

소일-시멘트 시공 시 인접 석축 성벽 문화재에 발생한 진동 및 변위 평가

Evaluation of Vibrations and Displacements of an Old Masonry Wall Induced by Soil-Cement Construction

김영석¹⁾, Young Seok Kim, 주진현²⁾, Jinhyun Choo, 조용상³⁾, Yong Sang Cho

¹⁾ 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical and Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology

²⁾ 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical and Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology

³⁾ 삼성건설 TA팀 과장, Manager, TA Team, Samsung Construction and Technology

SYNOPSIS : Foundation systems in urban sites are often necessary to be constructed with little vibrations and displacements to surroundings. In order to assess applicability of a new foundation system for urban sites based on soil-cement mixing technique, vibrations and displacements induced by soil-cement construction process is evaluated. Soil-cement columns were constructed to reinforce soft ground near an old masonry wall in an urban redevelopment site, and the vibrations and displacements of the old masonry wall during construction were measured. Results indicate that the vibrations and displacements induced by soil-cement construction were little and not critical to the stability of the masonry wall.

Keywords : Soil-cement, Vibration, Masonry wall

1. 서론

도심지에는 구조물과 인구가 밀집하여 있기 때문에, 도심지 공사에서는 기초 공법 선정 시 기초의 역학적 특성보다도 시공 시 발생하는 진동 및 소음, 그리고 인접 구조물에 대한 변위 발생량 등 시공 과정이 주변 환경에 미치는 영향을 고려하여 공법을 결정하는 경우가 점차 증가하고 있다. 본 연구에서는 소일-시멘트 교반 공법을 도심지 공사용 기초 공법으로 적용하는 방안을 평가하기 위하여, 기초 시공 시 진동 및 변위 발생이 극히 작아야 하는 서울시 재개발 현장 내 석축 성벽 문화재 인근 지반 기초 지반에 소일-시멘트를 시공하면서 발생한 진동 및 석축 성벽의 변위를 측정하고 분석하였다.

2. 현장 및 시공 정보

2.1 현장 개요

본 연구에서 소일-시멘트를 시공한 국내 현장은 서울 시내에서 수행된 재개발 사업 현장이다. 재개발 전 기존 구조물 철거 시 이전에 강제 매립된 석축 성벽이 우연히 발견되어 중요한 문화재로 지정되었으며, 그 결과 시공 과정에 의해 성벽에 발생하는 영향이 극히 미소하도록 관리하는 사항이 매우 중요하게 되었다. 따라서 본래 시공 계획이었던 구조물 중 발견된 성벽과 인접한 위치에 있는 구조물들은 시공 시 성벽에 발생 가능한 변위를 최소화하는 공법을 선정해야 했다.

2.2 현장 정보

지반조사 결과에 따르면 현장에서 옹벽이 시공되는 위치의 지반은 시추 주상도에 따르면 매립층-퇴적층-풍화토-풍화암의 층상 구조를 갖고 있다. 토사층은 지표면 아래 13 m 까지 매립층-퇴적층-풍화토 순으로 두껍게 분포하고 있으며, 표준관입시험 결과 N값의 범위가 6/30 - 19/30 으로 나타나 매우 느슨 (very loose) 내지 보통 조밀 (medium dense)한 지반으로 분류되는 다소 연약한 지반이다.

옹벽을 시공하기로 예정된 구역은 하부 지반 조건이 양호하지 못하여 상부 7.8 m 를 굴착하고 PHC 말뚝을 시공하는 것으로 계획되었다. 그러나 그림 1과 같이 현장의 수문 옹벽의 위치는 발견된 중요 문화재인 서울성곽과 매우 근접하여 PHC 말뚝 시공 시 성벽에 과다 변위 발생 가능성이 우려되었다. 석축 성벽은 그림 2와 같이 느슨하게 존재하기 때문에 옹벽의 기초 공법을 잘못 선정할 경우 시공 시 발생하는 진동에 의하여 과다한 변위가 발생하여 안정성 문제가 발생할 수 있다.



그림 1. 재개발 현장에서 발견된 석축 성벽 위치



그림 2. 석축 성벽 사진

2.3 시공 정보

소일-시멘트 교반 공법에 의한 지반 보강은 옹벽이 건설될 위치 하부 지반에 그림 3과 같이 총 194개

의 소일-시멘트 컬럼을 시공하여 수행되었다. 당초 계획은 총 285개의 소일-시멘트 컬럼을 시공하는 것이었으나, 천공이 불가능한 91공이 있어 최종적으로 194개를 시공하였다. 시공은 총 9일 동안 진행하였다. 장비 시공 시 깊이, 속도, 토크, 유량 등을 측정할 데이터 분석 결과 시공 완료 후 소일-시멘트 컬럼의 평균 길이는 2.81 m, 최대 길이는 3.5 m, 최소 길이는 1.0 m 로 나타났다.



그림 3. 소일-시멘트 컬럼 시공 평면도

3. 소일-시멘트 시공 시 진동 측정 결과

현장에 소일-시멘트 컬럼 시공 시 발생하는 진동이 석축 성벽에 미치는 영향을 파악하기 위하여 성벽 기초부에 진동 측정 센서를 설치하였다. 시공 시 이격 거리를 0.5 - 1.0 m 간격으로 달리하며 2.0 - 10.0 m 까지 진동 수준을 측정하였으며(최소 거리 2.0 m 는 현장 여건 상 성벽 구조물에서 측정할 수 있는 최단 거리), 소일-시멘트 컬럼 시공 시 발생하는 진동과 시공을 위한 천공과는 무관하게 장비 자체에 의한 진동을 이격 거리 3.0 m 에서 측정하였다. 측정은 천공이 장시간 실시되는 것을 감안하여 진동 측정 장비 Blastmate III의 측정 방식 중에 하나인 Strip Chart로 5 - 15초 간격으로 발생하는 최대입자 속도를 측정하였다.

진동 측정 결과를 표 1에 정리하였다. 측정 결과 2.0 - 3.0 m 근거리의 경우 시공에 의한 영향에 의하여 0.0622 - 0.0976 cm/sec의 미세한 진동수준이 감지되었으며, 3.5m 이상 이격되었을 경우 0.0311 - 0.0475 cm/sec의 미세한 수준이 감지되었다. 또한 3.0 m 이격된 지점에서의 장비 가동에 의한 자체 진동은 0.0220 mm/sec 으로 나타나, 3.5 m 이상 이격된 지점에서는 소일-시멘트 시공에 의한 진동 수준은 거의 없는 것으로 판단된다.

표 1 소일-시멘트 시공에 의한 진동 측정치

이격거리	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
진동속도 (cm/sec)	0.090	0.098	0.062	0.031	0.038	0.031	0.031	0.031	0.038	0.031	0.048

표 2는 국내 건설현장에 일반적으로 많이 적용되고 있는 진동 관리기준들에서 가장 엄격한 기준이 적용되는 구조물에 대한 기준을 정리한 것이다. 여러 관리기준에 근거하여 석축 성벽에 발생한 진동이 0.2 cm/sec 이하일 경우 문화재가 진동으로부터 큰 영향을 받지 않았다고 판단할 수 있다. 현장에서 소일-시멘트 컬럼 시공 시 발생한 진동 속도 측정 결과와 진동 허용치를 그림 4에 같이 나타내었다. 이격 거리에 따라 석축 성벽에서 측정된 진동 속도와 장비 자체에서 발생한 진동 속도를 문화재에 대한 진동 기준과 비교한 결과, 소일-시멘트 시공 시 발생한 진동은 2.0 m 정도의 근접한 거리에서도 0.2 cm/sec의 약 절반밖에 되지 않는 것으로 나타나 석축 성벽의 안정성에는 진동에 의한 영향이 없었다고 판단된다. 또한 거리가 3.5 m 이상 되는 지역부터는 측정된 진동 속도가 시공 기계 자체에서 발생한 진동과 유사할 정도로 작게 나타나, 소일-시멘트 시공 과정에서 발생하는 진동은 미미하였다고 판단된다.

표 2. 건설 공사 시 국내의 진동 허용 기준치

관리기준 출처	적용 대상	진동 허용 기준치 (cm/sec)
토지개발공사	유적이거나 고적 등 문화재	0.2
서울, 부산 지하철 건설 시 기준	문화재, 정밀기기 시설물 주변	0.2
터널표준 시방서 (국토해양부, 1999)	진동 예민 구조물	0.2 - 0.3

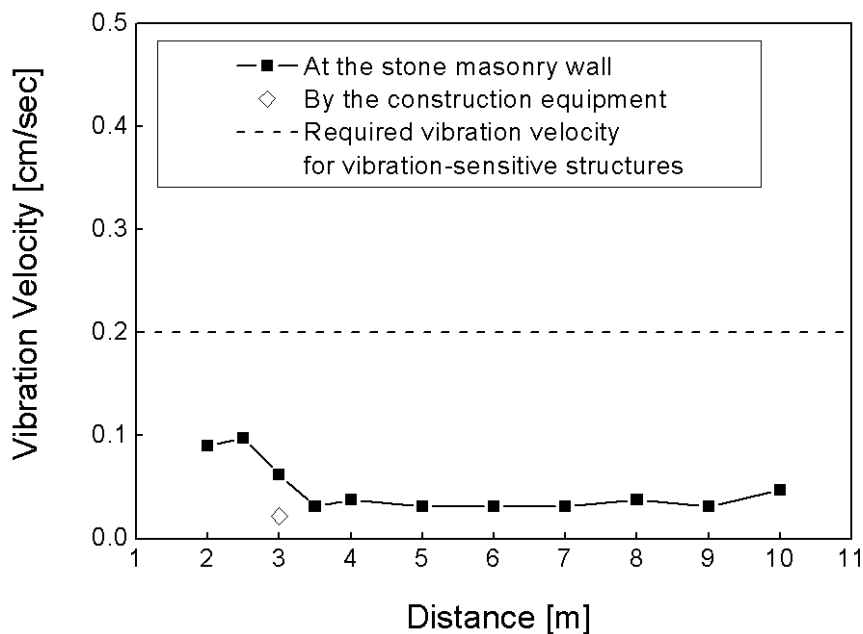


그림 4. 성벽에 발생한 진동 측정 결과와 문화재 기준치 비교

4. 소일-시멘트 시공 시 성벽에 발생한 변위 측정 결과

소일-시멘트 컬럼 시공 전, 석축 성벽에 표식을 설치하고 시공 중 시간에 따라 사진을 촬영한 후 표식의 변위를 분석하는 사진 계측 시스템(V-Stars System)으로 성벽의 변위를 측정하였다. 변위 계측 시 그림 5와 같이 성벽을 3 구역으로 나누고 여러 지점에 표식을 설치하여 측정하였으며, 각 구역에 대한 설명 및 측정 수를 표 3에 요약하였다. 소일-시멘트 컬럼은 R구역과 바로 인접한 위치에서 시공하였다.

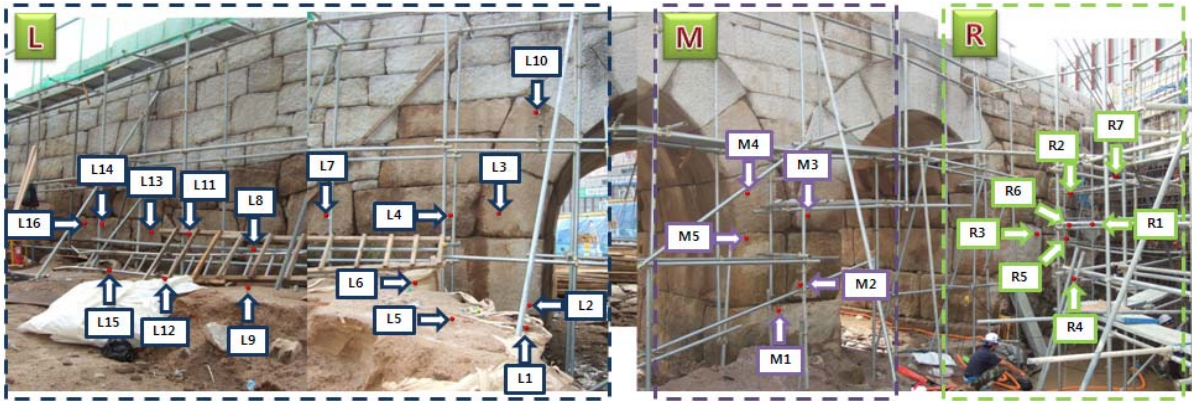


그림 5. 사진 계측을 통한 석축 성벽에서의 변위 측정 위치

표 3. 변위 측정을 위한 석축 성벽 구역 분할 정보

구역명	측점 수	구역 정보
R구역	7개	소일-시멘트 컬럼 시공 위치
M구역	5개	소일-시멘트 컬럼 시공 예상 영향권
L구역	L1 - L10	소일-시멘트 컬럼 시공 예상 영향권
	L11 - L16	소일-시멘트 컬럼 시공 예상 비영향권

그림 6은 각 구역에서의 1 - 5번 측정점으로부터 측정한 초기치 대비 상대변위 변화량의 최대값을 나타낸 그래프로, 양수값은 변위의 증가를 나타내며 음수값은 감소를 나타낸다. 그리고 각 지점 별로 상대변위의 변화 경향을 요약하여 표 4에 나타내었다.

성벽에 발생한 변위 측정 결과, 소일-시멘트 컬럼 시공 위치인 R구역에서는 시공에 따른 영향이 나타났고, 예상 영향권이었던 M구역에서는 보다 작은 영향이 나타났다. 그러나 시공에 의해 측정된 변위량은 최대 2.5 mm로, 이 정도 변위는 성벽 구조물의 안정성에 영향을 미칠 수준은 아닌 것으로 판단된다. 그리고 시공 예상 영향권 밖에 있는 L구역에서 석축 축조에 의한 상재하중으로 발생한 변위의 최대값이 3.5 mm로 나타난 사실을 고려하면 소일-시멘트 컬럼 시공에 의한 2.5 mm 미만 변위는 미소한 변위로 판단된다.

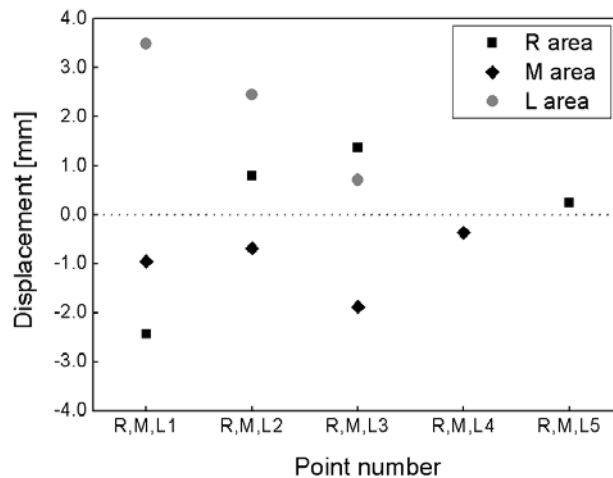


그림 6. 사진 계측으로 측정한 각 구역 측정점 1-5번의 초기치 대비 상대변위 변화량 최대값

표 4. 소일-시멘트 시공 중 석축 성벽의 구간 별 상대길이 변화

R구역		M구역		L구역	
구간	상대길이	구간	상대길이	구간	상대길이
R1 → R2	감소	M1 → M2	증가	L1 → L2	증가
R1 → R3	감소	M1 → M3	감소	L1 → L3	증가
R1 → R5	감소	M1 → M4	감소	L1 → L4	증가
R1 → R6	감소	M1 → M5	감소	L1 → L7	증가
R2 → R3	증가	M2 → M3	감소	L1 → L10	증가
R2 → R5	증가	M2 → M4	감소	L2 → L3	증가
R2 → R6	감소	M2 → M5	감소	L2 → L4	증가
R3 → R5	증가	M3 → M4	감소	L2 → L7	증가
R3 → R6	증가	M3 → M5	감소	L2 → L10	증가
R5 → R6	증가	M4 → M5	증가	L3 → L4	증가
R구역: 가시결과 인접한 구역으로 급격한 변위는 아니지만 소일-시멘트 컷팅 시공에 따른 영향이 나타남 M구역: 대부분 상대길이 감소 M3→M4, M3→M5 구간 외에는 모두 1mm 이하 L구역: 대부분 상대길이 증가 석축 축조에 의한 상재하중 영향으로 판단됨				L3 → L7	증가
				L3 → L10	증가
				L4 → L7	감소
				L4 → L10	증가
				L7 → L10	감소

5. 결론

본 연구에서는 기초 시공 시 진동 및 변위 발생이 극히 작아야 하는 서울시 재개발 현장 내 석축 성벽 문화재 인근 지반 기초 지반에 소일-시멘트를 시공하면서 발생한 진동 및 석축 성벽의 변위를 측정하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소일-시멘트 시공 시 측정된 진동을 국내의 기준과 비교한 결과, 시공 시 발생한 진동 속도는 2 m 정도의 근접한 거리에서도 가장 엄격한 기준인 0.2 cm/sec의 약 절반밖에 되지 않아 석축 성벽의 안정성에는 진동에 의한 영향이 없었다고 판단된다. 그리고 거리가 3.5 m 이상 되는 지역부터는 측정된 진동 속도는 기계 자체에서 발생한 진동과 유사하여 소일-시멘트 시공 과정에서 발생하는 진동은 미미하였다고 판단된다.

(2) 성벽에 발생한 변위 측정 결과, 소일-시멘트 시공 위치와 가장 근접한 구역에서는 시공에 따른 영향이 최대 2.5 mm로 나타나 성벽 구조물의 안정성에 영향을 미칠 수준은 아닌 것으로 판단된다. 그리고 소일-시멘트 시공의 영향권 밖 구역에서 석축 축조에 의한 상재하중으로 발생한 변위의 최대값이 3.5 mm로 나타난 사실을 고려하면 소일-시멘트 시공에 의한 2.5 mm 미만 변위는 미소한 변위로 판단된다.

감사의 글

본 연구에서 진동 및 변위 계측을 수행하는데 도움을 주신 (주)바이텍코리아에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

국토해양부 (2009), 터널 표준 시방서