

# 2017학년도 기계종합설계 최종 보고서

과제명 : 구조물의 제진 장치 개발 및 성능 평가

(2016년 9월 1일 ~ 2017년 6월 30일)

팀명: High Five

기계공학 설계프로젝트 최종보고서를  
붙임과 같이 제출합니다.

2017. 6.

대구대학교 기계공학부(기계설계전공)

# 제 출 문

대구대학교 기계공학부 학부장 귀하

본 보고서를 대구대학교 기계공학부 설계프로젝트 과제 ‘구조물의  
제진 장치 개발 및 성능 평가(과제기간 : 2016. 09. 01 ~ 17. 06. 30)’의  
결과보고서로 제출합니다.

2017. 6.

지도교수 :	김 홍 석	(인)
대표학생 :	정 현 호	(인)
참여학생 :	이 민 석	(인)
	이 태 훈	(인)
	은 동 찬	(인)

# 보고서 작성 윤리 서약서

대구대학교 기계공학부 학부장 귀하

본인은 보고서를 작성함에 있어 다음과 같이 연구 윤리 및 보고서 작성 윤리를 준수하였음을 서약합니다.

1. 본인은 다른 학생의 보고서를 복사(copy)하지 않았습니다.
2. 본인은 다른 사람의 보고서 내용 중 전부 또는 일부를 무단으로 도용하거나 인터넷에서 내려받기(download)하여 대체하지 않았습니다.
3. 본인은 보고서에 참고 자료를 인용할 경우 원본의 출처를 반드시 표시하였습니다.

2017. 6.

대표학생 :	정 현 호	(인)
참여학생 :	이 민 석	(인)
	이 태 훈	(인)
	은 동 찬	(인)

# 목 차

최종보고 요약문 .....	1
요약1 부품 및 제작비 사용내역 .....	2
요약2 설계구성요소 일람 .....	3
요약3 현실적 제한요소 일람 .....	4
제1장 과제내용 및 목표 .....	5
제1절 목적 및 필요성 .....	5
제2절 과제의 목표 .....	6
제3절 기대효과 및 활용방안 .....	11
제2장 개념설계 및 상세설계 .....	12
제1절 개념설계 .....	12
제2절 상세설계 .....	13
제3장 제작 .....	20
제1절 공정도 .....	20
제2절 제작 .....	21
제3절 설계보안 .....	30
제4장 시험 및 평가 .....	32
제1절 시험 요구조건 .....	32
제2절 시험평가 .....	33
제3절 해석결과 .....	35
제5장 결론 .....	42
제1절 문제점 분석 및 처리결과 .....	42
제2절 향후계획 .....	43
참고문헌 .....	44
보고서 후기 .....	45

# 최종보고 요약문

과제명	구조물의 제진 장치 개발 및 성능 평가
팀명	High Five
팀원	정 현 호, 이 민 석, 이 태 훈, 은 동 찬
과제기간	2016 년 9 월 1 일 ~ 2017 년 6 월 30 일

## 1. 개발내용 및 목표

최근 들어 지진의 안전국가라 생각했던 우리나라에서도 지진이 빈번히 일어나고 있다. 최근의 핫이슈인 지진에 관하여 관심이 생겨 내진설계 방안을 모색하던 중 댐퍼에 관한 내진설계의 강점을 발견하여 지진의 진동 피해를 줄이기 위한 댐퍼의 효능을 알아보기 위해 연구 및 실험을 진행하게 되었다. 실험의 목표는 건물에 작용하는 진동을 제진장치인 댐퍼가 얼마나 저감시키는가를 파악하는 것, 또한 더욱 효율적인 댐퍼의 위치 선정으로 진동 감소율을 증가시키는 것이다.

## 2. 개념설계 및 상세설계

- 1) 시험이 가능한 진동과 구조물의 축소설정
- 2) 지진을 구현하기 위한 시험기 설계제작
- 3) 시험기와 축소설정의 해석

## 3. 제작

- 1) 진동을 구현하기 위한 진동시험기 설계, Daful S/W를 이용 설계 검증 후 제작
- 2) 지진으로 인한 건물의 변위 파악을 위한 구조물 설계, 사양 설정(재료, 두께, 길이) 및 부품 조립 제작
- 3) 조립 제작 완료된 구조물에 댐퍼를 부착

## 4. 시험 및 평가

- 1) 지진과 P파의 좌우운동이 이상 없이 구동 하는지 시험
- 2) 구조물이 진동시험기의 좌우운동에 변위가 있는지 시험
- 3) 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 변위 시험
- 4) 해석의 변위 평가

## 5. 세부 연구개발 내용 및 실적

- 1) 진동 시험기의 기구학적 구동(좌우운동)이 문제없이 가능한가를 검증하기 위한 Daful S/W의 motion 해석
- 2) 진동 시험기의 제작 및 기능(진폭, 속도 조절)
- 3) 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 변위 계산
- 4) ANSYS 해석을 통하여 구조물의 변위 파악

## 요약 1. 부품 및 제작비 사용내역

순번	부품 구매 및 제작 내용 상세	수량	소요예산(원)
1	AC기어드 모터 S9I180GB	1	333,300
2	헤펠레 가스쇼바 15Kg	4	13,300
3	일반쇼바(소) 12Kg	4	14,100
4	일반쇼바(소) 3Kg, 5Kg	6	33,700
5	M.123/130 1P 보조롤러	25	102,500
6	유두렌치(흑착색)	1	28,500
7	너트(흑착색)	126	20,500
8	BLDC 모터 BG90-N220200 , S9KC3BH(1/3)	1	146,000
9	모터 드라이버 SBDSMS-03A	1	116,000
10	진동 실험기 - 구조물	1	862,500
11	진동 실험기 - 베이스	1	345,500
12	진동 실험기 - 프레임	1	701,500
13	캐스터(GD40F)	4	60,000
14	캐스트 브라켓	4	60,000
15	모터 브라켓	1	40,000
16	베이스 브라켓	1	150,000
17	프레임 탭가공	1	60,000
18	링크기구 프레임 용접제거 및 가공	1	200,000
19	스페이서	5	50,000
20	분할편	1	10,000
21	프레임 용접, 조립, 도색	1	200,000
22	부가세 10% (전체)	1	354,690
총 액			3,901,590
예산지원 사업목록	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설기계부품 특성화트랙 부품/시제품 제작비: 3,500,000</li> </ul>		

## 요약 2. 설계구성요소 일람표

구분	적용 내용	적용 여부	적용	
설 계 구 성 요 소	설계 목표 설정	진동 시험기와 구조물 설계 후 제작, 댐퍼를 장착하여 지진 발생 시 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 변위를 파악하여 제진장치 성능 평가	○	4장 2절 p32~33
	합성	ANSYS 해석을 통하여 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 변위를 파악	○	1.4장 3절 p34~40
	분석	기존의 건축된 건물에 내진설계를 도입하는 데에는 댐퍼 시스템의 내진설계만이 추가 부착이 가능하였고 다른 제진장치는 처음 설계부터 하여야 했다. 이에 기존 건물에 부착 설계가 가능한 댐퍼 시스템을 채택하여 실제 적용 시 경제적인 측면에서 효율이 높다.	○	
	제작	1. 진동이 구현 가능한 진동 시험기 제작 2. 실제 건물을 축소화한 구조물 제작 3. 실제 유압댐퍼의 역할을 할 축소형 Gas댐퍼 부착	○	3장3절 p21~27
	시험	1. 진동시험기의 좌우운동이 가능한지 시험 2. 속도제어로 인한 지정된 주파수 구현 시험 3. 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 변위 검토	○	
	평가	1. 진동 시험기의 지진 구현이 가능한지 평가 2. 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 변위 차이 파악 3. 댐퍼로 인한 변위 감소량 평가	○	

### 요약 3. 현실적 제한조건 일람표

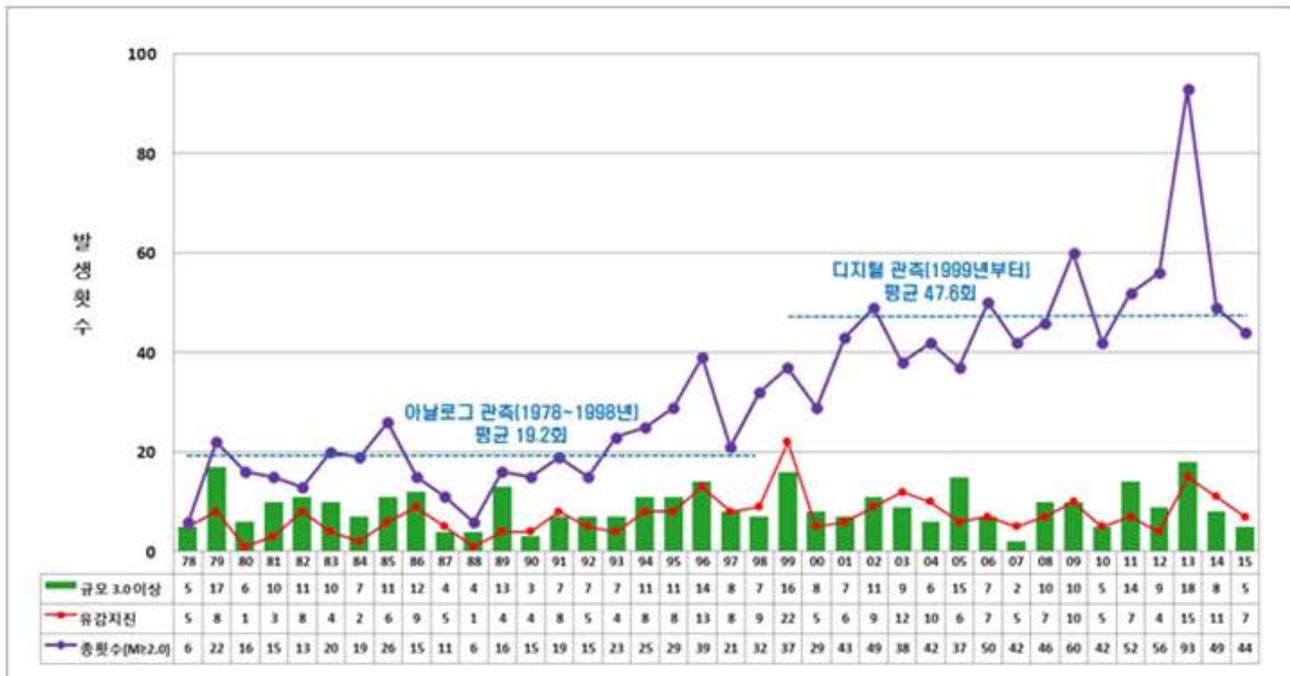
구분	적용 내용	적용 여부	적용	
현 실 적 제 한 조 건	원가	내진설계로서 실제 건물과 지진의 규모를 현실적으로 구현하기가 제한적이었으며 실제로 구현이 된다 하더라도 실제 건물 한 채의 원가와 그만한 규모의 지진을 구현하기에는 엄청난 금액이 들게 되어 스케일을 대폭 축소	○	
	안전성	축소형 규모로서 시험 시 충분히 안전성이 보장되며, 장시간의 시험기 구동 시 모터 과부하로 인한 폭발사고가 존재	○	
	신뢰성	진동시험기 설계 후, 시험기의 구동부가 원활히 작동하는가에 대한 신뢰성이 없었으나 시험기 모델링으로 DAFUL S/W의 Motion 해석 결과 이상 없이 구동하여 신뢰성을 확보	○	
	윤리성	기술자 윤리에 근거하여, 경제성과 편리성에만 치우치지 않고 국가에 지진 피해를 줄이기 위한 사람들의 안전에 더 중점을 둔 대의적인 목표	○	
	미학	진동시험기 제작에서 각 부품의 접합에 용접을 사용. 전문가의 시공이 아닌 직접 용접을 진행하여 깔끔한 비드를 얻기가 힘들었지만 작품의 완성도를 높이기 위해 절단 부 및 용접부 등을 최대한 면치 후 도장 가공	○	
	사회에 미치는 영향	지진을 구현한 시험과 비교할 해석으로 댐퍼의 성능을 검증하였으나, 각종 제한적이고 부족한 부분으로 연구결과를 실제 적용은 어려우며 참고 자료 정도의 수준	○	

# 제 1 장 과제내용 및 목표

## 제 1 절 목적 및 필요성

기상청 국가지진정보시스템에 따르면, 규모 2 이상의 지진이 1978~1998년의 평균 19.2회 감지되었다. 하지만 최근 10년 동안의 통계를 보면 규모 2 이상의 지진이 47.6회로 2배 이상 증가한 것을 알 수 있다. 지진이 규모 면에서 봤을 때 0~2.9는 지진계에 의해서만 탐지가 가능하다. 하지만 규모가 3 이상인 지진부터는 인간이 자주 느끼긴 하지만 직접적인 큰 피해는 입히지 않는다. 최근 울산 지진으로부터 경주 지진까지 규모가 5 이상의 지진이었다. 규모가 5 이상인 지진은 좁은 면적에 걸쳐 부실하게 지어진 건물에 심한 손상을 입히게 된다. 즉 내진설계가 허술하게 된 건물은 피해를 받게 된다는 것이다. 이번 지진으로부터 경주시민들은 큰 피해를 입게 되었다. 경주뿐만 아니라 우리나라 건물의 6.8%만이 내진설계가 되어있다는 통계가 나왔다. 더 이상 우리나라는 지진으로부터 안전국가가 아니다.

지진에 피해를 최소화하기 위해 내진설계가 시급하다. 내진설계에 종류에도 여러 가지가 있는데 내진, 면진, 제진 등 다양한 방법들이 있다. 하지만 이미 지어진 건물의 대부분이 내진설계가 부족하므로 지어진 건물에 내진설계를 보강하는 법을 연구하게 되었다. 그중 하나가 댐퍼 시스템으로 이미 지어진 건물에 시공할 수 있고 여러 다른 보강 법 중에 가장 합리적이라 생각된다. 유압 댐퍼를 이용하여 지진 발생 시 지진의 진동에너지를 감소시키도록 개발된 것이다. 실제 건물과 지진의 진동을 축소함으로써 구조물과 진동시험기를 제작하여 실제 건물에 사용되고 있는 댐퍼들을 형상화하여 실험, 해석 과정을 통해 성능을 평가하고 더욱 효율적인 댐퍼 부착위치를 선정하는 것이 목적이다.

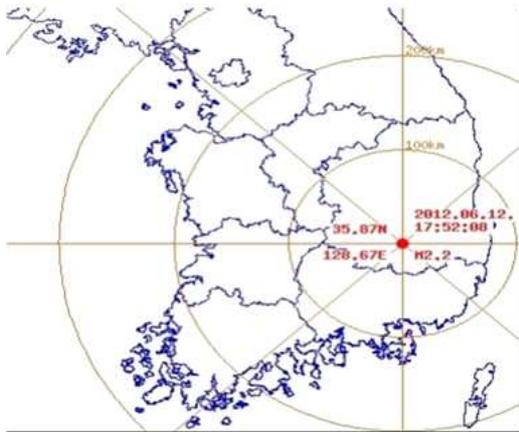


< 그림 1-1 > 지진 데이터

## 제 2 절 과제의 목표

### 1) 지진의 정의

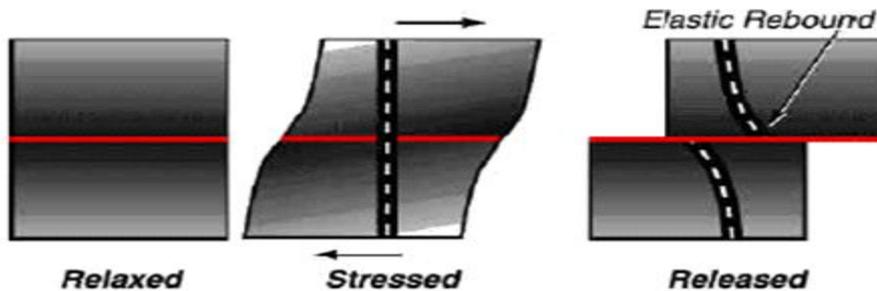
- 지구 내부, 특히 지각에서 장시간 쌓여진 에너지가 순간적으로 방출되면서 그 에너지의 일부가 지진파의 형태로 사방으로 전파되는 자연 현상
- 학술적으로는 탄성 에너지원으로부터 지진파가 전파되면서 일으키는 지구의 진동을 말함



< 그림 1-2 > 최근 국내 지진 발생 사례

### 2) 지진 발생의 원인

- 지진의 직접적인 원인 암석권에 있는 판의 움직임으로 인하여 직접 지진을 일으키기도 하고, 다른 형태의 지진 에너지를 제공
- 지면에 기존의 단층이 존재한다고 가정하고, 이 단층에 가해지는 힘(탄성력)에 어느 부분이 견딜 수 없을 때 순간 급격한 파괴를 일으켜 지진이 발생



< 그림 1-3 > 지진 발생의 원인

### 3) 지진의 종류

실체파

- 지각 내부를 통과해 전달되는 지진파

P파

- 종파이며, 고체 액체 기체 상태의 물질을 통과한다. 속도는  $7\sim 8\text{km/s}$  로 비교적 빠르지만 진폭이 작아 피해가 적다. 지구 내부의 모든 부분을 통과

S파

- 횡파이며, 고체 상태의 물질만 통과한다. 속도는  $3\sim 4\text{km/s}$  로 비교적 느리지만 진폭이 커 피해가 크다. 지구내부의 핵은 통과하지 못함

표면파

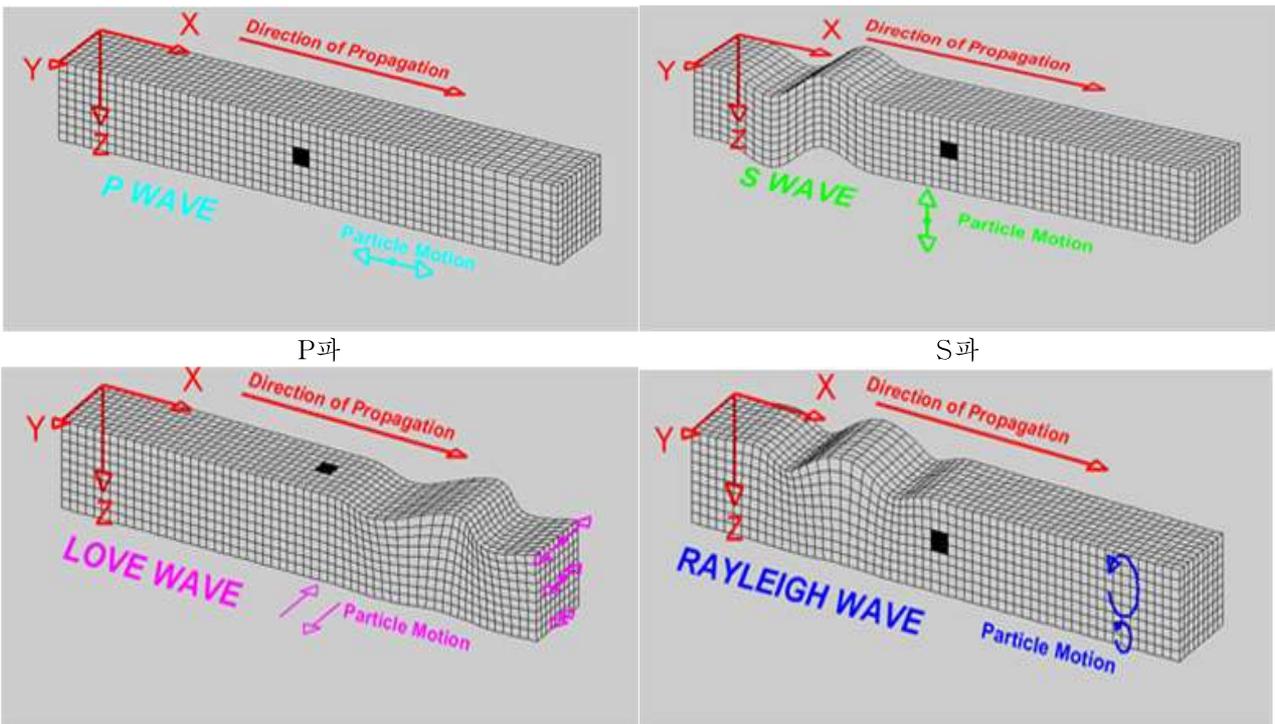
- 표면을 따라 전달되는 지진파를 말함

러브파

- 표면파이며, 파동속도는 P파의 속도와 S파의 속도보다 느리며 분산현상을 보임

레이리파

- 진행방향을 포함한 연직면 내의 타원진동



P파

S파

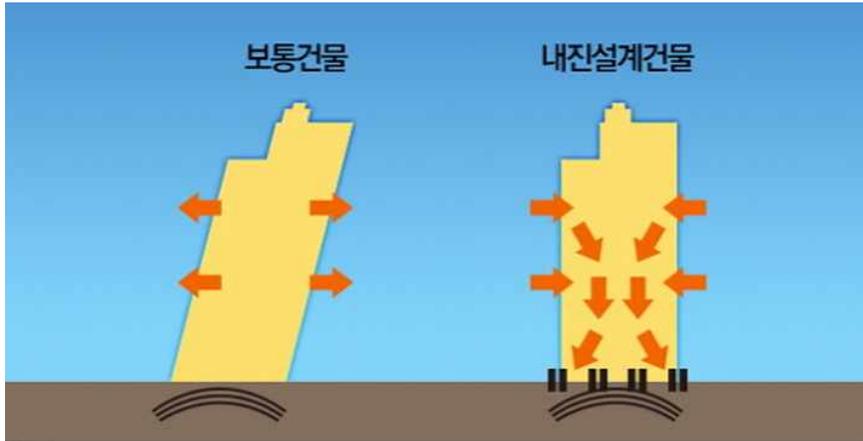
표면파 - 러브파

표면파 - 레일리파

< 그림 1-4 > 지진파의 종류

#### 4) 내진 설계의 개념

- 지진의 흔들림에 의한 건물의 손상을 줄이기 위한 설계 방식. 지진은 지구 에너지가 밖으로 분출되면서 땅이 갈라지며 흔들리는 현상인데, 이때 지진의 에너지는 수직 혹은 수평으로 건물에 영향을 미친다. 이때 건물의 강도와 유연성을 키우는 것이 ‘내진 설계’다.

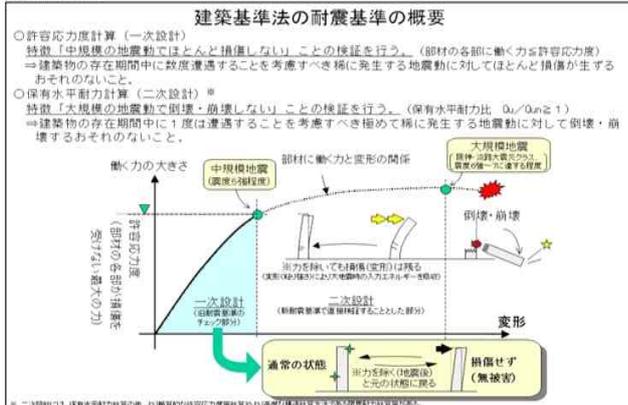


< 그림 1-5 > 내진설계의 개념

#### 5) 일본의 내진설계

지진대국 일본의 내진설계기준은 세계 톱 크라수를 갖추고있다. 주택의 내진성도 향상되어 2011년 3월 11일 에 발생한 동일본대지진의 경우 건물의 붕괴로 인한 사상자는 거의 발생하지 않았다. 큰 지진이 발생할 때 마다 건축법이 개정되어 내진기준도 강화되었다.

현재의 내진기준은



建物の構造・ 규모에 따라 1차설계, 2차설계를 실시한다. 1차설계의 특징은 건물이 남아있는 동안 몇번이나 흡수 있는 중규모의 지진(진도5.0)에도 건물의 피해는 거의 없는 설계 기준이다. 2차설계의 특징은 건물이 남아있는 동안 한번 인공지진이 발생하는 대규모의 지진(진도6.0; 진도7.0)에 건물이 피해를 있지만 붕괴되지 않는 설계 기준이다. 즉, 붕괴로 인한 인명 피해를 막는 다는 것이다. 앞으로 표현하면 이렇지만 실제로는 허용응력도 계산들의 구조계산을 실시한다.



< 그림 1-6 > 일본 내진설계 기준

- 지진대국 일본의 내진설계기준을 세계에 1위 수준이다. 주택의 내진성도 향상되어 2011년 3월 11일 에 발생한 동일본대지진의 경우 건물의 붕괴로 인한 사상자는 거의 발생하지 않았다. 큰 지진이 발생할 때 마다 건축법이 개정되어 내진 기준도 강화되었다.

## 6) 국내의 내진설계

### 최근 찾아진 지진, 준공 건축물 내진성능 확보율 6.8%뿐...대책은?

기사 작성일 2016-11-01 16:33:21 최종 수정일 2016-11-01 16:39:00



지난 9월 12일 저녁 경주지역에서 규모 5.1과 5.8의 지진이 연속으로 발생했다. 이는 1978년 기상청이 계기지진관측을 시작한 이후 한 반도에서 발생한 역대 최대 규모의 지진으로 광주, 부산, 광주, 서울 등 전국 대부분의 지역에서 진동이 감지됐다. 여진 횟수도 지금까지 470회를 넘어서면서 국민들의 불안이 크게 확산된 상태다.

지진피해는 대부분 건축물 붕괴로 나타나며, 건축물의 붕괴는 대규모 인명피해를 초래한다. 이로 인해 이번 지진은 건축물 내진설계의 중요성을 다시 한 번 부각시켜주고 있다. 이에 국회입법조사처는 우리나라 건축물 내진설계의 현황과 향후 개선과제에 대해 살펴봤다.

#### ◆ "내진설계 건물 6.8%뿐...모든 건축물 내진설계 의무화해야"

2015년 12월 기준으로 우리나라 내진설계 대상 건축물의 내진성능 확보율은 33.0%이다. 준공된 전체 건축물의 내진성능 확보율은 6.8%에 불과하다.

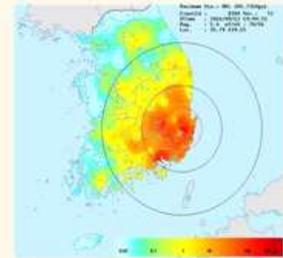
### [추석을 읽다]전국 혼돈 '지진'...내진설계 '아물랑'

최종수업 2016.09.16 13:59 기사입력 2016.09.16 13:59

이웃나라

f t y

내진설계 보강하리 주문에도 실선율은 1.9%에 불과



12일 경주 지진발생지역(사진-아시아경제 DB)

[아시아경제 김중호 기자] 올해 추석의 화두는 단연 '지진'이었습니다. 지난 12일 경주에서 규모 5.8의 강진이 발생하면서 전국이 흔들렸습니다. 시민들의 불안과 공포도 함께 요동쳤습니다. 만약 규모 5.8보다 더 강한 6~7 규모의 지진이 우리나라에서 일어나면 전국이 큰 피해를 입을 것이란 의견이 많았습니다.

그럼에도 우리나라 건물의 내진설계는 절대적으로 낮습니다. 내진설계를 강화하라고 해당 시도에 주문해도 '나 몰라라' 하고 있는 실정입니다. 이렇다 '소 잃고 외양간 고치고' '뒤늦게 후회'는' 우리나라 고질병이 그대로 재현되는 것 아니냐는 목소리가 높아지고 있습니다.

< 그림 1-7 > 대한민국 내진설계 기사

- 일본의 내진설계는 의무화라 거의 모든 건물이 내진설계가 되어있는 반면 대한민국은 약 16%에 불과하며 성능은 검증은 거치지 않은 상황이다. 2014년까지 학교의 내진설계를 29%로 늘린다 하였으나 현재 대한민국에서 내진설계가 가장 잘 되어 있는 곳은 필수 지역인 공항, 병원 등 일부의 공공시설만이 내진설계가 되어 있다.

구분	1978~1998 연평균 (아날로그 관측)	1999~2013 연평균 (디지털 관측)	1978~2013 연평균	2014
발생빈도	19.2회	47.7회	31.1회	49회
규모 3.0	8.8회	9.7회	9.2회	8회
유감지진	5.9회	8.7회	7.0회	11회

< 그림 1-8 > 평균 지진 횟수

- 지진 하면 흔히 가까이 있는 일본의 지진을 떠올린다. 그러나 우리나라도 지진관측을 시작한 1978년 이래 현재까지 연평균 30회 이상의 지진발생빈도를 보이고 있어 안전지대라고 할 수는 없다

## 7) 선행 내진설계 기술



방진패드를 이용한 제진구조



댐퍼를 이용한 제진구조



추를 이용한 제진구조



수조의 물을 이용한 제진구조

< 그림 1-9 > 내진설계 기술

### 방진패드를 이용한 제진구조

- 내진설계 공법 중 가장 강력하고 피해규모도 제일 작은 공법
- 적층 고무 베어링, 고무 블록과 같은 면진 장치를 지면과 건물 사이에 배치

### 댐퍼를 이용한 제진구조

- 지진이 발생하면 관성에 의해 건물이 진동을 하게 되는데 댐퍼가 건물의 강성, 감쇠 등을 제어해 지진 에너지를 낮추는 방법

### 추를 이용한 제진구조, 수조의 물을 이용한 제진 구조

- 수동적 제진
- 감쇠작용을 하는 추, 수조의 물을 통하여 지진 또는 강풍 시 건물의 진동에너지를 흡수

### 제 3 절 기대효과 및 활용방안

#### 1) 댐퍼를 이용한 제진구조



#### FIST 내진기술

FIST에서 개발된 내진기술은 소재를 이용한 내진 기술과 더불어 구조시스템 기술, 설계·법제도화 등으로 구분된다.

소재이용 기술은 SN강, TMCP강, 800MPa강, 고Mn강, 내진구조용 강관 등을 활용한 기술로 구조물의 내진성능 향상을 위한 강재의 요구 스펙을 확보한 강재를 사용하고 있다.

구조시스템 기술은 구조부재의 적절한 위치에 댐퍼 장치를 부착, 지진충격을 흡수하고 구조물의 안전성을 확보하는 기술로 EaSy 댐퍼를 비롯해 EaSy 커플링 댐퍼, EaSy 아웃리거 댐퍼, EaSy HRB 등이 있다.



< 그림 1-10 > 댐퍼 시스템

#### 댐퍼란?

- 진동 에너지를 흡수하는 장치로 제진기 또는 흡진기로 불림.
- 지진에 의해 진동 에너지가 발생하여 건물이 흔들릴 때 댐퍼의 피스톤이 뒤로 밀리면서 반대편으로 힘을 가하여 지진 발생 시 그에 대응하는 힘 또는 진동을 발생시켜 구조물에 전달되는 진동을 감소시키는 역할

#### 댐퍼를 이용한 제진구조 선정 이유

- 완공된 건물에 부가 설치가 가능함으로써 실험을 통해 쉽게 보여줄 수 있다고 생각했습니다. 또한 제진장치 중에서 가장 저비용, 고효율이라 현재 제진장치로 사용하고 있는 곳 중 댐퍼를 이용한 제진장치가 사용량이 가장 많다고 알려져 있어 선정하게 되었습니다.

## 제 2 장 개념설계 및 상세설계

### 제 1 절 개념설계

#### 1) 진동시험기

앞서 ‘지진이 무엇인가’ 와 ‘선행 내진설계’ 에 대해 기술하였으며 이를 토대로 가장 효율적인 내진설계 ‘댐퍼 시스템’ 에 대해 성능을 검증한다. 우선 지진을 구현하기에 실제 규모의 지진 구현과 실제 규격의 건물 구현이 불가능하여 지진과 건물을 실제 사이즈의 10:1의 scale로 축소하여 시험과 해석을 진행한다. 지진 설정에 있어 수많은 지진파 중에서도 건물에 지속적으로 피해를 주는 P파(좌우운동)를 선정하였는데, P파를 구현하기에는 왕복 직선운동이 가능한 시험기가 필요하다. 모터의 한 방향 회전운동을 크랭크축의 원리로 왕복으로 직선 운동하도록 구현한다.

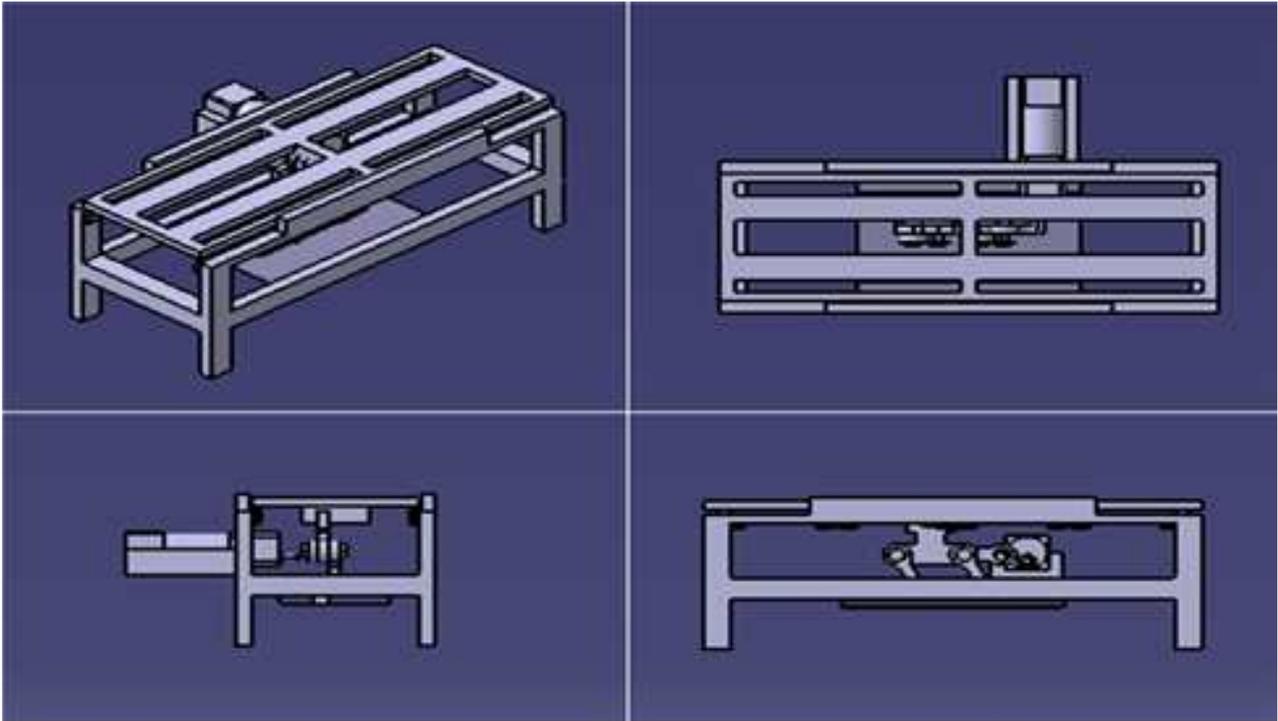
진동 슬라이드는 시험할 구조물의 규격에 맞추어 설계되었으며, 이에 따라 각 부품들의 규격이 정해져 설계되었다. 어느 정도의 무게가 필요하다고 판단하여 대부분의 재질은 S45C이며 테이블과 진동 슬라이드는 파이프 형식이다. 전체 구동은 모터의 토크를 이용해 모터를 크랭크축에 연결하게 되면 모터가 돌아갈 때 크랭크축이 회전 운동을 하게 되고 크랭크축과 연결된 진동 슬라이드는 크랭크축의 회전운동이 직선 왕복 운동으로 바뀌게 된다. 즉 크랭크축을 이용해 회전운동을 직선 왕복운동으로 전환해주는 Mechanism이다. 크랭크축의 지름에 따라 진동 슬라이드에 행정 거리가 달라지며, 모터 속도에 따라 주파수도 변경할 수 있다. 우리가 선정한 지진을 묘사하기에는 적절하다고 판단된다.

#### 2) 구조물

실제 건물은 평범한 3층 원룸 기준 최소 높이 7M 이상이다. 실제의 건물로 시험이 불가능하므로 축소한 규격으로 설계하였으며, 원룸 3층 정도의 건물을 예시로 두고 설계하였다. 구조물 설계 시 가장 중요하게 생각한 부분은 지진의 흔들림을 구현하는 것이었으며 이를 위해 재질은 SUS- 304(Stainless)이다. 또한 board의 두께를 크게 하였고 pilar 부분은 두께가 상대적으로 매우 얇게 설계되었다. board와 pilar, 진동시험기의 진동 슬라이드와는 braket으로 Bolt 체결한다. braket 포함 모든 구조물은 SUS-304이다.

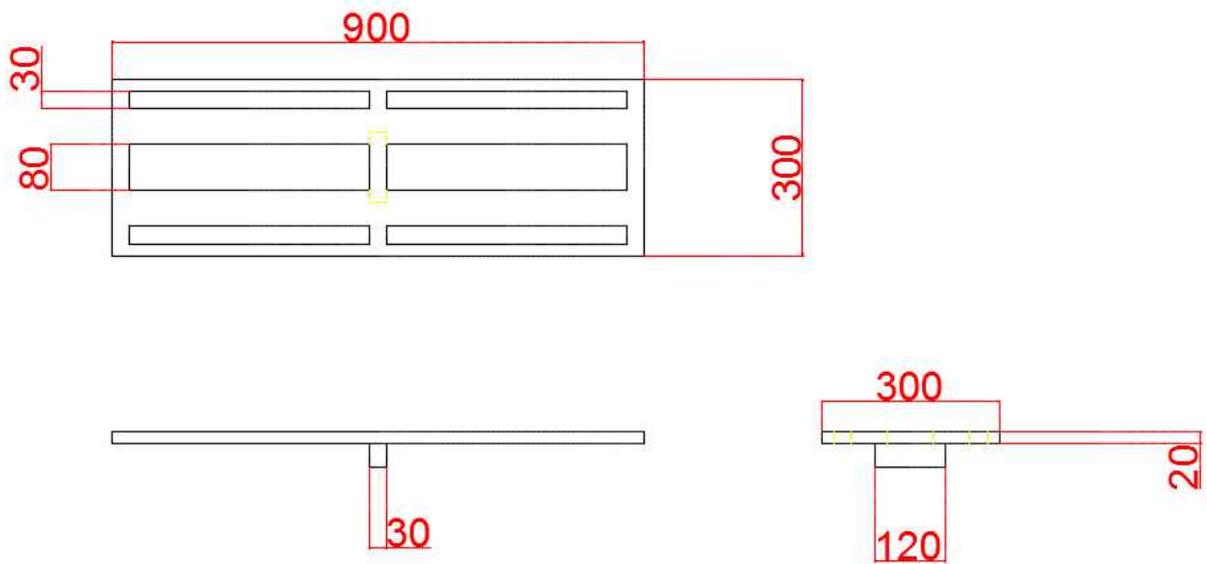
## 제 2 절 상세설계

### 1) 진동 시험기

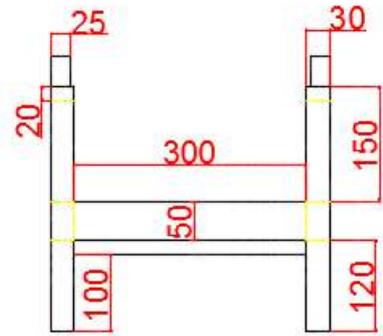
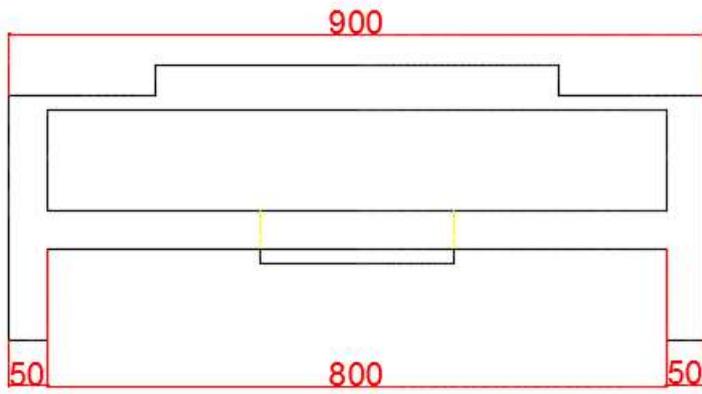
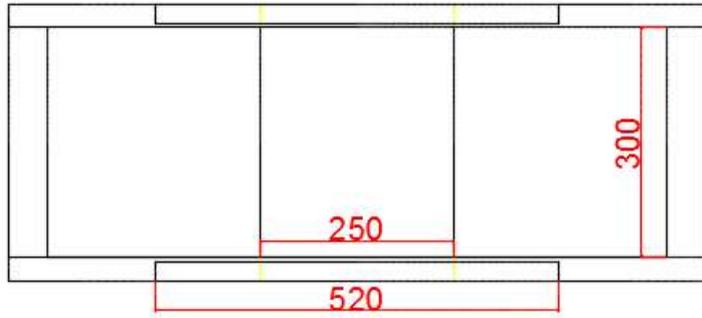


< 그림 2-1 > 진동 시험기

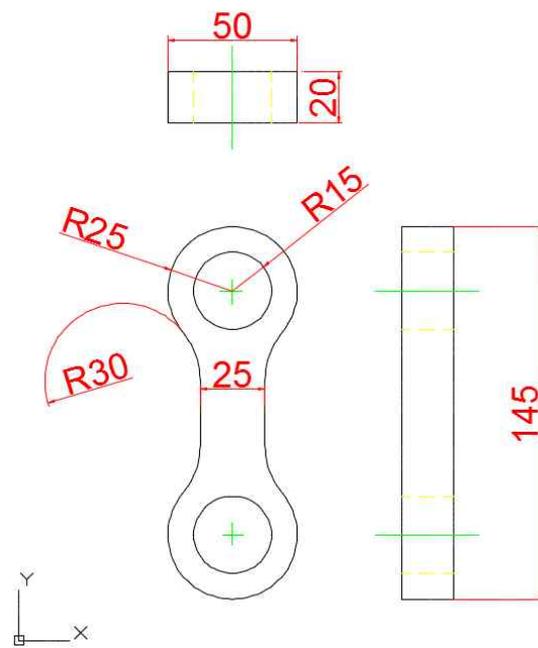
### 2) 진동 시험기 초안 2D CAD도면



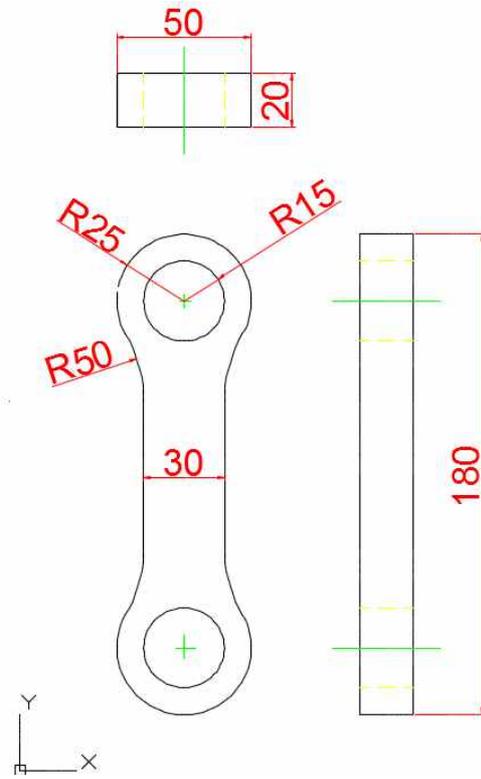
< 그림 2-2 > 진동슬라이드(carbon steel)



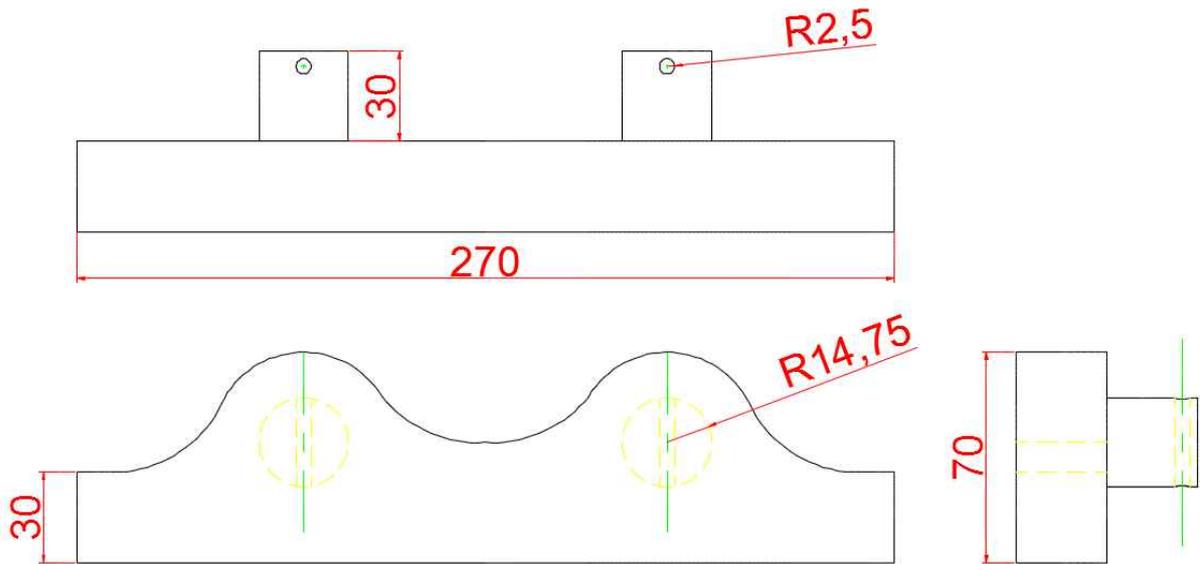
< 그림 2-3 > 받침 프레임(carbon steel)



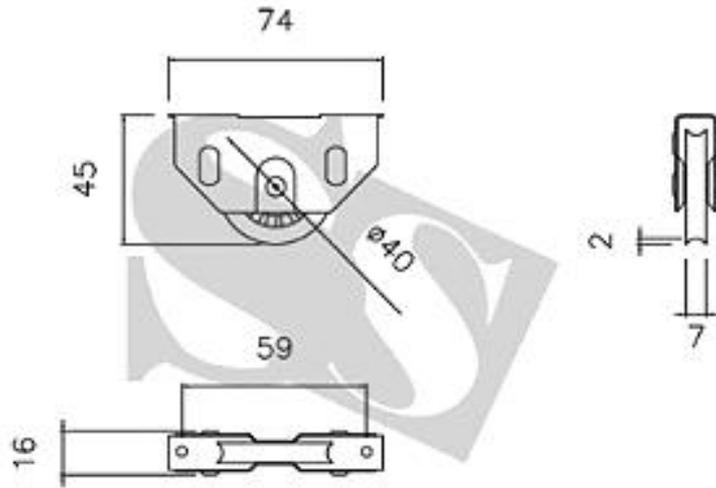
< 그림 2-4 > 레그(S45C)



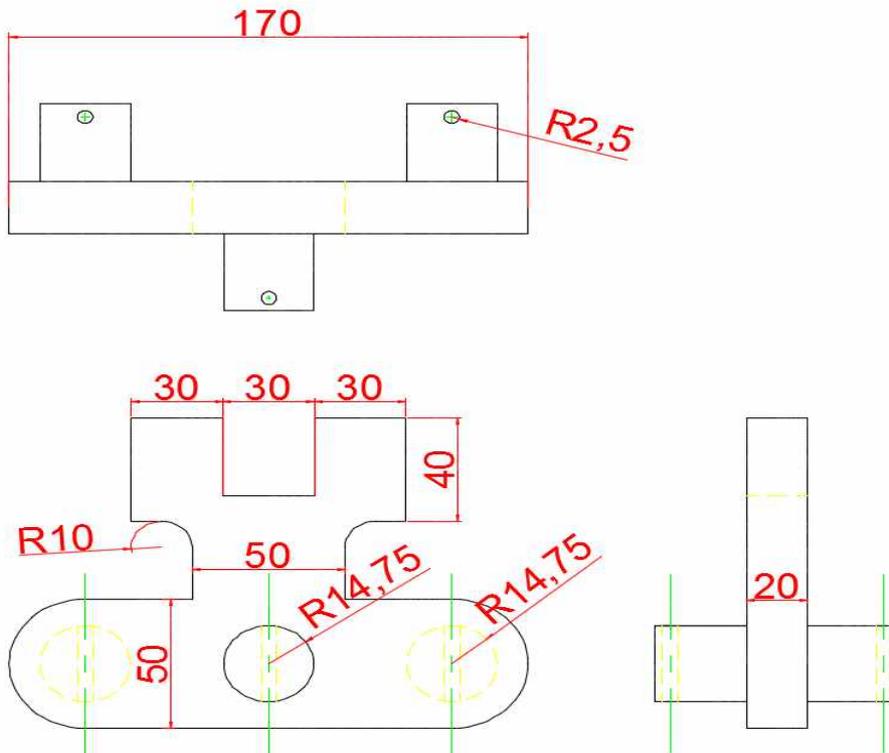
< 그림 2-5 > 조인트(S45C)



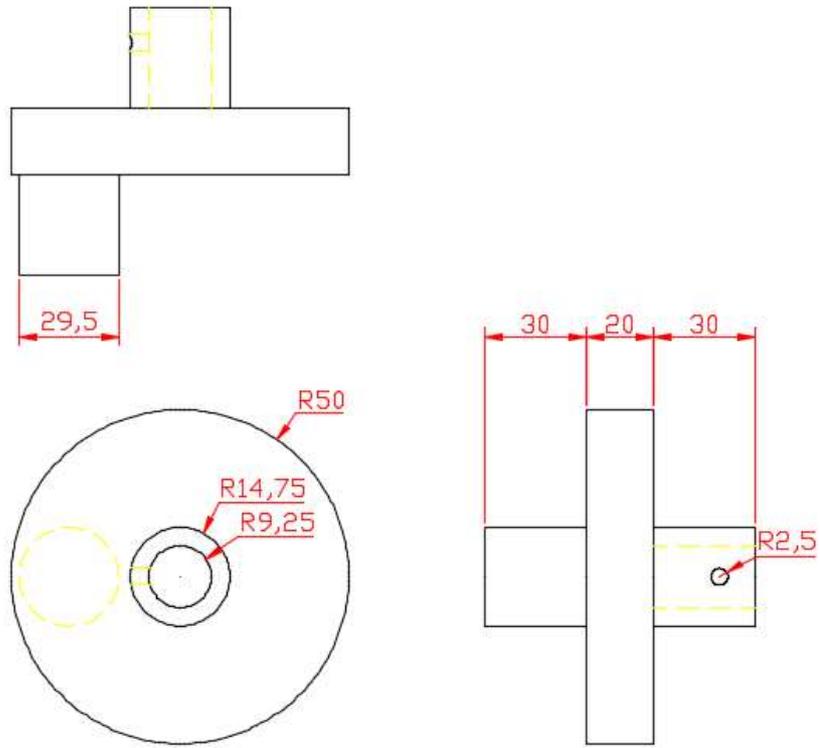
< 그림 2-6 > 바텀(S45C)



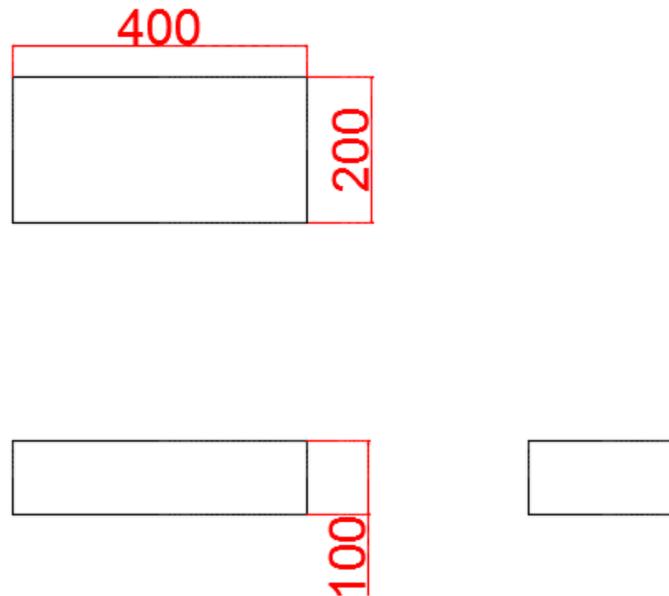
< 그림 2-7 > 롤러



< 그림 2-8 > 미드(S45C)

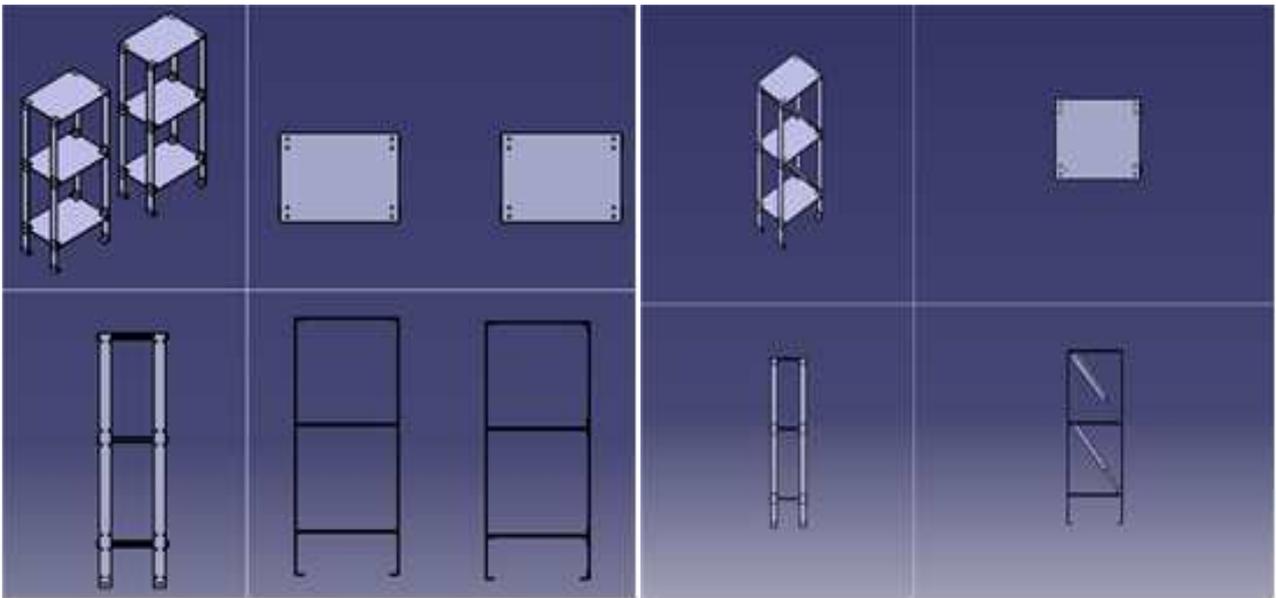


< 그림 2-9 > 모터 조인트 파트(S45C)



< 그림 2-10 > 베이스(S45C)

3) 구조물

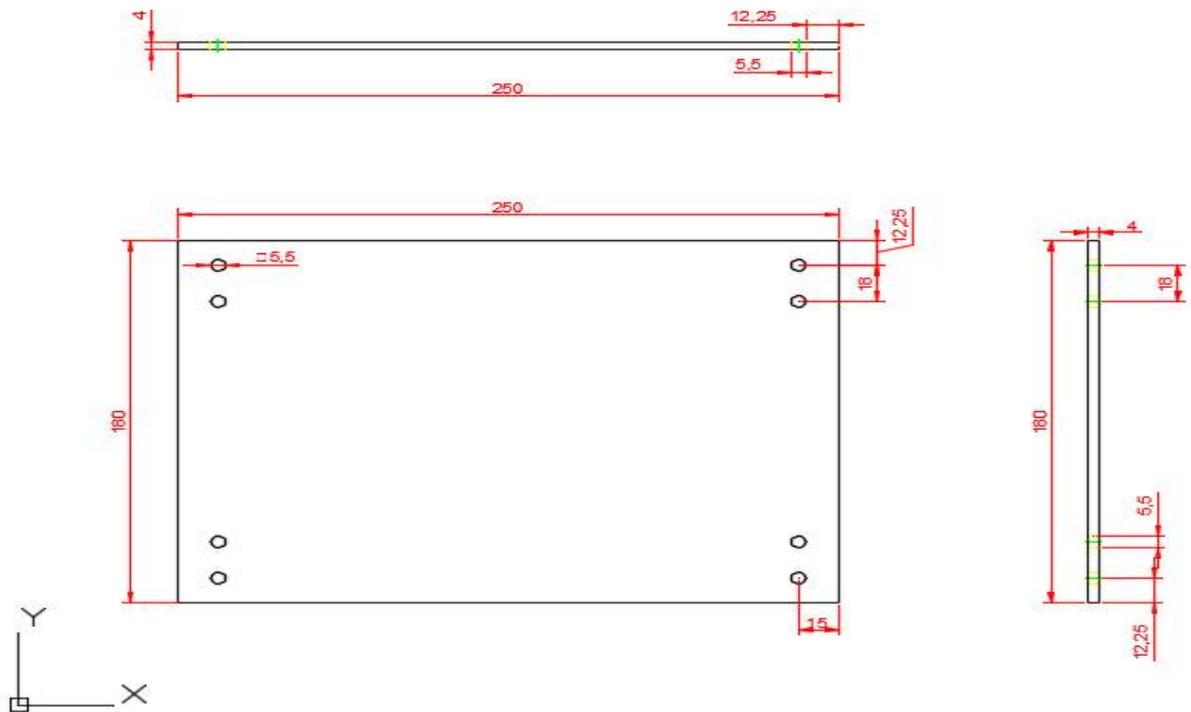


기본 구조물

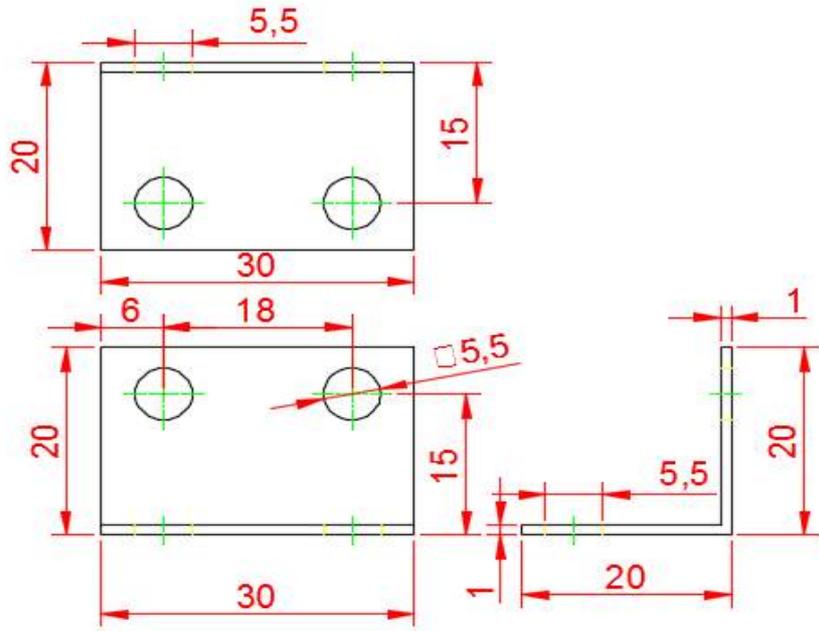
댐퍼 구조물

< 그림 2-11 > 구조물

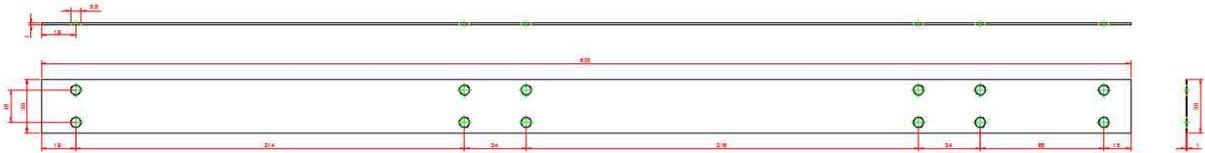
4) 구조물 2D CAD도면



< 그림 2-12 > board



< 그림 2-13 > braket

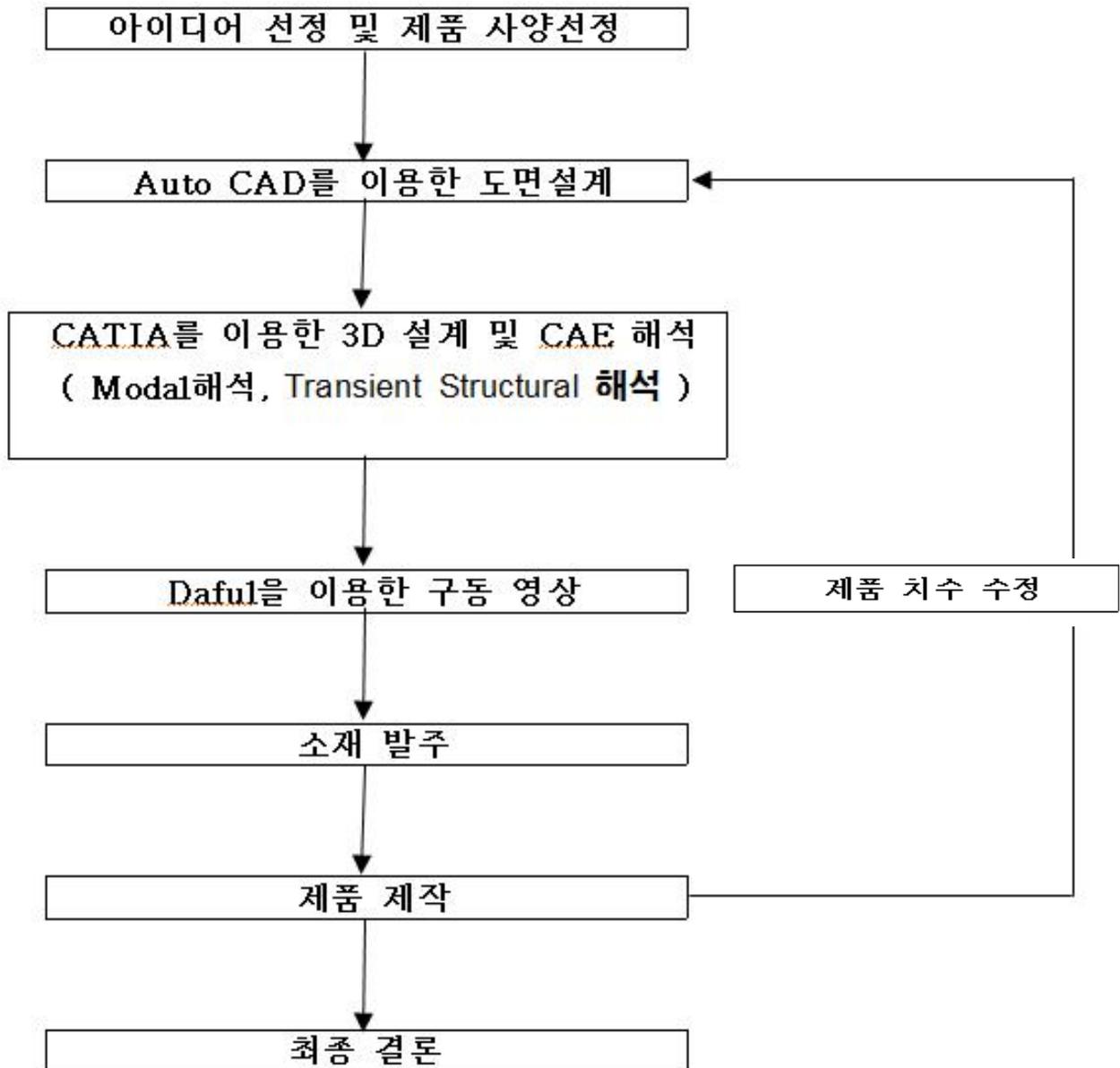


< 그림 2-14 > pilar

### 제 3 장 제 작

#### 제 1 절 공정도

아이디어 회의를 통한 댐퍼성능평가로 주제를 선정. 시험 및 해석에 관한 상세 설계 진행 후, 시험에서는 시험기와 구조물 상세설계 및 Daful을 이용한 검증, 해석에서는 실제 사이즈에 대한 축소 사이즈설정 후 해석실행. 시험기 제작 및 시험. 해석과의 비교 후 최종 결론 도출.



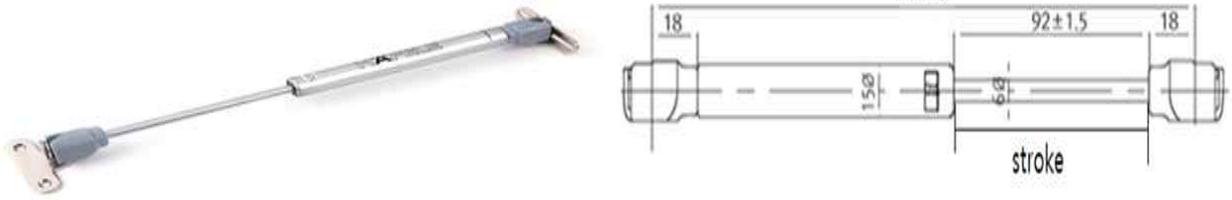
< 그림 3-1 > 공정도

## 제 2 절 제작

### 1. 각 제품별 설명

#### 1-1) 댐퍼(1) 선정된 댐퍼

- 헤펠레 가스쇼바



하중 : 일반형 - 15kg<sub>f</sub>, Stroke : 92mm

< 그림 3-2 > 댐퍼(1)

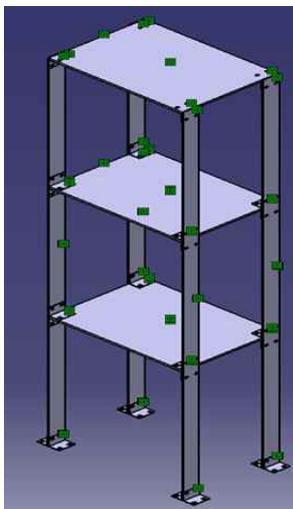
#### 1-2) 댐퍼(2) 선정되지 못한 댐퍼: 구조물과의 Stroke가 맞지 않아 사용하지 못함

- 일반 쇼바(소) 12kg, 3kg, 5kg

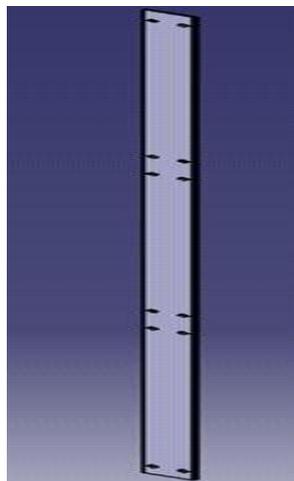


< 그림 3-2 > 댐퍼(2)

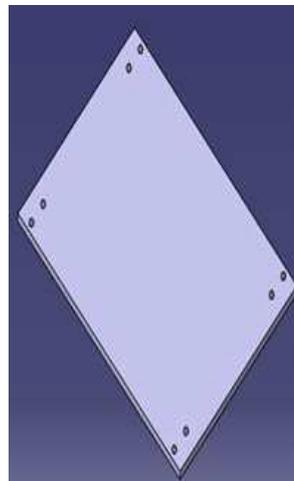
### 2. 구조물 설계



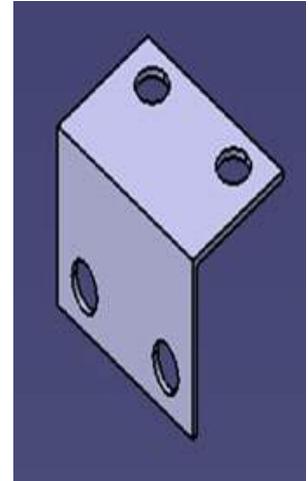
전체형상



pilar



board



braket

< 그림 3-3 > 구조물 전체 형상

전체적인 구조물의 소재는 sus-304이며 항복응력이 0.986 GPa이므로 충분히 사용 가능  
10:1 축소모형을 제작하는 것을 목표로 두고 주문 및 제작

- ① 필러 구조물을 흔들림을 표현하기 위하여 2mm로 설계
- ② 보드 댐퍼를 고정시키고, 건물의 바닥을 표현하기 위함
- ③ 보드, 필러를 고정시키고, 진동시험기와 고정하기 위하여 제작 \*5mm 유두렌지를 사용, 고정하였다.

실제 완성된 사진

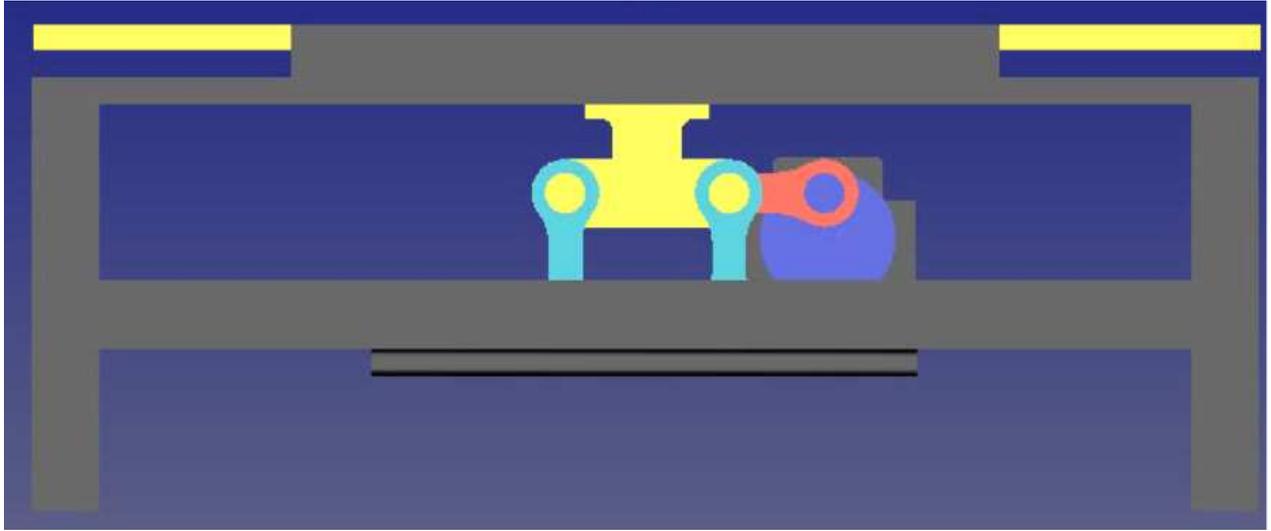
빨간색 원 부분에 댐퍼를 장착, 제진장치의 성능을 보여줄 것이다.



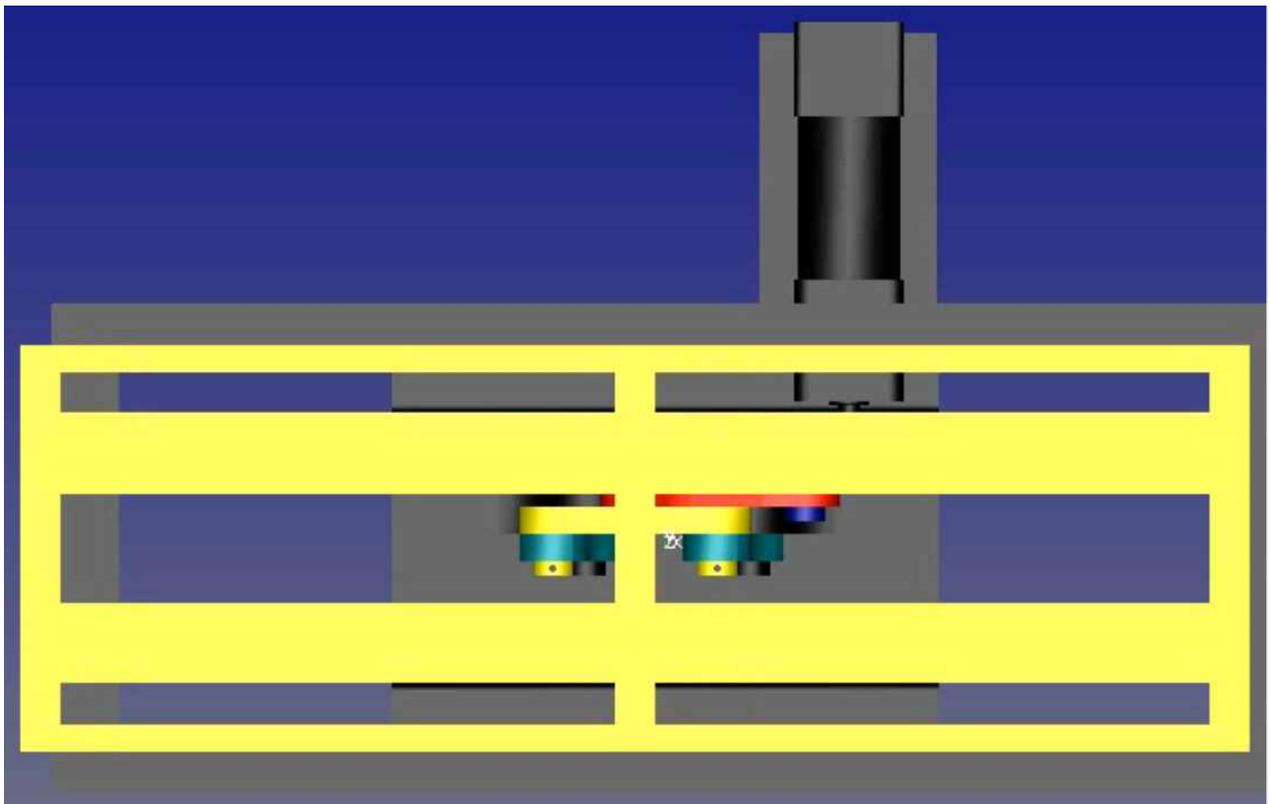
< 그림 3-4 > 조립 구조물

### 3. 진동 시험기 설계

#### 1) 구동 simulation

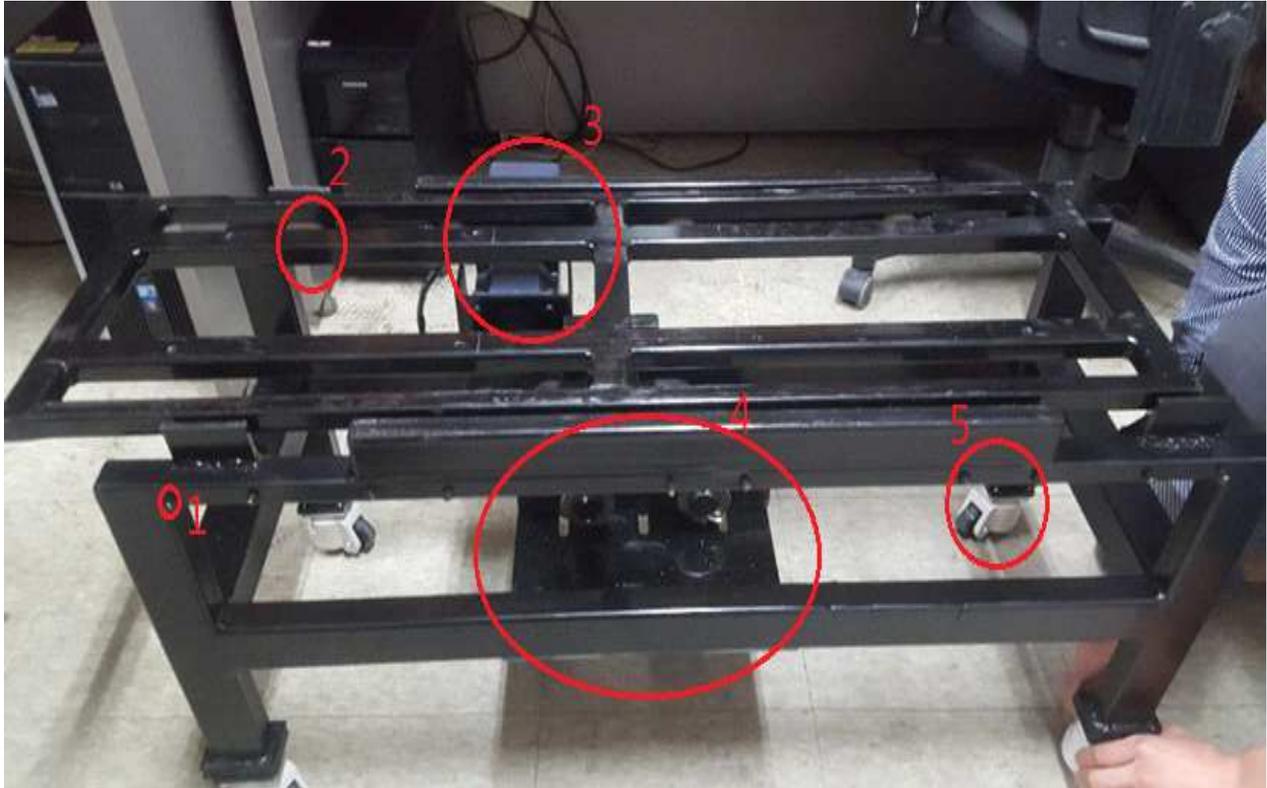


< 그림 3-5 > 구동 simulation (1)



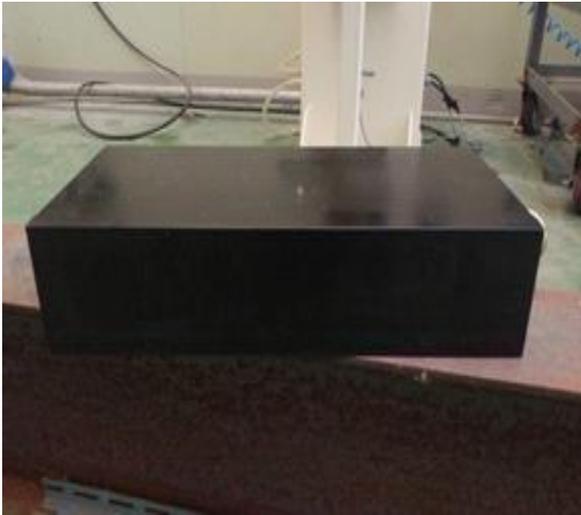
< 그림 3-6 > 구동 simulation (2)

## 2) 진동 시험기의 부품 구성



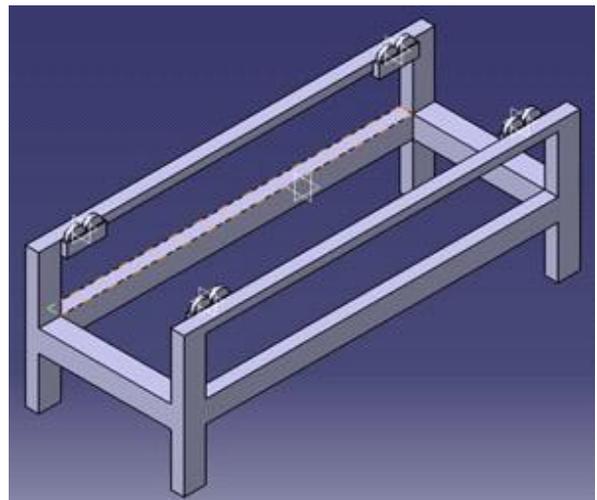
< 그림 3-7 > 조립 진동 시험기

번호	품명	용도
1	볼트 및 너트	시험기의 테이블에 롤러를 부착하기 위함. 6mm 유두렌지 및 너트를 사용하여 체결
2	롤러	직선운동 시 마찰을 최소화하기 위하여 부착
3	모터	선정기준 p.24 참조
4	구동부	설계 수정된 구동부. 교체 전 사진은 p.25 참조
5	바퀴	완성품 이동 및 고정용 용이하계끔 부착



< 그림 3-8 > 진동 시험기 부품(1)

설 명	진동시험기 구동부를 잡아주는 베이스 후에 다른 가공을 함으로써 없어짐	모터의 회전운동을 직선운동으로 바꾸기 위하여 제작한 구동부
--------	---	-------------------------------------



< 그림 3-9 > 진동 시험기 부품(2)

설 명	회전운동에서 직선운동으로 변환되어 직선운동을 하는 슬라이드 판	진동시험기 3D 형상
--------	---------------------------------------	-------------

### 3) 제작과정



< 그림 3-10 > 모터 위치 선정



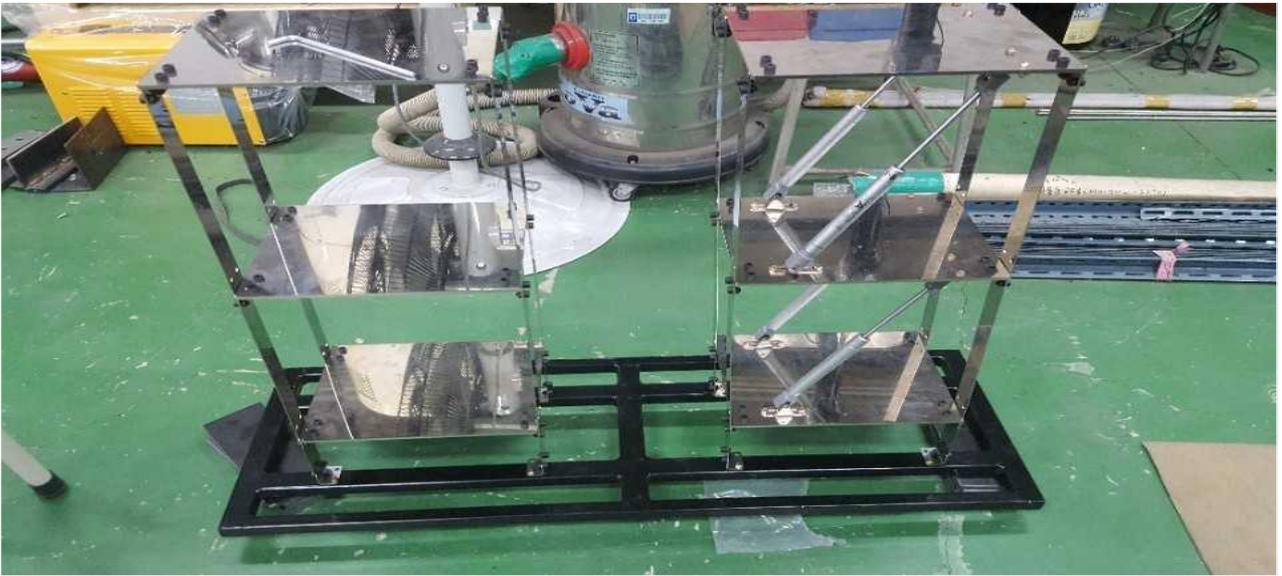
< 그림 3-11 > 모터 용접 부



< 그림 3-12 > 롤러 용접



< 그림 3-13 > 구조물



< 그림 3-14 > 상판에 구조물 체결



< 그림 3-15 > 전체 형상

### 3. 회전 모터의 선정

#### 1) 모터 선정 방식

속도 : 600rpm → 경주지진 : 10Hz

600rpm → 10rps ∴ 초당 10회전

토크 : 회전체 반지름 50mm

전체 무게 147.15kg<sub>f</sub> → 50\*147.15 = 7357.5kg<sub>f</sub> • mm

기어비 1:3 → 7357.5/3 = 2452.5kg<sub>f</sub> • mm - 이론 모터 토크

2.81 \* 9.81 = 2756.6kg<sub>f</sub> • mm - 선정 모터 토크

#### 2) 모터 제원

- 모터(1) 선정된 모터

사진																																																														
	<p>60Hz</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">MODEL</th> <th>GEAR RATIO</th> <th>3</th> <th rowspan="2">SIZE mm sq.</th> <th rowspan="2">Motor Type</th> <th rowspan="2">Controller Type</th> <th rowspan="2">Pole</th> <th>Output</th> <th>Voltage</th> <th>Freq.</th> <th rowspan="2">Duty</th> <th rowspan="2">Speed Range (rpm)</th> <th colspan="4">Permissible Torque</th> <th colspan="2">Starting Torque</th> <th rowspan="2">Cap. (uF)</th> </tr> <tr> <th>RPM</th> <th>600</th> <th>(W)</th> <th>(V)</th> <th>(Hz)</th> <th>at 1200rpm (kg-cm)</th> <th>(N-m)</th> <th>at 90rpm (kg-cm)</th> <th>(N-m)</th> <th>(kg-cm)</th> <th>(N-m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S9KHCB</td> <td>kg-cm</td> <td>28.1</td> <td>90</td> <td>S9I180GB( )-V12 S9I180GB( )-V12(TP) S9I180GB( )-V12CE</td> <td>SUA180B-V12</td> <td>4</td> <td>180</td> <td>1ø 220</td> <td>60</td> <td>Cont.</td> <td>90-1700</td> <td>7.72</td> <td>0.772</td> <td>4.25</td> <td>0.425</td> <td>6.45</td> <td>0.645</td> <td>7.0</td> </tr> </tbody> </table>														MODEL	GEAR RATIO	3	SIZE mm sq.	Motor Type	Controller Type	Pole	Output	Voltage	Freq.	Duty	Speed Range (rpm)	Permissible Torque				Starting Torque		Cap. (uF)	RPM	600	(W)	(V)	(Hz)	at 1200rpm (kg-cm)	(N-m)	at 90rpm (kg-cm)	(N-m)	(kg-cm)	(N-m)	S9KHCB	kg-cm	28.1	90	S9I180GB( )-V12 S9I180GB( )-V12(TP) S9I180GB( )-V12CE	SUA180B-V12	4	180	1ø 220	60	Cont.	90-1700	7.72	0.772	4.25	0.425	6.45	0.645
MODEL	GEAR RATIO	3	SIZE mm sq.	Motor Type	Controller Type	Pole	Output	Voltage	Freq.	Duty	Speed Range (rpm)	Permissible Torque				Starting Torque						Cap. (uF)																																								
	RPM	600					(W)	(V)	(Hz)			at 1200rpm (kg-cm)	(N-m)	at 90rpm (kg-cm)	(N-m)	(kg-cm)	(N-m)																																													
S9KHCB	kg-cm	28.1	90	S9I180GB( )-V12 S9I180GB( )-V12(TP) S9I180GB( )-V12CE	SUA180B-V12	4	180	1ø 220	60	Cont.	90-1700	7.72	0.772	4.25	0.425	6.45	0.645	7.0																																												

< 그림 3-11 > 모터(1)

- 모터(2) 선정되지 않은 모터

	모터 BLDC모터 (BG90)	드라이버(SBDSMS - 03A)
사진		
	<p>기어비 1:3 적용</p> <p>전압 220V</p> <p>속도 : 15~1000rpm (조절가능)</p> <p>토크 : 15.4~300 kg<sub>f</sub> • cm</p> <p>드라이버 : SBDSMS-03A</p>	<p>최대 전류 : 3A</p> <p>전원공급 : AC220V, 50/60 Hz</p> <p>가동열 : 0°C ~ 50°C</p> <p>기능 : 속도 조절가능</p> <p>회전방향 변경 가능</p> <p>On/off 식</p>

< 그림 3-12 > 모터(1): 속도는 빠르고, 토크는 너무 작아 시험에 사용 불가능

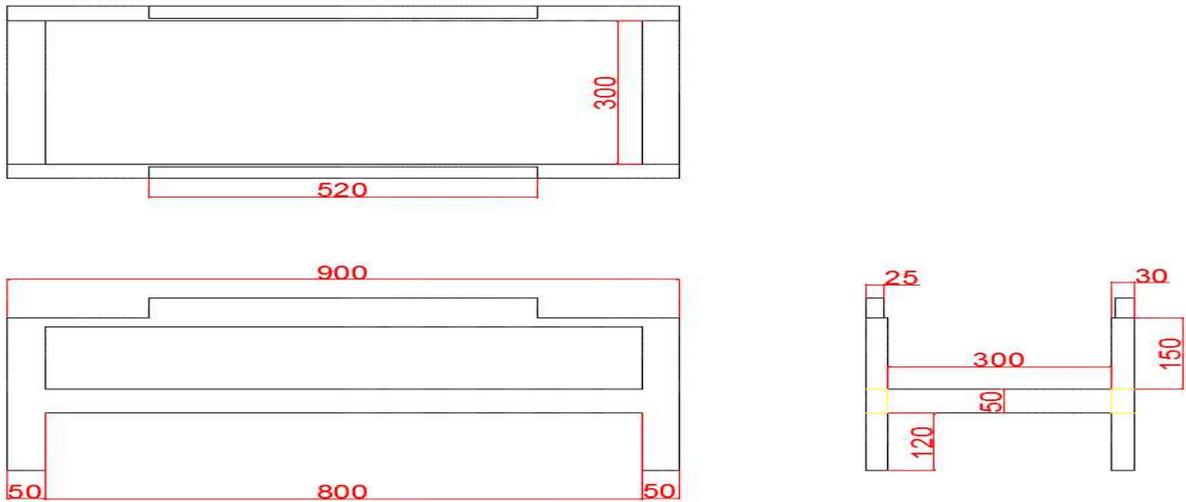
### 제 3 절 설계 보완

#### 1) 진동 시험기 구동 부 수정

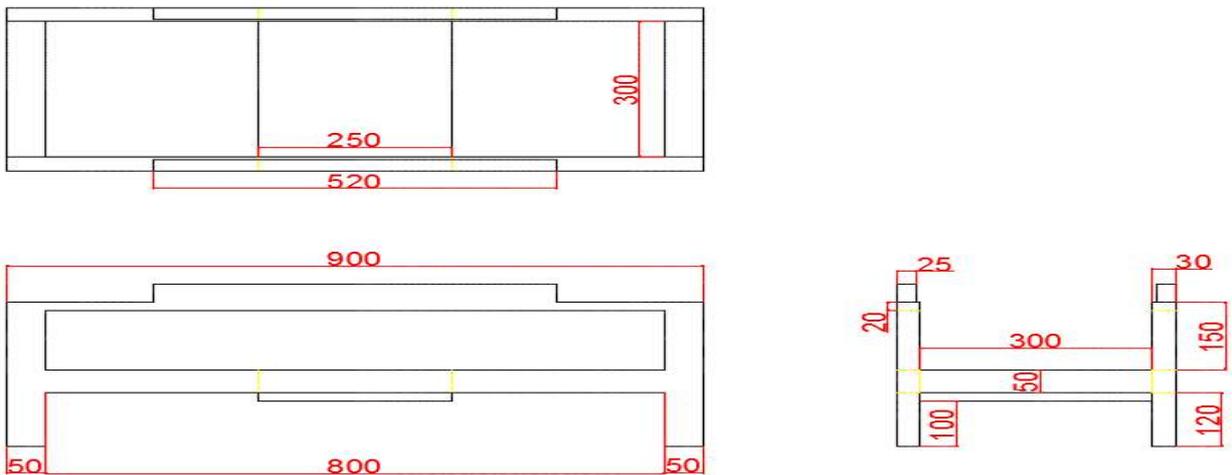
진동시험기의 초안에 따라 제작을 한 결과 구동 시 많은 문제점이 발생하였다. 먼저 진동시험기 구동 부를 잡아주는 베이스 부분이 과도하게 무거웠다. 구동부를 잡아주는 역할로는 충분하였지만 진동시험기를 이동시키는 과정에서 많은 불편사항이 발생하였다.

또한 구동부와 시험기 테이블이 일체화되지 않아 구동 시 테이블이 움직이는 현상이 발생, 모터의 중심축과 구동부의 중심축이 틀어져 구동이 불가능하였다. 이에 베이스를 제거하고 구동부의 하판을 테이블에 부착하여 구동부와 테이블을 일체화했다.

진동시험기의 초안 설계에 있어서 베이스를 무겁게 한 이유가 구동부가 고정되어서 흔들리지 않게 하게 위함이었다. 하지만 추가 공정에서 진동시험기와 베이스 부분을 하나의 몸체로 결합함으로써 센터를 고정시키면서 무게를 감소할 수 있는 효율적인 방법으로 설계를 변경, 이로 인해 더 편리하고 효율적인 구동과 운반이 가능하게 되었다.



< 그림 3-13 > 프레임 수정 전 도면



< 그림 3-14 > 프레임 수정 후 도면



[수정 전]



[수정 후]

< 그림 3-15 > 진동 시험기 수정

설계를 변경하고 난 뒤에는 외관적으로도 깔끔해지고 운반 및 이동도 편리해졌다. 그리고 무엇보다도 중요한 구동 부분에서 센터라인이 알맞은 상태로 고정이 되어있기 때문에 구동 시 처음설계 했던 것 보다 원활히 구동되었다. 처음부터 설계를 할 때 일체화를 시키는 것을 고려했었다면, 비용과 시간면에서 더 효율적이었을 것이다.

## 제 4 장 시험 및 평가

### 제 1 절 시험 요구조건

- 크랭크축을 이용해 회전운동을 직선운동으로 변환되는데 문제가 없도록 한다.
- 구동 시 진동슬라이드에 마찰 문제가 없도록 한다.
- 시험 진행 중 구동부가 원활히 작동하도록 되어야 한다.
- 스펙에 맞는 모터를 선정하여 원하는 주파수대의 진동을 구현할 수 있어야 한다.
- 모터가 흔들리지 않도록 고정 시켜야한다



< 그림 4-1 > 진동 시험기

## 제 2 절 시험평가

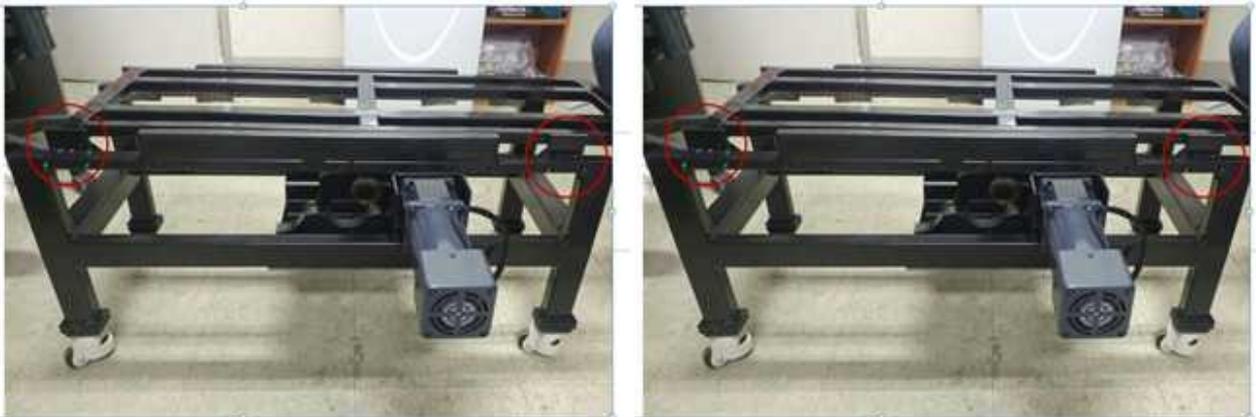


크랭크 축

모터 회전 부

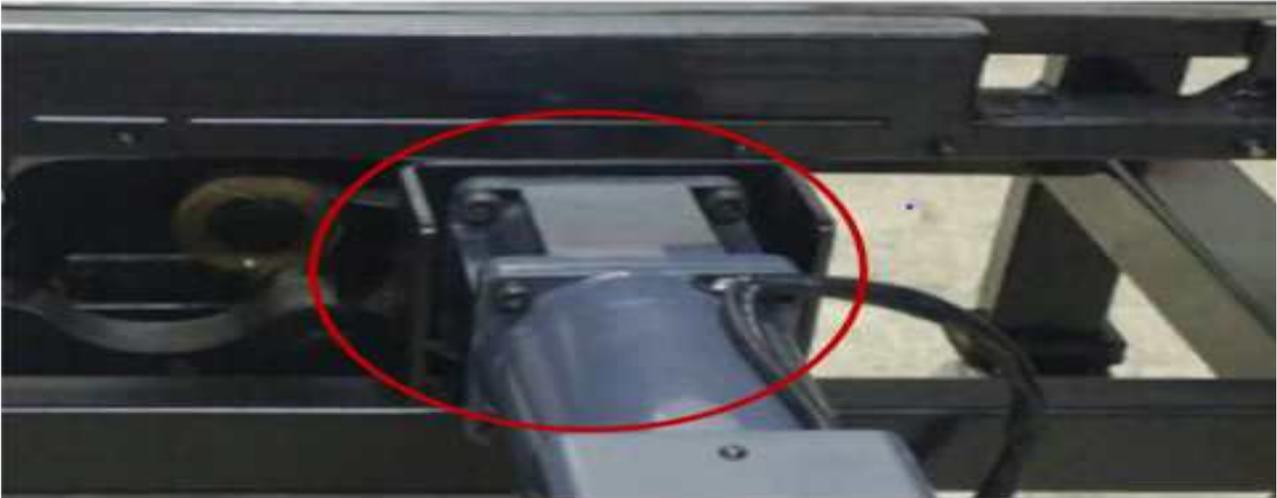
< 그림 4-2 > 진동 시험기 구동 부

- 모터를 구동 시 크랭크축과 진동 슬라이드, 구조물의 무게 때문에 하한 점에서 상한점으로 갈 때 부드럽게 구동하지 못하였고 심한 소음과 진동이 발생하였다. 처음 설계했던 회전운동을 직선운동으로 원활히 변환해주는 점이 다소 미흡했다.



< 그림 4-3 > 롤러 위치 수정

- 초기 설계에서는 마찰을 크게 고려하지 않고 설계를 하였다. 제품을 제작하는 과정에서 진동 슬라이드와 테이블 간의 마찰이 문제가 되어 롤러를 부착해 마찰로 인한 문제를 해결하였다.
- 시험 진행시 진동 슬라이드가 진행 방향이 아닌 양옆으로 틀리는 문제가 발생하였다. 기존의 가이드라인이 중간에만 설치가 되어 가장 끝단을 잡아주지 못해 생긴 문제로, 가장 끝의 네 부분의 작은 가이드 판을 설치하여 문제를 해결하였다.



< 그림 4-4 > 모터 고정

- 시험 진행시 구동부와 구조물의 무게 때문에 모터가 흔들리는 문제가 발생했다. 기존 설계에서는 모터의 외형에 맞는 홈을 제작하여 모터의 탈부착이 가능하였지만 홈의 여유 공간으로 인해 흔들림이 발생하였다. 이에 모터의 앞부분을 Bolt 체결하여 고정하는 방법으로 수정하였다.

## 제 3 절 CAE 해석 결과

### 1. CAE 해석 Ansys S/W

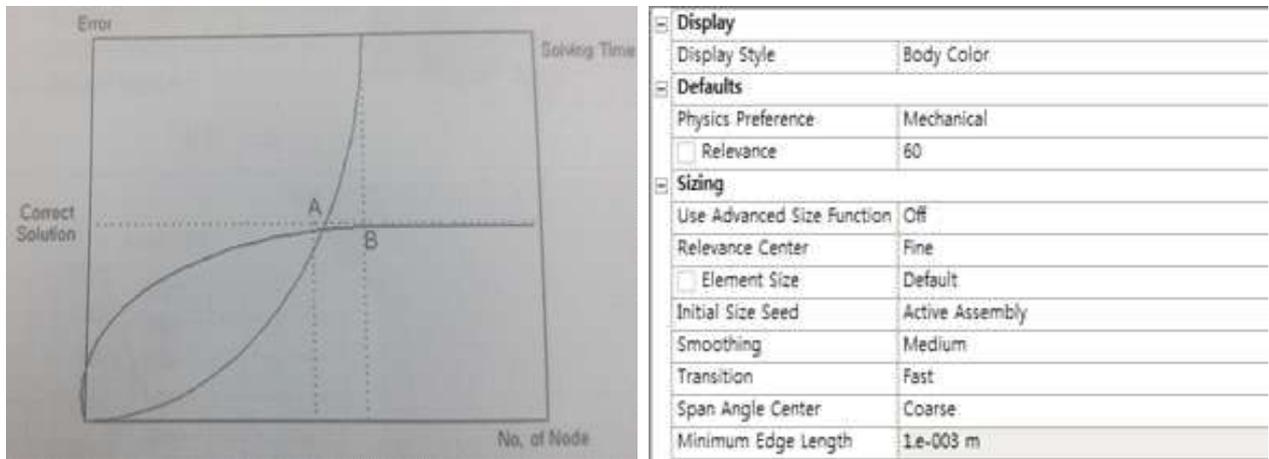
#### Modal 해석

- 진동 문제에 공진 현상을 피하기 위해 물체의 고유진동수를 확인
- 구조물이 어떻게 진동 하고 있는지 파악

#### Transient Structural 해석

- 구조물에 주파수를 인가하여 변형을 찾는 해석
- Modal 해석으로 구조물의 고유진동수 및 공진을 파악 후 Transient Structural 해석을 통하여 지진 시 구조물의 변위 값을 찾는 후 기존 구조물과 댐퍼 구조물의 차이를 확인

### 2. 해석 조건



< 그림 4-5 > 요소망

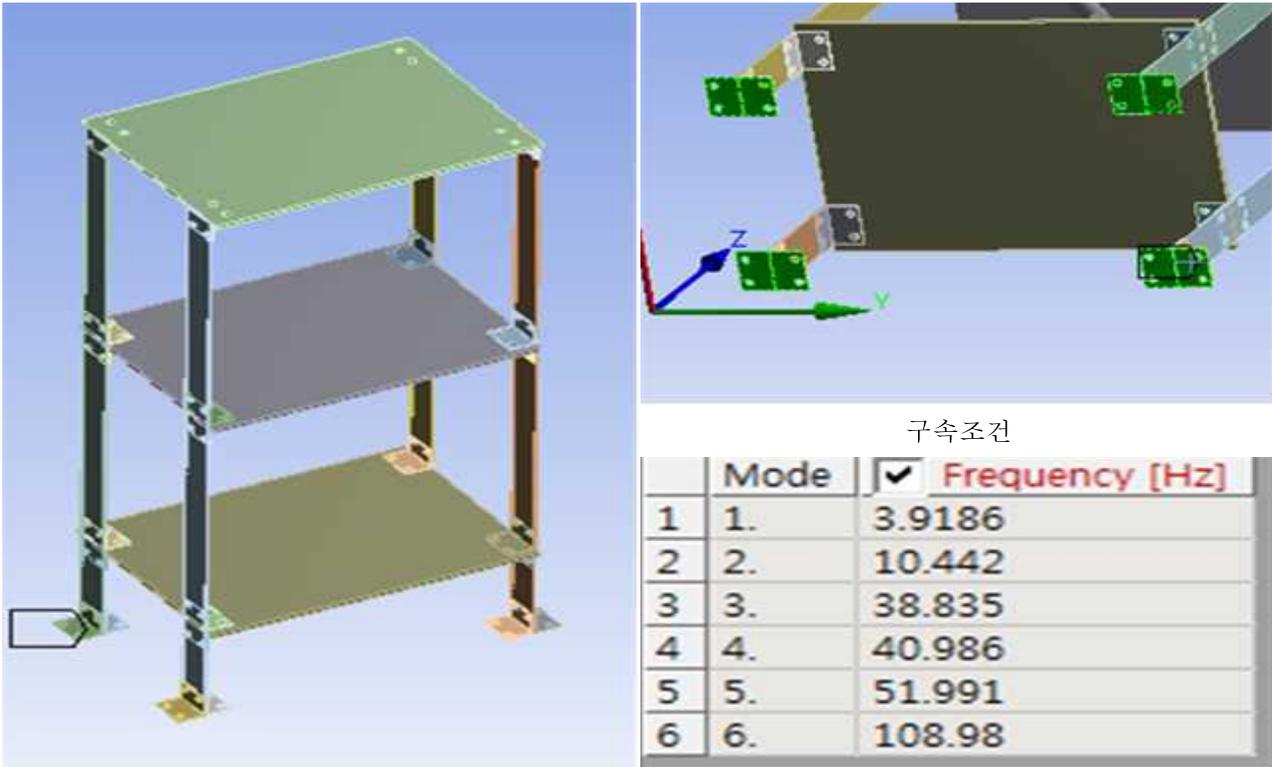
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7750	kg m <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
16	Tensile Yield Strength	2.15E+08	Pa		
17	Compressive Yield Strength	2.07E+08	Pa		
18	Tensile Ultimate Strength	5.05E+08	Pa		
19	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
20	Isotropic Thermal Conductivity	15.1	W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>		
21	Specific Heat	480	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>		
22	Isotropic Relative Permeability	1			
23	Isotropic Resistivity	7.7E-07	ohm m		

< 그림 4-6 > SUS304 물성치

해석을 진행하기 전에 가장 효율적인 요소 조밀도를 찾아야 한다. 요소 조밀도를 조금씩 올려가면서 해석을 돌려본 결과 요소 조밀도가 낮을 때와 클 때와는 확연히 큰 차이가 나타났다. 가장 효율적인 A 지점을 찾는 것이 관건이다. 많은 해석을 실행한 결과 Relevance Center = Fine , Relevance=60 일 때 결과값 이나 해석 시간의 효율이 가장 좋은 것으로 판단되었다.

### 3. Ansys Modal 해석

#### 1) 기존 구조물



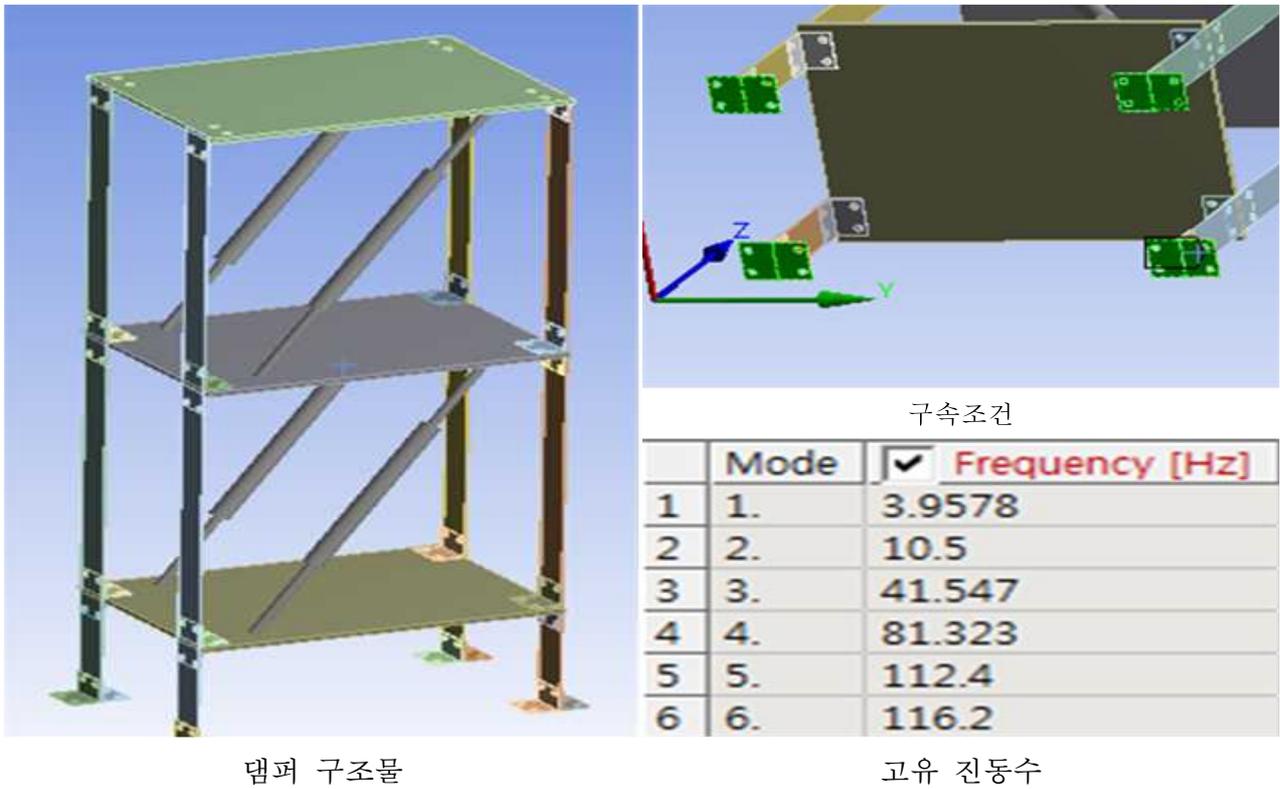
기존 구조물

고유 진동수

< 그림 4-7 > 기존 구조물 해석조건

- modal 해석은 구조물이 가지는 고유한 진동수를 찾아서 공진현상을 막기 위해 지진과 같은 진동 문제에서 필수적인 해석이다. 먼저 댐퍼가 없는 구조물을 Modal 해석을 실행해보았다. 구조물의 재료는 실제 모델과 같은 SUS304를 설정하였다. 경계조건으로 실제 우리가 실험을 하는 조건 그대로 진동 슬라이드와 구조물 발판 부분인 브래킷이 연결되므로 아래쪽 브래킷을 고정 구속으로 설정하였다.
- 6차 모드까지 해석을 진행하였으며, 각 모드별로 고유진동수가 파악되었다. 하지만 우리의 실험은 좌우 운동인 P파를 고려한 시험이다. 즉 좌우 운동을 나타내는 1차 모드가 우리 시험에 필요한 고유 진동수이다. 가장 변형이 일어나기 쉽고 좌우로 흔들리는 1차 모드가 중요하며 댐퍼가 없는 구조물에서는 1차 모드가 3.9186Hz로 파악되었다. 모드 차수가 늘어날 수록 급격히 고유진동수가 증가하는 것을 알 수 있다. 설정에 따라 6차 이상의 모드에서도 고유진동수를 파악할 수 있다.

## 2) 댐퍼 구조물



댐퍼 구조물

고유 진동수

< 그림 4-8 > 댐퍼 구조물 해석조건

- 두 번째로 댐퍼가 있는 구조물을 Modal 해석을 실행해 보았다. 구조물의 재료는 동일하게 SUS304를 선정하였다. 경계조건 역시 댐퍼가 없는 구조물처럼 아래쪽 브래킷을 고정 구속으로 설정하였다. 좌우 운동인 1차 모드의 진동수는 3.9578Hz로 파악되었다.
- 댐퍼가 있는 구조물을 modal 해석을 하였지만 댐퍼가 없는 구조물과 고유진동수가 크게 차이가 나지 않는 것을 파악할 수 있었다. 이는 댐퍼의 물성에 따라 좌우되며, 수식에 근거하여 뒷받침될 수 있다.

### 3) Modal 해석비교

Graphics Properties	
Visible	Yes
Definition	
Type	Longitudinal
Spring Behavior	Both
<input type="checkbox"/> Longitudinal Stiffness	1.e-005 N/m
<input type="checkbox"/> Longitudinal Damping	10. Ns/m

< 그림 4-9 > 댐퍼 물성치

■ 고유진동수 →  $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$

< 그림 4-10 > 이론 계산식

- 고유진동수를 구하는 단 음식에 근거하게 되면 고유진동수는 질량에 반비례 스프링 강성에 비례하게 되므로 우리는 댐퍼의 스프링 강성인 K를 거의 0에 가까운 값으로 가정하였기 때문에 댐퍼가 있는 구조물과 없는 구조물의 고유진동수 차이가 거의 없음을 알 수 있다.
- 댐퍼가 있는 구조물과 댐퍼가 없는 구조물의 Modal 해석을 비교해보면 고유진동수에는 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 이유는 댐퍼의 물성치로서 설명이 가능하다. 댐퍼의 물성치를 실험을 통해서 확인해야 하는데 장비의 한계로 인해서 댐퍼의 물성치를 파악하지 못하여 가정 값을 넣게 되었다. 스프링 강성을 0.00001 N/m 댐핑 강성을 10N\*S/m으로 가정 값을 잡았다.

#### 4) Ansys transient Structural 해석

Ansys 해석 다물체 동역학 해석 (transient 해석)



**Stiffness Coefficients**

Stiffness	Unit X (m)	Unit Y (m)	Unit Z (m)	Unit Rx	Unit Ry	Unit Rz
Δ Force X	0.					
Δ Force Y	0.	0.				
Δ Force Z	0.	0.	0.			
Δ Moment	0.	0.	0.	0.		
Δ Moment	0.	0.	0.	0.	0.	
Δ Moment	0.	0.	0.	0.	0.	0.

**Damping Coefficients**

Mass Damp	Unit X (m)	Unit Y (m)	Unit Z (m)	Unit Rx	Unit Ry	Unit Rz
Δ Force *	0.					
Δ Force *	0.	0.				
Δ Force *	0.	0.	0.			
Δ Moment	0.	0.	0.	0.		
Δ Moment	0.	0.	0.	0.	0.	
Δ Moment	0.	0.	0.	0.	0.	0.

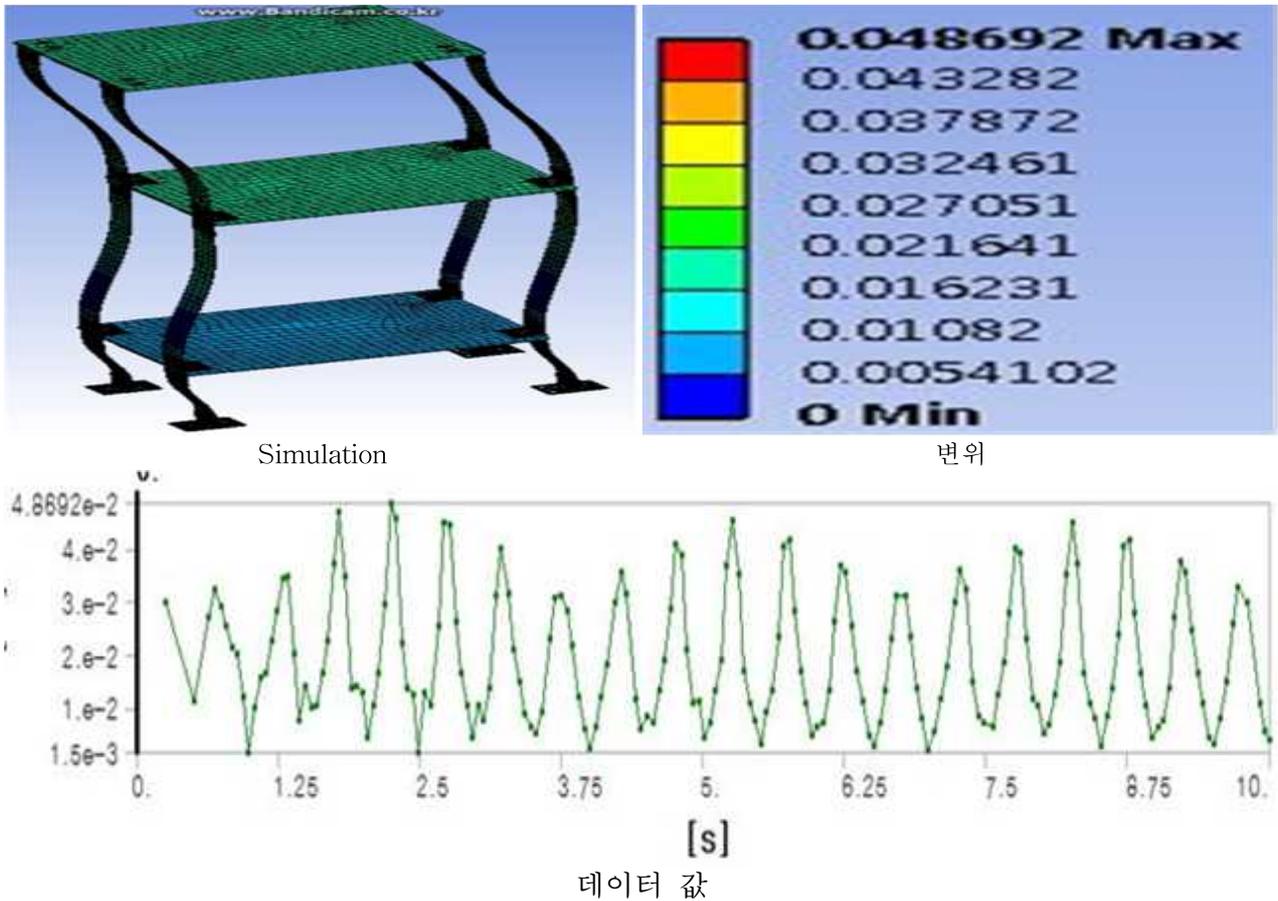
< 그림 4-11 > 댐핑 계수 파악

- Ansys transient Structural 해석이란 다 물체 동역학 해석으로서 물체의 여러 가지 동역학적 시스템에 관한 거동을 해석을 하는 방법이다. 스프링 즉 댐퍼를 표현하기 위해 Ansys transient Structural 해석을 진행하였다. 스프링의 형상을 생성하여 Stiffness Coefficients 강성 즉 스프링 강성과 Damping Coefficients 댐핑 강성을 기입하여 우리가 사용하는 댐퍼를 형상화할 수 있다. 기본 구조물과 댐퍼 구조물의 변위를 파악하기 위해 댐퍼의 물성을 넣는 것이 필수적이므로 Ansys transient Structural 해석을 한다.

#### Ansys transient Structural 경계조건

- Ansys transient Structural 사용하여서 지진을 구현하기 위해 Displacement 기능을 사용하였다. Displacement 기능은 쉽게 생각하여 구조물을 강제 이동시켜 지진이 일어났을 때 구조물이 받는 피해와 효과가 같다고 생각했다. Displacement 경계조건으로 아래쪽 브래킷을 강제 이동시키는 면으로 구속을 해주었다. 실제 지진파의 1/10 scale 실험과 제작한 진동시험기의 여건을 고려하여 진동수를 1Hz로 가진 하고 진폭은 좌우 3cm로 기진하였다.

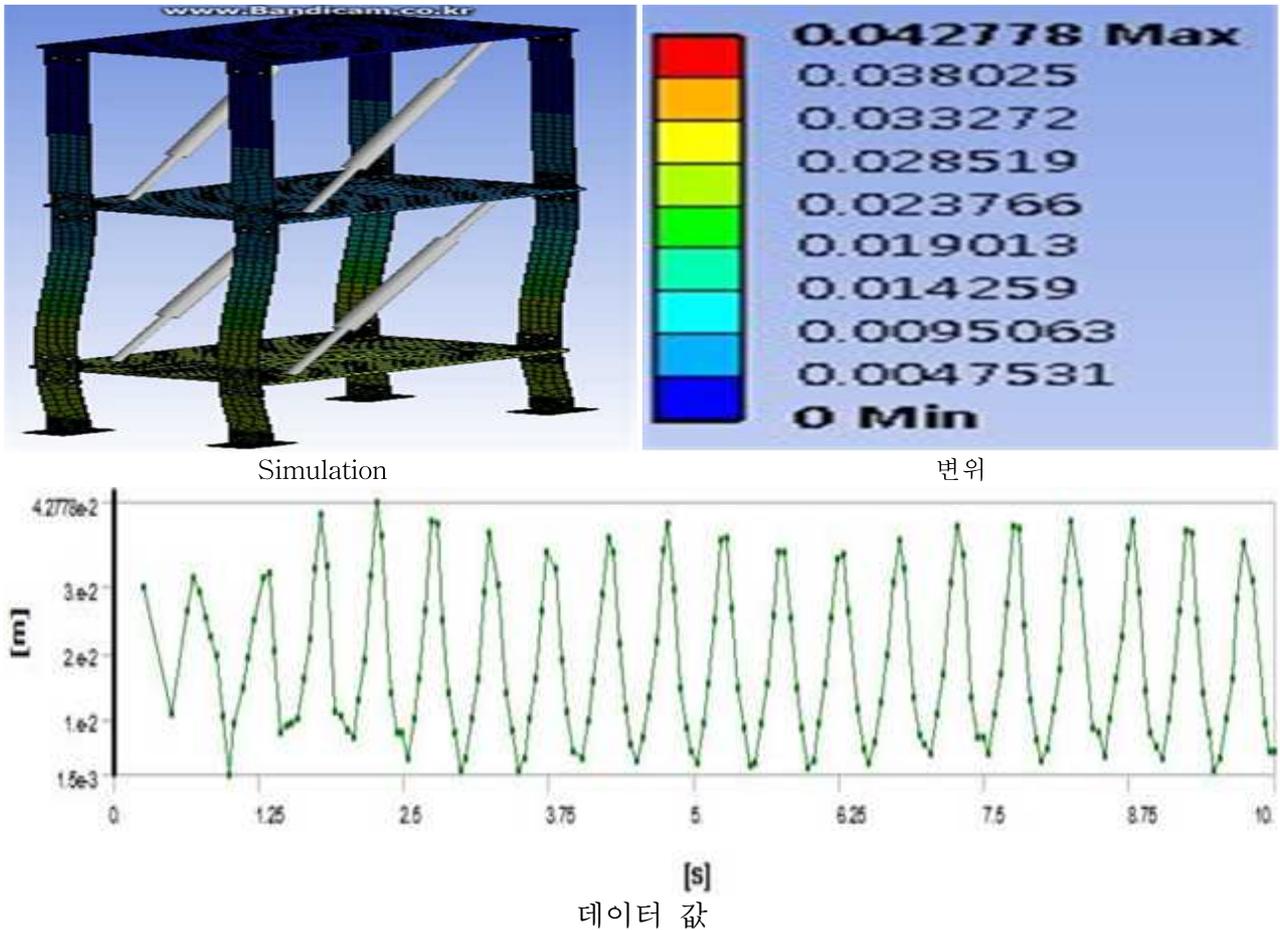
5) 기존 구조물 해석결과



< 그림 4-12 > 기존 구조물 해석결과

- 기본 구조물의 Ansys transient Structural 해석을 해본 결과 Simulation에서도 큰 변위가 일어난다는 것을 한눈에 파악할 수 있다. 이론대로라면 10hz를 가진 해야 하겠지만, 진동시험기의 여건상 1hz를 가진 하였기 때문에 실제 실험과 수치적으로 비교 분석은 어려웠다. 하지만 1hz의 진동에서도 변위의 정도를 알 수 있었다.
- 또한 좌우 운동인 1차 모드의 고유진동수가 3.9186인 것을 고려할 때 1hz의 진동수를 주어도 공진이 일어나지 않는 범위인 것을 감안하여 1hz의 진동수는 적당하다고 생각되었다. 최대 변위는 옆의 변위 결과표에서 알 수 있듯이 최대 변위는 0.048692m이다.

## 6) 댐퍼 구조물 해석결과



< 그림 4-13 > 댐퍼 구조물 해석결과

- 댐퍼 구조물의 Ansys transient Structural 해석을 해본 결과 Simulation에서는 댐퍼가 없는 구조물과의 차이를 한눈에 알아보기는 힘들었다. 경계조건은 기본 구조물과 동일하게 설정하였으면 댐퍼의 물성은 가정 값을 설정하였다. 변위 결과표에서 최대 변위가 0.042778m인 것을 확인하고 기본 구조물의 비해 최대 변위가 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

## 7) transient Structural 해석비교

댐퍼가 있는 구조물과 댐퍼가 없는 구조물의 transient Structural 해석을 비교해보면 최대 변위에서의 차이를 알 수 있다. 댐퍼가 없을 때의 최대 변위는 0.048692m 댐퍼가 있을 때의 최대 변위는 0.042778m이다. 미소한 차이지만 댐퍼가 있는 구조물이 변위가 작은 것을 알 수 있다. 실제 실험에서는 댐퍼가 있는 구조물은 거의 흔들리지 않았다. 이는 댐퍼의 물성치를 파악하지 못하여 가정 값을 넣었기 때문에 실제 실험과의 비교는 힘들었다.

## 제 4 장 결론

### 제 1 절 문제점 분석 및 처리결과

#### 문제점 분석

진동시험기의 구동부와 받침인 테이블이 일체화하지 않아 구동 시 테이블이 움직이는 현상이 나타나 구동이 힘들었고, 모터와 구동축의 중심축이 일치하지 않아 구동 중 멈추는 현상이 발생했다. 이로 인해 진동시험 기구 동부의 구동이 원활하지 못하였고, 또한 상판이 양방향 미끄러짐 과정에서 테이블과의 마찰이 있었다. 이로 인해 이상적인 지진을 묘사하지 못하였다. 또한 시험기의 무게로 운반이 힘든 단점도 있었다.

댐퍼(가스 쇼바)는 시험에서 너무 큰 강성의 댐퍼를 사용하여 댐퍼를 단 구조물은 거의 변위가 없었다. 해석에서는 댐퍼의 댐핑 계수 등의 물성치를 파악하지 못하여 정확한 수치 기입이 불가능했으며, 해석 결과에서도 이론값에 전혀 못 미치는 결과가 나타났다. 즉, 댐퍼(가스 쇼바)가 아니라 비슷한 크기의 보를 달아도 실험이 유사했을 것이다.

처음에는 NFX 프로그램을 사용하려고 하였으나 NFX 프로그램 상에서 댐퍼의 댐핑 계수와 같은 물성치를 대입하는 것이 불가능하여 Ansys 프로그램으로 변경하게 되었다. 또한 댐퍼의 물성치를 정확히 알지 못하였기 때문에 Ansys 해석에서도 댐퍼의 물성치를 정확히 기입하지 못하여서 가정 값을 기입하였다. 이로 인해 해석에서는 제진 구조물의 변위 값이 터무니없이 크게 나타났으며, 시험에서는 제진 구조물의 변위가 거의 없었다.

#### 결과

시험기는 구동부와 테이블을 일체화시켰으며, 상판과 테이블의 마찰을 줄이기 위하여 롤러를 체결하였고 처음과 비교했을 때보다 마찰이 크게 감소하였다. 모터와 구동축의 중심축을 일치시켜 저속에서는 구동이 원활하게 변경하였다. 또한 테이블 각각의 다리에 Wheel을 부착하여 운반이 용이하게 하였다.

댐퍼는 시험 규격에 맞추다 보니 불가피하게 가스 쇼바를 사용하였는데 작은 강성의 댐퍼는 규격이 맞지 않아 부착이 불가능했다. 이에 댐퍼는 규격에 맞추어 그대로 부착하였다.

## 제 2 절 향후과제

향후 과제로서 제일 먼저 필요한 것이 실험으로 댐퍼의 정확한 물성치를 찾는 것이 최우선이다. 이번 프로젝트의 관건이 댐퍼인데, 댐퍼의 물성치를 찾지 못했을뿐더러 강성이 너무 큰 댐퍼를 써서 댐퍼를 달았을 때 실험 구조물이 거의 흔들리지 않는 현상이 발생했다. 또한 댐퍼의 물성치를 정확히 알지 못해서 해석과 실제 실험과의 비교도 힘들었다. 댐퍼의 정확한 물성치를 찾게 된다면 댐퍼의 효율이 극대화되는 위치와 구조를 찾을 것이다. 이번 프로젝트에서는 대각선으로 대형 댐퍼를 설치했지만 여러 위치와 구조로 변경하여 댐퍼를 설치해서 실험을 해보고 해석도 해보면 더 효율적인 댐퍼의 위치와 구조를 찾을 수 있을 것이다.

애초에 P파를 구현하기 위한 목적으로 설계된 시험기라 좌우 운동뿐이지만 틀을 그대로 구동부의 설계 변형 시, P파 이외에도 여러 가지 파형을 구현할 수 있을 것이다. 또한 시험기가 주파수 조절 및 진폭 조절의 기능밖에 없지만, 전자제어를 사용한 다방면 제어가 가능하다면 시험기 자체로도 내진설계를 시험하기에 전혀 부족함이 없을 것이다. 시험기가 다방면 제어가 가능하다면 여러 파형 구현이 가능해지며, 또한 다른 제진장치의 성능까지도 시험이 가능할 것이다.

향후 계획을 모두 연구할 수는 없겠지만 실험과 해석을 통해 댐퍼를 달았을 때 확실히 제진장치로서의 효능을 다하는 것을 볼 수 있었지만 실험과 해석을 수치적으로 비교하기 위해서는 댐퍼의 정확한 물성치는 실험과 해석을 비교하게 위해 필수적인 사항이다.

## 참고문헌

- [1] (ANSYS® Workbench 14.0) 왕초보 탈출하기 : 더욱 쉽고 강력해진 ANSYS Workbench! / 태성에스엔이 FEA사업부 엮음
  
- [2] Robert L. Norton, 2014, “기구학“, 박영필, 박창용, 안찬우 옮김, 서울: 맥그로필 에듀케이션 코리아 유한회사
  
- [3] 응답스펙트럼(2017.04.20 검색), <http://www.midasNFX.co.kr>
  
- [4] 공무원 교육교재 1998, “지진에 대비한 내진설계”
  
- [5] 진동 시험기 시험 영상 [https://www.youtube.com/watch?v=E\\_bi04nZEt0](https://www.youtube.com/watch?v=E_bi04nZEt0)
  
- [6] 댐핑 테스트 영상 <http://blog.naver.com/takkeun81/220817033362>

# 보고서 후기

1년이라는 시간 2학기 동안 팀원들과 프로젝트를 하면서 팀워크란 무엇인지 알게 되었다. 프로젝트를 하면서 아이디어 회의를 통하여 주제 선정을 하는 과정에서 팀원들과의 잦은 마찰이 있었고 그 결과 많은 아이디어가 나왔지만 건설기계 트랙으로 인한 건설 주제로 찾기에 너무 한정적이었다고 생각이 들어 주제 찾기가 쉽지 않았다. 주제를 찾던 도중 우리나라에도 지진의 피해를 받게 되었고 사태의 심각성을 파악 후 지진 인한 건물 피해를 어떻게 줄일 수 있을까라는 의문점을 통하여 주제를 선정하여 진행하게 되었다.

약 3년간의 기계공학과에서 수강하여 배웠던 여러 역학들과 실기 등을 기계종합설계, 통칭 설계 프로젝트에 적용하여 마음 맞는 조원들과 함께 적절하고 실용성 있는 주제를 토의를 통해 선정하고 그에 맞는 설계와 해석, 시험을 진행했다. 교수님들에게 자문도 받아 가며 오히려 배운 것을 써먹는다고보다는 설계 프로젝트를 진행하며 더 많은 것을 배우게 되었다. 설계와 제작 과정에서 시행착오를 거쳐 가며 진행하였고 그 과정에서 적절한 설계란 무엇인가를 깨달았다. 설계한 제품을 실제로 제작하면서 밀링, 선반, 그라인더와 같은 기계의 사용법을 더 숙달하게 되었고 Bolting을 하면서 와셔의 중요성도 깨달았다. Steel을 고정, 결합하기 위한 용접도 진행하며 실기과정을 더 숙달할 수 있었고, 실기수업 중의 교재용 제품이 아닌 우리가 직접 설계한 시제품을 제작하여 각 실기수업의 이해도를 높일 수 있었다.

제작을 마쳐 과연 해석과 시험의 오차율은 얼마나 될까 해석으로 우리의 주제는 어떻게 표현이 되는지 해석에서의 변위 값을 알기 위하여 NFX S/W를 통하여 해석을 실행하게 되었다.

하지만 NFX로 인하여 해석 값이 잘 나타나지 않아 교수님의 자문을 통하여 ANSYS S/W를 사용하게 되었고, 교수님의 말씀을 통하여 도서관에서 ANSYS 책을 보며 해석을 돌려 결과값을 도출해 내었다. 하지만 해석의 필요한 댐퍼 물성치 스프링 강성, 댐핑 강성의 값을 기입을 해야 하지만 실험을 통하여 알 수 있는 댐퍼 물성치를 알아내지 못하여 가정 값을 넣어 해석을 돌리게 되었다. 그 결과 우리가 원하는 해석 데이터 값을 얻어 내지 못하였지만, 해석과 시험에 대한 Simulation 결과만 비슷하게 나오게 되었다.

이번 프로젝트를 통하여 향후 계획은 댐퍼 효율이 극대화되는 위치 선정, 구조물에 따른 적절한 댐퍼 선정, 진동 실험기의 기계적 구조에 대한 개선, 댐퍼 외 다른 제진 장치 성능 평가, S파(상하운동)에 대비한 제진 구조설계, 댐퍼의 정확한 물성치 값을 통한 해석 이 되겠다.

설계 프로젝트를 진행을 하며 마무리를 하면서 팀원끼리의 프로젝트를 통하여 일의 진행과정과 어떻게 진행 방향을 잡아야 할지 조금이나마 알게 되었고, 이론의 바탕으로 인한 설계와 제작을 통하여 이론적, 실무적 역량이 개발이 되었다. 또한 과정에 따라 무엇이 우선순위 인지 중점적인 게 무엇인지 확실히 파악할 수 있으며 팀 활동으로 인한 팀원을 이끌어갈 리더십과 각 팀원의 의견을 존중해줄 수 있는 배려심, 서로를 배려하며 각자의 맡은 바를 잘 조율할 수 있는 협동심을 얻게 되었다. 이로써 우리는 앞으로의 미래에 대한 하나를 배우며 이 과정이 많은 도움이 될 거라고 생각을 한다.