

# Pipe-rack접합부 개선방법에 관한 실험적 연구

이종균<sup>1\*</sup>

## Experimental Study on Improvement of Pipe-rack Joint

Jong-Kun Lee<sup>1\*</sup>

**Abstract:** The development of new technology and process in industrial Plant which builds integrated structures, facilities and systems. Has become a key element for strengthening its competitiveness. Although domestic industrial Plant has demonstrated excellence in technology with a persistent increase in order quantity and orders received, the technology gap between countries has narrowed due to global construction trend. Therefore, it is necessary to develop new technology that could help overcome constraints and limitations of the current one to follow the trend in the age of unlimited competition. This study has focused on assembly technology of Pipe-rack joint connection in an effort to strengthen technological competitiveness in industrial Plant. Through an analysis of earlier studies on Pipe-rack and a comparative analysis of strengths and weaknesses of current assembly technology of it, a new design plan has been made to improve it efficiently. In doing this, standards for design factors of both structural and performance features have been drawn, and value of stress, strain, moment and rotation has been calculated using finite element analysis. As a result, installation technology of modular type Pipe-rack, which has not been developed in Korea and is differentiated from the current one, has been developed. It is considered that the technology reduces work time and saves cost due to simplified joint connection of steel structure, unlike the current one. Moreover, since it is installed without a welding process in the field, industrial accidents would be reduced, which is likely to have economic competitiveness and satisfy.

**Keywords:** Plant, Pipe-rack, Joint

### 1. 서 론

구조물이나 시설, 설비시설 등을 건설하는 플랜트산업은 건축, 토목, 전기, 기계 등 다양한 분야가 유기적으로 연결되어 설계부터 공사에 이르기까지 제반 과정을 모두 포함하고 있다. 최근 플랜트산업은 지속적인 발주물량 증가에 따라 각 분야의 기술력이 놀라울 정도로 성과를 거두고 있지만, 플랜트산업의 파이프라인을 지지하는 파이프 랙(Pipe-rack)의 경우에는 구조적, 시공적 측면에서 볼 때 매우 중요한 시공에 해당하며 구조물에 손상이 발생한다면 구조물의 붕괴뿐만 아니라 더 나아가 사회가반시설물에 직·간접적인 피해를 줄 수 있다. 즉, 파이프랙 구조물의 파손은 산업 전반에 부정적인 파급 효과를 가져옴과 동시에 인명 및 재산상의 막대한 피해까지 가져오게 된다.

파이프랙 구조는 보와 기둥(Beam-Column) 접합부인 H-Beam과 H-Beam 접합 시 통상적으로 핀 접합(Pin or Hinge

Support)과 고정 접합(Fixed Support)의 방법이 적용되고 있다. 이러한 방법을 적용할 때 H-Beam의 플랜지(Flange)와 웹(Web)를 볼트(Bolt)와 너트(Nut)로 체결할 경우, 인장강도(Tensile Strength)와 압축강도(Compressive Strength)에 따라 많은 수량의 고장력 볼트(High-Tensile Bolt&Nut)가 필요하다. 또한 용접(Welding) 접합 시 철 구조물을 설치하고자 하는 작업 현장의 상황이나 여건에 따라 작업의 어려움과 품질저하가 발생하기도 한다. 특히, 위험물을 취급하는 플랜트공장의 경우, 접합 과정에서 발생하는 용접 불꽃에 의한 화재의 위험도 매우 높게 나타나고 있다.

다량의 고장력 볼트 수요에 대한 비용적인 부담과 위험성 뿐만 아니라, 파이프랙의 시공성에 있어서도 통상적인 접합 방식에서는 체결 작업을 수행하는 작업시간이 길어진다는 문제도 지적되고 있고, 또한 시공 장비인 크레인(Crane)의 장시간 대기시간도 기존 접합 방식이 가지고 있는 한계이다. 크레인의 대기 시간이 길어질수록 그에 따른 시공손실이 발생하게 되기 때문이다. 앞서 기술한 바와 같이 시공 과정에서 기존 파이프랙 접합 방식이 보였던 문제들은 경제성 감소로 인한 손실과 기술적인 부분에서의 한계에서 파생되는 위험성으로 요약될 수 있다.

기존 파이프랙 접합부의 문제점을 개선하고 원가절감을 위

<sup>1</sup>정희원, 영산대학교 플랜트학과 교수

\*Corresponding author: jklee540909@ysu.ac.kr

Yongsan University, Kyungnam-do, 50510, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

하여 공장 제작을 원칙으로 하고 현장에서는 용접 및 볼트작업을 최소화 하며 조립작업으로만 공사를 진행하여 원가 절감 및 안전성을 확보 할 수 있게 하였다.

본 연구의 목적은 파이프랙의 하중에 따른 변위와 회전변동을 분산 흡수하고 내진 성능이 향상된 모듈러(modular) 철 구조물을 제작하는 것이며 조립 시간과 작업공수를 줄이며 작업자의 안전을 확보하는데 있다.

즉, 설비 기술의 경제성을 고려하고 기술 고도화에 조금이라도 기여할 수 있는 토대를 마련하기 위해 기존 보와 기둥(Beam-Column) 접합부 기술들이 가진 단점과 한계를 보완할 수 있는 대안으로 파이프랙 접합 방식의 개선을 제시하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 플랜트에서 적용되는 파이프랙 설치 수준과 규모를 고려하여 철골 모멘트 시스템 중 중간 모멘트 시스템(Intermediate Moment Frames : IMF)에서 요구하는 총 회전각과 모멘트 강도의 측정값을 연구의 범위로 한정하였다. 해당 측정값을 기준으로 내진성능을 평가하여 구조적 측면의 설계인자를 도출하고자 한다. 또한 미국 내진 철골접합부 설계 FEMA-350(Federal Emergency Management Agency)에서 제시하는 “보-기둥 접합 방법(Beam-Column Connection Method)”을 근거로 모듈러(Modular) 형태의 철 구조물 접합 형태를 개발한다. 또한, 접합성 향상으로 성능적 측면을 도출하여 시공성, 경제성 등을 향상시키고자 한다. 일반적으로 보와 기둥을 연결하는 철 구조물이나 플랜트산업에서 파이프랙을 구성하는 철골구조는 주로 용접에 의해 접합이 이루어져 왔다. 하지만 용접에 의한 접합방식에는 구조물의 특성이 변화되거나 응력 집중부가 발생하는 등 구조물의 안전성이 저하되는 문제점이 발생되고 있다. 이에 본 연구는 다음과 같은 방법으로 철 구조물을 제작하고 조립하는 방법을 제시하고자 한다.

### 2.2 국내 연구 동향

연구의 배경과 목적에서 서술한 바와 같이 파이프랙의 구조와 시공성에 관한 연구를 수행했던 사례는 복합 철골 구조물(철 구조물/철골구조물 통일)과 관련한 연구에 비해 미비한 수준이었다.

파이프랙 관련 연구 중의 하나로 모든 장치물 중에서 특히 유체가 흐르는 고온, 고압의 Pipe와 그를 지탱하는 파이프랙의 골조 부재의 열팽창에 의한 하중에 있어서는 그 영향이 최소가 되도록 파이프랙의 안정성이 확보되어야 한다. 이에 대

한 적절한 보강방안으로서 현 설계기준에 따른 해석과 함께 열전달 및 열응력 그리고 열에 의한 변형에 대해 해석을 찾아볼 수 있다. 설계하중에 중점을 둔 김성연의 연구와 Pipe의 압력 및 온도 등의 운전조건에 대한 고려와 함께, 시설 운용 중 발생 가능한 지점침하, 지진에 대한 영향을 검토하고 설계에 반영할 수 있도록, 파이프랙 구조물의 지점 침하 검토, 내진성능평가, 열-구조 연성해석 등을 수행해 설계 시 적절한 부재를 설계하기 위한 기초가 되는 구조해석 결과를 제시하고 완공 상태인 파이프랙 구조물에 대해서는 최적의 계측기 결정 및 설치 위치를 판단하는 등의 안전성 진단 방안을 제시한 ‘파이프랙 구조물의 안전성 진단 방안 연구(유진규, 세종대학교 대학원 건설환경공학과 석사 논문, 2012)’도 있었다.

김성용과 신창훈은 ‘패널존의 강도비에 따른 기둥 - 보 접합부의 내진성능 평가’ 연구를 통해서 H형 기둥-보 접합부에서 스캘럽 주변의 파단을 피하기 위해 스캘럽을 생략하고 보와 기둥의 쉬어탭을 볼트로 체결한 후 보 플랜지의 양면에 커버 플레이트와 리브로 보강하는 방법을 제안하기도 했다(패널존의 강도비에 따른 기둥 - 보 접합부의 내진성능 평가, 김성용, 신창훈, 한국방재학회논문집 제7권 1호, 2007).

‘HCB(Hybrid Castellated Beam) 보-기둥 접합부의 내진성능’에 대해 다룬 연구도 있다. 해당 연구는 신형상 철골보의 일종인 HCB 공법을 개발해 접합부에 대한 내진성능평가 실험을 수행한 것으로, 중간모멘트골조 접합부 이상의 내진성능 확보가 가능하고, Web에 형성된 개구부에 설비배관 등을 관통시켜 충고절감을 가능하게 만들었다는 점에서 주목할 만하다(김장훈, 정기택, 오상훈, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 제31권 제2호, 2011).

이 외에도 파이프랙을 직접적으로 다룬 것은 아니지만, 취성과파괴를 방지하고 구조적 안전성을 확보하기 위한 강도와 강성, 에너지소산능력에 초점을 맞추어 충분한 에너지소산능력 및 한계상태 모멘트 지지 능력을 발현하는 ‘내진접합부 설계에 대한 상·하부 스플릿 T 접합부에 관한 연구(백민창, 인하대학교 대학원 건축공학과 석사 논문, 2014)’도 있었다.

### 2.3 연구방법

#### 2.3.1 접합부의 요구기준

파이프랙을 구성하는 철골의 내진성능은 보-기둥(Beam-Column) 모멘트(Moment) 접합부의 연성능력과 에너지 소산량(Energy Dissipation Capacity)에 의해 결정된다. 현재 적용되고 있는 미국 공업규격 Steel 규정협회 및 미국표준협회(AISC/ANSI341-10) 기준[1]과 KBC 기준[2]에서는 모멘트(Moment) 접합부의 총 회전각 성능에 따라 Table 1과 같이 특수 철골 모멘트 골조, 중간 철골 모멘트 골조, 보통 철골 모멘트 골조 시스템으로 분류하고 있다.

**Table 1** Rotational angle of joint and moment strength criterion

Classification	Special Moment Frames(SMF)	Intermediate Moment Frames(IMF)	Ordinary Moment Frames(OMF)
Total angle of rotation	0.04 Radian or more	0.02 Radian or more	There is no specific limitation, but it is necessary to ensure that the nominal bending strength is 50% or more of the jointed beams or columns.
Moment Strength	0.8 MPa or more	0.4 MPa or more	

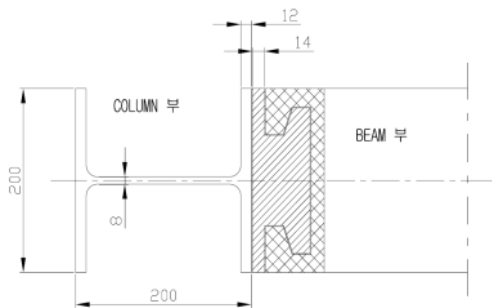
회전성능이 우수한 골조 시스템일수록 더 높은 반응수정계수를 사용하여 설계하도록 규정하고 있다. 가장 우수한 접합부 회전성능을 갖는 특수 철골 모멘트 골조 시스템의 접합부인 경우 접합부 총 회전각이 0.04 Radian 이상의 성능을 보유해야만 하고 모멘트 강도는 0.8MPa 이상의 내력을 보유해야 한다.

중간 모멘트 골조의 접합부는 총 회전각이 0.02 Radian 이상의 성능을 보유해야 하고 모멘트 강도는 0.4MPa 이상의 성능을 보유해야 한다.

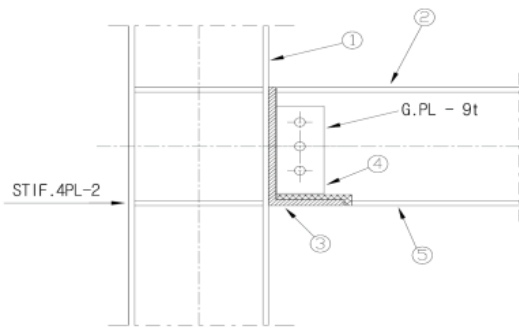
보통 모멘트 골조의 접합부는 총 회전각에 대한 특별한 제한사항을 두지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 중간 모멘트 시스템을 기준으로 하였다.

**2.3.2 Modular 디자인 개발**

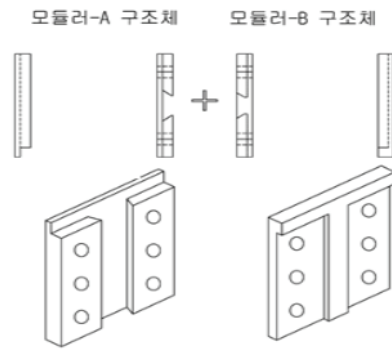
Modular 파이프랙의 설치순서, 안전확보, 시공성 및 경제성을 고려한 Modular 파이프랙 구조물 형태를 디자인한 결과 5가지 방안을 도출할 수 있었다. 그리고 각각의 디자인별로 구조적 측면의 설계인자 검토를 진행해 각 디자인 안의 장단점을 분석함으로써, 본 연구의 주제와 목표에 부합하는 디자인을 선정해 유한요소 해석을 진행함으로써 타당한 개선 방안으로 제시하였다. 검토결과 가장 시공성이 우수한 디자인 5로 선정하여 유한요소 해석과 실제 시험체를 제작하여 공인된 국내인증기관에서 실험을 실시하였다.



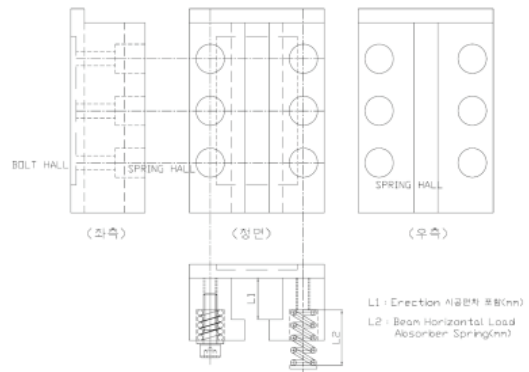
**Fig. 1** 디자인 1



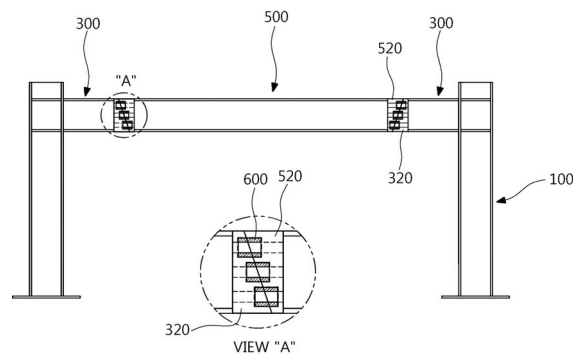
**Fig. 2** 디자인 2



**Fig. 3** 디자인 3



**Fig. 4** 디자인 4



**Fig. 5** 디자인 5 Modular Steel structure of Sample

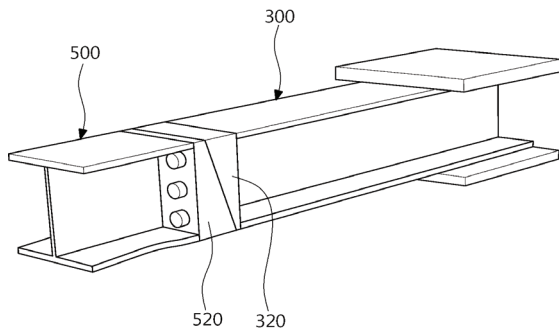


Fig. 6 디자인 5 Modular Joining of beam and column

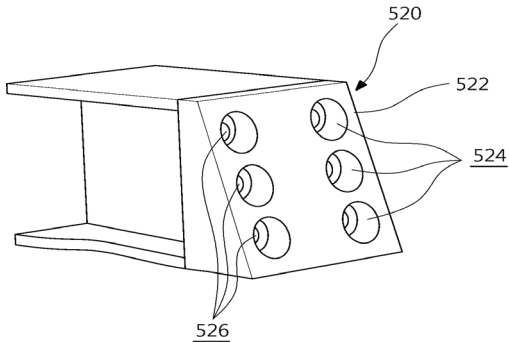


Fig. 7 Modular Side Detail View

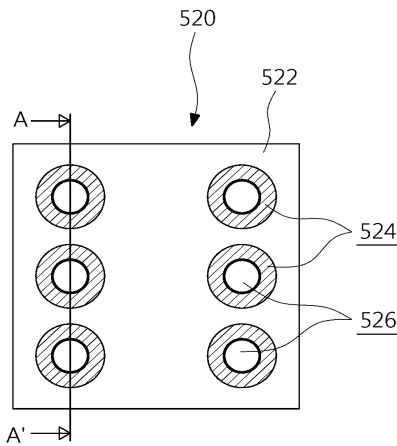


Fig. 8 Modular Front view detail

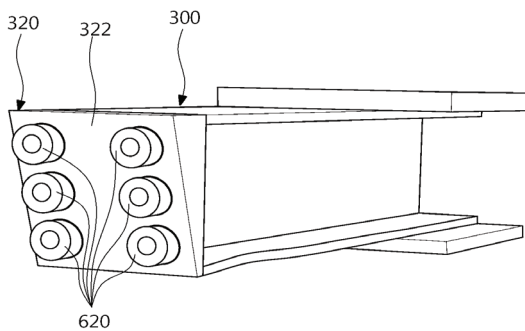


Fig. 9 Modular Details

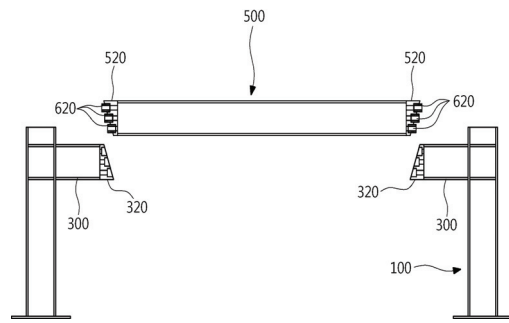


Fig. 10 Modular Installation diagram



Mark	Structure name	Mark	Structure name
100	Column	300	Brackets
320	The first modular	322.522	Main body
500	Girder	520	The second modular
524	Connecting hall	526	Rocking hall
600	Connector	620	Connecting ring
640	Connecting means		

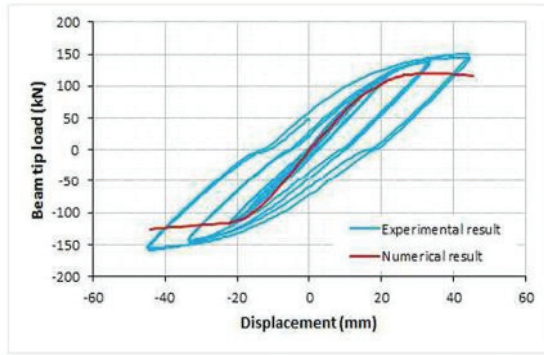
### 2.3.3 Modular 디자인 유한요소 해석

신규 Modular 디자인의 5가지 방안 중 본 연구의 목적에 가장 부합한 것으로 디자인 5안을 선정하였고, 이에 대한 유한요소 해석을 모델링하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다. 모듈러 파이프랙 구조형태를 근거로 유한요소 해석 결과, 응력, 변형률, 모멘트, 회전각의 결과치가 실험결과에서 제시한 중간모멘트시스템(Intermediate Moment Frames : IMF)에서 요구하는 범위를 도출할 수 있었다.

본 연구에 따른 내진성능을 가지는 모듈러 접합부의 회전성능평가를 위한 유한요소해석프로그램인 Standard ver.6.13을 사용하여 재료적/기하학적 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 하중-변위 관계곡선(Back-bone curve)와 모멘트-회전각 관계곡선을 확인할 수 있었고, 최대 부하하중 및 모멘트 발생 위치와 최소 부하하중 및 모멘트 발생 위치와 안정적인 수치 그래프를 얻을 수 있었다.

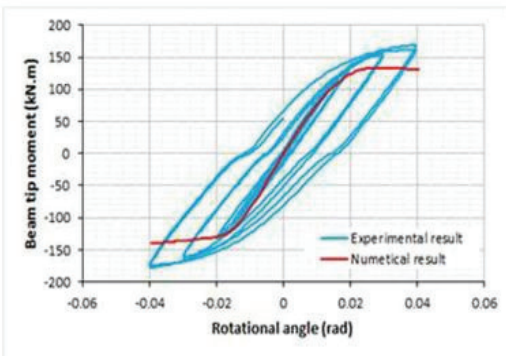
또한, 다음 그림과 같이 회전각(Rotational Angle)을 0.01 radian, 0.02radian, -0.01radian, -0.02radian로 가변시키면서 폰 미세스 응력분포를 확인한 결과, 도시된 바와 같이 모듈러 접합 부분의 응력 분포가 보(500) 또는 브라켓(300) 보다 낮은 응력분포를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라, 보(500)와 기둥(100)을 실질적으로 고정시키는 락킹 볼트(640)에서 상대적으로 낮은 응력분포를 보임으로써 본 연구에 따른 내진성능을 가지는 모듈러 철구조물의 접합부분이 안정적인 접합 구조를 가지는 것이 확인되었다. 이러한 결과 그래프와 폰 미세스 응력분포도 결과는 다음과 같다.





	최대	최소
Beam tip load (kN)	119.37	-125.36
Displacement (mm)	34.72	-44.13

Fig. 11 Modular Finite Element Analysis of Steel Structures



	최대	최소
Beam tip moment (kN.m)	133.7	-140.4
Rotational angle (rad)	0.031	-0.04

Fig. 12 Modular Finite Element Analysis of Steel Structures

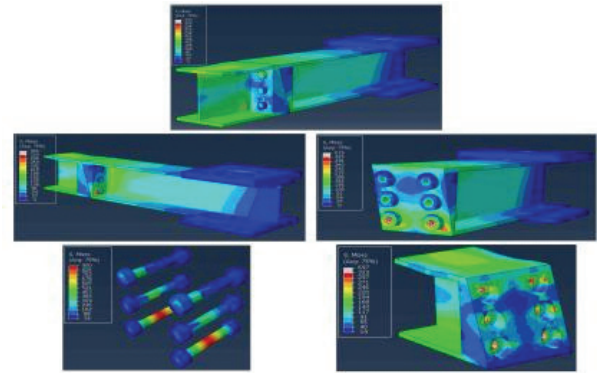


Photo 2 Von Mises stress distribution map 2

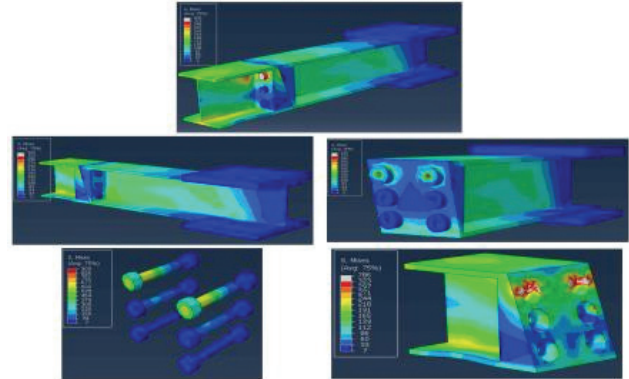


Photo 3 Von Mises stress distribution map 3

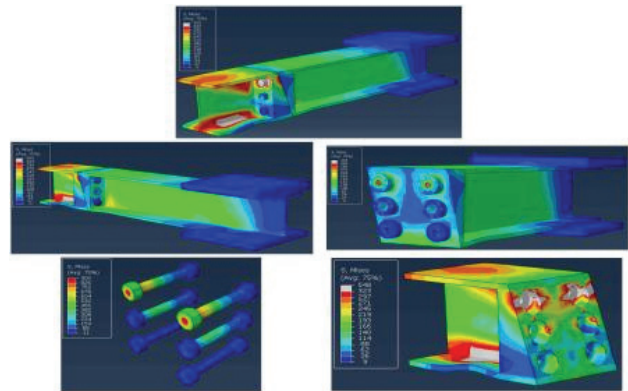


Photo 4 Von Mises stress distribution map 4

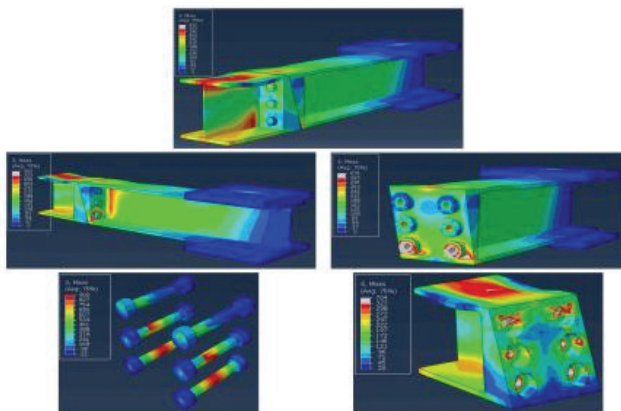


Photo 1 Von Mises stress distribution map 1

### 2.3.4 시제품 조립 및 시험방법

디자인 5에 대한 유한요소 해석 결과 모든 조건을 충족함으로 아래 사진과 같이 시제품을 제작하였고, 이 시제품을 국내 공인기관인 D건설 기술연구소에 의뢰한 결과 유한요소 해석에서 예측한대로 결과가 도출되었다.

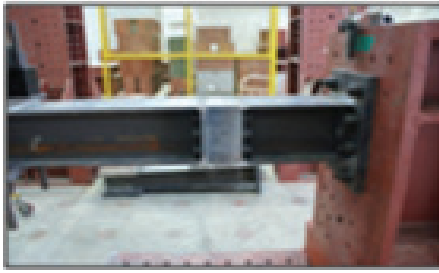


Photo 5 Prototype install

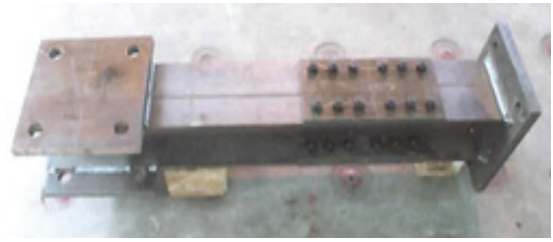


Photo 8 Existing joint test specimen foreground

## 2.4 시험 방법

시험은 국토교통부 건축구조설계기준 0722 내진성능검증, 품질확보계획 및 용접규정을 준용하였으며, 이중 0722.2.4. 재하이력 중 0722.2.4.2 보-기둥모멘트접합부의 가력방법에 따라 파이프랙에 주로 사용되는 H-Beam-250x250x11x11t 부재로 실험을 수행하였다. 시험환경은 온도( $24 \pm 3.0^\circ\text{C}$ ), 상대습도 ( $73 \pm 10\%$ )에서 실험하였다. 시험장비 제원은 Table 3과 같다.



Photo 9 Details of existing joint specimen

Table 3 Test Equipment Specifications

Equipment name	measure of capacity	Production coMPany	Calibration
Acuator (Vertical)	500kN	MTS	approve

### 2.4.1 시험내용

의뢰자가 제공한 모멘트 접합 실험체와 모멘트 접합 실험체에 대하여 국토교통부 건축구조설계기준에 제시된 내용에 따라 반복가력 실험을 수행하였다.

시험결과는 Actuator에서 계측된 하중과 변위 값을 기준으로 작성하였으며 실험체의 상세 사진은 Photo 6~11과 같다.



Photo 10 New Modular Specimen Installation Status



Photo 6 Bonding specimen foreground



Photo 11 Installation condition of existing joints



Photo 7 New modular junction test specimen

### 2.4.2 실험체 재하이력 결과 값

시험은 국토교통부 건축구조설계기준 0722 내진성능검증, 품질확보계획 및 용접규정에 맞게 작업하였으며, 이중 0722.2.4. 재하이력 중 0722.2.4.2 보-기둥모멘트접합부의 가력방법에 따라 실험을 수행하였다. 시험결과는 기준 상에 제시된 재하이력 단계별로 발생한 최대하중과 최대모멘트, 변형량(mm)으로 Fig. 14와 같다.

층간변위각 (θ)	H-Beam 모듈러 접합						볼트접합(모멘트접합)					
	하중 (kN)		모멘트 (kN·m)		변형량 (mm)		하중 (kN)		모멘트 (kN·m)		변형량 (mm)	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
0.00375rad	29.64	-29.46	33.08	-33.00	4.00	-4.26	32.97	-36.87	36.93	-41.29	4.00	-4.28
0.005rad	38.94	-37.10	43.61	-41.55	5.39	-5.63	43.22	-47.31	48.40	-52.99	5.44	-5.61
0.0075rad	54.95	-50.87	61.53	-56.97	8.11	-8.21	60.65	-67.13	67.92	-75.18	8.15	-8.47
0.01rad	71.28	-66.45	79.83	-74.42	11.06	-11.04	78.77	-82.64	88.22	-92.55	10.97	-11.18
0.015rad	97.52	-93.42	109.22	-104.63	16.64	-16.72	101.91	-101.46	114.14	-113.64	16.50	-16.40
0.02rad	118.55	-118.62	132.77	-132.85	22.04	-22.66	100.85	-100.65	112.95	-112.73	21.76	-22.03
0.03rad	136.62	-143.87	153.01	-161.13	33.12	-33.33	106.32	-103.05	121.31	-115.42	33.32	-33.22
0.04rad	144.74	-155.16	162.10	-173.78	44.39	-43.90	123.78	-124.59	138.64	-139.54	44.32	-44.44

Fig. 14 Experimental Result of Load History

최대 층간변위각(θ) 0.04rad의 경우 기존 볼트접합의 경우 모멘트는 -139~138kN·m으로 변형량은 -44.4~44.32mm으로 나타났으며 H-Beam, 모듈러 접합의 경우 모멘트는 -173~162 kN·m로 기존볼트접합에 비하여 좀더 많은 모멘트가 발생되었으나 변형량은 -43.9~44.39mm으로 오차범위 내로 변형량은 동일하게 발생되었다고 알 수 있다.

### 2.4.3 실험 후 실험체 상황

접합부에 총 회전각이 0.02 Radian 이상 모멘트 강도는 0.4MPa을 반복적으로 재하하여 기존볼트접합부 및 개발된 H-Beam모듈러 접합에 대한 실험 후 실험체의 변형 등을 Photo 12, 13과 같이 확인되지 않았다.

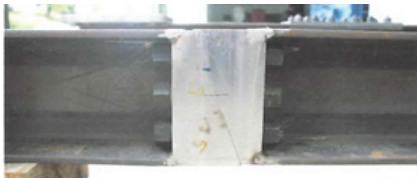


Photo 12 Situation after new Modular Test



Photo 13 Situation after Existing Joint Test

### 2.4.4 실험 결과

중간 모멘트 골조의 접합부에 총 회전각이 0.02 Radian 이상 모멘트 강도는 0.4MPa 이상에서 기존 볼트접합에 비하여 유사하고 일부 우수한 성능을 확보할 수 있다는 것을 Fig. 12, 13을 통하여 확인할 수 있다.

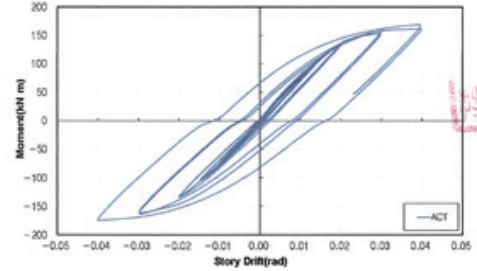


Fig. 15 New Modular Test Results

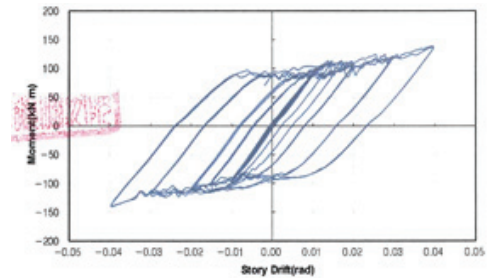


Fig. 16 Experimental Results of Existing Joints

### 2.4.5 기존 접합부와 신규 Modular 접합부의 경제성 및 품질향상 분석

H-Beam-250x250x11x11t 1개소 설치를 기존 설치방법과 디자인 5인 신규 Modular 접합방식으로 공기단축, 원가절감 및 품질향상 분석결과는 Table 4(a), 4(b) and 4(c)와 같다.

Table 4(a) Schedule shortening

Category	Traditional methods	New method	Achievement rate (%)
Reduce the term of works	22.3 min	5.0 min	75% reduction

Table 4(b) Cost Reduction

Category	Traditional methods	New method	Achievement rate (%)
Modular	Not applicable	Modular processin : 180kg	
Materials cost	Copula Plate 530x{(100x2)+(250x2)+(80x4)}x11x7.85x10 <sup>-6</sup> = 47kg	Not applicable	200% rise
	Bolt&Nut 30set	6set	
personnel expense (steel woker)	8 hours (480 minutes) per day, 22.3 minutes per piece 0.04652 man/EA	0.0104 man/EA	440% Reduction
Equipment cost	Crane waiting time : 22.3min *Other waiting times were excluded.	Crane waiting time : 5.0min	75% Reduction
Inspection fee	30set	6set	80% Reduction



**Table 4(e)** Quality improvement

Category	Traditional methods	New method	Achievement rate (%)
Quality improvement	Due to the number of bolts and on-site construction errors, about 20 ~ 30% of bolt hole machining and bolting are inaccurate.	It is expected to improve the quality by reducing the process and shortening the working time.	1. Approximately 50% reduction in process 2. Approximately 75% reduction in work time and bolts

### 3. 결론

본 연구결과에 부합하는 디자인 5안을 적용한 기술은 최초 소규모 철 구조물에 적용 가능한 기술로써 기술적, 경제적 측면, 안정성과 활용적 측면에서 그 적용 범위를 확대할 수 있다.

#### 3.1 기술적 측면

H-Beam 대 H-Beam의 접합기술의 향상과, 내진성능이 향상된 파이프랙 구조기술 개발, 파이프랙 제작 및 설치 시간 단축 기술 개발, 다양한 방법의 철 구조물 설치 기술 개발, 적용 분야 확대에 따른 기술의 접근성 향상이라는 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

#### 3.2 경제적 측면

기존 파이프랙 공법에 비해 현장설치 공정 축소로 인건비 및 장비비 절감 효과를 기대할 수 있으며, 자재비의 경우 H-Beam 연결을 위한 고장력 볼트의 수량 감소효과 대비 대량 생산을 위한 금형비용 발생으로 경제적 효과가 다소 감소될 여지가 있다. 디자인 5안의 기술을 적용할 경우, 플랜트 설치 기간 단축으로 전체적으로 투자비 감소도 예상할 수 있다.

#### 3.3 안정성 측면

기존의 현장설치에서 나타났던 다소 큰 위험성 요소를 최소화시킬 수 있는 공장제작 공정을 통해 접합 작업자의 안정성을 증대시킬 수 있으며, 기존 기술 대비 단순화된 접합 방식을 통해 복잡했던 이전 접합 작업으로 인해 발생했던 산업 재해 사고를 줄일 수 있게 된다. 이는 전반적인 산업 재해를 감소 효과까지도 기대할 수 있는 부분이라 판단된다.

본 연구를 통해 기술 개발 및 시제품으로 플랜트 산업에 적용 가능한 시뮬레이션 및 설치 시현이 가능하다는 이점이 있다. 또한 다른 분야에 비해 다소 미흡했던 파이프랙 제작 및 설치 기술에 대한 후속 연구를 독려함으로써 파이프랙 기술의 발전 기반을 마련할 수 있다는 점에서 높은 활용성이 예상된다.

개발된 기술은 기존에 각 플랜트 산업에 적용되어 왔던 파이프랙 접합 기술의 단점을 보완할 수 있는 대안으로써 균산

공단 내 플랜트 파이프랙, 여수산단 지역 파이프랙, 울산 지역 파이프랙 등 그 적용 범위를 확장할 수 있을 것이다. 이후 충분한 검토와 검증 단계를 거쳐 기술력을 확보한 후에는 특수 구조물 시장으로의 진출도 가능할 것이다. 이후 시제품 제작 및 시뮬레이션과 최종 검증 단계를 거쳐 실제 상용화에 이르는 제품 개발 계획이 연구되어야 할 것이다.

### 감사의 글

이 연구는 2017년 영산대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행 되었으며, 연구지원에 감사드립니다.

### References

Back, M. C. (2014), A Study on the Upper and Lower Split T Joints for Seismic Joint Design, Inha university graduate master's thesis.

Englekirk, R. E. (2003), Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings, Wiley, New York, NY.

Kang, T.H.-K., Shin, M., Mitra, N., and Bonacci, J. F. (2009), Seismic Design of reinforced concrete beam-column joints with headed bars, *ACI Struct. J.*, 106(6), 868-877.

Kim, J. H. (2011), HCB(Hybrid Castellated Beam) Beam-column joint Seismic performance Retrofitting Improvement, *Architectural Institute of Korea*, 31(2).

Kim, S. Y. (2014), Sejong university graduate civil & environmental engineering master's thesis "A study for behavior of pipe rack structures".

Lee, J. H. (2015), Korean recycled construction resource institute "Thermal behavior of a pipe-rack structure subjected to environmental factors", *Journal*, 3(2), 165-170.

Mun, K. H. (2014), Earthquake Engineering Society of Korea "Seismic Performance Evaluation According to Rotation Capacity of Connections for Intermediate Steel Moment Frames - I. Performance Eval - 1", *Journal*, 18(2).

Piyawat, K., Ramseyer, C., and Kang, T.H.-K. (2011), "Nonlinear buckling of built-up cold-formed sections", *Int. J. of Theoretical & App. Multi-Scale Mech.*, 2(2), 146-164.



Probst, A. D., Kang, T.H.-K., Ramseyer, C., and Kim, U. (2010), "Composite flexural behavior of full-scale concrete filled tubes without axial loads", ASCE J. of Struct. Engr., 136(11), 1401-1412.  
Yu, J. K. (2012), Sejong university graduate civil & environmental engineering master's thesis "A study for safety diagnose of pipe rack structures" 2012.

Received : 05/22/2017

Revised : 03/02/2018

Accepted : 03/16/2018

---

**요 지** : 일반적인 플랜트 산업에서의 파이프라인은 지지형식으로만 구조설계를 하고 있으며 시공방법이 용접에 의한 단순접합방법을 선호하고 있다. 그러나 플랜트 산업 특성상 용접 불꽃에 의한 화재발생시 매우 위험하므로 통상적인 고장력 볼트 접합을 단순화하여 내진성능이 확보되는 파이프랙 접합방식을 개선하는 연구이다. 연구결과 H-Beam 대 H-Beam의 접합기술의 향상과, 내진성능이 향상된 파이프랙 구조기술 개발, 파이프랙 제작 및 설치 시간 단축 기술 개발, 다양한 방법의 철 구조물 설치 기술 개발, 적용분야 확대에 따른 기술의 접근성 향상이라는 효과를 얻을 수 있다. 경제적 측면에서는 기존 파이프랙 공법에 비해 현장설치 공정 축소로 인건비 및 장비비 절감 효과를 기대할 수 있으며, 자재비의 경우 H-Beam 연결을 위한 고장력 볼트의 수량 감소효과 대비 대량생산을 위한 금형비용 발생으로 원가가 절감될 수 있다. 안정성 측면에서는 기존의 현장설치에서 나타났던 다소 큰 위험성 요소를 최소화시킬 수 있는 공장제작 공정을 통해 접합 작업자의 안정성을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 파이프랙, 플랜트, 파이프라인, 접합방식

---