

시설물별 지진응답계측기 설치 운영에 관한 기준 및 지침

Standard and Guideline for Installation and Management of Earthquake Instruments for Each Facilities

김재관* 권기준** 조양희*** 이한선**** 박연수*****

ABSTRACT

The standard of performance-based seismic design accepted by Ministry of Construction and Transport requires to install and manage earthquake instruments for the facilities of seismic category I, and to acquire earthquake response data of these facilities at earthquake events. So, detailed standard and guideline for installation and management of earthquake instruments for each facilities according to the seismic design standard are getting ready. This paper presents the part of installation locations of sensors in that detailed standard and guideline.

Keywords: standard, guideline, earthquake instrument

1. 서론

건설교통부에서 채택한 내진설계성능기준에서는 내진특등급시설에 대하여 지진응답계측기를 설치하고 운영하여 지진시 시설물의 지진응답 데이터를 획득하도록 요구하고 있다. 구조물과 시설물의 지진응답계측의 목적은 다음 3가지로 요약될 수 있다: (1) 지진시 또는 지진 경과후 구조물과 시설물의 안전성을 지진기록으로부터 확인한다; (2) 구조물과 시설물의 지진응답특성을 규명하여 내진설계의 타당성을 검증하고 설계이론을 개선한다; (3) 구조물의 지진응답에 관한 Database를 구축하여 내진설계의 기본인 지진하중의 크기와 특성 결정에 활용한다; (4) 이에 추가하여 만약 다른 지진계 Network와 연결된다면 지진후 신속한 피해평가 및 대응에 활용될 수 있다.

내진성능기준에서는 설치와 운영에 관한 일반적인 요구사항만을 기술하였고 구체적인 사항에 대해서는 내진설계기술기준에서 규정하도록 위임하였으며, 각 시설물 별로 내진설계기준에서 지진응답계측기의 설치 및 운영에 관한 상세 기준과 지침이 마련중에 있다. 이 기준과 지침에서는 지진응답계측에 관한 국내의 최신기술현황을 조사하여 우리나라에 적합한 지진응답계측에 관한 사항으로서, 계측시스템의 구성, 계측기의 기본성능, 데이터 전달 및 배포에 관한 표준안을 담고 있어서 국가적으로 Database 구축이 효율적이면서도 경제적으로 달성될 수 있도록 하고 있다.

* 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수

** 한경대학교 안전공학과 조교수

*** 인천대학교 토목공학과 부교수

**** 고려대학교 토목공학과 부교수

***** 전남대학교 토목공학과 조교수

본 논문에서는 지진응답계측에 관한 기준 및 지침에서 계측기표준규격에 대한 사항을 제외한 계측기 센서의 설치방법과 계측기의 유지 운영에 대해서 논의하고, 각 시설물별로 중요한 설치위치 및 센서의 소요수량에 대해서 설명한다.

2. 계측기 설치방법 및 운영

2.1 지진응답계측 대상 시설의 선정

대상시설의 선정에 관한 기본방침은 다음과 같다;

- (1) 지진응답계측은 강제적이 아니라 자발적으로 실행될 수 있도록 한다.
- (2) 국가 전체적인 관점에서 지진응답에 관한 Database를 구축할 수 있도록 지진응답계측을 계획하고 실행한다.
- (3) 따라서 다양한 종류의 구조물과 시설물의 지진응답기록이 획득될 수 있도록 지진응답계측을 계획하고 실시한다.
- (4) 국가 전체적인 관점에서 지진응답계측에 관한 계획 및 조정업무를 “국가지진응답계측 조정위원회(가칭)”에 위임한다.

대상시설의 선정기준은 다음과 같다;

- (1) 지진응답계측은 지진 1 구역에 있는 특등급과 1등급 시설을 대상으로 한다. 단, 지진 1 구역과 2 구역 걸쳐있는 시설의 경우에는 지진 1구역에 속하는 것으로 간주한다.
- (2) 내진특등급의 시설은 의무적으로 설치하고 내진 1등급의 시설과 구조물은 권장사항으로 규정한다. 단, 발주자나 “국가지진응답계측조정위원회(가칭)”에서 필요하다고 건의하는 경우에는 특별한 사유가 없는 경우에는 이를 수용하여 지진응답계측기를 설치한다.
- (3) 동일 지역내에 유사한 형태의 구조물이나 시설물이 다수 존재할 경우에는 해당 구조물이나 시설물의 지진응답에 관한 중요한 Data를 획득하는데 충분하다고 판단되는 최소 개수의 계측기만 설치한다.
- (4) 이미 설계가 완료되었거나 건설 도중에 있거나 또는 건설이 완료된 구조물이나 시설물의 경우에도 관할기관이나 “국가지진응답계측조정위원회(가칭)”가 건의하면 이를 적극 수용한다.
- (5) 지진응답계측을 계획할 때는 지진공학자의 자문을 받는 것을 원칙으로 한다.

2.2 시스템 구성

(1) 설치방법

지진응답계측기는 접근이 용이하여 기록의 회수, 점검 및 교체가 가능한 장소에 지진응답을 충분히 반영될 수 있도록 견고하게 고정하여 설치한다. 지진계측기의 설치형태는 ①전용옥내거치형, ②계측기 단독 설치형, ③맨홀형, ④지중매설형, ⑤구조물부착형으로 5가지 형태로 분류된다. 계측기를 설치하는 위치와 계측기의 목적 및 종류에 따라서 위에 열거된 방법 중에서 적당한 방법을 택한다.

설치 범위에 따른 가속도 성분, 배선 및 낙뢰 보호 장치 설치는 다음의 기본적인 조건을 만족하여야 한다.

(2) 지진응답계측기 센서 성분

설치된 가속도센서 중 최소 1개는 3성분 (수직 및 두 개의 수평성분)을 가지고 있어야 하며, 그 외의 가속도센서는 두 개의 수평성분만을 가질 수 있다.

(3) 지진응답계측기 센서 방향

자유장에 설치된 가속도센서를 포함하여 구조물/기기에 설치되는 가속도센서의 한 개의 수평축은 내진설계 시의 지진해석 축과 평행한 방향이어야 하며, 동일 구조물 또는 시설 내에서는 모든 가속도센서가 동일한 좌표축을 유지하여야 한다.

(4) 지진응답계측기 센서와 기록계 연결방법

지진응답계측센서와 기록계간의 신호케이블 길이가 50m 이상일 경우 differential 출력 방식의 가속도센서 및 기록계를 사용하여야 하며, 이 때 동상제거비(common mode rejection ratio)가 90dB 이상이어야 한다.

설치 반경이 2km 이내 일 경우 한 개의 기록계에 여러 개의 가속도센서를 연결하여 사용할 수 있다. 이때 전송도중 센서의 출력전압 강하가 2% 이내가 될 수 있는 신호케이블을 사용하여야 한다. 설치 반경이 2km 이상일 경우 지역을 분할하여 센서와 기록계간의 거리가 2km를 초과하지 않도록 기록계를 설치하여야 한다. 이때는 중앙통제실을 설치하고 repeater, 단거리 모뎀이나 이와 동일한 기능의 통신장비를 이용하여 통제실에서 기록계들로부터 자료를 실시간으로 획득하도록 한다.

(5) 접지

낙뢰 등에 대한 장비 보호, 아나로그 필터의 효율성 향상 등을 위하여 반드시 접지 공사를 하여 지진응답계측기, 전원공급장치 및 통신장비를 접지시켜야 한다. 이때 접지 루프가 형성되지 않도록 각별히 유의하여야 한다. 또한 외부에서 입력되는 전기 및 전화선에 서지보호장치 (surge protector)를 하여 서지충격을 방지하여야 한다. 접지 저항은 100 ohm 이하 (3종 접지)로 유지하여야 한다. 실드케이블 (shield cable)을 신호케이블로 사용하여야 하며, 실드선은 기록계측에서 접지 한다. 낙뢰 등의 외부적 전기 충격이 많은 곳에서는 신호케이블과 기록계 사이에 signal arrestor와 같은 보호장치를 부착할 수 있다.

(6) 전원공급

장치지반응답 계측기는 외부 전원 차단 시에도 1일 이상 정상가동이 가능하도록 별도의 전원공급장치를 갖추고 있어야 한다

2.3 유지관리

유지관리의 목적은 지진응답계측기가 정상적인 작동을 수행하도록 보증하는 것으로 이에 대한 기술적인 과정, 행정절차 그리고 시험절차는 계측기의 선정 및 설치 전에 규정하여 문서화되어야 한다. 유지관리 일정 및 내용은 다음과 같다.

(1) 유지관리 일정

유지관리 일정에는 초기점검, 정기점검 및 교체점검이 있다. 초기 점검에서 만족할 만한 결과 나오면 정기 점검을 실시한다. 제작회사가 수명연한을 제시한 경우 연속적인 지진계측을 위하여 수명 연한 1년 전부터 교체의 필요성에 대한 교체점검을 실시하여야 한다.

(2) 점검 사항

점검사항은 채널점검, 현장점검으로 나눌수 있다.

채널점검에는 틸트 시험 (tilt test) 등을 통한 센서의 작동상태, 광대역 속도센서와 상대적 비교 측정 등을 통한 출력신호의 진폭 및 주파수 특성 분석, 주변의 인위적 잡음 및 내부의 전기적 잡음 변화등이 대상이다.

현장점검에는 센서 및 기록계 보정, 센서 및 기록계 설치 장소 이상 유무, 전원장치, 통신선, 통제실 운영 상태, 지진기록 관리 상태등이 대상이다.

(3) 유지관리 요원

지진응답 계측기의 유지관리는 지진공학회에서 인정한 소정의 교육을 이수한 요원을 배치하여 지진계측시스템을 관리·운영하도록 한다.

2.3 계측자료의 회수 및 배포

(1) 자료의 파악

완전한 기록 획득일지는 관측소 내에 보관되어야 한다. 모든 계측자료에는 획득 일자와 시간/기록이 획득된 지진응답계측기의 제조회사, 일련번호 그리고 위치/자료 획득 시의 특이 사항과 같은 내용이 기재되어 있어야한다.

(2) 계측 기록 회수

지진응답계측기의 유지관리 및 운영에 필요한 소정의 교육을 이수한 요원만이 계측기로부터 기록된 자료를 회수할 수 있다. 지진기록을 제거하고 저장하는 절차는 기록을 가지고 있는 계측기에 적합한 지시사항에 따라 적절히 계획되고 수행되어야 한다. 원격전송 방식을 채택하지 않은 경우 지진 기록의 회수는 주기적으로 이루어져야 한다.

(3) 기록 보관 및 공개

모든 원래 기록과 파생된 원본은 시간에 따라 기록매체의 변형을 최소화할 수 있는 조건하에 보존되어야 한다. 지진계측기에 의해 생성된 모든 기록은 향후의 조회용으로 보관되어야 한다. 원본은 처음 복사본을 만드는 경우나 기존의 복사본을 사용할 수 없는 경우를 제외하고는 직접적인 열람이나 데이터처리에 사용되어서는 않된다. 지진응답계측기로부터 획득된 모든 자료는 국가가 지정하는 기관에 의무적으로 제공하여야 한다. 단 국가의 중요한 보안에 관련된 기록은 자료의 제공을 유보할 수 있다. 이때 제공되는 자료에는 지진기록 시간, 위치, 방식 등이 함께 기술되어 있어야 한다. 수집된 지진계측 자료를 표준양식에 따른 자료로 변환하고 데이터베이스화 하여 관련 연구자가 필요시 언제라도 접근 가능하도록 하여야 하고 다른 국가기관과 관련 연구기관의 요구 시 자료 제공에 성실히 응하여야 한다.

2.4 관측항목 및 센서 설치위치

(1) 관측항목

대상시설물 및 주변의 주요 장소에 계측기를 설치하여 시설물의 동적 거동특성 및 자유장 지반 운동을 계측한다. 설치하는 계측기는 가속도계를 기본으로 하고 시설물의 진동주기 특성상 속도계 또는 변위계가 보다 유효하다고 판단되는 경우에는 이를 대치하도록 한다. 일반적으로 계측하고자 하는 항목은 다음과 같다; ①자유장 운동(free-field motion) ②기초위치에서의 운동 ③시설물의

동적 응답과 특성

(2) 계측기 설치 위치

설계입력운동 및 시설물의 전체적 거동을 대표할 수 있는 위치에서의 응답운동을 계측할 수 있는 곳에 계측기를 설치한다. 그러므로 자유장/ 기초위치/ 시설물에 한 개소이상의 위치에 가속도계를 설치 운영하여야 한다.

(3) 설치위치별 계측기의 응답범위 조정

계측기의 설치위치에 따라 계측되는 응답의 크기가 다르므로, 계측기의 가동조건과 최대응답계측범위를 예상되는 응답범위와 증폭율을 고려하여 설정하여야 한다.

3. 시설물별 계측시 센서 설치위치

3.1 도로교

(1) 현수교

계측기센서를 설치하는 위치는 주탑, 상판, 앵커블럭 및 케이블이다. 현수교의 지진시의 거동은 교축방향, 교축직각방향 그리고 연직방향의 변위성분 뿐만 아니라 주탑과 상판의 비틀림성분이 있다. 주탑에서는 연직방향축에 대한 비틀림을 계측하기 위해서 교축방향의 두 성분을 계측할 필요가 있으며, 상판에서는 교축방향축의 비틀림을 계측하기 위해서 상판부에 주요 위치별로 연직방향 성분을 가지는 2개의 센서를 설치할 필요가 있다.

①주탑 : 기본적으로 기초 상단면, 상판위치, 상단부에 설치하고 여유가 있는 경우에는 중간부분에 추가적으로 설치한다. 이 때 기초상단면에서는 1개소에 3성분을 계측할 수 있도록 설치하여 3축방향의 입력지진을 계측한다. 그 밖의 위치에서는 2개소를 설치하여 1개소에는 교축방향 및 교축 직각방향의 2수평성분을 계측하고 다른 1개소에서는 교축방향의 1수평성분을 계측하여 주탑의 연직축 회전을 계측할 수 있도록 한다.

②상판 : 상판의 계측기는 주경간의 중앙과 주경간의 1/3지점(또는 1/4지점)에 기본적으로 설치한다. 여유가 있는 경우에는 측경간의 중앙에 추가로 설치한다. 설치위치는 상판의 양측면 2개소로 한다. 1개소에서는 교축 직각방향의 수평성분과 연직방향의 운동을 계측하고 다른 1개소에서는 연직방향의 운동을 계측한다. 따라서, 두 연직방향의 응답계측으로 교축을 주축으로 하는 교량상판의 회전운동량을 계측할 수 있다.

③앵커블럭 : 앵커블럭 상단에 설치한다. 3성분을 동시에 계측할 수 있도록하여 입력지진을 계측한다.

④케이블 : 중간경간 케이블의 중앙에 기본적으로 설치하도록 한다. 여유가 있는 경우에는 측경간 케이블의 중앙위치에 추가적으로 설치한다. 이때 계측기는 1개소당 2개를 설치하여 케이블의 주축방향 및 면외방향의 응답을 계측하도록 한다.

(2) 사장교

계측기센서를 설치하는 위치는 주탑, 상판 및 케이블이다. 사장교의 주탑과 상판부의 위치는 현수교와 동일한 위치에 설치한다. 케이블의 경우에는 최외곽 케이블의 중앙에 설치하도록 한다. 설치방향은 현수교의 케이블에서와 동일하다.

(3) 일반교량

상부슬래브(또는 주형) 및 교각에 설치한다.

3.2 지중구조물

구조물의 거동특성을 분석하기 위해 각 관측소별로 모두 3성분계측기를 설치할 필요는 없으나, 각 관측소별로 계측기의 계측방향을 다음에 제시하는 계측요건 이상으로 만족하여야 한다.

(1) 선상지중구조물

지진시 선상지중구조물의 피해는 지반진동의 최대가속도보다 최대속도와 더 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. 선상지중구조물의 상부지표에 수평2성분 수직1성분을 계측할 수 있는 속도계를 1기 이상 설치한다.

(2) 수평공간 지중구조물

수평공간지중구조물에 대한 사항은 터널편의 규정을 따른다.

(3) 지중저장 탱크구조물

지중 저장탱크 구조물에서는 자유장계측기를 지표면에 설치하고, 최저심도에서 지반진동을 계측할 수 있는 계측기를 설치하여야 한다. 탱크구조물에 부착되는 각 계측기는 상부부분에 탱크 둘레를 4등분하는 위치에 4개의 계측기를 설치한다. 설계도면상의 수평좌표를 각각 x와 y축으로 보았을 때, 각 계측기의 계측성분은 x축이 지나가는 곳의 계측기(1번과 2번)는 x축성분과 연직성분을 가지도록 하고, y축이 지나가는 곳의 계측기(3번과 4번)는 두 개의 수평성분 x와 y축 성분을 계측하도록 설치한다. 이 방법에 의하여 설치된 경우에는 연직 1방향, 수평 2방향, y축에 대한 회전, 그리고 연직축에 대한 회전을 계측할 수 있다. 탱크구조물의 하부에는 구조물 상부와 하부와의 응답차이를 알아보기 위해 3성분을 계측할 수 있도록 한 곳에 계측기를 설치한다.

여러 개의 탱크가 한 부지내에 있을 경우 인접한 모든 탱크에 위와 같은 가속도계를 모두 설치할 필요는 없으나, 이러한 경우에도 상호작용을 고려할 수 있는 계측기를 설치할 필요가 있다. 두 개의 상의 탱크구조물이 있는 경우, 두 번째 구조물에서는 첫 번째에서 계측하는 성분으로 설명이 가능한 운동성분은 생략할 수 있다. 이 경우에 생략할 수 있는 계측항목은 앞에서 이야기된 1번과 2번에서의 수직성분과 3번과 4번에서의 수평성분 하나(x방향)이다. 세 개 이상의 탱크구조물이 있을 경우에는 세 번째부터는 탱크구조물에 대한 계측기의 설치를 생략할 수도 있다.

3.3 댐

댐의 거동특성을 분석하기 위해 각 관측소별로 모두 3성분계측기를 설치할 필요는 없으나, 각 관측소별로 계측기의 계측방향을 다음에 제시하는 계측요건 이상으로 만족하여야 한다. 여기서 언급되지 않은 경우에는 내진공학자의 의견에 의해서 설치개수를 정해야 한다.

(1) 형태 1 : 일반적인 콘크리트 댐 또는 필 댐

일반적인 형태의 댐의 응답을 계측하기 위해서는 다음에 제시하는 순서로 응답계측기를 ① 댐기초부(3성분 : 연직 1성분, 수평2성분), ②댐마루중앙(2성분 : 수평2성분), ③좌측 또는 우측 측벽(2성분 : 수평2성분)에 최소한 3개의 계측기를 설치해야 하며, 비용문제가 해결되고 댐체의 세부적이고 정확한 응답을 알기 위해서는 ④댐체의 중간높이(댐높이의 60~70%)지점(1성분 : 댐축에 수직인 수평성분), ⑤ 앞의 '③'항에서 설치된 반대편 측벽(2성분 : 수평2성분), ⑥ 댐마루에서 댐마루 길이의 1/4만큼 측벽에서 떨어진 지점(1성분 : 댐축에 수직인 수평성분), ⑦ 앞의 '⑥'항에서 설치된 반대편 벽체로부터 댐길이의 1/3만큼 떨어진 지점(1성분 : 댐축에 수직인 수평성분)의 순서대로 여러 개를 설치하는 것이 바람직하다.

(2) 형태 2 :댐의 기하학적 구조가 심하게 비대칭인 경우

댐이 시공되는 지형조건으로 인해 기하학적인 형상이 심한 비대칭인 경우에는 기본적인 설치개수를 앞의 (1)항에 제시된 것보다 하나 많도록 양쪽 측벽에 설치한다. 이 때 측벽의 한 곳에서는 3성분(연직 1성분, 수평2성분)을 계측하여야 한다. 나머지 부가적인 사항은 앞의 (1)항과 동일하다.

(3) 형태 3 : 댐체의 구조재료가 다른 경우

댐체의 구조형식 또는 구조재료가 다른 합성댐의 경우에는 각 구조형식별로 댐별로 앞의 (1)항에서 제시된 일반적인 댐에서 규정된 계측기를 갖추어야 한다. 그러므로 이 경우에는 최소 6개의 계측기가 설치되어야 한다.

(4) 형태 4 : 댐체의 길이가 아주 긴 경우

댐체의 길이가 댐체의 높이에 비해서 아주 긴 경우에는 길이 방향의 응답변화를 충분히 계측하기 위해 댐마루를 따라 여러개의 계측기를 설치하는 것이 바람직하다. 이때에는 앞의 (1)항에서 제시된 7개의 계측기 사항중에서 '④'항을 제외한 계측기를 기본적으로 설치하여야 한다.

3.4 터널

터널구조물의 경우 용도와 주위제반조건에 따라서 시공방법 및 구조형식이 일정하지 않으므로 다음에 열거되지 않은 터널구조물에 대해서는 지진공학자의 자문을 얻어 설치하여야 한다.

(1) 수평터널

일반적인 수평터널의 경우에 개구부와 단면의 급격한 변화가 발생하는 곳에 각각 3성분계측기를 설치해야 한다. 터널형식별로 하저터널과 해저터널에서는 터널내부이음부의 터널축 직교방향 2성분의 상대변위를 측정할 수 있는 2개의 상대변위계를 설치해야 한다. 연약지반을 통과하는 터널은 주위지반의 액상화에 대한 계측을 위해서 주위지반에 간극수압계를 설치한다. 절리가 발달한 층을 통과하는 터널에서도 절리의 운동을 계측할 수 있는 하저터널 또는 해저터널에서와 같은 상대변위계를 설치한다.

(2) 수직터널

수직터널에서는 수직터널부와 하부 공간의 거동을 설명할 수 있는 최소한의 개수를 설치하여야 한다. 필수적인 계측기로는 개구부(3성분)와 수직터널과 저장공간이 만나는 저장공간상부분(3성분) 그리고 저장시설하부에 2곳의 계측기를 설치하여 축방향 운동 및 회전운동에 대한 계측을 하여야 한다. 저장시설하부의 계측기 중 하나는 수직터널의 직하부(3성분)에 설치하여 깊이별로 나타나는 운동양상을 관측하고 나머지 한곳은 멀리 떨어진 지점(연직1성분, 하부계측지점을 잇는 선에 직각방향의 수평1성분)에 설치하는 것이 바람직하다.

또한, 지반물성이 급하게 변하는 지층을 수직터널이 통과하는 경우에는 지층경계부에 지진계측기를 설치할 필요가 있으나, 지반물성치의 변화가 크게 나타나지 않는 경우에는 설치할 필요가 없다. 지반물성치의 변화양상과 계측기의 설치여부에 대한 판단은 내진공학자에 의견을 물어서 설치한다.

(3) 거주시설용 터널

거주시설용터널에서는 거주시설에 출입하기 위한 접근터널 개구부와 접근터널과 주거시설이 교차하는 부분에 각각 1개의 3성분 가속도계를 설치한다. 주거시설물 자체에 대해서는 건축물에 대한 규정을 참조하여 설치한다.

(4) 기타분류의 터널

이 절에서 규정하지 않은 터널에 대하여서는 지진공학자에 의견을 물어서 설치한다.

3.5 도로

도로의 경우, 교량에 대해서는 도로교편에서 도로터널에 대해서는 터널편의 관련규정을 따른다. 여기서는 도로부분 중에서 성토부, 절토부 그리고 도로제방부분에 대해서 설명한다.

(1) 성토부

성토부의 경우에는 성토층의 높이에 따라서 설치해야할 계측기센서의 개수가 달라 질 수 있다. 여기서는 지진이 발생하였을 때 성토부의 거동을 파악하기 위한 최소한의 개수를 규정한다. 성토부의 침하 또는 사태 등을 나타내는 성토부 상단의 지진계측기(1기 3성분), 성토체에서 벗어난 자유장운동계측기(1기 3성분), 그리고 성토체의 기초부라고 할 수 있는 선단의 계측기(1기 3성분)를 필수적으로 설치하여야 한다.

필수적으로 설치해야 하는 계측기를 제외하고 액상화가 발생할 가능성이 있을 때, 간극수압계를 설치하고, 성토부의 높이가 높을 때 동적 거동을 더 자세히 파악하기 위한 성토부 중단에 계측기를 설치한다. 이 항에서 설명된 계측기를 제외하고 다른 계측기를 추가로 설치하고자 할 경우에는 성토부의 특성과 지하의 지반물성치를 고려하여 결정하는 것이 바람직하다.

(2) 절토부

절토부에 설치해야할 계측기는 자유장 계측기(1기 3성분)와 절토면 상부운동 계측기(1기 3성분)를 설치한다. 산사태의 발생가능성이 있어서 필요하다고 판단되는 경우에 산사태를 감지할 수 있는 계측기를 설치한다.

(3) 성토제방부

도로상의 성토제방부에서는 성토부상단, 성토부하단 기초부, 그리고 성토부에서 떨어진 곳의 자유장운동을 계측하여야 한다.

3.7항만

설치하고자하는 항만내에서 1기 이상의 3성분(수평 2성분, 연직 1성분)의 지반운동계측기를 설치하여야 한다. 항만내에서 액상화가 일어날 가능성이 크다고 판단되는 경우에 1기 이상의 간극수압계를 설치한다.

구조물의 기초부에 대한 계측은 계측하고자하는 구조물마다 1기의 계측기를 설치하여야 한다. 구조물의 응답계측을 위해서는 건물부분에 대해서는 건축물편에서, 파이프라인에 대해서는 지중구조물편에서, 그리고 제방에 대해서는 도로편에 규정된 방법을 따른다.

3.7고속철도 및 철도

고속철도 및 철도구조물의 지진응답계측은 구조물별로 해당되는 관련 규정을 따르면 된다. 고속철도 및 철도교량은 도로교에서, 터널 및 지하역사는 터널편에서, 제방은 도로편에서 지상역사에 대해서는 건축물편의 관련규정을 따른다.

3.8 건축물

건축물의 동적응답 특성을 계측하는 계측기는 건축물의 전체적인 동적거동을 대표할 수 있는 위치에 설치한다. 먼저, 건축물의 동적거동특성을 대표할 수 있는 층을 결정하고 그 층의 평면거동 특성을 고려하여 계측기의 설치위치 및 개수를 선정한다.

(1) 층의 결정

기본적으로 건물의 최하층 및 옥상층의 2개 층에는 계측기를 설치한다. 고층건축물, 수직강성이 변화되는 건축물, 수직 비정형성이 있는 건축물에 대해서는 기본 계측기 이외에 추가적으로 1개층 이상의 중간층에 계측기를 설치하는 것이 좋다.

가. 고층건축물

7층 이상의 건물 또는 1차 진동모드의 주기가 0.7초 이상의 건축물에 대해서는 중간층의 1개층 이상에 계측기를 설치하는 것이 좋다. 이 때 계측기의 설치 위치는 진동해석을 실시하여 건축물의 진동모드를 가장 잘 표현 할 수 있는 곳으로 하면 된다.

기본적으로, 1차진동모드를 측정하기 위하여 최하층 및 옥상층에 설치하고 2차진동모드까지를 측정하는 경우 세 번째 계측기를 2차모드 응답이 최대값을 가지는 층에 설치한다. 3차진동모드까지를 측정하는 경우에는 3차모드의 응답이 극값을 가지는 부분중에 한곳을 추가적으로 설치한다. 보다 고차진동모드를 측정하기 위해서는 동일한 방법으로 추가한다.

나. 수직강성이 변화되는 건축물

수직강성이 변화되는 건축물의 경우에는 강성이 변화되는 층의 상하부층에 계측기를 추가로 설치하여 수직강성의 변화에 의한 응답의 차이 계측하는 것이 좋다.

다. 수직 비정형성 건축물

수직 비정형성의 건축물의 경우에는 비정형성 층의 상하부층에 계측기를 추가로 설치하여 비정형성의 변화에 의한 응답의 차이 계측하는 것이 좋다.

(2) 건축물 평면에서의 계측기 위치

건축물의 평면 동적거동 특성을 잘 표현할 수 있는 곳에 설치하도록 한다. 일반적인 평면형상을 가진 건축물의 지진시의 거동은 건물의 주축방향(X축) 및 직각방향(Y축)의 2성분 병진운동과 건축물의 강성중심과 질량중심의 차이로 인하여 발생하는 회전운동이 대표적이다. 따라서 이들 운동의 계측은 기본적으로 실시하고 이를 효과적으로 계측할 수 있는 위치를 선정하도록 한다. 단, 최하층의 경우에는 입력지진운동의 연직방향 성분의 크기를 반드시 함께 계측하도록 한다. 만약, 건축물의 회전운동을 무시할 수 있는 경우에는 회전운동의 계측은 생략할 수도 있다.

건축물의 비정형성 또는 한 방향으로 상당히 긴 건축물 등 거동특성이 일반적인 경우와 다른 것이 예상되는 경우는 거동특성을 충분히 고려하여 추가적인 계측기를 설치하도록 한다.

건축물의 평면형상에 따른 계측기의 설치 위치 예는 다음과 같다.

가. 일반적인 형상

건축물의 2개소에 설치한다. 1개소에서 2수평성분을 계측하고 다른 1개소에서 건축물의 1수평방향 성분을 계측한다. 따라서, 주축(X축) 및 직각(Y축) 방향의 병진운동과 연직축의 회전운동을 계측할 수 있다. 단, 최하층인 경우는 1개소에서 높이(Z축)방향의 운동도 함께 계측한다. 우선, 건축물의 한쪽 측면에 X, Y축 계측기를 설치하고 다른 한쪽측면에 Y축방향 계측기를 설치한다. 최하층의 경우는 X, Y축 계측기에 Z축을 추가하면 된다.

나. 적은 비정형성을 갖는 건축물

비정형성이 적어 (1)항의 동적특성과 유사한 거동특성이 기대되는 경우에는 가항의 예를 따를 수 있다.

다. 비정형성 건축물

비정형 구조물의 경우는 기본 계측기 이외에 거동특성을 고려하여 추가적인 계측기를 설치한다. 'L'형태의 구조물에 대해서는 두부분의 교차지점에 두방향의 수평성분을 계측하도록하고, 각 부분의 끝점에서 건물축과 직각방향의 수평성분을 계측하도록 한다. 최하층에서는 연직방향성분의 계측기를 추가로 설치한다. 건물의 층수가 높을 경우, 중간층 1개 층 추가에 4개의 계측기가 추가된다.

'C'자형 구조물에서는 건물 중앙부에서 2수평성분을 계측하고 두 곳의 끝부분에서는 건물축과 직각방향으로의 수평성분을 계측한다. 최하층부에서는 두 개의 수평성분에 연직방향 성분을 함께 계측하도록 계측기를 설치한다.

별모양의 건물에 대해서도 중앙부에 두 개의 수평성분을 계측하고, 건물 각각의 가장자리에 건물축과 직각이 되는 방향성분을 계측할 수 있도록 계측기를 설치한다. 최하층에서는 연직방향의 운동성분을 계측할 수 있도록 계측기를 설치한다.

라. 한쪽 방향이 긴 건축물

그림과 같이 건축물이 한쪽방향으로 상당히 긴 경우에는 중앙부 1개소에 추가적으로 계측기를 설치하는 것이 좋다.

3.9 공항

공항의 경우에는 교량, 터미널 전면교가 등의 교량구조물에 대해서는 도로교편에서, 공동구, 지하차도, 상하수도시설, 파이프라인 등의 지하구조물은 지중구조물편에서, 활주로, 착륙대, 유도로, 계류대 등의 비행장시설과 공항도는 도로편에서, 그리고 여객터미널, 관제탑, 화물창고, 화물터미널, 사무시설, 구조 및 소방시설 등의 건축물에 대해서는 건축물편에 규정된 규정을 따른다.

4. 결론

지진응답계측기 설치·운영에 대한 기준은 우리나라의 지진응답계측계획 수립에 근거자료로서 지진응답계측에 관한 기술기준으로 사용될수 있을 것이다. 또, 지침과 정보는 실무에 직접적인 도움을 줄수 있을 것으로 기대된다. 향후에 설치될 지진경보망과 신속대응시스템 구축시 참고자료로서 훌륭한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 내진설계기준연구(Ⅱ)(내진설계성능기준과 경제성평가), 1997. 12.
- 건설교통부, 내진설계기술기준제정 <제1단계>(지진응답계측기 설치·운영), 2000. 2.