

SPSPSPSPS
SPSPSPSP
SPSPSPS
SPSPSP
SPSPS
SPSP
SPS

SPS-F KOCED 0001-7251

SPS

보 또는 거더 부재의 동특성평가를
위한 표준시험방법

SPS-F KOCED 0001-7251

(2021년 확인)

국토교통연구인프라운영원

2018년 3월 14일 제정

심 의 : 국토교통연구인프라운영원 단체표준심사위원회

	성 명	근 무 처	직 위
(위 원 장)	정 철 현	단국대학교	교 수
(위 원)	김 철 영	명지대학교	교 수
	곽 종 원	한국건설기술연구원	선임연구위원
	권 승 희	명지대학교	교 수
	김 지 상	서경대학교	교 수
	김 성 일	한국철도기술연구원	책임연구원
	김 대 영	대우건설	상 무
	김 진 국	(주) 포스코	전문연구원
	공 정 식	고려대학교	교 수
	정 대 성	국토교통연구인프라운영원	본 부 장
	정 성 옥	한국표준협회	수석연구원
	심 창 수	중앙대학교	교 수
	하 동 호	건국대학교	교 수
(간 사)	김 태 형	국토교통연구인프라운영원	책임연구원
	김 경 중	국토교통연구인프라운영원	선임연구원

원안작성협력 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터

	성 명	근 무 처	직 위
(연구참여자)	한 종 옥	명지대학교	연구교수
	박 민 석	명지대학교	연구원

표준열람 : e나라표준인증(<http://www.standard.go.kr>)

제정단체 : 국토교통연구인프라운영원 등 록 : 한국표준협회
 제 정 : 2018년 3월 14일
 심 의 : 국토교통연구인프라운영원 단체표준심사위원회
 원안작성협력 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터

이 표준에 대한 문의사항이 있을 시 e나라 표준인증 웹사이트에 등록된 표준담당자에게 연락 바랍니다.

이 표준은 산업표준화법 시행규칙 제19조 및 단체표준 지원 및 촉진운영 요령 제11조의 규정에 따라 매 3년마다 확인, 개정 또는 폐지됩니다.

목 차

1	적용범위	1
2	인용표준	1
3	용어와 정의	1
4	시험용 기구	2
	4.1 시험기기	2
	4.2 측정기기	2
5	동특성 평가 시험방법	3
	5.1 충격하중을 이용한 시험	3
	5.2 가진기를 이용한 시험	4
6	분석	5
	6.1 고유진동수	5
	6.2 감쇠비	5
	6.3 모드형상	7
7	보고서	8
	SPS- F KOCED 0001-7251 : 해설	9

머 리 말

이 표준은 국토교통연구인프라운영원에서 원안을 갖추고 산업표준화법 시행규칙 제19조 및 단체표준 지원 및 촉진 운영 요령에 따라 국토교통연구인프라운영원 단체표준심사위원회를 거쳐 제정된 단체 표준이다.

이 표준은 저작권법의 보호 대상이 되는 저작물이다.

이 표준의 일부가 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 저촉될 가능성이 있다는 것에 주의를 환기한다. 국토교통연구인프라운영원의 장과 단체표준 심사위원회는 이러한 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 관계되는 확인에 대하여 책임을 지지 않는다.

보 또는 거더 부재의 동특성평가를 위한 표준시험방법

Standard test method for dynamic characteristics evaluation of beam or girder element

1 적용범위

이 표준은 탄성거동을 하는 1본의 보 또는 거더 부재의 동특성평가를 위한 시험방법에 대해 규정한다. 또한, 다수의 보 또는 거더를 가지거나 기둥과 조합된 구조시스템이나 비탄성영역에 있는 부재의 동특성평가에도 이를 준용할 수 있다. 이 표준에서 명기되지 아니한 항목이라도 연구자 및 사용자는 신뢰할 수 있는 진보된 시험방법이 있다면 이를 적용할 수 있으며, 이 경우 관련 내용과 근거를 보고에 기재하여야 한다.

2 인용표준

다음의 인용표준은 전체 또는 부분적으로 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

KS B ISO 14963, 기계진동 및 충격 — 교량 및 고가교의 동적 시험 및 조사에 대한 지침

KS B ISO 18431, 기계적 진동 및 충격 — 신호처리

KS B ISO 18649, 기계적 진동 — 교량에 대한 동적시험과 조사의 측정결과 평가

KS B ISO 2041, 기계적 진동, 충격 및 상태 감시 — 용어

KS B ISO 5348, 기계적 진동 및 충격 — 가속도계의 기계적인 설치

3 용어와 정의

이 표준의 목적을 위하여 KS B ISO 2041의 용어와 정의 및 다음을 적용한다.

3.1

자유진동시험(free vibration test)

가진력을 일시에 제거하거나, 충격력에 의한 구조물의 자유진동을 유도하여 구조물의 응답을 측정하는 방법

3.2

변동 정현파 진동시험(sine sweep test)

예상 고유진동수를 포함하는 일정 구간의 진동수 영역에 대해서 가진 진동수를 증가시켜가며 가진하는 시험

3.3

공진시험(resonance test)

가진기를 이용한 변동 정현파 가진을 통해 근사적인 공진 진동수를 예측 한 후, 해당 공진 진동수에서 정상상태의 응답진폭을 얻도록 일정시간 가진을 지속하는 시험

3.4

분해능(resolution)

아날로그 응답신호를 디지털 신호로 변환함에 있어 그 신호의 크기를 촘촘하게 측정할 수 있는지를 나타내는 것으로서 분해능이 높을수록 정밀한 측정이 가능

4 시험용 기구

시험에 사용되는 시험기기 및 측정기기는 시험체에 필요한 가진량과 정확도에 따라 결정되며, 측정 센서는 다음과 같은 변위계, 가속도계 또는 동등 이상의 성능을 가져야 한다.

4.1 시험기기

시험방법에 따라 시험기기의 종류를 결정하며, 충격 및 가진량에 따라 시험기기의 사양을 결정한다.

4.1.1 충격 가진장치

충격을 통해서 시험체에 가진을 하는 장치로 낙하식 충격 가진기(exciter), 임팩트 해머, 기계적 충격 가진기, 인력가진 등이 있으며 가진 형태와 크기 선택을 위해 예측되는 진동수 범위를 평가하여 선택한다.

4.1.2 가진기

진동을 주는 가력방법에 따라 편심질량의 회전을 이용한 회전관성력 가진기와 수직 또는 수평방향으로 움직이는 관성력을 적용한 관성력 가진기로 구분될 수 있으며, 가진력의 발생기구에 따라 기계식, 전기식, 유압식 가진기가 있다.

원심력을 이용한 정현파 가진이 가능하고 수평 또는 수직방향으로 가진력을 선택적으로 발생시킬 수 있으며, 이때 선택한 방향 이외의 다른 방향의 힘은 작용하지 않는 것으로 사용한다.

4.2 측정기기

계측 범위와 측정하고자 하는 물리적 응답신호에 따라 적정 계측기기 및 센서를 선택하여야 한다.

4.2.1 계측기기

계측기기는 동특성평가지 필요한 계측 센서들(가속도, 변위 등)의 신호를 모두 동시에 측정할 수 있어야 하며, A/D변환기(Analog to Digital converter)는 원하는 진동수의 샘플링이 가능하고 응답신호의 분해능이 높은 것을 사용한다.

4.2.2 측정센서

a) 일반적으로 구조물의 동특성(고유진동수, 감쇠비, 모드형상)을 측정하기 위해 가속도계를 사용하며, 충분한 가진력(가진기를 이용한 감쇠비 측정)이 확보되어 변위계로도 응답측정이 가능한 경우에는 변위계를 사용하여 측정할 수 있다.

센서는 진동수 응답, 측정범위, 정확도, 선형성, 감도, 공급전압 및 온도의존성 등을 포함한 정보

가 제공되어야 한다.

- b) 시험체의 응답을 측정하기 위한 것으로 시험성적서, 측정 및 데이터 수집 빈도와 진동수 범위가 제시된 고정된 센서를 사용한다. 잡음(noise)과 응답신호가 충분히 구분되어 응답신호 분석이 가능한 민감도(sensitivity)를 가지는 센서를 사용하여야 한다. 대부분의 경우 신호 대 잡음 비율(S/N비)이 20 이상인 것이 분석의 정밀도를 높일 수 있으며, 부득이한 경우라도 10보다 낮지 않는 것이 바람직하다.
- c) 가속도계는 대상 시험체의 관심 최저진동수보다 낮은 진동수 대역을 포함할 수 있는 가속도계를 선택하여야 한다.
- d) 변위계는 시험체의 진동수 범위를 충분히 측정할 수 있는 변위계를 사용해야 한다.

5 동특성평가 시험방법

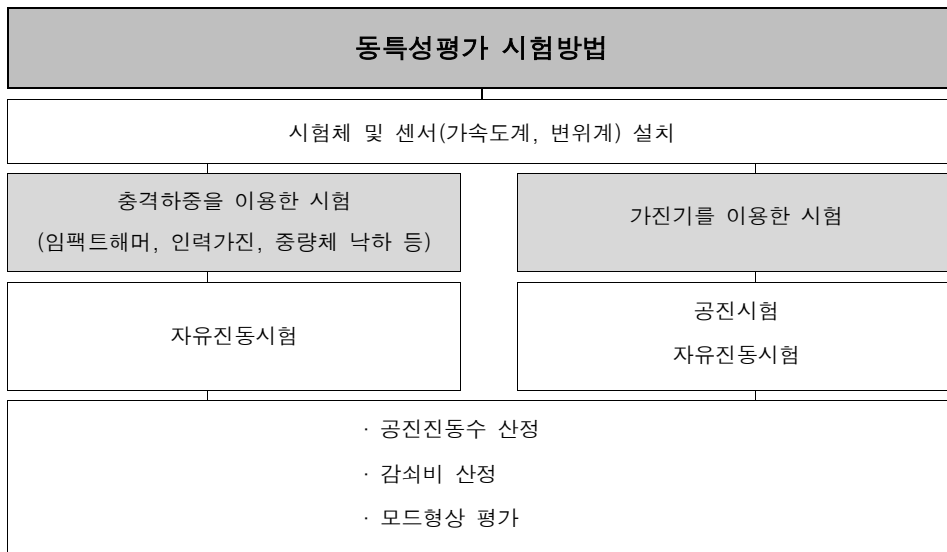


그림 1 - 동특성 평가 시험 방법 흐름도

5.1 충격하중을 이용한 시험

구조물에 일시적인 충격력을 발생시켜 넓은 진동수 영역을 가진하는 시험법으로 고유진동수, 감쇠비 산정 및 모드형상 분석에 활용할 수 있다.

5.1.1 시험 방법

충격하중을 이용한 시험방법은 아래와 같으며 최소 3회 이상 실시한다.

5.1.1.1 시험체 설치

시험체는 실제 부재 설치조건을 모사하여 경계조건을 구현하도록 설치한다. 구조물의 동특성은 경계조건에 매우 민감하기 때문에 대상 시험체에 대한 경계조건을 정확히 구현하여야 한다.

5.1.1.2 센서 설치

- a) 측정센서의 기본적인 설치는 KS B ISO 5348에 따른다.
- b) 센서는 보 및 거더의 고유진동수, 감쇠비 및 모드형상 평가에 따라 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있을 정도의 충분한 센서를 설치해야 한다. 고유진동수 및 감쇠비 측정을 위해서는 최소 2개 이상의 센서를 사용하되 모드형상을 구하기 위해서는 구하고자 하는 모드 차수의 형상을 시각화할 수 있을 정도의 충분한 가속도계를 사용하여야 한다.
- c) 보 및 거더의 연직방향에 대한 센서의 설치 위치와 개수는 측정하고자 하는 모드의 차수와 모드형상을 사전에 예측(구조해석을 통한 분석 등)하여 결정한다. 대부분의 보 및 거더의 경우 저차 모드에서 휨과 비틀림 모드가 교차하여 발생하기 때문에 적은 수의 센서를 설치할 경우에는 사전 검토가 꼭 필요하다.

5.1.1.3 계측기 설치 및 측정

- a) 진동수분석 방법은 실제 측정진동수 범위의 1/2까지만 대칭적으로 분석되기 때문에 계측시에는 목표하는 진동수 범위의 최소 2배 이상의 샘플링으로 측정한다(특별히 목표하지 않는 경우에는 100 Hz 로 측정한다.).
- b) 계측시에는 시험일지를 비치하여 센서 설치 위치도, 측정 채널 설정, 측정신호의 모니터링 상태 등을 파악하여 측정 시 오류 상태 등을 기술한다.
- c) 계측기기는 신호대 잡음 비율을 줄이기 위해서 접지를 하여야 한다.

5.2 가진기를 이용한 시험

입력진동수 조절이 가능한 가진기를 이용하여 구조물의 공진진동수를 직접적으로 찾는 시험방법으로 고유진동수 및 감쇠비 산정을 위해 활용할 수 있다.

5.2.1 시험 방법

가진기를 이용한 시험방법은 아래와 같으며 최소 3회 이상 실시한다.

5.2.1.1 시험체 설치

5.1.1.1 과 동일한 방법으로 한다.

5.2.1.2 가진기 설치

- a) 가진기는 보 및 거더의 상부 평면에 견고하게 설치하되 보 및 거더의 국부적인 가진 보다는 가진력을 전체구조물에 충분히 전달할 수 있도록 설치한다.
- b) 측정하고자 하는 범위의 모드 차수를 고려하여 각각의 모드 차수에 대해 충분한 가진이 가능한 위치에 설치하되 모달(modal) 변위가 0인 모드 절점을 피하여 설치한다.
- c) 횡단면 내에서는 편심 가진이 발생하지 않도록 중앙에 설치한다.

5.2.1.3 센서 설치

5.1.1.2 와 동일한 방법으로 한다.

5.2.1.4 계측기 설치 및 측정

5.1.1.3 과 동일한 방법으로 한다.

6 분석

보 및 거더에 대한 동적시험은 주로 동특성(고유진동수, 모드형상 및 감쇠)을 구하기 위해 수행한다. 동적데이터에 대한 시간 및 진동수 영역에서의 데이터 분석에 대한 자세한 절차 및 방법은 KS B ISO 18649를 참조한다.

6.1 고유진동수

고유진동수는 진동수응답함수 및 공진곡선을 이용하여 평가한다.

6.1.1 진동수응답함수(FRF)에 의한 방법

가속도응답 시간이력에 대한 진동수분석(FFT: fast fourier transform)을 통해 진동수응답함수(FRF: frequency response function)을 구하고, FRF의 첨두점(peak)에 해당하는 진동수로부터 고유진동수를 산정한다.

6.1.2 공진곡선을 이용한 방법

변동 정현파 진동시험으로 공진진동수를 근사적으로 평가한 후, 공진진동수 부근에서 가진진동수를 구간별 등간격으로 변화시켜가면서 변위진폭(또는 응답가속도)을 측정하되 일정시간동안 정상상태를 유지한 상태에서 측정해야 한다. 변위진폭의 최대값을 정확히 평가하기 위해서는 공진진동수 인근 구간은 가진진동수 간격을 보다 촘촘히 하여야 한다. 가진진동수와 그에 따른 정상상태 진폭의 크기를 도식화하여 공진곡선(resonance curve)을 작성한다. 이 때, 각 가진진동수 사이의 값은 커브 피팅을 통해 구한다.

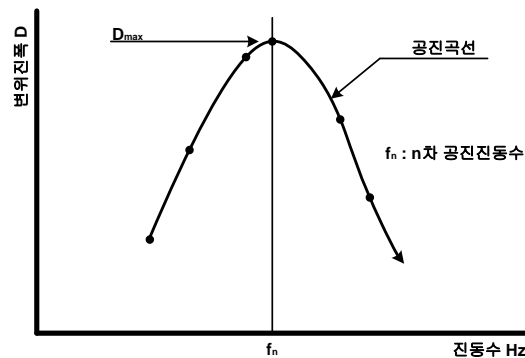


그림 2 - 공진곡선을 이용한 고유진동수

6.2 감쇠비

감쇠비는 ①대수감소법(Logarithmic decrement method)과 ②반력법(Half-power bandwidth method) 및 ③공진곡선을 이용하여 평가한다.

6.2.1 대수감소법

변위 또는 가속도응답 시간이력의 감쇠자유진동신호는 대수감소함수 $f(t)$ 와 주기함수의 곱으로

표현할 수 있다.

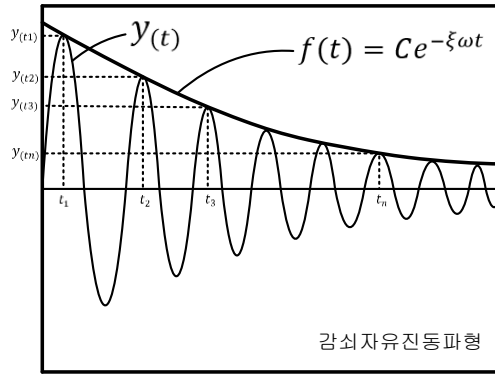


그림 3 - 감쇠자유진동신호

대수감쇠율 $\delta = \ln(y(t_1)/y(t_2)) \approx 2\pi\xi$ 로부터 구조물의 감쇠비(ξ)를 구한다.

$$\therefore \xi = \frac{\delta}{2\pi}$$

감쇠비 산정은 최소 5개 이상의 첨두점 데이터를 고려하여 감쇠비를 계산하고, 평균 감쇠비는 각각의 감쇠비의 평균값으로 산정한다.

6.2.2 반력법

변위 또는 가속도응답의 진동수영역에서의 에너지밀도함수(power spectral density function)로부터 고유진동수에 해당하는 첨두점 값의 $1/\sqrt{2}$ 에 해당하는 두 개의 진동수를 이용해서 감쇠비를 산정한다.

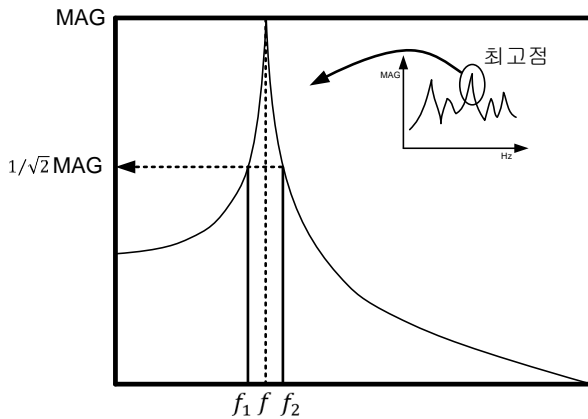


그림 4 - 고유진동수 및 첨두점 값

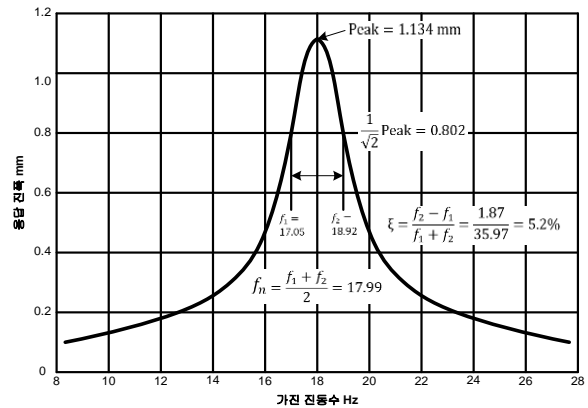


그림 5 - 반력법에 의한 감쇠비계산

6.2.3 공진곡선을 이용한 방법

조화가진하중($F_0 \sin(\omega t)$)의 가진 진동수 ω 를 미세하게 조정하여 진동수비 $r(= \bar{\omega}/\omega)$ 에 따른 동적증폭계수 즉, 공진곡선을 구한다.

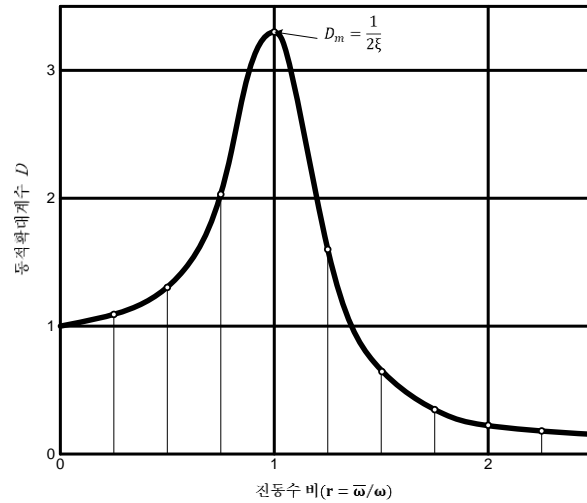


그림 6 – 공진곡선과 감쇠율

동적증폭계수(D)로부터, 만약 $r = 1$ 인 공진상태에서 감쇠비(ξ)를 구한다.

$$D = \frac{Y}{y_{st}} = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\xi)^2}}$$

$$\therefore \xi = \frac{1}{2D_{(r=1)}} \approx \frac{1}{2D_m}$$

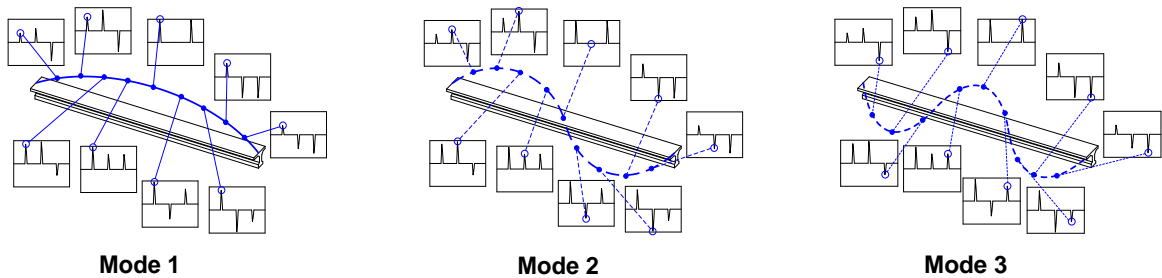
여기서,

$D_m = Y_m/y_{st}$: 공진상태의 동적증폭계수

Y_m : 최대진폭

6.3 모드형상

모드형상의 평가는 각각의 가속도계 응답신호의 고유진동수에서의 FRF의 첨두점의 값을 연결하여 형상화한다.



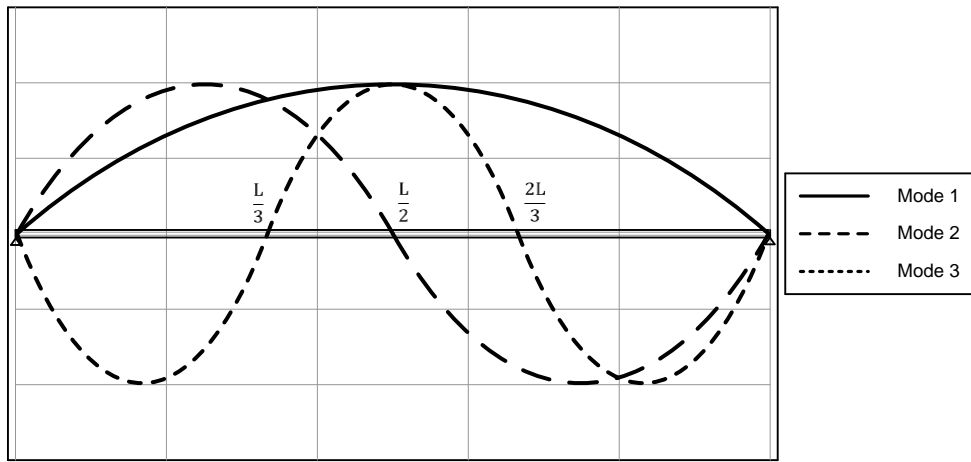


그림 7 - 모드형상

7 보고서

보고서에는 다음 사항을 포함하여야 한다.

- a) 시험일자, 온도 및 습도
- b) 시험체의 형식, 크기 및 재원
- c) 지점의 경계조건
- d) 동특성평가 시험방법(충격하중을 이용한 시험, 가진기를 이용한 시험)
- e) 시험기기 및 계측기기 제원
- f) 센서 설치도
- g) 데이터 수집 조건 및 처리(커브 피팅, 필터링 등) 방법
- h) 분석 고유진동수, 감쇠비, 모드형상

SPS-F KOCED 0001-7251

해 설

이 해설은 이 표준과 관련된 사항을 설명하는 것으로 표준의 일부는 아니다.

1 제정의 취지

최근 장경간 교량 및 초고층 건축물이 증가하고 있어 진동에 대한 구조물의 안정성 평가가 매우 중요하게 인식되고 있다. 특히, 교량의 경우 안전진단 시 동특성평가를 필수적으로 수행하여야 하나 동특성평가를 위한 시험방법과 그 절차가 표준화되어 있지 못한 실정이다. 이로 인해 시험기관별로 다른 방법을 적용함으로써 시험 품질의 균질성과 신뢰성이 저해될 수 있다.

이에 본 단체표준을 제정함으로써 시험수요가 많은 교량의 주요부재인 거더와 건축물의 주요부재인 보 부재를 대상으로 표준화된 동특성평가시험을 유도하여 구조물의 동특성평가에 대한 신뢰성을 향상시키고자 하였다.

1.1 항목의 적용 근거

KS B ISO 14963은 실제 공용중인 교량의 동특성평가를 위한 현장시험에 대한 표준으로 8.3.2.2 (강제적인 인공 가진)에 대한 내용을 인용(본 단체표준 5. 동특성평가 시험방법 충격하중을 이용한 시험) 하였으며 보 또는 거더 부재의 실내시험 및 계측방법 등으로 수정 적용하였다. 이는 인용표준에서 시험항목과 이에 대한 간략한 방법을 제시하고 있기 때문에 시험방법(시험체 설치, 센서 및 계측기 설치)과 계측방법을 상세하게 제시하였다.

KS B ISO 18649는 KS B ISO 14963의 측정결과 평가에 대한 표준으로 5장 (데이터 분석과 구조물의 규명방법)에 대한 내용을 인용(본 단체표준 6. 분석)하였으며 이에 대한 내용을 상세하게 추가 제시하여 수정 적용하였다.

1.2 국내 표준과의 차이점

KS B ISO 14963은 실제 공용중인 교량의 현장시험 방법과 측정결과 평가에 대한 표준으로 보 또는 거더 부재의 실내시험과 관련 항목은 제시되어 있지 않다. 또한, KS B ISO 18649는 KS B ISO 14963의 측정결과를 평가하는 방법의 분류만 제시하고 있어 시험기관에서 바로 시험과 평가에 적용하는데 한계점이 있다고 판단되어, 본 단체표준에서는 시험 및 평가방법을 보다 상세하게 제시하였다.

국내표준 KS B ISO 14963과 KS B ISO 18649는 각각 ISO 14963, Mechanical vibration and shock—Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts과 ISO 18649, Mechanical vibration — Evaluation of measurement results from dynamic tests and investigations on bridges를 기초로 기술적 내용을 동일하게 작성한 한국산업표준이다.

2 제정 경위

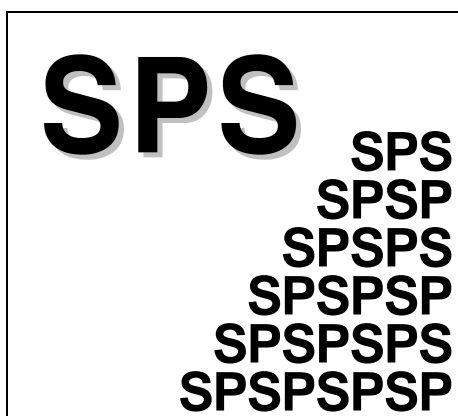
단체표준 개발을 위한 본 국토교통연구인프라운영원 시험기관협의체를 구성하고, 이해관계인들의 의견을 반영한 보 또는 거더 부재의 동특성평가를 위한 표준시험방법(안)을 2017년 11월 3일 작성하였으며, 이후 여러 차례에 걸쳐 이해관계자들의 의견을 수렴하였고, 2017년 11월 6일부터 2017년 11월 24일까지 운영원 홈페이지에 제정 예고 및 안내를 거쳐 단체표준(안)에 대한 합의를 도출하였다. 그 결과, 2017년 11월 28일 단체표준심사위원회에서 심의하여 최종안을 의결하였고, 이를 표준으로 제정하였다.

3 제정 요점

3.1 적용범위

현재 국내외적으로 보 및 거더 부재의 동특성을 평가하는 방법 중 가장 많이 사용되고 있는 평가방법은 충격하중을 이용한 시험, 가진기를 이용한 시험으로 탄성거동을 하는 1본의 보 또는 거더 부재에 대하여 시험방법을 준용할 수 있다. 또한, 다수의 보 또는 거더를 가지거나 기둥과 조합된 구조시스템이나 비탄성역역에 있는 부재의 동특성평가에도 이를 준용할 수 있다.

SPS-F KOCED 0001-7251



**Standard test method for dynamic characteristics evaluation
of beam or girder element**

ICS 91.100.30