

## 진동 지반다짐 공법에 대한 장기간 진동계측 사례

김덕영<sup>1)</sup>, 김선웅<sup>1)\*</sup>

### Vibration monitoring at Vibrating Compaction Works for Ground Improvement

Duk-Young Kim, Sun-Woong Kim

**Abstract** In this case study, a S/W optimized for ground vibration monitoring and analysis was developed. It was applied at vibrating compaction works for the ground improvement needed for the expansion of terminal 5 in Chagi International Airport in Singapore. The possible application of the new vibration analysis software to similar works like pile driving and the capability of long term and real time of the repeated wave vibration at seawalls, the vibration occurring from large structures like super tall buildings, tunnels, long cable hanging bridges, and etc were investigated.

**Key words** Monitoring to long term and real time vibration

**초 록** 본 연구에서는 싱가포르 창이 국제공항 신규 터미널(5번) 확장 지반 보강공사에 적용된 진동다짐공법을 소개하고 이에 따라 발생하는 진동을 장기간 실시간으로 측정하기 위하여 최적의 진동 분석 S/W 개발을 완료하였다. 아울러 이와 유사한 파일항타 작업 진동이나, 방파제 설계를 위한 주기적 반복적으로 발생하는 파도에 의한 진동이나 초고층 건물, 터널, 교량 등 대형구조물에서 발생하는 진동을 장시간에 걸쳐 실시간으로 측정 가능함을 알아보려고 하였다.

**핵심어** 장기간 실시간 진동 측정

## 1. 서론

소음과 진동이 환경에 미치는 영향을 평가할 때 건설 환경 분쟁에 미치는 피해에 적절히 대처하기 위해서는 물론 일회적인 충격파인 발파 진동, 소음이 주변 구조물이나 사람 또는 가축에게 육체적 정신적으로 피해를 주는 영향을 측정 분석하는 것도 필요하지만, 이에 못지않게 파일 항타, 지반다짐 공법에 의한 기계 진동과 지하철 철로 통행 진동이 주변 구조물에 지속적으로 미치는 영향에 대한 분석이 중요하다.

현재 한국에서의 진동소음 측정은 충격성 및 일회성의 진동에 의한 구조물과 인체에 미치는 영향 평가에 치우치는 경향이 있었다.

이에 따라 지속적으로 발생하는 기계진동에 의한 구조물에 미치는 영향을 실시간으로 측정 분석하는 소프트웨어 개발과 평가 방법의 필요성이 대두되고 있고, 이러한 측정과 분석 및 평가를 위하여 소프트웨어 개발과 다각적인 현장 측정을 실시하였다.

## 2. 본론

### 2.1 관련 소프트웨어 개발

지속적으로 발생되고 있는 진동과 소음을 측정하기 위한 사전 필요 충분 조건을 분석하였다.

<sup>1)</sup> (주) 홍림

\* 교신저자 : hl1234@honglim21.com

접수일 : 2015년 6월 3일

심사 완료일 : 2015년 6월 15일

계재 승인일 : 2015년 6월 22일

- 1) 측정 데이터 저장방법
- 2) 분석을 위한 진동 제한 기준치 설정
- 3) 시간대별 주파수 분석(FFT 분석)
- 4) 설정 측정 간격별 최대 피크치와 전 측정기간 동안의 피크치 분석을 위해 일정한 연속 측정 시간대를 설정하고 장기간 설정 시간대에서 측정된 피크치를 표현할 수 있는 진동 발생 양상을 분석하였다.

### 3. 현장 측정 내용

#### 3.1 개요

##### 1) 현장명

창이 국제 공항 확장 신규 지반 개선 조성공사(Land Preparation Work for Chang-I International Airport, Ground Improvement Work in Singapore)

##### 2) 공사개요

싱가폴 창이 국제공항 5번 터미널 신규 확장을 위한 활주로 지반 다짐 공사(길이 6km 폭 1.5km) Vibrating Compaction 공법으로 진동 프로브와 수압

을 이용 지하공간을 확보하고 확보된 공간에 모래를 채움으로 지반을 다지는 공사.

##### 3) 시공사

일본 Penta Ocean 건설과 싱가포르 현지 건설업체인 Koon 건설간 JV 업체인 PKJV.

##### 4) 공사기간

2014. 10 ~ 2017. 10(3년).

##### 5) 특징

기존 인근 창이국제공항 2번 활주로나 3번 공군 활주로나 공사 기간중에도 계속 운영함으로 진동 지반 다짐 공법으로 인해 발생하는 진동이 상기 활주로에 미치는 영향을 분석하기 위하여 매 100m<sup>2</sup> 면적마다 진동기 하나씩 설치하여 최소 200-300개의 진동기를 설치하고 상시 측정을 하여야 하며 안전 기준은 3mm/sec로 하였다. 이때 연속 측정 및 PVS 측정그래프는 Fig. 1에 나타내었으며, 현장 전경은 Fig. 2에 나타내었고, 계측기 비교 측정 모습은 Fig. 3과 같다.

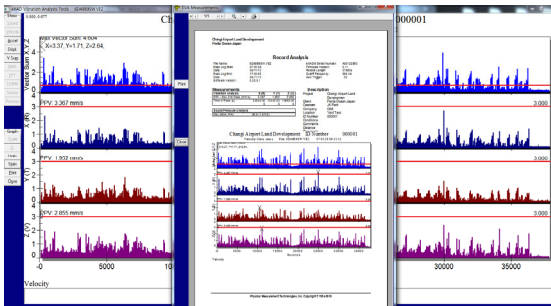


Fig. 1. 연속 측정 및 PVS 측정 그래프.



Fig. 2. 현장 전경.



Fig. 3. Minimete 장비와 HLS-01 비교 측정.

3.2 측정 방법

1) 시험 시공 측정

2015년 2월 17일 싱가포르 현장에서 시험 Vibrating Compaction 시공 시 발생하는 진동을 시험 측정(소음 제외) 하였다.

2) 측정 방법

상기 진동 시험측정을 위하여 compaction 장비 하나에 4개 방향 10m 간격으로 4개씩 총 16개의 진동기를 설치하였고, Minimate II와 함께 측정한 결과 우수성이 입증된 HLS-01 모델이 채택되어 우선 20대로 계측을 실시하였다.

3) 본 시공 측정

주 2회 주간 시공 시 진동 측정 및 측정 데이터 제출

4) 측정 방법

주 2회 진동 다짐 장비 주위 반경 100m 안에 진동기 1대를 설치하고 주간 작업 중 발생하는 전 진동을 측정하고 측정 데이터 제출. 본 시공으로 발생할 수 있는 인근 활주로나 공항 시설물에 대한 피해에 대한

원인을 시공사가 규명해야하는 책임이 있다.

4. 측정 결과 및 분석

4.1 시험 시공 구간 측정

시공 장비로부터 약 30m 떨어진 곳에서 발생하는 진동의 정도 PVS 3.0mm/sec를 넘지 않는 것을 확인 하였다.

4.2 본 시공 구간 측정

시공장비 반경 100m 범위내에 활주로나 공항 구조물이 있는 A구간의 경우와, 이미 완공된 인접 시공 구간이 있는 B구간의 경우, 그리고 완공된 시공 구간이 없는 C구간으로 구분하여 진동기의 위치를 달리하여 측정하고 안전 기준인 3.0mm가 넘는지 확인하였다.

4.3 기존 측정하였던 장기 연속 진동 계측 현황

Table 1 외 다수와 같이 진동에 따른 구조물 피해에 민감한 공사현장에는, 발파와 같은 순간 진동 계측뿐만 아니라 장비가동 진동과 같은 지속적인 진동도 연속 진동계측을 실시하여야 한다.



Fig. 4. 현장 측정 및 교육 모습.

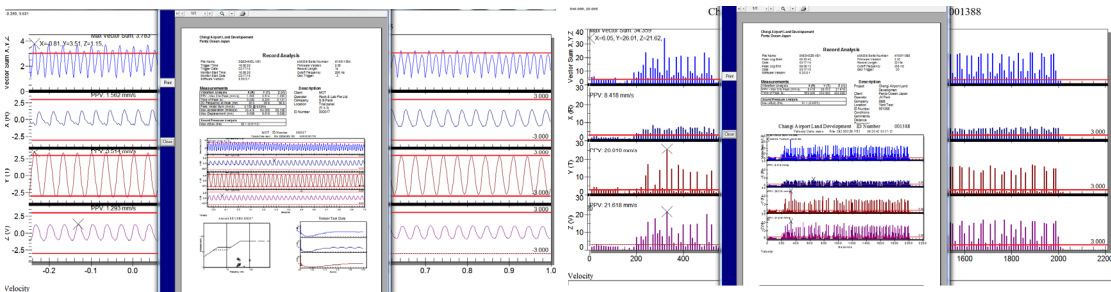


Fig. 5. 연속 측정 및 PVS 측정 그래프.

**Table 1.** 장기 계측 현장

일시	현장명	시공사
2009년 4월	충남 아산시 온천천 복개하천 생태보전사업현장	아인건설
2011년 9월	독도 서도 주민숙소 파압진동 모니터링	한국지질자원연구원
2013년	지하 매설 대구경 수로 주변을 지나가는 우이~신설 도시철도 민간투자 3공구	고려개발 시공
2012년 3월	남양주시 화도체육문화센터 건립공사	대저건설 시공
2013년 3월	울산~포항 복선전철 제 6공구	금호건설 시공
2014년	신분당선과 중첩이 되는 수서·평택 간 대심도 GTX 2공구 판교역 부근	두산건설 시공
2014년	부산 KTX 지상 선로와 중첩되는 GTX 평택 9공구	GS 건설

### 5. 결론

본 싱가포르 창이 국제 공항 확장 신규 지반 개선 조성 공사장의 계측 결과와 다른 현장의 장기 실시간 계측 결과와 비교할 때, 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

상기와 같은 장기 실시간 계측에 맞는 H/W, S/W 개발이 이루어져야 하고 적정 진동 안전 기준(mm/sec) 과 발생하는 진동의 시간대별 추세 분석 등 해석 기법 등이 연구되어야 한다.

상기와 같은 장기 실시간 계측을 위한 측정 기술 개발로 지하철 및 MTR 공사 발주가 한창인 홍콩, 싱가포르, 말레이시아, 태국 등 동남아 건설시장으로의 진출을 꾀하고 계측기기 및 계측기법의 글로벌화를 도모해야 할 것이다.

상기 해외 현장의 예에서 보듯이, 구조물 손상이나 피해에 미치는 지반 진동 측정을 위해서는 안전기준을 최대 입자속도(PPV)나 삼축의 벡터합(PVS)으로 측정하여야 하며, USBM RI-8507에 따라 입자 속도를 직접 측정하여야 하며, 주파수 대역별 PPV를 채택하여야 한다. 그럼에도 불구하고 진동의 주파수 대역별

고려없이, 가속도 센서인 진동레벨로(VL) 측정하여, PPV로 예측하거나 환산하면 안 되고, 이도 반드시 국가 공인 기관으로부터 교정을 받은 정확한 속도(mm/sec) 센서로 직접 입자속도를 측정하여야 한다.

### 참고문헌

1. 싱가포르 창이 공항 확장 지반 다짐 공사 Specification 12\_14\_1222.
2. 싱가포르 창이 공항 확장 지반 다짐 공사 Specification 22\_14\_1222.
3. 유창하, 최병희 2012, 지반진동 규제기준에서 진동레벨과 진동 속도의 상호 관계에 대한 고찰, pp. 1-8.
4. 강추원, 노영배, 송하림, 2011, 진동레벨과 진동속도의 상관성에 관한 비교 연구, 화약발파, 제29권 제2호, pp. 43-50.
5. 최형빈, 2012 발파환경 진동레벨 기준척도의 시공단계 적용사례연구. pp. 87-103.



**김 덕 영**  
(주)홍림

Tel: 02-784-4233



**김 선 웅**  
(주)홍림

Tel: 02-784-4233  
E-mail: hl4233@naver.com