

현장 지진조기경보시스템의 설계 및 성능평가 방법

최훈*

On-Site Earthquake Early Warning System Design and Performance Evaluation Method

Hun Choi*

*Professor, Department of Electronic Engineering, Donggeui University, Pusan 47340, Korea

요약

최근 지진조기경보시스템(EEWS)의 성능 개선과 진앙지 또는 진앙 근처 지역의 지진방재 효과를 보완하기 위해 현장 지진조기경보시스템(On-Site EEWS)의 개발이 시도되고 있다. 지진에 대한 연구 및 관측을 위한 지진관측망을 이용하여 지진 방재에 활용하는 국가 차원의 EEWS와 달리 On-Site EEWS는 지진방재를 목적으로 하므로 성능 및 비용 측면의 효율적인 설계와 평가가 필요하다. 현재 우리나라는 EEWS 뿐만 아니라 On-Site EEWS 개발에 기존 EEWS의 설계 기준 및 평가방법을 사용하는 등 필요한 핵심기술과 운영 노하우가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 지진·화산재해대책법에서 규정하는 지진 가속도계의 요구 사항을 기반으로 On-Site EEWS의 국산화 개발에 필요한 지진 데이터 수집, 데이터 처리 및 분석 부분의 하드웨어 및 소프트웨어적 설계 방향과 성능평가 항목 및 방법을 제안한다.

ABSTRACT

Recently, in order to improve the performance of the Earthquake Early Warning System (EEWS) and to supplement the effects of earthquake disaster prevention in epicenters or near epicenters, development of on-site EEWS has been attempted. Unlike the national EEWS, which is used for earthquake disaster prevention by using seismic observation networks for earthquake research and observation, on-site EEWS aims at earthquake disaster prevention and therefore requires efficient design and evaluation in terms of performance and cost. At present, Korea lacks the necessary core technologies and operational know-how, including the use of existing EEWS design criteria and evaluation methods for the development of On-Site EEWS as well as EEWS.

This study proposes hardware and software design directions and performance evaluation items and methods for seismic data collection, data processing, and analysis for localization of On-Site EEWS based on the seismic accelerometer requirements of the Seismic and Volcanic Disaster Response Act.

키워드 : 지진, 지진조기경보시스템, 현장 지진조기경보시스템, 지진피해방지

Keywords : Earthquake, EEWS, On-Site EEWS, Earthquake disaster prevention

Received 11 December 2019, Revised 12 December 2019, Accepted 22 January 2020

* Corresponding Author Hun Choi(E-mail:hchoi@deu.ac.kr Tel:+82-51-890-1673)

Professor, Department of Electronic Engineering, Donggeui University, Pusan 47340, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.2.179>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

전 세계적으로 많은 인명손실과 사회시설 파괴와 같은 심각한 지진 재난 발생이 잦아짐에 따라 한반도 지역의 지진 안전성 문제가 사회적으로 이슈화되고 있다. 지진재해는 강한 지진동에 의한 지표 및 지하 구조물의 파괴, 지반 중괴, 해일로 인한 가옥이나 선박의 유실·파괴 등으로 나타나는 1차 재해와 지진 발생 직후 부수적으로 발생하는 화재, 건축물의 추가 붕괴, 수도·전기·가스·통신시설의 파괴, 생활물자 유통망의 파괴 등으로 인한 사회적 혼란 등의 2차 재해로 구분할 수 있다. 그동안의 연구결과로부터 지진 발생의 사전 예측은 불가능하며, 내진 설계 강화를 통한 1차 재해나 지진방재시스템 구축 및 운영을 통한 1차 재해를 줄이는 것이 현실적인 대책으로 알려져 있다[1-3]. 그러나 시설물의 내진설계 강화를 위해서는 엄청난 사회적 비용이 소요되며, 기존 건축물 및 오래된 가옥의 경우는 내진기술 적용에 어려움이 있다.

현재 지진 발생이 잦은 국가에서는 지진피해를 줄이기 위해 지진조기경보시스템(EEWS; Earthquake Early Warning System)을 개발하여 운영하고 있다. EEWS는 국가 지진 관측망을 활용하여 전 국토를 경보대상으로 하며, 그림 1에서와 같이 지진 발생지역 즉, 진앙지에서 가까운 다수 개의 지진관측소에서 피해가 예상되는 지진 발생을 감지했을 때 신속한 경보발령과 시설물의 피해를 줄이기 위한 자동제어 프로세스를 진행한다. 일본의 UrEDAS (Urgent Earthquake Detection and Alarm System), 미국의 ElarmS (Earthquake Alarm Systems), 대만의 CWBSN (Central Weather Bureau Seismographic network), 우리나라의 한국형 ElarmS 등이 대표적이다. 이러한 EEWS는 지진 발생지역에 대해서는 피해를 줄이기에 어려움이 있으며, 진앙지에서 멀리 떨어질수록 효과가 있다. 최근 EEWS의 단점을 보완하기 위해 생활 지역을 경보대상으로 하는 현장 지진조기경보시스템(On-Site EEWS)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[4-8]. On-Site EEWS는 EEWS의 관측망 밀집도를 높이는 동시에 On-Site EEWS를 설치 운영하는 지역 또는 근거리에서 발생하는 지진에 대한 적극적 대응을 위해 도입되었다. 미국 Caltech의 CSN (Community Seismic Network), 대만 Sanlien의 Seismic Switch, Palert, 일본 Cygnet사의 直下くす(직하지진 검출기) 등의 네트워크

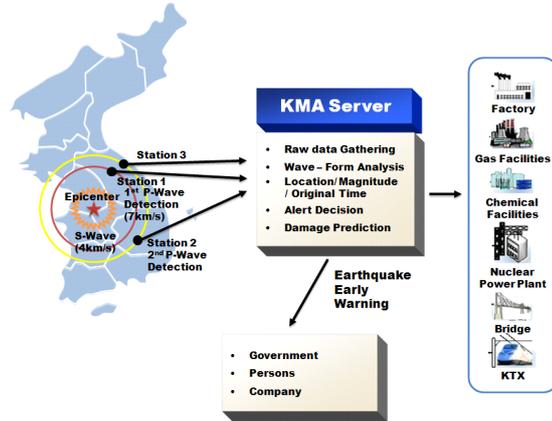


Fig. 1 Overview of earthquake early warning system

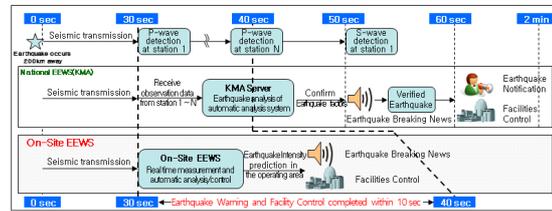


Fig. 2 Operational comparison of EEWS and On-Site EEWS

지진검출시스템이 대표적인 On-Site EEWS이다. 그림 2는 기상청에서 운영하는 국가적 차원의 EEWS와 On-Site EEWS의 운영과정을 비교한 것이다. 이들 On-Site EEWS는 저비용, 저해상도 지진가속도 센서기반의 임베디드 시스템으로 국가 지진관측망에 적용되는 EEWS와 달리 생활 현장 적용에 적합한 필수 기능 및 요구 사항이 제시될 필요가 있다. 그러나 현재 국내에는 On-Site EEWS 설계에 필요한 사양과 설계된 시스템의 성능 평가를 위한 방법이 마련되어 있지 않다.

본 연구에서는 지진-화산재해대책법에서 규정하는 지진 가속도계의 요구 사항을 기반으로 On-Site EEWS의 설계 시 요구되는 기능 및 사양과 개발한 시스템의 성능평가 방법을 제시한다. 제시한 내용은 개발하는 On-Site EEWS의 실효성을 확보하는데 목적이 있다.

II. On-Site EEWS 설계

On-Site EEWS은 크게 지진 데이터 수집 및 전처리 시스템(SDAS; Seismic Data Acquisition System), 데이터 처리 및 분석을 위한 주 시스템(Main Process and

analysis System), 데이터의 저장, 경보발령 및 시설제어를 위한 원격 모니터링 시스템으로 구성된다.

2.1. 지진 데이터 수집을 위한 센서 모듈

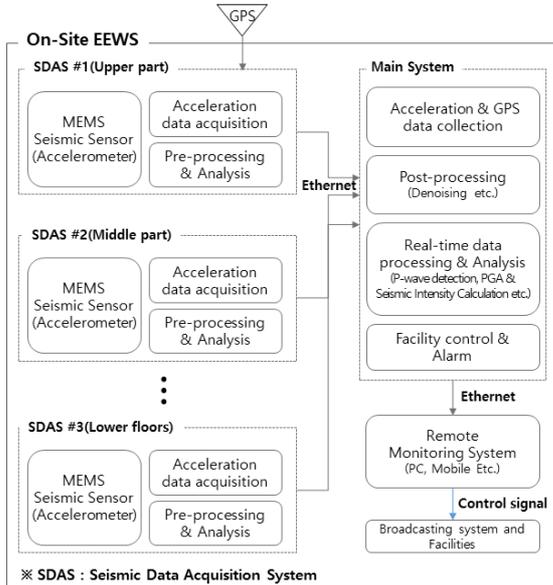


Fig. 3 Overall system configuration of On-Site EEWS

그림 3은 고층 건물에서 On-Site EEWS의 구축을 가정한 전체 시스템 구성도에 설계 시 필요한 사항을 제시한 블록도이다. 다수 개의 SDAS는 건물의 상층부, 중층부, 하층부에 설치되며, 해당 위치의 지진 데이터의 측정 및 데이터 품질 개선을 위한 전처리를 수행한다. 그림 4는 SDAS 시스템의 설계 예시이다. 지진 발생에 따른 건물 또는 시설물 피해를 확인하기 위한 지진 데이터는 3축 방향(EW, NS, UD)의 가속도 데이터를 사용하므로 On-Site EEWS를 위한 SDAS 설계를 위해 3축 MEMS 가속도 센서(3-axis accelerometer)를 사용한다. 국가 지진관측망에서는 고품질의 지진 데이터를 확보하기 위해 높은 비용의 힘평형 가속도 센서(Force valanced acclerometer)을 사용하는 반면, 생활지역에 구축되는 On-Site EEWS는 인간 활동에 의해 발생하는 높은 수준의 생활 배경잡음으로 인해 고성능 힘평형 가속도 센서 대신 저비용의 MEMS 가속도 센서를 사용하게 된다. 이때 가속도 센서는 ANSS(Advanced National Seismic System)의 structural Monitoring(Class C)에서 권고하는 사양을 만족하도록 선택되어야 한다. 방재용 지진 센서의 경우 전원잡음 및

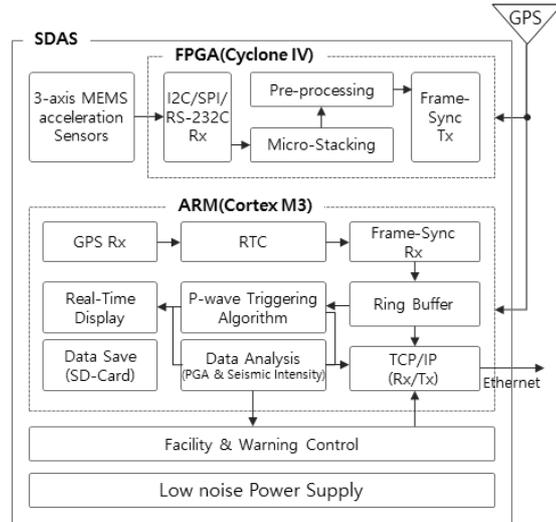


Fig. 4 MEMS acceleration sensor based seismic data acquisition system

센서 기본잡음에 대한 처리를 위한 설계비용을 고려하여 디지털 출력(Digital output)과 $\pm 2g$ 의 측정범위, $0.1 mg$ 이하(14 ~ 16비트 이상)의 해상도와 90dB 이상의 동적범위(Dynamic range), 최소 2~50Hz의 대역폭(평탄 주파수 응답), ADC 및 Anti- Aliasing Filter를 내장하고 저전력으로 동작하는 보급형 MEMS 가속도 센서를 선택하는 것이 유리하다. Freescale사의 MMA8451Q(14bit)나 MMA9551(16bit)의 경우 이러한 사양을 만족하는 디지털 출력의 MEMS 가속도 센서들이다.

일반적으로 보급형 MEMS 가속도 센서의 경우 높은 수준의 WG(White Gaussian)특성의 고유 배경잡음을 가지므로 고품질의 데이터 획득을 위해 다수의 센서 출력에 대한 배열신호처리 기법(array signal processing)을 사용하여 각 센서 축별 데이터에 대한 평균을 이용하는 stacking 방법을 통해 고유 배경잡음을 줄일 수 있다. 이때 다채널 가속도 데이터의 정확한 샘플링 동기 및 GPS 시각과의 동기, 그리고 고속 병렬 처리를 위해 FPGA를 사용한다.

2.2. 데이터의 시각 관리를 위한 GPS 및 RTC 모듈

네트워크 지진계를 활용하는 On-Site EEWS에서는 정밀한 시각 관리가 중요한 요소 중 하나이므로 이를 위해 각각의 SDAS의 출력인 3축 데이터의 time index는 GPS 및 자체 RTC(Real Time Clock)를 이용한 시각 동

기화가 가능하도록 설계에 반영하는 것이 필요하다. GPS 및 RTC 모듈은 GPS 수신기, RTC로 구성되며 GPS 또는 WAN(Wide Area Network, IP network) 로부터 시간정보를 수신하여 자체 RTC를 조정하여 GPS 시간 또는 네트워크 시간과 일치시키고 유지하는 기능을 수행한다. GPS로부터 수신된 시간 정보를 우선으로 시각 동기유지를 하며, GPS 수신 시 무선의 일시적인 장애 발생 시에는 Network 시간 정보 기준으로 시각동기를 유지해야 한다. 이때 자체 RTC의 기준 클럭신호의 정밀도는 TCXO급(1 ppm) 이상의 OSC를 사용하여 클럭오차를 최소화하도록 설계하는 것이 필요하다. 그림 5는 그림 4에서 사용한 MCU(Cortex M3)에 내장된 On-Chip RTC의 레지스터이다.

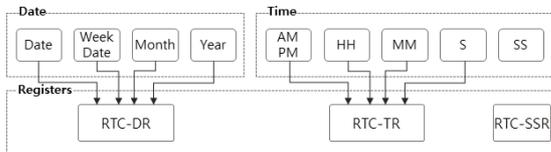


Fig. 5 On-Chip RTC registers embedded in Cortex M3

2.3. 데이터 포맷 및 관리

국가 지진관측망 기반의 EEWS에서는 일반적으로 지진 연구 관측용 데이터 표준 포맷인 SEED, mini-SEED, SAC 등을 사용한다. 따라서 On-Site EEWS는 EEWS의 관측망 보안을 위한 데이터 연계가 필요하므로 지진 데이터 표준 포맷 중 한 종류를 이용한 데이터 저장이 요구된다. 그러나 이들 표준 포맷은 생활지역 지진방재를 위해 내부 망을 활용한 데이터 전송 시 많은 불필요한 항목으로 부담이 될 수 있다. 따라서 On-Site EEWS에서는 최소한의 데이터 항목으로 구성된 자체 데이터 포맷을 사용하는 것이 유리하다. 필수 항목으로 구성된 데이터 전송 형식은 그림 6과 같다.

SDAS ID	Date	Time	EW_DATA	NS_DATA	UD_DATA	Event
##_YYMMDD_HHMMSSss_HHMMSSss_xDATA_yDATA_zDATA_Eventbit						

Fig. 6 Data transfer format for On-Site EEWS

수집한 데이터를 저장 및 관리하기 위해서는 범용 Micro SD 카드와 NAND Flash 메모리를 사용한 파일시스템의 설계가 필요하다. 데이터 저장 시 100Hz 및 20Hz 샘플링 자료에 대해 지진 표준 데이터 포맷으로

실시간 계측자료(상시 측정자료)는 6개월 이상 저장, 이벤트 계측 자료(지진 발생 시 이벤트 자료)는 트리거 작동 시점을 기준으로 30초 전부터 80초 후까지 기록되는 것을 하나의 이벤트 자료로 하여 5년 이상 저장이 요구된다.

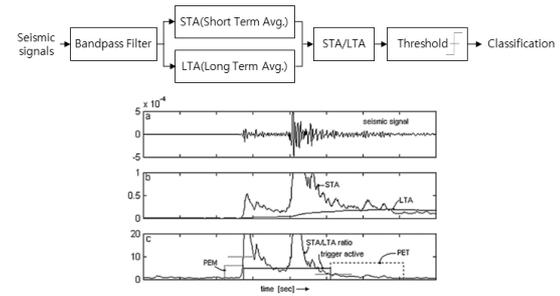


Fig. 7 STA/LTA algorithm

2.4. 실시간 데이터 처리 및 분석 모듈

수집된 데이터의 실시간 처리, 전체 시스템의 제어 및 관리, 데이터 저장, 통신 등의 주요 기능을 수행하는 모듈로서 FSMC, DMA, Timer/counter, RTC, UART, SPI, I2C, GPIO 등의 주요 기능 구현과 오버샘플링, 리샘플링, 디지털 필터링과 같은 다양한 데이터 처리, 그리고 지진 이벤트 발생 시 P파 검출 알고리즘(P-wave Triggering algorithm) 수행과 최대 지반 가속도(PGA; peak ground acceleration) 및 계기진도(instrumental seismic intensity), 변위(displacement) 산출 등의 실시간 분석이 가능한 고속 프로세서를 선택해야 한다. On-Site EEWS의 실시간 데이터 처리 및 분석을 위해서는 ARM7기반의 CortexM3나 72 DMIPS의 고속 연산처리 능력을 갖는 32bit MCU를 적용하는 것이 필요하다.

이와 같은 H/W 설계 사양 외에 추가적으로 고려할 사항이 있다. 국가 지진관측망을 활용하는 EEWS에서는 일반적으로 P파 검출을 위해 그림 7의 STA/LTA (Short Term Average, Long Term Average)을 사용한다. STA/LTA 알고리즘을 생활지역에 설치 및 운용되는 On-Site EEWS에 적용할 경우 높은 생활배경잡음으로 인한 오검출이 발생할 수 있다. 따라서 P파 검출 성능의 향상을 위해 On-Site EEWS에 적합한 P파 검출 알고리즘의 적용이 필요하다. 최근 STA/LTA를 대체하기 위한 P파 알고리즘 개발이 활발히 진행되고 있으며 다양한 알고리즘이 발표되었다[6, 8].

2.5. 데이터 통신

SDAS와 주 시스템 그리고 주 시스템과 모니터링 시스템과의 원격 데이터 통신은 10/100based-T Ethernet 기반으로 TCP/IP 통신 프로토콜을 통한 실시간 데이터 전송이 가능하도록 설계하며, 물리적 인터페이스는 RJ-45 커넥터와 UTP cable을 사용하는 것이 필요하다. 이처럼 연결지향적 프로토콜을 사용하는 이유는 데이터의 신뢰도나 안정성이 중요한 계측 용도의 On-Site EEWS에서 UDP나 그 밖의 사용자 임의의 프로토콜은 취약하기 때문이다. SDAS의 펌웨어 구현에서는 클라이언트가 서버와 접속한 이후 서버는 접속한 클라이언트를 소켓과 아이피 주소로 구분하여 어떤 클라이언트가 접속을 하였는지 확인한 이후 데이터를 보내도록 하는 것이 필요하다.

2.6. 전원 및 외부시설 제어

시스템의 안정성/신뢰성은 전원의 품질에 기반하므로 전원의 리플/노이즈 최소화하도록 설계하는 것이 필요하다. 데이터 획득 블록의 아날로그부의 전원은 별도의 LDO 레귤레이터를 적용하여 분리 설계하여 시스템의 Noise floor를 최대한 저감시켜 90dB이상의 동적범위 성능을 확보하도록 한다. 또한 각부 사용 전원의 감시/모니터링 기능을 적용하여 전원 이상 유무 시 경보를 발령하여 빠른 조치가 이루어지도록 하는 것이 필요하다. 상용전원 차단 시 시스템 유지를 위한 2차전지 백업(Backup) 기능을 적용하여 전원 복구 시까지 정상 운용 상태를 유지할 수 있도록 설계해야 한다.

외부 시설 제어를 위한 Facility Control부의 구성은 외부기기 제어를 위한 다수의 Relay port로 설계하고 제어 대상에 따라 a, b접점을 선택 적용 가능하도록 설계한다.

III. On-Site EEWS의 성능평가

3.1. 지진방재시스템의 성능 항목

현재 국내의 EEWS를 구성하는 지진 가속도 계측 시스템 및 데이터 저장 시스템(data logger)에 대한 요구성능은 ANSS 및 소방방재청의 연구결과에서 제시되어 있다. EEWS는 지진 관측 및 연구와 더불어 지진조기경보 목적을 동시에 만족해야 하므로 강진 및 미진동 계측

이 동시에 가능하도록 높은 수준의 시스템 성능을 요구하고 있다. 그러나 이러한 고수준의 시스템 성능은 On-Site EEWS의 구축 및 운영 환경을 고려하였을 때 비효율적이다. 따라서 EEWS에서 요구되는 성능 사양을 참고하여 On-Site EEWS 개발 및 성능 평가에 필요한 최소 요구성능 사항을 표 1과 같이 제시한다. 일반적으로 EEWS는 가속도 센서 및 데이터 기록장치가 분리형으로 각각의 요구성능 및 평가가 이루어져야 하지만 On-Site EEWS의 경우 센서 및 기록계 일체형 시스템이므로 요구성능 및 평가방법을 구분하지 않고 함께 제시하였다.

Table. 1 Key specification for EEWS and On-Site EEWS

items	Key specifications	
	EEWS	On-Site EEWS
frequency range	0.02Hz ~ 50Hz	0.5Hz ~ 50Hz
Dynamic range	19bits(recommend)/16bits(minimum)	16bits(recommend)/14bits(minimum)
Channel	3, 6, 9Ch	3Ch
minimum sampling rate	200sps/Ch	≥100sps/Ch
measurement range	+4g	≥+2g
data format	SEED, mini-SEED, SAC, GC, SEGy, GSMS, CD 1.0, CD 1.1	mini-SEED, SAC/user format
maximum time error	Can be calibrated within 1ms	Can be calibrated within 1ms
detection algorithm	STA/LTA, Threshold	self-developed algorithm, Threshold

3.2. On-Site EEWS의 성능 평가 방법 및 평가 환경

3.2.1. 주파수 범위

-3dB를 기준으로 한 최저 주파수와 최고 주파수는 각각 0.5Hz 이하 50Hz 이상이어야 한다. 단 해당 건축물이 10층 이상 또는 주기가 1초 이상일 경우 최저 주파수는 0.02Hz 이하이어야 한다. 성능평가를 위한 필요장비는 가진테이블(excitation table), 데이터 기록장치, 기준 가속도계이다. 평가방법으로 SDAS를 가진 테이블에 장착한 후 0.5 ~ 50Hz까지 5개 이상의 주파수로 가진하여 기준 센서와의 차이를 측정한다. 이때 기준 주파수에서 측정된 감도와 최대편차가 -3dB 이내인지 확인이 필

요하다. 또한 가진(extation) 가능한 범위의 평활화된 주파수 응답 특성을 평가한다.

3.2.2. 동적범위

배경잡음이 매우 낮은 환경에 센서를 장착하고 인공 잡음이 낮은 시간대에 배경잡음을 초당 100샘플로 30분 이상 획득하고 이동평균법 또는 다차원 곡선법 등을 이용하여 자료의 평균을 산출 및 측정치에서의 차를 구하여 DC 성분을 보정한다. 디지털 출력을 갖는 MEMS 가속도계를 적용한 On-Site EEWS의 동적범위 계산을 할 경우 방진 테이블에서 자체 잡음을 30분 이상 기록하여 기록 가능한 최대값과 잡음특성에서 100회/초 자료의 RMS(Root Mean Square)값을 다음의 동적범위 계산식(dB)에 대입하여 계산한다.

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{최대기록가능값}}{\text{배경잡음의 } rms} \right) \quad (1)$$

성능평가를 위해 방진 테이블, 데이터 기록장치가 필요하다.

3.2.3. 채널 수

SDAS는 MEMS 센서 일체형 시스템이므로 3채널(EW, NS, UD)에 대해 자료가 정확히 기록되는지 여부 확인한다. 성능평가를 위해 가진 테이블, 전압교정기, 전압표준기 등의 장비가 필요하다.

3.2.4. 최소 샘플링 속도

SDAS는 MEMS 센서 일체형 시스템이므로 센서 일체형 기록계이므로 기준 가속도 센서 및 데이터 기록장치와 함께 가진기에 장착하고 100회/초와 20회/초를 설정한 후 5분 동안 측정을 행하여 데이터를 취득한다. 취득된 측정데이터로부터 초당 취득된 자료의 개수의 확인과 각각의 샘플링 속도로 획득한 데이터를 비교하여 동일한 영역에서 같은 특성을 나타내는지 비교한다. 성능평가를 위해 기준 가속도계, 데이터 기록장치, 가진 테이블이 필요하다.

3.2.5. 최대 계측 가속도

SDAS에 적용된 MEMS 센서의 데이터시트(data sheet)에서 +2g의 측정범위를 제시하고 있는지 확인한다. 가진 레벨을 점차 높여가며 출력 결과를 확인하고 가진 레벨 2.0g를 전후하여 가진 레벨의 증가에도 출력이 더 이상 증가하지 않는 지점을 찾아 그때의 가진 레벨을 기록

한다. SDAS는 MEMS 센서 일체형 시스템이므로 기록된 데이터의 최대, 최소범위를 함께 확인한다. 성능평가를 위해 가진 테이블, 기준 가속도계, 데이터 기록장치가 필요하다.

3.2.6. 자료 저장 형식

각 성능평가를 위한 데이터를 취득하여 저장할 때 응용 자료구조 형식인 SEED(Standard for the Exchange for Earthquake Data), mini-SEED, SAC 중 하나의 형태로 저장이 가능한지 확인한다.

3.2.7. 최대 시각 오차

UTC(KRIS)와 시험장비의 시각신호의 시간차 측정, 기록된 시각과 UTC(KRIS)와 차이 값이 1ms 이내인지 확인한다. UTC(KRIS)는 한국표준과학연구원(KRIS)에서 유지하는 표준시각으로 $|UTC-UTC(KRIS)| < 30ns$ 로 UTC에 소급된다. 대한민국표준시(KST)는 다음의 식과 같이 UTC(KRIS)에 9h를 더하면 얻어진다.

$$KST = UTC(KRIS) + 9h \quad (2)$$

식 (2)는 장비의 시각신호에 대한 평가로 센서 및 cable 지연시간이 포함되어 있지 않다. 센서 및 cable 지연, 시각신호로부터 기록까지의 회로 등의 지연 시간 등을 포함한 기록 시각의 검증은 위해서는 추가적인 측정 시스템 구축이 필요하다. 성능평가를 위해 UTC(KRIS) 생성 시스템, 시간차 측정시스템, 오실로스코프, 기준 주파수 신호(10MHz) 발생기 등이 필요하다.

3.2.8. 이벤트 검출

Threshold 방법의 0.01g ~ 0.02g 트리거 수준 변경 여부와 자체 개발된 트리거 방법이 적용되었다면 적용한 트리거 알고리즘을 선택할 수 있는지 운영 프로그램에서 확인한다. 운영 프로그램 상의 트리거 셋팅 메뉴에서 트리거 수준을 선택 및 변경이 가능하도록 구성되어 있는지 확인한 후 동작 여부를 확인한다.

IV. 결 론

본 논문은 생활지역의 지진재해를 줄이기 위한 On-Site EEWS의 설계 요구사항과 주요 성능에 대한 평가 항목 및 평가 방법을 제시하였다. On-Site EEWS 설

계에서는 GPS 및 RTC를 이용한 취득 데이터의 시각 동기화와 정밀한 시각 관리, 취득데이터의 실시간 처리 및 분석 시 요구사항, 데이터 포맷 및 관리 방법, 전원 설계 등 설계 방향을 설명하였다. 또한 설계한 시스템의 성능 평가를 위한 평가 항목을 제시하고 각각의 평가 항목의 평가 기준 및 절차, 평가 시험에 필요한 설비를 함께 제시하였다. 본 논문에서 제시한 설계 방향 및 평가 방법은 On-Site EEWS의 국산화 개발 방향과 시스템의 실효성을 확보에 도움이 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] J. Aschau, and A. N. Kupperts, *Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction*, Springer, 2003.
- [2] Y. M. Wu, and H. Kanamori, "Development of an earthquake early warning system using real-time strong motion signals," *International Journal of Sensors*, vol. 8, pp. 1-9, DOI: 10.3390/s8010001, Jan. 2008.
- [3] S. D'Amico, *Earthquake Research And Analysis : New Frontiers In Seismology*, Malta, 2013.
- [4] M. Bose, E. Hauksson, K. Solanki, H. Kanamori, and T. H. Heaton, "Real-time testing of the on-site warning algorithm in Southern California and its performance during the July 29, 2008 Mw 5.4 Chino Hills earthquake," *Letters of Geophysics Research*, vol. 36, L00B03, DOI:10.1029/2008GL036366, 2009.
- [5] M. Picozzi, S. Colombelli, A. Zollo, M. Carranza, and E. Buforn, "A Threshold-Based Earthquake Early-Warning System for Offshore Events in Southern Iberia," *Journal of Pure and Applied. Geophysics*, vol. 172, pp. 2467-2480, DOI:10.1007/s00024-014-1009-2, Dec. 2015.
- [6] S. Colombelli, A. Caruso, A. Zollo, G. Festa, and H. Kanamori, "A P wave-based, on-site method for earthquake early warning," *Letters of Geophysical Research*, vol. 42, pp. 1390-1298, DOI:10.1002/2014GL063002, Feb. 2015.
- [7] H. Zhang, X. Jin, Y. Wei, J. Li, L. Kang, S. Wang, L. Huang, and P. Yu, "An Earthquake Early Warning System in Fujian, China," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 106, no. 2, pp. 755-765, DOI:10.1785/0120150143, Mar. 2016.
- [8] H. Choi, "Automatic Seismic P-Wave Detection Algorithm Using Variations of Impact Momentum," *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 67, no. 7, pp. 884 - 891, DOI:10.5370/KIEE.2018.67.7.884, Jun. 2018.



최 훈(Hun Choi)

1996년 충북대학교 전자공학과 공학사
 2001년 충북대학교 전자공학과 공학석사
 2006년 충북대학교 전자공학과 공학박사
 2006년 ~ 2008년 한국표준과학연구원 Post Doc.
 2008년 ~ 현재 동의대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야 : 적응신호처리, 계측신호처리, 디지털신호처리 응용