

터널가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발 최종보고서

2014. 11.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / (재)포항산업과학연구원
공동연구기관 / (주)동성중공업
(주)유진구조이앤씨
부산대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "터널 가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발"과제의
보고서로 제출합니다.

2014. 11.

주관연구기관명 : (재) 포항산업과학연구원

주관연구책임자 : 김 도 환

협동연구기관명 : (주)유진구조이앤씨

협동연구책임자 : 유 진 오

협동연구기관명 : (주)동성중공업

협동연구책임자 : 정 환 철

협동연구기관명 : 부산대학교

협동연구책임자 : 박 성 수

보고서 요약서

과제고유번호	11기술혁신 E05	해 당 단 계 연 구 기 간	2012. 5. 29- 2013. 9. 28	단 계 구 분	2/2
연 구 사 업 명	중 사 업 명	건설기술연구사업			
	세부사업명				
연 구 과 제 명	대 과 제 명	터널 가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발			
	세부과제명				
연 구 책 임 자	김 도 환	해당단계 참 여 연구원수	총 : 17 명 내부: 17 명 외부: 명	해당단계 연 구 비	정부 :358,000천원 기업:165,000 천원 계:523,000 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 30 명 내부 :30 명 외부 : 명	총연구비	정부: 458,000천원 기업:200,000천원 계 :658,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(재)포항산업과학연구원 건축전자재연구본부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : (주)유진구조이앤씨		연구책임자 : 유 진 오		
	연구기관명 : (주)동성중공업		정 환 철		
	연구기관명 : 부산대학교		박 성 수		
요 약				보고서 면수	196
○ 연구목적: 차량통제 없이 터널 가설공사 가능한 이동식 가변형 입체트러스 가설시스템을 개발 및 현장 적합형 실용화 기술을 완성 ○ 연구내용 및 결과: ✓ 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발: ‘’형태로 입체트러스를 제작하여 차량통행이 자유로우며 터널크기에 따라 폭, 높이 조절이 가능함. 또한 고정위치, 가변토크, 속도, 동기운전 등을 제어하며 자체 구동 및 방향 전환이 가능한 시스템 개발 성공 ✓ 입체트러스 운반/조립/해체/시공 등에 관한 시방서(안) 제작 및 (구)김해터널 현장적용을 통한 시공성 및 경제성 평가 수행하였으며 그 결과 기존대비 공기 약 30%, 공사비용 약 25% 절감 가능 ✓ 상부구조물과 구동부로 구성된 입체트러스의 통합 구조설계지침서(안) 제작 및 최종 설계도면 제작					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	터널, 가설공사, 유지관리, 입체트러스, 접합부			
	영 어	Tunnel, Temporary work, Maintenance, Space truss, Connections			

요 약 문

터널 가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발

I. 연구개발의 목적 및 필요성

터널의 정기점검, 안전진단, 보수 보강공사, 내벽 청소, 타일공사 등에서 사용하고 있는 사다리 비계가 부착된 차량을 이용하는 현 가설공사 관행은 터널공사 규모, 다양한 터널 제원(규모, 형태 등), 터널공사의 연간 빈도 多, 터널의 노후화 지속에 대해 작업 및 시공 효율성 측면에서 불리한 여건을 가지고 있으며, 특히 주간 및 야간에 사람 및 차량통제를 실시하여 국가기간시설물인 터널의 사용을 제한함으로써 물류 유통 및 인적이동에 있어 공공업무의 공백이 생기는 문제가 발생하고 있다.

본 연구는 시설한계 밖과 내벽 사이의 작업공간을 활용하여 터널 내부 유지관리시 차량 통제 없이 이동이 용이하고 터널 크기에 따라 자유로운 형상 조절이 가능한 가설시스템과 그 접합부를 개발하여 시공 효율성을 극대화시키고 터널의 차량통제로 인한 시민의 불편을 미연에 예방할 수 있는 기술을 개발 하고자 한다.

II. 연구개발의 내용 및 범위

(1) 터널가설공사용 입체트러스 시스템 개발

- 터널설계기준/제원분석 및 대상터널 선정
- 터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석
- 입체트러스 완제품 최종안 확정 및 제작 (상부구조물, 구동시스템 및 높이조절시스템 등)
- 입체트러스 Pilot test 및 현장 적용

(2) 터널가설공사용 입체트러스 시스템의 시공 기술 개발

- 가설시스템 부재제작을 위한 접합부 현황조사
- 입체트러스 현장 시공방법(운반, 조립, 해체) 개발
- 기존 대비 입체트러스 현장 시공성 및 경제성 평가
- 입체트러스 특기 시방서(안) 개발

(3) 터널가설공사용 입체트러스 시스템의 구조설계 기술 개발

- 조립 및 해체가 용이한 단위 모듈 개발
- 시스템 모델을 구성하는 1차주요부재 접합부 상세개발
- 길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발
- 입체트러스 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계

- 입체트러스 전체 형상 확정 및 CD 구조설계
- 입체트러스 통합 구조설계 지침(안) 개발

(4) 터널가설공사용 입체트러스 시스템의 구조성능 평가 기술 개발

- 입체트러스 전체형상 구조해석 및 평가
- 입체트러스 접합부 구조해석 및 평가

Ⅲ. 연구개발결과

(1) 터널가설공사용 입체트러스 시스템 개발

- 가설시스템 완제품 제작 및 구성제품 매뉴얼 개발
- 터널폭에 따라 길이조절이 가능한 원형강관으로 이루어진 가설시스템 상부구조물 제작
- 고정위치제어, 가변토크제어, 속도제어 등이 가능한 가설시스템 구동부 최종안 확정 및 제작
- 가설시스템 상하 높이조절용 유압잭 최종안 확정 및 제작
- 가설시스템 시제품의 (구)김해터널 현장적용 및 시공성 모니터링

(2) 터널가설공사용 입체트러스 시스템의 시공 기술 개발

- 입체트러스 시스템의 제작/운반/조립/해체에 대한 시공시방서(안) 제작
- 기존 방식과 가설시스템 방식의 균열조사(15일) 및 균열보수(60일) 공사에 대해 각각 공사비용을 산정한 결과 가설시스템 방식이 기존 방식 대비 각각 11%, 25% 공사비 절감
- 시공기간 또한 최대 30% 단축 가능
- 가설시스템을 사용할 경우 공기가 길어질수록 더욱 경제적이며 야간작업이 아닌 주간작업이 이루어지므로 작업의 효율성이 뛰어나며 차량통행을 허용함으로써 운전자 및 보행자의 편의성이 더욱 뛰어날 것으로 여겨짐

(3) 터널가설공사용 입체트러스 시스템의 구조설계 기술 개발

- 터널형상을 고려한 입체트러스 최종형상 도출 및 CD 구조설계
- 입체트러스 가설시스템의 모든 주요부재, 접합부 등의 설계에 관한 통합 구조설계지침서(안) 제작
- 슬롯이 있어 현장조립이 용이하며 구조부재의 일체화 효과가 뛰어난 이음판을 적용한 볼트 접합 상세 개발 및 CD 설계반영

(4) 터널가설공사용 입체트러스 시스템의 구조성능 평가 기술 개발

- 가설시스템 전체 구조해석 수행 결과 모두 허용기준치 이내의 조건을 만족하였고 충분히 구조적으로 안전함을 알 수 있음
- 상부 수평부재의 수직변위와 접합부위의 응력집중 검토 결과 모두 허용기준치 이내의 조건을 만족하였고 충분히 안전함을 알 수 있음

IV. 연구개발결과의 활용계획

- (1) 정부/지자체/건설사/가설업체를 방문하여 개발 기술홍보를 통한 터널가설공사 현장적용 시범사업을 추진하며, 우수성이 실입증된 것을 바탕으로, 건설가설공사 전반으로 수요를 확대해 나갈 계획이다.
- (2) 이를 위하여 우선 개발기술 특허권을 확보하여 국내 우수 중소가설제작업체를 선정하여 제품을 제작하고 이 업체에 기술이전을 실시하고 경상기술료 수익을 창출하는 사업화를 실시한다. 또한 정부/지자체/건설사에 추가 기술이전을 검토할 계획이다.
- (3) 상용화 제품은 주요 수요처인 정부/지자체/건설사/가설업체에 직접 판매 또는 업체 대외 방식으로 공급하는 다양한 루트를 모색한다.
- (4) 해외사업화를 위한 해외 가설사업 적용성 기획연구를 실시하고, 사업성 여부에 따라 해외기술이전을 실시하고, 다른 방향으로 제품 수출을 통한 국가경제 활성화에 기여하고자 한다. 해외수출 및 기술이전은 특히 국내 가설재 기술의 대외경쟁력을 제고함과 동시에 국가이미지 개선에 일조할 것으로 예상된다.

SUMMARY

Development of Space Truss System for Tunnel Temporary Works

I. Background and Objectives

As the number of tunnels are getting increased and the their age is getting old, the current method maintaining the existing road tunnels using a truck loading scaffold has a disadvantage in effectiveness of constructability because it cases problems in traffic flow of human and vehicles by blocking lanes especially in day and night time.

To resolve these problems, this study developed new space frame system for temporary works and tunnel maintenance method using this equipment without blocking traffic lanes by utilizing unused space between the inner face of tunnel and the line of equipment limit. This system is self-moveable and adjustable its width and height to fit on the tunnel sizes – number of lanes, heights, shoulder width, etc. Consequently, it can maximize the constructability of tunnel maintenance work and prevent those problems in advance.

II. Research Strategies and Scopes

1) Development of space truss system for temporary tunnel maintenance work

- Evaluating and selecting tunnel design code/size
- Estimating initial/alternate space truss system models
- Determining and fabricating final space truss system model including the parts – superstructure, mobilizing system, height adjustment system, etc.
- Pilot testing and applying to the existing tunnel maintenance

2) Development of new temporary tunnel maintenance method using the new space truss system

- Investigating the existing truss joint/connection for developing new joints and members
- Developing new on-site delivery/assembling/disassembling and temporary tunnel maintenance methods
- Evaluating the constructability and cost-effectiveness between new and existing tunnel temporary works
- Developing construction specifications of space truss system for temporary works

3) Development of structural design method of space truss system for temporary works

- Developing unit module assembling and disassembling easily

- Developing main structural member connection detail of system
 - Developing new pyramid-shaped module possible to adjust length and angle
 - Developing final connection detail of the space truss system and CAD drawings
 - Developing final space truss system model and CAD drawings
 - Developing structural design guidelines of space truss system for temporary works
- 4) Development of structural analysis method of space truss system for temporary works
- Analyzing and evaluating structural performance of whole space truss system
 - Analyzing and evaluating connection details of space truss system

III. Summary of Results

- 1) Development of space truss system for temporary tunnel maintenance work
- Developed final space truss system and its manual for temporary work
 - Developed superstructure using steel round tubes including adjustable length per tunnel width
 - Developed mobile system of space frame possible to control fixed position, torque, speed, etc.
 - Developed height adjustment system using hydraulic pressure
 - Applied the system to Kim-Hae tunnel to monitoring constructability
- 2) Development of new temporary tunnel maintenance method using the new space truss system
- Developed construction specifications of space truss system for temporary works for on-site delivery/assembling/disassembling and temporary tunnel maintenance methods
 - Evaluate the constructability and cost-effectiveness between new and existing tunnel temporary works: It shows that new method could reduce the construction cost up to 25% and might be able to reduce the construction period up to 30%
 - It is more effective to use this method at the tunnel maintenance works requiring long period
- 3) Development of structural design method of space truss system for temporary works
- Developed final connection detail of the space truss system and CAD drawings
 - Developed structural design guidelines of space truss system for temporary works
 - Developed structural member connection details of system using steel plates with vertical/horizontal slots
- 4) Development of structural analysis method of space truss system for temporary works

- Analyzed and evaluated structural performance of whole space truss system and their connections. The results shows that every result satisfied the allowable limits and the system is safe enough

IV. Future plans with the results

- 1) Technology marketing to government, contractors, manufacturer to expand the demand of tunnel temporary works
- 2) To achieve this, first it is necessary to ensure patents of this technology then promote it to mid-size scaffold manufacturers to transfer the technology with royalty
- 3) Developing various sales methods such as rental or sold directly to both domestic and international governments, contractors and manufacturers

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	11
1.1 연구개발의 필요성	11
1.2 연구개발의 목적	15
1.3 연구개발 범위	16
제2장 국내외 기술개발 현황	17
2.1 국내 기술 및 산업 동향	17
2.2 국외 기술 및 산업 동향	22
2.3 종합결론	25
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	29
3.1 연구개발 결과 요약	29
3.2 연구개발 주요내용	33
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	195
4.1 연구개발 목표 달성도	195
4.2 관련분야에의 기여도	195
제5장 연구개발결과의 활용계획	197
5.1 연구결과의 활용방안	197
5.2 기대성과 및 파급효과	197
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보	199
제7장 참고문헌	201

제1장 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발의 필요성

터널의 정기점검, 안전진단, 보수 보강공사, 내벽 청소, 타일공사 등에서 사용하고 있는 사다리 비계가 부착된 차량을 이용하는 현 가설공사 관행은 터널공사 규모, 다양한 터널 제원(규모(2~6차로), 형태(사각형, 사다리꼴, 반구형, 반타원형)), 터널공사의 연간 빈도 多(국내 터널현황 약 1,382개('10), *표 1, 표 2, 그림 1. 참조), 터널의 노후화 지속에 대해 작업 및 시공 효율성 측면에서 불리한 여건을 가지고 있었으며, 특히 주간 및 야간에 사람 및 차량통제(그림 2. 참조)를 실시하여 국가기간시설물인 터널의 사용을 제한함으로써 물류 유통 및 인적이동에 있어 공공업무의 공백이 생기는 문제가 발생하고 있다.

미국/유럽/아시아 수준: 터널공사용 가설장비(그림 3. 참조)로서 TC 리프트, 유압식 작업대, 비계 가새 조립식 작업대를 선택하여 사용하고 있는 수준으로 본 제안연구 관련해서 개발된 사례가 없다.

따라서 본 연구는 터널의 차량통제(그림 4. 참조)로 인한 시민의 불편을 미연에 예방할 수 있는, 시설한계(그림 5. 참조) 밖과 내벽 사이의 작업공간을 활용하는 아이디어에 착안하여, 터널 내부 유지관리시 차량 통제 없이 이동이 용이하고 터널 크기에 따라 자유로운 형상 조절이 가능한 이동 및 가변형 가설시스템과 그 접합부를 개발하여 시공 효율성을 극대화하고자 한다.



그림 1. 전체 터널 현황(*출처: 국토해양부(각급 도로관리청 자료))

[참고] 도로터널 증감추이

- ° '10년 12월말 기준 전국의 터널 수는 1,382개소로, '00년 397개소에 불과하던 것과 비교하여 985개소(248%)가 증가하였으며, 연장은 240km에서 975km로 735km(306%) 증가하였음
- 터널 증가 원인은 자연환경 파괴 최소화 등 환경 친화적인 도로건설과 도로이용자의 안전을 고려한 선형개량 등이 주요인임
- ° 도로종류별로는 고속국도 673개(49%), 일반국도 374개(27%)로 나타나 고속국도와 일반국도 상 터널이 전체터널의 70%이상을 차지하는 것으로 나타남

표 1. 지난 10년간 도로터널 증감추이

구 분	2000 (A)	2010 (B)	증감	
			B-A	(B-A)/A
터널 개소	397 개소	1,382 개소	985 개소	248 %
터널 연장	240 km	975 km	735 km	306 %

표 2. 터널 가설공사 유형

구 분	내 용
▪ 점검공사	정밀점검(1회/년), 정밀안전진단(1회/5년), 일상점검(2회/년)
▪ 보수공사	타일부착, 균열보수, 표면보수, 단면복구, 중성화방지, 재라이닝, 전등교체, 환풍기공사, 페인트공사
▪ 보강공사	납볼트시공
▪ 마감공사(건설)	타일, 라이닝, 팬
▪ 청소공사	연간 수시



(a) 성남 운중터널(2007) 보강공사



(b) 유압장비 이용 터널 보수공사



(c) 한밭지하차도(2008) 전등교체공사



(d) 터널 균열계측 안전진단 공사



(e) 도시철도 터널 보수공사



(f) 일반철도 터널 타일공사

그림 2. 터널 유지관리를 위한 가설공사 사례



(a) 이동차 부착형 TC 리프트



(b) 지지대 설치형 유압식 작업대



(c) 비계 가새 조립식 작업대

그림 3. 가설공사용 장비

「해저터널 도장공사」 시행에 따른 교통통제 안내문

평소 시정발전에 적극 협조하여 주시는 시민여러분께 깊은 감사를 드립니다.

해저터널 내부 도장상태가 불량하여 우리시를 찾는 관광객 및 시민들에게 좋지 못한 이미지를 남기고 있는 실정이라 야당화 같이 내부 도장공사를 시행하게 되었으며, 행정도장을 시공하는 기간에는 통행이 불가하여 부득이 교통통제를 실시하게 되었습니다.

시민여러분께서는 통행에 다소 불편이 있더라도 널리 이해하시고, 해저터널 도장공사의 조속한 완공을 위하여 적극적인 협조를 당부드립니다.

다 음

□ 공사시행계획

- 공사위치 : 동명시 당동 - 미수2동 해저터널 내부
- 공사개요 : 도장 A=6,525.6㎡ (터널길이 L=483m)
- 공 사 비 : 금63,475천원
- 공사기간 : 2005.01.06 ~ 2005.02.04(29일간)

□ 교통통제계획

- 통제기간 : 2005.01.24 ~ 2005.01.30(7일간)
- 통제구간 : 해저터널 진입부 양측
- 통제방법 : 전면통제

2005. 01.

통 영 시 장

그림 4. 터널 교통통제 안내문(실 예)

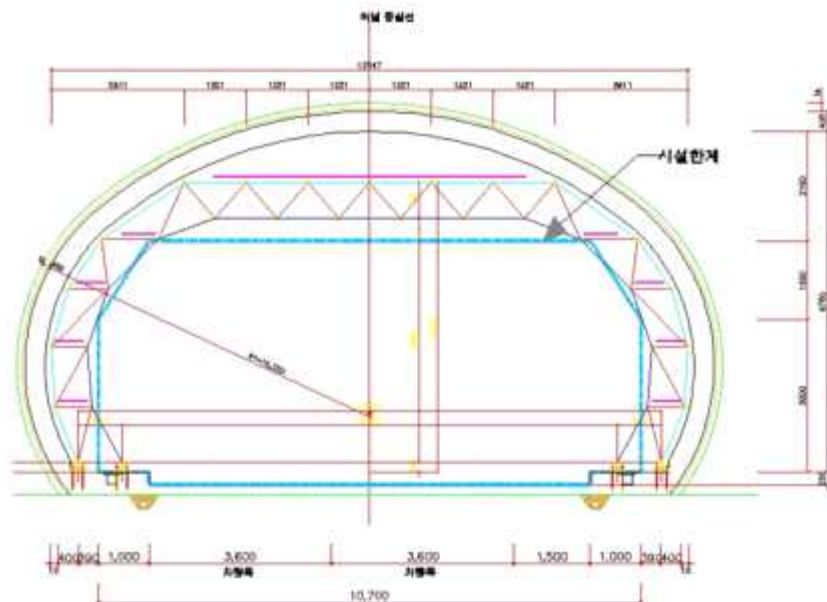


그림 5. 도로터널(2차선) 단면도: 시설한계(파란 점선)
(도로의 구조, 시설기준에 관한 규칙, 2009)

1.2 연구개발의 목적

본 연구의 목적은 도로용 터널 내부의 유지관리 및 보수보강 공사시 차량통제없이 작업이 가능한 터널 가설공사 전용 가변형 이동식 가설시스템을 개발하고 제작성, 시공성, 안전성, 경제성 및 효율적인 구조상세를 고려하여 현장 프로젝트 보급형 상용화 제품을 완성하는 것을 목적으로 한다. 또한 관련 구조설계지침(안) 및 제작·시공매뉴얼을 개발하여 활용을 극대화 하고자한다.

- 1) 건설 가설시스템 제작 기술 개발
 - 입체트러스 부재 및 접합부 제작품질(조립시공 성능) 10% 개선
 - 제작비용 및 제작시간 10% 단축
- 2) 건설 가설시스템 구조설계 기술 개발
 - 주요부재 접합부 상세 개선
 - 구조물량 10% 절감
 - 접합상세도 및 전체형상 상세도 및 구조설계 시방(안) 작성
- 3) 건설 가설시스템 시공설계 기술 개발
 - 가설 공사기간 10% 절감
 - 가설 공사비용 10% 절감
 - 시공 시방(안) 작성
- 4) 건설 가설시스템 구조성능 평가기술 개발
 - 사용 재료(STK500 vs. UL700)의 인장강도 30% 개선 및 규준 만족
 - 입체트러스 조립 접합부의 인장압축 정적하중 저항 구조성능 10% 개선
 - 현장 모니터링 조립시공에 대한 구조성능 10% 개선

1.3 연구개발 범위

1. 건설 가설시스템 구조상세 개발

- 1) 터널제원 분석, 대안설계 및 제작성 검토
 - 터널제원(형상, 규모, 용도 등)에 따른 대상터널, 대안설계 도출 및 제작성 분석
- 2) 1차 주요부재 접합상세 및 구조형상모델 개발
 - 형태(각도)조절이 가능한 입체트러스 간 접합부
 - 안전성 및 공간성이 재고된 대안 형상시스템 및 접합부
- 3) 2차 주요부재 접합상세 및 보완장치 시스템 개발
 - 터널 내 이동, 정지 및 높이조절이 가능한 구성장치 및 연결 접합부
 - 터널 접근용 주구조물 형상설계 및 연결 접합부
 - 구조적 안전성, 경제성, 사용성, 시공성에 맞는 형상시스템 최종안 결정
- 4) 통합 구조설계 지침(안) 개발
 - 가설 형상시스템 및 부재 접합상세를 시공성, 제작성, 경제성 및 구조성능을 검토하여 개발하고, 실무에 적용하기 위한 통합 구조설계 지침(안) 개발

2. 가설시스템 구조성능 평가

- 1) 정적하중에 대한 구조성능 평가
 - 부재 및 형상시스템의 구조해석 및 모델보완 분석
 - 제작에 필요한 부재성능실험 및 검증
 - 인장 및 압축 정적하중을 고려한 입체트러스 형상 및 접합부 성능 실험
- 2) 현장 적용 및 모니터링
 - 가설시스템의 모의 시운전을 통한 시공성, 안전성, 작업성 등 기술적 보완사항 검토
 - 대상 프로젝트 발굴 및 현장적용 기술 모니터링

3. 건설 가설시스템 시공 프로세스 개발 및 현장 적용

- 1) 가설시스템 현장 시공방법(제작, 운반, 조립, 해체, 시공) 및 기존 대비 경제성 분석
 - 건설 가설시스템의 부재제작용 소재인 고강도강(UL700)을 적용함에 따른 기존 방식 대비 경제성 분석
 - 기존 방식 대비 시공 프로세스측면의 제작/운반/설치/해체를 포괄하는 종합적인 시공성 및 경제성 분석
- 2) 통합 시공 시방(안) 개발
 - 모의 시운전 및 현장적용 결과를 Feedback하여 건설 가설시스템에 대한 통합 시공시방(안) 개발

제2장 국내외 기술개발 현황

2.1 국내 기술 및 산업 동향

○ 터널 유지관리 장비 및 고강도 단관비계 개발 현황

- 1) 터널 유지관리를 위한 시공 장비 및 방법에 대한 연구는 미비한 실정이며 앞 장에서 언급한 바와 같이 TC 리프트, 유압식 작업대, 비계 가새 조립식 작업대 등을 이용하고 있는 실정이다. 가설시스템의 소재에 있어서는 일본의 경우 고강도 단관비계인 ‘슈퍼라이트700(SL700)’을 2000년대 중반에 개발하여 기존 대비 두께를 약 20% 줄임으로써 경량화를 실현하였다.
- 2) 국내의 경우 포스코, (재)포항산업과학연구원, 강관 제조사(미주제강, 금강공업, 진방스틸, 중앙파이프)가 ‘고강도 가설재 전문위원회’를 구성하여 SL700을 벤치마킹하여 UL700(Ultra Light 700)을 공동 개발하였으며 2009년 1월부터 ‘산업안전보건법 제35조’ 개정으로 성능검정제가 ‘자율안전확인신고제’로 변경되면서 국내 건설현장에서 사용되는 가설재의 경량화가 가능해졌다.
- 3) UL700은 두께가 1.8mm에 불과한 박물재에 인장강도를 700MPa 이상으로 유지, 기존 단관비계(두께2.3mm, 500MPa급)보다 중량을 25%줄이고 인장강도를 40% 높이면서 굽힘강도는 29%나 향상시켰으며 일본 제품과 동등한 성능을 구현했다(표 3. 참조).

표 3. 제품 비교

구분	기존제품	신제품		비고
		국산제품	일본제품	
▪ 품명	STK500	UL-700	Super Light 700	
▪ 외경×두께	48.6×2.3	48.6×1.8	좌동	25% 경량화
▪ 인장강도	N/mm ²	500이상	700이상	40% 증가
	Kgf/mm ²	51이상	71.5이상	
▪ 굽힘강도(kg)	564	728	좌동	29% 증가
▪ 단위중량(kg/m)	2.63	2.08	좌동	25% 경량화
▪ 제품중량(kg/6m)	15.8	12.5	좌동	
▪ 제품 Type	HGI 파이프	좌동	좌동	

- 4) 특히 소재의 초경량화로 건설현장에서 가장 큰 이슈였던 작업자들의 노동 강도를 경감시켜 ‘작업 효율성’을 대폭 개선했으며, 운송비용과 시간 단축으로 ‘경제성’ 역시 높였다. 이처럼 중량 감소에 따른 원가절감 효과와 함께, 고강도 강관이기 때문에 찌그러짐이나 구

부림에 강해 작업 손실률이 대폭 개선되고 안전사고 예방 효과도 거둘 것으로 기대된다.

- 5) 포스코 UL700은 한국건설가설협회로 안전인증을 획득, 2010년 5월 산업안전보건공단에 안전확인 인증을 득하였고, 초경량 고강도 단관비계 UL700 상용화의 제도적 기반을 마련하였다. 현재 포스코와 강관업계는 두께 1.8mm에 단위면적당 최고 71.5kg의 하중을 견딜 수 있는 UL700을 상용화 수준으로 판단하고 있으나, 이를 적용할 수 있는 새로운 제품개발을 통하여 건설현장 보급 확대 및 실용화가 필요한 시점임을 인식하고 있다.

○ 초경량 고강도 강관비계 UL700 (Ultra Light 700)의 입체트러스 시스템 시제품 적용성

- 1) 본 연구에서는 터널 가설공사 전용 입체트러스 시스템의 경우 다양한 터널 크기에 적용 가능하면서 운반비와 시공성을 향상시키고자 초경량 고강도 단관비계 UL700을 적용하기로 하였다. 이를 위해 1차년도에 결정된 가설시스템 형상인 ALT10, 20, 30을 대상으로 기존 소재인 STK500과 UL700을 사용할 경우 각각에 대해 부재 사이즈를 해석/설계를 수행하였으며 전체 물량 절감 효과를 비교 평가하였다 (3.2절 Activity A17 참조). 그 결과 UL700 사용시 기존대비 약 39%~44%의 물량 절감 효과가 있다는 것을 알 수 있었다.
- 2) 2차년도 연구에서는 1차년도에 결정된 가설시스템 형상을 트러스 형상에서 단일강관으로 변경하였으며 모퉁이 부분을 곡선형에서 직선형으로 최종 변경하였다 (3.2절 Activity B21 참조). 가설시스템의 최종 형상 결정 후 해석 및 설계를 수행하였다. 활하중에 의한 허용처짐을 L/180, 총 사용하중에 의한 허용처짐을 L/240으로 제한하여 해석/설계를 수행하였으며 일반 강도의 강관(인장강도 400MPa급)을 사용하여 단면크기를 216.3x7.6t (하중비=0.8)로 최종 결정하였다 (3.2절 Activity B15 참조).
- 3) UL700을 사용할 경우 기존 강관 대비 강도는 약 두배 정도 커짐으로써 강관 두께를 최대 40%까지 줄일 수 있으나, 줄어든 단면으로 인해 처짐량이 약 1.8배 증가하였다. 이 경우 앞에서 언급한 활하중, 총하중에 대한 허용처짐을 모두 초과하였으므로 고강도 강관의 장점인 물량 감소 효과가 줄어들 수밖에 없었다. 또한, 상대적으로 사용성 보다는 강도가 지배하는 수직 부재의 경우에도 상대적으로 적은 물량(약 4톤)으로 인해 소재 공급 및 제작이 용이하지 않아 최종 설계에 반영하지 못하였다. 따라서 최종 형상 및 시제품은 기존 인장강도 400MPa급 강재를 사용하여 단일 강관을 갖는 ‘’형태의 입체프레임으로 설계/제작되었다 (3.2절 Activity B21 참조).

○ 국내 가설재 시장 현황

- 1) 국내 가설재 시장은 건설용과 기타 산업용으로 구성되며 (안) 마크가 요구되는 건설용 시장과 조선용 및 송전탑보수 등의 기타 비계로 이루어진다. 유통구조는 그림 6과 같다.

- 2) 가설재 수요시장은 주택건설 뿐만 아니라 공공건물은 물론 각종 토목공사에도 이용되고 있어, 잠재수요가 있으며, 신도시개발, 대규모 토목공사 등 사회간접시설 확충사업이 주요 목표시장이 되며 대형건설업체에서 단종업체에 이르기까지 수요가 다양하다. 가설재시장은 건설 경기에 따라 유동적이므로 임대 시장이 주를 이루며 시장현황과 특징 및 고객의 Needs는 표 4와 같다.
- 3) 가설재를 생산하는 국내 주요업체(2008년 기준)는 표 5와 같다.
- 4) 국내연구 인프라 수준은 표 6과 같다. 과거의 박리다매형의 판매위주에서, 지속가능한 사업확장을 위해서는 기술 우선확보가 사업의 성패를 좌우한다는 가설재 시장의 인식제고로 인하여 기술이전과 관련된 인프라는 선진국대비 우월한 수준이나, 연구시설 및 설비, 기초 인력과 같은 기술개발과 관련된 인프라는 아직 선진국 대비 부족한 현실이다.
- 5) 국내 전문가 및 연구기관 현황은 표 7과 같다. 전문가 그룹이 활성화 되지 않고 있으나, 학계, 연구소, 업체를 중심으로 전문가집단이 형성되고 있는 상황이다. 기술수준은 선진국 대비 60~80% 수준에 머물러 있어, 지속가능한 사업권 확보 및 해외로 까지 사업영역 확장을 위해서는 기술개발과 관련된 투자가 시급한 상황이다.

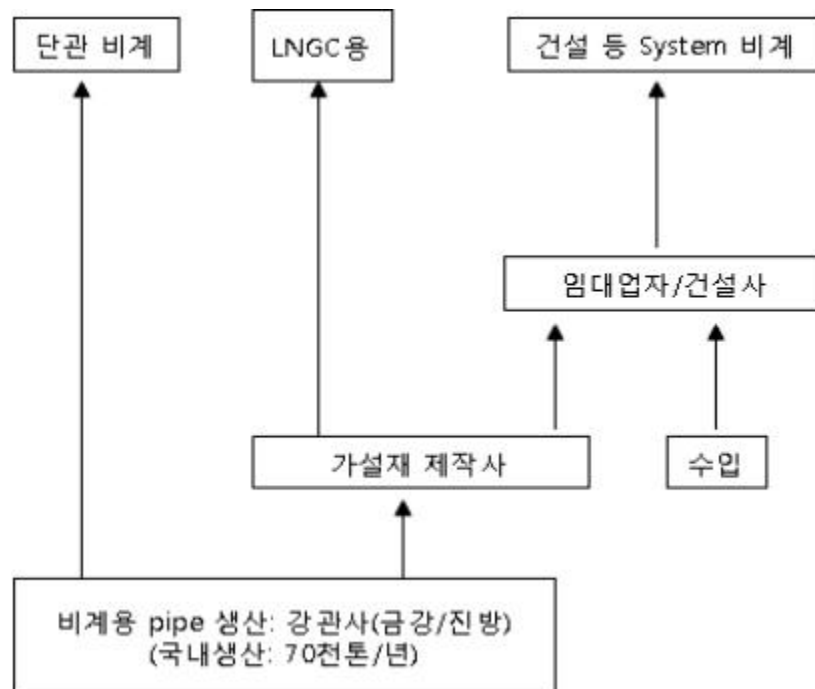


그림 6. 국내 가설재 시장 유통구조

표 4. 국내 가설재 시장 수요개발 현황

구 분	건설용 단관비계
▪ 시장규모	70천톤/년
▪ Supply chain	설계사-건설사-외주사-가설재임대사업자-비계제작사-강관사
▪ 주요 규제	산업안전관리공단(안) 승인 → 인증제
▪ 설계 컨셉	부재 배치
▪ 주 VOC	가격/시공성
▪ 접근방법	고강도화를 통한 경량화(21% 경량화, 10% 가격절감 목표)
▪ 수요개발 필요활동	강관사 협력을 통한 시제품 생산

표 5. 국내 주요 관련 업체 (2008 기준, 단위 억원)

업체명	매출액	생산품목
▪ 세아제강	9,589	단관비계
▪ 금강공업	2,144	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ 진방스틸코리아	942	단관비계
▪ 삼목정공	926	거푸집류
▪ 덕일토건	305	거푸집류
▪ 동성진흥	288	통로용 작업발판
▪ 세흥화학공업	244	수직보호망
▪ 세움	239	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ 로성산업개발	231	거푸집류
▪ 금강도카	207	시스템 거푸집

표 6. 국내 연구 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
건설 가설공사용 임체트러스 시스템	연구시설 및 설비		○			
	기초인력		○			
	산업기술인력			○		
	산학연공동연구기반			○		
	정보화		○			
	신뢰성평가		○			
	표준화기반			○		
	기술이전				○	
	국제기술협력기반		○			

표 7. 전문가 및 연구기관 현황

전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외 대비)
김호수	청주대학교	- 가설 구성재 기술 - 시스템 가설재 평가기술	60%
임남기	동명대학교	- 가설시공기술 개발	60%
이학기	동아대학교	- 가설기자재 관리 기술	70%
이인모	고려대학교	- 터널 구조기술	70%
최항석	고려대학교	- 터널 시공기술	80%
김춘호	중부대학교	- 가설공사 시공기술	70%
엄석호	삼목정공(주)	- 가설재 제조 기술	70%
이교선	한국건설기술연구원	- 가설재 안전성 평가 기술	80%
홍기철	한국안전전문기관협회	- 가설공사 시공 안전성 기술	80%
김경화	가설재연구소장	- 가설공사 시공 안전성 기술	80%
이동규	세종대학교	- 건설 및 조선용 단관비계 기술 - 가설재용 실험평가기술	70%
김도환	(재)포항산업과학연구원	- 가설재용 실험평가기술	70%
유진오	(주)유진구조이앤씨	- 가설재 구조설계 및 CAD 기술	70%
김춘식	(주)금강공업	- 가설재 설계 기술 - 가설 시스템 제작 및 시제품 생산기술	70%
양승철	(주)포스코	- 가설재 소재기술	80%
고광호	(주)포스코	- 강건재 활용기술	80%
박순전	롯데건설(주)	- 잠실롯데슈퍼타워(123층, 555m) 구조 담당	70%
전봉수	(주)전우구조 건축사사무소	- 가설재 시스템/부재 해석기술	70%
김기영	(주)스페이스엔솔라	- 입체트러스 설계 및 제작기술	70%
정환철	(주)동성중공업	- 가설 무빙 웰터 개발	80%
이찬세	국토해양부	- 가설공사 표준화	70%

2.2 국외 기술 및 산업 동향

○ 일본 가설재 기술 및 가설시장 현황

- 1) 일본의 신규제품은 경량화 및 시스템화로 경쟁력을 보유한 상태에서 시장에 진입 중이다(표 8. 참조). 참고로 일본의 선도 업체인 중앙빌드의 경우 고강도강을 활용하여 건설용 비계 시장으로 진입할 계획이 있는 것으로 파악되었다.

표 8. 고강도 비계의 경쟁력(일본)

구 분	일반제품	고강도제품	비 고
▪ 외경×두께(mm)	φ48.6×2.4t	φ48.6×1.8t	25% 감소
▪ 인장강도(MPa)	500이상	700이상	40% 증가
▪ φ48.6×4M에 대한 중량	10.9	8.32	25% 감소
▪ 강종	STK490, STK500	SL-70	
▪ 판매가격(4M 기준)	1,420엔/본	1,280엔/본	10% 저가
▪ 판매가격(톤당)	130,000엔/톤	154,000엔/톤	18% 고가

- 2) 현재 일본의 비계 및 가설재 시장은 제품의 30년 이상의 내구성 특성상 시장 공급 포화 상태로서 신규 제작물량은 건설 경기에 따라 변동적이다(표 9. 참조).

표 9. 일본 가설시장 현황

항 목		내 용	비 고
▪ 시장규모	가설재 전체	약 5,000억엔/년	산업신문 출처
	강관비계	약 2,000억엔/년(=약 10만톤/년) *거품경제 시절 재고 과도로 생산량 적음	
	Super Light	약 15%(15천톤/년) 수준 (대화강관 '07년 생산목표 30천톤)	주로 단관비계로 판매
▪ 시장현황	수입 규모	일본 내 80% 한국산 20%(현대, 세아제강) 중국산: 저품질로 극소 규모	도금비용 - 한국산 1.5만원/톤 - 일본산 3만원/톤
	제품 종류	미국형 구식비계(BT, 문형 비계) → 신형 유럽형 시스템 비계 (경량 강점 및 성능 우세로 대체 중)	단위 면적당 중량 우세로 운송비 등 경쟁력 보유
	소재	일반비계: STK490~540 Super Light 700: SL-70	
	유통	1) 강관사 → 비계제작사 → 임대사업자 → 현장임대 2) 강관사 → 유통사 → 홈센터 → 개인(단관비계) 3) 강관사 → 유통사 → 홈센터 → 건설사	주력사(80%) 소규모(20%)
▪ 업계순위	강관사(비계시장)	마루이치(대), 대화강관(소), 일철강관(소)	후도금(70%) HGI(30%: 고가)
	비계제작사	중앙빌드, 호리, 니소산교, 스미모토, 가와사키	http://www.chuo-build.co.jp
	임대사	니켄리스, SRG다카메야(오사카), 스기코(관동)	
▪ 인증법규	시장별 차등	건설, 토목용은 기준 강함(노동안전위에서 인증)	

○ 해외(일본 포함) 가설시장 현황

- 1) 건설 및 조선용 가설재를 생산하는 해외 주요업체(2008년 기준)는 표 10과 같다. 업체는 주로 유럽, 북미지역을 거점으로 전문적인 기술을 가지고 활동하고 있음을 알 수 있다.

표 10. 해외 주요 관련 업체 (2008 기준, 단위 억원)

업체명	지역	생산품목
▪ PERI	유럽	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ DOKA	유럽	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ MEVA	유럽	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ ALUMA	북미	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ EFCO	북미	비계, 서포트, 거푸집 등
▪ UNIVERCIAL	북미	단관비계, 서포트류
▪ ALUFORT	북미	단관비계, 서포트류
▪ STVA	북미	단관비계, 서포트류

2) 건설용 가설재에 대한 지역별, 국가별 시장규모(2007년, 2009년 기준, 자료출처 Global Insight)는 표 11, 12와 같다. 최근 2004년에서 2009년까지 가장 큰 성장률 8.5%를 보이고 있는 중국지역의 건설시장 활성화로 인하여 아시아 시장이 수요가 가장 큰 지역으로 급부상하였고, 전통적으로 강세인 유럽 및 북유럽시장이 기술력이 우수한 업체를 공급원으로 하여 형성되고 있음을 알 수 있다. 2009년 현재 한국은 세계 10위권의 가설시장을 확보하고 있다.

표 11. 지역별 가설재 시장 규모

지역	건설시장 규모 (억달러)	
	‘04	‘07
▪ 아시아	11,135	13,072
▪ 유럽	10,166	11,740
▪ 북미	8,845	9,877
▪ 중남미	2,414	2,170
▪ 중동	1,012	1,155
▪ 아프리카	561	708
계	34,133	38,722

표 12. 국가별 가설재 시장 규모

순위	국가	국가별 시장규모(억달러)			연평균 성장률 (‘04~‘09, %)
		‘04	‘07	‘09	
1	미국	8,891	9,416	10,728	3.8
2	일본	6,721	6,794	7,505	2.2
3	중국	4,040	4,783	6,072	8.5
4	독일	2,871	2,913	3,275	2.7
5	이태리	1,510	1,566	1,769	3.2
6	프랑스	1,425	1,504	1,660	3.1
7	영국	1,338	1,449	1,697	4.9
8	브라질	1,028	1,191	1,511	8.0
9	캐나다	986	1,089	1,214	4.2
10	스페인	942	1,023	1,188	4.8
11	한국	895	1,013	1,213	6.3
12	멕시코	644	716	862	6.0
13	호주	640	706	840	5.6
14	인도	493	595	777	9.5
15	홍콩	453	516	638	7.1

2.3 종합결론

○ SWOT 분석

국내외 기술 및 산업동향으로 살펴본 결과를 정리하면 표 13과 같다.

표 13. SWOT 분석

Strong	Weak
▪ 세계 최고 가설재용 고성능 소재기술 구축 및 활용 역량 ▪ 세계적 수준의 초고층건설(버즈 칼리파, 828m; 롯데슈퍼타워, 555m)로 인한 가설재 제작 및 시공 경험 ▪ 건설 가설산업 경험인력 Infra 및 관련기술 Line-up 수준(고강도 구조재료, 첨단 가설장비 등)	▪ 고부가가치/고도화된 사업수행 경험 및 역량부족(Design-Build 등) ▪ 가설시스템화 및 다분야 통합관리 역량 / 경험 부족 ▪ 영세 가설업체 위주로 전문인력 확보로 전문성 개발 의지 부진 ▪ 해외 저가 가설제품(중국산)의 국내유입 및 사용 ▪ Global 건설 환경에서의 적합한 가설공사 관련 제도/교육체계 미흡(발주방식, 언어능력)
Opportunity	Threat
▪ 지자체/정부의 가설공사(터널 등 국가기간시설물) 효율성 부각 및 비용절감 요구에 의해 제작 및 시공이 간편한 가설 시스템의 필요성 증대 ▪ 관련 Infra 요소기술개발에 의해 가설공사 사업성 개선 ▪ Red Ocean 산업화 흐름에 대한 대안으로서 신기술 개발 및 경쟁력 강화 요구 증대 (Blue Ocean화 추진)	▪ 후발국가(중국 등)의 저노임 및 경험 인프라를 바탕으로 가설재 시장 진출 및 추월 ▪ 자국 우대의 폐쇄적 경쟁 체제/제도에 따른 Global 가설시장 진입 장벽 ▪ 건설경기의 변동에 따른 가설재시장 수요 변동 위험

- 대상기술: 터널 가설공사 전용 가설시스템
- 타겟 PJ: 터널 가설공사 PJ를 시작으로, 전방위 대형 건축물/조선용으로 확대 적용

○ BRM 분석



그림 7. 건설용 가설시스템 연구 BRM

○ 시사점 및 결론

세계시장	국내시장
▪ 건설/SOC 공사 수요가 많은 개발도상국인 중국 및 중동, 아시아 지역의 가설재시장 활성화 전망 ▪ 선진국(북미, 일본, 유럽)의 지속적 시장 형성 → 진출 어려움 ▪ 선진국과의 경쟁을 위해서는 World Best 기술이 필요한 시점 → 터널공사용 고강도강입체트러스 가설시스템의 보급을 시작으로 전방위 건설/조선용 가설공사로 확대 전략	▪ 국토 개발 완성기에 진입하여 기간시설인 터널(국내 약 800개 이상)의 신규발주 감소 및 유지관리/보수공사 증대 ▪ 정부/시/도/지자체에서 예산절감 VOC로 인한 터널의 유지관리/보수보강을 위한 최적공사 시스템 필요성 증대로 본 제안기술의 상용화 및 보급 확대 예상됨 ▪ 터널가설공사의 시공사에서 자체구입으로 인한 입찰경쟁력 강화 예상: 국내에서는 기술력경쟁 체제 돌입 → 공사품질 증대, 해외공사수주 촉진 기대 ▪ 가설재시장에 핵심 기술력 확보로 인한 건설경기 의존성 탈피 및 중소기업체 자생력 확보 기대



제3장 연구개발수행 내용 및 결과

3.1 연구개발 결과 요약

구분	연 차	기관	연구 내용	연구 결과
공동 1 과제	1차 년도	동성중공업	▪ 가설시스템 부재제작을 위한 접합부 현황조사	▪ 원형강관으로 이루어진 트러스 볼트 접합부, 각형강관 철골접합부 등 기존 트러스 접합부 특허현황 조사
			▪ STK500, UL700부재 제작기술 비교 분석	▪ 가설재 한 틀의 물량만을 비교했을 경우 UL700 사용시 기존 STK500보다 약 20.7%의 물량 감소 ▪ 강재가격 및 제작비용 고려할 경우 UL700 적용시 약 10% 제작비용 절감 가능 ▪ UL700 용접봉으로는 AWS A5.29 E81T1-Ni1C를 추천 ▪ UL700의 절단/가공 특성은 기존 강재와 유사함
			▪ 부재분할 및 현장운반 기술분석	▪ 효율적인 현장 운반성 확보방안, 도로 및 터널 운반 규정을 고려한 부재 분할 방법, 조립 부재의 운반 차량 탑재 방법 등을 고려한 부재 제작 및 시공기술 프로세스 연구
	2차년 도	동성중공업	▪ 입체트러스 현장 설치/조립/해체 방법 개발	▪ 사진 현장 답사를 통해 운반부재 최소화 및 현장 조립 최소화 필요하며 운반시 구동부 높이를 감안하여 저상 트레일러를 사용 ▪ 현장 조립/설치를 위해서는 폭 6m x 길이 약 22~30m의 작업공간이 필요함 ▪ 조립은 지상에서 상부구조 조립후 양중하여 구동부에 연결하는 것이 바람직하나 현장 작업공간의 구배가 평탄치 않을 경우 수평주부재 구동부 조립→명에부재 양중후 조립→비계설치 순으로 시행하는 것이 바람직함 ▪ 해체 및 상차는 조립의 역순으로 시행
			▪ 현장적용 시공기술 및 장비지원	▪ 현장 적용전에 사전작업으로 날씨 및 해당 지역 관공서에 사전 양해 및 협조 요청 공문을 발송함 ▪ 현장 적용시 필요한 장비 목록: 저상 트레일러, 25톤 이상급 크레인, 고소 작업용 사다리 및 비계, 전동 렌치 및 기타(발전기, 교통 통제 장비 등)
			▪ 가설시스템의 시공시방(안) 개발	▪ 시공시방(안)은 일반사항, shop dwg, 철골 제작공사, 구동장치 제작공사, 설치, 기타 등으로 이루어져 있음 ▪ 자세한 내용은 별첨 참조
		RIST	▪ 기존 대비 현장 시공성 및 경제성 분석	▪ 상행선 2차선 (길이 1.8 km, 측방여유폭 없음, 중간슬래브 있음) 및 하행선 2차선 (길이 1.8 km, 측방여유폭 없음, 중간슬래브 있음) 터널을 대상으로 기존 방식과 새로운 가설시스템 방식에 대한 경제성 평가를 수행함 ▪ 균열조사(15일) 및 균열보수(60일) 공사에 대해 각각 공사비용을 산정한 결과 가설시스템 방식이 기존 방식 대비 각각 35%, 67% 공사비 절감가능함 ▪ 가설시스템을 사용할 경우 공기가 길어질수록 더욱 경제적이며 야간작업이 아닌 주간작업이 이루어지므로 작업의 효율성이 뛰어나며 차량통행을 허용함으로써 운전자 및 보행자의 편의성이 더욱 뛰어날 것으로 여겨짐

구분	연 차	기관	연구 내용	연구 결과
공동 2 과제	1차년 도	RIST	터널설계기준/제원분석	- 터널 설계기준 분석 및 형상, 크기, 용도에 따른 제원 도출 - 터널 가설공사 유형, 빈도, 공사조건, 장비, 인력투입 분석 및 현행 문제점, 개선기회, 비즈니스케이스 등 분석
			대상터널 선정	- 분석자료를 기반으로 상용화 대상터널 선정 (2, 3, 4차선 도로 도심지 터널을 대상으로 결정) - 시스템 설계방법: 4차선 도로터널 기준으로 설계하여 2, 3차선에도 시스템 변경 없이 적용가능 하도록 결정
			고객사 대상 기술홍보	- 대상: 한국도로공사, 도담이앤씨 - 목적: 터널규격 자문 및 제안기술 소개, 터널설계 기술 지원활동 - 성과: 본 기술의 터널 유지관리 적용에 대한 타당성 협의 및 터널 설계 정보 입수
			터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석	- 터널 내부 이동이 가능한 가설구조물 모델 도출 - 환풍기와 도로표지판 간섭 없는 가설구조물 모델 도출 - 조립 및 해체가 용이한 가설구조물 모델 도출 - 구조부재의 연결장치 및 이의 효율적인 시공법 개발 - 기술트리 방법론에 의한 터널 가설구조물 초안/대안 적합성 분석
	2차년 도	RIST	UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 접합부 구조성능 실험 및 성능검증	- 기존 소재와 UL700 소재 간의 성능평가를 위해 시스템비계와 동바리를 대상으로 각각 공정별 제작성평가, 수평재, 수평재, 가새재, 연결조인트 등에 대해서 부재성능 시험 및 조립체 성능시험을 수행 - 또한 방호장치 의무안전인증 고시에 따른 조립식 안전난간 성능 시험을 수행 - 시험결과 UL700 소재를 이용한 제품은 별도의 추가설비 구축 없이 제작이 가능하며 부재 및 조립체 성능시험 결과 역시 기존 소재를 이용한 부재와 큰 차이 없이 안전인증 기준을 충족함을 확인함
			가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작	- 가설시스템 완제품 제작 및 구성제품 매뉴얼 개발 - 터널폭에 따라 길이조절이 가능한 원형강관으로 이루어진 가설시스템 상부구조물 제작 - 고정위치제어, 가변토크제어, 속도제어 등이 가능한 가설시스템 구동부 최종안 확정 및 제작 - 가설시스템 상하 높이조절용 유압잭 최종안 확정 및 제작
			Pilot test 및 모니터링	- 완성된 입체트러스 시제품에 대한 특기시방서 제작 및 터널 현장 적용을 위한 기초 자료 확보를 위해 조립/구동/해체 시뮬레이션 수행 (구)김해터널을 대상으로 터널 현장적용 Pilot test 실시함. 시뮬레이션에서 알게 된 단점을 보완하여 사전 터널 답사 및 추가 인력과 장비 확충을 통해 조립시간 75% 단축 - 조립된 입체트러스의 터널 진입로 운반시에만 차량 통제가 필요하며 진입 이후에는 양방향 통행이 가능하였으며 현장 적용 결과 입체트러스 가설시스템은 터널 유지관리에 있어서 차량통제없이 낮에 작업을 수행하므로 기존대비 뛰어난 시공성을 보임. 또한 한번 운행에 터널 양측 뿐만 아니라 중앙 윗부분까지 작업이 가능하므로 왕복 운행이 필요 없어 기존 대비 약 30% 공기 단축이 가능하다 여겨짐

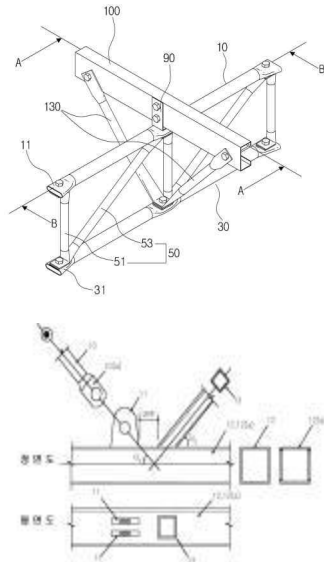
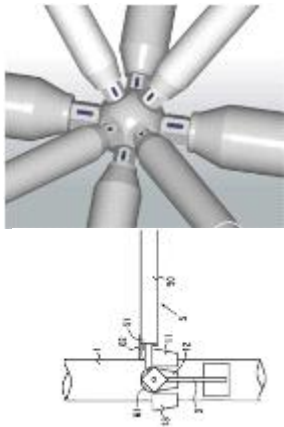
구분	연 차	기관	연구 내용	연구 결과
공동 2 과제	2차년 도	RIST	현장VOC 기술지원 및 기술보완	- AIMAC: 입체트러스의 설계 자문 및 접합부 설계 검토 자문 - 한국시설안전공단: 입체트러스 현장 적용 협의 및 차년도 터널 적용 가능성 타진 - 보배터널 현장적용 가능성 타진 및 현장 VOC수렴 - 씨엠Eng: 입체트러스 Pilot test 터널 현장 섭외 (구 김해터널) 및 추후 부산 장산터널 실적용 가능성 타진
		부산대	전체 가설시스템 프레임 구조해석	가설시스템 최종 해석모델 개발 및 전체 구조해석 수행 결과, 모두 허용기준치 이내의 조건을 만족하였고 충분히 안전함을 알 수 있음
			가설시스템 접합부 구조해석	- 입체트러스 시스템에서 취약부인 상부구조 모서리부 응력집중과 중앙부 처짐에 대한 보완 방법 수행 - 상부구조 모서리부를 스티프너를 적용하여 보강하였고 처짐양을 줄이기위해 약 1도 정도 Camber를 둠 - 상부 수평부재의 수직변위와 접합부위의 응력집중 검토 결과 모두 허용기준치 이내의 조건을 만족하였고 충분히 안전함을 알 수 있음
공동 3 과제	1차년 도	유진구조	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 형상 개발	- 일반강 및 고성능강을 적용하여 제작성, 경제성, 구조적 안전성을 고려하여 ALT-10, 20, 30 대안모델 개발 - 설계하중 결정 및 MIDAS를 이용한 구조해석 및 설계 - 각 대안모델의 총 물량 산출 및 비교 평가
			조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위 모듈 개발	ALT-10, 20, 30의 주부재, 세로부재, 가새, 손잡이 단면설계
			시스템 모델을 구성하는 1차 주요부재 접합부 상세 개발	- 트러스 부재 접합부 대안 비교 (ALT 1: 강관끼움 각도 조절 접합방식, ALT 2: 길이, 각도조절 가능 접합 방식) - 가로 주부재와 세로부재의 연결관 설계 - 수평-수직 주부재 접합부 설계
	2차년 도	RIST	길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발	다양한 터널 단면 형상에 적용 가능하도록 길이, 각도 조절이 모두 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발
		유진구조	가설시스템 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계	- 가설시스템의 트러스형상은 주로 부재의 강도보다는 처짐이 설계에 지배될 때 주로 사용하는 형상이나 제작 시 형상의 복잡성으로 인해 제작비가 상승하고 운반과 보관도 어렵다는 의견이 많아 트러스형상과 동일한 강성을 갖는 단순한 강관으로 변경함 - 상부구조의 모서리부가 곡선일 경우 위에 가설재 설치가 어려우며 유지 보수 작업이 어려운 부분이 발생할 수 있다는 가설재 회사의 의견을 받아 곡선부내를 직선형 부재로 변경하여 모퉁이 부분의 상부 가설재 설치를 원활하게 하도록 함
			전체 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계	- 시스템 폭 결정: 터널 내 차로폭과 측방여유폭을 고려하여 시스템 중심거리 12m로 결정 - 시스템 높이 결정: 건축한계선 높이 4.8m 이상, 상부 부착된 환풍기 이하의 높이를 고려하여 상하 조절이 가능한 유압실린더를 시스템에 부착하여 높이를 4m ~ 5m까지 조절할 수 있도록 설계
			2차 주요부재 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계	주부재와 명에재를 결합하는 접합부의 경우, 초기에는 회전이 가능한 클램프로 접합부를 설계하였으나 구조체 이동시 덜거덕거리는 문제가 예상되어 이음판을 이용한 볼트로 변경하여 구조체가 조금 더 일체화가 되도록 함

구분	연 차	기관	연구 내용	연구 결과
공동 3 과제	2차년 도	유진구조	가설시스템 완제품의 구성요소를 포함한 통합 구조설계 지침 개발	- 입체트러스 가설시스템의 통합 구조설계 지침(안)은 설계개요, 시스템 형상, 주요부재 설계, 접합부 설계, 상부가설재(비계), 구조물 해석 및 설계 등으로 이루어져 있음 - 자세한 내용은 별첨 참조
			가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일 및 CD구조설계	- 상부구조물에 설치되는 가설비계는 가설시스템의 보조구조물로 분류됨 - 상부 가설 비계에 대해 가설공사 표준시방서와 KBC2009를 적용하여 구조해석을 수행함 - 해석결과 모두 재료의 항복강도 미만이었으며 규준을 만족함

3.2 연구개발 주요내용

최종 목표	■ 터널 가설공사 전용 이동 및 가변형 입체트러스 가설시스템 개발 및 터널 가설공사 현장 프로젝트 적합형 실용화 기술 완성
Activities	공동1과제: 터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발 쪽
	A01 가설시스템 부재제작을 위한 접합부 현황조사 동성중공업 34
	A02 STK500, UL700부재 제작기술 비교분석 동성중공업 37
	A03 부재분할 및 현장운반 기술분석 동성중공업 40
	B04 입체트러스 현장설치/조립/해체 방법 개발 동성중공업 43
	B05 현장적용 시공기술 및 장비지원 동성중공업 49
	B06 가설시스템의 시공시방(안) 개발 동성중공업 53
	B07 기존대비 현장 시공성 및 경제성 분석 RIST 55
	공동2과제: 터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링
	A08 터널설계기준/제원분석 RIST 59
	A09 대상터널 선정 RIST 63
	A10 터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석 RIST 69
	B11 UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 접합부 구조성능 실험 및 성능검증 RIST 80
	B12 가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작 RIST 101
	B13 Pilot test 및 모니터링 RIST 108
	B14 현장VOC 기술지원 및 기술보완 RIST 115
	B15 전체 가설시스템 프레임 구조해석 부산대 122
	B16 가설시스템 접합부 구조해석 부산대 131
	공동3과제: 터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발
	A17 일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 형상 개발 유진구조 136
	A18 조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위 모듈 개발 유진구조 149
	A19 시스템 모델을 구성하는 1차 주요부재 접합부 상세 개발 유진구조 162
	A20 길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발 RIST 168
	B21 가설시스템 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 유진구조 175
	B22 전체 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계 유진구조 179
	B23 2차 주요부재 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 유진구조 185
	B24 가설시스템 완제품의 구성요소를 포함한 통합 구조설계 지침 개발 유진구조 187
	B25 가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일 및 CD구조설계 유진구조 189

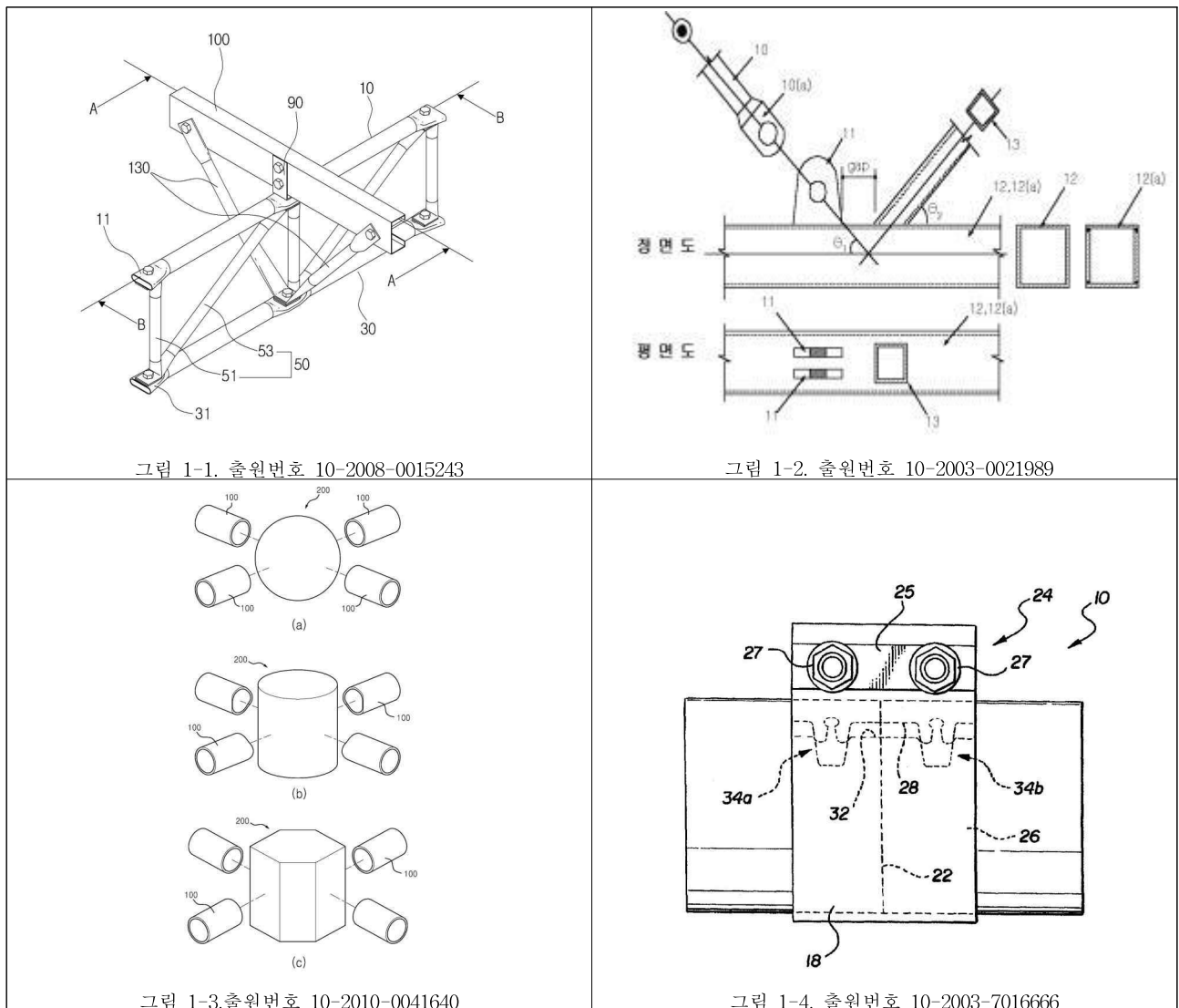
공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 부재 제작기술 개발	제작비용 및 제작시간
Activity	가설시스템 부재제작을 위한 접합부 현황조사 (A01)	
기관	동성중공업	

목적	접합부 특허 동향 조사		
단계	내용		산출물
트러스접합부 특허현황	■ 트러스 집합구조 ■ 각형강관 철골 일방향 트러스 집합부 ■ 파이프커플러		
부재접합부 대안비교	■ ALT1: 볼접합타입 ■ ALT2: 키접합타입		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

A01	가설시스템 부재제작을 위한 접합부 현황조사	
단계	트러스 접합부 특허 현황	부재접합부 대안비교

1. 트러스접합부 특허현황

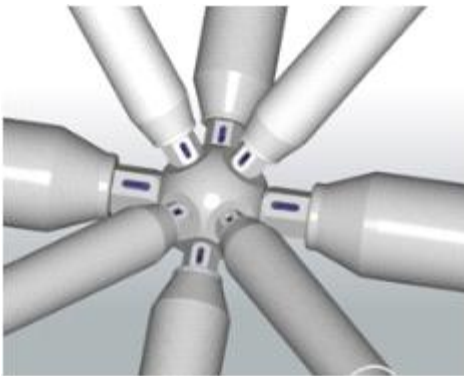
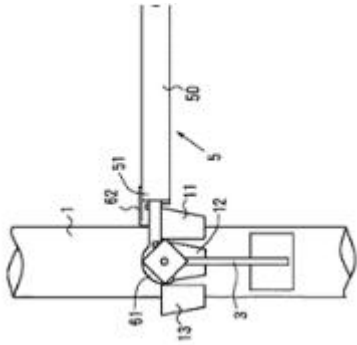
- (1) 트러스 접합구조(그림1-1) : 상현재 파이프와 하현재 파이프 사이에 경사지게 고정되는 경사재용 파이프를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 트러스 접합구조.
- (2) 각형강관 철골 일방향 트러스 접합부 (그림1-2) : 각형강관 철골 일방향 트러스 골조에서 길이방향으로 경사지게 배치되는 상현재 각형강관(12,12a)과 수평하게 배치되는 하현재 각형강관(17,17a) 사이에 다수의 압축을 받는 웨브재와 인장을 받는 웨브재가 강절점 및 핀절점을 통해 형성되는 각형강관 일방향 트러스 접합부
- (3) 트러스용 접합부 구조(그림1-3) : 복수 개의 강관과, 상기 강관들이 모이는 위치에 구비되어 상기 각 강관의 단부와 상호 결합
- (4) 파이프 커플러(그림1-4) : 맞대기 이음으로 두개의 파이프를 이음하는 사용하기 위한 커플러



A01	가설시스템 부재제작을 위한 접합부 현황조사	
단계	트러스 접합부 특허 현황	부재접합부 대안비교

1. 부재 접합부 대안비교

표 1-1. 대안 비교

대안	ALT1	ALT2
특징	볼접합타입	키접합타입
개념도		
Node	볼타입	키입
장단점	-장점 : 대각선 방향으로 부재설치 가능 -단점 : 가격이 키접합에 비해서 비싸다	-장점 : 볼접합에 비해서 가격 경쟁력 보유 -단점 : 대각선 방향으로 부재 설치 불가

2. 부재 적용 강종별 물량비교

표 1-2. 대안 비교

구분		STK500	UL-700
부재사이즈		ϕ -48.6x2.3	ϕ -48.6x1.8
인장강도	(N/mm ²)	500이상	700이상
	(Kgf/mm ²)	51이상	71.5이상
굽힘강도(kg)		564	728
단위중량(kg/m)		2.63	2.08
물량(kg/틀)		299	237

※ 위 표의 물량은 메인프레임의 한 틀의 물량만 산출된 것으로 길이방향 부재, 발판, 접합부는 미산출.
(소부재율을 20%로 하여 산출)

- (1) 한 틀의 물량만을 비교했을 경우, 약 20.7% 정도의 물량이 감소하는 것으로 나타남.
- (2) 본 연구에서 진행하고 있는 가설트러스 시스템이 개발될 경우, 길이방향 부재와 여러 개의 메인 틀이 형성되므로 더 많은 물량감소효과가 있을 것으로 사료됨.

공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 부재 제작기술 개발	제작비용 및 제작시간
Activity	STK500, UL700부재 제작기술 비교분석 (A02)	
기관	동성중공업	

목적	가설시스템 부재 공장제작 방법 개발		
단계	내용		산출물
부재제작 설비 현황	■ 철골제작 설비활용 ■ 설비 현황 조사		
고강도강재를 적용 한 부재의 운반성 및 경제성 분석	■ 기존 STK500 단관비계 및 고강도강재 UL700 단관비계의 운반성, 경제성 비교 분석		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

A02	STK500, UL700부재 제작기술 비교분석	
단계	부재제작 설비 현황	고강도강재를 적용한 부재의 운반성 및 경제성 분석

1. 부재제작 : 철판제작 설비 활용



그림 2-1. 성주공장 LAYOUT



그림 2-2. 의령공장 LAYOUT



그림 2-3. 부재제작시스템

A02	STK500, UL700부재 제작기술 비교분석	
단계	부재제작 설비 현황	고강도강재를 적용한 부재의 운반성 및 경제성 분석

1. 고강도강재를 적용한 부재의 운반성 및 경제성 분석



그림 2-4. 부재운반성 및 경제성 분석

공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 부재 제작기술 개발	제작비용 및 제작시간
Activity	부재분할 및 현장운반 기술분석 (A03)	
기관	동성중공업	

목적	현장운반을 위한 부재분할 방법 개발		
단계	내용		산출물
터널현황조사	■ 전국터널현황 ■ 기존의 터널유지보수 시스템		
현장운반 방법 개발을 위한 자료수집	■ 도로 및 터널 운반 규정을 고려한 부재 분할 방법 ■ 조립부재의 운반 차량 탑재 방법		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

A03	부재분할 및 현장운반 기술분석	
단계	터널현황조사	현장운반 방법 개발을 위한 자료수집

1. 터널현황 자료



그림 3-1. 전국터널현황

※출처 : 국토해양부 『도로교량및터널현황조사』

2. 기존의 터널유지보수 시스템

- 기존의 유지보수 시스템은 차량통제로 인해 시민들이 불편을 겪어야 함.



그림 3-2. 터널청소기



그림 3-3. 팔당터널 점검작업

- 터널청소기(그림3-2) : 터널 내벽에 고착된 매연 및 오염물질을 브러쉬를 회전시키면서 물을 분사하는 방식의 터널청소기를 이용하여 세척

- 주요 제원 및 성능

- 브러쉬 직경/길이 : 1,000mm / 1,600mm
- 최대작업높이 : 7,065mm
- 작업속도 : 1~2 km/hr

A03	부재분할 및 현장운반 기술분석	
단계	터널현황조사	현장운반 방법 개발을 위한 자료수집

1. 현장 운반 방법 개발

- (1) 도로 및 터널 운반 규정을 고려한 부재 분할 방법
- (2) 조립 부재의 운반 차량 탑재 방법

2. 현황조사 및 자료수집 계획

- (1) 안전점검 및 정밀안전진단을 수행하는데 필요한 인원, 장비 및 기기의 결정
- (2) 안전점검 및 정밀안전진단 기간과 소요 작업시간의 예측
- (3) 타 기관 또는 주민과의 협조관계

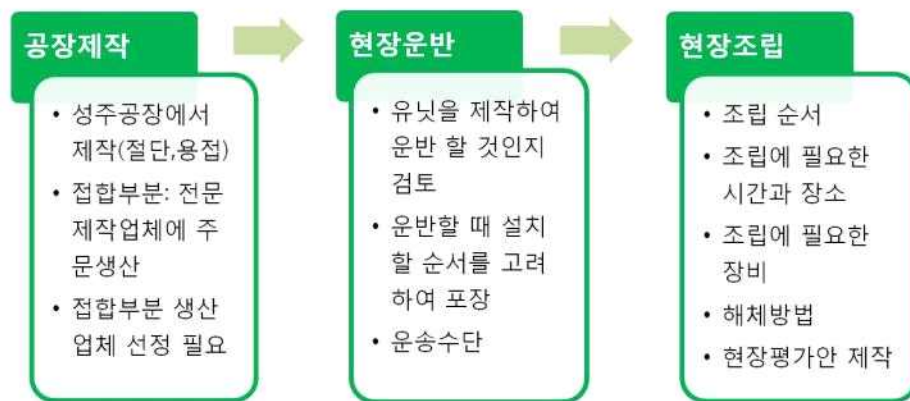
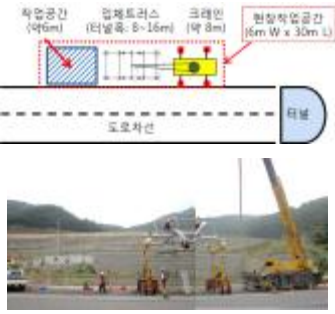


그림 3-4. 부재 제작 및 시공기술 프로세스

공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 시공 및 현장적용 기술 개발	시공성 경제성 평가
Activity	입체트러스 현장설치/조립/해체 방법 개발 (B04)	
기관	동성중공업 & RIST	

목적	입체트러스 현장 운반/설치/조립/해체 방법 개발		
단계	내용		산출물
가설시스템 현장 운반 방법	■ 가설시스템 부재의 운반 방법 - 현장 사진 답사를 통해 터널 크기 (폭, 높이 등) 측정 및 작업 공간 확보 ■ 부재의 하차 및 적재방법 검토 - 운반 중에 처짐이나 진동이 나타날 것으로 생각되는 긴 단위부재는 부재 사이를 브레이스나 트러스로 견고히 지지한다. - 하차시 구동부 하부철골프레임 앞 바퀴를 들어서 이동시켜야 한다.		
가설시스템 현장 조립/설치 방법	■ 가설시스템 부재의 조립 방법 - 그림 4-3 참조 혹은 - 구동부 터널폭에 맞게 벌려서 배치 → 주부재 구동부 연결 → 멍에부재 양중후 조립 → 비계 설치 ■ 가설시스템의 현장설치 - 그림 4-4 참조		
가설시스템 현장 해체/상차 방법	■ 가설시스템 부재의 해체 방법 - 부재의 해체는 그림 4-3의 역순으로 시행한다. ■ 가설시스템 부재의 상차 방법 - 상차의 경우도 현장 운반할 때와 마찬가지로 구동부 상차, 상부구조물 상차 순으로 시행한다. - 가설시스템의 해체 및 상차 과정을 그림 4-5에 나타내었다.		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

B04	입체트러스 현장설치/조립/해체 방법 개발		
단계	가설시스템 현장 운반 방법	가설시스템 현장 조립/설치 방법	가설시스템 해체/상차 방법

1. 가설시스템 현장 운반 방법

(1) 가설시스템 부재의 운반 방법

- 현장 사전 답사를 통해 터널 크기 (폭, 높이 등) 측정 및 작업 공간 확보
- 터널 크기에 맞게 입체트러스 길이조절 부재 선정 및 사전 조립 (수평주부재-길이조절부재) 및 비계 설치 높이 및 폭 계획
- 현장에서 필요한 부재 선정 및 상차
- 운반시 주의점:
 - 공장으로부터 현장 조립순서에 맞추어 상차 및 운반한다.
 - 운송 속도를 조절하여 프레임과 구동장치에 파손이 없도록 한다.
 - 이동할 도로 최대 폭과 높이를 확인하여야 한다.
- 상차후의 모습을 그림 4-1에 나타내었다.
 - 구동부의 높이를 고려 저장 트레일러를 이용하여 운반한다.



<그림 4-1 구동부 및 상부구조물 상차 예>

(2) 부재의 하차 및 적재방법 검토

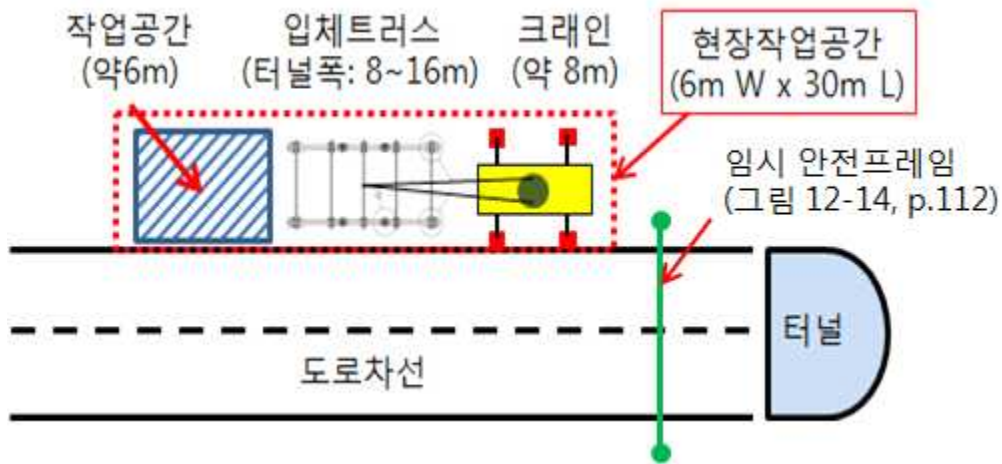
- 운반 중에 처짐이나 진동이 나타날 것으로 생각되는 긴 단위부재는 부재 사이를 브레이스나 트러스로 견고히 지지한다.
- 하차시 구동부 하부철골프레임 앞바퀴를 들어서 이동시켜야 한다.
- 하차시 현장에서의 장비 등을 고려한 작업공간 배치도를 그림 4-2에 나타내었다. 여기서, 양중을 위한 크레인 은 터널입구와 가장 가까운 곳에 배치시키며, 입체트러스는 크레인 앞, 그리고 기타 부품 및 작업공간 순으로 배치한다. 최소 작업공간의 폭은 약 6m가 필요하며 길이는 터널폭(차선수)에 따라 도로변 방향으로 약 22m ~ 30m의 길이가 필요하다.
- 터널 입구에 가설시스템 조립/해체를 위한 작업공간 부족시 차량통제 하에 1-2개 차선을 통제하여 작업 공간으로 사용하며 2시간안에 신속히 작업하도록 한다. 이를 위해 차량통행이 적은 야간에 시행하도록 한다.

B04	입체트러스 현장설치/조립/해체 방법 개발		
단계	가설시스템 현장 운반 방법	가설시스템 현장 조립/설치 방법	가설시스템 현장 해체/상차 방법

1. 가설시스템 현장 조립/설치 방법

(1) 가설시스템 부재의 조립 방법

- 부재의 조립은 그림 4-3에 보여진 것처럼 상부구조부재와 비계를 지상에서 조립하여 한번에 양중하여 구동부에 조립하는 것이 바람직하나, 현장 작업공간의 구배가 평탄치 않을 경우 다음의 순으로 조립한다
 - 구동부 터널 쪽에 맞게 벌려서 배치 → 주부재 구동부 연결 → 멩에부재 양중후 조립 → 비계 설치



(a) 현장 작업공간 배치도



(b) 현장 작업 예

<그림 4-2 현장 작업공간 및 장비배치 예>

(2) 가설시스템의 현장설치

- 터널 입구에 통행차량의 높이 제한을 위한 임시 안전프레임을 그림 4-2(a)에 보여진 것처럼 터널 입구에 설치한다.
- 조립된 가설시스템을 터널 입구로 운반하기 전에 양쪽 도로의 교통을 통제하여 사고가 나지 않도록 한다.

- 조립된 가설시스템은 준비된 크레인으로 한번에 양중하여 회전시켜 터널 입구 부근에 하차시킨다.
- 하차후 가설시스템은 자체 구동을 이용하여 터널 입구로 진입한다.
- 진입하기 전에 최종적으로 진입이 안전한지 (높이, 폭 등) 최종적으로 확인후 진입한다.
- 가설시스템의 조립후 터널 진입 과정을 그림 4-4에 나타내었다.



<그림 4-3 설치순서>



a. 교통통제



b. 구동부 양중



c. 구동부 도로상 하차



d. 터널 입구로 진입 (자체구동)

<그림 4-4 터널 진입 과정>

B04	입체트러스 현장설치/조립/해체 방법 개발		
단계	가설시스템 현장 운반 방법	가설시스템 현장 조립/설치 방법	가설시스템 현장 해체/상차 방법

1. 가설시스템 현장 해체/상차 방법

(1) 가설시스템 부재의 해체 방법

- 부재의 해체는 그림 4-3의 역순으로 시행한다.

(2) 가설시스템 부재의 상차 방법

- 상차의 경우도 현장 운반할 때와 마찬가지로 구동부 상차, 상부구조물 상차 순으로 시행한다.
- 가설시스템의 해체 및 상차 과정을 그림 4-5에 나타내었다.



<그림 4-5 해체 및 상차 과정>

공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발		관련 성과지표 (KPI)
	2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 시공 및 현장적용 기술 개발	시공성 및 경제성 평가
	Activity	현장적용 시공기술 및 장비지원 (B05)	
	기관	동성중공업 & RIST	

목적	현장 조립/해체 및 시공성 향상을 위한 장비지원 및 구축		
단계	내용		산출물
현장적용 시공기술	■ 적용대상 프로젝트 - 지역적인 제한사항들을 조사한다. - 지역특징과 일기 예보를 통한 날씨에 대한 사항에 대처하도록 한다. - 관계 공기관 (시청, 경찰서 등)에 사전 양해 및 협조 요청 공문 발송 한다. ■ 제작, 운반, 설치 방법 검토 - 조립/해체 시뮬레이션을 통한 제작, 운반, 설치 방법 검토		
현장적용 장비지원	■ 현장 적용시 시공성 향상을 위한 필요 장비 목록 - 저상 트레일러 - 25톤 이상급 크레인 - 고소 작업용 사다리 및 비계 - 볼트 체결/해체를 위한 전동 렌치 (M20용) - 기타: 발전기, 교통 통제 장비 등		
현장 안전확보 방안	■ 과적차량 높이 제한 - 임시 안전프레임 설치 ■ 통행 차량 속도제한 - 마네킹, 라바콘, 경광등, 공사안내 표지판 등을 이용하여 통과차량 속도 제한 ■ 가설시스템 작업중 안전확보 방안 - 작업도구 및 작업자의 추락 방지하기 위해 낙하방지망을 설치한다. ■ 안전확보 방안 검토 - 시공전후 현장 정리 및 쓰레기처리를 철저히 하도록 한다. - 설치공사에 필요한 안전사다리, 안전작업대 등을 설치하도록 한다.	 	
관련 목표 성과물	보고서 1건		

B05	현장적용 시공기술 및 장비지원		
단계	현장적용 시공기술	현장적용 장비지원	현장 안전확보 방안

1. 현장 적용 시공기술

(1) 적용대상 프로젝트

- 지역적인 제한사항들을 조사한다.
- 지역특징과 일기 예보를 통한 날씨에 대한 사항에 대처하도록 한다.
- 관계 공기관 (시청, 경찰서 등)에 사전 양해 및 협조 요청 공문 발송 한다.

(2) 제작, 운반, 설치 방법 검토

: 조립/해체 시뮬레이션을 통한 제작, 운반, 설치 방법 검토

(3) 터널 내부 작업 방법

- 터널 상부: 그림 4-6c처럼 진입한 가설시스템의 상부구조물에 설치된 가설비계발판 위에서 작업한다.
- 터널 측벽부: 측벽작업은 가설시스템의 측벽 작업용 시설(그림 12-10)을 이용하여 작업한다.



<그림 4-6 가설시스템 터널 시공모습>

B05	현장적용 시공기술 및 장비지원		
단계	현장적용 시공기술	현장적용 장비지원	현장 안전확보 방안

1. 현장 적용 장비지원

- 현장 적용시 시공성 향상을 위한 필요 장비 목록

1) 저상 트레일러 (운반용도)



2) 25톤 이상급 이동 크레인 (양중용)



3) 고소 작업용 사다리 및 비계



4) 볼트 체결/해체를 위한 전동 렌치 (M20용)



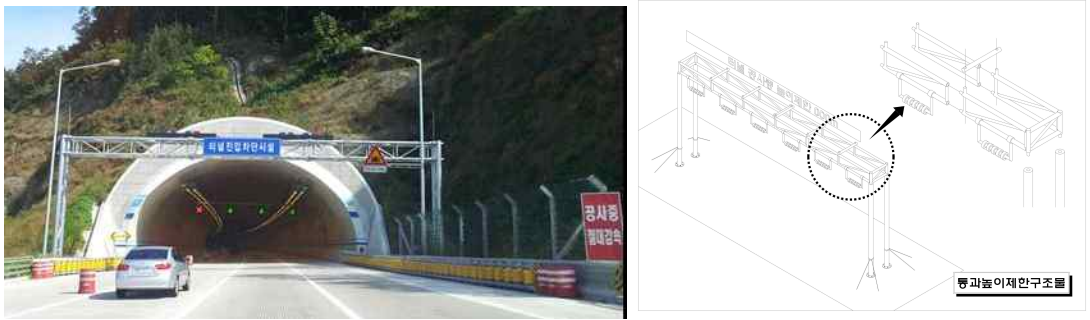
5) 기타: 발전기, 교통 통제 장비 등



B05	현장적용 시공기술 및 장비지원		
단계	현장적용 시공기술	현장적용 장비지원	현장 안전확보 방안

(1) 과적차량 높이 제한

- 가설시스템의 터널 진입전에 임시 안전프레임을 설치하여 통과 차량의 높이를 터널 건축한계 높이(4.5m) 이하로 제한하여 가설시스템 작업자의 안전 및 장비를 보호한다.



<그림 4-7 터널 진입 차단시설>

(2) 통행 차량 속도제한

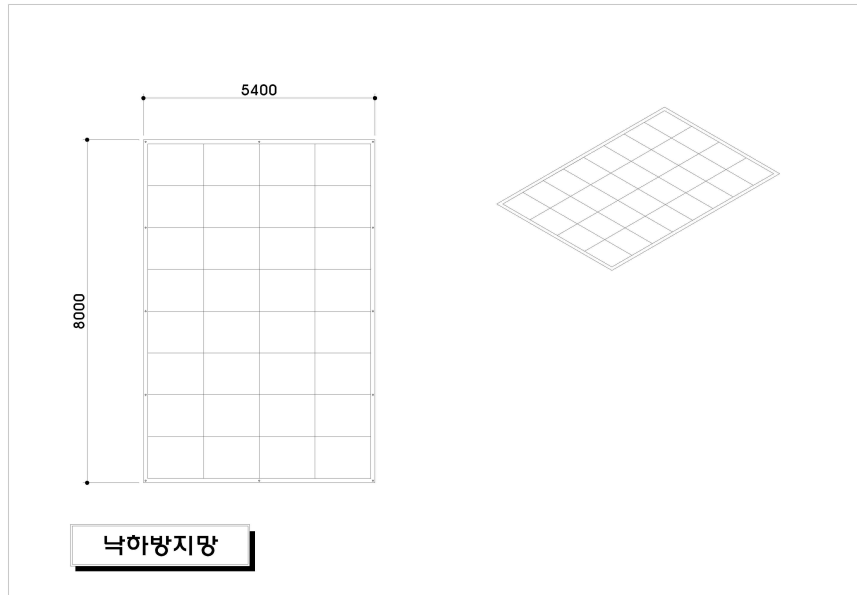
- 터널 공사시 마네킹, 라바콘, 경광등, 공사안내 표지판 등을 이용하여 통과차량 속도를 저속 운행하게 제한하여 작업자 및 장비의 안전을 보호한다.



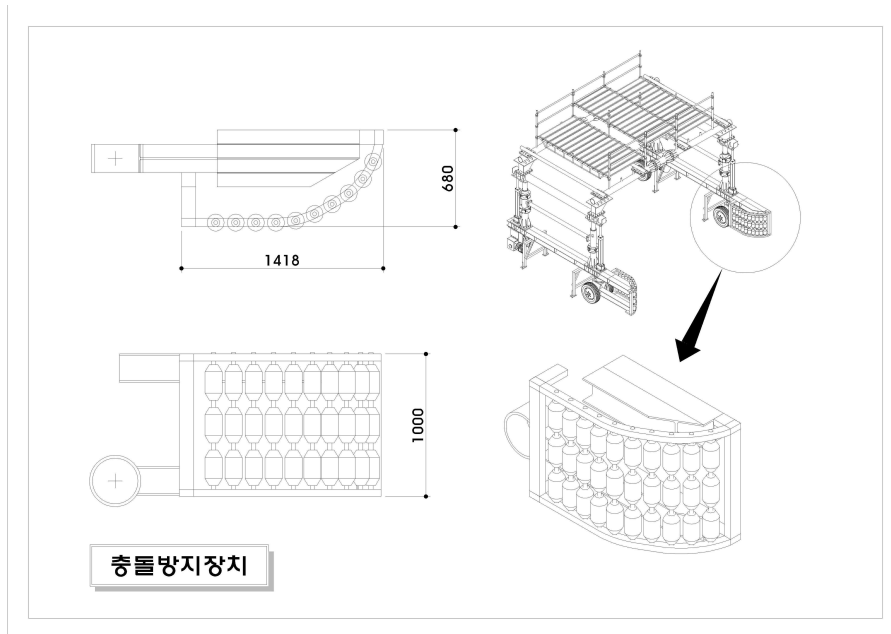
<그림 4-8 터널 진입 차량 통행 제한 모습>

(3) 가설시스템 작업중 안전확보 방안

- 상부 작업용 가설발판은 구멍이 적은 발판을 사용하여 작업도구 및 이물질의 추락을 방지한다.
- 가설시스템 조립후 상부구조물 하부에 작업도구 및 작업자의 추락을 방지하기 위해 그림 4-8처럼 낙하방지 안전망을 설치한다.
- 가설시스템 하부로 통과하는 차량과 가설시스템과의 충돌을 방지하기 위해 가설시스템 구동부에 그림 4-9처럼 보호가드를 설치한다.
- 가설시스템에서 터널 상부 작업자는 안전복과 안전모를 착용하고 추락 방지를 위해 반드시 안전띠와 고리를 고정된 구조물에 연결시킨후 작업을 수행한다.



<그림 4-8 낙하방지 안전망>



<그림 4-9 가설시스템-차량간 충돌방지장치>

(4) 기타 안전확보 방안 검토

- 시공전후 현장 정리 및 쓰레기처리를 철저히 하도록 한다.
- 설치공사에 필요한 안전사다리, 안전작업대 등을 설치하도록 한다.
- 고소작업을 위한 비계 등의 조립은 반드시 안전기준에 따라 설치하며 불량 시에는 안전관리자의 작업중 단지시를 따라야 한다.
- 조립완료 후 터널로 구조물 이동시 작업범위 내의 담당자 책임하에 주변이동차량 및 인원을 통제한다.

공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발		관련 성과지표 (KPI)
	2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 시공 및 현장적용 기술 개발	시공시방(안)
	Activity	가설시스템의 시공시방(안) 개발 (B06)	
	기관	동성중공업	

목적			
단계	내용		산출물
가설시스템 특기시방서(안) 제작	■ 특기시방서(안) 목차 - 일반사항 - 과제명 - 목적 - 적용범위 - 공사범위 - SHOP DWG. - 목 적 - 공작도 작성규정 - 설계자료 제공 - BASIC 검토 - 공작도 작성범위 - 작업순서 - 설계변경 - 공작도에 대한 보증 - 철골제작공사 - 재료 - 공장제작 - 검사 - 도장 - 제작 순서 - 출하 및 운반 - 구동장치제작공사 - 개요 - 공급범위 - 구동부 제원 - 상,하 이송부 제원 - 장치의 설명 - 기타사항 - 설치 - 운반 - 시공기본사항 - 현장설치시 주의사항 - 작업일반사항 - 구동부 조립시 주의사항 - 설치순서 - 기 타		
관련 목표 성과물	시공시방(안) 1건		

B06	가설시스템의 시공시방(안) 개발
단계	가설시스템 특기시방서(안) 제작

1. 시공시방서(안) 목차

- 시방서(안)의 상세 내용은 성과물 목록의 “특기시방서” 참조

1. 일반사항

- 1.1 과제명
- 1.2 목적
- 1.3 적용범위
- 1.4 공사범위

2. SHOP DWG.

- 2.1 목 적
- 2.2 공작도 작성규정
- 2.3 설계자료 제공
- 2.4 BASIC 검토
- 2.5 공작도 작성범위
- 2.6 작업순서
- 2.7 설계변경
- 2.8 공작도에 대한 보증

3. 철판제작공사

- 3.1 재료
- 3.2 공장제작
- 3.3 검사
- 3.4 도장
- 3.5 제작 순서
- 3.6 출하 및 운반

4. 구동장치제작공사

- 4.1 개요
- 4.2 공급범위
- 4.3 구동부 제원
- 4.4 상,하 이송부 제원
- 4.5 장치의 설명
- 4.6 기타사항

5. 설치

- 5.1 운반
- 5.2 시공기본사항
- 5.3 현장설치시 주의사항
- 5.4 작업일반사항
- 5.5 구동부 조립시 주의사항
- 5.5 설치순서

6. 기 타

부록 1. BASIC, DETAIL 도면

공동1	터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 시공 및 현장적용 기술 개발	시공성, 경제성 평가
Activity	기존대비 현장 시공성 및 경제성 분석 (B07)	
기관	RIST	

목적	기존 방식대비 가설시스템의 현장 시공성 및 경제성 평가		
단계	내용		산출물
공사사례 및 균열조사/보수에 따른 경제성 평가	■ 터널개요: 상행선 2차선 (길이 1.8 km, 측방여유폭 없음, 중간슬래브 있음), 하행선 2차선 (길이 1.8 km, 측방여유폭 없음, 중간슬래브 있음) ■ 균열조사 - 기존방식: 상행, 하행 각각 렌탈 1대씩 총 2대 렌탈 - 가설시스템 임대 방식: 1대 렌탈 (상행 후 하행선 터널 점검 가정) - 투입인력: · 기존방식: 총 11명 · 가설시스템 방식: 총 7명 - 공사기간: · 기존방식: 야간 (15일x7시간/일) · 가설시스템방식: 주간 (15일x8시간/일) - 인건비: · 주간작업: 83,975원 · 야간작업: 83,975원 x 2.325(할증) = 195,241원 - 렌탈비: · 기존방식: 150만원/월 · 가설시스템방식: 1500만원/월임. ■ 균열보수 - 투입인력: · 기존방식: 총 9명 · 가설시스템방식: 총 6명 - 공사기간: · 기존방식: (60일x7시간/일) · 가설시스템방식: (60일x8시간/일) ■ 결과 - 균열조사: 가설시스템이 약 35% 절감 - 균열보수: 가설시스템이 약 67% 절감		
관련 목표 성과물	시공비 35% - 67% 절감		

B07	기존대비 현장 시공성 및 경제성 분석
단계	공사사례 및 균열 조사/보수에 따른 경제성 평가

1. 공사개요 : ○○터널 균열보수공사

(1) 터널개요 : 상행선 2차선 , 길이 1.8 km , 측방여유폭 없음, 중간슬래브 있음

하행선 2차선 , 길이 1.8 km , 측방여유폭 없음, 중간슬래브 있음

*견적 산출 방법: 균열조사/균열보수 두 공사를 대상으로 기존 방식과 가설시스템 임대 방식에 대하여 각각 공사비 산정후 비교. 이때 총 공사기간은 두 가지 방식 모두 같다고 가정하였음.

(2) 균열조사

- 기존방식: 상행, 하행 각각 렌탈 1대씩 총 2대 렌탈
- 가설시스템 임대 방식: 1대 렌탈 (상행 후 하행선 터널 점검 가정)
- 투입인력:
 - 기존방식: 총 11명 (신호수 1명, 교대 신호수 1명, 렌탈 1대에 4명씩 타며 렌탈 총 2대에 8명 탑승, 관리자 1명)
 - 가설시스템 방식: 총 7명 (신호수 1명, 교대 신호수 1명, 가설시스템 1대에 4명씩 탑승, 관리자 1명)
- 렌탈 1대에 탑승한 인원의 구성: 총 4명 (균열을 분필로 그리는 사람 2명, 도면에 그리는 사람 1명, 렌탈 운전자 1명)
- 공사기간:
 - 기존방식: 오후 11시부터 다음날 06시까지 작업하여 11명이 15일 걸림 (15일x7시간/일)
 - 가설시스템방식: 오전 9시-오후 5시 작업하여 7명이 15일 걸린다고 가정 (15일x8시간/일)
- 인건비 :
 - 노임할증
 - 야간작업 노임할증 (50%)
 - 소계: 야간노무비=1+0.5=1.5
 - 품의 할증(건설표준품셈 1-16):
 - 야간작업 능률저하: 25% 적용
 - 터널내 작업: 터널입구에서 25m 이상부터 30% 적용
 - 소계: 1+0.25+0.3=1.55
 - 할증 합계(노임할증 x 품의할증): 1.5x1.55=2.325
 - 보통인부(정부노임 2013년 하반기 적용): 83,975원
 - 주간작업: 83,975원
 - 야간작업: 83,975원 x 2.325 = 195,241원
- 렌탈비:
 - 기존방식: 렌탈은 월대로 임대해줌 (150만원/달, 보름치 일을 해도 1달치로 계산함)
 - 렌탈 월대 총비용: 총 2대를 월대로 임대하므로 300만원 월대비용이 듦
 - 가설시스템방식: 가설재 렌탈기준이 150만원/톤/월 이므로 10톤 무게의 가설시스템의 경우 1500만원/월임.
 - 렌탈 월대 총비용: 총 1대를 월대로 임대하므로 1500만원 월대비용이 듦

품목	기존방식 (차량통제, 야간공사) (A)	가설시스템 방식 (차량통행, 주간공사) (B)	절감액 (A-B)
장비대	고소작업차량 1,500천원/대/달 x 2대=3,000천원	입체트러스 가설시스템 15,000천원/달x1대=15,000천원	-12,000천원
교통통제	라바콘, 경광등, 깜빡등, 표지판 등 5,000천원	라바콘, 경광등, 깜빡등, 표지판 등 2,500천원	+ 2,500천원
노무비	195천원/인/일x11명x15일=32,175 천원	84천원/일/명x7명x15일=8,820천원	+ 23,355천원
기타경비	발전기/임시전기시설 220천원/일x15일=3,300천원	발전기/임시전기시설 110천원/일x15일=1,650천원	+ 1,650천원
간접비 (20%)	8,695천원	5,594천원	+ 3,101천원
총계	52,170천원 (100%)	33,564천원 (64.3%)	+ 18,606천원 (35%)

▶ 따라서, 가설시스템 방식이 기존 방식보다 약 35% 경제적임. 또한 차량통행하에 작업이 진행되므로 교통편의성도 높음

(3) 균열보수

- 투입인력:

- 기존방식: 총 9명 (신호수 1명, 교대 신호수 1명, 렌탈 1대에 3명씩 타며 렌탈 총 2대에 6명 탑승, 관리자 1명) (신호수는 인형신호기를 임대하는 경우도 있다. 음주운전이 많아서 인명사고가 발생하는 일이 많음. 인형비용 약 100만원)

- 가설시스템방식: 총 6명 (신호수 1명, 교대 신호수 1명, 렌탈 1대에 3명씩 타며 렌탈 총 1대, 관리자 1명)

- 렌탈 1대에 탑승한 인원의 구성은 보조 및 운전 1명, 실링작업 2명, 총 3명

- 공사기간:

- 기존방식: 시간은 오후 11시부터 다음날 06시까지 9명이 작업하여 60일 걸린다고 가정 (60일x7시간/일)
작업내용은 1대의 렌탈기준으로 실링작업 10일, 주입작업 8일, 제거작업 6일, 마감페인트 4일 (중간슬래브가 없고 팬(FAN)만 있는 곳은 중간 슬래브가 있는 슬래브보다 작업량이 1.3배 더 많다.

- 가설시스템방식: 오전 9시-오후 5시 작업하여 6명이 60일 걸린다고 가정 (60일x8시간/일)

- 인건비 :

· 노임할증

→ 야간작업 노임할증 (50%)

→ 소계: 야간노무비=1+0.5=1.5

· 품의 할증(건설표준품셈 1-16):

→ 야간작업 능률저하: 25% 적용

→ 터널내 작업: 터널입구에서 25m 이상부터 30% 적용

→ 소계: 1+0.25+0.3=1.55

· 할증 합계(노임할증 x 품의할증): 1.5x1.55=2.325

· 보통인부(정부노임 2013년 하반기 적용): 83,975원

→ 주간작업: 83,975원

→ 야간작업: 83,975원 x 2.325 = 195,241원

- 렌탈비:

- 기존방식: 렌탈은 월대로 임대해줌 (150만원/달, 보름치 일을 해도 1달치로 계산함)

렌탈 월대 총비용: 총 2대를 월대로 임대하므로 300만원 월대비용이 듦

- 가설시스템방식: 가설재 렌탈기준이 150만원/톤/월 이므로 10톤 무게의 가설시스템의 경우 1500만원/월임.

렌탈 월대 총비용: 총 1대를 월대로 임대하므로 1500만원 월대비용이 듦

품목	기존방식 (차량통제, 야간공사) (A)	가설시스템 방식 (차량통행, 주간공사) (B)	절감액 (A-B)
장비대	고소작업차량 1,500천원/대/달x2대x2달= 6,000천원	입체트러스 가설시스템 15,000천원/달x1대x2달= 30,000천원	-24,000천원
교통통제	라바콘, 경광등, 깜빡등, 표지판 등 5,000천원	라바콘, 경광등, 깜빡등, 표지판 등 2,500천원	+ 2,500천원
노무비	195천원/인/일x9명x60일= 187,200천원	84천원/일/명x6명x60일= 30,240천원	+ 156,960천원
기타경비	발전기/임시전기시설 220천원/일x60일=13,200천원	발전기/임시전기시설 110천원/일x60일=6,600천원	+ 6,600천원
간접비 (20%)	42,280천원	13,868천원	+ 28,412천원
총계	253,680천원 (100%)	83,208천원 (33%)	+ 170,472천원 (67%)

▶ 따라서, 가설시스템 방식이 기존 방식보다 약 67% 경제적임. 또한 차량통행하에 작업이 진행되므로 교통편의성도 높음. 가장 큰 차이점은 주로 야간에 진행되는 인건비의 할증에 기인하며 가설시스템 사용시 야간 작업이 발생할 경우 그 차이는 줄어들 것으로 여겨짐.

2. 소 결

- 평가결과 공사기간이 길어질수록 가설시스템 방식의 경제성이 증가함
- 본 경제성 평가는 가설시스템을 임대할 경우로 가정한 것이며, 공사기간은 기존 방식과 같다고 가정함
- 그러나, 기존 방식이 좌/우/상부 중 한쪽 균열만 조사 혹은 보수/보강한 뒤 다시 돌아와 다른 위치 균열을 조사 혹은 보수/보강해야 하므로 여러번 왕복이 필요한 반면 가설시스템의 경우 한번 편도 운행으로 터널 양측 및 중앙 윗부분의 균열을 모두 동시에 조사 혹은 보수/보강이 가능하므로 실제 공기는 더욱 단축될 것으로 여겨짐
- 또한, 가설시스템의 임대료 역시 가설재의 렌탈기준(150만원/톤/월)을 참고로 정한 것이며, 실제 적용시 렌탈료가 더 낮게 조정될 경우 경제성은 더욱 향상 될 것으로 여겨짐
- 절감액의 대부분은 노무비에서 차지하였으며 기존 방식이 낮에 이루어지거나 가설시스템 방식이 야간에 작업할 경우 절감액은 감소하리라 여겨짐.
- 결정적으로 소요되는 공사기간 동안 공사측 차량 통제 대신 감속운행만을 요구하므로 사용 편의성은 더욱 뛰어나다 여겨짐. 이 경우 차량통제시 극심한 혼잡이 예상되는 2, 3차선 터널공사가 4차선 터널 공사보다 더욱 효과적일 것으로 여겨짐

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	터널제원분석 및 대상 터널 가설시스템 모델 도출	분석여부
Activity	터널설계기준/제원분석 (A08)	
기관	RIST	

목적	가설구조물이 들어갈 수 있는 유희 공간 측정		
단계	내용		산출물
터널 단면설계의 수행절차	■ 현황검토 ■ 설계기준검토 ■ 건축한계 선정 ■ 터널형상 및 안정성 검토 ■ 세부항목 검토 ■ 직선구간 단면선정 ■ 곡선반경에 따른 단면 검토 ■ 구간별 최적단면 적용계획 수립		
터널 내공단면 결정시 세부고려항목 조사	■ 세부고려항목 - 터널연장, 설계속도, 환기방식 - 건축한계 및 차량한계 - 차로폭, 측대, 검사원 통로 등 ■ 터널단면 구성요소 - 건축한계 높이, 현치부 폭, 현치부 높이, 검사원 통로, 차로폭 등		
터널 환기방식	■ 터널환기방식 - 종류식, 횡류식, 반횡류식 등		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

A08	터널설계기준/제원분석		
단계	터널 단면설계의 수행절차	터널 내공단면 결정시 세부고려항목	터널 환기방식

1. 터널 제원분석

- 터널의 가설공사를 위한 입체트러스 스마트 가설구조물을 적용하기 위하여, 우선 터널의 제원분석이 필요하다. 규모, 용도, 형상에 따른 터널설계를 위한 기본 요소를 분석하고, 환풍기, 도로표지판, SOS 전화박스 등의 내부 시설물 분석을 통하여, 가설구조물이 들어갈 수 있는 유험 공간을 측정한다.

- 1) 터널 가설공사 유형분석
- 2) 터널의 규모, 용도, 형상별 제원분석
- 3) 내부시설물 분석
- 4) 건축한계를 고려한 내부 유험공간 측정 및 도출

2. 터널 단면설계의 수행절차

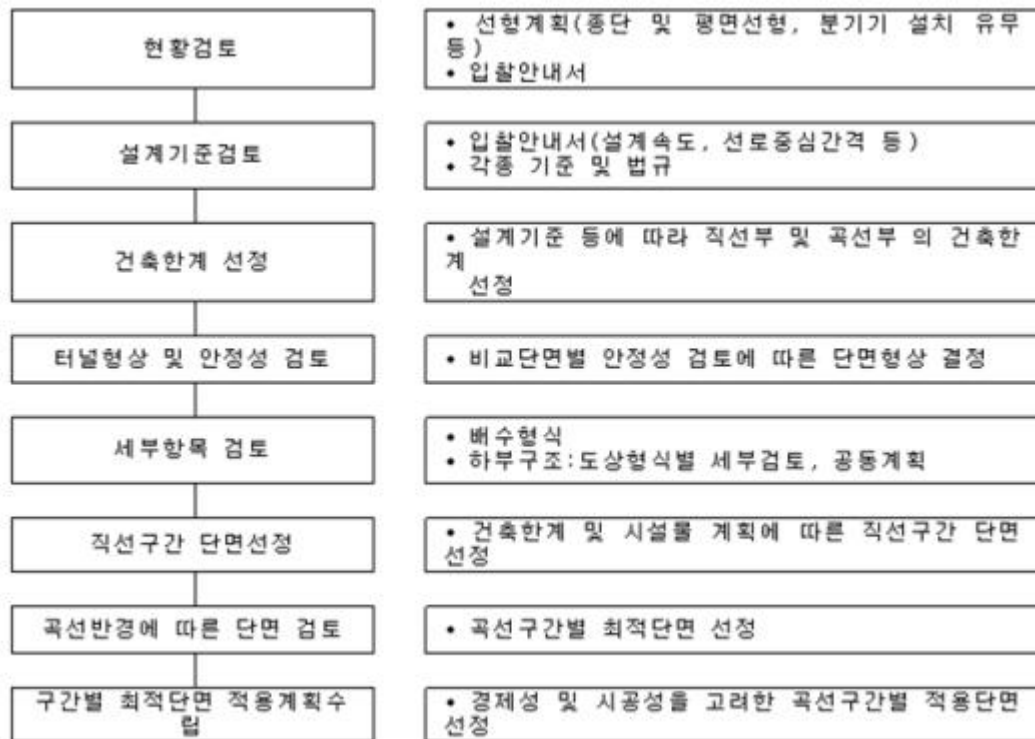


그림 8-1. 터널 단면설계 절차

- 일반적으로 터널 단면설계는 그림 8-1에 보여진 순서대로 수행되어진다. 이 단계중 본 과제와 관련있는 '건축한계 선정' 단계에서는 설계기준 등에 따라 직선부 및 곡선부의 건축한계를 선정하게 된다.

A08	터널설계기준/제원분석		
단계	터널 단면설계의 수행절차	터널 내공단면 결정시 세부고려항목	터널 환기방식

1. 터널 내공단면 결정시 세부고려항목

표 8-1. 터널단면 결정시 세부고려항목

철도터널	도로터널
● 터널연장 ● 설계속도(급선결정) ● 선로중심간격 ● 건축한계 및 차량한계 ● 전차선 가선 방식 ● 환기방식 ● 점검원 폭원 및 보도높이 (철도설계기준) ● 공동구 규격(진계 91460-189호) ● 궤도도상의 형식 (콘크리트도상, 자갈도상) ● 하부배수시스템 형식 ● 안전손잡이	● 터널연장 ● 설계속도 ● 환기방식* ● 건축한계 및 차량한계* ● 차로폭 ● 길어깨폭(측방여유폭)의 규모* ● 측대* ● 검사원통로* ● 공동구 규격 ● 공동구 측벽의 형상 및 높이 ● 배수시스템 형식 ● 터널내장 ● 안전손잡이 및 안전난간

* 입체트러스 가설시스템의 제작에 영향을 미치는 항목

2. 터널 단면의 구성요소

그림 8-2. 터널 단면 구성요소

- (1) 건축한계 높이: 규정치는 4.5m, 그러나 도로공사 기준상 시공시 실제 확보해야 하는 높이는 4.8m 이상.
- (2) 현치부 폭: 길어깨의 폭으로 최대 1.0m
- (3) 현치부 높이: 건축한계 높이에서 4.0m를 뺀 값으로 0.8m
- (4) 검사원 통로: 도로공사 기준 750mm(W) x 2000mm(H)
- (5) 차로폭: 설계속도 80km/hr 이상일 경우 차로 최소폭은 3.5m

A08	터널설계기준/제원분석		
단계	터널 단면설계의 수행절차	터널 내공단면 결정시 세부고려항목	터널 환기방식

1. 터널 환기방식

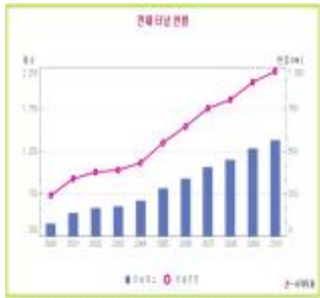
- (1) 일반적으로 터널연장이 1km를 기준으로 장터널과 단터널로 구분하며 여러 종류의 환기방식을 검토한다.



그림 8-3. 터널 환기방식

- (2) 종류식: ① 도로 터널의 환기 방식으로 터널 길이 1km 이하에 사용되면 경제적.
② 안정성이 다소 떨어지며, 소음이 크게 발생
③ 종류: 제트팬식, 집중배기식, 전기집진기식
- (3) 횡류식: ① 1924년 Holland Tunnel에 최초 적용된 터널환기방식 중에서 가장 오래된 방식으로 시설비, 토목공사비, 유지관리비 등에 있어서 가장 고가이지만 화재발생시 대응 능력이 우수하고 터널의 길이에 제한을 받지 않음.
② 터널의 차도부에 급기덕트를 설치하여 환기탑으로부터 유입되는 신선공기를 급기하고, 터널의 천정부에 배기덕트를 시설하여 배기하도록 하는 전형적인 횡류식 환기방식
③ 2km 이상 터널에 주로 적용.
④ 송기, 배기관이 필요하므로 터널 단면적이 커져서 비경제적.
- (4) 반횡류식: ① 배기덕트를 설치하여 오염된 공기를 흡입하여 배출.
② 터널의 입출구를 통해서 신선공기가 유입되기 때문에 터널의 출구를 통해서 배출되는 오염물질의 양을 줄일 수 있음.
③ 터널길이 2km 이하
④ 횡류식과 종류식의 장점만 선택

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	터널제원분석 및 대상 터널 가설시스템 모델 도출	모델 제안여부
Activity	대상터널 선정 (A09)	
기관	RIST	

목적	가설구조물의 효용성을 고려한 대상터널 모델 도출 및 적용전략 마련		
단계	내용		산출물
터널차로 분포 및 터널 현황 분석	■ 전국 고속화 도로 터널차로 분포 - 2, 3차로가 약 95% 차지 ■ 터널현황 - 2010년 12월말 기준 전국의 터널수는 2000년 대비 248% 증가 - 고속국도와 일반국도상 터널이 전체터널의 약 70% 이상 차지		
대상터널 선정	■ 대상터널 - 상용화 대상터널: 2, 3, 4차선 도로 도심지 터널 - 설계방법: 4차선 도로터널 기준 - 현장적용 적합 대상터널: 2차선 도심지 터널, 신규터널 등	건축한계선 ±4.8m 10.7m	
터널가설공사 유형 분석	■ 터널 가설공사 유형 및 시공사례 분석		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

A09	터널설계기준/제원분석		
단계	터널차로 분포 및 현황 분석	대상터널 선정	터널가설공사 유형 분석

1. 전국 고속화도로 터널차로분포

- 2차로와 3차로가 약 95% 차지함

표 9-1. 전국 고속화도로 터널차로 분석

노선명	현재터널명	터널폭원	차선폭원	차로수	상행(m)	하행(m)	연장합계	준공연도
총 계	86				48,857	37,509	86,366	
소 계	8				3,667	3,603	7,270	
경부선	(구)대전	9.24	7.2	2	460	465	925	70.6
경부선	대전	12.4	10.8	3	812	796	1,608	99.11
경부선	증막	12.4	10.8	3	755	755	1,510	99.11
경부선	대덕	9.24	7.2	2	228	240	468	70.6
경부선	목천	9.24	7.2	2	692	530	1,222	70.6
경부선	영동	9.24	7.2	2	475	505	980	70.5
경부선	황간	9.24	7.2	2	110	160	270	70.5
경부선	경주	8.0	7.2	2	135	152	287	69.12
소 계	5				2,784	2,639	5,423	
호남선	호남	9.98	7.2	2	694	740	1,434	상 73.11 하 86.9
호남선	대덕	9.98	7.2	2	408	408	816	96.12
호남선	석곡	9.98	7.2	2	391	390	771	96.12
호남선	순천1	9.98	7.2	2	430	430	860	96.11
호남선	순천2	13.58	10.8	3	861	881	1,742	96.10
소 계	9				10,650	10,080	20,730	
영동선	마성	9.98	7.2	2	1,450	1,460	2,910	94.12
영동선	말지	9.98	7.2	2	642	660	1,302	94.12
영동선	갈천	9.98	7.2	2	329	338	667	94.12
영동선	둔내	10.7	7.2	2	3,300	3,300	6,600	99.9
영동선	북평	9.98	7.2	2	1,430	1,445	2,865	99.9
영동선	영동2	9.48	7.2	2	625		625	75.10
영동선	진부1	9.98	7.2	2	2,095	2,075	4,170	99.11
영동선	진부2	9.98	7.2	2	185	203	388	99.11
영동선	진부3	9.98	7.2	2	604	599	1,203	99.11
소 계	2				971	0	971	
동해선	동해2	9.48	7.2	2	449		449	75.10
동해선	동해1	9.48	7.2	2	522		522	75.09
소 계	6				2,054	2,125	4,179	
남해선	광양	9.98	7.2	2	240	270	510	92.12
남해선	하동	9.98	7.2	2	201	196	397	92.12
남해선	천교	9.98	7.2	2	400	340	740	92.12
남해선	사천	9.98	7.2	2	240	168	408	상 92.12 하 73.11
남해선	전주	상 9.40 하 9.98	7.2	2	550	719	1,269	상 73.11 하 86.11
남해선	김해	10.0	7.2	2	423	432	855	상 73.11 하 81.9
소 계	3				2,945	2,391	5,276	
구마선	달성1	9.98	7.2	2	1,367	1,362	2,749	95.11
구마선	(구)달성	9.98	7.2	2	565		565	78.3
구마선	달성2	9.98	7.2	2	993	969	1,962	95.11
소 계	4				1,369	1,332	2,781	
충부선	충부1	9.98	7.2	2	300	296	596	87.11
충부선	충부2	9.98	7.2	2	236	252	488	87.11
충부선	충부3	9.98	7.2	2	378	369	747	87.11
충부선	충부4	9.98	7.2	2	475	475	950	87.11
소 계	4				2,050	0	2,050	
88선	고령	9.98	7.2	2	690		690	83.7
88선	새만사	9.98	7.2	2	320		320	83.6
88선	함천	9.98	7.2	2	255		255	84.4
88선	남원	9.98	7.2	2	785		785	84.10
소 계	20				8,805	1,700	10,505	

2. 터널 현황

(1) 도로터널 증감추이(철도터널 제외)

- '10년 12월말 기준 전국의 터널수는 1,382개소로, '00년 397개소에 불과하던 것과 비교하여 985개소(248%)가 증가하였으며, 연장은 240km에서 975km로 735km(306%) 증가하였음
- 터널 증가 원인은 자연환경 파괴 최소화 등 환경 친화적인 도로건설과 도로이용자의 안전을 고려한 선형개량 등이 주요인임
- 도로종류별로는 고속국도 673개(49%), 일반국도 374개(27%)로 나타나 고속국도와 일반국도상 터널이 전체터널의 70%이상을 차지하는 것으로 나타남



그림 9-2. 도로터널 증감추이('10년 말 기준)

표 9-2. 지난 10년간 도로터널 증감추이

구 분	2000 (A)	2010 (B)	증감	
			B-A	(B-A)/A
터널 개소	397 개소	1,382 개소	985 개소	248 %
터널 연장	240 km	975 km	735 km	306 %

A09	터널설계기준/제원분석		
단계	터널차로 분포 및 현황 분석	대상터널 선정	터널가설공사 유형 분석

1. 터널 규모, 표준단면도, 대상터널 선정

- (1) 차로폭원은 2차로, 3차로, 4차로에 대해 각각 7.2m, 10.8m, 14.6m 이다.
- (2) 도로 터널에서 건축한계선의 폭은 차로폭과 측방여유폭 등을 고려하여 결정된다. 이때 2차로인 경우 약 10.7m, 3차로인 경우 약 12.8m 이다.
- (3) 4차로인 경우에는 차선평 14.6m + 측방여유폭 1m x 2 = 약 16.6m 이다.
- (4) 따라서, 설계용 가설재의 폭과 높이는 최대 16.6m(W)x4.8m(H) 정도 됨을 알 수 있다.
- (5) 대상 터널 선정
 - 상용화 대상터널: 2, 3, 4차선 도로 도심지 터널
 - 설계방법: 4차선 도로터널 기준으로 설계하여 2, 3차선에도 시스템 변경없이 같은 사이즈로 사용가능하도록 함
 - 현장적용 적합 대상터널: 2차선 도심지터널(차량 밀집지역), 신규터널(터널 외측공간 확보 용이), 길이 200m 수준(짧은 시공시간 소요 및 안전성 문제), 터널 진입로 조건(조립 및 해체가 용이하도록 인근 유희공간 충분 할 것)
 - 상기 조건에 맞는 터널 선정 중(시설 관계자 면담 및 현장조사 필요)

건축한계선



그림 9-3. 터널 규모와 표준단면도에 따른 터널 내부 공간 여유치(건축한계) 비교

A09	터널설계기준/제원분석		
단계	터널차로 분포 및 현황 분석	대상터널 선정	터널가설공사 유형 분석

1. 터널가설공사 유형분석

(1) 터널 가설공사 유형 및 시공현장 사례

표 9-3. 터널 가설공사 유형

구 분	내 용
▪ 점검공사	정밀점검(1회/년), 정밀안전진단(1회/5년), 일상점검(2회/년)
▪ 보수공사	타일부착, 균열보수, 표면보수, 단면복구, 중성화방지, 재라이닝, 전등교체, 환풍기공사, 페인트공사
▪ 보강공사	납볼트시공
▪ 마감공사(건설)	타일, 라이닝, 팬
▪ 청소공사	연간 수시

(2) 터널 가설공사 시공현장 사례



(a) 성남 운중터널(2007) 보강공사



(b) 유압장비 이용 터널 보수공사



(c) 한밭지하차도(2008) 전등교체공사



(d) 터널 균열계측 안전진단 공사



(e) 도시철도 터널 보수공사



(f) 일반철도 터널 타일공사

그림 9-4. 터널 유지관리를 위한 가설공사 사례

『해저터널 도장공사』시행에 따른 교통통제 안내문

평소 시정발전에 적극 협조하여 주시는 시민여분께 깊은 감사올 드립니다.

해저터널 내부 도장상태가 불량하여 우리시를 찾는 관광객 및 시민들에게 좋지 못한 이미지를 남기고 있는 실정이라 아태와 같이 내부 도장공사를 시행하게 되었으며, 통행도장을 시공하는 기간에는 통행이 불가하여 부득이 교통통제를 실시하게 되었습니다.

시민여분께서는 통행에 다소 불편이 있더라도 널리 이해하시고, 해저터널 도장공사의 조속한 완공을 위하여 적극적인 협조를 당부드립니다.

다 음

□ 공사시행계획

- 공사위치 : 통영시 당동 - 미수2동 해저터널 내부
- 공사개요 : 도장 A=6,528.6㎡ (터널길이 L=482m)
- 공 사 비 : ₩53,475천원
- 공사기간 : 2005.01.06 ~ 2006.02.04(29일간)

□ 교통통제계획

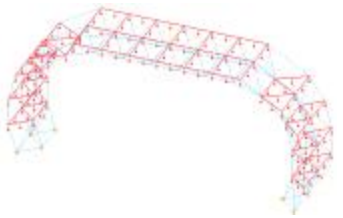
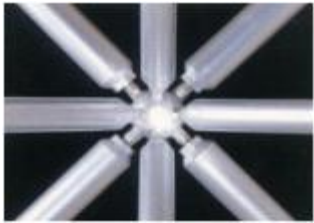
- 통제기간 : 2005.01.24 ~ 2006.01.30(7일간)
- 통제구간 : 해저터널 진입부 양측
- 통제방법 : 원면통제

2005. 01.

통 영 시 장

그림 9-5. 터널 교통통제 안내문 사례

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	터널제원분석 및 대상 터널 가설시스템 모델 도출	모델 제안여부
Activity	터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석 (A10)	
기관	RIST	

목적	터널 가설시스템 모델 도출		
단계	내용		산출물
터널 가설공사용 입체트러스 시스템 모델(안)	■ 구조해석 - 강종 : STK500 - 부재단면 : 원형강관 - 설계하중 : 80kg/m² - 해석 tool : FEM ABAQUS 6.5-1 ■ 최적 단면 선정 - STK500 Ø48.6×2.3		
부재 접합부 대안비교	■ 기존 트러스 부재 접합부 대안비교 - ALT1, 2, 3, 4		
기술트리 방법론에 의한 가설시스템 기술분석	■ 터널가설공사 개선방안 도출 필요성 ■ 현 가설공사방법 개선을 위한 아이디어 도출 ■ 가설용 입체트러스 시스템의 구성방법과 개발 ■ 소결		논문 2건
관련 목표 성과물	보고서 1건, 비SCI급 논문 2건		

A10	터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석		
단계	터널 가설공사용 입체트러스 시스템 모델(안)	부재 접합부 대안비교	기술트리 방법론에 의한 가설시스템 기술분석

1. 대상터널 구조물에 적합한 가설공사용 가설시스템 모델(안) 평가

1.1 구조해석 설계조건

- (1) 강종 : STK500 (인장강도 500MPa) (UL700 적용은 일반강 검토 후 1차년도 실시 예정)
- (2) 부재단면 : 원형강관
- (3) 설계하중 : 80kg/m^2 (KBC2009: 경량구조물, 경량지붕층, 조형물의 적재하중)
- (4) 해석 tool : FEM ABAQUS 6.5-1

표 10-1. 가설재 제원

구분	기존제품	신제품		비고
		국산제품	일본제품	
▪ 품명	STK500	UL-700	Super Light 700	
▪ 외경×두께	48.6×2.3	48.6×1.8	좌동	25% 경량화
▪ 인장강도	N/mm ²	500이상	700이상	40% 증가
	Kgf/mm ²	51이상	71.5이상	
▪ 굽힘강도(kg)	564	728	좌동	29% 증가
▪ 단위중량(kg/m)	2.63	2.08	좌동	25% 경량화
▪ 제품중량(kg/6m)	15.8	12.5	좌동	
▪ 제품 Type	HGI 파이프	좌동	좌동	

- (5) 하중가력 및 단부 핀지지 조건

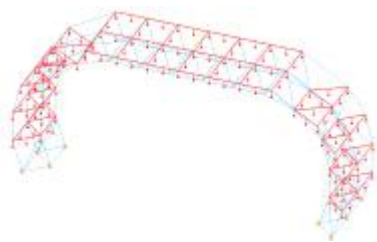


그림 10-1. 대상구조물 및 하중가력조건(Iso view)



그림 10-2. 대상구조물 및 하중가력조건(Front view)



그림 10-3. 대상구조물 및 하중가력조건(Top view)

1.2 구조해석 결과 및 최적단면 선정

- (1) STK500을 적용한 결과 가설구조물 수평보의 중간부에 인장하중에 의한 4mm변위가 발생하나 사용성에는 문제없음
- (2) 보와 기둥이 만나서 휘어지는 측면 모서리부분에 압축력 390MPa가 발생하는 설계 지배하중이 작용함. 따라서 F_y 400 이상의 강종이 요구됨
- (3) 해석결과에 의하면 측면 모서리부의 보강도 필요할 것으로 보임
- (4) STK500 $\varnothing 48.6 \times 2.3$ 으로 설계되어 있으나, UL700 사용시 동일성능 대비 $\varnothing 35 \times 1.8$ 까지 단면 사이즈 최소가 가능하여 약 45%의 강재물량 절감효과가 있을 것으로 사료됨

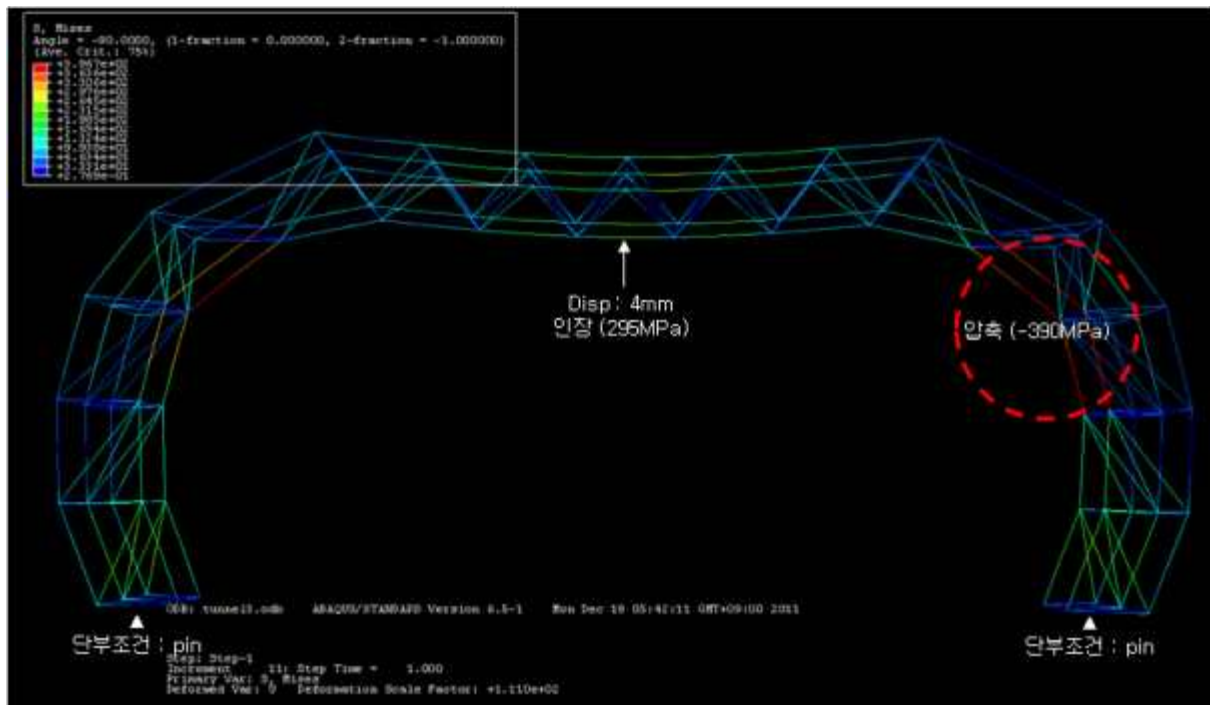


그림 10-4. 해석 결과

A10	터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석		
단계	터널 가설공사용 입체트러스 시스템 모델(안)	부재 접합부 대안비교	기술트리 방법론에 의한 가설시스템 기술분석

1. 부재 접합부 대안비교

표 10-2. 트러스 부재 접합부 대안 비교 1

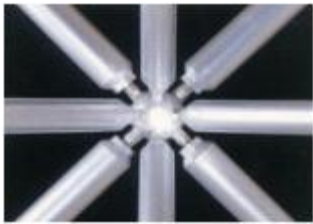
대안	ALT1	ALT2
명칭	완전자유곡면 입체트러스 접합방식	플레이트 메로시스템
개념도		
Node	일본 Tomoe Unitruss	플레이트를 이용한 원형강관 접합
특징	- 완전한 자유곡면 입체 truss를 생성가능 - 형상설계로부터 생산까지 모두 컴퓨터로 처리 - 각 부재는 자동생산 라인에 의해서 제작 - 사전 공장에 의해서 부품으로서 제작되고 있어 현장에서는 볼트 업압 작업만으로 OK - 현장에서의 용접 작업 등의 필요없음	- 메로시스템과 유사하게 여러 방향에서 연결되는 부재를 가셋 플레이트를 이용하여 효과적으로 연결할 수 있음 - 가셋 플레이트를 부재 슬롯에 삽입하여 용접하기 때문에 시공성이 나빠질 가능성이 있음 - 3차원 방향 연결은 어려움

표 10-3. 트러스 부재 접합부 대안 비교 2

대안	ALT3	ALT4
명칭	일반 용접 접합방식	핀에 의한 메로시스템
개념도		
Node	용접접합	메로시스템에 의한 핀접합
특징	- Rigid connection - 적용하기 쉬움 - 용접 품질관리 필요 - 가변성 없으며 사전에 부재가공 요함	- Tube와 Node로 구성되며, Tube를 Node에 연결하여 매우 다양한 형태의 구조물을 손쉽게 제작 가능 - Meroform system은 쉽게 조립이 가능하면서도 구조 역학적으로 매우 안정적이어서 건축 등에서도 매우 다양하게 활용됨

A10	터널 가설시스템 초안/대안 모델 분석		
단계	터널 가설공사용 입체트러스 시스템 모델(안)	부재 집합부 대안비교	기술트리 방법론에 의한 가설시스템 기술분석

1. 기술트리(Technology Tree) 방법론에 의한 가설시스템 기술분석

1.1 터널 가설공사 개선방안 도출의 필요성

- 국내 터널 증감 추이 및 가설공사 유형분석을 통하여, 터널 가설공사의 고정수요가 있으며, 수요에 대한 공사 효율의 개선은 직접적으로 국가 SOC 유지관리비의 절감으로 이어지기 때문에 중요함을 알 수 있다. 기존의 가설공사 유형은 부분적으로 차량의 통제가 반드시 요구되어 통행에 불편을 초래한다. 특히 서울시와 같은 교통량이 많은 지역에서는 차량통행 차단 문제는 반드시 개선되어야 함에도 기존의 재래적인 시공법-이동차륜 위에 임시 비계를 설치하여 작업자가 시공하는 방식-을 고수하고 있는 실정이다. 따라서 현장의 이러한 문제점에 대한 고객의 요구사항(Voice Of Customer, VOC)을 개선할 필요가 있다.

1.2 현 가설공사방법 개선을 위한 아이디어 도출

1.2.1 터널 유희공간 활용

- 터널의 시설한계는 그림 12의 점선부분이다. 시설한계는 차량통행 시 차량과의 충돌을 방지하기 위해, 법적으로 그 내부에는 환풍기, 표시판, 랜턴 등의 터널 시설물이 침범할 수 없는 영역이다. 터널의 규모에 따라 차이가 있지만 2차선 터널의 경우 시설한계와 터널 내벽과의 공간은 1.5m 내외로서 사람이 작업이 가능한 공간이다.
- 본 연구에서 요구되는 VOC는 첫째, 가설공사 시 차량통제가 없어야 한다. 둘째, 국가 SOC 유지관리 비 절감을 위해 가설공사 시 공사비용을 줄여야 한다는 것이다. 첫 번째 VOC를 해결하는 방법으로서 그림 13과 같이 시설한계와 내벽과의 공간을 활용하여 이 공간 안에서 작업자의 시공이 가능하도록 하는 것이다.

1.2.2 가설공사를 위한 구조시스템의 활용

- 두 번째 VOC를 해결하기 위해서는 첫 번째 VOC를 활용할 필요가 있다. 차량통제를 막는다는 전제하에 성립되기 때문이다. 어떻게 해야 할까라는 사고의 관성을 깨고, 무엇을 해야 하는가라는 창의적인 사고 프로세스4)에 의한 답을 낼 수 있어야 한다.
- 그 방안으로서 내부 유희공간을 활용하도록 건설산업에서 많이 사용되고 있고, 인류역사상 가장 효율적인 시스템으로 잘 알려져 교량이나 대공간 건물 등에 많이 사용되고 있는 트러스5)를 활용할 수 있다. 여기서 효율적이라는 것은 재료를 가장 적게 사용하고 구조물의 강성을 유지하는 것을 말한다. 이러한 구조시스템은 새로운 것이 아니라, 기존의 것을 재활용한 것으로, 새로운 것을 만들 필요가 없어 추가적인 노력이 필요 없고, 시스템의 신뢰성이 기 확보되어 가설공사 적용에 문제가 없다.

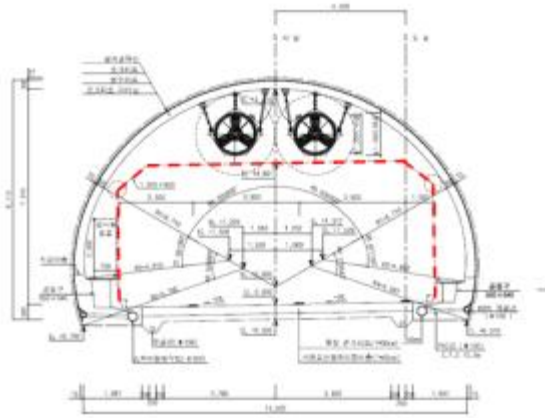


그림 10-5. 도로터널 2차선 단면도

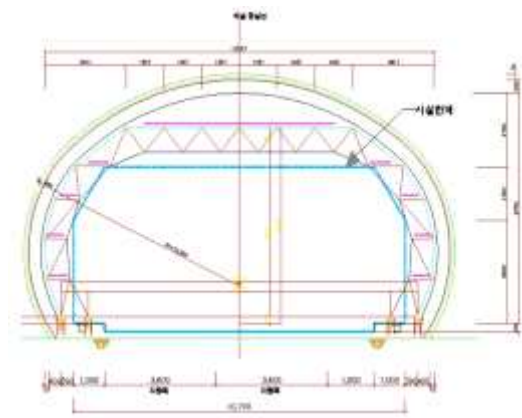


그림 10-6. 시설한계-내벽 사이에 구성된 시공 단면도

- 단, 공사비 절감이라는 문제에 직면하게 되므로 기존 가설공사의 문제점을 우선 파악할 필요가 있다. 터널의 종류와 형상, 규모에 관계없이 시공시방서는 차량 통제하는 인력, 이동 차륜과 임시 강관비계 시스템, 이를 운용하는 인력, 시공하는 인력이 정성적으로 구성되어, 공사비는 공사규모에 따라 결정되고 있다. 실제 시공은 터널 내부의 조건에 따라 강관비계를 실시간 수정 설치 및 해체하여 시공하는 인력의 낭비를 초래하고 있다.
- 트러스 구조시스템을 활용한다는 전제하에 이를 개선하기 위해서는, 터널의 종류, 형상, 규모에 대응 가능한 시스템이 되어야 하고, 하나의 고정된 3차원 트러스 구조시스템을 만들어 터널길이 방향으로 이동하면서 시공이 가능하도록 하는 것이다. 따라서 첫 번째 VOC에 대한 해결안의 전제하에, 두 번째 VOC를 해결할 수 있는 최종적인 아이디어는 가변형과 이동형을 가지는 입체트러스 가설시스템이다.

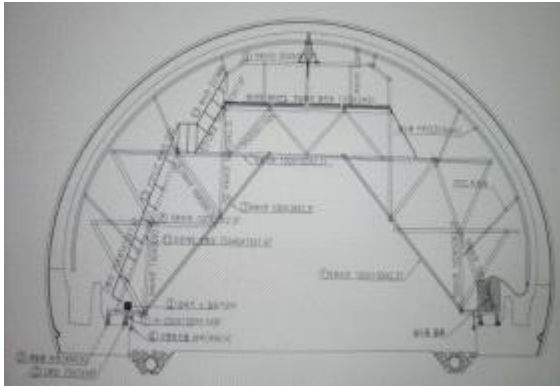
1.3 가설용 입체트러스 시스템의 구성방법과 개발

1.3.1 기존 유사기술 분석

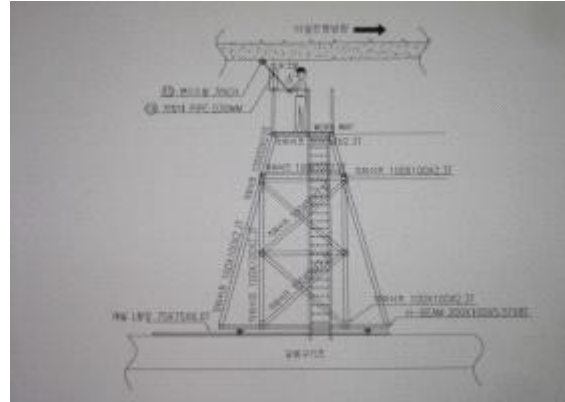
특허사례분석을 통하여 제안한 가설공사 방법과 유사한 기술 1건을 추출하여, 본 방법의 기술적 차별성을 분석하고, 유사특허와의 차별화 방안을 검토하여, 향후 제품화, 사업화의 문제점을 최소화하였다.

(1) 라이닝 콘크리트 종방향 균열유도줄눈 시공장치 및 방법(출원번호: 10-2008-0043706)(그림10-7)

- 본 발명은 라이닝 콘크리트의 특성 상 종방향 줄눈의 시공이 형태적, 위치적으로 유도줄눈의 시공이 기존의 장비 및 기타 단순한 비계 구조물로는 불가능함을 검토하여, 사람이 쉽게 조정하고 줄눈의 선형 및 높이 유지가 용이한 전동 이동식 대차를 제작하여 종방향 균열 유도줄눈의 시공이 가능토록 하는 시공방법이다.
- 본 발명은 라이닝 콘크리트의 균열유도줄눈 시공방법에 관한 것으로, 라이닝구조물과 같이 길이가 긴 콘크리트구조물을 양생시키는 과정에서 온도수축, 건조수축, 크리프수축 또는 기초지반 침하 등에 의해 발생하는 불특정 다수 곳의 균열 발생을 수축줄눈부로 유도하여 균열을 한 곳에 집중 발생시켜, 터널라이닝 콘크리트의 내구성 확보를 위한 시공방법이다.
- 본 발명을 통하여 라이닝 콘크리트의 불특정 다수 곳의 균열발생을 감소시켜 균열발생에 따른 내구성, 내구수명저하 및 균열보수에 따른 유지관리비용을 줄임으로써 보다 경제적이고 내구적인 구조물의 시공함에 효과가 있다.



(a) 단면도



(b) 측면도

그림 10-7. 유사특허 사례

(2) 차별화 방안

- 기존 특허는 터널이 완성되기 이전 인 실제 공사(라이닝)용으로서, 차량통제에 대한 문제가 제기되지 않는 아 이템이나, 본 제안기술은 가설공사를 목표로 하여 터널 내 이동 및 터널의 형상에 따라 가변 가설구조체가 가 능한 것으로 독창성과 현장 수요성이 충분한 만큼 사업화가 가능할 것으로 예상되며, 이를 위한 국내외 특허등 록 및 기술이전, 신기술 추진에 가장 근접해 있다고 판단된다. 따라서 터널전용 스마트 건설 가설재 시스템(제 안 기술) 관련 국내외 특허 관련 동일 사항이 없다고 사료된다.

1.3.2 기술트리(Technology Tree)에 의한 기능분석법

(1) 기술트리의 정의

- 터널 가설공사의 효율성 개선을 위하여 기술트리를 활용한 사례는 없으며, 이러한 건설 SOC 인프라 분야는 시스템 기술개발의 성격이 크기 때문이다. 보건산업, 기계 전자산업, 철도산업 등의 제품개발 분야에서는 과거 10여년 전부터 기술로드맵과 연계한 요구기술의 정량적인 기능전개로서 기술트리 방법이 적용되고 있다.
- 기술트리는 기술원리, 핵심기술 및 관련 특허문헌 등을 종합적이고 체계적으로 분석하는데 유용한 과학적 기능 분석 방법이다. 간단히 말하면 어느 기술을 어느 수준까지 어떤 원리로 어느 경로로 개발할 지를 한 눈에 알아 볼 수 있는 종합 작전 상황판과 같은 도구이다. 기술트리는 기술을 기능으로 표현하므로 별도의 용도나 기술방 식을 폭넓게 생각하게 하여 연구자의 시각을 넓힐 수 있다. 기술트리가 담아야 하는 내용은 첫째 기술이 어떠 한 요구사항이나 용도로 활용될 수 있으며 사업성은 어느 정도인지, 둘째 실현하고자 하는 기술방식이나 성능 목표의 수준이 트레일러에서 어느 위치에 있는지, 셋째 왜 그 기술방식을 선택했는지, 넷째 기술 데이터베이스 (DB) 를 어떻게 정리하여 활용할 것인지, 다섯째 개발계획의 수립방식, 즉 주공정의 발견은 논리적인지 이다.
- 본 연구에서 다루어 질 기술을 가지고 사전 분석을 한다면, 현장 VOC, 즉 요구사항이나 용도를 만족하는 것이 기대특성이고, 목적기능은 이것을 달성할 수 있는 기술의 전방위를 포함하는 광의의 기능이 된다. 사업성 측면 에서는 터널 가설공사의 고정 수요가 있고, 국내 최초 기술로서 해외수출도 가능하므로 사업성이 있다고 볼 수 있다. 그러한 기술방식을 선택한 것은 현장 VOC를 해결할 수 있는 최선의 방안으로 평가되었기 때문이고, 기 술 DB의 정리 및 활용이라는 연구과정을 통해, 최종적인 개발계획의 수립방식이 평가될 것이다.
- 일반적으로 기술트리의 구조는 그림 15와 같다. 기술트리의 상위기능인 요구사항은 목적기능과 기대특성으로 표현한다. 그 다음으로는 목적기능과 기대특성을 실현하는 기술원리방식을 기본기능으로 표현하는데, 원칙적으 로 현재까지 확인되어 있는 유력한 기술방식 전부를 구성하는 것이 중요하다. 이러한 기술트리 방법론을 가지 고 본 연구 제안 기술을 기능적 관점에서 상세히 분석하고자 한다.

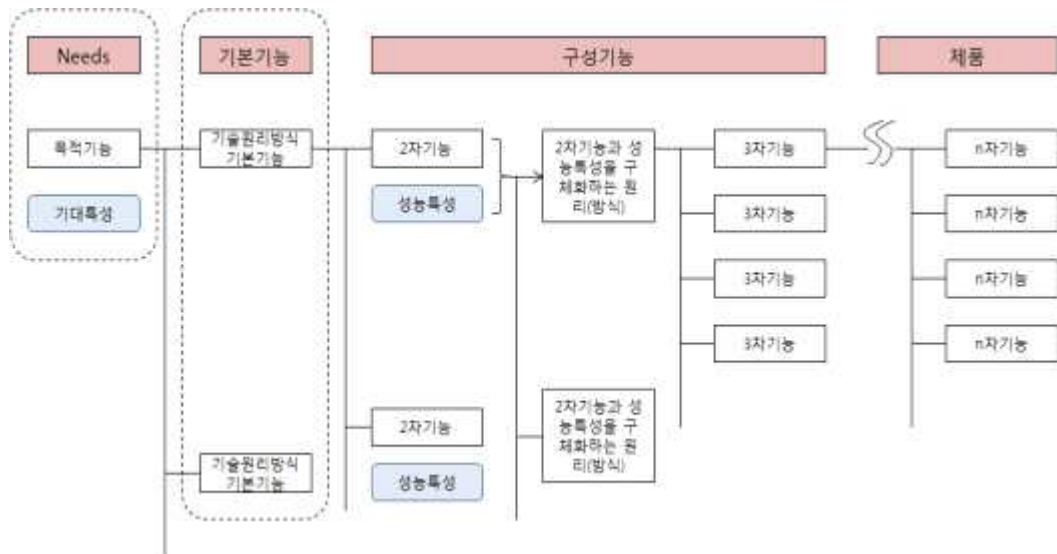


그림 10-8. 기술트리(Technology Tree)의 구조

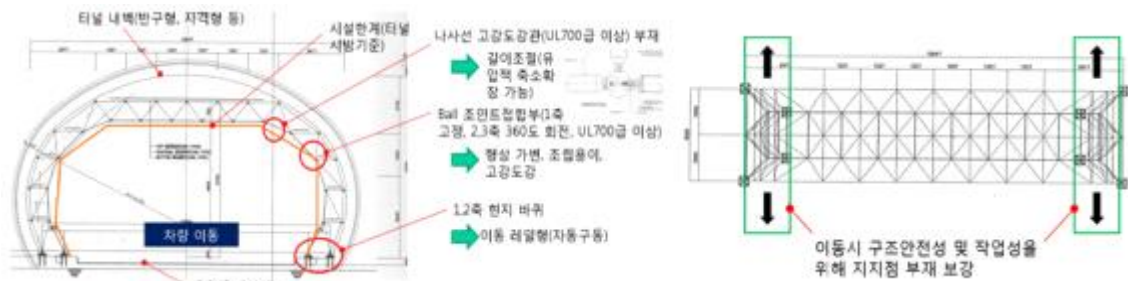


그림 10-9. 스마트 입체트러스 가설시스템(안): 단면도(좌), 평면도(우)

1.3.3 입체트러스 구조시스템의 적용

(1) 요구 기술 아이템

터널 가설공사 관행에 대한 앞선 두 가지 VOC의 해결안인 소위 스마트 입체트러스 가설시스템을 구성하기 위해서, 다음과 같은 개발 기술 제품 아이템이 요구된다.

- 가. 조립 및 해체가 용이한 조립식 트러스 부재 제품
- 나. 트러스부재와 트러스부재를 연결하는 360° 각도조절이 가능한 집합 제품
- 다. 길이조절이 가능한 트러스 부재 제품
- 라. 이동 및 중지가 가능한 입체트러스 시스템의 지지부 제품
- 마. 기타제품: 작업이 용이한 난간, 발판, 낙하물 방지 제품

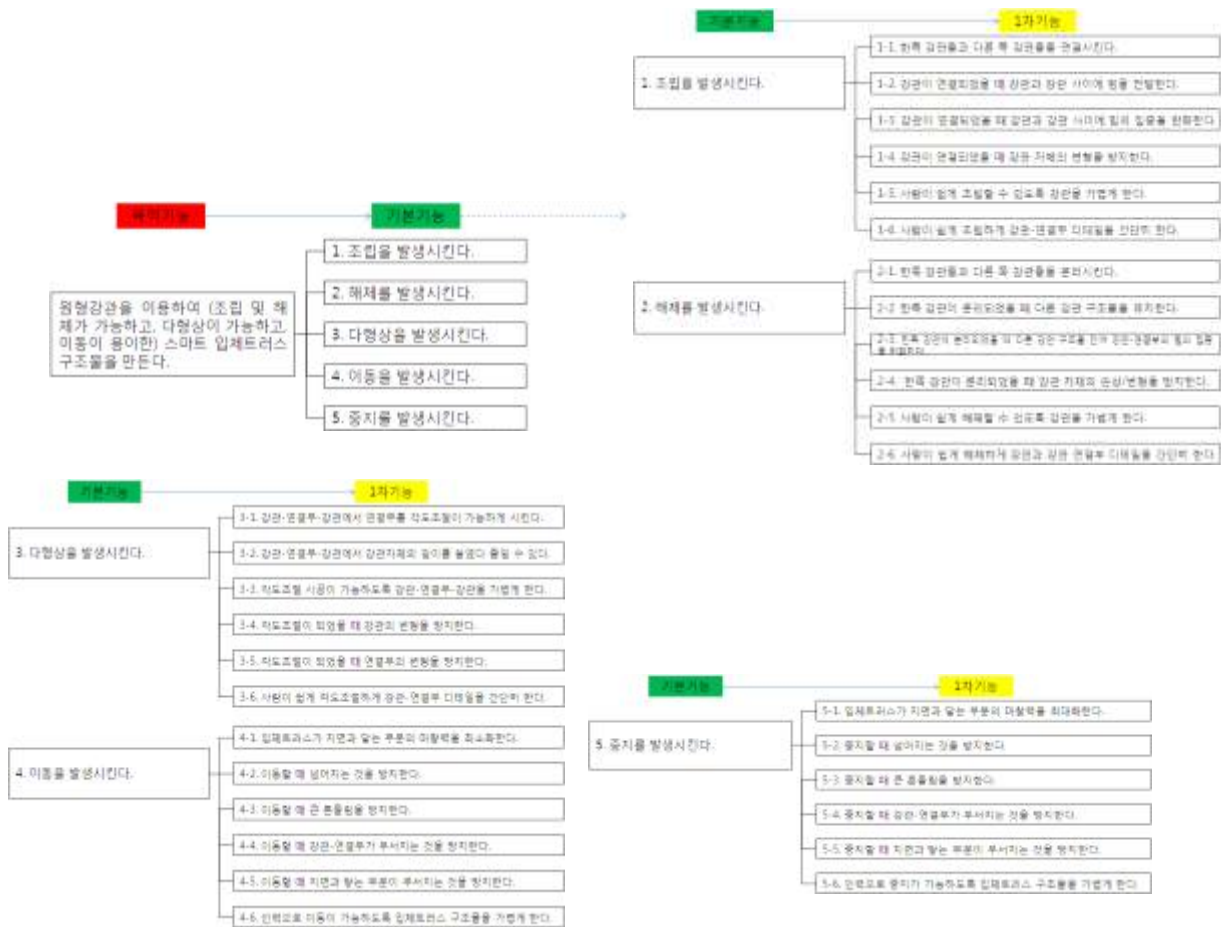
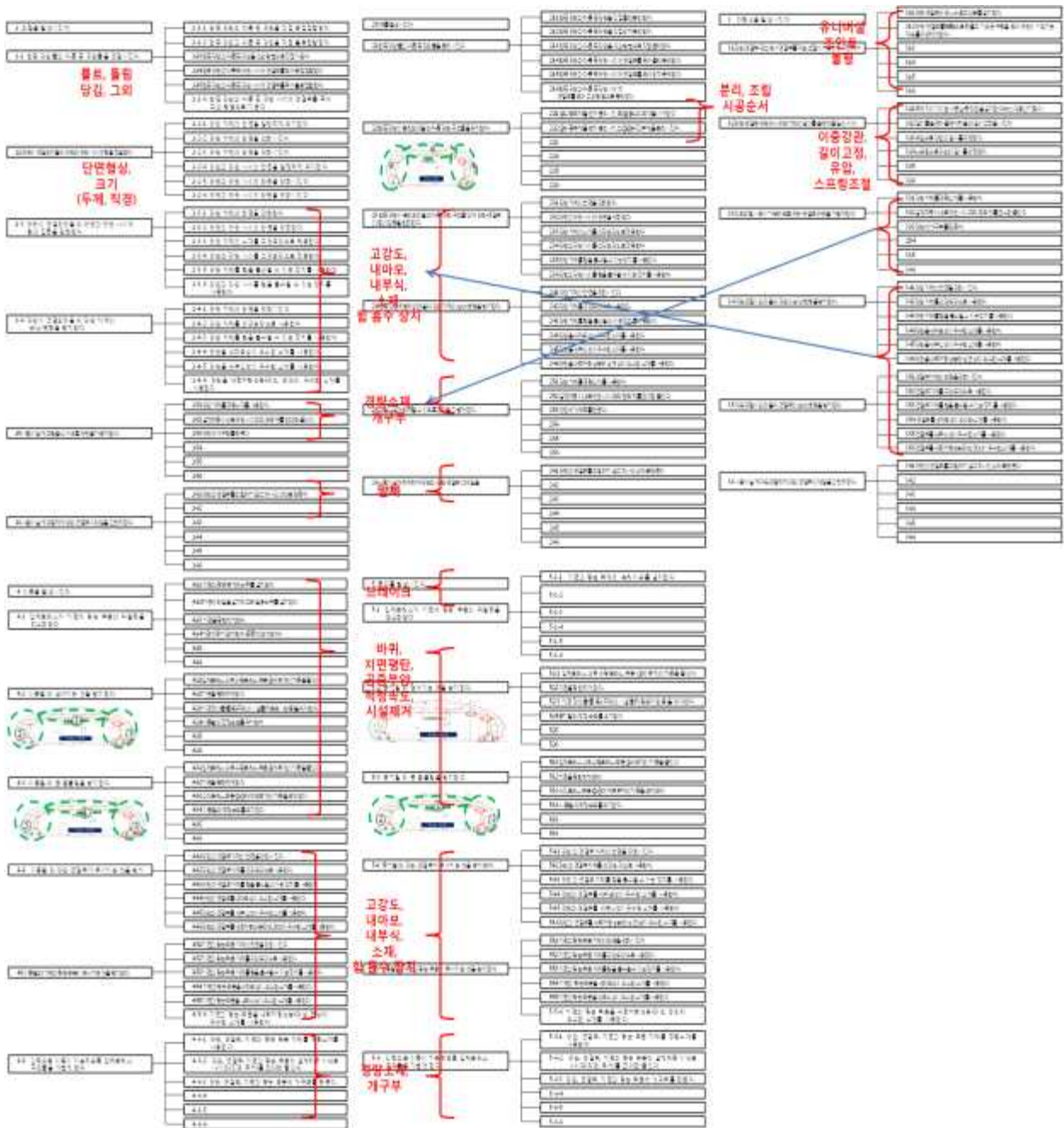


그림 10-10. 터널 가설공사용 입체트러스 가설시스템의 기술트리(Technology Tree) 전개과정

- 이는 R&D 연구기획에서 요구기술의 기능분석방법 중 하나인 기술트리(Technology Tree)(6),10)를 통해 도출되었다. 기술트리(Technology Tree)는 목적기능(주기능), 기본기능, 성능기능으로 점차 요구기능을 세분화하여 최종적으로는 제품이라는 n차 기능을 산출한다. 프로젝트의 규모에 따라 차이는 있으나, 일반적으로 3~10차 기능으로 세분화되어 분석 종료되는 것이 일반적이나, 본 가설시스템 기술은 트러스라는 기존 기술을 적용하는 기술적인 단순성 때문에, 3차 기능 분석에서 개발 기술 아이템이 도출되었다. 본 프로젝트의 목적기능은 터널 가설공사의 효율성을 위하여 앞선 VOC를 해결하는 것에 부응하는 스마트 입체트러스 가설시스템을 개발하는 것이다.
- 목적기능을 위한 기본기능은 조립을 용이하게 하는 것, 해제를 용이하게 하는 것, 다형상이 가능한 것, 이동을 용이하게 하는 것, 멈춤을 용이하게 하는 것으로 세분화할 수 있다. 각각의 기본기능에 대한 성능기능(2차기능)은 해당하는 기본기능을 충족하게 하는 기능들을 나열하면 된다. 최종적인 성능기능은 제품이라는 구체화된 기능으로 종결된다.
- 그림 10-11은 그림 10-10의 기술트리 전개방식을 통하여 공통기능으로 분류하고 최종적으로 6개의 기능으로 정리한 스마트 가설시스템에서 필요로 하는 세부 핵심기술 그룹별 결과이다. 6개 핵심기술은 집합, 단면, 부재 길이, 소재, 시공, 장치방식으로 나눌 수 있으며, 특히나 문헌분석, 전체 시스템의 구조해석, 변수 도출 및 구조 성능실험을 통해 기능전개결과의 검증이 반드시 수반되어야 한다.



기능(기술) 분류	핵심기술 내용	특허/문헌(검증1), 해석(검증2), 실험(검증3)	비고
1. 접합방식	유니버설 조인트, 볼트, 돌림, 당김, 일체, 기타	검증 1.1 실시 중	
2. 단면방식	형상, 직경, 두께	검증 1.2 실시 중	
3. 부재결합방식	이중강관, 유압, 스프링, 기타	검증 1.2 실시 중	
4. 소재방식	고강도, 내마모, 내부식	검증 1.2 실시 중	
5. 시공방식	조립시방, 해체시방	검증 1 실시 중	
6. 장치방식	힘 흡수장치, 바퀴, 브레이크, 속도조절, 지면 평탄, 기타	검증 1 실시 중	

그림 10-11. 세부 핵심기능 Grouping 결과

2. 소결

- 가. 터널의 용도, 규모, 형상 제원분석과 터널설계 시 요구조건 분석, 시설물 분석, 가설구조물의 효율성을 극대화 하는 적용처 분석을 통하여 일차적으로 2, 3, 4차선 도심지 도로터널을 대상터널 모델로 정하였다.
- 나. 대상터널에 적합한 가설구조물 모델(안)을 결정하고, 이에 대해 ABAQUS 6.5-1에 의해 구조해석을 실시하였고, 사용성 및 안전성 검증 및 단면 사이즈 최적 해를 도출하였다.
- 다. 가설구조물에 적합한 부재 집합 ALT를 도출하고, 사용성, 경제성, 구조적 안전성, 시공성, 제작성 측면에서 분석하였다.
- 라. 기술트리를 활용하여 가설구조물에 사용되는 기능들 도출하고 기술분석을 실시하고, 본 연구에서 개발하는 기술의 적합성을 검토하고, 가설시스템 기술의 효율성을 분석하였다.

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 구조성능 평가 및 현장모니터링	부재성능평가 여부
Activity	UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 접합부 구조성능 평가 (B11)	
기관	RIST	

목적	UL700 가설시스템 접합부 성능 평가		
단계	내용		산출물
검증 대상 및 공정별 제작성 평가	■ 절단, 타공, 굽힘, 용접 등 제작성 평가 수행 ■ 기존 소재(STK400, STK500) 대비 UL700 소재도 제조 공정상 큰 차이가 없고, 따라서 제작비도 별반 차이가 없을 것으로 예상됨		
시스템비계 및 동바리 성능시험	■ 시스템비계 및 동바리 - 수직재, 수평재, 가새재, 연결조인트 대상 구조부재 성능 시험 - 조립체(1단, 2단) 성능 시험 수행 - 하중조건: 인장, 압축, 휨 등		
조립식 안전난간 성능시험	■ ALT1: 불접합타입 ■ ALT2: 키접합타입		
소 결	■ UL700 소재를 이용한 제품은 별도의 추가설비 구축 없이 제작이 가능하며 부재 및 조립체 성능시험 결과 역시 기존 소재를 이용한 부재와 큰 차이 없이 안전 인증 기준을 충족함을 확인함		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

B11	UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 접합부 구조성능 평가			
단계	검증 대상 및 공정별 제작성 평가	시스템비계 및 동바리 성능시험	조립식 안전난간 성능시험	소 결

1. 검증 대상 및 방법

- (1) 시스템 비계 및 동바리: 기존 소재와 UL700 소재 비교 (수직재, 수평재 등)
- (2) 조립식 안전난간: 조선업에서 사용하는 다양한 모델 중 철골용 제품을 선정하여 기존 소재와 UL700 소재로 만든 제품에 대해 시스템비계 및 동바리와 같이 고용노동부고시에서 규정하는 시험방법을 적용하여 각 소재로 만든 제품 간의 성능을 상호 비교하고, 법정 기준에 부합하는지에 대한 평가를 실시

2. 공정별 제작성 평가

- (1) 방법: 시스템 비계 및 동바리 제조공장을 방문하여 제작 공정별 문제점 파악 및 소요시간 등을 확인하여 기존 소재와의 비교 검증을 실시

3. 공정별 검토 결과

- (1) 절단: 기존 소재와 비교하여 절단 속도나 과정에는 차이가 없음. 다만, 절단용 클립(칼날)의 교체 시기가 조금 빠름.
- (2) 타공: 드릴 타공 방식은 기존 소재에 비해 어려움이 있으나, 프레스를 이용한 펀칭 타공 방식에서는 큰 차이점이 없음.
- (3) 굽힘: 프레스를 이용한 굽힘 작업 시에도 기존 소재와 같이 찢어짐 등이 발생하지 않음.
- (4) 용접: 용접부의 균열, 변형, 모재의 구멍 발생 등 없으며, 제조공정 상 기존 소재와 큰 차이가 없음.



(a) 절단



(b) 타공



(c) 굽힘



(d) 용접

<그림 11-1 UL700 시제품 제작성 평가>

4. 소 결

기존 소재(STK400, STK500) 대비 UL700 소재도 제조 공정상 큰 차이가 없고, 따라서 제작비도 별반 차이가 없을 것으로 예상됨.

B11	UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 접합부 구조성능 평가			
단계	검증 대상 및 공정별 제작성 평가	시스템비계 및 동바리 성능시험	조립식 안전난간 성능시험	소 결

1. 구성 부재의 성능시험

- 시험기준: 방호장치 의무안전인증 고시 (고용노동부고시 제2010-36호)
- 부재별 제원

	기존 소재 제품		UL700 소재 제품	
	구조(mm)	기호	구조(mm)	기호
수직재	48.6 × 2.3 × 1900 (외경 × 두께 × 길이)	VA1	48.6 × 1.8 × 1900 (외경 × 두께 × 길이)	VB1
	48.6 × 2.3 × 3800 (외경 × 두께 × 길이)	VA2	48.6 × 1.8 × 3800 (외경 × 두께 × 길이)	VB2
	60.5 × 2.6 × 1725 (외경 × 두께 × 길이)	VA3	60.5 × 2.1 × 1725 (외경 × 두께 × 길이)	VB3
수평재	42.7 × 2.3 × 1219 (외경 × 두께 × 길이)	HA1	42.7 × 1.8 × 1219 (외경 × 두께 × 길이)	HB1
	42.7 × 2.3 × 1829 (외경 × 두께 × 길이)	HA2	42.7 × 1.8 × 1829 (외경 × 두께 × 길이)	HB2
가새재	42.7 × 2.3 × 1974 (외경 × 두께 × 길이)	BA	42.7 × 1.8 × 1974 (외경 × 두께 × 길이)	BB
연결조인트	42.7 × 2.5 × 100 (외경 × 두께 × 겹침길이)		42.7 × 2.5 × 100 (외경 × 두께 × 겹침길이)	

2. 성능시험 결과

2.1 수직재

(1) 압축하중

- ▶ 시험방법: 연결조인트를 제외한 상태에서 수직재의 양단에 나이프에지 및 나이프에지 패드를 이용하여 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전



(b) 시험 후



(c) 제품형상

<그림 11-2 수직재 압축 시험>

- ▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

부재	시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
VA1	수직재 압축하중	30 이상	43.1	3회 시험 평균
VA2		10 이상	12.2	
VA3		90 이상	98.8	

② UL700 소재 제품

부재	시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
VB1	수직재 압축하중	30 이상	41.1	3회 시험 평균
VB2		10 이상	10.5	
VB3		90 이상	105.0	

(2) 접합부 인장하중

- ▶ 시험방법: 수직재의 접합부에 수평재를 체결하고 접합부에 인장하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전



(b) 시험 후

<그림 11-3 수직재 접합부 인장 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
접합부 인장하중	30 이상	36.7	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
접합부 인장하중	30 이상	37.2	3회 시험 평균

2.2 수평재

(1) 휨하중

- ▶ 시험방법: 시스템비계를 수직재, 수평재, 가새재를 이용하여 시스템비계를 조립한 후 상부의 평행한 2개의 수평재 중앙부에 하중을 가하여 하중의 최대값을 측정하고, 이 하중시험 결과의 1/2에 해당하는 값을 구한다.



(a) 시험 전



(b) 시험 후



(c) 제품 형상

<그림 11-4 수평재 휨하중 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

부재	시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
HA1	수평재 휨하중	5 이상	11.9	3회 시험 평균
HA2		3 이상	5.5	

② UL700 소재 제품

부재	시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
HB1	수평재 휨하중	5 이상	10.6	3회 시험 평균
HB2		3 이상	7.0	

2) 결합부 전단하중

▶ 시험방법: 2개의 수직재를 수평재로 결합하고, 4개의 시험대상 수평재의 결합부를 수직재 접합부에 결합한 상태에서 2개의 수직재에 균등한 하중을 가하여 하중의 최대값을 측정하고, 이 하중시험 결과의 1/4에 해당하는 값을 구한다.



(a) 시험 전



(b) 시험 후

<그림 11-5 수평재 결합부 전단하중 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
결합부 전단하중	6 이상	8.2	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
결합부 전단하중	6 이상	8.5	3회 시험 평균

2.3 가새재

1) 압축하중

▶ 시험방법

가새재의 양단을 수직재의 가새재 체결용 접합부를 이용하여 시험기에 체결하고 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전



(b) 시험 후



(c) 제품형상

<그림 11-6 가새재 압축하중 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
압축하중	12 이상	24.6	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
압축하중	12 이상	24.7	3회 시험 평균

2) 인장하중

▶ 시험방법: 가새재를 압축시험방법과 같이 시험기에 체결하고 인장하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전



(b) 시험 후

<그림 11-7 가소재 인장하중 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
인장하중	15 이상	35.2	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
인장하중	15 이상	41.5	3회 시험 평균

2.4 연결조인트



(a) 시험 전



(b) 시험 후



(c) 제품 형상

<그림 11-8 연결조인트 압축하중 시험>

1) 압축하중

- ▶ 시험방법: 일체형 연결조인트와 수직재용 강관을 이용하여 시험체를 만들되 수직재의 맞닿는 부분이 시험체의 중앙에 위치하도록 하고 전체 길이를 600mm로 한 후 시험체의 양단에 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
압축하중	90 이상	149.4	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
압축하중	90 이상	149.1	3회 시험 평균

2) 인장하중

▶ 시험방법: 압축하중시험과 같이 시험체를 만든 후, 이탈방지핀으로 수직채와 연결조인트를 체결한 다음 수직채의 양단에 인장하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전



(b) 시험 후

<그림 11-9 연결조인트 인장하중 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
인장하중	20 이상	63.6	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
-------	--------------	------------	----

인장하중	20 이상	62.5	3회 시험 평균
------	-------	------	----------

3) 휨하중

▶ 시험방법

연결조인트를 수직재로 연결한 시험체를 지간거리가 600mm가 되도록 하여 받침틀 위에 올려놓고, 2개의 수직재 본체 강관이 맞닿는 부위가 지간의 중앙부에 위치하도록 한 후 이 지점에 하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전



(b) 시험 후

<그림 11-10 연결조인트 휨하중 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
휨하중	20 이상	16.1	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (kN)	시험 결과 (kN)	비고
휨하중	20 이상	24.0	3회 시험 평균

3. 조립체의 성능시험 방법 및 결과

3.1 조립체(1단체)의 성능시험 결과

3.1.1 시스템 비게 (S사 제품)

1) 조립체의 재원

부재	기존 소재 제품 (mm)	UL700 소재 제품 (mm)
수직재	48.6 × 2.3 × 1900 (외경 × 두께 × 길이)	48.6 × 1.8 × 1900 (외경 × 두께 × 길이)
수평재	42.7 × 2.3 × 914 (외경 × 두께 × 길이)	42.7 × 2.1 × 914 (외경 × 두께 × 길이)

2) 압축하중

▶ 시험방법

수직재 4개와 수평재 8개를 이용하여 조립체를 만든 후, 이 조립체의 4개 수직재에 동시에 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전

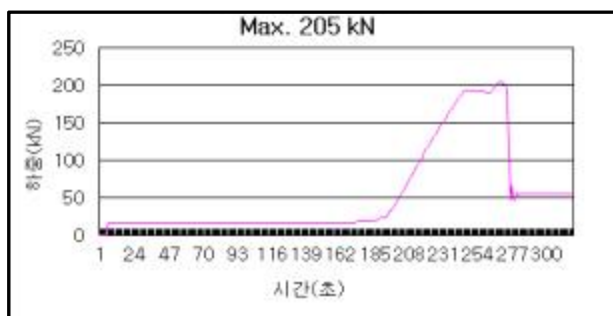


(b) 시험 후

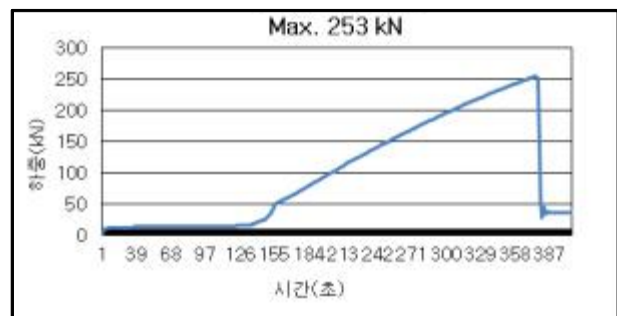
<그림 11-11 조립체 압축하중 시험 (S사)>

▶ 시험결과

시험 항목	시험 결과 (kN)	
	기존 소재	UL700 소재
압축하중	205	253



(a) 기존 소재로 만든 조립체



(b) UL700 소재로 만든 조립체

<그림 11-12 조립체 압축하중 시험 결과 (S사)>

3.1.2 시스템 비계 (D사 제품)

1) 조립체의 재원

부재	기존 소재 제품 (mm)	UL700 소재 제품 (mm)
수직재	48.6 × 2.3 × 1900 (외경 × 두께 × 길이)	48.6 × 1.8 × 1900 (외경 × 두께 × 길이)
수평재	42.7 × 2.3 × 914 (외경 × 두께 × 길이)	42.7 × 2.1 × 914 (외경 × 두께 × 길이)

2) 압축하중

▶ 시험방법

수직재 4개와 수평재 8개를 이용하여 조립체를 만든 후, 이 조립체의 4개 수직재에 동시에 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전

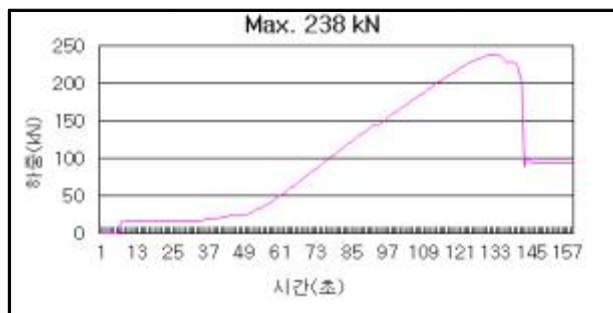


(b) 시험 후

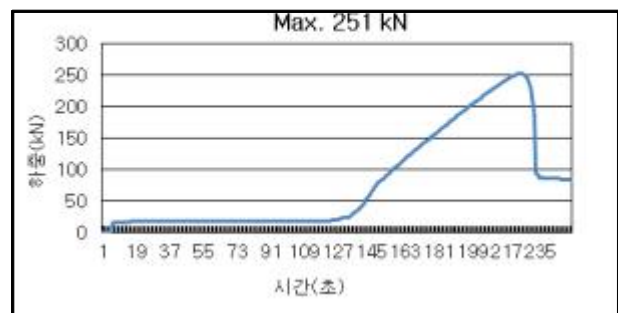
<그림 11-13 조립체 압축하중 시험 (D사)>

▶ 시험결과

시험 항목	시험 결과 (kN)	
	기존 소재	UL700 소재
압축하중	238	251



(a) 기존 소재로 만든 조립체



(b) UL700 소재로 만든 조립체

<그림 11-14 조립체 압축하중 시험결과 (D사)>

3.1.3 시스템 동바리 (D사 제품)

1) 조립체의 제원

부재	기존 소재 제품 (mm)	UL700 소재 제품 (mm)
수직재	60.5 × 2.6 × 1725 (외경 × 두께 × 길이)	48.6 × 2.1 × 1725 (외경 × 두께 × 길이)
수평재	42.7 × 2.3 × 914 (외경 × 두께 × 길이)	42.7 × 2.1 × 914 (외경 × 두께 × 길이)

2) 압축하중

▶ 시험방법

수직재 4개와 수평재 8개를 이용하여 조립체를 만든 후, 이 조립체의 4개 수직재에 동시에 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전

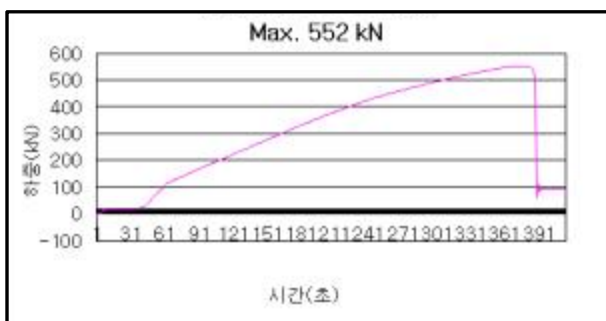


(b) 시험 후

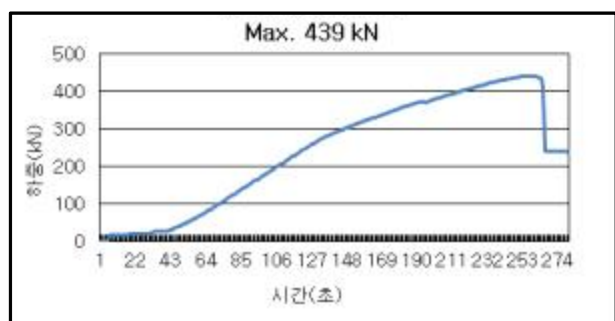
<그림 11-15 시스템 동바리 압축하중 시험 (D사)>

▶ 시험결과

시험 항목	시험 결과 (kN)	
	기존 소재	UL700 소재
압축하중	552	439



(a) 기존 소재로 만든 조립체



(b) UL700 소재로 만든 조립체

<그림 11-16 시스템 동바리 압축하중 시험결과 (D사)>

3.2 조립체(2단계)의 성능시험 결과

3.2.1 시스템 동바리 (D사 제품)

1) 조립체의 제원

부재	기존 소재 제품 (mm)	UL700 소재 제품 (mm)
수직재	60.5 × 2.6 × 1725 (외경 × 두께 × 길이)	48.6 × 2.1 × 1725 (외경 × 두께 × 길이)
수평재	42.7 × 2.3 × 914 (외경 × 두께 × 길이)	42.7 × 2.1 × 914 (외경 × 두께 × 길이)

2) 압축하중

▶ 시험방법

수직재 8개와 수평재 4개를 이용하여 2단 조립체를 만든 후, 이 조립체 4개의 2단 수직재에 동시에 압축하중을 가하여 하중의 최대치를 측정



(a) 시험 전

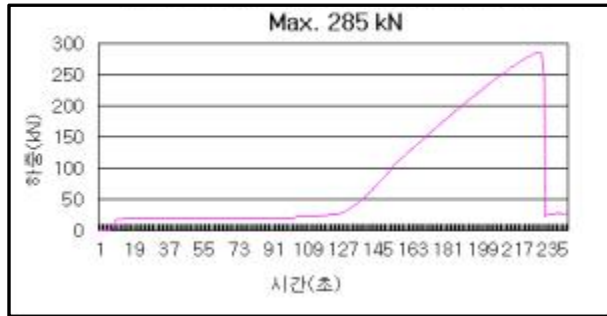


(b) 시험 후

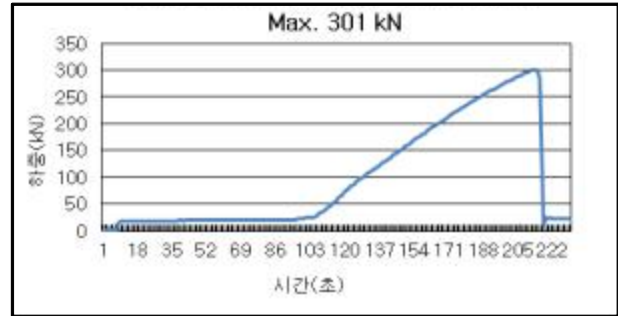
<그림 11-17 2단 조립체 압축시험 결과 (D사)>

▶ 시험결과

시험 항목	시험 결과 (kN)	
	기존 소재	UL700 소재
압축하중	285	301



(a) 기존 소재로 만든 조립체



(b) UL700 소재로 만든 조립체

<그림 11-18 2단 조립체 압축시험 결과 (D사)>

B11	UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 접합부 구조성능 평가			
단계	검증 대상 및 공정별 제작성 평가	시스템비계 및 동바리 성능시험	조립식 안전난간 성능시험	소 결

1. 조립식 안전난간 성능 시험

- 안전인증기준에서 규정한 성능시험
- 시험기준: 방호장치 의무안전인증 고시(고용노동부고시 제2010-36호)

2. 성능시험 결과

2.1 조립식 안전난간(철골용)

1) 제품 형상



(a) 안전난간기둥



(b) 수평난간대

<그림 11-19 조립식 안전난간(철골용) 제품현상>

2) 부재의 제원

부재	기존 소재 제품		UL700 소재 제품	
	구조(mm)	무게(kg)	구조(mm)	무게(kg)
안전난간 기둥	34 × 2.5 × 980 (외경 × 두께 × 높이)	5.5	34 × 1.8 × 980 (외경 × 두께 × 길이)	4.45
수평난간대	34 × 2.5 × 2500 (외경 × 두께 × 길이)	10	34 × 1.8 × 2500 (외경 × 두께 × 길이)	10

3) 안전난간 기둥의 처짐시험

▶ 시험방법

안전난간 기둥의 물림부를 두께가 10mm인 시험용 지그에 고정하고, 상부난간대 고정부에 85kg의 추를 매달아 수직처짐량 측정



(a) 기존 소재



(b) UL700 소재

<그림 11-20 조립식 안전난간 기둥 처짐 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (mm)	시험 결과 (mm)	비고
수직처짐량	100 이하	104.8	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (mm)	시험 결과 (mm)	비고
수직처짐량	100 이하	86.4	3회 시험 평균

4) 안전난간 기둥의 휨시험

▶ 시험방법

안전난간 기둥의 물림부를 두께가 10mm인 시험용 지그에 고정하고, 상부난간대 고정부에 160kg의 추를 매달아 파괴 유무를 확인



(a) 기존 소재



(b) UL700 소재

<그림 11-21 조립식 안전난간 기둥의 휨 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준	시험 결과 (mm)	비고
휨강도	파괴되지 않을 것	파괴 안됨	-

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준	시험 결과 (mm)	비고
휨강도	파괴되지 않을 것	파괴 안됨	-

5) 수평난간대의 처짐시험

▶ 시험방법

안전난간 기둥 2개를 지점거리가 2m가 되도록 설치한 후, 이 2개의 기둥에 수평난간대를 체결하고 지점거리의 중앙부 수평난간대에 120kg의 추를 매달아 수직처짐량 측정



(a) 기존 소재



(b) UL700 소재

<그림 11-21 조립식 안전난간 수평난간대 처짐시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (mm)	시험 결과 (mm)	비고
수직처짐량	50 이하	33.2	3회 시험 평균

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준 (mm)	시험 결과 (mm)	비고
수직처짐량	50 이하	34.6	3회 시험 평균

6) 수평난간대의 휨시험

▶ 시험방법

안전난간 기둥 2개를 지점거리가 2m가 되도록 설치한 후, 이 2개의 기둥에 수평난간대를 체결하고 지점거리의 중앙부 수평난간대에 160kg의 추를 매달아 파괴 유무를 확인



(a) 기존 소재



(b) UL700 소재

<그림 11-22 조립식 안전난간 수평난간대 휨 시험>

▶ 시험결과

① 기존 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준	시험 결과 (mm)	비고
휨강도	파괴되지 않을 것	파괴 안됨	-

② UL700 소재 제품

시험 항목	안전인증 기준	시험 결과 (mm)	비고
휨강도	파괴되지 않을 것	파괴 안됨	-

B11	UL700 소재 정적하중을 고려한 가설시스템 집합부 구조성능 평가			
단계	검증 대상 및 공정별 제작성 평가	시스템비계 및 동바리 성능시험	조립식 안전난간 성능시험	소 결

• 본 연구는 가설기자재의 재료로서 UL700 소재로 만든 강관이 지금까지 널리 사용되어온 STK400 또는 STK500 소재의 강관에 비해 상당히 고강도이면서도 경량화를 실현한 획기적인 제품임을 ① 제작상의 문제점 검토, ② 시험결과 분석 등의 기술적 접근방법을 이용하여 증명하고자 하였다.

• 소결

1) 제작상의 문제점 검토 단계

- ① 절단공정에서는 클립(칼날)의 교체시기가 기존 소재에 비해 조금 빠르다는 점 외에는 절단시간이나 장비의 능력한계 등 실제 가공비를 결정하는 주요 요소에는 큰 차이가 없다는 것을 확인할 수 있었다.
- ② 용접공정에서는 두께가 얇다는 점에서 모재에 구멍이 발생하거나 휘어짐 또는 변형 등의 문제가 발생할 것을 예상하였으나, 로봇 자동용접 방법으로 기본 세팅을 동일하게 하여 비교 검증한 결과, 기존 소재와의 공정상의 차이점을 발견할 수 없었다.
- ③ 타공공정에서는 드릴을 이용한 타공시에는 UL700 소재가 마찰에 대한 저항성능이 우수한 고강도 제품이라는 점에서 드릴의 마모가 상대적으로 심한 것으로 나타났으나, 펀칭 타공방법에서는 기존 소재의 가공처럼 문제점을 발견하지 못했다. 또한 이는 시스템비계나 동바리가 대량 생산되는 제품으로서, 대부분 드릴방법이 아닌 펀칭방법에 의한 타공이 이뤄진다는 점에서 실제 가공상의 문제점은 미미하다 할 수 있겠다.
- ④ 굽힘공정에서는 굽힘부의 찢어짐 등에 의한 손상 가능성을 배제할 수 없었으나, 고강도 이면서도 일정수준의 연신율을 갖는 UL700 제품은 그 특성으로 인해 손상됨이 없음을 확인하였다. 또한 현재도 연신율은 고려하지 않고 단지 강도만 높은 제품이 시중에 유통되고 있으며 이 제품의 경우에는 굽힘가공 시 굽힘부의 찢어짐이나 균열 등이 발생하는 것을 볼 수 있는데, UL700 제품은 이와는 대조적인 모습으로 나타났다. 이는 연신율이 낮으면 순간적으로 하중이 집중될 경우 휘어지는 성질보다는 취성과파괴가 일어날 수 있어 붕괴사고 등 상당한 위험이 초래될 수 있다는 점에서 비록 굽힘공정을 통한 간접적인 검증이긴 하지만 UL700 소재를 만든 기술력과 소재를 이용한 제품의 우수성을 다시한번 확인할 수 있었다.

→ 이러한 각 공정의 결과를 놓고 볼 때, UL700 소재를 이용한 제품 제작은 고강도 소재를 가공하기 위해 별도의 추가설비를 구축하지 않고 기존 설비만으로도 충분히 제품을 만들 수 있으며, 제조단가에 영향을 미치는 소요시간이나 인력 증감 등도 기존 소재와 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다.

2) 시스템 비계 및 동바리의 성능시험

가. 수직재의 성능시험

- 수직재의 성능은 2가지 시험방법으로 비교 평가를 실시하였으며, 우선 압축시험은 양단의 지지조건을 핀(힌지)으로 한 상태에서 길이가 최대 3800mm인 제품까지 성능시험을 실시하였고 그 결과 기존 소재의 제품과 큰 차이가 없었으며, 또한 안전인증 기준을 충족함을 확인하였다.
- 또한 수평재를 연결하기 위한 집합부의 인장시험에서도 큰 차이가 없었는데, 이는 기존소재와 UL700 소재의 용접된 부위에 대한 성능을 간접적으로 비교 확인할 수 있는 시험방법이며 모든 시료에서 안전인증 기준에 적합함을 확인하였다.

나. 수평재의 성능시험

- 수평재는 수평하중에 저항하는 부재인 동시에 작업발판을 설치하는 부재로서 중앙부 휨시험과 결합부의 전단시험을 실시하였으며, 중앙부 휨시험 결과 안전인증 기준에 모두 적합하였으며, 일부 부재의 경우에는 기준 대비 2배 이상의 높은 결과를 도출한 제품도 있었다. 그리고 결합부 전단시험도 안전인증 기준 대비 약

1.4배 이상의 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

다. 가새재의 성능시험

가새재는 수직재와 수평재로 이뤄진 구조체의 대각선으로 설치되어 수직하중과 수평하중을 지지하는 부재로서 압축시험과 인장시험을 실시하였으며, 압축 및 인장 시험결과 모두 안전인증 기준의 2배 이상의 성능을 갖고 있음을 확인하였다.

라. 연결조인트의 성능시험

연결조인트는 수직재와 수직재를 연결하여 수직재 간의 하중을 안전하게 전달하는 부재로서 시험방법은 압축, 인장, 휨 시험을 하였다. 성능시험 결과 기존 소재나 UL700 소재 모두 압축 및 인장 시험에서는 거의 유사한 결과를 보였으며 또한 안전인증 기준에도 만족하였다. 다만, 휨 시험 결과 기존 소재의 제품은 안전인증 기준의 80% 정도의 성능을 보인 반면 동일 두께의 UL700 소재로 만든 제품은 안전인증 기준의 약 120% 수준으로 휨 성능에서 우수함을 확인할 수 있었다.

마. 조립체의 성능시험

본 시험은 안전인증 기준에서는 정하고 있지 않지만, 단일 부재로서가 아닌 조립한 구조체로서의 성능도 인하기 위해 실시하였다. 그 결과 수직재 강관의 세장비가 낮은 동바리의 경우에는 기존 소재의 제품이 높게 평가되었으며, 상대적으로 세장비가 높은 비계의 경우에는 UL700 소재의 제품이 높은 성능을 발휘하였다. 또한 동바리의 경우 1단 조립체와는 달리 2단 조립체에서는 UL700 소재의 제품이 높은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 이는 시스템 비계 및 동바리가 통상 높게 조립된다는 측면에서 보면, UL700 소재의 제품이 기존 소재의 제품보다 더 안전성능이 우수할 수 있다고 예측해 볼 수 있겠다. 다만, 본 시험은 1회 시험한 결과에 근거한 추론이라는 점에서 최종 결론을 내리기에는 부족한 점이 있으며, 이를 보완하기 위해 차후 다수의 시험 데이터 축적 및 분석이 필요할 수 있다. 또한 앞으로는 가새재의 체결에 따른 비교 검토를 통해 실제 현장 조립상태와 유사한 구조체에서의 성능을 분석하는 연구도 진행되었으면 한다.

3) 조립식 안전난간의 성능시험

조립식 안전난간은 기존 소재와의 비교 검토보다는 안전인증 기준에 적합하면서도 경량화가 가능한 제품을 개발할 수 있는가에 연구 방향을 설정하여 시험 결과를 분석하였다. 다만, 기존 제품의 성능을 확인하는 이유는 기존 제품 대비 소재의 경량화를 어느 정도까지 가능할지 추론하기 위함이다.

가. 안전난간기둥의 성능시험

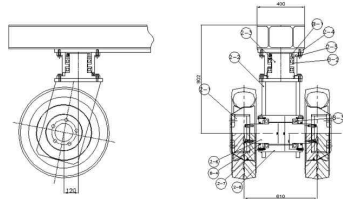
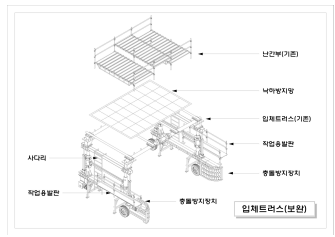
본 시험은 기둥의 고정부를 구조체에 볼트로 고정한 내민보(캔틸레버 구조) 형상으로 세팅한 후 상부난간대 체결부에 하중을 가한 상태에서 수직처짐량과 파괴 유무를 확인하였으며, 모두 적합함을 확인하였다. 또한 이 안전난간기둥은 무게가 4.4kg으로서 근골격계 예방이라는 소기의 목적인 4.5kg 이하의 제품을 만들 수 있는가라는 점에서 볼 때 그 가능성을 확인할 수 있었다. 다만, 본 제품은 짧은 연구기간에 이뤄진 성과물로서 볼트 고정부의 크기를 50mm 이하로 하였다는 점에서 실제 현장에서는 일부 구간에만 사용이 가능할 것으로 보이며, 차후에는 고정부의 크기를 70mm 이상으로 하여 범용으로 사용할 수 있는 후속 모델의 개발이 필요하다.

나. 수평난간대의 성능시험

수평난간대는 별도의 가공 없이 UL700 소재의 강관 그대로가 수평난간대로서의 역할을 수행할 수 있는가를 평가한 것으로서, 수직처짐량의 경우 안전인증 기준 대비 약 30% 정도 여유 있게 안정적인 상태로 적합함을 확인하였다. 이를 볼 때 차후 1.8mm 두께보다 더 작은 치수의 소재를 개발해 봄직도 하다.

→ 이러한 결과들을 볼 때, 앞으로 UL700 소재는 가설기자재를 만드는 재료에 대한 기존의 인식을 바꿔줄 것이며 창의적인 개발 제품을 만들 수 있는 기회를 제공하게 될 것으로 기대된다.

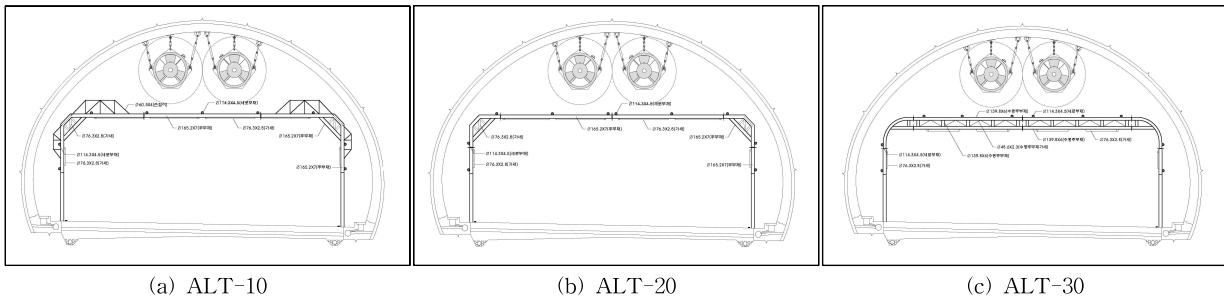
공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 구조성능 평가 및 현장모니터링	시제품제작 여부
Activity	가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작 (B12)	
기관	RIST	

목적	입체트러스 최종 형상 확정 및 제작		
단계	내용		산출물
입체트러스 최종안 확정	■ 입체트러스 최종안 확정 ■ 입체트러스의 길이조절부재		시제품 1건
입체트러스 상부구조물 제작	■ 입체트러스 상부구조물의 구성 ■ 입체트러스 상부구조물의 부재 접합부		시제품 1건
입체트러스 구동부 제작	■ 입체트러스 구동부의 구성 ■ 장치의 설명 - Drive part - Idle part - Mity Servo - 상하이송 장치 및 support		시제품 2건
입체트러스 기타 장치 제작	■ 입체트러스 측벽 작업 장치 ■ 구동부-통과차량 충돌방지장치 ■ 작업사다리 ■ 낙하방지망 ■ 통과높이 제한 임시 안전프레임		
관련 목표 성과물	시제품 제작 4건		

B12	가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작			
단계	입체트러스 최종안 확정	입체트러스 상부구조물 제작	입체트러스 구동부 제작	입체트러스 기타 장치 제작

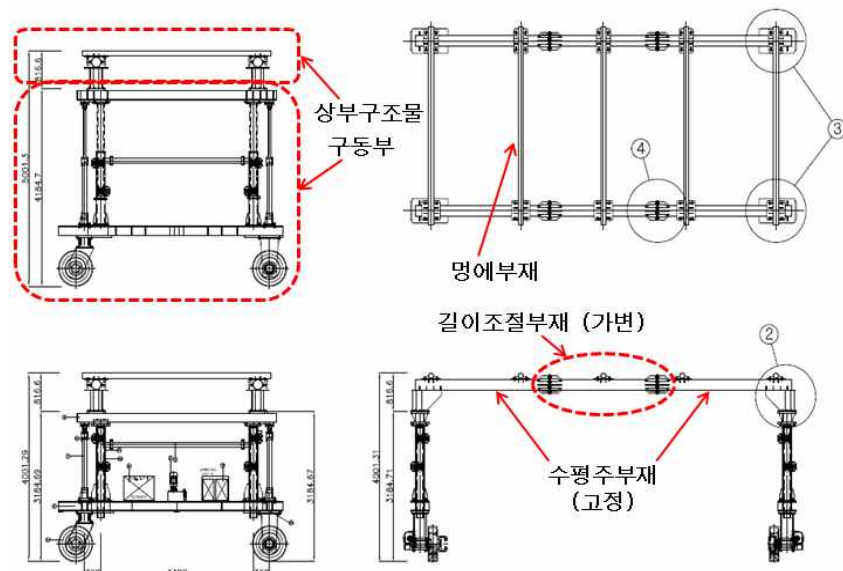
1. 입체트러스 최종안 확정

- 1차년도에 제안된 입체트러스의 형상은 그림 12-1에 나타난 것처럼 터널의 크기와 건축한계높이(4.8m)를 고려하여 직경 약 165.2mm의 원형강관을 주부재로 한 총 3가지의 수평트러스 형식 시스템을 고안하였다.
 - ALT-10: 수평부재 양끝단 코너부를 보강하기 위해 45도 각도로 가새를 두었으며 작업자가 올라가기 쉽도록 손잡이를 설치
 - ALT-20: ALT-10에서 손잡이를 생략한 형태
 - ALT-30: 터널 단면이 곡률인 점을 고려하여 코너를 둥글게 처리하고 부재사이지를 줄이기 위해 트러스 형식으로 수평부재를 설계
- (입체트러스 형상 관련 Activity: A18 참고)



<그림 12-1 개발초기 입체프레임 모델 형상>

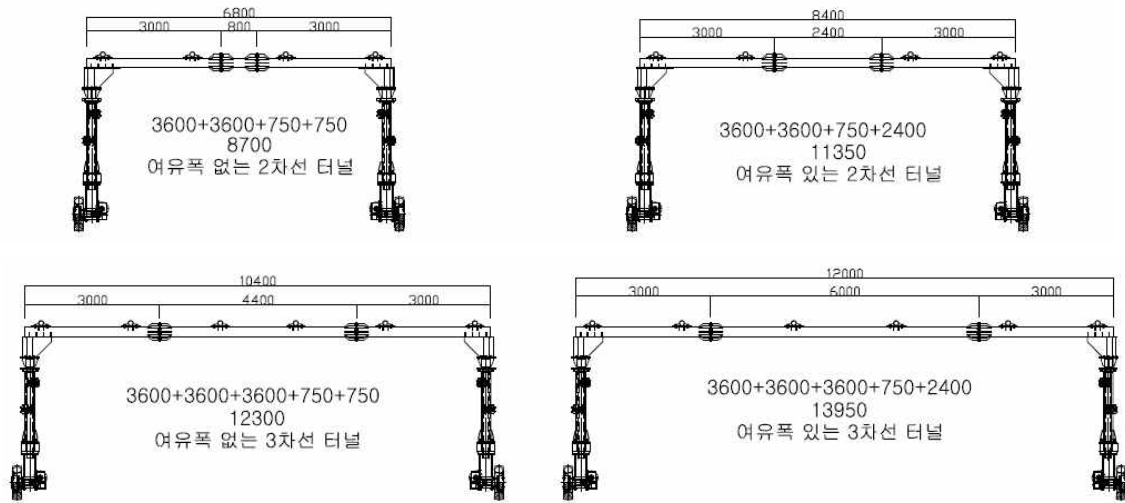
- 최종안: 세가지 형상 모두 4차선 터널에 적용할 경우 늘어난 폭으로 인해 치짐이 증가하였으므로 최종 확정안에서는 원형강관 직경을 216.3mm로 증가시키고 건축한계선 높이와 환풍기 하단 사이의 공간(240mm)에 적용하기 위해 단층으로 설계하였다 (p.146 시스템 높이 결정 방법 참고). 코너부 또한 상부에 비계 설치를 용이하게 하기 위해 직각 형태로 설계하였다. 2차선 터널중 측면 여유폭이 없는 경우의 최종 확정안 형상을 그림 12-2에 각 부재 명칭과 함께 나타내었다.



<그림 12-2 입체프레임 최종안 형상>

2. 입체트러스의 길이조절부재

- 개발된 입체트러스는 그림 12-3에 보여진 것처럼 수평부재의 가운데 부재 길이를 교체함으로써 터널 2차선부터 4차선까지 적용가능하게 설계되었다. 여기서 3600mm은 차선 폭, 750mm은 노건 폭 크기이다.



<그림 12-3 길이조절부재에 따른 폭 치수의 변화>



<그림 12-4 입체트러스 조립도 (측벽작업대, 안전망, 구동부 충돌 보호대 등은 안보여짐)>

B12	가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작			
단계	입체트러스 최종안 확정	입체트러스 상부구조물 제작	입체트러스 구동부 제작	입체트러스 기타 장치 제작

1. 입체트러스 상부구조물의 구성

- 그림 12-2에 보여진 것처럼 입체트러스 상부구조물은 크게 수평주부재(길이 고정)와 터널폭에 따라 교체할 수 있는 길이조절부재가 구동부에 앞뒤로 연결되어지며 두 프레임을 연결하는 멍에부재로 구성되어 있다. 각 부재의 치수와 수량을 표 12-1에 나타내었다. 여기서 4차선용 길이조절부재(L=8800)의 경우 3차선용(L=4400) 길이조절부재 두 개를 연결하여 사용하는 방식을 채택하였다.

<표 12-1 상부구조물 부재 치수 및 완성 모습>

	수평주부재	길이조절부재	멍에부재
단면크기	Ø216.3x7.6	Ø216.3x7.55	Ø114.3x5.5
재질	SPPS380	SPPS380	SPPS380
길이x갯수	3000x4EA	800x2EA (2차선) 2400x2EA (2차선+여유폭) 4400x2EA (3차선) 6000x2EA (3차선+여유폭) 8800x2EA (4차선)	4200x6EA
제작된 모습			

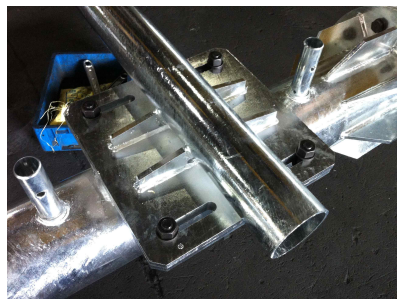
* Plate 재질: SS400, 볼트: 고력볼트 M20 F10T 사용

2. 입체트러스 상부구조물의 부재 접합부

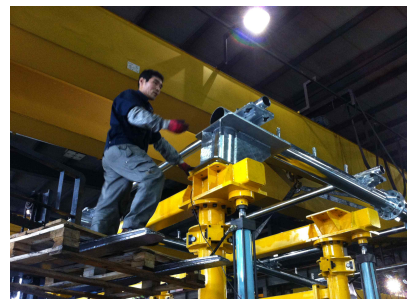
- 상부구조물 부재의 접합부는 사용시 처짐을 최소화하도록 부재 끝단에 원형 end plate를 용접하고 보강판으로 보강하였다. 현장에서의 조립/해체가 용이하도록 하기위해 모든 접합은 볼트 접합방식이 사용되었다.
- 수평 주부재와 멍에부재의 접합은 멍에부재 양 끝단 하부에 정사각형 plate를 용접하고, 수평 주부재에 기 용접되어있는 같은 크기의 plate에 맞추어 현장에서 볼트로 체결하게 하였다. 현장 조립시 체결오차를 고려하여 수평/수직 슬롯을 두었다.
- 상부구조물 부재 접합부 형상을 그림 12-5에 나타내었다.



(a) 수평주부재-길이조절부재 접합부



(b) 수평주부재-멍에부재 접합부



(c) 수평주부재-구동부 접합부

<그림 12-5 상부구조물 부재 접합부 형상>

B12	가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작			
단계	입체트러스 최종안 확정	입체트러스 상부구조물 제작	입체트러스 구동부 제작	입체트러스 기타 장치 제작

1. 입체트러스 구동부의 구성

1) 그림 12-2에 보여진 것처럼 입체트러스 구동부는 구동, 조향, 제동을 위해 AC Induction Motor를 Servo Controller로 전환하여 고정 위치제어, 가변 토크제어, 속도제어, 동기운전제어 등의 첨단제어 기술력을 적용하여 안전 및 생산성 향상에 기여하였다. 상하 높이 조절을 위해서 유압 실린더 형식을 적용하였으며 상부구조물과 상호 조립이 용이하도록 모든 접합부를 볼트접합으로 설계하였다.

2) 구동부 제원:

- 구동모터 : 7.5KW 4P 인제션 모터 x 2EA
- CONTROL 장치 : MITY SERVO 제어방식(MODEL명 : VEA-75)
- ENGINE장치 : 제넥스 발전기(MODEL명: SG 7600EX)
- WHEEL 구동방식 : 전륜구동 (후륜 : IDLE)
- 거리감지 장치 : 초음파센서

3) 상/하 이송부 제원

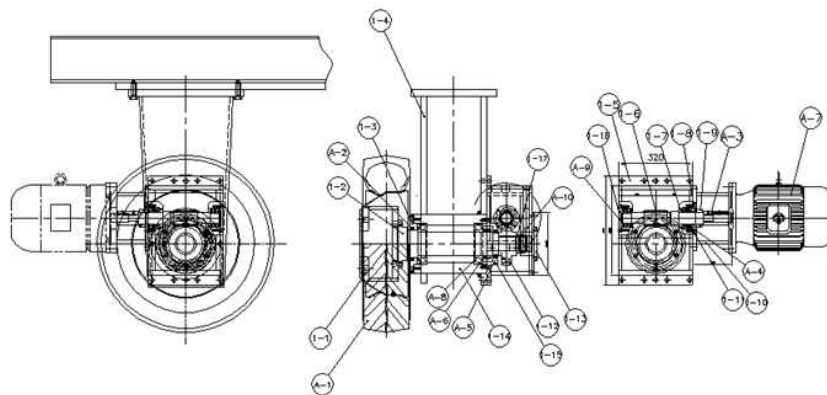
- 상/하 이송 : HYDRAULIC CYLINDER (Ø100*1000ST), POWER PACK (25L)

2. 장치의 설명 (그림 12-6)

1) DRIVE PART: MITY SERVO 기능으로 부터 전달 받은 회전으로 모터를 회전 시키며 WORM & WORM WHEEL GEAR(1-6)으로 DRIVE 회전기능으로 전달되며 바퀴를 회전시킨다.

- 구조 : DRIVE PART는 모터, WORM&WORM WHEEL GEAR, DRIVE HOUSING, HUB, WHEEL, SUPPORT로 구성

- (a) MOTOR 기능 : MITY SERVO 장치로부터 전달받은 회전명령으로 정,역회전을 하는 기능을 한다.
- (b) WORM&WORM WHEEL GEAR의 기능 : HIGH TORQUE와 감속비를 얻기 위해 사용한다
- (c) DRIVE HOUSING의 기능 : DRIVE SHAFT와 BEARING HOUSING 및 HUB WHEEL 로 구성됨
 - DRIVE SHAFT : WORM&WORM WHEEL로부터 감속된 회전을 바퀴에 전달하는 역할을 한다.
 - BEARING HOUSING : DRIVE SHAFT가 원활하게 회전할 수 있도록 BEARING(TAPER ROLLER BEARING 베어링규격:30220A)로 SHAFT를 지지한다.
- (d) WHEEL(TIRE)의 기능 : 구조물의 하중의 지지와 도로의 노면에서 구동할 때 발생하는 충격을 흡수하는 역할을 한다.
- (e) SUPPORT의 기능 : DRIVE PART와 구조물의 연결



<그림 12-6 구동부 Drive part>

2) IDLE PART(그림 12-7): IDLE WHEEL은 DRIVE WHEEL움직임에 따라 이동되며 2개의 바퀴로 안정성을 유지하고 있다. 전,후진의 방향 전환에 따라 자유롭게 이동 및 회전할 수 있도록 설계되어 있음.

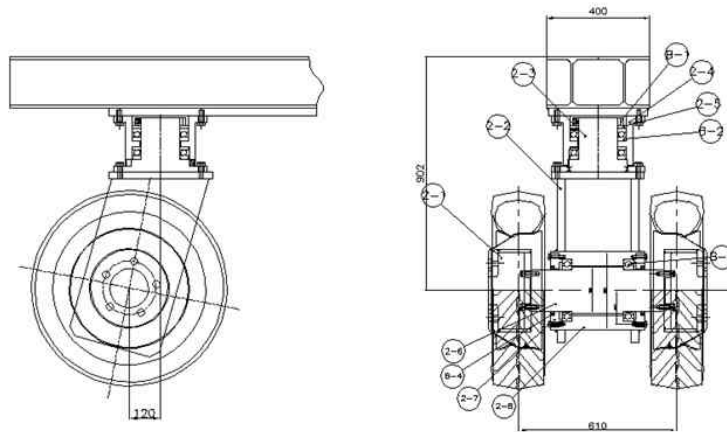
- 구조 : 회전용 THRUST BEARING HOUSING, IDLE용 BEARING HOUSING, IDLE SHAFT, HUB, WHEEL(TIRE), SUPPORT로 구성 되어 있음.

(a) THRUST BEARING HOUSING PART의 기능 : 가설물 의 전,후진 및 방향 전환에 원활함을 돕기 위해 회전이 360° 회전이 가능하도록 되어 있음.

(b) IDLE용 BEARING HOUSING PART의 기능 : IDLE SHAFT가 원활하게 회전 할 수 있도록 BEARING으로 지지하여 회전 하도록 되어 있다.

(c) IDLE SHAFT의 기능 : 바퀴가 구동 할 수 있도록 연결 지지 하도록 되어 있음.

(d) IDLE WHEEL(TIRE)의 기능: IDLE WHEEL은 좌우 각각 2개씩 구조로 되어 있음.

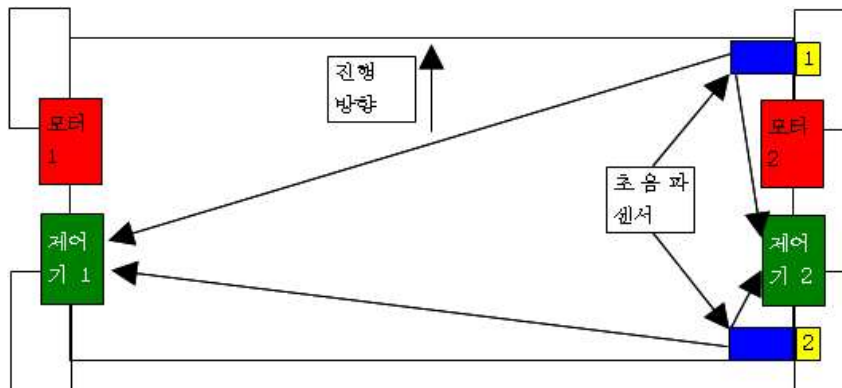


<그림 12-7 구동부 Idle part>

3) MITY SERVO 기능(그림 12-8): 초음파 센서를 사용하여 벽의 거리변화를 측정하여 진행한다.

- 동작설명:

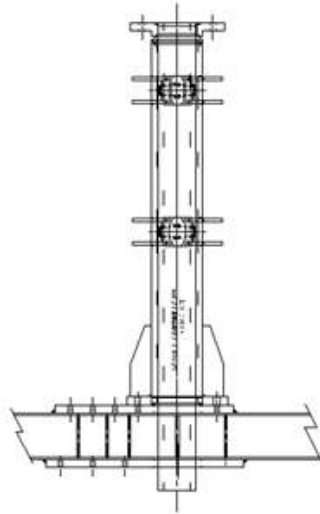
- 1번 초음파 센서와 2번 초음파 센서의 값이 설정 범위에 있으면 모터1과 모터2의 속도를 같이 하여 진행
- 1번 초음파 센서가 변화가 적고 2번 초음파 센서가 크게 변화하면 모터 1번을 저속 또는 정지를 시킨 다음 모터 2번을 고속 또는 운동을 시켜 1번 센서와 2번 센서의 값이 설정 범위까지 되도록 모터를 운행
- 1번 초음파 센서가 변화가 크고 2번 초음파 센서가 적게 변화하면 모터 2번을 저속 또는 정지 시킨 다음 모터 2번을 고속 또는 운동을 시켜 1번 센서와 2번 센서의 값이 설정 범위 까지 되도록 모터를 운행
- 초음파 센서 1,2의 값이 급변 하면 모든 모터는 정지함
- 제어기는 외부 입력 신호를 받아 모터를 구동하며, 모터1과 모터2의 속도는 실시간으로 제어기에서 인식하여 모터속도를 동기 시킨다.



<그림 12-8 MITY SERVO의 기능 개념도>

4) 상/하이송 장치 및 SUPPORT (그림 12-9)

- HYDRAULIC CYLINDER의 기능 : 가설물의 상/하 높이조절을 하는데 사용되며, STROKE 0mm ~ 1000mm 이내
- SUPPORT의 기능 : 구조물의 전체 하중을 지지 하며 LIFTING후 HYDRAULIC CYLINDER의 흔들림을 보완 하며 유압 의 누유 발생시 하강 방지용 안전편이 있으며, INLET SUPPORT 와 OUTLET SUPPORT 구조로 되어 있으며 좌우의 흔들림 방지를 위해 3곳에 지지 롤러로 상,하에 설치되어 있음.

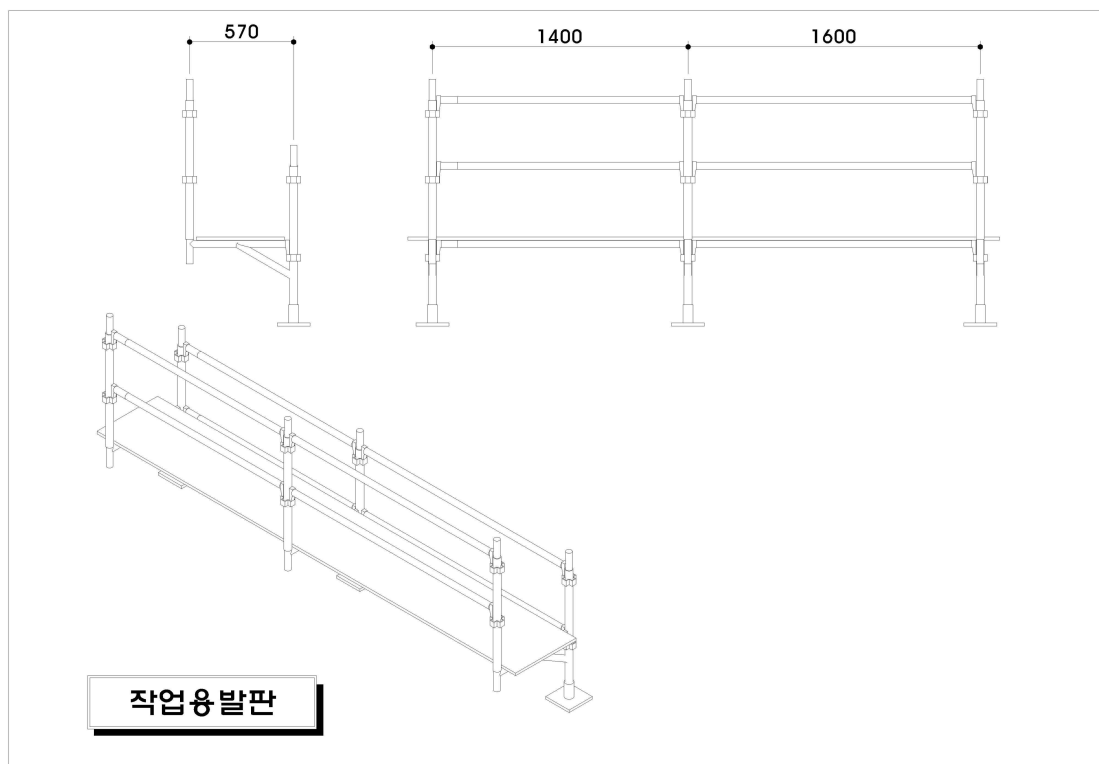


<그림 12-9 상하이송장치>

B12	가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작			
단계	입체트러스 최종안 확정	입체트러스 상부구조물 제작	입체트러스 구동부 제작	입체트러스 기타 장치 제작

1. 측벽 작업용 장치 제작

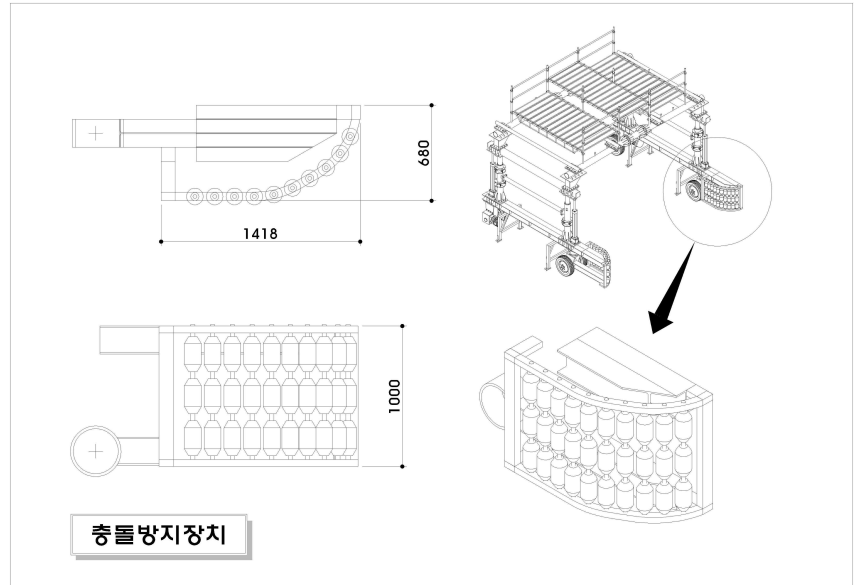
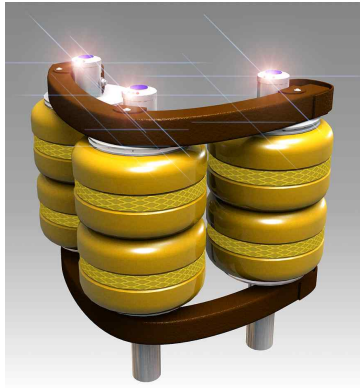
- 1) 곡면인 터널 단부형상의 특성상 직각 형상의 가설시스템은 측벽부 작업의 어려움이 따를 수 있다. 이를 해결하기 위해 앞 절의 Activity B04에 언급한 것처럼 측벽작업용 발판을 그림 12-10에 보여진 것처럼 설치한다.
- 2) 부재크기
 - 현장에서 조립을 용이하게 하기 위해 일반적인 가설 비계를 사용하여 아래 그림과 같이 조립한 뒤 가설 시스템에 설치를 한다.



<그림 12-10 측벽 작업용 발판>

2. 구동부-통과 차량 충돌방지 장치

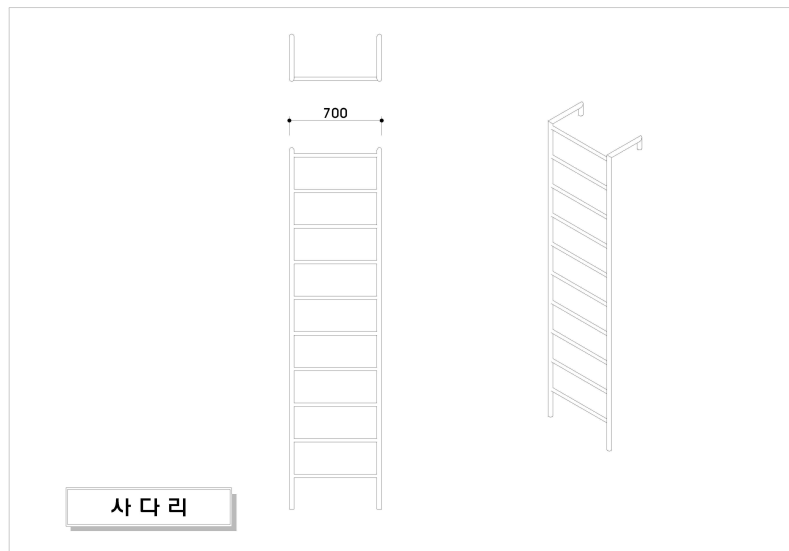
- 1) 가설시스템 하부를 통과하는 통행차량과 가설시스템 구동부 내측부 충돌을 방지하기 위해 그림 12-11과 같이 구동부 충돌방지 장치를 설치한다.
- 2) 충돌방지장치 특징
 - 그림 12-11에 보여진 것처럼 차량 충돌시 충격에너지를 충격흡수롤러가 회전에너지로 변환시켜 안전하게 주행차로로 복귀시켜 대형사고 예방과 운전자의 안전을 최대한 확보하는 통롤러(금성산업, www.ks0486.com) 등을 이용한다.



<그림 12-11 통틀러 예 및 구동부 보호 충돌방지장치 설치 도면>

3. 작업 사다리

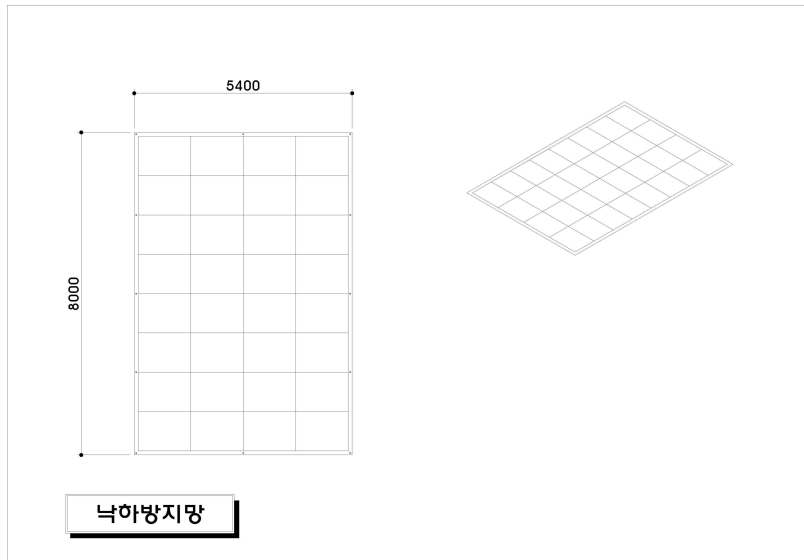
- 1) 터널 상부 작업을 위해 지상에서 가설시스템 상부로 이동을 용이하게 하기 위해 그림 12-12와 같이 착탈식 사다리를 설치한다.



<그림 12-12 가설시스템 상부 이동용 사다리>

4. 낙하방지망

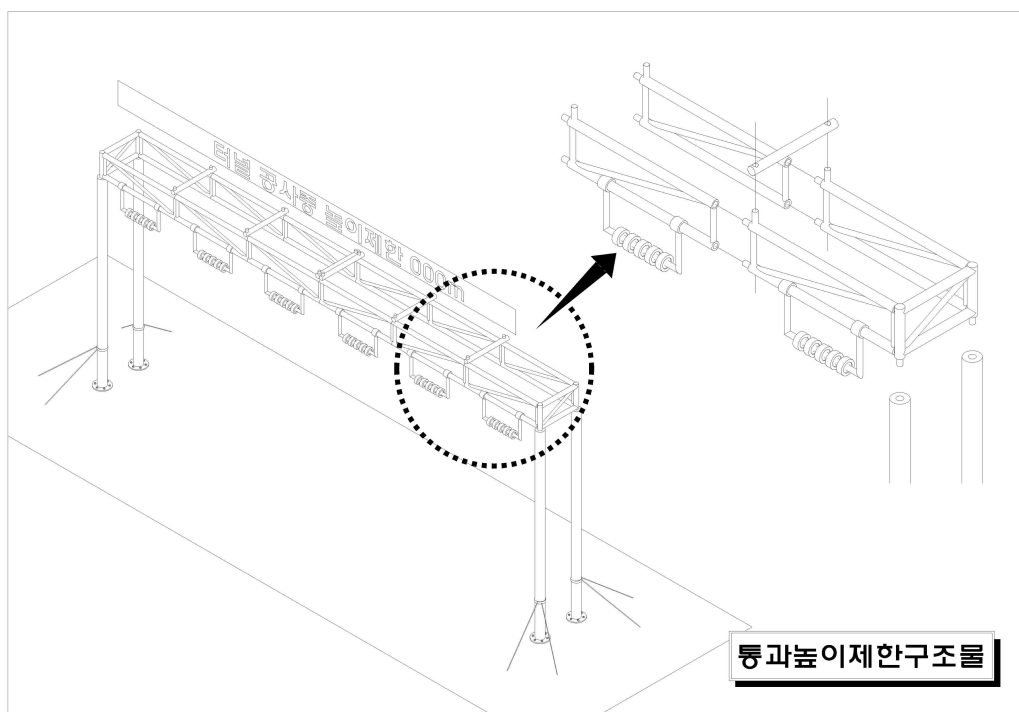
- 1) 터널상부 작업시 장비 및 이물질의 추락을 방지하기 위해 그림 12-13에 보여진 것처럼 그물로 이루어진 낙하방지망을 상부구조물 하부에 부착을 한다.



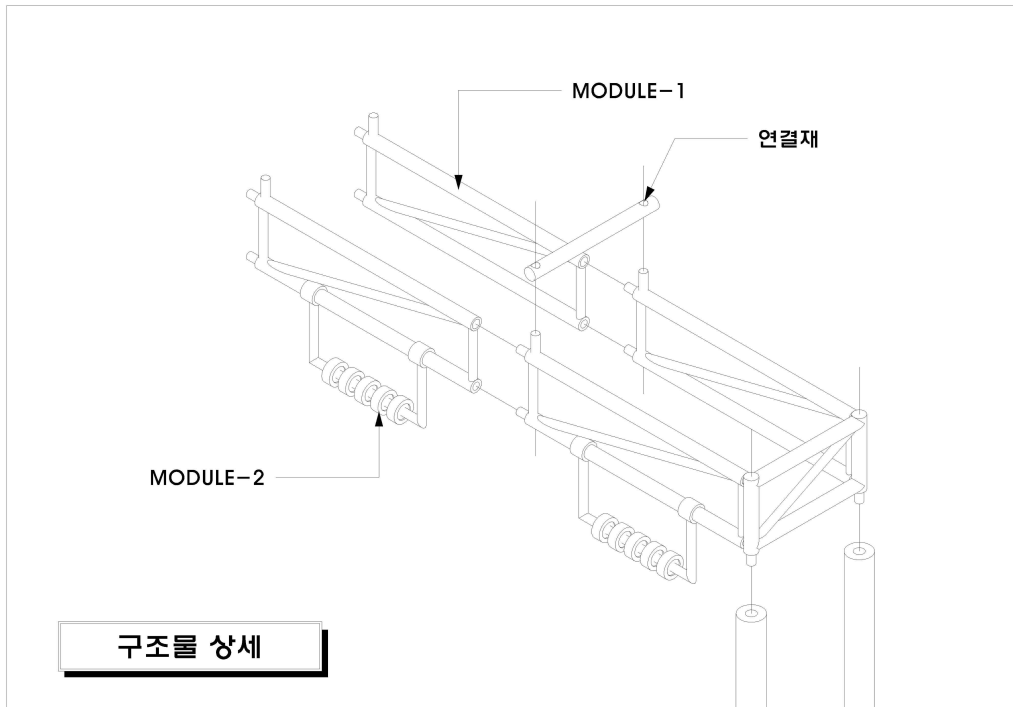
<그림 12-13 가설시스템 이물질 낙하방지망>

5. 통과높이제한 임시 안전프레임

- 1) 가설시스템을 이용한 터널 내부 작업시 안전 높이인 4.5m를 초과하는 과적차량에 대한 터널 내부 진입을 사전에 방지하기 위해 그림 12-14에 보여진 것처럼 통과 높이 제한 임시 안전프레임을 Activity B05철에서 언급한 시공방식에 따라 터널 입구에 미리 설치한다.
- 2) 구성
 - 안전프레임은 현장에서 조립과 해체가 용이하게끔 그림 12-15에 보여진 것처럼 트러스 형식의 모듈로 구성되어 있으며 볼트 조립후 지상에 앵커볼트로 고정되며 추가 횡하중 저항을 위해 와이어로 고정한다.



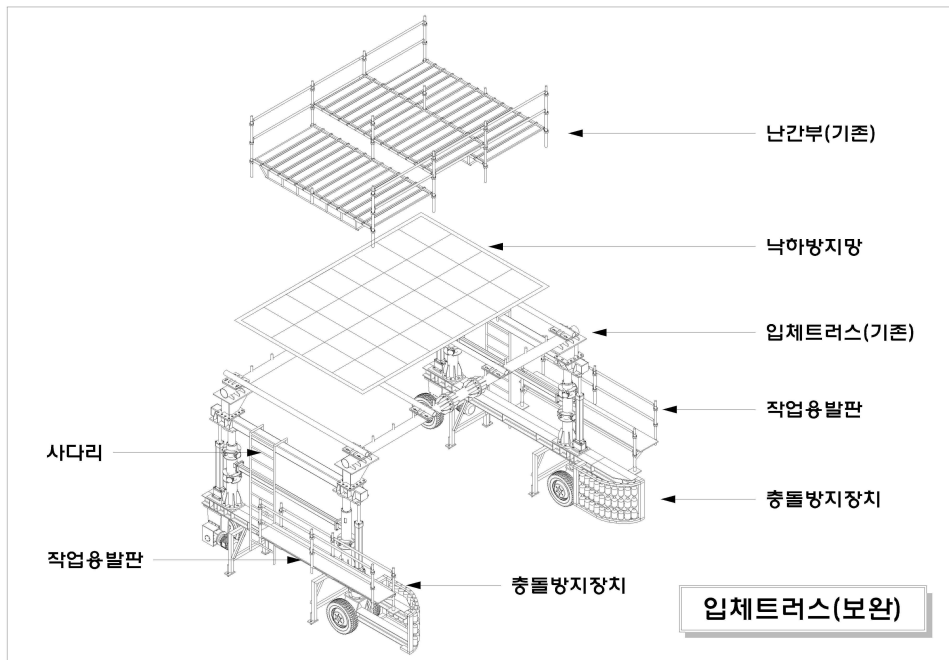
<그림 12-14 터널 통과높이 제한 임시 안전프레임>



<그림 12-15 터널 통과높이 제한 임시 안전프레임 모듈 상세>

6. 입체프레임 조립 상세

- 1) 앞에서 언급한 안전 및 편의성을 위한 4가지 추가 장비(측벽 작업용 발판, 충돌방지장치, 낙하방지망, 사다리 등)를 장착한 가설시스템의 모습을 그림 12-16에 나타내었다.



<그림 12-16 안전/편의 시설 장착예>

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 구조성능 평가 및 현장모니터링	현장적용 여부
Activity	Pilot test 및 현장 모니터링 (B13)	
기관	RIST	

목적	입체트러스 조립/구동/해체 시물레이션 및 터널 현장 적용 모니터링		
단계	내용		산출물
입체트러스 조립/구동/해체 시물레이션	■ 조립/구동/해체 시물레이션 일지 ■ 운반 ■ 조립/구동/해체 ■ 시물레이션 모니터링 결과 요약		
입체트러스 터널 현장 적용	■ 개요 및 대상 - (구)김해터널 ■ 일정 - 첫째날 (9/11): 입체프레임 현장 운반, 조립, 시운전 - 둘째날 (9/12): 현장 적용 (터널 진입 및 모니터링)	 	
소 결	■ 터널 현장 적용 결과 기존 시물레이션 대비 조립소요 시간 약 75% 단축 (4시간 → 약 1시간) ■ 소결 - 차량통제없이 낮에 작업을 수행하므로 기존대비 뛰어난 시공성을 보임 - 기존 대비 약 30% 공기 단축이 가능 - 기존 대비 심각한 교통체증을 야기하지 않음		
관련 목표 성과물	터널 현장 적용 1건		

B13	Pilot test 및 현장 모니터링		
단계	입체트러스 조립/구동/해체 시뮬레이션	입체트러스 터널 현장 적용	소결

1. 조립/구동/해체 시뮬레이션 일시

- 완성된 입체트러스 시제품에 대한 특기시방서 제작을 위해 조립/구동/해체 시뮬레이션을 수행
 - 일시: 2013년 7월 9일 13:00-18:00)
 - 장소: 송도신도시 3차선 도로
 - 동원인력: 조립/해체 도비인원: 3명, 시스템 비계 설치 인원: 2명

2. 운반

- 구동부, 상부구조물 부재, 시스템비계 각각 운반
- 구동부의 경우 높이로 인해 일반 트럭대신 저상 트레일러로 운반 (그림 13-1)



<그림 13-1 구동부 운반 모습>



<그림 13-2 시뮬레이션후 기념사진>

3. 조립/구동/해체

- 조립: 입체트러스의 조립을 위해서 25톤 크레인을 대여하였다. 상부구조물과 구동부 및 시스템 비계 조립과정을 그림 13-3에 나타내었다.
- 구동 시험: 전진 후진 구동시험과 유압실린더에 의한 상하 이송 시험 등을 수행하였다.
- 해체: 조립의 역순으로 수행되었으며 조립시 소요되었던 시간보다 적은 시간이 소요되었다.

4. 시뮬레이션 모니터링 결과 요약

- 소요시간
 - 조립: 운반 및 설치준비:30분, 상부구조물 (주부재, 길이조절부재, 명에부재): 2시간 20분, 구동부 포지셔닝: 20분, 상부구조-구동부 조립: 45분, 시스템비계 설치: 20분 → **총 4시간 15분 소요됨**
 - 구동시험: 전진/후진/상하 구동 (약 30분)
 - 해체: 1시간 30분
- 시사점
 - 시간단축을 위해 설치시 상부구조 (4명)와 구동부 (2명) 조립인원 분리 작업 필요
 - 사전 현장 답사를 통해 길이조절부재를 미리 조립하여 현장으로 운반하는 것이 바람직함
 - 상부구조 프레임의 정밀 포지셔닝을 위한 개선이 필요
 - 상부구조물과 구동부 조립시 신속체결을 위한 접합부 개선이 필요

- 터널 현장의 좁은 작업폭을 고려한 중장비 (크레인, 운반트럭 등) 동선 정리 필요

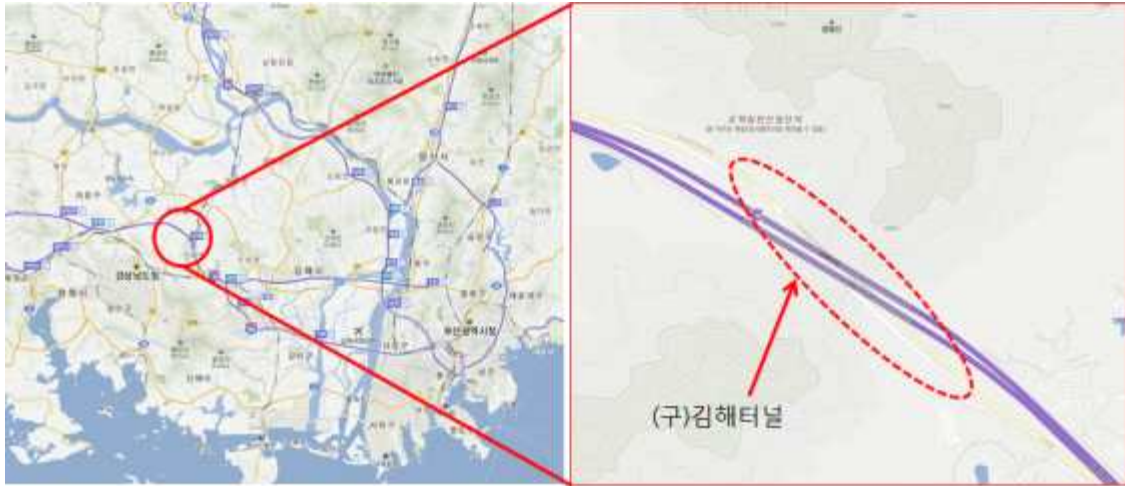


<그림 13-3 입체트러스 조립/설치 순서>

B13	Pilot test 및 현장 모니터링		
단계	입체트러스 조립/구동/해체 시물레이션	입체트러스 터널 현장 적용	소결

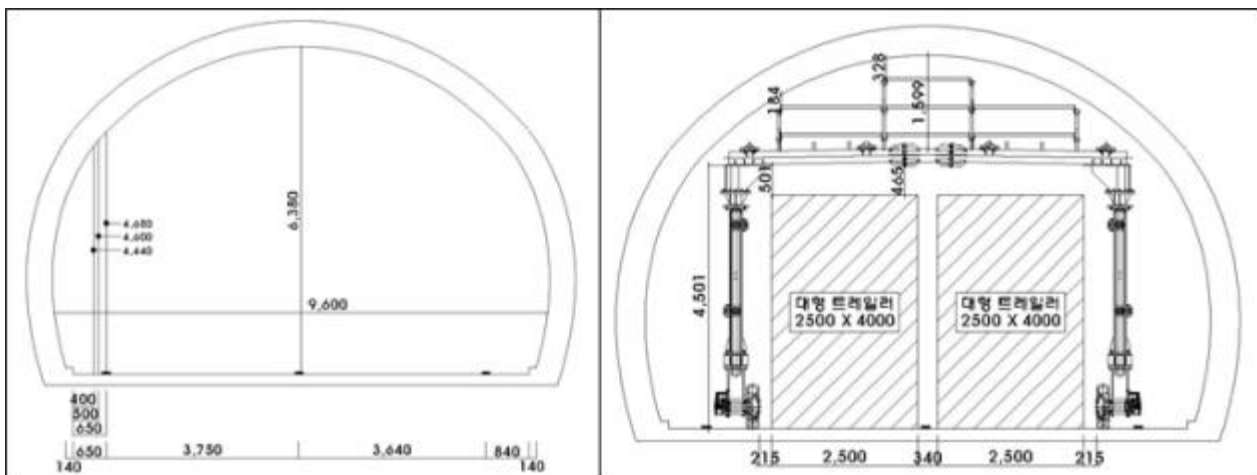
1. 개요 및 대상터널

- 개요: 입체트러스 시제품의 터널 현장적용을 통한 실 사용성 평가
- 대상터널: (구)김해터널
 - 위치: 김해시 진영읍 하계리 240번길



<그림 13-4 (구)김해터널 위치도>

- 터널 크기: 2차선 도로 (유효폭 없음): 사전 답사를 통해 터널 실측 크기 측정하였으며 이를 토대로 적용할 입체트러스의 길이조절부재와 예상 적용 개념도를 그림 13-5와 같이 작성함



<그림 13-5 (구)김해터널 실측 크기 및 입체트러스 적용 개념도>

2. 현장 적용 일정

- 첫째날 (9/11): 입체프레임 현장 운반, 조립, 시운전
- 둘째날 (9/12): 현장 적용 (터널 진입 및 모니터링)
- 동원인력: 조립/해체 도비인원: 5명, 시스템 비계 설치 인원: 2명, 교통통제 신호수: 2명 (총 9명)

- 투입장비: 50톤 크레인, 지게차, 전동 렌치, 사다리, 비계 등

3. 첫째날 일정 - 장비 현장 운반/조립

1) 현장 운반

- 저상 트레일러를 이용하여 운반
- 운반부재: 구동부, 수평주부재, 길이조절부재, 멍에부재
- 현장조립 최소화를 위해 수평주부재와 길이조절부재는 상차 전에 미리 조립함

2) 현장 조립

- 현장에서 부재 양중을 위해 50톤 크레인 임대
- 현장조립을 위한 장비배치 및 작업공간은 그림 4-2와 같음
- 현장 작업공간이 평탄치 않고 약 2-3%정도의 구배가 있는 관계로 수평부재를 먼저 구동부 상단에 조립한 후 멍에부재를 조립함
- 준비된 사다리와 비계를 이용하여 멍에부재 4개를 조립한 후 가설 비계를 설치

3) 차량통제 및 시운전

- 둘째날 작업을 위해 관련 기관(김해시청, 경찰서 등)에 협조 공문을 미리 요청하였으며 터널 진입로 주변에 공사안내 표지판 부착
- Pilot test를 위해 구동부 시운전 수행 (전/후/좌/우 및 상/하 구동 시험)

4. 둘째날 일정 - 구동/모니터링/해체

1) 교통 통제

- 조립체 가설시스템을 터널진입로 주변으로 운반하기 위해 터널 양방향 차량통행 약 5분간 차단
- 크레인으로 가설시스템 조립체를 한번에 양중하여 터널 진입로 주변에 하차함
- 그 후 가설시스템이 터널입구에 완전히 진입하기 전까지 편도로 교통통제 수행

2) 터널진입 및 배선 작업

- 가설시스템의 터널 진입후 편도 통제를 완전 해제하고 대차 주변에서 감속 운행만 유도
- 터널을 따라 내부 노후 전등 교체 작업 실시

3) 공사 완료 및 해체

- 약 1시간여의 작업후 앞의 과정의 역순으로 해체 작업 진행



<그림 13-6 입체트러스 터널 현장 적용 관련 사진>

B13	Pilot test 및 현장 모니터링		
단계	입체트러스 조립/구동/해체 시뮬레이션	입체트러스 터널 현장 적용	소결

1. 현장 적용 모니터링 요약

- 소요시간
 - 조립: 상부구조물 (주부재, 명에부재): 30분, 구동부 포지셔닝: 10분, 상부구조-구동부 조립: 30분, 시스템비
계 설치: 10분 → **약 1시간 20분 소요됨**
 - 해체: 1시간 00분
- 시사점
 - 조립/해체 시뮬레이션에서 얻은 교훈을 바탕으로 투입 인원과 장비를 보충하여 현장 적용 실시함
 - 그 결과 처음보다 약 75%의 시간 단축 효과를 가져옴

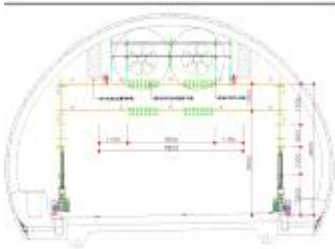
2. 소결

- 현장 적용 결과 입체트러스 가설시스템은 터널 유지관리에 있어서 차량통제없이 낮에 작업을 수행하므로 기존 대비 뛰어난 시공성을 보임
- 한번 운행에 터널 양측 뿐만 아니라 중앙 윗부분까지 작업이 가능하므로 왕복 운행이 필요 없어 기존 대비 약 30% 공기 단축이 가능하다 여겨짐
- 단점으로 여겨졌던 터널 주변 작업공간의 경우 조립 및 터널 진입로 운반까지 걸리는 약 2시간 정도만 차량 통행에 방해될 것으로 여겨지며 그 이후에는 서행 운행을 유도하므로 기존 대비 심각한 교통체증을 야기하지 않음



<그림 13-7 입체트러스 터널 현장 적용후 기념 사진>

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템의 구조성능 평가 및 현장모니터링	기술지원 회의록 작성여부
Activity	현장VOC 기술지원 및 모니터링 (B14)	
기관	RIST	

목적	입체트러스 적용을 위한 관련 기관/업체의 VOC 수렴 및 기술보완		
단계	내용		산출물
AIMAC	입체트러스의 설계 자문 및 접합부 설계 검토 자문		가설시스템 접합부 자문보고서
한국시설안전공단	- 입체트러스 현장 적용 협의 - 차년도에 터널 적용 가능성 타진		추후 입체트러스 터널 적용
쌍용건설	보배터널 현장 적용 가능성 타진 및 현장 VOC 수렴		
씨엠Eng.	입체트러스 Pilot test 터널 섭외 (김해터널) 및 추후 부산 장산터널 실 적용 가능성 타진		부산 장산터널 실적용 검토
관련 목표 성과물	회의록 4건		

B14	현장VOC 기술지원 및 모니터링			
단계	AIMAC	한국시설안전공단	쌍용건설	씨엠Eng

■ AIMAC (아이맥스트럭처)

1) 1차회의

- 출장날짜/시간/출장지: 2012. 3. 5, 11:00~14:00/AIMAC 회의실
- 참석자: 장우열 연구원, 김가령 연구원 (AIMAC), 이동규 (RIST)
- 안건:
 1. 현 가설시스템의 하중 근거 추가 자문
 2. 현 가설시스템의 처짐 및 좌굴 고려 여부 추가 자문
 3. 현 가설시스템을 위한 스페이스 프레임 단위 모듈 설계자문
- 내용
 - 가. 현 가설시스템의 하중 근거
 1. critical load가 1.2D+1.6L로 볼 수 있음
 2. 풍하중 및 지진하중은 거의 영향이 없을 것임
 - 나. 현 가설시스템의 처짐 및 좌굴 고려 여부 추가 자문
 1. 좌굴기준은 만족할 것으로 보이나, 처짐기준을 L/300(건축기준)으로 하여 계산이 필요함
 - 다. 현 가설시스템을 위한 스페이스 프레임 단위 모듈 설계자문
 1. 피라미드 형태, 원형강관, 각형강관, STK500, UL700, 150kg/m² 상부쪽지 집중하중을 주었을 때 강관 최적 사이즈(직경, 두께) 도출 필요.
 2. 1의 결과를 가지고 대호텍과 시제품 제작 협의 가능
 - 라. 향후계획
 1. 가~다 결과를 가지고 가설시스템 적합성 여부 재논의 예정

2) 2차회의

- 출장날짜/시간/출장지: 2012. 11. 21, 16:00~18:00/AIMAC 회의실
- 참석자: 장우학 연구원 (AIMAC), 이동규 (RIST)
- 내용:
 - (1) 중앙 집합부 대안설계 협의
 - 볼트전단력이 강관 항복응력 대비 3배수준으로 높은 것에 대한 최소한의 비용 대비 최적성능을 가지도록 재설계 필요
 - 현재 볼트개수 8개에서 그 미만으로 수정하는 문제 검토
 - UL700을 적용할 경우 볼트개수는 더 늘어날 것으로 판단되므로, 볼트개수를 줄이는 것은 무의미할 수 있음
 - 중앙부 주 수평부재는 수평방향 대비 약 1도의 경사를 두고 있어 이를 고려한 중앙부 집합부 설계 필요
 - 중앙 연결강관과 양 사이드에서 끼워지는 강관의 직경 적합사이즈를 재검토 필요 -> 시공시 잘 끼워지고 잘 빠져야 함. 또한 덜컹거림이 없이 일체화되어야 함.
 - 중앙부 주부재와 상부 연결부재 사이의 집합방법 검토
 - (2) 향후계획
 - 중앙부 길이조절 대안설계 완료 전달: RIST -> 유진구조, 11.22
 - 최종설계안 발표 -> 11.22 부산대 실무자 회의에서 실시

3) 3차회의

B14	현장VOC 기술지원 및 모니터링			
단계	AIMAC	한국시설안전공단	쌍용건설	씨엠Eng

■ 터널가설장치 현장적용 협의

1) 1차회의

- 출장날짜/시간/출장지: 2012. 9. 27, 11:00~15:00/한국시설안전공단 본사(경기도 일산 소재)
- 참석자: 오영석 팀장, 권철환 과장(한국시설안전공단), 이동규 (RIST)
- 출장내용
 - 1) 터널 가설시스템의 현장적용에 관한 자문
 - 사회적인 비용측면에서 우수함. 운전자의 스트레스를 받지 않게 하는 방안 강구 필요
 - 일본에서는 협궤열차에 로봇을 탑재하여 이용하는 등 유사사례 있음
 - 안전이 제일 중요함
 - 한국도로공사 구조물유지관리센터에 자문하는 것도 좋음
 - 2) 본 기술의 상용화에 대비하는 방안
 - 초기투자액 대비 비용계산 필요, 시설물에 대한 정기점검 비용계산, 몇 번 공사하면 손익분기점을 돌파 할지에 대한 정량적인 경제성 분석자료가 필요함.
 - 3) 유지관리 추세
 - 비용절감이 화두가 되고 있음
 - 4) 향후계획
 - 올해까지 제작이 완료되면 내년 상반기(3월중)에 현장적용 상호 협조 - 완성된 입체트러스 시제품에 대한 특기시방서 제작을 위해 조립/구동/해체 시물레이션을 수행

2) 2차회의

- 날짜: 2013. 7. 15 (by Conference call)
- 협의자: 오영석 팀장 (한국시설안전공단), 김도환 (RIST)
- 내용: 7월 현재 입체트러스 시스템 완성됨. 적용 가능한 터널 있는지 여부 문의
 - 올해 현재 적용 예정인 터널은 없음
 - 일반적으로 차년도 터널 유지보수 계획 및 대상 터널 선정은 전해 말에 이루어짐. 현재 차년도 적용 예정인 터널이 두건 정도 있음 (12월 확정 예정)
 - 올 말에 다시 협의하기로 함

B14	현장VOC 기술지원 및 모니터링			
단계	AIMAC	한국시설안전공단	쌍용건설	씨엠Eng

■ 진해터널 현장 모니터링 사전답사

- 출장날짜/시간/출장지: 2012. 10. 10, 9:00~14:30/건설안전시험사업소, 쌍용건설 터널공사현장(용원터널, 보배터널)
- 참석자: 장승래 주무관(건설안전시험사업소), 노필성 소장(유진구조), 정상협 공무부장(쌍용건설), 양재실 대표이사(제이에스테크윈), 최형규 이사(대호텍), 이동규 박사(RIST)
- 회의내용: 시운전/현장모니터링 협조 및 사전검토 회의

1).대상터널

- 용원터널(소사-녹산구간, 길이: 2.6km, 차선: 2, 시공사: 쌍용건설, 시행사: 부산진해경제자유구역청, 완공일시 미정, 현장책임자: 임정대 소장)
- 보배터널(의곡-지사과학단지구간, 길이: 500m, 차선: 2, 시공사: 고려개발, 시행사: 부산진해경제자유구역청, 개통허가 진행 중)
- 현장적용 유력지: 보배터널(터널 내 시설물이 완공된 상태로 올해말 개통허가 예상, 터널 진출입구 주위 15mX10m 여유공간 확보)
- 보배터널 개통 허가일정 파악 요

2).용도

- 제작 후 초기 시운전용/현장모니터링

3) 현장모니터링 검토사항(추후 현장모니터링 계획 수립)

- 주목적: 연속시운전/신규터널 초기점검공사
- 소요일자: 6~7일
- 용원터널의 경우 완공이 안된 상태이므로 공사차량에 피해를 주지않는 모니터링 필요
- 용원터널의 경우 완공이 안된 상태이므로 주간/야간작업 시 터널 내 조명설치 필요(자가발전기 필요)
- 계측기 등 작업장비 구비(초기점검 준비장비 체크 요)

4) 공문을 통한 현장협조 요청

- 국토해양부 발신
- 부산진해경제자유구역청 수신
- 내용: 시운전 및 신규터널 초기점검공사 현장모니터링 협조

5) 터널 가설시스템 관련 협의

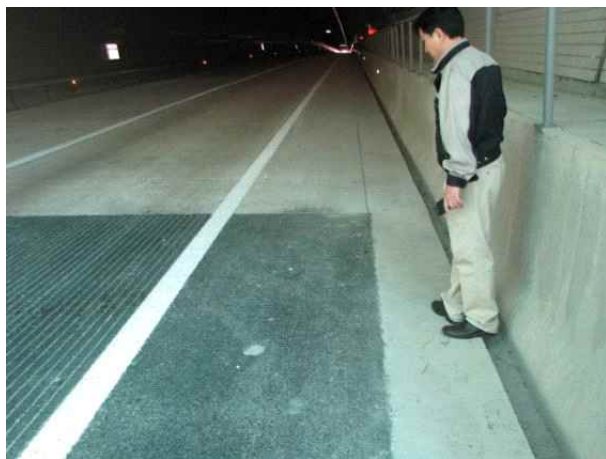
- STK500 강재를 모두 사용하나 UL700 적용성평가(해석, 실험)는 실시할 것
- 향후 기술사업화과제에서는 본 과제의 제품을 가지고, 안전, 방호시설, 디자인, 작업자편의, 운전자스트레스 해소, 친환경 배터리방식으로 교체 측면에서 개선하는 연구가 진행되어야 할 것임



<그림 14-3 보배터널 입구>



<그림 14-4 보배터널 입구 여유공간>



<그림 14-5 측방 여유폭 측정>



<그림 14-6 보배터널 입구 주변>

B14	현장VOC 기술지원 및 모니터링			
단계	AIMAC	한국시설안전공단	쌍용건설	씨엠Eng

■ 김해터널 현장답사 및 입체트러스 현장적용 협의

1) 1차회의:

- 출장날짜/시간/출장지: 2013. 8. 19, 10:30~18:00/씨엠Eng, 김해시청, 도로공사
- 참석자: 이진환 사장 (씨엠Eng), 노필성 소장, 김상득, 김정훈, 최은진 (유진구조), 정영 주무관 (김해시청)
- 회의내용:
 - 김해터널 현장답사
 - 현장공사 가능여부 판단
 - 터널 높이, 폭, 주위현장 점검
 - 관리관청 파악 (터널 점검 허가를 얻기 위하여)
 - 도로공사 방문-김해터널은 관리가 도로공사에서 김해시청으로 이관되었다 함
 - 김해시청 방문 - 김해터널 현장적용 가능여부 파악-담당자 : 도로과 정영
 - 8월 22일 오전 11시 김해시청 도로과 과장님께 과제발표 후 현장적용 여부 결정
 - 장산터널 유지보수 계약 협의 - ㈜씨엠이앤지 이진환사장이 10월달 해운대구 장산터널 유지보수시 본 터널점검대차를 사용 희망

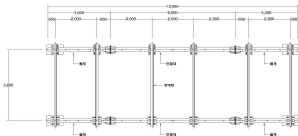
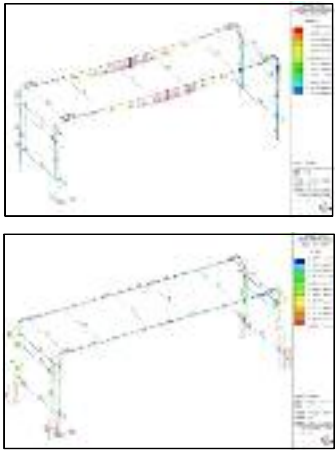
2) 2차회의:

- 출장날짜/시간/출장지: 2013. 8. 22, 11:00~12:00/씨엠Eng, 김해시청
- 참석자: 이진환 사장 (씨엠Eng), 노필성 소장 (유진구조), 정영 주무관 (김해시청), 김도환 (RIST)
- 회의내용:
 - 입체트러스 설명회 및 김해터널 현장적용 가능성 문의
 - 현장 적용 가능하며 안전을 최우선으로 할 것
 - 추후 일정 관련 공문 보낼 것



<그림 14-7 (구)김해터널 전경>

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 구조성능 평가 및 현장 모니터링	기술향상여부 및 보고서 기재
Activity	전체 가설시스템 프레임 구조해석 (B15)	
기관	부산대학교	

목적	가설시스템 최종형상에 대한 구조해석을 통한 안전성 평가		
단계	내용		산출물
가설시스템 최종 모델 개발	■ 가설시스템 구조형상 최종 개발 - 사용재료 강도 및 특성 - 구조설계기준 및 참고자료 - 해석 및 설계 프로그램 - 터널가설시스템 구조형상 개발		
전체 가설시스템 구조해석	■ 설계하중 - 하중 산출 근거 ■ 모델링 해석 Data - 해석 결과 ■ 소결		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

B15	전체 가설시스템 프레임 구조해석	
단계	가설시스템 최종 모델 개발	전체 가설시스템 구조해석

1. 가설시스템 구조형상 최종 개발

1.1 사용재료 강도 및 특성

1) 재료별 구조형식

- 철골조 (Steel조)

2) 재료특성

SS 400	
탄성계수	210000 MPA
단위중량	76.98 kN/m ³
인장강도(Fu)	387 MPA
항복강도(Fy)	260 MPA

1.2 구조설계 기준 및 참고자료

1) 적용 기준

- 가설공사 표준 시방서 - 건설교통부 (2006)
- KBC 2009-Steel(LSD) (대한건축학회, 2009)

2) 참고 기준

- 토목건축 가설구조물의 해설(1994, 건설문화사)
- 토목건축 가설구조물의 구조계산(1993, 건설문화사)
- 거푸집 공사의 이해와 시공(1993, 기문당)
- 도로교통 표준 시방서(1999, 건설교통부)

1.3 해석 및 설계 프로그램

1) MODS 2012 : (주)마이다스아이티 개발

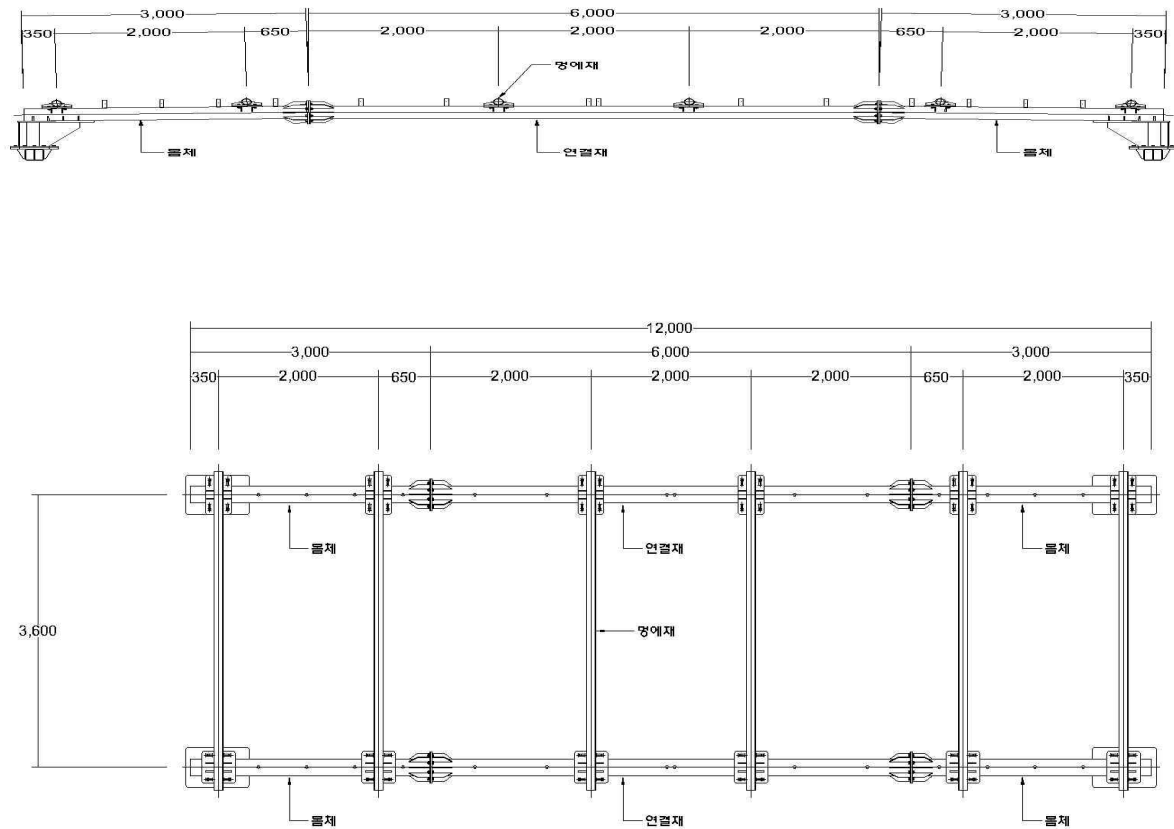
- : GEN Ver.800
- : SET Ver.334

2) ANSYS : ANSYS Inc. 개발

- : ANSYS Ver. 14.0

1.4 터널가설시스템 구조형상 개발

터널 가설시스템 상부구조 접합부 형상을 그림 1-1과 같이 주부재의 수직변위와 응력집중 현상해소 등을 고려하여 제안 개발된 모델형상을 참고, 구조해석 tool을 사용해 구동부를 제외하고 접합부 상세 해석을 위해 상부구조만을 3D 모델링화 한다.



<그림 15-1 터널 가설시스템 상부구조 상세>

B15	전체 가설시스템 프레임 구조해석	
단계	가설시스템 최종 모델 개발	전체 가설시스템 구조해석

1. 설계하중

하중종류	크 기
활하중(시공하중)	1.25 kN/m ² (125kgf/m ²)
고정하중	0.1 kN/m ² (10.9kgf/m ²)
수평하중	0.18 kN/m (180 kgf/m)

1.1 하중 산출 근거

1) 활하중

비계 및 작업발판의 설계시 비계의 수직하중에는 비계 및 작업발판의 고정하중과 활하중이 있다.

활하중에는 근로자와 근로자가 사용하는 자재, 공구 등을 포함하며 본 계산에서는 “건설교통부 가설공사 표준시방서”에 의하여 통로의 역할을 하는 비계와 가벼운 공구만을 필요로 하는 경작업에 대해서는 1.25kN/m²을 적용하였다.

$$\bullet 1\text{번 절점} = 1.25 \times 3.0 \times 1.8 \div 4 = 169\text{kg}$$

$$\bullet 2\text{번 절점} = 1.25 \times 2.4 \times 1.8 \div 2 = 270\text{kg}$$

$$\bullet 3\text{번 절점} = 1.25 \times 0.7 \times 1.8 = 158\text{kg}$$

$$\bullet 4\text{번 절점} = 1.25 \times 0.6 \times 1.8 \div 2 = 67.5\text{kg}$$

$$\bullet 5\text{번 절점} = 1.25 \times 0.6 \times 1.8 \div 2 = 67.5\text{kg}$$

$$\text{총하중} = (337.5 + 270 + 158 + 67.5 + 67.5) \times 2 = 1804\text{kg}$$

2) 고정하중

주부재 상부에 설치되는 고정하중은 시스템비계(수직재), 시스템비계(수평재), 시스템비계(발판), 시스템비계(트러스)이며 이들의 고정하중 계산근거는 다음과 같다.

• 1번 절점

$$\text{시스템비계(수직재)} \quad \text{S-0475} \times 1\text{개} = 2.5 \text{ kg} \times 1\text{개} = 2.5\text{kg}$$

$$\text{S-1900} \times 1\text{개} = 7.3 \text{ kg} \times 1\text{개} = 7.3\text{kg}$$

$$\text{시스템비계(수평재)} \quad \text{L-1500} \times 4\text{개} \div 2 = 3.4\text{kg} \times 4\text{개} \div 2 = 6.8\text{kg}$$

$$\text{시스템비계(발판)} \quad \text{P-2418} \times 1\text{개} \div 2 = 9.3\text{kg} \times 1\text{개} \div 2 = 4.65\text{kg}$$

$$\text{P-4018} \times 3\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \times 3\text{개} \div 2 = 20.1\text{kg}$$

$$\text{시스템비계(트러스)} \quad \text{T-3500} \times 1\text{개} = 14.4 \times 1\text{개} = 14.4\text{kg}$$

$$\text{총하중} = 55.75\text{kg}$$

• 2번 절점

$$\begin{aligned}
 \text{시스템비계(수직재)} \quad & \text{S-0475} \times 1\text{개} = 2.5 \text{ kg} \times 1\text{개} = 2.5\text{kg} \\
 & \text{S-1900} \times 1\text{개} = 7.3 \text{ kg} \times 1\text{개} = 7.3\text{kg} \\
 \text{시스템비계(수평재)} \quad & \text{L-0900} \times 4\text{개} \div 2 = 2\text{kg} \times 4\text{개} \div 2 = 4.0\text{kg} \\
 & \text{L-1500} \times 4\text{개} \div 2 = 3.4\text{kg} \times 4\text{개} \div 2 = 6.8\text{kg} \\
 \text{시스템비계(발판)} \quad & \text{P-4018} \times 3\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \times 3\text{개} \div 2 = 20.1\text{kg} \\
 & \text{P-2418} \times 1\text{개} \div 2 = 9.3\text{kg} \times 1\text{개} \div 2 = 4.65\text{kg} \\
 & \text{P-4018} \times 3\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \times 2\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \\
 \text{시스템비계(트러스)} \quad & \text{T-3500} \times 1\text{개} = 14.4 \times 1\text{개} = 14.4\text{kg} \\
 & \text{총하중} = 73.15\text{kg}
 \end{aligned}$$

• 3번 절점

$$\begin{aligned}
 \text{시스템비계(수직재)} \quad & \text{S-0475} \times 1\text{개} = 2.5 \text{ kg} \times 1\text{개} = 2.5\text{kg} \\
 & \text{S-1900} \times 1\text{개} = 7.3 \text{ kg} \times 1\text{개} = 7.3\text{kg} \\
 & \text{S-0950} \times 1\text{개} = 4.0 \text{ kg} \times 1\text{개} = 4.0\text{kg} \\
 \text{시스템비계(수평재)} \quad & \text{L-0900} \times 4\text{개} \div 2 = 2\text{kg} \times 4\text{개} \div 2 = 4.0\text{kg} \\
 & \text{L-0600} \times 3\text{개} = 1.7\text{kg} \times 3\text{개} = 5.1\text{kg} \\
 \text{시스템비계(발판)} \quad & \text{P-4018} \times 2\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \times 2\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \\
 \text{시스템비계(트러스)} \quad & \text{T-3500} \times 1\text{개} = 14.4 \times 1\text{개} = 14.4\text{kg} \\
 & \text{총하중} = 50.70\text{kg}
 \end{aligned}$$

• 4번 절점

$$\begin{aligned}
 \text{시스템비계(수직재)} \quad & \text{S-0475} \times 1\text{개} = 2.5 \text{ kg} \times 1\text{개} = 2.5\text{kg} \\
 & \text{S-0950} \times 1\text{개} = 4.0 \text{ kg} \times 1\text{개} = 4.0\text{kg} \\
 \text{시스템비계(수평재)} \quad & \text{L-0600} \times 2\text{개} \div 2 = 1.7\text{kg} \times 2\text{개} \div 2 = 1.7\text{kg} \\
 \text{시스템비계(발판)} \quad & \text{P-4018} \times 1\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \times 1\text{개} \div 2 = 6.7\text{kg} \\
 \text{시스템비계(트러스)} \quad & \text{T-3500} \times 1\text{개} = 14.4 \times 1\text{개} = 14.4\text{kg} \\
 & \text{총하중} = 29.30\text{kg}
 \end{aligned}$$

• 5번 절점

$$\begin{aligned}
 \text{시스템비계(수직재)} \quad & \text{S-0950} \times 1\text{개} = 4.0 \text{ kg} \times 1\text{개} = 4.0\text{kg} \\
 \text{시스템비계(수평재)} \quad & \text{L-0600} \times 2\text{개} \div 2 = 1.7\text{kg} \times 2\text{개} \div 2 = 1.7\text{kg} \\
 \text{시스템비계(발판)} \quad & \text{P-4018} \times 1\text{개} \div 2 = 13.4\text{kg} \times 1\text{개} \div 2 = 6.7\text{kg} \\
 \text{시스템비계(트러스)} \quad & \text{T-3500} \times 1\text{개} = 14.4 \times 1\text{개} = 14.4\text{kg} \\
 & \text{총하중} = 26.80\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{총하중} (55.75 + 73.15 + 50.70 + 29.30 + 26.80) \times 2 = 471.4\text{kg}$$

3) 수평하중

제동력을 고려하여 수직하중의 15%를 적용하였다.

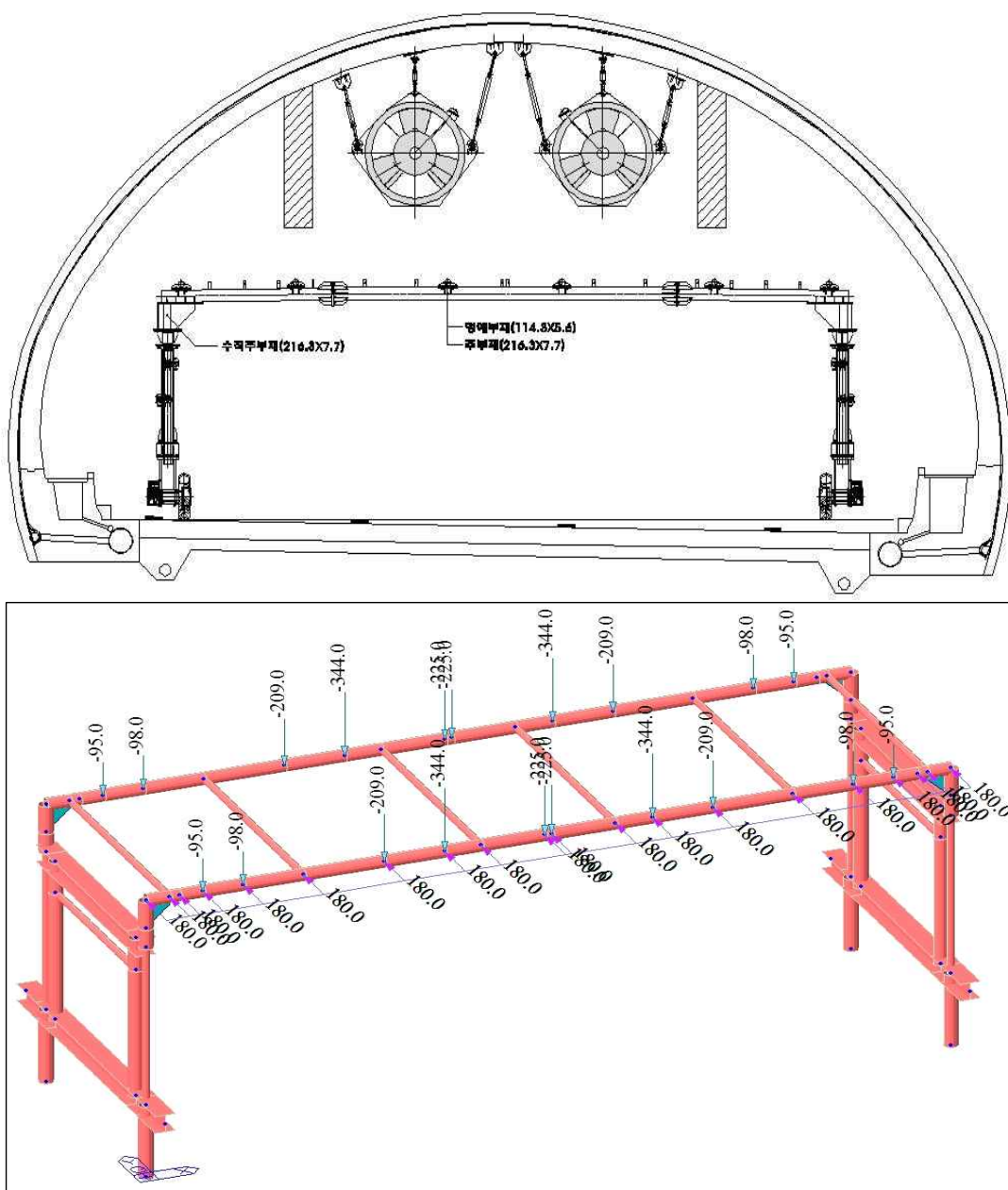
계수수직하중(1.2D+1.6L)이 15000kgf를 넘지 않으나 안전을 고려하여 18000kgf으로 보고서 수평하중을 이에 대한 15%로 보았다.

$$18000 \text{ kgf} \times 0.15\% = 2700 \text{ kgf}$$

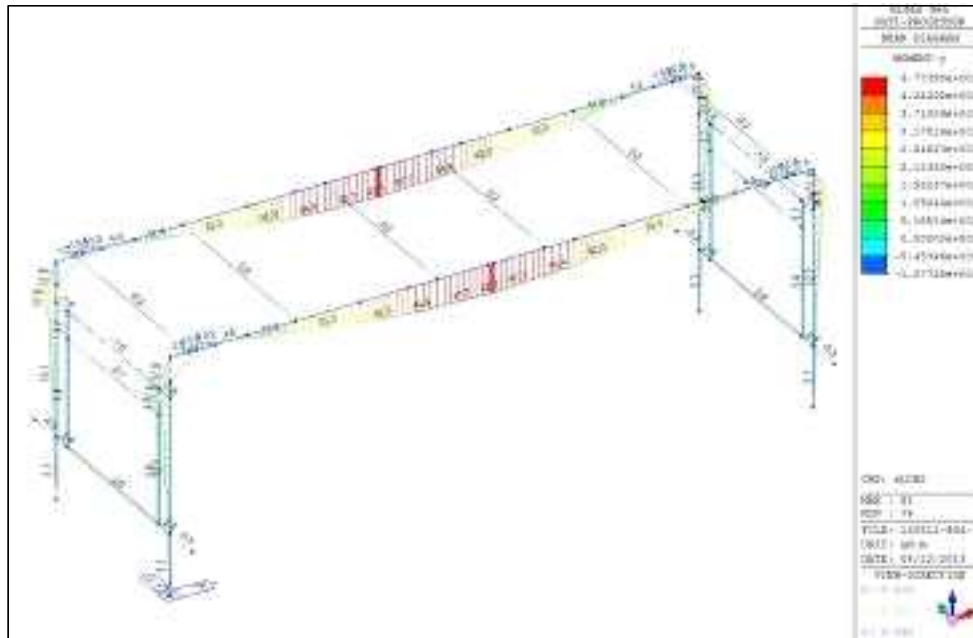
이 하중에 스패길이(15m)로 나누어 수평하중을 선하중(kgf/m)으로 계산한다.

$$2700 \text{ kgf}/15\text{m} = 180 \text{ kgf}/\text{m}$$

2. 모델링 해석 Data

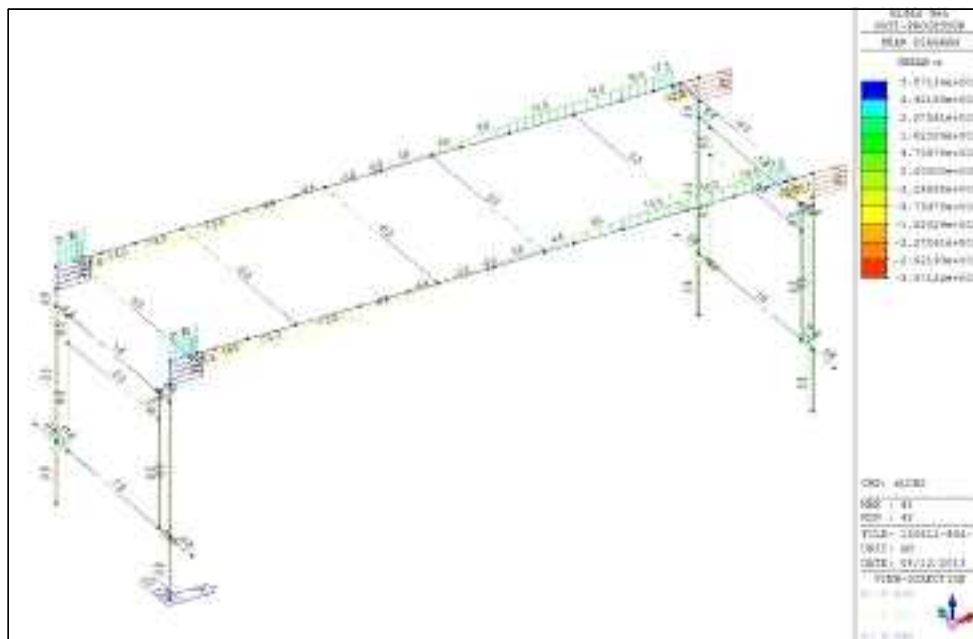


(1) B.M.D



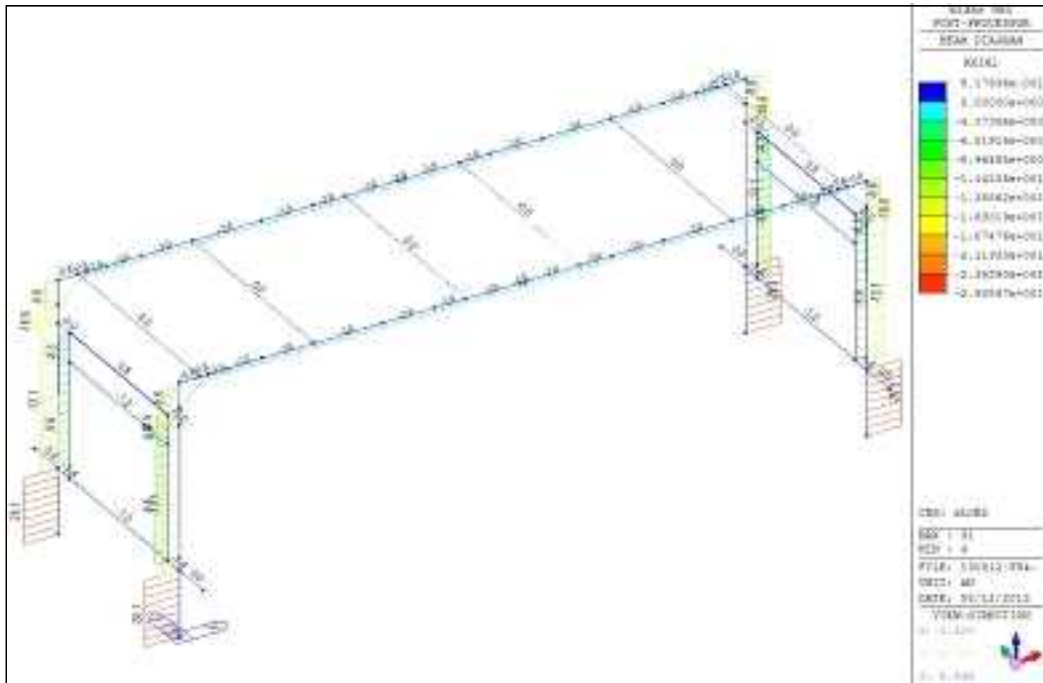
<그림 15-2 형상 휨 모멘트 다이어그램>

(2) S.F.D



<그림 15-3 형상 전단력 다이어그램>

(3) AXIAL



<그림 15-4 형상 축력 다이어그램>

(4) 가설 시스템 총무게(자중)

BILL OF MATERIAL							
BEAM & TRUSS BOM TYPE1							
Unit System : kgf , m							
SECT ID	SECTION NAME	MATERIAL ID	MATERIAL NAME	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA INNER OUTER	WEIGHT
1	P 216.3x7	2	SS400	7.850e+003	4.400e+001	2.777e+001 2.990e+001	1.743e+003
2	P 114.3x4.5	2	SS400	7.850e+003	3.876e+001	1.255e+001 1.392e+001	5.818e+002
7	H 300x300x10/15	2	SS400	7.850e+003	1.720e+001	0.000e+000 3.062e+001	1.617e+003
SUMMATION :					9.996e+001	4.032e+001 7.443e+001	3.942e+003

3. 처짐 해석 Data

활하중에 의한 허용처짐을 1/180, 총 사용하중에 의한 허용처짐을 1/240으로 가정했을 때, 4차선의 경우 일반 강도의 강관(인장강도 400MPa급)을 사용할 경우 단면크기는 216.3x7.6t (하중비=0.8)으로 결정되었다. 이때 4차선일 때 활하중, 총사용하중의 처짐량은 각각 65mm(<1/180=82mm, OK), 108.38mm (>1/240=62mm, NG)이었다. 즉, 활

하중에 대해서는 만족하였으나 총하중에서는 허용처짐을 만족하지 않았으며, 사하중에 의한 처짐량(43mm)을 보정하기 위해 47mm의 캠버를 두어야 했다.

UL700을 사용할 경우 기존 강관 대비 강도는 약 두배 정도 커짐으로써 강관 두께를 최대 40%까지 줄일 수 있으나, 이때 줄어든 단면으로 인해 처짐량이 약 1.8배 증가하였다. 이 경우 앞에서 언급한 활하중, 총하중에 대한 허용처짐을 모두 초과하였으므로 고강도 강관의 장점인 물량 감소 효과가 줄어들 수 밖에 없었다. 즉, 고강도 강관은 단관비율을 이용한 트러스형 구조물에 적합하며, 단일 부재로 구성되어 사용성이 지배하는 장스팬 보에는 적절하지 않다는 것을 알 수 있었다. 또한, 상대적으로 사용정보다는 강도가 지배하는 수직 부재의 경우, 적은 물량으로 인해 소재 공급 및 제작이 용이하지 않아 적용하지 못하였다.

<표 15-1 처짐 해석 결과>

	2차선	3차선	4차선
스팬 (mm)	8400	12000	14800
캠버 (mm)	47	47	47
주부재 단면크기 (응력비)	φ216.3x7.6t (0.215)	φ216.3x7.6t (0.384)	φ216.3x7.6t (0.792)
명예부재 단면크기	φ114.3x5.5t	φ114.3x5.5t	φ114.3x5.5t
허용처짐 (mm)	47	66	82
최대처짐 (mm)	21.16	73.75	108.38
최대처짐-캠버 (mm)	-25.84	26.75	61.38

4. 소 결

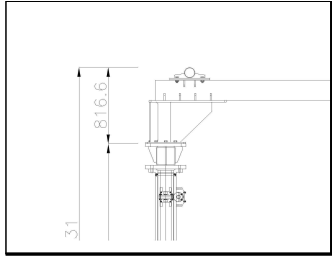
가. 3차선 여유폭 있는 터널용 모델을 구조해석 tool을 통해 모델링하고 계산된 하중을 적용하여 시스템 전체의 구조적인 형상 변형에 대해 검토하였다.

나. 수직변위는 $\ell/180$ 을 사용하중 기준으로 검토했을 때, 허용기준치 66mm에 대하여 45mm로 충분히 안전함을 알 수 있었다.

다. 시스템 전체에 발생하는 응력중 최대응력 발생부위를 살펴봤을 때, 사용하중 적용시 허용응력도설계법에 의한 허용기준치 210MPa에 대하여 103MPa로 충분히 여유를 확보할 수 있었고, 설계하중을 적용한 해석 시에도 허용기준치 245MPa에 대하여 148MPa로 기준을 충족함을 알 수 있었다.

라. 시스템 전체의 구조해석을 검토한 결과, 모두 허용기준치 이내의 조건을 만족하였고 충분히 안전함을 알 수 있었다.

공동2	터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 구조성능 평가 및 현장 모니터링	기술향상 여부 및 보고서 기재
Activity	가설시스템 접합부 구조해석 (B16)	
기관	부산대학교	

목적	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 ALT10~ALT30 형상 개발		
단계	내용		산출물
시스템 접합부 취약부위 보강 방안	■ 시스템 접합부 보강의 필요성 ■ 모델 보강 아이디어		
시스템 접합부 상세 해석 및 검토	■ 시스템 접합부 상세 모델링 ■ 시스템 접합부 해석 ■ 시스템 접합부 해석결과 검토 ■ 소결		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

B16	가설시스템 접합부 구조해석	
단계	시스템 접합부 취약부위 보강 방안	시스템 접합부 상세 해석 및 검토

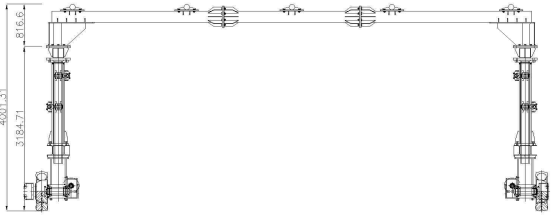
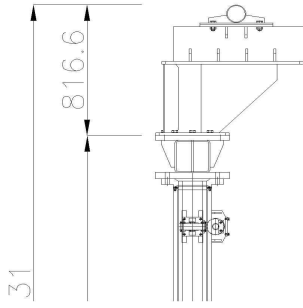
1. 시스템 접합부 취약부위 보강 방안

1.1 시스템 접합부 보강의 필요성

본 과제의 가설 시스템은 작업시 사용자의 안전 및 구조물의 안정성을 기본적으로 요구하므로 구조적 안정이 중요함을 알 수 있다. 1차년도에서 연구된 ALT 10-30 모델을 봤을 때, 상부 구조의 모서리 부위에서의 응력집중 및 중앙부 처짐 현상 등에 대해 좀 더 보완이 요구되므로 기존의 트러스 보강재 혹은 가새나 스티프너를 이용하여 해당 모서리부위를 보강 할 필요가 있다.

1.2 모델 보강 아이디어

상부의 모서리부위가 대각형태로 꺾여 접합되거나 곡선형태로 제작이 된다면, 우선적으로 제작 및 현장조립시 불편함이 예상된다. 모서리부위가 대각형태로 접합될 경우, 정확한 각도를 적용해 상·하부재를 대각재로 연결하여 모서리 보강용 트러스재를 접합해야 한다. 이 경우, 현장조립시 정확한 각도를 측정하여 조립하는데 소요되는 시간이 추가적으로 소요되고, 접합 부위에 발생하는 응력집중 현상을 해결하기 위해 사전제작 과정에서 보강부위에 스티프너를 용접하여 제작하는 방안을 대안으로 제시하였다.

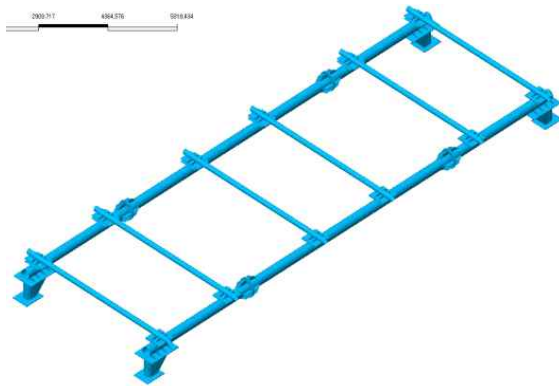
	
터널 가설재 정면도	스티프너를 적용한 접합부 상세

B16	가설시스템 접합부 구조해석	
단계	시스템 접합부 취약부위 보강 방안	시스템 접합부 상세 해석 및 검토

1. 시스템 접합부 상세 해석 및 검토

1.1 시스템 접합부 상세 모델링

도면을 토대로 구조적 진단이 필요한 상부구조물을 구조해석 tool을 이용하여 상세하게 3D 모델링 한 후 구조해석을 실시하였다. 구조해석 tool은 MIDAS FEA ver. 2.1 과 ANSYS ver. 14 두가지가 사용되었으며, 구조적으로 가장 불리한 3차선 여유폭 있는 터널용 모델(스팬 12,000mm)을 모델링하였다.



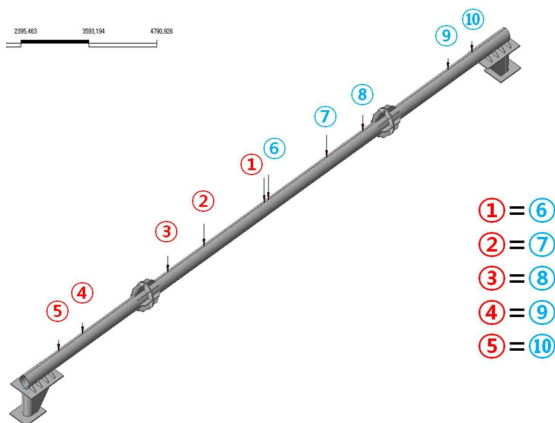
<그림 16-1 상부 구조물 Modeling(MIDAS FEA)>



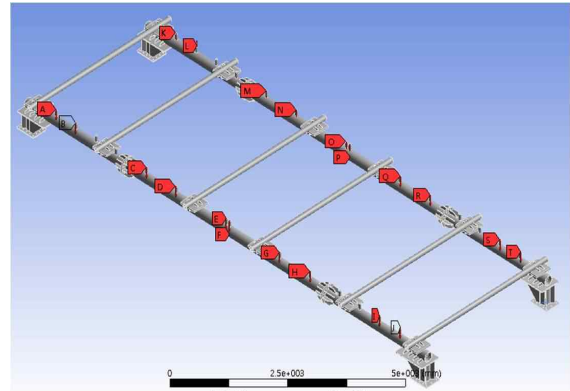
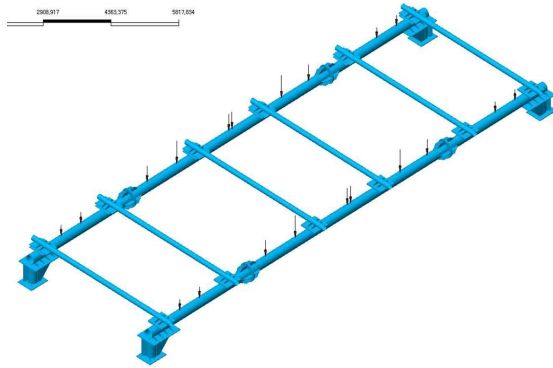
<그림 16-2 상부 구조물 Modeling(ANSYS)>

1.2 시스템 접합부 해석

상부 구조물인 스마트 가설재(지주,수평재,발판,트러스)의 하중은 고정하중으로 각각의 부재가 사용되는 수량만큼 중량으로 계산하고, 활하중은 “건설교통부 가설공사 표준시방서(2006)”에 따라 125kgf/m²를 면적에 비례하여 적용하였다. 하중조합은 1.0D+1.0L 의 사용하중과 1.2D+1.6L 의 설계하중을 채택하고, 각각의 하중을 Nodal Load 형태로 지주가 위치하는 곳에 입력하였다.



	(Kgf)	
	1.2D+1.6L	1.0+1.0
1=6	337	225
2=7	520	344
3=8	314	209
4=9	144	98
5=10	141	95

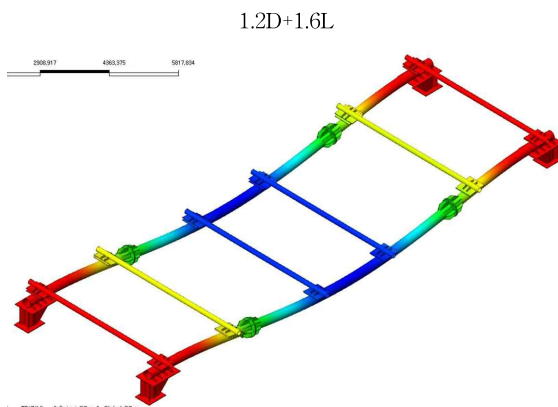


1.3 시스템 집합부 해석결과 검토

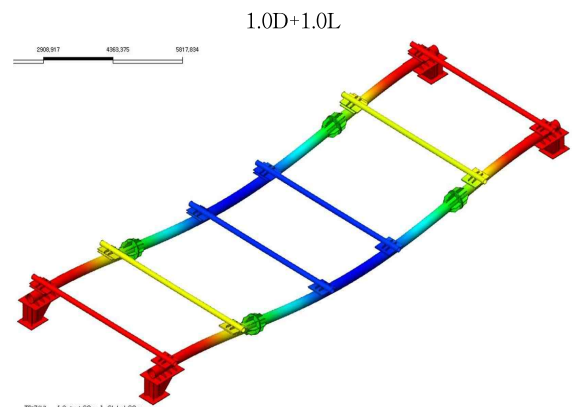
구조해석 tool을 사용하여 상부 구조물에 대한 안전성 평가를 위해 상부 수평부재의 수직변위와 집합부위의 응력집중에 대하여 검토를 실시하였다.

1) 수직변위 검토

[Midas FEA]

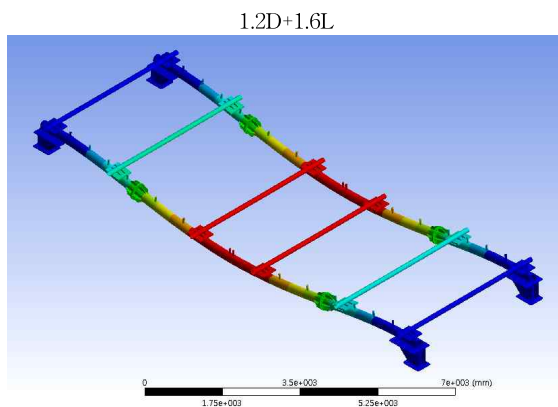


- 최대 처짐 : 약 30mm

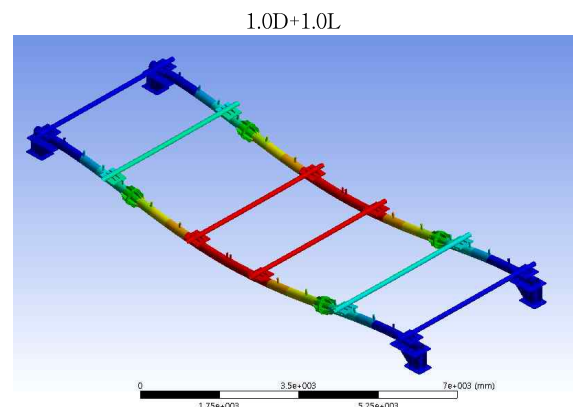


- 최대 처짐 : 약 22mm

[ANSYS]

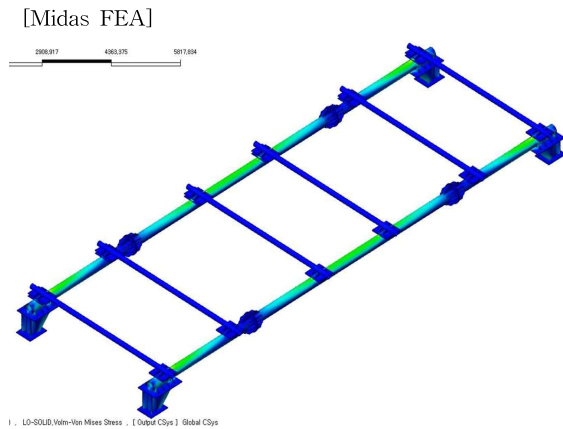


- 최대 처짐 : 약 30mm

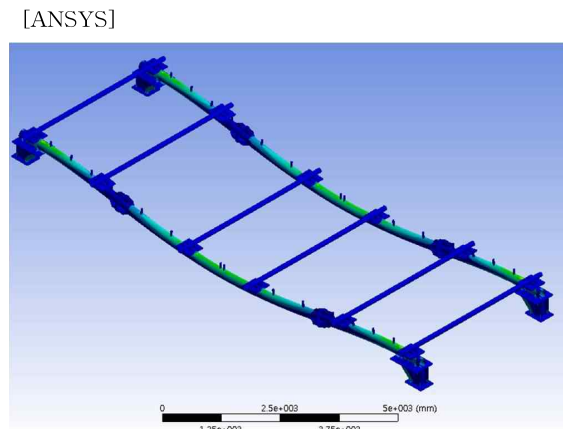


- 최대 처짐 : 약 22mm

2) 접합부위 응력 검토



	(MPa)	
	1.2D+1.6L	1.0+1.0
최대 응력	216	158



	(MPa)	
	1.2D+1.6L	1.0+1.0
최대 응력	205	151

2. 소결

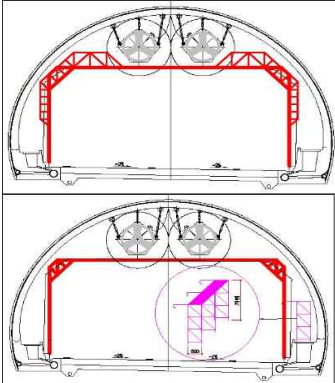
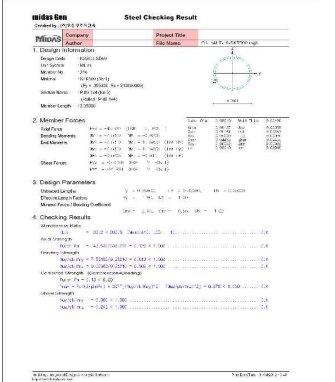
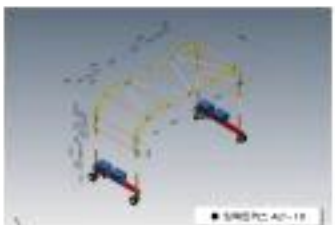
가. 구조적으로 가장 불리한 3차선 여유폭 있는 터널용 모델을 3D화 하여 구조해석 tool을 통해 구조해석을 수행하고 그 결과에 대해 검토하였다.

나. 수직변위는 $\ell/180$ 을 사용하중 기준으로 검토했을 때, 허용기준치 66mm에 대하여 각각 22mm로 충분히 안전함을 알 수 있었다.

다. 접합부위에 발생하는 응력은, 사용하중 적용시 허용응력도설계법에 의한 허용기준치 210MPa에 대하여 각각 158MPa와 151MPa로 충분히 여유를 확보할 수 있었고, 설계하중을 적용한 해석 시에도 허용기준치 245MPa에 대하여 각각 216MPa와 205MPa로 기준을 충족함을 알 수 있었다.

라. 상부 수평부재의 수직변위와 접합부위의 응력집중을 검토한 결과, 모두 허용기준치 이내의 조건을 만족하였고, 충분히 안전함을 알 수 있었다.

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 요소 구조상세 개발	구조물량 비교
Activity	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 형상 개발 (A17)	
기관	유진구조	

목적	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 ALT10~ALT30 형상 개발		
단계	내용		산출물
터널 가설시스템 1차검토 구조상세 개발	■ 구조형상 및 주요부재 크기 산정 - 건축한계 고려 터널 내벽사이의 공간에 입체트러스 구조시스템을 고안 - 작업자의 이동공간 고려 단위 트러스 길이 사이즈 모듈 (0.8m-1.0m) 구성 - 구조형상 타입: ALT-10, 20 (3열 프레임 구조) ■ 사용 재료 - STK500, UL700		특허출원 2건
대안 형상별 구조해석 및 설계	■ 구조해석 - 대상: ALT10, ALT20 - 재료: STK500, UL700 - 비교대상: 구조물 전체 물량 ■ 구조해석 결과물 - 수직, 수평, 기타 부재의 단면설계 결과 - 요약: UL700 사용시 STK500 대비 최대 44% 절감 가능		
터널 가설시스템 2차검토 구조상세 개발	■ 앞서 개발된 ALT 10, 20외에 ALT 30 형상 추가 ■ 3열 프레임 구조를 2열 프레임 구조로 변경 ■ 사용재료: UL700		
관련 목표 성과물	UL700 사용시 최대 44% 절감 가능		

A17	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 형상 개발		
단계	터널 가설시스템 1차검토 구조상세 개발	대안 형상별 구조해석 및 설계	터널 가설시스템 2차검토 구조상세 개발

1. 터널 가설시스템 1차 검토 구조상세 개발

1.1 터널 가설시스템 구조형상 및 주요부재 크기산정

- 2차선 도로터널을 대상으로 하여 건축한계인 10.7m×4.8m과 터널 내벽사이의 공간에 입체트러스 구조시스템을 고안하였음
- 입체트러스를 배치할 때, 작업자의 이동공간을 고려하여 단위 트러스 길이 사이즈 모듈(0.8m~1.0m)을 구성하였음
- 환풍기에 간섭되지 않도록 환풍기 주위에는 수평 트러스 연결부재의 수를 줄이거나 피하도록 설계되었음
- 터널 측면 도로표지판, SOS 전화박스 등에 간섭을 고려하여, 이를 회피할 수 있는 수직 트러스 부재 설계도 고려하였음
- 가설 구조물은 45도 정도의 측면 모서리 부에서 하중부담이 크므로, 이 부분을 부가 트러스 부재들로 보강하도록 설계 되었으며, ALT-10의 경우 이 부분은 작업자의 난간으로 활용될 수 있음. 부재 사이즈는 수직, 수평 트러스 부재보다 상대적으로 적게 설계가 되었음
- 작업자가 작업이 가능하도록 사용성과 시공성을 위해 트러스 부재위에 발판 또는 걸이용 임시작업대(그림 3 참조)를 배치하는 것으로 추후 고려할 수 있음
- ALT-10, 20에 대하여 기존의 일반구조용 강재인 STK500과, UL700을 모두 적용하여 구조물량을 비교하였음

표 17-1. 재료특성(공통)

강종	STK 500(기준)	UL 700
탄성계수	210000 MPA	210000 MPA
단위중량	76.98 kN/m ³	57.735 kN/m ³
인장강도(Fu)	520 MPA	700 MPA
항복강도(Fy)	325 MPA	550 MPA

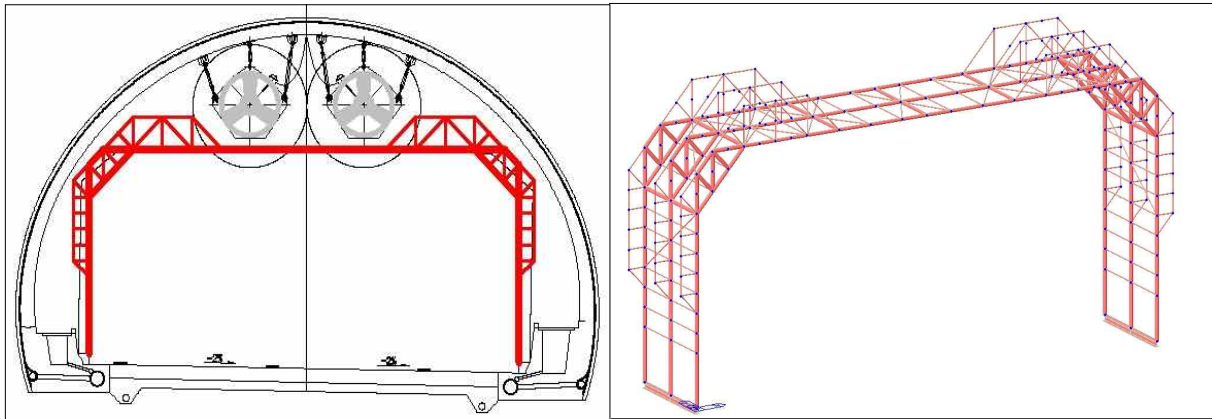
- 3, 4차선 도로터널은 건축한계가 각각 12.8m×4.8m, 16.6m×4.8m로, 2차선 도로터널의 건축한계와 비교하였을 때, 길이방향의 사이즈가 차이나기 때문에, 향후 3, 4차선을 고려할 경우 본 제안의 ALT-10, 20의 형상을 따르되 장경간이 되므로, 수평 트러스 부재의 사이즈(적경, 두께)나 부재 개수를 조정하는 것이 필요할 것으로 사료됨. 이와 더불어 수직 트러스 부재의 보강도 고려할 필요 있음

표 17-2. 설계하중(공통)

강종	STK 500 (기준)	UL 700
시공하중	0.980 kN/m ² (100kgf/m ²) ^{주)}	좌동
고정하중	부재자중	좌동

* 주) KBC2009 경량구조물, 경량지붕 설계시의 등분포하중(80kgf/m²)을 준용하되, 작업자의 협업 작업성을 고려해 임의로 20% 가중함. 실제 적재하중은 부재 설계 시 고려되는 사항으로 본 가중치와는 무관함. 구조물량 산정 시 KBC2009의 80kgf/m²를 따른다면, 본 보고서의 결과값보다 약 20%의 물량저감을 고려해야 함.

(1) ALT-10 모델형상

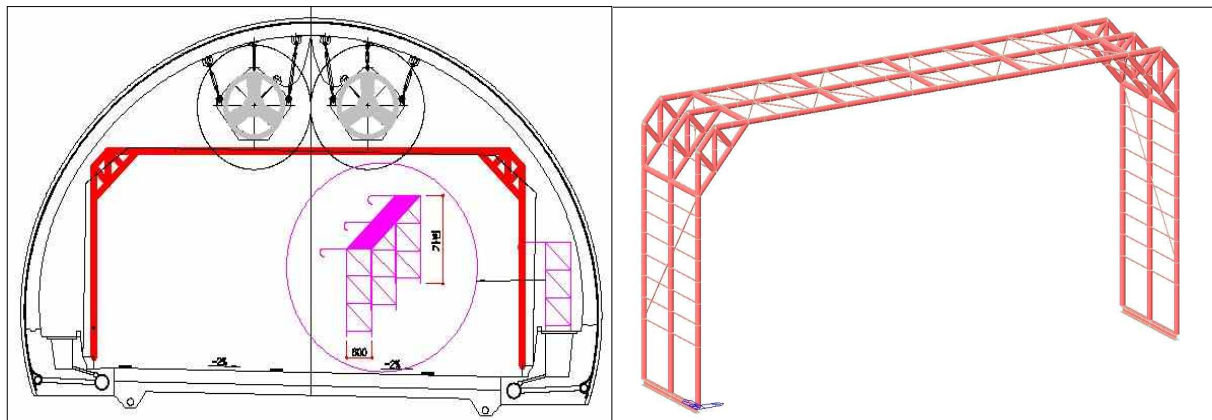


(a) 단면도

(b) 투시도

그림 17-1.ALT-10 모델형상

(2) ALT-20 모델형상



(a) 단면도

(b) 투시도

그림 17-2.ALT-20 모델형상

A17	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 형상 개발		
단계	터널 가설시스템 1차검토 구조상세 개발	대안 형상별 구조해석 및 설계	터널 가설시스템 2차검토 구조상세 개발

1. 대안 형상별 구조해석 및 설계

- ALT-10, ALT-20 형상을 STK500 재료와 UL700 재료로 각각 설계하여 각 재료별 구조물의 전체 무게 (구조 물량)를 비교

- 구조해석 결과물

- ALT 10모델형상을 STK500재료로 사용했을 때의 단면설계 결과
- ALT 10모델형상을 UL700재료로 사용했을 때의 단면설계 결과
- ALT 20모델형상을 STK500재료로 사용했을 때의 단면설계 결과
- ALT 20모델형상을 UL700재료로 사용했을 때의 단면설계 결과
- 대안 구조물의 구조설계 결과 요약

(1) ALT-10 모델 형상

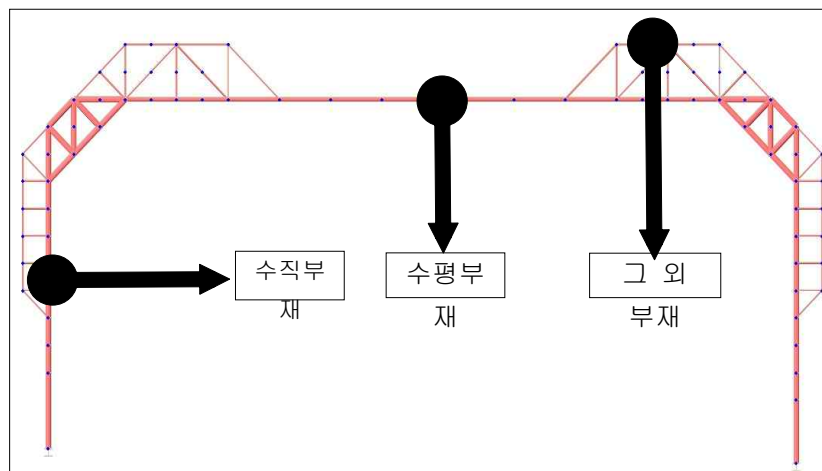


그림 17-3. ALT-10 부재 명칭

(2) ALT-20 모델 형상

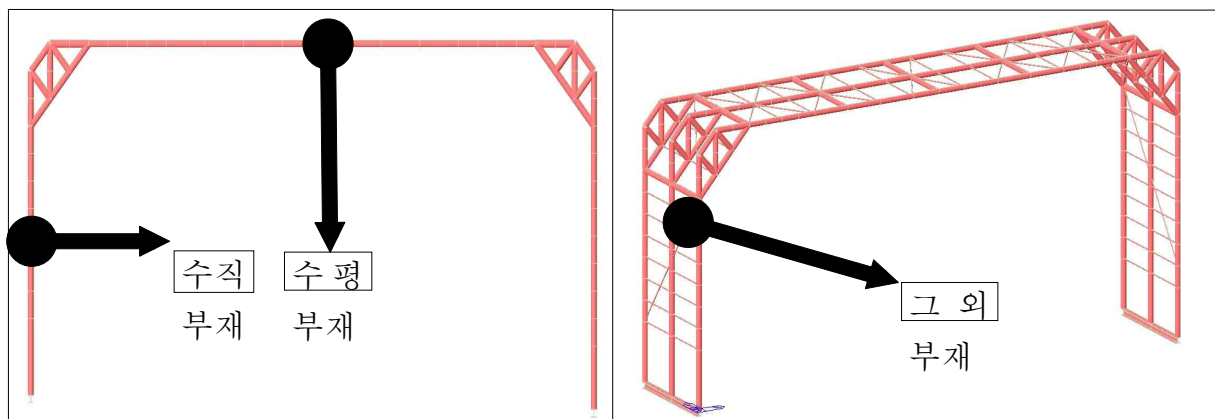
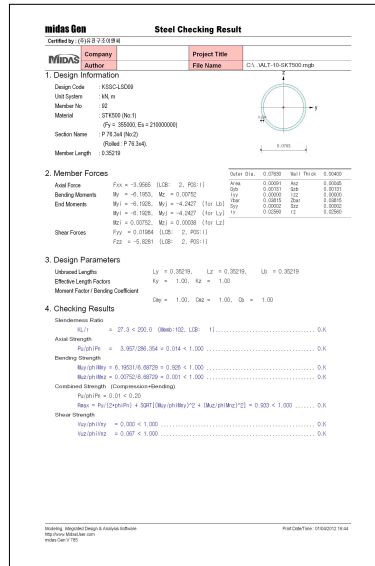
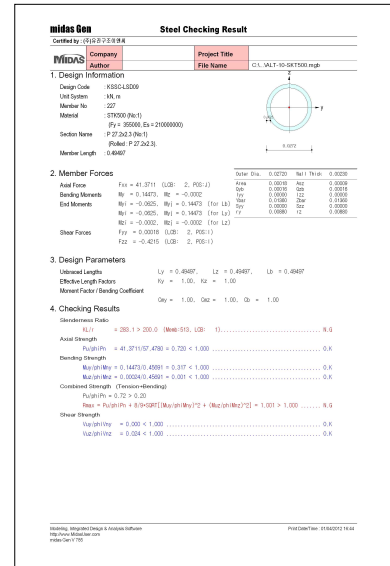


그림 17-4. ALT-20 부재 명칭

2. ALT 10 모델형상을 STK500재료로 사용했을 때의 단면설계 결과



(a) 수직부재



(b) 수평부재

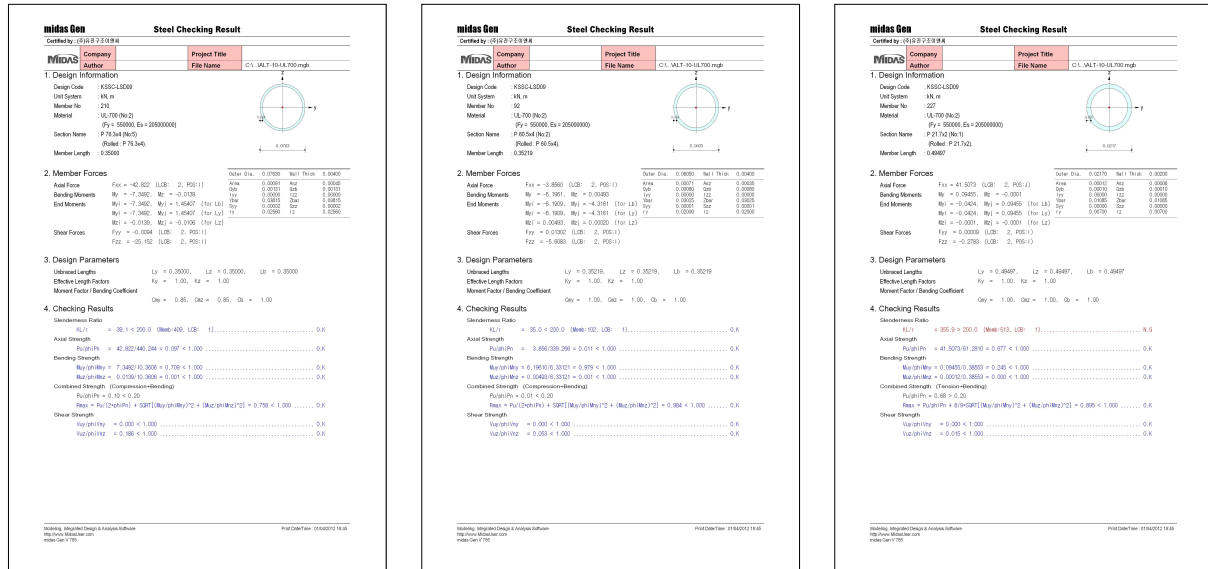
(c) 그 외 부재

그림 17-5 ALT 10 모델 단면설계 결과 (STK500)

· ALT 10-STK500 재료 총 무게

BILL OF MATERIAL							
BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID, SECT NAME, MATERIAL							
Unit System : kN, m							
SECT ID	SECTION NAME	MATERIAL ID	MATERIAL NAME	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA INNER OUTER	WEIGHT
1	P 27.2x2.3	1	STK500	7.698e+001	1.656e+002	1.176e+001 1.415e+001	2.293e+000
2	P 76.3x4	1	STK500	7.698e+001	3.030e+001	6.501e+000 7.263e+000	2.119e+000
5	P 89.1x4	1	STK500	7.698e+001	5.953e+001	1.517e+001 1.666e+001	4.899e+000
6	H 100x100x6/8	1	STK500	7.698e+001	4.000e+000	0.000e+000 2.352e+000	6.743e-001
SUMMATION :					2.594e+002	3.343e+001 4.043e+001	9.986e+000

2.2 ALT 10 모델형상을 UL700재료로 사용했을 때의 단면설계 결과



(a) 수직부재

(b) 수평부재

(c) 그 외 부재

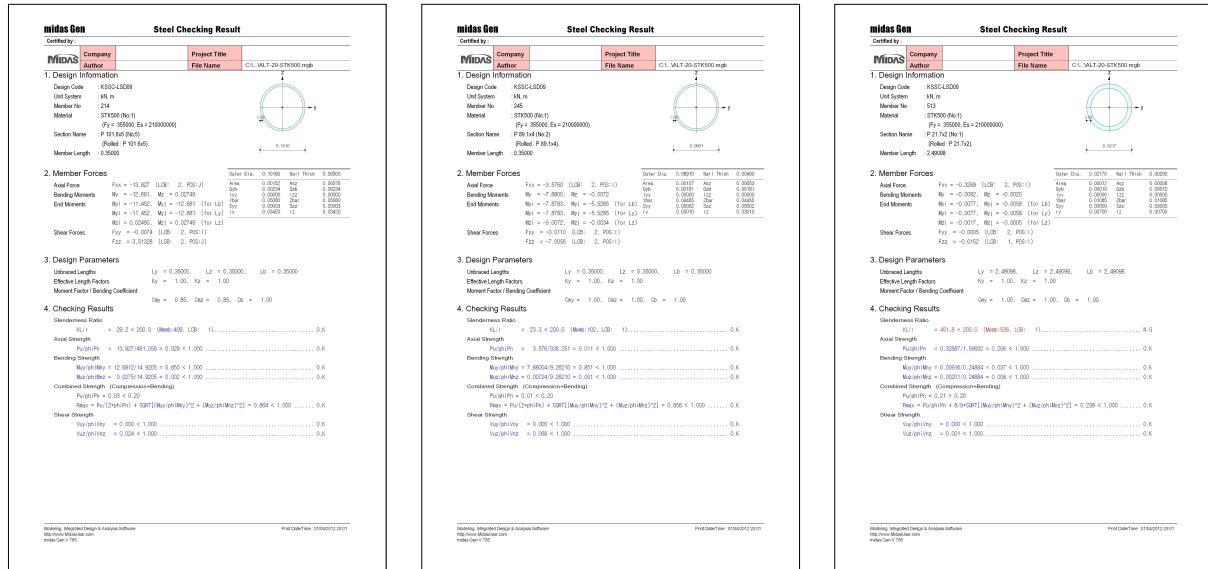
그림 17-6 ALT 10 모델 단면설계 결과 (UL700)

- ALT 10-UL700 재료 총 무게

BILL OF MATERIAL							

BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID, SECT NAME, MATERIAL				Unit System : kN , m			
SECT ID	SECTION NAME	MATERIAL ID	MATERIAL NAME	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA INNER	WEIGHT
1	P 21.7x2	2	UL-700	5.774e+001	1.656e+002	9.209e+000	1.184e+000
2	P 60.5x4	2	UL-700	5.774e+001	3.030e+001	4.997e+000	1.242e+000
5	P 76.3x4	2	UL-700	5.774e+001	5.953e+001	1.277e+001	3.123e+000
6	H 100x100x6/8	2	UL-700	5.774e+001	4.000e+000	0.000e+000	5.058e-001
SUMMATION :					2.594e+002	2.698e+001	6.055e+000

2.3 ALT 20 모델형상을 STK500재료로 사용했을 때의 단면설계 결과



(a) 수직부재

(b) 수평부재

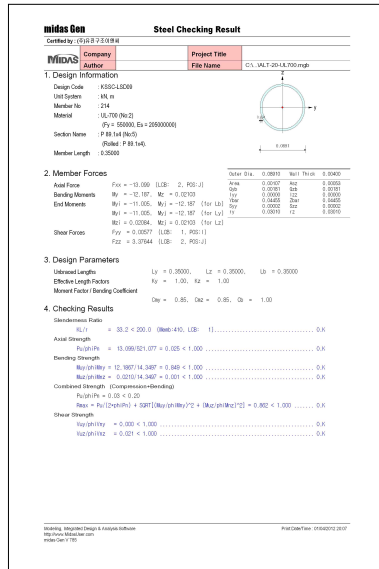
(c) 그 외 부재

그림 17-7 ALT 20 모델 단면설계 결과 (STK500)

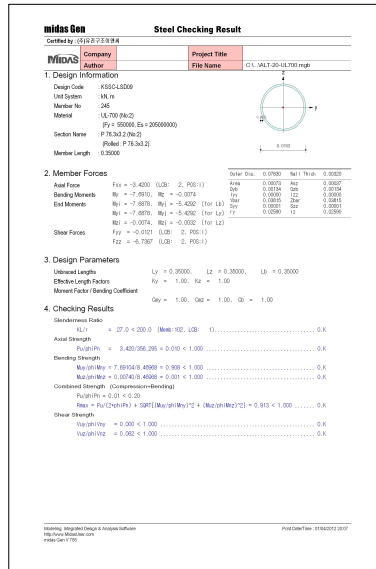
- ALT 20-STK500 재료 총 무게

BILL OF MATERIAL							
BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID, SECT NAME, MATERIAL							
Unit System : kN , m							
SECT ID	SECTION NAME	MATERIAL ID	MATERIAL NAME	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA INNER OUTER	WEIGHT
1	P 21.7x2	1	STK500	7.698e+001	8.940e+001	4.971e+000 6.095e+000	8.520e-001
2	P 89.1x4	1	STK500	7.698e+001	3.030e+001	7.720e+000 8.481e+000	2.493e+000
5	P 101.6x5	1	STK500	7.698e+001	5.953e+001	1.713e+001 1.900e+001	6.952e+000
6	H 100x100x6/8	1	STK500	7.698e+001	4.000e+000	0.000e+000 2.352e+000	6.743e-001
SUMMATION :					1.832e+002	2.982e+001 3.593e+001	1.097e+001

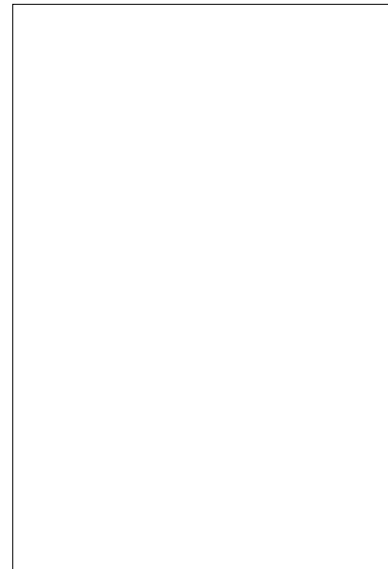
2.4 ALT 20 모델형상을 UL700재료로 사용했을 때의 단면설계 결과



(a) 수직부재



(b) 수평부재



(c) 그 외 부재

그림 17-8 ALT 20 모델 단면설계 결과 (UL700)

- ALT 20-UL700 재료 총 무게

BILL OF MATERIAL							
BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID, SECT NAME, MATERIAL							
Unit System : kN , m							
SECT ID	SECTION NAME	MATERIAL ID	MATERIAL NAME	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA INNER OUTER	WEIGHT
1 P	21.7x2	2	UL-700	5.774e+001	8.940e+001	4.971e+000 6.095e+000	6.391e-001
2 P	76.3x3.2	2	UL-700	5.774e+001	3.030e+001	6.654e+000 7.263e+000	1.286e+000
5 P	89.1x4	2	UL-700	5.774e+001	5.953e+001	1.517e+001 1.666e+001	3.674e+000
6 H	100x100x6/8	2	UL-700	5.774e+001	4.000e+000	0.000e+000 2.352e+000	5.058e-001
SUMMATION :					1.832e+002	2.679e+001 3.237e+001	6.105e+000

3. 대안 가설시스템의 구조설계 결과 요약

· ALT 10 가설시스템의 구조설계 결과 요약

재료	STK 500(기준)	UL 700	비고
수직부재	Ø89.1 × 4	Ø76.3 × 4	
수평부재	Ø76.3×4	Ø60.5×4	
그 외 부재	Ø27.2×2.3	Ø21.7×2	
구조물 총무게	9.986 kN	6.055 kN	39% 절감

· ALT20 가설시스템의 구조설계 결과 요약

재료	STK 500(기준)	UL 700	비고
수직부재	Ø101.6×5	Ø89.1×4	
수평부재	Ø89.1×4	Ø76.3×3.2	
그 외 부재	Ø21.7×2	Ø21.7×2	
구조물 총무게	10.97 kN	6.105 kN	44% 절감

4. 결론

가. ALT10 구조형상에서는 STK500재료보다 UL700재료를 사용하는 것이 39%의 물량절감을 할 수 있으며 ALT20 구조형상에서는 STK500재료보다 UL700재료를 사용하는 것이 44%의 물량절감을 할 수 있다.

나. ALT10과 ALT20의 모델형상에 대한 물량차는 거의 나지 않음을 알 수 있어 추후 시공성과 안전성 인자를 더 고려하여 어느 형상을 선택할 것인지를 판단해야 할 것이다.

다. ALT-10, ALT-20의 제작, 시공, 구조적 안전성에 적합한 접합부 디테일은 ALT1, 2의 사례를 통하여 케이스스터디를 실시하였다. 다량의 공간 트러스 부재와 다양한 각도의 연결이 필요한 시공성 측면에서는 ALT1, 조립 및 해체가 가능한 시공성 측면에서는 ALT2가 우수한 것으로 판단되나, 제작성 및 구조적인 안전성 검토를 통하여 대안의 최적을 찾기 위한 development가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

A17	일반강(STK500) 및 고성능강(UL700) 적용 가설시스템 형상 개발		
단계	터널 가설시스템 1차검토 구조상세 개발	대안 형상별 구조해석 및 설계	터널 가설시스템 2차검토 구조상세 개발

1. 터널 가설시스템 구조형상 및 주요부재 크기산정

- 터널 가설시스템 형상을 그림 17-9와 같이 건축한계선과 상부에 설치되는 환풍기 그리고 터널 벽체에 설치되는 각종 시설물 등을 고려하여 모델형상을 제안 개발하였다.

4차로 일반터널 표준 단면도

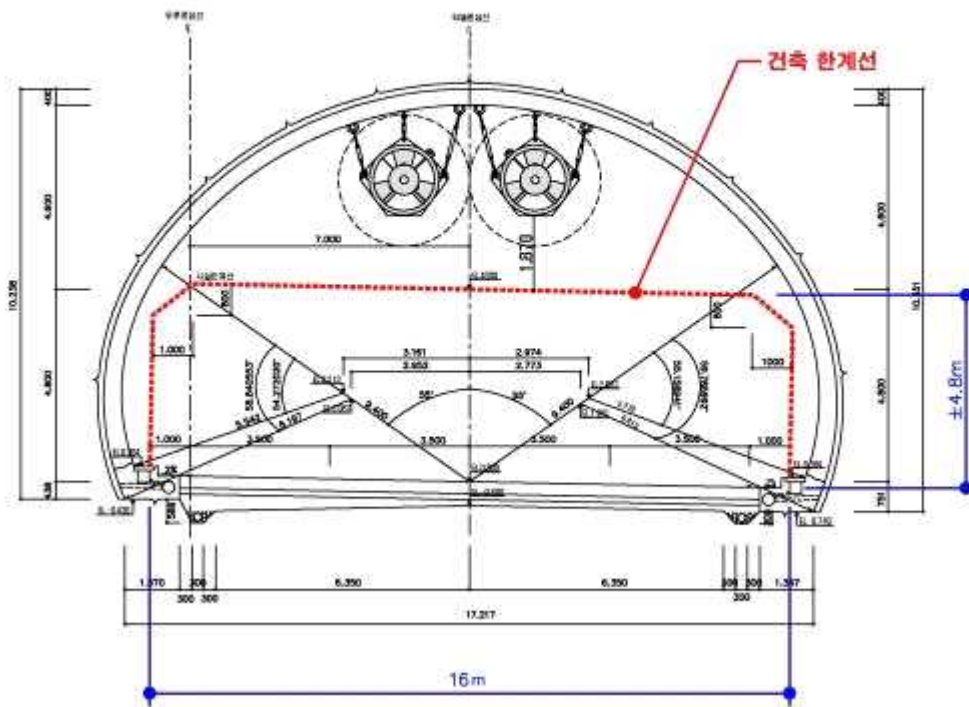


그림 17-9. 터널 건축한계선 도면

1-1 시스템 형상설계 시 고려사항

(1) 시스템 폭 결정 방법

검사원 통로 벽쪽의 터널 벽체에 부착되어 있는 교통안내 시설물, 교통카메라, 소화전, 비상전화기 그리고 안전난간 등 여러 터널 내부 시설물로 인하여 검사원 통로에는 가설 시스템 설치가 어려워 터널 도로의 양단부에 가설시스템을 설치하였음. 그러나 가설시스템이 터널 주행도로를 침범하여 차량주행에 지장을 주지 않도록 터널 양단부 쪽 건축한계선을 기준으로 도로 내부쪽 측방여유폭 1m 내에 가설시스템이 위치하도록 가설시스템 형상을 설계하였다. 그 결과 시스템의 폭은 4차선 시설한계폭 16m에서 1m를 제외한 15m로 하였다.

(2) 시스템 높이 결정 방법

- 건축한계선 높이(4.8m)이상으로 하고 상부 부착된 환풍기 이하의 높이로 하여야 한다. 도로 지면에서 환풍기 하단부까지의 높이는 4차선에서는 6.67m(=시설한계높이4.8m +시설한계에서 환풍기 하단까지 높이1.87m, 그림 1참조), 3차선에서는 5.37m(=시설한계높이4.8m +시설한계에서 환풍기 하단까지 높이 0.57m), 2차선에서는 5.04m(=시설한계높이4.8m + 시설한계에서 환풍기 하단까지 높이 0.24m)가 되어 시스템의 구조해석 시 기본 높이를 4.8m 이상 ~ 5.04 m 이하가 되게 하였다.(참고 : 2차선의 경우 시설한계와 환풍기 하단까지의 사이 높이가 0.24m 밖에 되지 않아 터널 방향으로 가설시스템이 이동시 팬에 간섭되는 문제가 발생할 것이 예상되며 추후 가설시스템 상부에 어떠한 시설물도의 설치가 어려워 가설시스템의 높이조절시스템인 유압실린더 설치는 추후 실시할 예정이다)
- 위와 같은 사항을 고려하여 터널 전용 가설시스템의 형상을 아래 그림 2 ~ 4와 같이 ALT-10 , ALT-20 , ALT-30을 대안설계하였다.

1.2 시스템 형상설계 조건 : 재료 특성 및 하중(공통)

(1) 재료특성

강종	UL 700
탄성계수	210000 MPA
단위중량	57.735 kN/m ³
인장강도(Fu)	700 MPA
항복강도(Fy)	550 MPA

(2) 하중

하중종류	크 기
활하중(시공하중)	1.25 kN/m ² (125kgf/m ²)
고정하중	0.32 kN/m ² (32kgf/m ²)
수평하중	0.18 kN/m (180 kgf/m)

<하중근거>

■ 활하중

비계 및 작업발판의 설계시 비계의 수직하중에는 비계 및 작업발판의 고정하중과 활하중이 있다. 활하중에는 근로자와 근로자가 사용하는 자재, 공구 등을 포함하며 본 계산에서는 “건설교통부 가설공사 표준시방서”에 의하여 통로의 역할을 하는 비계와 가벼운 공구만을 필요로 하는 경작업에 대해서는 1.25kN/m^2 을 적용하였다.

■ 고정하중

세로(명예)부재 상부에 설치되는 고정하중은 장선, 합판, 아시바이며 이들의 고정하중 계산근거는 다음과 같다.

- 장선(13 kgf/m^2) + 합판(12 kgf/m^2) + 아시바(6.39 kgf/m^2) = $31.39\text{kg/m}^2 = 32\text{kg/m}^2$

- 장선

단위길이당 무게 : $\varnothing 48.6 \times 3.2 = 3.58\text{ kgf/m}$

1개 길이 : 13m

총 갯수 : 13개 ($3600 \div 300$ 간격 = 12개 + 1 = 13개)

총 길이 : $13\text{m} \times 13\text{개} = 169\text{m}$

총 무게 : $3.58\text{ kgf/m} \times 169\text{m} = 605\text{ kgf}$

단위면적당 무게 : $605\text{ kgf}/(3.6\text{m} \times 13\text{m}) = 12.9\text{ kg/m}^2 = 13\text{kg/m}^2$

- 합판

무게 : $18\text{T} \times 1209\text{mm} \times 2400\text{mm} = 35\text{ kgf /개}$

합판 개수 : $(3.6\text{m} \times 13\text{m})/(1.209 \times 2.4) = 16\text{개}$

합판 총무게 : $35\text{ kgf /개} \times 16\text{개} = 560\text{kgf}$

단위면적당 무게 : $560\text{ kgf}/(3.6\text{m} \times 13\text{m}) = 11.96 = 12\text{kg/m}^2$

- 아시바

아시바 1개층 총무게 : $100\text{ kgf} \times 3$ (3개층) = 300 kgf

단위면적당 무게 : $300\text{ kgf}/(3.6\text{m} \times 13\text{m}) = 6.39\text{ kg/m}^2$

■ 수평하중

제동력을 고려하여 수직하중의 15%를 적용하였다.

계수수직하중($1.2D+1.6L$)이 15000kgf 를 넘지 않으나 안전을 고려하여 18000kgf 으로 보고서 수평하중을 이에 대한 15%로 보았다.

$18000\text{kgf} \times 0.15\% = 2700\text{kgf}$

이 하중에 스펠길이(15m)로 나누어 수평하중을 선하중(kgf/m)으로 계산한다.

$2700\text{kgf}/15\text{m} = 180\text{kgf/m}$

1.3 주요부재 크기 및 시스템 총 중량(자중) 산정(상세사항 : 구조설계도서 참조)

(1) ALT-10 모델형상

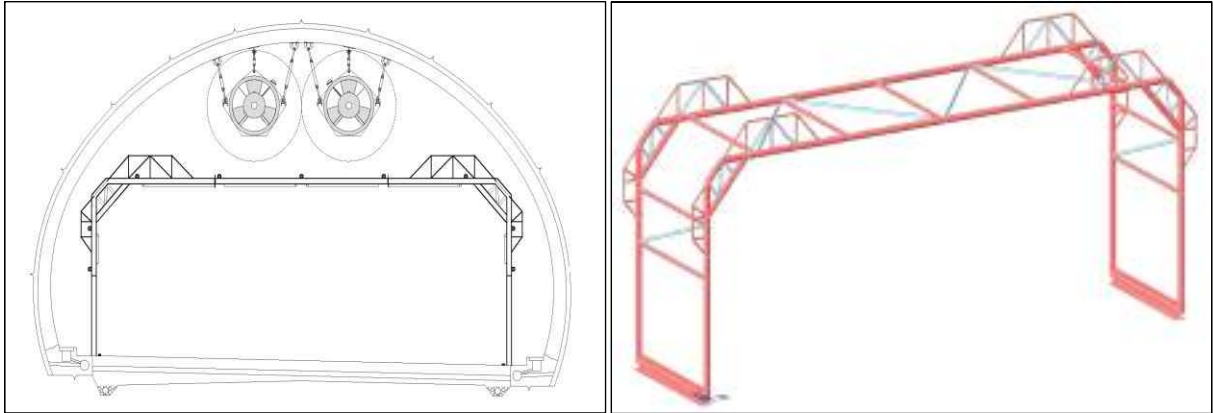


그림 17-10. ALT-10

(2) ALT-20 모델형상

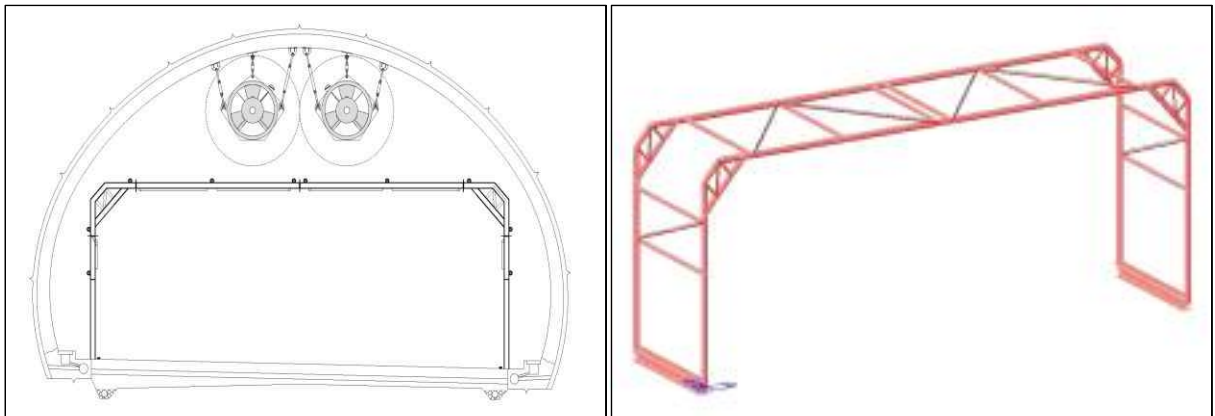


그림 17-11. ALT-20

(3) ALT-30 모델형상

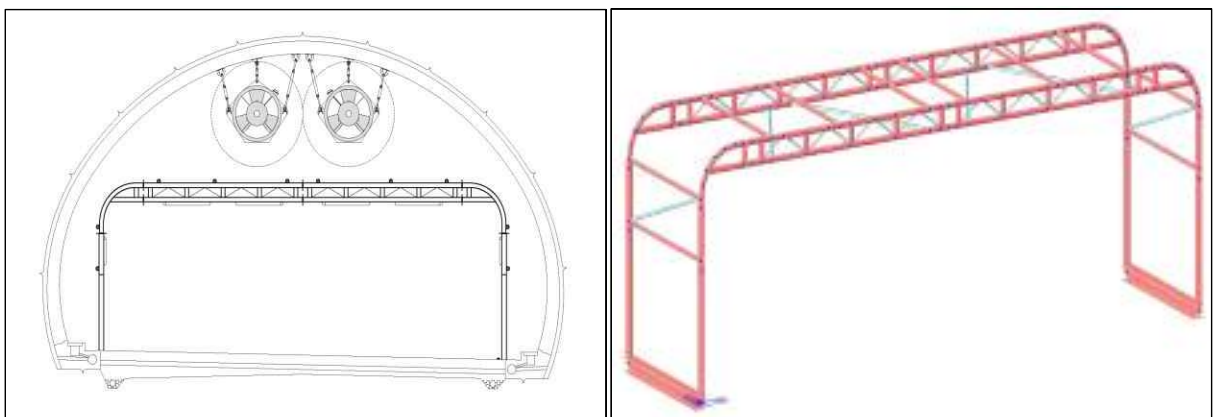
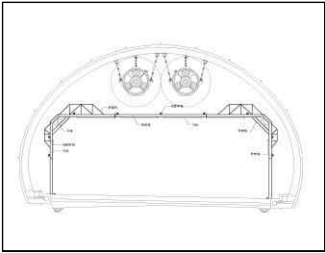
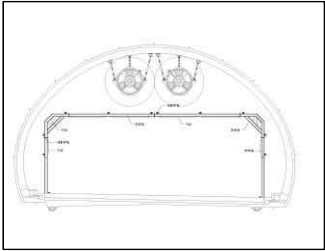
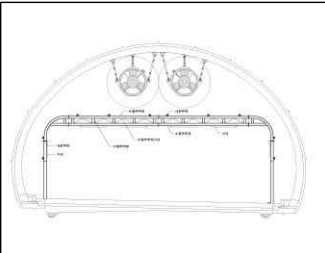
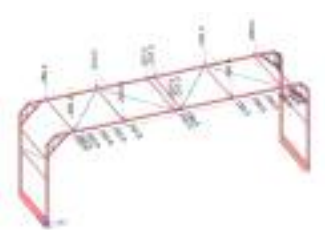


그림 17-12. ALT-30

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 요소 구조상세 개발	모델 제안 여부
Activity	조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위모듈 개발 (A18)	
기관	유진구조	

목적	UL700을 이용한 가설시스템 ALT10~ALT30 형상에 대한 부재 단위 모듈 개발		
단계	내용		산출물
ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	■ ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계 ■ ALT 10 모델형상의 단면설계 결과 - 주부재, 세로부재, 가새, 손잡이 - 충무게 ■ ALT 10 부재설계 요약		
ALT-20 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	■ ALT-20 모델형상의 부재명칭 및 단면설계 ■ ALT 20 모델형상의 단면설계 결과 - 주부재, 세로부재, 가새 - 충무게 ■ ALT 20 부재설계 요약		
ALT-30 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	■ ALT-30 모델형상의 부재명칭 및 단면설계 ■ ALT 30 모델형상의 단면설계 결과 - 주부재, 세로부재, 가새 - 충무게 ■ ALT 30 부재설계 요약		
구조설계 결과 요약	■ 대안 가설시스템의 구조설계 결과 전체 요약 ■ 형상 및 해석 결과 요약		
관련 목표 성과물	보고서 1건		

A18	조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위모듈 개발			
단계	ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-20 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-30 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	구조설계 결과 요약

1. 대안형상별 구조해석 및 부재단면 설계

- ALT-10, ALT-20, ALT-30 형상을 UL700 재료로 설계하며 대안형상별 부재의 단면설계결과와 구조물의 전체 무게(자중)를 구한다.
- ALT 10모델형상의 단면설계 결과
- ALT 20모델형상의 단면설계 결과
- ALT 30모델형상의 단면설계 결과
- 대안 구조물의 구조설계 결과 요약

2. ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계

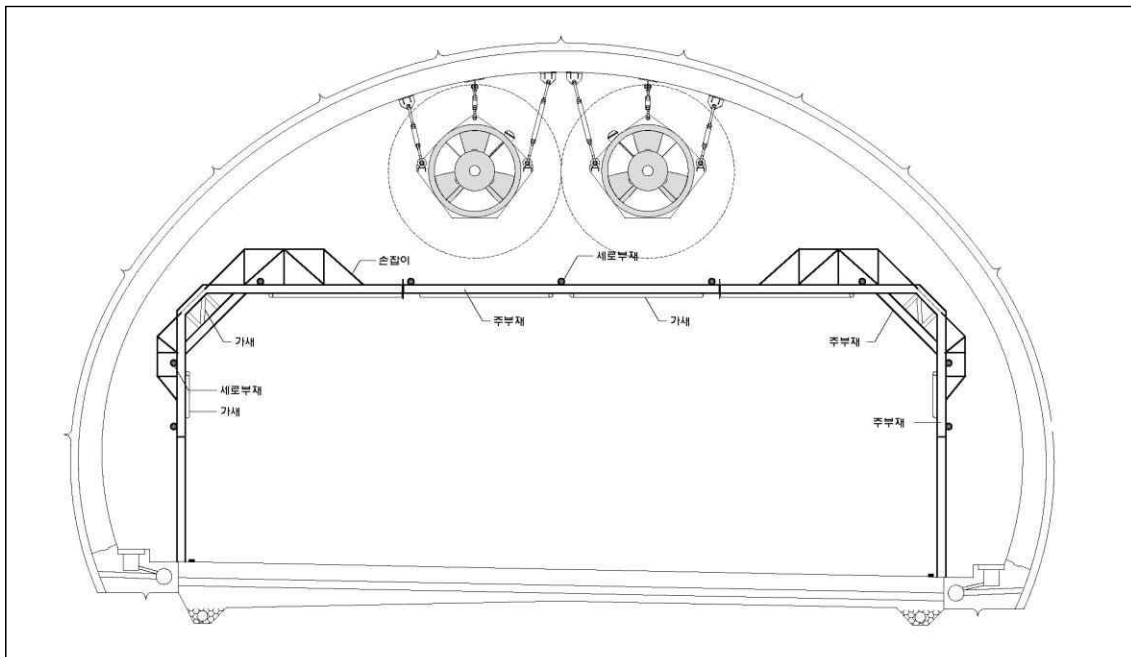
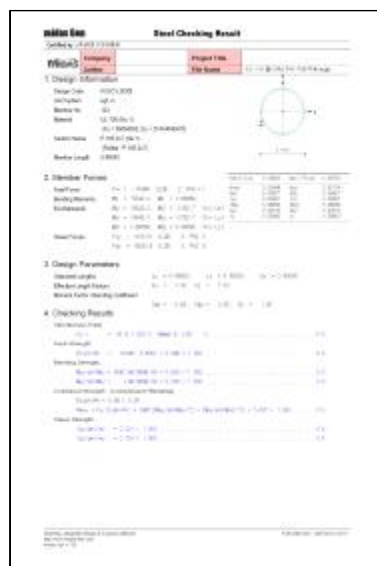
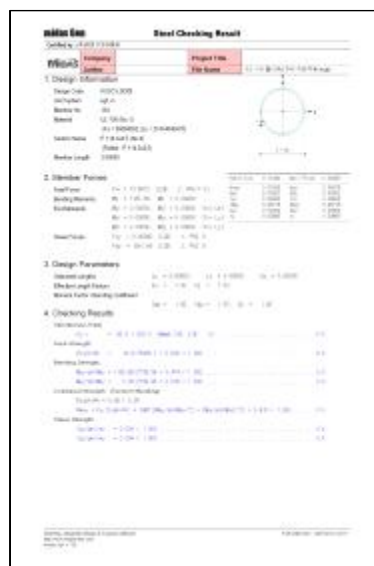


그림 18-1. ALT-10 모델형상의 부재명칭

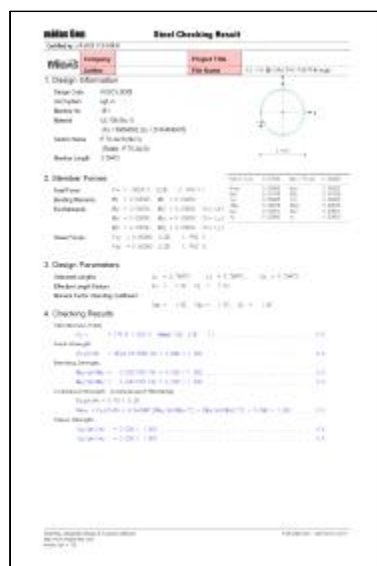
· ALT 10 모델형상의 단면설계 결과



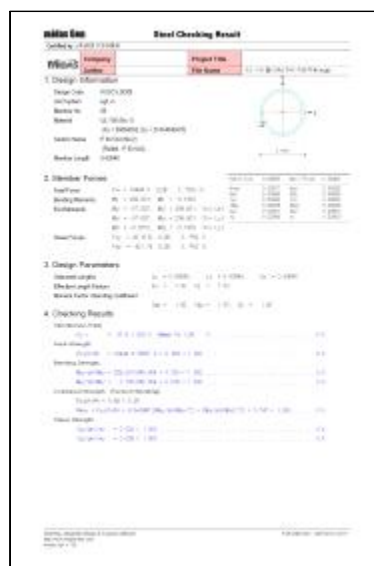
(a) 주부재



(b) 세로부재



(c) 가새부재



(d) 손잡이 부재

그림 18-2 ALT 10 모델 단면설계 결과 (UL700)

▪ ALT 10 - 가설시스템 총무게(자중)

BILL OF MATERIAL						
BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID,SECT NAME, MATERIAL				Unit System : kgf , m		
SECT WEIGHT	SECTION NAME	MATERIAL	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA	
ID	ID	NAME		INNER	OUTER	
1 P 165.2x7 1.522e+003		1 UL-700	7.850e+003	5.573e+001	2.647e+001	2.893e+001
2 P 60.5x4 2.081e+002		1 UL-700	7.850e+003	3.734e+001	6.159e+000	7.097e+000
3 P 76.3x2.8 2.131e+002		1 UL-700	7.850e+003	4.200e+001	9.328e+000	1.007e+001
4 P 114.3x4.5 3.947e+002		1 UL-700	7.850e+003	3.240e+001	1.072e+001	1.163e+001
7 H 300x300x10/15 6.771e+002		1 UL-700	7.850e+003	7.200e+000	0.000e+000	1.282e+001
SUMMATION :				1.747e+002	5.268e+001	7.054e+001
3.015e+003						

▪ ALT 10 가설시스템 부재설계 요약

부재명칭	ALT 10	비고
주부재	Ø165.2×7	
세로부재	Ø114.3×4.5	
가새	Ø76.3×2.8	
손잡이	Ø60.5×4	
총무게	3,015 kg	

A18	조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위모듈 개발			
단계	ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-20 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-30 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	구조설계 결과 요약

■ ALT-20 모델형상의 부재명칭

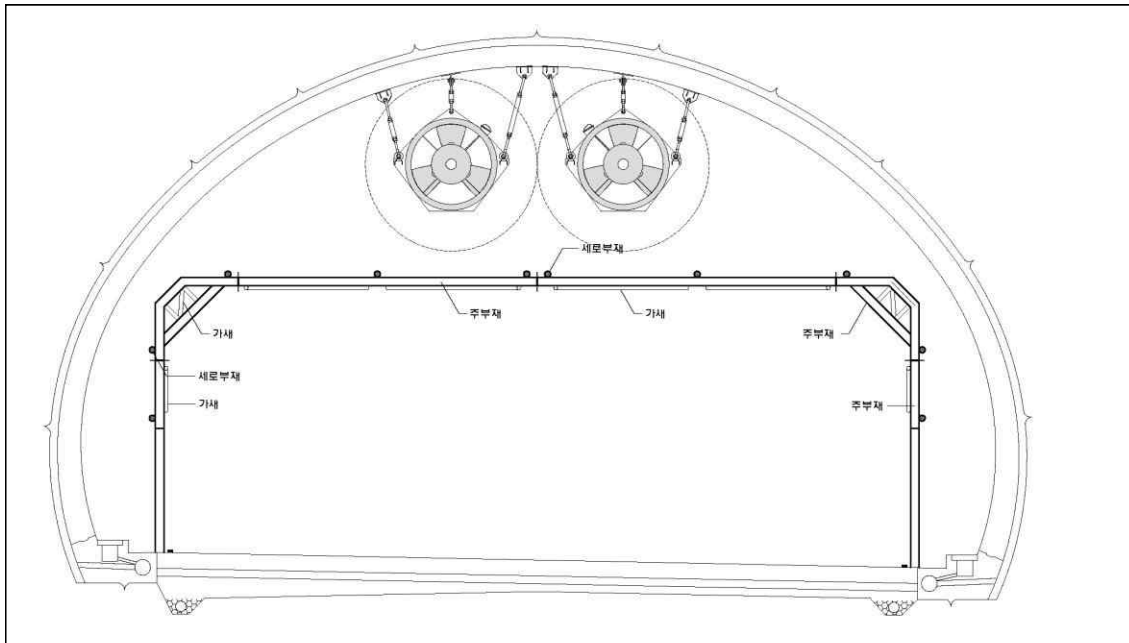
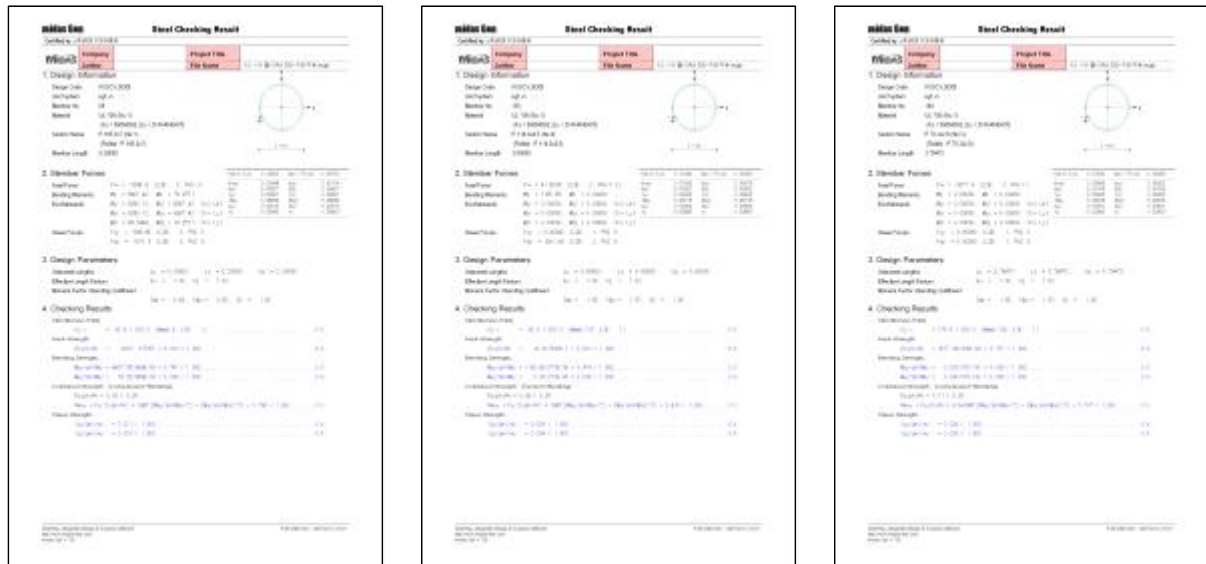


그림 18-3. ALT-20 모델형상의 부재명칭

■ ALT 20 모델형상의 단면설계 결과



(a) 주부재

(b) 세로부재

(c) 가새 부재

그림 18-4 ALT 20 모델 단면설계 결과 (UL700)

▪ ALT 20 가설시스템 총무게(자중)

BILL OF MATERIAL						
BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID,SECT NAME, MATERIAL				Unit System : kgf , m		
SECT WEIGHT	SECTION NAME	MATERIAL	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA	
ID	ID	NAME		INNER	OUTER	
1 P 165.2x7		1 UL-700	7.850e+003	5.653e+001	2.685e+001	2.934e+001
1.544e+003						
3 P 76.3x2.8		1 UL-700	7.850e+003	3.351e+001	7.443e+000	8.033e+000
1.701e+002						
4 P 114.3x4.5		1 UL-700	7.850e+003	3.600e+001	1.191e+001	1.293e+001
4.386e+002						
7 H 300x300x10/15		1 UL-700	7.850e+003	7.200e+000	0.000e+000	1.282e+001
6.771e+002						
SUMMATION :				1.332e+002	4.621e+001	6.312e+001
2.830e+003						

▪ ALT 20 가설시스템 부재설계 요약

부재명칭	ALT 20	비고
주부재	Ø165.2×7	
세로부재	Ø114.3×4.5	
가새	Ø76.3×2.8	
총무게	2830 kgf	

A18	조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위모듈 개발			
단계	ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-20 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-30 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	구조설계 결과 요약

▪ ALT-30 모델형상의 부재명칭

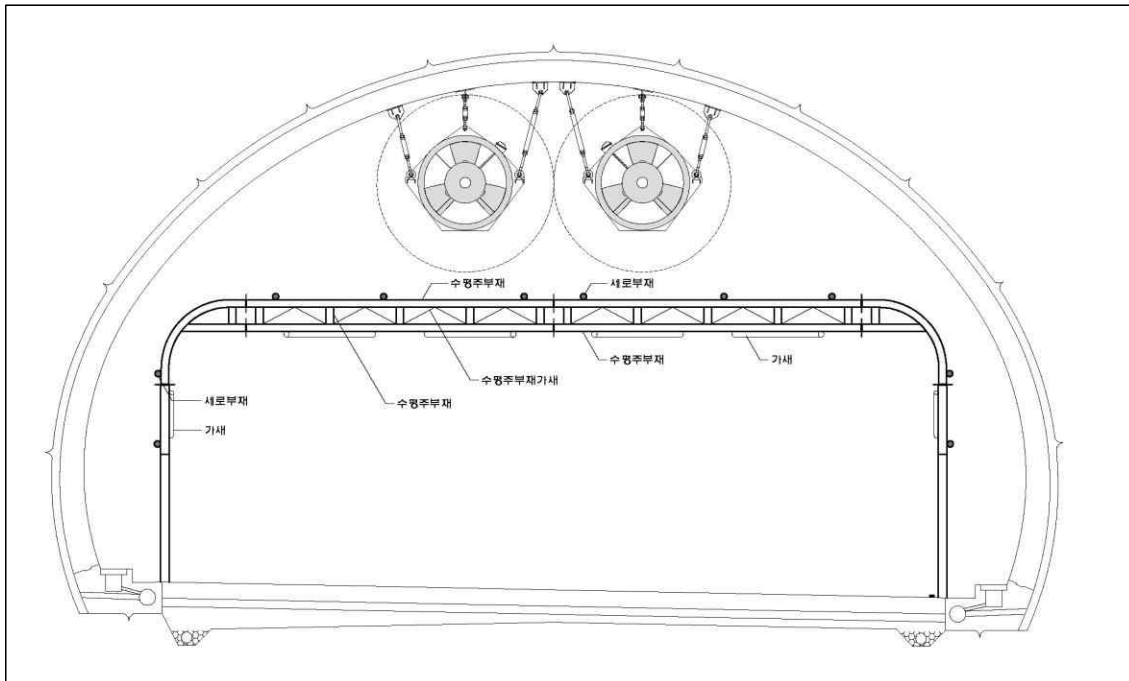
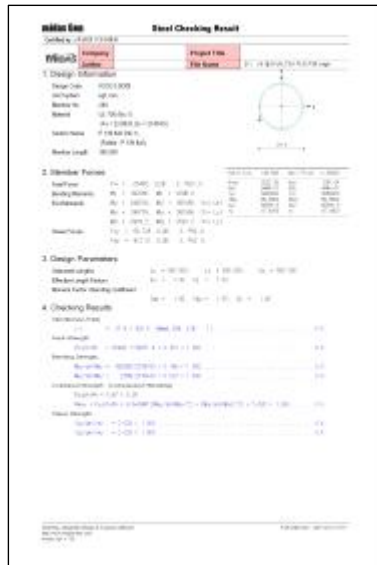
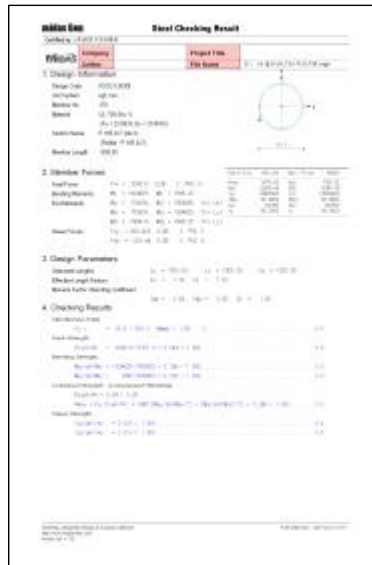


그림 18-5. ALT-30 모델형상의 부재명칭

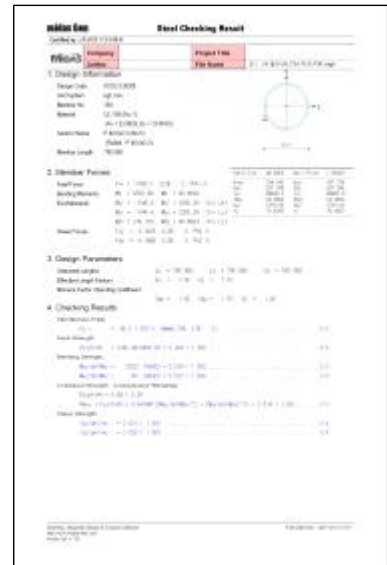
● ALT 30 모델형상의 단면설계 결과



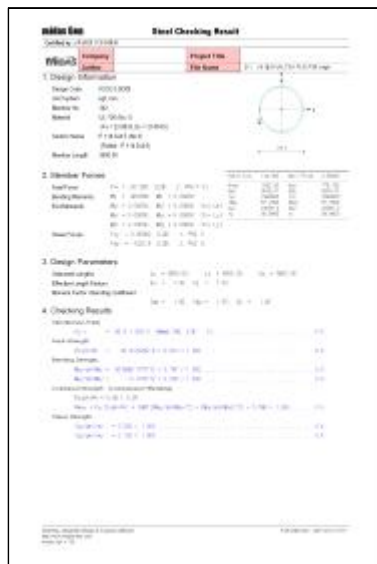
(a) 수평 주부재



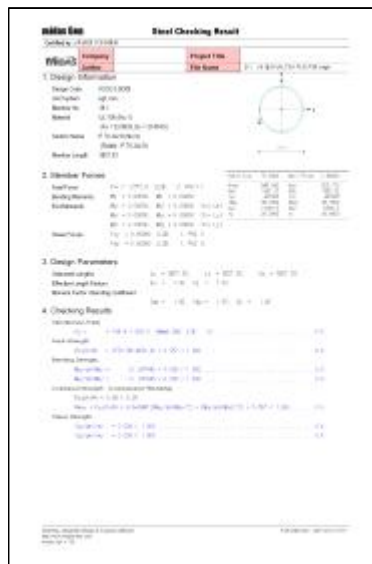
(b) 수직 주부재



(c) 수평주부재 가새 부재



(d) 세로부재



(e) 가새부재

그림 18-6 ALT 20 모델 단면설계 결과 (UL700)

BILL OF MATERIAL						
BEAM & TRUSS BOM TYPE1 SECT ID,SECT NAME, MATERIAL					Unit System : kgf , mm	
SECT WEIGHT	SECTION NAME	MATERIAL	DENSITY	LENGTH	PAINT AREA	
ID	ID	NAME		INNER	OUTER	
1 P 139.8x6 1.385e+ 003		1 UL-700	7.850e-006	6.997e+ 004	2.809e+ 007	3.073e+ 007
2 P 165.2x7 4.697e+ 002		1 UL-700	7.850e-006	1.720e+ 004	8.170e+ 006	8.927e+ 006
3 P 114.3x4.5 4.386e+ 002		1 UL-700	7.850e-006	3.600e+ 004	1.191e+ 007	1.293e+ 007
4 P 76.3x2.8 1.225e+ 002		1 UL-700	7.850e-006	2.413e+ 004	5.359e+ 006	5.784e+ 006
5 P 48.6x2.3 6.643e+ 001		1 UL-700	7.850e-006	2.530e+ 004	3.497e+ 006	3.863e+ 006
7 H 300x300x10/15 6.771e+ 002		1 UL-700	7.850e-006	7.200e+ 003	0.000e+ 000	1.282e+ 007
SUMMATION :				1.798e+ 005	5.703e+ 007	7.505e+ 007
3.160e+ 003						

▪ ALT 30 가설시스템 부재설계 요약

부재 명칭	ALT 30	비고
주부재	Ø139.8×6	
세로부재	Ø114.3×4.5	
가새	Ø76.3×2.8	
수직주부재	Ø165.2×7	
수평주부재가새	Ø48.6×2.3	
총무게	3160 kg	

A18	조립 및 해체가 용이한 가설시스템 단위모듈 개발			
단계	ALT-10 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-20 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	ALT-30 모델형상의 부재명칭 및 단면설계	구조설계 결과 요약

■ 대안 가설시스템의 구조설계 결과 전체요약

형상	ALT 10	ALT 20	ALT 30	비고
주부재	Ø165.2×7	Ø165.2×7	Ø139.8×6	
세로부재	Ø114.3×4.5	Ø114.3×4.5	Ø114.3×4.5	
가새	Ø76.3×2.8	Ø76.3×2.8	Ø76.3×2.8	
손잡이	Ø60.5×4			
수직주부재			Ø165.2×7	
수평주부재가새			Ø48.6×2.3	
총무게(자중)	3015 kg	2830 kg	3160 kg	

- ALT-10 모델형상 부재설계결과

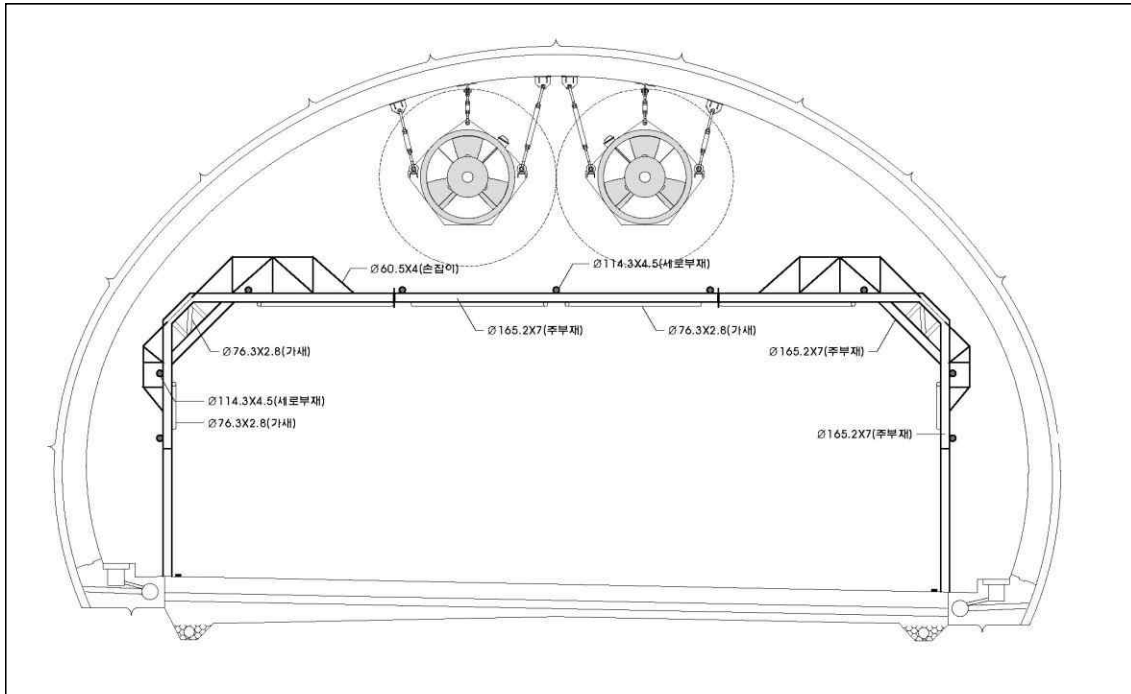


그림 18-7. ALT-10 모델형상 부재설계결과

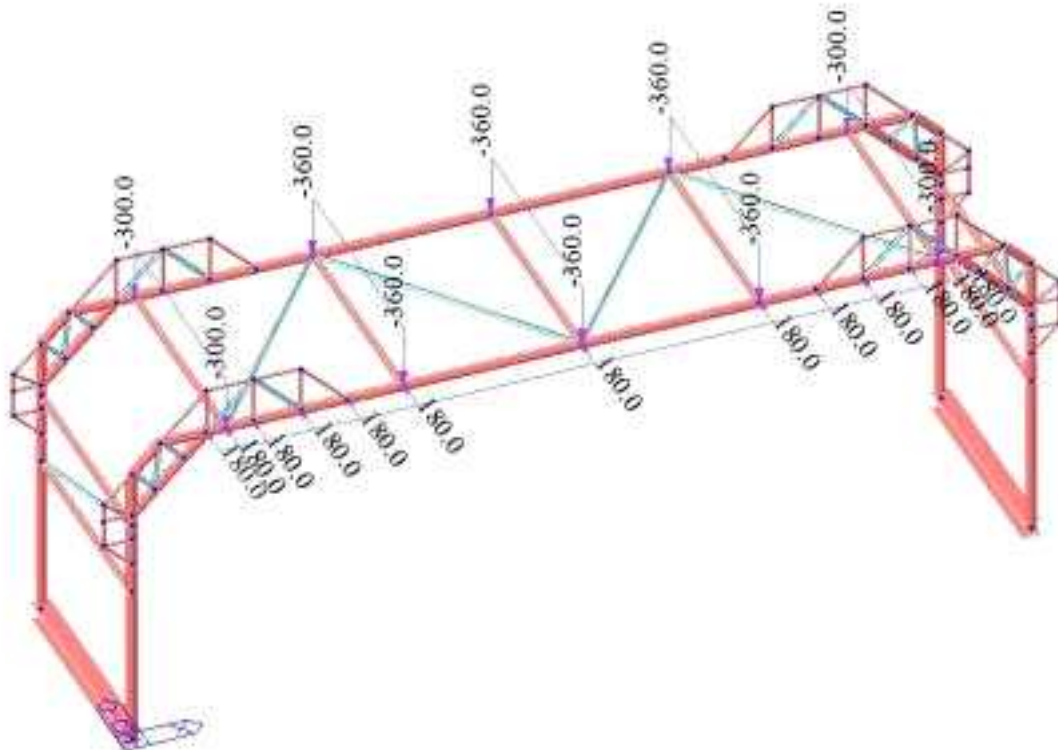


그림 18-8. ALT-10 모델 하중조건

- ALT-20 모델형상 부재설계결과

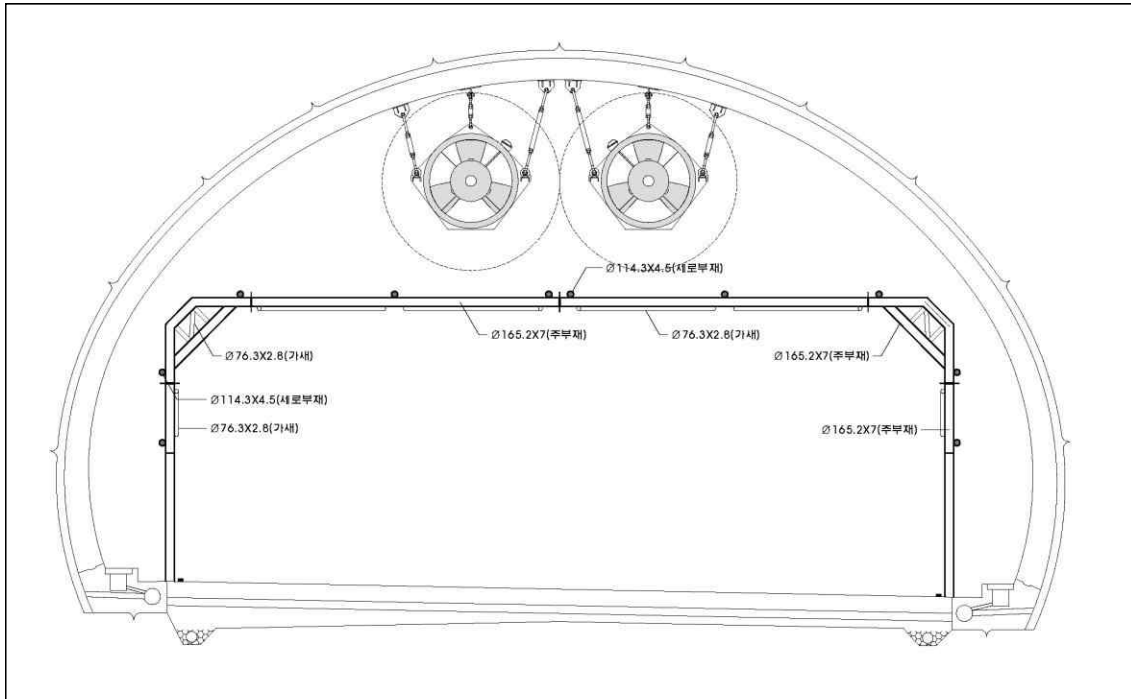


그림 18-9. ALT-20 모델형상 부재설계결과

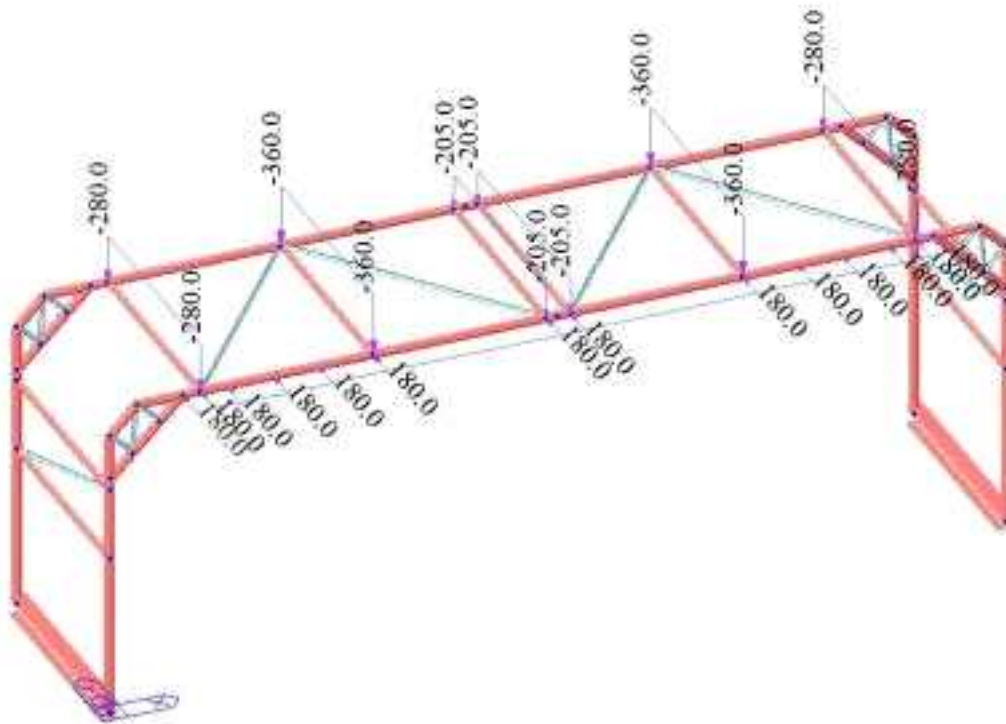


그림 18-10. ALT-20 모델 하중조건

- ALT-30 모델형상 부재설계결과

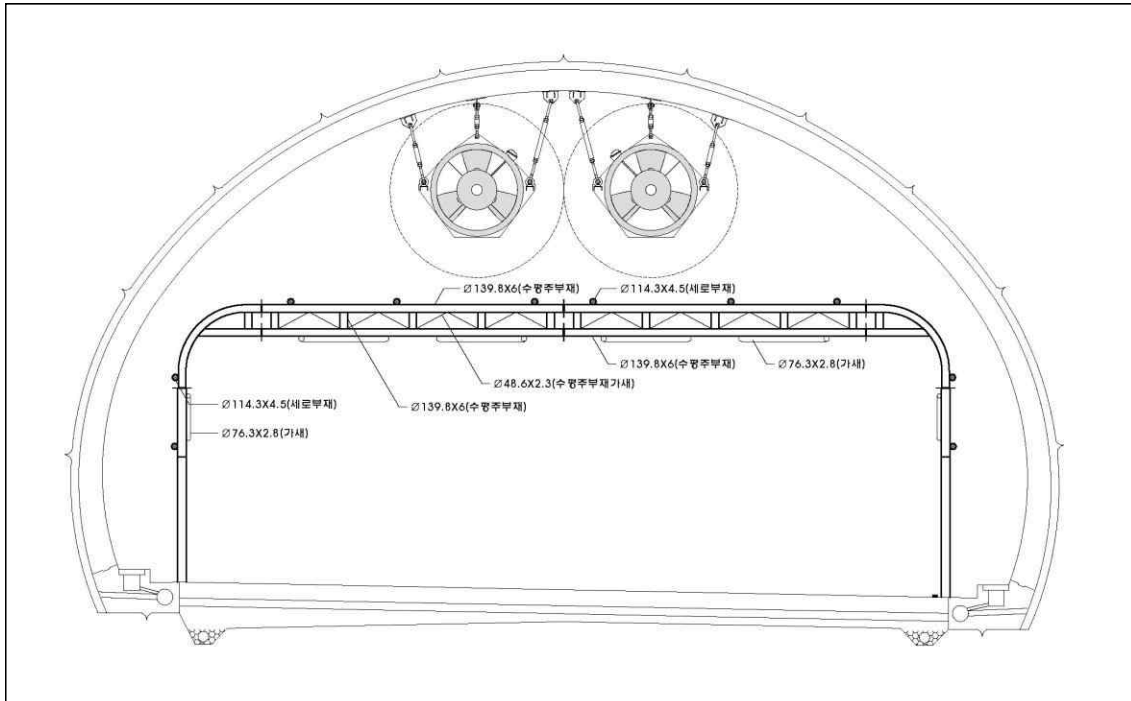


그림 18-11. ALT-30 모델형상 부재설계결과

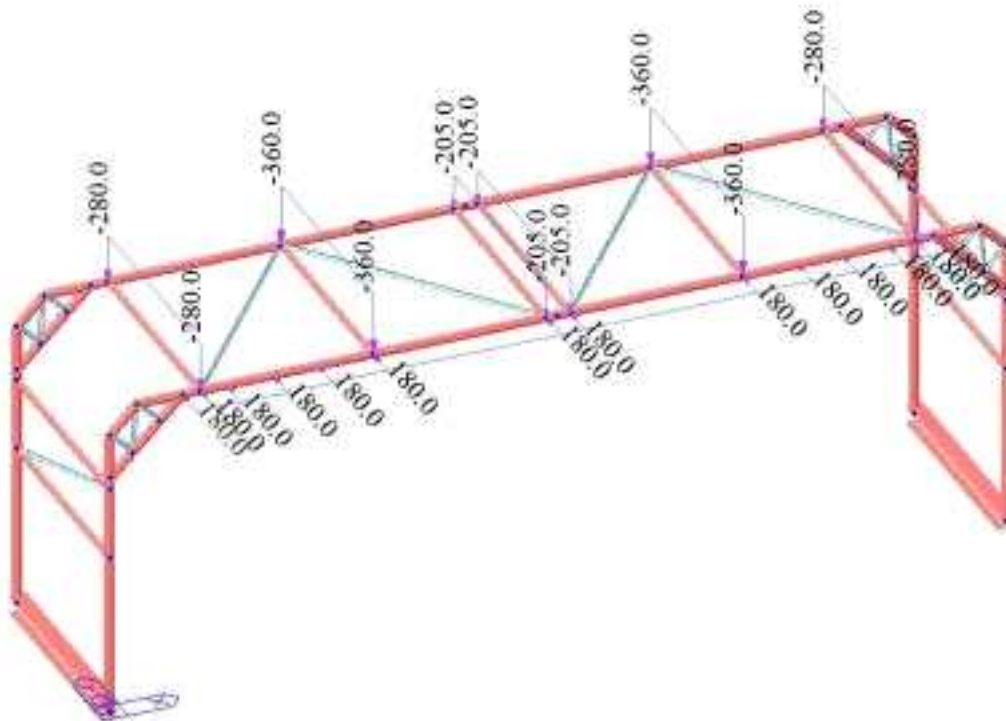
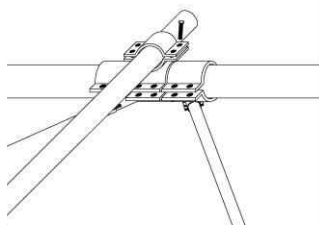
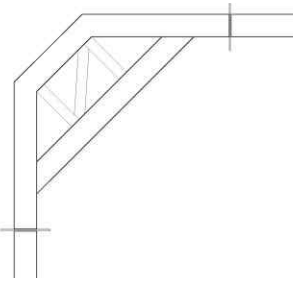
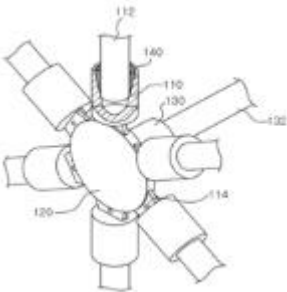


그림 18-12. ALT-30 모델 하중조건

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 요소 구조상세 개발	상세도 작성 여부
Activity	시스템 모델을 구성하는 1차 주요부재 접합부 상세 개발 (A19)	
기관	유진구조	

목적	터널 가설시스템 접합부 상세 개발		
단계	내용		산출물
연결판 설계	■볼트의 공칭강도 <KBC 2009 표 0710.3.1> : 일반볼트 SS400사용 ■일반볼트의 공칭인장강도 $F_{nt} = 300 \text{ MPa} (= 0.75F_u = 0.75 \times 400)$ ■공칭전단강도 $F_{nt} = 160 \text{ MPa} (= 0.4F_u = 0.4 \times 400)$ ■연결판 SS400 사용 ■볼트 직경 $\varnothing 22$ ($A_b = 380\text{mm}^2$) ■세로(명에)부재의 최대전단력 1,313 kgf		상세 1건
주부재 접합부 설계	■볼트 공칭강도 <표 0710.3.1> : 일반볼트 SS400 사용 ■일반볼트 공칭인장강도 $F_{nt} = 300 \text{ Mpa}$, 공칭전단강도 $F_{mv} = 160\text{Mpa}$ ■연결판 SS400 사용, 두께 7mm, 볼트 직경 $\varnothing 22$ ■주부재 부재력 : 전단력 3,535 kgf(=34569 N), 휨모멘트 6,549 kg·m(Mz)		상세 1건
부재 접합부 대안비교	■ 트러스 부재 접합부 대안비교		
관련 목표 성과물	접합부 상세 2건		

A19	시스템 모델을 구성하는 1차 주요부재 접합부 상세 개발		
단계	연결판 설계	주부재 접합부 설계	부재 접합부 대안비교

1. 연결판 설계

- 볼트의 공칭강도 <KBC 2009 표 0710.3.1> : 일반볼트 SS400사용
- 일반볼트의 공칭인장강도 $F_{nt} = 300 \text{ MPa} (= 0.75F_u = 0.75 \times 400)$
공칭전단강도 $F_{nt} = 160 \text{ MPa} (= 0.4F_u = 0.4 \times 400)$
- 연결판 SS400 사용
- 볼트 직경 $\varnothing 22$ ($A_b = 380\text{mm}^2$)
- 세로(명에)부재의 최대전단력 1,313 kgf

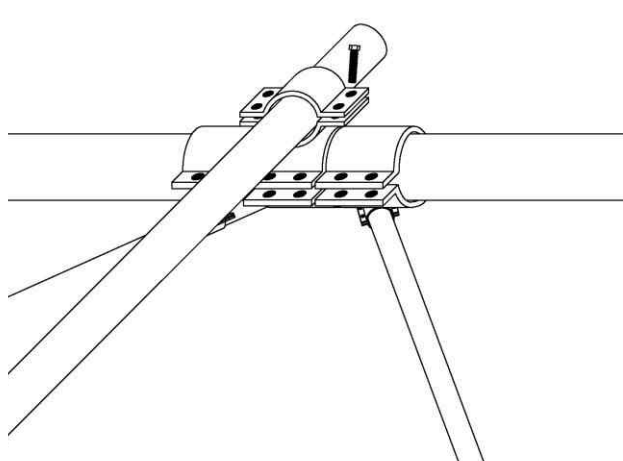


그림 19-1. 접합부-1 측면도

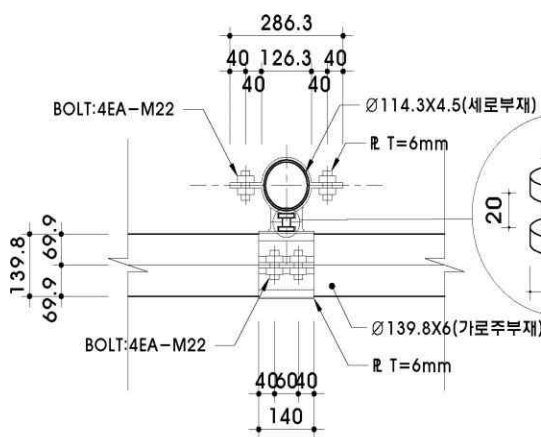


그림 19-2. 접합부-1 단면도

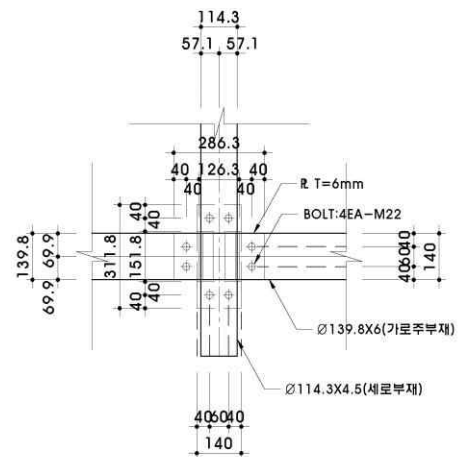


그림 19-3. 접합부-1 평면도

2. 연결판 지압검토 (집합부 1 및 평면 참조)

<표 0710.1.1>의 표준구멍 직경사용

$$H = 22 + 2 = 24\text{mm} \rightarrow = 24/2 = 12\text{mm}$$

· 연결판 지압

$$L_e = 40 \text{ (연단거리) 피치 } 3d = 3 \times 20 = 60\text{mm (보통 정렬배치 60mm)}$$

$$L_e = \text{엇모배치 } 45\text{mm}$$

$$t = 6\text{mm}$$

· 연단지압

$$L_c = L_e - = 40 - 12 = 28\text{mm}$$

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 28 \times t \times 400 \geq 2,626 \text{ kg (전단력 1313의 2배)} = 25,753 \text{ N}$$

$$t \geq 1.92 \text{ mm, 연결판 두께 } t = 6\text{mm로 한다. (주부재 7mm, 멩에 4.5mm 고려)}$$

· 연결판 연단 지압강도

$$R_n = 1.2 \times 28 \times 6 \times 400 = 80,640 \text{ N} \geq 25,753 \text{ N}$$

· 연결판 피치지압강도

$$L_c = L_e - h = 60 - 24 = 36\text{mm}$$

$$R_n = 1.2 \times 36 \times 6 \times 400 = 103,680 \text{ N}$$

$$\text{가로방향 연결판 총 지압강도 } R_n = \text{연단지압} + \text{피치지압} = 80,640 + 103,680 = 184,320 \text{ N}$$

$$\underline{\text{설계강도}} \quad \phi R_n = 0.75 \times 184,320 = 138,240 \text{ N} \geq 25,753 \text{ N (최대전단력 2배)} \quad \boxed{\text{OK}}$$

$$\text{세로방향 연결판 총 지압강도 } R_n = \text{연단지압강도} \times 2\text{개} = 80,640 \times 2 = 161,280 \text{ N}$$

$$\underline{\text{설계강도}} \quad \phi R_n = 0.75 \times 161,280 = 120,960 \text{ N} \geq 25,753 \text{ N (최대전단력 2배)} \quad \boxed{\text{OK}}$$

3. 볼트 전단강도 검토

$$\phi R_n = 0.75 \times F_{nv} A_b \times \text{갯수} = 0.75 \times 160 \times 380 \times 2 = 91,200 \text{ N} \geq 25,753 \text{ N} \quad \boxed{\text{OK}}$$

A19	시스템 모델을 구성하는 1차 주요부재 접합부 상세 개발		
단계	연결판 설계	주부재 접합부 설계	부재 접합부 대안비교

1. 주부재 접합부 설계

- 볼트 공칭강도 <표 0710.3.1> : 일반볼트 SS400 사용
- 일반볼트 공칭인장강도 $F_{mt} = 300 \text{ Mpa}$, 공칭전단강도 $F_{mv} = 160 \text{ Mpa}$
- 연결판 SS400 사용, 두께 7mm, 볼트 직경 $\varnothing 22$
- 주부재 부재력 : 전단력 3,535 kgf(=34569 N), 휨모멘트 6,549 kg·m(Mz)

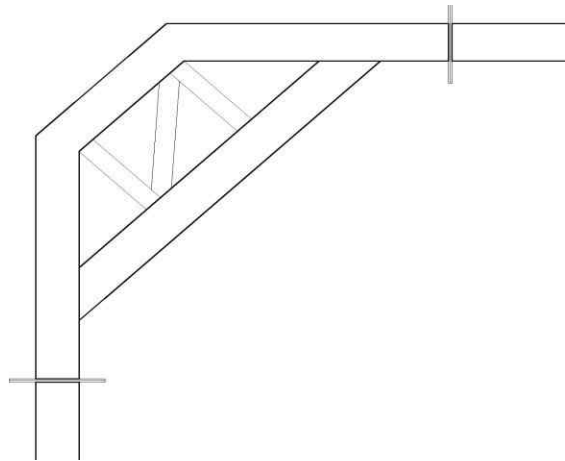


그림 19-4. 접합부-2 측면도

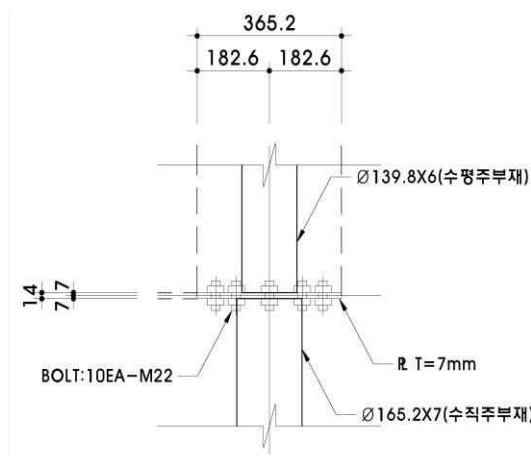


그림 19-5. 접합부-2 평면도

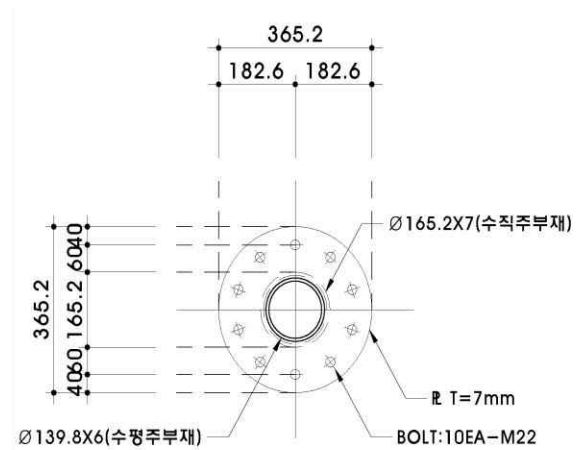


그림 19-6. 접합부-2 단면도

2. 볼트 전단강도 검토(접합부 2 및 입면, 평면 그림 참조)

- 볼트 전단강도 계산

$$R_n = F_{mv} A_b$$

$$A_b = 380\text{mm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 160 \times 380 \times 12\text{개} = 547200 \text{ N} \geq 34,569\text{N} \quad \boxed{\text{OK}}$$

- 볼트 인장강도 계산

$$R_n = F_{mv} A_b = 300 \times 380 = 114000 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 114,000 = 85500 \text{ N} \times 4\text{개} = 342,000 \text{ N}$$

휨모멘트에 의한 휨인장력 계산

$$6549 / 0.27 = 24,255 \text{ kg} = 237,868 \text{ N}$$

$$\therefore \phi R_n = 342.0 \text{ KN} \geq 237.868 \text{ KN} \quad \boxed{\text{OK}}$$

3. 전단이 작용할 때의 볼트의 공칭인장강도 검토

$$F_{nt}' = 1.3 F_{mt} - f_v \leq F_{nt}$$

$$f_v = 34,569 / 4A_b = 34,569 / (4 \times 380) = 22.7 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{nt}' = 1.3 \times 300 - 300 / (0.75 \times 160) \times 22.7 = 333.2 \leq F_{nt} \text{ 이어야 하므로}$$

$$F_{nt}' = 300 \text{ Mpa}$$

(즉 전단이 작용할때의 볼트의 공칭인장강도는 인장만 받을 때의 공칭인장강도와 동일하므로 위에서 검토한 것과 동일)

4. 주부재 연결판 지압검토 (SS400)

표준구멍직경사용

$$H = 22 + 2 = 24\text{mm}$$

- 연결판 지압검토

$$L_e = 40\text{mm 피치} \quad P = 60\text{mm}$$

- 연단지압

$$L_c = 28\text{mm}$$

$$1R_n = 1.2 L_c t F_u = 1.2 \times 28 \times 6 \times 400 = 80,640\text{N}$$

4개가 저항하므로

$$\phi R_n = 0.75 \times 80,640 \times 4\text{개} = 241,920 \text{ N} \geq 34,569\text{N} \quad \boxed{\text{OK}}$$

- 피치지압

연단지압만으로도 안전하므로 피치지압강도는 검토하지 않아도 당연히 안전하다.

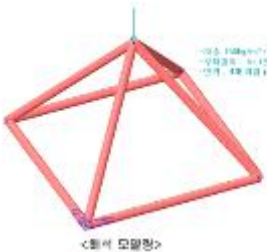
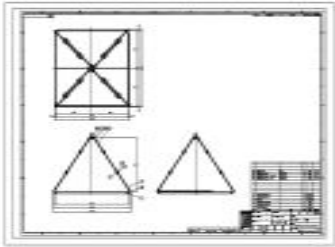
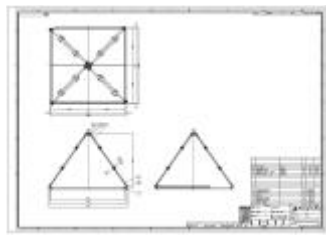
A19	시스템 모델을 구성하는 1차 주요부재 접합부 상세 개발		
단계	연결판 설계	주부재 접합부 설계	부재 접합부 대안비교

1. 부재 접합부 대안비교

표 19-1. 트러스 부재 접합부 대안 비교

대안 명칭	ALT1 강관끼움 각도조절 접합방식	ALT2 길이조절, 각도조절 가능 접합방식
개념도		
Node	주물형 + 끼움형(조립) + 용접형	조립 및 해체 가능형
특징	- 용접 및 볼팅 접합을 위한 가접합시 유용 - 전체 구조물의 틀을 맞추는 가조립 후 후조립의 편의성이 커 시공성 우수 - 360도 각도조절 불가능 - 원통형 접합부는 주물제작 필요(고가) - 용접 시 조립 및 해체 불가능 - 용접이 아닌 경우 접합부와 끼운 트러스 부재간의 연결 후 각도조정 후 고정을 위한 추가적인 디테일 필요	- 가설재의 길이 조절은 바 형상 지지대(10) 자체의 길이를 조절하거나 연결 조인트(20)와의 연결 부분의 길이를 조절하는 형태로 구성 - 상기 바 형상 지지대(11)는 유압 잭(유압의 힘으로 전체 길이를 변경할 수 있도록 구성) 형태로 구성되어 상기 연결 조인트(20)에 연결됨. 바 형상 지지대(10)의 자체 길이를 조절할 수 있는 것이면 공압 실린더 등 다양한 변형수단이 사용될 수 있음 - 바 형상 지지대(12)는 상기 연결 조인트(20)에 나사 결합 형태로 연결. 이를 위해 바 형상 지지대(12)의 전단에는 나사산(13)이 형성되고, 원하는 길이만큼 나사 결합된 상태에서 연결 조인트(20)에 고정시킬 수 있도록 별도의 판(14) 구조 마련 - 바 형상 지지대(15)가 가설재의 각도 조절을 위하여 상기 연결 조인트(20)에 볼 결합 형태로 연결. 이를 위해 연결 조인트(20)에는 볼 결합공(16)이 별도로 형성. 이와 같이 볼 결합되는 바 형상 지지대(15)는 360도 회전이 가능하므로 3축 자유도를 가지고 각도를 조절. 필요한 경우에는 1축이 고정되고 2,3축이 360도 회전되도록 구성. - 바 형상 지지대(10)는 길이 및 각도 조절 수단이 양쪽 끝단 모두에 형성된 것일 수도 있고, 한쪽 끝단에만 형성된 것일 수도 있음. - 연결 조인트(20) 또한 바 형상 지지대(10)의 결합 갯수 및 사용 위치 등에 따라 2 내지 5개의 연결 구성이 다양한 연결 조합으로 구성될 수 있음.

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
1차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 요소 구조상세 개발	특허출원 여부
Activity	길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발 (A20)	
기관	RIST	

목적	터널 가설시스템 길이 및 각도조절이 가능한 삼각 모듈 개발		
단계	내용		산출물
피라미드형 모듈 구조해석	■해석 모델링 ■부재 형상 - 원형강관 - 각형강관		
원형강관 피라미드형 모듈 상세도	■상세도		
각형강관 피라미드형 모듈 상세도	■상세도		특허 출원 1건
관련 목표 성과물	피라미드 모형 시제품 1건		

A20	길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발		
단계	피라미드형 모듈 구조해석	원형강관 피라미드형 모듈 상세도	각형강관 피라미드형 모듈 상세도

1. MIDAS 구조해석

- 해석 모델링 & 부재형상

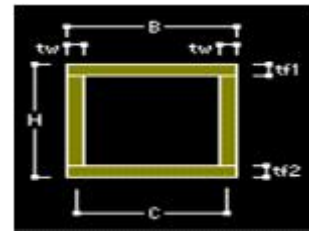


- 원형강관



(직경 D : 외경기준, tw : 두께)

- 각형강관



(직경 B, H 모두 같음.

두께 tf1, tf2 등 모두 동일하게 가정)

(1) 원형강관 단면설계

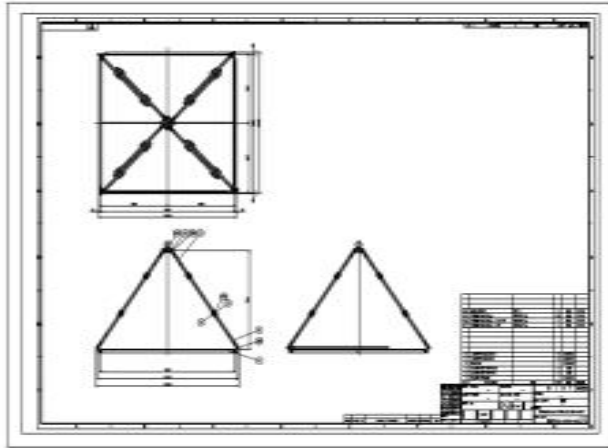
강종	직경(mm)	두께(mm)	RATIO	판단
STK-500	10	1.8	2.779	NG
		2.3	2.689	NG
		2.8	2.673	NG
	15	1.8	0.423	세장비 NG
		2.3	0.368	세장비 NG
		2.8	0.336	세장비 NG
	20	1.8	0.086	OK
		2.3	0.074	OK
		2.8	0.066	OK
	30	1.8	0.027	OK
		2.3	0.023	OK
		2.8	0.02	OK
	40	1.8	0.015	OK
		2.3	0.013	OK
		2.8	0.011	OK
	48.6	1.8	0.011	OK
		2.3	0.009	OK
		2.8	0.008	OK
UL-700	10	1.8	2.285	NG
		2.3	2.17	NG
		2.8	2.129	NG
	15	1.8	0.417	세장비 NG
		2.3	0.362	세장비 NG
		2.8	0.33	세장비 NG
	20	1.8	0.083	OK
		2.3	0.071	OK
		2.8	0.063	OK

(2) 각형강관 단면설계

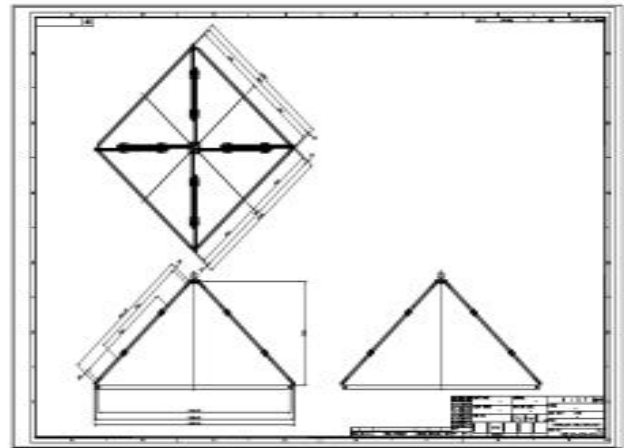
강종	직경(mm)	두께(mm)	RATIO	판단
STK-500	10	1.8	1.027	NG
		2.3	0.93	세장비 NG
		2.8	0.885	세장비 NG
	15	1.8	0.251	OK
		2.3	0.219	OK
		2.8	0.105	OK
	20	1.8	0.052	OK
		2.3	0.045	OK
		2.8	0.041	OK
	30	1.8	0.018	OK
		2.3	0.016	OK
		2.8	0.014	OK
	40	1.8	0.011	OK
		2.3	0.01	OK
		2.8	0.008	OK
	48.6	1.8	0.009	OK
		2.3	0.007	OK
		2.8	0.006	OK
UL-700	10	1.8	1.004	NG
		2.3	0.911	세장비 NG
		2.8	0.866	세장비 NG
	15	1.8	0.246	OK
		2.3	0.214	OK
		2.8	0.1	OK
	20	1.8	0.05	OK
		2.3	0.043	OK
		2.8	0.038	OK

A20	길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발		
단계	피라미드형 모듈 구조해석	원형강관 피라미드형 모듈 상세도	각형강관 피라미드형 모듈 상세도

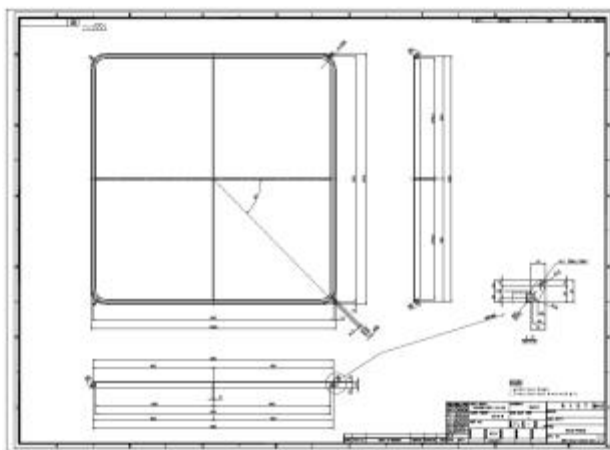
1. 원형강관 피라미드 트러스 모듈 도면



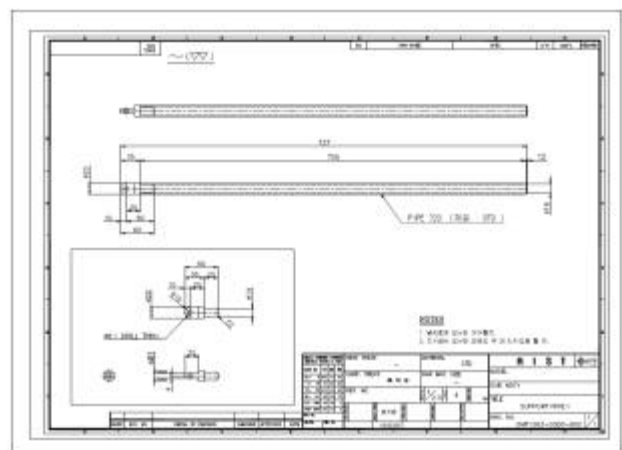
<도면 : 20 000 01a>



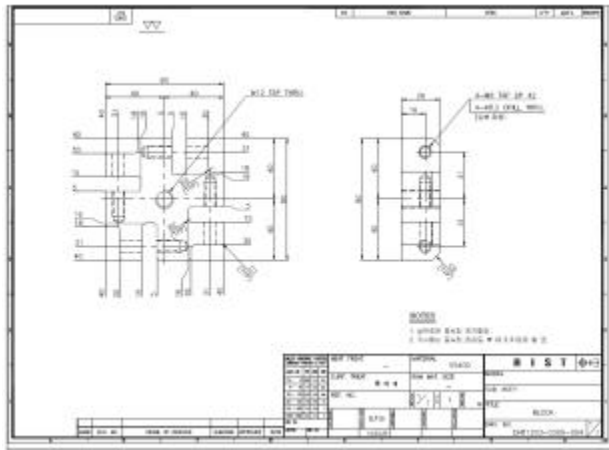
<도면 : 20 000 01b>



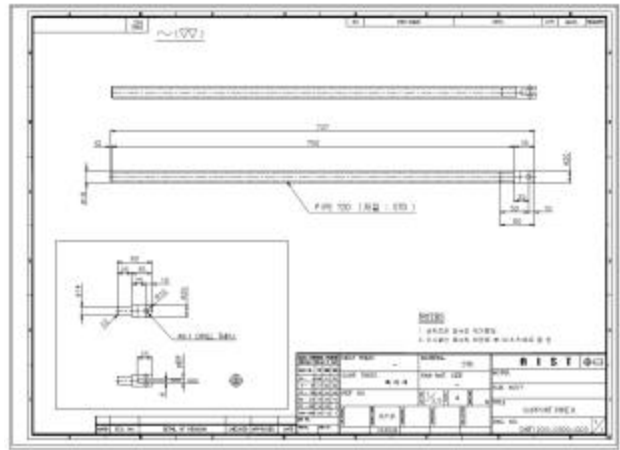
<도면 : 20-000-1>



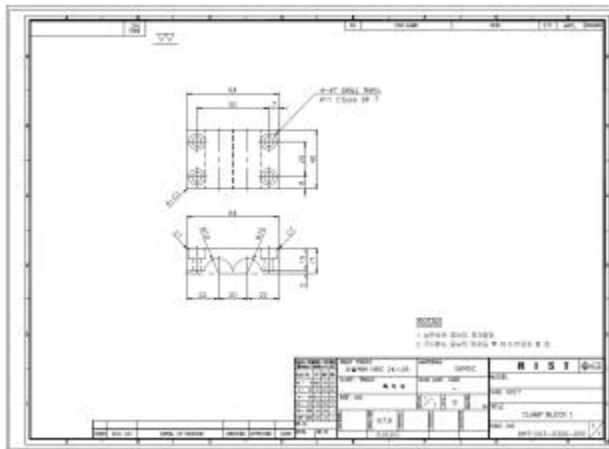
<도면 : 20-000-2>



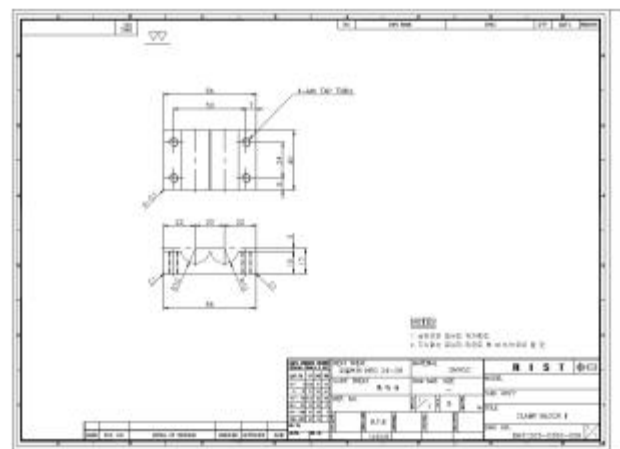
<도면 : 20-000-3>



<도면 : 20-000-4>



<도면 : 20-000-5>

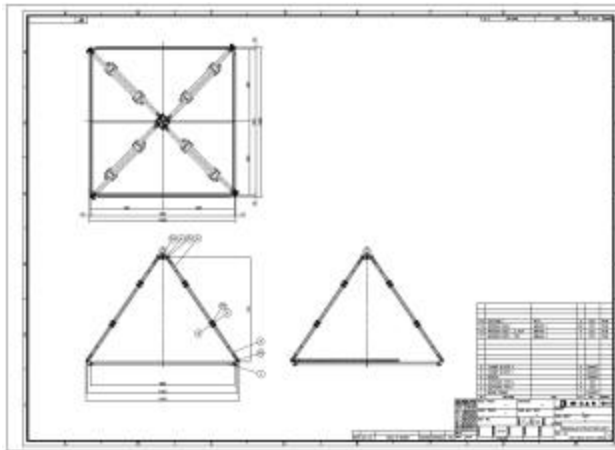


<도면 : 20-000-6>

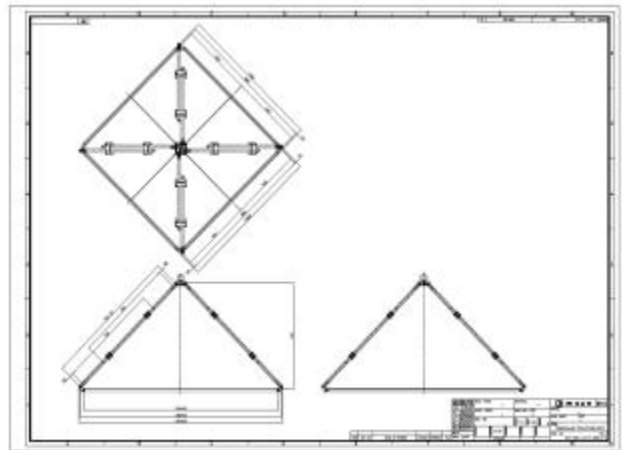
A20	길이조절, 각도조절이 가능한 피라미드형 삼각 모듈 개발		
단계	피라미드형 모듈 구조해석	원형강관 피라미드형 모듈 상세도	각형강관 피라미드형 모듈 상세도

(2) 각형강관 피라미드 트러스 모듈 도면

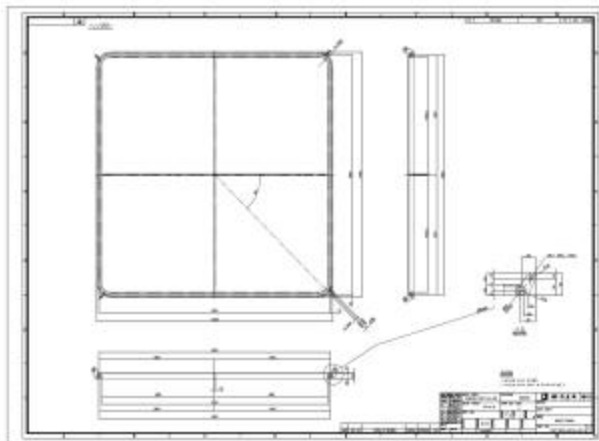
- 상세내용 : 별첨 구조상세도 참조



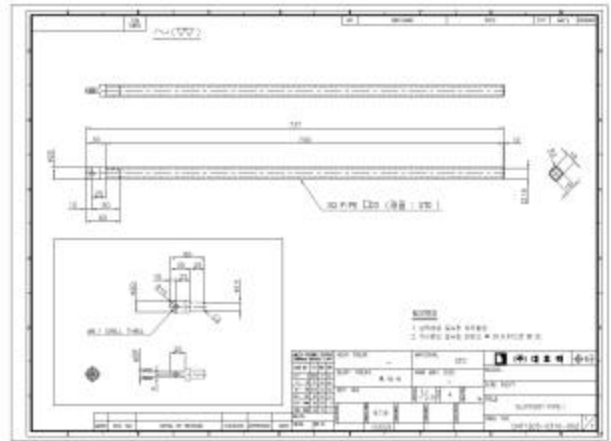
<도면 : 20-000-01a-Model>



<도면 : 20-000-01b-Model>

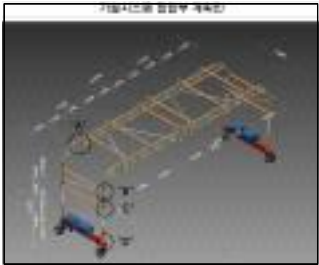


<도면 : 20-000-1-Model>



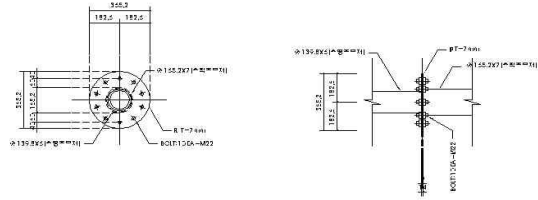
<도면 : 20-000-2-Model>

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 통합 구조상세 개발	접합부 상세 개발 건수
Activity	가설시스템 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B21)	
기관	(주)유진구조이엔씨	

목적	입체트러스 부재접합부 최종안 확정		
단계	내용		산출물
주요부재 접합부 최종안 확정	■ 초기계획안 트러스 형상에서 단일강관으로 형상을 최종적으로 변경 트러스형상은 주로 부재의 강도보다는 치짐이 설계에 지배될 때 가벼우나 강성이 커서 치짐 저항이 좋은 시스템으로 주로 사용하는 형상이나 제작 시 형상의 복잡성으로 인해 제작비가 상승하고 운반과 보관도 어렵다는 의견이 많아 트러스형상과 동일한 강성을 갖는 단순한 강관으로 변경함 ■ 모통이 부분을 곡선형에서 직선형으로 형상을 최종적으로 변경 곡선재 위에 가설재 설치가 어려워진단 또는 유지 보수 작업이 어려운 부분이 발생할 수 있다는 가설재 회사의 의견을 받아 곡선부재를 직선형 부재로 변경하여 모통이 부분의 상부 가설재 설치를 원활하게 하도록 함	 	상세 2건
관련 목표 성과물	CAD 도면 (CD)		

A	몸체 - 몸체 연결부 상세도 (수평부)
---	-----------------------

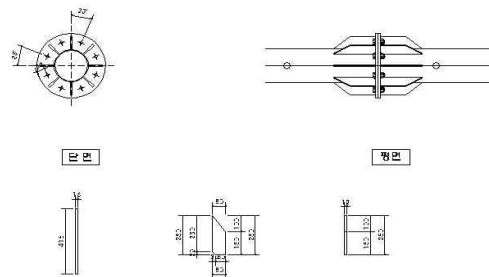
변경전



리

평면

변경 후



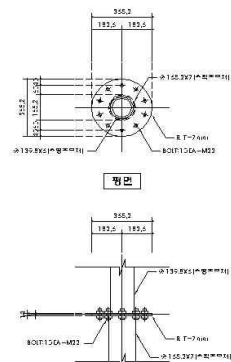
평면

2	STIMULUS	100
---	----------	-----

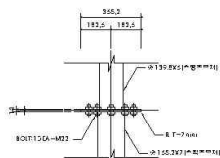


B	몸체 - 몸체 연결부 상세도 (수직부)
---	-----------------------

변경전

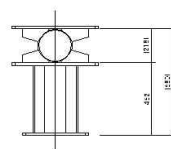


평면

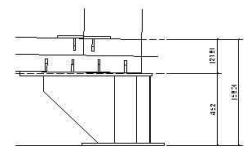


일면

변경 후



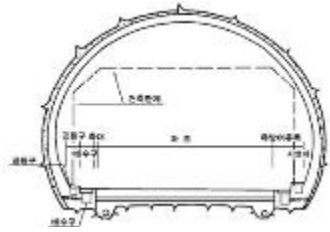
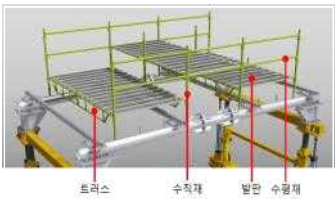
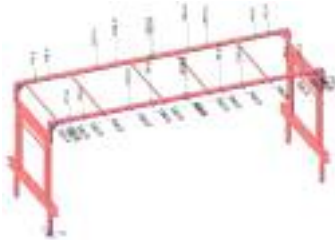
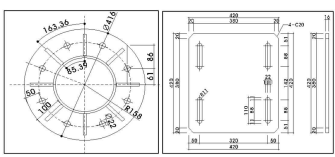
명예재 PLATE 평,단면도 - 1



명예재 PLATE 평, 단면도 - 2



공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 통합 구조상세 개발	전체형상 상세도 작성여부
Activity	전체 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B22)	
기관	(주)유진구조이앤씨	

목적	전체 가설시스템 프레임 최종안 확정		
단계	내용		산출물
터널 내공단면 계획 시의 유의사항 분석	■ 터널 설계 규정 ■ 터널 내공단면 구성 - 환기방식 - 건축한계 - 측방여유폭의 규모 - 검사원통로		
터널 가설시스템 구조형상 개발 및 상세 설계	■ 구조형상 개발 - 시스템 폭, 높이 결정 - 1차 주요부재 크기 선정 - 접합부 상세 개발 - 상부 가설재 형상 결정	 	
구조 해석 및 부재 설계	■ 3D 모델링 ■ 설계하중 산출 ■ 접합부 상세 설계 - 주부재 접합부 - 명에부재 접합부	 	
관련 목표 성과물	전체형상 상세도 1건		

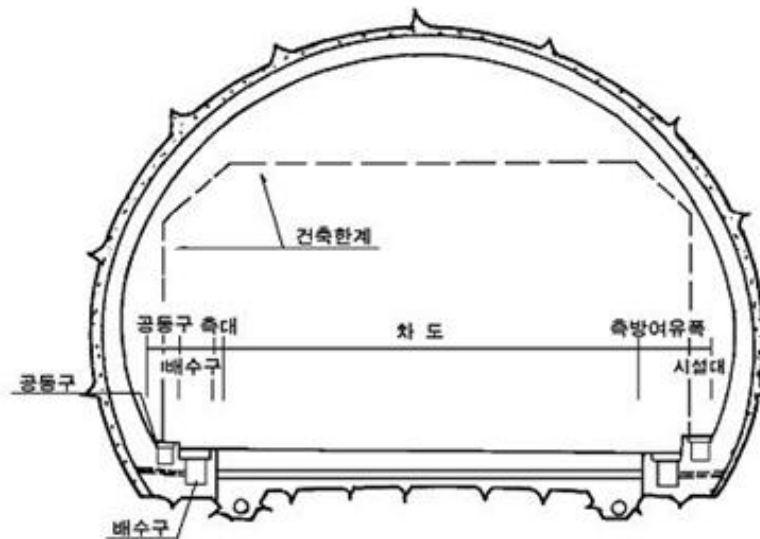
B22	터널 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계		
단계	터널 내공단면 계획 시의 유의사항 분석	터널 가설시스템 구조형상 개발 및 상세설계	구조 해석 및 부재 설계

1. 터널 설계 규정

- (1) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제 5조, 제 10조(국토교통부령 제 1호, 2013년 개정)
- (2) 도로설계편람 제6편 터널(국토해양부, 2011년 개정)

2. 터널 내공단면 계획

- (1) 도로 터널 단면의 구성



<그림 22-1. 표준적인 터널 단면 구성>

- (2) 터널 내공단면 결정 시 주요 고려 항목

- 환기방식 : 종류식, 반횡류식, 횡류식
- 건축한계 : 4.8m 이상 확보
- 측방여유폭의 규모 : 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(국토교통부 2013)
- 검사원통로 : 상황을 고려하여 터널 양측 또는 편측에 설치

B22	터널 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계		
단계	터널 내공단면 계획 시의 유의사항 분석	터널 가설시스템 구조형상 개발 및 상세설계	구조해석 및 부재 설계

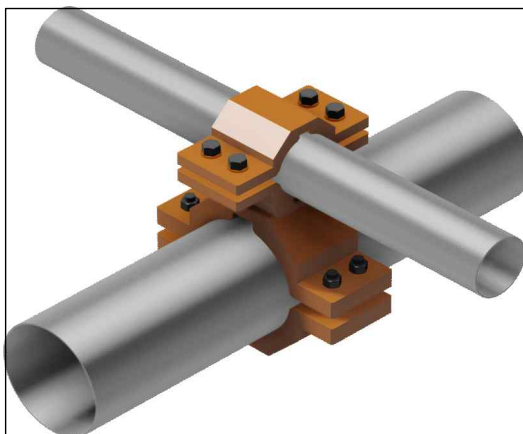
1. 터널 가설시스템 구조형상 개발

- (1) 시스템 폭 결정 : 터널 내 차로폭과 측방여유폭을 고려하여 시스템 중심거리 12m로 결정
- (2) 시스템 높이 결정 : 건축한계선 높이 4.8m 이상, 상부 부착된 환풍기 이하의 높이를 고려하여 상하 조절이 가능한 유압실린더를 시스템에 부착하여 높이를 4m ~ 5m까지 조절할 수 있도록 설계
- (3) 1차 주요부재 크기 선정

<표 22-1. 시스템 부재 설계 요약>

부재명칭	치수 및 중량
주부재	Ø216.3×7.6
세로주부재	Ø216.3×7.6
명에부재	Ø114.3×5.5
총무게	3942 kgf (38.66kN)
주부재 최대처짐(mm)	73.75

- (4) 접합부 상세 개발



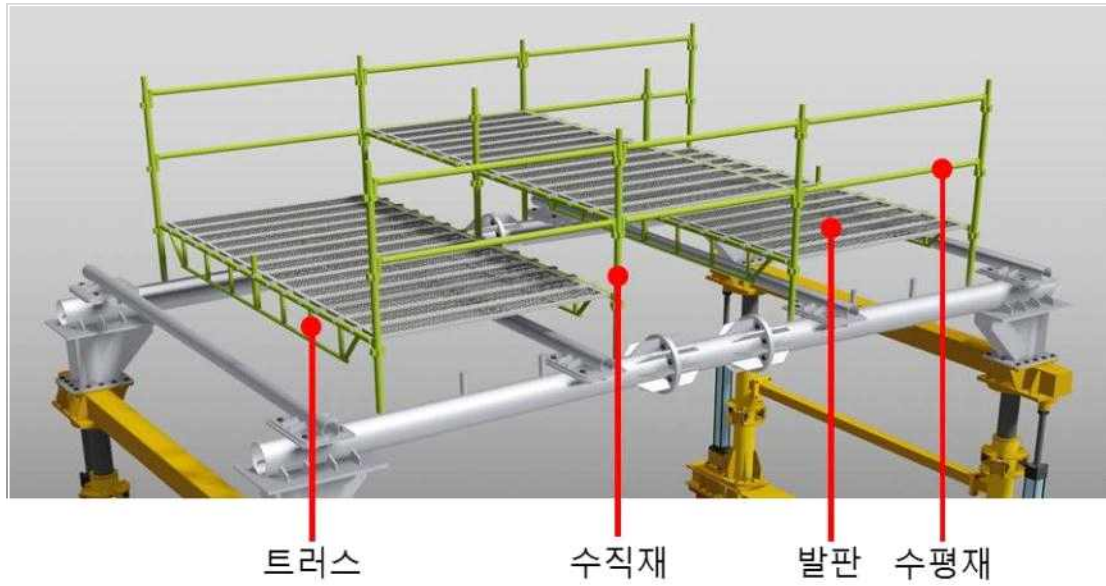
(a) 변경 전 접합부 상세



(b) 변경 후 접합부 상세

<그림 22-2. 접합부 상세>

(5) 상부 가설재



<그림 22-3. 상부 가설재(비계) 형상>

<표 22-2. 각 부재의 규격>

구분	명칭	길이(mm)	중량(kg)	
트러스	T-3600	3600	14.4	
수직재	S-1900 S-0425	1900 425	7.3 2.3	
발판	P-4018	400×1800	13.4	
수평재	L-1500 L-0900 L-0600	1500 900 600	3.4 2.0 1.7	

B22	터널 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계		
단계	터널 내공단면 계획 시의 유의사항 분석	터널 가설시스템 구조형상 개발 및 상세설계	구조해석 및 부재 설계

1. 재료 강도 및 특성

- (1) 재료별 구조형식 : Steel조
- (2) 재료특성

<표 3. 사용재료특성>

구 분	SPPS 380
탄성계수	210000 MPA
단위중량	76.98 kN/m ³
인장강도(Fu)	397 MPA
항복강도(Fy)	280 MPA

2. 해석 및 설계 프로그램

- (1) MODS 2012 : (주)마이다스아이티
- (2) BeST. Pro

3. 모델 형상 및 부재 치수

- (1) 3D 모델링 형상



부재 명칭	부재 치수
주부재	Ø216.3×7.6
세로주부재	Ø216.3×7.6
में에부재	Ø114.3×5.5
총무게	3942 kgf (38.66kN)
주부재 최대처짐(mm)	73.75

<그림 22-4. 3D 모델링 형상>

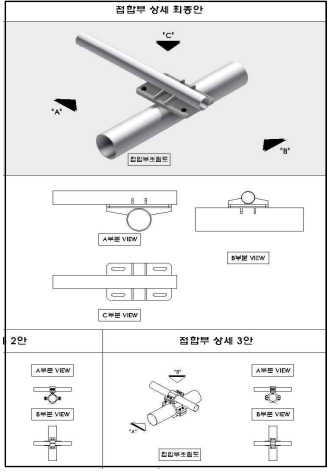
4. 설계하중 산출

- (1) 설계하중

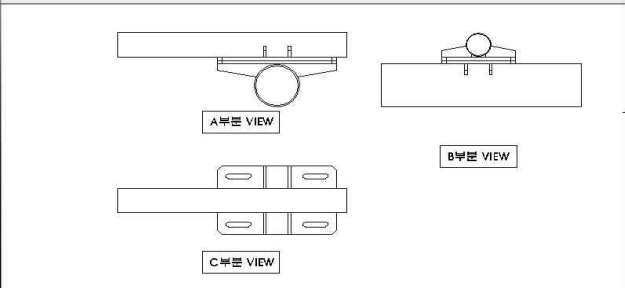
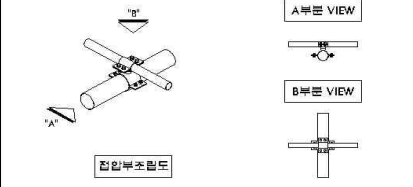
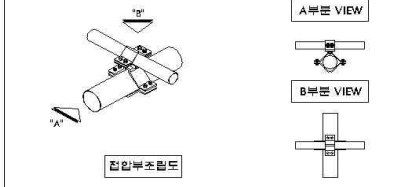
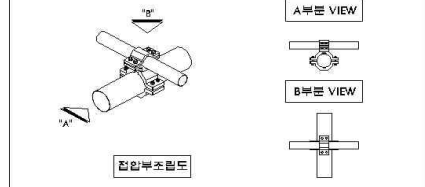
<표 22-4. 설계하중>

하중종류	크 기
활하중(시공하중)	1.25 kN/m ² (125kgf/m ²)
고정하중	0.1 kN/m ² (10.9kgf/m ²)
수평하중	0.18 kN/m (180 kgf/m)

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 통합 구조상세 개발	접합상세도 작성 여부
Activity	2차 주요부재 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B23)	
기관	(주)유진구조이앤씨	

목적	2차 주요부재 접합부 최종안 확정		
단계	내용		산출물
2차 주요부재 접합부 최종안 확정	■ 주부재와 명에재를 결합하는 접합부 초기에는 회전이 가능한 클램프로 접합부를 설계하였으나 구조체 이동시 덜거덕거리는 문제가 예상되어 이음판을 이용한 볼트로 변경하여 구조체가 조금 더 일체화가 되도록 하였다.		실시 설계도면
관련 목표 성과물	접합상세도 4건		

B23	2차 주요부재 집합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B23)	
단계	2차 구조부재 집합부 설계	

입체 트러스 조립도		접합부 상세 최종안	
		 	
접합부 상세 1안	접합부 상세 2안	접합부 상세 3안	
			

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 통합 구조상세 개발	구조설계지침서 작성여부
Activity	가설시스템 완제품의 구성요소를 포함한 통합 구조설계 지침 개발 (B24)	
기관	(주)유진구조이앤씨	

목적	가설시스템 완제품의 구성요소를 포함한 통합 구조설계 지침 개발		
단계	내용		산출물
통합 구조설계 지침 개발	■ 목차 1. 설계개요 2. 시스템 형상 3. 주요부재 설계 4. 접합부 설계 5. 상부가설재(비계) 6. 구조물 해석 및 설계	사업명 : 국토해양부 건설기술혁신사업 과제명 : 터널 가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발 터널 가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발 보고서 2013. 09. 주 관 기 관 : (재) 해양산업과학기술연구원 인천광역시 연수구 송도동 180-1 주 소 : 공보원 R&D센터 Tel : 082-850-2441 Fax : 082-200-2848 공동연구기관 : (주)유진구조이앤씨 부산광역시 수영구 원학동 288-2 트윈소책서 빌딩 2층 Tel : 051-760-8200 Fax : 051-760-8299 목 차 Part I : 전체 가설시스템 프레임 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B22) Part II : 가설시스템 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B21) Part III : 2차 주요부재 접합부 최종안 확정 및 CD 구조설계 (B23) Part IV : 가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일 및 CD 구조설계 (B25) Part V : 가설시스템 완제품의 구성요소를 포함한 통합 구조설계 지침 개발 (B24) 부 록	지침서 1건
관련 목표 성과물	통합 구조설계 지침(안) 1건		

B24	가설시스템 완제품의 구성요소를 포함한 통합 구조설계 지침 개발	
단계	가설시스템 통합 구조설계 지침	

목차

1. 설계개요
 - 1.1 사용재료규격
 - 1.2 하중설계
 - 1.3 해석 및 설계 프로그램
2. 시스템 형상
 - 2.1 터널 내공단면분석
 - 2.2 시스템 형상 결정
3. 주요 부재 설계
 - 3.1 압축재
 - 3.2 휨부재
 - 3.3 전단력을 받는 부재
 - 3.4 조합력과 비틀림을 받는 부재
4. 접합부 설계
 - 4.1 개요
 - 4.2 강도설계
5. 상부가설재 (비계)
 - 5.1 상부가설재 설계
6. 구조물 해석 및 설계
 - 6.1 주요부재 및 접합부
 - 6.2 상부가설재

※ 자세한 내용은 별첨 참조

공동3	터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발	관련 성과지표 (KPI)
2차년도 최종목표	입체트러스 가설시스템 통합 구조상세 개발	상세도 작성 여부
Activity	가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일 및 CD 구조설계 (B25)	
기관	(주)유진구조이엔씨	

목적	가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일												
단계	내용		산출물										
보조구조물 형상 및 구조 특성 설정	■ 재료 특성 ■ 구조설계 기준 및 참고자료 ■ 해석 프로그램 ■ 상부 가설재 형상 설정	<table><tr><td></td><td>STK 490</td></tr><tr><td>탄성계수</td><td>205000 MPA</td></tr><tr><td>단위중량</td><td>76.98 kN/m³</td></tr><tr><td>인장강도(Fu)</td><td>490 MPA</td></tr><tr><td>항복강도(Fy)</td><td>325 MPA</td></tr></table> 		STK 490	탄성계수	205000 MPA	단위중량	76.98 kN/m ³	인장강도(Fu)	490 MPA	항복강도(Fy)	325 MPA	
			STK 490										
탄성계수	205000 MPA												
단위중량	76.98 kN/m ³												
인장강도(Fu)	490 MPA												
항복강도(Fy)	325 MPA												
구조해석 및 부재 설계	■ 설계하중 설정 ■ 3D 모델링 해석 ■ 부재 설계 - 모델형상의 단면검토	 <table><tr><th colspan="2">구분</th></tr><tr><td>트러스</td><td></td></tr><tr><td>수직재</td><td></td></tr><tr><td>발판</td><td></td></tr><tr><td>수평재</td><td></td></tr></table>	구분		트러스		수직재		발판		수평재		
		구분											
트러스													
수직재													
발판													
수평재													
관련 목표 성과물	상세도 1건												

B25	가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일 및 CD 구조설계	
단계	보조구조물 형상 및 구조 특성 설정	구조해석 및 부재 설계

1. 사용재료 강도 및 특성

- (1) 구조형식 : Steel조
- (2) 재료특성

<표 25-1. 사용재료 특성>

	STK 490
탄성계수	205000 MPa
단위중량	76.98 kN/m ³
인장강도(Fu)	490 MPa
항복강도(Fy)	325 MPa

2. 구조설계 기준 및 참고자료

- (1) 적용 기준
 - 가설공사 표준 시방서(건설교통부 2006)
 - KBC 2009-Steel(LSD) (대한건축학회 2009)
- (2) 참고 기준
 - 토목건축 가설구조물의 해석(건설문화사 1994)
 - 토목건축 가설구조물의 구조계산(건설문화사 1993)
 - 거푸집 공사의 이해와 시공(기문당 1993)
 - 도로교통 표준 시방서(건설교통부 1999)

3. 해석 및 설계 프로그램

- (1) MODS 2012 : (주)마이다스아이티
- (2) BeST. Pro

4. 상부 가설재 형상 설정

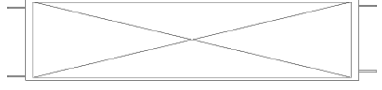
- (1) 상부 가설재 기본 형상



<그림 25-1. 상부 가설재(비계) 형상 >

(2) 상부 가설재 부재 형상 및 규격 설정

<표 25-2. 상부 가설재 부재 요약>

구분	명칭	길이(mm)	중량(kg)	
트러스	T-3600	3600	14.4	
수직재	S-1900 S-0425	1900 425	7.3 2.3	
발판	P-4018	400×1800	13.4	
수평재	L-1500 L-0900 L-0600	1500 900 600	3.4 2.0 1.7	

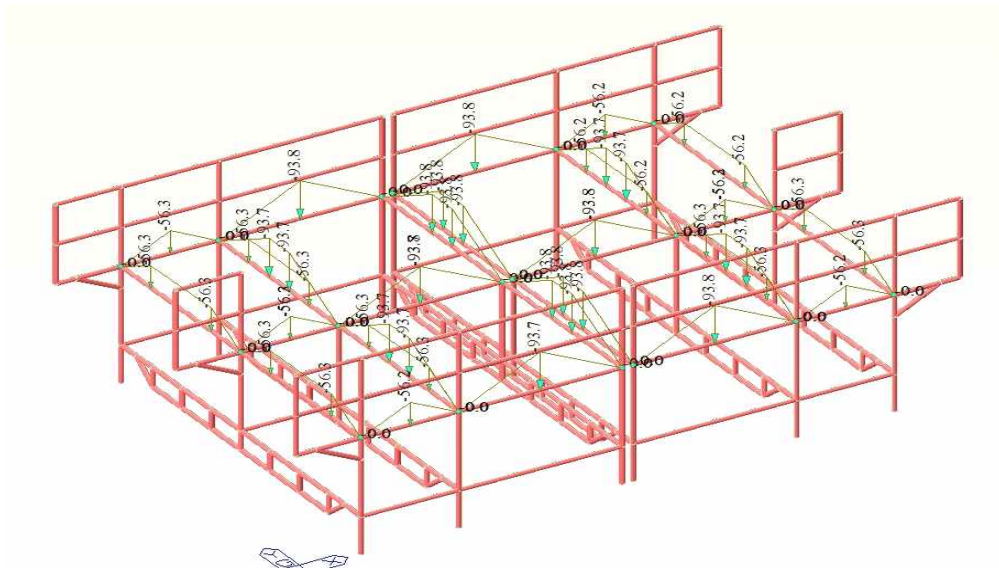
B25	가설시스템 보조구조물 분류 및 상세디테일 및 CD 구조설계	
단계	보조구조물 형상 및 구조 특성 설정	구조해석 및 부재 설계

1. 설계하중 설정

<표 25-3. 하중 종류 및 크기>

하중 종류	크 기
활하중(시공하중)	1. 25 kN/m ² (125 kgf/m ²)
고정하중	부재 자중 + (발판 20 kgf/m ²)

2. 구조해석



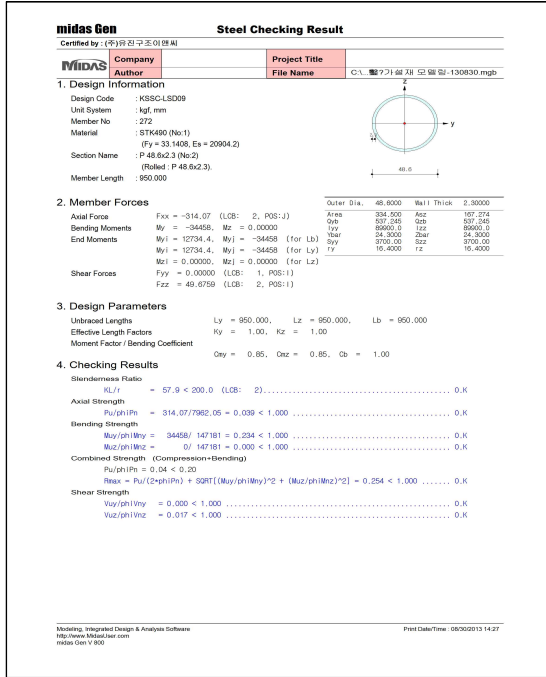
<그림 25-2. 3D 모델링 및 설계하중 적용안>

<표 25-4. 3D 모델링 해석 결과>

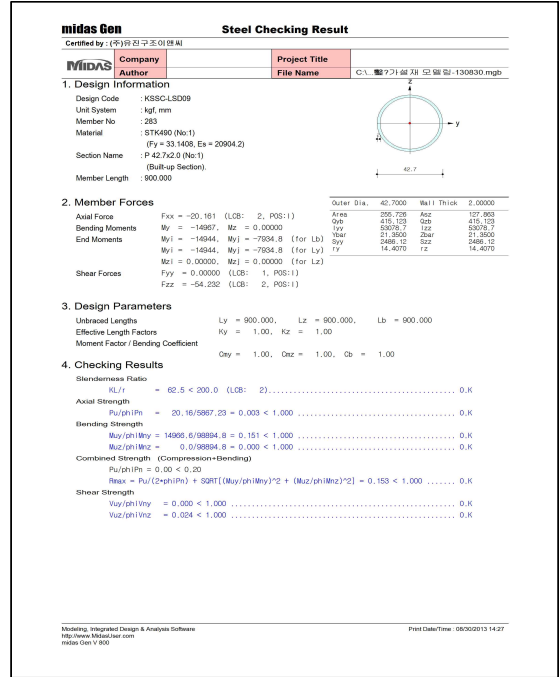
3D 모델링 해석 결과		
A 3D wireframe model of the same structure, colored to represent bending moment distribution. A color scale legend on the right indicates the range of moment values from blue (low) to red (high). The highest moments are concentrated on the vertical columns and the lower horizontal beams.	A 3D wireframe model of the same structure, colored to represent shear force distribution. A color scale legend on the right indicates the range of shear force values. The distribution is more uniform across the structure compared to the bending moment.	A 3D wireframe model of the same structure, colored to represent axial force distribution. A color scale legend on the right indicates the range of axial force values. The highest axial forces are seen in the vertical columns, which are under compression.
휨 모멘트 다이어그램	전단력 다이어그램	축력 다이어그램

3. 부재 단면검토

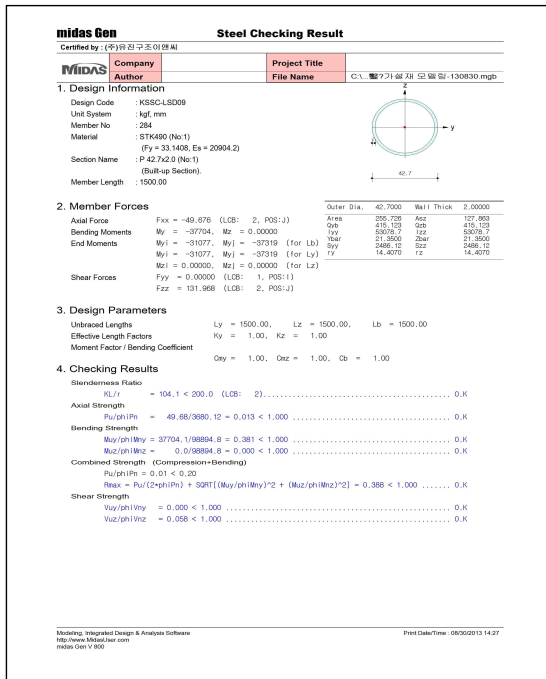
(1) 모델 형상의 단면검토 결과



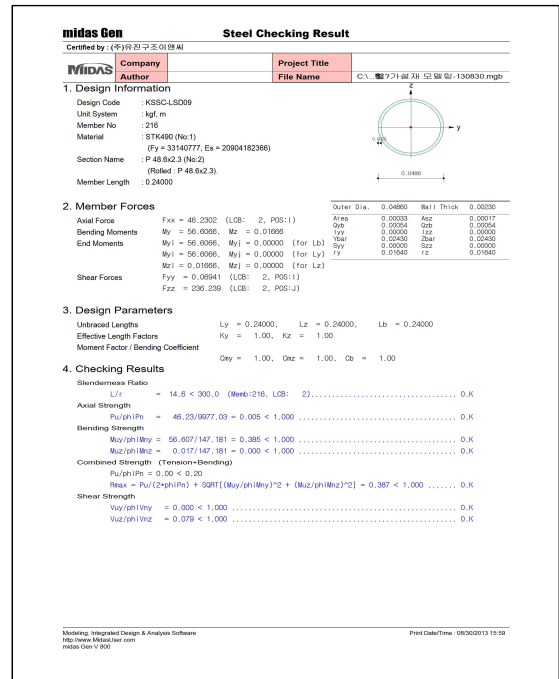
(a) 수직재



(b) 발판



(c) 수평재



(d) 트러스

<그림 25-3. 부재 단면검토 결과>

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

4.1 연구개발 목표 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
공동1 과제 (터널가설공사용 입체트러스 시공기술 및 현장적용 기술 개발)	100%	- 입체트러스 현장설치/조립/해체 방법개발 - 현장적용 시공기술 및 장비지원 - 가설시스템 시공시방(안) 개발 - 기존대비 현장 시공성 및 경제성 분석
공동2 과제 (터널가설공사용 입체트러스 구조성능평가 및 현장모니터링)	100%	- 가설시스템 완제품 최종안 확정 및 제작 - 현장 Pilot test 및 모니터링 - 현장 VOC 기술지원 및 기술보완 - 가설시스템 구조해석 및 평가
공동3 과제 (터널가설공사용 입체트러스 통합구조상세 기술개발)	100%	- 가설시스템 전체프레임 및 접합부 최종안 확정 및 설계도면 제작 2차주요부재 접합부 최종안 확정 및 설계도면 제작 - 가설시스템 통합 구조설계 지침 개발 - 가설시스템 보조구조물 분류 및 상세설계

4.2 관련분야에의 기여도

기존 터널 내부 유지관리 및 보수/보강 방식은 사다리 비계가 부착된 차량을 이용하여 교통통제하에 수행되어져왔다. 이로 인해 물류유통 및 인적이동에 있어 공공업무의 공백과 교통체증에 따른 CO₂ 배출이 증가하는 문제점을 안고 있었다. 한국개발연구원에서 발행된 연구보고서(『도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』, 2008.12)를 보면 전국권의 평균 통행시간가치는 아래 표 1과 같다. 여기서, 승용차의 경우를 보면 업무/비업무 평균 통행시간가치가 2007년 기준으로 14,990원/대인 것을 알 수 있으며, 버스와 화물차의 경우 각각 58,561원/대, 16,571원/대로 나타나있다. 평균 5%의 물가인상율을 감안할 경우 2014년 시점에서는 승용차, 버스, 화물차 평균 통행시간가치는 각각 20,000원/대, 78,477원/대, 22,205원/대인 것으로 추정할 수 있다.

<표 1. 차량 1대당 평균 통행시간가치 (전국권: 2007년 기준)>

구분	승용차		버스		화물차		철도(1인당)	
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무
제차인원 (인)	0.44	1.11	2.35	7.63	1.00	0.00	0.13	0.87
시간가치 (원)	18,626	6,091	10,228(1인) 18,626 (1.35인)	3,036	16,571	-	18,626	3,729
시간가치(원/대/시)	8,245	6,744	35,401	23,161	16,571	-	2,341	3,260
평균시간가치(원/대/시)	14,990		58,561		16,571		5,602	

자료: 한국교통연구원, 『2006년 국가교통DB구축사업 제5권 전국 지역간 여객 기종점통행량 자료의 전수화』, 2007. 4.

이를 이용하여 기존방식으로 터널 유지관리 공사시 차량통행 제한에 따른 사회적 비용 손실액을 다음과 같이 평가하였다. 먼저 대상 터널로는 현장적용 모니터링을 수행했던 (구)김해 터널과 같은 2차선 터널로 가정하였다. 또한 야간작업으로 차량통행이 가장 적은 밤 0시부터 새벽 6시까지 6시간 동안 공사가 진행된다고 가정하였다. 이때의 통행량은 『여객기 종점 통행량(O/D) 추가조사(수도권)』(수도권교통본부, 2011.9)을 참고로 하여 승용차 총 1275대, 소형/중형화물차 총 258대로 산정하였다. 이때, 1차선 통행제한을 한 기존 방식의 경우 각 1대당 차선 변경으로 인해 터널 통과에 5분 지연이 발생한다고 가정하였으며 본 개발 방식의 경우 동일시간대에 차량 통행하에 작업이 이루어질 때 차선 변경없이 서행운전으로 인해 약 2분 지연이 발생한다고 가정하였다. 그 결과, 표 2에 보여진 것처럼 개발방식이 기존 방식보다 약 60% 통행비용 절감(기여도) 효과가 있었다. 이러한 비용 절감 효과는 차량통행량이 증가할수록 더욱 증가하리라 여겨진다.

<표 2. 기존 방식과 개발 방식의 차량통행 여부에 따른 손실비용 추정표>

	총 통행대수 (대)	평균통행시간가치 (원/대/시)	총 통행가치 (원/분)	손실비용		기여도
				기존방식 (5분지연) (원)	개발방식 (2분지연) (원)	
				(C)×5분	(C)×2분	
승용차	1275	20,000	425,000	2,125,000	850,000	60%
소형/중형화물	258	22,205	95,482	477,408	190,963	60%
합계				2,602,408	1,040,963	60%

이밖에, 본 연구를 통하여 가설업계의 터널 유지관리 공사 시공성을 획기적으로 개선하였으며, 관련 특허출원 및 등록을 통하여 장치제작을 위해 공동연구를 수행한 공동/위탁연구기관의 지적재산권을 한 단계 향상시키는데 기여하였다. 또한, 시공시방서(안)과 설계지침(안)을 제작하여 시공/장치제작/설계 분야의 기술을 한단계 끌어올리는데 기여하였다. 아울러 참여연구원들의 가설시스템의 구조해석 및 설계 능력을 향상을 통하여 관련 분야 전문인 양성에 기여하였다.

제5장 연구개발결과의 활용계획

5.1 연구결과의 활용방안

- 1) 시장현황: 한국도로공사는 2012년 죽령터널 등 6개소 정밀안전진단 용역을 포함하여 약 60억원 규모의 터널 유지관리 관련 용역을 발주하였으며, 2013년에는 약 3배 증가하여 발주공사 합계액은 약 173억원에 이른다. 이들 공사의 대부분은 방재시설 및 노후 조명, 제트팬 교체 등 고속도로 터널 내부 시설물들의 유지관리에 관한 공사이다. 이러한 터널 유지관리 공사에 본 과제에서 개발된 가설시스템을 상대적으로 시장점유율이 낮은 가설 공사 업체를 대상으로 기술이전을 시행할 경우 해당 업체의 시공 경쟁력 향상은 물론 공사 수주에도 큰 기여를 하리라 여겨진다.
- 2) 기술홍보: 개발된 입체트러스 가설시스템 관련 기관(정부/지자체/시공사/가설업체 등) 및 관련 학회를 대상으로 기술 홍보활동(기술설명회, 학술기사, 기술기사, 학술대회 발표 등)을 통하여 개발 기술의 우수성을 널리 홍보하고자 한다. 특히, 앞서 언급한 것처럼 상대적으로 기술력이 낮은 업체 위주로 홍보활동을 수행하며 활용 의향여부 및 업체 현황 파악을 위한 VOC를 실시한다.
- 3) 기술이전: 업체 선정 후에는 기술도입기인 시장 특성을 고려하여 장비 무상임대 방식으로 터널 현장적용 시범을 추진한다. 시범사업 추진을 통해 경제성/시공성 입증 후 직접 판매 또는 임대방식으로 기술실시계약을 실시하여 경상기술료 수익을 창출하는 사업화를 실시하고자 한다.
- 4) 해외사업화를 위한 해외 가설사업 적용성 기획연구를 실시하고, 사업성 여부에 따라 해외 기술이전을 실시하고, 다른 방향으로 제품 수출을 통한 국가경제 활성화에 기여하고자 한다. 해외수출 및 기술이전은 특히 국내 가설재 기술의 대외경쟁력을 제고함과 동시에 국가이미지 개선에 일조할 것으로 예상된다.

5.2 기대성과 및 파급효과

- 1) 본 가설시스템 이용시 기존 방식 대비 공사기간 30%, 공사비용 약 35% 절감효과가 기대된다. 공사 중에도 터널 내 차량 및 물류수송이 용이하므로, 국가기간시설물의 사용성이 극대화되며, 4.2절에서 언급한 것처럼 물류이동의 연료비 절감, 운송시간 단축 등의 시너지가 발생되어 저가의 고품질 공산품 제조로 확대 파급되어 해외수출 경쟁력 강화 및 국가경제 산업발전이 기대된다.
- 2) 가설시스템 설계도면과 구조설계지침(안)을 통해 장비 제작 효율성을 향상시킬 것으로 기대되며 가설시스템 제품화에 따른 매출액 예상치는 다음과 같다.
 - 구동부: 1억원/건

- 상하높이조절장치: 2천만원/건
 - 상부구조물: 13백만원/건
 - 제작된 시스템 임대료: 약 1천-2천만원/월
- 4) 현재 가설재 산업이 레드오션화 되고 품질보다는 가격경쟁력에 치우쳐 있는 상황에서, 가설공사 전문기술자가 많지 않아 설계 과정 및 검토의 부실로 건설현장에 대형사고가 빈번이 발생되고 있는 점에서, 가설재 기술인력 양성이 시급한 바, 본 과제의 가설재 기술개발을 통하여 참여연구원의 전문기술 습득 및 신규인력 양성이 기대된다.
 - 3) 기존 방식과 달리 본 연구의 터널가설시스템은 적은 노동인력으로 가설공사의 효율을 극대화 할 수 있어, 국가의 터널 유지 보수비용 등의 감가상각비용을 절감할 수 있으며, 현재 지자체/정부 정책으로 실시하고 있는 원가절감과도 유관하다.
 - 4) 기존 방식은 사다리비계를 트럭에 고정시켜 트럭을 이동하면서 공사를 진행하므로 CO₂ 배출이 부득이 하나, 본 연구의 터널가설시스템은 소량의 CO₂를 배출하므로 녹색기술을 지향하는 정부정책과 맥락을 같이 한다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

해당사항 없음

제7장 참고문헌

- (1) (재)포항산업과학연구원, POS3S-70 적용 단관 비계 실물 재하 실험을 통한 구조안전성 검증, 한국철강협회 (2009)
- (2) (재)포항산업과학연구원, POS3S-70 적용 고강도 단관 비계 경량화 기술 개발, POSCO (2009)
- (3) 대한주택공사, 토목설계기준 (1997)
- (4) 곽순섭, 박찬수, 김호수, 김옥규, 정성진, 건설공사에서 가설구조시스템의 안전성 확보를 위한 시공현황분석, 대한건축학회 논문집(구조계), V.14, N.9 (1998)
- (5) 대한주택공사, 건축견적지침서 (2000)
- (6) 대한주택공사, 기계견적지침서 (2003)
- (7) 대한주택공사, 토목설계지침 (2004)
- (8) 건설부, 표준품셈: 토목부분 (1992)
- (9) 건설교통부, 도로공사 설계기준 (1998)
- (10) 국토해양부, 도로의 구조, 시설기준에 관한 규칙 해설 (2009)
- (11) 건설교통부, 도로의 구조 시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침 (2000)
- (12) 건설교통부, 교량현황조서 (2004)
- (13) 건설교통부, 도로통계자료집 (1999)
- (14) 건설교통부, 건설교통통계연보 (2003)
- (15) British Standard - BS 5975, Code of practice for falsework, 영국 (2006)
- (16) Australian Standard - AS 3610, Falsework for concrete, 호주 (2003)
- (17) German Standard - DIN 4421, Falsework-Calculation, Design and construction, 독일 (2005)
- (18) American Standard - ACI 347R, Guide to Formwork for concrete, 미국 (2003)
- (19) 구재동, 김태송, 김군태, 김경화, 심재수, 김두준, 홍기철, 윤상문, 신현주, 오세진, 송봉자, 강정훈, 이정혁, 박순섭, 김광개, 김창수, 정준언, 가설공사 표준시방서 연구보고서 (2001)
- (20) 윤기훈, 가설공사/특집호: 카룬댐 프로젝트, 대림기술정보 (2001)
- (21) 손기상, 가설공사 비계의 정적구조 해석에 관한 연구, 한국산업안전학회지, V.8, N.2, (1993)
- (22) 박경호, 이훈구, 백종건, 김재준, 실적 데이터베이스를 활용한 공통가설공사 관리 시스템 개발, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 (2002)
- (23) 박준모, 김옥규, 곽순섭, 송길호, 박신준, 건설가설공사의 추락중 대재해 방지를 위한 대안 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 (2010)
- (24) 진영훈, 박종근, 이영섭, Office 빌딩공사의 가설공사에 대한 정적비용 산정에 관한 연구, 한국산업안전학회 춘계학술발표회 논문집 (1998)
- (25) 김명섭, 김옥규, 재사용가설재의 사용실태와 문제점 분석, 한국건설관리학회 전국대학생 학술발표대회 논문집 (2006)
- (26) 전성균, 이민재, 조영준, 박근준, VE기법에 의한 외부비계 개선안 도출, 한국건설관리학회 전국대학생 학술발표대회 논문집 (2007)
- (27) 조훈희, 박재우, 김정열, 조문영, 강교량 설치 가설공사의 최적화 설계 지원 시스템 개

- 발, 한국건설관리학회 논문집, V.6, N.6 (2005)
- (28) 박상욱, 박준모, 김옥규, 건설 가설재의 안전인증 분류방안, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 (2008)
 - (29) 배찬우, 이학기, 가설기자재 성능검정제도의 적용현황 및 개선방안 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), V.18, N.7 (2002)
 - (30) 우광민, 이학기, 국내외 가설기자재 사후관리제도 비교 연구, 한국건설관리학회 논문집, V.3, N.1 (2002)
 - (31) 홍성걸, 양영준, 전개 가능 구조 시스템을 이용한 가설 구조물 설계 개념 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 (2007)
 - (32) 김종수, 강봉을 이용한 하중전이층 가설재 시스템, 한국셀공간구조학회지, V.3, N.2 (2003)
 - (33) 최민우, 노환길, 이재용, 이현수, 건축공사용 안전펜스 공법의 개발 및 적용, 한국건설관리학회 논문집, V.1, N.3 (2000)
 - (34) 김성수, 건설 가설재의 구조성능 평가 및 시스템 가설재의 개발에 관한 연구보고서, 건설교통부 (1997)
 - (35) 하영철, 이석종, 가설구조물의 풍하중 산정용 설계기본풍속의 추정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, V.12, N.11 (1996)
 - (36) 박창화, 지하철 가설구조물의 안정분석, 동국대학교 석사학위논문 (1981)
 - (37) 권도형, 박형석, 가설시스템을 이용한 자동화 건축방법, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집 (2009)
 - (38) 민경주, 가설부재의 신속성 설계기준에 관한 연구, 한국산업안전학회지, V.6, N.3 (1991)
 - (39) 손영진, 장광식, 가설 Engineering의 이해, 한국건축구조기술사회지, V.15, N.3 (2008)
 - (40) 박영훈, 이승용, 김학수, 장동일, 가설단계별 런칭 트러스의 구조 안전성에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집 (1997)
 - (41) 박명현, 백인성, 가설 Support를 이용한 스페이스 프레임 구조물의 Jack-Down기법, 한국셀공간구조학회 춘계학술발표대회 논문집 (2006)
 - (42) 김공환, 민병렬, 김기문, 조성준, 강종우, 김범수, 임동수, 박병주, 김봉근, 박종혁, 홍종상, 최인준, 이영진, 백민, 건설공사 가시설물 안전점검 편람 (1995)
 - (43) 경갑수, 홍성욱, 박용진, 제작을 고려한 고강도강재의 용접성능에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집, V.14, N.5 (2002)
 - (44) 최병환, 임정환, 강 뼈대구조물의 총 경비와 부재 연결과의 상반관계에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집, V.19, N.1 (2007)
 - (45) 박윤제, 김래현, 이래철, 우종태, 마이크로파일로 보강된 터널 안전진단 사례, 한국구조물진단학회지, V.11, N.2 (2007)
 - (46) 윤태국, 이송, 터널 스캐너를 이용한 터널 유지관리시스템 개발에 관한 연구, 한국구조물진단학회지, V.12, N.3 (2008)
 - (47) 이태식, 장경수, 구자경, 박경순, 터널 청소장비의 고찰 및 개선된 모델에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 (2006)
 - (48) 김태형, 정진택, 홍대희, 김진, 금재성, 채상훈, 터널운영시스템에 관한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 (2007)