Total Engineering Solution in Wind Engineering & Vibration Control

㈜티이솔루션

www.tesolution.com

TE Solution

Total Engineering Solution

in Wind Engineering and Vibration Control

TESolution Specialties

TE Solution
Total Engineering Solution
in Wind Engineering and Vibration Control
www.tesolution.com

Total Engineering Solution in Wind Engineering & Vibration Control

(풍공학과 진동제어 분야에서 토털 엔지니어링 솔루션 제공)

진동제어 장치

▶ 능동/수동/반능동 제어

- Tuned Mass Damper
- Active Mass Damper
- Hybrid Mass Damper
- 케이블 용 SB Damper

건축물 풍동실험

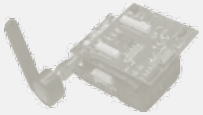
▶ 건축물 풍동실험 및 해석

- 풍력실험
- 풍압실험
- 공력진동실험
- 보행자 풍환경 실험
- 지형모형 실험

교량 풍동실험

▶ 교량 풍동실험 및 해석

- 단면 모형 실험
- 전교 모형 실험
- 주탑 모형 실험
- 버페팅 해석
- 플러터 해석
- 케이블 풍진동 실험 및 해석

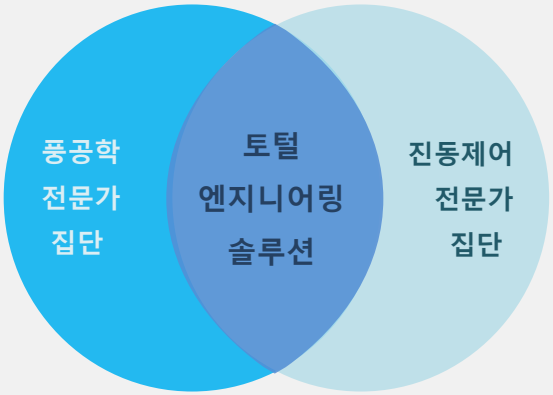


풍공학/ 진동제어 관련 사업

▶ 풍공학/진동제어 관련 사업

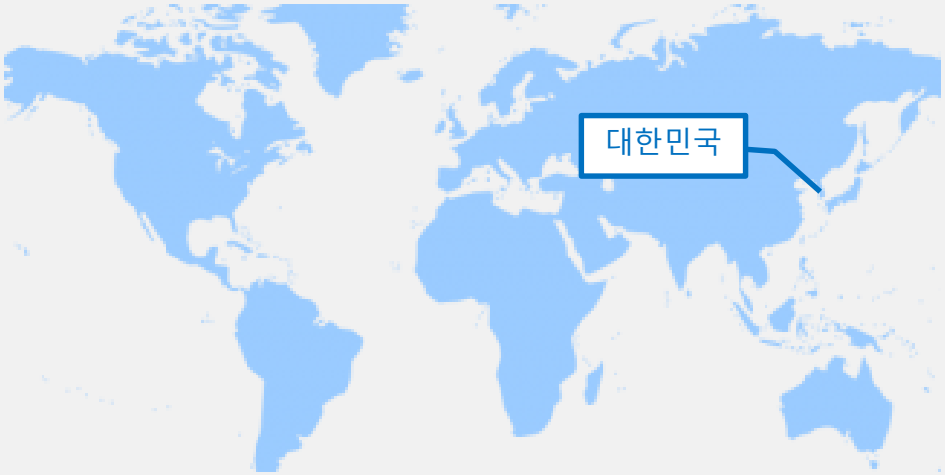
- 풍기후 해석
- 전산풍공학
- 구조물의 가진실험
- 구조물의 SI
- 무선 모니터링센서
- 구조물 안전성 모니터링

[People]



"티이솔루션은 풍공학 및 진동제어 분야에 있어 토털 엔지니어링 솔루션을 제공하는 것을 목표로 두고 있습니다."

[Location]



㈜ 티이솔루션 경기도 안성시 공도읍 승진길 142

㈜티이솔루션 Company History

- **2001** ㈜티이솔루션 설립
- **2003** 국내 최초 가설중 교량에 TMD 설치 (제2 진도대교)
- **2004** 국내 최초 주거 빌딩 TMD 설치 (부산 센텀 시티)
- **2005** 안성 신사옥으로 본사 이전 & 풍동 시설 설비 완료
- **2007** 국내 최초 AMD설치 (울산 롯데 호텔)
- **2010** 국내 최대 TMD 설치 (160t. 포스코 E&C 본사)
- **2011** 테스트타워 준공
- **2012** 교량 풍동실험 150건 돌파
- **2012** 국내 최초 HMD 설치(테크노마트)
- **2014** 건축 풍동실험 200건 돌파
- **2014** ISO9001:2008, ISO140001:2009, OHSAS18001:2007 인증
- **2015** 두바이 대관람차 TMD 설치
  타이페이 주상복합 진자형 TMD 설치
- **2016** 뉴욕 대관람차 TMD 설치
  SB 댐퍼 R&D

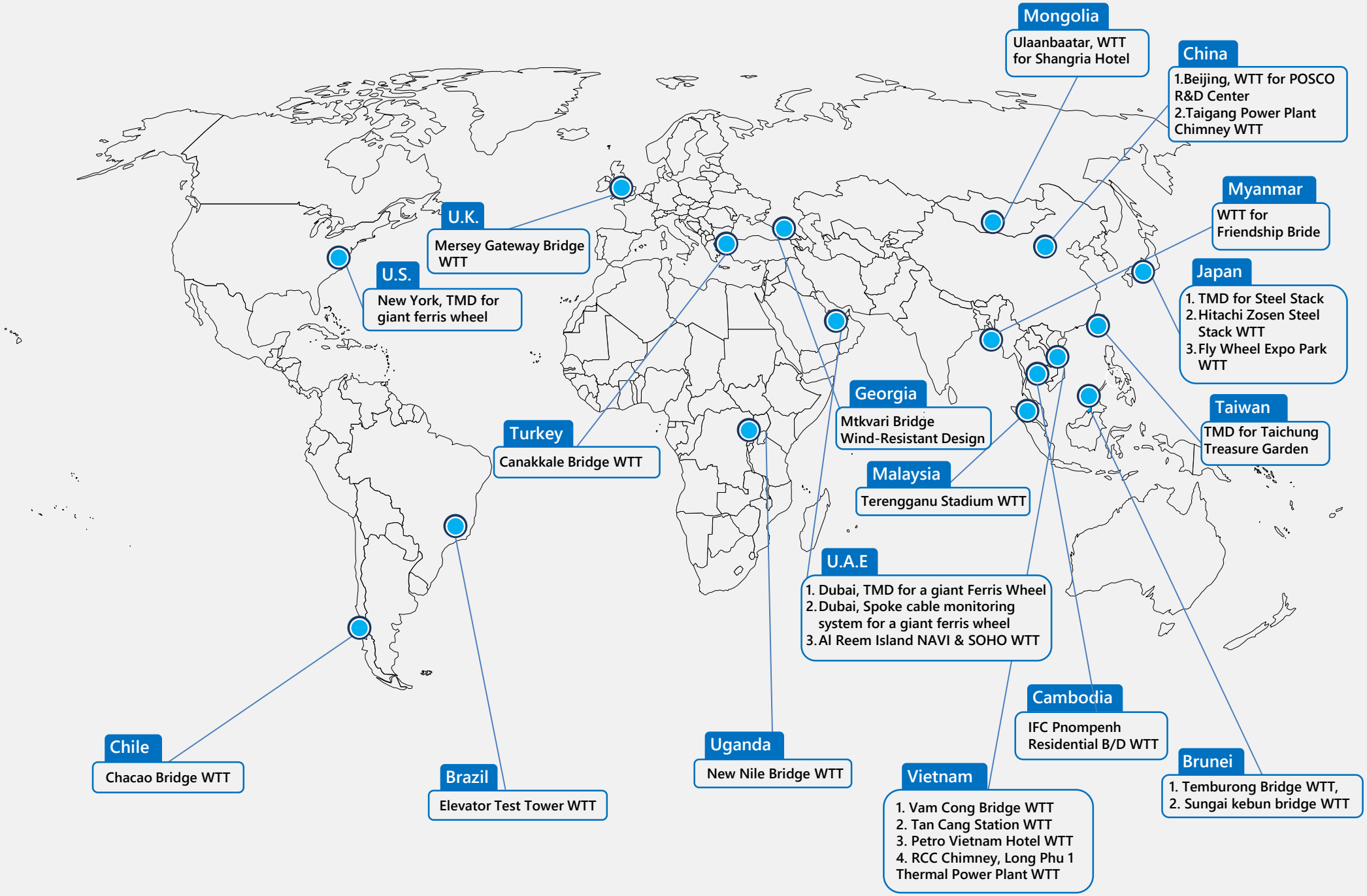
(주)티이솔루션 대표이사 : 김윤석 , 공학박사

티이솔루션은 풍공학 (Wind Engineering) 및 진동제어 (Vibration Control) 분야에 있어서 차별화된 기술력과 축적된 경험을 바탕으로 각종 구조물의 안정성 및 사용성을 정확히 평가하고 개선하여 쾌적한 삶을 고객께 제공하고자 하는 목표 아래 2001년 2월에 설립되었습니다.

풍공학 분야에 있어서는 국내 최고 수준의 기술인력 및 풍동실험시설, 그리고 국내외의 다양한 실적을 바탕으로 건축물 및 교량 구조물의 내풍 안정성평가, 풍진동에 의한 사용성평가 및 풍환경 평가를 수행하여 보다 합리적인 내풍설계를 위한 솔루션을 제공하고 있습니다.

진동제어 분야에 있어서는 국내 유일의 기술력과 진동실험 설비를 바탕으로 국내외의 다양한 구조물에 대하여 풍하중, 지진하중, 교통하중, 보행하중 등에 의해 발생하는 진동을 억제 또는 감소시키기 위한 제진장치, 면진장치를 제공하여 보다 쾌적한 생활환경을 위해 솔루션을 제공하고 있습니다.

TESolution's Global Presence

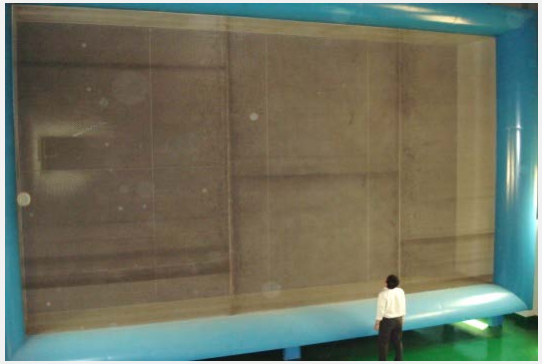


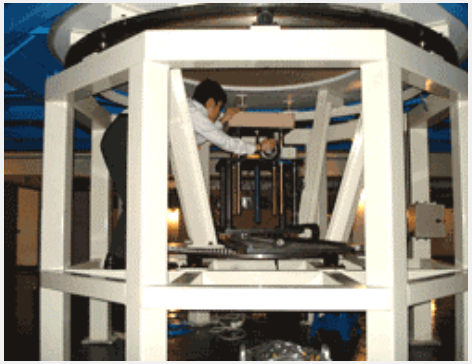
대형 경계층 풍동 BOUNDARY LAYER WIND TUNNEL

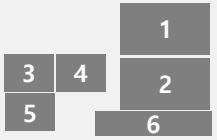
경계층 풍동은 다양한 풍동실험을 수행하기 위해 지표면의 조도와 고도에 따라 시·공간적으로 변하는 기류를 구현하기 위해 고안된 풍동입니다. 본 풍동은 건축 구조물, 장대교량, 주탑, 케이블 구조물 및 지형 모형 등에 대한 유체 흐름을 연구하기 위한 모형 실험에 적합합니다.

대형 경계층 풍동의 제원

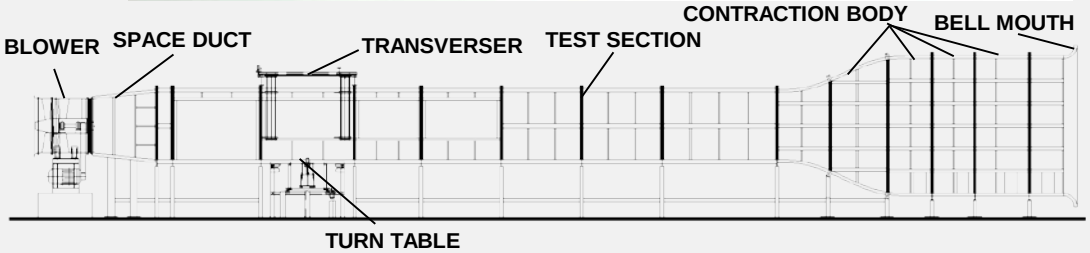
분 류	경계층풍동(Boundary Layer Wind Tunnel)
형 식	Open-circuit(Suction)
측 정 부	8.0m(폭) x 2.5m(높이) x 23.2m(길이)
풍속범위	0.3 ~ 11.0m/s
균 일 성	등류시, 난류강도 0.5% , 풍속편차 ±1.0%
송 풍 기	3대, 132kW







1.TEST SECTION
2.SUCTION TYPE MULTI-FAN
3.INLET OF SETTLING CHAMBER
4.TURNTABLE SYSTEM
5.TRAVERSE SYSTEM
6.OUTLINE OF WIND TUNNEL



단면 모형 실험을 위한 2차원 풍동 WIND TUNNEL FOR SECTION MODEL

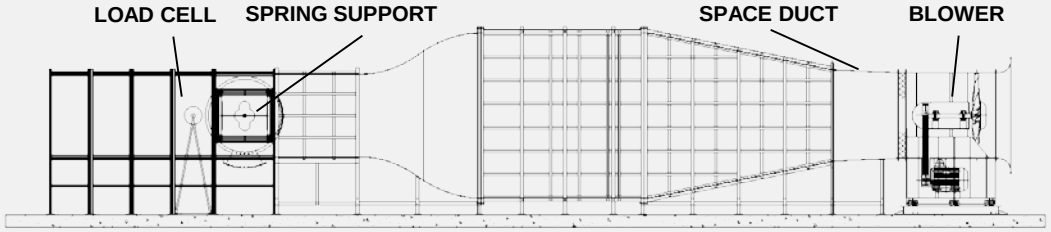
단면모형 실험은 교량 주거더 단면의 공력 응답 특성을 연구하기 위해 수행됩니다. 2차원 풍동은 주형 모형을 이용하여 와류진동이나 플러터, 갤로핑 현상 등 장대교량의 내풍 안전성을 조사하는데 주로 사용됩니다.

티이솔루션은 크기가 다른 2개의 2차원 풍동을 운용중이며 진동실험장치, 공기력 측정장치, 그리고 플러터계수 측정을 위한 강제 가진장치 등의 실험 장치로 구성되어 있습니다.

티이솔루션 2차원 중형 풍동

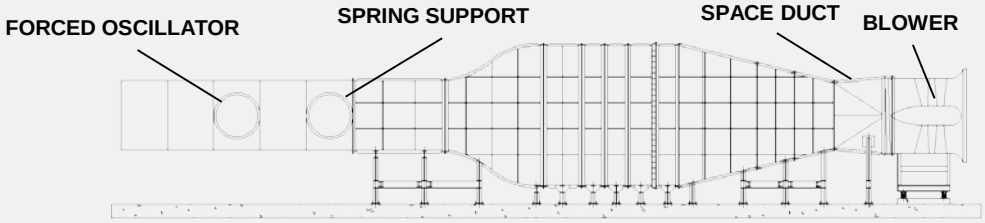
MID-SIZE 2D WIND TUNNEL

Type	Test Section Dimension	Wind Speed
Eiffel-type	1.5 m (W) x 2.0 m (H) x 7.5 m (L)	0.3m/s ~ 25.0 m/s



SMALL-SIZE 2D WIND TUNNEL

Type	Test Section Dimension	Wind Speed
Eiffel-type	1 m (W) x 1.5 m (H) x 6 m (L)	0.3m/s ~ 21.0m/s

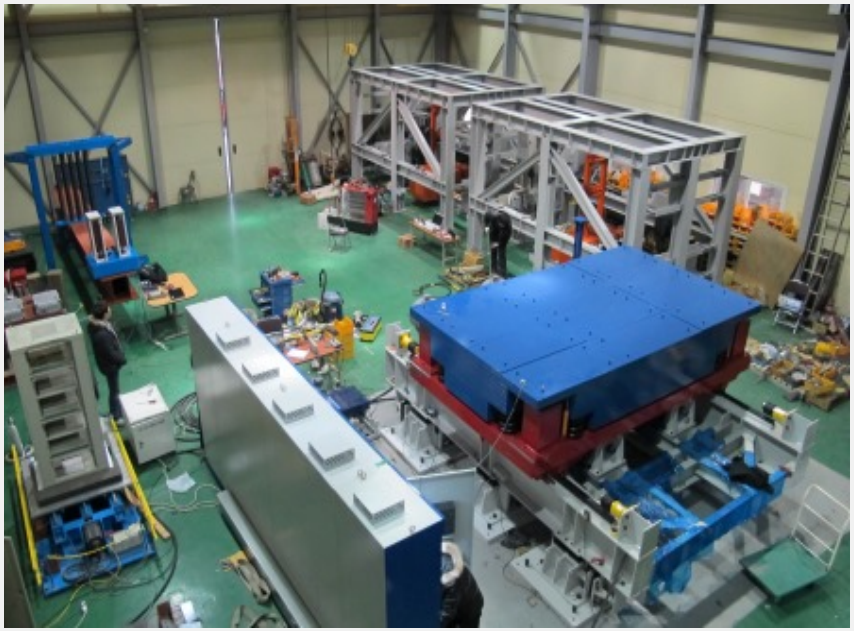


티이솔루션 2차원 소형 풍동

구조실험동 STRUCTURAL LAB

티이솔루션 구조실험동은 Tuned Mass Damper(TMD), Active Mass Damper(AMD) 등의 제진장치의 실물 성능시험이 가능하도록 최적의 여건이 갖추어진 공간입니다. 제진장치의 현장 시공에서 예상치 못한 문제가 발생하지 않도록 제진장치 조립 및 설치 과정 전반에 걸쳐서 점검이 이루어지는 곳입니다. 구조실험동은 300톤 무게를 견딜 수 있는 정반(定盤)을 갖추고 있으며 5톤 OH 크레인과 200kW규모의 전원공급기를 갖추고 있습니다.

두 번째 구조실험동은 [15m w×40m l×20m h]의 보다 큰 제진장치를 수용할 수 있는 규모로 2013년 5월에 완공 되었습니다. 400톤 무게를 견딜 수 있는 정반(定盤) 2개와 5톤 OH 크레인, 500kW규모의 전원공급기를 갖추고 있습니다.



티이솔루션 제1 구조동

티이솔루션 제2 구조동

테스트 타워 TEST TOWER

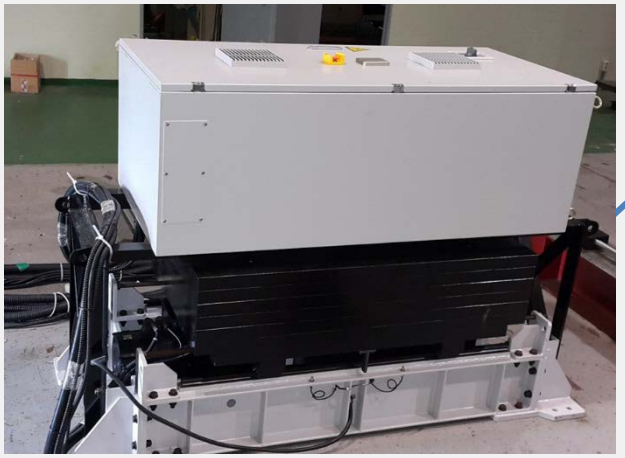
테스트 타워는 다양한 제진장치를 시험하기 위한 특별한 시설이며, 주로 AMD와 같이 새롭게 개발된 진동제어장치의 성능 시험을 위해 이용됩니다. 테스트 타워는 20m 높이의 5층 강구조물로 4층에 가진실, 5층에 제어실이 있습니다. 가진실(Excitation Room)에 위치한 가진 장치가 테스트 타워를 가진하면, 제어실(Control Room)에 위치한 제진 장치가 타워의 진동을 인식하고 진동을 감소시키도록 작동하게 됩니다.

Control Room

Composition	제어실
Heights	5 층 높이 (20m Height)
Description	다양한 능동형 제진장치를 개발하기 위하여 성능 실험을 수행함

Excitation Room

Composition	가진실
Heights	4 층 높이 (16m Height)
Description	테스트타워를 다양한 진동형태로 가진할 수 있는 가진기가 설치되어 있음



■건축물 풍동실험■

최근 건설기술의 발달 및 사회적인 요구에 의해 건축물이 고층화되고 있는 추세입니다. 이러한 고층건축물은 풍하중에 의해 구조적인 안정성이 결정되는 경우가 많으며, 풍진동에 의한 거주자의 사용성이 문제가 발생합니다. 한편, 건축물의 밀집화, 비정형화됨에 따라 건축물의 외벽에 작용하는 국부적인 풍압을 예측하기 힘들며, 건축물 주위의 보행자공간에서의 풍환경의 검토가 요구됩니다. 이러한 고층건축물의 구조적인 안정성, 거주자의 사용성 및 보행자공간의 풍환경을 합리적으로 평가하기 위해서는 반드시 풍동실험이 수행되어야 합니다.[관련기준 : 건축구조기준, 건축물 안전영향평가]

티이솔루션은 풍공학 전문가들로 이루어진 그룹으로 2001년 창립이래 수많은 국내외 프로젝트에 대한 풍동실험을 수행하고 풍공학적인 솔루션을 제공하였으며, 내풍설계 및 해석기법의 신기술개발에 선두적인 역할을 수행하고 있습니다.

풍력실험

지형모형 실험

풍압실험

부산 국제 금융 센터

삼성 래미안 용산 주상복합

Al Reem Island Abudhabi, U.A.E

풍력실험 HIGH FREQUENCY FORCE BALANCE TEST

풍력실험은 건축물의 구조골조설계를 위한 풍하중을 산정하고, 풍진동가속도에 의한 사용성을 평가한 목적으로 수행합니다. 풍력실험에는 가볍고 강성이 큰 강체모형(rigid model)이 사용되며, 강체모형에 작용하는 풍력을 HFFB(High Frequency Force Balance)로 측정합니다. 측정된 풍력의 시간이력으로부터 스펙트럼모드해석(spectral modal analysis)를 통해 풍응답을 평가합니다.

풍력실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **밑면 전단력, 밑면 모멘트**
- **구조골조설계용 층풍하중**
- **풍진동 가속도 및 사용성 평가(AIJ, ISO6897, ISO10137, NBCC 등)**

3
1 2

1.부산국제금융센터
2.청량리4구역 롯데캐슬
3.부산마린시티 복합시설

풍압실험 CLADDING PRESSURE TEST

풍압실험은 외장재설계용 풍압, 경기장과 같은 지붕구조물의 지붕골조설계용 풍하중, 파라펫, 케노피, 독립벽체와 같은 개방형 구조부재의 골조설계용 풍하중 등을 평가할 목적으로 수행합니다. 풍압실험은 강체모형에 국부적으로 작용하는 풍압의 시간이력을 다점풍압계(multi-point pressure measurement system)로 측정합니다. 한편, 풍압적분에 의해 풍력실험과 동일한 결과를 도출할 수 있습니다.

풍압실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **외장재설계용 풍압(풍압분포)**
- **지붕골조설계용 풍하중**
- **개방형 구조부재의 설계용 풍하중**

1.사랑의교회
2.국립해양과학교육관
3.문학경기장

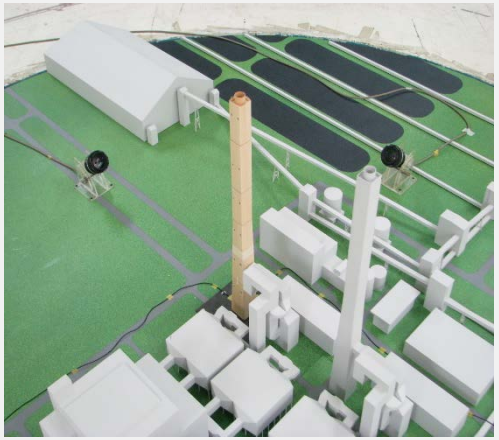
공탄성실험 AEROELASTIC MODEL TEST

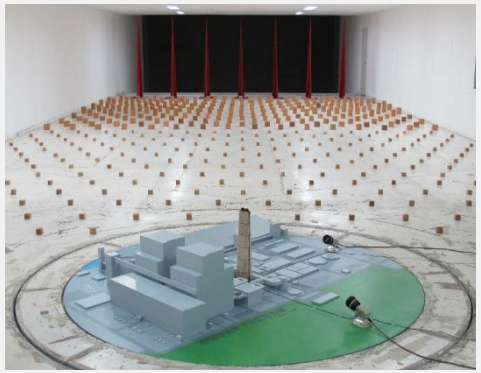
공탄성실험은 구조골조설계용 풍하중을 평가하고, 와류진동, 공력불안정진동 등의 발생풍속을 확인하고 그 영향을 설계에 반영할 목적으로 수행합니다. 공탄성실험은 건축물의 동특성(질량, 진동수, 감쇠, 진동모드 등)을 모형에 모사하여 실제 건축물과 같이 진동하는 탄성체 모형을 이용합니다. 공탄성실험은 진동모드간의 합성효과, 진동에 의한 부가적인 공기력에 의한 영향, 공력감쇠 등이 반영된 풍응답을 평가할 수 있습니다.

공력진동실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **변위, 가속도응답의 시간이력**
- **와류진동, 공력불안정진동의 발생 여부**
- **풍력실험과 동일한 결과**

1.당진화력 9,10호기 연돌
2.고성하이 1,2호기 연돌
3.신보령화력 1,2호기 연돌



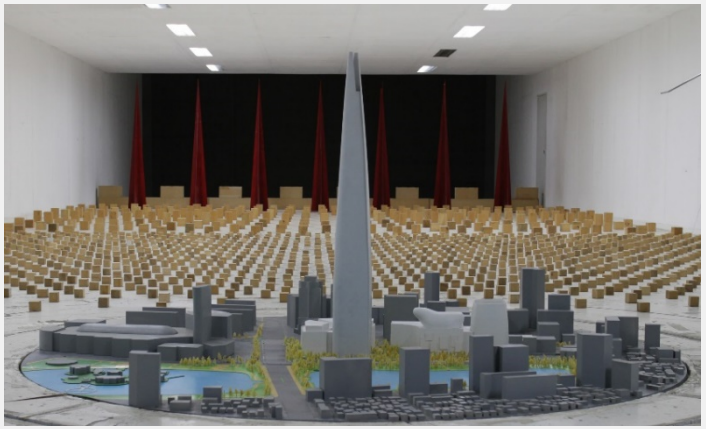


풍환경실험 PEDESTRIAN-LEVEL WIND ENVIRONMENT TEST

건축물이 신축됨에 따라서 빌딩풍에 의해 신축부지 주변기류의 양상은 상당히 변하게 됩니다. 건축물 주위의 보행자 공간의 경우 그 공간의 용도에 적합한 풍환경과 강풍에 의한 보행자의 안전성이 확보되어야 합니다. 풍환경실험은 보행자공간에 대한 풍환경을 평가할 목적으로 수행합니다. 보행자공간의 풍환경은 일반적으로 풍속의 초과확률적 평가방법이 활용됩니다.

보행자 풍환경실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **기상데이터에 의한 풍향・풍속의 발생빈도**
- **기준풍속에 대한 풍속비**
- **보행자공간의 풍속의 초과확률 및 풍환경 평가**
- **공기유동의 가시화**



1.롯데월드타워
2.아크로 서울포레스트
3.국제빌딩주변4구역

1
2 3

지형모형 실험 TOPOGRAPHY MODEL TEST

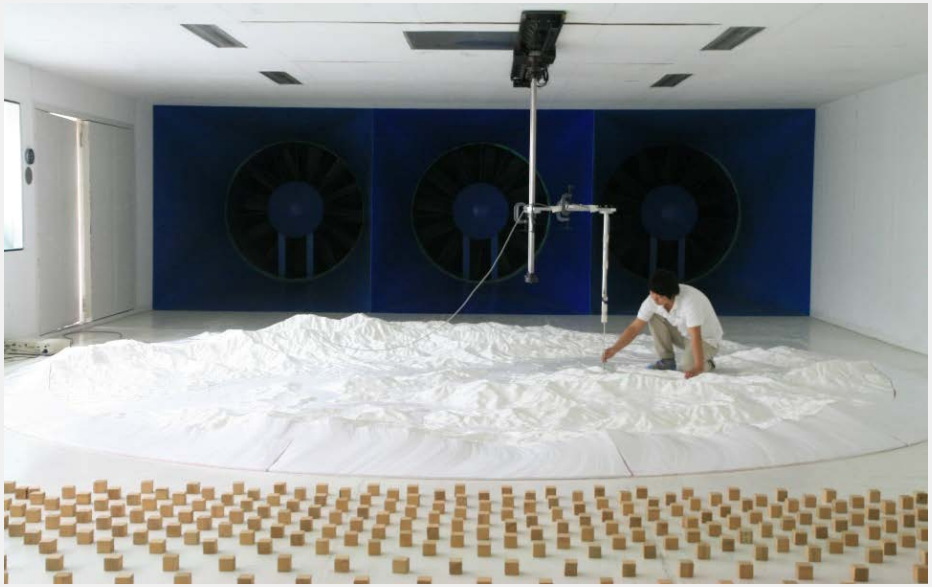
지형모형실험은 지형에 의한 풍향·풍속의 특성을 평가하기 위해 수행합니다. 대상으로 하는 지형에 대해 축소모형을 제작하고 풍속 계측 시스템에 의해 풍속 및 난류강도의 분포를 측정합니다. 측정된 풍속 및 난류강도로부터 건설지점에 불어오는 바람의 특성을 분석하여, 지형에 의한 영향을 평가합니다.

지형모형실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **평균풍속의 분포(수평분포, 고도분포)**
- **난류강도의 분포(수평분포, 고도분포)**
- **지형계수**

1.에버랜드리조트
2.문학월드컵경기장

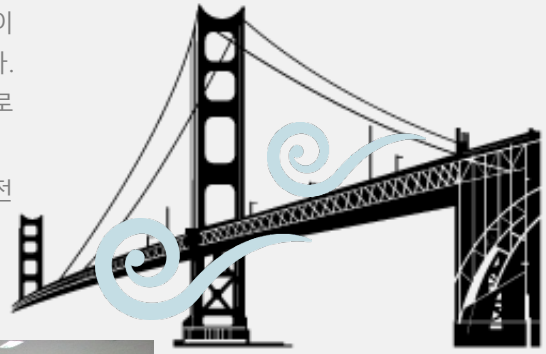
2
1

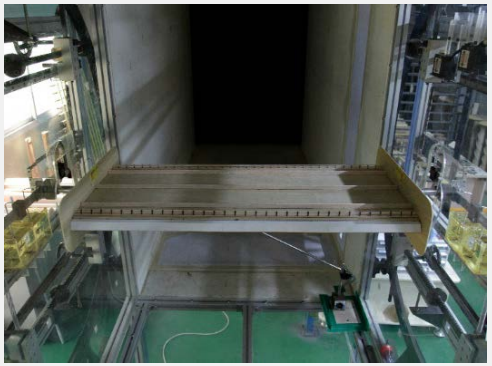


■교량 풍동실험■

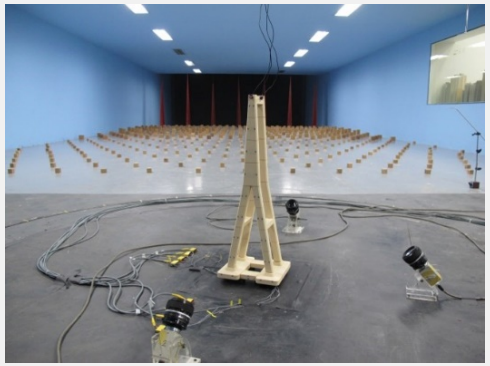
구조적으로 매우 유연한 교량 구조물의 경우 풍진동에 의해 악영향을 받을 가능성이 다른 구조물보다 더 높습니다. 교량의 경간이 길어질 수록 풍하중이 교량 설계에 있어 지배적인 요소가 되며, 풍진동에 대한 안정성과 풍하중에 대한 정확한 평가가 필요합니다. 교량에 대한 풍동 실험은 거더, 주탑, 그리고 케이블에 대한 각각의 또는 전체 평가를 위해 시행됩니다. 가드레일이나, 난간, 또는 도로 표지판에 대한 풍동 실험도 시행될 수 있습니다.

TESolution은 지난 20여년간 풍공학을 연구해온 엔지니어들로 이루어져 있으며 일본, 영국, 칠레, 베트남, 터키, 그리고 우간다 등 전 세계 수많은 프로젝트에 풍공학 토털 솔루션을 제공하여 왔습니다.

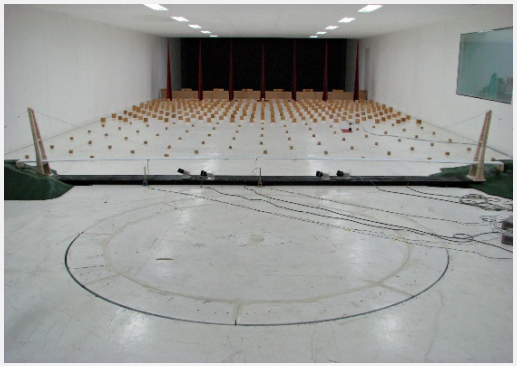




단면 모형 실험



주탑 모형 실험



전교 모형 실험

울산대교

Vamcong Bridge, Viet Nam

Chacao Bridge, Chile

단면 모형실험 SECTION MODEL TEST

단면모형실험은 교량의 보강거더, 케이블 및 굴뚝과 같이 2차원성이 강한 구조물의 대표적인 단면을 강체모형으로 제작하여 실시하는 실험으로, 교량 내풍안정성 평가에 있어 가장 기본적이고 중요하며 또한 비용대비 효율적인 실험입니다.

단면모형실험에는 스프링 지지시스템(spring support system)에서 동특성을 상사하여 수행하는 자유진동실험과, 3분력 측정용 Load cell을 이용하여 항력계수, 양력계수, 모멘트계수를 측정하는 정적공기력실험, 강제가진장치라는 특화된 장치를 이용하여 구조물의 동적응답을 유발하는 비정상 공기력을 측정하는 강제가진실험 등이 있습니다.

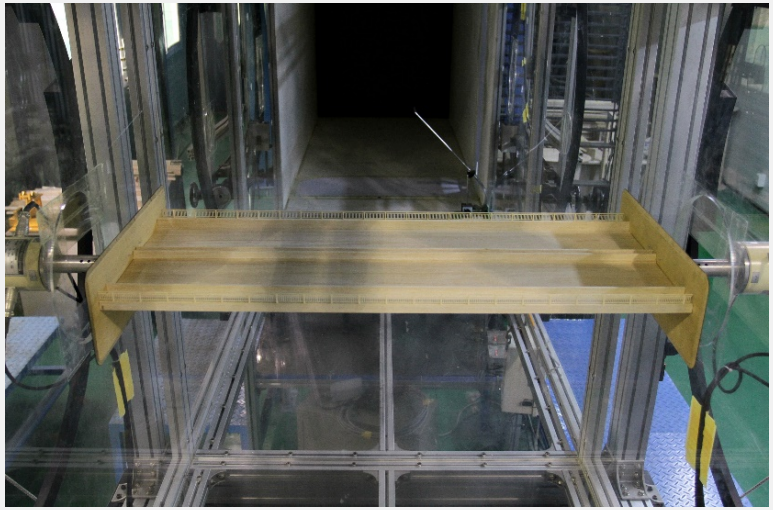
이러한 실험을 통하여 내풍안정성에 관한 주요사항을 확인하고 페어링, 플랩 등과 같은 공기역학적 제진장치의 적용 등을 결정합니다. 단면 모형실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

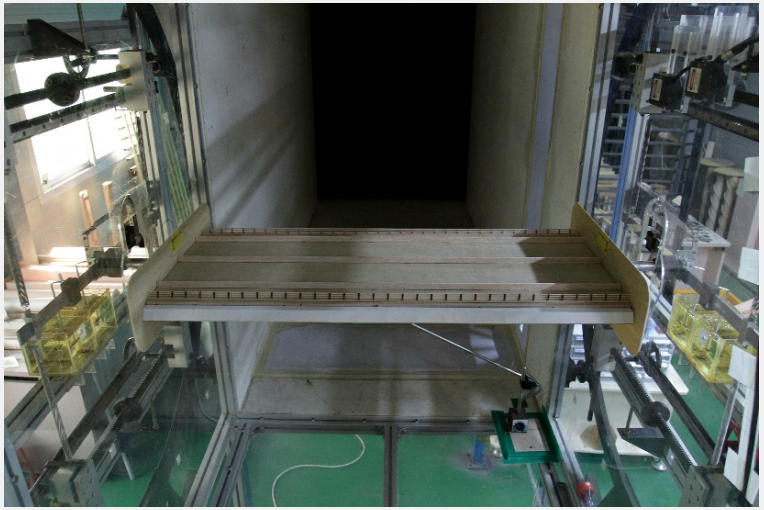
- **동적 내풍안정성 : 와류진동, 플러터, 갤로핑 등의 발생풍속 및 진폭**
- **공기력계수 : 항력, 양력, 모멘트 계수**
- **플러터계수 : H1*~H4*, A1*~A4***
- **제진대책 필요성 검토 및 제안**

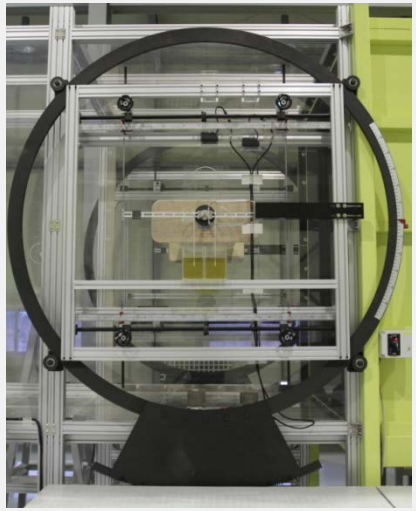
1.&2. 교량 단면 모형
3. 스프링 지지 시스템
4. 강제 가진장치

4

1 2 3







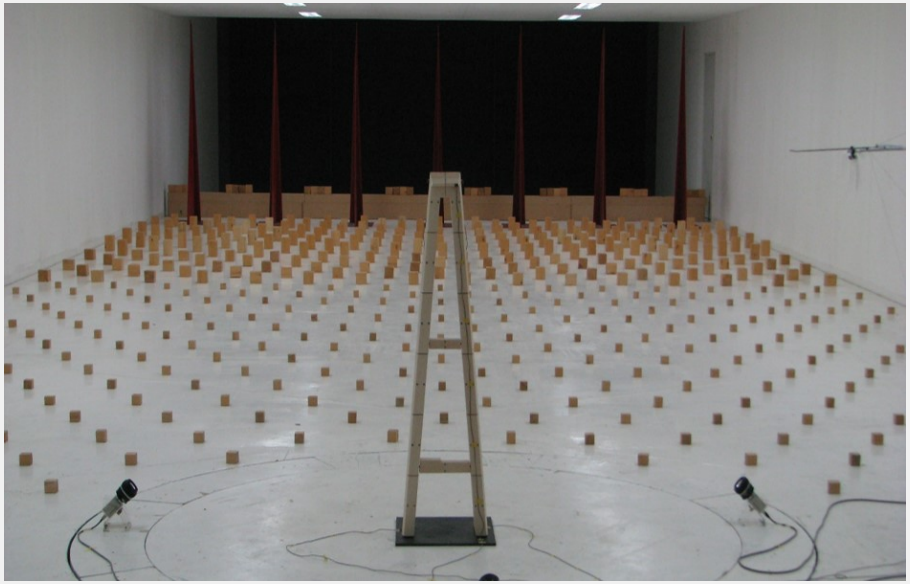
주탑 모형실험 PYLON MODEL TEST

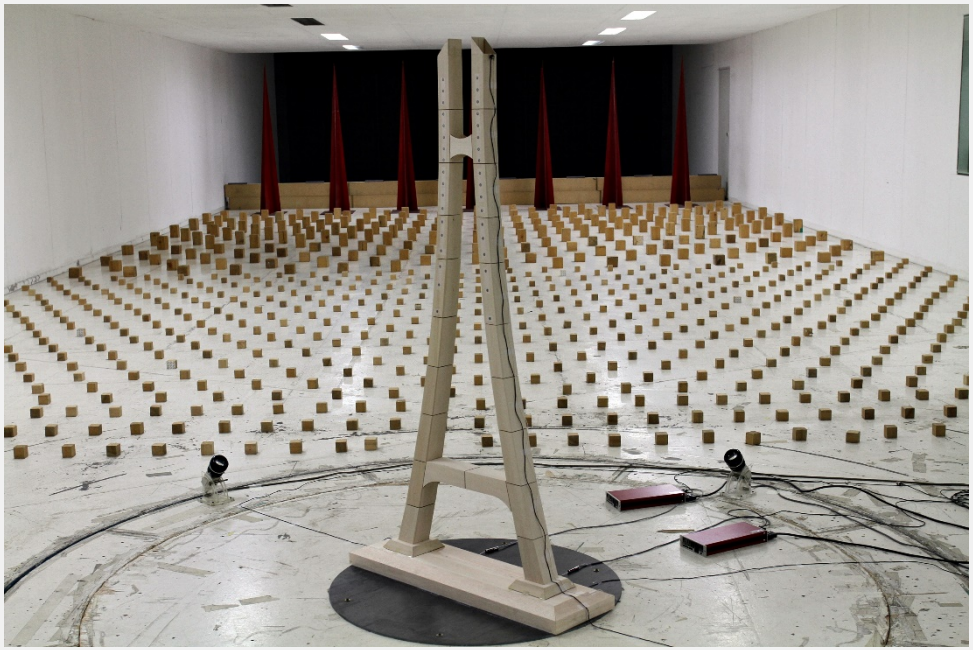
사장교 및 현수교의 주탑은 일반 건축물에 비해 훨씬 세장비가 높으므로 풍하중에 대한 세심한 검토가 필요합니다. 특히 케이블 인장 전 독립주탑 상태에서는 케이블 인장후에 비해 구조 감쇠가 작아 진동 문제에 더욱 취약합니다.

주탑의 공력진동실험은 주탑의 동특성(질량, 진동수, 감쇠, 진동모드 등)을 모사한 탄성체모형(aeroelastic model)을 이용합니다. 이와 별개로 주탑에 작용하는 풍하중을 산정하는 경우에는 주탑 전체에 대한 강체모형을 이용한 공력실험과 주탑 Leg의 부분적인 단면모형을 이용한 공력실험을 실시하게 됩니다. 주탑모형실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **동적 내풍안정성 : 와류진동, 갤로핑 등의 발생풍속 및 진폭**
- **밑면전단력, 밑면전도모멘트**
- **주탑 Leg의 공기력계수 : 항력, 양력, 모멘트 계수**
- **제진대책 필요성 검토 및 제안**

1.칠레 차카오 교량
2.베트남 밤콩대교
3.제2 남해대교





전교모형 실험 FULL BRIDGE MODEL TEST

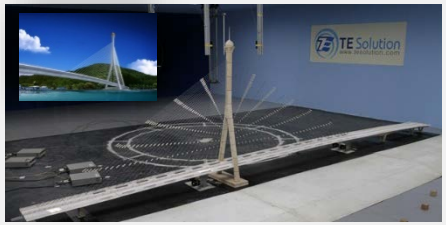
실제교량의 내풍 거동은 주형 및 주탑, 그리고 케이블 등의 동특성이 복합적으로 연계되어 나타납니다. 또한, 주변지형의 영향으로, 교축직각방향 이외의 방향으로 풍하중이 작용하기 쉬운 교량이나 교축방향으로 주형의 단면형상이 변하는 교량에 대해서는 2차원 주형진동실험에서 예측하기 어려운 진동이 발생할 가능성이 있으며 이 경우 교량 전체를 모형화하여 풍동실험을 수행하는 것이 바람직 합니다.

특히 가설단계에서는 완성단계와 전혀 다른 동특성을 보여주며 가설진행에 따라 교량의 동특성이 계속 변하기 때문에 3차원적인 동적 내풍안정성을 면밀하게 파악할 필요가 있습니다.

전체교량의 진동실험에서는 주탑실험과 마찬가지로 모형자체가 탄성거동을 하는 3차원 탄성체모형을 사용하여 실험을 수행하게 됩니다. 전교모형실험을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

- **동적 내풍안정성 : 와류진동, 플러터, 갤로핑, 버페팅진동 등의 발생풍속 및 진폭**
- **시공단계별/풍향별 내풍안정성 검토**
- **데릭크레인 등 가설장비를 고려한 내풍안정성 검토**
- **주변지형에 의한 풍속할증, 영각효과 등을 고려한 내풍안정성 검토**
- **내풍케이블 등의 제진방안 필요성 검토 및 제안**

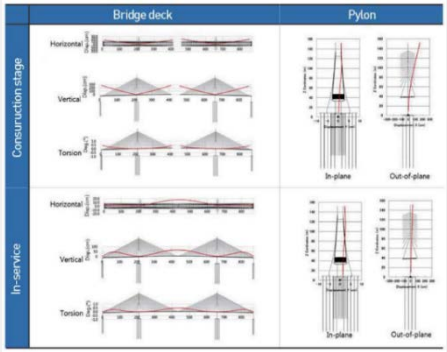
1.제2 남해대교
2.칠레 차카오 교량
3.숭가이 브루나이 교량



버페팅 해석 BUFFETING ANALYSIS

버페팅응답(또는 거스트응답)은 바람의 변동 성분에 의한 불규칙 진동입니다. 시공 중의 교량은 완성 단계에 비해 구조적 강성이 떨어지므로 바람에 취약할 것으로 판단되는 시공단계에 대해서 평균 풍속에 의한 정적 변형과 변동 풍속에 의한 버페팅 응답을 계산합니다. 이러한 버페팅 응답 해석에는 구조 모델링, 공기 역학적 데이터, 풍하중 데이터 등이 입력자료로 사용됩니다. 버페팅해석을 통해 얻어지는 주요 결과는 다음과 같습니다.

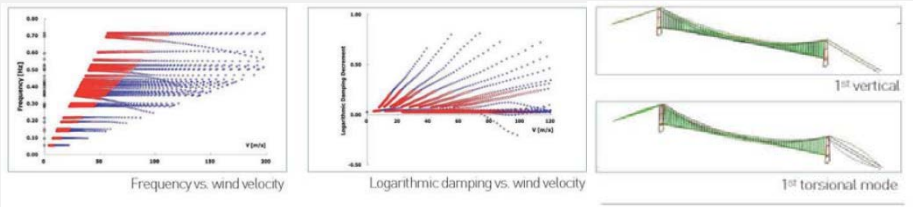
- **주형 및 주탑의 버페팅 응답**
- **시공단계별/풍향별 버페팅 응답 검토**
- **내풍케이블 등의 제진방안 필요성 검토 및 제안**



플러터 해석 FLUTTER ANALYSIS

플러터 현상은 구조계의 응답에 의해 단면 주위의 유동장이 변화하면서 생성되는 자발공기력(self-excited force)이 유체력으로 feedback 되어 지속적으로 주거더에 운동에너지를 공급함으로써, 그 응답이 발산하게 되는 진동현상 입니다. 이는 곧 구조물의 붕괴를 초래할 수 있기 때문에, 장대교량의 설계에서는 주거더의 플러터 발생 풍속이 설계 풍속에 비해 충분한 안전율을 가지도록 설계되어야 합니다.

장대교량의 플러터 발생풍속을 구하기 위한 방법으로는 일반적으로 모드상호간의 합성효과를 고려하는 다중모드 플러터 해석방법이 사용됩니다. 플러터해석을 수행하기 위해서는 구조모델링, 공기역학적 데이터(정확한 플러터계수 확보), 풍하중 데이터 등이 입력자료로 사용되며 정확한 플러터계수의 산출을 위해 강제 가진실험이 주로 수행되고 있습니다.



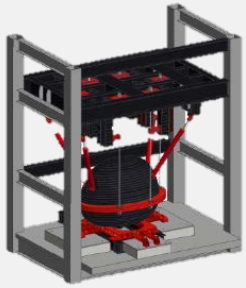
■진동제어 장치■

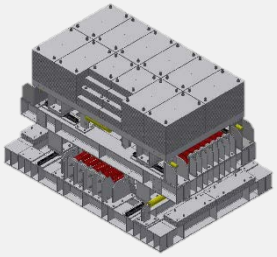
진동제어 분야에서의 최고의 기술력과 지속적인 R&D 역량을 바탕으로, 티이솔루션은 초고층 빌딩, 초장대 교량, 보도교, 케이블카, 관제탑 등의 다양한 구조물에 최적화된 진동제어 솔루션을 제공해 왔습니다. 최근에 건설재료 및 기술의 발달에 따라서 구조물이 고층화, 장대화, 그리고 경량화 되고, 이에 따라서 풍하중 및 교통, 기계장비와 같은 동적 하중에 의해 진동현상이 문제화 되고 있습니다.

진동현상에 기인하는 건축 구조물의 사용성에서부터, 장대교량의 구조적 안정성, 그리고 보도교의 보행 쾌적감까지 티이솔루션의 진동제어기술로 솔루션을 제공할 수 있습니다.

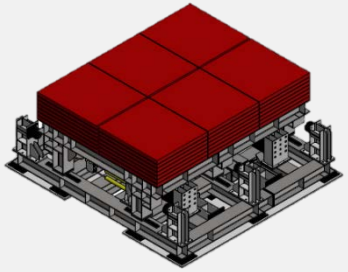
- **기본/상세설계 : 제진장치의 사양 및 형식 결정, 제작도면 설계**
- **가조립 및 성능시험 : 가조립상태의 마찰력, 감쇠율 및 진동수 등 성능확인**
- **구조물의 동특성계측 : 진동수 및 감쇠율계측, 제진장치 설계사양 확인**
- **현장설치 및 튜닝 : 제진장치의 현장 설치 및 최종튜닝**
- **유지관리 : 제진장치 각 부품의 내구성평가 및 주기적 관리**

Pendulum-type Tuned Mass Damper





Sliding-type Tuned Mass Damper



Active Mass Damper

진동제어 장치 – 건축물 VIBRATION CONTROL DEVICES FOR BUILDINGS

건축물은 바람이나 지진과 같은 자연하중 외에 차량 및 철도차량 등과 같은 교통하중에 의해서도 국부적인 진동이 발생할 수 있습니다. 특히, 도심지의 도로변의 건물에 있어서 중차량 또는 지하철에 의한 슬라브진동이 발생하여 안락한 주거환경을 해치기도 합니다. 이에 국제표준화기구(ISO) 또는 각국의 건축기준을 통해 건물의 진동 주기 및 사용 용도에 따른 건물 가속도 값의 제한을 두고 이를 초과하지 않도록 권장하고 있습니다.

건축물 진동제어는 건축물에 부가적인 진동 제어장치(Tuned Mass Damper 또는 Active Mass Damper 등)를 설치함으로써 구조물의 진동 저감 능력을 향상시켜 건물 가속도를 권장 기준 이하로 제어하여 거주환경을 개선하는 것을 목적으로 하고 있습니다.

해운대 센텀 파크,
부산, 2004

▶ 3 x 100 ton Sliding type TMD

울산 롯데 호텔,
2007

▶ 2 x 20 ton AMD

Vibration Control

송도 POSCO E&C 본사 사옥 A&B동,
2010

▶ Tower A – 80 ton Sliding type TMD
▶ Tower B - 160 ton Sliding type TMD

강변 테크노 마트,
2013

▶ Hybrid Mass Damper
40 ton TMD for vertical vibration control
50 ton AMD for horizontal vibration control

Taichung Treasure Garden, Taichung, Taiwan, 2016

▶ 150 ton Pendulum type TMD

진동제어 장치 – 교량 VIBRATION CONTROL DEVICES FOR BRIDGES

현수교 및 사장교 등 장대교량은 휨강성과 비틀림 강성이 상대적으로 낮아서 풍하중에 의해 쉽게 진동이 발생합니다. 장대교량에 있어서 풍진동은 주거더 뿐 만 아니라 주탑, 사장케이블 및 행어케이블 등 다양하게 발생하게 됩니다. 특히 가설단계의 주거더와 주탑은 풍하중에 더욱 취약하여 진동발생의 가능성이 증가합니다. 한편, 소규모 교량인 보도교의 경우, 풍하중은 물론 보행자에 의한 보행진동이 문제가 되는 경우가 증가하고 있습니다.

이러한 교량구조물의 진동은 사용성 뿐만 아니라, 피로문제 등 구조적 안정성에도 악영향을 주게 됩니다. 티이솔루션에서는 가설 단계 및 완성계에 대하여 다양한 형식의 진동제어장치를 제공해 왔습니다. 보도교에 대해서도 수평 및 수직 진동용 제진장치를 제공하고 있으며, 교량구조물의 진동제어를 위한 최적의 솔루션을 제공하고 있습니다.

가설 단계의 거가대교

제2 진도대교 Tuned Mass Damper

여의도 셋강 보도교

울릉도 보도교

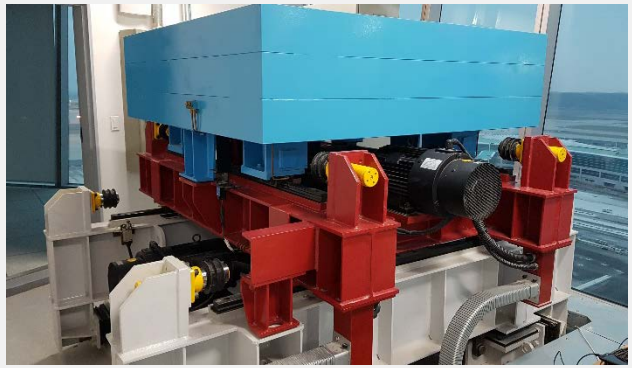
제2 진도대교

진동제어장치– 특수구조물 VIBRATION CONTROL DEVICES FOR SPECIAL STRUCTURES

굴뚝 및 철탑타워와 같이 세장비가 크고 유연한 구조물 또는 케이블카와 같이 케이블에 의해 지지되는 구조물은 당연히 풍하중에 대해 민감하게 반응하여 과도한 진동이 발생하게 되고 이로 인하여 구조부재의 피로현상이나 사용자들의 불안을 가중시키므로 제진대책이 반드시 필요합니다.

진동제어장치를 설치함으로써 타워구조물의 풍진동을 크게 감소시킬 수 있으며, 케이블카 등은 사용자의 불안감을 최소화할 수 있습니다.

한편, 공항관제탑과 같이 중요도가 높은 구조물의 경우, 작은 풍진동에도 관제업무에 영향을 미치므로 보다 고성능의 제진장치가 필요하게 됩니다. 티이솔루션에서는 인천국제공항 관제탑 등에 능동형 제진장치 AMD(Active Mass Damper) 및 수동형 TMD를 설치하여 풍진동에 대한 솔루션을 제공하였으며, 제진장치의 유지관리업무도 수행하고 있습니다.



인천국제공항 제2 계류장 관제탑 AMD

남산 케이블카

평창 알펜시아 리조트 스키 점프 타워

인천국제공항 제2계류장 관제탑

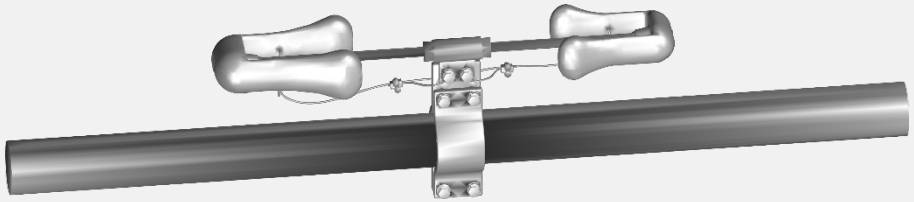
Vibration Control

스톡브릿지 댐퍼 – 교량 케이블 STOCKBRIDGE DAMPERS FOR BRIDGE CABLES

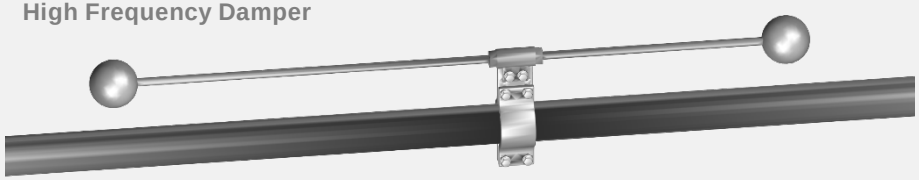
현수교의 행어 케이블과 사장교에 사용되는 사장케이블의 경우, 매우 유연한 구조물로 낮은 감쇠비로 인해 다양한 풍진동에 노출되는 경향이 있습니다:

- **Aeolian vibration (vortex-induced vibration)**
- **Galloping**
- **Wake galloping**
- **Rain- Wind induced vibration**
- **Parametric excitation**
- **Buffeting**

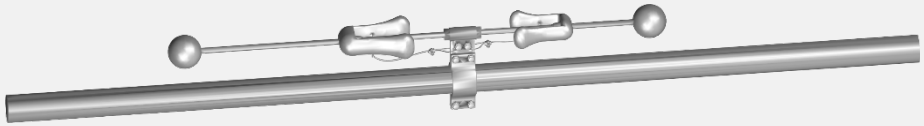
송전선에서 많이 쓰여지고 있는 스톡브릿지 댐퍼는 다양한 진동수를 가진 풍진동을 효과적으로 제어할 수 있습니다. 스톡브릿지 댐퍼는 기존 점성댐퍼보다 훨씬 저비용일 뿐만 아니라, 설치가 용이하고, 최대의 감쇠력을 얻도록 설치 위치를 결정할 수 있습니다. 또한, 내구성이 우수하고, 별도의 유지관리가 필요 없다는 장점을 갖습니다. 티이솔루션은 교량 케이블 진동 저감에 적합한 고주파용/저주파용/복합형 스톡브릿지 댐퍼를 각각 자체 개발하였습니다.



High Frequency Damper



Low Frequency Damper



Combined type Damper(High & Low Frequency)

울산대교, 현수교용 스톡브릿지 댐퍼, 2015

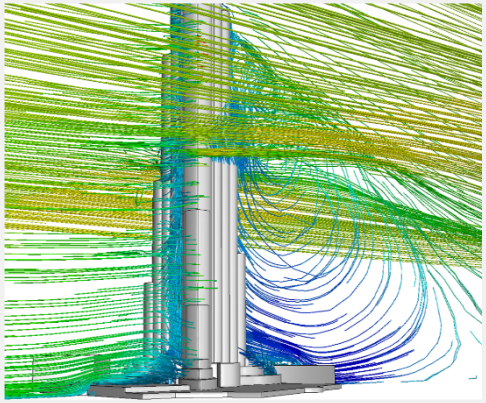
팔영대교, 현수교용 스톡브릿지 댐퍼, 2016

평택대교, 사장교용 스톡브릿지 댐퍼, 2016

전산 풍공학 COMPUATATIONAL WIND ENGINEERING

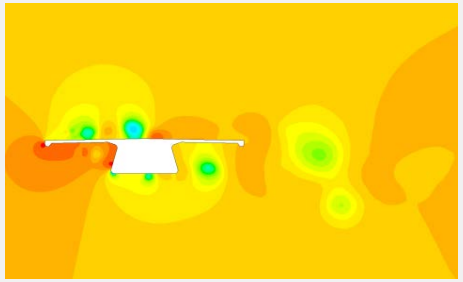
전산풍공학(CWE - Computational Wind Engineering)은 풍공학 관련 문제들을 전산유체역학(CFD - Computational Fluid Dynamics)과 같은 수치해석기법을 사용하여 해결하는 방법입니다. CFD를 활용한 수치모델링은 현장 측정이나 풍동 실험의 한계점을 피해갈 수 있는 강력한 대안책입니다.

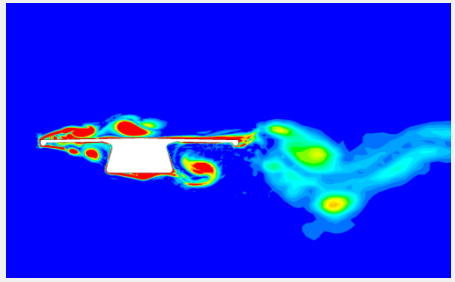
CFD의 일반적인 적용 분야는 보행자 풍환경 예측, 공기오염 분포, 빌딩의 자연 환기, 빌딩에 가해지는 풍하중, 공기력, 교량의 플러터 현상 파악 등입니다.



CFD/FSI Analysis

수치해석 기법을 통해 교량 근처의 정적 공기력, 풍속, 와류, 압력 분포 등을 파악합니다. 또한, FSI(Fluid Structure Interaction)해석을 통해 와류진동 및 플러터 발생 풍속을 예측합니다.





구조물 가진실험 FORCED VIBRATION TEST

구조물의 내풍안정성이나 내진안정성 등과 같은 동적안정성을 평가할 경우, 가진기를 이용하여 구조물의 진동실험을 수행하게 되면 매우 효율적인 테이터를 얻을 수 있습니다. 최대 가진력 42kN부터 490N까지 총 4종류의 가진기를 이용하여 대형구조물은 물론 보도교와 같은 소규모 구조물의 구조감쇠율과 같은 동특성계측이 가능합니다. 또한 가진기를 이용하여 TMD, Brace Damper 등과 같은 다양한 진동제어장치의 성능평가가 가능합니다.

1 2 3 4 5

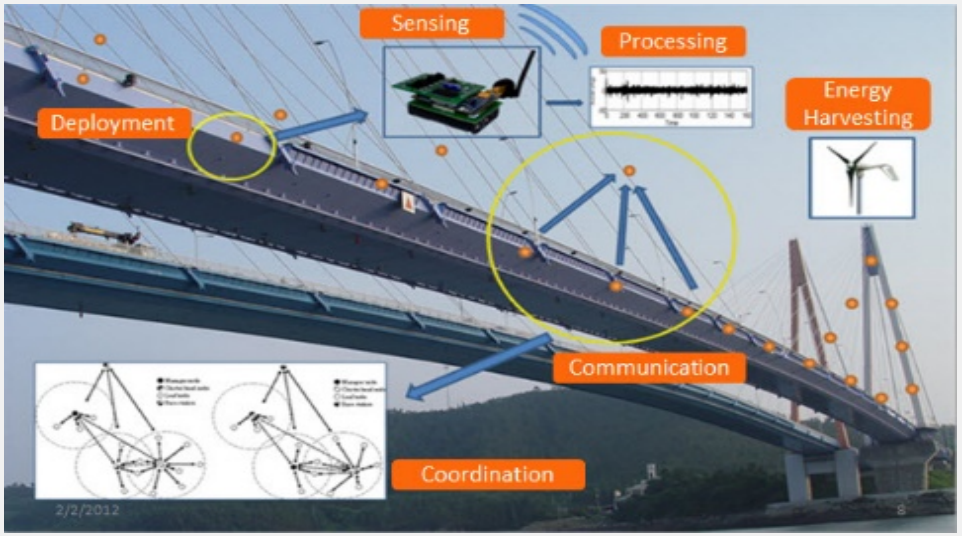
1.2. 대형 연돌구조물의 내진성능 가진실험 (화력발전소, Nagoya Japan)
3. 중형가진기 건물가진실험 (Shinjuku, Japan)
4. 소형가진기#1의 보도교 가진실험
5. 소형가진기#2의 보도교 가진실험

무선 스마트센서 네트워크(WSSN)

최근 센서기술의 발달은 무선 스마트센서 네트워크를 사용한 구조안정성 모니터링을 가능케 하였으며 이는 기존 유선 구조안정성 모니터링을 대체할 유력한 기술입니다. 스마트 센서는 일반적으로 작고 저렴할 뿐 아니라 무선 통신 및 onboard computation이 가능하며, 기존 유선 모니터링의 많은 문제점들을 개선하였습니다. 예로 들어, 보다 손쉬운 설치, 그로 인한 보다 저렴한 설치 비용, 멀티홉 통신, 분산적 네트워크 내 데이터 처리 등이 무선 스마트 센서 네트워크를(WSSN) 통해 가능케 되었습니다. 이런 매력적인 기능들은 scalable monitoring systems 및 dense sensor networks 등의 개발을 가능케 합니다.

TESolution은 유선/무선 센서를 이용한 Monitoring System 구축에 많은 경험을 가지고 있고, 진동제어시스템을 설치하기 위한 구조물의 System Identification 및 진동제어시스템 설치후 성능 검증을 위한 구조물의 System Identification 등 다양한 실적을 갖고 있습니다.

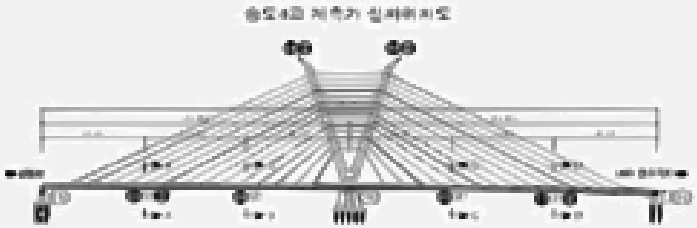
최근에는 세계 최대의 Dubai I 대관람차에 Spoke cable의 모니터링 시스템(Xnode Smart Sensor 192EA)을 제공하였습니다.

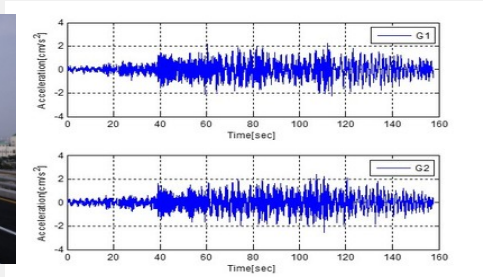


진도대교 모니터링을 위한 WSSN (2009~2012)

현장적용 예

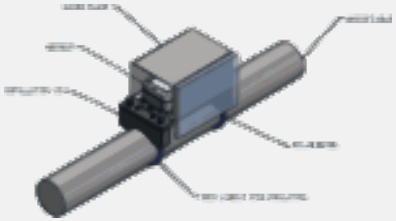
•송도 4교 (2015)





•대관람차, 두바이 (2016)

Wireless Smart Sensor



Wireless Smart Sensor on clamping system with solar panel

티이솔루션 실적

Taichung Treasure Garden, Taichung, Taiwan

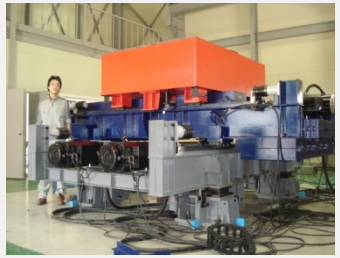
- Frequency
  0.237Hz(x-dir)
  0.230Hz(y-dir)
- Year: In progress
- Type: Pendulum type
- Control direction:
  horizontal dir.
- Specification
  - Moving mass: 150ton
  - Stroke:
    0.6m(x-dir) 1.35m(y-dir)
  - Optimal damping ratio :
    12.3%
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

강변 테크노 마트

- Frequency
  0.19Hz(y-dir.)
  2.7Hz(z-dir.)
- Year: 2013
- Type: Hybrid Mass Damper
- Control direction:
  horizontal &vertical dir.
- Specification
  - Moving mass:
    40t(TMD), 50t(AMD)
  - Stroke: ±10mm(TMD),
    ±600mm(AMD)
  - Optimal damping ratio :
    4.63%(TMD)
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

송도 POSCO E&C 오피스 타워 A동 & B동

- Frequency
  Bldg A-0.26Hz(x-dir), 0.24Hz(y-dir)
  Bldg B-0.25Hz(x-dir), 0.24Hz(y-dir)
- Year: 2010
- Type: Sliding type TMD
- Control direction:
  Horizontal dir.
- Specification
  - Moving mass:
    Office A-80T, Office B-160T
  - Stroke: Office A-±300mm,
    Office B-±250mm
  - Optimal damping ratio :
    (A)4.5(X),4.7(Y) (B)6.1(X)6.6(Y)
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test



울산 롯데호텔

- Frequency
  0.42Hz(x-dir)
  0.36Hz(y-dir)
- Year: 2007
- Type: Active Mass Damper
- Control direction:
  horizontal dir.
- Specification
  - Moving mass:
    20T(x-dir) 10T(y-dir)
  - Stroke:
    ±600mm
  - Optimal damping ratio :
    20.6%(x-dir), 13.9%(y-dir)
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

부산 센텀시티

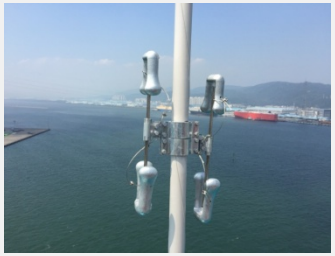
- Frequency
  0.52Hz(x-dir)
  0.47Hz(y-dir)
- Year: 2004
- Type: Sliding type TMD
- Control direction:
  horizontal dir.
- Specification
  - Moving mass:
    100T x3
  - Stroke:
    ±300mm
  - Optimal damping ratio :
    6.0%
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

티이솔루션 실적

• 진동제어 장치 – 교량 및 특수구조물

인천 국제공항 제2 관제탑

- Frequency
  0.9560Hz (y-dir) -1st
  1.0231Hz (x-dir) -2nd
- Year: 2017
- Type: Active Mass Damper
- Control direction: horizontal dir.
- Specification
  - Moving mass: x-dir : 10.4ton y-dir : 9.2ton
  - Stroke: ±70mm
  - Optimal damping ratio : 8.39%(x-dir), 9.89%(y-dir)
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test



울산대교

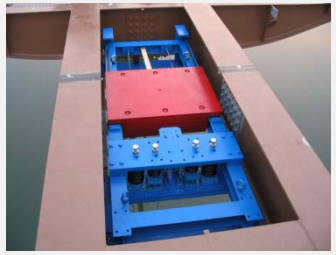
- Cable Frequency
  1Hz ~ 40Hz
- Year: 2015
- Type: Stockbridge Damper
- Control direction: horizontal dir.
- Specification
  - 120 Sets
  - Moving mass: 4.62kg +7.90 kg (1set x 120)
  - Messenger Cable:¢-16mm
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

제2 진도대교

- Frequency
  0.437Hz (z-dir) -1st
- Year: 2012
- Type: Sliding type
- Control direction: Vertical dir.
- Specification
  - Moving mass: 3.25ton x4
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

거가대교 주탑, 가설계

- Frequency
  0.22~0.28Hz
- Year: 2010
- Type: Pendulum type
- Control direction: horizontal dir.
- Specification
  - Moving mass: 24ton x3
  - Stroke: ±3000mm
  - Optimal damping ratio : 2.23%
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test



군산 은파보도교

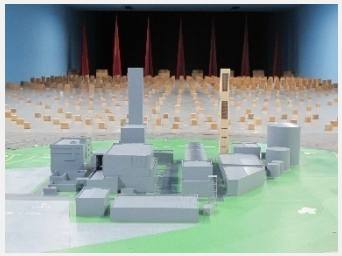
- Frequency
  1.77Hz
- Year: 2006
- Type: TMD (2 sets)
- Control direction: vertical dir.
- Specification
  - Moving mass: 0.65T
  - Stroke: ±40mm(TMD),
  - Optimal damping ratio : 5.0%
- Services: Conceptual & Detailed Design / Manufacture / Installation / Performance test

티이솔루션 실적

• 건축물 풍동실험

부산 해운대 관광 리조트

- Year : 2017
- Services:
  - Cladding Pressure Study



CHP 연돌, 위례 신도시

- Year : 2015
- Services:
  -High Frequency Force Balance Test

부산 국제 금융센터 랜드마크타워

- Year : 2014
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test

래미안 용산 주상복합

- Year : 2012
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test

부산 용호만 더 더블유 주상복합

- Year : 2012
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test
  -Pedestrian Level Wind Study

잠실 롯데월드 타워

- Year : 2010
- Services:
  -Pedestrian Level Wind Study

Al Reem Island Four Vanes, Abu Dhabi , UAE

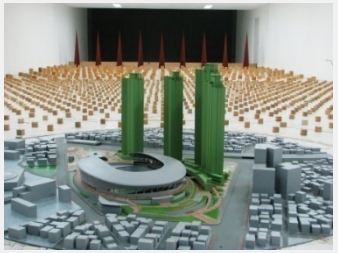
- Year : 2009
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test
  -Pedestrian Level Wind Study

Al Reem Island NAVI & SOHO, Abu Dhabi , UAE

- Year : 2008
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test
  -Pedestrian Level Wind Study

IFC Pnompenh Residencial B/D, Pnompenh, Cambodia

- Year : 2008
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test

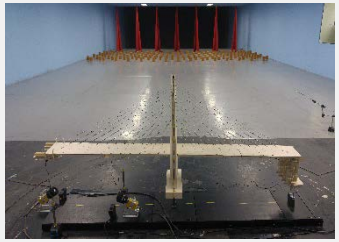


인천 숭의경기장 및 주상복합

- Year : 2008
- Services:
  -Cladding Pressure Study
  -High Frequency Force Balance Test
  -Pedestrian Level Wind Study

티이솔루션 실적

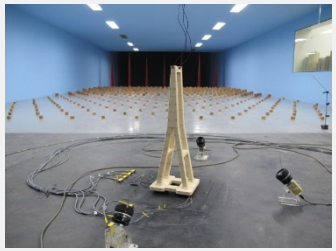
• 교량 풍동실험



Temburong Bridge, Temburong, Brunei

- Client – Daelim
- Year : 2016
- Services:

-Section model test(deck, tower), Buffeting Analysis Wind shield test, Full bridge model test



Chacao Bridge, Chile

- Client – Hyundai & OAS
- Year : 2014
- Services:

-Section model test(deck, tower), Wind shield test, Free standing tower model test, Topographic model wind tunnel test, Full bridge model test

Sungai Kebun Bridge, Brunei

- Client – Daelim
- Year : 2014
- Services:

- Section model test, Buffeting analysis, Aeroelastic full bridge model test, CFD analysis, Wind environment test

Mersey Gateway Bridge Link, U.K.

- Client – Samsung JV
- Year : 2013
- Services:

-Section model test(deck, tower), Wind shield test, Free standing tower model test

Vam Cong Bridge, Vietnam

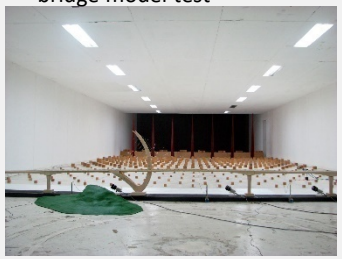
- Client – Cuu Long CIPM
- Year : 2012
- Services:

-Section model , Aeroelastic free standing tower model, Aeroeastic full bridge model tests, Buffeting analysis

New Nile Bridge, Uganda

- Client-Oriental Consultants
- Year : 2011
- Services:

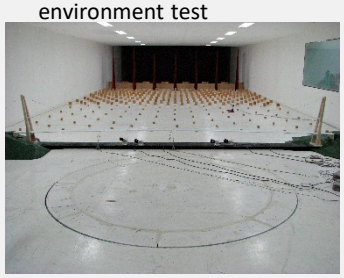
-Section model, Aeroelastic full bridge model tests, CFD analysis



화양 적금 3구간

- Client – Yooshin
- Year : 2011
- Services:

-Section model tests, Buffeting, Flutter, CFD analysis, Aeroelastic full bridge model tests, Aeroelastic free standing tower model tests



제2 남해대교

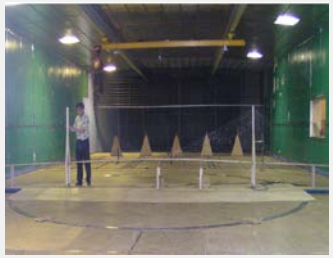
- Client-Samsung T&C
- Year : 2009
- Services:

-Section model , Aeroelastic free standing tower model, Aeroeastic full bridge model tests, Buffeting analysis

울산대교

- Client-Yooshin
- Year : 2009
- Services:

-Section model, Aeroelastic free standing tower model, Aeroeastic full bridge model tests, Buffeting, Flutter analysis



인천대교

- Client-Samsung T&C

Year : 2007

- Services:

-Section model, Aeroelastic free standing tower model, Aeroeastic full bridge model tests, Buffeting, Flutter analysis

TE Solution

Total Engineering Solution

in Wind Engineering and Vibration Control

www.tesolution.com

㈜ 티이솔루션
경기도 안성시 공도읍
승진길 142, 17563

TEL +82-31-658-2906
FAX +82-31-658-2908
문의: tesolution@tesolution.com

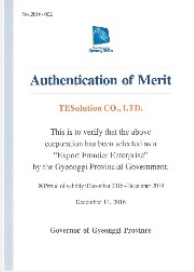
ISO 9001:2008

ISO 14001:2009

OHSAS 18001:2007

INNOBIZ

Promising Small & Medium Sized Enterprise



Export Frontier Enterprise