

지진가속도 계측 및 지진관측소 구축 타당성 연구

A Feasibility Study for Measuring Seismic Acceleration and Building Seismological Observatory

한상목¹, 우남섭¹, 하지호¹, 김태우¹, 이왕도¹, 김기석², 양재열², 김영주^{1*}
Sang-Mok Han¹, Nam-Sub Woo¹, Ji-Ho Ha¹, Tea Woo Kim¹, Wang-Do Lee¹,
Ki-Seog Kim², Jae-Yeol Yang², Young-Ju Kim^{1*}

〈Abstract〉

Therefore, it was agreed that an earthquake monitoring station should be set up within the site of Handong University by analyzing drilling data and Disaster such as earthquakes is urgently needed to prepare for earthquakes in that people's lives and national development depend on the nation's ability to manage disasters. Many experts say that the Korean Peninsula is also under the influence of earthquakes and is not a safe zone for earthquakes. A seismological observatory will be established in Pohang to monitor ground sensors and study seismic characteristics through the task of "Development of Smart Sensor-based Intelligent Information Platform in Earthquake Region." Therefore, it was agreed to set up a seismological observatory within the site of Handong University by analyzing drilling data and conducting on-site surveys in northern Pohang, which were heavily damaged by liquefaction and earthquakes. In this study, it was decided to make a comprehensive judgment by considering the geological characteristics of the site, whether it can perform functions, and the convenience of construction and maintenance for the final site of the seismological observatory discussed with Handong University. After completing a feasibility review on selecting a site for Handong University, we will establish a seismological observatory and actively utilize it for seismic research using data from alarm issuance and seismic data in the event of a future earthquake.

Keywords : Earthquake, Seismic Acceleration, Seismological Observatory, Liquefaction

1* 정회원, 교신저자, 한국지질자원연구원, 자원개발플랜트 연구실 실장, E-mail: kyjp7272@kigam.re.kr

2 (주)희송지오택

1* Corresponding Author, Head/Principal Researcher, Ph.D KIGAM, E-mail: kyjp7272@kigam.re.kr

2 Heesong Geotek Co.,Ltd.

1. 서론

최근 들어 지구촌 곳곳에서 지진과 쓰나미를 포함한 기후변화에 따른 각종 재해, 재난으로 수많은 사람들이 소중한 생명과 재산을 잃고 고통스러워하고 있다. 국민의 생명과 국가발전이 국가의 재난관리능력에 의해 좌우된다는 점에서 지진에 대한 대비책이 절실하다고 판단되는 시점이다.

특히, 한반도에서는 경주지진(5.8)에 이어 포항지진(5.4), 동해 앞바다지진(4.2), 울진 앞바다지진(3.8) 등 크고 작은 지진 발생으로 지진의 영향권에서 완전히 벗어나 있지 않다는 것이 전문가들의 진단으로, 한반도는 더 이상 지진의 안전지대가 아님이 확실해 졌다고 판단된다.

그러므로 국가 및 지자체 지진방재종합대책이 필요한 시점이며, 한반도 동해안에 밀집한 산업시설을 지진 및 지진해일로 부터 보호할 수 있는 지역 지진 예·경보시스템 구축과 이를 위한 지진가속도 계측기 설치기 필요하다.

지진가속도 계측기는 지진대응체계를 확립하기 위해 지진 등으로 인한 피해 대상 시설물 및 그 주변 자유장의 가속도를 계측해 기록, 저장, 처리하는 장치다. ‘지진재해대책법’ 제6조 및 ‘지진가속도계측기 설치 및 운영기준’에 따라 중앙 행정기관 및 지방 자치단체의 청사, 대학, 댐·저수지 및 교량(현수·사장교)등 주요 시설물에 설치하도록 규정하고 있다.

한편, ‘지진지역의 스마트센서기반 건물안전 지능정보 플랫폼 개발’과제의 일환으로 포항 지역을 대상으로 지반 센서 정보 모니터링과 지진학적 특성 연구를 위해 지진가속도 계측 및 지진관측소가 구축 예정이다.

따라서, 먼저 2017년 지진으로 액상화 현상이 발생하고 피해가 많았던 포항 북구지역을 중심으로 시추자료 분석과 현장조사를 실시하여 한동대

학교 부지 내에 지진관측소를 설치하기로 협의 하였다.

본 연구에서는 한동대학교와 협의한 지진관측소의 최종 부지에 대한 타당성 검토를 위하여 해당 부지의 지질학적 특성, 기능 수행 가능여부, 구축 및 유지관리의 편리성 등을 고려하여 종합적으로 판단하였다.

2. 포항분지 지질구조 특성

전 세계적으로 중규모 이상 지진은 대부분 기존 단층이 재활되어 발생하므로, 포항분지 지질구조와 진앙 인접 지역의 지표 및 지하 지질구조 특성에 관한 정보를 인용하였다[1].

포항지진(2017년 11월 15일)의 진앙은 지리적으로 경상북도 포항시 북구 흥해읍 망천리에 위치하며[2], 지질학적으로 선캄브리아 영남육괴 내에서 확장한 백악기 경상분지의 남동부에 위치한 마이오세 포항분지에 위치한다.

한반도의 기저를 이루고 있는 영남육괴는 편암과 편암복합체 그리고 화강암질암으로 주로 구성되며[3], 이를 부정합으로 피복하는 경상분지 충전물인 경상누층군은 고-태평양판의 섭입과 관련한 배호분지(back-arc basin) 내 육성 퇴적물과 화산호(volcanic arc)에서의 화산활동에 의한 화산쇄설성 물질 그리고 화강암질 관입암으로 구성된다[4-5].

약 17~10 Ma(million years ago) 사이에 퇴적된 포항분지 충전물인 연일층군[6]은 분지 서편 경계단층을 따라 분포하는 선상지삼각주(fan-delta) 역질 퇴적암과 동쪽으로 갈수록 세립화되는 사암과 이암 그리고 약 15 Ma경에 남부에 국지적으로 관입한 알칼리 현무암으로 구분되며[7], 2017년 포항지진의 진앙은 그림 1과 같이 포항분지 북동부

연일층군 사암과 이암의 분포지에 위치한다.

포항분지는 약 25 Ma에서 15 Ma 사이에 일본 열도가 한반도에서부터 분리되면서 동해가 확장될 당시에 한반도 동해안 육상에 가해진 북북서 방향 우수향 전단력에 의한 침강된 분지이다[8].

포항분지의 서쪽 가장자리는 양산단층으로부터 약 2~5 km 동편에 위치한 북동 내지 북북동 방향의 정단층과 북서 방향의 전이단층(transfer fault)이 지그재그 형태로 연결된 단층들로 경계된다[8].

분지 남쪽은 북북서 방향의 우수향 주향이동단층인 연일구조선으로[9] 그리고 동쪽은 북동 내지 북북동 방향의 단층들로 구성된 오천단층계로 경계되며, 오천단층계는 좌수향정이동성 사교단층의 특징을 보이며 남서쪽으로 갈수록 수직 변위가 줄어드는 가위단층(scissor fault)의 기하를 가진다 [10].

특히, 포항지진의 진앙과 인접한 지열발전시설의 동편에 위치한 곡강단층은 북동 방향의 주향을 가지고 남동으로 경사진 정단층의 기하를 가지는 것으로 알려져 있다[11].

3. 지진관측소 구축 타당성 검토

지진관측소 구축을 위한 부지는 구축목적에 맞는 지질학적 특성, 지진관측소로서의 기능 수행 가능여부, 구축 및 유지관리의 편리성 등을 고려하여 선정할 수 있으며, 지진관측소는 배경잡음의 감소와 지반의 증폭특성 파악을 위한 시추공과 지표형 지진 가속도센서를 모두 설치하는 복합 형태로 구축할 예정이다.

3.1 지질학적 검토

2017년 11월 15일 오후 2시 29분경 발생한 포항지진(규모 5.4)은 진앙 분포 분석 결과, 북북동 방향의 단층대를 따라 발생한 것으로 해석 발표하였다.

포항지진의 진앙은 그림 2와 같이 한동대학교

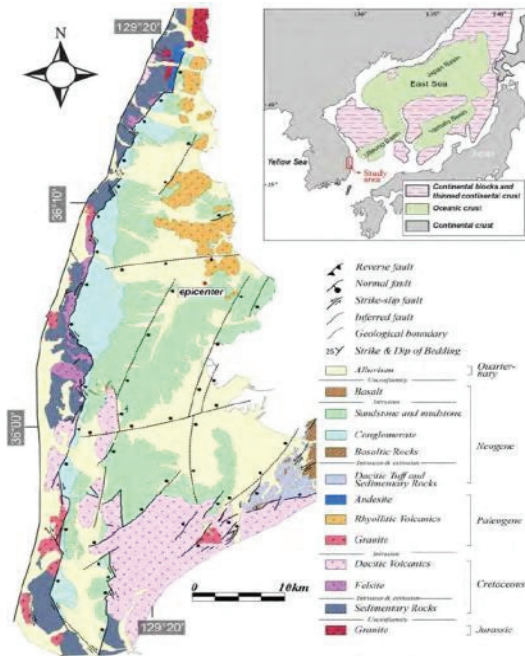


Fig. 1 Geological map of the Pohang Basin with its major bounding and intrabasinal faults[7]

Table 1. Initial Aftershock Analysis(Nov. 16, 2017 at 11:00 a.m.)

• 본진(규모 5.4)의 단층면해는 북동 방향의 역단층으로 분석됨	• 오후 4시 49분 경 발생한 여진(규모 4.3)은 북북동 방향의 역단층성으로 분석됨	• 11월 16일 오전 9시 2분경 발생한 여진(규모 3.6)은 주향이동단층으로 분석됨

와 인접한 곳에 위치하고 있음을 확인할 수 있으며 이 지역의 시추자료 확인 결과 포항분지의 신생대 제3기 퇴적암인 담갈색 및 담회색 내지 황백색 이암과 실트스톤이 분포하며 이 제3기 퇴적암의 기반암은 중생대 백악기 말에 만들어진 응회암들이 그 하부를 구성하고 있다.

코어 시추 조사 결과 지표에서 77.4m까지는 제3기에 만들어진 포항분지에서 전형적으로 산출되는 이암이며 그 아래는 백악기 유천층군의 화산암류인 응회암으로 파악하였다.

제3기 퇴적분지와 기반암의 경계 부근의 이암 내인 시추공 74.4m에서 17cm의 기반암인 응회암 역이 이암 내에 존재하는데 이는 이암의 기반암이 응회암인 것에 대한 증거라고 할 수 있다.

또한 76.1m에서 76.28m 사이에는 이암 내에 산성암맥이 산출되어 이는 제3기 포항분지 내 이암의 퇴적 후에 산성암맥이 이암을 관입한 화성활동이었음을 알 수 있다.

한동대학교 인근의 지질은 제3기 이암이며 이 이암의 기저암(basement)은 응회암으로서 인근의 기저암(basement)과 연결되어 있으므로 그 지역의 지반운동을 대표할 수 있을 것으로 판단하였다.

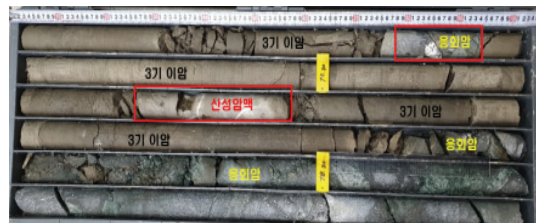
한동대학교 인근은 그림 4에서처럼 동서방향의 흥해단층과 북북동방향의 곡강단층 사이에 위치하고 있으므로 이들 단층과쇄대인 지반의 연약대가 존재하므로 지반에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

즉 지진관측소 구축 예정부지는 2017년 포항지진의 진앙지로부터 인접한 곳이며 주위에 단층들이 발달하고 있으므로 향후 지진학적 특성 연구나 지진발생 시 경보발령을 하기 위한 지진관측소 구축의 최적 위치로 판단할 수 있다.

또한, 흥해읍 및 포항시내는 일부를 제외하고 제3기층이 넓게 분포하고 있어 지질과 관련된 문제가 없어 보이며, 100m 심도의 기반암에 지진가속도 계측시스템을 설치하는 것으로 기반암 확인도 문제가 없을 것으로 판단된다.



Fig. 2 Earthquake Distribution and Expected site (Heunghae-eup, Pohang)



시 추 주 상 도

공 사 명 Project		한동대학교 제2차취굴랜드 내 지질조사		공 번 Hole no	BH - 1		(주)시료분석명칭 기호 ○시추시료(SAMPLE) ○시추시료분석명칭기호(S.P.SAMPLE)											
장 소 Location		경북 포항시 학구 동해읍 한동로 558		지 표 고 Elevation	한지반고		○시추시료분석명칭기호(S.P.SAMPLE) ○시추시료 분석명칭기호(S.P.SAMPLE)											
날 기 Date		2018년 10월 19일		공 경 hole dia	76.2sa		지 차 수 위 GL(-) 3.5m											
시 추 기 Drill		유압회전식		시 추 자 driller	강 목 자		○시추시료 분석명칭기호(S.P.SAMPLE) ○시추시료 분석명칭기호(S.P.SAMPLE)											
심 도 depth m	층 수 stratig- one m	지 질 岩 性	지 층 선 명 Descr ipt ion	시 료 Sample		표 준 관 침 시 료 Standard Penetration Test												
				시 료 번호	채취 방법	N1 치	N 치	blow 치	10	20	30	40	50					
1.			▶대립층 (0.0~6.7m) -부지 조사를 위해 경도한 지층 경도 및 토양 -불안정한 상태 -연약한 전경도 -습한상태의 함수비 -갈색 및 회색	S-1	○	1.5	1.00											
2.				S-2	○	3.0	1.00											
3.				S-3	○	4.5	1.00											
4.				S-4	○	6.0	1206											
5.	0.7	0.7		S-5	○	7.5	90/2											
6.			▶중회암(6.5~9.0m) -기반암의 상부 -포화상태 내지 완전포화 -갈색	S-6	○	9.0	90/7											
7.	8.0	2.3		S-7	○	10.5	90/7											
8.			▶이암 (9.0~12.0m) -정밀한 상태의 기반암 -관입 된 질리 다소 보임 -약한 경도의 강도 -함수율 20% 채수 -담갈색	S-8	○	12.0	90/4											
9.				S-9	○	12.0	90/4											
10.																		
11.																		
12.																		
13.																		
14.																		
15.																		
16.																		
17.																		
18.																		
19.																		
20.																		
21.																		
22.																		
23.																		
24.																		

Fig. 3 Core Drilling and Drill Log Analysis (Heunghae-eup, Pohang)[12]



Fig. 4 Fault Distribution and Handong Univ.

3.2 설치기준에 따른 검토

지진 관측시설 및 관측장비의 설치기준(지진·화산재해대책법 시행령 [시행 2018. 12. 4.] [대통령령 제29325호, 2018. 12. 4., 일부개정] 제4조)의 각 항목에 따른 검토를 수행하였으며 기준은 아래와 같다.

- 1) 관측장비는 배경잡음이 적은 지상의 암반에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 배경잡음이 많은 지역에서는 시추공지진계를 설치할 수 있다.
- 2) 주변에 소음을 발생시키는 공장, 교통량이 많은 도로 등이 위치한 곳은 피해서 설치하여야 한다.
- 3) 설치장소가 관측 대상 시설물의 구역 내부인 경우에는 가능하면 배경잡음이 적은 곳에 관측장비를 설치한다.
- 4) 그 지역의 지반운동을 대표할 수 있는 곳이어야 한다.
- 5) 이웃한 지진관측소로부터 지진·지진해일 및

화산활동 관측기관협의회에서 결정한 이격거리 만큼 떨어진 곳이어야 한다. 다만, 설치장소가 관측 대상 시설물의 구역 내부이거나 특정한 연구 목적 등을 위해 필요한 경우에는 예외로 한다.

- 6) 관측시설의 안전성이 보장되고, 관측장비의 유지·관리를 위한 접근성이 좋은 곳이어야 한다.
- 7) 지진 관측에 영향을 미칠 수 있는 장애물이 적은 곳이어야 한다.

지진관측소에서 감지되는 잡음은 주로 차량의 통행이나 사람의 활동에 의한 것이며 그 중에서도 차량 통행은 관측자료의 품질에 많은 영향을 주게



Fig. 5 Location of Earthquake Observation Post (Handong Univ.)

된다. 한동대학교의 선정 부지의 경우 주요도로까지의 이격거리가 약 700m로서 차량 통행에 의한 잡음은 상당히 감소되어 잡음의 영향이 적을 것으로 판단된다.

또한 사람 활동이 많을 것으로 예상되는 한동대학교 기존 건축물의 최소 이격거리는 약 90m로서 사람으로부터 발생하는 잡음의 영향도 적을 것으로 판단된다.

특히, 시추공 지진가속도센서는 약 100m의 깊이에 설치 예정으로서 차량 통행이나 사람의 활동에 의한 잡음의 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

해당 지진관측소 구축위치는 건물 밀집지역과 150m 이상 이격되어 있으며 지목은 답으로 되어 있는 나대지이다. 지질학적 검토결과에서 언급했듯이 한동대학교 인근의 지질은 제3기 이암이며 이 이암의 기반암은 응회암으로서 인근의 기반암과 연결되어 있으므로 그 지역의 지반운동을 대표할 수 있을 것으로 판단된다.

지진관측소의 시추공 조성 시 필요한 장비의 접근성과 시추수의 유무 및 이수의 처리에 대한 검토 결과 예정 위치가 도로에서 약 7m정도 이격되어 있어 장비의 접근성이 좋았으며 옆에 수로와 저수지가 있어 시추수의 조달과 이수처리에 용이할 것으로 판단하였다.

전기/통신 또한 지진관측소 운영에 필수조건이기 때문에 기존 연결망 사용 가능 여부도 확인하였으며 추후 장비의 정상작동여부판단이나 이상발생시 조치를 위해 방문이 필요할 경우 차량으로 접근할 수 있는 위치에 있기 때문에 유지관리에 매우 용이한 장소로 판단하였다.

3.3 기타 검토

한동대학교는 포항지진의 진앙지로부터 직선거리로 약 4km 떨어진 곳에 위치하고 있어 비교적

큰 피해를 받았다.

따라서 한동대학교 인근에 지진관측소를 구축하여 지진발생 시 경보발령과 지진자료의 데이터를 이용한 지진학적 연구를 수행 할 경우 향후 지진 피해 예방에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

지진관측소의 경우 반영구적으로 운영 될 수 있기 때문에 상기조건을 만족하면서 실제 지진관측소를 구축할 수 있는 부지를 찾는 것은 쉽지 않으나 한동대학교와 사전 협의를 통해 부지제공 및 지진관측소 구축을 위한 행정적 절차를 완료하였다.

참고로 기상청의 경우 지진관측소의 부지를 구하기 어려워 기상청 소유의 자동기상관측소 부지에 많은 지진관측소를 구축하고 있는 실정이다. 하지만, 자동기상관측소의 경우 지반진동 계측과 상관없이 계측기만 설치되어 있기 때문에 주변의 배경잡음을 고려하지 않는 관측소로서 지진관측소 부지로 좋은 조건이 아니라고 할 수 있다.

4. 결론

포항 북구지역의 지진 모니터링을 위하여 한동대학교 부지에 대한 지질, 지진관측소 설치기준 및 기타 사항에 대하여 검토한 결과 지진학적 연구자료 취득과 경보 발령 등에 필요한 지진관측소 구축 부지로서 최적의 위치로 판단하였다.

한동대학교 인근의 지질은 제3기 이암이며 이 이암의 기저암(basement)은 응회암으로서 인근의 기저암(basement)과 연결되어 있으므로 그 지역의 지반운동을 대표할 수 있을 것으로 판단하였다.

한동대학교 인근은 지질학적 검토를 통해 동서방향의 흥해단층과 북북동방향의 곡강단층 사이에 위치하고 있으므로 이들 단층과쇄대인 지반의 연약대가 존재하므로 지반에 영향이 미칠 수 있다고 판단하였다.

한동대학교의 선정 부지는 잡음발생원과 충분히 이격되어 있어 양질의 지진계측자료를 획득 할 수 있을 것으로 판단하였다.

해당 지진관측소 부대시설의 구축 및 전기/통신 연결이 용이하고 운영 중 지진관측소의 방문이 필요한 경우에 차량 등으로 접근이 가능하여 향후 유지관리에도 용이하다고 할 수 있다.

한동대학교는 포항지진의 진앙지로부터 직선거리로 약 4km 떨어진 곳에 위치하고 있어 지진당시 큰 피해를 입었다. 따라서 한동대학교 인근에 지진관측소를 구축하여 향후 지진발생 시 경보발령과 지진자료의 데이터를 이용한 지진학적 연구에 적극 활용할 예정이다.

사 사

본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 2019년 과학기술기반 지역수요맞춤형 R&D지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(CN19100GB001).

참고문헌

- [1] Summary Report of the Korean Government Commission on Relations between the 2017 Pohang Earthquake and EGS Project, The Geological Society of Korea, (2019).
- [2] K. H. Kim, J. H. Ree, Y. Kim, S. Kim, S. Y. Kang,, and W. Seo, "Assessing whether the 2017 MW 5.4 Pohang earthquake in South Korea was an induced event," *Science*, vol. 360, pp. 1007-1009, (2018).
- [3] GSK (The Geological Society of Korea), *Geology of Korea*. pp. 802(in Korean), (1998).
- [4] K. H. Chang, K. Suzuki, S. O. Parka, K. Ishida, and K. Uno, "Recent advances in the Cretaceous stratigraphy of Korea." *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 21, pp. 937-948, (2003).
- [5] S. K. Chough, and Y. K. Sohn, "Tectonic and sedimentary evolution of a Cretaceous continental arc-backarc system in the Korean Peninsula: new view," *Earth-Science Reviews*, vol. 101, pp. 225-249, (2010).
- [6] Y .K. Sohn, and M. Son, "Synrift stratigraphic geometry in a transfer zone coarse-grained delta complex Miocene Pohang Basin, SE Korea," *Sedimentology*, vol. 51, pp. 1387-1408, (2004).
- [7] C. W. Song, "Study for the evolution of the Miocene Pohang Basin by the analysis of the structural characteristics," *Ph. D. thesis*, Pusan National University, pp. 144 (in Korean with English abstract), (2015).
- [8] M. Son, C. W. Song, M. C. Kim, Y. Cheon, H. Cho, and Y. K. Sohn, "Miocene tectonic evolution of the basins and fault systems, SE Korea: dextral, simple shear during the East Sea (Sea of Japan) opening," *Journal of the Geological Society*, vol. 172, pp. 664-680, (2015).
- [9] M. Son, H. Y. Chong, and I. S. Kim, "Geology and geological structures in the vicinities of the southern part of the Yonil Tectonic Line, SE Korea," *Journal of the Geological Society of Korea*, vol. 38, pp. 175-197 (in Korean with English abstract), (2015).
- [10] Y. Cheon, M. Son, C. W. Song, J. S. Kim, and T. K. Sohn, "Geometry and kinematics of the Ocheon Fault System along the boundary between the Miocene Pohang and Janggi basins, SE Korea, and its tectonic implication," *Geosciences Journal*, vol. 16, pp. 253-273, (2012).
- [11] H. S. Yun,, "Emended stratigraphy of the miocene formations in the Pohang Basin, Part II: South of the Hyongsan Fault," *Journal of the Paleontological Society of Korea*, vol. 10, pp. 99-116, (1994).
- [12] Geological Survey Report of Handong University, *DAEHA Geology*, (2018).