

지진가속도계측기 설치 및 운영기준

Guideline for Installation and Management of
Seismic Acceleration Measurement System



정길호^{1)*}

Jung, Gil Ho



윤종구²⁾

Yoon, Jong Ku

1. 머리말

2008년 이전 우리나라의 지진재해에 대한 대비는 자연재해대책법에 따라 주요 시설물의 내진설계기준에 의한 내진설계 위주로 수행되었다. 이후 정부에서는 2008년 3월 지진재해대책법(이하 ‘법’)과 2009년 3월 지진재해대책법 시행령(이하 ‘시행령’)과 시행규칙을 제정하여 지진재해 경감을 위한 법적인 체계를 마련하였고, 이에 따라 범정부적 지진방재종합대책도 체계화하였다. 지진방재종합대책의 주요내용으로는 기존 시설물의 내진보강, 지진위험지도 제작·활용, 지진해일대책 및 신속대응을 위한 지진재해대응체계 구축 등이 있고, 특히 중앙 및 지방청사 등 주요 시설물이 지진발생과 동시에 안전성 확인을 위해 지진가속도계측기를 설치하여 하도록 하고

있다.

미국, 일본 및 대만에서는 지진응답계측의 중요성을 인식하여 자유장뿐만 아니라 건물, 교량 등 중요 시설물에 계측기를 설치하여 지진시 시설물의 지진응답 데이터를 축적하고 있다. 이들 나라에서는 실제로 지진운동의 세기가 설계지진의 세기를 상회하는 것이 확인되었으며, 시설물의 응답이 설계시 가정한 값과 현저한 차이가 있음을 확인하였다. 또한 지진응답의 분석결과로부터 외부에서 관찰되지 않는 숨어 있는 손상이 확인되는 등 시설물의 지진발생시 지진거동특성(지진응답특성)의 중요성은 최근에 발생한 여러 차례의 강진에서 더 한층 부각되고 있다.

미국 전체적으로는 USGS (United States Geological Survey)가 지진응답계측을 종합적이고 체계적으로 수행하고 있고, 강진 지역인 캘리포니아주에서는 CDMG (California Division of Mines and Geology)가 지진관측 및 계측에 체계적인 망을 구성하고 있다. USGS에서는 NEHRP

1) 소방방재청, 지진방재과 연구관

2) KIT Valley, 공학박사

* E-mail : ghjung@korea.kr

의 프로그램의 일환으로서 US National Strong-Motion Program을 수행하고 있다. 일본에서는 지진응답계측기의 설치가 다양한 기관에 의해서 개별적으로 추진되어왔기 때문에 통일성이 결여되어 있고 지진발생 후 지진 계측자료의 처리와 교환 및 공급이 신속하지 못하였다. 그러나 일본은 고베 지진 이후 전국적으로 K-Net (Kyoshin Network)라는 지진관측망을 구축하였고, 구조물과 시설물에 대한 지진응답계측기 설치를 강화하여 지진계 자료를 인터넷으로 공유하고 있고 각각의 데이터를 활용할 수 있는 네트워크 망이 구성되어 있다.

이와 같이 활발한 지진활동이 일어나는 지역의 나라들은 전국적인 지진계측망을 형성하고 이를 통합관리하는 방향으로 시스템을 구축하고 있다. 또한, 전국적으로 체계화된 지진계측망을 바탕으로 신속한 계측자료의 획득, 처리 및 배포가 가능한 시스템을 구축하고 있다.

이에 비하여 우리나라는 지진가속도 계측 및 시설물의 지진거동특성에 대한 계측에 관한 역사가 짧고 전문가도 부족한 실정이다. 또한 주요 구조물과 시설물의 관리주체가 다양하기 때문에 지진가속도계측기의 설치 및 운영을 해당 기관

에만 일임한다면 국가 전체적인 통합관리가 어려울 수 있다. 특히 법의 제정으로 인해 중앙행정기관 및 지방자치단체 등 일선 현장에 지진가속도 계측에 경험을 가진 전문가가 드물어 불필요한 고가의 기기, 장비 및 시스템이 무분별하게 도입되고 설치될 개연성이 있다. 이는 한정된 예산의 효율적인 집행 측면에서 문제가 발생할 수 있을 뿐만 아니라, 설치 및 운영 기준의 부재로 장기간 고가 장비의 운영 실적이 저하될 수 있다. 이와 같이 법의 제정 및 시행에 따른 지진가속도계측기의 효율적인 운영을 도모하고 국가 전체적인 관점에서 지진가속도계측기의 배치를 계획하고 성능과 시스템 구성에 있어서 표준안이 필요하였다.

이를 위하여 2010년 9월 소방방재청에서는 「지진가속도계측기 설치 및 운영기준(소방방재청 고시 제2010-30호, 이하 ‘운영기준’)을 제정하여, 시행령 제5조에서 지진가속도계측기 설치 대상으로 규정한 건축물, 공항시설, 댐 및 저수지, 현수교 및 사장교, 가스시설, 고속철도, 원자력 이용시설, 변전소, 발전용 수력 및 화력설비 등에 대하여 각 시설물별로 구체적인 설치범위를 정하였다. 또한 각 시설물별 설치 위치, 설치

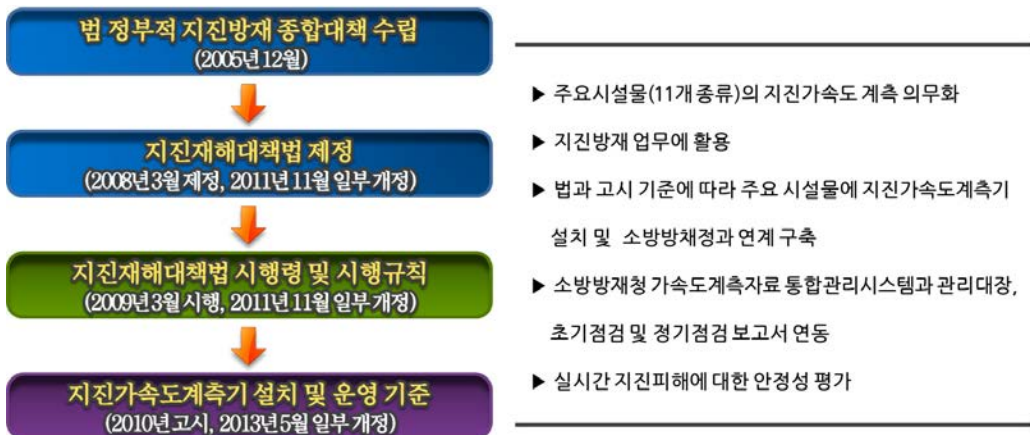


Fig. 1 지진관련 제도정비 상황

방법 및 개소수를 규정하여 지진가속도계측기의 설치 및 관리에 혼선이 없도록 하였다.

본고에서는 「지진가속도계측기 설치 및 운영 기준」의 주요내용과 소방방재청의 통합관리시스템 및 향후 추진방향에 대해 기술하고자 한다.

2. 운영기준의 주요내용

2.1 지진가속도계측기의 구성 (운영기준 제3조 ~ 제8조)

지진가속도계측기는 지진가속도계측센서, 지진가속도기록계, 계측데이터 처리시스템, 통신기기 및 부대설비로 구성된다. 지진가속도계측센서는 자유장 지진가속도계측센서와 시설물 지진가속도계측센서로 구분된다. 지진가속도기록계는 지진가속도계측센서에서 나오는 신호를 획득하는 부분, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 부분 및 계측자료를 저장하는 부분으로 구성된다.

2.2 설치대상 시설물(운영기준 제9조)

시행령 제5조에서는 지진가속도계측기 설치대상 시설물을 건축물, 공항시설, 댐 및 저수지, 현수교 및 사장교, 가스시설, 고속철도, 원자력 이용시설, 변전소, 발전용 수력 및 화력설비 등에 대하여 각 시설물별로 구체적인 설치범위를 정하였다.

시행령 제5조에 따라 설치해야할 종류 및 시설물의 개소는 Table 1과 같다. 표에 나타난 바와 같이 2010년 10월 기준으로 약 690개소에 지진가속도계측기를 설치하여야 하나, 향후 해당시설이 추가적으로 건설될 경우 신규 건설 시설물에도 설치하여야 한다.

2.3 지진가속도계측센서 설치 위치 (운영기준 제10조 ~ 제30조)

지진가속도계측센서의 설치 위치는 자유장과 시설물로 구분하여 설치한다. 자유장에 설치되는 지진가속도계측센서는 계측대상 시설물이 위

Table 1 지진재해대책법에 의한 지진가속도계 설치 대상 시설 (2013년 10월 현재)

		시설물 명	개소수
1	건축물	중앙행정기관 및 지방자치단체의 청사	262
		국립대학교	71
		높이 200미터 또는 50층 이상 공공건축물	-
2	공항시설		12
3	댐 및 저수지	내진 특등급의 댐 및 저수지	34
		내진1등급의 댐(용수전용댐 및 상수전용댐)	51
		내진1등급의 저수지	24
4	현수교 및 사장교		36
5	가스시설의 정압기지 및 저장시설		117
6	고속철도 역사 및 교량		24
7	원자력 이용시설		7
8	345kV 이상 급의 변전소		15
9	발전용 수력 설비	발전용 수력 설비	15
		발전용 화력 설비	22
합계			668

치한 부지의 지반운동을 대표할 수 있는 장소이어야 한다. 또한 자유장 지진가속도계측센서는 시설물과 상호작용 등에 의한 영향을 받지 않도록 단차 주위, 연못 또는 저수지 등이 매립된 곳으로 국부적인 진동이 큰 위치, 설치위치 아래에 지하탱크, 지하매설관이 있거나 빈 공간이 있는 위치나 화단 주위 등은 배제하여 시설물 주변지반의 지반운동을 신뢰성 있게 계측할 수 있는 곳으로 설치하여야 한다.

자유장에 설치되는 지진가속도계측센서는 연직 1방향, 수평 2방향 등 3방향의 지진가속도 성분을 계측할 수 있어야 한다. 시설물에 설치되는 지진가속도계측센서는 시설물의 지진거동을 효율적으로 계측할 수 있어야 한다. 특히 시설물의 경우 시설물의 거동특성에 따라 장축 및 단축 방향에 따라 센서의 설치 방향이 달라져야 하고, 케이블 같은 경우 방향에 관계없이 케이블의 축 방향으로 설치하는 등 설치시 공학적인 고려가 필요하다.

2.4 지진가속도계측기의 성능 규격 (운영기준 제39조)

지진가속도계측기는 자유장 계측 또는 해당

시설의 지진거동특성을 규명하기에 적합한 성능을 발휘하여야 한다. 운영기준에서 제시하는 자유장에 설치되는 지진가속도센서의 성능 규격은 Table 2와 같다. 시설물에 설치되는 지진가속도계측센서의 경우 해당 시설의 고유주파수(또는 고유주기)를 고려하여 선택해야 하고, 수평 2방향 성분 및 연직 1방향 성분의 센서를 활용하여 적절히 설치하여야 한다.

자유장에 설치되는 지진가속도기록계의 경우 Table 3의 성능 규격을 만족하여야 한다. 시설물에 설치되는 지진가속도기록계의 경우 자유장에 설치되는 것과 대부분 동일하다.

모든 지진가속도계측센서와 지진가속도기록계의 경우 「국가표준기본법」 제23조 및 같은 법 시행령 제16조에 따라 설립된 한국인정기구의 공인기관 또는 소방방재청장이 지정하는 기관에서 성능검사를 받고 성능검사에 합격한 제품만 설치하여야 한다.

2.5 점검 및 유지관리 (운영기준 제40조 ~ 제42조)

관리주체는 설치된 지진가속도계측기가 항상 정상가동 되도록 관리해야 한다. 관리주체는 지

Table 2 자유장 지진가속도계측센서의 표준규격

항목	표준규격	비고
계측 성분	· 3방향 성분(연직 1방향, 수평 2방향)	
주파수 영역	· 최소 주파수는 0.1Hz 이하, 최대 주파수 50Hz 이상 · 주어진 주파수 대역에서 지반운동을 3dB 이내의 정확도로 감지	· 0.1Hz에서 50Hz까지 평활한 주파수 응답 반응 유지
동적 범위	· 고시 기준일 이전에 구매한 지진가속도계측센서는 90dB 이상 · 고시 기준일 이후에 신규설치 지진가속도계측센서는 120dB 이상 · 최대 계측 지진가속도 2.0g	
출력전압선형비 (linearity)	· 1% 이내	· 지반운동 크기의 왜곡 현상 방지
성분간 감도오차	· 1% 이내	· 정확한 벡터 성분을 유추할 수 있어야 함
감쇠율	· 60~70%	
출력전압	· 지진가속도기록계의 최대 입력 전압 이내	· 계측된 데이터의 왜곡 방지
출력 방식	· 지진가속도기록계와의 거리가 50m 이상인 경우 차동출력방식 적용	· 노이즈에 따른 신호 왜곡 방지

Table 3 자유장 지진가속도기록계의 표준규격

항 목	표준규격
동적범위	<ul style="list-style-type: none"> 고시 기준일 이전에 구매한 지진가속도기록계는 90dB 이상의 동적범위를 확보해야 하고, 지진가속도계측센서의 동적범위 이상 고시 기준일 이후에 신규로 구매하는 지진가속도기록계는 120dB 이상의 동적범위를 확보해야 하고, 지진가속도계측센서의 동적범위 이상
채널수	<ul style="list-style-type: none"> 자유장 계측 전용일 경우 3채널 이상 시설물 계측용과 공동 사용할 경우 3채널 이상 추가 확장이 가능해야 함.
트리거 방법	<ul style="list-style-type: none"> STA/LTA 방법 또는 드레스홀드(threshold) 방법 등 <ul style="list-style-type: none"> - 드레스홀드(threshold) 방법의 경우 0.005g 지진가속도기록계에서 트리거(trigger) 수준을 변경할 수 있어야 하고, 운영프로그램에서 이를 제어할 수 있어야 함
자료취득	<ul style="list-style-type: none"> 100회/초 이상의 파형 및 최대값 자료 산출
자료기록 시간	<ul style="list-style-type: none"> 기록 시점을 기준으로 30초 전부터 60초 후까지 메모리에 저장하고, 별도 저장장치에 기록해야 함.
최대시각오차	<ul style="list-style-type: none"> 0.005초 이내 외부에서 시각보정이 가능해야 함.
자료획득 및 전송방법	<ul style="list-style-type: none"> TCP/IP 통신이 가능한 방식 다중 전송이 가능해야 함.
기록 형식 및 저장	<ul style="list-style-type: none"> 100회/초, 20회/초, 매초당 분석데이터(MMA/S)를 저장하고 전송 가능해야 함. MMA/S 데이터는 실시간으로 전송 가능해야 함. 20회/초 계측자료로부터 매초당 분석데이터를 산정해야 함.
저장형식	<ul style="list-style-type: none"> 범용 자료구조 형식인 SEED, mini-SEED, SAC, GCF, SEGY, GSMS, CD1.0, CD1.1 등에서 하나를 지원해야 함 단, 위의 방식이 아닐 경우 데이터 수신, 해독, 변환에 대한 구체적인 방법을 제공해야 함.

진가속도계측기를 설치한 후 관리대장을 작성하여 소방방재청 지진가속도계측기 통합관리시스템을 통해 전송해야 한다. 또한, 관리주체는 준공검사 전에 지진가속도계측기가 적절하게 연계되었는지 소방방재청장의 확인을 받고 초기점검 보고서를 지진가속도계측기 통합관리시스템을 통하여 전송해야 한다. 현재 준공검사 전에 국립재난안전연구원에서 현장점검을 수행하고 있다. 전술한 바와 같이 관리대장 및 초지/정기점검보고서 등은 별도의 문서작업이 필요없이 소방방재청의 통합관리시스템으로 전송되도록 구축하여야 한다.

3. 지진가속도 계측자료 통합관리시스템 연계 구축

3.1 지진가속도계측시스템의 구성

지진가속도계측기를 설치해야 하는 관리주체

는 자유장 및 시설물에 설치된 지진가속도계측센서의 MMA 데이터를 실시간으로 소방방재청의 「지진가속도 계측자료 통합관리시스템」으로 전송해야 한다. 또한 지방자치단체에 설치하는 지진가속도계측기의 계측자료는 광역시도 단위로 통합하여 전송해야 한다. 이를 위하여 Fig. 2와 같이 지진가속도계 및 기록계 설치, 운영서버 및 운영 프로그램이 필요하다.

3.2 통합관리시스템 전송 데이터의 종류

소방방재청에 계측자료를 제출할 경우 「지진가속도계측자료 저장방법 및 전송방식 세부 지침」에 정의된 형식에 따라 제출하여야 한다. 이때 제출해야할 데이터 종류는 Table 4와 같다.

MMA/S 데이터는 매초 주기로 계측된 데이터의 최대값, 최소값 및 평균값을 의미하고, 이벤트 구간데이터의 경우 지진이 발생하였을 경우 mini-SEED 형식으로 성분별 데이터를 소방방

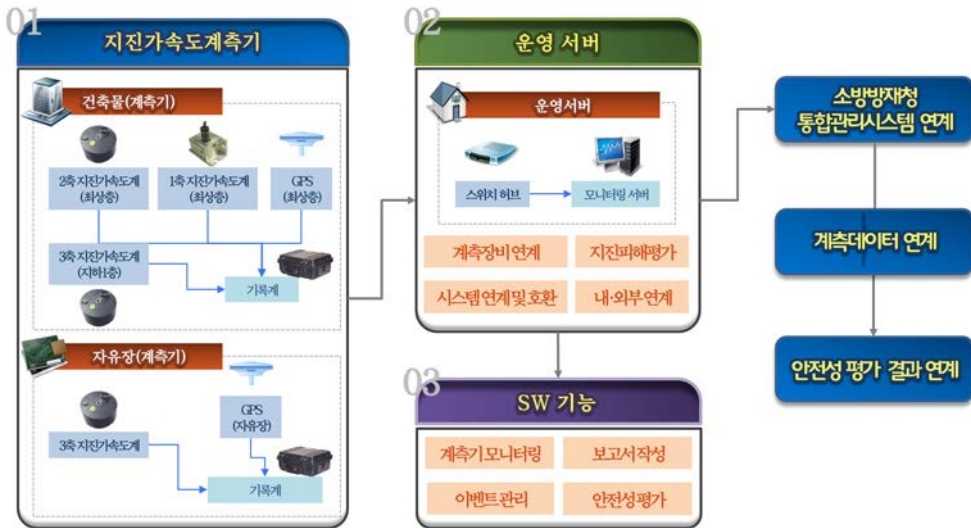


Fig. 2 지진가속도계측기 시스템 구성 (건축물의 경우)

Table 4 소방방재청 지진가속도 계측자료 통합관리시스템과의 연계 대상 데이터

데이터 종류	전송주기	데이터 구조
MMA/S	1초 간격으로 실시간 전송	MMA/S 구조
이벤트 간데이터	이벤트 감지 후 지진 발생시	- mini-SEED 구조 - 성분별 실시간 구간데이터
관리대장	지진계측기 설치 후	운영규정에 따른 메타데이터 구조
초기점검 보고서	지진계측기 설치 후	운영규정에 따른 메타데이터 구조
정기점검 보고서	정기 점검 실시 후	운영규정에 따른 메타데이터 구조
안전성평가보고서	이벤트 감지 후	운영규정에 따른 메타데이터 구조

재청으로 전송하여야 한다. 관리대장 및 초기점검보고서는 지진가속도계측기를 설치한 직후 소방방재청으로 시스템을 이용하여 제출하여야 하고, 안전성평가 보고서의 경우 지진 감지 후 소방방재청에서 지정한 메타데이터 구조로 시스템을 이용하여 제출하여야 한다.

3.3 통합관리시스템 운영 프로그램 요구 사항

주요 시설물에 설치된 지진가속도 계측자료는 소방방재청의 「지진가속도 계측자료 통합관리시스템」에 실시간으로 자료를 제출하여야 한다. 이

를 위하여 관리주체에서는 실시간 모니터링시스템을 구축하여 소방방재청으로 계측자료를 제출하여야 하고, 일반적인 시스템 구성도와 운영을 위하여 요구되는 기능은 Fig. 3과 같다.

시행령 제5조에서 정의한 시설물을 다수 관리하는 관리주체의 경우 관리주체 고유의 통합관리시스템을 구축한 후 소방방재청으로 전송하는 것을 추천한다. 또한 전술한 바와 같이 광역시·도는 관내 시·군·구의 시스템을 통합관리하여 이를 다시 소방방재청 통합관리시스템과 연계 구축하여야 한다.



Fig. 3 지진가속도계측기 시스템 구성 (건축물의 경우)

4. 향후 추진방향

우리나라의 지진관측은 1978년부터 수행되었으나, 시설물에 대한 지진관측은 2000년도 초반부터 시작되어 지진시 시설물에서 계측된 지진 계측자료는 거의 없는 것이 현실이다. 그러나, 2009년 이후 소방방재청의 「지진가속도 계측자료 통합관리시스템」이 구축되어 앞으로 지진이 발생할 경우 여러 시설물에서 지진가속도 계측 자료를 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 이렇게 모아진 지진가속도 계측자료를 이용하여 다음과 같은 분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

- ① 지진시 시설물의 안전성 평가에 활용
 - 지진발생시 시설물의 안전성을 지진가속도 계측기록으로 직접 확인이 가능하고, 지진발생시 시설물이 설계거동한계 이상 거동했는지 유무를 확인에 활용
- ② 내진설계기준 개정에 활용
 - 계측된 데이터를 활용하여 시설물의 지

진응답특성을 규명하여 내진설계의 타당성을 검증하고 설계이론을 개선하는데 활용

- 지진가속도 기록으로부터 시설물의 거동 특성을 규명하여 내진설계 방법의 타당성 검증에 활용

5. 맺음말

2010년 9월 「지진가속도계측기 설치 및 운영기준」이 제정되어 고시된 이후 두 차례의 개정을 통하여 처음보다는 많이 안정적으로 지진가속도계측기가 설치되고 운영되고 있고, 대부분의 시스템이 소방방재청의 통합관리시스템과 연계되어 관리되고 있다.

현재 공인인증기관에서 성능인증에 합격한 제품은 대부분 외국에서 수입한 제품이다. 따라서 기준에 설치된 일부 제품을 제외하면 지진가속도계측센서와 지진가속도기록계는 해외에서 수입하여 설치하고 있는 실정이다. 그러나 앞으로

의무적으로 설치해야할 시설물을 고려하면 지진 가속도계측기에 대한 국산화가 필요하다. 근래에 들어 국내 여러 중소기업에서 지진가속도계측기의 국산화를 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 멀지 않은 장래에 국산 지진가속도계측기의 개발이 기대되며, 지진가속도계측기 설치사업에 관련된 업체들은 이 사업이 국가의 주요시설의 지진안전성 확보 및 국가의 내진대책에 기

여한다는 사명감을 갖고 사업에 임해주시기를 바란다.

담당 편집위원: 유석형
(경남과학기술대학교 교수)
piter31@gntech.ac.kr