장치 적용	0.44	2.2	59% (①-③)/① ×100	상용화된 250mm H 거더 보다 작은 역류량 지수 보유

라. 공기 순환 개선 형상에 따른 차음터널 천장부 양력 확인

○ 양력의 수식적 정의 및 실험환경

- 4.1 의사양력방향 공기력 및 의사양력계수의 정의
- 의사양력계수는 정적 공기력 계수 중 의사양력(Lift) 방향을 의미하며, 아래와 같이 정의됨.

$$C_L = \frac{F_L}{1/2\rho U^2 B} \qquad (12)$$

여기서,

C_L = 의사양력 계수

F_L = 평균 의사양력방향 공기력

ρ = 공기 밀도 [kg/m2]

U = 평균 풍속 [m/s]

B = 모형의 단면 폭 [m]

- 의사양력(F_L)은 3분력계를 통하여 각각 측정되며, 이 값들은 위의 식에 따라 계산됨. 구조물 영각(Angle of Attack)은 0도(Degree)에서 실험이 수행되었으며, 모형의 단면 폭 (B)는 실험 모델을 기반으로 1cm로 계산되었음. 위의 의사양력계수는 평균 의사양력방향 공기력, 공기 밀도, 평균 풍속, 모형의 단면 폭에 상응하여 계산됨. 평균 의사양력방향 공기력(FL)의 경우 천장부를 들어올리는 의사양력의 크기를 뉴턴 값으로 표현하였으며, 의사양력계수는 형상에 대한 값으로 무차원임. 본 연구에서는 의사양력계수를 통해 터널 천장부가 받는 풍하중을 정량화하여 평가하고자 하였으며, 이는 교량역학/항공역학에서 사용되는 의미의 의사양력계수와 구분하기 위해 의사의사양력계수로 명칭하여 나타냄.



삼분력계(로드셀) 풍압 하중 측정 장치



풍속계



데이터 수집용 엠프



칼리브레이터

그림 2.54 양력 확인 장비

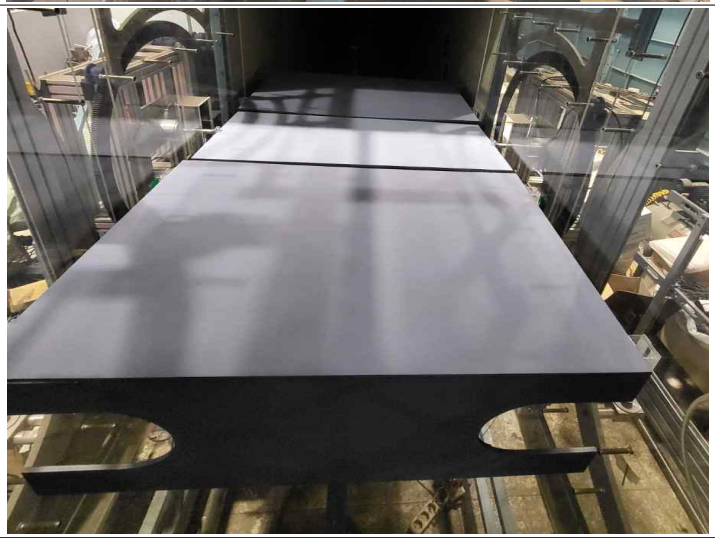
구분	형상 설명	실험 설치 전경
250H 및 300H	H형 거더	
	H형 거더 (차량 형상 효과 모사)	
신형식	개량형 원형 거더	
	개량형 원형 거더 (차량 형상 효과 모사)	

표 113

구분	형상 설명	실험 설치 전경
공기흐름 유도장치 적용	경간 사이 브레이 적용 거더	
	경간 사이 브레이 적용 거더 (차량 형상 효과 모사)	

그림 2.55 실섬 실비 전경

○ H-Beam 형식과 신형식 거더 형상별 천장부 양력 비교

- 250H 실험결과

- 차량형상 모사 유무 모두 풍속 증가에 따라 평균 의사양력방향 공기력(FL)은 증가하였으며, 이는 풍속이 증가함에 따라 하중이 증가함을 나타냄. 이를 의사양력 계수로 표현하면 차량형상 모사하지 않은 경우 평균 의사양력계수는 8.112, 모사한 경우 평균 의사양력계수는 57.969를 나타냄

표 2.41 풍속별 실험결과(250H)

차량모사 X				차량모사 ○			
Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값	Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값
1.029	0.058	8.892	-	0.990	0.346	57.662	-
1.963	0.217	9.196		1.903	1.226	55.249	
3.019	0.460	8.248	8.112	2.945	3.051	57.457	57.969
4.029	0.685	6.893		3.899	5.697	61.201	

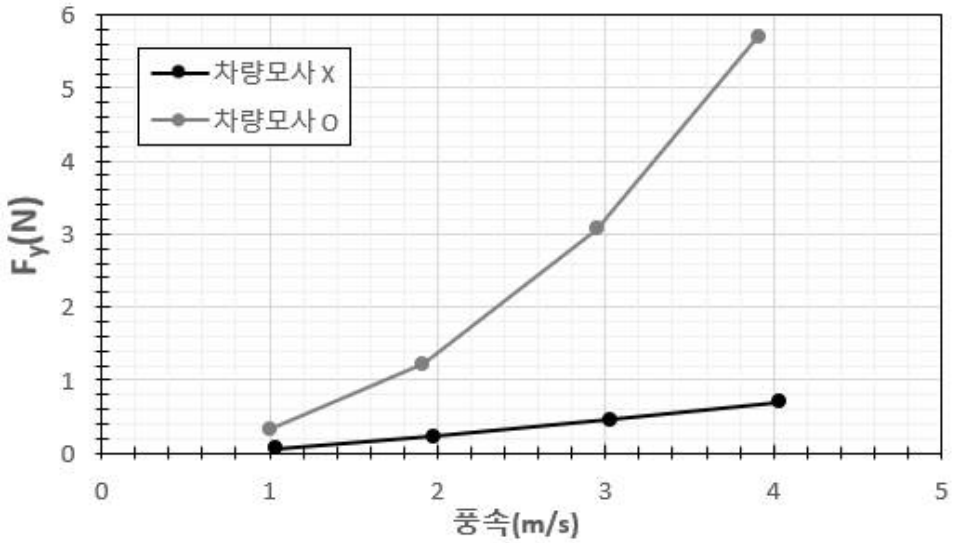


그림 2.55 풍속별 평균 의사양력방향 공기력(250H)

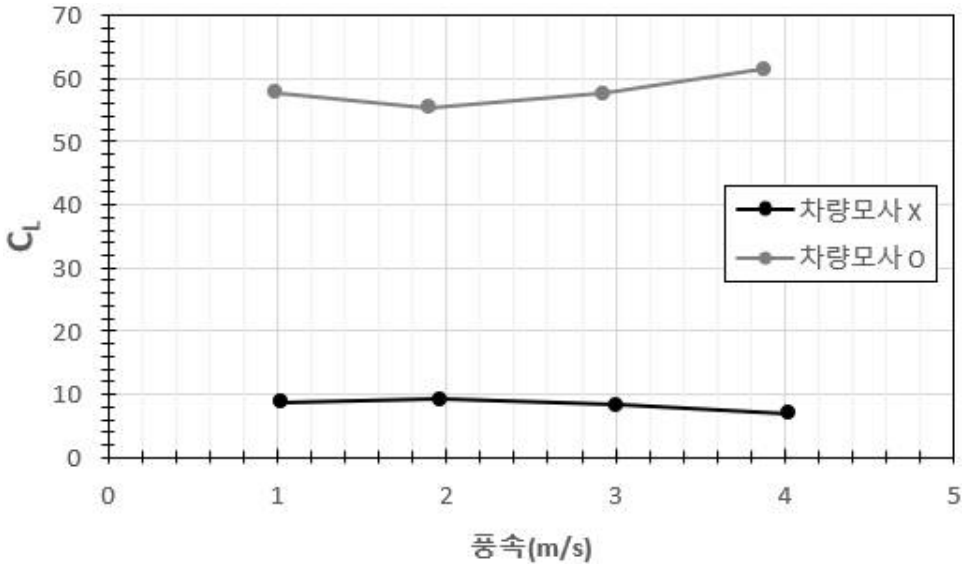


그림 2.56 풍속별 의사양력 계수, 평균 의사양력 계수(250H)

- 300H 실험결과

  - 차량형상 모사 하지 않은 경우 풍속에 따라 평균 의사양력방향 공기력(FL)이 일정하게 도출되었으며, 이를 의사양력 계수로 표현하면 차량형상 모사하지 않은 경우 의사양력계수는 -1.244를 나타냄

표 2.42 풍속별 실험결과(300H)

차량모사 X				차량모사 O			
Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값	Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값
0.991	-0.002	4.194	-	-	-	-	-
1.905	-0.006	1.450	-1.244	-	-	-	-
2.978	-0.013	-1.793		-	-	-	
4.041	-0.023	-3.389		-	-	-	

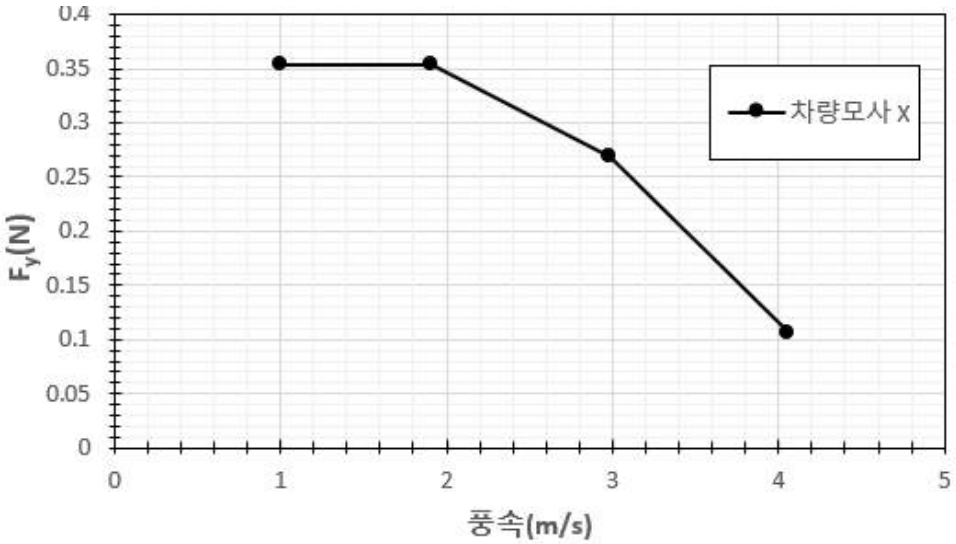


그림 2.57 풍속별 평균 의사양력방향 공기력(300H)

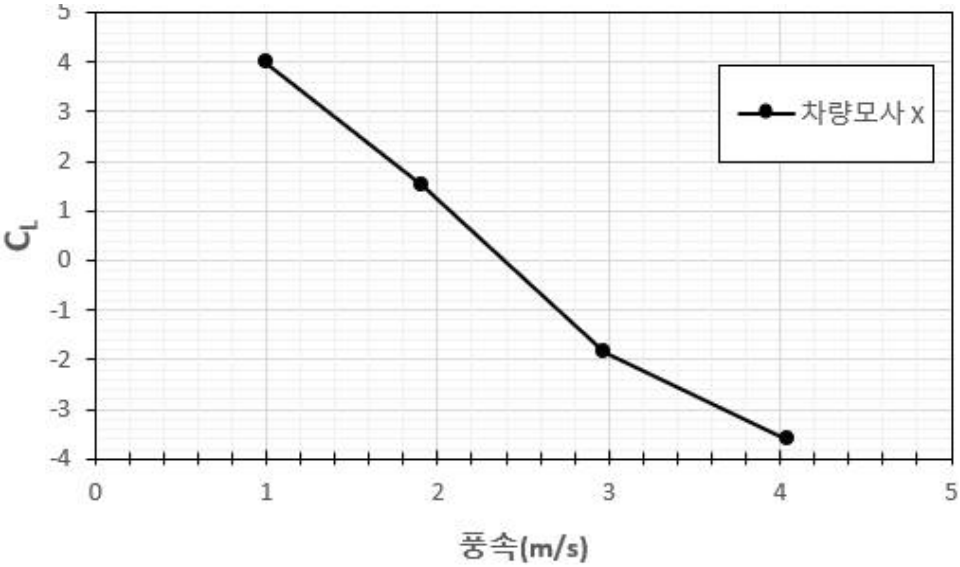


그림 2.58 풍속별 의사양력 계수, 평균 의사양력 계수(300H)

- 신형식 실험결과

- 차량형상 모사하지 않은 경우 풍속에 따라 평균 의사양력방향 공기력(FL)이 일정하게 도출되었으며, 차량형상 모사의 경우 평균 의사양력방향 공기력(FL)은 증가 경향을 나타냄. 이를 의사양력 계수로 표현하면 차량형상 모사하지 않은 경우 평균 의사양력계수는 -0.049, 모사하지 않은 경우 평균 의사양력계수는 53.543을 나타냄

표 2.43 풍속별 실험결과(신형식)

차량모사 X				차량모사 ○			
Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값	Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값
1.015	-0.007	-1.180	-	0.990	0.325	54.236	-
1.909	0.018	0.793		1.873	1.112	51.753	
2.970	0.036	0.658	-0.049	2.919	2.831	54.248	53.543
3.973	-0.155	-1.598		3.886	5.052	54.628	

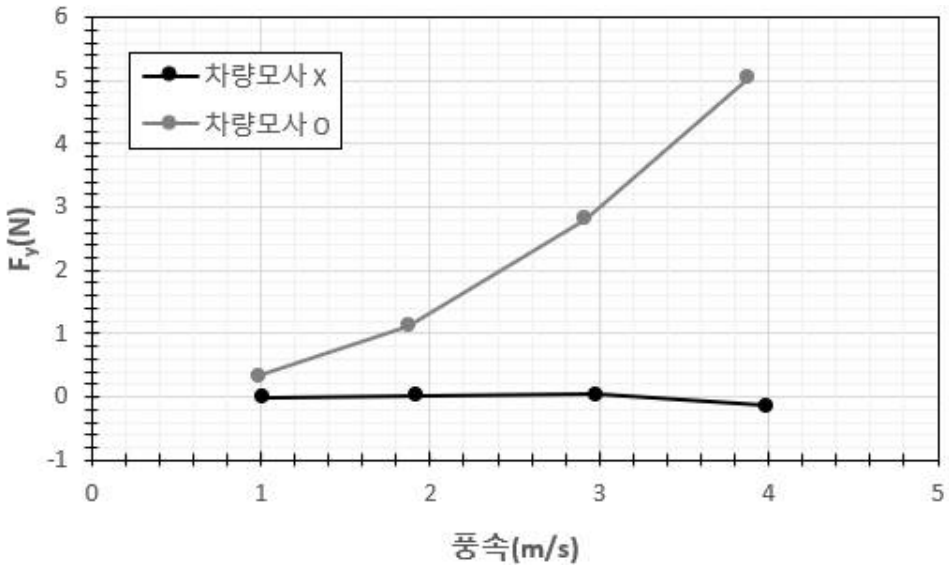


그림 2.59 풍속별 평균 의사양력방향 공기력(신형식)

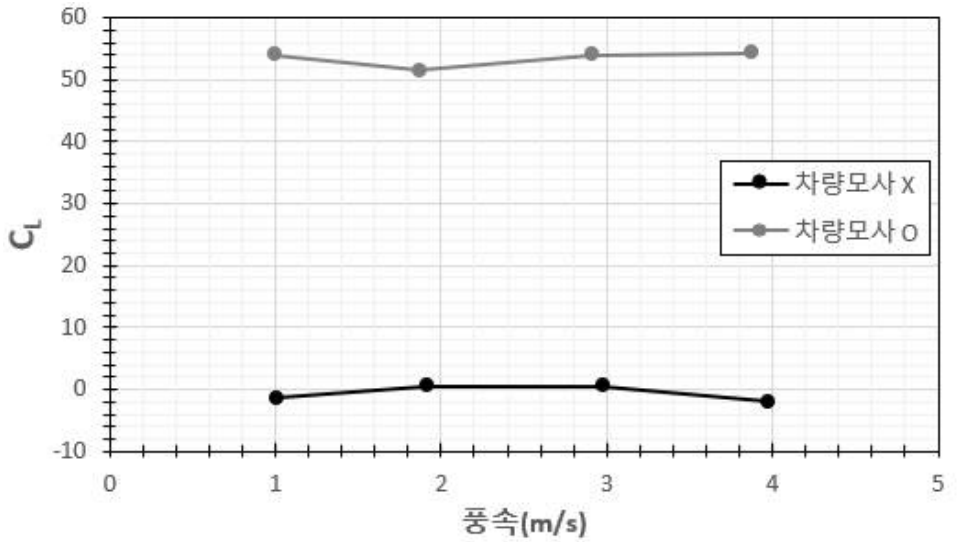


그림 2.60 풍속별 의사양력 계수, 평균 의사양력 계수(신형식)

- 공기흐름 유도장치 적용 실험결과

- 차량형상 모사 유무 모두 풍속 증가에 따라 평균 의사양력방향 공기력(FL)은 증가하였으며, 이

는 풍속이 증가함에 따라 하중이 증가함을 나타냄. 이를 의사양력 계수로 표현하면 차량형상 모사하지 않은 경우 평균 의사양력계수는 11.680, 모사한 경우 평균 의사양력계수는 33.992를 나타냄

표 2.44 풍속별 실험결과(공기흐름 유도장치 적용)

차량모사 X				차량모사 ㅇ			
Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값	Velocity (m/s)	FL (N)	CL	CL 평균값
1.007	0.039	6.353	-	0.981	0.196	33.182	-
1.928	0.283	12.438		1.851	0.690	32.855	
2.996	0.615	11.180	11.680	2.904	1.816	35.164	33.992
4.048	1.147	11.422		3.978	3.291	33.956	

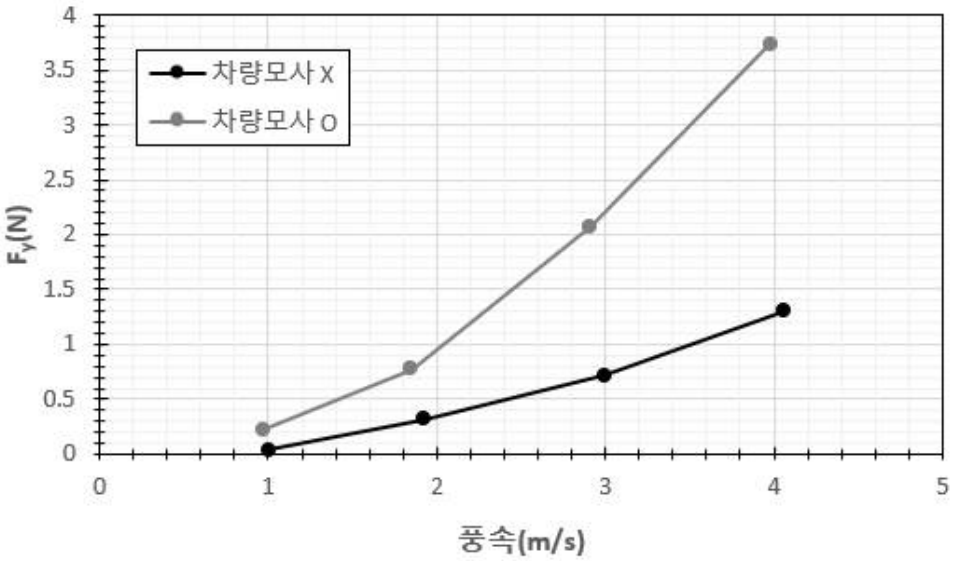


그림 2.61 풍속별 평균 의사양력방향 공기력(공기흐름 유도장치 적용)

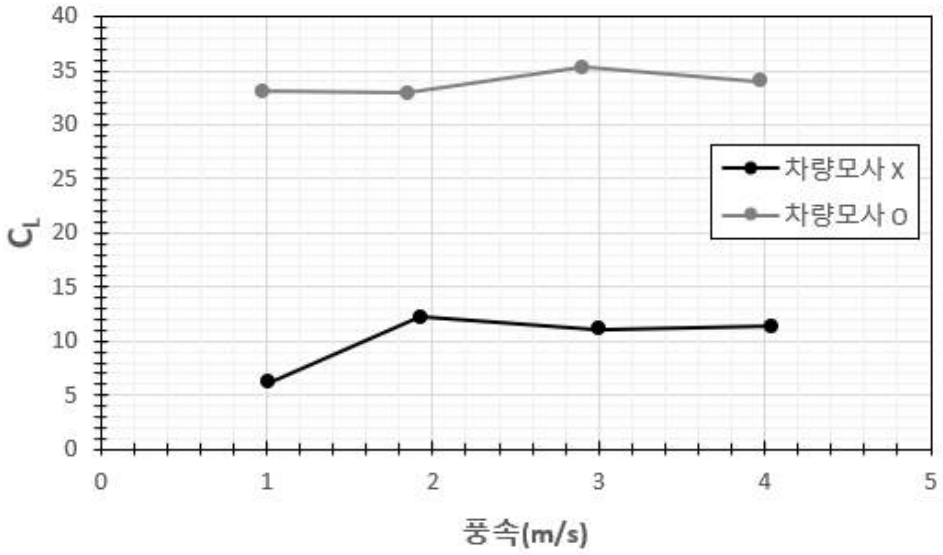


그림 2.62 풍속별 의사양력 계수, 평균 의사양력 계수(공기흐름 유도장치 적용)

○ 차음터널 입구측 차량 형상 모사 유무에 의한 천장부 양력 비교

- 자연 환기 상태의 터널 형상(차량형상 효과 모사 없음)의 경우, 의사양력의 크기는 '공기흐름 유도장치 적용 > 250H > 300H > 신형식' 순서로 실험결과 도출되었음. 또한 차량형상 모사의 경우, 의사양력의 크기는 '250H > 신형식 > 공기흐름 유도장치 적용' 순서로 실험결과 도출되었음. 차량형상 모사한 경우와 모사하지 않은 경우 모두에 대하여, 신형식의 형태가 H형 거더 형태에 비해 작은 의사양력계수(CL)값을 나타냄. 이는 천장 하중에 대한 정적 풍하중을 비교적 적게 받는 것으로 볼 수 있으므로, 천장 하중에 대한 부담이 적은 것으로 나타냄. 이는 거더의 공극을 이용하는 신형식의 형태가 공극이 없는 H형 거더의 형태보다 공기의 압력 해소 효과가 클 것으로 예상할 수 있으며 차후 효과에 대한 검증 연구가 필요함. 특히 공기흐름 유도장치 적용의 경우 차량형상 모사하지 않은 경우에 비하여 차량모사한 경우 의사양력계수의 증가 폭이 작은 것으로 나타나며, 이는 차량형상 모사에 따른 하중의 변화가 작음을 나타내므로 비교적 일정한 하중을 받음을 나타남.
- 본 실험 터널 형상의 경우, 거더 형상에 따라 터널 천장부 의사양력의 크기가 산정되었으며 실험결과는 아래와 같음. 실험결과 신형식 형상의 경우 상용화된 공극이 없는 H-거더(250H, 300H)에 비하여 작은 의사양력계수 값을 나타내므로, 실험된 풍속에서 의사양력방향의 정적 풍하중을 적게 받는 것으로 나타냄.

- 자연 환기 상태의 터널 형상(차량형상 효과 모사 없음)의 경우

  : 공기흐름 유도장치 적용 > 250H > 300H > 신형식

- 차량형상 모사의 경우: 250H > 신형식 > 공기흐름 유도장치 적용

표 2.45 실험 케이스별 평균 의사양력 계수 비교

구분	CL 평균값	
	차량모사 X	차량모사 O
250H	8.112	57.969
300H	-1.244	-
신형식	-0.049	53.543
공기흐름 유도장치 적용	11.680	33.992

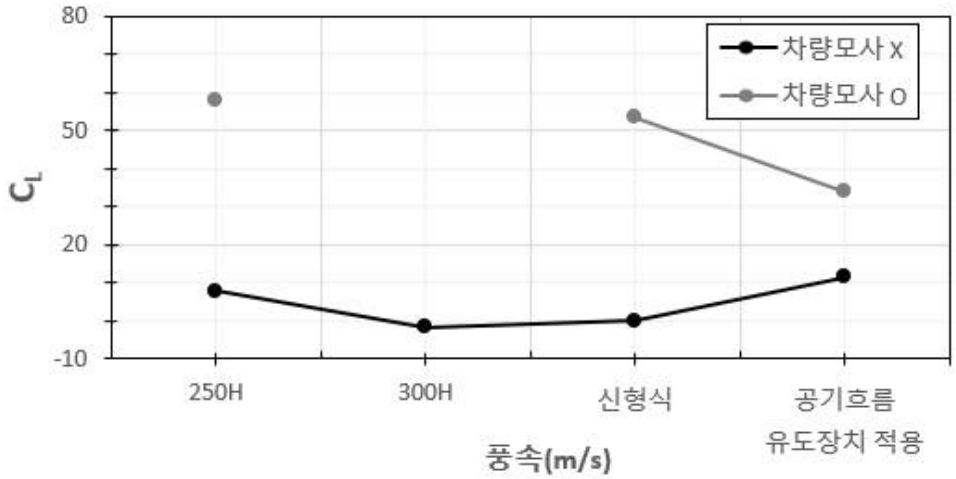


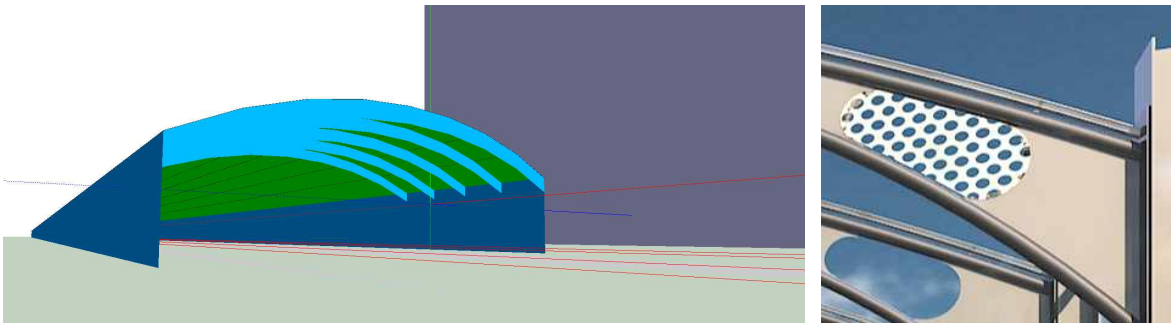
그림 2.63 실험 케이스별 평균 의사양력 계수 비교

2.2.3 토출부 소음 평가 및 개선 방안

가. 소음해석 개요 및 소음영향 평가

○ **소음해석 개요**

- 차음터널은 터널 내부가 밀폐되어 있어 내부 음 에너지가 터널 진·출입부 쪽으로 전파되는 구조
  → 차음터널 진·출입부는 상대적으로 큰 소음이 토출됨
- 토출소음을 제어하기 위해 차음터널 끝단에 타공형 흡음체를 설치하여 토출 소음 저감

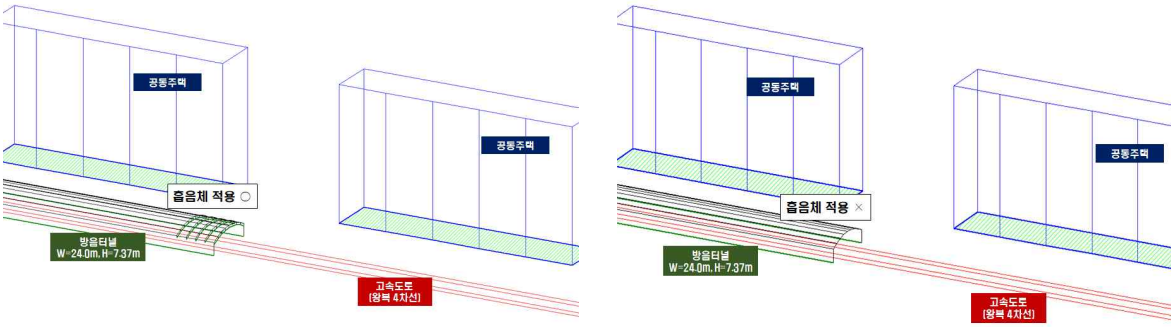


(a) 차음터널 흡음체 설치도 (b) 타공형 흡음체

그림 2.64 차음터널 타공형 흡음체

○ **소음 영향 평가**

- 토출소음 저감 효과를 검토하기 위해 SoundPLAN을 이용하여 소음해석 수행
- 소음해석 모델은 해석모델은 왕복 4차로 고속도로 상에 설치된 방음터널을 가정하여 해석 수행
  이때 차음터널 주변에 20층 공동주택(도로 이격거리 30m)이 존재한다고 가정



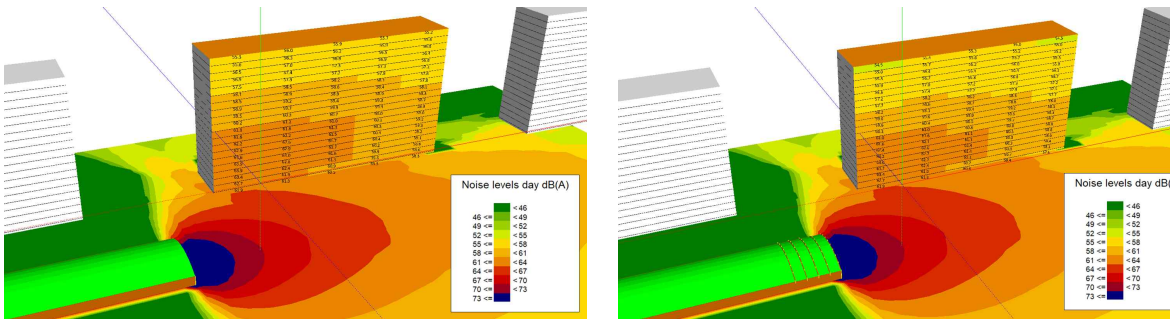
(a) 소음해석 모형(흡음체 적용) (b) 소음해석 모형(흡음체 미적용)

그림 2.65 소음해석 모형

나. 소음평가 결과

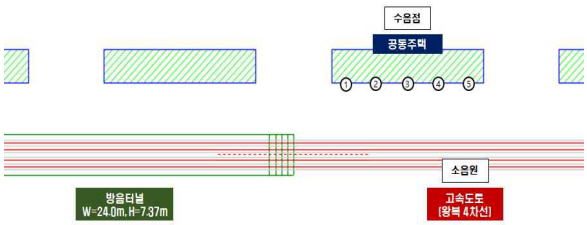
○ **소음도 해석 결과**

- 타공형 흡음체 설치 전·후 소음 예측결과를 그림2.66~그림2.67에 나타냄

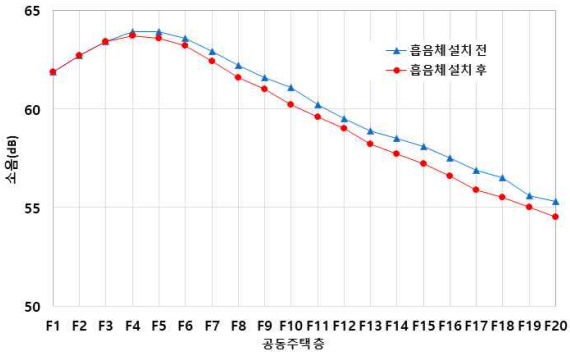


(a) 타공형 흡음체 설치 전 (b) 타공형 흡음체 설치 후

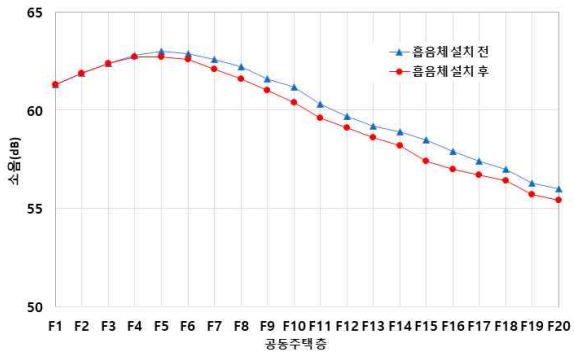
그림 2.66 타공형 흡음체 설치 전· 소음예측 결과(주간)



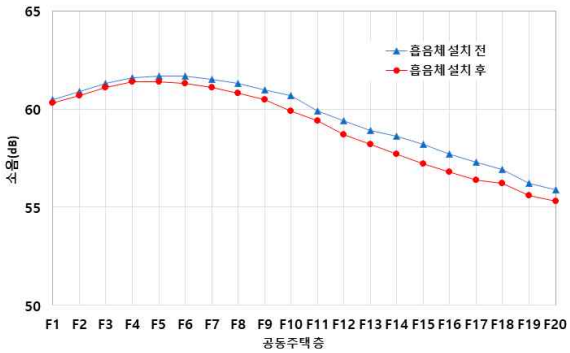
(a) 위치도



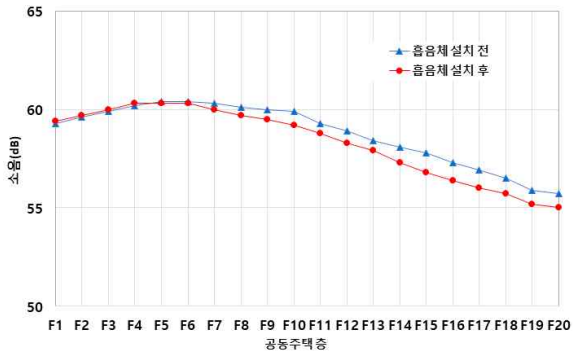
(b) 1번 위치



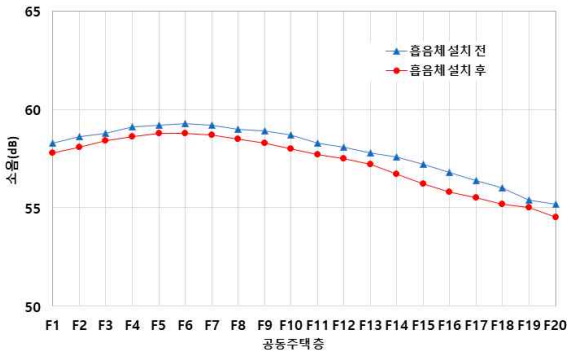
(c) 2번 위치



(d) 3번 위치

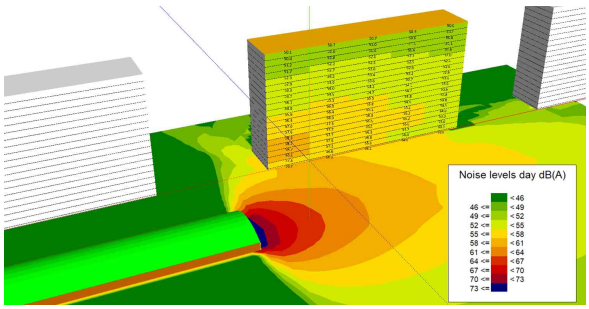


(e) 4번 위치

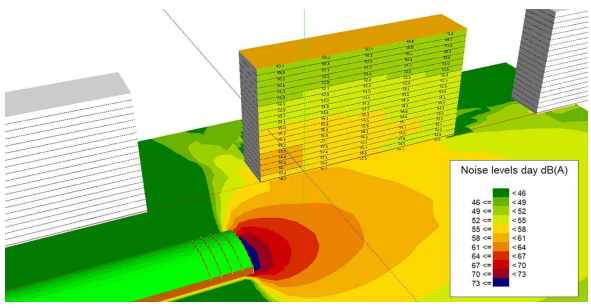


(f) 5번 위치

그림. XX 흡음체 설치 전·후 소음도(주간)

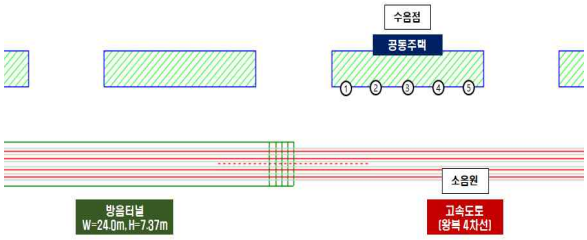


(a) 타공형 흡음체 설치 전

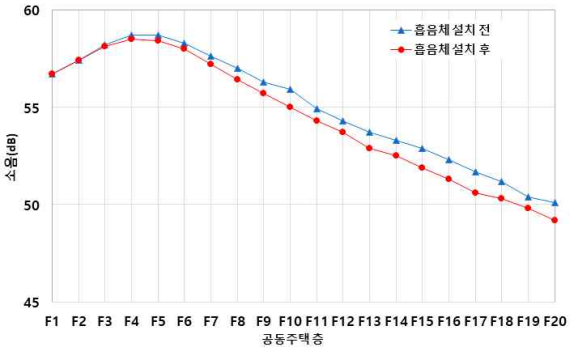


(b) 타공형 흡음체 설치 후

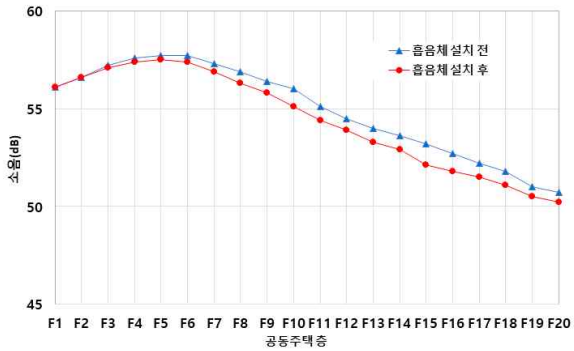
그림. XX 흡음체 설치 후 소음예측 결과(야간)



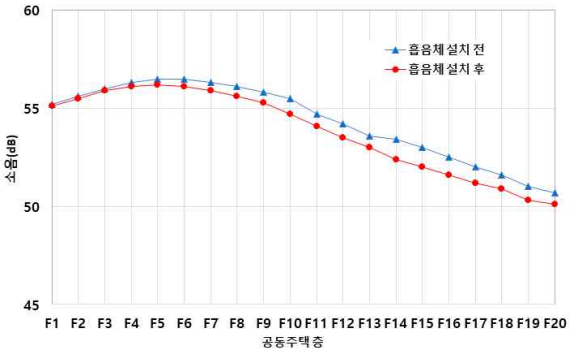
(a) 위치도



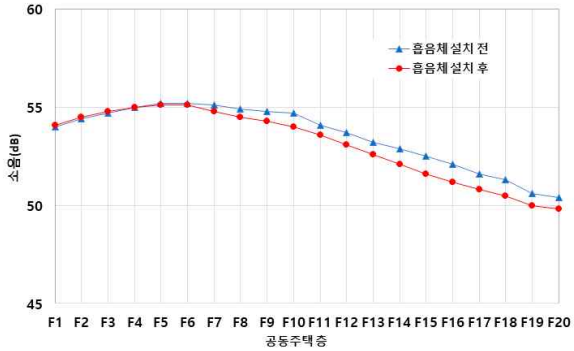
(b) 1번 위치



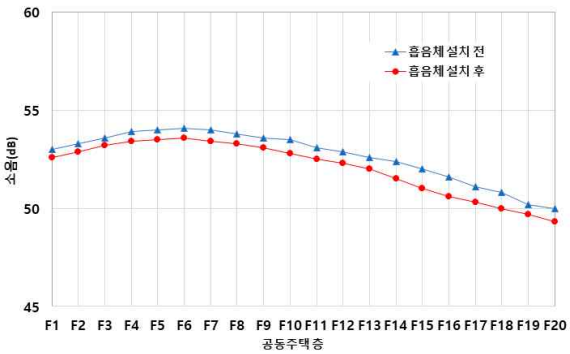
(c) 2번 위치



(d) 3번 위치



(e) 4번 위치



(f) 5번 위치

그림 2.67 흡음체 설치 전·후 소음도(야간)

- 토출소음 저감을 위해 타공형 흡음체 적용 전·후의 소음을 예측한 결과, 15층~17층 사이에서 가장 큰 효과가 나타났으며, 최대 1.1dB 정도의 소음 저감 효과 확인
- 소음저감 시설 변화에 따른 공동주택 전체에 발생하는 소음도 변화를 확인한 결과, 표 2.45와 같이 타공형흡음체를 설치할 경우 추가적으로 약 12%의 소음저감 효과가 나타나는 것으로 분석됨

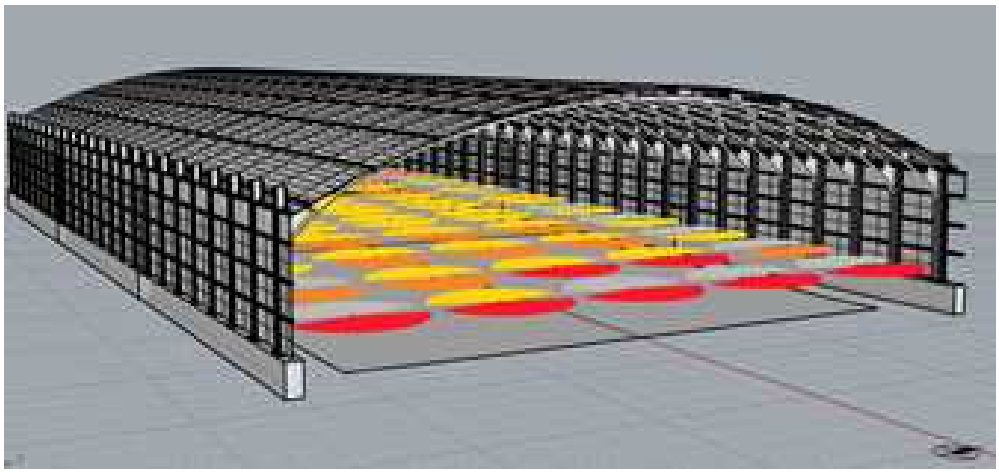
표 2.45 흡음체 설치로 인한 소음 저감 효율

구 분	1. 차음터널 설치 후 소음도 저감량	2. 흡음체 추가설치 후 소음도 저감량	흡음체 설치로 인한 저감 효율
공동주택 전체세대	4.2dB	4.7dB	약 12% 증가

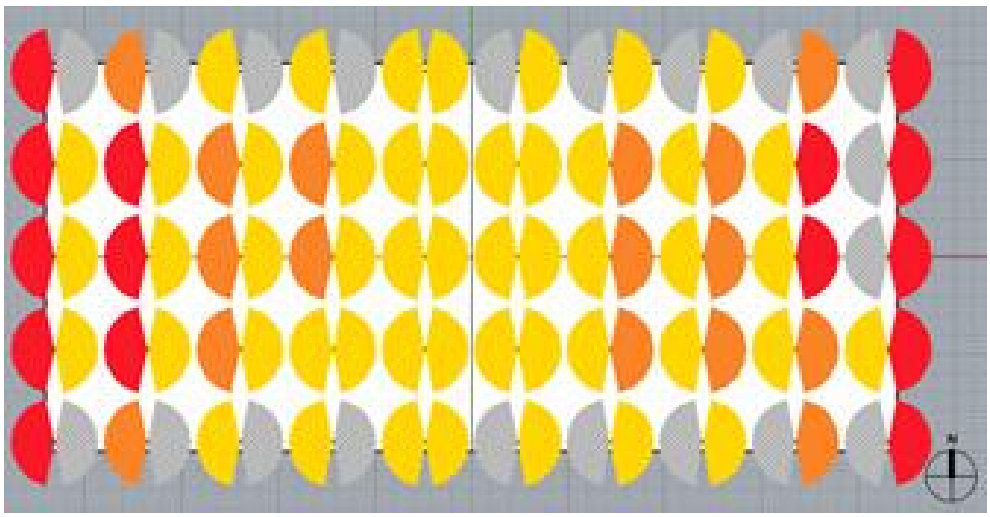
2.2.4 운전자 시인성 평가

○ **천정면 및 벽면 투명판의 광투과율에 따른 조도 편차 분석**

- 시간대별 최대 조도와 최소 조도와의 차를 조도 편차로 정의하여, 신형식과 H-Beam 형식 두 개의 터널을 대상으로 조도 편차를 분석함.
- 운전자의 안전을 고려하여 조도 편차가 작은 터널을 상대적으로 우수한 터널로 평가함.
- 조도 편차 분석은 수직면 1.5m (운전자의 눈높이)에서 차음터널의 진입부, 내부, 진출부를 총 50 sector로 나누어 연간/시간대별 분석을 실시함 (그림2.66 참조)
- 도로설계편람 및 방음시설 성능 및 설치기준에 제시된 85% 광투과율을 기준으로 5가지 시나리오를 설계하여 천정면 및 벽면 투명판의 광투과율에 따른 조도 편차 분석을 실시함
- 광투과율에 따른 조도편차를 분석하기 위하여 재료를 달리하여 다음 5가지의 시나리오를 설계하여 시뮬레이션을 수행함: (1) 광투과율 87.8% (sungate 400), (2) 광투과율 76.8% (solexia), (3) 광투과율 67.4% (Azuria), (4)광투과율 66.3% (Atlantica), (5) 광투과율 53.4% (Solarbronze) (그림 2.67 참조).
- 전천공 조도와 그에 따른 차음터널 내의 조도를 정확하게 평가하기 위하여 도시별 장기간의 측정데이터가 필요함. 이를 위하여 본 연구에서는 Radiance 프로그램에 내장되어있는 Perez all-weather sky model을 활용하여 매시각별 조도를 분석함.

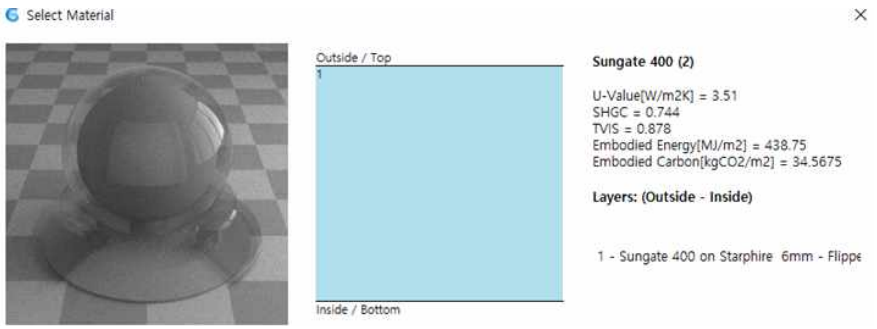


투시도

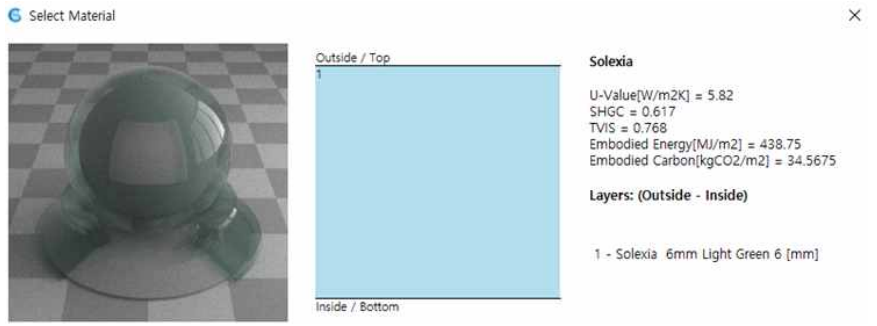


평면도

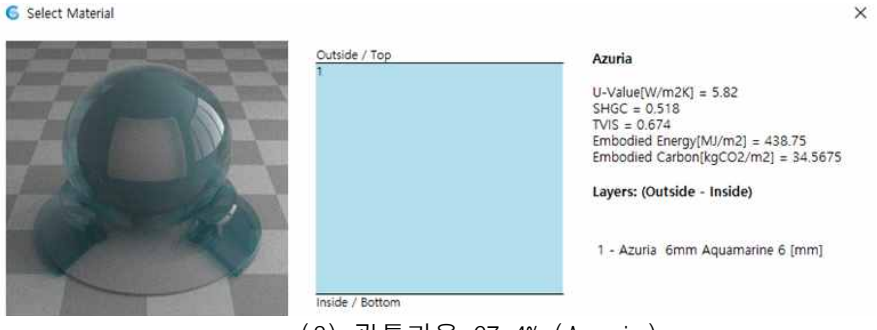
그림 2.66 차음터널의 진입부, 내부, 진출부 50 sector



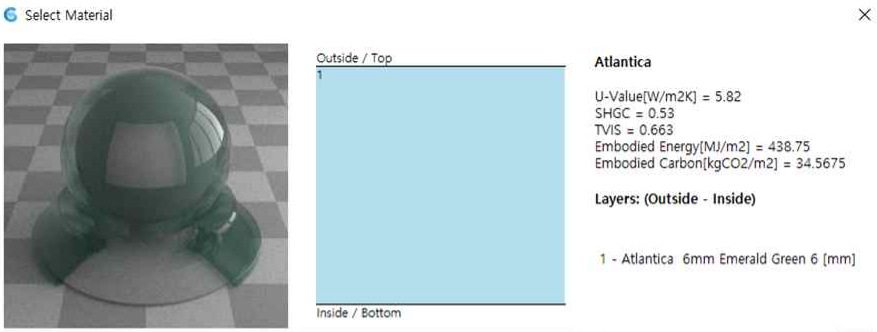
(1) 광투과율 87.8% (sungate 400)



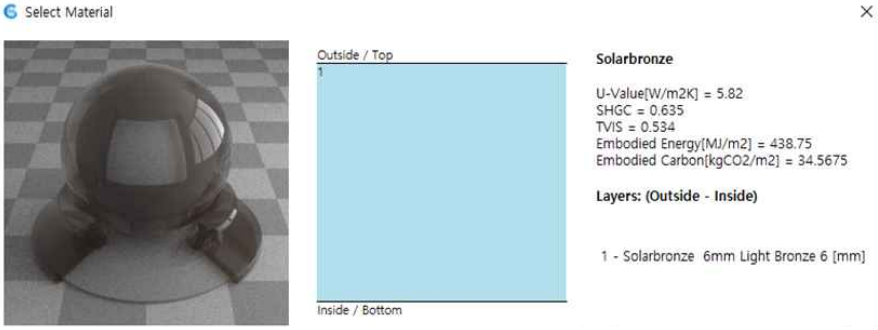
(2) 광투과율 76.8% (solexia)



(3) 광투과율 67.4% (Azuria)



(4)광투과율 66.3% (Atlantica)

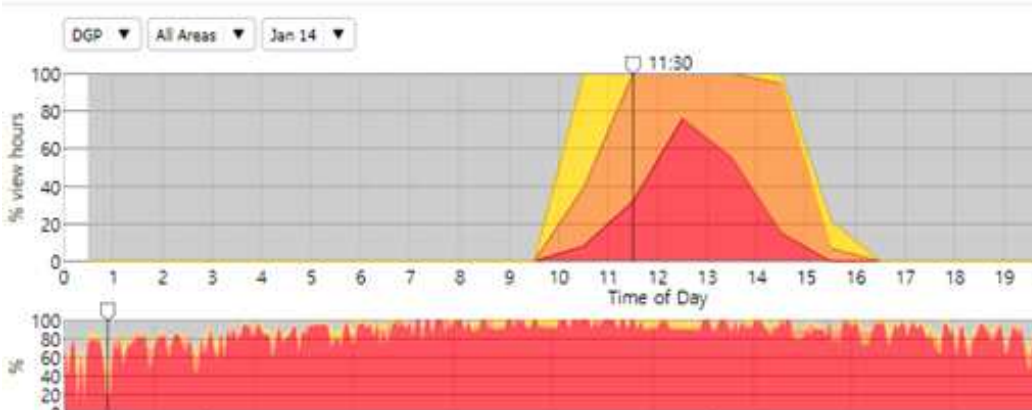


(5) 광투과율 53.4% (Solarbronze)

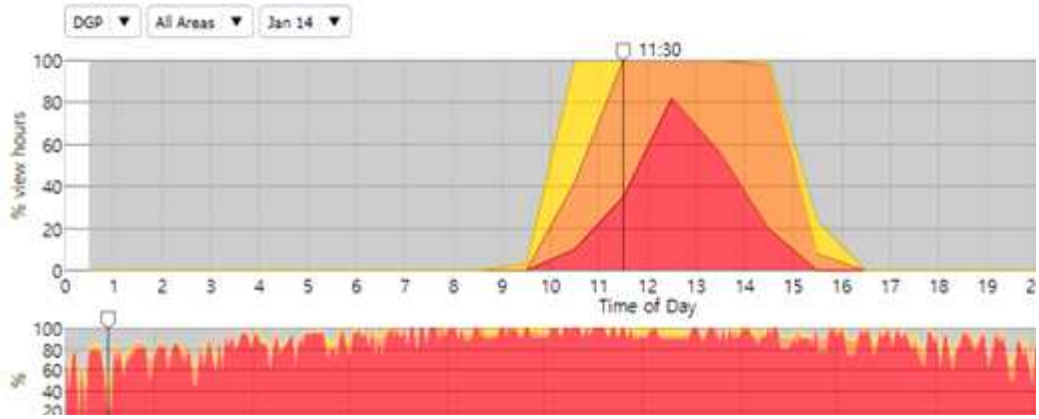
그림 2.67 천정면 및 벽면 투명판의 광투과율

○ **천정면 및 벽면 투명판의 광투과율에 따른 조도 편차 분석 결과**

- 광투과율에 따른 조도편차를 분석하기 위하여 재료를 달리하여 다음 5가지의 시나리오를 설계하여 시뮬레이션을 수행하였고, 특정 시간대 조도의 최대값과 최소값의 차를 조도편차로 계산하였을 때, 시나리오별 결과는 다음과 같음 (그림 2.68 참조).
- 예를들어 광투과율 67.4% (Azuria)을 적용한 신형식과 H-Beam 형식의 조도편차는 2021년 2월 4일 12시 30분에 각각 4320 lux, 4751 lux로 계산되었음. 이를 비율로 계산하면 신형식이 H-Beam형식에 비해 9.98% 조도 편차가 적은 것으로 분석됨.
- (1) 광투과율 87.8% (sungate 400): 조도편차 측면에서 신형식이 유리한 것으로 분석됨. 신형식과 H-Beam 형식의 조도편차의 비율은 최대 133%에서 상위 10번째는 24.09%로 분석됨.
- (2) 광투과율 76.8% (solexia): 조도편차 측면에서 신형식이 유리한 것으로 분석됨. 신형식과 H-Beam 형식의 조도편차의 비율은 최대 195%에서 상위 10번째는 143%로 분석됨.
- (3) 광투과율 67.4% (Azuria): 조도편차 측면에서 신형식이 유리한 것으로 분석됨.신형식과 H-Beam 형식의 조도편차의 비율은 최대 87.4%에서 상위 10번째는 18.5%인 것으로 분석됨.
- (4)광투과율 66.3% (Atlantica): 조도편차 측면에서 H-Beam 형식이 유리한 것으로 분석됨. H-Beam 형식과 신형식의 조도편차의 비율은 최대 86.79%에서 상위 10번째는 20.52%로 분석됨.
- (5) 광투과율 53.4% (Solarbronze): 조도편차 측면에서 H-Beam 형식이 유리한 것으로 분석됨. H-Beam 형식과 신형식의 조도편차의 비율은 최대 33.2%에서 상위 10번째는 21.80%로 분석됨.
- 결론적으로, 광투과율 67.4% 이상 투명판을 사용할 경우, 조도편차 측면에서 신형식이 H-Beam 형식에 비해 유리한 것으로 분석됨.



신형식 연간/시간대별 조도분석 결과



H-Beam 형식 연간/시간대별 조도분석 결과

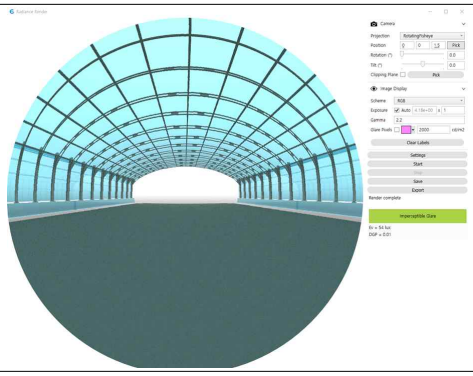
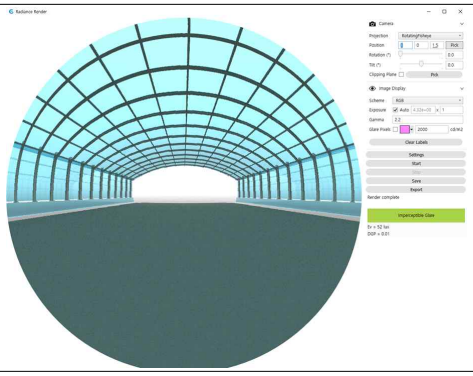
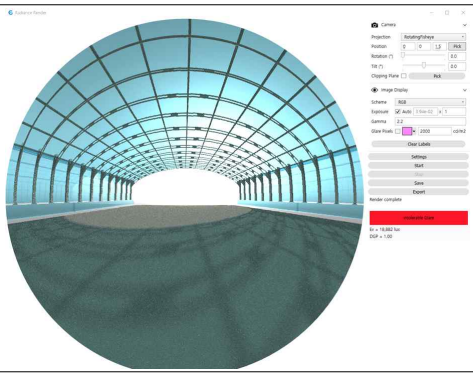
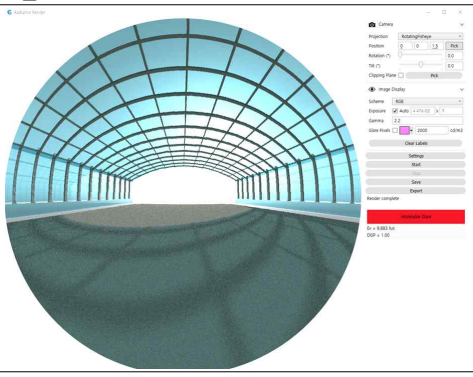
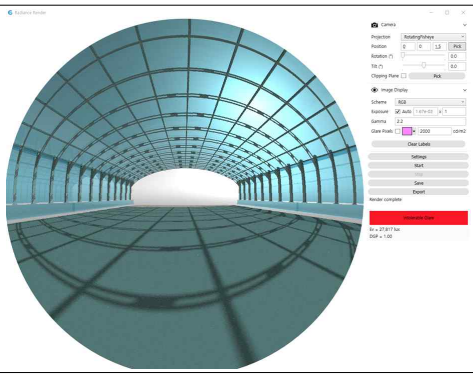
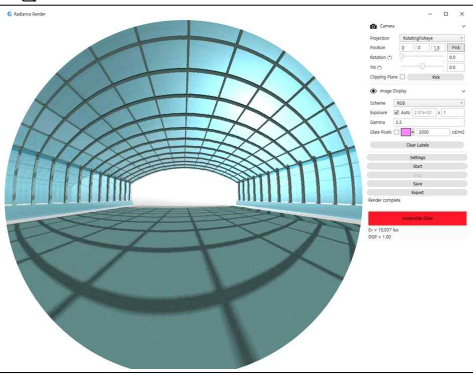
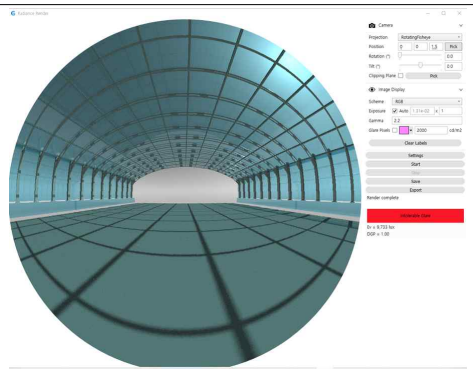
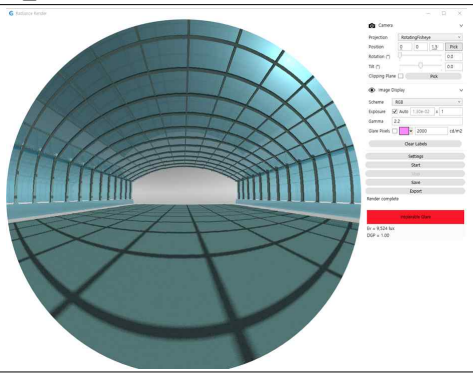
그림 2.68 연간/시간대별 조도분석 결과

○ **계절별/시간대별 신형식과 H-Beam 형식의 플리커 효과 분석**

- 차음터널 천정면 및 벽면 투명판을 지탱하는 차음터널 구조 프레임의 그림자에 의하여 진행방향에서 음영 영역이 반복됨으로써 발생하는 플리커 효과를 파악하고자 함.
- 프레임에 의한 그림자 발생 및 플리커 효과 분석은 차음터널에 직사광이 유입되는 조건을 가정하여 주광 계산을 수행하고, 결과에 의한 노면 영역의 밝은 영역과 어두운 영역의 분포를 분석하는 방법을 사용함.
- 상기 광투과율에 따른 조도편차 분석 결과를 바탕으로, 신형식이 H-Beam 형식에 비해 유리한 광투과율 67.4% (Azuria)를 적용하여 차음터널 그림자의 플리커 효과 분석을 수행함.
- 예를들어 광투과율 67.4% (Azuria)을 적용한 신형식과 H-Beam 형식의 조도 편차는 2021년 2월 4일 12시 30분에 각각 4,320 lux, 4,751 lux로 계산되었음. 이를 비율로 계산하면 신형식이 H-Beam형식에 비해 9.98% 조도 편차가 적은 것으로 분석됨.
- 상기와 같은 계산방식으로, 낮밤의 길이로 구분할 수 있는 춘분 (2021년 3월 20일), 하지 (2021년 6월 21일), 추분 (2021년 9월23일), 동지 (2021년 12월 22일) 순으로 분석을 수행하였으며, 조도 편차 분석과 마찬가지로 Radiance 프로그램에 내장되어있는 Perez all-weather sky model을 활용하여 매시각별 조도를 분석함.

○ **계절별/시간대별 신형식과 H-Beam 형식의 플리커 효과 분석 결과**

- 춘분, 하지, 추분, 동지 순으로 분석을 수행하였으며, 그 결과는 그림 2.69 - 2.72과 같음.
- 전체적으로, 신형식이 H-Beam 형식에 비하여 플리커 효과가 낮게 나오는 것으로 분석됨. 그림자 현상에 의한 주광 분석은 결국 조도편차를 의미함.
- 상기에서 분석한 바와 같이, 광 투과성이 67.4%이상인 재료를 적용하였을 때, 조도편차가 작은 것은 신형식인 것으로 분석되었음
- 수치해석 결과, 신형식이 H-Beam 형식에 비해 천정면에 입사하는 주광을 보다 효과적으로 내부로 도입할 수 있기 때문인 것으로 분석됨.
- 날짜별, 태양광 입사각에 따라 일부 H-Beam 형식이 유리한 시간대가 나타나긴 하지만, 그 편차는 매우 작으며 대체적으로 신형식이 H-Beam형식에 비해 조도편차가 작은 것으로 분석됨.
- 더 나아가 진출입부와 내부의 조도 편차가 작다는 것은 운전자의 눈부심 현상을 막아줄 수 있기 때문에 눈부심으로 인한 교통사고 등 안전 측면에서 신형식이 H-Beam 형식에 비해 유리한 것으로 분석됨.

+값 신형식 유리	신형식	H-Beam 형식
조도편차 비율 (2.86%)		
조도편차(Lux)	70	72
시각	06시 30분	
조도편차 비율 (2.65%)		
조도편차(Lux)	45,693	46,902
시각	08시 30분	
조도편차 비율 (2.87%)		
조도편차(Lux)	54,211	55,766
시각	10시 30분	
조도편차 비율 (-0.13%)		
조도편차(Lux)	7,068	7,059
시각	12시 30분	

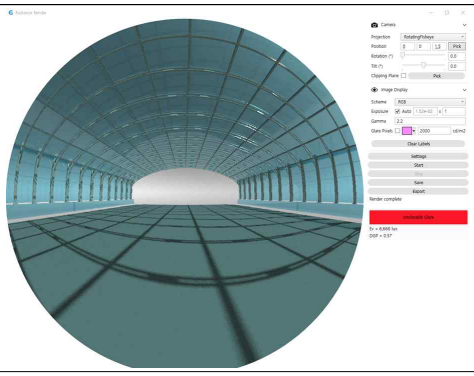
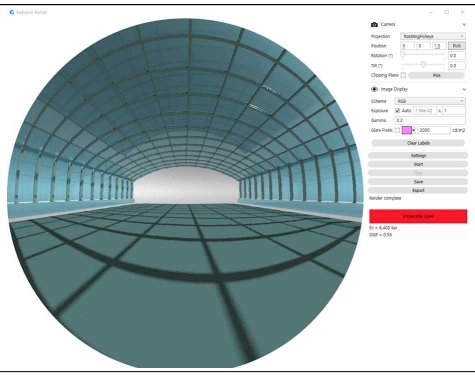
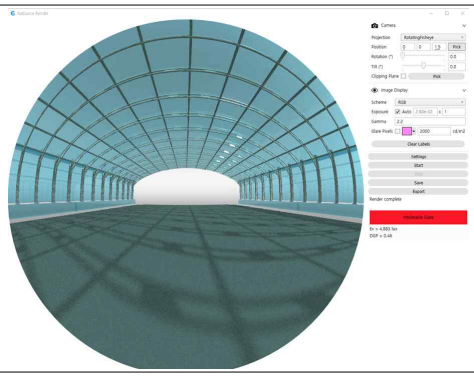
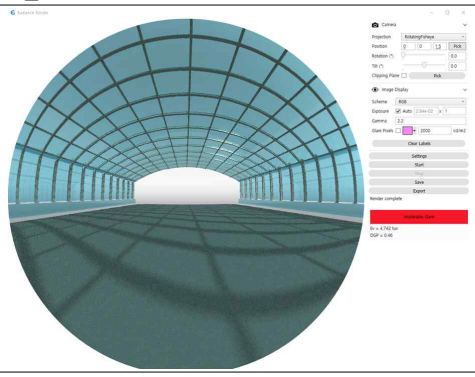
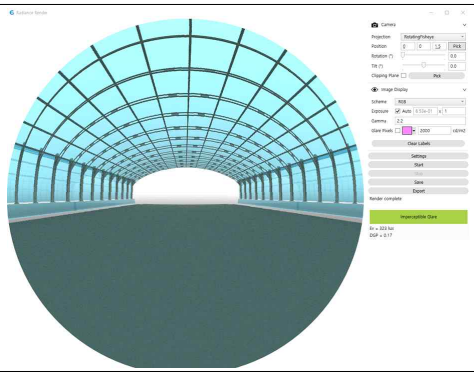
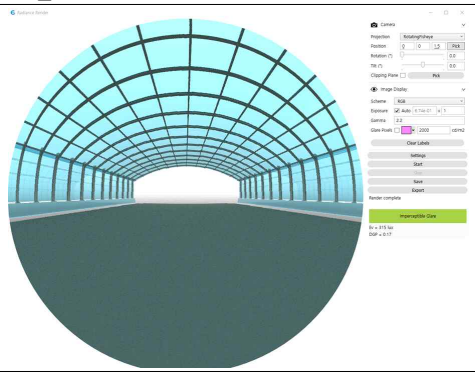
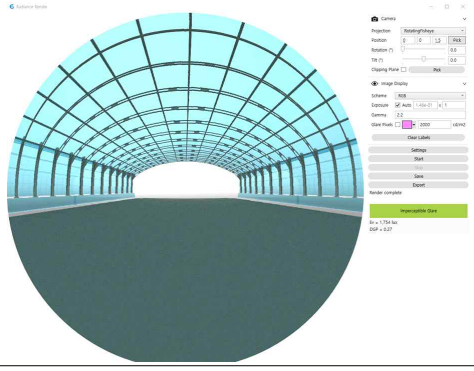
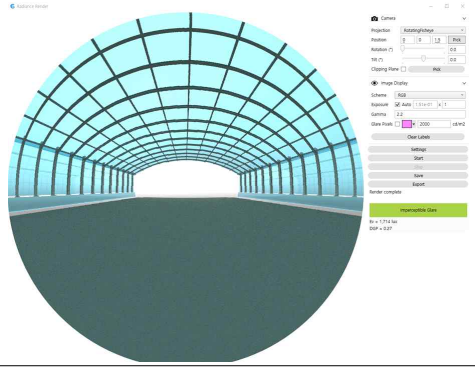
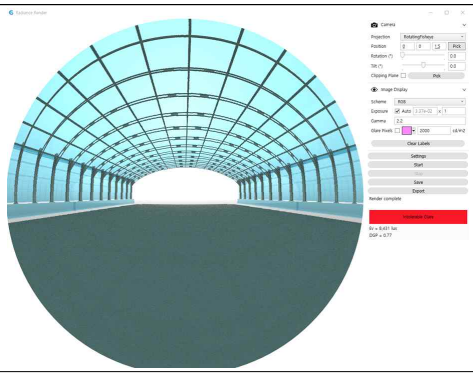
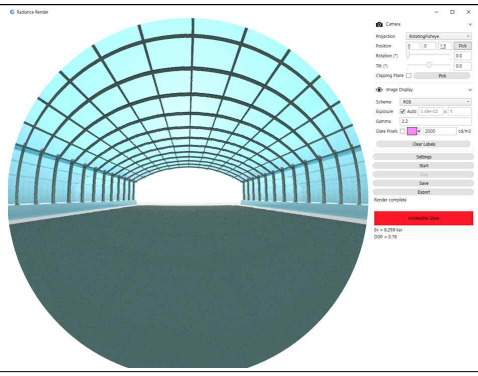
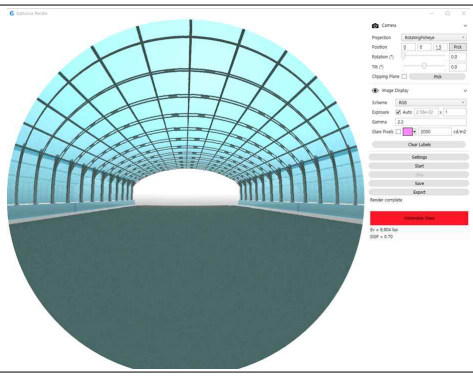
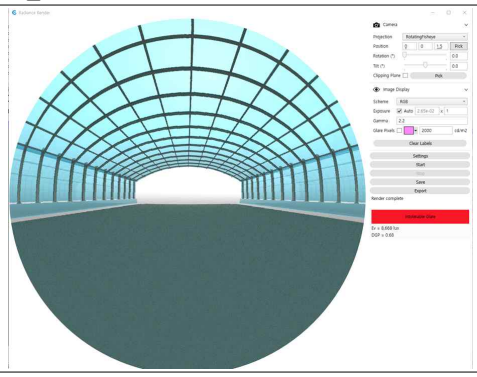
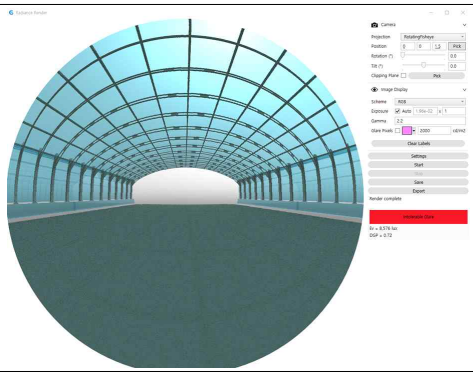
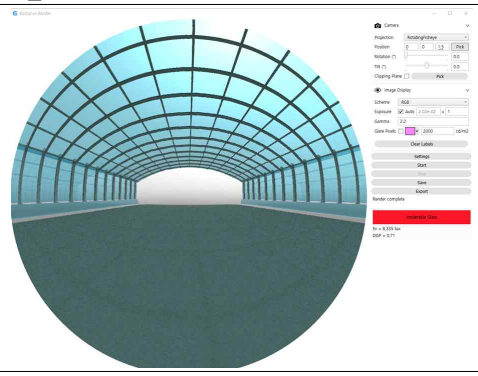
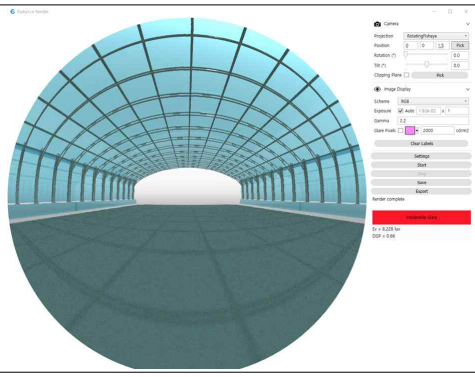
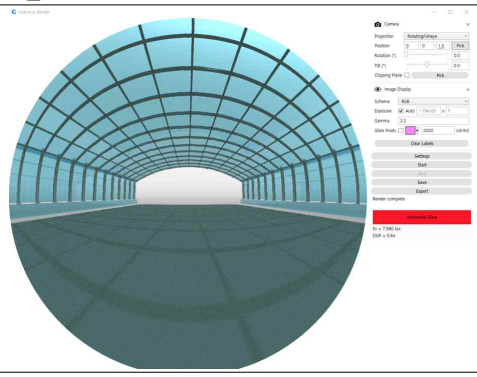
조도편차 비율 (-0.67%)		
조도편차(Lux)	50,603	50,267
시각	14시 30분	
조도편차 비율 (-0.39%)		
조도편차(Lux)	54,943	54,729
시각	16시 30분	
조도편차 비율 (2.49%)		
조도편차(Lux)	603	618
시각	18시 30분	

그림 2.69 춘분 (3월 20일) 플리커 효과 분석

+값 신형식 유리	신형식	H-Beam 형식
조도편차 비율 (1.31%)		
조도편차(Lux)	2,669	2,704
시각	06시 30분	

조도편차 비율 (0.29%)		
조도편차(Lux)	14,242	14,284
시각	08시 30분	
조도편차 비율 (0.36%)		
조도편차(Lux)	12,894	12,940
시각	10시 30분	
조도편차 비율 (1.34%)		
조도편차(Lux)	10,202	10,339
시각	12시 30분	
조도편차 비율 (0.88%)		
조도편차(Lux)	25,676	25,901
시각	14시 30분	

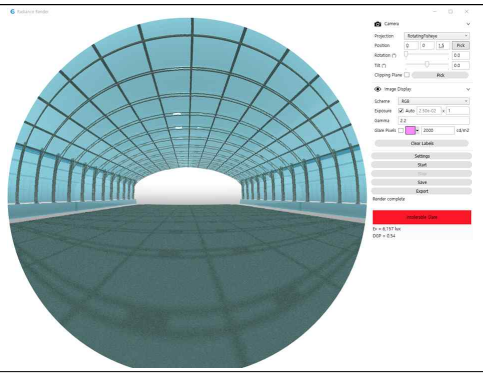
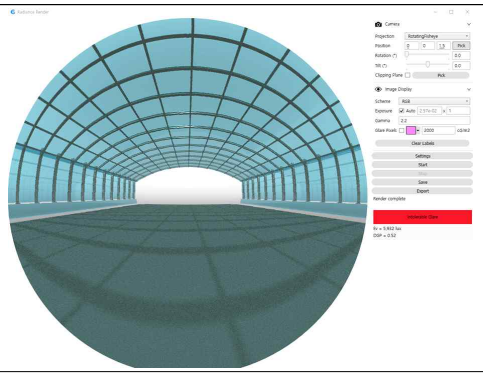
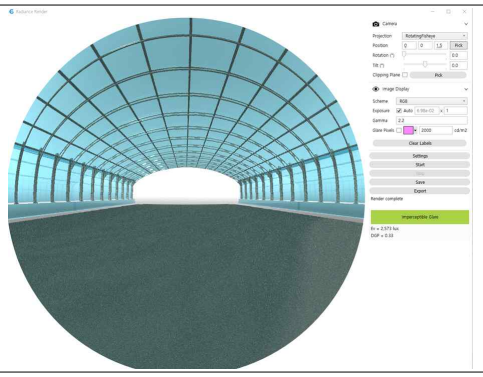
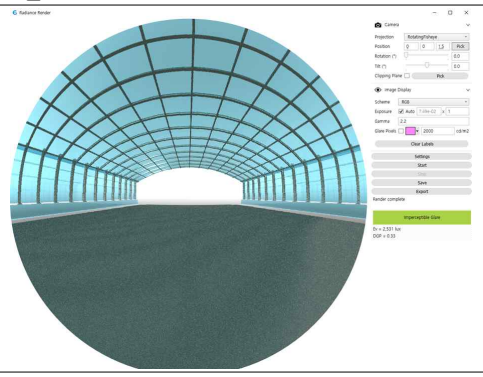
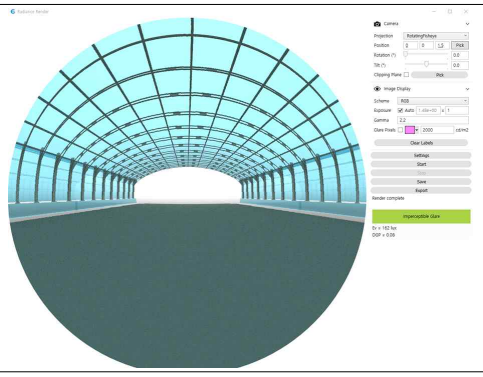
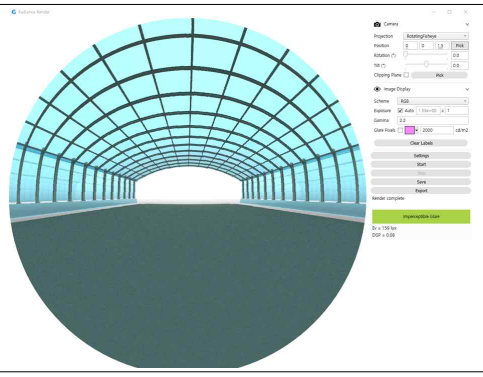
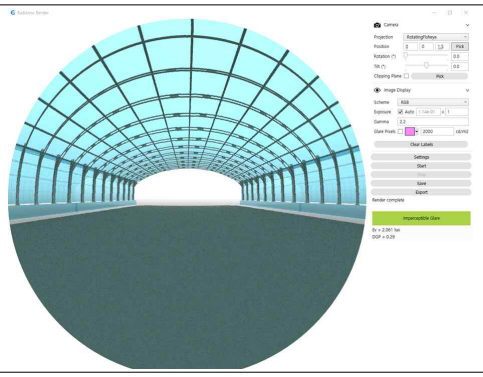
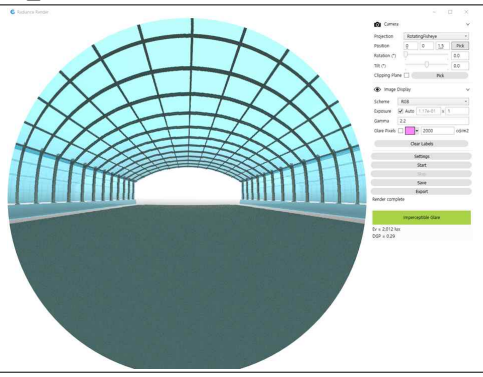
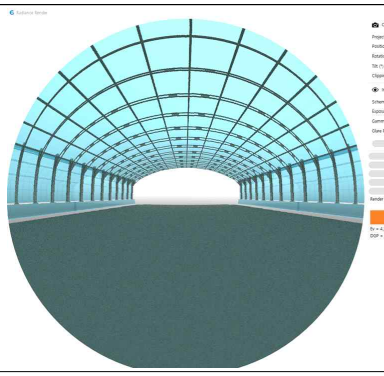
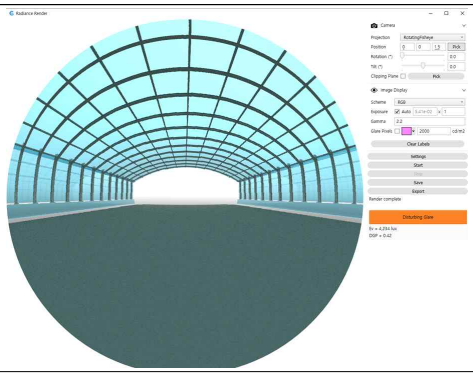
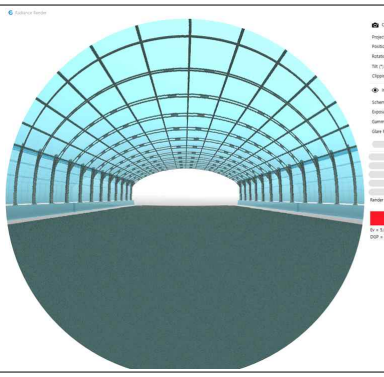
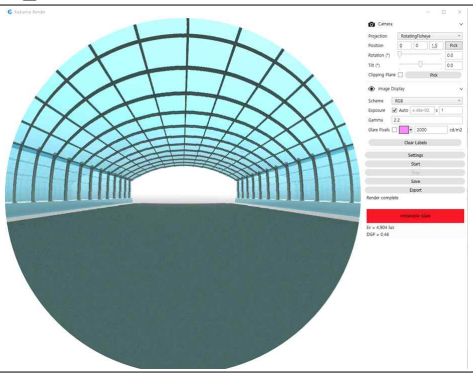
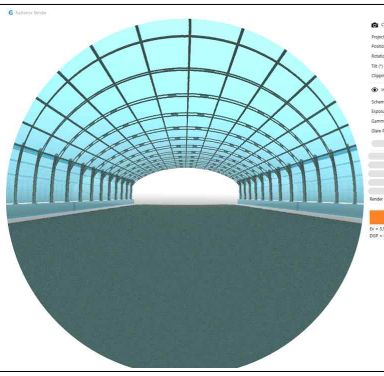
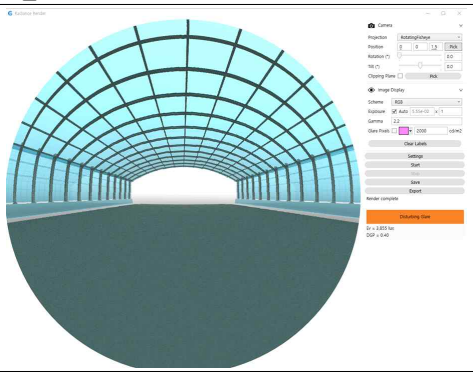
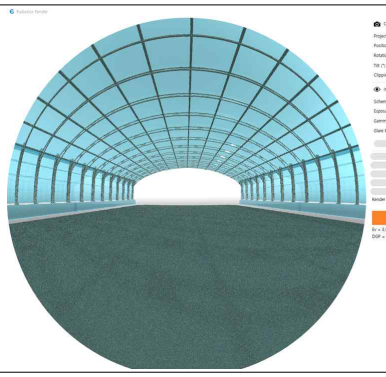
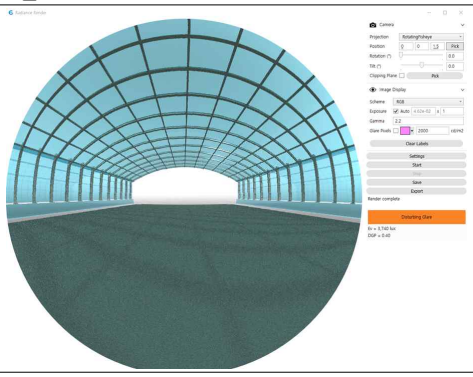
조도편차 비율 (0.40%)		
조도편차(Lux)	39,065	39,223
시각	16시 30분	
조도편차 비율 (1.91%)		
조도편차(Lux)	18,529	18,883
시각	18시 30분	

그림 2.70 하지 (6월 21일) 플리커 효과 분석

+값 신형식 유리	신형식	H-Beam 형식
조도편차 비율 (1.72%)		
조도편차(Lux)	232	236
시각	06시 30분	
조도편차 비율 (1.43%)		
조도편차(Lux)	2,875	2,916
시각	08시 30분	

조도편차 비율 (1.34%)		
조도편차(Lux)	5,950	6,030
시각	10시 30분	
조도편차 비율 (1.18%)		
조도편차(Lux)	6,363	6,438
시각	12시 30분	
조도편차 비율 (1.74%)		
조도편차(Lux)	5,676	5,775
시각	14시 30분	
조도편차 비율 (-0.21%)		
조도편차(Lux)	25,823	25,770
시각	16시 30분	

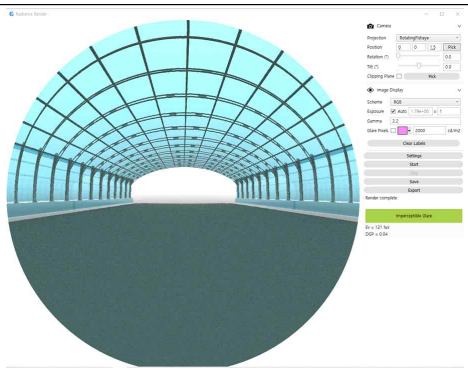
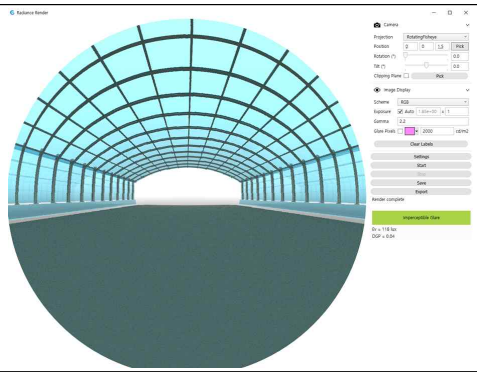
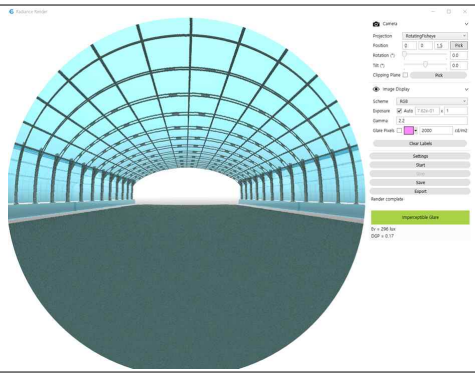
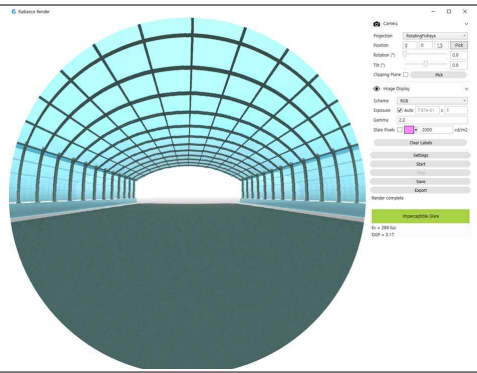
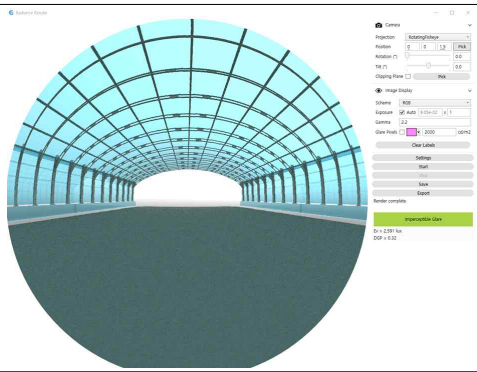
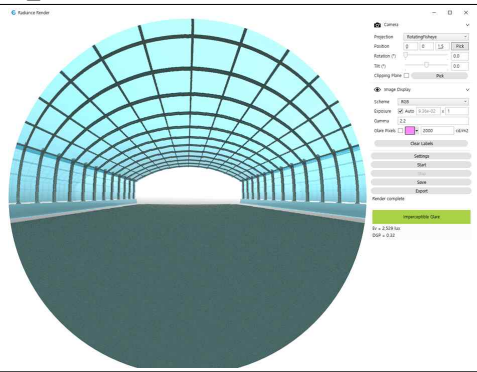
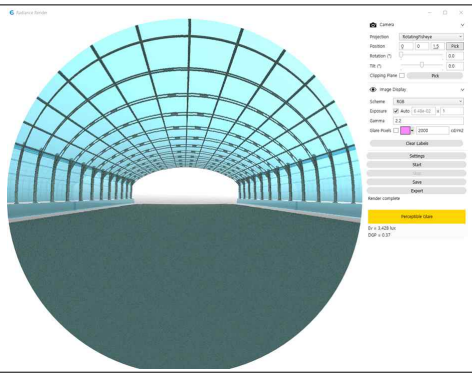
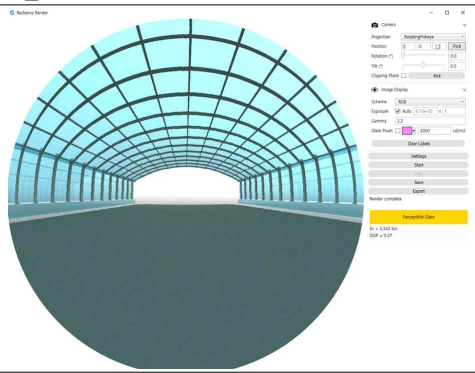
조도편차 비율 (2.69%)		
조도편차(Lux)	186	191
시각	18시 30분	

그림 2.71 추분 (9월 23일) 플리커 효과 분석

+값 신형식 유리	신형식	H-Beam 형식
조도편차 비율 (1.03%)		
조도편차(Lux)	390	394
시각	08시 30분	
조도편차 비율 (2.29%)		
조도편차(Lux)	3,588	3,670
시각	10시 30분	
조도편차 비율 (2.08%)		
조도편차(Lux)	4,467	4,560
시각	12시 30분	

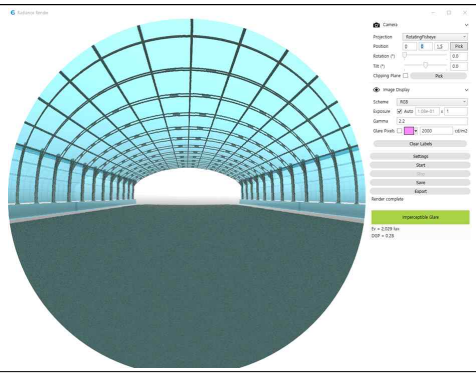
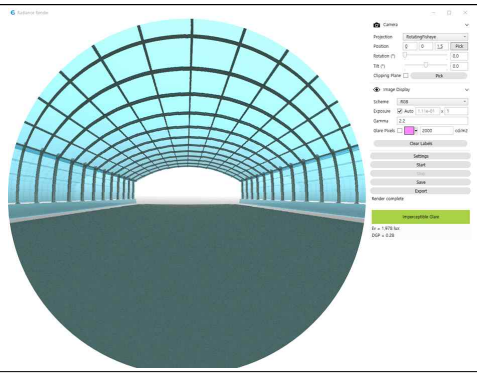
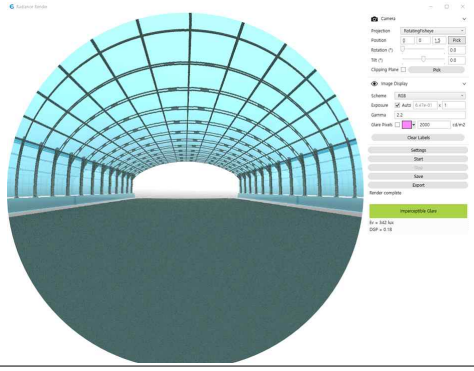
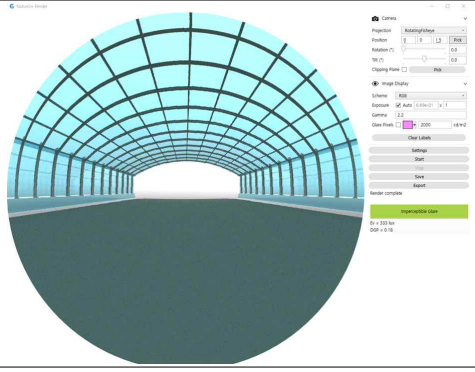
조도편차 비율 (2.09%)		
조도편차(Lux)	2,825	2,884
시각	14시 30분	
조도편차 비율 (2.24%)		
조도편차(Lux)	446	456
시각	16시 30분	

그림 2.72 동지 (12월 22일) 플리커 효과 분석

2.2.5 신형식 차음터널 시제품 제작 및 사업화

가. 신형식 차음터널 구조 설계 및 Test-Bed구축

○ **신형식 차음터널 구조 설계**

- 설계 절차서와 1차년도 구조설계를 바탕으로 상하현재 파이프와 나비형 복부판으로 구성된 4차선 도로용 신형식 차음터널 구조의 최적화 연구 수행하였고, **설계도면(별첨 3)과 물량산출서(별첨 4) 작성을 완료**하였음
- 최적설계 결과, 차선 방향 m당 신형식 차음터널의 중량은 0.96ton으로 목표치(m당 1.4ton)대비 30% 이상의 중량 감소를 확인하였으며, 본 연구를 통해 개발된 신형식 차음터널은 차음터널의 경량화에 기여할 것으로 판단
- 구조분야 전문가 자문을 통해 신형식 차음터널 설계에 대한 적합성 검증을 완료하였음

○ **Test-Bed 구축 및 시제품 설치 계획**

① 차음터널 Test-Bed의 목적 및 활용

- 차음터널 연구과제 연구 성과물의 현장적용 및 검증을 통하여 연구 성과물의 완성도 확보
- 소음 측정 장비를 활용한 신형식 차음터널의 차음 효과 모니터링 및 데이터 구축
- 시간이력 차원의 차음 성능 유지에 대한 학술 데이터 제공 기반 구축
- 3차원 공간정보기술인 BIM기술을 적용한 모형 구축을 통해 설계/시공의 발전 기틀을 마련

② Test-Bed 부지 선정 및 규모

- Test-Bed 건설 부지 : 약 150㎡ (15m×10m)
  : 동아이엔지(주) 공장부지 내 설치, 경기도 이천시 설성면 대죽리 649번지 외 3필지 (4,749㎡)
- 테스트 베드 적용성과물 : 차음터널 시설물 1종

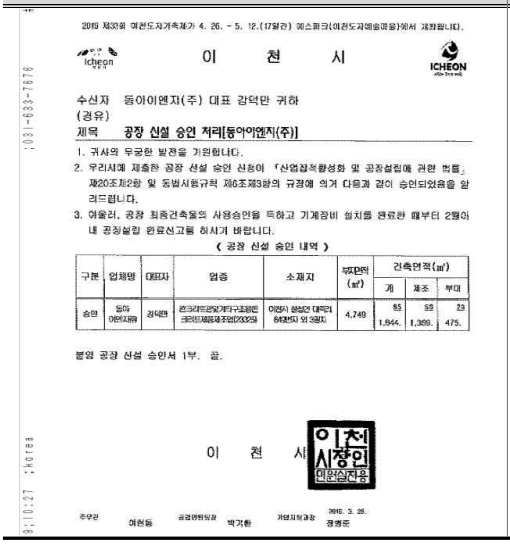
건축 인허가	조 감 도
	

그림 2.73 Test-Bed 건축 인허가증 및 조감도

구 분	사 진 대 지	
절토 및 성토 공사 2019. 5		
집수정 및 배수시설 공사 2019. 5		
옹벽 공사 2019. 6.		
부지정리 완료 2019. 10		
Test-Bed구축완료 2020. 10		

그림 2.74 Test-Bed 조성 현황

③ Test-Bed 구축 일정

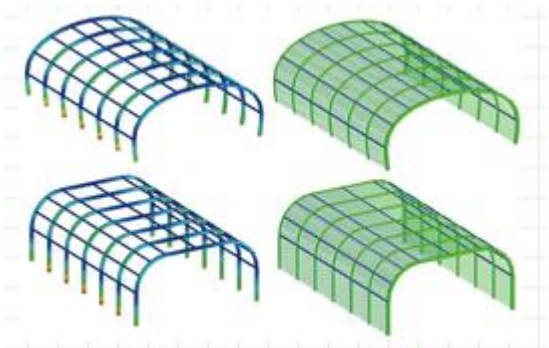
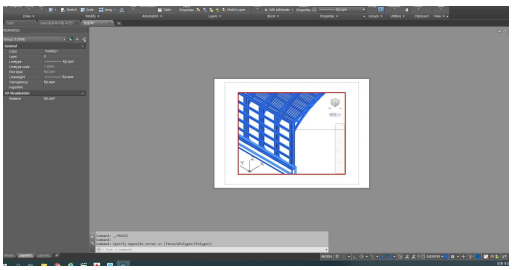
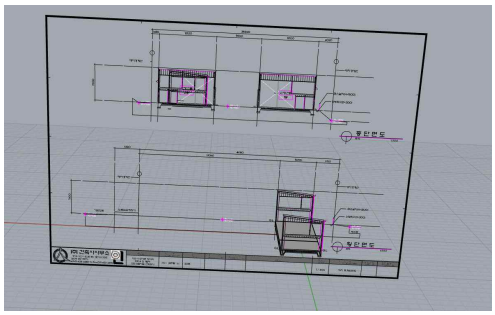
표 2.46 Test-Bed 구축 일정

진행 절차	시기	주요 내용
과제 제안 시	2019.04.	• Test-Bed 부지 기매입 • 과제 제안서 부지위치 수록
연구 1차 연도	2019.05 - 10.	• Test-Bed 부지조성 공사(토목공사) 완료 • BIM 지형정보 구축 및 3D 구조모델 구축
연구 2차 연도	2020.	• Test-Bed 적용 성과물 개발 • 설계 및 시공장비 적합모델 검토/적용
연구 3차 연도	2021.	• Test-Bed 실물 현장적용 • 개발 연구성과물의 차음터널 실물 시공
연구 종료 후	2022.	• Test-Bed 실물 홍보 및 견학사례 • BIM 기반사례 및 국책과제 홍보전시물 활용

④ Test-Bed를 통한 BIM 시스템 구축

○ BIM기반 스마트 유지보수 기술 연구 개발 사례 이식 가능 및 툴킷/시스템 기반 구축

그림 2.75 Test-Bed 활용 방안

Tekla Structure 공간정보 구축	3D Cad Modeling
	 

나. 시제품 제작 및 설치

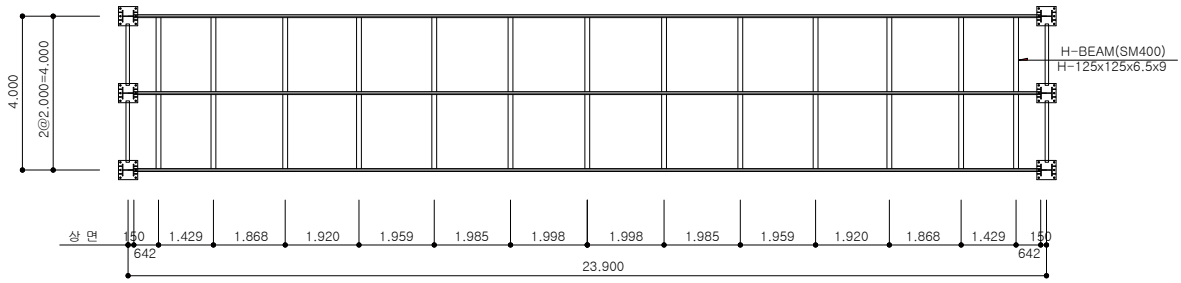
○ 시제품 제작 현황

- 시제품 규모 : 4차선급(폭 23.9m, 높이 7.9m)
- 주요부재 강재 제원

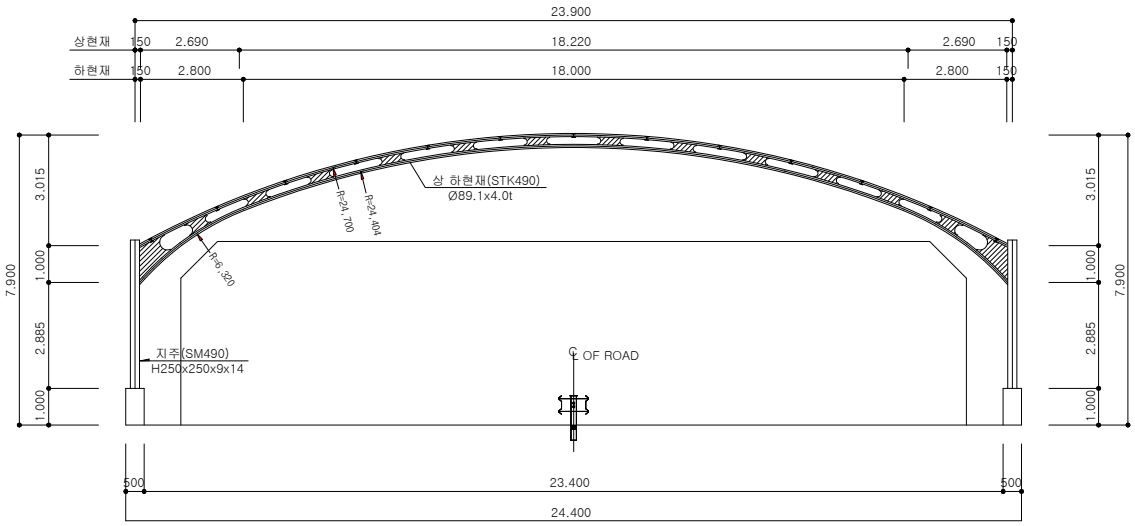
상 · 하현재	지 주	복부판	비고
ϕ89.1×4t (STK490)	H250×250×9×14 (SS400)	4t (SM490)	

- 시제품 제작 및 설치 기간 : 2021년 3월 ~ 2021년 4월
- 시제품 설치 장소 : 동아이엔지(주) 이천공장

평 면 도



정 면 도



○ **시제품 제작 및 설치 공정**

복부판 제작



→

중앙부 주형 제작



단부 주형 제작



→

지주설치

단부 주형 제작

→

중간 주형 조림

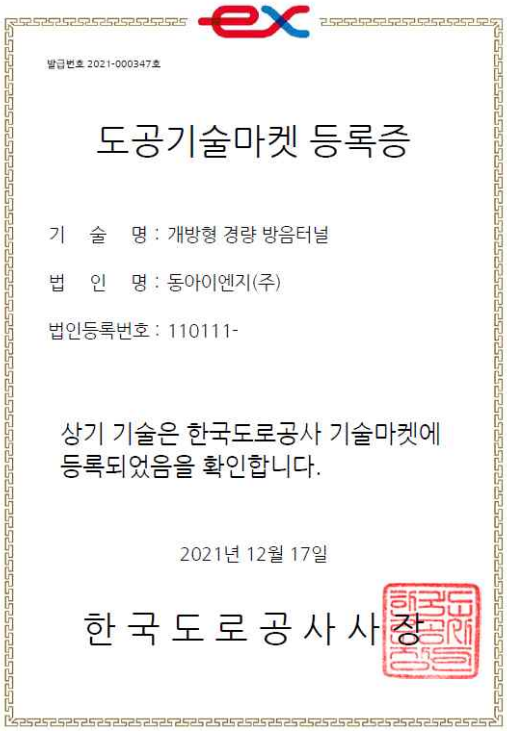
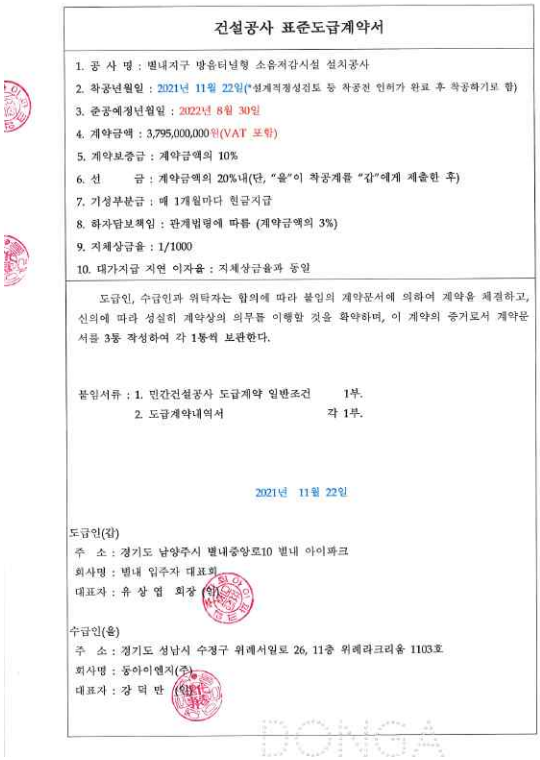
중간 주형 및 가로보 설치

→

시제품 설치 완료

다. 신형식 차음터널 사업화

- 본 연구를 통해 개발된 신형식 경량 차음터널은 도로공사 기술마켓에 등록되어 대규모 SOC시장 진 입의 발판을 마련하였으며, 또한 수주계약 1건을 달성하여 연구목표 달성

도로공사 기술마켓 등록증	수주 계약서
	

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 구조 특성 파악
- 설계 지침서 작성 및 구조 특성을 파악하여 보고서 작성하였으며 보고서 전문가 검토를 통해 검증하였음

○ 부재 및 구조 상세 설계
- 단위 길이당 중량을 1.0ton/m를 목표로 하였으며 달성치는 단위 중량 1.0ton/m로 목표치 달성하였음
- 기존 트러스형 차음터널 구조 대비 개발된 신형식 차음터널의 제작비용은 85%수준

○ 요소단위 구조 성능 확인
- 신형식 차음터널 구조의 단위 부재 전산해석과 하중재하 실험을 수행하였으며 전산해석과 실험 데이터를 비교분석한 결과 전산해석의 정확도는 98%로 목표치인 95%보다 높게 달성하였음

○ 운전자 시인성 개선
- 채광성을 높인 신형식 차음터널 구조를 개발하였으며 계절 및 시간별 시뮬레이션을 수행한 결과 H형 차음터널 대비 신형식 차음터널의 조도편차 24% 이상 저감이 가능함

○ 공기순환 성능 확인
- 공기순환 성능 향상을 위해 H형 차음터널과 신형식 차음터널의 풍동 시뮬레이션과 실험을 수행하였으며 역류량 기준으로 높이 250mm거더 대비 약 60%의 공기순환 개선효과를 달성하였음

○ 회절 소음 저감
- 신형식 차음터널 진입부에서 발생하는 소음을 저감 장치를 적용하여 12%이상 소음저감 효과 확인

○ 시제품 제작 계획
- 시제품 제작 계획 수립을 완료하였으며 관련하여 제작 계획서를 작성하였음

핵심 성과물	단위 성과물	성과지표	목표치	달성치
이식 가능한 신형식 차음터널 구조	구조 및 상세 개발	구조 특성 파악	사례 5건	설계 지침서 작성 구조 특성 파악
		부재 및 구조 상세 설계	단위 중량 1.0ton	단위 중량 1.0ton
			비교 대비 제작 비용 90%	제작 비용 80%
		요소단위 구조 성능 확인	전산해석 신뢰도 95%	신뢰도 98%
		운전자 시인성 개선	조도편차 15% 절감	24% 이상 절감
소음 방지 및 공기순환 개선 시스템	공기순환 개선	공기순환 성능 확인	공기순환 특성 5% 향상	공기순환 특성 약 6 향상
	출입부 회절 소음 저감	회절 소음 저감	비교 대비 10% 저감	회절 소음 12%저
신형식 차음터널 시제품	차음터널 시제품 제작 및 검증	시제품 제작 계획	양산규모 1/10	1/10 규모 시제품 제 계획서 작성

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

○ 부재 및 구조 상세 설계
- 경량화된 신형식 차음터널 구조와 관련한 특허출원을 하였으며 3차년도에 특허등록 완료

○ 요소단위 구조 성능 확인
- 차음터널 지주 고정부 콘크리트 강도와 관련하여 SCI급 논문 1건을 학술지에 게제 완료하였음

○ 운전자 시인성 개선
- 채광성이 높은 신형식 차음터널 구조에 관련한 특허출원을 하였으며 3차년도 특허등록 완료

○ 구조 성능 검증
- 신형식 차음터널 구조물의 하중재하 실험을 수행하였으며 실험 결과를 바탕으로 기관 인증서(KOLAS 인증)를 발급받아 구조 성능을 검증하였음
- 구조적 성능을 인증받은 신형식 차음터널 구조물에 관련한 특허출원 완료

○ 공기순환 성능
- 차음터널의 공기순환 특성을 파악하여 차음터널 구조물에 적용할 수 있는 공기순환 지표와 관련한 논문 학술지에 게제 완료
- 시뮬레이션을 바탕으로 공기순환 특성을 파악하여 공기흐름을 유도하는 장치에 관련한 특허 출원 완료

○ 시제품 제작
- 양산규모의 1/10규모의 차음터널 시제품을 제작하였음

○ 시제품 성능 인증 확보
- 제작된 시제품으로 하중재하 실험을 수행하였으며 실험결과를 바탕으로 기관 인증서(KOLAS 인증)를 발급 받아 시제품의 성능을 인증하였음

○ 사업화 달성
- 국내 수주계약 1건 완료

핵심 성과물	단위 성과물	성과지표	목표치	정량적성과	
				목표치	달성치
이식 가능한 신형식 차음터널 구조	구조 및 상세 개발	요소단위 구조 성능 확인	전산해석 신뢰도 95%	SCI 1건	SCI 1건
		운전자 시인성 개선	시인성 향상 기술 개발	특허출원 1건	특허출원 1건 **특허등록 1건**
		부재 및 구조 상세 설계	조도편차 15% 절감	특허등록 1건	특허등록 1건
			단위중량 1.0ton	특허출원 1건 특허등록 1건	특허출원 1건 **특허등록 2건**
	신형식 구조물 검증	구조 성능 검증	구조물 설계 기준 만족	특허출원 1건 기관 인증서 1건	**특허출원 2건** 기관 인증서 1건
소음 방지 및 공기순환 개선 시스템	공기순환 개선	공기순환 성능 확인	공기순환 특성 5% 향상	국내논문 2건	국내논문 2건
		소음방지 및 공기순환 개선 장치 개발	특허출원	특허출원 1건	특허출원 1건
신형식 차음터널 시제품	차음터널 시제품 제작 및 검증	시제품 제작	양산규모 1/10	시제품 1건	시제품 1건
	차음터널 시제품 인증	시제품 성능 인증 확보	인증서 1건	기관인증서 1건	기관인증서 1건
사업화	개발 시제품 사업화	사업화 달성	국내 사업 수주	수주계약 1건	수주계약 1건
계				국내논문 2건 SCI 1건 특허출원 4건 특허등록 2건 시제품 1건 기관인증서 2건 수주계약 1건	국내논문 2건 SCI 1건 **특허출원 5건** **특허등록 4건** 시제품 1건 기관인증서 2건 수주계약 1건

(3) 세부 정량적 연구개발성과

○ 개발 성과를 활용하여 “별내지구 방음터널형 소음저감시설 설치공사”로 3,795,000,000원의 계약 수주를 완료하였음.

○ 추가적으로 경량 방음터널 설계 및 시공 기술을 한국도로공사 기술마켓에 등록하였으며, 이를 통해 국내 도로 인프라 구축 사업에서의 기술 활용 및 사업화 활로를 마련함

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여
1	Chemo-Mechanical Model for the Expansion of Concrete due to Alkali Silica Reaction	Applied Science	Lianfang Sun	-	-	MDPI	SCI	2020.05	2076-3417	10(
2	Local stagnant air flow indicator (Reverse-flow rate index) and effects of structural shape	한국풍공학회 논문집	오승택	Vol.25 No.2	대한민국	한국풍공학회	비SCI	2021.06	1226-7872	10(
3	Proposal of a New Type of 4-Lane Soundproof Tunnel Girder and Structural Performance Evaluation	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	고원희	Vol.25 No.5	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCI	2021.10	2234-6937	10(

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국강구조학회	구간별 강도 결정이 가능한 신형식 비정형 복부판-강관 플렌지 거더의 설계법 개발 및 검증	김홍현	2020.06.13	온라인	대한민
2	한국구조물진단유지관리공학회	신형식 비정형 복부판-강관 플렌지 거더 시스템 개발 및 복부판 응력집중 완화에 대한 연구	김홍현	2020.07.08	제주도	대한민
3	한국전산구조공학회	차음터널 신형식 거더 매개변수 분석	고원희	2021.04.06	온라인	대한민
4	방재학회	터널 구조물 공기 유동 분석을 위한 난류 모델 방정식 평가	김기수	2021.09.10.	온라인	대한민

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활 여
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	경량 차음터널 용 거더 구조 및 그 거더구조를 갖는 차음터널	대한민국	고려대학교 산학협력단	2019.12.04	10-2019-0159994	고려대학교 산학협력단	2021.12.07	10-2338280	100%	
2	특허	프리스트레스를 도입한 지주를 이용한 방음터널 및 그 시공방법	대한민국	동아이엔지(주)	2019.11.27	10-2019-0154567	동아이엔지(주)			100%	
3	특허	방음터널 및 그 시공방법	대한민국	동아이엔지(주)	2020.10.05	10-2020-0128177	동아이엔지(주)			100%	
4	특허	단면 가변이 용이한 모듈러 거더 시스템 및 그 시공방법	대한민국	고려대학교 산학협력단	2020.11.25	10-2020-0160288	고려대학교 산학협력단	2021.12.15.	10-2341094	100%	
5	특허	정체 기류 저감을 위한 터널 용 공기 흐름 유도 장치	대한민국	고려대학교 산학협력단	2021.10.28	10-2021-0145615				100%	

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	신형식 차음터널	21년 4월	동아이엔지	동아이엔지 공장 부지	구조안전성 시공성 평가	3개월		

□ 현장적용

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	신형식 차음터널	21년 11월~21년 8월	별내입주자 대표회의	고려대/동아이엔지	경기도 남양주시	

[사회적 성과]

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력
1	고려대학교 미래건설환경융합연구소	2019.04.12.	2년 8개월	2	1

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기
1	1차년도	2019	1	4	3	3	10	3	13				
2	2차년도	2020	2	7	3	3	12	3	15				
3	3차년도	2021	3	4	1	3	8	3	11				

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 신형식 경량 차음터널 구조 개발 - 유연한 차음터널 설계 대응을 위한 최적 구조 단면 개발 - 운전자 시인성 확보를 위한 단면의 빛 투과율 확보 - 제작 용이성을 위한 체결부 개발 - 신형식 차음터널 설계도면 확보 - 형식별 전산 해석 및 비교 실험 수행 및 성능 인증	○ 신형식 경량 차음터널 구조 개발 - 단면 가변이 용이한 신형식 차음터널 구조에 대한 특허 출원 및 등록 완료 - 시뮬레이션 분석을 통해 H형 차음터널 대비 조도편차 최대 24% 절감 가능 - 제작의 용의성을 위한 볼트 체결부를 개발하였으며 그 형상과 시공방법에 대한 특허 출원 및 등록 완료 - 개발된 신형식 차음터널의 도면 작성 완료 - 전산해석과 동일한 조건에서 하중재하 실험을 수행하였으며 실험 및 전산해석 데이터 비교분석 결과 데이터 정합도 98% 달성	*100*
○ 소음 방지 및 공기순환 개선 시스템 - 공기순환 개선 검증을 위한 풍동실험 수행 - 출입부 회절 소음 저감 장치 개발 - 단면 형상을 통한 공기순환 흐름 개선 - 소음 저감 장치 검증 비교 실험 수행	○ 소음 방지 및 공기순환 개선 시스템 - 공기순환 개선효과를 공기유동 시뮬레이션을 통해 확인하였으며 시뮬레이션 검증을 위한 풍동실험을 수행 및 전문가 검토를 통해 검증하였음 - 소음 시뮬레이션 분석을 통해 터널 출입부 소음을 평가하여 소음을 저감시킬 수 있는 장치 개발 - 공기흐름 유도장치 적용으로 H형 차음터널 대비 공기순환 개선효과 약 60%달성 - 소음 저감 장치 적용 전/후 비교 실험 수행 결과 최대 소음 저감효과 12% 확인	*100*
○ 신형식 차음터널 시제품 - 차음터널 설계 기술 인증 확보 - 차음터널 설계 가이드라인 작성 - 파일롯 규모의 차음터널 시제품 제작 - 시제품 검증 실험 수행	○ 신형식 차음터널 시제품 - 신형식 차음터널의 KOLAS인증 발급 - 신형식 차음터널의 설계 지침서 작성 완료 - 양산규모 1/10규모의 시제품을 제작완료 - 시제품의 하중재하 실험을 통해 구조적 안정성을 검증	*100*
○ 신형식 차음터널의 사업화 - 연구기간 내 4억원 규모의 기술사업화	○ 신형식 차음터널의 사업화 - 4억원 규모의 국내 사업 수주계약 1건 달성 - 도로공사 기술 마켓에 개발 기술 등록 완료	*100*

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 본 연구의 연구 목표를 모두 달성하였음

2) 자체 보완활동

○ 해당사항 없음

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 부재 및 구조 상세 설계
- 3차년도 연구목표인 단위 길이당 중량 1.0ton/m성과를 조기 달성하였음
- 기존 트러스형 차음터널 구조 대비 개발된 신형식 차음터널의 제작비용은 85%수준으로 목표치인 90%보다 초과 달성

○ 요소단위 구조 성능 확인
- 신형식 차음터널 거더의 복부판 형상별 전산해석을 수행하였으며 전산해석과 동일한 조건으로 하중재하 실험을 수행하였음
- 전산해석 데이터와 실험 데이터를 비교 분석한 결과 두 데이터의 정합도는 98%정도로 목표치인 95%보다 높게 달성하였으며 이를 통해 연구수행과정에서 실시한 실험과 전산해석의 신뢰성을 검증하였음
- 또한, 2회의 신형식 차음터널 구조 실험에서 KOLAS기관 인증을 받아 신형식 차음터널 구조의 안정성을 검증하였음

○ 차음터널의 공기순환 성능
- 공기순환 성능지표로써 ACH지표가 널리 사용되고 있으나 터널구조물에 적용하기에는 적합하지 않았으나 시뮬레이션 분석을 통해 터널구조물 내의 공기 유동특성을 파악하여 역류량을 적용한 공기순환 성능지표를 개발하여 터널 구조물 변화에 따른 공기순환 성능을 평가하였음
- 신형식 차음터널의 공기순환 성능을 역류량 지수로 평가하였으며 터널 출입부 공기흐름 유도장치를 개발하여 높이 250mm인 H거더 대비 공기순환 성능 약 60% 개선되어 목표치인 5%보다 크게 개선되었음

○ 신형식 차음터널의 구조적 성능 검증
- 양산규모 1/10규모의 신형식 차음터널을 시제품을 제작하였으며 하중재하 실험과 시뮬레이션 비교분석을 통해 신형식 차음터널의 구조적 안정성을 검증하였음

○ 정량적 성과
- 신형식 차음터널의 사용성능 및 구조적 안정성 분석 연구를 통해 목표한 정량적 성과인 특허출원 4건, 특허등록 2건을 모두 완료하였으며, 출원 1건, 등록 2건을 초과 달성 하였음
- 학술 분야의 실적에 있어서도 국내 논문 2건과 SCI 논문 1건을 게재하여 목표 성과를 초과하여 달성하였음. 추가로 2, 3차년도에 각각 2건의 학술대회 발표를 통해 개발 기술에 대한 학술적 교류와 전문가들의 자문을 확보하여 기술

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 신형식 경량 차음터널 개발

- 신형식 거더(나비형상의 거더용 부재, 우각부 날개형 접합부 등)의 발굴 및 진·출입부 회절 소음 저감 기술 연구를 통해 신형식 차음터널을 개발 → 차음터널의 설계 기술력 발전시키는 계기 마련
- 도시미관을 향상시키고, 환경 소음 차단으로 주변 민원을 감소 시킬 수 있는 신형식 차음터널 개발로 사회적인 편익 증대

○ 신형식 경량 차음터널 구조시스템 개발로 도출된 연구개발 성과에 대한 기술 수준은 아래와 같음

핵심기술	연구개발 전	연구개발 후
경량 차음터널 구조시스템	· H형 거더와 트러스형 거더 사용 - H형거더의 경우 부재중량 증가로 제작비 및 가설비 증가 - 트러스형 거더 적용시 H형에 비해 중량 감소는 가능하나 다수의 접합부 발생으로 인한 유지관리 비용 증대	· 신형식 차음터널 개발 - H형거더의 제작성과 트러스 구조의 장점을 조합한 나비형 거더 부재 개발 - 차음터널 경량화 실현 : 제작 및 시공 비용 감소 - 유지 관리 비용 감소

○ 기존 공법과의 비교

- 국내 차음터널 중 가장 많이 시공된 트러스형 및 H형과 신형식 차음터널의 경제성, 안전성, 시공성 그리고 사용성을 비교한 결과는 다음과 같음

구분	신형식 차음터널	트러스형 차음터널	H형 차음터널
개 요	 • 나비형 거더를 적용한 터널	 • 트러스 거더를 적용한 터널	 • H-형 거더를 적용한 터널
경제성	• H형 거더 대비 m당 40% 저감	• H형 거더 대비 m당 20% 저감	-
안전성	• 트러스 구조와 유사한 거동으로 수직하중에 의한 변위에 유리 • 날개형 접합부 적용으로 우각부 안전성 증대 • 경량화된 구조물로 기존 구조물 및 기초 안정성 확보 유리	• 트러스 구조로 수직하중에 의한 변위 유리 • 트러스 부재 접합으로 우각부 안전성 다소 유리 • 중량 증가로 기존 구조물(하부 구조물)에 큰 하중이 작용	• 수직하중에 의한 변위에 불리 • H형 거더가 수직재와 직접 연결되므로 우각부 안전성 불리 • 중량 증가로 기존 구조물(하부 구조물)에 큰 하중이 작용
시공성	• 경량 부재 적용으로 제작용이 • 소형 장비를 활용한 가설 가능	• 트러스 구조로 제작, 설치 난해 • 소형 장비를 활용한 가설이 다소 어려움	• 중장비를 활용한 제작 필요 • 구조물 중량 증가로 설치 시 시공성 저하 및 시공비용 증가
사용성	• 공동형 복부부재 적용으로 운전자 시인성 개선 및 터널 내 공기순환 개선	• 트러스 구조 적용으로 운전자 시인성 개선 및 터널 내 공기순환 개선	• H형강 적용으로 시인성 및 공기순환 성능에 있어 불리

○ 신형식 차음터널 제품 사양

- 신형식 차음터널은 아래와 같은 사양에 따라 생산 및 제작이 수행될 예정임. 본 과제에서는 4차선 도로를 대상으로 연구개발을 진행하였으나, 최대 8차선 도로까지의 제품 사양을 다음과 같이 제시함

차선	폭	최소 높이	지주 간격	사용부재						m당 중량	비고
				상·하현재		복부판		지주			
				강종	규격	강종	규격	강종	규격		
4차선	23.4m	5m 이상	2m	SGT355 (STK500)	Ø89.1*4t	SM275 (SM400)	12t	SM275 (SM400)	H250×250×9×14	0.95ton	
6차선	30.6m				Ø101.6*5t		12t		H250×255×14×14	1.21ton	
8차선	37.8m				Ø139.8*6t		14t		H300×300×10×15	1.87ton	

6. 연구개발성과의 관리 및 활용계획

1) 연구성과 총괄

해당 기관명	핵심연구성과	정부출연금 (백만원)	민간	실용화 대상 여부*
주관 : 고려대학교 산학협력단	1-가. 요소단위 구조 성능 확인 / 구조 상세 설계 / 성능검증	300.5		비대상
	1-나. 운전자 시인성 개선	69		비대상
	1-다. 공기순환개선	85		비대상
공동 : 동아이엔지(주)	1-라. 회절소음 저감	35	79	비대상
	1-마. 시제품 제작 및 성능 인증 / 사업화	105.5	150	대상
합 계		595	229	824

구 분	1-가
요소기술명	요소단위 구조 성능 확인 및 구조 상세 설계
기술개요	신형식 차음터널 요소구조물 성능확인 및 구조 설계
관련 키워드	신형식 차음터널, 구조설계
기술 분류	*EI0399. 달리 분류되지 않는 시설물 설계/해석기술(차음터널), EI0506. 교통환경 개선기술*
성과물 유형*	☑공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-나
요소기술명	운전자 시인성 개선
기술개요	차음터널 통과 운전자의 시인성 개선을 위한 최적 구조 형상 도출
관련 키워드	신형식 차음터널, 운전자 시인성
기술 분류	*EI0399. 달리 분류되지 않는 시설물 설계/해석기술(차음터널), EI0506. 교통환경 개선기술*
성과물 유형*	☑공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-다
요소기술명	신형식 차음터널 공기순환 성능 확인 및 개선 방안 도출
기술개요	풍동실험 등을 통한 공기순환 성능확인 및 공기 순환 개선 장치 개발
관련 키워드	신형식 차음터널, 풍동실험, 공기 순환
기술 분류	*EI0399. 달리 분류되지 않는 시설물 설계/해석기술(차음터널), EI0506. 교통환경 개선기술*
성과물 유형*	☑공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-라
요소기술명	회절 소음 저감 기술
기술개요	차음터널 진출입부에 발생하는 회절소음을 저감시키기 위한 기술
관련 키워드	신형식 차음터널, 회절소음
기술 분류	*EI0399. 달리 분류되지 않는 시설물 설계/해석기술(차음터널), EI0506. 교통환경 개선기술*
성과물 유형*	☑공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-마
요소기술명	시제품 제작 및 성능 인증 / 사업화
기술개요	신형식 차음터널 성능인증 및 사업화
관련 키워드	신형식 차음터널, 시제품, 사업화
기술 분류	*EI0399. 달리 분류되지 않는 시설물 설계/해석기술(차음터널), EI0506. 교통환경 개선기술*
성과물 유형*	☑공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

2) 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출기간) 성과활용 목표·계획

구분	1-가	성과명	신형식 차음터널 구조

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅱ 단계	성능 검증 완료	고려대학교 산학협력단	구조 설계/1건 특허 출원/3건 특허 등록/3건 국내 논문/1건 SCI 논문/1건	과제 수행 기간	신형식 차음터널 구조 설계 및 성능 검증
종료 후 1년	Ⅲ 단계	사업화 준비	동아이엔지(주)	기술실시계약/ 1건	-	신형식 차음터널 구조에 적용하여 개발 기술 사업화 도모
종료 후 2년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 3년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 4년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 5년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류
* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조
** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)
   1) 아니오, 필요하지 않습니다.
   2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-나	성과명	운전자 시인성 개선

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅱ 단계	시인성 개선 기술 개발 및 성능 확인	고려대학교 산학협력단	특허 출원/1건 특허 등록/1건	과제 수행 기간	차음터널 구조 시인성 개선 방안 개발
종료 후 1년	Ⅲ 단계	사업화 준비	동아이엔지(주)	기술실시계약/ 1건	-	신형식 차음터널 구조에 적용하여 개발 기술 사업화 도모
종료 후 2년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 3년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 4년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 5년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-다	성과명	차음터널 공기순환개선 장치

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅱ 단계	공기순환 개선 장치 개발 및 성능 확인	고려대학교 산학협력단	국내 논문/1건 특허 출원/1건	과제 수행 기간	차음터널 내 공기 순환 평가 및 개선 장치 개발
종료 후 1년	Ⅲ 단계	사업화 준비	동아이엔지(주)	기술실시계약/ 1건	-	신형식 차음터널 구조에 적용하여 개발 기술 사업화 도모
종료 후 2년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 3년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 4년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 5년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-라	성과명	출입부 회절소음저감 장치

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅱ 단계	회절 소음 저감 방안 연구	고려대학교 산학협력단	회절 소음 평가 보고서 / 1건	과제 수행 기간	신형식 차음터널 구조의 회절 소음 평가
종료 후 1년	Ⅲ 단계	사업화 준비	동아이엔지(주)	기술실시계약/ 1건	-	신형식 차음터널 구조에 적용하여 개발 기술 사업화 도모
종료 후 2년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 3년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 4년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 5년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-마	성과명	시제품 제작 및 성능인증 / 사업화

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅱ 단계	시제품 제작 및 성능 인증	고려대학교 산학협력단	시제품/1건 수주 계약/1건	과제 수행 기간	신형식 차음터널 구조 시제품 제작, 실외 성능 인증 실험, 사업화 기초 마련
종료 후 1년	Ⅲ 단계	사업화 준비	동아이엔지(주)	기술실시계약/ 1건	-	도로공사 기술마켓 등록 및 수주 계약 달성
종료 후 2년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 3년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 4년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용
종료 후 5년	Ⅳ 단계	공사 수주 및 시공	동아이엔지(주)	현장적용/ 1건	-	한국도로공사, 토지주택공사 현장 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

< 별첨 자료 >

1. 참고문헌

(1) Yoon, T. I., Noh, M. H., & Lee, S. Y. (2018). Parametric Applicability Assessment of High-Strength Steel Tubes of Noise Tunnel Structures for Weight Reduction. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 18(7), 299-306.

(2) Ahn, D. W., Choi, S. J., & Noh, M. H. (2016). Evaluation of design compatibility for lightweight soundproof tunnels using pipe truss beams. Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 7(1), 9-18.

(3) Noh, M. H., Ahn, D. W., & Joo, H. J. (2016). Assessment of Structural Performance for a Lightweight Soundproof Tunnel Composed of Partitioned Pipe Truss Members. Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 7(1), 1-8.

(4) Noh, M., & Lee, S. Y. (2017). Finite Element Analysis of Flanged Connections of Steel Tubular Truss-Type Soundproof Tunnels. Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 8(3), 46-52.

(5) Son, J. G., Park, G. H., & Ryu, R. E. (2014). A Development of the Light Weight Noise Tunnel on a High Degree of Efficiency and Environmentally Friendly for Railway. In Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference (pp. 487-490). The Korean Society for Noise and Vibration Engineering.

(6) Kim, T. M., Kim, J. T., Park, G. H., Son, J. G., Ryu, L. O., & Koh, H. I. (2015). The Study of Noise Reduction by Noise Protection Roof : Design Concept. Journal of the Korean Society for Environmental Technology, 16(2), 124-130.

(7) Kim, T. M., & Kim, J. T. (2017). The Study of Reduction to Wind-loading Effect for Noise Protection Roof using a Scaled Model. Journal of the Korean Society for Environmental Technology, 18(1), 55-62.

(8) Lee, N. S., Ju M. K., Koh, H. I., Hong, J. Y., & Oh, Y. K. (2017). A Study on the Efficient Design Alternative of Sound Absoption Facilities. The Korean Society of Living Environmental System, 24(6), 824-832.

(9) Kim, J., & Kim, S. A. (2020). Lifespan Prediction Technique for Digital Twin-Based Noise Barrier Tunnels. Sustainability, 12(7), 2940.

(10) Wu, X., Zhu, Y., Xian, L., & Huang, Y. (2021). Fatigue Life Prediction for Semi-Closed Noise Barrier of High-Speed Railway under Wind Load. Sustainability, 13(4), 2096.

(11) Dogan, E., & Ozyuksel Ciftcioglu, A. (2020). Weight optimization of steel frames with cellular beams through improved hunting search algorithm. Advances in Structural Engineering, 23(5), 1024-1037.

(12) Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2015), Road Structure & Facilities Standards.

(13) Architectural Institute of Korea(AIK). (2016). Korean Building Code, KBC2016.

(14) Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2009), Highway Design Manual.

(15) ABAQUS (2015) Standard User's Manual. 6.12. Johnston, RI: Dassault Systemes Simulia Corp.

(16) DNV, G. (2016). Determination of structural capacity by non-linear finite element analysis methods. DNVGL-RP-C208.

(17) Korea Expressway Corporation. (2019), Highway Design Manual 19th

(18) Korean Society of Steel Construction (KSSC) (2009). Korean steel structure design code-load and resistance factored design, KDS 14 00 00

(19) Ministry of Land, "Regulation about standard of equipment of structure", 2020.

(20) Ministry of Land, "Guidelines for Installation and Management of Road Tunnel Disaster Prevention Facilities, 2020.

(21) ANSI/ASHRAE, “Measuring Air-Change Effectiveness”, ANSI/ASHRAE 129-1997 (RA 2002).
(22) Sandberg, M., “What is ventilation efficiency?”, Building and environment, Vol. 16, No.2, pp. 123-135, 1981.
(23) an, H., “On the definition of ventilation effectiveness”, The M. of the society of air-conditioning and refrigeration engineers of Korea, Vol. 28, pp. 38-47, 1999.
(24) Favarolo, P. and Manz, H., “Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening”, Building and Environment, Vol. 40, No.5, pp. 689-699, 2005.
(25) Kim, Y. D., Cho, M. Y., “A Experimental Study on Natural Ventilation of Underground Parking Lots of Apartment Buildings”, Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.4, No.2, pp.165-173, 2000.
(26) Kim, H. S., Lee, S., Lee, C. J., Jang, M. S., “Computational Analysis of Effects of Ventilation on Air Quality in a Cabin”, Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.9, No.1, pp.97-102, 2005.
(27) Allocca, C., Chen, Q. and Glicksman, L.R., “Design analysis of single sided natural ventilation”, Energy and buildings, Vol.35, No.8, pp. 785-795, 2003.
(28) Bartak, M., Cermak, M., Clarke, J., Denev, J., Drkal, F., Lain, M., Macdonald, I., Majer, M. and Stankov, P., “Experimental and numerical study of local mean age of air”, Proceedings of the 7th International Building Performance Simulation Association Conference, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 773-779, 2001.
(29) Jiang, Y. and Chen, Q., “Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation”, Journal of Wind engineering and industrial aerodynamics, Vol.89, No.13, pp. 1155-1178, 2001.
(30) Song, D. S., Kim, S. J., “A Proposal of Indoor Air-conditioning system with Natural Ventilation”, Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.7, No.1, pp.109-116, 2003.
(31) Son, H. A., Lee, S., Um, J. A., Lee, S. G., Lee, H. C., “Analysis of Ventilation Performance in Pig Houses using CFD of Multi-Species Transport”, Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.23, No.4, pp.181-187, 2019.

<성과점검 기준표>

1. 총괄

핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표					해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료
					질적목표(측정방법)	목표치/달성치	검증방법	가중치				완료	미완료	
A	이식 가능한 신형식 차음터널 구조	A-1	구조 및 상세 개발	①	구조 특성 파악[1]	사례 5건/ 설계지침서 작성 및 구조특성 파악	전문가 검토의견서	5%	고려대학교	35	-	-	-	• 전문가 검토의견서 : 전문가 검토의견서 참조 **(붙임1)** • 사례 5건 : 거더형식 비교검토 보고서 **(붙임2)**
				②	부재 및 구조 상세 설계[1]	단위 길이당 중량 1.4ton/m / 단위 중량 1.3ton/m	전문가 검토의견서	5%	동아이엔지(주)	55	특허출원 1건 / 특허출원 2건	특허출원 2건	-	• 단위길이당 중량 : 차음터널 도면 **(붙임3)** • 특허 : 특허 출원 **(붙임5, 6)**
				③	부재 및 구조 상세 설계[1]	비교 대비 제작 비용 90% / 제작 비용 85%	전문가 검토의견서	5%	동아이엔지(주)	40	-	-	-	• 제작 비용 : 물량산출서 **(붙임4)**
				④	요소단위 구조 성능 확인[2]	전산해석 신뢰도 95% / 전산해석 신뢰도 98%	전문가 검토의견서	10%	고려대학교	59.5	SCI 1건 / SCI 1건	SCI 1건	-	• 전문가 검토의견서 : 전문가 검토의견서 참조 **(붙임7)** • SCI : SCI 논문 참조 **(붙임8)**
				⑤	운전자 시인성 개선[1)2)]	시인성 향상 기술 개발 / 특허 출원 완료	특허출원 증	5%	동아이엔지(주)	39	특허출원 1건 / 특허출원 1건	특허출원 1건	-	• 특허 : 특허 출원 **(붙임9)**
				⑥	운전자 시인성 개선[3]	조도편차 15% 절감 / 조도편차 24% 절감	특허등록 증 전문가 검토의견서	5%	동아이엔지(주)	30	특허등록 1건 / 특허등록 1건	특허등록 1건	-	• 시인성 개선: 시인성 개선 보고서 및 전문가 검토의견서 **(보고서 92페이지, 붙임 14)** • 특허 : 특허 등록 **(붙임15)**
				⑦	부재 및 구조 상세 설계[3]	단위 길이당 중량 1.0ton/m / 단위 중량 1.0ton/m	전문가 검토 의견서	5%	고려대학교	60	특허등록 1건 / 특허등록 3건 국내논문 1건 학술대회 1건	특허등록 3건 국내논문 1건 학술대회 1건	-	• 전문가검토: 전문가 검토의견서 **(붙임 16)** • 특허 : 특허 등록 **(붙임17-19)** • 논문 : 국내 논문 **(붙임 20)** • 학술대회 : 학술대회 논문 **(붙임 21)**
		A-2	신형식 구조물 검증	①	구조 성능 검증[2]	구조물 설계 기준 만족 / 설계 기준 만족	성능 인증서	10%	동아이엔지(주)	51	특허출원 1건 기관 인증서 1건 / 특허출원 1건 기관 인증서 1건	특허출원 1건 기관 인증서	-	• 특허 : 특허 출원 **(붙임10)** • 기관인증 : 기관 인증서 참조 **(붙임11)** • 학술대회 : 학술대회 논문

											학술대회 발표 2건	1건 학술대회 발표 2건		**(붙임 12, 13)**
B	소음 방지 및 공기순환 개선 시스템	B–	공기순환 개선	①	공기순환 성능 확인[3]	공기순환 특성 5% 향상 / 공기순환 특성 60% 향상	전문가 검토의견서	10%	고려대학교	45	국내논문 1건 / 국내논문 1건 학술대회 1건	국내논문 1건 학술대회 1건	–	• 전문가검토: 전문가 검토의견서 **(붙임 22)** • 논문 : 국내 논문 **(붙임 23)** • 학술대회 : 학술대회 논문 **(붙임 24)**
				②	공기순환 개선 방안 개발[3]	특허출원 / 특허출원 완료	특허출원 증	5%	고려대학교	40	특허출원 1건 / 특허출원 1건	특허출원 1건	–	• 특허 : 특허 출원 **(붙임25)**
		B–	출입부 회절 소음 저감	①	회절 소음 저감[3]	저감 처리 전/후 10% 저감 /	전문가 검토 의견서	5%	고려대학교	35	–	–	–	• 전문가검토: 전문가 검토의견서 **(붙임 26)**
C	신형식 차음터널 시제품	C–	차음터널 시제품 제작 및 검증	①	시제품 제작 계획[2]	양산규모 1/10 / 시제품 제작 계획 수립 완료	시 제 품 제작 계 획서	5%	동아이엔지(주)	25.5	–	–	–	• 시제품 제작 계획 : 시제품 제작 계획서 **(보고서 102 페이지)**
				②	시제품 제작[3]	양산규모 1/10 / 시제품 제작	시제품 제작 보고서	5%	동아이엔지(주)	30	시제품 1건 / 시제품 1건	–	–	• 시제품 제작: 시제품 제작 보고서 **(붙임 27)**
		C–	차음터널 시제품 인증	①	시제품 성능 인증 확보[3]	인증서 1건 / 시제품 성능 인증 시험 및 기관 인증	기관 인증서	10%	동아이엔지(주)	30	시제품 1건 / 시제품 1건	시제품 1건	–	• 기관 인증: 시험성적 및 기관인증서 **(붙임 28)**
D	신형식 차음터널의 사업화	D–	개발 시제품 사업화	①	사업화 달성[3]	국내 사업 수주 / 수주 계약 달성	수주계약 서	10%	동아이엔지(주)	20	수주계약 1건 / 수주계약 1건	수주계약 1건	–	• 사업화: 계약서 및 기술마켓 등록증 **(붙임 29, 30)**
계											특허 : 출원 3건 등록 2건 논문 : 국내 1건 SCI 1건 기관인증: 2건 시제품 : 1건 수주계약 : 1건 / 특허 : 출원 5건 등록 4건 논문 : 국내 2건 SCI 1건 기관인증: 2건 시제품 : 1건 수주계약 : 1건 학술대회: 4건	특허 : 출원 5건 등록 4건 논문 : 국내 2건 SCI 1건 기관인증: 2건 시제품 : 1건 수주계약 : 1건 학술대회: 4건	–	

2. 1차년도

핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료
				질적목표(측정방법)	목표치/달성치	검증방법	가중치				완료	미완료	
A	이식 가능한 신형식 차음터널 구조	A-1	구조 및 상세 개발	① 구조 특성 파악[1)]	사례 5건/ 설계지침서 작성 및 구조특성 파악	전문가 검토의견서	5%	고려대학교	35	-	-	-	• 전문가 검토의견서 : 전문가 검토의견서 참조 **(붙임1)** • 사례 5건 : 거더형식 비교검토 보고서 **(붙임2)**
				② 부재 및 구조 상세 설계[1)]	단위 길이당 중량 1.4ton/m / 단위 중량 1.3ton/m	전문가 검토의견서	5%	동아이엔지(주)	55	특허출원 1건 / 특허출원 2건	특허출원 2건	-	• 단위길이당 중량 : 차음터널 도면 **(붙임3)** • 특허 : 특허 출원 **(붙임5, 6)**
				③ 부재 및 구조 상세 설계[1)]	비교 대비 제작 비용 90% / 제작 비용 85%	전문가 검토의견서	5%	동아이엔지(주)	40	-	-	-	• 제작 비용 : 물량산출서 **(붙임4)**
계					1					특허출원 1건 / 특허출원 2건	특허출원 2건	-	

3. 2차년도

핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료
				질적목표(측정방법)	목표치/달성치	검증방법	가중치				완료	미완료	
A	이식 가능한 신형식 차음터널 구조	A-1	구조 및 상세 개발	④ 요소단위 구조 성능 확인[2]	전산해석 신뢰도 95% / 전산해석 신뢰도 98%	전문가 검토의견서	10%	고려대학교	59.5	SCI 1건 / SCI 1건	SCI 1건	-	• 전문가 검토의견서 : 전문가 검토의견서 참조 **(붙임7)** • SCI : SCI 논문 참조 **(붙임8)**
				⑤ 운전자 시인성 개선[1)2)]	시인성 향상 기술 개발 / 특허 출원 완료	특허출원 증	5%	동아이엔지(주)	39	특허출원 1건 / 특허출원 1건	특허출원 1건	-	• 특허 : 특허 출원 **(붙임9)**
		A-2	신형식 구조물 검증	① 구조 성능 검증[2]	구조물 설계 기준 만족 / 설계 기준 만족	성능 인증서	10%	동아이엔지(주)	51	특허출원 1건 기관 인증서 1건 / 특허출원 1건 기관 인증서 1건 학술대회 발표 2건	특허출원 1건 기관 인증서 1건 학술대회 발표 2건	-	• 특허 : 특허 출원 **(붙임10)** • 기관인증 : 기관 인증서 참조 **(붙임11)** • 학술대회 : 학술대회 논문 **(붙임 12, 13)**
C	신형식 차음터널 시제품	C-	차음터널 시제품 제작 및 검증	① 시제품 제작 계획[2]	양산규모 1/10 / 시제품 제작 계획 수립 완료	시 제 품 제작 계 획서	5%	동아이엔지(주)	25.5	-	-	-	• 시제품 제작 계획 : 시제품 제작 계획서 **(보고서 102 페이지)**
계					1					특허출원 2건 SCI 1건 기관 인증서 1건 / 특허출원 2건 SCI 1건 기관 인증서 1건 학술대회 발표 2건	특허출원 2건 SCI 1건 기관 인증서 1건 학술대회 발표 2건	-	

4. 3차년도

핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료
				질적목표(측정방법)		목표치/달성치	검증방법	가중치			완료	미완료	
A	이식 가능한 신형식 차음터널 구조	A-1	구조 및 상세 개발	⑥	운전자 시인성 개선[3]	조도편차 15% 절감 / 조도편차 24% 절감	특허등록 증 전문가 검토의견서	5%	동아이엔지(주)	30	특허등록 1건 / 특허등록 1건	특허등록 1건	–	• 시인성 개선: 시인성 개선 보고서 및 전문가 검토의견서 **(보고서 92페이지, 붙임 14)** • 특허 : 특허 등록 **(붙임15)**
				⑦	부재 및 구조 상세 설계[3]	단위 길이당 중량 1.0ton/m / 단위 중량 1.0ton/m	전문가 검토 의견서	5%	고려대학교	60	특허등록 1건 / 특허등록 3건 국내논문 1건 학술대회 1건	특허등록 3건 국내논문 1건 학술대회 1건	–	• 전문가검토: 전문가 검토의견서 **(붙임 16)** • 특허 : 특허 등록 **(붙임17-19)** • 논문 : 국내 논문 **(붙임 20)** • 학술대회 : 학술대회 논문 **(붙임 21)**
B	소음 방지 및 공기순환 개선 시스템	B-	공기순환 개선	①	공기순환 성능 확인[3]	공기순환 특성 5% 향상 / 공기순환 특성 60% 향상	전문가 검토의견서	10%	고려대학교	45	국내논문 1건 / 국내논문 1건 학술대회 1건	국내논문 1건 학술대회 1건	–	• 전문가검토: 전문가 검토의견서 **(붙임 22)** • 논문 : 국내 논문 **(붙임 23)** • 학술대회 : 학술대회 논문 **(붙임 24)**
				②	공기순환 개선 방안 개발[3]	특허출원 / 특허출원 완료	특허출원 증	5%	고려대학교	40	특허출원 1건 / 특허출원 1건	특허출원 1건	–	• 특허 : 특허 출원 **(붙임25)**
		B-	출입부 회절 소음 저감	①	회절 소음 저감[3]	저감 처리 전/후 10% 저감 /	전문가 검토 의견서	5%	고려대학교	35	–	–	–	• 전문가검토: 전문가 검토의견서 **(붙임 26)**
C	신형식 차음터널 시제품	C-	차음터널 시제품 제작 및 검증	②	시제품 제작[3]	양산규모 1/10 / 시제품 제작	시제품 제작 보고서	5%	동아이엔지(주)	30	시제품 1건 / 시제품 1건	시제품 1건	–	• 시제품 제작: 시제품 제작 보고서 **(붙임 27)**
		C-	차음터널 시제품 인증	①	시제품 성능 인증 확보[3]	인증서 1건 / 시제품 성능 인증 시험 및 기관 인증	기관 인증서	10%	동아이엔지(주)	30	기관인증서 1건 / 기관인증서 1건	기관인증서 1건	–	• 기관인증: 기관인증서 **(붙임 28)**
D	신형식 차음터널의 사업화	D-	개발 시제품 사업화	①	사업화 달성[3]	국내 사업 수주 / 수주 계약 달성	수주계약 서	10%	동아이엔지(주)	20	수주계약 1건 / 수주계약 1건	수주계약 1건	–	• 사업화: 계약서 및 기술마켓 등록증 **(붙임 29, 30)**
계						1					특허등록 2건 국내논문 1건 특허출원 1건 시제품 1건 기관인증 1건	특허등록 4건 국내논문 2건 특허출원	–	

								수주계약 1건 / 특허등록 4건 국내논문 2건 특허출원 1건 시제품 1건 기관인증 1건 수주계약 1건 학술대회 2건	1건 시제품 1건 기관인증 1건 수주계약 1건 학술대회 2건		

성과증빙 A-1-①, 붙임 1

■ 전 문 가 평 가 의 견 서 ■

평가 대상	차음터널용 주골조부재 거더형식 비교검토
평가 일시	2019. 11. 27

평 가 항 목 (내 용)	평가등급 (해당란에 ○표)				
	매우우수 (10점)	우수 (8점)	보통 (6점)	미흡 (4점)	매우미흡 (2점)
01. [비교대상 선정] 차음터널의 주골조부재 거더로 사용하기 적절한 형식의 범을 선정하여 비교하였는가?	A( )	B(V)	C( )	D( )	E( )
	[평가의견] 선정한 범은 주골조부재로 적합한 것으로 판단됨.				
02. [비교방법의 적합성] 서로 다른 형식의 거더를 적절한 가정을 통해 동일 환경에서 비교를 진행하였는가?	A(V)	B( )	C( )	D( )	E( )
	[평가의견] 각각 다른 거더에 대하여 동일조건에 대한 비교법을 수행하였음.				
03. [하중선정] 실질적인 비교를 위해 적정 수준의 하중과 하중조합, 하중조건이 올바르게 선택, 산출되었는가?	A( )	B(V)	C( )	D( )	E( )
	[평가의견] 설계용 차량 하중 선정/조합은 적합한 것으로 판단됨.				
04. [구조해석의 정확성] 서로 다른 형식의 거더에 대해 적합한 요소타입과 크기를 선택하고 적절한 구속조건, 경계조건에 의해 작성되었는가?	A( )	B(V)	C( )	D( )	E( )
	[평가의견] 설계시 적용한 해석 모델은 적합한 가정을 거쳐 ~~수행되어~~ 선정되었음.				
05. [최종목표] 본 연구과제의 목표인 4차선급 신형식 경량 차음터널 설계를 위한 주골조부재용 거더 형식 비교검토가 적합하게 수행되었는가?	A(V)	B( )	C( )	D( )	E( )
	[평가의견] 적절히 비교 검토 수행되었음.				
평균 점수 (점수합계 x 2)	98 점 / 100점 (80이상 만족)				

종합 평가의견
거더 형식 결정을 위해 분석, 선정 및 해석을 적절히 수행되었음.

평 가 위 원	소속: 경남과학기술대학교 부서: 토목공학과 직위: 교수 성명: 오 홍 섭 (인)

붙임 2

2019년도 보고서

4차선급 신형식 차음터널 개발
<거더형식 비교검토 보고서>

고려대학교

목 차

제 1 장 개요 ····· 1
1.1 일반사항 ····· 1
1.1.1 구조해석 기준 ····· 1
1.2 비교대상 거더 형식 선정 ····· 1
1.3 비교방법 ····· 2
1.3.1 기준 거더 제원 선택 ····· 2
1.3.2 비교 환경 ····· 2
1.3.3 단면 제어 ····· 2
제 2 장 수치해석 모델 ····· 3
2.1 거더 횡단면 가정 ····· 3
2.2 사용 강종 및 물성치 ····· 3
2.3 적용하중 ····· 4
2.4 구속조건 ····· 4
2.5 하중 적용 및 경계조건 ····· 6
2.6 부재별 사용요소 ····· 6
제 3 장 해석 결과 ····· 7
3.1 해석결과 ····· 7
3.2 응력분포 ····· 7
3.3 처짐분포 ····· 13
3.4 총평 ····· 14

제 1 장 개요

1.1 일반사항

본 문건에서는 경량 차음터널용 지붕 주골조로서 적합한 거더형식을 선별하기 위한 거더형식별 거동특성을 분석하였다. 수치해석 프로그램으로는 상용 유한요소 프로그램 ABAQUS를 사용하였다.

1.1.1 구조해석 기준

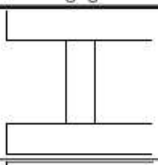
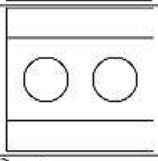
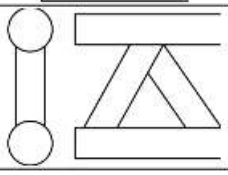
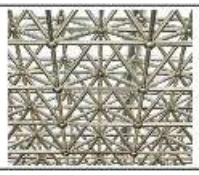
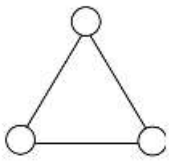
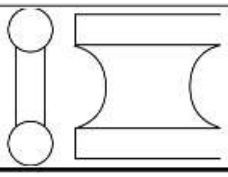
(1) 설계 및 허용응력 조건: 강구조설계기준, 도로교설계기준, 도로설계편람

(2) 적용하중: 건축구조설계기준, 도로설계편람

1.2 비교대상 거더 형식 선정

문헌 및 시장조사를 통해 다음과 같이 5가지 빔 형식을 비교대상을 선정하였다.

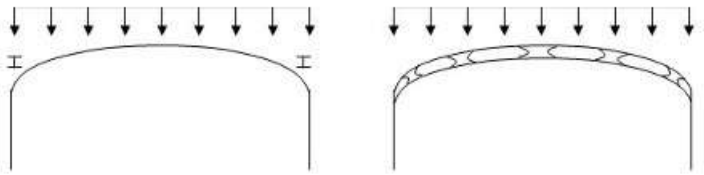
표 1.1 비교대상 거더 형상 및 특징

명칭	형상	사진	특징
H형강 빔			대표적인 주골조용 기성품으로 여러 구조형식에서 사용됨
H형강 셀룰러 빔			H빔을 종방향으로 절단하여 상하 플랜지 간격 확보하여 휨강성을 극대화시킨 거더구조
트러스 빔			상하현재와 가새구조로 효율적인 경량 거더구조
델타 빔			상하현재를 3방향 배치함으로써 견고한 강성을 구축하는 거더구조
나비형 복부판 빔			기성품 파이프를 상하현재로 사용하고 유연한 복부면적을 갖춘 거더구조

1.3 비교방법

1.3.1 기준 거더 제원 선택

방음터널용 주골조부재는 도로설계편람에 의거하여 SS275 강재를 사용하는 H 형강으로 제작한다. 본 비교해석에서는 H300X300X10X15 H 형강 규격빔을 사용하여 지붕면을 아치형 거더 구조를 구성하고, 타형식 거더 구조의 단면적을 규격 H빔과 동일한 수준으로 설정하여 응력수준, 처짐량을 비교검토를 진행한다.



도 1.1 거더형식별 비교검토법 모식도

1.3.2 비교 환경

설계대상 환경은 본 과제의 목표규모인 4차선급 도심지역 주간선도로로 선택하였다. 도로폭과 기초부 시공성을 고려하여 거더 경간을 20m로 선정하였고, 차음터널의 미관을 고려하여 약 20m의 곡률을 적용한 아치 거더를 선택하였다. 베이스 플레이트, 거셋 플레이트 등 기초부 또는 연결부는, 거더형식 비교 검토시 영향을 미치는 점을 고려하여 본 해석에서 제외하였다. 또한, 주골조 및 부골조에 의한 자중 고려 시, 상기 규격빔의 자중을 사용하고, 부골조의 중량을 고려하기 위해 하중증가계수 1.33을 적용하였다.

1.3.3 단면 제어

비교 거더 형식의 단면을 제어하기 위한 방식은 마땅한 기준이 없는 관계로 다음과 같이 거더의 단위 단면적을 일정하게 제한하고 변경하였다.

비교기준 H빔의 부재 단면량을 기준으로 타형식 거더의 제작방식을 고려하여 비교형식을 산출하였다. H형강 셀튤러 빔의 경우, 기존 H빔의 복부를 절단하여 붙이는 방식으로 생산하므로, 비교대상 H빔의 높이의 1.33배를 적용하였고, 복부에 직경 200mm 구멍을 300mm 간격으로 배치하였다. 트러스 빔의 경우, 상하현재 간격을 500mm로 유지하고, H형강의 플랜지부의 단면적을 파이프로 환산하여 직경100mm, 두께 15mm의 파이프를 적용하였다. 트러스 빔의 가새 또한 마찬가지로 H빔의 복재의 단면적을 500mm X 1000mm 의 면적에 해당하는 값으로 환산하여 직경 50mm, 두께 10mm의 파이프를 적용하였다. 델타빔의 경우, 제작방법이 명확하게 제시되지 않아 임의로 H빔의 플랜지 총단면적을 3개 파이프로 환산한 상하현재를 사용하고, 복재의 단면적을 환산한 3개의 강봉으로 상하현재 간 결합을 진행하였다. 마지막으로 나비형 복부판 빔의 경우, 플랜지 단면적을 파이프형 상하현재로 변환하고(ϕ100mm, t15), 400mm 높이로 배치하였다. 나비형 복부판의 경우, 마찬가지로 H빔의 복재 단면적을 환산하고, 중심선을 기준으로 2600mm 등간격으로 배치하고, 양단 우각부를 보강하였다.

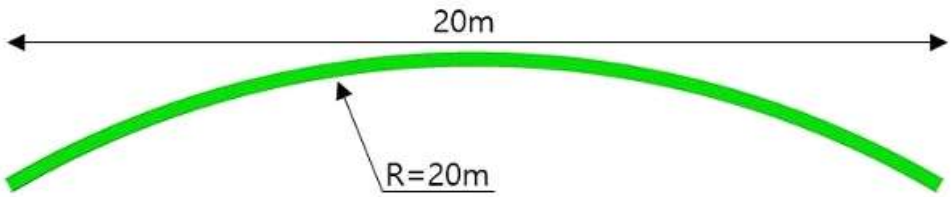
제 2 장 수치해석 모델

2.1 거더 횡단면 가정

비교 모델의 횡단면은 왕복 4차선 도로를 가정하여 다음과 같이 설계하였다.

표 1.1 비교대상 거더 모델

구분	적용값	비고
도로폭	16m	왕복 4차선 가정
도로폭 여유분	2m	양단 길어깨 및 도로구조물 고려
시설폭	20m	16m + 2m X 2 = 20m
아치 곡률	r=20m	시설한계높이, 도로변 제한 고려



2.2 사용 강종 및 물성치

모든 형식의 거더는 SS275 강재를 사용하며, 표에서 제시된 항복강도를 초과하지 아니한다.

표 2.1 구조용 강재의 재료강도 (MPa)

강도	재료항복강도 F_y					극한강도 F_u
판 두께	≤16mm	16mm< ≤40mm	40mm< ≤75mm	75mm< ≤100mm	100mm< ≤200mm	
SS275	275	265	245	245	235	410

SS275 강종을 사용한 구조해석시, 강재의 물리상수는 다음 표의 값을 사용한다.

표 2.2 구조용 강재의 물리상수

종류	기호	단위	물리상수의 값
강과 주강의 탄성계수	E	MPa	210,000
강의 전단탄성계수	G	MPa	81,000
강과 주강의 포아송비	ν	−	0.30
강의 열팽창계수	α	1/℃	1.2×10^{-5}

2.3 적용하중

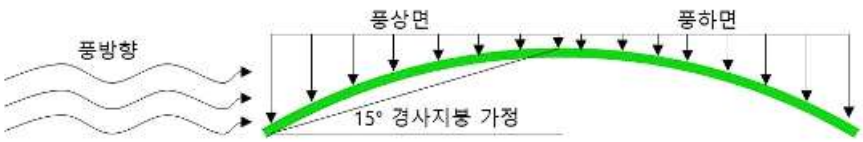
주요 설계하중으로 고정하중, 활하중, 풍하중, 설하중, 및 기타하중에 대해 검토하여야 한다. 단, 본 문건에서는, 거더간 비교검토를 원활하게 진행하기 위해 다음과 같이 1가지 하중조건에 대해 검토한다. 자중의 경우, 기준 H빔의 주골조 하중에 증가계수를 고려하여 모든 거더형식에 동일하게 적용한다. 방음판 하중의 경우, 폴리카보네이트 재질로 제작한 방음판의 최대중량를 가정하여 산출하였다. 적설하중의 경우 수도권 중층건물 밀집지역을 기준으로 비 난방상황을 고려하여 산출하였다. 풍하중 산출시 15° 경사지붕 상황을 가정하고 서울지역 기준 설계풍압을 사용하여 산출하였다. 최종적으로 정적하중과 풍하중, 정적하중과 적설하중 두가지 경우를 산출하였고, 하중조건별 적용 선하중은 다음과 같다.

표 2.3 적용하중 산출 (지주간격 4m)

구분		설계하중	적용하중	적용 선하중	비고
고정하중 D	자중	$\rho = 7.8\text{ton/m}^3$ $a_g = 9.81 m/s^2$	약 140kg/m = 1.37kN/m	**1.9kN/m**	H빔 거더 선하중 (증가계수 1.33 적용)
	방음판하중	0.252kN/m^2	0.3kN/m^2	**1.2kN/m**	
활하중 L	지붕활하중	1.0kN/m^2	1.0kN/m^2	**4.0kN/m**	·
적설하중 S	적설하중	0.5kN/m^2	0.6kN/m^2	2.4kN/m	비난방구조 계수: 1.2
풍하중 W	풍상면	+1.16kN/m^2	+1.2kN/m^2	**+4.8kN/m**	설계풍압= 2.23kN/m^2
	풍하면	−0.52kN/m^2	−0.5kN/m^2	**−2.0kN/m**	

최종적용하중(지주간격 4m 가정, 선하중)

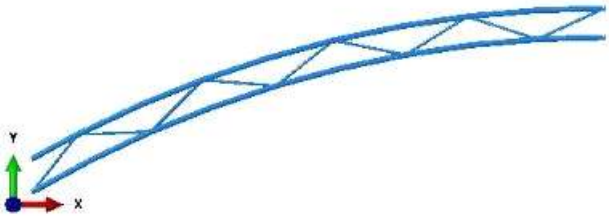
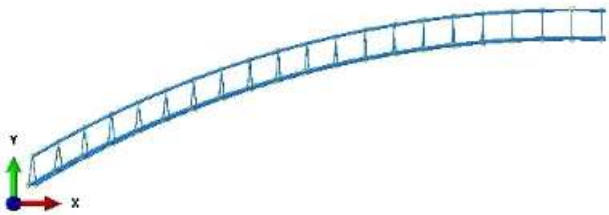
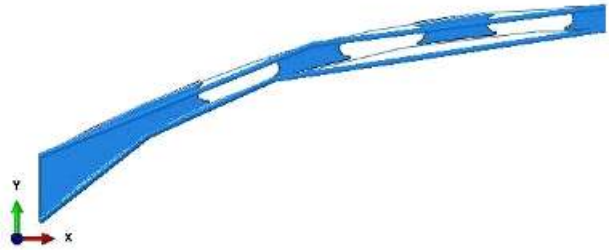
LC I 고정하중(D)+활하중(L)+풍하중(W)		**LC II** 고정하중(D)+활하중(L)+적설하중(S)
풍상면	풍하면	풍상, 풍하면
11.9kN/m	**5.1kN/m**	**7.1kN/m**



2.4 구속조건

거더 축방향에 따라 단면이 일정하지 않은 경우, 부위별 형상을 각각 작성하고 구속조건으로 결합하였다. H형강, 셀튤러 빔, 또는 나비형 복부판 빔의 경우, 플랜지에 해당하는 부위를 선요소로, 복부에 해당하는 부위를 면요소로 작성 후 Tie 구속조건을 사용하여 결합하였다. 트러스 빔 및 델타 빔의 경우, 모든 단면을 선요소로 구성하였다.

표 2.4 거더형식별 구속조건

구분	형식	적용 형상
복합 선요소	트러스 빔	
	델타 빔	
선요소 +면요소	H형강	
	H형강 빔 셀플러 빔	
	나비형 복부판 빔	

2.5 하중 적용 및 경계조건

2.3절에서 산출한 하중값은 풍방향(+x축)에 대해 L/2 지점을 풍상면, L/2부터 L 지점을 풍하면으로 지정하여 적용한다. 이때 하중방향은 중력방향(-y축)으로 고정하여 적용하였으며, 적용시 하중 형상은 다음과 같다.



도 2.1 하중조건 적용선

경계조건의 경우, 양단 고정단으로 가정하였으며, 양단 끝 절점에 Fixed 조건을 적용하였고, 해석모델의 안정성을 확보하기 위해 하중 가력선에 대하여 종방향(z축) 변위 구속 및 횡방향 뒤틀림 구속(x축 모멘트)을 적용하였다.



도 2.2 경계조건 적용선

2.6 부재별 사용요소

거더형식의 세부부재별 사용요소로는 2절점 빔 요소와 3절점, 4절점 쉘 요소를 사용하였다. 요소크기는 부재특성을 반영하여 전 부재에 동등한 수준으로 적용하였다. 빔 요소와 쉘 요소의 최소 최대 크기 제한은 전반적으로 준수하되, 형상에 의해 생성되는 절점 또는 구속조건 적용 지점에 맞게 적용한다.

표 2.5 부재 형식별 사용 요소 및 크기

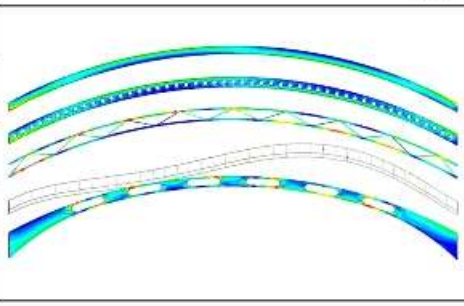
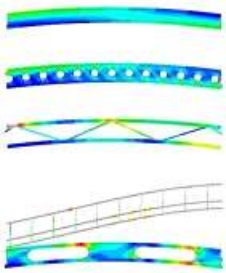
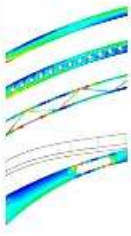
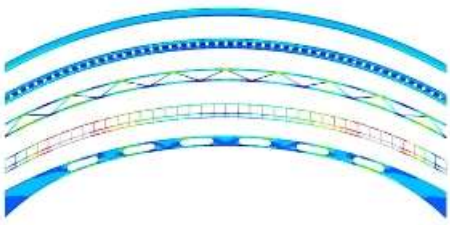
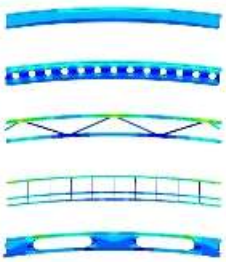
구분	사용 요소	요소 크기	비고
선부재	B31 2절점 빔요소	$\frac{\sqrt{I_x}}{A_y}$ 이상, 곡률 중심각 6° 이하	부재의 실제 편심량 고려 (아치형 부재)
면부재	S3, S4 3,4절점 쉘요소	두께 t 이상, 형상비 5 이하	유한요소의 변장비 5.0 이하
*도로교설계기준 2016, 4.6장 정적 해석 참조			

제 3 장 해석 결과

3.1 해석결과

상용 유한요소 프로그램 ABAQUS를 사용하여 5가지 형식 거더를 동일하중, 동일 경계조건에 대한 비교를 진행하였다. 응력검토시에는 Von-mises 응력을 기준으로 검토하였고, 강재의 항복강도를 초과하거나 과도한 처짐량을 보이는 거더는 비교시 제외하였다. 두가지 하중조건에 대한 형식별 응력분포는 다음과 같다.

표 3.1 하중조건별 응력분포

구분	응력분포 (scale factor:1.0)		
	전경	중앙부	우각부
	LC I		
H-beam			
Cellular			
Truss			
Delta			
Butterfly			
	LC II		
H-beam			
Cellular			
Truss			
Delta			
Butterfly			

동일하중 재하 시 델타 빔의 경우 타 형식 거더에 비해 현저히 높은 처짐량이 계산되었으며, 순서대로 H빔, 나비형 복부 빔, 트러스빔, 셀퓰러빔이 그 뒤를 이었다. 응력 수준은 델타빔을 제외한 모든 거더에서 재료 항복강도 275MPa 초과하지 않았다.

3.2 응력분포

예상되는 모멘트 하중 및 전단력, 축력 집중부인 우각부와 중앙부를 중점적으로 분석하였다. 하중조건 별 거더 형식의 좌, 우측 우각부와 중앙부 응력분포를 확인하고 다음과 같이 정리하였다.

표 3.1 하중조건별 응력분포 (LC Ⅰ 좌측우각부)

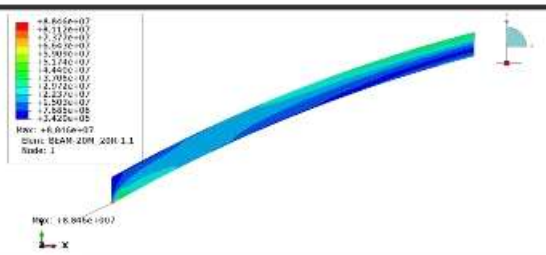
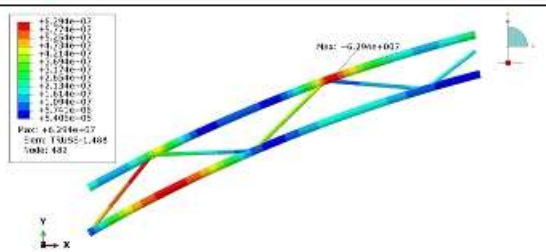
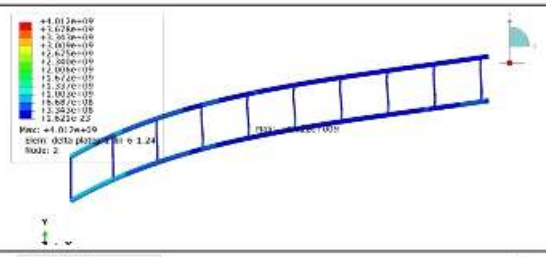
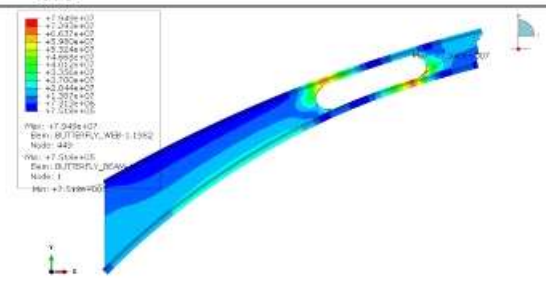
구 분 [단위: MPa]			최대응력	응력분포
LC Ⅰ	좌측우각부	H-beam	45.6	
		Cellular	50.3	
		Truss	62.9	
		Delta	-	
		Butterfly	79.5	

표 3.2 하중조건별 응력분포 (LC Ⅰ 우측우각부)

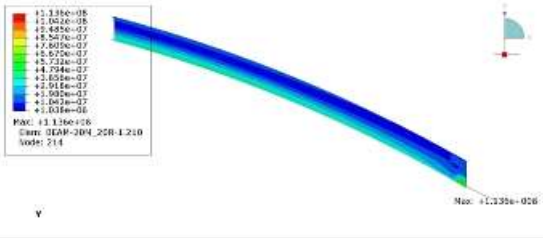
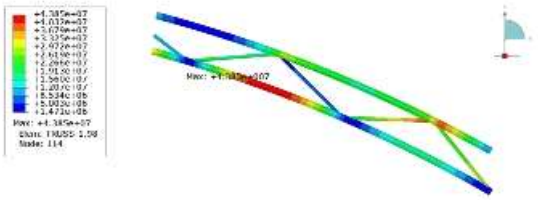
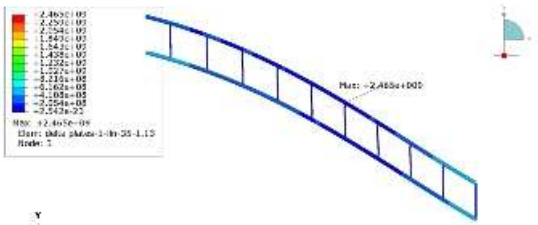
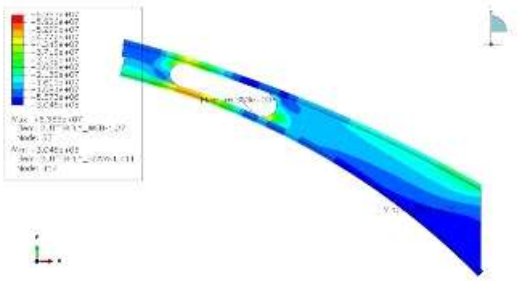
구 분 [단위: MPa]			최대응력	응력분포
LC Ⅰ	우측우각부	H-beam	45.5	
		Cellular	35.7	
		Truss	43.9	
		Delta	-	
		Butterfly	63.5	

표 3.3 하중조건별 응력분포 (LC I 중앙부)

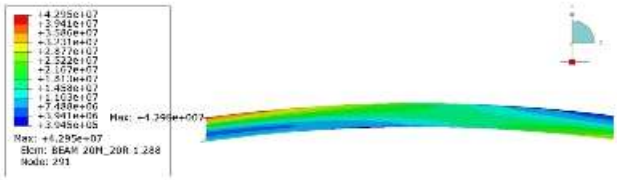
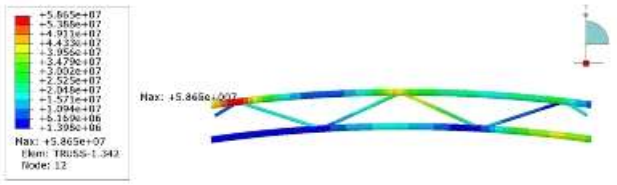
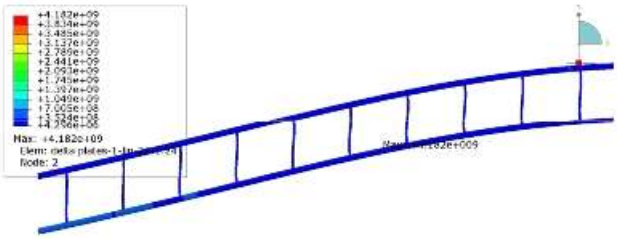
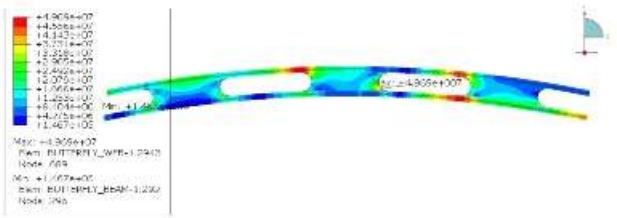
구 분 [단위: MPa]			최대응력	응력분포
LC I	중앙부	H-beam	33.1	
		Cellular	31.1	
		Truss	58.7	
		Delta	-	
		Butterfly	49.7	

표 3.4 하중조건별 응력분포 (LC II 좌측우각부)

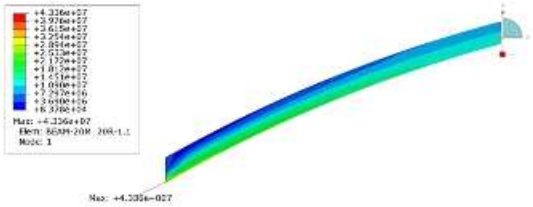
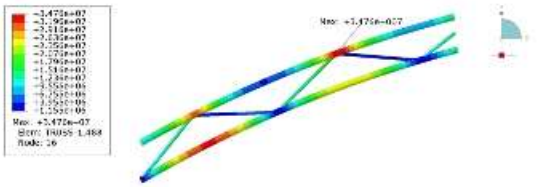
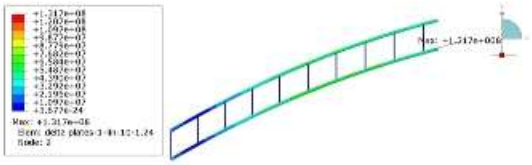
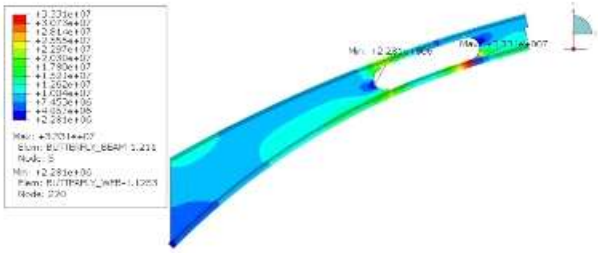
구 분 [단위: MPa]			최대응력	응력분포
LC II	좌측우각부	H-beam	15.0	
		Cellular	25.3	
		Truss	34.8	
		Delta	-	
		Butterfly	33.3	

표 3.5 하중조건별 응력분포 (LC II 중앙부)

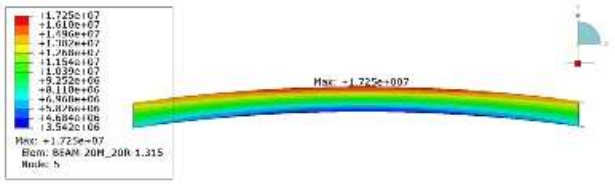
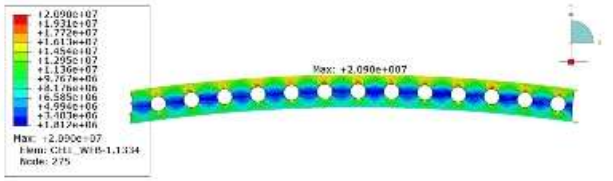
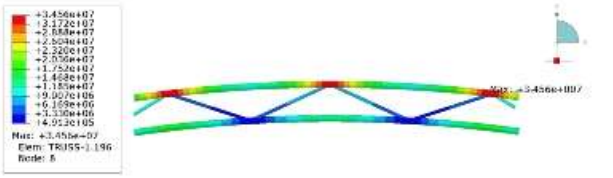
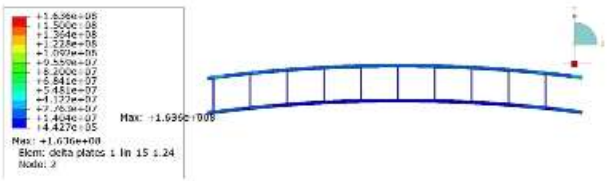
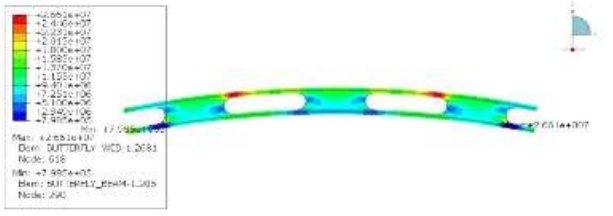
구 분 [단위: MPa]			최대응력	응력분포
중앙부		H-beam	14.4	
		Cellular	20.9	
		Truss	34.6	
		Delta	–	
		Butterfly	26.6	

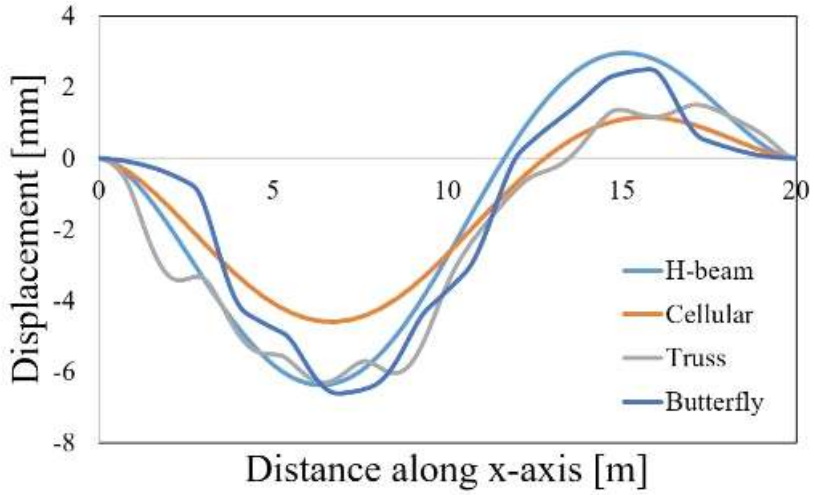
표 3.6 하중조건별 응력분포 총괄

구 분 [단위: MPa]	최대응력 (Von-Mises)				
	LC I			LC II	
	좌측우각부	우측우각부	중앙부	좌측우각부	중앙부
H-beam	45.6	45.5	33.1	15.0	14.4
Cellular	50.3	35.7	31.1	25.3	20.9
Truss	62.9	43.9	58.7	34.8	34.6
Delta	-	-	-	-	-
Butterfly	79.5	63.7	49.7	33.3	26.6

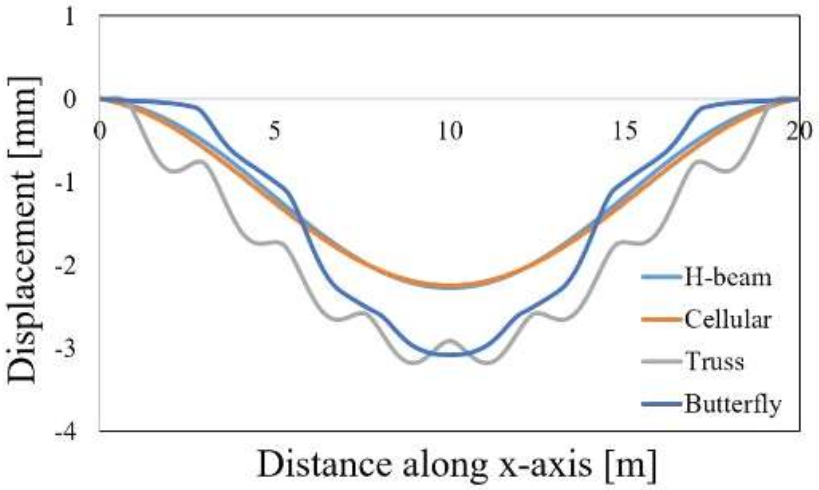
응력수준은 하중조건에 따라 양측 우각부 및 중앙부에서 계산되는 최대응력을 정리하였다. 델타 빔의 경우 항복강도 이상의 응력이 계산되어 표기에서 제외하였다. H빔과 유사한 구조를 띄고 있는 셀룰러 빔은 전 구간에서 H빔과 대등한 수준의 응력값이 계산되었고, 상하현재가 파이프로 구성된 트러스 빔과 나비형 복부 빔은, 일부 구간에서 트러스에서 낮은 응력값이 계산되었다. 나비형 빔의 경우 복재의 4개 모서리부에서 주로 높은 응력값이 관찰되었다. 우각부에서 발생하는 응력은 단면 제어량을 초과하지 않는 수준에서 복재의 확장 및 상하현재 간격 확보로 보정하였

3.3 처짐검토

5가지 형식의 처짐량 검토를 위해 거더의 부재방향(x축)을 따라 중력방향(-y방향) 처짐량을 하중조건별로 추출하고 각각의 형식에 대해 다음과 같이 그래프로 도시하였다. 델타빔의 경우 처짐량이 타 형식의 거더에 비해 10배 이상이 계산됨에 따라, 본 처짐검토 비교 그래프에서 제외하였다.



도 3.1 LC I 거더경간방향(x축)-처짐량 그래프



도 3.2 LC II 거더경간방향(x축)-처짐량 그래프

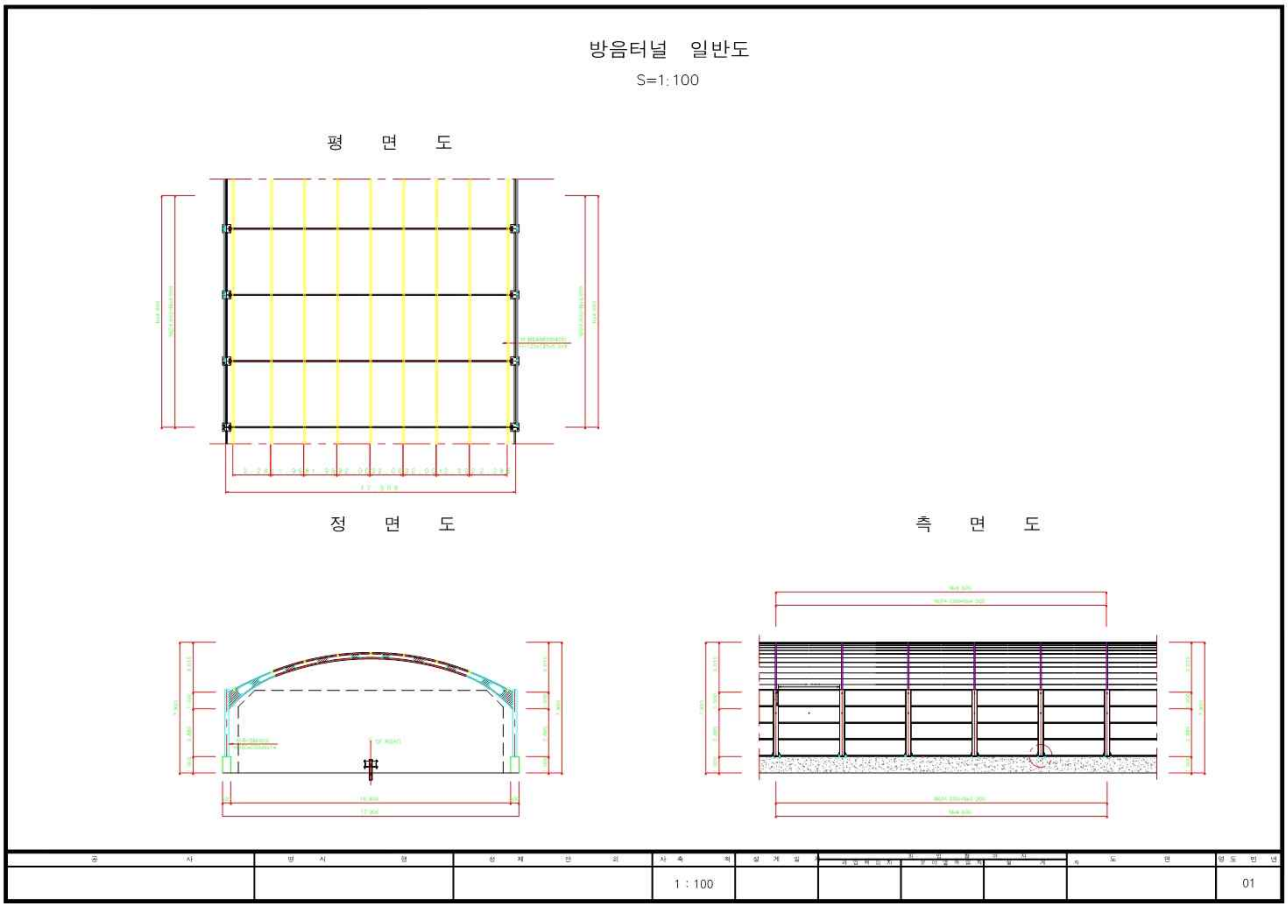
델타빔을 제외한 4가지 형식의 거더에서 모두 사용성한계 처짐량 δ_s(L/180=111mm) 이내로 계산되었다. 최대 처짐량은 LC I에서 오름차순으로 셀퓰러, 트러스, 나비형, H빔 순서였고, LC II에서 셀퓰러=H빔, 나비형, 트러스 순으로 확인되었다. 가장 처짐량이 적었던 셀퓰러 빔 대한 상대 처짐량은 모든 형식에 각각 +50% 이내임을 확인하였다.

3.4 총평

본 비교검토 문건에서는 일반적으로 사용되는 H빔 거더와, 선정된 4가지 형식의 거더에 대해 수치적인 비교검토를 진행하였다. 선정된 H빔 규격에 맞춰 동일 강재량을 갖는 타 형식 거더를 모델링하였고, 응력수준 및 처짐량에 대해 검토하였다. 수치해석 모델의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

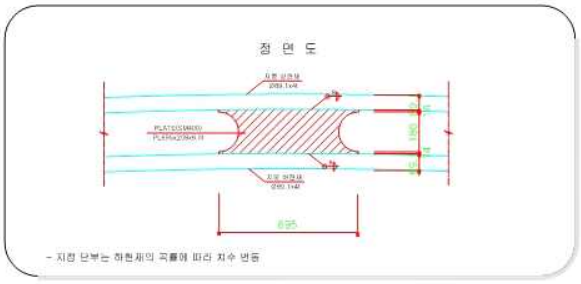
1. H빔을 절단하여 사용하는 H형강 셀퓰러 빔은 제작과정이 단순하면서 높은 안정성과 강성을 확보하고 있다.
2. 트러스, 나비형 복부 빔은 명백히 다른 형상의 외관을 갖음에도 불구하고 유사한 구조적 거동 특성을 보인다.
3. 비대칭 하중이 가해지는 경우, H빔 보다 트러스 또는 나비형 복부판 빔의 사용이 높은 사용성 성능을 확보할 수 있다.
4. 나비형 복부판 빔의 유연한 단면 변경은 응력감소에 유연한 대처가 가능하다.

성과증빙 A-1-②, 붙임 3

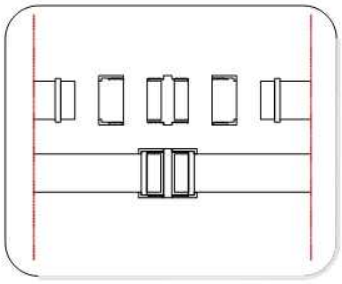


방 음 터 널 상 세 도(1)

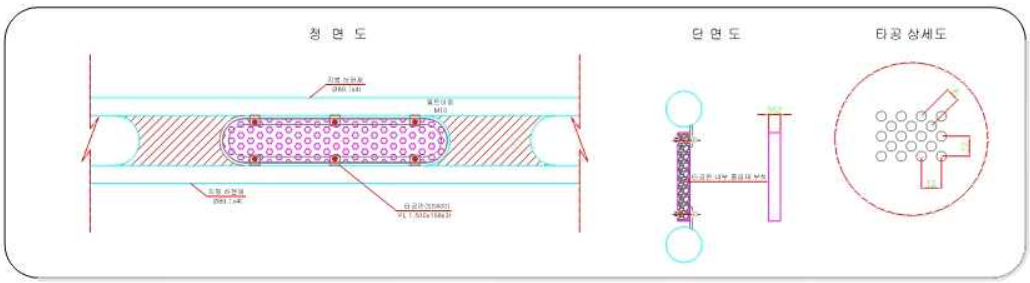
접형강판 상세(일반부)



연결부 상세

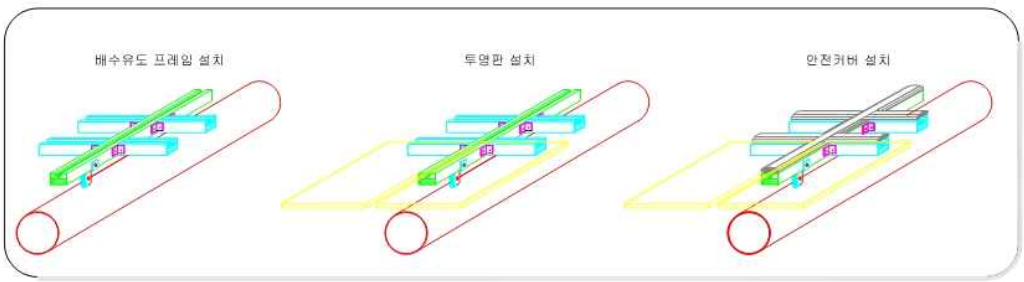


타공판 상세(진출입부)

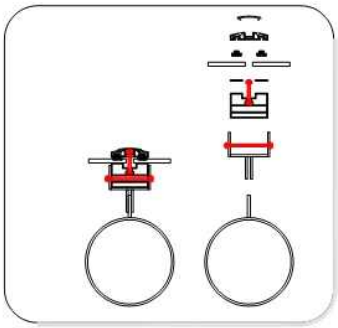


	축 척 1 : 50	도면명	방음터널 상세도(1)

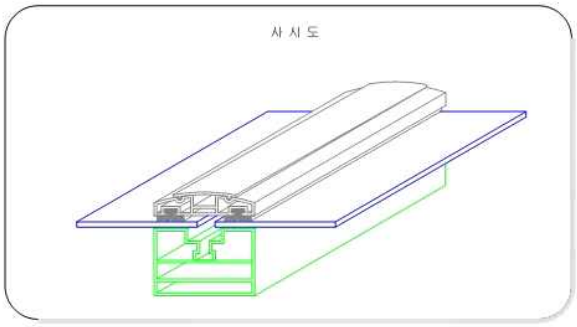
방 음 터 널 상 세 도(2)



천정부 연결부 상세



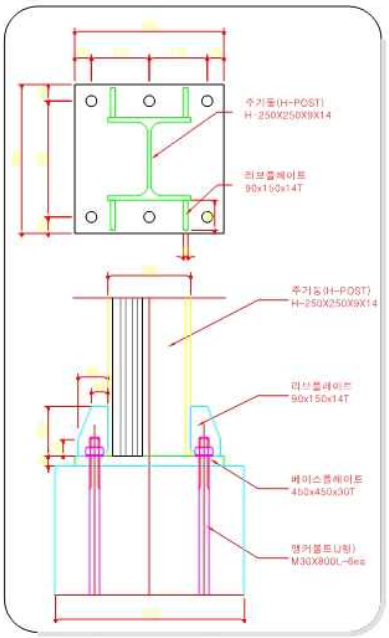
배수유도 프레임 상세



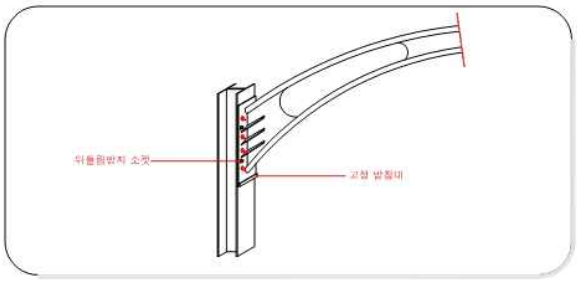
	축 척 1 : 50	도면명	방음터널 상세도(2)

방 음 터 널 상 세 도(3)

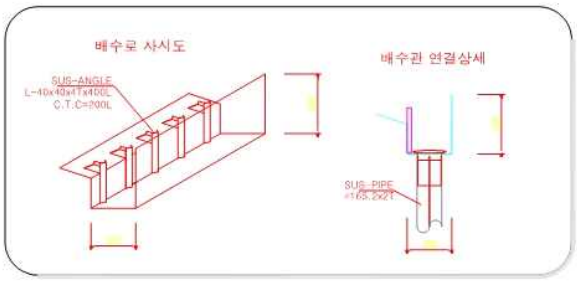
Base Plate 상세



방음판 연결 상세도(지붕부)

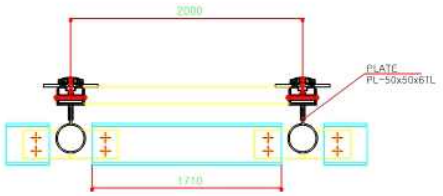


배수관 상세

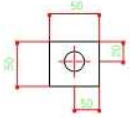


축 척	1 : 50	도면명	방음터널 상세도(3)

방 음 터 널 상 세 도(4)



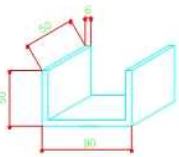
측면 연결상세



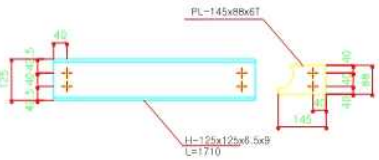
배수 파이프 받침대
연결 플레이트



배수 파이프 받침대
고정 플레이트



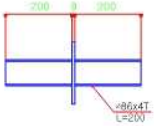
배수 파이프 받침대



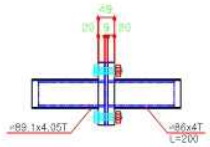
형강 연결상세



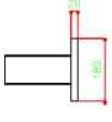
프래지-9T



연결소켓

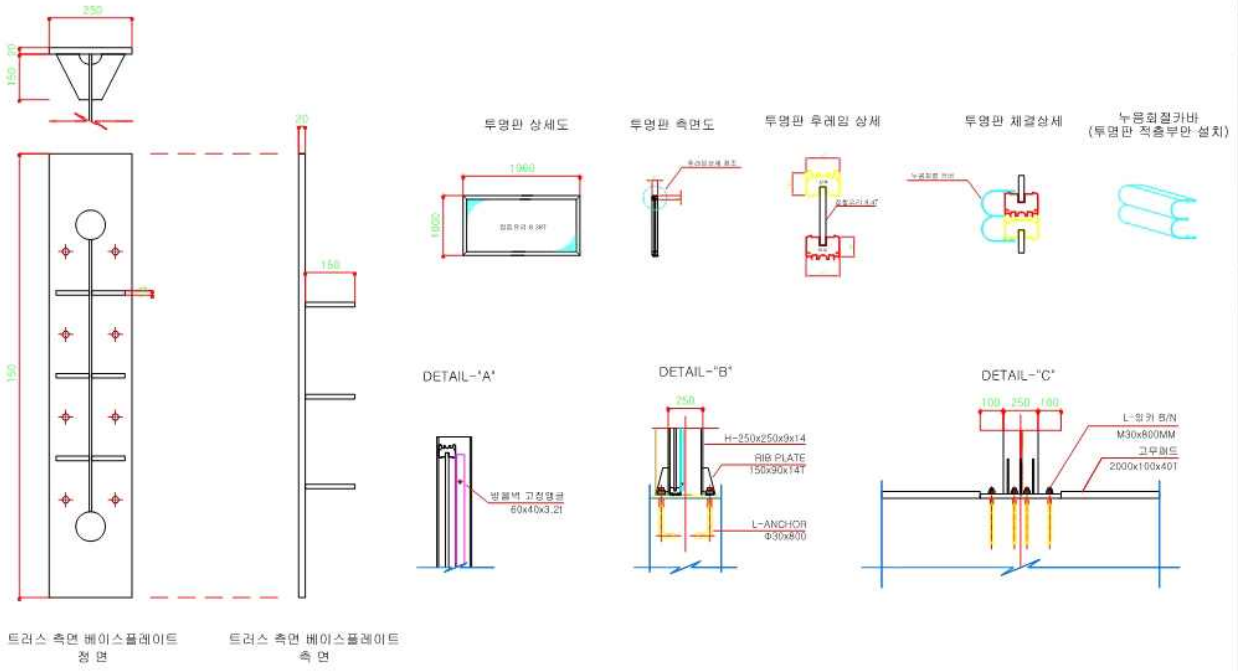


트러스 조인트 연결



트러스 연결부

방음터널상세도(5)


350
150
150
20
150
트러스 측면 베이스플레이트
정 면
트러스 측면 베이스플레이트
측 면
투명판 상세도
1960
1800
투명판 측면도
투명판 후레임 상세
투명판 체결상세
누음회절카바
(투명판 적층부만 설치)
DETAIL-"A"
방풍벽 고정앵글
60x40x3.2t
DETAIL-"B"
250
H-250x250x9x14
RIB PLATE
150x90x14T
L-ANCHOR
Φ30x800
DETAIL-"C"
100
250
180
L-앙카 B/N
M30x800MM
고무패드
2000x100x40t

붙임 5

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2019.11.27
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(6572)
출 원 번 호	10-2019-0154567 (접수번호 1-1-2019-1224493-65)
출원인 명칭	동아이엔지(주)(1-2010-031634-5)
대 리 인 성 명	특허법인 주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명	강덕만 한승석 최경호
발 명 의 명 칭	프리스트레스를 도입한 지주를 이용한 방음터널 및 그 시공방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

붙임 6

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2019.12.04
특 기 사 항	심사청구(무) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2019-0159994 (접수번호 1-1-2019-1254599-43)
출원인 명칭	고려대학교 산학협력단(2-2004-017068-0)
대 리 인 성 명	특허법인 아이퍼스(9-2013-100041-7)
발 명 자 성 명	지광습 김민재 김홍현
발 명 의 명 칭	경량 차음터널용 거더 구조 및 그 거더구조를 갖는 차음터널

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

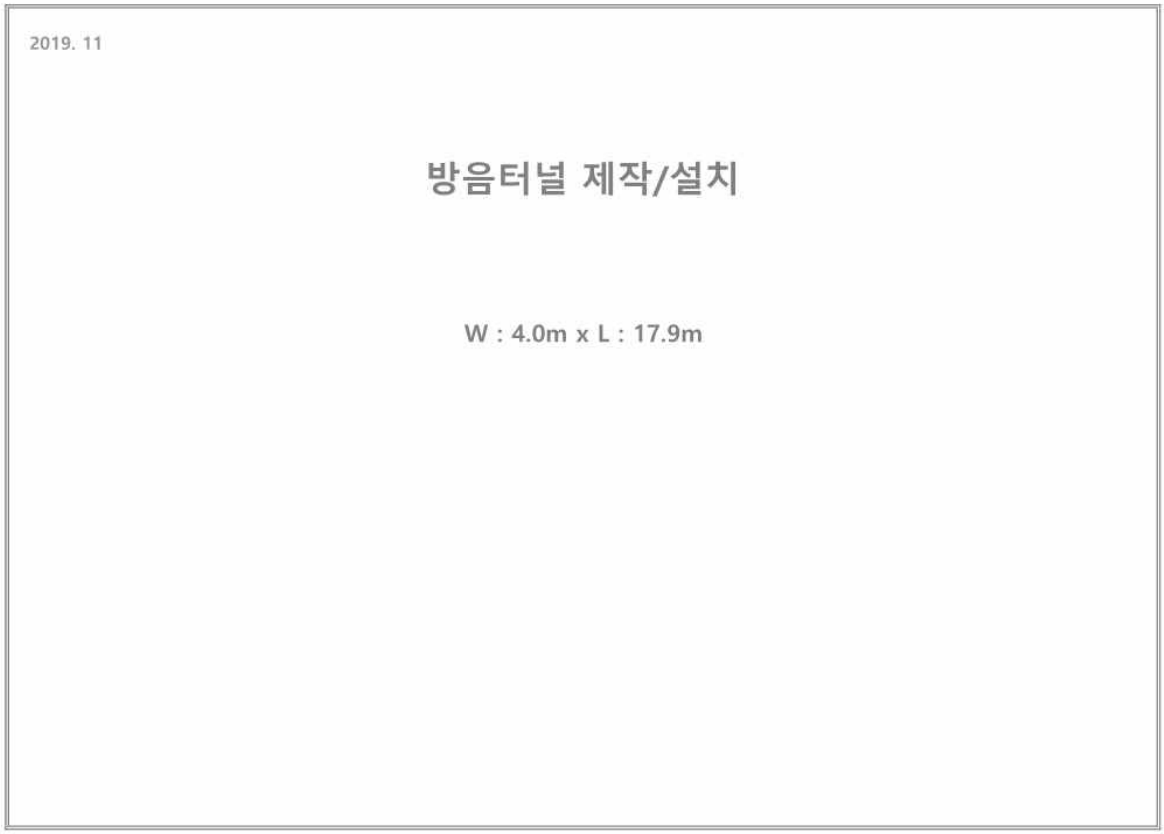
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

성과증빙 A-1-③, 붙임 4



내 역 서

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
2.0m / 1경간		1	경간	31,030,264	31,030,264	19,472,079	19,472,079	613,429	613,429	51,115,772	51,115,772	
1.0m		1	m		15,515,132		9,736,040		306,715		25,557,886	
합계					15,515,132		9,736,040		306,715		25,557,886	

내 역 서

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
" 방음터널 설치공사 " 2.0M/1경간												
* 배수유도형 프레임1	75x50x1.5T	37.561	m	75,000	2,817,045					75,000	2,817,045	수원산출서, 자재단가표
* 배수유도형 프레임2	75x50x1.5T	84.511	m	75,000	6,338,351					75,000	6,338,351	"
* 상현재	Φ89.1x4.05T	16.000	m	8,984	143,744					8,984	143,744	"
* 하현재	Φ89.1x4.05T	18.800	m	8,984	168,899					8,984	168,899	"
* H-BEAM(좌측 지주)	H-250x250x9x14	342.090	kg	910	311,302					910	311,302	"
* H-BEAM(우측 지주)	H-250x250x9x14	342.090	kg	910	311,302					910	311,302	"
* H-BEAM(중방향재)	H-125x125x6.5x9	769.192	kg	910	699,965					910	699,965	"
* ST'L 베이스 플레이트	30T	104.915	kg	910	95,473					910	95,473	"
* ST'L 리브 플레이트	14T	9.792	kg	885	8,666					885	8,666	"
* ST'L 접형강판 중앙부	T8	79.890	kg	965	77,094					965	77,094	"
* ST'L 접형강판 측면부	T8	100.290	kg	965	96,780					965	96,780	"
* ST'L 측면 베이스 플레이트	20T	115.709	kg	885	102,402					885	102,402	"
* ST'L 측면 리브 플레이트	14T	14.507	kg	885	12,839					885	12,839	"
* ST'L 형강-연결플레이트	6T	13.222	kg	995	13,156					995	13,156	"
* ST'L 배수 파이프 받침대	6T	3.497	kg	995	3,480					995	3,480	"
* ST'L 배수 파이프 받침대	6T	4.430	kg	995	4,408					995	4,408	"
* ST'L 프랜지	9T	5.552	kg	935	5,191					935	5,191	"
* ST'L 프랜지	20T	24.676	kg	885	21,838					885	21,838	"
* 폴리카보네이트	8T	79.800	㎡	91,022	7,263,556					91,022	7,263,556	
* 투명방음판	1960x1000x60	18.900	매	440,000	8,316,000					440,000	8,316,000	
* 용융아연도금		2112.780	kg	900	1,901,502					900	1,901,502	
* 벤딩		324.997	kg	1,500	487,496					1,500	487,496	
* 코킹	SL 999(300㎖)	83.600	m'	5,200	434,720					5,200	434,720	
* 고장력볼트	M20Xx50	30.800	EA	812	25,010					812	25,010	"
* 고장력볼트	M6Xx50	14.300	EA	25	358					25	358	"
* 앙카볼트	M30x800	12.600	EA	20,000	252,000					20,000	252,000	"
* STS SCREW	#14x30L	275.000	EA	38	10,450					38	10,450	"

내 역 서

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
계					**29,923,025**						**29,923,025**	
원가/M					**14,961,512**						**14,961,512**	
#REF!												
잡철물 설치 보통		2.113	ton	384,592	812,557	1,366,775	2,887,695	1,833	3,873	1,753,200	3,704,126	수방산출서, 자재단가표
잡철물 제작 복잡		2.113	ton	111,010	234,540	6,207,801	13,115,716	12,130	25,628	6,330,941	13,375,884	"
폴리카보네이트 지붕잇기		76.000	m'			27,678	2,103,528			27,678	2,103,528	"
코킹		76.000	m'			3,285	249,690			3,285	249,690	"
앙카볼트설치		12.000	EA			11,853	142,235			11,853	142,235	"
철골가공조립		2.113	KG	28,466	60,142	460,632	973,214	276,379	583,928	765,477	1,617,284	"
계					**1,107,239**		**19,472,079**		**613,429**		**21,192,747**	
원가/M					**553,619**		**9,736,040**		**306,715**		**10,596,374**	

일 위 대 가 목 록 표

" 방음터널 설치공사"

품 명	규 격	단위	재료비		노무비		경 비		합 계		비 고
			단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
잡철물 설치 간단	1	ton	320,493	320,493	1,138,980	1,138,980	1,528	1,528	1,461,001	1,461,001	
잡철물 설치 보통	1	ton	384,592	384,592	1,366,775	1,366,775	1,833	1,833	1,753,200	1,753,200	
잡철물 설치 복잡	1	ton	448,690	448,690	1,594,571	1,594,571	2,139	2,139	2,045,400	2,045,400	
잡철물 제작 간단	1	ton	79,293	79,293	4,434,145	4,434,145	8,665	8,665	4,522,103	4,522,103	
잡철물 제작 보통	1	ton	95,151	95,151	5,320,972	5,320,972	10,397	10,397	5,426,520	5,426,520	
잡철물 제작 복잡	1	ton	111,010	111,010	6,207,801	6,207,801	12,130	12,130	6,330,941	6,330,941	
폴리카보네이트 지붕잇기	1	㎡	-	-	27,678	27,678	-	-	27,678	27,678	
코킹	1	m	-	-	3,285	3,285	-	-	3,285	3,285	
앙카볼트설치	1	EA		-	11,853	11,853		-	11,853	11,853	
방음벽 지주 설치	1	일	91,309	91,309	866,560	866,560	67,680	67,680	1,025,549	1,025,549	
절곡가공조립	1	ton	28,466	28,466	460,632	460,632	276,379	276,379	765,477	765,477	

일 위 대 가 표

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
◦ 잡철물 설치(간단) - "ton"당												
▫ 임시전력비(전력량 요금)	1년 이하	18.9	kwh	-	-	-	-	69	1,304	69	1,304	
▫ 용접봉	전기 KSE 4313 D4.0	2.77	kg	2,920	8,088	-		-	-	2,920	8,088	
▫ 산소	공업용 6000L	945	ℓ	325	307,125	-	-	-	-	325	307,125	
▫ 아세틸렌	2KG A급	0.4	kg	13,200	5,280	-	-	-	-	13,200	5,280	
▫ 철공		5.85	인	-	-	177,994	1,041,265	-	-	177,994	1,041,265	
▫ 보통인부		0.1	인	-	-	118,130	11,813	-	-	118,130	11,813	
▫ 용접공		0.39	인	-	-	180,350	70,337	-	-	180,350	70,337	
▫ 특별인부		0.11	인	-	-	141,507	15,566	-	-	141,507	15,566	
▫ 용접기(교류)	200Amp	3.12	hr	-	-	-	-	72	225	72	225	
계					320,493		1,138,980		1,528	-	1,461,002	
◦ 잡철물 설치(보통) - "ton"당												
▫ 잡철물 설치(간단)	120%	1.2	식	320,493	384,592	1,138,980	1,366,775	1,528	1,833	1,461,001	1,753,200	# 간단
합계					384,592		1,366,775		1,833		1,753,200	
◦ 잡철물 설치(복잡) - "ton"당												
▫ 잡철물 설치(간단)	140%	1.4	식	320,493	448,690	1,138,980	1,594,571	1,528	2,139	1,461,001	2,045,400	# 간단
합계					448,690		1,594,571		2,139		2,045,400	
◦ 잡철물 제작(간단) - "ton"당												
▫ 용접봉	전기 KSE 4313 D4.0	15.71	kg	2,920	45,873		-		-	2,920	45,873	
▫ 산소	공업용 6000L	5.355	ℓ	325	1,740		-		-	325	1,740	
▫ 아세틸렌	2KG A급	2.4	kg	13,200	31,680		-		-	13,200	31,680	
▫ 임시전력비(전력량 요금)	1년 이하	107.1	kwh				-	69	7,390	69	7,390	
▫ 철공		21.8	인		-	177,994	3,880,269		-	177,994	3,880,269	
▫ 보통인부		0.56	인		-	118,130	66,153		-	118,130	66,153	
▫ 용접공		2.21	인		-	180,350	398,574		-	180,350	398,574	
▫ 특별인부		0.63	인		-	141,507	89,149		-	141,507	89,149	
▫ 용접기(교류)	200Amp	17.71	hr				-	72	1,275	72	1,275	
합계					79,293		4,434,145		8,665		4,522,102	

일 위 대 가 표

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	재료비		노무비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
◦ 장철물 제작(보통) - "ton"당												
◦ 잡철물 제작(간단)	120%	1.2	식	79,293	95,151	4,434,145	5,320,972	8,665	10,397	4,522,103	5,426,520	※간단
계					95,151		5,320,972		10,397		5,426,520	
◦ 장철물 제작(복잡) - "ton"당												
◦ 잡철물 제작(간단)	140%	1.4	식	79,293	111,010	4,434,145	6,207,801	8,665	12,130	4,522,103	6,330,941	※간단
계					111,010		6,207,801		12,130		6,330,941	
◦ 크레인트럭(10ton) - "hr"당												
◦ 크레인	10ton	1	대					23,436	23,436	23,436	23,436	
◦ 경유	저유황 0.001%	3.8	ℓ	1,522	5,784					1,522	5,784	
◦ 잡품	주연료의 38%	0.38	식	5,784	2,198					5,784	2,198	
◦ 건설기계조장		0.042	인			150,798	6,282			150,798	6,282	
◦ 건설기계운전기사		0.208	인			181,074	37,723			181,074	37,723	
합계					7,981		44,005		23,436		75,422	
◦ 폴리카보네이트 지붕잇기 - "㎡"당												
◦ 폴리카보네이트	8T	1.1	㎡									
◦ 지붕잇기공		0.15	인			155,527	23,329			155,527	23,329	
◦ 보통인부		0.03	인			118,130	3,543			118,130	3,543	
◦ 공구손료	노무비 3%	0.03	식			26,872	806			26,872	806	
합계							27,678				27,678	
◦ 커튼월 코킹 - "10m"당												
◦ 코킹공	-	0.15	인			163,904	24,585			163,904	24,585	
◦ 보통인부	-	0.07	인			118,130	8,269			118,130	8,269	
합계							32,854				32,854	
m당							3,285				3,285	
◦ 앙카볼트 설치 "EA"당												
◦ 정공		0.05	인			177,994	8,900			177,994	8,900	
◦ 보통인부		0.025	인			118,130	2,953			118,130	2,953	
계							**11,853**				**11,853**	
◦ 방음벽 지주 설치 " 지주높이 7M 이하 지주간격 2M, 시공량 20개/일												

중 량 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공종	단위	수량	총중량(kg,㎡)	비고
" 방음터널 설치공사 " 2.0M/1경간				
" 배수유도형 프레임1	식	1	34.146	자산
" 배수유도형 프레임2	식	1	76.829	"
" 상현재	식	1	135.840	"
" 하현재	식	1	159.612	"
" H-BEAM(좌측 지주)	식	1	325.800	"
" H-BEAM(우측 지주)	식	1	325.800	"
" H-BEAM(종방향재)	식	1	732.564	"
" ST'L 베이스 플레이트	식	1	95.378	"
" ST'L 리브 플레이트	식	1	8.902	"
" ST'L 접형강판 중앙부	식	1	72.627	"
" ST'L 접형강판 측면부	식	1	91.173	"
" ST'L 측면 베이스 플레이트	식	1	105.190	"
" ST'L 측면 리브 플레이트	식	1	13.188	"
" ST'L 형강-연결플레이트	식	1	12.020	"
" ST'L 배수 파이프 받침대	식	1	3.179	"
" ST'L 배수 파이프 받침대	식	1	4.027	"
" ST'L 프랜지	식	1	5.047	"
" ST'L 프랜지	식	1	22.433	"
소 계			2,113	
합계			**2112.780**	

일 위 대 가 표

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
◦ 철공		3	인			177,994	533,982			177,994	533,982	건설공사품셈 CD브록
◦ 보통인부		1	인			118,130	118,130			118,130	118,130	
◦ 트럭탑재형 크레인	5TON	8	HR	8,164	65,312	26,806	214,448	8,460	67,680	43,430	347,440	
◦ 공구손료 및 경장비 기계경비	인력품의 3%	0.03	식	866,560	25,997					866,560	25,997	
계					91,309		866,560		67,680		1,025,549	
◦ 철골가공조립 - "ton"당												
◦ 철골공	60ton 미만	2.48	인		-	185,739	460,632	-	-	185,739	460,632	건설표준품셈 7-1-1
◦ 제경비	60%	0.6	식					460,632	276,379	460,632	276,379	
◦ 서비스볼트	-	1	본	1,277	1,277					1,277	1,277	
◦ 보조강재	-	2	kg	860	1,720					860	1,720	
◦ 산소	-	3.5	㎥	963	3,369					963	3,369	
◦ 아세틸렌	-	1.700	kg	13,000	22,100					13,000	22,100	
계					28,466		460,632		276,379		765,477	

중 량 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공종	단위	수량	총중량(kg,㎡)	비고
◦ 폴리카보네이트	㎡		76.000	
◦ 투명방음판	매		18.000	
◦ 용융아연도금	KG		2112.780	
◦ 벤딩	KG		295.452	
◦ 코킹	㎡		76.000	
◦ 고장력볼트	EA		28.000	
◦ 고장력볼트	EA		13.000	
◦ 앙카볼트	EA		12.000	
◦ SCREW	EA		250.000	
소 계				
합계				

수 량 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	산출근거	비 고
" 방음터널 설치공사 " 2.0M/1경간					
* 배수유도형 프레임1	75x50x1.5T	37.561	m	34.146 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	7
* 배수유도형 프레임2	75x50x1.5T	84.511	m	76.829 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	12.00
* 상현재	Φ89.1x4.05T	149.424	KG	135.840 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	17
* 하현재	Φ89.1x4.05T	175.573	KG	159.612 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	22
* H-BEAM(좌측 지주)	H-250x250x9x14	342.090	KG	325.800 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	27
* H-BEAM(우측 지주)	H-250x250x9x14	342.090	KG	325.800 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	32
* H-BEAM(종방향재)	H-125x125x6.5x9	769.192	KG	732.564 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	37
* ST'L 베이스 플레이트	30T	104.915	KG	95.378 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	42
* ST'L 리브 플레이트	14T	9.792	KG	8.902 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	47
* ST'L 접형강판 중앙부	T8	79.890	KG	72.627 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	52
* ST'L 접형강판 측면부	T8	100.290	KG	91.173 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	57
* ST'L 측면 베이스 플레이트	20T	115.709	KG	105.190 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	62
* ST'L 측면 리브 플레이트	14T	14.507	KG	13.188 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	67
* ST'L 형강-연결플레이트	6T	13.222	KG	12.020 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	72
* ST'L 배수 파이프 받침대	6T	3.497	KG	3.179 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	77
* ST'L 배수 파이프 받침대	6T	4.430	KG	4.027 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	82
* ST'L 프랜지	9T	5.552	KG	5.047 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	87
* ST'L 프랜지	20T	24.7	KG	22.433 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	92
* 폴리카보네이트	8T	79.800	㎡	76.000 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	
* 투명방음판	1960x1000x60	18.900	㎡	18.000 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	
* 용융아연도금		2112.780	kg	2,112.780 x 1.00 (사용수량 x 자재할증)	
* 벤딩		324.997	KG	295.452 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	

수 량 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공 종	규 격	수 량	단위	산출근거	비 고
* 코킹	SL 999(300㎖)	83.600	㎡	76.000 x 1.1 (사용중량 x 자재할증)	
* 고장력볼트	M20Xx50	30.800	EA	28.000 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	
* 고장력볼트	M6Xx50	14.300	EA	13.000 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	
* 앙카볼트	M30x800	12.600	EA	12.000 x 1.05 (사용수량 x 자재할증)	
* STS SCREW	#14x30L	275	EA	250 x 1.03 (사용수량 x 자재할증)	

자 재 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공종	단위	가격	산출내역												비고
" 방음터널 설치공사 " 2.0M/1경간															
													5.263		
▫ 배수유도형 프레임1															
	m'		▫ 재질 : AA 6063			▫ 규격 : 75	x 50	x 1.5	T						
	kg	34.146	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		16.000	m						
						▫ 도장면적 :		x	16.000			=		m'	
			▫ M당 단중 :	2.1341	kg	▫ 총중량 :	2.1	x	16.000			=	34.146	kg	횡 방향
▫ 배수유도형 프레임2															
	m'		▫ 재질 : AA 6063			▫ 규격 : 75	x 50	x 1.5	T						
	kg	76.829	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		36.000	m						
						▫ 도장면적 :		x	36.000			=		m'	
			▫ M당 단중 :	2.1341	kg	▫ 총중량 :	2.1	x	36.000			=	76.829	kg	종 방향
▫ 상현재															
	m'		▫ 재질 : SS400			▫ 규격 : 89.1		x 4.1	T						
	kg	135.840	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		16.000	m						
						▫ 도장면적 :		x	16.000			=		m'	
			▫ M당 단중 :	8.49	kg	▫ 총중량 :	8.5	x	16.000			=	135.840	kg	벤딩자재
▫ 하현재															
	m'		▫ 재질 : SS400			▫ 규격 : 89.1		x 4.1	T						
	kg	159.612	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		18.800	m						
						▫ 도장면적 :		x	18.800			=		m'	
			▫ M당 단중 :	8.49	kg	▫ 총중량 :	8.5	x	18.800			=	159.612	kg	벤딩자재
▫ H-BEAM(좌측 지주)															
	m'		▫ 재질 : SS400			▫ 규격 : 250	x 250	x9~14	T						
	kg	325.800	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		4.500	m						
						▫ 도장면적 :		x	4.500			=		m'	
			▫ M당 단중 :	72.4	kg	▫ 총중량 :	72.4	x	4.500			=	325.800	kg	좌측
▫ H-BEAM(우측 지주)															
	m'		▫ 재질 : SS400			▫ 규격 : 250	x 250	x9~14	T						
	kg	325.800	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		4.500	m						
						▫ 도장면적 :		x	4.500			=		m'	
			▫ M당 단중 :	72.4	kg	▫ 총중량 :	72.4	x	4.500			=	325.800	kg	우측
▫ H-BEAM(종방향재)															
	m'		▫ 재질 : SS400			▫ 규격 : 125	x 125	x6.5~9	T						
	kg	732.564	▫ 둘레 : ㎜			▫ 사용길이 :		30.780	m						
						▫ 도장면적 :		x	30.780			=		m'	

자 재 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공종	단위	가격	산출내역												비고
			▫ M당 단중 :	23.8	kg	▫ 총중량 :	23.8	x	30.780			=	732.564	kg	종방향재
▫ ST'L 베이스 플레이트															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 450	x 450	x 30.0	T						
	kg	95.378	▫ 면적 : 0.2025	m'		▫ 사용수량 :		2.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	면	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	235.5	kg	▫ 총중량 :	235.5	x	0.203	x	2 EA	=	95.378	kg	하부용
▫ ST'L 리브 플레이트															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 150	x 90	x 14.0	T						
	kg	8.902	▫ 면적 : 0.0135	m'		▫ 사용수량 :		6.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	면	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	109.9	kg	▫ 총중량 :	109.9	x	0.014	x	6 EA	=	8.902	kg	하부용
▫ ST'L 접합강판 중앙부															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 695	x 208	x 8.0	T						
	kg	72.627	▫ 면적 : 0.1446	m'		▫ 사용수량 :		8.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	면	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	62.8	kg	▫ 총중량 :	62.8	x	0.145	x	8 EA	=	72.627	kg	중앙부
▫ ST'L 접합강판 측면부															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 1190	x 610	x 8.0	T						
	kg	91.173	▫ 면적 : 0.7259	m'		▫ 사용수량 :		2.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	면	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	62.8	kg	▫ 총중량 :	62.8	x	0.726	x	2 EA	=	91.173	kg	측면부
▫ ST'L 측면 베이스 플레이트															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 1134	x 250	x 20.0	T						
	kg	105.190	▫ 면적 : 0.335	m'		▫ 사용수량 :		2.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	면	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	157	kg	▫ 총중량 :	157.0	x	0.335	x	2 EA	=	105.190	kg	방음터널 베이스 플레이트
▫ ST'L 측면 리브 플레이트															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 150	x 100	x 14.0	T						
	kg	13.188	▫ 면적 : 0.015	m'		▫ 사용수량 :		8.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	2	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	109.9	kg	▫ 총중량 :	109.9	x	0.015	x	8 EA	=	13.188	kg	방음터널 베이스 플레이트
▫ ST'L 형강-연결플레이트															
	m'		▫ 재질 :SS 400			▫ 규격 : 145	x 88	x 6.0	T						
	kg	12.020	▫ 면적 : 0.0128	m'		▫ 사용수량 :		20.000	EA						
						▫ 도장면적 :		x		x	면	=		m'	
			▫ m'당 단중 :	47.1	kg	▫ 총중량 :	47.1	x	0.013	x	20 EA	=	12.020	kg	종 방향재
▫ ST'L 배수 파이프 받침대															

노 임 단 가

" 방음터널 설치공사"

직종명	단위	2018년 하반기	2018년 상반기	2017년 하반기	적용단가	비고
* 철골공	인	185,739	176,388	163,899	185,739	
* 철판공	인	160,892	153,766	148,955	160,892	
* 특별인부	인	141,507	133,417	127,391	141,507	
* 보통인부	인	118,130	109,819	106,846	118,130	
* 용접공	인	180,350	169,201	163,001	180,350	
* 도장공	인	174,277	153,890	148,659	174,277	
* 건설기계운전기사	인	181,074	162,022	154,499	181,074	
* 건설기계조장	인	150,798	138,494	131,364	150,798	
* 철공	인	177,994	170,500	162,422	177,994	
* 유리공	인	167,287	155,803	148,516	167,287	
* 코킹공	인	163,904	149,682	142,317	163,904	
* 철근공	인	199,266	189,585	179,665	199,266	
* 형틀목공	인	197,929	189,303	179,290	197,929	
* 콘크리트공	인	199,737	176,062	167,893	199,737	
* 장호공	인	175,176	163,191	157,823	175,176	
* 건축목공	인	188,225	175,760	169,062	188,225	
* 착암공	인	135,852	129,160	128,508	135,852	
* 할석공	인	163,030	152,559	145,761	163,030	

자 재 산 출 서

" 방음터널 설치공사"

공종	단위	가격	산출내역															비고
	㎡		* 재질 :SS 400				* 규격 : 50	x 50	x 6.0	T								
	kg	3.179	* 면적 : 0.0025	㎡			* 사용수량 :		27.000	EA								
							* 도장면적 :		x			x		면	=		㎡	
			* ㎡당 단중 :	47.1	kg		* 총중량 :	47.1	x	0.003	x	27	EA	=	3.179	kg		
* ST'L 배수 파이프 받침대																		
	㎡		* 재질 :SS 400				* 규격 : 190	x 50	x 6.0	T								
	kg	4.027	* 면적 : 0.0095	㎡			* 사용수량 :		9.000	EA								
							* 도장면적 :		x			x		면	=		㎡	
			* ㎡당 단중 :	47.1	kg		* 총중량 :	47.1	x	0.010	x	9	EA	=	4.027	kg		
* ST'L 프랜지																		
	㎡		* 재질 :SS 400				* 규격 : 189	x 189	x 9.0	T								
	kg	5.047	* 면적 : 0.0357	㎡			* 사용수량 :		2.000	EA								
							* 도장면적 :		x			x		면	=		㎡	
			* ㎡당 단중 :	70.65	kg		* 총중량 :	70.7	x	0.036	x	2	EA	=	5.047	kg		조인트 연결부
* ST'L 프랜지																		
	㎡		* 재질 :SS 400				* 규격 : 189	x 189	x 20.0	T								
	kg	22.433	* 면적 : 0.0357	㎡			* 사용수량 :		4.000	EA								
							* 도장면적 :		x			x		면	=		㎡	
			* ㎡당 단중 :	157	kg		* 총중량 :	157.0	x	0.036	x	4	EA	=	22.433	kg		조인트 연결
* 폴리카보네이트																		
	㎡		* 재질 :플라스틱				* 규격 : 1000	x 1000	x 8.0	T								
	kg	2553.600	* 면적 : 2	㎡			* 사용수량 :		76.000	EA								
							* 도장면적 :		x			x		면	=		㎡	
			* ㎡당 단중 :	16.8	kg		* 총중량 :	16.8	x	2.000	x	76	EA	=	2553.600	kg		
* 투명방음판																		
	㎡	36.000	* 재질 :접합유리				* 규격 : 3990	x 1000	x 8.0	T								
	kg	450.000	* 면적 : 1	㎡			* 사용수량 :		18.000	EA								
							* 도장면적 :	1	x	18.000	x	2	면	=	36.000	㎡		
			* ㎡당 단중 :	25	kg		* 총중량 :	25.0	x	1.000	x	18	EA	=	450.000	kg		

자 재 단 가 조 사 표

" 방음터널 설치공사"

	구분	재질	규격	단위	거래가격	PAGE	견적가격	적용가격	비고
1	배수유도형 프레임	AA6063	75x50x1.5T	M			75,000	75,000	견적_커버 포함
2	ST'L 강관	SS 400	89.1x4.05T	M	8,984	p.705		8,984	견적
3	ST'L H-BEAM	SS 400	250x250x9x14	kg	910	p.40		910	물가지
4	ST'L H-BEAM	SS 400	125x125x6.5x9	ton	910	p.40		910	물가지
5	ST'L PLATE	SS 400	6T	ton	995	p.45		995	물가지
6	ST'L PLATE	SS 400	14T	ton	885	p.45		885	물가지
7	ST'L PLATE	SS 400	30T	ton	895	p.45		895	물가지
8	ST'L PLATE	SS 400	20T	ton	885	p.45		885	물가지
9	ST'L PLATE	SS 400	8T	ton	965	p.45		965	물가지
10	ST'L PLATE	SS 400	9T	ton	935	p.45		935	물가지
11	폴리카보네이트		8T	㎡	91,022	p.618		91,022	물가지
12	고장력볼트/너트	STEEL	M20x50L	EA	812	P.80		812	물가지
13	볼트/너트	STEEL	M6x50L	EA	25	P.80		25	물가지
14	앵커볼트	STEEL	M30x800L	EA	20,000	P.1234		20,000	물가지
15	강관밴딩	STEEL		ton			1,500	1,500	견적
16	용융아연도금	아연	설재면	ton			900	900	견적
17	실리콘		SL 999(300㎖)	EA	5,200	P.561		5,200	물가지
18	용접봉		KL-101LF	kg	2,920	P.1310		2,920	물가지
19	산소			ℓ	325	P.1435		325	물가지
20	아세틸렌			kg	13,200	P.1435		13,200	물가지
21	경유		저유황 0.001%	ℓ	1,522	P.1435		1,522	물가지
22	SCREW		#14x30	EA	38	P.86		38	물가지
23	투명방음판		1960x1000x60t	EA	440,000	P.1234		440,000	견적

성과증빙 A-1-④, 붙임 7

전문가 자문 검토 의견서

□ 자문가 정보

자문 일시	2020년 12월 1일		
성 명	문도영	소 속	경성대학교 토목공학과
직 책	부교수		

□ 과제정보

사업명	국토교통기술촉진연구사업	과제형태	일반
과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
주관연구기관	고려대학교 산학협력단	연구책임자	지광습
총연구기간	'19.04.19~'21.12.31	당해연구기간	'20.01.01~'20.12.31

□ 검토의견

검토항목	내용
	1. 차음터널의 구조형식 개발에 대한 연구로서 단면의 형상에 따른 구조적 성능을 실험적으로 검토하고, 이를 해석과 비교하여 적정성을 판단하였습니다. 2. 다양한 형상(컨트롤 외에 3개)에 대한 실험방법이 적정하며, 해석 모델의 수립도 적정하다고 사료됨. 3. 실험결과(하중 및 각종 게이지 계측결과 포함)는 요구성능 수준을 충분히 상회하고 있어 단면의 필렛 비율이 60% 감소에도 충분한 성능을 나타내고 있다고 판단됨. 4. 해석결과는 실험결과와 거동 및 강도 측면에서 근사하게 도출되어 모델의 적정성과 이후 추가 분석을 위해 효용성이 있다고 판단됨. 5. 다만, 필렛의 비율별로 국부 응력 집중이 확인된 만큼 이에 대한 보완 방안의 수립과 검증이 요구됨.

붙임 8

applied sciences

MDPI

Article

Chemo-Mechanical Model for the Expansion of Concrete due to Alkali Silica Reaction

Lianfang Sun [1], Xingji Zhu [2], Xiaoying Zhuang [3] and Goangseup Zi [1,4,*]

1 School of Civil, Environmental & Architectural Engineering, Korea University, 145 An-Am Ro, Sung-Buk Gu, Seoul 02841, Korea; sunlianfang@korea.ac.kr
2 Department of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology at Weihai, Cultural West Road, Weihai 264209, China; zhuxingji@hit.edu.cn
3 Institute of Continuum Mechanics, Leibniz Universität Hannover, Appelstr. 11, 30167 Hannover, Germany; zhuang@ikm.uni-hannover.de
4 College of Pipeline and Civil Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China
* Correspondence: g-zi@korea.ac.kr; Tel.: +82-2-3290-3324; Fax: +82-2-3290-5999

Received: 7 May 2020; Accepted: 27 May 2020; Published: 30 May 2020

check for updates

Abstract: A chemo-damage model is proposed to predict the expansion caused by the alkali silica reaction (ASR). The model covers the formation of the pre-expansion gel driven by alkali and the swelling of the gel driven by water. The swelling capacity of the ASR gel is quantified by the sodium to calcium ratio in the pore solution. The bound alkali in the gel recycled by calcium is also considered in this model. Both external alkali supply and internal alkali released from aggregates are included. Several sets of experimental data are compared with the simulation results for the verification of the model.

Keywords: alkali silica reaction; numerical modeling; durability; concrete

1. Introduction

Alkali-silica reaction (ASR) is a gradual and deleterious reaction between the reactive silica in concrete aggregates and the alkaline pore solution of concrete. The reaction starts from the progressive attack of siloxane networks in aggregates by hydroxide ions. The dissolved silica binds with alkali ions to generate alkali silicate, called the pre-expansion gel (basic ASR gel) with a significant sorptivity. In the presence of moisture, the basic ASR gel swells significantly by absorbing water. The expansive pressure caused by the swelling gel will be loaded on the solid skeleton of concrete. This leads to damage in concrete and expansion [1,2].

Numerous models were developed for the simulation of ASR damage as summarized in References [3,4]. Those include theoretical approaches emphasized on the reaction mechanism [5,6], mesoscale models to explain the mechanism of deterioration [7–10] and macroscale models to combine the chemical reaction kinetics and mechanical constitutive laws to predict the behavior of ASR-affected concrete at structural scale [11–15].

Bažant and Steffens [5] proposed a reaction kinetics of ASR governed by a Stefan type diffusion of alkali-rich water into reactive aggregates. They were able to explain the size effect of ASR damage depending on the size of reactive aggregates. The imbibition of alkali-rich water was considered as the driving force of gel swelling [16–18]. The overall ASR process was modeled by using the mass balance of moisture. The role of alkali was rather simplified in those models [5,17,18].

The role of alkali was well discussed by Multon et al.'s model [19,20]. Alkali transport and consumption were modeled in a multi-scale approach. The formation of the gel by the ASR reaction was driven by the alkali concentration in the pore solution. They were able to capture the effect of the

성과증빙 A-1-⑤, 붙임 9

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2020.11.25
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2020-0160288 (접수번호 1-1-2020-1271621-28) (DAS접근코드14BC)
출원인 명칭	고려대학교 산학협력단(2-2004-017068-0)
대리인 성명	특허법인 아이퍼스(9-2013-100041-7)
발명자 성명	지광습 김민재 김홍현
발명의 명칭	단면 가변이 용이한 모듈러 거더 시스템 및 그 시공방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련 법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

성과증빙 A-1-⑥, 붙임 14

전문가 자문 검토 의견서

□ 자문가 정보

자문 일시	2021년 10월 20일부터 2021년 10월 21일 까지 (2일간)		
성 명	홍태훈	소 속	연세대학교
직 책	교수		

□ 과제정보

사업명	국토교통기술촉진연구사업	과제형태	일반
과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
주관연구기관	고려대학교 산학협력단	연구책임자	지광습
총연구기간	'19.04.19~'21.12.31	당해연구기간	'20.01.01~'20.12.31

□ 검토의견

검토항목	내용
	본 연구는 계절별/시간대별 신형식과 H-Beam 형식의 플리커 효과를 분석하였음. 전체적으로, 신형식이 H-Beam 형식에 비하여 플리커 효과가 낮게 나오는 것으로 분석됨. 그림자 현상에 의한 주광 분석은 결국 조도편차를 의미함. 1. 분석결과, 광 투과성이 67.4%이상인 재료를 적용하였을 때, 조도편차가 작은 것은 신형식인 것으로 분석되었음. 2. 수치해석 결과, 신형식이 H-Beam 형식에 비해 천정면에 입사하는 주광을 보다 효과적으로 내부로 도입할 수 있기 때문인 것으로 분석됨. 날짜별, 태양광 입사각에 따라 일부 H-Beam 형식이 유리한 시간대가 나타나긴 하지만, 그 편차는 매우 작으며 대체적으로 신형식이 H-Beam형식에 비해 조도편차가 작은 것으로 분석됨. 결론저긍로, 진출입부와 내부의 조도 편차가 작다는 것은 운전자의 눈부심 현상을 막아줄 수 있기 때문에 눈부심으로 인한 교통사고 등 안전 측면에서 신형식이 H-Beam 형식에 비해 유리한 것으로 분석됨. 본 연구를 수행함에 있어서, 조도편차를 분석할 수 있는 시뮬레이션을 수행하였고, 데이터 분석또한 신뢰성이 있다고 판단됨.

전문가 자문 검토 의견서

□ 자문가 정보

자문 일시	2021년 10월 12일부터 2021년 10월 13일 까지 (2 일간)		
성 명	정광복	소 속	세종대학교
직 책	조교수		

□ 과제정보

사업명	국토교통기술촉진연구사업	과제형태	일반
과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
주관연구기관	고려대학교 산학협력단	연구책임자	지광습
총연구기간	'19.04.19~'21.12.31	당해연구기간	'20.01.01~'20.12.31

□ 검토의견

검토항목	내용
	◦ 본 연구에서 개발한 신형식 터널과 기존 H-Beam 형식 터널의 조도편차를 분석하였음. ◦ 시간대별 최대 조도와 최소 조도와의 차를 조도 편차로 정의하여, 신형식과 H-Beam 형식 두 개의 터널을 대상으로 조도 편차를 분석함. ◦ 운전자의 안전을 고려하여 조도 편차가 작은 터널을 상대적으로 우수한 터널로 평가함. ◦ 본 연구에서는 다음과 같이 2가지 측면에서 분석을 실시함: (1) long-term 분석 측면에서, 천정면 및 벽면 투명판의 시간경과에 따른 광투과율 저하 추이를 고려한 조도편차 분석; (2) short-term 분석 측면에서, 계절별/시간대별 신형식과 H-Beam 형식 터널의 플리커 효과 분석. ◦ 자문결과, long-term 분석에서, 천정면 및 벽면 투명판의 광투과율을 80% 이상에서 60%이하까지 분석하였음. 그 결과, 광투과율이 높을수록, 터널 외부와 내부의 조도편차가 작았으며, 운전자 안전 측면에서 광투과율을 높게 유지해야 할 필요가 있을 것으로 판단됨. 더불어, 본 연구에서 제안한 신형식 터널이 조도편차 측면에서 유리할 것으로 판단됨. ◦ 자문결과, short-term 분석에서, 동지의 경우 (겨울철 대표 날짜), 신형식이 H-beam 형식에 비해 조도편차가 10%정도 낮은 것으로 판단되며, 이는 광투과율이 높은 투명판을 적용할 경우 더 클 것으로 판단됨.

전문가 자문 검토 의견서

□ 자문가 정보

자문 일시	2021년 10월 12일부터 2021년 10월 13일 까지 (2 일간)		
성 명	이 민 현	소 속	The Hong Kong Polytechnic University
직 책	조교수		

□ 과제정보

사업명	국토교통기술촉진연구사업	과제형태	일반
과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
주관연구기관	고려대학교 산학협력단	연구책임자	지광습
총연구기간	'19.04.19~'21.12.31	당해연구기간	'20.01.01~'20.12.31

□ 검토의견

검토항목	내용
	○ 광투과율에 따른 조도편차를 분석하기 위하여 재료를 달리하여 다음 5가지의 시나리오를 설계하여 시뮬레이션을 수행하였고, 특정 시간대 조도의 최대값과 최소값의 차를 조도편차로 계산하였을 때, 시나리오별 결과는 아래와 같음. 1. 광투과율 87.8% (sungate 400): 조도편차 측면에서 신형식이 유리한 것으로 분석됨. 신형식과 H-Beam 형식의 조도편차의 비율은 최대 133%에서 상위 10번째는 24.09%로 분석됨. 2. 광투과율 76.8% (solexia): 조도편차 측면에서 신형식이 유리한 것으로 분석됨. 신형식과 H-Beam 형식의 조도편차의 비율은 최대 195%에서 상위 10번째는 143%로 분석됨. 3. 광투과율 67.4% (Azuria): 조도편차 측면에서 신형식이 유리한 것으로 분석됨.신형식과 H-Beam 형식의 조도편차의 비율은 최대 87.4%에서 상위 10번째는 18.5%인 것으로 분석됨. 4. 광투과율 66.3% (Atlantica): 조도편차 측면에서 H-Beam 형식이 유리한 것으로 분석됨. H-Beam 형식과 신형식의 조도편차의 비율은 최대 86.79%에서 상위 10번째는 20.52%로 분석됨. 5. 광투과율 53.4% (Solarbronze): 조도편차 측면에서 H-Beam 형식이 유리한 것으로 분석됨. H-Beam 형식과 신형식의 조도편차의 비율은 최대 33.2%에서 상위 10번째는 21.80%로 분석됨. 본 연구결과, 광투과율이 높을수록 신형식 터널 내부로 들어오는 광량이 높아져 상대적으로 외부의 광량과의 차이가 작아지는 것으로 보임. 시뮬레이션 및 데이터 분석을 통해 본 연구의 신뢰성을 충분히 입증한 것으로 보임.

붙임 15

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2341094 호
Patent Number

출원번호 제 10-2020-0160288 호
Application Number
출원일 2020년 11월 25일
Filing Date
등록일 2021년 12월 15일
Registration Date

발명의명칭 Title of the Invention
단면 가변이 용이한 모듈러 거더 시스템 및 그 시공방법

특허권자 Patentee
고려대학교 산학협력단(114471-*******)
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

특허청
Korean Intellectual Property Office

2021년 12월 15일

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래

성과증빙 A-1-⑦, 붙임 16

전문가 기술 검토 요청서

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.
지원기관	국토교통과학기술진흥원
주관연구기관 / 연구책임자	고려대학교 / 지광습
공동연구기관 / 연구책임자	동아이엔지(주) / 강덕만
전문가 자문 요청 내용	

□ 본 연구진은 2019년부터 2021년 현재까지 4차선급 도로용 차음터널의 신형식 구조 개발을 위한 연구가 수행하였음.

□ 신형식 차음터널 구조의 핵심 설계 사항은 나비 형상의 복부 부재를 가진 거더임.(그림 1.) 본 거더 개발을 통해 기존 H형 거더 형식 차음터널 구조에 비하여 경량성과 운전자의 시인성을 향상하고, 터널 내부의 공기 순환을 개선을 목적으로 연구를 진행하였음.

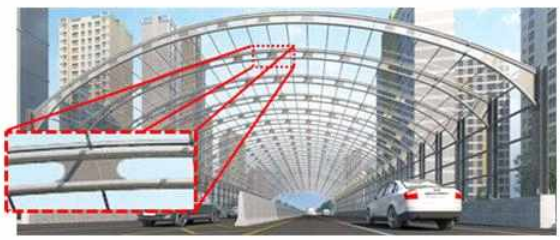


그림 1. 신형식 차음터널 구조의 나비형 복부 부재

□ 각 연차별 신형식 차음터널 구조 개발을 위한 핵심 연구 사항은 다음과 같음

연차	연차별 핵심 연구 내용
1차년도	□ 차음 터널 구조의 특성을 파악 □ 차음터널 설계 절차서 작성 □ 차음 터널 구조 설계(안) 작성
2차년도	□ 복부 부재 형상, 수 및 배치에 따른 구조 거동 분석 □ 요소단위 구조 실험과 전산해석을 통한 검증 □ 실 규모(4차선급) Test bed 설치 (3차년도 완공)
3차년도	□ 초대형 구조 실험을 통한 설계 하중에서의 안정성 평가 □ Test bed를 활용한 실외 구조 실험 □ 차음터널 최종 설계 도서 작성

□ 3년동안의 연구 내용을 바탕으로 신형식 차음터널 구조의 설계를 완성하였으며, **기술 목표치인 m당 1t 이하의 경량성 역시 확보**하였음

□ 따라서 본 **연구 성과(01.계산서, 02.도면)에 대하여 기준 만족 여부, 기술 수준 등에 대한 전문가 기술 검토를 요청**함

전문가 자문 및 검토 보고서

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.		
지원기관	국토교통과학기술진흥원		
일시	2021.11.29.~ 2021.12.03	장소	서면
전문가	(소속) 주)한맥기술 (성명) 이 동 원		
자문 주제	(자문명) 연구 성과(01.계산서, 02.도면)에 대하여 기준 만족 여부, 기술 수준 등에 대한 기술 검토		

전문가 자문 및 검토 내용

□ 종합 의견

◦ 차음터널의 설계 지배인자는 풍하중과 설하중으로 특히, 풍하중의 산정은 최신 국가건설기준인 KDS 41 10 15(건축구조기준)을 적용함. 기존의 1차원적인 하중에 비하여 차음터널의 지붕형상에 따른 하중효과, 입출구부의 풍압, 차량에 의한 풍하중 등 매우 정밀하고 합리적으로 개선함.

◦ 또한, 지주와 상현재 하현재는 기존의 허용응력법 대신 최신의 한계상태설계법을 적용하여 기존 설계법 대비하여 강재량 절감에 따른 경량성 확보와 동시에 아치형 원형 강관을 이용하여 미관도 획기적으로 개선하여 차음 터널에 대한 기술수준 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

□ 상세 의견

◦ 구조계산서의 각 부분별 상세의견은 다음과 같음

1) 설계기준 및 구조해석 등 : 최신기준을 적용하여 적정하게 수행함. 단, 강관의 강종은 구 기준의 내용이므로 명치의 변경은 필요할 것으로 판단됨

2) 지주설계 : 대부분 최신 설계기준에 부합하도록 적용되었음. 다만 다음사항에 대해서는 강구조 설계기준(2017)을 참조할 것을 추천함.

① 비세장 단면(압축플랜지)을 가지는 압축부재에 대한 한계상태는 현재 검토된 휨 좌굴과 추가로 비틀림에 대한 검토(2축대칭부재)를 추가하여 둘중에서 지배가 되는 요소를 한계상태로 결정하여 적용 하는 것이 타당할 것으로 판단됨

② D_c 및 D_{cp} 등은 도로교의 합성거더(슬래브를 가지는 교량)에 적용하는 변수로서 본 지주는 KDS 14 31 10 : 2017의 표 4.3-2를 참조하여 단순 양연지지판을 적용하는 것이 보다 적절할 것으로 판단됨.

3) 주각부 및 연결부 설계 : 앵커의 설계는 콘크리트 구조기준을 참조하여 인발, 전단, 프라이 아웃 등에 대한 검토를 적정하게 수행함. 또한, 용접연결 및 볼트연결부는 한계상태설계법으로 적정하게 구조검토가 된 것으로 판단됨.

◦ 도면의 적정성 : 계산과 규격이 일치되도록 적정하게 작성되었으며, 도면에 적용된 강재 규격은KS 강종 규격 변경이후로 표기하는 것이 타당할 것으로 판단됨.(계산과 일치필요)

□ 기타

◦ 추가반영 사항 : 주각부의 베이스플레이트 설계는 향후 추가하여야 할 것으로 판단되며, 관련한 검토는 별첨자료를 참조 하기바람.

참고자료 및 별첨	1. AISC Design Guide 1 : Column Base Plates 2nd Edition
전문가 서명	(소속/성명) 주) 한 맥 기 술 이 동 원 (서명)

전문가 자문 및 검토 보고서

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.		
지원기관	국토교통과학기술진흥원		
일시	2021.11.29.~12.03	장소	서면자문
전문가	(소속) 서울시설공단 (성명) 문영철		
자문 주제	(자문명) 연구 성과(01.계산서, 02.도면)에 대한 기준 만족 여부 및 기술 수준 등에 대한 기술 검토		
전문가 자문 및 검토 내용			

□ 종합 의견

◦ 검토대상 차음터널에 대하여 KDS 41 10 15에 따른 풍하중의 산정과 지주설계시 한계상태 설계법의 적용은 적정한 것으로 판단되며, 핵심 설계사항인 나비 형상의 복부부재 적용으로 경량성과 경관성을 개선하여 기존 차음터널에 대비하여 기술수준이 향상에 기여한것으로 판단됨.

□ 상세 의견

◦ 의견 요지

- 구조계산시 단면가정, 하중산정, 풍하중 산정 및 구조해석은 적절하게 수행되었으며, 지주단면 설계에서도 I형 거더에 대해서 압축력에 대한 한계세장비와 휨 부재에 대한 한계세장비로 구분하여 적용하고 휨-압축 상관검토도 적절하게 수행된 것으로 판단됨.
- 다만, 전체적인 구조계산은 교량 거더가 아니므로 도로교설계기준 보다는 개별 요소의 설계에 적합한 KDS 14 31 10 강구조기준 및 해설을 에 따라 설계하는 방안을 추천함.
- 상하연재인 원형 단면에 대하여도 압축부재, 휨 부재, 휨-압축 상관 검토로 나누어 적절하게 구조검토를 수행하였으나, I형과 동일하게 전체적인 참고문헌은 강구조기준을 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단됨.
- 구조계산서 및 설계도면에 적용된 강재의 재료 표기는 최신 설계기준에 맞게 변경된 KS강종 규격으로 표기가 필요함. (KDS 14 31 05 참조, SS400⇒SS275, STK500⇒SGT410)

□ 기타

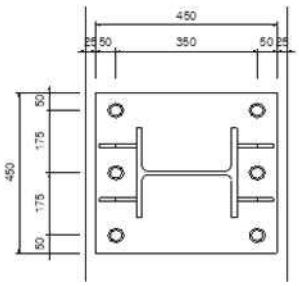
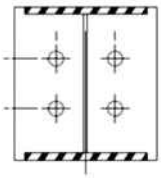
◦ 구조해석 모델링의 경계조건을 양단고정으로 검토하였으나 설계도면으로 볼 때, 측벽측의 앵커 형태가 완전 Fixed상태는 아닌 것으로 판단되므로 아래에 대한 검토가 필요한 것으로 판단됨.

- 양단 힌지로 검토하는 방안(건축구조계산시 주로사용) 또는 일체거동이 가능하도록 측벽측 앵커 상세 변경(앵커 추가 및 Base Plate 보강)하는 방안(첨부 #1 참조)

※ 유럽에서는 주각부 연결에 핀(pinned)접합 상세가 많이 사용된다. 특히, 본 차음터널의 지주와 상하현재 연결부의 강성이 충분히 커 우각부 단면증가 없이도 가능할 것으로 판단되며, 이 경우 하부 기초의 최적화에 도움이 될 수 있을 것으로 판단됨.

참고자료 및 별첨	1. 유럽 Potal frame 기초 연결부 상세
전문가 서명	(소속/성명) 서울시설공단 문 영 철 (서명)

[별첨 #1]

Fixed Base(측벽)	Pinned Base(중분대)	
	-	현재 적용
 Fixed Base	 Pinned Base	유럽 예시

전문가 자문 및 검토 보고서

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.		
지원기관	국토교통과학기술진흥원		
일시	2021.11.29.- 12.03	장소	
전문가	(소속) 전북대학교	(성명) 노 화 성	
자문 주제	설계 검토		
전문가 자문 및 검토 내용			

□ 종합 의견

전반적으로 필수적인 설계하중과 구조해석/계산, 도면 등이 잘 갖추어져 있습니다. 다만 아래 사항들에 대한 검토가 필요하다고 판단됩니다.

□ 상세 의견

- 기본 풍속과 풍하중 산정시 적용 풍속을 '건축구조기준 하중산정(41 10 15)' 반영하였으나, 방음벽이 토공부 뿐만 아니라 교량부에도 설치되므로 '국도건설공사 설계실무 요령(국토교통부, 2021)'과 '이상기상 대비 구조물의 내풍설계기준 정비 및 개발(국토해양부, 2010)'상에 제시되어 있는 풍속과 방음벽 표준 설계풍하중을 적용하는 것이 적정한 것으로 판단됩니다.
- 터널형 방음벽은 대부분 도심지 통과구간에 적용되므로 설하중 산정시 노출계수는 보수적으로 1.1 적용이 적정한 것으로 판단됩니다.(구조계산서상에는 노출계수 1.0 적용)
- 적용구간이 긴 터널형 방음벽의 경우 환풍시설이 설치되는 경우가 있으므로, 만약 있는 경우 해당 환풍시설에 대한 고정하중 추가가 필요할 것으로 판단됩니다.
- 터널형 방음벽은 일반 방음벽과 달리 적용 차선별 제원이 일정하므로 규격화된 방음벽 기초를 제시하는 것이 적용성 측면에서 유리할 것으로 판단됩니다.

□ 기타(성과품 오기 등)

- 구조계산서 '1.설계기준 4) 참고문헌' 최신설계기준(KDS기준 등)으로 변경
- 구조계산서 '1.설계기준 2) 사용재료'상의 지주와 상현재, 하현재 제원이 4차로, 6차로, 8차로 구조계산서상 동일하게 각각 250×250×9×14와 ϕ89.1, 4t로 표기되어 있으므로 차선별 적용 지주 및 상·하현재 제원으로 수정
- 구조계산서 '5.3 해석결과, 축력도'상의 부재력(예: 8차로 1061.45kN)과 지주의 축강도 검토시 적용된 부재력(Pu=87.925kN)이 상이하므로 확인 후 수정이 필요하며, 해석결과상의 부재력도를 세분화하여 부재별(지주, 상현재, 하현재 등) 해석결과 명기
- 도면상의 접형강판과 타공판 강종이 각각 SM400, SS400으로 표기되었으므로 변경된 강종표기법으로 수정
- 6차선 도면 'NB방음터널 상세도(3)'의 '앵커부 상세'에 표기된 지주 제원이 250×250×9×14으로 표기되었으므로 수정

참고자료 및 별첨	1. 도로설계편람, 국도건설공사 설계실무 요령, KDS 기준
전문가 서명	전북대학교/노화성 (서명)

전문가 자문 및 검토 보고서

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.		
지원기관	국토교통과학기술진흥원		
일시	2021.11.29-12.03(5일간)	장소	
전문가	(소속) 충남대학교 토목공학과 (성명) 김우석		
자문 주제	(자문명) 경량 차음터널 구조 검토		

전문가 자문 및 검토 내용

□ 종합 의견

- 차음터널이 많이 건설되고 있는 최근의 경향에 따라 경제적이며, 안전한 구조로 운전자의 시인성 또한 향상될 것으로 기대됩니다.

□ 상세 의견

- 각 설계 항목별로 다양한 설계기준이 혼용되어 사용되고 있는 듯 합니다. 구조설계 계산서에 검토 항목마다 적용된 설계기준을 명시하는 것이 혼동을 줄일 것으로 생각됩니다.
- 또한, 도로교설계기준을 주로 사용하였는데, 강구조물 설계기준을 적용하지 않은 이유가 정당화 되어야 할 듯 합니다. 국가건설기준센터의 구조설계기준을 적용하고, 이에 따른 모든 한계상태에 대한 검토와 하중계수를 적용해야 할 듯 합니다.
- 풍하중에 대한 구조해석 부분에 검토가 필요할 듯 합니다. 풍하중의 작용 방향이 부재에 수직한 방향으로 작용되었습니다. 중력방향으로 상하로 작용했을 경우에 대해서도 검토가 필요하지 않을까하는 생각이 듭니다. 또한, 기둥부에는 풍하중이 작용되지 않고, 상단의 보 부분에만 작용되었는데, 양쪽의 기둥부와 보 부분에 동시에 풍하중을 작용시켜야 할 듯 합니다.
- 차량에 의해 발생하는 풍하중의 영향도 검토해볼 필요가 있을 듯 합니다. 철도설계기준에서 제시되고 있는 후폭풍 풍압력 식을 이용하여 검토해볼 수 있을 듯 합니다.
- 하중에 의한 최대모멘트는 보와 기둥부 사이의 연결부에서 발생하고 있습니다. 따라서, 이 연결부분에 대한 용접 성능과 피로 검토가 필요할 듯 합니다.
- 사용 강종이 SS400과 SS275가 혼용되어 사용되고 있습니다. SS275로 통일해야 할 듯 합니다.
- 하중조합에 사용된 IC는 유빙충돌하중(극단상황한계상태)으로 잘 못 고려된 것 같습니다. 여기서 고려되어야 하는 하중은 적설하중입니다. 적설하중에 대한 하중계수를 적용시켜야 합니다. 적설하중 에 대한 산정은 건축설계기준 (KDS 41 10 15, 4)를 적용하였으나, 하중조합은 교량설계기준을 적용하였습니다. 일관성 있는 하중과 하중조합 적용이 되어야 할 듯 합니다.
- 모든 하중조합이 고려되어야 합니다. 극한한계상태IV와 DC 하중에 대한 하중계수 0.9를 적용했을 경우에 대해서도 검토할 필요가 있습니다. DC하중계수가 0.9가 되면 풍하중의 방향에 따른 영향이 달라질 것으로 예상됩니다.
- 본 연구의 목적인 경량화, 시인성 향상, 터널 내부 공기순환 개선에 관련된 자료는 제시되지 않았습니다. 추후 연구에서 기존의 방음터널과 비교하여 결과를 뚜렷이 나타낼 수 있도록 하는 것이 좋겠습니다.
- 설계부분에서 지붕 부재의 경우 나비모양의 웨브를 사용하여 상현재와 하현재를 연결하는 성능에 대한 검토가 필요합니다. 나비모양의 웨브의 크기와 간격에 따라 상현재와 하현재가 일체거동하여 휨성능을 발휘할 수 있도록 하는 것이 좋겠습니다.
- 또한, 풍하중에 의한 용접부위의 피로 검토가 필요할 듯 합니다. 나비모양의 웨브와 상현재, 하현재가 용접으로 연결되어 있어 용접성능 검토가 필요합니다.

참고자료 및 별첨	해당없음
전문가 서명	(소속/성명) 충남대학교 김우석 (서명)

붙임 17

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number 제 10-2338280 호

출원번호 Application Number 제 10-2019-0159994 호

출원일 Filing Date 2019년 12월 04일

등록일 Registration Date 2021년 12월 07일

발명의명칭 Title of the Invention
경량 차음터널용 거더 구조 및 그 거더구조를 갖는 차음터널

특허권자 Patentee
고려대학교 산학협력단(114471-*******)
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

특허청
Korean Intellectual Property Office

2021년 12월 07일

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래

붙임 18

발송번호: 9-5-2021-063548500
발송일자: 2021.08.10.

수신 서울특별시 강남구 언주로 711, 9층(논현동, 건설회관)(특허법인주원)
특허법인주원[길용준] 귀하(귀중)
06050

특 허 청

특허결정서

출 원 인 성 명 동아이엔지(주) (특허고객번호: 120100316345)
주 소 서울특별시 광진구 천호대로 592,8층(능동, 광명빌딩)
대 리 인 명 칭 특허법인주원
주 소 서울특별시 강남구 언주로 711, 9층(논현동, 건설회관)(특허법인주원)
지정된변리사 길용준
발 명 자 성 명 강덕만
주 소 경기도 성남시 수정구 위례순환로 150 래미안위례 3405동 1303호
발 명 자 성 명 한승석
주 소 서울특별시 서초구 태봉로2길 60 서초네이처힐3단지 303동 403호
발 명 자 성 명 최경호
주 소 서울특별시 송파구 마천로15길 8 세현아트빌 302호
발 명 자 성 명 임아람
주 소 경기도 화성시 봉담읍 동화길 82 동화마을동일하이빌아파트 104동 2301호
출 원 번 호 10-2020-0128177
발 명 의 명 칭 방음터널 및 그 시공방법
청 구 항 수 6

이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다.
(특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제87조에 따라 설정등록을 받음으로써 발생하게 됩니다. 한편, 특허법 제67조의2제2항에 따라 이 출원에 대한 종전 거절결정(2021.06.17)은 재심사 청구로 인하여 취소된 것으로 간주되었습니다.) 끝.

[참고문헌]

1. KR1020190050389 A
2. KR101406873 B1
3. KR101591664 B1
4. KR101887659 B1

[직권보정 사항]

붙임 19

발송번호: 9-5-2021-067175803
발송일자: 2021.08.24.

수신 서울특별시 강남구 언주로 711, 9층(논현동, 건설회관)(특허법인주원)
특허법인주원[길용준] 귀하(귀중)
06050

특 허 청

특허결정서

출 원 인 성 명 동아이엔지(주) (특허고객번호: 120100316345)
주 소 서울특별시 광진구 천호대로 592,8층(능동, 광명빌딩)
대 리 인 명 칭 특허법인주원
주 소 서울특별시 강남구 언주로 711, 9층(논현동, 건설회관)(특허법인주원)
지정된변리사 길용준
발 명 자 성 명 강덕만
주 소 인천광역시 연수구 해돋이로 107 더샵퍼스트월드아파트 1동 906호
발 명 자 성 명 한승석
주 소 서울특별시 서초구 태봉로2길 60 서초네이처힐 303동 403호
발 명 자 성 명 최경호
주 소 서울특별시 송파구 마천로15길 8 세현아트빌 302호

출 원 번 호 10-2019-0154567
발 명 의 명 칭 프리스트레스를 도입한 지주를 이용한 방음터널 및 그 시공방법
청 구 항 수 6

이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다.
(특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제87조에 따라 설정등록을 받음으로써 발생하게 됩니다.) 끝.

[참고문헌]
1. KR102027514 B1
2. KR1020170126685 A
3. KR200247053 Y1
4. KR101534269 B1

[직권보정 사항]

번호	보정항목	보정위치	보정전내용 보정후내용	보정사유	도면보정 내용
1	청구범위	청구항 4	제3항에 있어서,	명백한 오	X

붙임 20

Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. **, No. **, **** 20**, pp.***-***
http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.20**.**.**.***
pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

4차선급 신형식 방음터널 거더 제안 및 구조적 성능평가

고원회[1], 김민재[2], 마천[3], 강덕만[4], 지광습[5*]

Proposal of a new type of 4-lane soundproof tunnel girder and structural performance evaluation

Wonhui Goh[1], Minjae Kim[2], Ma Chuan[3], Duckman Kang[4], Goangsuep Zi[5*]

Abstract: The soundproof tunnels have been generally designed with H-beam girders, and the high weight of H-beam may cause the excessive design of the substructure. To solve this problem, this paper proposes a new soundproof tunnel girder design composed of pipes and discontinuous plates. First, the structural behavior of the straight girder according to the design parameters was examined through finite element analysis. The arrangement and shape of the plates were determined as the design parameter, to obtain the optimal design of girder. After then, the structural behavior and buckling stability of the arched girder were subsequently evaluated. As a result of the parameter analysis, it was confirmed that the axial force acting on the girder increased and the moment decreased as the ratio of unsupported sections decreased or the number of supporting plates increased. The stress concentration on the pipe member was relieved by increasing the long axis length of the elliptical plate. Arched girder analysis showed that the structural efficiency increase as the long axis of elliptical plate increase. As a result of the buckling evaluation, the buckling threshold load of the three connected girders was about 3.7 times higher than the design load. Consequently, it was confirmed that the proposed soundproof tunnel structure design satisfies both light weight and structural safety.

Keywords: Soundproof tunnel, Structure analysis, girder analysis, porosity, new type girder

1. 서 론

대한민국 현행법상 교통 소음 저감을 필요로 하는 주택, 학교, 병원 등의 보호대상지역은 적정 방음 시설이 설치되어 교통 소음 저감이 필수적으로 이루어져야 한다. 하지만 아파트 고층화 또는 주거 인근 지역에 고속도로 설치 등으로 인해 교통 소음이 기존 방음 시설의 소음 감쇠 범위를 초과하는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 2010년부터 방음터널 설치량이 증가하여, 2020년 기준 수도권에만 약 10개 이상의 방음터널이 설치되었다. 그러나 현재까지는 방음터널의 구조적 특징을 고려한 설계가 수행되고 있지 않다. 특히 방음터널 형식의 대부분을 차지하는 H형강 트러스 방음터널의 경우 높은 중량으로 하부구조에 많은 부담을 주기 때문에 경량화된 구조와 안정성을 모두 갖춘 신형식 거더 개발이 필요하다(Yoon et al., 2018).

최근 10년간 국내외에서 수행된 방음터널 구조에 대한 연구 사례를 보면, 연구 동향은 크게 1) 방음터널 구조 경량화, 2) 진출입부 작용 풍하중 저감, 3) 방음터널/방음벽 혼합 구조를 활용한 설계 효율 극대화 및 4) 구조 수명 예측으로 분류 가능하다. 구조 경량화 연구에서는 기존 H형강 대신에 파이프 트러스 빔을 적용하여 경량 방음터널을 설계하고 안전성을 평가한 사례가 있다(Ahn et al., 2016; Noh et al., 2016). 또한, 플랜지 집합부, 강관 파일의 두께와 직경을 변화하여 최대 응력을 분석하여 최적 설계를 도출하였다(Noh and Lee, 2017; Yoon et al., 2018). 그러나 부재의 직경과 두께만으로는 경량화와 안전성을 모두 만족하는 설계가 어렵기 때문에 고강도 소재의 사용이 불가피하고 시공 친화적인 설계 검토가 부족하였다. 터널형식에 개구부를 적용하는 구조 경량화 및 풍하중 감소 설계의 경우, 방음터널의 풍하중을 저감하기 위해 벽면 일부를 개방하여 풍하중 저감 효과를 분석하고 이를 실험

[1]학생회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 석박사통합과정
[2]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 연구교수
[3]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정
[4]종신회원, 동아이엔지(주) 대표이사
[5]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 교수
***Corresponding author:** g-zi@korea.ac.kr
School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Republic of Korea
•본 논문에 대한 토의를 2021년 09월 31일까지 학회로 보내주시면 2021년10호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Copyright © 2016 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

3) 방음터널 거더의 비지지구간 비율이 0.4, 비지지구간 개수가 16이고 복부판의 형상이 E180 단면일 때의 조합이 가장 유리하지만, 방음판에 대한 시공성을 고려하여 실제 방음터널의 최적 설계로 최대 비지지구간 개수를 13, 비지지구간 비율을 0.7로 채택하였다.

4) 최적 설계를 반영한 아치형 거더 분석 결과로 복부판 공동단면의 장축의 길이가 길수록 구조적 효율과 경제성이 증가하지만, 단면부의 공동 단면의 장축 길이가 일정 구간(E145와 E180단면 사이) 이상으로 커지면 최대처짐에 불리함을 확인하였다.

5) 3개의 아치형 거더를 포함한 신형식 방음터널의 좌굴 안전성을 평가 결과, 좌굴에 있어 설계 하중에 비해 약 3.7배 이상 구조적 안전성을 확보하고 있는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C152291-03).

References

1. Yoon, T. I., Noh, M. H., & Lee, S. Y. (2018). Parametric Applicability Assessment of High-Strength Steel Tubes of Noise Tunnel Structures for Weight Reduction. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 18(7), 299-306.
2. Ahn, D. W., Choi, S. J., & Noh, M. H. (2016). Evaluation of design compatibility for lightweight soundproof tunnels using pipe truss beams. Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 7(1), 9-18.
3. Noh, M. H., Ahn, D. W., & Joo, H. J. (2016). Assessment of Structural Performance for a Lightweight Soundproof Tunnel Composed of Partitioned Pipe Truss Members. Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 7(1), 1-8.
4. Noh, M., & Lee, S. Y. (2017). Finite Element Analysis of Flanged Connections of Steel Tubular Truss-Type Soundproof Tunnels. Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 8(3), 46-52.
5. Son, J. G., Park, G. H., & Ryu, R. E. (2014). A Development of the Light Weight Noise Tunnel on a High Degree of Efficiency and Environmentally Friendly for Railway. In Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference (pp. 487-490). The Korean Society for Noise and Vibration Engineering.
6. Kim, T. M., Kim, J. T., Park, G. H., Son, J. G., Ryu, L. O., & Koh, H. I. (2015). The Study of Noise Reduction by Noise Protection Roof : Design Concept. Journal of the Korean Society for Environmental Technology, 16(2), 124-130.
7. Kim, T. M., & Kim, J. T. (2017). The Study of Reduction to Wind-loading Effect for Noise Protection Roof using a Scaled Model. Journal of the Korean Society for Environmental Technology, 18(1), 55-62.
8. Lee, N. S., Ju M. K., Koh, H. I., Hong, J. Y., & Oh, Y. K. (2017). A Study on the Efficient Design Alternative of Sound Absoption Facilities. The Korean Society of Living Environmental System, 24(6), 824-832.
9. Kim, J., & Kim, S. A. (2020). Lifespan Prediction Technique for Digital Twin-Based Noise Barrier Tunnels. Sustainability, 12(7), 2940.
10. Wu, X., Zhu, Y., Xian, L., & Huang, Y. (2021). Fatigue Life Prediction for Semi-Closed Noise Barrier of High-Speed Railway under Wind Load. Sustainability, 13(4), 2096.
11. Dogan, E., & Ozyuksel Ciftcioglu, A. (2020). Weight optimization of steel frames with cellular beams through improved hunting search algorithm. Advances in Structural Engineering, 23(5), 1024-1037.
12. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2015), Road Structure & Facilities Standards.
13. Architectural Institute of Korea(AIK). (2016). Korean Building Code, KBC2016.
14. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2009), Highway Design Manual.
15. ABAQUS (2015) Standard User's Manual. 6.12. Johnston, RI: Dassault Systemes Simulia Corp.
16. DNV, G. (2016). Determination of structural capacity by non-linear finite element analysis methods. DNVGL-RP-C208.
17. Korea Expressway Corporation. (2019), Highway Design Manual 19th
18. Korean Society of Steel Construction (KSSC) (2009). Korean steel structure design code-load and resistance factored design, KDS 14 00 00

Received : 06/일/2021
Revised : 06/일/2021
Accepted : 06/일/2021

붙임 21

차음터널 신형식 거더 매개변수 분석

고원희[1], 마천[2], 지광습[3]

A Parametric study on Soundproof tunnel new girder design

Wonhui Goh[1], Chuan Ma[2] and Goangseup Zi[3]

신형식 차음터널 거더의 복부판에 공동 단면을 적용하고 단면의 매개변수의 민감도 분석을 진행하였다. 기존 H형강을 활용한 차음터널의 경우 높은 중량으로 하부구조에 많은 부담을 주기 때문에 경량화된 구조와 안정성을 모두 갖춘 신형식 거더 개발이 필요하다. 최적 형상을 개발하기 위해, 단순화된 직선형 단일 거더의 공극비와 비지지구조, 복부판 형상에 대한 거동을 분석하였다. 직선형 단일 거더의 공극비는 0.4, 0.6, 0.8에 대해 분석하였고, 비지지구조 개수는 8, 12 ,16에 대해 분석하였다. 거더의 복부판 형상의 경우 사각형, 45도 각형, 원형 3가지 단면별 응력집중계수 대해 분석하였다. 직석형 거더의 공극비과 비지지구조 개수를 분석한 결과, 공극비가 작을수록 비지지구조 개수가 증가할수록 촉력이 증가하고, 모멘트는 감소하며, 좌굴임계하중이 증가하였다. 복부판 형상의 경우, 복부판에 대한 R의 비율이 감소할수록 응력집중계수가 감소하였으나 0.5보다 작아질 경우 응력집중계수가 다시 커지는 양상을 보였다. 또한 휨응력에 대한 응력집중계수는 축응력보다 더 컸다. 따라서, 공극비가 0.4, 비지지구조개수가 16, 복부판 형상 R=0.5h_w의 조합이 가장 유리하였다.

핵심용어 차음터널, 방음터널, 매개분석, 민감도분석, 최적설계,

감사의 글 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C152291-02).

[1] 고려대학교 건축사회환경공학부 석박사통합과정 wonhee0689@korea.ac.kr
[2] 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정 machuan94@korea.ac.kr
[3] 고려대학교 건축사회환경공학부 정교수 g-zi@korea.ac.kr

성과증빙 A-2-①, 붙임 10

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2020.10.05
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(7488)
출원번호	10-2020-0128177 (접수번호 1-1-2020-1049048-79) (DAS접근코드76EF)
출원인 명칭	동아이엔지(주)(1-2010-031634-5)
대리인 성명	특허법인 주원(9-2008-100161-7)
발명자 성명	강덕만 한승석 최경호 임아람
발명의 명칭	방음터널 및 그 시공방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

붙임 11

시 험 성 적 서

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

성적서 번호 :
TOTAL-20-261
페이지(1)/(총 6)

㈜토탈이엔씨 Experiment & Consulting

1. 의뢰인
   - □ 기 관 명 : 고려대학교 구조공학역학 연구실
   - □ 주 소 : 서울특별시 성북구 안암로 145, 자연계캠퍼스 공학관 301호
2. 시험 대상 품목
   - □ 제 품 명 : 차음터널용 신형식 경량 거더
   - □ 모 델 명 : #1, #2, #3, #4, #5, #6, #7, #8
3. 시험기간 : 2020년 09월 21일 ~ 2020년 09월 22일
4. 시험방법 : 의뢰자 제시 조건
5. 시험결과

시험체명	시험결과	
	최대하중(kN)	최대하중 시 변위(mm)
#1	180.46	67.20
#2	178.41	59.74
#3	174.96	67.27
#4	169.42	62.53
#5	177.30	62.36
#6	171.48	64.89
#7	172.43	62.03
#8	170.12	62.26

이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 이 종 규 (서명)	성 명 : 김 상 학 (서명)

2020년 10월 28일

㈜토탈이엔씨 대표이사 (인)

TOTAL E&C

붙임 12

2020년 한국강구조학회 학술대회 발표집

제7분과

구간별 강도 결정이 가능한 신형식 비정형 복부판-강관 플렌지 거더의 설계법 개발 및 검증

Steel girder with atypical web and pipe flange having strength adjustability along axial direction

김 홍 현[1] · 김 민 재[2]* · 김 기 수[3] · 지 광 습[4]*
Kim, Hong Hyun Kim, Min Jae Kim, Gi Su Zi, Goangseup

ABSTRACT: Generally, when designing a structure with H section steel beam, the maximum axial, shear forces and moment on entire section of girder along axial direction are considered. In case of designing a live load-depended structures, an acoustic barrier tunnel for instance, the required strength over the axial direction varies drastically. Therefore, when these structures are designed with typical H beams, most of the time they end up being overdesigned on big portion of the section, leading to overweighted structure. In this study, a new type of H-beam-like girder is proposed. This new type of steel girder is consist of pipe flanges welded together through atypical shaped webs, deployed in interval. Having adjustable web plates, the strength of girder along the axial direction can be controlled, and the multiple radii can be applied in case of designing an arch shaped girder. The desgin method to this new type of girder has been proposed, and the stress levels on its products are evaluated through FEM. One to one scale experiments are to be carried out to support the FEM evaluation results.

1. 서 론

경제 발전과 함께 도시지역 인구 밀집 현상과 시민들의 주거 환경에 대한 의식수준이 높아짐에 따라 주거지역 환경 소음에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 환경부에서 발행하는 '소음·진동 관리시책'에 따르면, 2012년을 기점으로 소음 및 진동에 대한 민원 건수가 급증하는 추세이며, 2015년 이후 소음 관련 민원이 전체 환경민원 중 50%이상을 차지하고 있다. 이 중 절대다수는 차량 통행에서 발생하는 교통소음으로부터 발생하며, 국토부 및 지방자체단체는 해결방안으로 도로용 방음터널을 신설하거나, 기존에 설치되어있는 방음벽을 방음터널로 교체하는 사업을 추진하고 있다.

방음벽은 소음의 이격거리 감쇠현상을 이용하여 소음을 저감하기 때문에 교량이나 성토구간에 효율적인 방음시설이지만, 고층빌딩, 아파트 등이 밀집되어 있는 도심구간에서는 높은 방음벽이 요구되거나, 때에 따라 방음효과를 보지 못한다. 이를 보완하기 위해, 민원 발생 구간에 대해 방음터널을 주로 설치하는 추세이다. 다만, 단위길이 당 설치 비용은 방음터널이 방음벽에 비해 약 10배 이상이며, 방음벽 대비 높은 중량으로 인해 현장에 따라 기초부를 보강하거나, 때에 따라 설치가 불가능한 경우도 발생한다.

* 교신저자(Corresponding Author, g-zi@korea.ac.kr)
1) 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정
2) 고려대학교 건축사회환경공학과 박사후연구원
3) 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정
4) 고려대학교 건축사회환경공학과 정교수

2. 가변 플렌지-웨브 거더의 구성

현재 국내에서 흔히 설치되고 있는 방음터널의 대다수는 규격 H형강을 주골조로 사용한다. H형강은 비교적 오랜 기간 사용되어 왔으며 다양한 규격의 제품을 공급받기 쉬운 위치에 있다. 하지만 방음터널과 같은 지붕 구조물에 사용할 경우, 경량화를 위한 구간별 단면조절은 어려운 부재이다. 이에 따라 H형강의 플렌지-웨브 구조를 모방하여 소요강도에 대한 구간별 단면 조절이 용이하고, 주 자재에 대한 물량수급이 원활하며, 제작비용을 최소화한 신형식 거더를 그림 1과 같이 제안하였다.

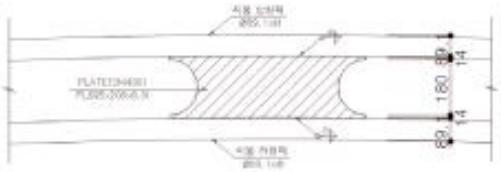


그림 1. 신형식 반단면 나비형 복부 거더



그림 2. 신형식 반단면 나비형 복부 거더를 사용한 방음터널 전경



그림 3. 신형식 변단면 나비형 복부 거더의 설계 절차

3. 가변 거더의 설계 절차

가변 거더의 설계 절차를 그림 3와 같이 도식화하였다. 제안한 거더 형식은 구조용 강관(KS D 3566)을 상·하현 플랜지로 사용한다. 여기서 소요 압축력에 대해 강관의 회전반경, 한계세장비와 복부간 배치거리를 좌굴길이로 선택한 값을 고려하여 강관 치수를 선택한다. 강관 선택 후, 강관 단면에 대해 중심점 거리를 변수로 소요휨강도를 만족하는 최소 이격거리를 구간별 소요 휨 강도에 대해 계산한다. 이후, 소요 전단력을 복재 배치 거리와 조합하여 전단 흐름으로 변환 후, 복재 단면적과 복재 비지지거리를 선택한다. 마지막으로 구조설계기준의 축압축과 휨을 받는 부재에 대한 응력검토를 진행하고, 만족하지 않는 경우 압축설계부터 재검토한다.



그림 4. 전단설계 기점단면

4. FEM을 통한 응력 검토

가변 거더의 구조적 거동을 확인하기 위해 상용 FEM 해석 프로그램인 Abaqus를 사용하여 응력 분포를 검토하였다. 하중 조건은 자중, 및 기타 하중과 풍하중을 고려하였고, 폭 20m가량인 4차선급 도로용 방음터널 단위 거더를 가정하여 적용하였다. 1차적으로 H형강 사용을 가정하여 부재력을 산출하였고, 그림 6와 같이 횡길이방향에 대한 부재력을 그래프로 도시하였다.

이후 3D 쉘 요소를 사용하여 전체 구조물을 모델링하였고, 휨

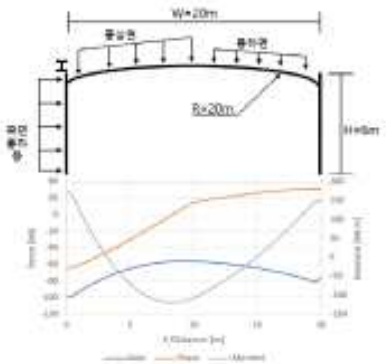


그림 5. 하중조건 및 부재력 집계

력, 전단력 지배구간에 대한 응력분포를 확인하였다. 여기서 복재 배치거리 단위를 기준으로 지배하중에 대한 응력분포가 거더를 캔틸레버 조건으로 재구성한 상황과 매우 유사한 응력분포를 나타냄을 확인하였다.

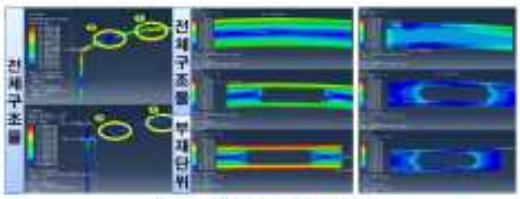


그림 6. 지배하중별 응력 분포도

복재의 응력집중을 해소하기 위한 필렛 곡률에 대한 매개변수 해석을 진행하였으며, 필렛의 라이프에 대한 접촉각이 작아짐에 따라 응력집중 해소량이 기대치보다 낮음을 확인하였다.

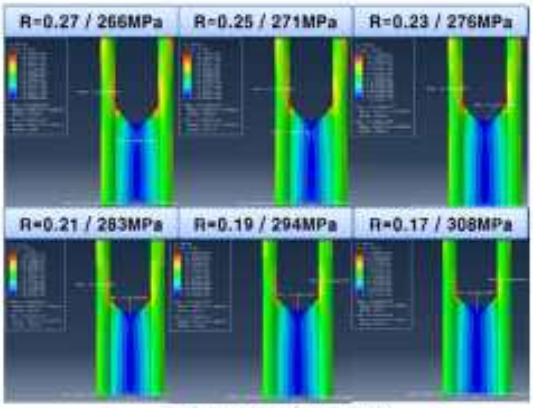


그림 7. 필렛 곡률별 최대응력

5. 결 론

본 연구에서는 H형강을 모사한 신식 거더 설계법을 제시하였다. 또한, 4차선급 방음터널 실제 상황을 가정하여 3D FEM 모델을 작성하여 복재의 응력분포를 확인하고, 복재 형상의 변화에 따른 응력집중 감소 효과를 확인하였다. 또한 응력집중 감소 효과를 실험적으로 확인하기 위한 단위모델을 구성하였다.

참고문헌

Goangseup Zi, Byeong Min Kim, Yoon Koog Hwang, Young Ho Lee (2008). An experimental study on static behavior of a GFRP bridge deck filled with a polyurethane foam. Composite Structures. Volume 82, Issue 2, Jan. 2008, pp.257-268.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C152291-02).

붙임 13

제24권 1호 (통권 45권)

신형식 비정형 복부판-강관 플랜지 거더 시스템 개발 및 복부판 응력집중 완화에 대한 연구

Parametric Study on the Stress Concentration on a New Type of Atypical Web Pipe Flange Girder

김홍현* 김민재** 박진우*** 지광습****
Kim, Hong-Hyun Kim, Min-Jae Park, Jin-Woo Zi, Goangseup

요 약

일반적으로 방음시설물은 암연 H형강을 주골조로 사용하여 설계한다. 방음터널의 골조는 설치 현장의 기준도로폭, 높이제한, 기후에 따라 요구되는 부재력의 변동이 크다. 이와 같은 지붕구조물의 주 거더는 길이방향에 따른 부재력의 변화가 크며, H형강과 같은 등단면 부재를 사용할 경우 특정 위치에서의 부재력을 만족하기 위해 보수적인 단면이 요구된다. 이는 전체 구조물의 중량 증가로 직결되며, 표면적으로 설치비용 증가와 설치 가능한 현장의 제한으로 이어진다. 이에 따라 기성품을 사용하고 조립소요를 줄여 저렴하고, 기하학적 이점을 활용하여 중량을 최소화한 지붕골조용 거더시스템의 개발이 요구되어 왔다. 본 연구에서는 H형강을 모사하여 강관 플랜지와 비정형 복부판을 사용한 신형식 거더 형식을 제안하고, 강관의 치수와 복부판의 형상에 따른 응력집중 효과 해소를 위한 매개변수 분석을 진행하였다. 또한 거더시스템의 검증을 위한 실험설계를 고안하였다.

키워드 : 방음터널, 신형식거더 / Keywords : Acoustic Tunnel, Atypical Girder

최근 급격한 경제발전과 시민의식 고양에 따라 소음관련 민원이 급증하고 있으며, 이중 절대다수는 도로소음에 연관되어 있다. 특히 도심지역 고층건물의 경우, 특정 높이 이상 도달할 경우 방음벽에 의한 소음 저감량이 현저하게 떨어진다(환경부[1]). 이에따라 도심지역 민원을 대응하기 위한 방안으로 방음터널의 설치 및 방음벽 교체사업이 활발하게 진행되어 왔으나, 중량 또는 비용문제로 인해 지연되고 있는 실정이다(환경부[2]).

현재 국내에서 설치되고 있는 방음터널의 설계는 주로 H형강을 기둥과 지붕주골조로 사용하는 구성을 띄고 있다. 방음터널의 지지조건은 측대구간을 기본으로 하며, 여건에 따라 중앙지주를 추가 할 수 있다. 하지만 중앙 지주를 추가할 경우 도로의 설계변경 및 중앙분리대 추가 등의 제약이 따른다. 중앙지주의 추가를 배제하고 설계하는 경우, 분포하중이 동일하다는 가정하에 지붕거더에 가해지는 최대 모멘트는 경간의 약 세제곱배에 달한다. 이와같은 조건에 H형강을 이용한 설계효률을 따라 단면을 선택하는 경우, 일부구간의 모멘트저항을 위해 나머지 구간에 대한 부재력 낭비를 초래한다. 이와같은 문제점을 해소하기 위해 트러스 거더, castellated 보를 사용한 거더, 와이어 합성보 등을 사용한 방음터널 설계법이 제안되어왔으나, 비용 측면에서 큰 이득을 보지 못한 경우가 대다수이다.

본 연구에서는 기성품 강관을 플랜지로 채용하고, 상현과 하현의 이격을 위해 최소한의 비정형판 복부판 배치하는 신형식 거더를 제안하였다. 기존 트러스 외 타형식 구조물의 단점인 설치비용을 절감하기 위해, 강관 플랜지와 복부판을 볼트체결 방식이 아닌 공장용접을 채택하였다.

신형식 거더 시스템의 복부판은, 1) 공방향 수평부재 지점에 대해 상현재에서 하현재로 하중을 전달하는 용도와 2) 상·하현 이격거리 유지, 3) 전단력에 의한 전단좌굴 거동 저항을 목적으로 배치한다. 3)의 기능을 수행하는 과정에서 복부판 모서리부에 응력 집중이 과하게 발생하며, 이를 해소하기 위해 완만한 곡면을 가진 복부판 형상을 제안하였다. 또한 곡률에 따른 응력집중 분산효과를 검토하기 위해 복부 높이, 두께, 비지지거리, 곡률 등의 변수에 대한 매개변수 분석을 진행하였다. 마지막으로 유한요소 해석 결과를 검증하기 위한 실험세팅을 고안하였다.

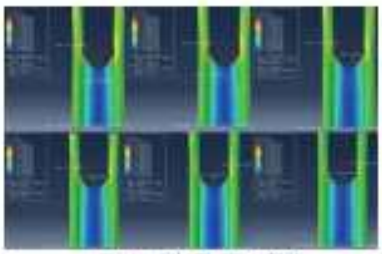


Fig.1 복부판 FEM 결과

* 고려대학교 건축사회환경공학과, 석사과정
** 고려대학교 건축사회환경공학과, 박사후연구원
*** 고려대학교 건축사회환경공학과, 석·박사통합과정
**** 고려대학교 건축사회환경공학과 정교수, 교신저자

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원과제번호: 20CTAP-C152293-02)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, 2018 소음진동관리시책 시도별측진실적평가, 2019.9
2. 환경부-한국도로공사, 방음시설 성능 및 설치기준 마련 연구, 2009.12
3. 국가건설기준센터, 강구조 부재 설계기준(KDS 14 30 00)

성과증빙 B-1-①, 붙임 22

전문가 검토 의견 종합 및 요약

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.
지원기관	국토교통과학기술진흥원
자문 주제	실험수행 결과 보고서 검토 자문

전문가 자문 및 검토 내용

□ 종합의견

◦ 본 과제에서는 차음터널 공기순환 성능 향상을 위하여 차음터널 일부 부재의 형상을 변경하였으며 2차원 풍동실험과 CFD를 이용하여 성능향상 정도를 정량화하였다.

◦ 차음터널 국부적 공기순환 성능 평가를 위한 지표로서 적정 평가지표 활용하였으며, 공기순환 성능 개선이 정량적으로 이뤄졌다.

◦ 차음터널 천장부 양력 평가는 본 연구과업에 포함되지 않은 추가·확장된 의미의 실험이다. 이는 기초 선행연구로 의미가 있으며 차량모사 등 세부 형상 검토를 통해 결과의 의미가 발전 될 수 있을 것으로 보인다.

□ 주요 상세의견

검토자	상세의견	반영 및 조치사항
문지호	◦ 현재 개량된 부재가 전체 차음터널에서 차지하는 부분이 상부 일부분에 국한 ◦ 양력실험에서 실제 나타나는 현상인지에 대한 검토와 설계에 반영해야 할 수준의 하중인지 검토 필요	◦ 차음터널에서 거더 형상변화로 인한 국부적 공기순환 성능 평가를 위해 역류량 지수 활용 ◦ 차량이동을 통해 터널 천장부 하중이 발생되는 현상은 업계 실무 회의를 통해 반영되었으며, 차량 이동에 의한 터널 풍하중의 정확한 매커니즘은 향후 추가 연구 사안으로 고려함. 본 양력실험은 자연 현상에 대한 직관적 식견과 실험환경을 통해 나타난 결과로 선행연구로 의미가 있음
김희덕	◦ 실험모형단면에 대한 추가 설명 필요 ◦ 양력계수의 정의와 상이하므로 '의사양력계수' 표현 등 적절한 용어를 통해 제시	◦ 실험수행 결과 보고서 수정 ◦ 천장부가 받는 풍하중을 정량화하여 평가하고자 Bridge/Aerodynamics engineering에서 사용하는 양력계수 수식을 도입하였으나, 양력계수의 의미까지 포괄하지는 않으므로 양력계수 용어를 '의사양력계수'로 수정
이승호	◦ 공기순환 성능을 적절히 평가 ◦ 양력확인 실험 방법의 정적성 확인	◦ 공기순환 성능평가 지표는 논문에 근거한 지표 참조 ◦ 국부적 압력 측정을 위해 풍압실험이 풍력실험보다 정확한 실험이지만, 실험실 환경을 고려하여 대표면적 압력에 대한 힘을 합산하는 방식의 풍력실험(분력계) 활용

□ 기타

◦ 위와 같은 전문가 검토 의견 사항을 토대로 '실험수행 결과 보고서' 업데이트

◦ 본 연구과업의 의미 확장을 위해 초과 예산이 소요되는 실험 형태가 제안(3차원모형실험, 더 상세한 차량모델을 통한 양력평가 등)되었고, 본 연구결과는 이를 위한 선행연구로 활용 가능성이 제시 됨

◦ (뒷면) 전문가 검토자의 구체적 의견 첨부

붙임 23

한국풍공학회논문집, 제25권, 제2호, (2021) 73~81
(투고일:2021.5.31/심사완료일:2021.5.25/게재확정일:2021.6.25)
https://doi.org/10.37109/weik.2021.25.2.73

사단법인 한국풍공학회
WEIK The Wind Engineering Institute of Korea

국부적 정체 기류 지표(역류량 지수) 제안과 구조형상 영향 분석

Local Stagnant Air Flow Indicator (Reverse-flow Rate Index) and Effects of Structural Shape

오승택[1] · 김기수[2] · 강덕만[3] · 지광습[4]
Oh, Seungtaek · Kim, Gisoo · Kang, Duk-Man · Zi, Goangseup

Abstract : A traditional ventilation index (ACH: Air Change per Hour) is determined by the total volume and supply/exhaust flow rate. However, this index is not suitable to evaluate the local stagnant air flow. In this paper, a new index (κ: Reverse-flow rate index) is proposed by using a reverse-flow rate in order to indicate the local stagnant air flow quantitatively. In addition, the amount of local stagnant air flow is evaluated by the change of structural shape variables. The structural shape variables which induced an influence on the fluid flow are considered by the porosity (ρ) and the number of gaps (N). As the result from the analysis of computational fluid dynamics (CFD), the performance of natural ventilation by the structural shape variables is similar, but there is a disparity for size of a local stagnant air flow by presence or absence of gaps. In addition, it is showed that the reverse-flow rate index has a tendency to increase the value with decreasing the value of porosity and the number of gaps each. Based on these performances, the approximated values of reverse-flow rate and the reverse-flow rate index are presented by a function of the porosity and the number of gaps through the regression of surface fitting.

Key words : Natural ventilation, Local stagnant air flow, Reverse-flow rate index (κ), Structural shape variables, Regression

요 약 : 구조물 환기성능 평가에서 기존 사용된 환기 지표 (ACH: Air Change per Hour)는 유체가 거동하는 구조물 내 유량의 흡배기량과 전체 볼륨에 의해 결정된다. 이는 구조물 내 유체 유동 중 국부적으로 정체된 흐름을 평가하는 지표로 사용하기 부적합하다. 본 논문에서는 구조물에서 국부적으로 정체된 흐름을 정량적으로 나타내기 위해 역류량을 이용하여 새로운 지표 (κ: 역류량 지수)를 제안하고, 구조형상 변수에 의해 국부적으로 정체된 유체 흐름을 평가한다. 유체 흐름 영향인자로 구조형상 변수는 공극비 (ρ), 공극 개수 (N)로 선정한다. 전산 유체 역학 (CFD)에 의한 해석 결과, 구조형상 변수에 의한 자연 환기 성능은 유사하지만, 공극의 유무에 의한 국부 정체 기류의 크기에는 차이가 발생함이 나타난다. 또한, 역류량 지수는 구조형상 변수 각각 감소함에 따라 값이 증가하는 경향이 나타난다. 본 결과를 바탕으로 회귀분석을 통해 공극비과 공극 개수 변수에 의한 역류량과 역류량 지수의 근사값이 제시된다.

키워드 : 자연 환기, 국부적 정체 기류, 역류량 지수, 구조형상 변수, 회기 분석

I. 서 론

환기는 구조물 내부 공기 오염도를 낮춰 실내 공기 질을 보장하기 위한 중요한 요소이다. 오염원으로부터 공기질을 보장하기 위해 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙[1]은 100세대 이상 공동주택의 경우 0.5회/hour 이상의 환기가 이루어지도록 제시하고 있으며, 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침[2]은 터널 환기를 위해 필요로 하는 소정의 환기량을 교통환기력으로 충족할 수 있도록 규정하고 있다.

구조물 내 환기량 평가를 위해 다양한 평가방법이 활용되고 있다. 미국의 ANSI/ASHRAE[3]는 공기교환율(ACH: Air Change per Hour)를 제안하고 있고, 이 지표는 단위 시간 동안 내부 공간에 새롭게 추가되거나 제거된 공기량을 전체 체적 당 계산함으로써 산출된다. 이를 위해 공기연령(age of air)과 공기의 평균잔여 체류시간을 산정하기 위한 농도 변화를 측정하는 방법이 활용되며 대표적으로 환기량 평가를 하기 위한 지표로 활용된다[4,5]. Favarolo and Manz[6]는 환기량 평가를 위해 구조물의 표면 압력차와 유량계수를 이용하여 환기량을 산출하는 방법을 제안하였다. 김영덕, 조문영[7]은 풍력환기회수 지표를 통해 환기구 유형에 따른 환기 성능을 풍동실험으로 평가하였다. 김학선 등[8]은 단순한 환기체적에 의한 환기평가에서 다종물질 이송현상 해석 기법을 이용하여 환기율을 평가하는 기법을 제시했다. 하지만, 국부적으로 정체된 유체의 흐름을 평가할 수 있는 지표는 부재중이며, 이를 위해 오염물질의 제화산을 야기할 수 있는 정체되고 고립된 유체를 정량적으로 산정하기 위한 지표 선정이 필요하다.

환기 성능 평가를 위해 전산유체역학(CFD) 해석을 이용하거나, 풍동실험을 이용하는 방법이 활용되었다. Allocca et al.[9]은

1) 고려대학교 건축사회환경공학부, 공학박사 (stoh@korea.ac.kr)
2) 고려대학교 대학원 건축사회환경공학부, 석사과정 (gisoo03@korea.ac.kr)
3) 동아이엔지(주), 대표이사 (ace-kang@naver.com)
4) 교신저자, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사 (g-zi@korea.ac.kr)

사하지만, κ에 의한 크기에는 차이가 발생하여 제안된 지표의 활용성이 나타난다.

(3) κ는 구조형상 변수 (ρ, N) 각각 감소함에 따라 값이 증가하는 경향이 나타난다.

(4) 거더 공극비와 공극 개수가 0인 경우 (ρ: 0, N: 0)와 공극비가 0.7, 공극 개수가 5인 경우 (ρ: 0.7, N: 5)를 비교한 결과 ACH에 의한 공기순환 성능의 차는 2% 미만인 반면, κ의 경우 각각 32.26, 6.80로 약 80% 정도의 개선 효과를 확인할 수 있다.

(5) 2차 함수에 의한 회귀분석 (surface fitting)을 통해 구조형상 변수 (ρ, N)에 의한 역류량과 κ의 근사값이 제시되었으며, 본 구조형상 변수의 경우, 역류량 근사값 산정을 위한 계수는 a_1=-4.129, a_2=-6.081, a_3=0.012, a_4=-0.782, a_5=0.577, C_a=9.901로 나타나며, κ 근사값 산정하기 위한 계수는 b_1=-14.790, b_2=-22, b_3=0.042, b_4=-2.813, , b_5=2.081, C_b =-35.660로 나타난다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C152291-03).

References

1. Ministry of Land, "Regulation about standard of equipment of structure", 2020.
2. Ministry of Land, "Guidelines for Installation and Management of Road Tunnel Disaster Prevention Facilities, 2020.
3. ANSI/ASHRAE, "Measuring Air-Change Effectiveness", ANSI/ASHRAE 129-1997 (RA 2002).
4. Sandberg, M., "What is ventilation efficiency?", Building and environment, Vol. 16, No.2, pp. 123-135, 1981.
5. Han, H., "On the definition of ventilation effectiveness", The M. of the society of air-conditioning and refrigeration engineers of Korea, Vol. 28, pp. 38-47, 1999.
6. Favarolo, P. and Manz, H., "Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening", Building and Environment, Vol. 40, No.5, pp. 689-699, 2005.
7. Kim, Y. D., Cho, M. Y., "A Experimental Study on Natural Ventilation of Underground Parking Lots of Apartment Buildings", Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.4, No.2, pp.165-173, 2000.
8. Kim, H. S., Lee, S., Lee, C. J., Jang, M. S., "Computational Analysis of Effects of Ventilation on Air Quality in a Cabin", Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.9, No.1, pp.97-102, 2005.
9. Allocca, C., Chen, Q. and Glicksman, L.R., "Design analysis of single-sided natural ventilation", Energy and buildings, Vol.35, No.8, pp. 785-795, 2003.
10. Bartak, M., Cermak, M., Clarke, J., Denev, J., Drkal, F., Lain, M., Macdonald, I., Majer, M. and Stankov, P., "Experimental and numerical study of local mean age of air", Proceedings of the 7th International Building Performance Simulation Association Conference, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 773-779, 2001.
11. Jiang, Y. and Chen, Q., "Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation", Journal of Wind engineering and industrial aerodynamics, Vol.89, No.13, pp. 1155-1178, 2001.
12. Song, D. S., Kim, S. J., "A Proposal of Indoor Air-conditioning system with Natural Ventilation", Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.7, No.1, pp.109-116, 2003.
13. Son, H. A., Lee, S., Um, J. A., Lee, S. G., Lee, H. C., "Analysis of Ventilation Performance in Pig Houses using CFD of Multi-Species Transport", Journal of Wind Engineering Institute of Korea, Vol.23, No.4, pp.181-187, 2019.

붙임 24

터널 구조물 공기 유동 분석을 위한 난류 모델 방정식 평가

Evaluation of turbulence model equations for estimating a wind velocity distribution in tunnel structures

김 기 수* · 오 승 택** · 강 덕 만*** · 지 광 습****
Kim, Gisoo · Oh, Seungtaek · Kang, Duk-Man · Zi, Goangseup

요 지

인구 밀집으로 인한 민원이 꾸준히 제기되어 방음벽을 설치해왔으나, 주거의 고층화로 인해 방음벽의 방음 성능에 한계가 있어, 최근 방음터널의 설치가 증가하고 있다. 방음터널의 경우 자연적인 공기 유동 및 차량 풍압에 의해 방음터널에서 방음터널 파손의 원인이 될 수 있으며 이러한 파손은 교통사고 유발할 수 있어 방음터널의 공기 유동 평가의 중요성이 대두되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 터널 구조물 내 공기 유동 분석을 위한 난류 모델 방정식을 평가하고 적용성을 검토하였다. 난류 방적식 모델은 $k-\epsilon$, SS, FDS로 각 3가지 모델을 분석하였다. 시뮬레이션 모델은 정면에 단일 출입구를 가지는 직육면체이며, 경계조건은 대기압상태(1atm)이고 출입구와 수직방향으로 1.5m/s의 유속이 흐르는 상태이다. 데이터는 출입구 중앙 Center line에서의 유속 데이터를 분석하였으며, Jiang and Chen 해석 데이터와 실험 데이터를 비교한 결과 SS 모델과 FDS 모델은 출입구 중앙 하단부에서는 실험 데이터와 유사하지만 상단으로 갈수록 실험 데이터보다 커지는 경향을 보였다. $k-\epsilon$의 경우 출입구 하단과 상단 경계층에서 유속은 실험 데이터보다 약간 작은 경향을 보였지만 이를 제외한 상단, 하단, 중앙부 모두 실험 데이터와 유사하였다. 따라서, 출입구에서 공기 유동은 $k-\epsilon$ 모델이 실제 공기의 난류 유동을 가장 잘 모사하는 것으로 보인다.

핵심용어 : Tunnel structure, Turblence model equations, wind velocity

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C152291-03).

* 고려대학교 대학원 건축사회환경공학부, 석사과정 (gisoo0@korea.ac.kr)
** 고려대학교 건축사회환경공학부, 공학박사 (snib@korea.ac.kr)
*** 동아이엔지주), 대표이사 (ace-liang@naver.com)
**** 교신저자, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사
(g-zi@korea.ac.kr)

성과증빙 B-1-②, 붙임 25

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2021.10.28
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2021-0145615 (접수번호 1-1-2021-1241076-31) (DAS접근코드679A)
출원인 명칭	고려대학교 산학협력단(2-2004-017068-0)
대리인 성명	특허법인 아이퍼스(9-2013-100041-7)
발명자 성명	김기수 지광습 오승택
발명의 명칭	터널용 정체 기류 저감 거더 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

성과증빙 B-2-①, 붙임 26

전문가 자문 및 검토 보고서

과제명	4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
당해년도 연구기간	2021. 01. 01. - 2021. 12. 31.		
지원기관	국토교통과학기술진흥원		
일시		장소	
전문가	(소속) ㈜삼우에이엔씨 대표이사/소음진동기술사 (성명) 조 만 희		
자문 주제	(자문명) 4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발		
전문가 자문 및 검토 내용			

□ 교통소음문제로 많은 국민들이 건강피해와 정신적 피해를 보고 있는 시기에 필요한 기술개발이라 생각됩니다. 4차선도로는 현재 국도나 지방도에 많이 적용되는 규모이기 때문에 4차선 도로에 적용할 수 있는 구조의 개발은 여러 현장에 적용이 가능한 것으로 생각됩니다.

□ 방음터널의 소재는 여러 형태가 사용되고 있습니다. 크게 투명형과 흡음형으로 구분할수 있는데 방음터널을 설치함으로서 가시성의 저하와 터널 내부의 소음증가로 인한 운전자의 회화방해등의 문제가 발생 할 수 있습니다. 이런 문제의 해결을 위해 구조체에 부분적으로 흡음성능이 있는 타공판을 취부하여 흡음성능을 증가시킨 방법은 좋은 개발 방향이라 생각됩니다.

□ 터널의 입, 출구부의 소음문제는 방음터널의 소음저감 성능이 다른 저감방법에 비해 월등히 좋음에도 불구하고 적용의 한계점으로 작용하는 점입니다. 즉, 입구와 출구 주변에서 소음이 증가하기 때문에 방음터널 설치시 입구와 출구 주변에 정온시설이 있을 때는 설치하기 어려운 상황입니다. 따라서, 입.출구부의 소음발생을 줄이기 위한 노력과 함께 방음터널의 적용시에 시뮬레이션을 통한 적정한 방음터널 길이의 선정은 중요한 설계요소라 하겠습니다.

□ 본 연구에서는 입. 출 구부의 소음저감 효과를 확인하기 위해 범용으로 사용하고 있는 3D소음예측 프로그램인 사운드플랜을 사용하여 흡음채 설치전,후의 소음저감량을 예측하였습니다. 일반적으로, 3D예측모델을 사용하는 사례가 있으므로 본 연구에서도 이러한 방법을 사용하여 예측한 값을 사용한 것으로 판단됩니다.

□ 본 연구에서 사운드 플랜을 사용하여 나온 저감량은 실무경험을 통해 볼 때 저감이 가능한 수치로 판단이 됩니다. 다만, 예측프로그램은 실제 설치 했을 때 와는 차이가 발생할 수 있으므로, 향후 본 개발 시스템을 현장에 설치할 기회가 생기면 설치전후에 1주일 이상 교통량과 소음도를 같이 조사하여 흡음채의저감 효과를 정량적으로 평가 하는 노력이 필요 할 것으로 판단됩니다. 측정 시점은 구조체의 다른 부분을 먼저 시공하고 소음측정을 일주일 진행한후, 최종 단계에서 흡음채를 설치하고 난 최종단계에서 설치하여 1주일 이상 교통량과 소음도를 조사하여 동일조건에서 비교하여 소음저감량을 평가하는 것이 필요할 것으로 판단합니다.

□ 본 연구에서 예측된 소음저감에 대한 예측방법은 전체적으로 신뢰할 만한 방법으로 수행된 것으로 판단 됩니다.

참고자료 및 별첨	
전문가 서명	(소속/성명) ㈜삼우에이엔씨 대표이사 /소음진동기술사 조 만 희 (서명)

성과증빙 C-2-①, 붙임 27

시제품 제작보고서

(경량 차음터널 실물 실험체 시험시공)

□ 시제품 현황

- 시제품 규모 : 4차선급(폭 23.9m, 높이 7.9m)
- 강재 제원

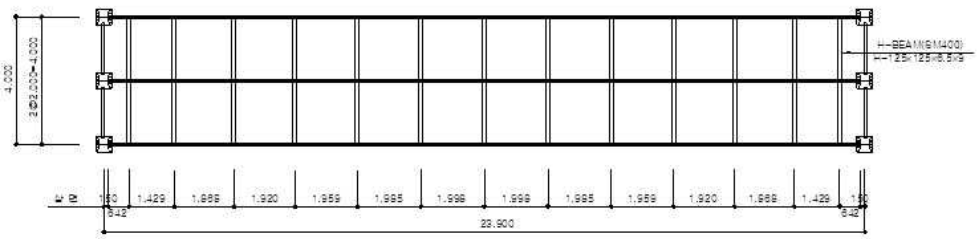
상·하현재	지 주	접형강판	비고
ϕ89.1×4t (STK490)	H250×250×9×14 (SS400)	4t (SM490)	

- 시제품 제작 및 설치 기간

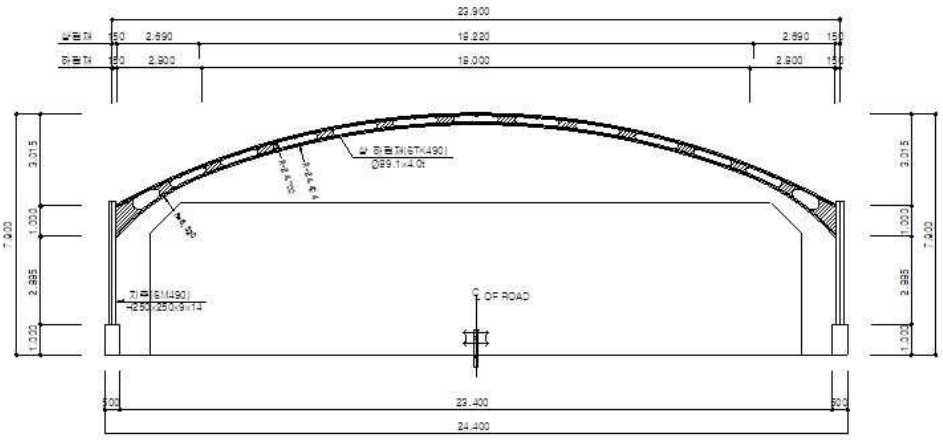
  2021년 3월 ~ 2021년 4월

- 시제품 설치 장소 : 동아이엔지(주) 이천공장

평 면 도



정 면 도



□ 시제품 제작 사진대지



시제품 제작(1)



시제품 제작(2)



시제품 제작(3)



시제품 제작(4)



시제품 제작(5)



시제품 제작(6)



시제품 현장반입(1)



시제품 현장반입(2)



시제품 지주 설치



시제품 단부 프레임 설치(1)



시제품 단부 프레임 설치(2)



시제품 단부 프레임 설치(3)



중간 프레임 조립



중간 프레임 인양



중간 프레임 연결



중간 프레임 1열 설치



중간 프레임 2열 설치



중간 프레임 3열 설치



시제품 설치 완료(1)



시제품 설치 완료(2)

성과증빙 C-2-①, 붙임 28

Korea Laboratory Accreditation Scheme

KOLAS 공인시험기관 인정서

(주)토탈이엔씨

인 정 번 호 : KT742

법인등록번호 : 131411-0207350
(또는 고유번호)

사업장소재지 : (소재지)경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교 초대형구조실험동

최초인정일자 : 2017년 04월 03일

인정유효기간 : 2021년 06월 24일 ~ 2025년 06월 23일

인정분야 및 범위 : 별첨

발 행 일 : 2021년 06월 24일

상기 기관을 국가표준기본법 제23조, 적합성평가 관리 등에 관한 법률 제8조 및 KS Q ISO/IEC 17025:2017에 의거하여 KOLAS 공인시험기관으로 인정합니다. 또한 ISO-ILAC-IAF 공동성명에 언급된 바와 같이 인정된 분야 및 범위에 대한 기술적 능력과 시험기관의 품질경영 시스템이 적절함을 인정합니다.

원본대조필

한국인정기구장
(Korea Laboratory Accreditation Scheme)

Korea Laboratory Accreditation Scheme

제 KT742호

01. 역학시험

01.001 금속 및 관련제품

규격번호	규격명	시험범위	사업장	현장시험
KS B 0802:2003	금속 재료 인장 시험 방법 7 인장 강도, 연신율	시험하중: Max. 270 kN	소재지	N

끝.

원본대조필

시 험 성 적 서

우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서번호 :
TOTAL-21-326
페이지 (1)/(총 3)

(주)토탈이엔씨
Experiment & Consulting

1. 의 뢰 자
- □ 기관명 : 고려대학교
- □ 주 소 : 서울특별시 성북구 안암로 145 고려대학교 신공학관 307호(02841)
- □ 연락처 : 010-6267-3297 / e-mail : manta209@korea.ac.kr
- □ 시험장소 : 경기도 용인시 기흥구 마북로240번길 17-6 현대건설

2. 시험대상품목 / 물질 / 시료 설명 : 4차선급 신형식 차음터널 실물 시험체
3. 시험기간 : 2021 년 08 월 20 일 - 08 월 20 일
4. 시험방법 : 의뢰자 제시조건
5. 시험장소 : □ 고정시험실 □ 현장시험
6. 시험결과 :

시험체 명	최대 하중(kN)	최대하중 시 변위(mm)
차음터널	136.61	111.78

○ 시험항목, 단위, 결과, 측정불확도(신뢰순준 %, k=)[필요 시 포함사항] 등
- □ 이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
- □ 본 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

확 인	작성자 성 명 : 이 총 규 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명: 김 상 학 (서명)

2021 년 10 월 05 일

(주)토탈이엔씨 대표이사 (인)

시 험 결 과

우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서 번호 :
TOTAL-21-326

(주)토탈이엔씨
Experiment & Consulting

● 세팅상황





TOTAL E&C

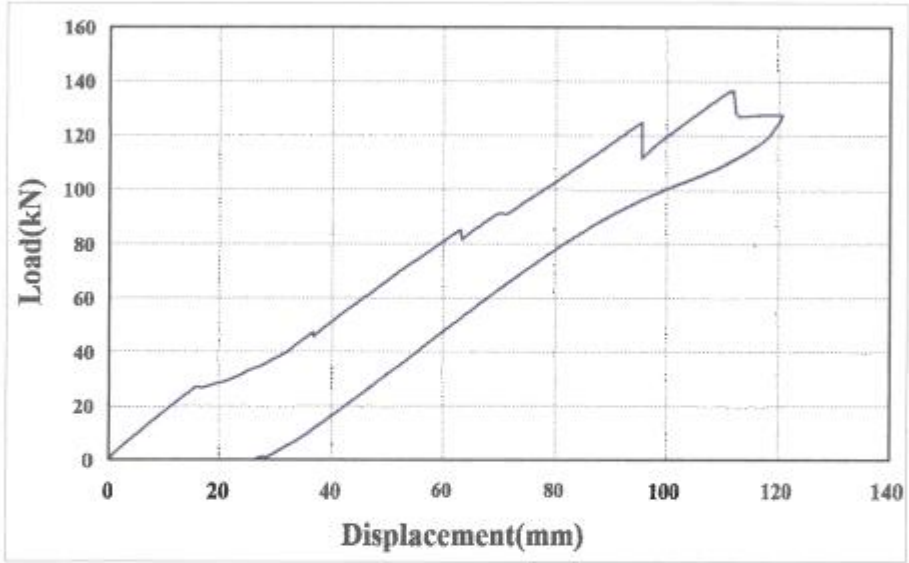
시 험 결 과

우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서 번호 :
TOTAL-21-326
페이지(3)/(총 3)

(주)토탈이엔씨
Experiment & Consulting

● 하중변위 그래프

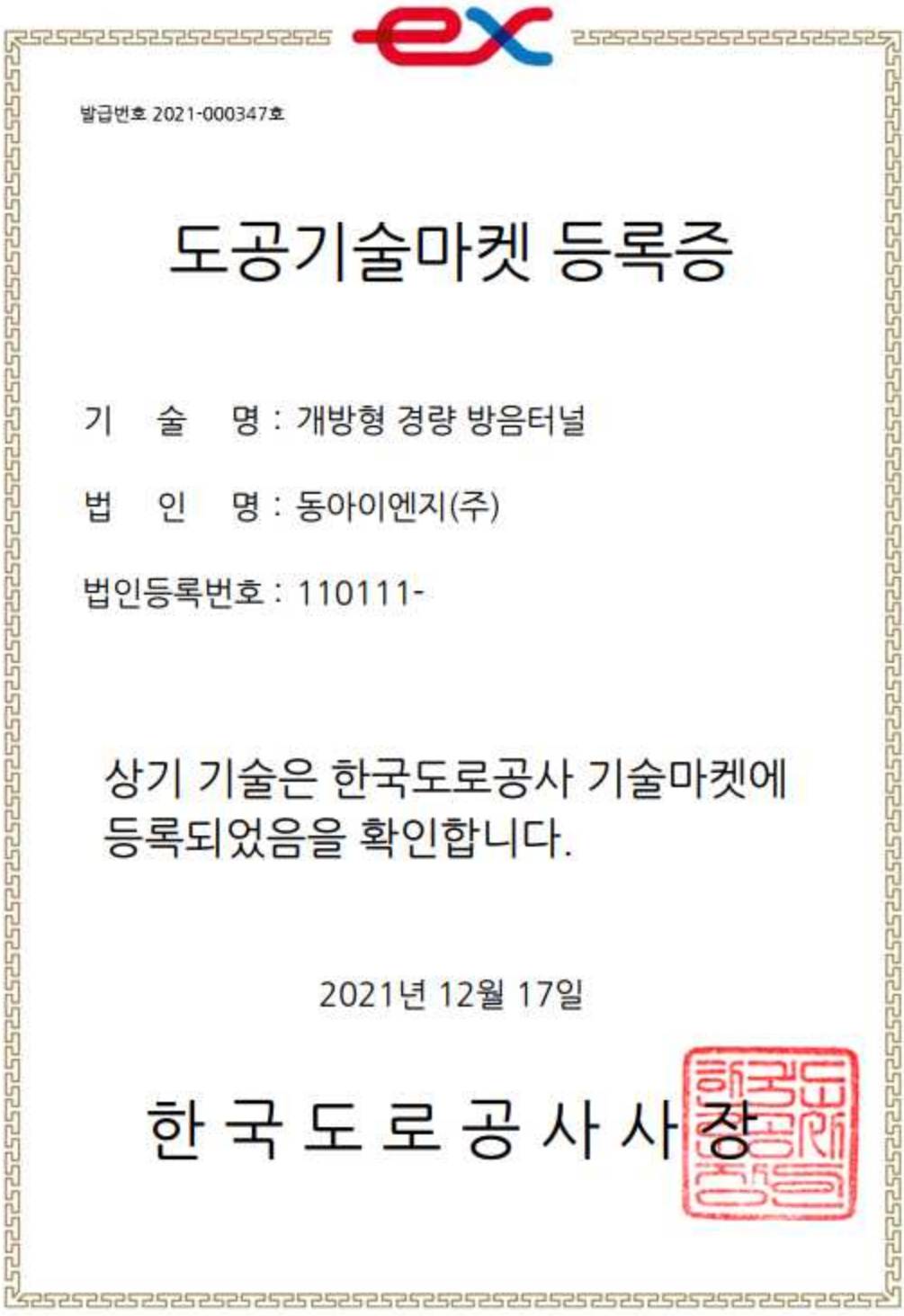


● 시험 시스템

시 험 장 비	모 델 명 (장비번호)	제 조 사	기타 (관련 소프트웨어)
250 kN ACTUATOR	0265861	미국 / MTS	MTS_FlexTest 60

TOTAL ENG

성과증빙 D-1-①, 붙임 29



발급번호 2021-000347호

도공기술마켓 등록증

기 술 명 : 개방형 경량 방음터널

법 인 명 : 동아이엔지(주)

법인등록번호 : 110111-

상기 기술은 한국도로공사 기술마켓에
등록되었음을 확인합니다.

2021년 12월 17일

한 국 도 로 공 사 사 장

성과증빙 D-1-①, 붙임 30

건설공사 표준도급계약서

1. 공 사 명 : 별내지구 방음터널형 소음저감시설 설치공사
2. 착공년월일 : 2021년 11월 22일(*설계적정성검토 등 착공전 인허가 완료 후 착공하기로 함)
3. 준공예정년월일 : 2022년 8월 30일
4. 계약금액 : 3,795,000,000원(VAT 포함)
5. 계약보증금 : 계약금액의 10%
6. 선 금 : 계약금액의 20%내(단, "을"이 착공계를 "갑"에게 제출한 후)
7. 기성부분금 : 매 1개월마다 현금지급
8. 하자담보책임 : 관계법령에 따름 (계약금액의 3%)
9. 지체상금율 : 1/1000
10. 대가지급 지연 이자율 : 지체상금율과 동일

도급인, 수급인과 위탁자는 합의에 따라 붙임의 계약문서에 의하여 계약을 체결하고, 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 확약하며, 이 계약의 증거로서 계약문서를 3통 작성하여 각 1통씩 보관한다.

붙임서류 : 1. 민간건설공사 도급계약 일반조건 1부.
2. 도급계약내역서 각 1부.

2021년 11월 22일

도급인(갑)
주 소 : 경기도 남양주시 별내중앙로10 별내 아이파크
회사명 : 별내 입주자 대표회
대표자 : 유 상 엽 회장 (인)

수급인(을)
주 소 : 경기도 성남시 수정구 위례서일로 26, 11층 위례라크리움 1103호
회사명 : 동아이엔지(주)
대표자 : 강 덕 만 (인)

2019년도 보고서

4차선급 신형식 차음터널 개발
<설계 절차서>

고려대학교

목 차

제 1 장 차음터널 설계 관련 기준 정립 ····· 1
1.1 국내 기준 ····· 1
1.2 국외 기준 ····· 2
제 2 장 설계절차 ····· 3
2.1 차음터널 설치 계획 ····· 3
2.2 차음터널 설계흐름 ····· 3
제 3 장 하중 결정 ····· 4
3.1 하중 분류 ····· 4
3.2 고정하중 ····· 6
3.3 활하중 ····· 6
3.4 적설하중 ····· 6
3.5 풍하중 ····· 7
3.5.1 측면 풍하중 ····· 8
3.5.2 지붕풍하중 ····· 8
3.6 지진하중 ····· 10
3.7 온도하중 ····· 10
제 4 장 설계조건 ····· 11
4.1 설계법 ····· 11
4.1.1 허용응력 설계법 ····· 11
4.1.2 허용응력 ····· 11
4.2 사용성 설계(처짐) ····· 19
4.3 사용성 설계(진동) ····· 20
제 5 장 차음터널 대단면 결정 ····· 21
5.1 단면 설계 ····· 21
5.1.1 차음터널 시설한계 ····· 22
5.1.2 도로폭원 ····· 23
5.2 지주간격 ····· 24
제 6 장 구조 해석을 통한 부재력 집계 ····· 26

6.1 구조해석 개요 ····· 26
6.2 하중조건 선정 ····· 26
6.3 해석모델 ····· 26
6.3.1 부재력 산출모델 ····· 26
6.4 해석기준 선정 ····· 27
6.5 결과검토 ····· 28
제 7 장 단면설계 ····· 28
7.1 상부구조물 부재 설계 ····· 28
7.1.1 지붕골조 부재단면 선택 ····· 28
7.1.2 수직부재 선택 ····· 29
7.2 처짐 검토 ····· 29
별첨 A ····· 30
별첨 B ····· 32

제 1 장 차음터널 설계 관련 기준 정립

1.1 국내 기준

차음터널 설계는 현재 명확한 구조설계 기준이 마련되어 있지 않다. 차음터널은 국내법상으로 주거시설이 아닌 공작물로 구분되며, 때에 따라 도로환경시설, 도로교 부대시설 등으로 설치 위치에 따라 구분이 달라지는 등, 차음터널 고유의 기준이 모호한 위치에 있다. 따라서 도로설계편람이나, 건설기준코드의 건축구조기준, 도로교설계기준 등에서 제시하는 값들을 참조하여 설계를 수행한다.

본 문건에서 차용한 설계 기준을 다음 표와 같이 정리하였다.

표 1.1 국내 설계 관련 기준

구 분		참고자료	참고내용
설계법	설계흐름	도로설계편람(2009)	1004 방음시설 3.2 설계 흐름도
	설계고려사항	도로설계편람(2009)	3.3
	허용응력설계법	KDS 41 10 15	1.5.2 허용응력설계법
재료	방음재료 선정		2.2.1 방음터널 -투명 방음판
	방음터널 강재	KCS 44 80 05	2.2.1 방음터널 -방음터널용 강재
	방음판 치수	고속도로 건설재료 품질기준(2016)	부대공 1. 방음시설 -방음판치수
	방음판 내하중등급	KDS 44 80 05	표 1004. 10 방음재 내하중등급
하중	풍하중	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	5장 풍하중
	적설하중	KDS 14 00 00 건축구조기준: 설계하중	6장 설하중
	지붕 집중활하중	KDS 41 00 00	3.3 건축물 활하중
	온도하중	KDS 41 10 15	8. 온도하중
	지진하중	KDS 41 17 00	지진하중
	설계하중	도로설계편람(2009)	3.1.1 방음시설 설계하중
	지붕활하중	KDS 41 10 15	3.x.x 지붕활하중
사용성검토	사용성 설계	KDS 14 00 00 강구조 사용성 설계기준	4.4.1 처짐
	처짐기준	도로교설계기준	
	진동	KDS 14 00 00 강구조 사용성 설계기준	4.4.2 진동
	수평변위	KDS 14 00 00 강구조 사용성 설계기준	4.4.3 수평변위
시공성	시공 제출물	LH 전문시방서	방음터널 설계 제출물
	지주간격	KCS 44 80 05	3.2 방음터널 시공

1.2 국외 기준

국내 상황과 마찬가지로, 국외에서도 차음터널 고유의 설계기준은 미흡한 수준이다. 대부분의 기준은 차음터널의 골조설계에 관한 부분보다 비구조적 성능(차음성능)에 치중되어있다. 국내 기준에서 미흡한 기준을 국외 기준에서 보충하고자 하였으며 그 내용을 다음 표와 같이 정리하였다.

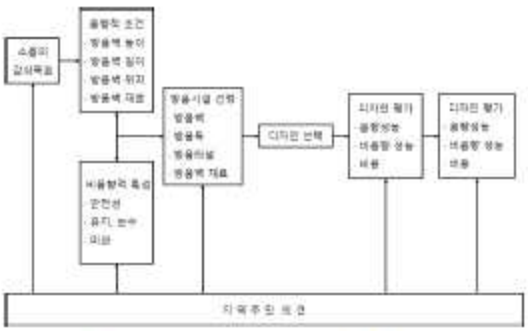
표 1.2 국외 설계관련 기준

구 분		참고자료	참고내용
처짐	지붕 처짐	ICC International building code	1604. 3. 1 Deflection limits -> for roof
	방음터널 구조요소	Eurocode en1794-1	A.3 Performance of structural elements
	유로코드	Eurocode EN1992	1992-3 Steel Structures

제 2 장 설계절차

2.1 차음터널 설치 계획

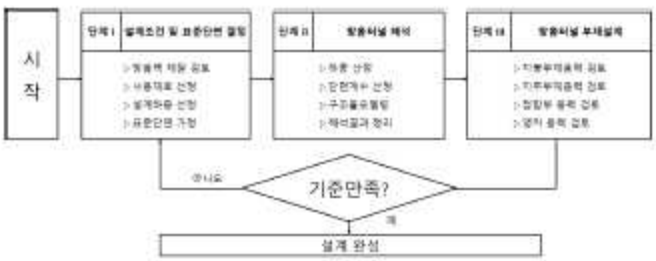
방음시설물 설치 계획 및 관리는 기본적으로 환경부에서 기준을 설립하고 관리한다. 환경정책기본법상으로 소음 수준이 지역·위치별 기준치 이상인 경우, 지역에 따라 설치 여부를 결정하고 예산과 지역주민의 의견을 종합하여 최종 설치 여부를 판단한다. 방음시설물은 정의된 기준에 의해 설치되지만, 기준치 이내도 추가적인 조사로 필요한 수준까지 소음감쇠 목표치를 설정하여 적용 할 수 있다. 또한, 주변 환경에 의해 방음벽 설치로 소음감쇠 목표를 달성하지 못할 것으로 예상하는 지역은 방음터널 형식을 채택할 수 있다. 방음터널의 설치 대상 선정을 위한 설계 과정 흐름도는 다음과 같다.



도 2.1 방음시설 설계 과정 흐름도

2.2 차음터널 설계흐름

차음터널의 설계과정은 크게 횡단면 가정, 지주간격 선정, 부재단면 선택, 응력검토 순서대로 4가지 단계를 거쳐 완성된다. 설치 계획에 의해 결정되는 도로 시설한계에 따라 방음성능과 미관을 고려하여 횡단면을 선정하고, 횡단면 주골조의 설계성능에 따라 지주간격을 선택한다. 이후 주골조에 적용되는 하중을 구조해석을 통해 산출하고, 하중에 의한 부재력을 계산한다. 이후, 부재력 발생위치를 고려하여 적절한 부재단면을 선택 후, 단면에 대한 허용응력 검토를 진행한다. 전 단면에 대해 모든 부재가 허용응력을 만족시킬 때 까지 위와 같은 과정을 반복한다. 차음터널 구조설계 흐름에 대한 흐름도는 다음과 같다.



도 2.2 방음터널 구조해석 및 설계흐름도

제 3 장 하중 결정

3.1 하중 분류

구조물에 적용되는 하중은, 방음터널에 대한 설계예시가 제시된 도로설계편람에 따라 대상을 선정하고, 산식 또는 검토대상 하중은 건축설계기준, 도로교설계기준에 의거하여 선정하였다. 본 차음터널 설계에서 고려해야 할 하중의 종류를 다음과 같이 정리하였다.

표 3.1 설계하중 종류

기호	구분	설명	비고
D	고정하중	구조물의 자체 무게 또는 수직하중	거더 자체중량, 지붕판 무게 등
L	활하중	점유・사용에 의하여 발생하는 최대의 하중	지붕하중, 지붕활하중, 강우하중 등
S	적설하중	적설이 예상되는 벽면 또는 기타 구조물의 표면에 대해서 적용되는 하중	일반적으로 풍하중보다 적설하중이 큰 경우 검토
W	풍하중	바람에 의해 발생되는 하중이 구조물의 표면 또는 내부면에 가해지는 하중	강풍에 의한 구조물의 탄성거동 시 적용하는 최소풍하중 산정 시 사용
E	지진하중	지진발생시 건축물에 가해지는 하중	건축물과 건축물 내 비구조 요소를 포함한 모든 요소의 지진하중
T	온도하중	구조체에 가해지는 온도하중	일교차에 발생하는 온도변화에 의해 가해지는 하중
	기타하중	기타 고려해야 할 하중	부등침하, 수평변위, 시공오차 등

설계하중의 산정은 건축설계기준 3장 하중편을 주축으로 해외 설계기준 참고하여 진행하였다. 통상적으로 사용하는 강재, 방음판 등의 단위중량을 선정하여 하중산출시 즉각적인 적용이 가능하도록 제안하였다. 설치지역, 위치, 주변환경에 크게 영향을 받는 풍하중의 경우, 본 차음터널의 대표단면이 아치형으로 고정된 점을 고려하여 아치형 지붕면에 가해지는 하중의 산식을 위주로 정리하였다.

표 3.2 하중 종류별 산정법

고정하중		
부재	단위하중	설계 하중 산정
강재	78.5kN/m^3	단위하중(78.5kN/m^3)×강재 단면적×부재 길이
방음판	0.3kN/m^2	단위하중(0.3kN/m^2)×방음판 폭×부재 길이

활하중		
하중 종류	기준하중	설계 하중 산정
지붕활하중	1.0kN/m^2	기준하중(1.0kN/m^2)×지주 간격(m)
지붕집중활하중	1.5kN	0.75m×0.75m 면적에 가력시 모든 가능한 경우 중 가장 위험한 경우에 대하여 검토

적설하중		
평지붕 적설하중 (S_f, kN/m^2)	단위 적설하중 (S_b, kN/m^2)	설계 하중 산정
기본지상적설하중을 바탕으로 산정	S_f× C_s(경사도계수)	S_s(단위적설하중, kN/m^2)×지주 간격(m)

풍하중				
측면 풍하중	서울 경기 지역에 설치한 경우 0.9kN/m^{2}로 가정한다. (한국도로공사,방음벽 기초 설계기준 개선 방안 연구, 2010)			
지붕 풍하중	설계풍속 (V_H, m/s)	설계속도압 (q_H, N/mm^2)	설계 풍압 (p_R, N.m^2)	지붕풍하중 (W_R, N)
	$V_0 K_{zr} K_{zt} I_w$	$\frac{1}{2}\rho V_H^2$	$q_H(G_{pe}C_{pe} - G_{pi}C_{pi})$	$p_R A_R$

온도하중			
온도변화량	기준 온도	최저기온	최고기온
±40°	20°C	−30°C	50°C

3.2 고정하중

차음터널의 고정 하중을 산정하기 위한 재료의 단위 하중은 다음 표X와 같다. 강재의 단위 하중은 건축구조설계기준을 따랐으며, 방음판의 경우 최대 두께를 125mm로 하였을 때 강화유리와 합성수지의 비중 값을 고려하여 산정하였다.

표 3.3 단위 부재의 고정하중 산정

부재	단위하중	설계 하중 산정
강재	78.5kN/m^3	단위하중(78.5kN/m^3)×강재 단면적×부재 길이
방음판	0.3kN/m^2	단위하중(0.3kN/m^2)×방음판 폭×부재 길이

3.3 활하중

활화중 산정을 위해서 점유하지 않는 지붕하중과 유지보수 시 작업자에 의한 지붕집중활화중을 고려하였으며, 적재하중은 고려대상에서 제외하였다. 지붕하중의 경우 기준하중을 기준으로 지주 간격을 고려하여 산정하며, 지붕집중활화중은 단위 면적에 가력 시 가장 위험한 경우에 대하여 검토한다.

표 3.4 단위 부재의 활하중 산정

하중 종류	기준하중	설계 하중 산정
지붕활하중	1.0kN/m^2	기준하중(1.0kN/m^2)×지주 간격(m)
지붕집중활하중	1.5kN	0.75m×0.75m 면적에 가력시 모든 가능한 경우 중 가장 위험한 경우에 대하여 검토

3.4 적설하중

국토해양부의 건축구조설계기준에 따르면, 평지붕의 적설하중은 다음 식 3.1을 통해 계산된다.

$$S_i = C_b \cdot C_e \cdot C_t \cdot I_s \cdot S_o \ (kN/m^2) \qquad (3.1)$$

여기서,

C_b: 기본지붕적설하중계수(일반적으로 0.7)

C_e: 노출계수

C_t: 온도계수

I: 중요도계수

S_i: 기본지상적설하중

평지붕의 적설하중 산정을 위한 노출계수, 온도계수, 중요도계수 및 지상 적설하중 값은 대상 지역, 주변 환경, 구조물 난방 상태, 건축물의 용도 및 규모에 따라 건축구조설계기준에서 제시한 값을 사용한다.

건축물의 경사를 고려한 경사 지붕 적설 하중은 경사도에 따라 적정 경사도 계수를 선정하여 평지붕의 적설하중을 바탕으로 식 3.2에 따라 산정한다.

$$S_s = C_s \cdot S_f \ (kN/m^2) \tag{3.2}$$

여기서

C_s: 경사도계수

S_f: 평지붕 적설하중

최종적으로 계산된 단위적설하중을 지주 길이와 조합하여 지붕골조에 작용하는 최종 단위 적설 하중이 계산된다.

표 3.5 단위 부재의 적설하중 산정

평지붕 적설하중 (S_f, kN/m^2)	단위 적설하중 (S_s, kN/m^2)	설계 하중 산정
기본지상적설하중을 바탕으로 산정	$S_f \times C_s$(경사도계수)	S_s(단위적설하중, kN/m^2)×지주 간격(m)

건축구조설계기준에 제시된 적설하중 산정을 위한 노출계수, 온도계수, 중요도계수, 기본지상적설하중 및 경사도계수는 별첨 A에 수록하였다.

3.5 풍하중

설계풍하중은 다음 그림 X와 같이 a) 측면 풍하중과 b) 지붕 풍하중으로 구분하여 계산된다.

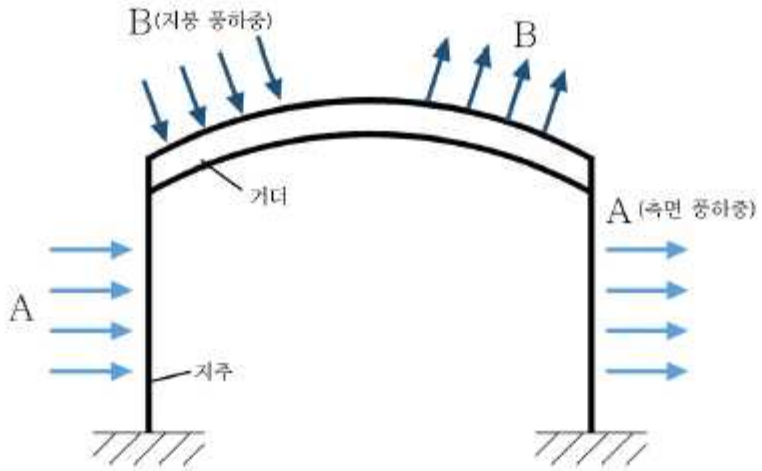


그림 3.1 방음터널 설계 풍하중 구분

3.5.1 측면 풍하중

측면 풍하중은 방음터널 설치 지역과 높이를 고려하여, 한국도로공사에서 제안한 방음벽 설계풍하중을 따른다(별첨 B). 본 방음터널의 경우 최대 토공 높이가 약 7.5m이며, 서울 경기 지역에 설치하는 것으로 가정하였을 때 측면 풍하중은 0.9kN/m^{2}으로 가정 할 수 있다.

3.5.2 지붕풍하중

방음터널 종단면의 지붕풍하중(W_D)은 건축구조설계기준에서 제시한 다음 식 3.3 따라 산정한다.

$$W_R = p_R A_R \tag{3.3}$$

여기서,

p_R: 지붕의 설계 풍압(N/m^2)

A_R: 지붕보가 부담하는 유효 수압면적(m^2)

설계 대상 건축물의 구조 특성상 밀폐형 혹은 부분 개방형 건축물이기 때문에 식 3.3에서 설계 풍압(p_R)은 다음 식 3.4를 통해 산정한다.

$$p_R = q_H (G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi}) \tag{3.4}$$

여기서,

q_H : 기준높이 H에 대한 설계속도압(N/m^2)

G_{pe} : 지붕의 외압가스트영향계수

G_{pi} : 내압가스트영향계수

C_{pe} : 외압계수

C_{pi} : 내압계수

여기서 설계속도압(q_H)는 다음 식 3.5를 통해 산정하며, 그 외 외압/내압가스트 영향계수 및 외압/내압 계수의 선정은 별첨 C를 통해 선정한다.

$$q_H = \frac{1}{2}\rho V_H^2 \tag{3.5}$$

여기서,

ρ : 공기밀도, 균일하게 1.22kg/m³로 한다.

V_H : 설계풍속(m/s)

설계 풍속은 다음 식 3.6으로 산정한다.ㅅ

$$V_H = V_0 K_{1r} K_{1t} I_w \tag{3.6}$$

여기서,

V_0 : 기본풍속(m/s)

K_{1r} : 풍속고도분포계수로 기준높이 H에서의 값

K_{1t} : 지형계수

I_w : 건축물의 중요도계수

설계 풍속 산정을 위한 기본 풍속, 풍속고도분포계수, 지형계수 및 건축물의 중요도계수는 방음터널의 설치 지역, 설치 높이, 용도 및 규모 등을 바탕으로 별첨 C를 통해 그 값을 선정한다.

표 3.6 단위 부재의 풍하중 산정

풍하중 분류	산정 방법			
측면 풍하중	서울 경기 지역에 설치할 경우 0.9kN/m²로 가정한다. (한국도로공사,방음벽 기초 설계기준 개선 방안 연구, 2010)			
지붕 풍하중	설계풍속 (V_H, m/s)	설계속도압 (q_H, N/mm²)	설계 풍압 (p_F, N·m²)	지붕풍하중 (W_R, N)
	$V_0 K_{1r} K_{1t} I_w$	$\frac{1}{2}\rho V_H^2$	$q_H(G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi})$	$p_R A_R$

3.6 지진하중

건축물과 건물외구조물의 구조체와 부구조체 및 건축·기계·전기 비구조요소의 지진하중 산정 및 내진설계절차는 KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준을 따른다. 단, 본 설계절차에서는 지진하중을 다루지 않는다.

3.7 온도하중

온도하중을 고려하기 위하여 도로교설계기준에서 제시된 강재의 선팽창계수를 활용하였다. 강교에 대한 하중을 사용한다. 설계 시 온도변화의 범위는 다음 값을 표준으로 한다.

1) 설계 시 온도변화량

강교에서 온도변화의 승강은 가설 시 온도를 기준으로 하여 계산한다. 온도변화의 범위는 −10 ℃에서 +50 ℃를 표준으로 하되 특히 추운 지방에서는 −30 ℃에서 +50 ℃까지로 한다. 타이드아치, 보강거더가 있는 아치, 라멘, 강바닥판 등에서는 태양의 직사부분과 그늘부분과의 온도차는 15 ℃로 한다. 그러나 특별히 조사 검토한 경우에는 온도변화의 범위를 실제의 상황에 따라 정할 수 있다.

(2) 설계 시 선팽창계수

강교에서 강재의 선팽창계수는 1.2×10^{-5}로 한다.

제 4 장 설계조건

4.1 설계법

방음터널의 지주 및 지붕 부재 설계, 연결부의 용접 및 볼트 설계는 [강구조 설계: 허용응력 설계법]을 따르기로 한다. 본 설계지침에서는 상부 구조물의 설계를 목표로 하므로 강구조 설계를 기준으로 한다.

4.1.1 허용응력 설계법

(1) 모든 구조 부재, 접합부, 연결재의 작용하중으로 인한 응력은 특별한 경우를 제외하고 KDS 14 30 10, KDS 14 30 20, KDS 14 30 25(4.1.2 허용응력)에 명시된 허용응력을 초과하지 않아야 한다.

(2) 강재의 허용응력은 상기 (1)에서 제시하고 있는 값을 사용하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 구조물을 특수한 지점에 건설하는 경우와 이 기준에 명시되지 않은 강재를 사용할 때에는 다음의 사항에 유의하여 허용응력을 정한다.

① 계산이론과 실제 구조가 보이는 거동의 차이
② 구조물 시공시와 완성 후의 외력조건의 변화
③ 피로 및 열화에 의한 재료의 경년 변화
④ 설계하중과 실제하중의 차이
⑤ 파괴 양상
⑥ 구조물의 중요도
⑦ 유지, 수선, 보수의 난이도
⑧ 예측할 수 없는 외력에 대한 안전도

4.1.2 허용응력

(1) 인장재

1) 허용인장응력

하중의 작용축이 단면의 도심축과 일치하며 중심축 인장력을 받는 균일 단면부재의 허용인장응력f_t은 다음과 같다.

표 4.1 허용인장응력

구분	허용인장응력
총단면적 검토	$F_t = 0.6F_y$
유효단면적 검토	$F_t = 0.5F_u$
단, $\frac{L}{r} \leq 300$	

여기서, F_t = 인장부재의 기본허용응력 (MPa)
F_y = 강재의 항복강도 (MPa)
F_u = 강재의 인장강도 (MPa)
L = 부재의 길이 (mm)
r = 단면의 회전반경 (mm)

(2) 압축재

1) 허용압축응력

하중의 작용축이 단면의 도심축과 일치하며 중심축 압축력을 받는 조밀 및 비조밀 균일단면부재의 허용압축응력F_c을 계산할 때에는, 좌굴길이(K=1.0)와 세장비($KL/r < 200$)가 고려되어야 하며, 허용압축응력은 다음과 같다.

표 4.2 허용압축응력

구분	허용압축응력
$KL/r \leq C_c$ 일 때	$F_c = \frac{[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}}$
$KL/r > C_c$ 일 때	$F_c = \frac{12\pi^2 E_s}{23(KL/r)^2}$

여기서, F_c : 허용압축응력 (MPa)
C_c : 한계세장비 ($= \sqrt{2\pi^2 E_s / F_y}$)
KL : 좌굴길이 (mm)
r : 단면 회전반경 (mm)
E_s : 강재의 탄성계수 (MPa)
F_y : 강재의 항복강도 (MPa)

(3) 휨재

1) 휨재의 단면산정

휨응력을 받는 압연형강, 용접부재, 플레이트거더, 덧판이 있는 보는 일반적으로 총단면적의 단면2차모멘트에 의해 단면을 산정해야 한다.

표 4.3 보의 단면 산정

조건	유효단면적
$0.5 F_u A_{fn} \geq 0.6 F_y A_{fg}$	A_g
$0.5 F_u A_{fn} < 0.6 F_y A_{fg}$	$A_{fe} = \frac{5}{6}\frac{F_u}{F_y} A_{fn}$

여기서,

A_g : 휨부재의 총단면적(mm^2)
A_{fn} : 인장 플랜지의 순단면적(mm^2)
A_{fg} : 플랜지의 총단면적(mm^2)

2) 허용휨응력

휨응력을 받는 H형강 단면 허용휨응력의 경우, H 형강의 단면상태에 따라 허용휨응력이 결정된다. 단면 형태는 조밀단면, 비조밀단면에 따라 허용휨응력F_b 산식이 달라진다. 휨을 받는 부재의 허용휨응력 F_b는 다음과 같이 산정한다.

표 4.4 허용휨응력

구분		조건		허용휨응력
강축휨	조밀단면	$L_b < L_c$	$L_c = \frac{200 b_f}{\sqrt{F_y}}$ or $L_c = \frac{138{,}000}{(d/A_f)F_y}$	$F_b = 0.66F_y$
	비조밀단면		압연형강	$F_b = F_y\left[0.79 - 0.00076\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)\sqrt{F_y}\right]$
			조립단면	$F_b = F_y\left[0.79 - 0.00076\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)\sqrt{\frac{F_y}{k_c}}\right]$ 1)
	모든단면	$L_b > L_c$		$F_b = 0.6F_y$
		H 형강	$\sqrt{702{,}000\frac{C_b}{F_y}} \le \frac{L_b}{r_T} < \sqrt{3{,}510{,}000\frac{C_b}{F_y}}$	$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y(L_b/r_T)^2}{10{,}530{,}000C_b}\right]F_y$
			$\frac{L_b}{r_T} \ge \sqrt{3{,}510{,}000\frac{C_b}{F_y}}$	$F_b = \frac{1{,}170{,}000C_b}{(L_b/r_T)^2}$
			모든 L_b/r_T에 대해	$F_b = \frac{83{,}000C_b}{L_b d/A_f}$
		이상 3 조건 중 가장 큰 값이면서 $0.6F_y$보다 작은 값		
약축휨	H형강	조밀단면		$F_b = 0.75F_y$
		플렌지 = 비조밀요소		$F_b = F_y\left[1.075 - 0.001\theta\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)\sqrt{F_y}\right] \le 0.$
		기타 비조밀단면		$F_b = 0.6F_y$

1) $h/t_w \le 70$ 인 경우, $k_c = 1.0$

$h/t_w > 70$ 인 경우, $k_c = \frac{4.05}{(h/t_w)^{0.93}}$

L_b : 보의 횡비지지길이 (mm)

r_T : 압축 플랜지와 압축 복부 부분의 1/3을 합한 단면의 복부축에 대한 단면2차반경 (mm)

A_f : 압축 플랜지의 면적 (mm^2)

$C_b = 1.75 - 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2)^2 \le 2.3$

$C_b = 1.0$, 횡지지가 안된 캔틸레버보 또는 횡지지 구간 내의 모멘트가 횡지지 단부모멘트보다 큰 보의 경우

M_1 : 보의 횡지지점 모멘트 중에서 작은 값 (N·mm)

M_2 : 보의 횡지지점 모멘트 중에서 큰 값 (N·mm)

(M_1/M_2)는 단곡률 휨의 경우 부(−), 복곡률 휨의 경우 정(+)로 한다.

(4) 전단력

1) 허용전단응력

형강의 복부가 전단력을 받는 경우 전단면적에 대한 허용전단응력 F_v는 다음과 같이 산정한다.

표 4.5 허용전단응력

구분	허용전단응력 산정
$h/t_w \leq 1{,}000/\sqrt{F_y}$ 인 경우	$F_v = 0.4F_y$
$h/t_w > 1{,}000/\sqrt{F_y}$ 인 경우	$F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \leq 0.4F_y$

여기서, $C_v \leq 0.8$ 이면 $C_v = \frac{310{,}000k_v}{F_y(h/t_w)^2}$

$C_v > 0.8$ 이면 $C_v = \frac{500}{h/t_w}\sqrt{\frac{k_v}{F_y}}$

$a/h \leq 1.0$이면 $k_v = 4 - \frac{5.34}{(a/h)^2}$

$a/h > 1.0$이면 $k_v = 5.34 - \frac{4}{(a/h)^2}$

a : 수직 보강재 간격

h : 플랜지 사이의 순 높이

(5) 조합력을 받는 부재

1) 축압축과 휨

축압축과 휨을 동시에 받는 부재는 다음 표의 식을 만족하여야 한다.

표 4.6 조합력을 제한조건

구분		조합력 제한
축압축과 휨		$\frac{f_c}{F_c}+\frac{C_{mz}f_{bz}}{\left(1-\frac{f_c}{F_{ez}}\right)F_{bz}}+\frac{C_{my}f_{by}}{\left(1-\frac{f_c}{F_{ey}}\right)F_{by}}\le 1.0$ $\frac{f_c}{0.60F_y}+\frac{f_{bz}}{F_{bz}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le 1.0$
	$f_c/F_c \le 0.15$ 인 경우	$\frac{f_c}{F_c}+\frac{f_{bz}}{F_{bz}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le 1.0$
축인장과 휨		$\frac{f_t}{F_t}+\frac{f_{bz}}{F_{bz}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le 1.0$

여기서, F_t : 허용인장응력 (MPa)

f_t : 축인장응력 (MPa)

f_b : 휨인장응력 (MPa)

여기서, F_c : 압축력만이 존재할 때의 허용압축응력 (MPa)

F_b : 휨모멘트만이 존재할 때의 허용휨응력 (MPa)

$F_e' = \frac{12\pi^2 E_c}{23(KL_b/r_b)^2}$: 안전율을 포함한 오일러 좌굴응력 (MPa)

L_b : 휨부재의 비지지길이 (mm)

r_b : L_b에 대응하는 단면2 차반경 (mm)

K : 좌굴길이계수

f_c : 축압축응력 (MPa)

f_b : 휨압축응력 (MPa)

C_m : 1) 휨면 내에서 절점의 이동이 구속되고, 그 지지점 사이에 수평하중을 받지 않는 골조 내에서 구속된 압축재의 경우 : $C_m = 0.6 - 0.4\,(M_1/M_2)$

여기서, M_1/M_2는 휨면 내에서 구속되지 않은 부재 양단부 모멘트 중 큰 단부모멘트에 대한 작은 단부모멘트의 비율이다. 그리고 M_1/M_2의 부호는 부재가 단곡률 휨인 경우 부(-), 복곡률 휨인 경우 정(+)이다.

2) 하중면 내에서 절점 이동이 구속되어 있고, 그 지지점 사이에 수평하중을 받는 골조 내의 압축재에 대해서 C_m의 값은 엄밀한 해석에 의하지 않는 경우 다음 값을 따른다.

단부회전이 구속된 부재의 경우 : $C_m = 0.85$

단부회전이 구속되지 않은 부재의 경우 : $C_m = 1.00$

(6) 강재의 허용응력

1) 사용재료

방음터널에 사용되는 강재는 [KCS 44 80 05: 2.2 방음터널 재료]에 의거, SS275(구 SS400)강재 또는 동일한 재료를 사용한다.

*SS400은 [KSD 3503:2016]에 의거하여 SS275으로 명칭이 변경되었다.

2) SS275의 강재 물성

SS275강재의 재료강도는 다음 표와 같다.

표 4.7 구조용 강재의 재료강도(MPa)

강도	재료항복강도F_y					극한강도F_u
판 두께	≤16mm	16mm< ≤40mm	40mm< ≤75mm	75mm< ≤100mm	100mm< ≤200mm	
SS275	275	265	245	245	235	410

*SS275 강종에 한해 용접 시공시험을 통해 용접성의 문제가 없음을 확인한 경우, 용접구조용 강재(SM 등)와 같이 용접강재로서 사용이 가능하다.

3) SS275의 물리상수

SS275강재의 물리상수는 다음 표의 값을 사용한다.

표 4.8 구조용 강재의 물리상수

종류	기호	단위	물리상수의 값
강과 주강의 탄성계수	E	MPa	210,000
PS강선, PS강봉의 탄성계수			205,000
PS강연선의 탄성계수			195,000
주철의 탄성계수			100,000
강의 전단탄성계수	G	MPa	81,000
강과 주강의 포아송비	ν	-	0.30
주철의 포아송비			0.25
강의 열팽창계수	α	1/℃	1.2×10^{-5}

(7) 세장압축요소

1) 압축요소의 폭두께비

압축요소의 폭두께비는 다음중 해당되는 식을 사용하며, 각각의 한계 폭두께비를 초과하지 아니한다.

표 4.9 압축요소의 폭두께비

조건	폭두께비	한계 폭두께비	
		λ_p	λ_r
- 압연 H형강과 ㄷ형강 휨부재[1]의 플랜지	b/t	$171/\sqrt{F_y}$	$250/\sqrt{F_y}$
- 용접 H형강 휨부재의 플랜지	b/t	$171/\sqrt{F_y}$	$250/\sqrt{F_{yr}/k_c}$[3]
- 단일 ㄱ형강의 다리, 서로 접하지 않는 쌍 ㄱ형강의 다리 또는 십자단면의 부재와 같이 한쪽 면으로만 단순지지된 비구속 요소	b/t	-	$200/\sqrt{F_y}$
- 연속적인 개구부가 있는 유공 덧판의 비지지 폭[2]	b/t	-	$330/\sqrt{F_y}$
- 등분포 압축을 받는 다른 모든 구속 요소	b/t h/t_w	-	$660/\sqrt{F_y}$
- 휨압축재에서의 복부[1]	d/t	$1{,}680/\sqrt{F_y}$	-
	h/t_w	-	$2{,}550/\sqrt{F_y}$
- 휨과 축압축을 함께 받는 부재의 복부	d/t_w	$f_a/F_y \le 0.16$ 인 경우 $\frac{1{,}680}{\sqrt{F_y}}\left[1-3.74\frac{f_a}{F_y}\right]$	-
		$f_a/F_y > 0.16$ 인 경우 $675/\sqrt{F_y}$	
	h/t_w	-	$2{,}550/\sqrt{F_y}$
- 원형강관 (압축재, 휨부재)	D/t	$23{,}000/F_y$	-

주 1) 하이브리드보의 경우, F_y 대신 플랜지의 항복강도 F_{yf}를 사용한다.
2) 가장 폭이 큰 구멍이 있는 위치에서 플레이트의 순단면적을 가정한다.
3) $h/t > 70$인 경우 $k_c = \frac{4.05}{(h/t)^{0.46}}$, $h/t \le 70$인 경우 $k_c = 1.0$

4.2 사용성 설계(처짐)

구조물 또는 부재의 처짐 검토는 다음 식에 의한다.

$$\delta \leq \delta_a \qquad 4.1$$

여기서,

δ : 구조물 또는 부재의 처짐

δ_a: 구조물 또는 부재의 처짐의 한계치

구조물의 처짐은 구조체 자중을 제외한 하중작용에 대해서 부재의 총단면적을 사용하여 계산한다. 처짐 한계치를 선택할 경우에는, 설계에 있어서 고려해야 할 처짐의 한계치를 관련 구조물의 설계기준에서 선택하고, 만약 정한 바가 없는 경우에는 합리적인 자료에 기초하여 판단하고 근거를 제시해야 한다. 여기서 방음터널에 적용하는 δ_a는 다음 표에서 제시하는 값 중 $L/180$ 또는 상황에 맞는 적절한 값을 선택하여 사용한다.

표 4.10 구조물 처짐량 한계

구분	권장 처짐한계 δ_a	비고
International Building Code	$L/480$	플라스터 실링(Plaster ceiling)을 부착한 지붕 구조
	$L/240$	활하중, 지붕하중, 설하중 또는 풍하중 단독 적용시
	$L/180$	골조 처짐과 단기 활하중 복합 적용시
도로교설계기준	$L/300$	차량하중 재하시 종방향 처짐한계
Eurocode 3	$L/250$	손상되기 쉬운 비구조 요소를 지지한 지붕 또는 바닥구조
건축설계기준	$L/480$	과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조 요소를지지 또는 부착한 지붕 또는 바닥구조
BS-EN 1794-1 Road traffic noise reducing devices - Non-acoustic performance	등급 d1	$\leq L/200$	발주자와 설계자간 원활한 소통을 위해 제시된 값으로, 방음판의 종류나 치수에 맞게 적절한 값을 선택함
	등급 d2	$\leq L/150$	
	등급 d3	$\leq L/100$	
	등급 d4	$\leq L/50$	
KCS 44 80 05 도로공사 전문시방서	$L/500$	방음판의 영구처짐량

*도로교 설계기준의 처짐한계는 차량하중이 가해지는 거더에 대한 권장값이나, 방음터널 구조설계 예시(도로설계편람 1004.3)에 의거하여 수록함

국내 방음터널과 같은 지붕구조물의 처짐 한계에 대한 명확한 기준이 확립되지 않았고, 구조

계산을 통한 적당한 처짐량을 제한하는 것이 통례이나, 대략적인 비교를 위해 타 구조물에 대한 기준을 참고하였다.

4.3 사용성 설계(진동)

(1) 부재의 진동에 대한 안전성 검토는 처짐 제한의 형식으로 검토하는 경우에는 식 을 준용하고, 그 이외의 경우에는 합리적인 방법을 취한다.

(2) 바닥구조는 바닥판, 바닥보, 천장, 칸막이벽의 상하진동으로 불쾌감이 유발되지 않도록 강성, 고유진동수, 감쇠효과 등을 고려하여 설계한다.

(3) 건축물의 구조는 바람하중 등에 의한 수평방향 가속도로 인하여 불안감이 유발되지 않도록 구조물의 형상, 강성, 질량, 진동모드 등을 고려하여 설계한다.

(4) 추후 연구를 통해 고유진동수 범위가 제한되는 경우, 높은 빈도로 해외 기준에서 적용되고 있는 Allen and Murray의 연구결과에 기반한 산정식을 사용한다.

$$f_0 = 0.18\sqrt{\frac{g}{\Delta_0}} \tag{4.1}$$

여기서

f_0 : 등분포하중을 받는 단순보의 고유진동수

g : 중력가속도

Δ_0 : 등분포 하중을 받는 단순보의 최대 정적변형량

제 5 장 차음터널 대단면 결정

5.1 단면 설계

방음시설물의 계획은 환경정책기본법에 의거하여 방음성능을 만족 할 수 있도록 방음형식과 방음판의 등급을 선택한 후, 이에 대응하는 종·횡단면을 결정한다. 횡단면 설계시에는 도로설계기준에서 정의하는 도로위 시설한계를 침범하지 않도록 한다. 도로의 용도에 따라 차로폭, 중앙분리대 폭, 길어깨 폭을 산정하여 도로폭원을 결정하고, 제한높이를 고려하여 다음과 같이 결정한다.

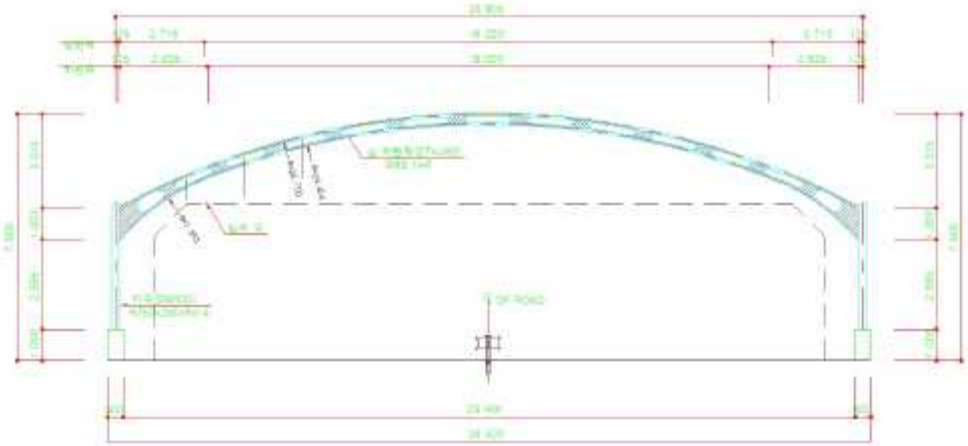


그림 5.1 차음터널 횡단면 가정(6차선도로, 도심지역)

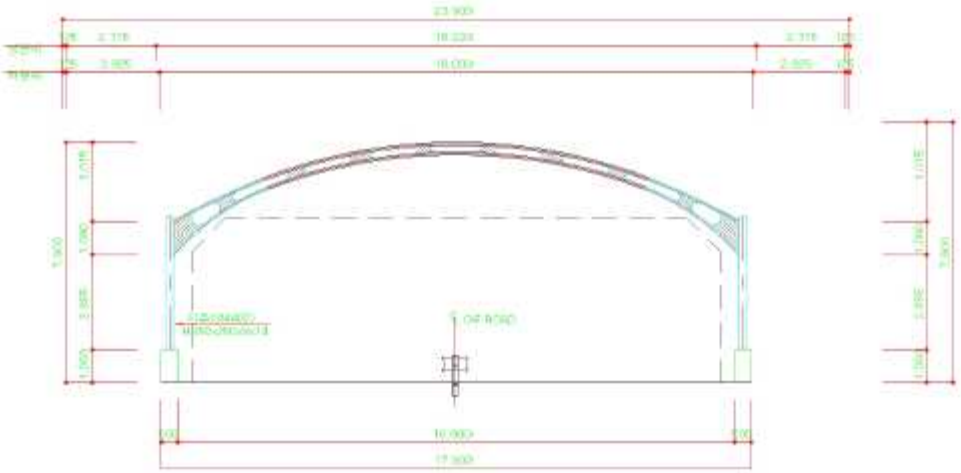


그림 5.2 차음터널 횡단면 가정(4차선도로, 도심지역)

지역, 차선갯수별 최소도로폭은 다음 표에서 선택하여 사용한다.

표 5.1 최소 횡 시설한계

구 분		지방지역(m)			도시지역(m)		
		왕복2차선	왕복4차선	왕복6차선	왕복2차선	왕복4차선	왕복6차선
고속도로		16.0	23.0	30.0	13.0	20.0	27.0
일반도로 (km/h)	80이상	12.5	19.5	26.5	10.5	17.0	23.5
	60~80	11.0	17.5	24.0	9.5	16.0	22.5
	60이하	9.5	15.5	21.5	8.5	14.5	20.5
시설한계 높이		4.5n					

5.1.1 차음터널 시설한계

도로설계기준에 의거하여 도로의 시설한계는 다음과 같이 정의되며, 터널은 시설한계를 침범하지 않도록 설계한다.

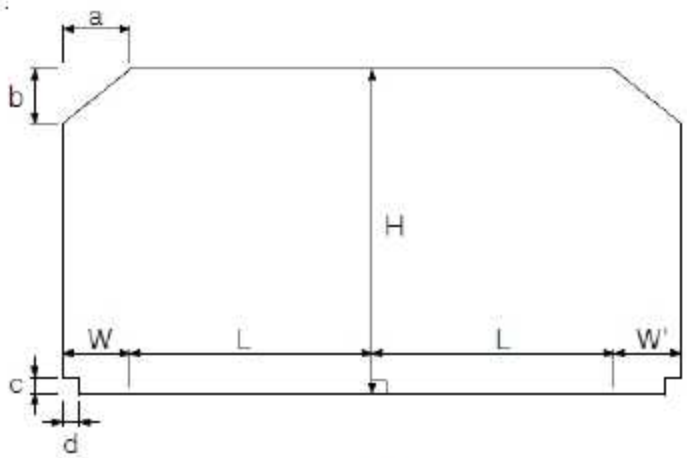


그림 5.3 시설한계 제원

여기서

L : 차로폭
H : 시설한계 높이(4.5~4.8m), 소형차 전용(3.0~3.3m)
W : 추월차로측 길어깨 폭 (0.5~1.0m)
W' : 주행차로측 길어깨 폭 (0.5~2.5m)
a : 차도에 접속하는 길어깨의 폭(단, a가 1.0m를 초과하는 경우에는 1.0m)
b : H에서 4.0m를 뺀 값(4.0m 미만인 경우에는 4.0m)
c, d : 0.25m 이하

차도의 시설한계 높이는 4.5m 이상으로하며, 상황에 따라 작은 값을 사용할 수 있다.

표 5.2 차도 시설한계 높이

조건	시설한계 높이
집산도로 또는 국지도로로써 지형 상황 등으로 인하여 부득이하다고 인정되는 경우	4.2m
소형차도로의 경우	3.0m
대형자동차의 교통량이 현저히 적고, 우회로가 마련되 있는 경우	3.0m

5.1.2 도로폭원

도로의 제원은 설치위치, 도시·지방 구분, 고속·저속 도로 구분, 설계제한속도 등에 따라 다음과 같이 도로 요소별 제원이 결정되며, 이를 모두 연결한 폭을 도로폭원이라 한다.

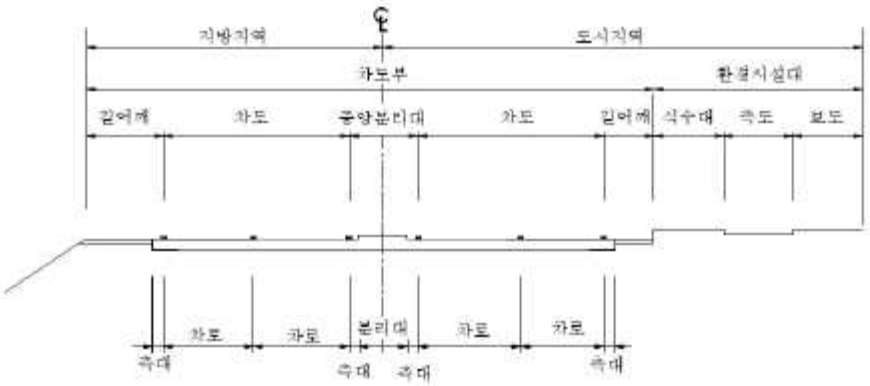


그림 7 도로 횡단 구성요소 예시

차도, 길어깨, 중앙분리대의 규격은 다음 표를 참조하여 적당한 값을 선택한다.

표 5.3 오른쪽 길어깨의 최소 폭

도로의 구분			차도 오른쪽 길어깨의 최소폭(m)		
			지방지역	도시지역	소형차도로
고속도로			3.00	2.00	2.00
일반도로	설계속도 (km/h)	80 이상	2.00	1.50	1.00
		60 이상 80미만	1.50	1.00	0.75
		60 미만	1.00	0.75	0.75

표 5.4 차로폭

도로의 구분	차로의 최소 폭(m)				
	지방지역			도시지역	소형차도로
고속도로	3.50			3.50	3.25
일반도로	설계속도 (km/h)	80 이상	3.50	3.25	3.25
		70 이상	3.25	3.25	3.00
		60 이상	3.25	3.00	3.00
		60 미만	3.00	3.00	3.00

표 5.5 중앙분리대의 폭

도로의 구분	중앙분리대의 최소폭(m)		
	지방지역	도시지역	소형차도로
고속도로	3.0	2.0	2.0
일반도로	1.5	1.0	1.0

방음시설물은 길어깨 외측에, 일반적으로 소음원과 최대한 가까운 부분에 설치하도록 한다. 즉, 방음터널의 최소폭원은 다음과 같이 표현될 수 있다.

차선수 x 차선폭(그림16) + 중앙분리대 최소폭 + 길어깨 x 2

4차선급 도로를 기준으로 도시지역의 고속도로 기준 도로의 최소 폭원의 예시는 다음과 같다.

4차선급 x 3.5m + 중앙분리대 2.0m + 길어깨 2.0m x 2 = 20m

5.2 지주간격

방음터널의 지주간격은 KCS 44 80 06:2016에 의거한 설치 및 검사방법을 인용한다.

표 5.6 방음터널 지주간격 (KCS 44 80 06 방음터널의 설치 및 검사)

구분	내용	비고
3.2.2 (2)	앵커볼트의 시공에 있어서 기초볼트(anchor bolt)는 구조설계에 따라 지주 한 군데마다 4개 또는 6개 설치한다.	지주 당 4개
3.2.2 (3)	기초볼트 설치간격은 중심점이 각각 2 m 간격으로 수직·수평을 맞추어 기존 철근에 용접하여 설치하되, 기초볼트가 구조물에서 노출되는 길이는 와셔·너트를 조이고 나서 10 mm 정도 여유 있게 높이를 정한다.	기초볼트 설치간격 2m ->지주최소간격

즉, 지주 간격은 2m단위로 최소 2m에서 요구되는 간격으로 설치한다.

제 6 장 구조 해석을 통한 부재력 집계

6.1 구조해석 개요

주골조부재의 부재력 집계시에는 상용 구조해석 프로그램인 MIDAS 또는 SAP2000등의 프레임 해석 프로그램을 사용하여 부위별 부재력을 산출한다. 이후 응력 검토를 위한 해석으로는 재료 비선형, 기하 비선형이 고려 가능하고, 4절점 쉘 요소와 적어도 8절점 솔리드 요소를 지원하는 상용 해석 프로그램을 이용한 유한요소 해석을 진행한다(ABAQUS, ANSYS).

6.2 하중조건 선정

구조해석 시 적용하는 하중조건은 국가건설기준센터에서 제공하는 시설물편 건설기준에 따라 결정한다. 해당 구조물의 허용응력 검토를 위한 하중조건이 명시되지 않은 경우 강구조 설계기준에서 제시하는 기본 하중조합을 적용할 수 있다. 단, 건축물의 구조계산 시에는 실제 상황에 따라 지하수압, 토압, 온도하중, 및 기타 하중 등의 영향을 고려하여야 한다. 본 설계지침에서 제시하는 하중조합은 다음과 같다.

표 6.1 방음터널 구조해석 하중케이스

구 분	사하중	활하중	설하중	풍하중	온도하중	지진하중	기타하중	비 고
LC I	●	●						
LC II	●	●	●					
LC III	●	●		●				
LC IV	●	●			●			
LC V	●	●				●		

현장에서 가설시 고려되는 하중의 경우, 필요한 부분에 대한 하중조건 및 계수를 산정하여 부분적으로 적용한다. 지진하중의 경우, 1차적인 설계 이후에 내진설계에 대한 규정을 따라 보강하고, 보강안에 대해 구조해석을 진행한다.

6.3 해석모델

6.3.1 부재력 산출모델

주골조설계 부재력 산출을 위한 구조해석 모델은 부재 설계 위치별 축력, 전단력, 모멘트를 계산하기 위해 작성한다. 여기서 주요 연결부, 용접부, 우각부 등의 구조 형식 변경부에 대해서는 설계자의 재량에 의해 강접합, 핀접합으로 가정하여 적용하며, 추후 상세한 부재단면 선택 또는 구조해석시 적절한 형식으로 전환하여 검토할 수 있다.

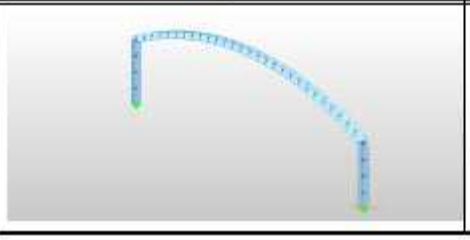
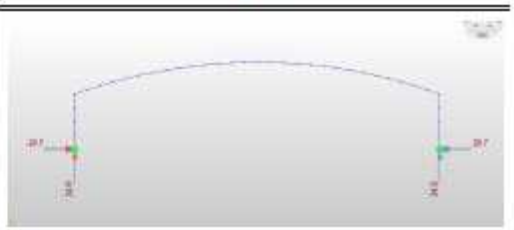
주골조설계 부재력 산출을 위한 구조해석 모델은 기초부와 기둥을 경계로 상부구조물을 2node 1d wire 요소로 작성한다. 경계조건으로 양측 지주 최하단을 고정단 조건으로 설정한

다. 자중의 경우 산출된 본연의 단위하중을 적용하며 해석오차와 부재단면 오차를 고려하여 10% 가중된 값을 입력한다. 설하중, 풍하중, 지붕활하중 적용시, 해당 지주간격에 알맞은 단위 선하중을 가력방향을 맞추어 적용한다. 온도하중의 적용시에는 본 문서 [3장 하중]과트에서 제시하는 열팽창계수와 기준온도 20℃ 적용한다. 가설시 온도가 기준온도와 확연히 차이나는 경우, 적절한 기준온도를 재계산하여 적용한다.

해석 모델은 실제 횡단면 치수에 최대한 부합하게 작성하며 해석 요소는 해당 부재의 중심점과 일치시킨다. 지붕골조와 지주간 연결부는 기본적으로 강접합으로 가정하며, 상황에 따라 핀접합으로 가정하여 교차검토한다. 지붕골조에 확연한 곡률이 적용 된 경우, 실제 치수와 동일하게 설계한다.

재료 모델의 경우, 특별한 이유가 없는 경우 등방성 재료모델을 사용하거나, 상용 구조해석 프로그램에서 제공하는 라이브러리 데이터를 사용할 수 있다.

표 6.2 부재력 산출 모델

구 분	전경	단면
부재력 산출 모델링		

응력검토를 위한 모델링의 경우, 특별한 경우를 제외한 나머지 요소에서 3절점, 4절점 쉘 요소 또는 솔리드 요소를 사용하도록 한다. 이음부의 경우 강접합을 기본으로 가정하여 검토 후, 필요한 경우 국부 모델을 작성하여 추가 검토를 진행한다.

6.4 해석기준 선정

단면설계를 위한 부재력 산출용 구조해석은 선형탄성이론을 바탕으로 수행한다. 즉, 재료비선형과 기하 비선형은 고려하지 않는다. 요소 크기는 도로교 설계기준에서 제시하는 도로교 해석 요소 크기제한을 따른다. 추가로 요소 크기에 따른 민감도 분석을 진행하여 합리적인 요소 크기를 선택한다.

표 6.3 도로교설계기준 요소크기제한

구분	mesh size	비고
2 nodes wire	$\frac{\sqrt{I}}{A}$ 이상, 곡률 중심각 6° 이하	부재의 실제 편심량=절점간격의 2.5%이내
3,4 nodes shell	두께 t 이상, 형상비 5 이하	유한요소의 변장비 5.0 이하
*도로교설계기준 2016, 4.6장 정적 해석		

부재력 산출을 위한 해석에서 도출된 부재력은 합리적인 구조역학적 이론을 바탕으로 검토한다. 가해진 하중과 계산된 반력이 일치하는지 확인하고 특정 부위에서 산출된 부재력이 과다하거나 과소하지 않은지 확인한다. 산출된 부재력이 합리적인 경우 단면설계를 진행한다. 산출된 부재력이 비합리적인 경우, 경계조건, 하중조건, 하중계수, 하중방향을 순차적으로 확인한다.

단면설계 이후 구조해석을 진행하는 경우, 부재의 응력은 Von-mises응력을 기초로 검토한다. 응력검토시 재료항복응력에 수치해석 오류계수, 재료요소 계수를 적용한 값과 비교검토를 진행한다. 상세 해석을 요구하는 부재에 대해서는 해당 설계기준에서 제시하는 값들을 추가로 적용하여 검토한다. 설계기준에서 요구하는 경우, 최대최소 주응력과 전단응력에 대해 추가로 검토를 진행할 수 있다.

6.5 결과검토

CASE별 부재력 산출 후에는 결과의 타당성을 확인한다. 적용한 하중의 합과 반력의 적합성과 대칭 하중 입력시 대칭적인 부재력이 산출되는지 검토한다. 응력검토를 위해 지점별 최대 부재력을 정리한 산출표를 작성하고, 해당 부위에 대해 단면설계를 진행한다.

제 7 장 단면설계

7.1 상부구조물 부재 설계

7.1.1 지붕골조 부재단면 선택

차음터널의 상부 지붕골조는 휨단면 가정에 의해 아치구조로 설계한다. 아치부재는 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 부재로 설계해야 한다. 휨모멘트가 작은 경우에는 축방향 압축력을 받는 부재로 설계할 수 있다. 아치 부분의 부재축선은 골조선과 일치시키는 것을 원칙으로 한다. 부재단면 응력검토시에는 해당 부재에 가해지는 축력, 전단력, 모멘트에 대해 각각 검토한 후, 축력과 모멘트의 복합작용에 대해 검토를 진행한다. 또한, 상현재와 하현재로 사용되는 파이프에 대하여 각각 강판 과굴과 폭두께비(4.1.2) 검토를 진행하고 복부판에 대한 과굴검토를 진행한다.

표 7.1 부재응력 산출

구분	산식	비고
압축, 인장응력	$\sigma_{c,t} = \frac{F}{A}$	총단면, 순단면 모두 검토
전단응력	$\tau = \frac{V}{A}$	-
휨응력	$\sigma_b = \frac{M}{I_x} y$	I: 강축에 대한 파이프의 단면2차모멘트 y: 파이프간 중심거리
압축 휨 응력	$\sigma_{x,b} = \begin{vmatrix} \sigma_c + \lvert\sigma_b\rvert \\ \sigma_c - \lvert\sigma_b\rvert \end{vmatrix}$	상·하현 파이프에 대해 각각 검토

상현재와 하현재 단면 선택시에는, 구간별로 표 7.1에 의해 압축 휨 응력을 계산하여 요구 단면적을 산출하고, 복부판 설치간격을 좌굴유효길이로 고려하여 좌굴강성을 만족하는 범위에서 단면을 선택한다.

복부판 압축응력 검토시에는 복부판의 중심선 간격에 대해 가해지는 하중을 산출 후, 허용응력을 만족하는 범위내서 수직방향 단면적을 선택한다. 좌굴검토시에는 하현재를 고정단으로 가정하여 압축 판부재의 허용응력을 고려하여 단면을 선택한다. 구조해석에 의해 계산되는 횡방향 전단력에 대해서 전단응력 검토를 진행하여 최종 단면을 선택한다.

복부판의 형상은 타 기준에서 제시하는 형상별 SCF(Stress Concentration Factor)를 공칭응력에 적용한 값을 허용응력과 비교하여 검토한다. 만약 적절한 기준이 없는 경우, 원형 절단 단면을 사용하고, SCF=3.0를 사용한다. 검토시 응력집중효과에 의한 예상응력 산출식은 다음과 같다.

$$\sigma_{up} = SCF \times \sigma_{nominal} \qquad 7.1$$

여기서,

σ_{up} : 복부판 최외단 응력

SCF : 응력집중계수

$\sigma_{nominal}$: 복부판에 가해지는 공칭응력

7.1.2 수직부재 선택

차음터널 구조물의 지주 선택시에는, 축력과 우각부 휨력을 고려하여 압축력을 받는 부재에 대한 허용응력과 압축 응력을 받는 부재의 허용응력을 모두 만족시키는 H형강을 선택한다.

7.2 처짐 검토

상기 부재단면 선택에 의해 결정된 최종 단면에 대한 처짐 검토시, 일차적으로 최소 휨단면에 대해 단순보의 처짐량 공식으로 계산한다. 계산된 처짐량이 경간/300을 초과하는 경우, 본 연구과제에서 작성한 [5가지 형식 비교검토 보고서]에서 제안하는 방식으로 실제 처짐량을 유한요소 해석을 통해 검토한다.

별첨 A. 적설 하중 산정을 위한 계수 (국토해양부, 건축구조설계기준, 2009)

- 기본지상 적설하중 (S_g)

지역	기본지상적설하중 (kN/m^2)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 이천	0.5
경읍, 울진	0.65
인천	0.8
속초	2.0
강릉	3.0
울릉도, 대관령	7.0

- 노출계수 (C_e)

주변환경	노출계수(C_e)
A. 지형, 높은 구조물, 나무 등 주변 환경에 의해 모든 면이 바람막이가 없이 노출된 지붕이 있는 거센 바람 부는 지역	0.8
B. 약간의 바람막이가 있는 거센 바람 부는 지역	0.9
C. 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.0
D. 바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.1
E. 바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲 지역으로서, 촘촘한 침엽수 사이에 위치한 지붕	1.2

- 온도계수 (C_t)

난방상태	온도계수 (C_t)
난방 구조물(적설하중 제어구조)	1.0
비난방 구조물 (적설하중 비제어구조, 방음터널)	0.2

- 중요도계수(I_e)

중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도계수(I_e)
특	· 연면적이 1,000m^2 이상인 위험물 저장 및 처리시설, 종합병원, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무시설 및 노약자시설 · 15층 이상 아파트 및 오피스텔	1.2
1	· 연면적이 5,000m^2 이상인 관람집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 · 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트 · 3층 이상의 학교	1.1
2	· 중요도(특), (1) 및 (3)에 해당하지 않는 건축물, 방음터널	1.0
3	· 가설 건축물, 농가 건축물 및 소규모 창고	0.8

기타 성과, 붙임 32

부재단위 실험 보고서

가. 신형식 차음터널 구조물용 거더의 성능 확인을 위한 부재 실험 설계 **(설계요건 검증을 위한 비교 실험 설계)**

1) 실험 목적

○ 본 실험 설계의 목표는 신형식 차음터널의 구조 부재로 활용하기 위해 개발하는 구조용 부재의 역학적 거동 특성을 확인하는데 있음

○ 차음터널의 구조부재들은 금속 재료를 기반으로하고 있으며, 금속 재료는 아래 그림 1.1과 같은 역학적 거동 특성을 가지는 것으로 알려져 있음

○ 응력-변형률 선도에서 확인할 수 있는 것과 같이 탄성 구간을 넘어가는 재료의 변형 구간에서 금속 재료는 소성 거동을 하는 특성을 보이며, 이는 해당 재료를 사용하는 구조물의 설계 및 유지 보수 단계에서의 어려움을 유발함

○ 특히, 목표하고자 하는 차음터널용 시설 구조물의 경우 명시되어 있는 관련 설계기준 또는 시방서가 미비하여 일반 강구조 설계 기준을 바탕으로 설계하고 있으며, 강구조 설계 일반사항 (국토교통부, 2019)에서 제시하는 바에 따라서 탄성 구간에서의 설계를 수행하도록 하는 허용응력설계법에 기초한 구조설계를 수행해야함

○ 다만, 개발하고자 하는 공동(空洞)형 거더의 경우 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법) 4.5.5 (국토교통부, 2019)에서 제시하는 복부 변단면부재의 적용조건을 일부 따를 수 있음

○ 따라서 위와 같은 내용을 바탕으로 개발하고자 하는 신형식 구조 부재의 설계 단계에서 예측하는 부재의 역학적 성능의 검토 및 확인이 가능한 실험 설계를 하여 전체 구조물의 안전성을 확보하는데 활용하고자 함

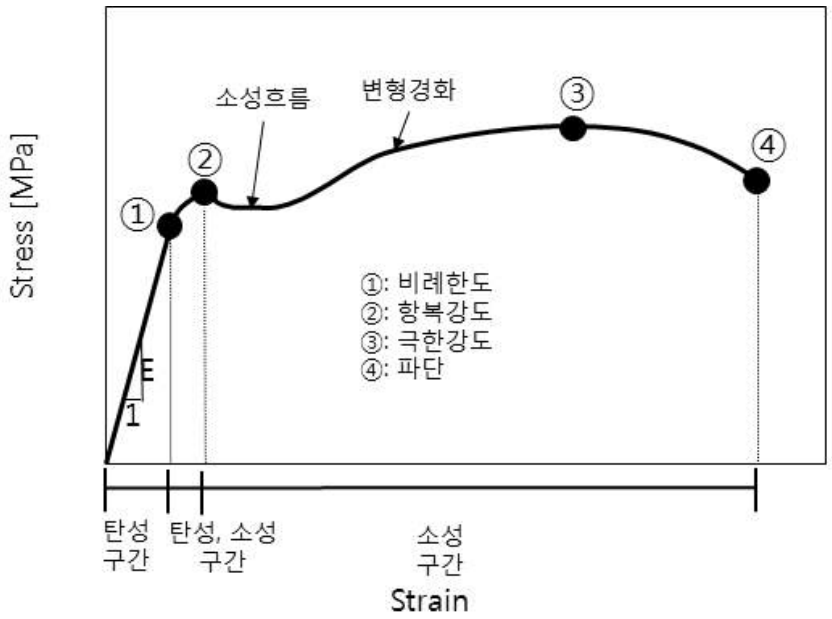


그림 1.1 금속 재료의 응력 변형률 곡선

2) 실험 대상

○ 본 실험의 대상은 기존 차음터널 거더부를 구성하는 H빔 및 트러스 구조와 함께 개발하고자 하는 신형식 차음터널의 요소 부재들로 한정함

○ 목표 개발 대상 구조용 부재는 나비형상의 거더용 부재 및 차음터널 우각부의 날개형 접합부로 두 부재 모두 전체 구조물의 휨모멘트에 저항하는 휨 부재로 정의할 수 있음

3) 실험 방법

○ 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법) 4.5.5에서 복부 변단면부재의 허용응력 설계 기준을 제시하고

있으나, 4.5.5.1의 적용조건에서 변단면 부재의 높이 변화가 직선적으로 변화하여야 한다는 규정을 제시하고 있어 해당 허용응력 기준을 목표 부재에 적용하기에는 부적합하다고 판단됨

○ 따라서, 휨 부재의 거동 특성 파악을 위해 표준화된 실험법을 사용하여 부재의 탄성 구간 거동 범위의 확인이 필수적이라고 사료 됨

○ 이에 휨 부재의 역학적 거동 특성 확인을 위해 널리 쓰이는 휨 부재 성능시험을 통해 목표 개발 부재의 역학적 거동 특성을 확인하고자 함

○ 휨 부재의 성능시험은 휨 부재의 하중에 대한 처짐량 및 응력 수준을 통한 강도 평가와 구조 부재에 가해지는 휨모멘트에 대한 저항 성능 평가를 목적으로 함

○ 휨 부재는 일반적으로 휨모멘트에 대하여 안정적으로 거동하도록 설계되어야 하며, 이는 탄성 구간 해석에서 주요한 변수로 작용할 수 있는 좌굴 등에 대한 안정성을 확보하기 위함임

○ 특히, 휨 부재에서 예측할 수 있는 대표적인 좌굴인 횡-비틀림좌굴(Lateral Torsional Buckling, LTB)의 경우 설계기준에서 제시하는 허용 강도식이 있으나, 대상 목표 연구 대상의 횡단면이 특수한 형태를 가지고 있기에 적합한 실험 방법을 통한 거동 평가가 필요한 실정임

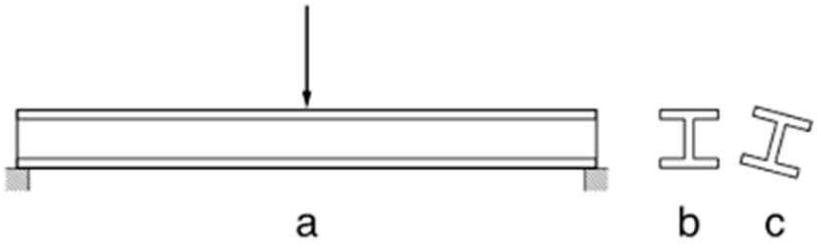


그림 1.2 휨 부재의 횡-비틀림 좌굴 모식도

○ 휨 부재 성능시험은 연구 대상에 따라 2 종류로 나뉘며, 공동형 단면을 가지는 거더의 경우 거더 혹은 빔 구조물의 성능 확인을 위한 3점 휨 시험이 적합하며, 우각부 날개형 접합부 부재는 캔틸레버 빔 구조물의 성능 확인을 위한 휨 시험이 적합한 것으로 판단됨

○ 3점 휨 시험은 널리 사용되는 표준 실험법인 ASTM D 790-03을 참고할 수 있으며, 캔틸레버 빔 휨 시험은 ASTM D 747을 참고할 수 있음

○ 실험에 사용하는 대상 시료는 축소 모형 혹은 실제 부재 크기의 시료 및 대조군 설정을 위한 기존 H형 빔 구조에 사용되는 부재를 각 3개씩 제작하여 수행하고자 함

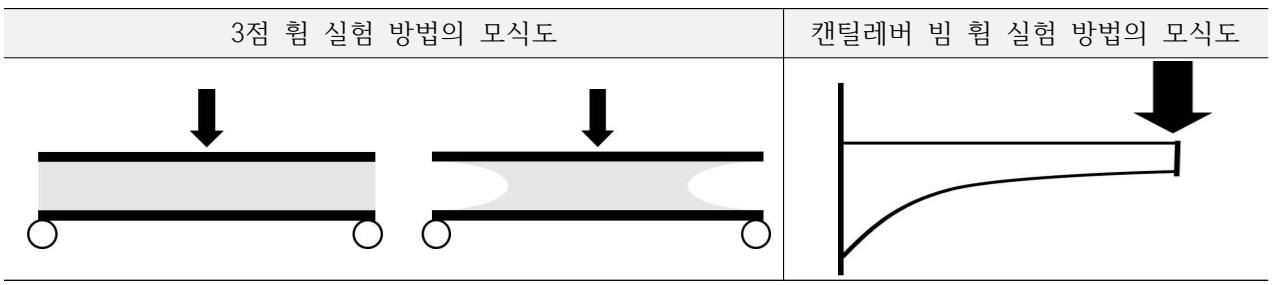


그림 1.3 3점 및 켄틸레버 빔 휨 실험 방법의 모식도

4) 시험 결과 활용 방안

○ 해당 실험의 실험 결과는 대상 부재의 거동 특성 파악 뿐 아니라 전체 과제 수행 단계에 있어 차후년도 개발 단계에서 활용될 수 있을 것으로 예상되며, 실험 설계 단계에서 예측할 수 있는 활용 방안들은 다음과 같음

○ 설계 기준 적합성 확인 및 기존 구조형식 대비 성능 개선의 정량화

- 본 실험 결과를 통해 휨 부재의 최대 처짐량 및 허용응력을 확인 할 수 있을 것으로 예상됨
- 이에 설계 기준에서 제시하는 변단면 부재의 허용응력 예측식과의 비교 검토가 가능함

- 본 연구 개발 사업의 목표로 제시한 기존 구조 형식에서 사용하는 부재 대비 중량-역학적 성능 개선 비율 혹은 비용-역학적 성능 개선 비율의 정량화가 가능할 것으로 예측됨

○ 전산해석과의 비교 검토

- 차년도 연구개발 목표 사항인 전산해석 수행 결과와의 비교 검토를 통해 실험의 적합성 검토 혹은 전체 구조물 해석 단계에서의 신뢰성 확보에 기여

○ 접합부의 개선 사항 제시

- 휨 부재의 거동 특성에 있어 연결 접합부가 적용된 휨 부재의 거동 양상은 다를 수 있을 것으로 예상되며, 이에 전산해석 결과와 더불어 접합부의 설계에서 개선 사항을 제시 할 수 있을 것으로 예상함

5) 시험체 설계 (사용 재료 및 치수)

○ 강관 플렌지 (SGT275)

- 기계적 성질

규격	시험편	인장강도	항복강도	연신률[%]	
				세로 방향	가로 방향
SGT275	KS D 3566	410N/mm^{2}이상	275N/mm^{2}이상	23 이상	18 이상

-화학 성분 [단위: %]

규격	C	SI	MN	P	S
SGT275	0.25 이하	–	–	0.040 이하	0.040 이하

○ 복부판 5/10t (SS275)

- 기계적 성질

규격	시험편	인장강도	항복강도	연신률[%]
SS275	KS D 3503	410N/mm^{2}이상	275N/mm^{2}이상	18 이상

-화학 성분 [단위: %]

규격	C	SI	MN	P	S
SS275	0.25 이하	0.45 이하	1.40 이하	0.050 이하	0.050 이하

○ 시험 Setting

- 목표하중: 200kN
- 목표변위: 100mm
- 재하속도: 5mm/min
- 사용 장비: 50ton 급 유압 잭

○ 시험체의 크기 및 형상

- 1차연도 설계절차서에 따라 허용응력설계법에 의거하여 설계된 차음터널 구조
- 3점 휨 실험에 의한 시험체의 구조 거동 검토를 위해 시험체는 3개의 복부판을 하나의 구조 요소로 간주하여 제작하였다. (그림 1.6)
- 4개 CASE 별 2 세트, 총 8회 시험
- 경간: 4m, (2m 단위부재 x2)
- 강관 플렌지 두께: 5.5mm
- 복부판 두께: 5/10mm

○ 시험체 구속 조건

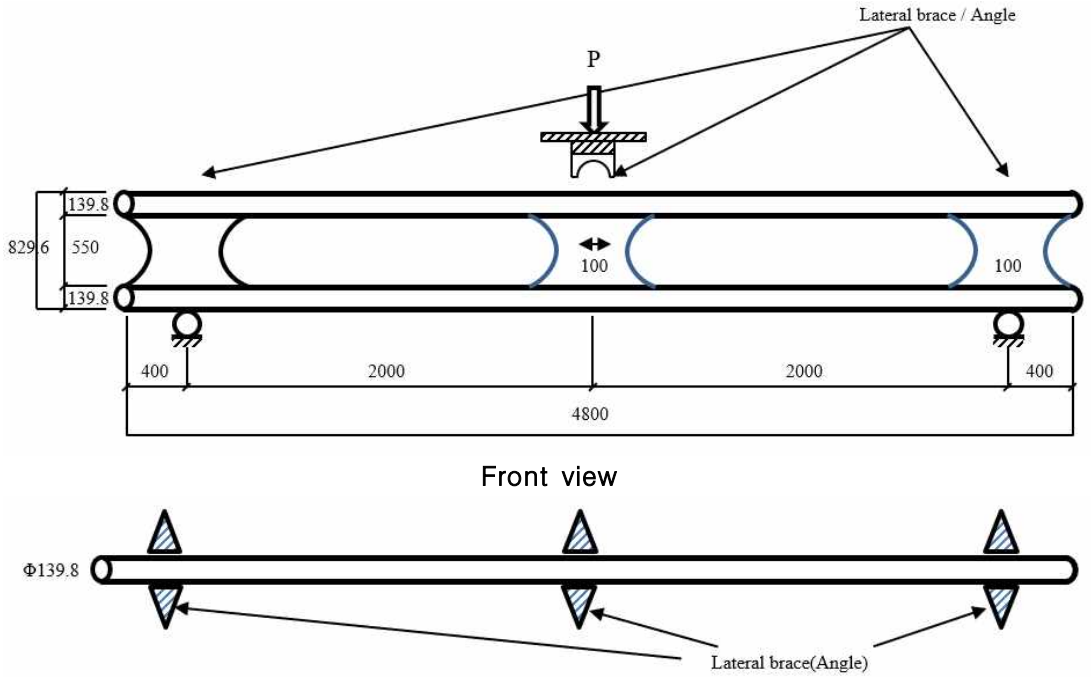
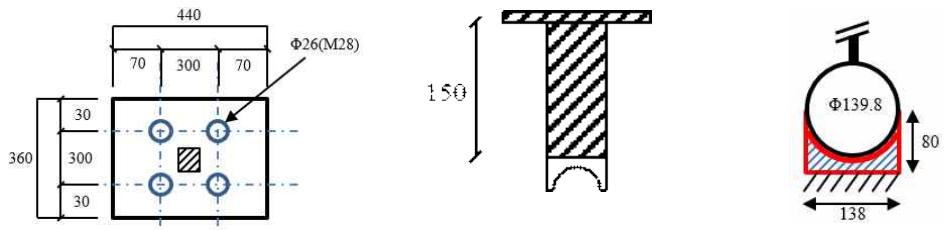


그림 1.4 거더 및 횡구속 브레이싱

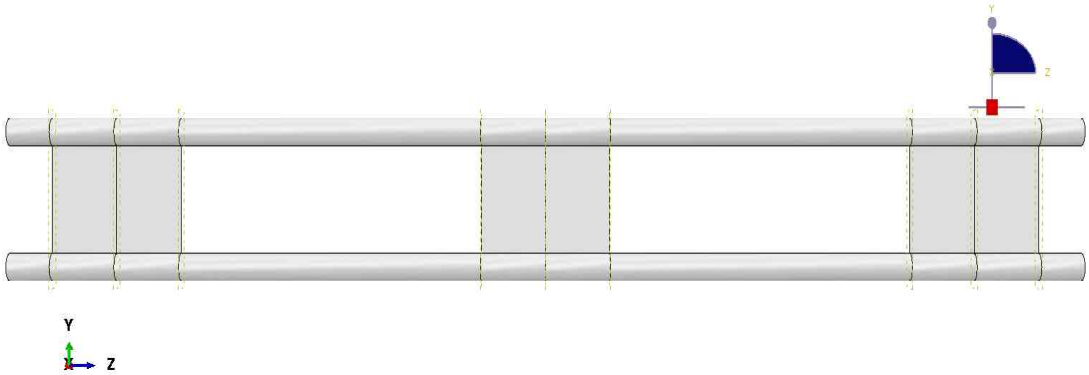


가력지그 상판 받침지그

그림 1.5 지그 상세 규격

○ CASE별 복부판 상세 규격

CASE Ⅰ: Rectangle Web



CASE Ⅱ~Ⅳ: Fillet Web

- Fillet size // Ⅱ: 100mm, Ⅲ: 200mm Ⅳ: 300mm

※Fillet size에 따른 중량 변화는 무시한다.

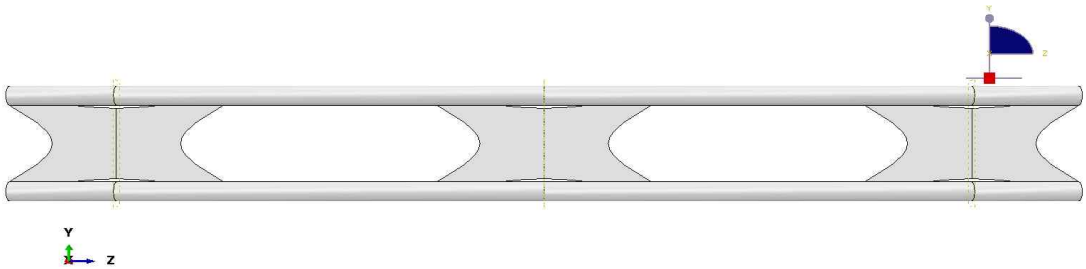


그림 1.6 시험체 상세 규격

○ 게이지 위치

계측기		개수
	변위계	4
	3축게이지	3
	1축게이지	17

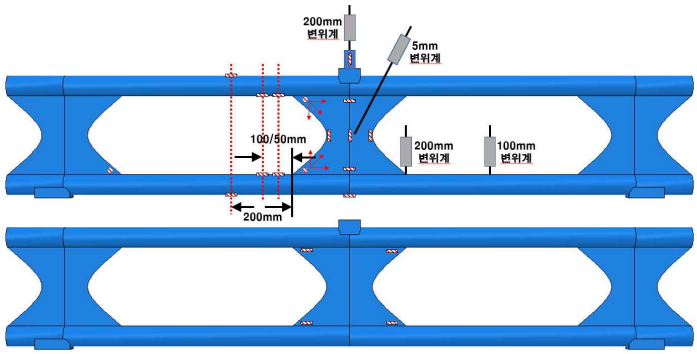


그림 1.7 게이지 설치 위치

나. 구조 상세 부재 전산해석

1) 전산해석

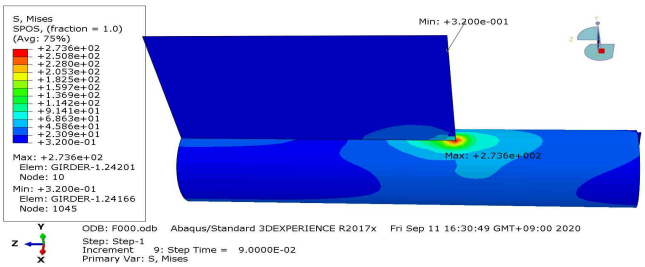
○ 부재 단위 성능 실험 수행에 앞서 개발하는 구조용 부재의 역학적 거동을 확인하고 실험체 모델의 타당성 검토 및 경계조건 적용을 위한 전산해석실시

○ 응력집중 여부를 확인하기 위해 Filet이 없을 때와 동일한 Filet 치수에서 Filet 곡률의 변화를 주어 전산해석을 실행한 결과 복부판과 플랜지 강관 사이 도입부에서 응력집중 현상을 확인하였고, Filet 곡률에 따른 감소량은 미소함을 확인

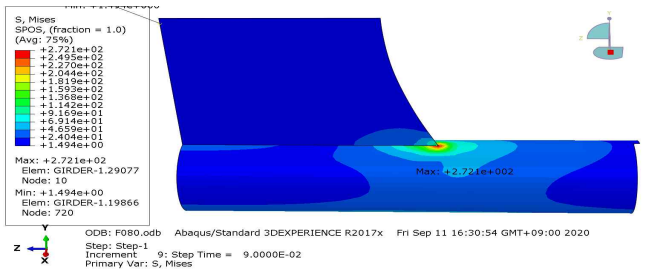
○ 복부판과 강관 플랜지 도입부에서 강관의 강성 증대 방안을 검토하고, Filet 치수의 변화를 주어 전산해석실시

○ 단위 부재 해석 결과 Filet 치수가 큰 모델의 플랜지 강관 도입부(응력 집중부) 응력이 완화되어 그림 1.1과 같이 항복 하중이 증가하는 것을 확인

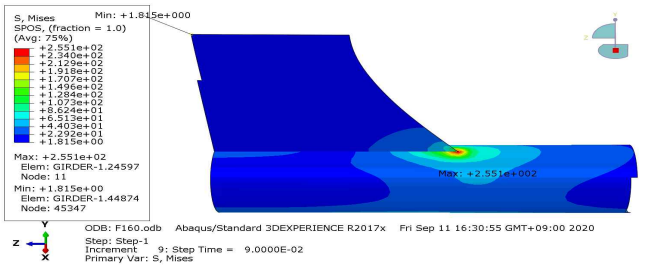
○ 위의 전산해석 결과를 바탕으로 부재 단위 성능 실험의 계획을 수립



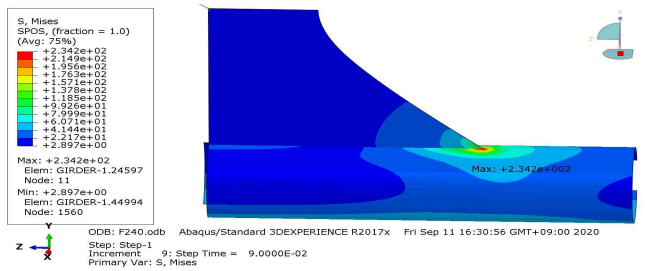
항복하중: 30kN



항복하중: 32kN

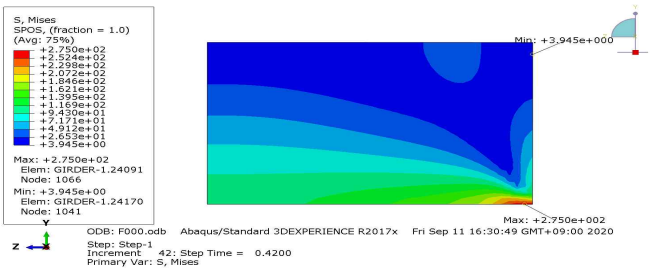


항복하중: 35kN

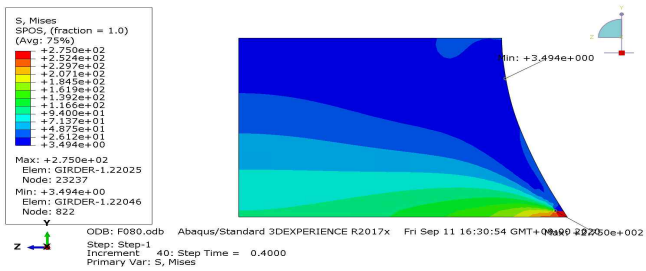


항복하중: 39kN

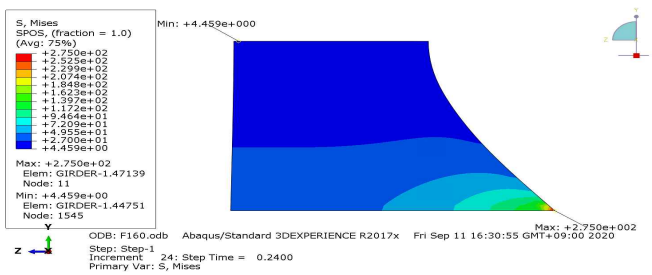
그림 1.8 플랜지 최대 응력 집중부



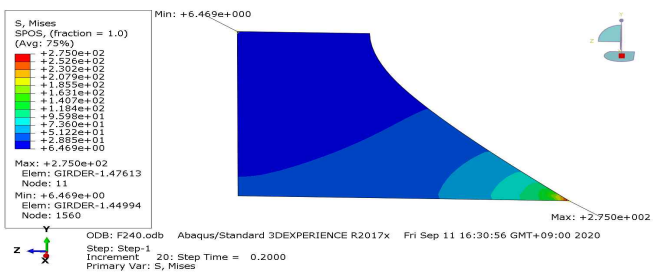
항복하중: 30kN



항복하중: 32kN



항복하중: 35kN



항복하중: 39kN

그림 1.9 복부판 최대 응력 집중부

다. 부재 단위 성능 실험 수행

1) 실험 목적

○ 본 시험의 목표는 신형식 차음터널의 구조 부재로 활용하기 위해 개발하는 구조용 부재의 역학적 거동 특성을 확인하는 데 있음

○ 기존 차음터널 거더 형식인 직사각형 형태의 복부판의 경우 플랜지와 복부판 사이 도입부에서 응력 집중현상이 발생함. 따라서, 신형식 나비형 차음터널 거더를 개발하여 응력 집중부에서 응력을 완화시키고자 함

○ 특히, 나비형상 복부판에서 Filet 치수를 다양하게 하여 Filet 치수에 따른 응력완화를 검증하고 최적의 복부판 형상을 선별함

○ 또한, 신형식 차음터널 거더 단위 부재의 하중저항 능력을 확인하고 플랜지의 국부좌굴을 관찰함

○ 따라서, 위와 같은 내용을 바탕으로 복부판의 중량을 감소시켜 차음터널 전체 거더의 경량화를 진행함과 동시에 더욱 안전성이 높은 부재를 개발하고자 함

2) 실험 대상

○ 본 실험의 대상은 개발하고자 하는 신형식 차음터널의 요소 부재들로 한정함

○ 목표 개발 대상 구조용 부재는 나비형상의 거더용 부재 구조물의 휨모멘트에 저항하는 휨 부재로 정의할 수 있음

3) 실험 방법

○ 실험은 3점 휨 시험은 널리 사용되는 표준 실험법인 ASTM D 790-03을 참고하여 실험을 진행하였음

○ 시편은 강관 플랜지와 복부판으로 구성되어 있으며 복부판 형상별 4CASE로 2Set, 총 8개의 시편으로 실험을 진행하였음. 시편에 사용된 재료로는 강관 플랜지에 SGT275 강재로 제작되었고 복부판은 SS275 강재로 제작됨

○ 실험 전 전산해석 결과를 바탕으로 실험 세팅은 목표 하중은 200kN, 목표 변위는 90mm, 재하속도 분당 5mm로 4가지 CASE 모두 동일하게 설정하여 실험을 진행함

○ 게이지는 전산해석 결과 응력이 집중되었던 복부판과 강관 플랜지 도입부, 복부판 중앙부, 강관 플랜지 하부에 부착하였음 (그림1.10)

○ 플랜지의 형태가 원형인 강관이므로 하중 재하 중 시편이 측방으로 탈락을 방지하기 위해 양옆에 횡구속 브레이싱을 설치함

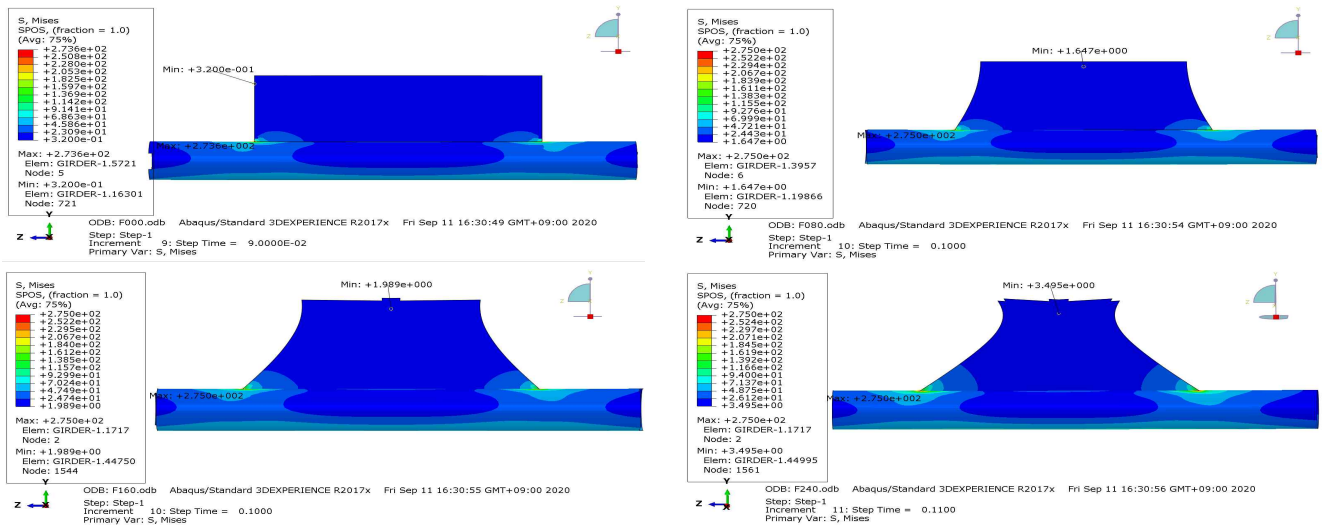


그림1.10 거더 응력 집중부



가력 전



가력 후

그림 1.11 실험진행 전후

라. 실험 결과 비교 검토

1) 실험 결과

○ 실험 결과 4CASE, 총 8개의 시편의 최대 내하력은 170kN 수준으로 설계하중을 상회함

○ 또한 구조물의 최대 처짐이 International Building Code에서 제한하는 26.6mm(L/180) 이내를 만족하기 때문에 처짐에 대한 국제 규격에 따르는 설계기준을 만족하였음

○ 복부판의 탄성한계는 Filet 치수가 작을수록 높을 강성을 보유함, 플랜지의 경우 반대로 Fielt 치수가 클수록 높은 강성을 보였음

2) 결과 분석

○ 최대 내하력 내에서 탄성 거동만을 나타내고 있으며, 이를 통해 목표 하중 내에서 허용응력설계법에 의해 적합한 설계가 이루어졌음을 확인 가능함.

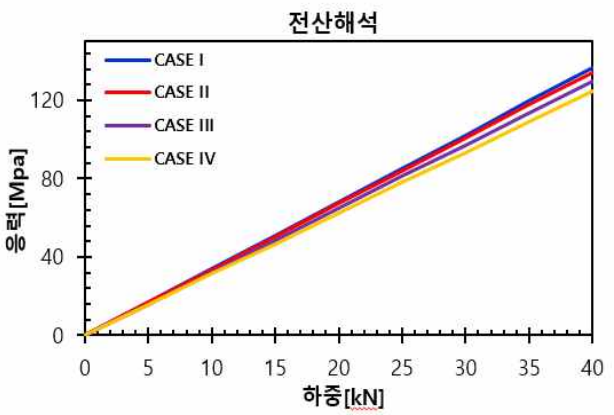
○ Filet 치수를 크게 하여 부재의 경량화 달성함과 동시에 시편의 최대 내하력은 유사하게 측정되었음

○ 또한, 플랜지 강관 응력 집중부의 데이터 분석결과 하중・응력 그래프상 40kN까지 선형성을 보여 탄성한계 지점을 알 수 있었음

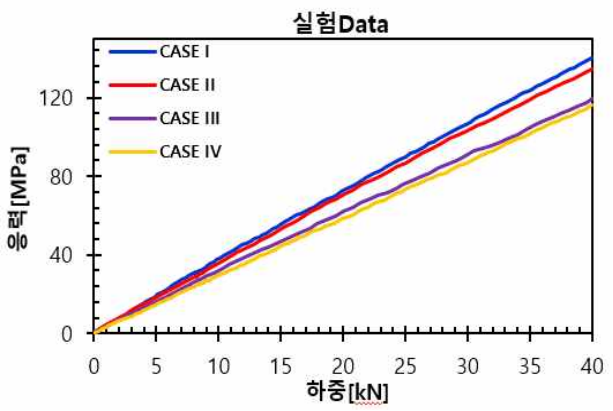
○ 플랜지 응력 집중부에서 탄성한계 지점인 재하 하중 40kN일 때 측정된 응력을 비교분석 결과 Filet 치수가 0일 때 140MPa 정도로 가장 크게 측정되었고 Filet 치수가 증가함에 따라 응력은 점차 완화되어 Filet 치수 240mm일 때 116MPa 정도로 가장 낮게 측정되었음

○ 복부판의 경우 Filet 치수가 증가함에 따라 항복 하중이 감소 하긴 하였지만 여전히 플렌지에서의 항복하중보다 크게 측정되어 복부판에서 응력 증가는 무시할 수 있었음

○ 따라서, 플랜지에서 Filet 치수가 증가함에 따른 응력완화 효과를 확인할 수 있었고 이를 통해 신형식 차음터널 거더의 구조적 성능 향상을 기대할 수 있음



전산해석 결과



실험 결과

그림 1.12 플랜지 탄성구간 하중-응력 선도 비교

재하 하중 40kN에서 측정된 플랜지 응력집중부에서 응력

구분	Filet 치수 [mm]	전산해석 결과 [MPa]	실험 결과 [MPa]
CASE I	0	136.4	140.1
CASE II	80	134.3	123.0
CASE III	160	129.6	119.6
CASE IV	240	124.6	116.1

단위 부재 최대 내하력

구분	Filet 치수 [mm]	전산해석 결과 [kN]	실험 결과 [kN]
CASE I	0	158.1	178.4
CASE II	80	157.4	175.0
CASE III	160	154.6	169.4
CASE IV	240	156.3	180.5

3) 전산해석 및 실험결과 비교 분석

○ 연구목표로 설정하였던 전산해석 신뢰도 95% 달성을 위하여 전산해석 결과 데이터와 실험 결과 데이터 비교분석 수행

○ 변형량은 응력으로 변환하고 하중/응력 그래프를 작성하여 비교하였음

○ 비교한 결과는 그림 1.10과 같고 전산해석 데이터와 실험 데이터를 비교한 결과 95% 이상의 정확도를 보여주어 기존 목표로 하였던 신뢰도 95% 이상을 달성하였음

○ 더하여 상기 결과에 대하여 현 한국구조물진단유지관리공학회 이사인 경성대학교 문도영 교수에게 전문가 자문을 통해 구조 성능과 전산 해석에 대한 신뢰성을 확보하였음

전산해석 및 실험 결과 정합도

구분	1번위치		2번 위치		평균 정합도
	응력차[Mpa]	정합도 [%]	응력차[Mpa]	정합도 [%]	
CASE I	1.793	97.9	2.934	95.9	98.09%
CASE II	0.039	99.9	0.824	98.8	
CASE III	0.274	99.7	1.111	98.2	
CASE IV	3.291	96.1	1.287	98.2	

4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발

시제품을 활용한 실물 구조 실험 보고서

2021. 11.

동아이엔지(주)

1. 실험개요

- 4차선급 신형식 차음터널 구조의 역학적 거동 특성을 평가하고 설계강도에 대한 구조적 안정성을 평가하기 위해 기 제작된 시제품을 활용하여 하중 재하 실험 수행
- 하중 재하 실험 결과와 유한요소해석(MIDAS Civil) 결과를 비교하여 신형식 차음터널의 구조적 안정성 평가 및 구조 성능 검증

2. 실험계획

- 신형식 차음터널의 구조적 거동 평가 실험은 동아이엔지 공장부지 내 그림1과 같은 형태로 설치된 시제품을 활용하여 실물 실험 수행
- 실험체는 폭 23.9m, 높이 6.9m로 제작되었으며, 상하현재의 경우 STK490강재를 사용하였고, 지주부는 SS400강재 적용
- 실험체 적용하중은 집중하중 형태로 치환하여 부재의 항복강도 이내에서 재하하였으며, H형강으로 제작된 가력 지그와 Wire Rope, 그리고 오일잭(200ton-2ea)을 활용하여 하중 재하
- 하중 재하시 오일잭 내부의 로드셀을 이용하여 정확한 재하하중 계측

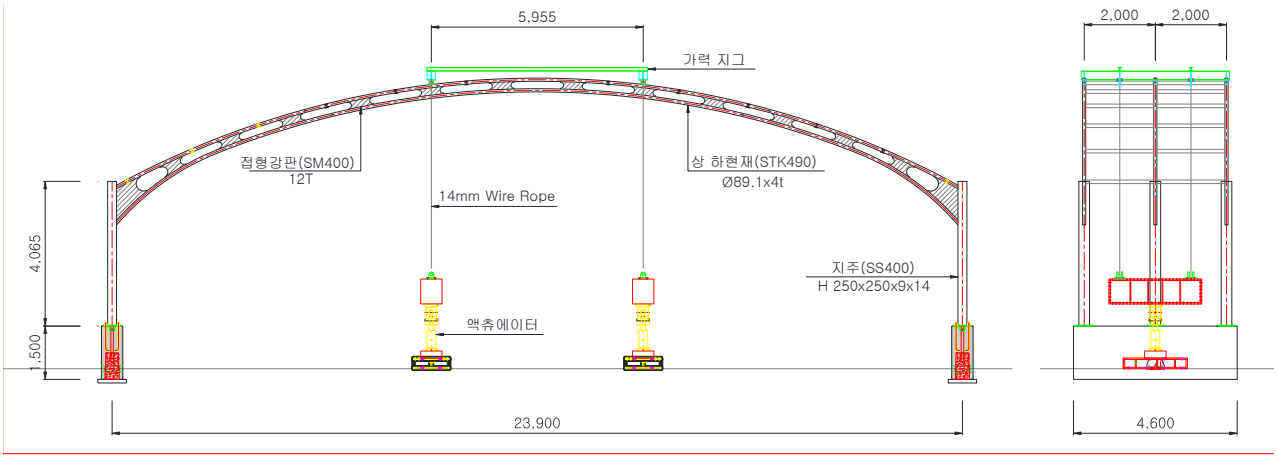


그림 520 실험체 제작 도면

- 재하하중 변화에 따른 구조물의 변형을 계측하기 위해 그림 2와 같은 위치에 Strain Gage(변형률계) 12ea(S1～S12)와 LVDT(변위계) 3ea(1～3)를 설치하여, 실시간 구조물 변형을 측정
- 실험과정에서 적용하중은 실험체 설계에서 반영된 적설하중의 1.4배까지 증가시켜 재하하도록 계획하였으며, 시제품 설계시 설계 적설하중은 75kN임

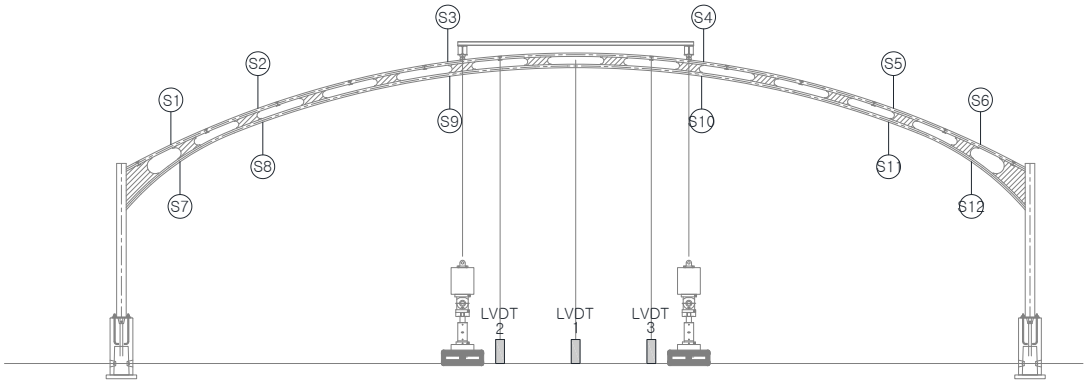


그림 521 Gage설치 위치

- 시제품을 활용한 신형식 차음터널 실험 전경은 그림 3과 같음

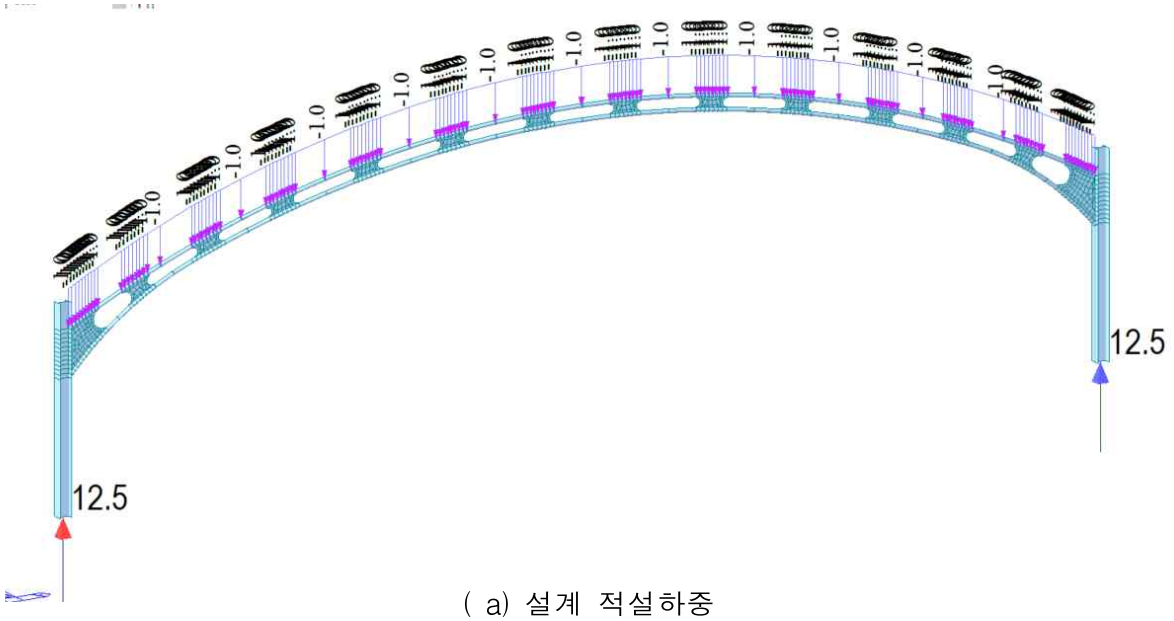


그림 3 신형식 차음터널 실험 전경

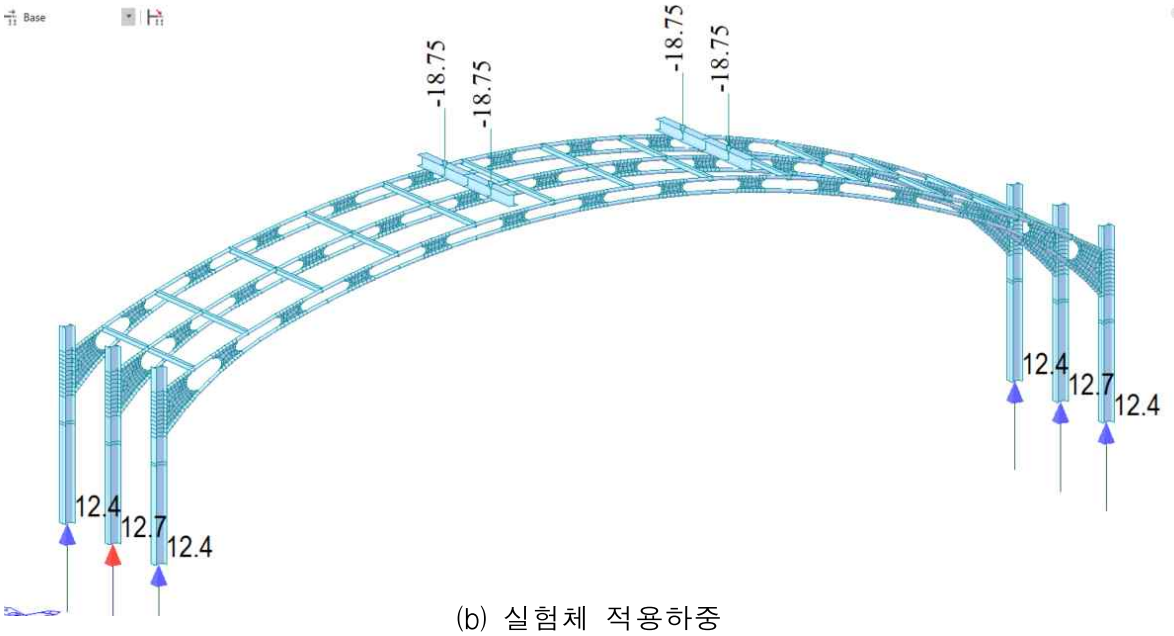
3. 실험체 해석

3.1 해석 개요

- 신형식 차음터널의 유한요소해석은 실험체와 동일한 형태로 모델링 하였으며, 구조재가 아닌 방음판 및 흡음체 등은 모델링에서 제외
- 실험체에 재하되는 수직하중은 그림 4와 같이 시제품 설계시 고려된 설계 적설하중을 기준으로 하중을 재하였으며, 시제품 설계시 적설하중에 의한 지주 하단에서의 반력은 25kN/1frame 임(그림 4 참고)
- 실물 실험시 적설 하중과 같이 등분포 형태의 하중 재하가 불가능하므로 집중 하중으로 치환하여 하중을 재하 하였으며, 재하시 적용된 기준 하중(D)은 시제품 설계시 고려된 적설하중과 동일한 반력이 지주 하단에서 발생할 수 있도록 집중 하중 산정(그림 4 참고)



(a) 설계 적설하중



(b) 실험체 적용하중

그림 4 실험체 적용하중

- 실험체의 유한요소 해석시 적용된 작용하중의 크기는 표 1과 같음

표 1 작용하중 및 하중조합

구 분	자중	수직하중(D=75kN)
LC1	1.0	
LC2	1.0	1.0D(75kN)
LC3	1.0	1.40D((105kN)

3.2 해석 결과

- 하중 조합별 부재에 발생하는 응력 및 변위를 표 2~3, 그림 5~7에 나타내었음. 그림 7에서 알 수 있듯이 설계하중에 1.4배까지 하중을 재하 하였을 경우 발생응력은 구조물의 항복응력 근처에 도달하는 것으로 분석됨

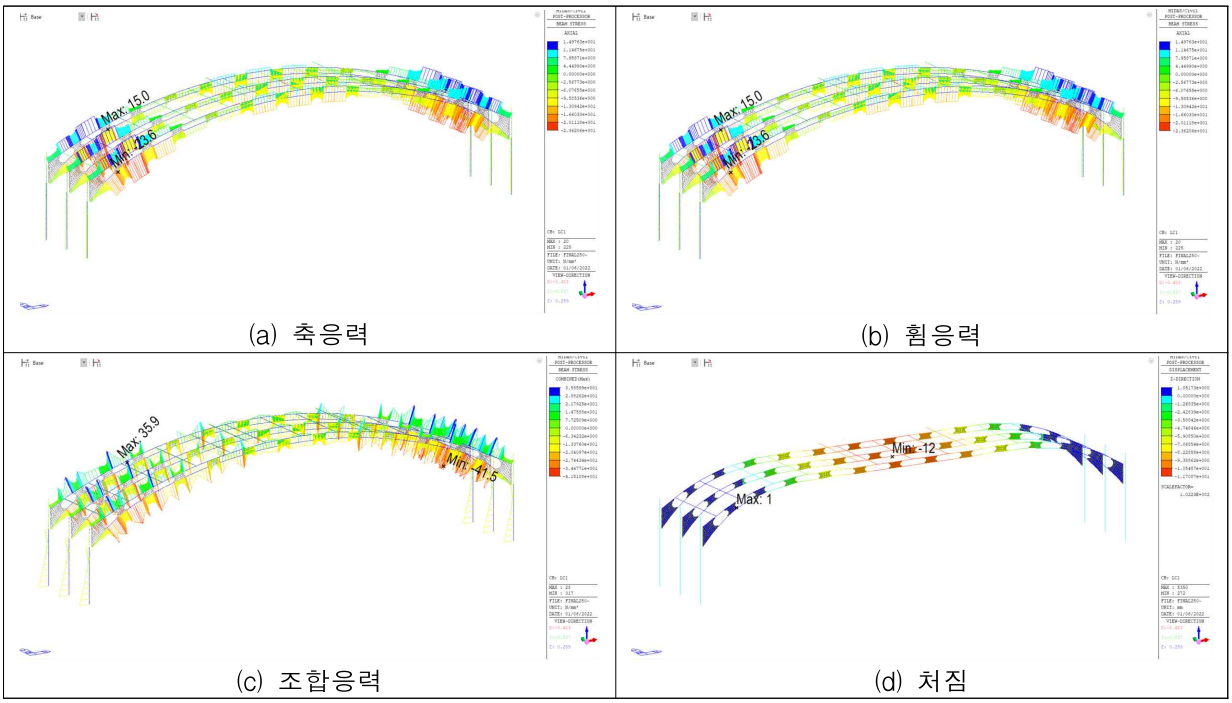
∴실험시 최대 재하하중을 105kN(1.40D)로 결정

표 2 하중조합별 발생 응력

구 분	축응력(MPa)		휨응력 (MPa)		조합응력 (MPa)		비고
	인장	압축	인장	압축	인장	압축	
LC1	15.0	23.6	27.5	23.6	35.9	41.5	항복응력fy = 320MPa
LC2	73.3	105.9	147.2	168.2	195.4	228.5	
LC3	96.6	138.8	198.8	227.3	263.6	307.6	

표 3 하중별 발생 처짐

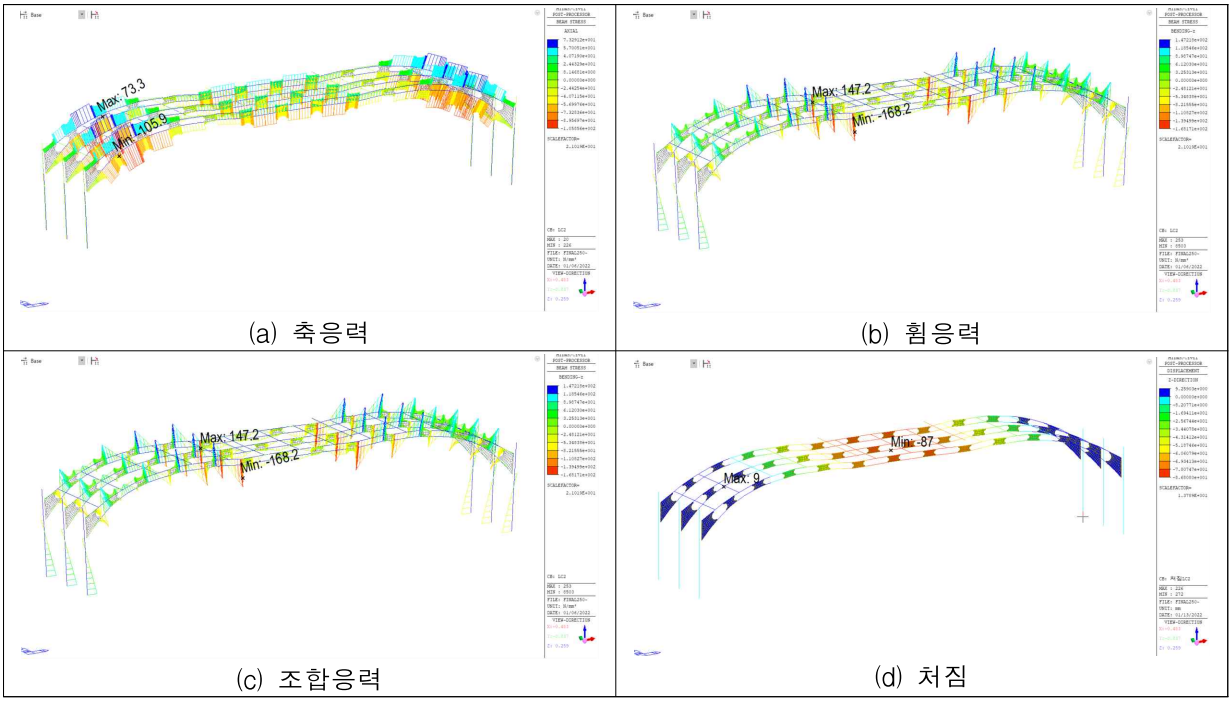
구 분	자 중	수직하중		비 고
		1.0D	1.4D	
처짐	12mm	75mm	105mm	



(a) 축응력 (b) 휨응력

(c) 조합응력 (d) 처짐

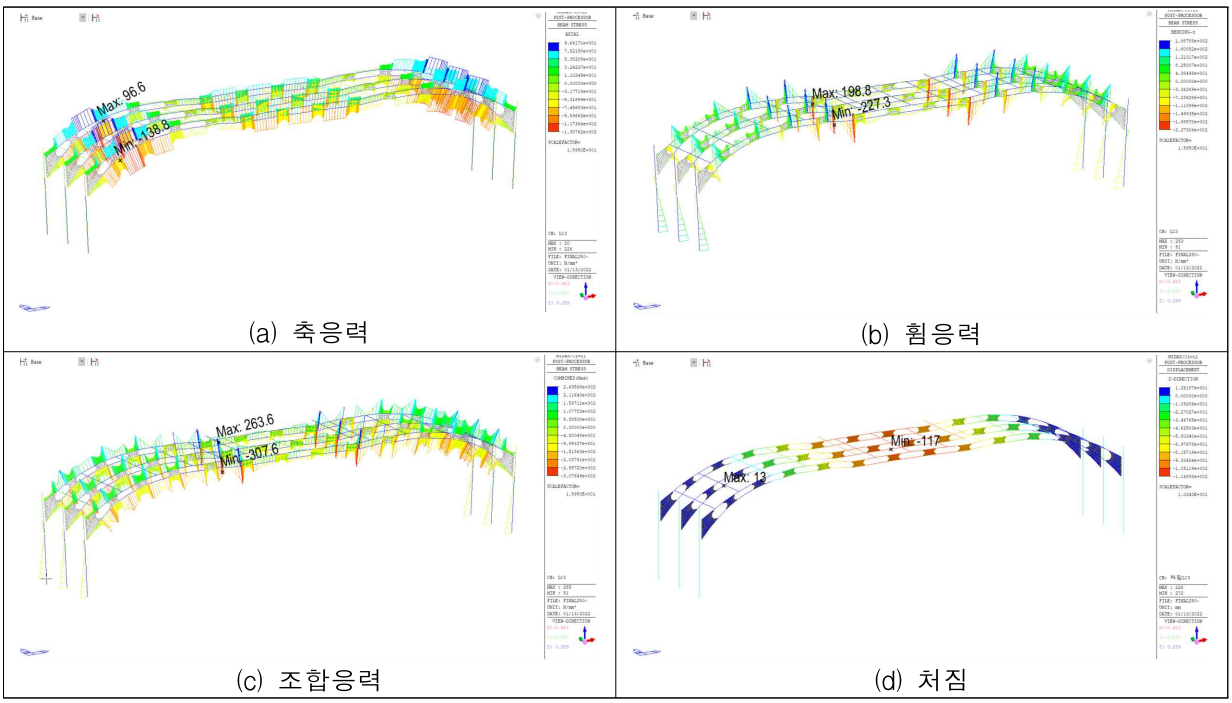
그림 5 LC1 발생응력 및 처짐



(a) 축응력 (b) 휨응력

(c) 조합응력 (d) 처짐

그림 6 LC2 발생응력 및 처짐



(a) 축응력 (b) 휨응력

(c) 조합응력 (d) 처짐

그림 7 LC3 발생응력 및 처짐

4. 실험 결과 검토

4.1 처짐검토

- 신형식 차음터널의 구조 거동 실험시 최대 1.4D의 하중을 재하하였으며, 실험시 계측된 처짐 결과를 그림 8에 나타내었음. 그림 8에서 알 수 있듯이 재하하중 1.4D이내에서는 변위증가량과 하중증가량이 비례하는 선형 탄성거동을 보임
- 구조 거동 실험과 유한요소 해석의 처짐 결과를 비교한 결과, 구조 거동 실험의 경우 최대 처짐은 101.1mm로 계측되었고, 유한요소 해석결과 최대하중(1.4D) 재하시 발생 최대 처짐은 105.4mm로 분석됨

  → 수직처짐의 비교결과 유한요소 해석모델의 결과가 실제 실험 결과보다 수직 처짐이 약 4.2%정도 크게 나타나는 것으로 분석되었고, 이는 유한요소 해석모델이 보수적으로 구성되었음을 의미

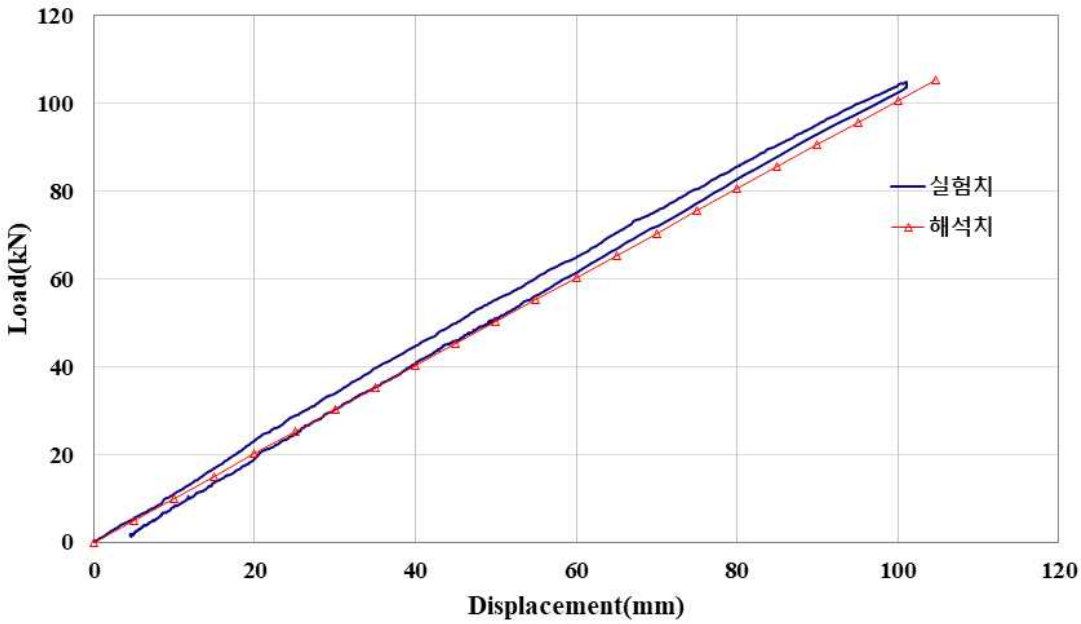


그림8 처짐 결과 비교

- 또한 그림 8의 실험체의 처짐 결과에서 알 수 있듯이, 구조물이 항복강도에 도달하기 전 1.4D까지는 구조적 결함 없이 거동함을 알 수 있었고, 이는 설계하중 대비 1.4배 (104.76kN/75kN(설계하중)) 이상의 안전율을 확보하고 있음을 의미함

4.2 응력검토

- 신형식 차음터널의 구조거동 실험시 구조물의 항복이 발생할 것으로 예측된 109kN의 97%인 104.76kN(1.4D)을 재하하였을 경우, 재하된 하중으로 인한 구조물의 발생응력 변화를 검토하였음
- 최대하중 재하시 최대 압축응력과 인장응력의 발생 위치는 유한요소 해석결과와 실물 실험 결과가 모두 동일하게 나타났으며, 그 위치는 변형율계 S4와 S10 위치임
- 최대 압축응력과 인장응력 발생 위치에서 유한요소 해석결과와 실험결과를 그림 9와

표 4에 나타내었으며, 표 4에서 알 수 있듯이 유한요소 해석결과가 실험결과에 비해 압축응력은 약 2.1%, 인장응력은 약 8.2% 크게 나타나는 것으로 분석됨

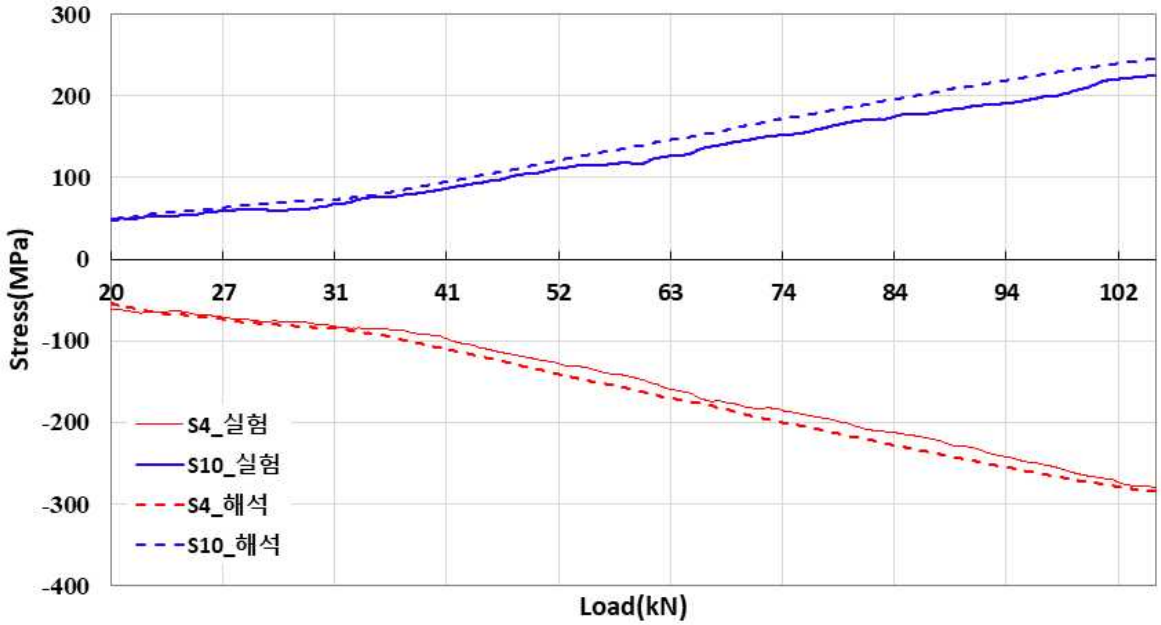


그림 9 발생응력 결과 비교

표 4 S4, S10위치에서 최대 발생응력 검토

S4			S10		
실험치	해석치	오차율	실험치	해석치	오차율
-279MPa	-285MPa	2.1%	225MPa	245MPa	8.2%

- S10위치에서 발생응력의 오차가 다소 크게 발생한 원인은 차음터널의 구조가 연결부를 활용하여 조립하는 구조로 연결부 시공단차 등의 영향을 받은 것으로 판단됨

4.3 검토 결론

- 동아이엔지 공장부지 내에 설치된 시제품을 활용하여 신형식 차음터널의 안전성을 평가하기 위해 설계 적설하중의 1.4배의 하중을 재하하여 구조 거동 실험을 수행하였고, 실험결과와 유한 요소해석 결과를 비교하여 구조물의 거동 특성 및 안정성 평가를 수행
- 처짐 분석 결과, 실험시 발생한 처짐은 유한요소 해석에 의한 처짐 결과와 약 4.2% 오차를 나타내었고, 유한요소 해석이 충분히 보수적인 해석 결과임을 확인하였음
- 응력 분석결과, 실험결과와 해석결과에서 분석된 최대 압축응력과 인장응력의 발생위치는 동일하였으며, 실험결과와 해석결과의 오차율은 압축응력과 인장응력이 각 각 2%, 8%정도 발생하는 것으로 분석됨
- 결론적으로 신형식 차음터널은 설계하중의 1.4배의 하중을 재하할 경우에도 구조물은 선형 탄성거동을 하는 것으로 나타났으며, 또한 구조 거동 실험 결과와 유한요소 해석결과의 오차율은 10% 미만으로 분석됨. 그러므로 개발된 신형식 차음터널은 설계하중 하에서는 충분히 안정적 거동을 할 것으로 판단됨

기타 성과, 붙임 34

시 험 성 적 서

우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서번호 : TOTAL-22-350
페이지 (1)/(총 4)

㈜토탈 이엔씨 Experiment & Consulting

1. 의 뢰 자
   □ 기관명 : 동아이엔지(주)
   □ 주 소 : 경기도 성남시 수정구 위례서일로 26
   □ 연락처 : 전화 : 031-758-5106 / e-mail : atw3258@gmail.com
2. 시험대상품목 / 물질 / 시료 설명 : 신형식 차음터널
3. 시험기간 : 2021 년 10 월 21 일 – 10 월 22 일
4. 시험방법 의뢰자 제시조건
5. 시험장소 : □ 고정시험실 □ 현장시험
   (주소 :)[필요시]
6. 시험결과 :

시험 결과		
시험항목	최대하중(kN)	최대하중시 변위(mm)
수직 하중	104.76	103.30

○ 시험항목, 단위, 결과, 측정불확도(신뢰순준 %, k=)[필요 시 포함사항] 등

□ 이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
□ 본 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

확 인	작성자 성 명 : 이 종 규	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명: 김 상 학

2022 년 02 월 08 일

(주)토탈이엔씨 대표이사 (인)

시 험 결 과

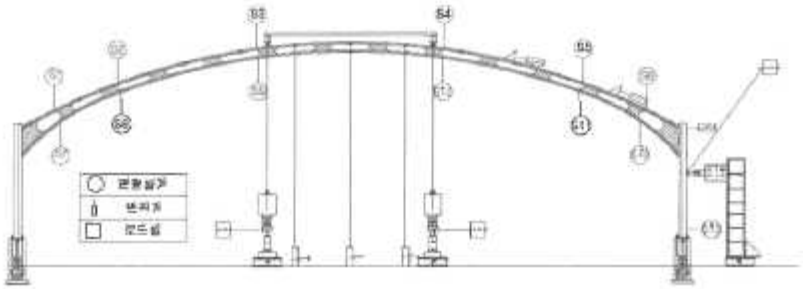
우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서 번호 :
TOTAL-22-350
페이지(2)/(총 4)

|주|토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

● 시험계획도 및 세팅 상황

실험 계획도



세팅 상황



시 험 결 과

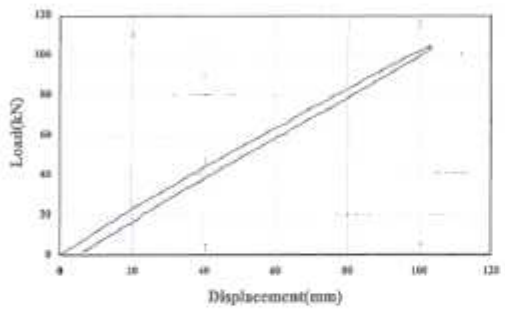
우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서 번호 :
TOTAL-22-350

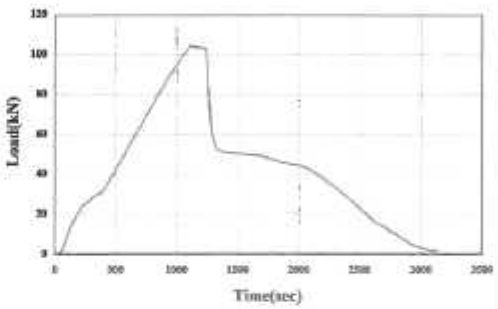
(주)토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

● 수직 하중

시험그래프



하중-변위 그래프



하중-시간 그래프

세팅상황



시 험 결 과

우15588 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
초대형구조실험동 신관101호
Tel: 031-438-7183, Fax: 031-436-8158
http://www.totalenc.co.kr

성적서 번호 :
TOTAL-22-350
페이지(4)/(총 4)

(주)토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

● 시험 시스템

시 험 장 비	모 델 명 (장비번호)	제 조 사	기타 (관련 소프트웨어)
200tf 오일젝	7241256	삼연 / 한국	-
200tf 오일젝	105783	삼연 / 한국	-

끝.

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '4차선급 도로용 신형식 경량 차음터널 구조 시스템 개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.