

내진 시험 프로그램

시험 개요

표준 두께 탄소강관에 설치된 4" /DN100, 8" /DN200 및 16" /DN400 규격의 Victaulic 그루브형 기계식 배관 커플링 및 피팅 제품에 대해 내진 시험을 실시했습니다. 시험 결과, 지진에 노출된 배관 시스템용으로는 Victaulic 커플링 제품이 가장 적합한 것으로 밝혀졌습니다. 시험 프로그램은 현재 국제적으로 인정받고 있는 비구조형 건물 부재용 진동 테이블 표준에 준해 개발되었습니다. 배관 어셈블리에 X 및 Y 수평 방향으로 각각 ±3" /76mm 의 진폭과 최대 1.3g 의 가속도 및 1.3 에서 33Hz 범위의 진동수를 가했습니다. 배관에 대해 최대 7g 의 가속도가 기록된 시험 조건에서 보강 처리된 고정부 및 신축부 공히 완벽한 성능을 발휘했습니다. 배관 어셈블리는 전체 시험 기간 동안 물로 채운 다음 200 psi /1375 kPa 의 압력을 가한 상태를 유지했는데, 시험 동안과 그 후에도 압력 손실이나 누수 현상은 발견되지 않았습니다.

Victaulic 소개



1925년에 설립된 Victaulic은 기계식 배관 연결 시스템 분야에서 글로벌 리더로서의 위치를 확고히 하고 있습니다. Victaulic은 그루브에 맞물려 체결되며 탄성 중합체 소재의 가스켓을 사용하여 조인트를 밀봉하는 기계식 볼트 체결 방식의 커플링으로 대표되는 혁신적인 배관 연결 개념을 도입했습니다.

용접, 나사 혹은 플랜지 이음 방식에 비해 설치 시간을 대폭 줄여주는 그루브 방식 배관 공법은 HVAC, 배관 설비, 소방, 광산, 산업 유틸리티, 유전 배관과 수처리 및 폐수 처리 시스템 등의 분야에서 광범위하게 사용되고 있습니다.

Victaulic 제품은 세계 곳곳의 주요 랜드마크 및 건물에 설치되어 있습니다. 고정식 및 플렉시블 조인트로 공급 가능한 Victaulic 시스템은 다른 배관 연결 시스템에서는 찾아볼 수 없는 설계상 다양성을 제공합니다.

지진 환경에서의 Victaulic 제품

지진 취약 지역에서의 Victaulic 그루브형 플렉시블 커플링 사용 역사는 1940년대 초로 거슬러 올라가는데, 장비 연결부의 응력 해소에 사용되곤 했습니다. 그 이후 그루브형 제품은 특정한 시스템 설계 요건에 따라 고정식 및 플렉시블 배관 조인트를 모두 사용할 수 있다는 고유의 설계상 이점으로 인해 표준 이음 방식으로 자리잡았습니다. Victaulic 제품은 오랫동안 지진 다발 지역에서 우수한 성능을 발휘하여, 지진 지역에서의 수많은 프로젝트에 표준 배관 연결 방식으로 사용되어 왔습니다. 또한 지진, 선박 배관 시스템 및 고압 순환과 같은 열악한 환경에서 사용될 때 Victaulic 제품의 성능을 검증하기 위해 여러차례 자체 시험 및 제3자 시험을 거쳤습니다. 이와 같은 다양한 시험을 통해 열악한 환경 하에서도 Victaulic 제품의 신뢰성과 안정성이 유지됨이 입증되었습니다.

시험 목적

Victaulic은 새로운 주요 요건에 대한 적합성을 보여주고 Victaulic 제품이 지진 진행 동안 발생하는 힘을 견뎌내고 실시간 지진에 노출되었을 때 시스템의 안정성을 유지함을 입증하기 위해 당사 제품에 대한 첨단 시험의 필요성을 인식했습니다. 시험은 과거 지진 사례에서의 성공적인 '실제' 성과를 뒷받침해주는 분석 데이터를 제공할 수 있도록 개발되었습니다.

배관 및 건물 손상은 배관과 건물 간의 상반된 움직임으로 인해, 그리고 배관이 건물의 내진 조인트나 두 개의 별도 구조물을 지나거나 혹은 건물 내 독립 지지 구조물에 고정 또는 지지되어 있는(예: 지붕 트러스에 지지된 다음 선반으로 내려오는 경우) 지점에서 발생합니다. 전자는 주어진 '구조물 영역' 내에서 배관을 건물 구조물에 고정(내진 보강)하여 배관이 건물과 일치하여 움직이게 함으로써 대처합니다. 고정 및 흡수는 반드시 정해진 지진 가속도 및 움직임의 진폭에 맞게 설계되어야 합니다. 후자는 배관이 한 구조물 영역에서 다른 구조물 영역으로 지나갈 때를 얘기합니다. 배관은 연결된 하지만 서로 다른 '내진 구조물' 에 지지 혹은 고정된 배관 간에 발생하게 되는 상반된 움직임을 수용하기에 충분한 신축형 구성 부품(지진 차단 어셈블리)을 사용하여 설치해야 합니다. 신축형 부재는 지진 발생 시에 각 구조물에 부착된 구조물 및 배관이 서로에 손상을 입이지 않고 건물 내에서 독립적으로 움직일 수 있도록 합니다.

내진 시험의 목적은 지진 다발 지역에서의 배관 시스템 설치와 결함이 없는 가동 상태를 유지함에 있어 Victaulic 그루브형 기계식 커플링 및 피팅 제품의 적합성을 보여주기 위함입니다. 시험 프로그램은 상기에 언급된 두 가지 조건에서의 내진 성능을 나타내도록 고안되었습니다. 첫째, 시험 수행을 통해 규정에 적합하게 보강된 배관 상에 설치된 Victaulic의 고정식 혹은 플렉시블 커플링이 지진에 노출되는 경우 완전한 성능을 유지함이 입증되었습니다. 둘째, 시험을 통해 구조물 간 혹은 별도의 건물 내진 조인트에서의 상반된 움직임을 수용하도록 충분히 자유로운 움직임을 제공하는 내진 스윙 조인트 혹은 오프셋 배관 구조에 설치된 당사 플렉시블 커플링의 성능을 확인할 수 있었습니다.

내진 시험

ATLSS 시험 시설



필요한 시험을 수행할 기관으로는 미국 유수의 엔지니어링 연구 센터인 리하이 대학교 (Lehigh University) 의 ATLSS (Advanced Technology for Large Structural Systems) 연구소가 선정되었습니다. ATLSS 연구소는 NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation) 회원으로서 지리적으로 산재해 있는 실험 연구 장비 설비의 공동 이용을 위한 전국적인 협력 네트워크 프로젝트의 일환으로 미국국립과학재단 (US National Science Foundation) 에 의해 설립되었습니다. 리하이 대학교 NEES 연구소의 장비 설비는 지진 충격 하에서 대형 구조 부품, 구조형 하부 어셈블리 및 대형 어셈블리에 대해 유효힘법 (Effective Force Method), 유사동적시험법 (Pseudo-Dynamic Hybrid Testing Method) 혹은 유사동적복합시험법 (Pseudo-Dynamic Hybrid Testing Method) 을 사용한 실시간 시험을 수행할 수 있도록 개발되었습니다. 따라서 배관 시스템에 대한 시뮬레이션 방식의 실시간 다중 방향 지진 영향을 수행 및 분석하는데 매우 적합합니다. Victaulic 과 Lehigh 는 세계적으로 인지도가 높은 지진대비시스템 설계 및 공급업체에 자문을 구하여, 배관 시험 어셈블리의 지지 및 보강을 위한 설계 지원을 받았습니다.

시험 요건

시험 프로그램은 최신 진동 테이블 표준에 준해 개발되었습니다. 이 시험 프로그램을 위해 인공 지반 운동을 고안했습니다. 무작위적으로 생성되는 지반 운동은 규정된 최소 응답 스펙트럼을 충족하도록 했습니다.

시험 프로토콜 입안에는 ICC Evaluation Inc 의 보고서 AC156 '비구조형 부품 및 시스템의 진동 테이블 시험에 의한 내진 적합성 합격 기준 (Acceptance Criteria for Seismic Qualification by Shake-table Testing of Nonstructural Components and Systems)' 을 적용했습니다. 프로토콜에는 배관을 포함한 비구조형 부품의 진동 테이블 시험을 위한 최소 요건이 규정되어 있습니다. 또한 규정에 명시된 비구조형 부품 설계 지진 하중에서 도출되는 최소 응답 스펙트럼이 명시되어 있습니다. 진동 시험에 대한 입력 운동의 응답 스펙트럼은 AC156에 명시된 최소 스펙트럼보다 컸습니다.

AC156에 명시된 최소 응답 스펙트럼은 최신 건물 규정에 명시되어 있는 지진 설계 하중을 바탕으로 했습니다. 시험 프로그램에는 2006 국제건물규정 (IBC: International Building Code) 을 적용했습니다. IBC 2006 은 미국토목학회 (American Society of Civil Engineers) 에서 발간한 ASCE 7-05 '건물 및 기타 구조물의 최소 설계 하중 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures)' 에 명시된 지진 하중을 인용하고 있습니다. 배관 및 기타 비구조형 부품의 설계는 건물 설계에 사용되는 것과 유사한 등가정하중법 (Equivalent Static Load Method)을 바탕으로 했습니다.

시험 구성

시험 구성은 대형 파이프라인을 수용하고 필요한 운동을 가할 수 있도록 했습니다. 시험에는 배관 및 커플링에 높은 가속도, 변위 및 속도를 가할 수 있는 능력이 필요했습니다. 수평 트러스는 배관이 지지되는 격판 혹은 '천장' 역할 수행하도록 설계되었습니다. 지진 운동이 '천장' 에 가해진 후 배관으로 전해졌습니다. NEES 액추에이터 세 개를 사용하여 가로 및 세로 방향으로 필요한 지진 운동을 가했습니다. 관련된 모든 시험 데이터를 기록하기 위해 시험 프로그램의 정확한 기록을 제공할 수 있는 가속도계, 변위 센서 및 변형 게이지를 전략적으로 배치했습니다.

배관은 40' / 12m 길이의 주관 (20' / 6m 길이의 배관 두 개로 구성) 과 90° 엘보를 연결한 후 한 쪽 끝에 10' / 3m 길이의 도관을 배치했는데, 모두 Victaulic Style 07 또는 W07 고정식 커플링으로 연결했습니다. 이 배관 부분은 표준 산업 규정 요건에 준해 버팀대로 보강했으며, '버팀대 보강 고정 구역' 으로 명명했습니다. '버팀대 보강 고정 구역' 의 각 단에는 Victaulic 지진 차단 어셈블리로 구성된 '신축 구역' 을 설정했습니다. 그런 다음 이들 변위 어셈블리를 ATLSS 반응벽에 연결하여 움직임이 없도록 했습니다. 따라서 '고정 구역' 내에서의 배관 움직임은 지진 차단 어셈블리에 상대 변위를 생성했습니다.

고정 구역 배관



내진 시험

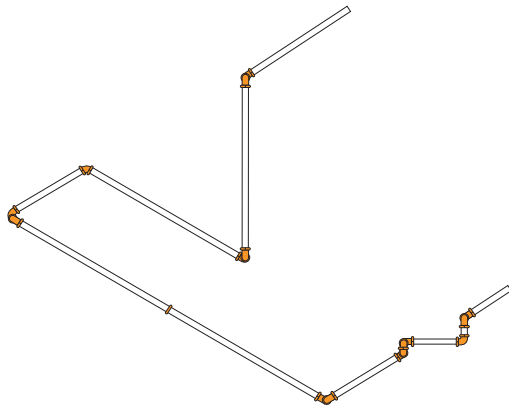
내진 스윙 조인트



4" /DN100 테스트 어셈블리



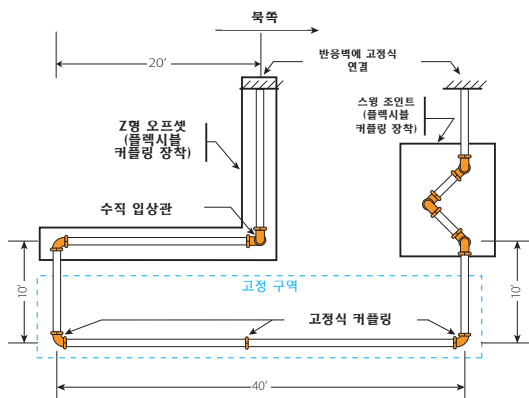
내진 루프



8" /DN200 테스트 어셈블리



내진 루프 - 고정/신축 구역



16" /DN400 테스트 어셈블리



두 개의 다른 지진 차단 어셈블리를 사용했는데, '고정 구역'의 각 단에 하나씩 설치했습니다. 어셈블리 하나는 Z형 오프셋 구조였으며 다른 하나는 내진 스윙 조인트였습니다. 이들 구조 모두 '고정 구역'과 반응벽 간의 상반된 배관 움직임 수용을 위해 Victaulic Style 77 및 W77 플렉시블 커플링의 굴절 및 회전 특성을 이용했습니다.

내진 시험

4"/DN100, 8"/DN200 및 16"/DN400 의 세 가지 배관 규격을 시험 대상으로 선정했습니다. 각 규격별로 완전한 배치를 한 다음 개별적으로 시험을 진행했습니다. 다양한 내진 요건에 대한 Victaulic 커플링의 성능을 입증하기 위해 각 배관 어셈블리에 대해 수 회의 시험을 실시했습니다. 세 종류 시험 모두에 동일한 커플링 및 배관을 사용했습니다. 이들 시험은 정변위 시험, 정현파 스위프 시험 및 진동으로 이루어졌습니다. 전체 시험 기간 동안 배관은 물로 채우고 200 psi/1375 kPa 의 압력을 가한 상태를 유지 했습니다.

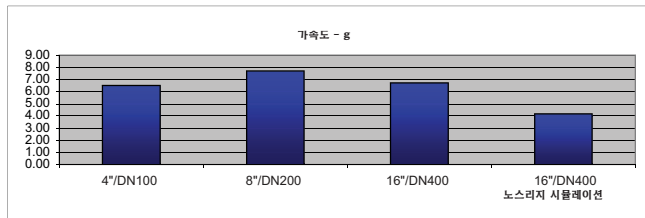
정변위 시험에서는 각 어셈블리에 x 및 y 수평 방향으로 ± 4"/102mm 의 움직임 가했습니다. 정현파 스위프 시험에서는 각 어셈블리에 1.3Hz ~ 33Hz 의 진동수 범위로 정현파 가속도를 가했습니다. 진동 시험에서는 각 어셈블리에 세 단계의 지진 운동을 가했습니다. 진동 시험 도중 가해진 최대 수평 움직임 및 가속도는 각각 ± 3"/76 mm 및 1.3g였습니다.

아울러 두 가지 추가 시험을 실시했습니다. 첫 번째는 8"/DN200 배관 어셈블리에 관한 시험이었습니다. 진동 시험 후 고정식 커플링을 모두 플렉시블 커플링으로 교체한 다음 전체 시험을 다시 수행했습니다. 두 번째는 16"/DN400 배관 어셈블리에 관한 시험이었습니다. 표준 프로그램 시험 후, 노스리지 지진 (Northridge Earthquake) 의 실시간 다중 방향 복합 시뮬레이션을 실시했습니다. 이 시험은 실제 지진에 노출된 3 층 건물에 설치된 배관 시스템의 반응을 연구하기 위한 목적으로 실시되었습니다. 두 종류 시험 모두 본 시험 기간 동안 이루어졌습니다. 첫 번째에는 노스리지 지진에서 측정된 진폭의 1/2 을 어셈블리에 가했으며, 두 번째에는 측정 진폭의 1.07 배를 가했습니다.

시험 결과

Victaulic 커플링 제품의 성능은 우수했습니다. 전체 시험 기간 동안 어떤 배관 조인트에서도 누수 현상은 없었습니다. 200 psi/1375 kPa 의 내압이 항상 일정하게 유지되었습니다. 배관 및 커플링은 다수의 지진대비 부재가 손상된 이후에도 매우 견고한 상태를 보였습니다.

어셈블리별로 기록된 최대 가속도는 다음과 같습니다.



4"/DN100 어셈블리 - 6.51g

8"/DN200 어셈블리 - 7.70g

16"/DN400 어셈블리 - 6.71g

16"/DN400 노스리지 지진 시뮬레이션 - 4.17g

지진 차단 어셈블리의 성능 또한 우수했습니다. 모든 상반된 운동을 수용했습니다. 액츄에이터에서 측정된 하중이 매우 낮았다는 데에 주목할 필요가 있는데, 이는 차단 어셈블리의 경도가 매우 낮았음을 의미합니다. 이는 내진 버팀대 및 고정 지점에 유도되는 하중 및 응력을 최소화함에 있어 바람직한 것입니다.

리히터 진도

대부분의 경우 지진하면 리히터 진도를 떠올리는데, '리히터 진도 (Richter Scale)' 는 지진 발생시 방출되는 에너지의 측정치로서 건물 혹은 배관 시스템의 설계 틀은 아닙니다. 리히터 진도는 다양한 지진의 상대적 강도를 비교하는 데에는 유용한 수단이지만, 지진 운동 도중 특정 건물이나 배관 시스템이 받게 되는 운동이나 힘을 직접적으로 예측하는 데에는 이용할 수 없습니다.

구조 엔지니어들은 지진에 의한 지반 운동으로 생성되는 변위 및 가속도에 견디도록 건물 및 배관 시스템을 설계하는데, 이러한 지반 운동은 방출되는 에너지뿐만 아니라 현장의 토양 특성, 건물 형태/구조 및 진원지와의 거리 등과 같은 요소의 영향을 받습니다. 건물 자체 및 건물 내 설비의 움직임은 건물 크기 및 형태, 건축 방법 (예: 철근, 콘크리트, 목재), 고유 진동수 및 건물 내 특정 위치로 인한 주어진 지반 운동에 따라 크게 달라질 수 있습니다. 배관 시스템은 구조 엔지니어가 정한 변위 및 힘에 근거하여 설계 및 보강됩니다. 이러한 설계 변수는 건물의 고유 진동수, 현장의 지진 활동도 및 건물 내 배관 시스템의 위치 등이 복합적으로 작용하는 것입니다. 이 같은 이유로 시험 변수를 리히터 진도가 아닌 기록 상의 진동수 범위와 보편적인 수치를 넘는 가속도를 바탕으로 한 것이며, 시험 변수는 어떤 특정 '리히터 진도' 수치와도 관련성을 가지지 않습니다.

특정 현장에서 주어진 지진에 의해 생성 가능한 가속도/변위 크기는 방출되는 에너지 양(리히터 진도)뿐만 아니라 다음 요소의 영향을 받습니다.

1. 진앙으로부터의 거리(거리가 가까우면 힘과 변위가 커짐을 의미)
2. 토양 조건(토양이 부드러우면 힘/변위가 커짐을 의미)
3. 건물 형태(건물 형태 및 높이/폭은 지진에 대한 건물의 반응 양태를 변화시키는 고유 진동수에 영향을 미침)

자세한 연락처 정보는 www.victaulic.com을 참조하시기 바랍니다.

26.13-KOR 5273 REV A 2008년 5월 갱신

Victaulic 은 Victaulic사의 등록상표입니다. 모든 복제를 불허합니다. © 2009 VICTAULIC COMPANY. ALL RIGHTS RESERVED.

26.13-KOR

