

## 자가하역차량(ALV:Automated Lifting Vehicle)의 주행구동장치 시험

김우선\*, 김승남\*\*, 정한욱\*\*\*, 고일곤\*\*

\* 한국해양수산개발원 항만연구본부, \*\* (주)서호전기, \*\*\* (주)하나티앤이

### The Test of Gantry Travel Mechanism of ALV(Automated Lifting Vehicle)

\* Port Research Department, Korea Maritime Institute, Seoul 137-851, Korea

\*\* seoho electronic company, anyang 430-817, Korea

\*\*\* Hana T&E, Seoul 137-869, Korea

**요약** : 본 시험의 목적은 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키기 위해서 기술개발 추진 중인 컨테이너 자가하역차량(ALV:Automated Lifting Vehicle)의 핵심 기술개발 요소 중 하나인 주행구동장치(Gantry Travel Mechanism) 시제품을 제작하여, 무부하 및 부하 조건에서 각종 Test와 한계하중 실험 과정을 통하여 설계 Data의 확인과 상세 제작도면의 오류를 사전에 발견하여 최종 제작도면에 수정 반영함으로써 보다 완벽한 장비를 개발하는 것을 목적으로 한다.

**핵심용어** : 컨테이너터미널, 이송차량, 생산성, 자가하역차량

**Abstract** : The objective of this study is to test and modify the gantry travel mechanism of an ALV(automated lifting vehicle) as a main technology of development of ALV. For the purpose of the improvement of container terminal productivity, this study performed to develop the ALV as a part of R&D. In order to verify the design data and detect the errors of detailed drawings, we performed the various limited weight test under load and unload conditions. Through the reflect of final drawing based on the this test, we could use to produce the more complete vehicle.

**KEY WORDS** : container terminal, transport vehicle, productivity, ALV(automated lifting vehicle)

### 1. 서론

세계적인 개방화의 진전과 아시아 지역의 발전에 따라 전세계 화물량이 2010년까지 연간 10%씩 상승할 것으로 전망하고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 항만의 급격한 물량증가에 따라 컨테이너선박의 기술혁신도 지속적으로 이루어져서, 초기

제1세대 컨테이너선박중 최대형선은 1,700TEU급에 불과했으나, 8세대 울트라막스시대에는 1만 5,000TEU급의 선박이 출현할 것으로 많은 전문가들이 예상하고 있다. 현재, 전세계에서 가장 큰 컨테이너 선박은 머스크라인이 아시아-유럽항로에 투입하고 있는 1만 3,500TEU급의 초대형 엠마 머스크호가 있으며, 또한, 2006년 9월 프랑스의 CMA CGM선사는 1만 1,400TEU급 컨테이너선박 8척을 현대중공업에 발주하고 있는 상황으로 현재, 대부분의 주요 선사에서 컨테이너 선박의 대형화를 지속적으로 진행하고 있다.

이러한 선박의 대형화에 따라 항만에서의 하역생산성이

1) Kim Fijer, "Capacity and Productivity : Redefining the Future of Ports", TOC ASIA 2006

더 중요한 이슈로 대두되고 있다. 초대형선박이 항만에 기항하면 선사에서는 선박의 회전율을 높이기 위해서 하역생산성이 높은 항만을 선호하게 된다. 따라서, 항만에서는 모든 역량을 집중하여 하역생산성 향상에 주력하고 있다. 하역생산성 향상을 위해서 항만에서는 안벽크레인의 성능향상, 투입대수 증가, 멀티스프레더 등을 이용하여 기계적 생산성을 향상시키는 방법과 풀링시스템(Pooling System)<sup>2)</sup>과 듀얼사이클(Dual Cycle)<sup>3)</sup>시스템의 도입을 통한 운영생산성을 향상시키는 방안이 사용되고 있다. 추후 안벽크레인의 하역생산성 향상을 위해서는 대량의 컨테이너화물을 처리하기 위한 고생산성의 하역시스템에 대한 기술개발이 필요하며, 특히, 고효율, 고생산성의 이송장비 개발이 절실히 필요하다.<sup>4)</sup>

본 시험의 목적은 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키기 위해서 기술개발 추진 중인 컨테이너 자가하역차량(ALV:Automated Lifting Vehicle)의 핵심 기술개발 요소 중 하나인 주행구동장치(Gantry Travel Mechanism) 시제품을 제작하여, 무부하 및 부하 조건에서 각종 Test와 한계하중 실험 과정을 통하여 설계 Data의 확인과 상세제작도면의 오류를 사전에 발견하여 최종 제작도면에 수정 반영함으로써 보다 완벽한 장비를 개발하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 자가하역차량의 개요

### 2.1 상세설계 제원

ALV는 컨테이너터미널에서의 효율적인 운영을 위해서 20ft 컨테이너를 동시에 처리가능하며, 신속한 이송을 위해 최대 주행속도 30km/h, 길이 19m, 폭 5.178m, 높이 6.35m, 휠 스패 4m로 설계되었다. 제작 시 총중량은 45톤이며 ALV의 상세설계를 위한 제원들은 아래와 같다.(Table 1 참조)

Table 1 ALV Detail Design Speculation

구분	내 용	구분	내 용
취급 컨테이너	20 Ft (Design Load : 30ton) 40 Ft	주행 속도	Empty : 500 m/min (30 Km/Hr) Loaded : 350 m/min

- 기존에는 안벽크레인별로 고정된 이송장비를 사용하였으나, 이송장비의 운영효율성을 높이고 안벽크레인의 대기시간을 단축하기 위해서 상황에 따라 이송장비를 안벽크레인에 할당하는 방식
- 안벽크레인의 양하와 적하 작업시 반사이클에서 발생하는 빈이동을 줄이고 하역생산성을 향상시키기 위해서 양하작업후 적하작업을 위한 컨테이너를 작업하여 양하와 적하작업을 한사이클에서 수행하는 방식
- 김우선의, "새로운 컨테이너 이송차량 기술대안 개발", 한국항해항만학회 춘계학술대회, 2006

	(Design Load : 40Ton) 45 Ft (Design Load : 40Ton) Twin 20 Ft (Design Load : 60Ton)		(21 Km/Hr) Acceleration Time : 15 Sec Deceleration Time : 7 Sec
길이	19,000mm	타이어	8 Wheel, 16.00 - 25, Tubeless
폭	5,178mm	모터	4 x 42.5 Kw, 1,800rpm
높이	6,350mm	스티어링	4 x 3.7 Kw, 1,800rpm
휠스팬	4,002mm	엔진	460 Kw, 500KVA
휠베이스	3,000 + 3,600 + 3,000mm	유압	56Kw
회전반경	12,000 mm(Min.)	총무게	45Ton (without load)

### 2.2 작업방식

새로운 타입의 하이브리드 이송장비는 대기시간 및 작업시간을 최소화하기 위해서 싣기, 집기, 놓기기능을 수행할 수 있어야 한다. 이를 위해서 기존의 이송차량과는 다른 독특한 형태를 가져야 한다. 예를 들면, 싣기기능을 수행하기 위해서 YT 및 AGV와 같이 위쪽으로 컨테이너를 주고 받을 수 있어야 하며, 집기 및 놓기기능을 수행하기 위해서 SHC나 SC와 같이 컨테이너가 수평방향으로 통과할 수 있는 형태를 갖추어야 한다. 또한, 자체동력에 의해서 집기 및 놓기작업이 가능한 방식으로 개발되어야 싣기, 집기 그리고 놓기의 기능들이 운영상황에 따라 유기적으로 적용되어 전체 사이클타임중 대기시간 및 작업시간을 최소화하고, 결과적으로 이송생산성을 향상시킬 수 있다. 즉 수동적인 작업시간(이송차량의 작업대기시간)을 능동적인 작업시간으로 전환하여 작업을 위한 대기시간을 감소시켜 능동적으로 시간을 관리하게 만드는 것이며, 이를 통해 차량의 운영유연성을 향상시켜 이송차량 소요대수를 감소시킬 수 있으며, 효율적인 운영을 위한 동적배차가 가능하게 된다.

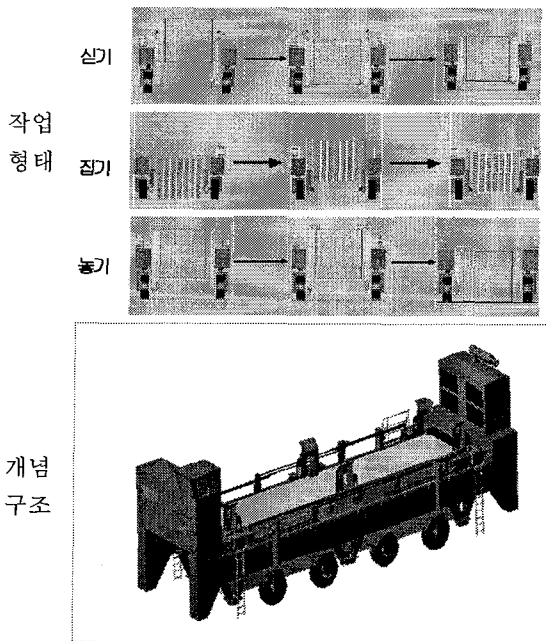


Fig. 1 ALV Work Type & Concept Structure<sup>5)</sup>

### 2.3 적용터미널

#### 1) 수평배치

컨테이너 터미널은 육상 트럭의 유출입을 통제하는 게이트(gate), 수출 및 수입 컨테이너를 일시 보관하는 장치장, 선박이 접안하여 적양하 작업이 이루어지는 안벽(quay) 등으로 구성된다. 시스템적으로는 하역시스템, 이송시스템, 장치시스템, 내륙 연계 운송 시스템 등으로 구분할 수 있다. 최근에 개장된 신선대 5번선석을 제외하고 부산항에서 채택하고 있는 대부분의 하역시스템은 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)를 주로 사용하는 CC -> TC -> YT의 형태로 운영되는 복합시스템이며, 앞으로 개장예정인 부산항 신항이나 광양항의 경우 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)를 주로 사용한다. 본 연구에서의 수평배치 터미널은 양쪽 캔틸레버형의 RMGC를 사용하는 하역시스템으로 SHST(Single Hoist Single Trolley)형 안벽크레인을 사용하고, 이송장비는 ALV를 사용하여 하역시스템을 구성한다.

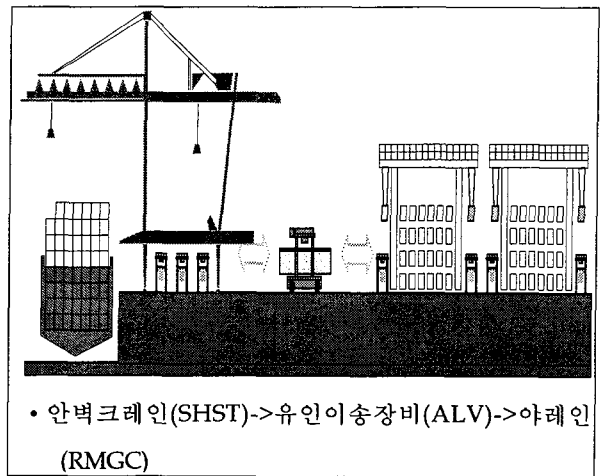


Fig. 2 A Cross Sectional View of Horizontal Handling System

#### 2) 수직배치

일반적으로 수직배치의 형태는 유럽의 ECT 및 CTA 등의 완전 자동화터미널에서 사용되고 있다. 무인자동이송장비와 외부트럭과의 충돌 및 간섭을 피하기 위해서 해측과 육측의 키오스크로 전송점(Transfer Point)를 분리한 형태로 사용되고 있다. 본 연구에서의 수직배치 터미널은 ATC(Automated Transfer Crane)를 사용하는 하역시스템으로 DHST(Double Hoist Second Trolley)형 안벽크레인을 사용하고, 이송장비는 ALV를 사용하여 하역시스템을 구성한다.

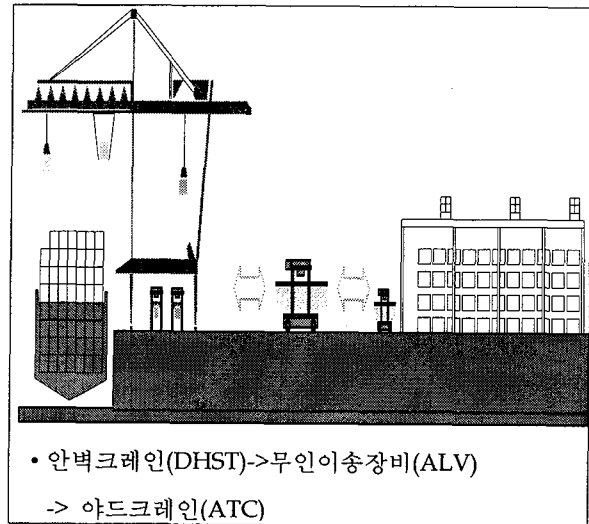


Fig. 3 A Cross Sectional View of Vertical Handling System

5) libd.

### 3. 자가하역차량 주행구동장치 상세설계 및 축하중 분석

#### 3.1 상세설계

장비 자체 중량과 컨테이너 하중으로 인한 휠로드(Wheel Load)가 적절히 분산될 수 있도록 ALV에 8개의 고무 타이어(Rubber Tire)가 설치되어 있으며 그 중 4개는 휠과 모터(Motor)가 연결되어 직결 구동하도록 설계되어 있다. 메인 프레임 상단에 수직형 모터가 취부되고 프레임 하단의 Wheel & Yoke 조립체와는 메인 프레임을 관통하는 유니버설 조인트(Universal Joint)로 연결하여 모터 축 토크(Torque)를 전달하도록 한다. Wheel & Yoke 조립체는 스티어링 시 발생하는 축 방향의 미세한 길이 변화를 유니버설 조인트 자체 구조에서 흡수하도록 하고, Wheel & Yoke 조립체 내부에는 기어 감속장치를 내장 (Bevel Pinion & Gear 및 Planetary Gear)하고 감속기 하우징(Housing) 외경에는 림(Rim)과 튜브리스 타이어(Tubeless Tire)가 취부되어 구동하도록 설계되어 있다. 주행 브레이크 각각의 주행 모터에 내장형 디스크 타입 브레이크(Disc Type Brake)가 취부되어 있고 아이들 휠(Idle Wheel)에는 캘리퍼 타입 디스크 브레이크(Caliper Type Disc Brake)가 설치되어 있다.

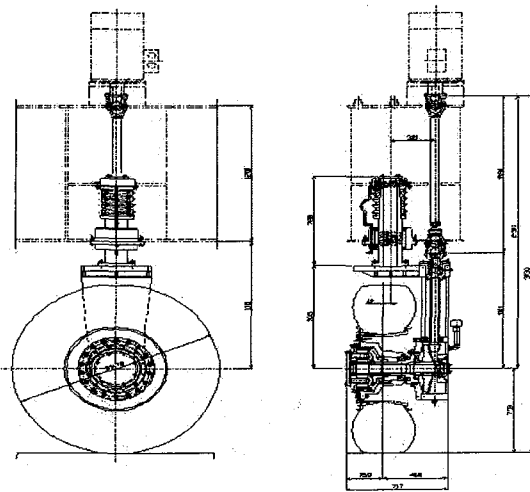


Fig. 4 A Detail Drawing of Gantry Steering Part

#### 3.2 축하중 분석

ALV의 20ft 컨테이너와 40ft 컨테이너 기준의 최대 적재 하중은 각각 30톤, 40톤으로 설계되었다. ALV의 자체하중 45과 최대 적재하중을 지지하기 위한 축하중 분석을 위해

서 컨테이너 내부 적재화물이 장축(Longitudinal Axis) 및 단축(Lateral Axis)에 대해 각각 10% 편심 하중(Eccentric Load) 작용을 고려하여 최대코너하중(Max. Corner Load) 15 톤을 기준하여 설계한다.

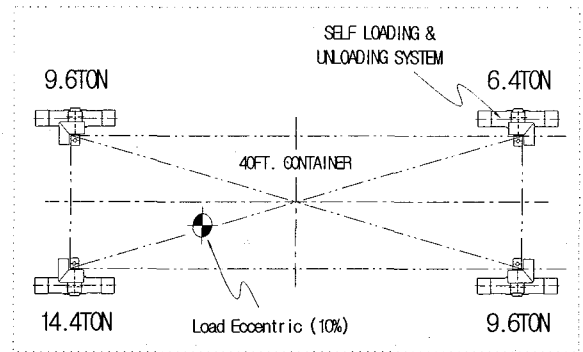


Fig. 5 Max. Corner Load of ALV

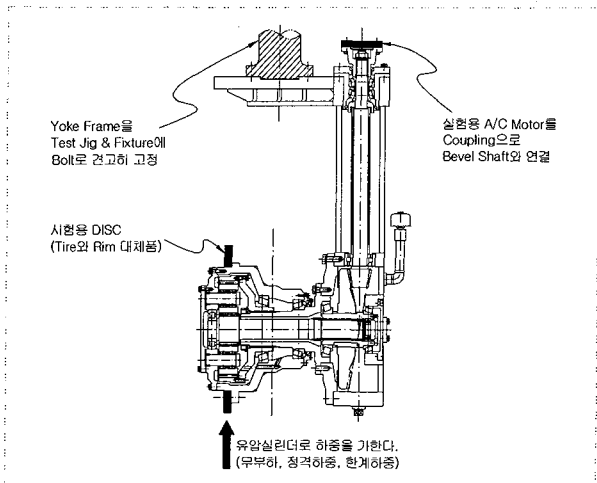
### 4. 주행구동부 시험 방법 및 절차

#### 4.1 시험방법

하중실험을 수행하기 위해서는 ALV 주행구동장치가 실제 운전 시 작용되는 하중상태에서 구동하는 환경을 만들어야 하고 이에 따라 본 실험의 목적과 용도에 적합한 테스트 지그(Test Jig) 및 고정물(Fixture)을 설계 제작한다. 테스트 지그 상부에 시험용 모터를 취부하고 모터와 베벨 피니언 샤프트(Bevel Pinion Shaft) 사이에는 동력을 전달하기 위한 플렉시블 커플링(Flexible Coupling)을 제작 설치하여 연결한다. 감속기 끝단에 취부되는 타이어와 림을 대신하는 디스크(재질 : S45C, 외경  $\Phi$  600 mm, 두께 40 mm)를 제작, 출력축에 회전하는 기어 케이스(Gear Case)에 볼트로 체결하여 부하 테스트시 디스크에 유압 실린더로 다양한 하중을 가한다.

Fig. 6 An Assembly Drawing of Test Fixture

테스트 지그 하부 프레임에 서포트 빔(Support Beam)을 설치하고 서포트 빔에는 2개의 롤러(직경  $\Phi$  200mm)를 취부하여 하중 테스트시 디스크 하단부를 지지하도록 한다. 테스트 지그 하부 프레임과 서포트 빔 사이에 2개의 유압 실린더를 설치하여 롤러가 취부되어 있는 서포트 빔을 밀어 올리는 구조로 설계되어 있으며, 유압실린더의 용량은 한계하중(파괴) 실험을 고려하여 각각의 실린더 용량은 30톤으로 하고 최대부하 하중 60 톤이 작용하도록 한다. 하중시험은 단계별(무부하, 정격하중 및 한계하중)로 실시하



고, 각 단계별 시험과정에서 요크 프레임(Yoke Frame)의 변형 및 구조적인 문제점과 감속기의 온도, 소음, 진동, 기어오일 누유 등을 점검한다.

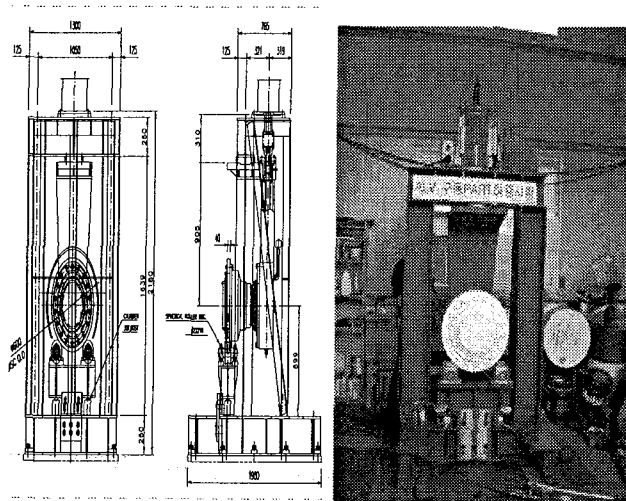


Fig. 7 An Assembly Drawing of Test Jig & Fixture

#### 4.2 시험절차

ALV의 주행구동 장치 시험을 위한 절차는 무부하테스트, 6톤 하중 테스트, 13.5톤 하중테스트, 한계하중 테스트로 이루어진다. 무부하 테스트는 무부하 상태에서 2시간 연속 운전을 하며, 매 30분 단위로 모터 회전수를 450 rpm, 900 rpm, 1350 rpm, 1800 rpm으로 단계별 상승시키며, 2시간 연속 운전 중 30분 단위로 모터 전류치, 감속기 Bearing 온도 (Input, Intermediate, Output) 진동, 소음, 출력축 회전수 및 오일 실(Oil Seal) 누유상태를 점검하여 기록한다. 6톤 하중 테스트(ALV 자중 48 Ton)는 유압 실린더로 6톤 하중을 가한 상태에서 1시간 동안 연속 운전을 하며, 매 15분 단위로 모터 회전수를 450 rpm, 900 rpm, 1350 rpm,

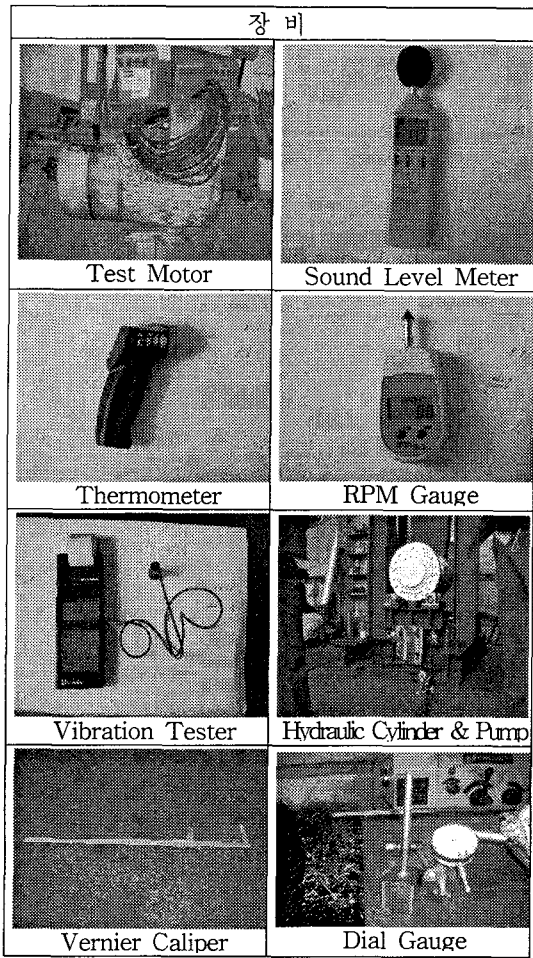
1800 rpm으로 단계별로 상승시키며, 1시간 연속 운전 중 15분 단위로 상기 점검 항목을 점검 기록하여 시험 성적서를 작성한다. 13.5톤 하중 테스트 (ALV 자중 48 톤 + Container 중량 60 톤)는 13.5 톤 하중을 가한 상태에서 상기 6 톤 하중 테스트와 동일한 절차로 시험한다. 마지막으로 한계하중 Test는 정지상태에서 유압 실린더로 15 톤, 20 톤, 25 톤, 30 톤, 40 톤, 50 톤 및 60 톤 하중을 가하여, 단계별로 하중을 가한 상태에서 버니어 캘리퍼스로 요크 프레임 변형량을 점검한다. 또한, 단계별 하중을 올리기 전 무부하 상태에서 1,800rpm으로 회전시켜 감속기 소음과 내부 이음 및 기어오일 누유상태를 점검한다.

### 5. 주행구동부 시험

#### 5.1 측정장비

주행구동부 시험을 위한 측정장비는 구동장치 운행을 위한 테스트 모터와 소음측정을 위한 사운드 레벨 미터, 온도측정을 위한 온도계, 바퀴 회전량을 점검하기 위한 RPM 게이지, 진동을 점검하기 위한 바이브레이션 시험기, 하중을 가하기 위한 유압펌프, 변형량을 측정하기 위한 칼리퍼, 압력을 측정하기 위한 다이알 게이지로 구성된다.

Table 2 Test Equipments



### 5.2 시험결과

시험은 무부하, 6톤 하중, 13.5톤 하중, 한계하중의 네 단계로 진행하였으며, 실험결과는 다음과 같다.

#### 1) 무부하, 6톤 하중, 13.5톤 하중 테스트

무부하, 6톤 하중 및 13.5톤 하중시험결과 요크 프레임 변형량, 회전수, 베어링 온도, 소음, 진동, 오일 누유 상태가 양호한 것으로 나왔다.

Table 3 The Result of Test(0, 6Ton, 13.5Ton)

조건	항목	기준치	운전시간(분)				비고	
			30	60	90	120		
Yoke Frame 변형량	905 mm	무	-	-	-	-	-	
		6	904.4 (0.6)	904.4 (0.6)	904.4 (0.6)	904.4 (0.6)		
		13.5	901.1 (3.9)	901.1 (3.9)	901.1 (3.9)	901.1 (3.9)		
Motor 전류	A	무	17.2A	44.3A	41.1A	20.2A	-	
		6	16.4	44.1	40.1	20.4		
		13.5	18.2	44.3	40.9	20.5		
회전수	1750 rpm	무	450	900	1350	1800	감속비: 1/21.79	
		6	450	900	1350	1800		
		13.5	450	900	1350	1800		
	80.3 rpm	무	20.8	41.4	62.1	82.8		
		6	20.6	41.5	62.1	83.0		
		13.5	20.6	41.3	61.8	82.5		
Bearing 온도	A	90 °C	무	24.6	29.8	42.3	53.1	대기온도: 16.5~18.5°C (Point "A": Grease 윤활)
			6	47.8	46.2	50.0	54.8	
			13.5	39.1	41.9	46.0	53.8	
	B	대기온도 +40 °C	무	19.6	23.3	33.3	43.9	
			6	19.0	23.2	32.3	41.9	
			13.5	44.5	42.9	45.4	51.9	
	C	대기온도 +40 °C	6	43.1	42.6	36.4	47.2	
			13.5	42.7	42.5	43.5	48.0	
				39.9	42.6	43.9	47.8	
소음	85d B(A) 이하	무	67.2	75.2	76.8	83.6	주변소음: 64.9dB(A)	
		6	68.6	75.6	82.8	83.3		
		13.5	67.8	76.2	79.7	83.7		
진동	X	4.5 mm/㉿ 이하	무	0.4	0.6	0.8	2.3	-
			6	0.4	0.9	2.0	2.4	
			13.5	0.4	0.8	1.6	2.6	
	Y	무	0.3	0.4	0.9	2.4		
		6	0.3	0.7	2.4	2.0		
		13.5	0.3	1.0	1.5	2.2		
	Z	무	0.2	0.4	0.9	2.2		
		6	0.3	0.6	1.6	2.1		
		13.5	0.2	0.6	1.1	1.5		
O I L Seal 누유 상태	육안검사	무	양호	양호	양호	양호	-	
		6	양호	양호	양호	양호		
		13.5	양호	양호	양호	양호		

#### 2) 한계하중 테스트

13.5톤 하중 상태에서 양호한 것으로 판명되었으나, 최대 60톤까지 점차로 하중을 증가시켜서 실험한 결과 30톤까지는 양호한 것으로 나왔으나, 40톤 이후 시험에서 볼트에서 누유가 발생하였으며, 60톤 하중 시험결과 3개 볼트에서 누유가 확인 되었다.

Table 4 The Result of Test(Limit Weight)

조건 항목	기준 치	한계하중(TON)				비고
		15	20	25	30	
Yoke Frame 변형량	905 mm	900.9 (4.1)	899.1 (5.9)	897.2 (7.8)	894.8 (10.2)	25ton 시험 후 소음 76dB (A)
OIL Seal 누유상태	육안 검사	양호	양호	양호	양호	
조건 항목	기준 치	한계하중(TON)				비고
		40	50	60		
Yoke Frame 변형량	905 mm	892.7 (12.3)	891.6 (13.4)	891.2 (13.8)		60ton 시험 후 소음 82.8dB (A)
OIL Seal 누유상태	육안 검사	볼트 누유 (17개소)	볼트누유 (2개소) Yoke와C ap사이도 누유	볼트 누유 (37개소)		

### 5.3 문제점 및 설계 개선 사항

하중한계시험 과정에서 설계과정에서는 찾아내지 못했던 네가지 문제가 발생하였다. 첫 번째, Gear Oil 주입구 및 Air-Breather 설치위치가 너무 낮아서 회전 시 기어오일 Over-flow 현상 발생하였으며, 두 번째, Bevel Gear 회전 시 발생하는 축력(Thrust Force)로 인하여 Bevel Pinion Shaft를 지지하고 있는 Cylindrical Roller Bearing에서 소음 및 온도 상승 발생하였다. 세 번째, 감속기 Input쪽 Universal Joint 커플링 내부에 있는 Bevel Pinion Shaft 끝단 고정용 Bolt가 장시간 운전 후 풀림 현상 발생하였으며, 네 번째, Gear Oil 교환을 위한 Drain이 Bevel Gear 하단에만 1개소 설치되어 회전부 Gear Case 출력쪽 오일 배출이 불가능한 문제를 발견하였다. 시제품에는 이런 문제를 수정하기 위하여 설계를 변경하였으며, 시제품 제작에서 변경된 점은 아래 도면과 같다.

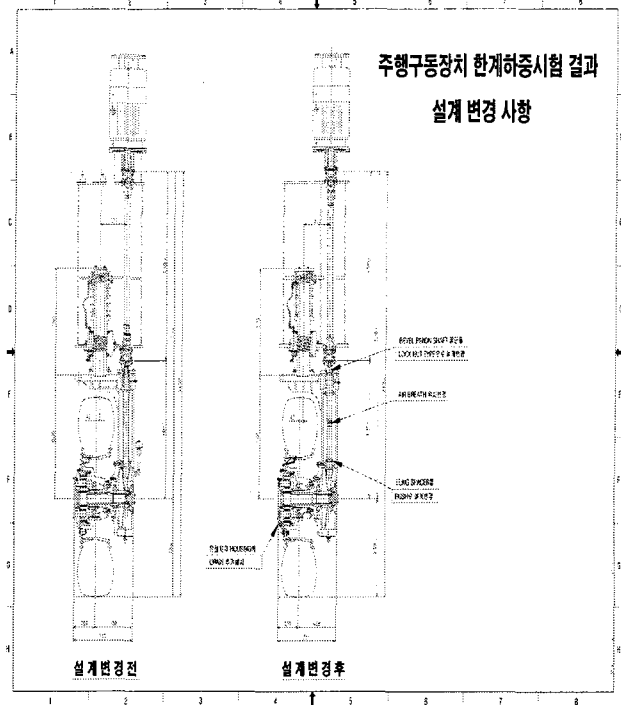


Fig. 8 Design Modification Item of Gantry Travel Mechanism

## 6. 결론

지속적인 컨테이너화와 항만물동량의 증가에 따라 컨테이너선의 대형화가 급속도로 진행되고 있으며, 컨테이너선의 대형화에 따라, 하역시스템의 생산성향상이 필요하게 되었다. 컨테이너터미널의 하역생산성 향상을 위해 고생산성의 자가하역차량을 개발하고 있다. 따라서, 본 시험의 목적은 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키기 위해서 기술개발 추진 중인 컨테이너 자가하역차량 (ALV:Automated Lifting Vehicle)의 핵심 기술개발 요소 중 하나인 주행구동장치 (Gantry Travel Mechanism) 시제품을 제작하여, 무부하 및 부하 조건에서 각종 Test와 한계하중 실험을 통하여 설계 Data의 확인과 상세 제작도면의 오류를 점검하였다. 테스트를 통해서 발견된 4가지 문제점을 개선하여 상세설계에 반영하였으며, 향후 테스트용 프로토타입 제작에 반영되어 보다 완벽한 장비를 개발할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 김우선의(2006), "새로운 컨테이너 이송차량 기술대안 개발", 한국항해항만학회 춘계학술대회.
- [2] Kim Fijer(2006), "Capacity and Productivity : Redefining the Future of Ports", TOC ASIA.