

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 남극 내륙 진출 루트 개척과 심부빙하/빙저호 시추 및 활용기술 개발” 과제의 위탁연구 “극지 수송 장애물 극복을 위한 모듈식 가설교량 장비 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



(본과제) 총괄연구책임자 : 이 종 익

위탁연구기관명 : 한국철도기술연구원

위탁연구책임자 : 박 재 현

위탁참여연구원 : 이 석

“ : 김 남 포

“ : 김 영 주

“ : 이 상 덕

“ : 이 영 호

요 약 문

I. 제 목

극지 수송 장애물 극복을 위한 모듈식 가설교량 장비 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 극지연구소에서 추진하고 있는 사업인 ‘남극 내륙 진출 루트 개척과 심부빙하/빙저호 시추 및 활용기술 개발’과 관련하여, 남극 내륙의 K-Route 탐사 시 직면하는 크레바스 통과를 위한 장비를 개발함을 그 목적으로 수행되었다. 크레바스는 남극대륙의 빙하의 흐름에 의해 갈라진 틈으로서 그 폭과 깊이가 다양하며, 중장비로 구성된 K-Route 탐사선단이 주행하는데 큰 장애요소가 되고 있다.



III. 연구개발의 내용 및 범위

임시설치형 교량 장비는 군에서 사용하는 공병장비가 대표적이라 할 수 있으며 설치 지형과 장애물의 형태에 따라 다양한 장비가 사용되고 있다. 민간영역에서는 도로 건설현장에서의 우회로 구축 또는 긴급 복구를 위한 가설교량을 들 수 있다. K-Route 탐사의 경우, 대규모 중장비 지원이 어렵고, 단단한 지반이 아닌 자연지형 상의 얼음 위에 설치해야 한다는 점, 혹한의 기온에서 적은 인력으로 신속하게 설치해야 한다는 점 등, 탐사선단에서의 교량장비의 수송의 문제점 등 국내 여건에 비해 매우 가혹한 조건 하에서 운용해야 한다. 그러나 군의 장비는 많은 대부분 통과하중이 60톤 이상으로 매우 육중하며 또한 경제성을 고려하지 않은 고가의 장비이며, 민간의 가설교량은 장기간 사용을 위해 매우 견고하고 구축되어 설치에 많은 장비와 인력, 시간이 소요된다. 따라서, 본 연구에서 개발한 남극형 모듈러 브릿지 장비는 과거 한국철도기술연구원에서 개발한 조립식 모듈형 시스템의 개념에서 발전시켜 남극의 환경과 요구조건에 적합하도록 재설계하였다.

IV. 연구개발결과

모듈러 브릿지의 통과하중은 탐사선단 중 가장 중량의 장비인 견인차(첼린저)를 고려하여 30톤으로 설정하였고, 교량의 총 길이는 10m, 폭은 캐터필러 폭이 넓은 견인차(피스텐볼리)를 고려하여 4.3m

로 설계하였다. 안전을 위해 통과가 가능한 크레바스의 최대 폭은 4m로 한정하였다. 모듈러 브릿지는 탐사선단의 수송용량을 잠식하지 않기 위해 견인차에 연결하여 견인하는 방식으로 설계하였고, 이로 인해 교량 자체가 평시에는 상부에 물자를 실을 수 있어 선단의 수송용량을 확대할 수 있도록 하였다. 교량의 재질은 철재로 하였으며 상부는 미끄러짐을 방지하기 위한 장치가 부착되도록 하였다. 교량의 하부는 공기주입식의 튜브형태의 썰매 장치를 장착하여 얼음의 불균형 지형을 추종하며 견인할 수 있음과 동시에 크레바스에 안착 시 상황에 따라 공기를 배출하여 보다 안정된 설치가 가능하도록 하였다. 교량의 양 끝단의 램프는 접이식으로 설계하여 사이즈를 줄이면서도 캐터필러, 썰매 등이 용이하게 올라갈 수 있도록 하였다. 견인장치는 어느 방향으로도 견인이 가능하도록 착탈식으로 설계하여 모든 차량이 크레바스 통과 후 그 상태에서 다시 견인이 가능하게 하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

기본설계 후 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구조적 안정성을 검증하고, 시제품 제작 완료 후 국내에서 크레바스와 유사한 환경을 구축하여 성능검증을 완료하였다. 남극형 모듈러 브릿지 시제품은 남극현장으로 이송되어 시험운행을 거친 뒤 차년도 K-Route 탐사 재개 시 실제 현장에 투입될 예정이다. 본 장비는 국내에서 처음으로 개발한 크레바스 통과용 장비로서, 시험운영 시 나타날 수 있는 문제점과 한계에 대해 지속적인 성능개선과 사용성 개선을 통해 완성도를 높여 나갈 필요가 있다. 결론적으로, 본 연구에서 개발한 남극형 모듈러 브릿지는 해외에서 사례를 찾아 볼 수 없는 독창적 설계로서, 우리나라에서 개발한 장비로 과학경쟁의 최전방인 극지를 개척한다는 데 큰 의미를 찾을 수 있을 것이다.

극지연구소

S U M M A R Y

I. Title

Technical Development of Modular-type Temporary Bridge for Antarctic Logistics

II. Purpose and Necessity of R&D

The goal of this study is to develop an equipment for passing the crevasse facing while the Antarctic traverse, in connection with the project 'The Antarctic Korean Route (K-Route) Expedition and Development of Technologies for Deep Ice Coring and Hot Water Drilling' by the Korea Polar Research Institute. Crevasse is a gap separated by the flow of glaciers in the Antarctica, which varies in breadth and depth and is a major impediment to the operation of a K-Route probe composed of heavy equipment.

III. Contents and Extent of R&D

Temporary installation type bridge equipment is widely used in the military, where various types of equipment have been developed depending on the terrain and the type of obstacle encountered. In private sectors, they are for bypass of construction site or urgent restoration of the access in case of road destruction. In the case of K-Route traverse, should it be operated under very severe conditions compared to domestic conditions, there are many difficulties and limitations such as lack of support of heavy equipment for installation, natural ice terrain instead of hard ground, and that the work should be done quickly with low manpower at harsh temperature. The military ones should bear over 60 tons to carry tanks and heavy equipments, also are very expensive as the economic efficiency is not considered. Temporary bridges in private sectors are usually designed for relatively long-term use, they require manpower and construction equipments largely. Therefore, the Antarctic modular bridge equipment developed in this study was initiated from the concept of the 'Prefabricated Modular System' developed by Korea Railroad Research Institute and redesigned to meet the environment of the Antarctica and requirements of the K-Route project.

IV. R&D Results

The passing load of the modular bridge was set at 30 tons considering the most weighted equipment among the vehicles, which is Challenger the towing vehicle. The total length of the bridge is 10m and the width is taken into consideration the width of towing vehicle 4.3m was

designed. The maximum width of the crevasse that can be passed safely is advised to 4m. The modular bridge is designed like a sled, so that it can be towed and functions auxiliary transportation mean carrying freights. The bridge is made of steel and the floor is designed to prevent slipping. The lower part of the bridge is equipped with inflatable tubes acting as sled device, which follow the undulate topography of the ice. when it is seated on the crevice, the air in the tubes can be discharged to install the bridge on the ice more stably. Both ends of the bridge have lamps, which are foldable so that the size of the bridge could be reduced while the caterpillar cars and sleds could easily be passed. The connecting device for towing is designed to be removable so that it can be pulled in any direction, which enables the bridge being pulled in the other side of the crevasse.

V. Application Plans of R&D Results

After the concept design, the structural stability was verified through computer-aid simulation. The prototype was tested on the soft soiled filed in Korea to demonstrate its function and to ensure its performance against the targeted load. The Antarctic Modular Bridge prototype is transferred to the Jangbogo Station and need to be test-operated in the Antarctic environment. It is expected to be put into traverse in next season of K-Route exploration. The Antarctic Modular Bridge is the very first one in Korea developed to overcome the crevasse. It is necessary to improve the durability and usability for the perfection by continuous research and development. In conclusion, as a unique design ever, the Modular Bridge developed in this study can be of great significance for pioneering the polar region and the success of the K-Route project.

목 차

<제목 차례>

제 1 장 서론	9
제 2 장 국내외 기술개발 현황	10
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	16
제 1 절 가설교량 장비의 기능 및 성능사양 분석	16
1. 남극 K-Route 운용환경 분석	16
2. 남극 K-Route 탐사선단의 구성 및 최대 통과하중, 장비의 사이즈, 최대중량 등 제원 분석	18
3. 특수 환경에서의 수송/보관 환경 및 요구조건 분석	20
제 2 절 가설교량 장비 설계 및 컴퓨터 시뮬레이션	21
1. 가설교량 장비 형식결정	21
2. 운송장치 선정	24
3. 재질 결정	25
4. 기본 설계	27
5. 제작 설계	30
6. 모듈형 가설 교량 설치 시나리오(안)	35
7. 모듈형 가설 교량 도면	38
8. 모듈형 가설 교량 3d 모델링	39
9. 구조설계 및 해석	41
제 3 절 가설교량 장비 시제품 제작	51
1. Main 모듈 제작	51
2. Ramp 모듈 제작	52
3. 견인 모듈 제작	53
제 4 절 가설교량 장비 시제품 성능평가	53
1. 성능평가 방법론 설정	53
2. 사전준비	54
3. 시험 일정 및 계획	54
4. 성능평가 시험 절차	55
5. 모듈식 가설교량 시제품 성능평가 결과	57

6. 모듈식 가설교량 시작용 비파괴 검사	62
7. 모듈식 가설교량 시작용 아라운호 선적	64
제 5 절 모듈식 가설 교량 남극 K-ROUTE 설치 메뉴얼	65
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	73
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	74
제 6 장 참고문헌	75



제 1 장 서론

○ 연구 배경

- 극지연구소(이하 극지연)는 남극내륙 탐사 및 빙저호 시추를 위한 ‘K-route 사업’을 착수 (2017)하고, 탐사 선단의 안전한 이동을 위한 장비 및 시스템 구축을 추진 중에 있음
- 앞서, 한국철도기술연구원(이하 철도연)에서는 일시적으로 발생하는 인력/물자 수송에 대비 하기 위해 ‘조립식 모듈식 수송시스템’ 기술개발(2013~2015)을 진행한 바 있음.¹⁾
- * 재난·재해로 인한 교량/도로 파손, 전후 복구, 공사구간 통과, 올림픽 등 대규모 행사 등.



<조립식 모듈형 수송시스템 개념도>

- 본 위탁연구는 철도연의 ‘조립식 모듈형 수송시스템’ 기술개발 사례를 토대로, 남극 K-Route의 운용 환경에 적합하도록 개선*하고 테스트하여 안전하고 성공적 사업 수행에 기여함을 목적으로 함.
- * 기존 ‘조립식 모듈형 수송시스템’은 도보 및 소형 긴급차량 통과로 설정하여 최대 통과하중이 7,000kg으로 설계되어 있는데, K-Route 사업에 활용되는 장비의 최대 예상중량은 30,000Kg으로서 내구성 강화를 위한 연구 및 재설계가 필요함.

1) 한국철도기술연구원, 조립식 모듈식 수송시스템 기술개발, 2015

제 2 장 국내외 기술개발 현황

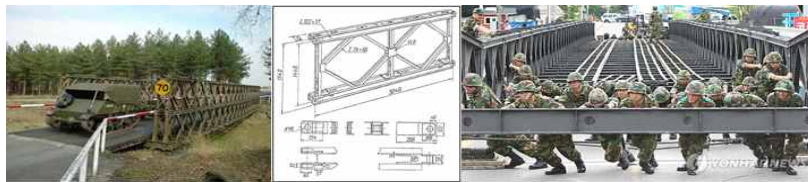
○ 유사 사례 검토

- 자연지형 상태 또는 지반공사를 최소화한 상태에서 임시로 설치하는 교량의 대표적 사례는 군에서 사용하는 가설교량 장비를 들 수 있으며, 이 외에도 민간부문에서는 공사 현장이나 임시 복구를 위한 가설교량 장비 등이 있음.

가. 군사 목적의 임시가설 교량 시스템

○ 부재를 운송하여 현장에서 조립하는 형태

- 베일리 교량(Bailey Bridge)라 불리는 M2 장간조립교(MGB)는 직사각형 트러스 부재를 계속 핀으로 연결하여 교량을 구축하는 방식으로, 다양한 교량형태로 가설이 가능하며 무한대로 확장이 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 트러스는 개당 무게가 297kg으로 취급이 어렵고 많이 인력이 동원되어 일일이 조립되어야 하고 많은 시간이 소요되는 단점이 있음.



장간조립교(MGB)

- 간편조립교(MGB, Medium Girder Bridge)는 베일리 교량에 비해 보다 진보된 방식으로 10m~30m까지 보다 신속한 설치가 가능함(보강재 추가 시 50m까지 가능). 구축 시 최소 25명의 인력이 동원되어 약 45분 정도 구축 시간이 소요됨.



<MGB(간편조립교)>

- Mabey Logistic Support Bridge는 베일리 교량 컨셉에서 유래된 조립식 트러스트 교량으로서, 임시가설 교량으로 폭 4.2m, 길이는 최대 61m까지 교량건설이 가능함.



<Mabey Logistic Support Bridge>

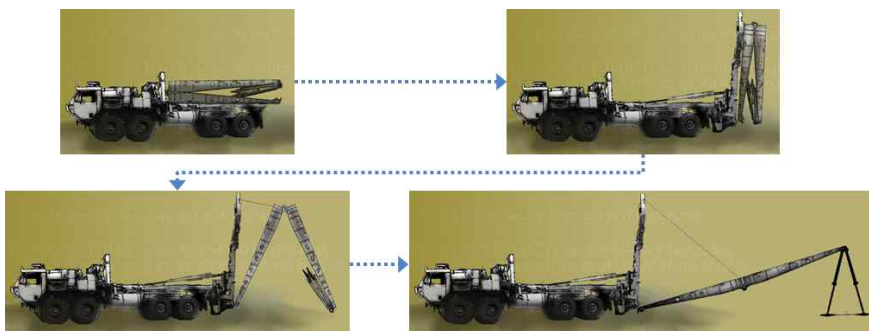
○ 이동차량과 결합되어 기계적으로 설치하는 형태

- K-1 AVLB 교량전차는 자력으로 구동하는 차량에 상판을 싣고 다니면서 25m 내외의 교량을 5분 내 설치 가능한 자주식 장비로서, 설치되는 교량은 폭 4m, 길이 22m으로 60톤 이상의 전차가 통과 가능함.



<교량전차>

- 캐나다의 기업에서 트럭에 적재되는 교량전차 시스템으로 개발한 Scissor Bridge Launch System은 높이 조절이 가능한 자주식 장비로서 교량길이 10.2m, 교량중량 5,200kg, 궤도폭 1.5m의 제원을 가지고 있음. 교량은 폭 4m, 길이 22m으로 60톤 이상의 전차가 통과 가능함.



<Scissor Bridge Launch System과 설치과정>

- 일본의 81식 자주가교 시스템은 특대형 트럭의 화물적재함에 가교장비를 탑재한 임시가교 시스템으로, 재해 파견으로도 자주 활용되고 있음. 가교장비는 유압으로 작동되어 60m의 다

리를 2시간에 완성할 수 있으며 높이 조절이 가능함.



<일본의 81식 자주 가교>

○ 부교 형태

- 부교(浮橋, Floating bridge)는 교각을 사용하지 않고 부대(浮袋)나 부유물에 의해서 가설되는 임시교량으로 하천이나 호수 등에 가설되어 사용됨. 대표적인 리본 부교(RBS)는 수송차량 1대가 교절을 적재 운반하고 자체 작동장치에 의해 진수 및 철수를 할 수 있는 반자동식이며, 재질이 알루미늄합금으로 제작되어 고강도이면서 경량화 되어 있고 공중수송도 가능함.



<리본 부교(RBS)>

나. 민간부문의 임시설치형 조립식 가설교량

- 민간부문에서는 주로 공사현장에서 임시적 우회도로 설치에 사용되는 방식으로서 주로 부재와 자재를 공작제작을 통해 생산하여 현장에서 조립하는 방식이 대다수임.
- SKO-Beam 공법, TSB 공법, TRIAS 공법, DHB 공법, HIPP 공법, ATOM 공법 등 부재의 형상과 시공방식에 따라 다양한 공법이 존재함.
- 민간부문의 조립식 가설교량이 주로 사용되는 도로 또는 교량 건설 현장의 경우 공사기간이 대부분 수개월에서 수개년 동안 지속되는 경우가 많으므로 이와 같은 가설교량은 설치와 해체에 많은 시간과 인력, 장비가 소요됨.

- 이 외에도, 시공기간 단축과 시공품질 향상을 위한 강합성 모듈러 교량이나 콘크리트 프리캐스트 모듈러 교량 등의 기술이 있으나, 남극 현장에 임시로 신속하게 설치하기 위한 목적과는 크게 상이하여 기술적 벤치마킹 대상으로서의 의미가 미미함.



<SKO-Beam 공법>



<TRIAS 공법>

극지연구소

다. 조립식 모듈형 시스템

- 한국철도기술연구원에서 2013~2014년 간 국가과학기술연구회의 지원으로 추진한 ‘조립식 모듈형 시스템’은 재난재해 시 교통로 단절에 대비하여 신속하게 통행로를 복구하거나, 올림픽, 엑스포와 같은 대규모 국제행사 시 임시 교통시스템의 통행로로 적용하기 위한 기술개발임.
- 조립식 모듈형 시스템은 통행로에 해당하는 인프라, 차량, 운영시스템 등 package화 된 교통시스템 개념으로서, 이 중 인프라 모듈은 다양한 자연지형 상에 지반보강공사 없이 설치할 수 있도록 설계됨.
- 인프라 모듈은 크게 교량형, 풍선형, 노반형으로 구분되는데, 교량형은 하천통과와 같이 장애물을 통과할 수 있는 모듈이며 풍선형은 연약지반, 노반형은 평탄지형에 설치가 가능하도록 설계됨.
- 설계제원은 한국철도기술연구원의 PRT 차량을 전제로 개발하였기 때문에 상부통과하중 최대 7톤으로 신속한 설치와 해체, 수송 및 보관을 위해 경박단소한 경량 시스템으로 제원이 설정되었음.
- 조립식 모듈형 시스템의 개념은 본 과제에서 개발할 남극형 모듈러 브릿지의 기본설계를 위한 출발점으로서 차용되었음.



<교량형 모듈 기본설계도>



<조립식 모듈형 시스템의 인프라모듈 설치 디오라마(풍선형+교량형, 노반형)>

라. 남극 탐사선단의 크레바스 통과 장비

- 타 국가의 남극 내륙진출을 위한 탐사선단의 크레바스 통과방식 또는 장비에 대한 정보는 매우 제한적임.
- 2015년 중국의 한 인터넷 기사에 중국 Zhongshan 기지 인근에서 여러 개의 각목을 인력으로 운반하여 장비를 통과하고 있는 장면이 검색되고 있음. 간편하게 설치할 수 는 있겠으나, 좁은 폭의 크레바스에나 가능할 것이며 설상차 통과 시 집중하중으로 인해 각목이 크게 휘는 모습(그림 13의 4번 째 사진)으로 보아 매우 위험하며 방식이라 판단됨.



<중국의 남극 크레바스 통과 장면> 2)

2) China's 32nd Antarctic expedition underway, <http://english.sina.com/china/p/2015/1206/871236.html>

마. 시사점

- 하천 등 장애물 통과를 위한 임시설치형 교량 시스템은 주로 군에서 널리 개발되어 활용되고 있으며, 민간부문에서는 주로 공사현장이나 긴급복구 현장에 다양한 방식이 적용되고 있음.
- 군의 장비는 탱크, 중장비 통과를 위해 통과하중이 60톤 이상으로서 국방이라는 특수한 임무수행을 위해 개발되어 경제성 논리를 배제한 매우 고가의 장비이며, 민간의 가설교량 역시 장기간의 공사기간을 고려하여 매우 견고하지만 설치에 인력과 장비, 시간의 소요가 많아 본 연구에서 요구되는 조건과 크게 상이함.
- 남극에서 활동하는 다른 나라의 남극 크레바스 통과 방식에 대해서는 알려진 바가 거의 없음.
- 한국철도기술연구원에서 개발한 조립식 모듈형 시스템은 자연지형 상에 노반공사 없이 설치할 수 있는 장비로 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템의 개념 정립에 벤치마킹 대상으로 활용될 수 있으나, 남극의 환경조건과, K-Route 탐사선단의 가용장비, 인력, 통과차량 제원 등을 분석하여 특수한 장비로 새로운 설계가 필요함.



제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 가설교량 장비의 기능 및 성능사양 분석

1. 남극 K-Route 운용환경 분석

가. 남극(Antarctica)의 개요

- 남위 66도 33분이남 지역을 일컫는 용어로, 그 대부분은 '남극 대륙'이라 불리는 거대한 대륙이다. 남극 대륙의 전체 면적 14,000,000km² 가운데 98%가 평균 두께 1.9km의 얼음으로 덮여 있다. 북극해 해면상에서 빙산만 떠다닐 뿐인 북극과 달리 대륙성 지각이 기반이 된 엄연한 대륙임.

나. 남극의 지질

- 남극은 지질학적으로 두 땅덩어리가 붙어있는 구조를 가지고 있다. 서남극(남극반도 쪽의 서반구에 위치한 부분)과 동남극(동반구에 위치한 부분)으로 나뉘는데, 두 대륙을 나누는 것은 지리적으로는 남극의 한쪽을 가로지르는 큰 산맥 (Transantarctic mountains, 남극횡단산지)임.

다. 남극의 기후 및 환경

[표 1 남극의 기후 및 환경]

목 록	내 용
연간 강수량	200mm 이하
평균풍속	48m/s
최고풍속	88m/s
평균기온	지역에 따라 -5℃~93.2℃

라. 크레바스

- 빙하는 눈이 압력을 받거나 물이 얼어 생긴 얼음이 강(河)처럼 흐르는 지형을 말하는데, 이 흐름이 각 빙하 부분마다 일정하게 흐르는 것이 아니라 부분마다 큰 차이가 있어 균열이 생기게 됨. 이때 응력에 의해서 균열이 생성, 틈새가 만들어지는데 이를 크레바스라 칭함.



마. 극지 환경 사전조사

- 일시 : 2017년 10월 31일 - 11월 12일 (입남극: 11월4일, 출남극: 11월10일)
 - 장소 : 남극 장보고 기지 및 K-route 탐사 경로
 - 목적 : 코리안 루트 탐사 시, 얼음의 갈라짐이 발생한 곳(크레바스)에 설상차 등 중장비 이동을 위한 노면 강화 또는 임시 교량 등의 개발 방안 논의
- 사전 조사 기간 동안 K-route 팀이 내륙탐사를 진행하면서 2번의 크레바스 추락이 발생하였고, 이는 아래 사진에서 보는 바와 같이 설상차가 지나간 이후 하중이 분산되지 않는 썰매 구조의 화물들이 주로 추락하였음.



- 또한 지질 탐사팀의 탐사 경로 사전 조사 결과 상당수의 크레바스가 존재함을 확인하였고, 따라서 다수의 교량 또는 휴대용의 교량이 필요할 것으로 판단되었음.
- 현장의 연구진들이 교량을 쉽게 설치 및 해체할 수 있게 자동화 및 경량화 등의 요청사항들을 확인하여 모듈형 가설 교량 개발 요구조건에 반영하였음.
- 이 밖에도 모듈형 가설교량을 제3 내륙기지 구축 시, 구조물 하부지지 또는 도보 및 장비 수송을 위한 임시 구조물로 사용하는 방안을 고려하고 있고, 또한 아라온호가 해빙위에서 화물 하역시, 해빙의 갈라진 틈에 설치하는 등 장보고기지 간 화물 및 인력의 승하선을 위한 임시 정박구조물(부교 등)로 활용 하는 방안에 대해서도 고려하였음.

2. 남극 K-Route 탐사선단의 구성 및 최대 통과하중, 장비의 사이즈, 최대중량 등 제원 분석

[표 2 남극 K-Route 탐사선단 차량 제원]

목 록	내 용	대 상
트랙터	<ul style="list-style-type: none"> • 자체 중량 : 30ton • 운영장비 : 500kg 유압 크레인 • 주행장치 : Caterpillar & Rubber Tire • 폭: 3500mm 	
설상차	<ul style="list-style-type: none"> • PistenBully 300polar • 주행장치 : Caterpillar • 중량 : 12ton • 폭 : Without track : 2500mm Over steel tracks : 4260mm 	
컨테이너 및 썰매	<ul style="list-style-type: none"> • 구조 : 6m Container Deck Frame • 썰매 폭 : 3460mm, • 썰매 길이 : 10305mm 	
컨테이너 썰매	<ul style="list-style-type: none"> • 구조 : 12m³ Fuel Tank Stacking • 자체 중량 : 30ton • 썰매 폭 : 3460mm, • 썰매 길이 : 10400mm 	
카라반	<ul style="list-style-type: none"> • 길이 : 9000mm • 폭 : 3500mm 	

3. 특수 환경에서의 수송/보관 환경 및 요구조건 분석

[표 3 남극 가설교량 운용환경 요구조건 분석]

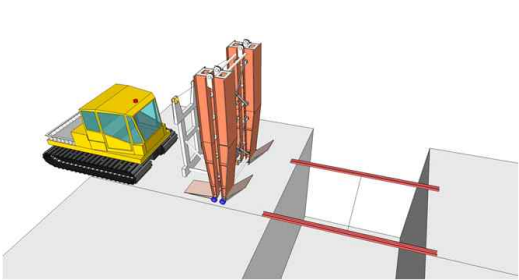
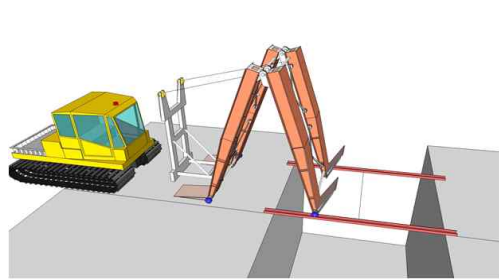
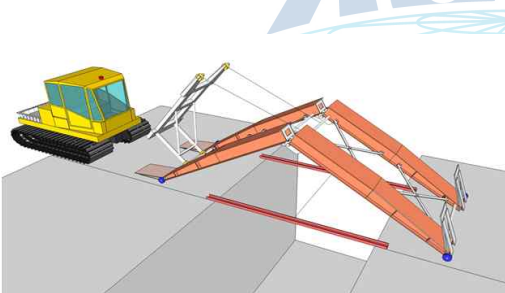
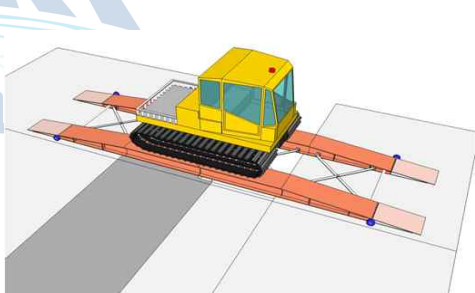
목 록		내 용	비 고
적용 하중		<ul style="list-style-type: none"> • Max, 30ton 	-
장비 규모	길이(L)	<ul style="list-style-type: none"> • 메인 교량 : 최대 6m • 연결 램프 : 제한 없음 • 메인교량 및 연결 램프 포함 최소 10m 	- 크레바스 최대 폭 : 4m
	폭(B)	<ul style="list-style-type: none"> • 크레바스 폭 (최소 4m) 	- 대상차량 제원 검토
	높이(H)	<ul style="list-style-type: none"> • 제한 없음 	- 대상차량 경사로 진입 여부 검토
무 게		<ul style="list-style-type: none"> • 제한 없음 	- 챌린저에 설치된 크레인으로 교량 설치 가능 여부 검토 (사용하중 최대 500kg)
교량 바닥판 재질		<ul style="list-style-type: none"> • 미끄럼 방지 	- 대상차량 바퀴 및 썰매 재질 및 윤거에 따라 선정
교량 운송 수단		<ul style="list-style-type: none"> • 설원위에서 교량 운송 수단 	-
연 결 부		<ul style="list-style-type: none"> • 남극 현지 타 물류장비들과 호환 가능 • 크기 및 무게 제한 없으나 인력 작업 최소화 	-
구 조	<ul style="list-style-type: none"> • 사람이 분해, 조립, 운송이 가능 		-
	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 500kg의 크레인을 이용한 Handling 가능 		-
	<ul style="list-style-type: none"> • 운영장비 전체가 통과 가능 		-
	<ul style="list-style-type: none"> • 설치 및 철거가 용이한 구조 		-

제 2 절 가설교량 장비 설계 및 컴퓨터 시뮬레이션

1. 가설교량 장비 형식결정

가. 1안 V-Type

- 썰매와 같은 운반용 차량에 설치하여 운송됨. 이동 중 극복하고자 하는 장애물 발생시 대상에 가이드레일을 우선 설치하고 운반용 차량에서 Bridge를 세운 후 가이드 레일 상부로 천천히 퍼면서 설치함.

	
<p>1. 운송차량에서 Bridge를 세움</p>	<p>2. 가이드 레일을 설치함</p>
	
<p>3. 설치된 가이드 레일을 따라 설치</p>	<p>4. 설치 완료 후 차량 이동</p>

1) 장점

- 가) 인력을 동원하여 설치하지 않아도 됨.
- 나) 가이드 레일 위로 설치하기 때문에 장치의 전체무게를 지탱하지 않아도 됨.
- 다) 장치를 반으로 접을 수 있어 운송 길이를 줄일 수 있음.
- 라) 전체 연결구가 Pin 접합으로 긴급 시 인력으로 분해 조립 가능함.

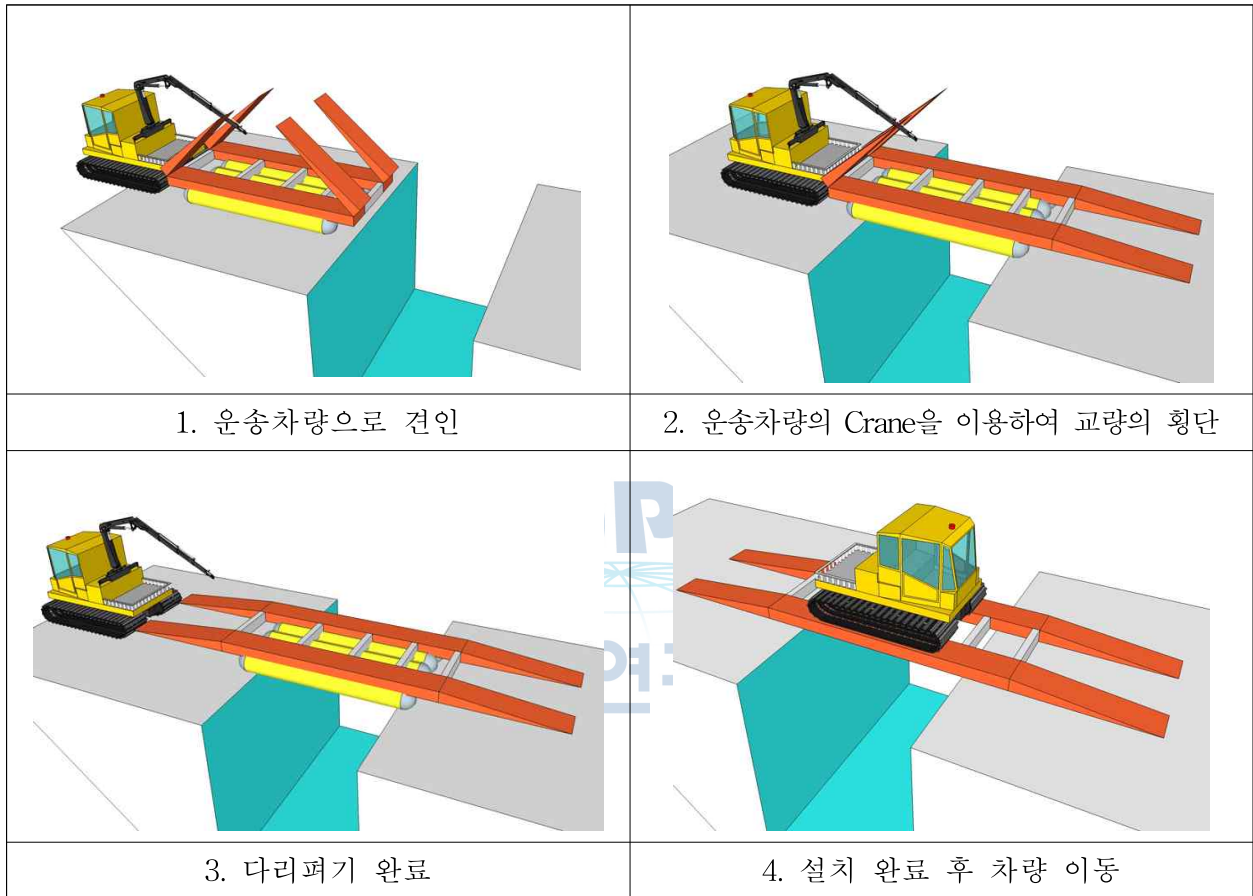
2) 단점

- 가) 설치시 Tilting 및 승·하강용 윈치가 각각 필요함.
- 나) 별도의 운송차량이 필요함.
- 다) 장치를 세울 때 필요한 높이는 약 5m 이상으로 안전성 우려.

라) 가이드 레일 설치시 방향 및 간격 설정에 어려움 발생 예상.

나. 2안 자체 운송장치 탑재형

- 별도의 운송용 장비를 활용하지 않고 자체에 탑재된 미끄럼 장치를 부착하여 이동이 가능하도록 함. 설치 또한 운영 중에 있는 견인용 트랙터의 크레인으로 설치 가능.



1) 장점

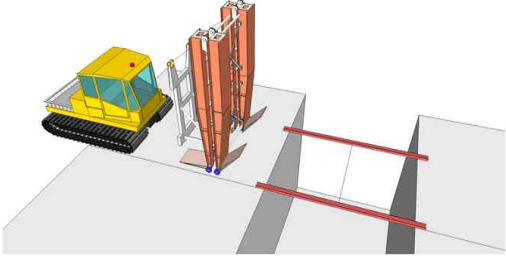
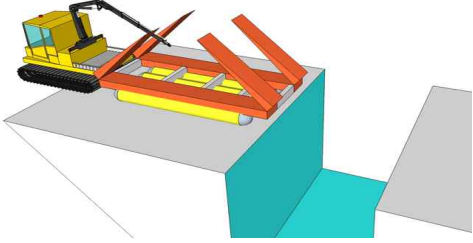
- 가) 별도의 운송장비가 필요 없음.
- 나) 별도의 설치용 가이드 레일이 필요 없음.
- 다) 장치를 접을 수 있어 운송에 이점이 있음.
- 라) 전체 연결구가 Pin 접합으로 긴급 시 인력으로 분해 조립 가능함.
- 마) 설치에 필요한 별도의 윈치가 불필요함.

2) 단점

- 가) 운송장치 부착으로 장치의 부피가 비대해질 수 있음.

다. 가설교량 형식(안)별 비교 평가

[표 4 가설교량 형식(안)별 비교]

목 록	1안 V-Type	2안 자체 운송방식
대상 사진		
구 조	<ul style="list-style-type: none"> • 접이식 금속 구조 	<ul style="list-style-type: none"> • 접이식 금속 구조
구 성	<ul style="list-style-type: none"> • Tilting Winch 1set • Up & Down Winch 1set • 운반용 차량 1대 • 장치 고정 지그 1set 	<ul style="list-style-type: none"> • 접이식 금속 구조 장치 1식 • 부착형 운반용 장치 1식
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 인력을 동원한 별도 조립 불필요 • 가이드 레일을 이용하여 무게분산 • 접는 구조로 길이를 줄일 수 있음 • Pin 접합으로 분해·조립용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 인력을 동원한 별도 조립 불필요 • 자체 운송장치 탑재로 별도의 운송장비 불필요 • 접는 구조로 길이를 줄일 수 있음 • Pin 접합으로 분해·조립용이
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 별도의 운반용 장비 필요 (예: 썰매 등) • Tilting 및 Up & Down 윈치 필요 • 작업시 장치가 높아져 안정성이 상대적으로 불리 	<ul style="list-style-type: none"> • 운송장치 탑재로 구조물 비대
비 용	<ul style="list-style-type: none"> • 많은 장치들로 상대적으로 고가 	<ul style="list-style-type: none"> • 장치들이 적어 상대적으로 낮음
채 택		◎
사 유	<ul style="list-style-type: none"> • 1안의 경우 일반적인 환경에서는 운용이 편리할 수 있음. 하지만 별도의 운반용 장비가 필요하며, 운반용 장비에 상차할 경우 높이가 2m이상, 장치를 세울 경우 5m 이상 높아지게 됨. 더욱이 작업용 윈치가 2대 이상 들어가기 때문에 남극과 같은 극한 사항에서 고장시 수리가 어려울 것으로 판단됨. • 따라서 별도의 기계장치가 추가 되지 않으며 운반용 장비도 필요 없는 2안을 택함. 	

2. 운송장치 선정

- 남극과 같은 눈과 얼음으로 이루어진 마찰계수가 낮은 지역을 통과하여야 하기 때문에 장치의 운반은 장치의 하부에 부착되어 있는 운반용 부착품으로 일반적인 바퀴가 아닌 썰매와 같은 방식 또는 고무보트와 같이 마찰 계수가 낮은 소재를 이용하여 운반 및 설치가 용이하도록 강구함.

[표 5 운송장치(안)별 비교]

목 록	1안 V-썰매 Type	2안 보트 Type
대상 사진		
구 조	<ul style="list-style-type: none"> • 미끄럼 썰매 Type 	<ul style="list-style-type: none"> • 고무 팽창식 Type
구 성	<ul style="list-style-type: none"> • 썰매 판 • 썰매 판지지 구조물 	<ul style="list-style-type: none"> • 고무 팽창식 튜브 • 미끄럼 포입고무 판
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 기존에 사용 중인 장비로 신뢰성 높음 • 다른 장비와 호환 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 극지방의 탐험용 보트로 주로 이용되고 있어 신뢰성 높음 • 일부 튜브 손상 시 신속 교체 가능
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 외국 주문 생산 품 • 좁은 접지 면적으로 홈에 끼임시 구난에 어려움 예상 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 및 해외 쉽게 주문 제작 가능 • 넓은 접지면적으로 좁은 홈에 끼임 발생 적음
비 용	<ul style="list-style-type: none"> • 외국 주문 생산품으로 고가 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내·외 범용 제작이 가능하여 상대적으로 저가
채 택		◎
사 유	<ul style="list-style-type: none"> • 썰매 방식의 경우 외국 주문생산품으로 판단되며 좁은 홈에 끼임 등이 발생할 우려가 있음 • 고무 팽창식 튜브는 각종 보트 및 기타 미끄럼 소재로 주로 이용되고 있으며 국내·외에서 상대적으로 저가로 제작이 가능한 것으로 사료됨. 	

3. 재질 결정

가. 구조물 재질 결정

- 남극과 같이 극저온 및 눈과 얼음 등 높은 습도가 유지되는 극한 환경에서는 내부식성, 내마모성이 요구되며 특히 특수한 경우 인력을 동원하여 조립·설치·분해가 용이하여야 하기 때문에 무게는 최대한 가볍게 이루어져야 함. 반면, 현장에서는 안정성 및 유지보수를 최우선적으로 하여야하기 때문에 여러 가지 조건들을 고려하여, 본 시작품은 재질은 철을 선정하였음.

(※ 철의 단위 중량 : 7.83ton/m³, 알루미늄의 단위중량 2.72ton/m³)

[표 6 알루미늄 합금의 특성 및 용도]

종류	주요성분(%)	합금특성	대표적 용도
5083 H321	Mg(4.0~4.9), Mn(0.4~1.0) Cr(0.05~0.25)	<ul style="list-style-type: none"> • 비열처리용 합금 중 최고의 강도를 가지나, 성형성은 약간 떨어짐. 내식성, 용접성 양호 • 해수(seawater)와 화학산업환경에 높은 저항성 • 압력용기 및 저온용 탱크, armor plate, LNG ship, storage tanks, aircraft applications, cryogenics, missile components로 사용 	선박용재, 차량용재, 압력용기, 용접구조용재 등

크지연코소

[표 7 알루미늄 합금의 기계적 성질]

합금&조질	항복 강도 Yield Strength (kgf/mm ²)	인장 강도 Tensile Strength (kgf/mm ²)	연 신 율 Elongation thickness	Brinell Hardness (kgf/mm ²)	전단 강도 (kgf/mm ²)	피로 강도 (kgf/mm ²)
5083-O	15.00	29.50	-	-	17.50	-
-H321	23.00	32.50	-	-	-	16.50

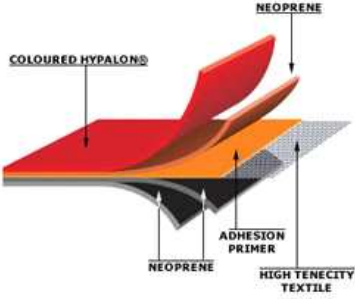

[표 8 철의 기계적 성질]

합금&조질	항복 강도 Yield Strength (N/mm ²)	인장 강도 Tensile Strength (N/mm ²)	연 신 율 Elongation thickness	Brinell Hardness (kgf/mm ²)	전단 강도 (kgf/mm ²)	피로 강도 (kgf/mm ²)
SM490A	325	490~610	-	-	-	-
SS400	245	400~510	-	-	-	-
S45C	490	686	-	-	-	-

나. 운송장치 재질 결정

- 노면이 눈과 얼음으로 이루어진 극지방의 특성상 미끄럼 마찰을 이용하여 장애물 극복장치를 견인하여 운송이 가능하여야 하며, 이를 위해서는 눈과 얼음에 대한 마찰계수가 작아 작은 힘으로도 견인이 가능한 구조 및 재질을 사용하여야 하기 때문에 Hypalon 재질을 선정함.

[표 9 Hypalon 기계적 성질]

목 록	내 용
주요 특징	<ul style="list-style-type: none"> • Hypalon 은 합성 고무 코팅 직물의 일반적인 이름이며 CSM, ORCA 등 다른 이름도 사용 중. • Hypalon과 Neoprene으로 결합된 나일론 또는 폴리에스터 직물을 사용한 합성 고무 기반의 다층 소재 • 내마모성, 강도가 좋으며 타합성 고무와 혼합성이 좋음 • 내후성, 오존성, 내약품성이 우수.
구 조	<ul style="list-style-type: none"> • 합성순서 ① Neoprene ② Coloured hypalon ③ High tencity textile ④ Adhesion primer ⑤ Neoprene 
사 용 예	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적인 팽창식 고무 보트 - 조디악 보트 (프랑스의 군용고무보트 제조사) 
눈 마찰계수	<ul style="list-style-type: none"> • 일반 노면 마찰계수 0.7~0.8μ • 눈길 마찰계수 0.2~0.3μ • 빙판길 마찰계수 0.2μ

2. 기본 설계

가. 기본 설계 개요

- 기본 설계단계에서는 극지방의 이동시 발생할 수 있는 장애물(크레바스 등)을 극복하기 위한 장비로 최대 30ton의 장비 및 여러 종류의 운송장비들이 지나갈 수 있는 장비로 일반 철 소재보다 가벼운 알루미늄 소재를 활용하여 무게를 경감시키고 별도의 운송 장비를 사용하지 않고 자체 운송이 가능하도록 슬라이딩 장치를 탑재하도록 설계함. 향후 제작 설계 단계에서는 안전성 및 유지보수 용이성을 고려하여 철 재질로 변경함.

나. 기본 구성

1) Girder

- 장애물 극복장치 상부로 대상 차량 및 운송장비들이 지나갈 수 있도록 구성되며 알루미늄 합금을 이용한 박스형 골조로 이루어짐.

2) 연결 Pin

- Girder, 발판, 경사로 등 장애물 극복장치의 연결부에 분해 조립이 용이하도록 활용.

3) 고무튜브

- 장애물 극복장치 하부에 여러 개의 고무튜브로 구성되며 재질은 Hypalon과 Neoprene으로 구성됨. 개별 또는 동시 공기 주입이 가능하도록 함.

다. 적용 규정

- 1) 장애물 극복장치는 다음과 같은 규정에 따라 설계함.

- ① Maker's Standard
- ② Korean Standard(KS)
- ③ 항만 및 어항설계기준
- ④ KR Class of Lifting Appliances
- ⑤ AISC ASD : 강구조 일반
- ⑥ EN 755-2 : Material

라. 기본설계

1) 설계 적용기준

- 기본 설계는 우선 알루미늄 합금 재질로 설계를 진행하였고, 이후 사용 하중 및 운용환경 등을 고려하여 제작설계에서는 철 재질로 변경하였음

[표 10 설계적용 기준]

구 분	설 계 적 용 기준						
설계하중	원칙적 고려하중	정수압, 자중, 동수압					
	필요시 고려하중	풍하중, 설치하중 그 외 하중					
세 장 비 (l/r)	부 재	압 축 재			인 장 재		
	주요부재	120			200		
	2차부재	150			240		
여유두께 (부식+마모) (단위 : mm)	구 분	상시 물에 접하고 있음			상시 물에 접하고 있지 않음		
		플레이트		기 타	플레이트		기 타
		편면접촉	양면접촉	양면접촉	편면접촉	양면접촉	양면접촉
	담 수	1.0	2.0	2.0	0.5	1.0	1.0
	해 수	1.5	3.0	2.0	1.0	2.0	1.0
최소 판 두께 (단위 : mm)	구 분	알루미늄 합금 판					
	Girder, 기타부재	12					

2) Material SPEC.

[표 11 Material SPEC.]

소 재	대상	극한강도
알루미늄 5083 - H321	Girder, Beam, Plate	21.9 kgf/mm ² (215N/mm ²)
스테인리스 STS630	연결 Pin (Round Bar)	7100kgf/cm ²

3) 개별하중

[표 12 개별하중]

Load	Description	Value	Dir.
DL	Dead load	Al-Bridge Weight	Y
LL	Live Load (차량 하중)	30 / 2 = 15 ton 적용 (Girder 1개소 당)	Y
IMP	Impact Load	0.5 × (차량 하중)	Y

4) 하중조합

[표 13 강도계산 하중조합]

구분	부하상태 A
하중조합 Case	Case I
사하중 DL	1.0
차량 하중 LL	1.0
충격 하중 IMP	1.0

3. 제작 설계

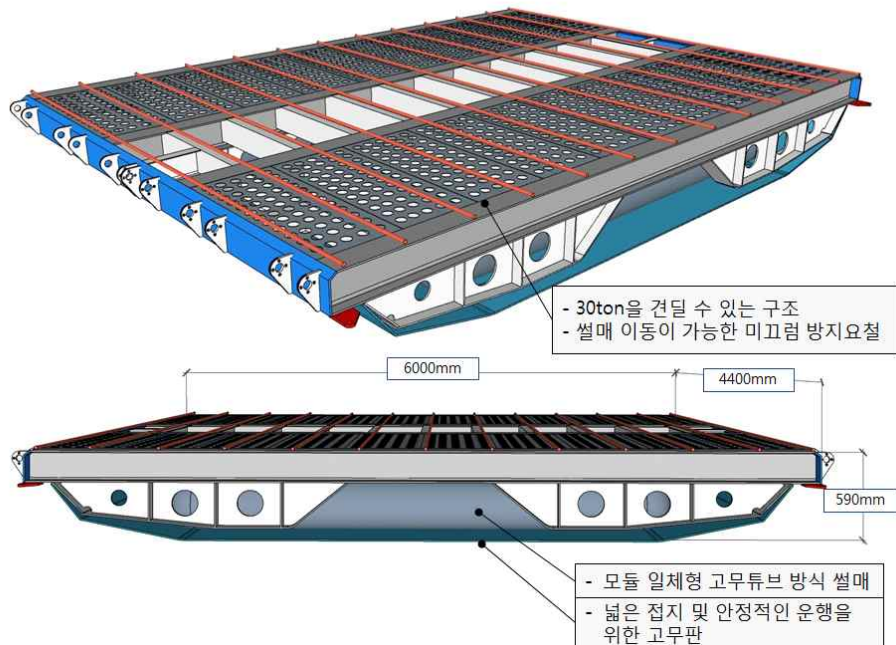
가. 각 부분별 설계 방안

1) Main 모듈

- 장애물 극복장비의 가장 핵심적인 모듈로 구조안전성 및 운영의 극대화
- FEM 구조검토를 통한 구조안전성 확보, 제품의 신뢰성 확보

[표 14 Main 모듈]

메인 모듈의 특징	장 점
<ul style="list-style-type: none"> • 메인모듈 - 폭 4400 × 길이 6000 × 높이 590 - 사용 자재 : SM490B - MAIN GIRDER : H-Beam 244×175×7×11 - SUB BEAM : Channel 200×80×7.5×11 - Plate : 45T, 6T, 9T, 12T, 20T - JOINT PIN : Round bar : Ø50 (S45C) 	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 장비 운영 가능한 단순한 구조로 제작 • 안정적인 자재 확보 가능, 제작기간 단축 • 고른 분포하중으로 구조 안전성 확보 • 운송장치 일체형 구조 • 넓은 상판으로 수송중 상부에 화물 탑재 가능
메인모듈 개념도	



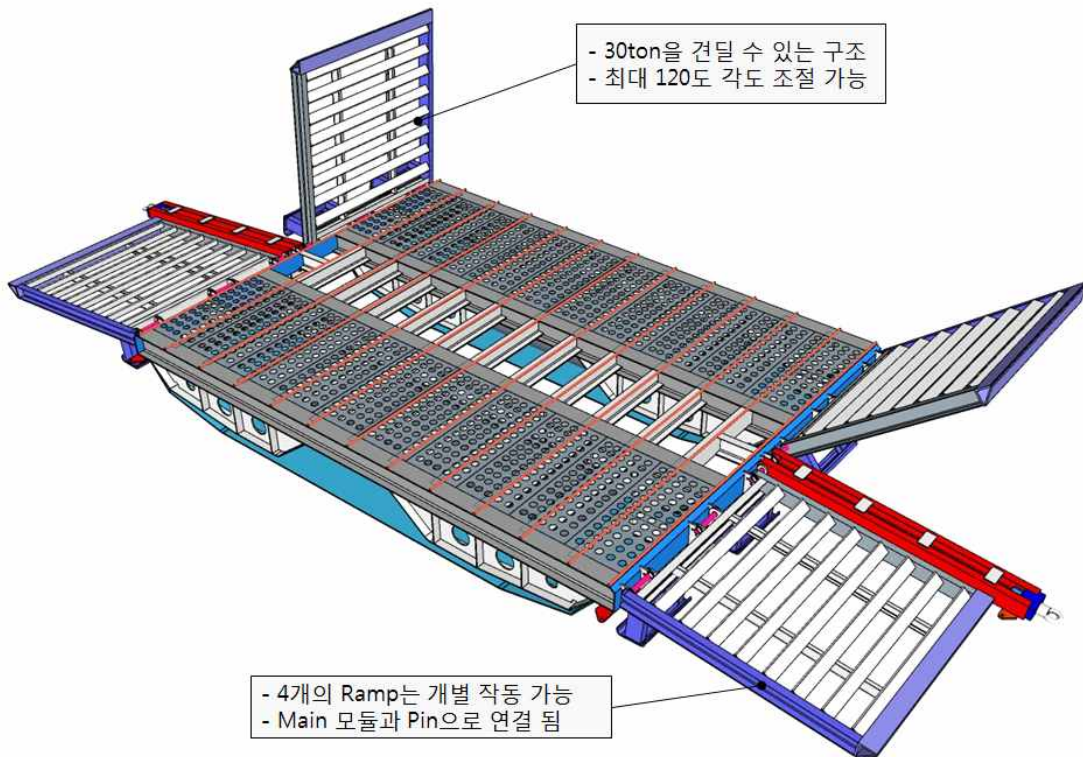
- 상부의 요철을 Round bar로 선정하여 트랙터 및 설상차의 Caterpillar 및 휠이 지나갈 수 있도록 하였으며, Round bar의 곡면으로 인해 썰매의 미끄럼 면의 마찰 저항을 최소화 하여 지나갈 수 있도록 함.
- 상부에 무늬강판(Checkered plate)을 설치하여 인원의 원활한 통행이 가능하도록 함.

2) Ramp 모듈

○ 대상 장비들이 쉽게 넘을 수 있도록, 경사로 구조

[표 15 Ramp 모듈]

메인 모듈의 특징	장점
<ul style="list-style-type: none"> • 램프모듈 - 폭 2000 × 길이 2150 × 높이 150 - 사용 자재 : SM490B - MAIN GIRDER : Channel 150×75×6.5×10 - SUB BEAM : Channel 100×50×5×7.5 - Plate : 45T, 9T, 12T, 20T 	<ul style="list-style-type: none"> • 자유롭게 접었다 펼 수 있는 방식 채택 • 경사각도 자유롭게 조정 가능(최대: 120도) • 경량 구조로 현장 장비로 운영 가능 • Ramp의 좌,우 분리로 요철 지역 설치시 안전성 확보
<p>모듈 운영 방식</p>	



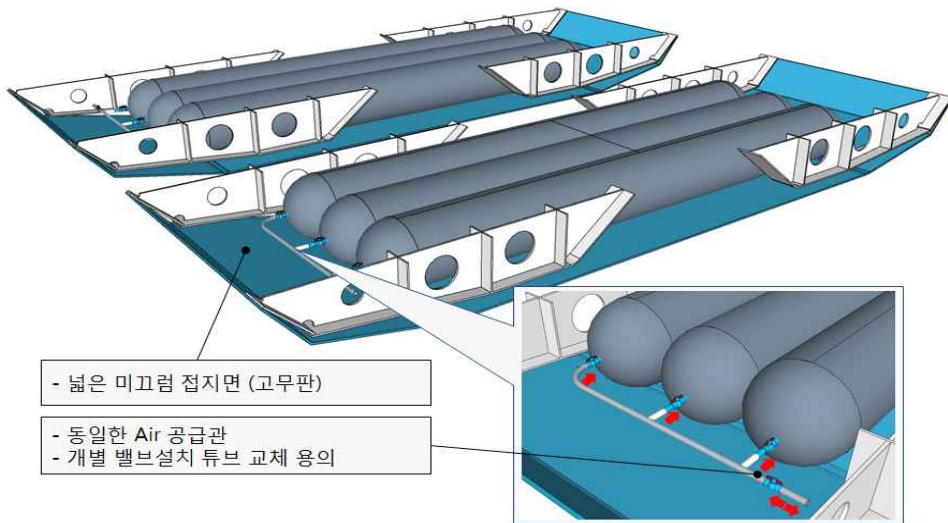
- 요철이 많은 지역 및 경사지역에 설치가 가능하도록 4개의 Ramp를 분리하여 개별 작동이 가능하도록 함.
- 경우에 따라 좌우 1개씩의 Ramp만 사용할 수 있음.
- 최대 30톤의 하중을 견딜 수 있도록 고안됨.


3) 튜브 썰매

○ 활용성 및 신뢰성이 우수한 방식 채택

[표 16 튜브 썰매]

메인 모듈의 특징	장 점
<ul style="list-style-type: none"> • 고무 튜브식 썰매 - Ø400 x 4m, 6 Set - 포입고무 튜브, HYPALON - 우레탄 단열재 - 직물 커버 - 썰매용 고무판 	<ul style="list-style-type: none"> • 고무 튜브식 썰매를 채택하여 완충 작용 확보 • 넓은 접지면적으로 주행 안전성 확보 • 썰매 손상시 비교적 쉬운 교체 (공기 넣고 빼기 손쉽게 밸브 탑재) • 공기를 넣고 빼기 쉬운 구조로 보관 용이 • 하나의 Air 공급관으로 동일한 공기압 확보
모듈 운영 방식	



적용 예	튜브 사용자재 구조 (하이파론)	
	<ul style="list-style-type: none"> - Hypalon은 합성 고무 코팅 직물의 일반적인 이름 - Hypalon과 Neoprene으로 결합된 나일론 또는 폴리에스터 직물을 사용한 합성고무 기반 소재 	
	<p>- 사용 예 : 조디악 보트 (조디악 프랑스의 군용고무보트 제조사)</p>	
	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="715 1771 957 1993" style="vertical-align: top;">- 구조 순서</td> <td data-bbox="957 1771 1508 1993"> <ol style="list-style-type: none"> ① Neoprene ② Coloured hypalon ③ High tensity textile ④ Adhesion primer ⑤ Neoprene </td> </tr> </table>	- 구조 순서
- 구조 순서	<ol style="list-style-type: none"> ① Neoprene ② Coloured hypalon ③ High tensity textile ④ Adhesion primer ⑤ Neoprene 	

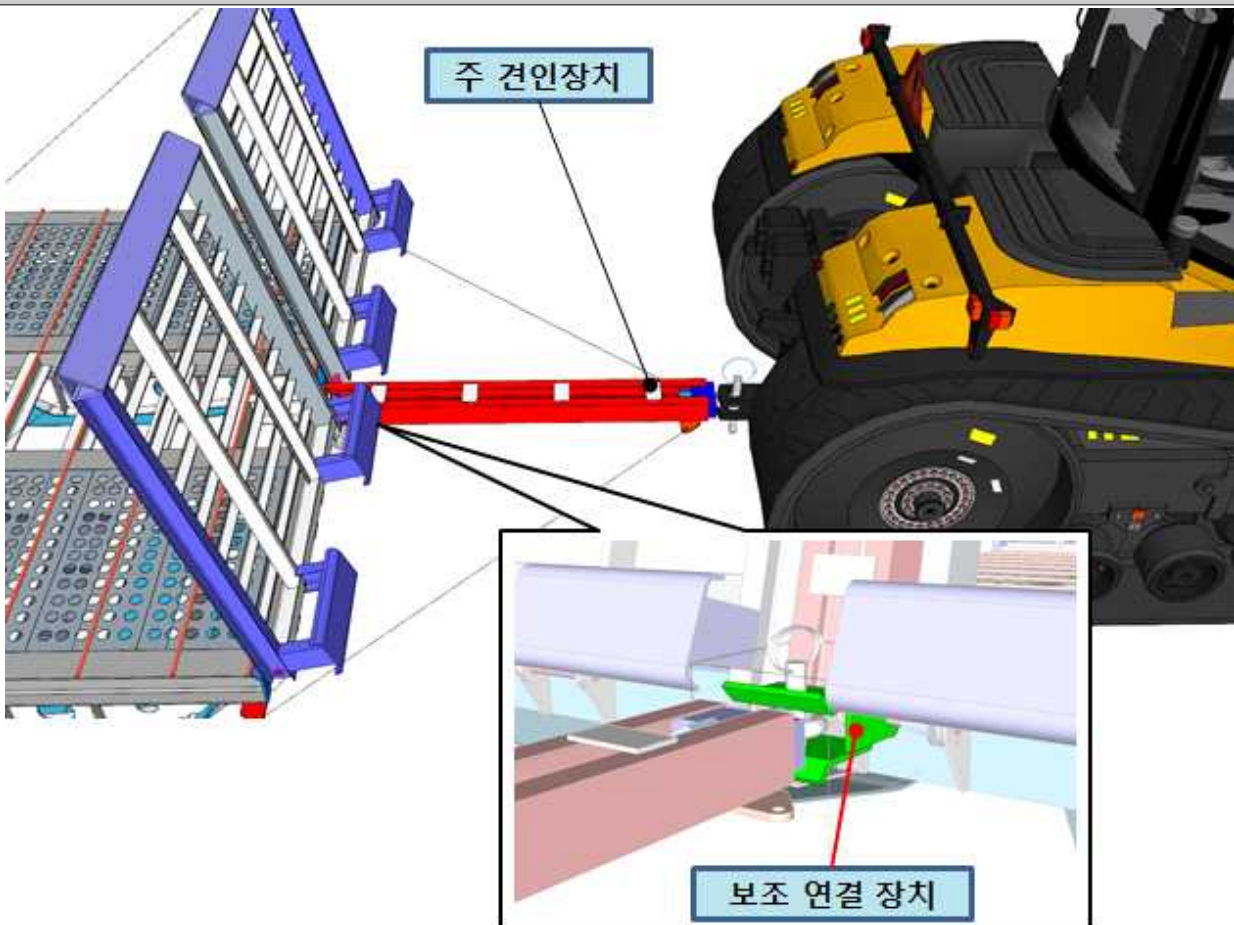
4) 견인장치

- 트랙터에 연결하여 장애물 극복 장비를 운송할 수 있는 구조 및 여러 운송 장비를 장애물 극복 장비에 연결하여 운송이 가능하도록 함.
- 제품의 신뢰성 확보를 위해 현지에서 사용되는 견인장치와의 호환성 검토

[표 17 견인장치(안)]

메인 모듈의 특징	장점
<ul style="list-style-type: none"> • 30ton 견인 장치 - 30톤 견인 고리 (현지 호환가능) - MAIN BEAM : Channel 150×75×6.5×10 - Plate : 12T, 20T 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌,우 / 상,하 회전이 가능한 구조로 요철 통과 안정적인 견인 가능 • 장애물 극복장비 설치시 별도 분리 필요

견인장치

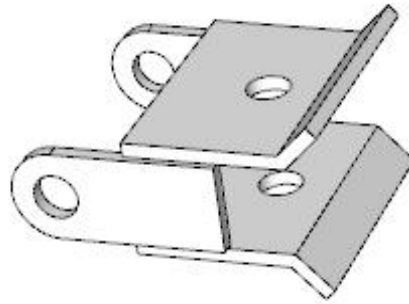


1. 장비의 규모의 최소화 및 안정적인 견인이 가능하도록 고안되었음.
2. 트랙터와 같은 장비에 의해 견인되는 것은 물론, 모듈식 교량에 다른 장비를 보조 연결 장치에 연결하여 운영할 수 있도록 고안되었음.

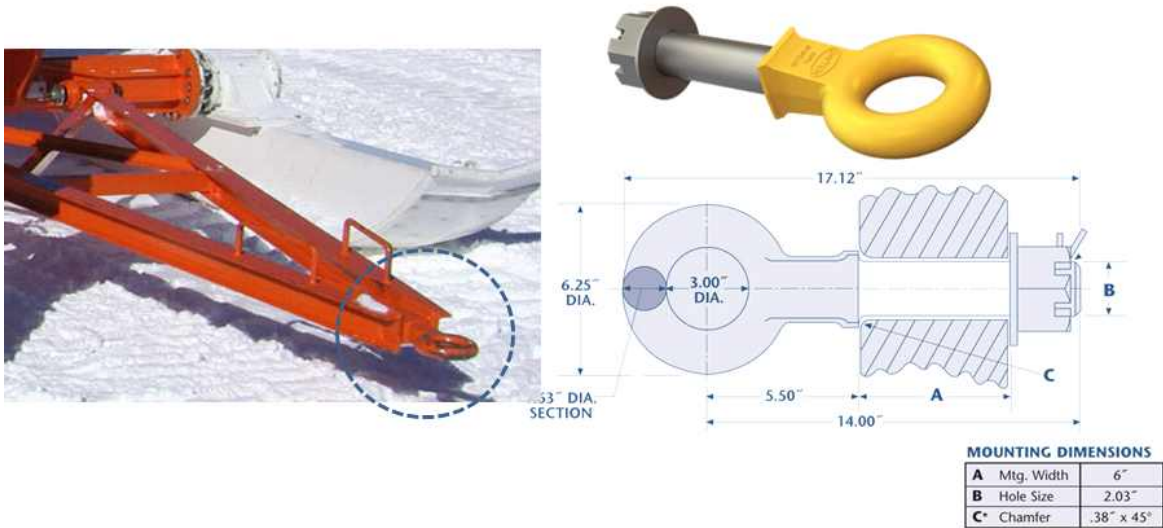
[표 18 견인고리]

견인고리

1. 주 견인장치 : Main 모듈과 Pin으로 연결되어 있으며 설치시 모듈식 교량과 분리되지 않도록 고안됨.

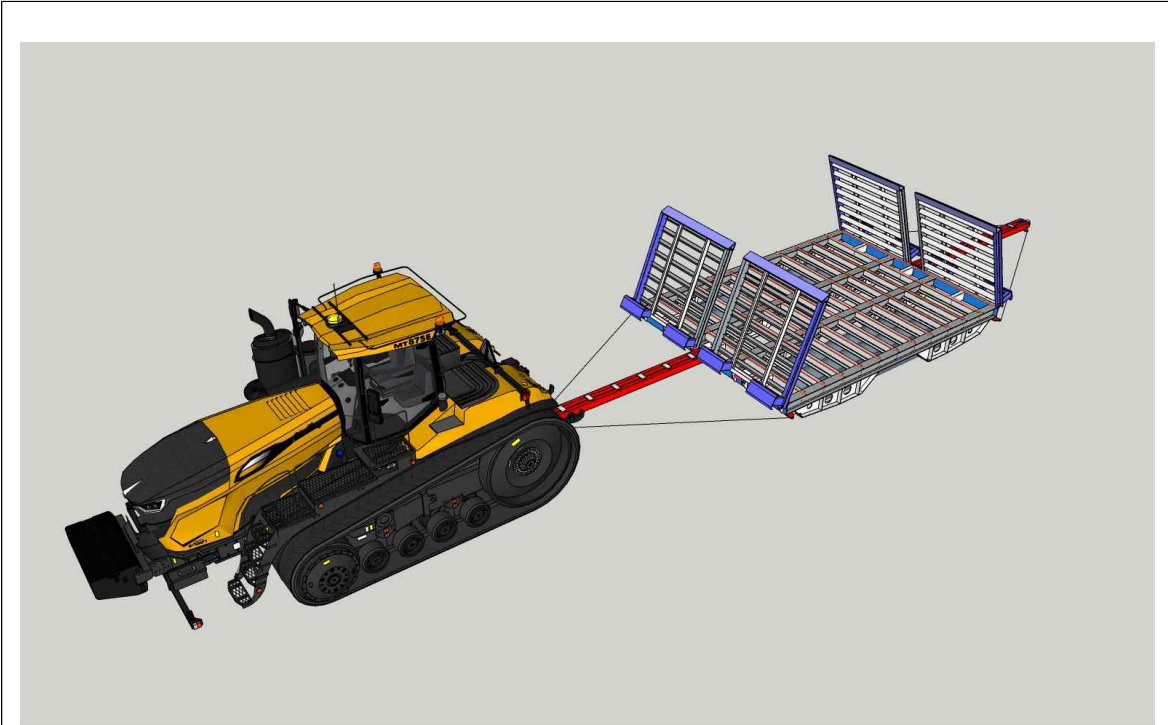


2. 보조 견인장치 : 현장의 다른 장비들을 모듈식 교량에 연결하여 운영할 수 있도록 고안됨.
3. 보조 견인장치는 주 견인장치 하부에 배치하여 주 견인장치를 상부로 올리면 노출이 되도록 배치함.
4. 다른 장비의 견인 고리가 무리 없이 결합될 수 있도록 고안됨.

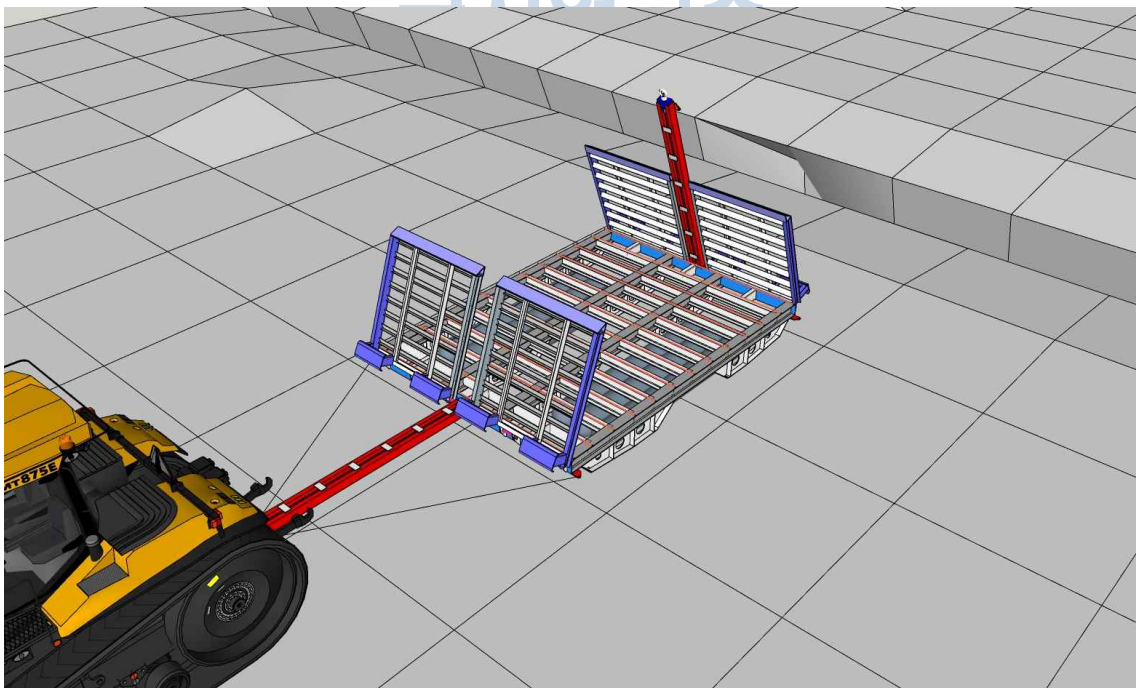


5. 남극 현지에서 주로 운영되고 있는 견인장치에 대하여 분석하고 보편적으로 사용되고 있는 견인 고리를 적용

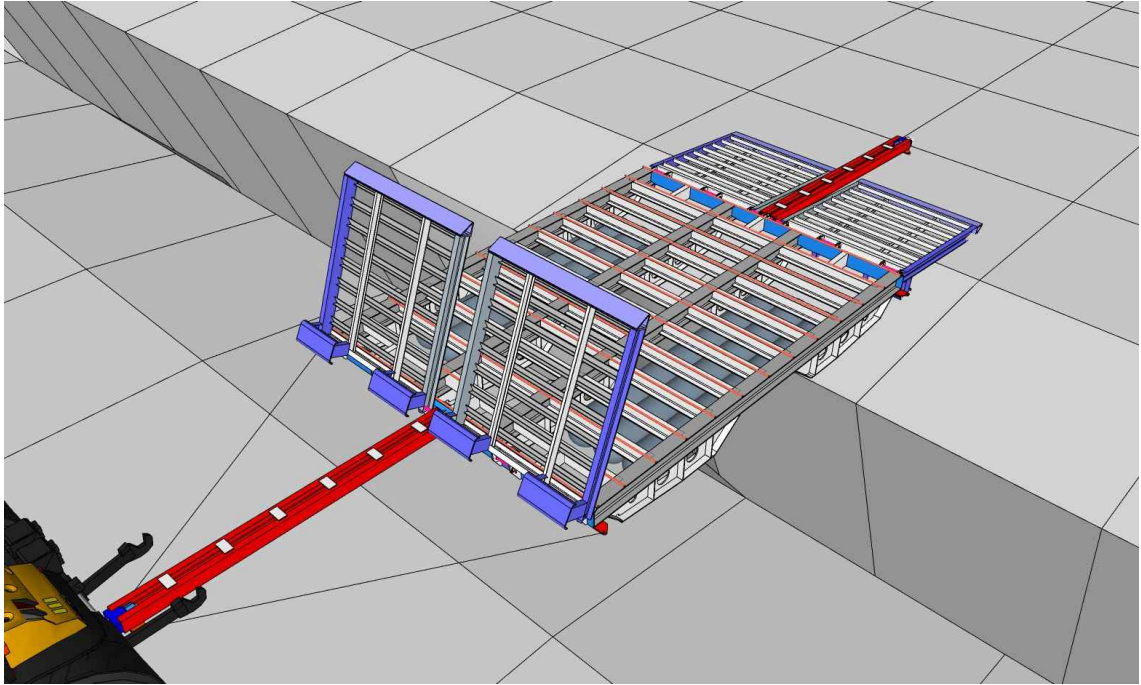
4. 모듈형 가설 교량 설치 시나리오(안)



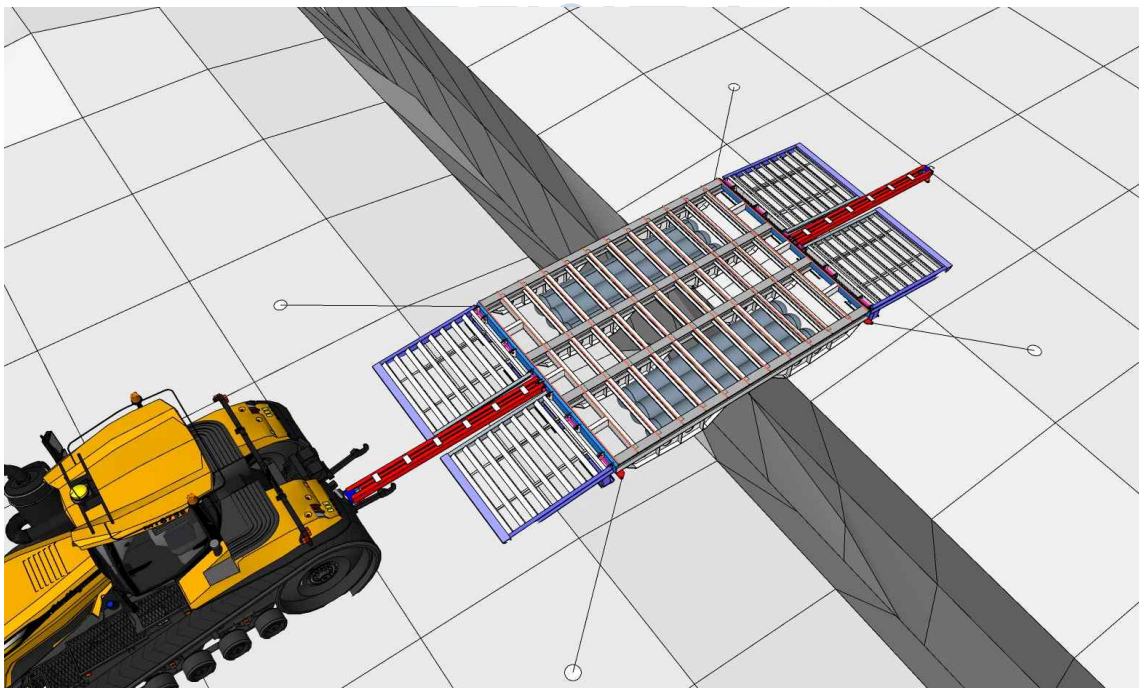
1. 모듈형 가설교량 운송



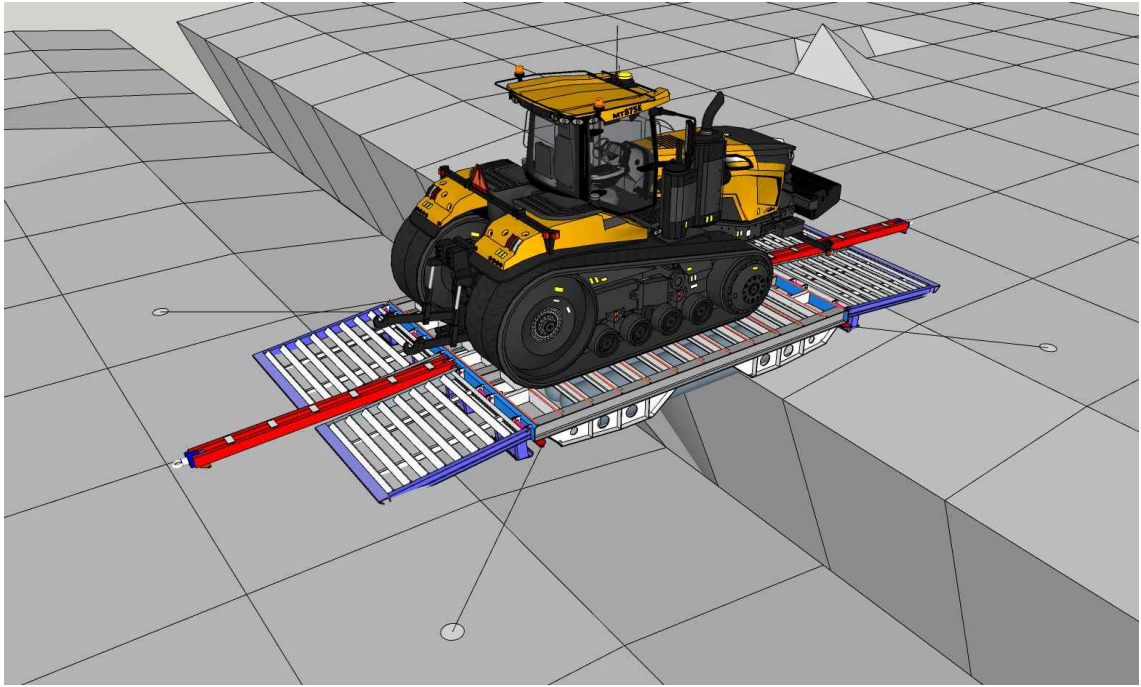
2. 모듈형 가설교량 크레바스로 이동



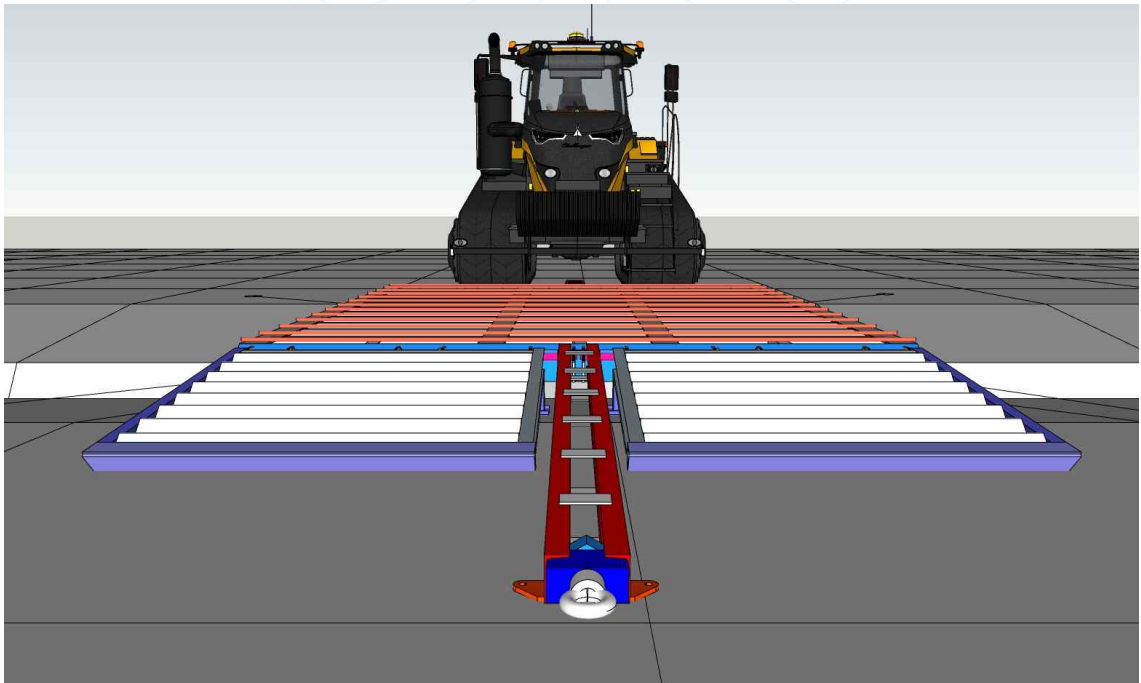
3. 모듈형 가설교량 크레바스 설치



4. 모듈형 가설교량 램프 설치

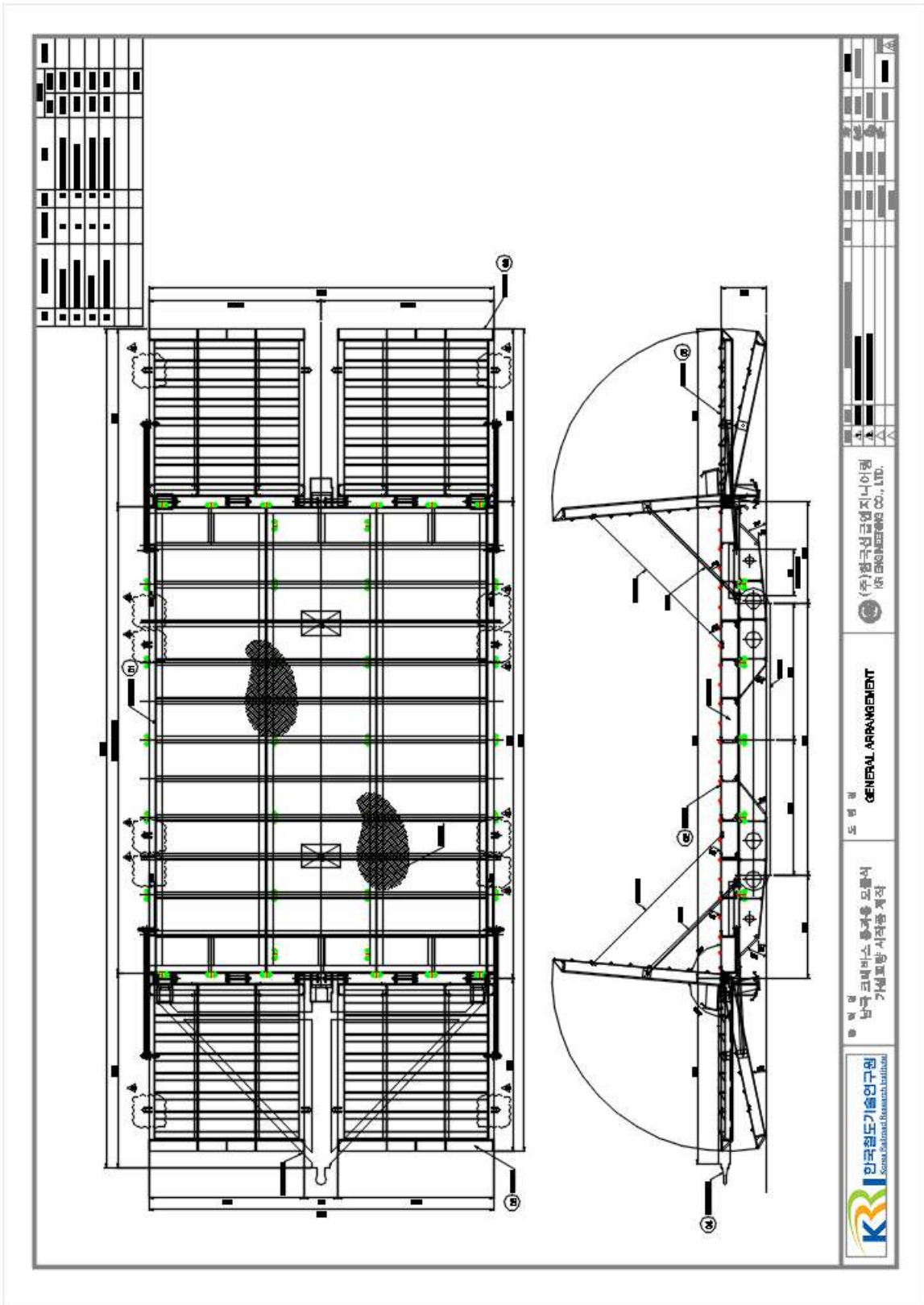


5. 탐사선단 크레바스 통과

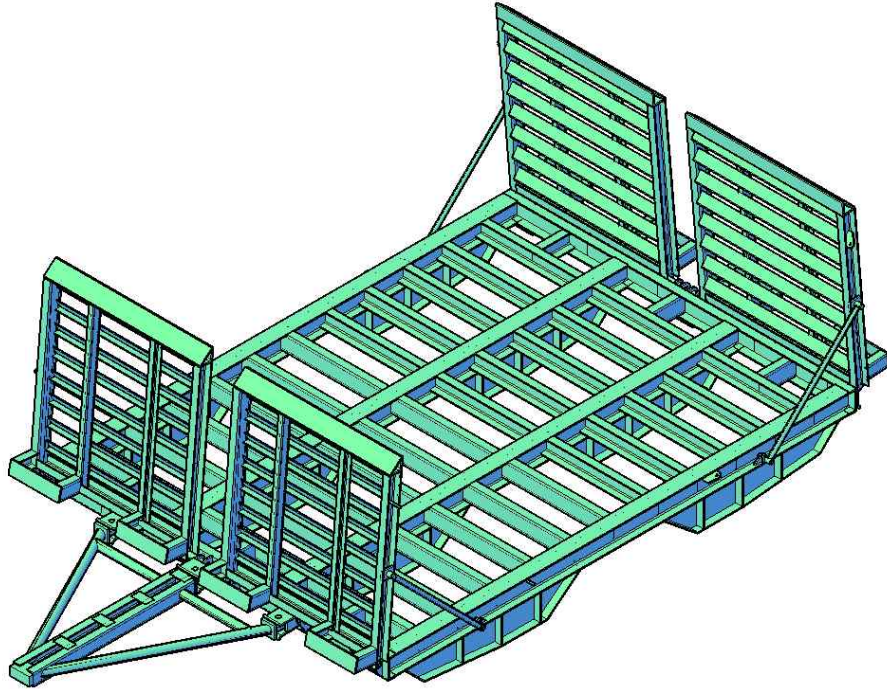


6. 모듈형 가설 교량 설치 해체

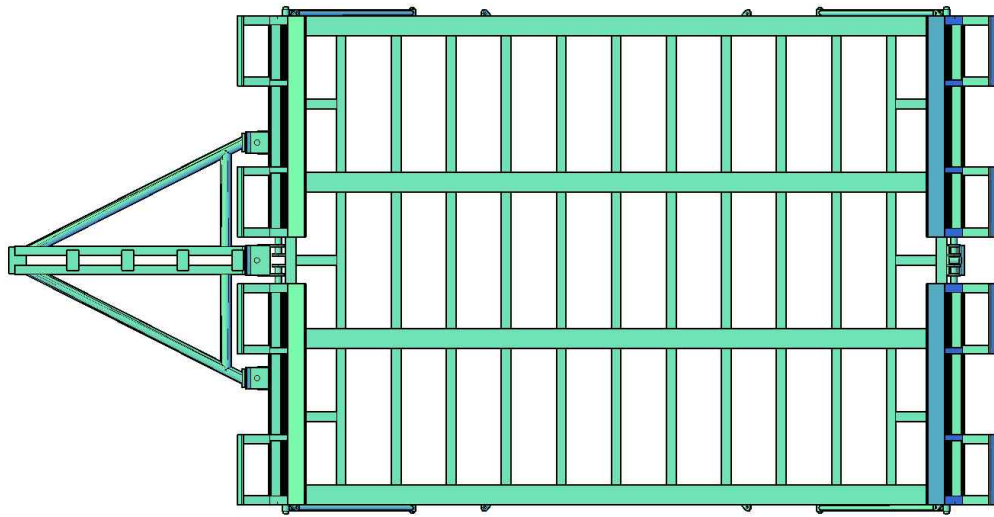
5. 모듈형 가설 교량 도면

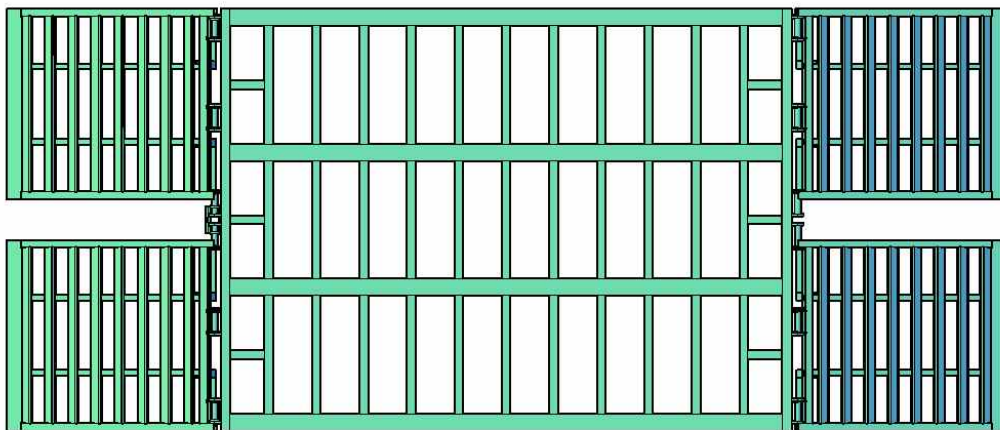
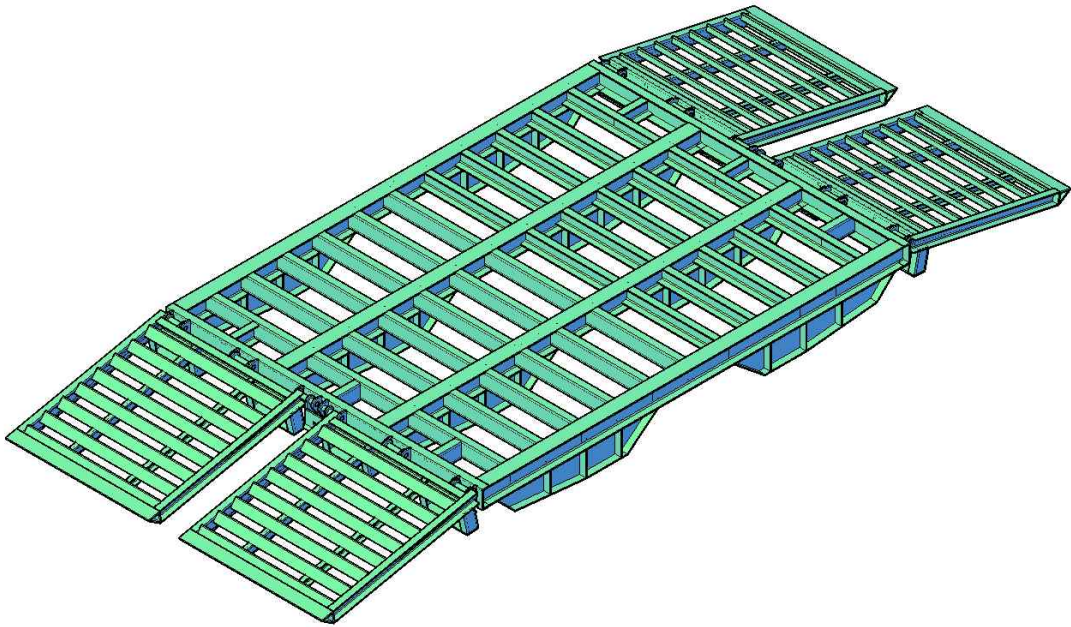
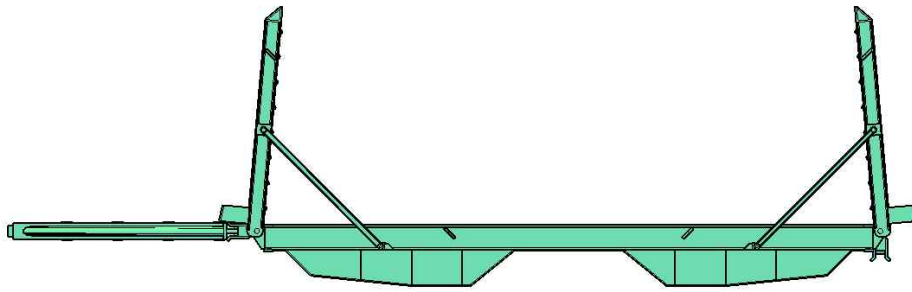


6. 모듈형 가설 교량 3d 모델링



KOPRI





7. 구조설계 및 해석

가. 구조해석 적용기준

- 도로교 설계기준
- AISC (Specification for structural steel buildings)

나. 사용강재 항복응력

[표 19 사용강재 항복응력]

Materials	대상	두께별 항복응력 σ_y (MPa)			
		$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 75$	$75 < t \leq 100$
SM490A	Girder beam을 비롯한 규격강재	325	315	295	295
Materials	대상	두께별 항복응력 σ_y (MPa)			
		$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 \leq t$	
SS400	소부재 plate	245	235	215	
Materials	대상	열처리별 항복응력 σ_y (MPa)			
		블립	폴립	담금질, 뜨임	
S45C	연결 pin	343	343	490	

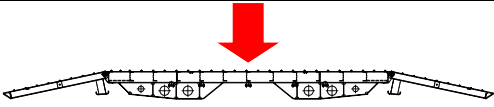
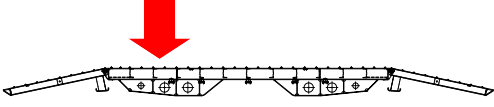
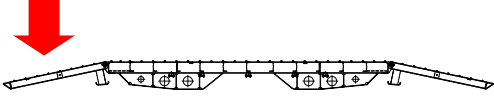
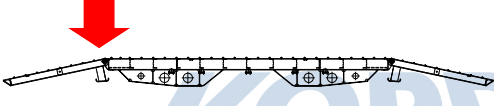
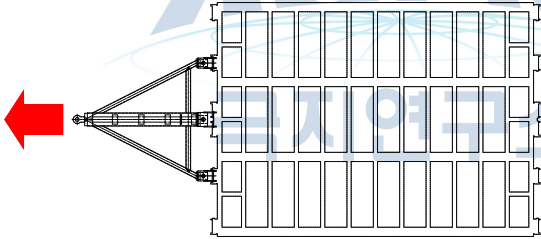
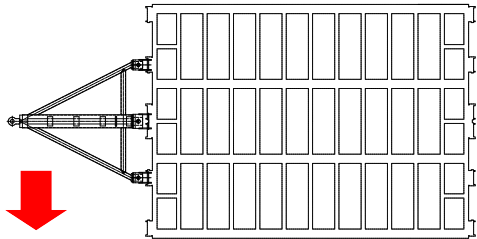
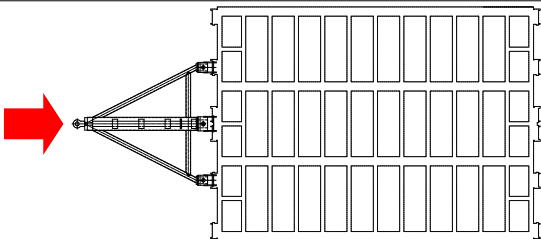
다. 입력하중

[표 20 입력하중]

Load	Description	Value	Dir.
DL	Dead load	Bridge Weight	Y
LL	Live Load (차량 하중)	max. 30 ton 적용	Y

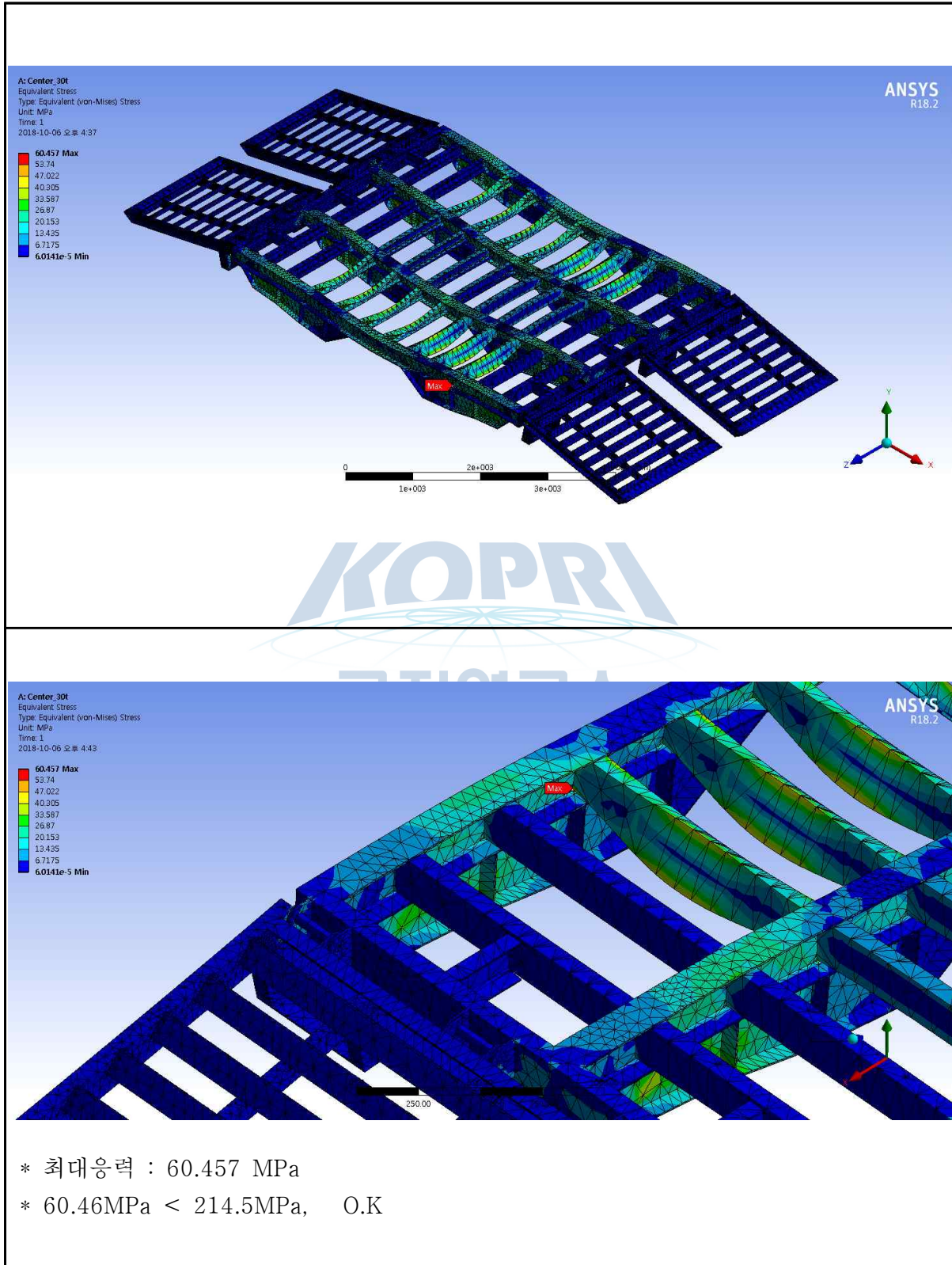
라. 하중조합

[표 21 하중조합]

구분	설명	사하중 DL	차량하중 LL
부하상태 A	 Girder 중앙 하중상태	1.0	1.0
부하상태 B	 Girder 측면 하중상태	1.0	1.0
부하상태 C	 등판블록 하중상태	1.0	1.0
부하상태 D	 pin 연결부 하중상태	1.0	1.0
부하상태 E	 견인시 (길이방향)	1.0	-
부하상태 F	 견인시 (법선방향)	1.0	-
부하상태 G	 설치시 (길이방향)	1.0	-

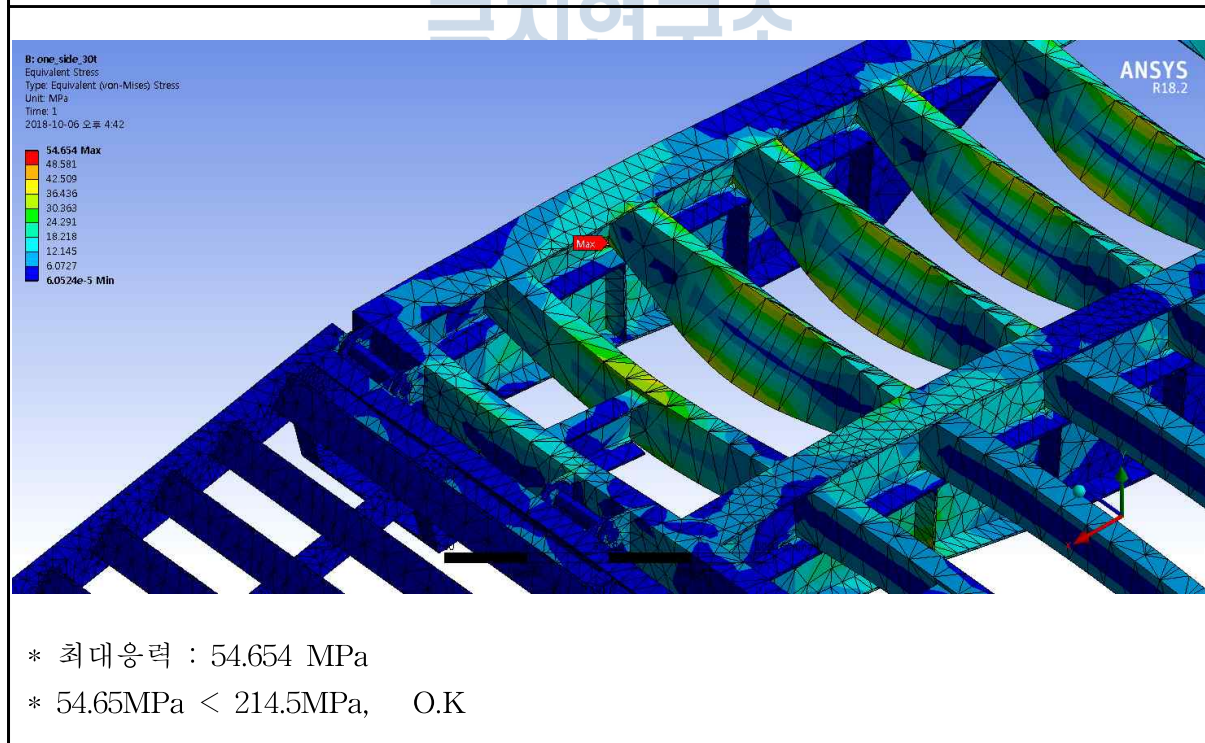
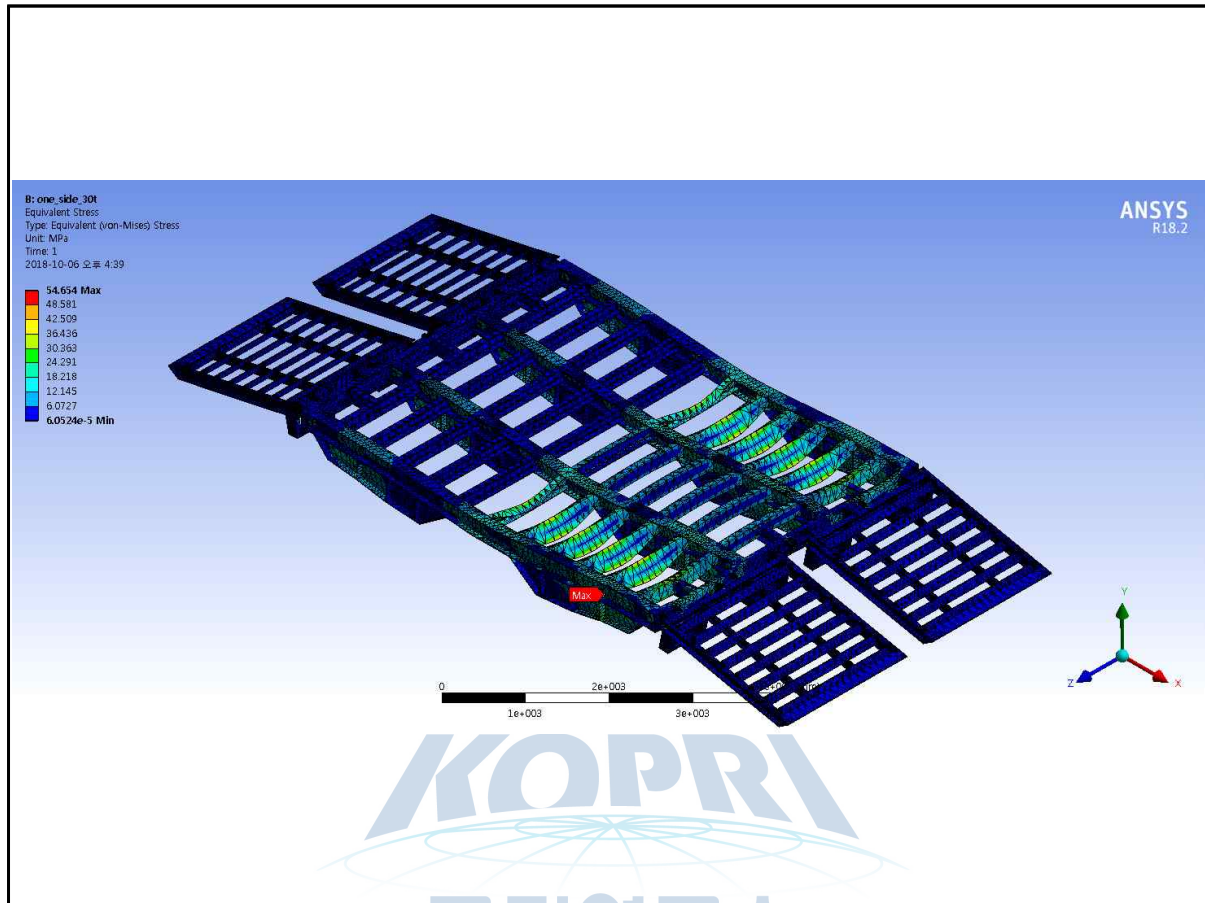
마. 구조해석 결과

1) 부하상태 A



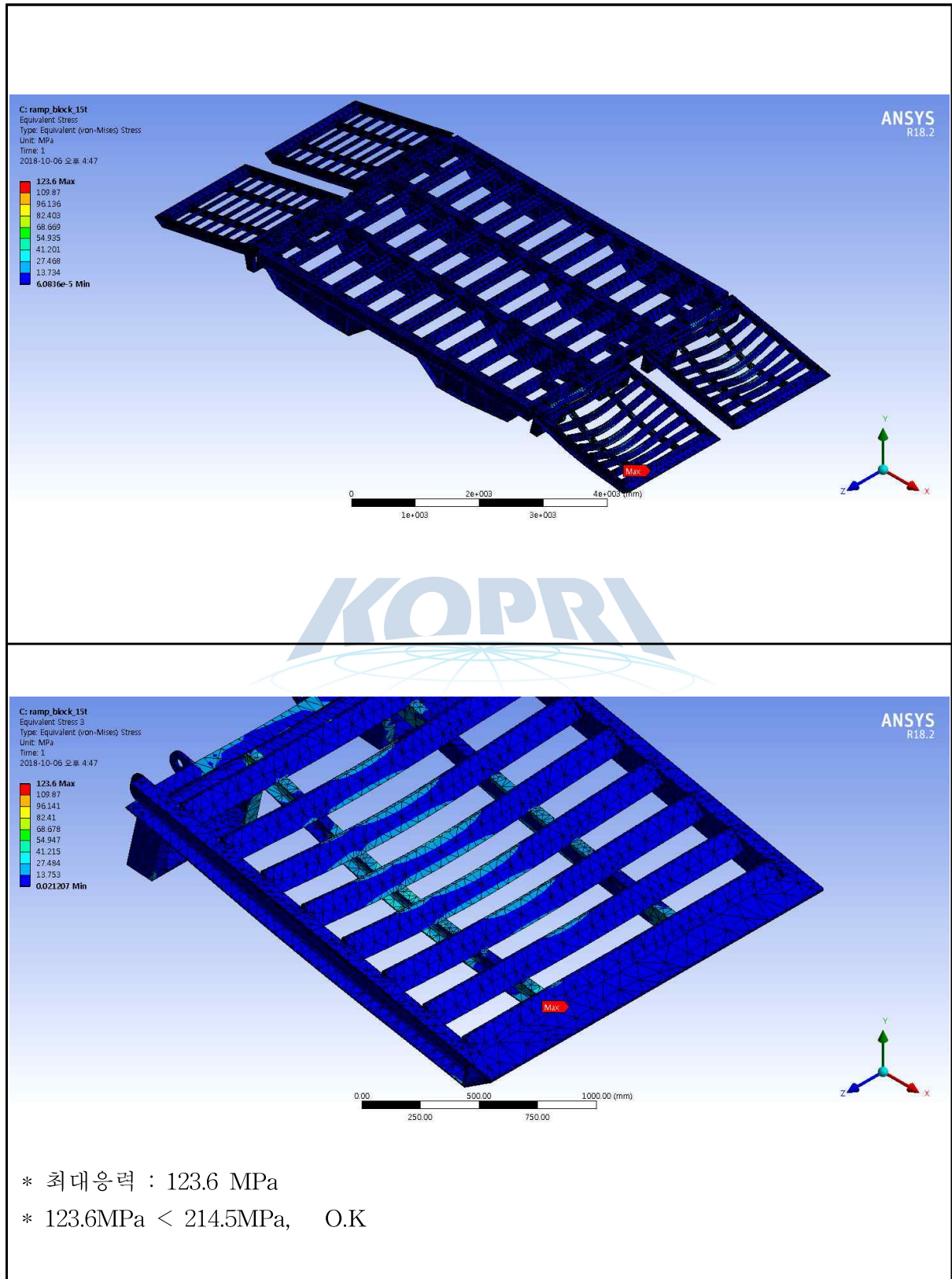
<Von-mises 응력분포도>

2) 부하상태 B



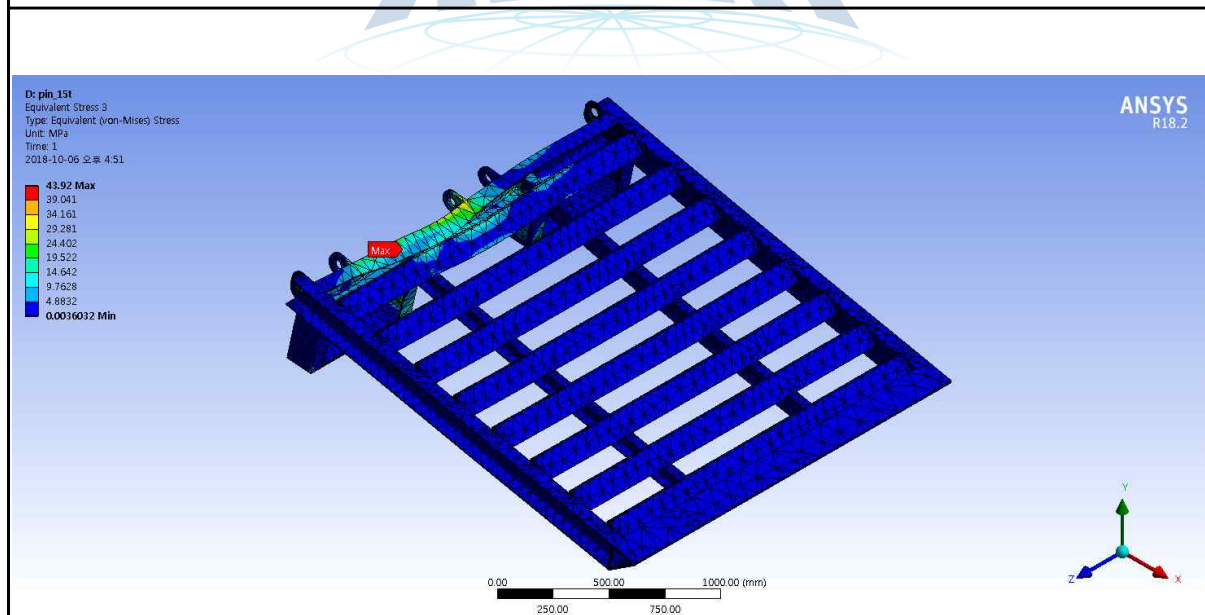
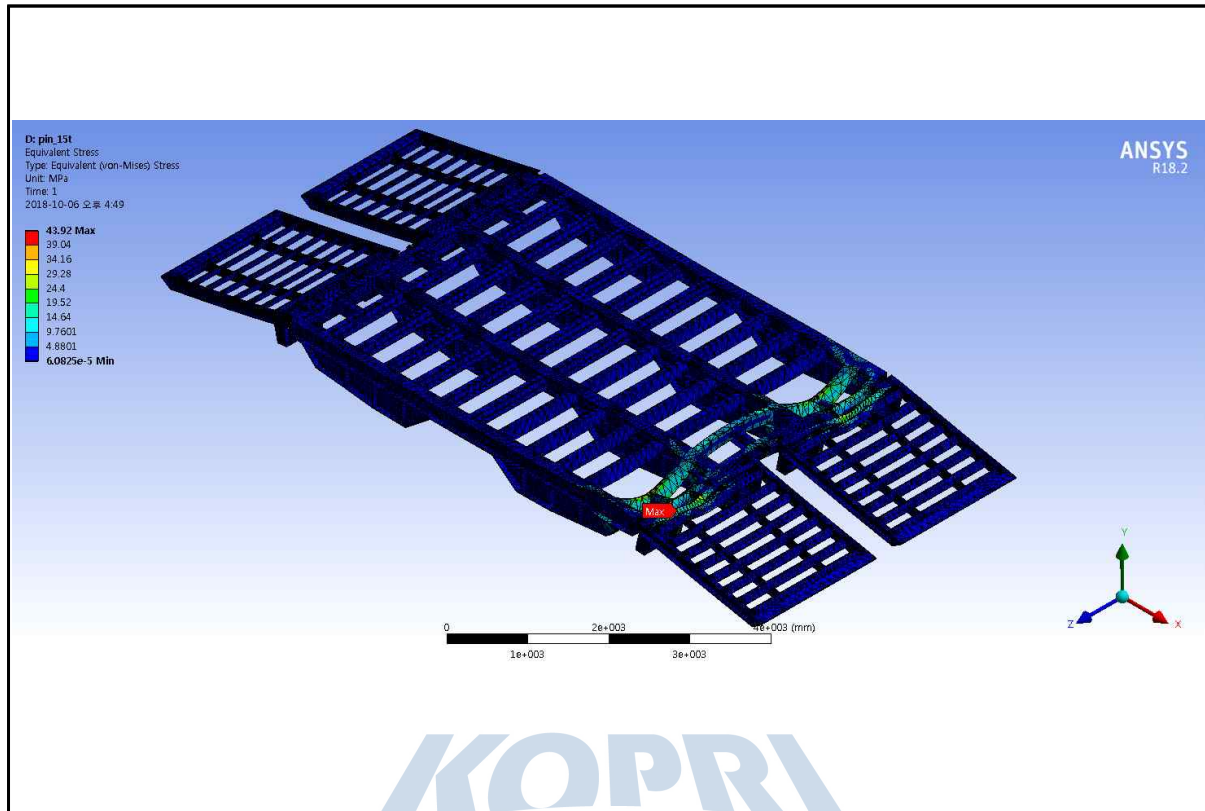
<Von-mises 응력분포도>

3) 부하상태 C



<Von-mises 응력분포도>

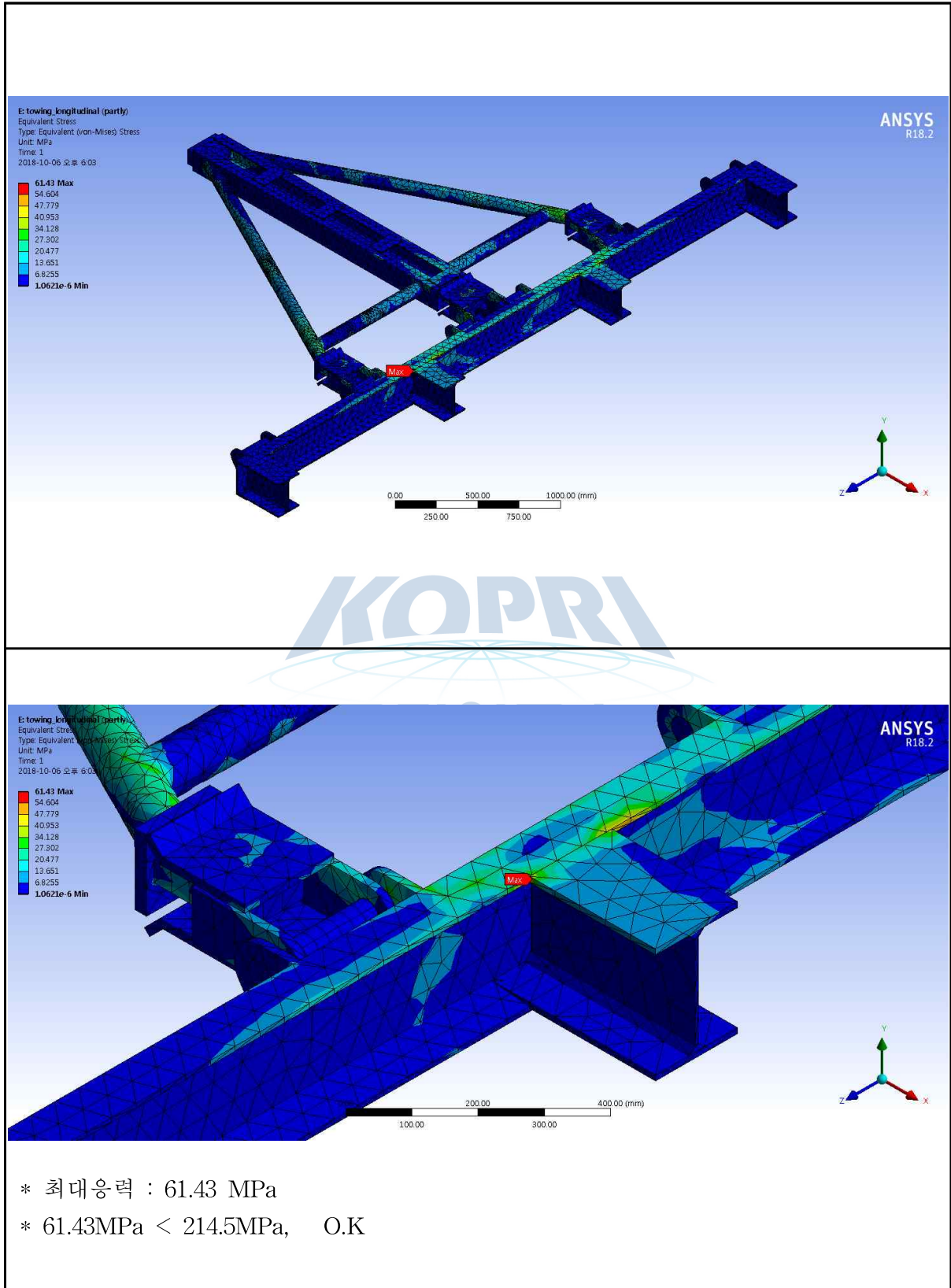
4) 부하상태 D



- * 최대응력 : 43.92 MPa
- * 43.92MPa < 161.7MPa, O.K

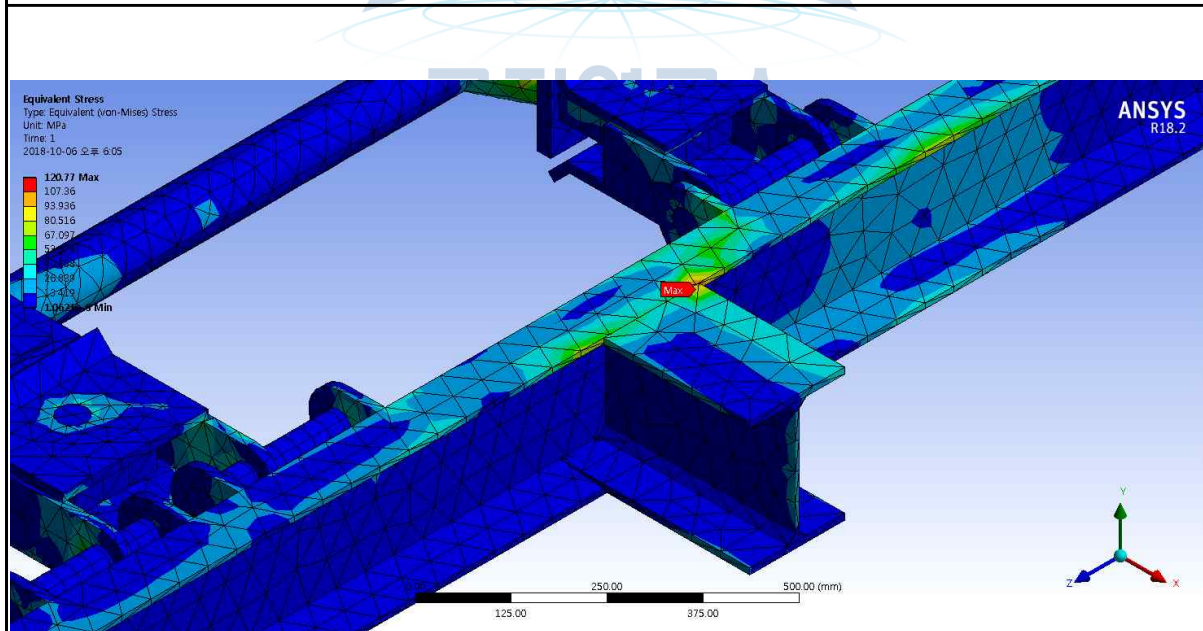
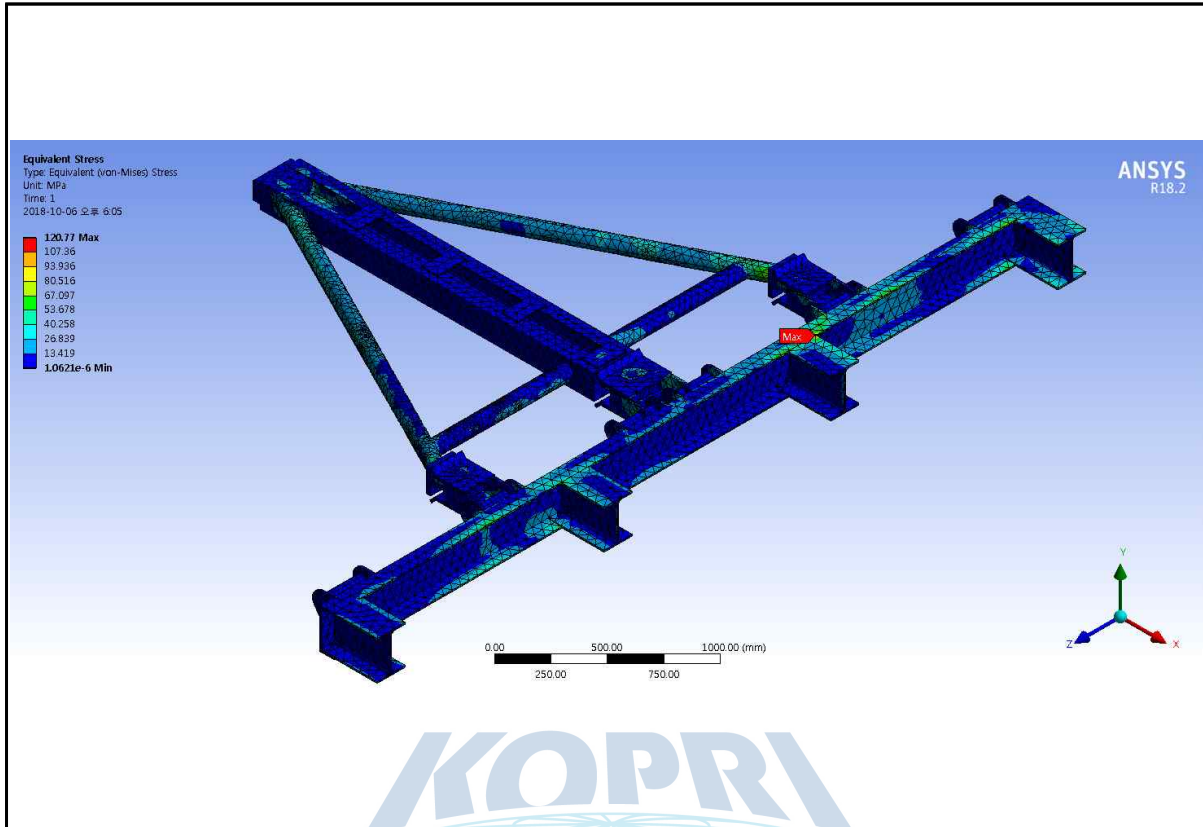
<Von-mises 응력분포도>

5) 부하상태 E



<Von-mises 응력분포도>

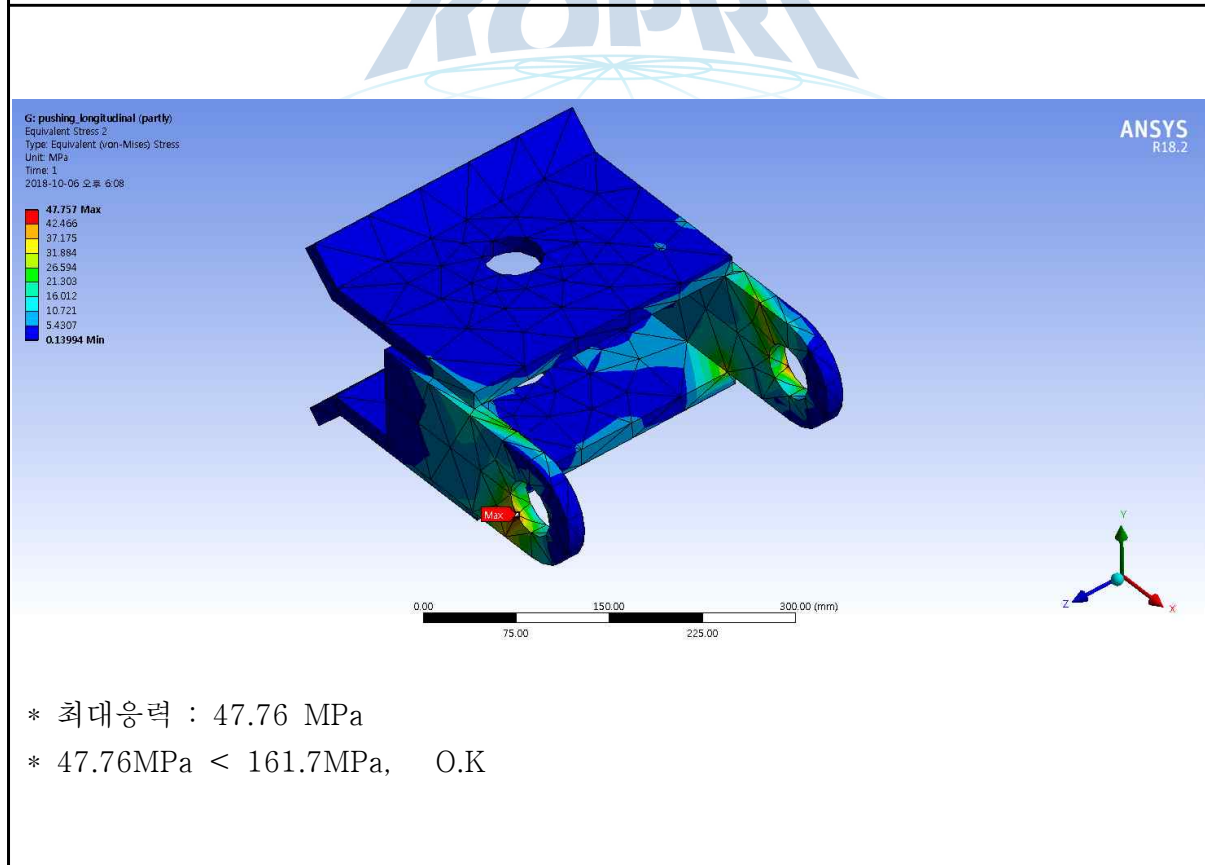
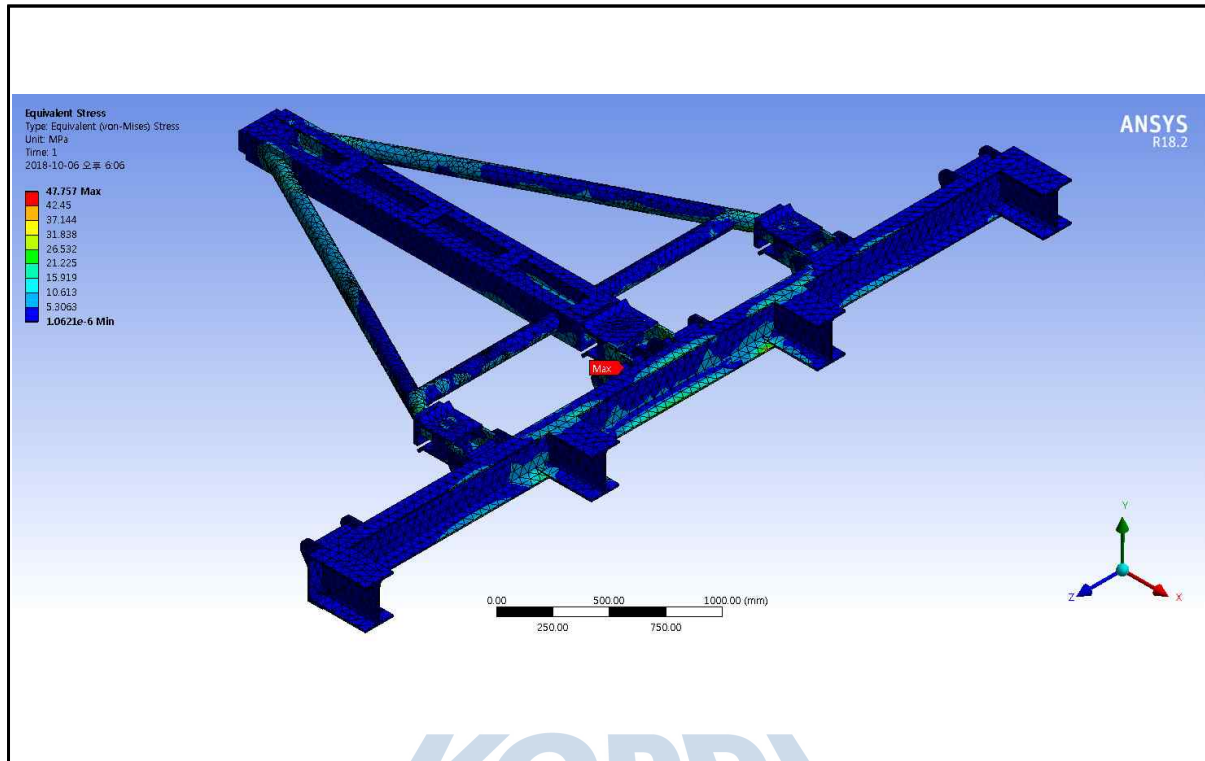
6) 부하상태 F



- * 최대응력 : 120.77 MPa
- * 120.77MPa < 214.5MPa, O.K

<Von-mises 응력분포도>

7) 부하상태 G



<Von-mises 응력분포도>

[표 22 부하상태별 최대응력]

구분	부하상태 A	부하상태 B	부하상태 C	부하상태 D	부하상태 E	부하상태 F	부하상태 G
Allowable Stress(MPa)	214.5	214.5	214.5	161.7	214.5	214.5	161.7
Maximum Stress(MPa)	60.46	54.65	123.60	43.92	61.43	120.77	47.76
	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!

[표 23 부하상태별 최대 변위]

구분	부하상태 A	부하상태 B	부하상태 C	부하상태 D	부하상태 E	부하상태 F	부하상태 G
발생 변위 (mm)	1.85	1.33	1.06	0.39	5.63	5.25	4.06
	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!	∴ O.K!

8) Hinge Pin 강도검토

① Pin : 지름 = 5cm, 길이 = 11cm

② 작용 하중 : PL = 7,500kg

③ Section Modules : Zx

$$\pi \times d^3 / 32 = \pi \times 5^3 / 32 = 12.3 \text{cm}^3$$

④ Bending Moment : Mb

$$\begin{aligned} M_b &= P_L \times L / 4 \\ &= \frac{7500 \text{kg} \times 11 \text{cm}}{4} \\ &= 20625 \text{kg} - \text{cm} \end{aligned}$$

⑤ Bending Stress : Ob

$$\begin{aligned} \sigma_b &= M_b / Z_z = 20625 \text{kg} - \text{cm} / 12.3 \text{cm}^3 \\ &= 1676.8 \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

⑥ Allowable Stress : oa = 3500 kgf/cm²

⑦ Safety Factor : Sf

Sf = oa / ob --- 반드시 1 이상이어야 함.


$$\begin{aligned} S_f &= \sigma_a > \sigma_b = (3200 \times 0.6) / 1676.8 \\ &= 1.3 > 1 \text{----- Satisfaction} \end{aligned}$$

제 3 절 가설교량 장비 시작품 제작





1. Main 모듈 제작

작업 내용	대상 사진	
<ul style="list-style-type: none"> ● 소재 구매 - SM490 - SM400B - SS400 - 기타 	 <p data-bbox="730 689 855 725">[H-형강]</p>	 <p data-bbox="1182 696 1313 732">[원형강]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 부속자재 가공 - Stiffener - Lug - Pin 	 <p data-bbox="722 956 863 992">[Stiffener]</p>	 <p data-bbox="1158 956 1337 992">[Lug & Pin]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Main 모듈 - H-빔 취부 - Lug 취부 - 하부 구조 취부 	 <p data-bbox="671 1249 912 1285">[Main 모듈 취부]</p>	 <p data-bbox="1074 1249 1422 1285">[Lug 및 하부 구조 취부]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 썰매 부분 조립 - 고무 튜브 조립 - 고무 판 조립 		
<ul style="list-style-type: none"> ● Main 모듈 완성 - 강제 조립 완료 - 페인트 완료 - 하부 썰매 조립 완료 ※ Ramp 조립시 모서리에 홀을 가공하여 홀 수량에 따라 위치 확인 		



2. Ramp 모듈 제작

작업내용	대상사진	
<ul style="list-style-type: none"> ● 부속자재 가공 <ul style="list-style-type: none"> - Girder - Plate - 기타 	 <p style="text-align: center;">[Girder]</p>	 <p style="text-align: center;">[Lug & Pin]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Main 모듈 <ul style="list-style-type: none"> - H-빔 취부 - Lug 취부 - 하부 구조 취부 	 <p style="text-align: center;">[모듈 취부]</p>	 <p style="text-align: center;">[Lug 제작]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Ramp 모듈 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 강재 조립 완료 - 페인트 완료 ※ 각 위치별 구멍 홀을 가공하여 위치 표기 	 <p style="text-align: center;">[페인트 완료]</p>	 <p style="text-align: center;">[시운전 후 보강 완료]</p>

가. 튜브 모듈 제작

작업내용	대상사진	
<ul style="list-style-type: none"> ● 부속자재 <ul style="list-style-type: none"> - 하이팔론 - 고무판 - 기타 	 <p style="text-align: center;">[하이팔론 고무튜브]</p>	 <p style="text-align: center;">[고무판 및 보온재]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 튜브 모듈 조립 <ul style="list-style-type: none"> - 튜브 보온재 시공 - 튜브 장착 후 고무판 시공 	 <p style="text-align: center;">[고무판 조립]</p>	 <p style="text-align: center;">[고무판 조립 완료]</p>

3. 견인 모듈 제작

작업 내용	대상 사진
<ul style="list-style-type: none"> ● 견인장치 취부 <ul style="list-style-type: none"> - C-형강 - 파이프 - 견인 고리 	 <p>[견인장치 취부]</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 견인장치 제작 완료 <ul style="list-style-type: none"> - 크레바스 통과 보조 장치 추가 장착 - 무게중심을 위한 Lug 부착 	 <p>[견인장치 제작 완료]</p>

제 4 절 가설교량 장비 시작품 성능평가

1. 성능평가 방법론 설정

○ 모듈러 가설교량의 성능평가는 크게 설치 시험과 통과하중 재하시험을 수행함.

가. 설치 시험

1) 시나리오: K-Route 탐사 도중 4m 이하의 크레바스에 직면하게 됨에 따라, 탐사선단의 설상차에 견인하고 있는 모듈러 가설교량을 설치하여 탐사선단 차량 및 장비가 크레바스를 통과하도록 함.

2) 시험 방법

- K-Route 탐사 선단에서 사용하는 유사한 장비(견인차)로 모듈러 가설교량을 견인함.
- 사전에 설치된 폭 3~4m, 깊이 1~2m의 도랑을 크레바스로 상정하고, 이를 통과하기 위해 모듈러 가설교량을 설치함.
- 재하 차량이 통과 후 다시 모듈러 가설교량을 해제하고 설치의 역순으로 견인차에 연결함.

※ 설치시험은 K-Route 사업단이 참관하여 모듈러 가설교량의 설치 방법 및 순서에 대해

사전 습득하도록 함.

나. 통과하중 재하시험

- 1) 시나리오: 크레바스 상에 설치된 모듈러 가설교량이 K-Route 탐사선단 차량 및 장비의 통과 하중과 동등한 수준의 이동하중을 지지함
- 2) 시험 방법
 - 사전에 시공된 폭 3~4m, 깊이 1~2m의 도랑을 크레바스로 상징하고, 이를 통과하기 위해 모듈러 가설교량을 설치함
 - ※ 상기 설치 시험과 연계하여 수행
 - 30톤($\pm 10\%$)의 하중을 가진 차량이 모듈러 가설교량을 5회 통과함
 - 통과 시, 구조물의 하중 집중부를 중심으로 구조적 안전성을 검사함

2. 사전준비

가. 시험 장소 선정

- 시작품의 남극으로 이송 시점 이전, 국내에서 K-Route 탐사사업과 유사환경을 찾는 것은 불가능하기 때문에, 가능한 자연적 지형 상에서 모듈러 가설교량을 견인하면서 설치 시험이 가능한(예: 모래바닥 또는 부드러운 흙바닥 등) 장소를 선정함

나. 시험장비 준비

- 1) 굴삭기 : 바닥 고르기, 크레바스 파기
- 2) 견인장비(K-Route 장비와 유사한 급)도 필요한지 검토
- 3) 하중 장비 : 30톤 급 중장비 (캐터필러 장착 차량)
- 4) 컴프레셔 : 고무튜브 공기주입용
- 5) 시작품 수송 : 교량 수송을 위한 특수 트레일러

다. 시험요원 교육

- 1) 설치 인력 3인에 대한 사전 교육 수행
- 2) 안전교육 : 깃발, 호루라기, 비상 시 대처방안 마련

3. 시험 일정 및 계획

가. 1일차

- 1) 현장 점검 (이동 동선, 안전 확보, 바닥상태 등)
- 2) 오후에 교량 제작 완료한 후, 현장으로 이송

- : 대형화물 이송 방안 확인
- : 12일 오전(09:00 이전) 현장에 시작품 도착 요청
- 3) 하부(썰매)구조물은 당일 오후 현장으로 이송
- : 12일 오전 현장에 시작품 도착 요청

나. 2일차 오전

- 1) 교량 및 튜브 시작품 도착
- : 이송차량 대기(시연 종료 후 운송)
- 2) 중장비(포크레인, 하중장비) 집결, 고랑(크레바스) 파기, 인력 교육
- 3) 교량 구축 & 철거 예행연습
- 4) 하중장비 통행 예행연습
- 5) 하부(썰매)구조물 공기 주입&배출 예행연습

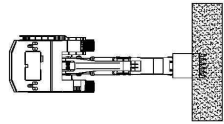
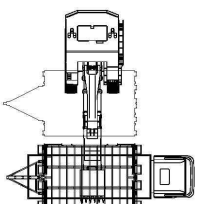
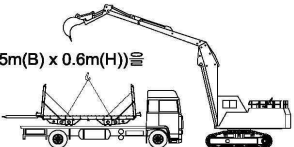
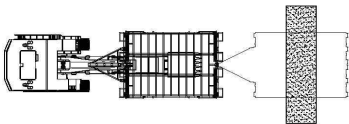

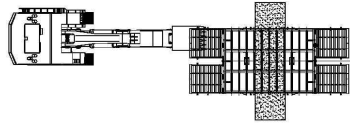
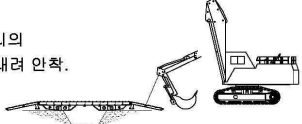
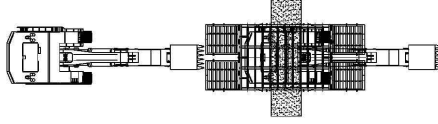
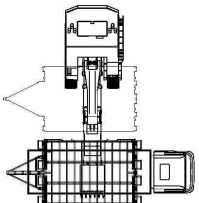
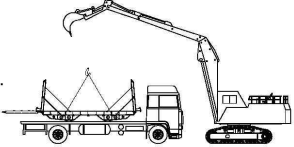
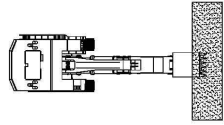
다. 2일차 오후

- 1) 관계자 집결 (철도연 연구진, 극지연 K-Route 사업단 등)
- 2) 교량 구축 & 철거 Demo
- 3) 하중 장비 통행 Demo
- 4) 하부(썰매)구조물 공기 주입&배출 Demo
- 5) 시험 완료 후, 장비는 다시 제작 공장으로 이송
- : 시작품(교량 및 튜브) 공장 도착 요청 시간 협의

4. 성능평가 시험 절차

- 가. 도랑(크레바스) 앞에서 트랙터와 모듈러 교량 연결
- 나. 트랙터가 180회전하여 모듈러 교량이 도랑 쪽으로 향하도록 위치
- 다. 트랙터 크레인과 모듈러 교량의 끝단(램프 끝단) 간 케이블 연결
- 라. 트랙터가 모듈러 교량을 밀어서 도랑 위에 교량 안착
- 마. 교량 램프 고정장치 해제
- 바. 인력으로 크레바스 쪽의 모듈러 교량 램프(좌우) 내림
- 사. 크레인과 A형 견인장치에 케이블 연결
- 아. A형 견인장치 핀을 뽑아 견인장치 분리
- 자. 인력으로 트랙트 쪽의 램프(좌우) 내림
- 차. 하중장비로 교량 통과 (1방향으로만 통과)
- 카. 통과 후, 모듈러 교량 반대편에 A형 견인장치 장착

타. 크레인으로 양방향 램프(4개)를 잡고, 램프 고정장치로 고정
 파. 견인장치를 트랙터와 연결하고 이동

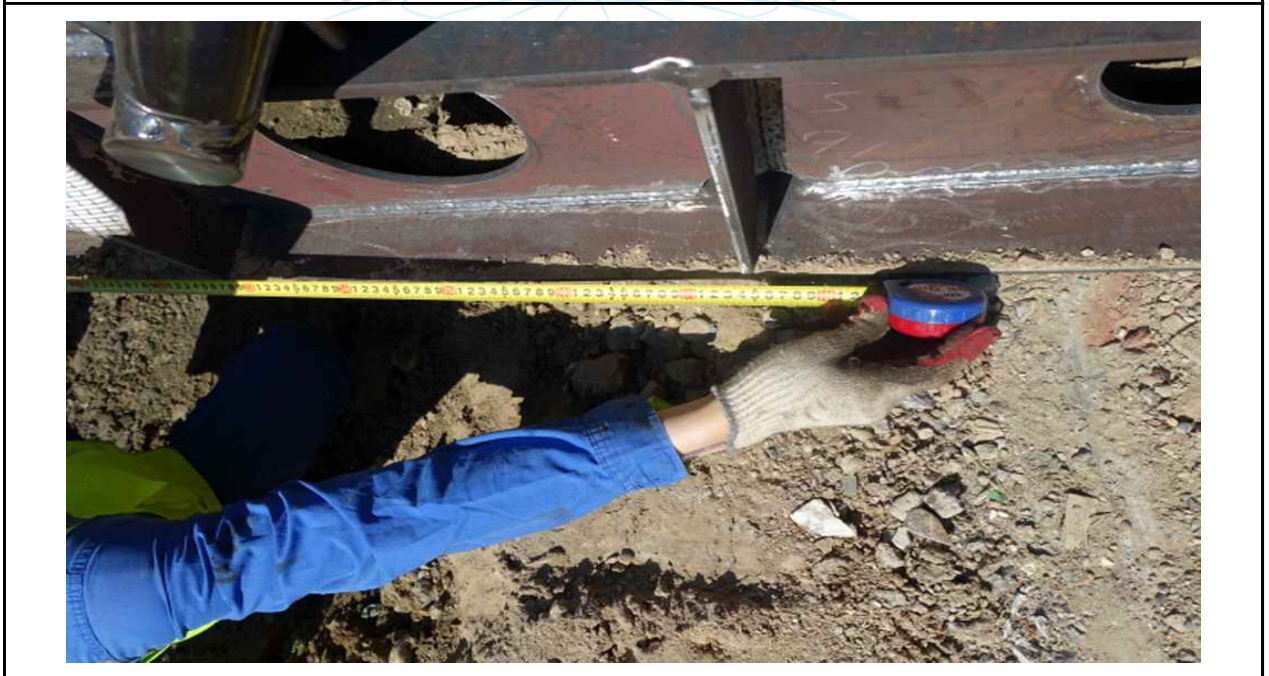
	<p>1. 2,000(W) x 8,000(B) x 1,000(H) 도랑 작업.</p>
	<p>2. 가설교량 (6m(W) x 4.5m(B) x 0.6m(H))을 트레일러로부터 하차.</p> 
	<p>3. 가설교량의 상부를 후크로 건 채로, 장방향으로 밀어서, 도랑을 도하한 뒤 안착.</p> 
	<p>4. 가설교량의 네 모서리의 '등판블록'을 하나씩 내려 안착.</p> 
	<p>5. 30톤 굴삭기가 교량을 느린 속도로, 수 차례 왕복통과하며 테스트</p>
	<p>6. 설치의 역순으로 다시 트레일러로 상차.</p> 
	<p>7. 테스트 부지를 매립, 원상복귀 후 종료.</p>

<성능평가 시험 절차>

5. 모듈식 가설교량 시작용 성능평가 결과



시운전을 위한 굴착 작업



시운전을 위한 굴착 작업 (가로: 3.7m X 세로: 6m)



가설교량 설치를 위한 견인장치 설치



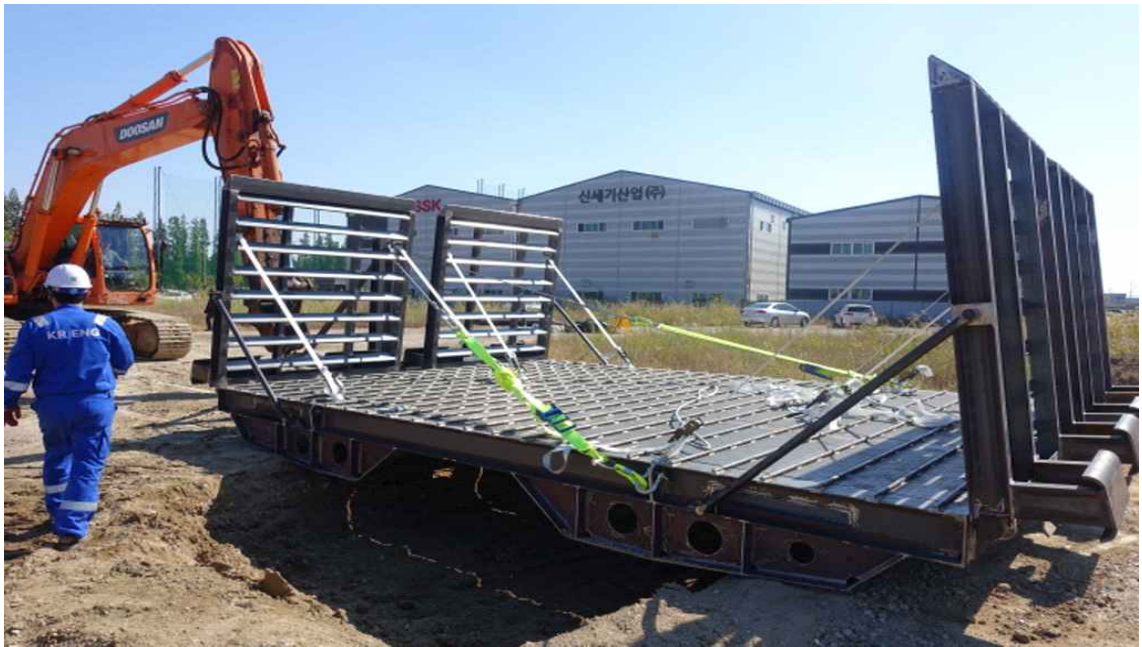
시운전을 위한 견인 장치 연결 완료



가설교량 설치를 위해 굴삭기에 연결하여 견인



가설교량 설치를 위한 크레바스 도하 중



가설교량 크레바스 도하 완료



RMAP 모듈 하강



30TON 굴삭기 교량 위 도하 중



크레마스 위 교량 설치 완료 후 2회 왕복 시운전 완료

6. 모듈식 가설교량 시작품 비파괴 검사



시운전 완료 후 가설교량 비파괴 검사 (RAMP 모듈 연결부)



시운전 완료 후 가설교량 비파괴 검사 (RAMP 모듈 연결부)



시운전 완료 후 가설교량 비파괴 검사 (MAIN 모듈 하부)



가설교량 비파괴 검사 및 보강 완료 (MAIN 모듈 하부)

7. 모듈식 가설교량 시작품 아라운호 선적



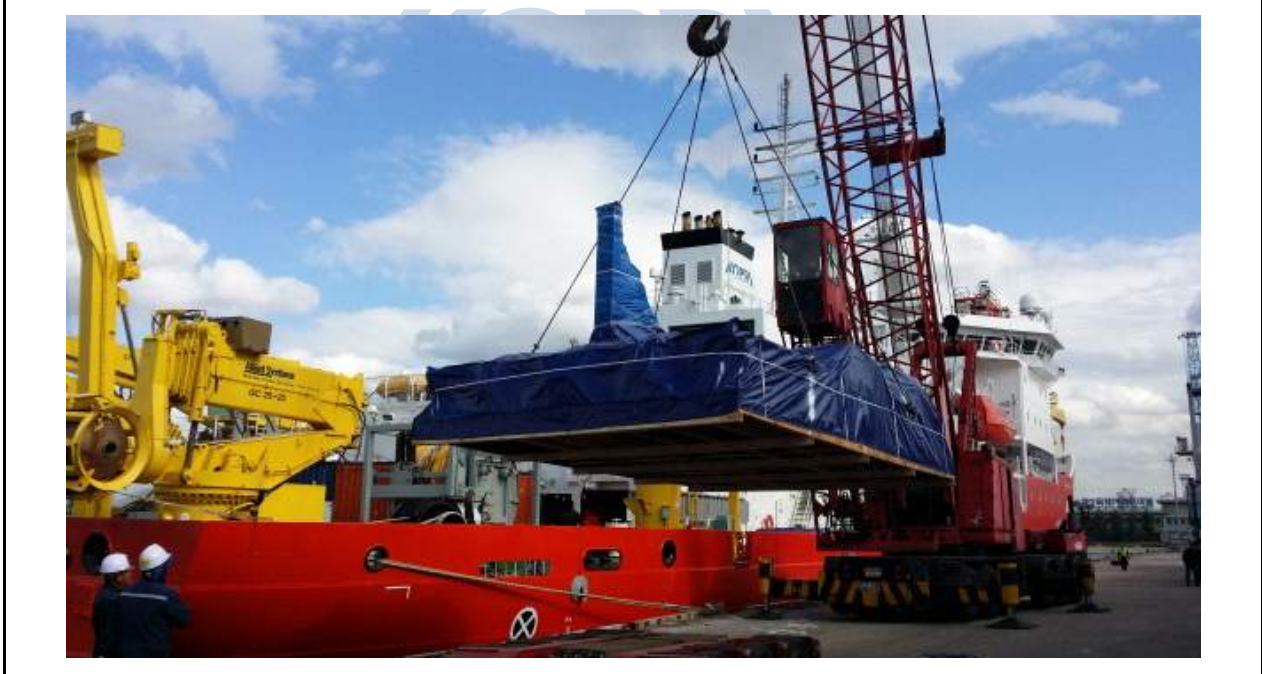
모듈식 가설교량 도색 및 포장



모듈식 가설교량 도색 및 포장

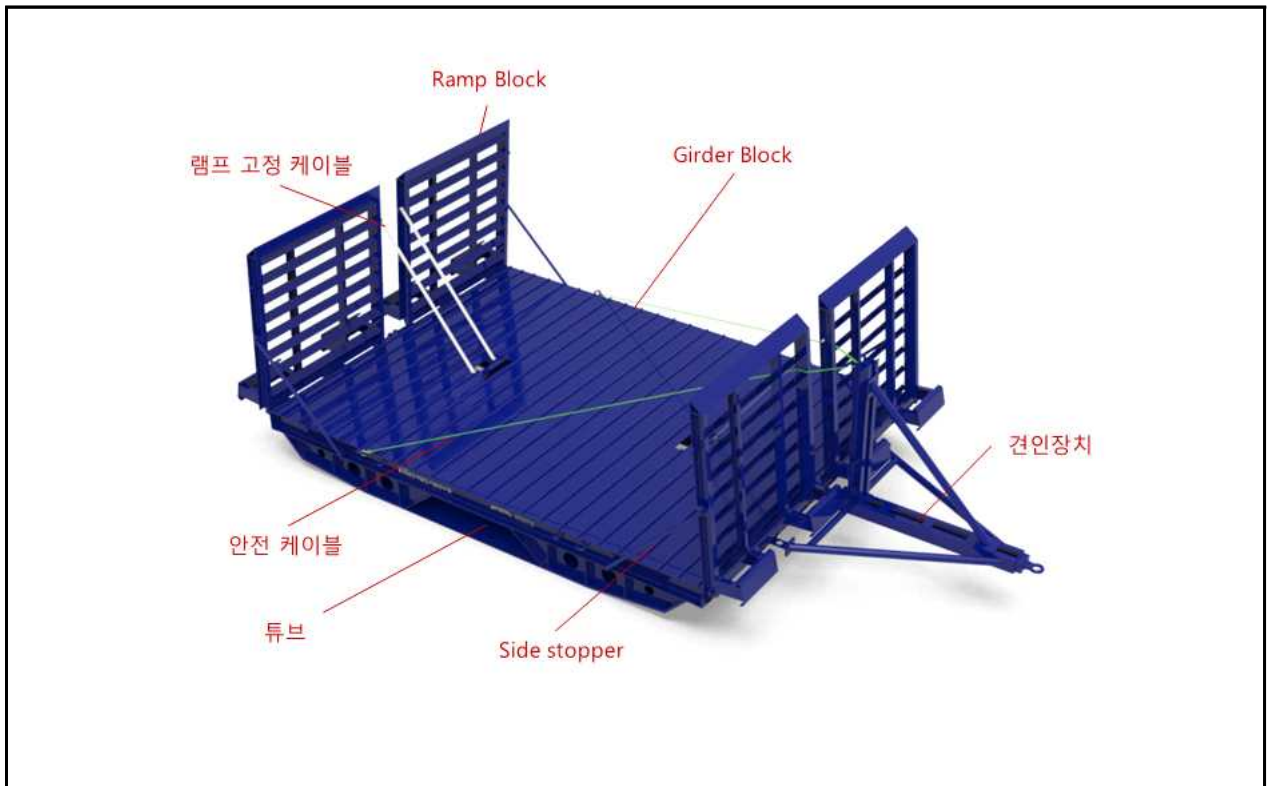


모듈식 가설교량 아라운호 선적



모듈식 가설교량 아라운호 선적 완료

제 5 절 모듈식 가설 교량 남극 K-ROUTE 설치 메뉴얼



모듈식 가설교량 구성도



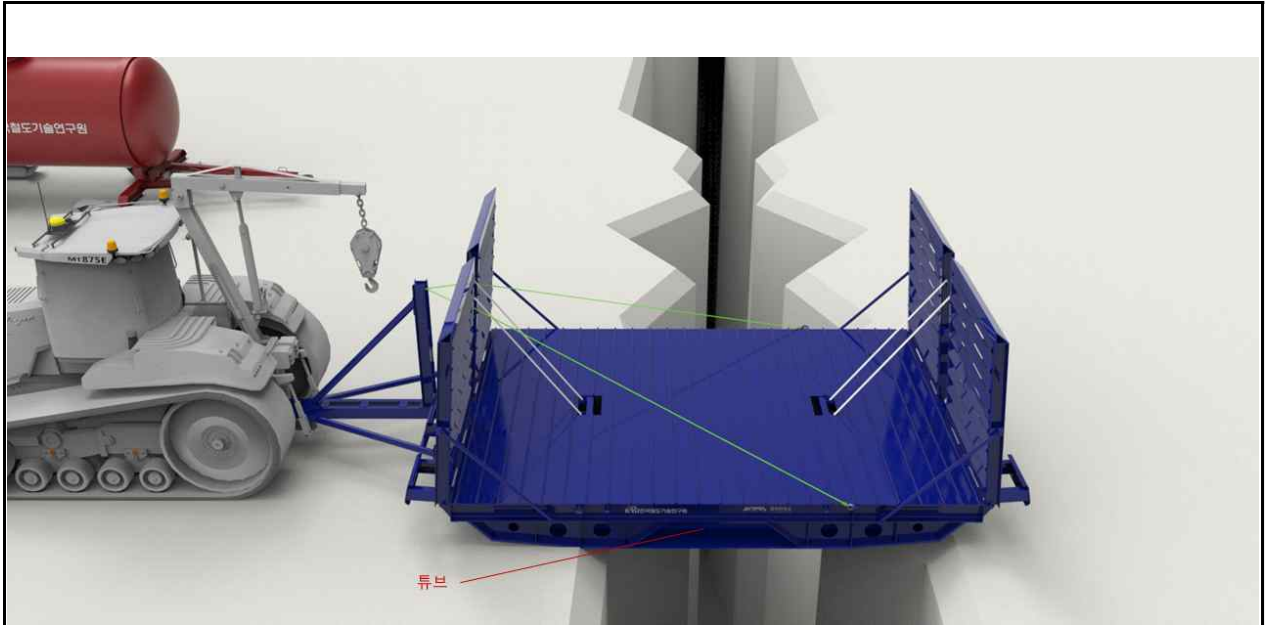
탐사 선단 이동중 크레마스 발견



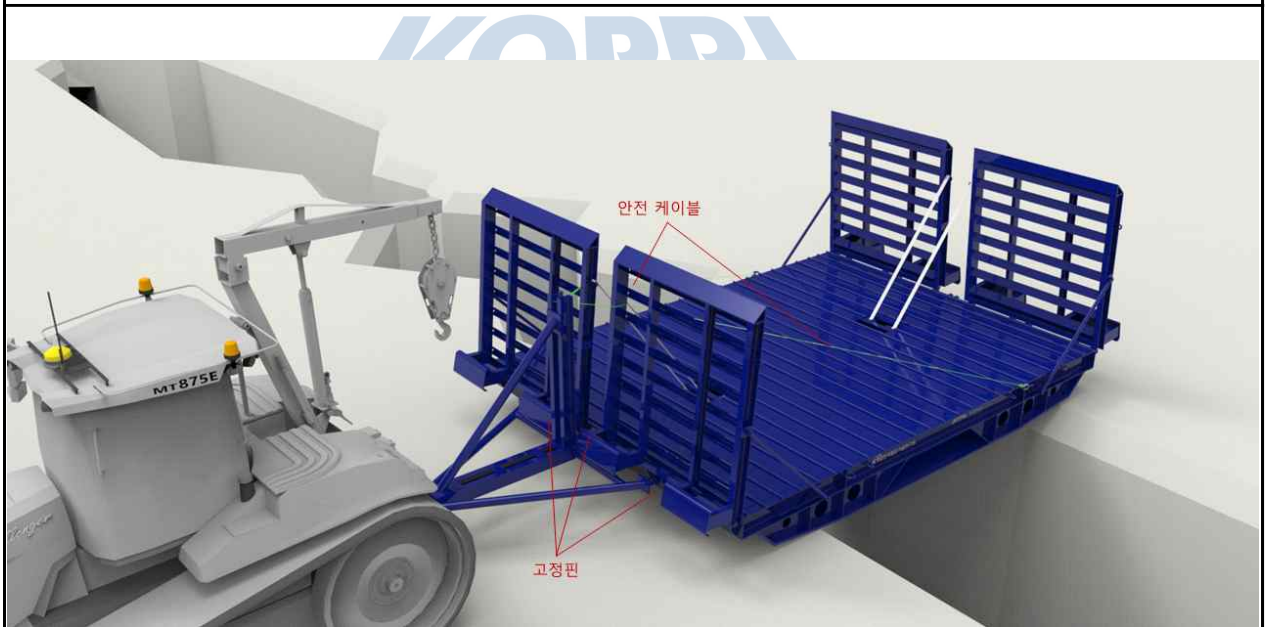
모듈러 교량과 수송 썰매차를 분리하고, 모듈러 교량을 크레바스 쪽으로 위치
 크레바스 노출 폭이 3m 이상인 경우 안전 케이블 연결 필요
 (메인 교량의 길이가 6m로, 크레바스 폭이 3m 이상일 경우 무게중심이 지면을
 벗어나기때문에 안전 케이블 연결 필요)



트랙터를 후진하여 모듈러 교량을 크레바스 건너편으로 안착



모듈러 교량 튜브의 공기압을 조정하여 크레마스 위에 안착



모듈러 교량 견인장치 제거
- 고정핀 3개 및 안전 케이블 제거



모듈러 교량 견인 장치 제거
 - 트랙터 크레인을 견인장치 고리에 연결하고 견인장치와 교량 분리



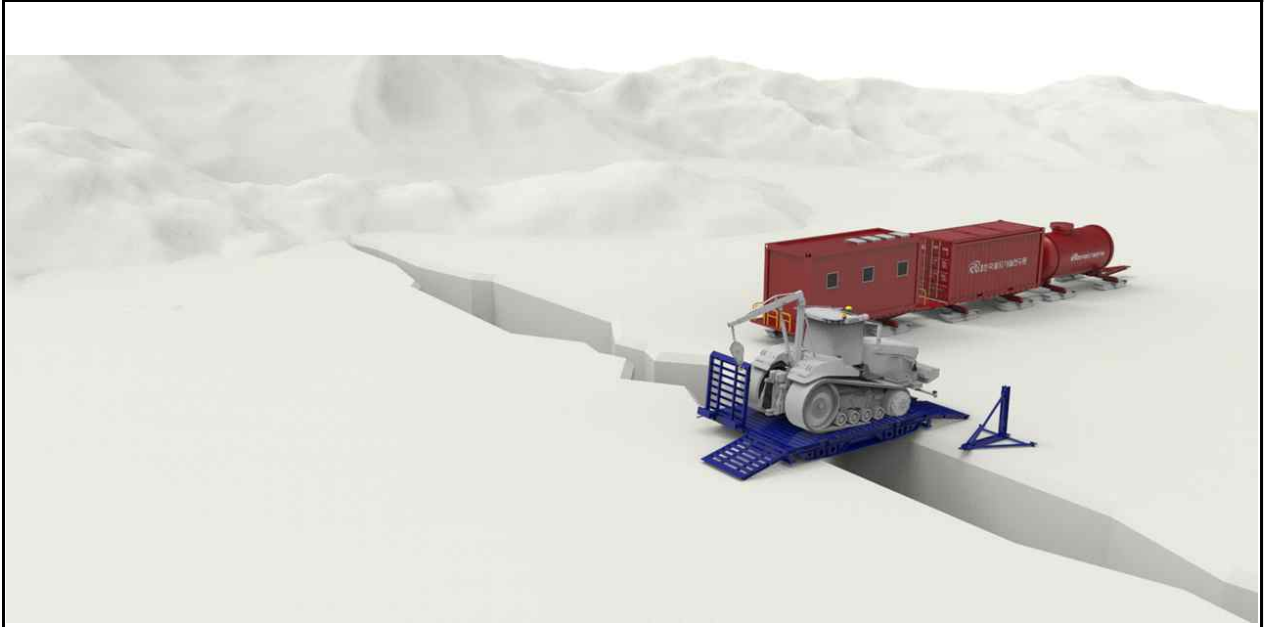
램프 고정 케이블 및 side stopper 제거 후 램프 내림



램프 고정 케이블 및 side stopper 제거 후 램프 내림



탐사 선단을 트랙터로 견인하여 크레바스 통과



모든 차량 통과 후 역순으로 램프 접이 진행 및 튜브 공기압 조절



견인 장치 연결



견인 장치 연결



견인 장치 연결



이동



제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

○ 연구개발목표 및 달성도

세부목표	연구내용	연구결과	달성도
가설교량 장비의 기능 및 성능사양 분석	남극 K-Route 운용환경 분석	- 가설 교량 사용을 위한 남극 운용 환경 분석	100%
	남극 K-Route 탐사선단의 구성 및 최대 통과하중, 장비의 사이즈, 최대중량 등 제원 분석	- 가설 교량 사양 선정을 위한 남극 K-Route 탐사선단 구성 및 차량 제원 등 분석	
	특수환경에서의 수송/보관 환경 및 요구조건 분석	- 요구조건 분석 완료 및 가설교량 사양 선정	
가설교량 장비 설계 및 컴퓨터 시뮬레이션	기본 성능사양 충족을 위한 구조재 재질(철재, 알루미늄, 또는 복합재) 분석	- 남극 운용환경에 적합한 가설교량 형식 및 재질 선정	100%
	극저온에서 부재의 내구성 저하 여부 분석 (필요시 설계 반영)	- 가설교량 재질 분석	
	컴퓨터 시뮬레이션을 통한 실험실 성능 검증	- 가설교량 상세설계 및 구조해석	
가설교량 장비 시제품 제작	금형 및 지그 설계, 제작	- 금형 및 지그 제작	100%
	시제품 제작	- 가설교량 장비 시제품 제작	
가설교량 장비 시제품 성능평가	가설교량 장비 성능평가 척도 및 프로토콜 설정	- 성능평가 방법론 설정 - 성능시험 계획수립 (장소선정, 장비섭외, 시험 요원, 안전대비 등)	100%
	성능검증 시험 수행	- 성능평가 시험 수행 - 성능평가 데이터 분석 및 결과 도출	

○ 본 연구개발을 통해 K-Route 사업 및 남극 내륙 탐사 연구 활동을 위한 가설교량 기술을 독자적으로 개발하여 남극 물류기술 분야의 국가위상을 제고하고, 나아가 재난·재해로 인한 교량/도로 파손, 전후 복구, 공사구간 등의 국내 환경에 적용 가능한 가설교량 기술 확보에 기여하였음

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 남극형 모듈러 브릿지 시작품은 남극현장으로 이송되어 시험운영을 거친 뒤 차년도 K-Route 탐사 재개 시 실제 현장에 투입될 예정이다. 본 장비는 국내에서 처음으로 개발한 크레바스 통과용 장비로서, 시험운영 시 나타날 수 있는 문제점과 한계에 대해 지속적인 성능개선과 사용성 개선을 통해 완성도를 높여 나갈 필요가 있다. 결론적으로, 본 연구에서 개발한 남극형 모듈러 브릿지는 해외에서 사례를 찾아 볼 수 없는 독창적 설계로서, 우리나라에서 개발한 장비로 과학경쟁의 최전방인 극지를 개척한다는 데 큰 의의를 찾을 수 있을 것이다.



제 6 장 참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원, 조립식 모듈식 수송시스템 기술개발, 2015
- [2] China's 32nd Antarctic expedition underway, <http://english.sina.com/china/p/2015/1206/871236.html>
- [3] 국가기술표준원, 한국산업표준(Korean Standard)
- [4] 한국항만협회, 항만 및 어항설계기준
- [5] 국토교통부, 도로교 설계기준
- [6] 한국선급, KR Class of Lifting Appliances
- [7] American Institute of Steel Construction(AISC), Allowable strength design
- [8] American Institute of Steel Construction(AISC), Specification for structural steel buildings



주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.