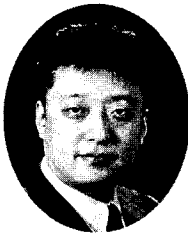


특집

콘크리트 구조물의 공사 계측 기술 현황

콘크리트 구조물의 공사 계측 기술 현황

- Monitoring Technology for Concrete Structures under Construction -



정혜교*



서주원**



박진우**



김도균**

1. 서론

콘크리트 구조물의 진동 계측은 비파괴 검사 방식을 이용한 내부 결함을 측정한다거나, 진동원으로부터 다른 구조물에 전달되는 크기를 분석하여 진동의 사용성 영향을 평가하거나, 또는 교량과 같은 중요한 구조물에 대하여 장기 계측을 통해 구조물의 안전성을 확보하기 위한 목적으로 이용된다.

그리고 지형적으로 산지와 구릉 지대가 많이 발달되어 있고 또한 지질적으로는 지표 가까운 곳에 견고한 암반이 많이 노출되어 있는 우리나라에서는 도로 굴착, 택지 조성 작업, 터널 굴착, 지하 공동 굴착 등의 공사에서 암반과 접하는 경우가 많은데 이럴 경우 발파 작업은 필수적이다. 특히 최근에는 발파 작업이 도심지에서 발생하는 경우가 많고, 또한 생활 수준 향상에 따른 환경 문제에 대한 관심의 증가 등으로 인해 발파 진동이나 소음, 암석의 비산 등의 공사 대상 지

역에서의 발파에 대한 환경적인 문제 해결은 필수적이다.

그러므로 본고에서는 구조물의 진동 계측과 발파 진동 계측으로 나누어 일반적인 특성과 진동 속도 예측 방법, 계측 센서 및 계측 장비, 계측 기기 운영 기술, 구조물의 영향 평가에 대하여 기술하고자 한다.

2. 진동 계측의 특성

2.1 구조물의 진동 계측

구조물의 진동 계측 작업은 현장 계측과 영구 계측으로 구분되어 작업 과정을 살펴볼 필요가 있다. 현장 계측의 경우, 진동 계측이 필요한 구조물의 구조적 특성 자료를 분석하여 기본적인 구조적 거동을 파악한 후 진동 측정 위치 및 계측 센서 종류, 계측 장비를 선정한다. 진동 계측의 경우 진동원의 특성을 파악할 필요가 있다. 이에 따라 진동 측정 방법 및 가진방법을 달리하는 바, 외부 가력이 필요한 경우에는 가진 장비를 필요로 하며, 상시 진동(ambient vibration)

* 정회원, 현대건설 건축사업본부

** 정회원, 현대건설 기술연구소

의 경우에는 진동 에너지가 매우 작으므로 감도가 매우 높은 센서가 필요하며, 구조물의 특성을 분석하기 위해서 상대적으로 긴 시간 동안 측정할 수 있는 계측 장비가 요구된다.

구조물의 진동 계측 결과를 이용하여 대상 구조물을 평가하는 데에는 다양한 분석 기법이 요구된다. 먼저, 계측 데이터를 적절히 정리하고 변환하는 과정이 필요하다. Fourier Transform을 통한 주파수 분석 및 적절한 Filtering이 요구된다. 구조물의 영향 평가는 여러가지 목적에 따라 다양한 기준이 있으며, 일반적으로 구조물 진동에 의한 허용 기준치가 제시되고 있으며, 정밀한 안전성 평가를 위해서는 구조 해석이 병행될 필요가 있다.

2.2 발파 진동의 특성

(1) 일반적인 특성

발파 작업에서 일반적으로 폭약이 암반 내 장약공에 밀폐된 상태로 폭발하게 되면, 그 압력은 폭약의 종류, 장약 밀도, 폭속 등에 따라 다르지만 기폭 후 수 μ sec의 짧은 시간 내에 수만에서 수십만 기압에 이르는 강력한 폭굉압이 발생하며, 연소된 화약에 의한 가스압이 뒤따라 발생한다. 이때 폭발이 일어난 장약공 내의 온도는 3,000 ℃ 이상으로 추정된다. 이러한 폭굉압은 충격파의 형태로 암반 중에 전파되어 파쇄대 외부에 균열을 발생, 전파시켜 균열대를 만든다.

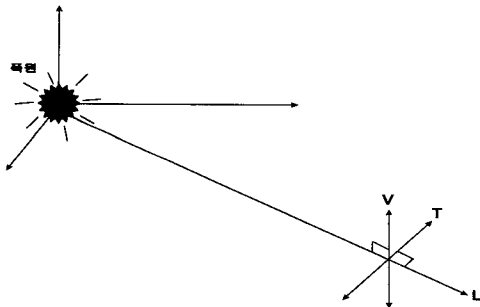


그림 1. 발파 진동의 일반적인 형태

한편, 가스압은 암석을 이동시키는 데 필요한 많은 양의 에너지로 작용하게 된다. 폭원으로부터 암반 내부로 전파되어 온 충격파는 거리에 따라 현저히 감쇠되어 발파에 의한 에너지의 일부가 탄성파의 형태로 균열대 외부의 암반 중에 전파된다. 이러한 탄성파는

암반 중에 전파되어 가면서 지반과 지반 위의 구조물에 진동을 일으키게 되는데 이를 발파 진동이라 한다. 삼차원 공간을 전파하는 탄성파 파동의 움직임은 물체 파인 압축파, 전단파 및 표면파인 레일리파 등이 합성되어 있으므로 최대 진동 속도를 알기 위해서 세 방향 성분을 계측하여야 한다. 파의 전달 방향 성분을 진행 방향(radial 또는 longitudinal) 성분이라 하고 이에 수직되는 두 성분을 수직(vertical) 성분 및 접선(transverse) 성분이라고 한다.

(2) 입자의 진동 속도와 예측

발파 진동에 영향을 미치는 요소는 화약류의 종류, 장약량, 장약 밀도, 기폭 방법, 전색 정도, 자유면 수, 거리 및 매질의 전파 속도 등이 있다. 특히 진동 속도는 다음과 같이 거리와 장약량의 함수로 나타낼 수 있다.

$$V = K \left[\frac{D}{W^b} \right]^n = K \cdot (SD)^n$$

W : 지발당 장약량(kg)

D : 발파폭원과 계측점 간의 거리(m)

V : 입자 진동 속도(mm/sec)

b : 1/2 또는 1/3

K, n : 지질 암반 조건, 발파 조건에 따르는 상수

이 중 K, n은 그 지역 매질의 진동 전달 특성을 나타내므로 이를 입자 상수라고도 한다. 그리고 거리와 지발당 최대 장약량의 비인 D/W^b 를 환산 거리(Scaled Distance, SD)라 하며, b가 1/2일 때를 자승근 환산 거리(square root scaled distance), 1/3일 때를 삼승근 환산 거리(cube root scaled distance)라 한다. 이는 각각 거리를 장약량의 자승 및 삼승의 비율로 환산한 형태이며, 둘 다 사용되고 있으나 일반적으로는 비교적 가까운 거리에서는 삼승근이, 먼 거리에서는 자승근이 더욱 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

3. 계측 장비

3.1 구조물의 진동 계측 장비

3.1.1 계측 센서

구조물 계측 센서는 크게 다음과 같이 정적, 동적 센

서로 구분될 수 있다. 정적 센서의 경우 구조물 안전 진단이나 장기 계측용으로 사용하며, 동적 센서의 경우에도 장기 계측용의 경우 높은 내구성이 요구된다.

3.1.2 진동 계측 로거

진동 계측 장비는 계측 센서, 계측 로거, 데이터 레코더 및 분석 장치로 구분될 수 있다. 장비 선정시 현장 계측과 장기 거동 분석을 위한 영구 계측으로 구분할 수 있는데, 현장 계측의 경우 가볍고, 부피가 작으며 로깅, 레코딩 및 간단한 분석 장치가 하나의 기기로 구성된 것이 유용하다.

반면에 영구 계측 장비는 장비 및 센서의 내구성이 우수하고 매우 오랜 시간 동안 측정을 위하여 자동 저장 장치와 트리거 기능(triggering), 알람(alarm) 기능이 요구되며, 다채널에 측정 시간도 장시간이 가능한 것이 필요로 한다.

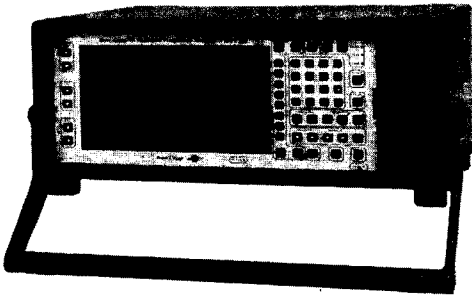


그림 2. 현장 진동 계측 및 분석 장비

〈그림 2〉는 현장 진동 계측 장비 예를 보여 주고 있다. 현장 계측용 장비는 영구 계측 장비에 비하여

표 1. 구조물 계측용 센서 예

구분	종류	측정 목적	특성	제품 예
정적 센서	Strain gauge	구조물의 변형률 측정	3300 μ strain	Vibrating Wire Type
	경사계	경사 측정	0.1 μ radian 이상	Applied Geomechanics Inc.
	변위계	변위 측정	400mm range	Joint meter
동적 센서	지진계	지반, 기초 가속도	$\pm 1G$, 50Hz	Force balance
	가속도 센서	가속도 측정	$\pm 10G$, 1kHz	Peizo electric
	Dynamic Strain gauge	동적 변형률 측정	$\pm 5000\mu$ strain 온도 보정 가능	AWC-8B
-	속도 센서	진동 속도 측정	-	-
-	풍향 풍속계	Wind speed	3D propeller	-

측정 채널(channel)이 비교적 적으며, 측정 시간도 내장 메모리의 한계로 비교적 짧은 특성이 있다. 반면, 현장 작업이 용이하도록 작고 가볍게 구성되며, 현장에서 계측 및 간단한 진동 분석이 가능하도록 구성되어 있다.

3.1.3 자동 계측 시스템

(1) 자동 계측 시스템의 필요성

여러 종류의 트랜스듀서(transducer)를 가진 다수의 계측 기기를 수동으로 주기적으로 측정하기에는 많은 시간과 경비가 소요되며, 측정 위치까지 접근이 용이하지 않은 경우도 있다. 따라서 많은 수의 센서를 주기적으로 짧은 시간 내에 측정하기 위해서 자동 계측기를 사용하여야 한다. 또한 자동 계측기는 주기적인 측정의 편리성 이외에도 데이터의 획득, 분류 및 보관에서 발생할 수 있는 실수를 배제할 수 있다.

동적 자동 계측기는 동시에 측정이 가능하도록 채널 수와 동일한 수의 아날로그/디지털 변환 장치를 보유한 측정 및 제어 장치, 기억 장치, 시그널 컨디셔닝 장치 및 정확한 시간 측정을 위한 GPS 장치로 구성되며 그 기능은 다음과 같다.

① 측정 및 제어 장치 : 모든 채널을 동시에 측정이 가능하도록 채널마다 연결된 아날로그/디지털 변환 장치(A/D Converter)와 시그널 컨디셔너(signal conditioner)에 의하여 변환된 신호를 측정하여 측정값을 저장한다. 또한, 트리거링 기능에 의하여 저장한 데이터를 결정하고 이상 발생시 경보 발령 등 측정치 전반을 제어할 보유

② 기억 장치 : 측정된 신호를 저장

③ 시그널 컨디셔닝 장치 및 A/D Converter : 센서로부터의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환

④ 주변 장치 : 전원을 공급받는 장치와 외부 PC 등과의 통신 장치 및 정확한 시각을 결정하기 위한 GPS 장치

(2) 측정 빈도

동적 자동 계측기는 센서당 취득 속도(sampling rate)가 100 ~ 250 Hz로 상시 측정하여 이 중 필요한 자료를 자동 계측기 내에 자동 저장하며 요구시 이 자료를 중앙전산실에 파일로 전송한다. 자동 계측기에서 중앙전산실로 평상시 보내지는 실시간 관측 자료는 센서당 10 Hz로 한다.

정적 자동 계측기는 지정된 시간에 주기적으로 자료를 측정, 자체 저장하며, 요구시 중앙전산실로 이 자료를 파일로 전송한다.

(3) 자료 관리

측정된 모든 자료는 데이터 베이스에 의하여 기록되어 계측기별, 위치별, 시간별 등으로 필요한 자료를 쉽게 찾을 수 있도록 한다. <그림 3>은 남해대교 장기 계측 모니터링을 위한 계측 관리 프로그램을 나타낸 것으로 정적, 동적 데이터를 측정할 수 있다.

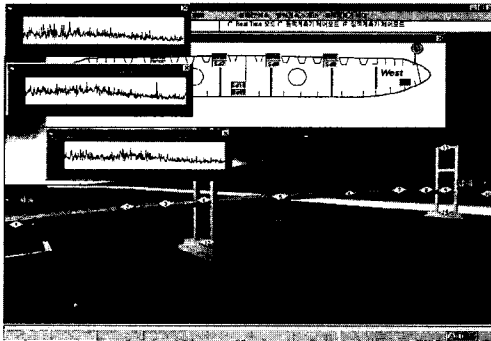


그림 3. 남해대교 계측 모니터링 시스템

3.2 발파 진동 계측 장비

3.2.1 계측 장비

현재 국내에 도입되어 사용되고 있는 발파 진동 측정기는 VME-Model F(미국 VME-Nitro Consult 회사), VS-1200(미국 Sprengnether 회사), S-6 Model 53136과 Etna 8(미국 SINCO사), SSU 2000DK seismograph(미국 Geosonics사) 등과 다수의 VM-10,12(일본 Rion사) 기종 등이 있다.

이들 대부분의 기종들은 물리적인 운동이나 압력을 전기적 신호로 바꿔 주는 센서, 전류를 전달하는 케이블, 증폭 장치, 최초 신호의 상대 시간 변화를 보존하

는 테이프, 종이 기록계, 감광지 기록계 등으로 구성되어 있다.

발파 진동 측정기에서 가장 중요한 것은 발파 진동을 감지하는 센서이다. 변환기에는 지오폰(geophone) 및 피조미터(piezometer) 형태가 있다. 이러한 변환기에는 발파 진동의 주파수 영역인 5 ~ 200 Hz에 대해 진동의 크기에 비례하는 전류가 발생해야 한다. 5 ~ 200 Hz의 주파수 범위에는 일반적인 구조물의 고유 진동수가 포함되고 구조물의 반응 변위가 가장 큰 최대 진동 속도가 발생할 때의 주파수 범위도 대부분 포함된다. 만약 특별히 높거나 낮은 진동수의 영역에서 측정이 실시되어야 할 때에는 관심 주파수 영역 내의 다른 센서를 사용해야 한다.

발파 진동의 세 성분 중 일반적으로 수직 성분이 우세하다고 보고되고 있으나 반드시 그런 것은 아니고 진행 성분이 우세하거나 접선 성분이 우세한 경우도 있으므로 최대 진동 속도와 주파수의 특성을 알기 위해서 발파 진동 측정기는 세 성분의 시간 이력을 각각 측정할 수 있어야 한다.

3.2.2 사용 센서 선택시의 주의 사항

발파 진동의 측정시에는 주파수 특성이 사용 목적에 적합한 기기를 선정해야 한다. 일반적으로 발파 진동 계측에는 크게 2가지로 나뉘어지는데, 첫 번째는 기존 터널등의 구조물에 대한 영향을 검토할 경우로 비교적 발파 구역에 가깝고, 따라서 진동 주파수가 높으며 진동치도 큰 진동이 대상이 되는 데 반해, 두 번째는 발파 지점에서의 거리가 비교적 멀어서 진동 주파수가 낮고 진동치도 작아지는 진동이 대상이 된다. 전자의 경우 발파 구역에 대단히 근접한 경우에는 속도계로서는 정상적인 동작 범위를 초과할 때가 있으므로 이때는 가속도계 등이 사용된다.

그러나, 일반적으로는 발파 진동에 의한 피해 손상 상태는 진동 속도와 밀접하게 관련이 되므로 진동 속도를 직접 측정할 수 있는 속도계가 일반적으로 널리 사용되고 있다.

전자식 수신기의 고유 진동수 f_0 와 진동 주파수 f 와의 관계가 $f > f_0$ 일 때에 수신기는 진동의 속도에 비례하는 출력 전압이 되므로, 측정하려는 진동이 대개 어느 정도의 진동수인가에 따라 거기에 적합한 고유 진동수를 지닌 수신기를 선택해야 한다. 측정하려는 진동의 주요 진동수 중 거의 1/1.5 이하인 고유 진동

수를 지닌 수진기를 이용할 필요가 있으며 예를 들어 45~600 Hz의 진동수 범위 내에서 진동을 측정할 때는 고유 진동수 30 Hz 이하의 수진기를 이용할 필요가 있다.

4. 발파 진동 계측시 주의 사항

측정하려는 지점의 진동을 정확하게 기록하기 위해서는 수진기를 대상 암반 또는 지반에 밀착해서 고정시켜 놓아야 한다. 최초의 발파 충격으로 수진기가 부상하여 암반·지반의 진동과는 무관하게 기록되는 경우, 즉 예를 들어 '비틀거림'이나 '전도'에 의해서 큰 진동을 기록하게 되면 이 진동치는 신뢰할 수 없는 값이 된다.

수진기를 지반에 고정할 때는 다음과 같은 방법이 있다. 아래 중의 어떤 경우라도 진동 전달 매체와 수진기를 반드시 밀착시켜 수진기가 진동 전달 매체와 따로 움직임이 없이 진동치를 받아들여야 한다.

먼저 기반암 위의 표층에 수진기를 설치할 경우에는 수진기에 스파이크를 장착하여 이 스파이크를 이용하여 고정시키거나 표층을 약간 걷어내고 묻는 방법이 있다. 다음에 암반에 직접 고정시켜야 할 경우에는 암반에 천공을 하고 시멘트 모르타르를 이용하여 수진기를 고정시키는 방법이 있고, 이 방법이 여의치 않을 시에는 강력 양면 테이프를 이용하여 암반과 단단히 밀착시켜야 한다.

5. 계측 사례

5.1 남해대교 장기 계측 측정 사례

5.1.1 개요

남해대교는 교량의 안전성과 사용성을 효율적으로 확보하기 위하여 장기 계측 시스템을 설치하였으며, 현재 운영 중에 있다. 장기 계측 시스템은 교량의 상시 감시 및 이상 징후의 조기 발견을 위하여 교량 각 부위에 설치된 센서를 이용하여 정확한 계측 모니터링을 통해서 효과적인 감시 체계를 구축하며, 현재 기능상이나 안전상에 문제가 있거나 향후 문제를 유발할 소지가 있는 교량 부위에 대해서 보수/보강 대책을 수립하여 효과적이며 경제적인 교량 유지 관리를 하고자 구축되었다. 이 중 동적 계측은 1차 초기치 설정 작업

에서 정해진 트리거 레벨 이상의 데이터가 계측될 때 데이터를 저장함으로써 방대한 양의 데이터 저장 및 분석의 곤란함을 회피할 수 있다.

남해대교는 우리나라 최초의 현수교로 1973년 개통되어 약 20년간 사용되고 있는 3경간 타정식(Earth-Anchored Type) 현수교이다. 현 도로교 시방서의 DB-18에 해당하는 AASHO HS 20-44 하중으로 설계되었으나 늘어나는 교통량으로 인하여 과도한 하중을 받고 있으며, 또한 완공 후 상당한 시일이 경과되어 강재의 부식이나 용접 부위의 균열 등이 발생하였다. 1993년과 1996년에 실시된 안전 진단 결과를 바탕으로 결함들에 대한 보수 대책이 마련되었으며, 교량의 철저한 유지 관리와 정기적인 안전 진단을 위하여 장기 계측 시스템이 구축되어 계속적으로 교량의 상태를 모니터링하고 있다.

5.1.2 장기 계측 시스템

남해대교 장기 계측 시스템은 정적 계측과 동적 계측으로 구분되어 구축되어 있다. 정적 계측은 주탑 및 상판의 정적인 변형과 주부재의 응력을 측정하여 교량의 전체적인 안전성을 파악하는 것으로 주로 주기적인 안전 진단 및 정보 수집에 활용된다. 동적 계측은 차량 하중 및 풍 하중에 의한 상시 진동과 지진 하중 및 기타 특이한 진동으로 인한 교량의 동적 거동을 파악하여 교량의 동적인 특성, 내하력 및 안전성을 검토하는 것이다. 동적 계측 시스템은 교량 안전에 관련된 이상 변화를 효과적으로 감지하기 위하여 계측 정보를 신속 정확하게 수집, 처리하도록 구축되었다.

남해대교 장기 계측 시스템은 교량의 국부적인 상태 변화와 전체적인 거동 특성을 파악하기 위하여 정적 및 동적 계측 센서를 적절히 혼용하여 설치하였다.

계측 기기의 수량과 설치 위치의 선정은 교량의 구조적 특성, 안전 진단 결과, 계측 결과의 활용 목적, 평가 수법을 명확히 할 수 있도록 선정되었다.

5.1.3 계측 항목 및 센서 설치 위치

(1) 주탑 기초의 경사각 측정

주탑 기초의 경사각을 측정하여 하중의 변화 및 시간의 경과 등으로 인한 기초의 변형을 파악하여 주탑 기초의 안전성을 검토하며, 주로 기초의 세굴 등에 의한 움직임이나 지진 혹은 대형 선박의 충돌 등의 돌발적인 사태 전후 비교 등을 통하여 기초부 안전을 도모

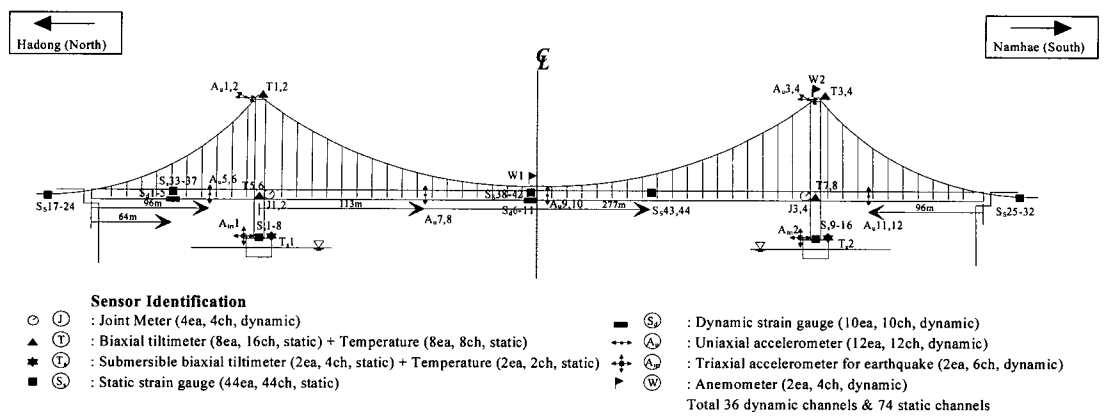


그림 4. 남해대교 장기 계측 시스템

한다

주탑 기초의 상단 중앙부에 기초당 1개소씩 총 2개의 이축 경사계(Biaxial Tiltmeter)를 설치하였다. 전기식 이축 경사계(Electrolytic Type Biaxial Tiltmeter(정밀도 0.1 μ radian))가 사용되었으며, 교량 기초부에 노출 설치되는 것을 감안하여 완전 방수 센서(Submersible Type)를 사용하였다.

(2) 주탑의 경사각 측정

주탑의 경사각을 2방향으로 측정하여 하중의 변화, 온도의 변화 및 시간의 경과 등으로 인한 주탑의 변형을 파악하여 주탑의 안전성을 검토한다.

주탑 기둥의 상, 하단에 총 8개의 이축경사계를 설치하였다. 상기한 주탑 기초부 계측과 동일한 전기식 이축경사계(정밀도 0.1 μ radian)를 사용하였다.

(3) 주탑 하단부와 주케이블 앵커부 및 주형 내부의 정적 변형률 측정

주탑의 휨 변형으로 인하여 발생하는 주탑 하단부 강재의 변형률을 측정하고 주탑 하단부 강재의 응력 상태를 계산하여 부재의 단면력을 파악한다. 강재의 초기 응력을 알면 강재의 전체적인 응력 상태를 파악할 수 있으므로 주탑의 안전 유무를 직접적으로 알 수 있으며, 초기 응력을 알지 못하는 경우에도 정확한 단면력 파악은 어려우나, 응력의 변화를 계속 주시함으로써 주탑의 안전성을 검토할 수 있다.

주형 내부의 대표적인 단면의 응력 변화를 측정하여 교통 하중, 기타 하중에 의한 강재의 내구성 저하

등 교량의 안전을 검토하며, 동적 변형률계와 동일한 장소에 설치하여 정적 변형률계의 초기치 검증에도 활용한다. 또한 주케이블 앵커부의 Eyebar에 정적 변형률계를 설치하여 응력 변화를 통하여 주케이블의 장력 변화를 간접적으로 확인한다. 주탑 하부와 기초의 연결부 근처의 주탑 하부에 영구적인 정적 변형률계를 16개 설치하였으며, 케이블 앵커부에 총 16개의 정적 변형률계를 설치하였다.

주경간과 하동축 측경 간의 각각 중앙 단면 주형 내부에 개소당 5개씩 총 10개의 변형률계를 설치하였다. 안전 진단 결과 주형 내부에 균열이 발생된 주경간 내부(교량 시점부터 277 m 지점)에서 발생한 균열에 인접한 2개소에 정적 변형률계를 설치하였다. 정적 변형률을 측정하기 위하여 강재 표면 부착형 변형률계가 사용된다. 강재 표면 부착형 변형률계는 진동현식(vibrating wire type) 센서를 사용하였다.

(4) 주형 및 주탑의 가속도 측정

교량에 작용하는 차량 하중, 풍 하중 및 지진 하중에 대한 교량의 동적 거동을 측정하여 교량의 동적 특성을 파악하고, 정기적으로 동적 계측에 대한 해석을 수행하여 동적 특성의 변화를 비교함으로써 교량의 전반적인 내구성을 진단한다.

주탑의 상부 및 주형 내부에 가속도계를 매설, 상시계측하고, 이상 진동 발생시 트리거링 시스템(triggering system)에 의하여 교량의 일정한 크기 이상의 가속도 응답을 자동 저장하여 교량의 동적 특성 변화를 기록하며, 교량에 예기치 않았던 큰 진동이

발생하였을 경우 교량에 가해지는 차량 하중, 풍 하중 및 지진 하중의 크기를 파악한다.

각각의 주탑 상부에 1방향 가속도계를 직각으로 설치하여 교축과 교축 직각 방향의 진동 가속도를 측정한다.

구조 해석 결과에 의거하여 교량의 동적 특성 감시가 가장 유리하다고 판단된 위치(교량 시점부터 96 m, 113 m, 주경간 중앙, 종점부터 96 m 지점)의 주형 내부 좌우 측에 1개씩 총 8개의 1방향 진동 가속도계를 설치하여 교량 상하 방향의 진동 가속도를 측정한다. 구조물의 가속도를 측정하기 위하여 사용되는 가속도계(accelerometer)는 형식에 따라 Force Balance식, Piezo-electric식, 전기저항식, 진동현식으로 구분된다. 본 과업에는 약간 고가(高價)일지라도 저주파수 특성이 우수하며 장기적 구조물 계측, 특히 교량의 상시 진동 계측에 사례가 많은 Force Balance 형식 가속도계를 사용한다.

5.1.4 계측 결과

장기 계측의 주요 목적은 교량의 장기간 거동에 따른 내구성의 변화 추이를 살펴서 적절한 보수 보강 시점을 결정하고, 안전성에 이상이 있을 경우 이에 대한 대비를 함에 목적이 있다. 정적 계측 데이터는 장기간에 걸친 교량의 거동을 평가하기 위함이며, 동적 계측 데이터는 센서별로 임계값을 설정한 후 이들 임계치를 넘는 데이터가 들어온 경우 그 데이터를 저장함으로써 교량의 이상 유무 및 외부 하중에 대한 평가를 하는데 목적이 있다.

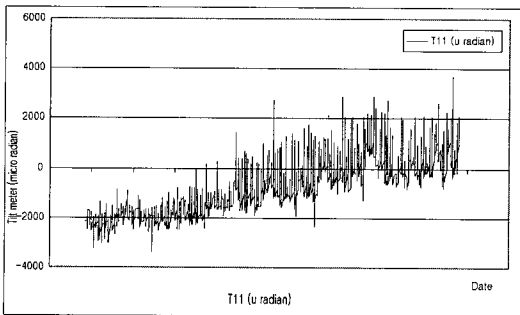


그림 5. 남해대교 주탑 기울기 장기 계측 (1999년 8월 ~ 2000년 2월)

〈그림 5〉는 남해대교의 장기 계측 결과로 주탑의 기울기를 경사계를 통하여 장기 계측한 결과이다. 하

루에 4시간 간격으로 6회 측정된 결과로서 계절별로 온도 변화에 따라 장기적인 거동이 변화하며, 일교차가 더 커짐에 따라 하루 변화량이 더 커지는 현상을 알 수 있다.

장기 계측 기간 중 남해대교에서 측정된 최대 가속도와 기준 설정을 위한 초기치 재하 실험시 50 km 재하 트럭 주행시 계측된 최대 가속도 값과 비교한 표가 아래에 제시되어 있다. 주형에서의 가속도는 최대 1.29배 이상 값을 나타내고, 주형에서는 최대 3배의 차이를 보이고 있다. 이것은 허용 하중을 초과하는 트럭이 지나가거나 혹은 허용 속도 이상으로 교량을 주행함으로써 발생된 것임을 쉽게 알 수 있다.

표 2. 최대 가속도의 재하 실험 결과와의 비교

계측 위치 (하동측)	최대 가속도 (g)		비율 (%)
	50km 차량 주행	최대 발생 event	
	97년 6월 20일	00년 10월 3일	
A ₀ 1	0.0560	0.0724	129
A ₀ 2	0.0280	0.0211	75
A ₀ 5	0.1120	0.3372	300
A ₀ 6	0.0962	0.2685	279
A ₀ 7	0.0512	0.0661	129
A ₀ 8	0.0489	0.0750	153

5.2 대구 지하철 현장의 계측 사례

당 현장의 이곡 정거장 굴착 발파와 5번 환기구로부터 굴진하는 터널 발파로 인해 인근에 위치하고 있는 평화타운 101동, 102동 구조물에 피해가 우려되어 대상 구조물 앞 지반에서 5-4막장과 5-2막장의 굴착 발파시의 진동과 이곡 정거장 굴착 발파시의 진동을 측정하였다.

당 현장의 5번 환기구를 중심으로 굴착되는 5-1, 5-2, 5-3, 5-4막장의 굴착 발파에 사용되는 화약은 Emulite 150(직경 25 mm)와 Finex I(직경 17 mm)이며, 사용 뇌관은 MS 전기 뇌관과 DS 전기 뇌관이다. 굴진장은 기본적으로 1.5 m를 원직으로 하고 있으나 초반 진입부에서는 0.75 m, 1.0 m로 굴진장을 줄여 굴착하고 있다. 발파에 의한 진동과 소음의 영향을 최소화하기 위해 다단 발파기를 이용하여 4분할 굴착을 사용하고 있다.

굴진장이 1.5m인 5-4막장의 최대 지발당 장약량은 450g이며, 굴진장이 0.75m인 5-2막장의 최대 지발당 장약량은 337.5g으로 설계되어 있다.

당 현장에서 연구소 장비로 시행된 지반 진동 측정 은 총 3회 실시되었다. 진동 센서의 설치 위치는 <그림 6>에 표시되어 있으며 측정된 진동치는 다음과 같다.

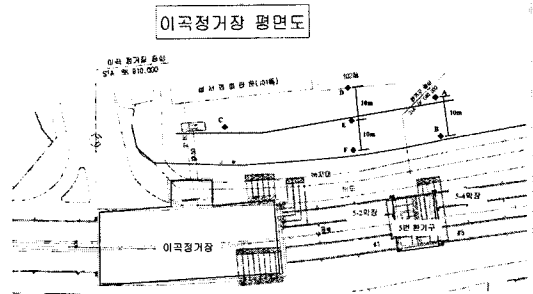


그림 6. 발파 진동 측정을 위한 센서 설치 위치

① 이국 정거장 발파

센서 설치 위치	진동 측정치(cm/sec)
C	0.1 이하

② 5-2막장 발파

센서 설치 위치	진동 측정치(cm/sec)
D	0.33
E	0.48
F	0.93

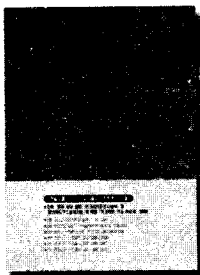
6. 결 론

이상에서 진동 계측 시스템에 대한 현장 계측과 장기 계측 시스템과 발파 진동에 대하여 살펴보고 적용 예를 나타냈다. 진동 계측의 유용성은 장기 계측에서 특히 주의 깊게 고려될 필요가 있는바, 센서의 설치 위치 계측 시스템 구성 등이 구조물에 대한 사전의 깊은 이해를 바탕으로 구성될 필요성이 있다. 또한 장기 계측 시스템의 구성시 계측 기기의 내구성에 대한 검토가 요구된다. 그리고 발파 지역 인근에 피해 우려가 있는 구조물이 있을 시에는 반드시 시험 발파를 통하여 발파 패턴을 하고 발파 작업 중에 지속적인 진동 계측을 통해 구조물에 피해가 가지 않도록 주의를 기울여야 할 것이다. □

● 시간안내 ●

콘크리트 건설 제요령

* 건설·토목 분야 통합 「콘크리트표준시방서」 및 「콘크리트구조설계기준」에 따른 「콘크리트 건설 제요령」 발행!



- 1부 : 고강도 콘크리트의 설계·시공 요령
- 2부 : 콘크리트 교량의 신축이음장치 설계 및 시공 요령
- 3부 : 비파괴 시험법에 의한 콘크리트 강도 평가 요령
- 4부 : 콘크리트 구조물의 진단 요령(건축물)
- 5부 : 콘크리트 구조물의 진단 요령(교량)
- 6부 : 콘크리트 구조물의 보수·보강 요령

- 가격 : 가격 : 회원 25,000원/비회원 28,000원(우편료 2,500원 별도)
 - 문의 및 주문 : (02) 568-5985~7