

콘크리트 양생을 위한 열차진동 평가사례

An Evaluation of Train-Induced Vibrations for Curing Concrete in Construction Site



김 태 호*
Kim, Tae-Ho



김 옥 종**
Kim, Ook-Jong



김 효 락***
Kim, Hyo-Rak

1. 서론

일반적으로 역사(驛舍) 구조물에서 열차운행에 의한 진동에 관한 연구나 기술적인 검토는 주로 시공 후 구조물의 손상가능성 또는 역사 사용자에게 불편감을 줄 수 있는지를 판단하는 사용성 평가를 위주로 이루어져 왔다. 그러나 최근 국내에 고속열차(KTX)의 개통이후로 기존 역사 구조물에 대한 증축공사가 많이 이루어지고 있고 사용 중인 역사구조물에 증축공사가 이루어질 경우에는 열차진동에 의하여 콘크리트 양생 중 구조물의 시공품질이 저하될 수 있는 것으로 알려져 있다.

즉, 초결 전의 콘크리트에 진동을 가하면 공극이 감소되어 단위 용적중량, 강도, 내구성, 수밀성 등이 개선되거나 응결이 시작된 콘크리트에 진동이 발생되면 콘크리트의 균열 및 강도, 수밀성에 악영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되어 많은 연구자들이 이에

관한 연구를 수행하여왔다.

본 기사에서는 교통진동에 대한 각종 연구문헌 및 기준에 대하여 알아보고 증축공사중인 역사구조물 현장에서 열차운행에 따라 발생하는 진동이 양생 중인 콘크리트 슬래브에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 관련 기준 및 문헌

국내에는 기준이 불명확하지만 해외 여러 기준들은 양생 중 콘크리트의 진동수준을 규정하고 있다. 다음은 조사된 관련 기준 및 연구문헌들의 양생 중 허용 진동수준이다.

먼저 ACI 345.2R(1992)에서는 교통진동에 의한 구조물의 손상은 극히 드물며 해당 수준의 진동으로 인하여 양생시 거푸집과 콘크리트의 거동차에 의한 피해가 발생하는 일은 드문 경우라고 밝히고 있다. NCHRP Report 86(1991)에서도 잘 배합된 콘크리트는 초기 강도발현시 작은 크기의 낮은 진동수 성분의 진동에 대하여 매우 잘 견디며 양생시 거푸집과

* 정회원·대림산업(주) 기술개발원 선임연구원

** 대림산업(주) 기술개발원 수석연구원

*** 대림산업(주) 기술개발원 팀장

콘크리트의 거동차에 의한 피해가 발생하지 않는 것으로 기술하고 있다. 반면 북아일랜드의 도로국(2000)은 타설 후 24시간 이내에는 최대입자속도(Peak Particle Velocity, 이하 PPV) 5mm/s 이내로 제한할 것과 배합상태를 양호하게 하며 낮은 슬럼프치를 적용할 것, 갈고리 철근을 사용하지 말 것 등을 요구하고 있다. 이와 유사하게 사람은 0.5mm/s의 진동을 느낄 수 있지만 구조물의 피해는 50mm/s에 이를 때에도 일반적으로 발생하지 않는다고 Minnesota 교통국(2005)에서는 밝히며 다음의 양생시간에 따른 <표 1>을 기준으로 제시하고 있다.

<표 1> Minnesota 교통국의 양생진동 기준

Concrete age (시간)	Vibration limit (PPV)
0~3시간	N/A
3~12시간	25 mm/s
12~24시간	38 mm/s
24~48시간	63 mm/s
48시간 이상	100 mm/s

Florida 교통국(2003)의 경우에는 PPV를 50mm/s로 제한하고 있는 등 기관마다 기준에 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 연구문헌들을 조사했을 때에도 유사하게 나타났다. Sheikhezadeh & Schettler는 콘크리트의 최소 압축강도를 기준으로 양생진동수준을 <표 2>와 같이 제시하였고 Hulshizer와 Desai(1984)는 양생시간에 따른 진동속도 제한값을 <표 3>과 같이 제시하였다.

이 외에도 Bastian(1970)은 콘크리트 양생중에 진동을 받아도 큰 문제가 없다고 밝히고 있으며 steves(1978)는 PPV 150mm/s(타설 후 10~20시간 사이)에서 균열발생하는 것으로 보고하고 있다. 국내에서도 이와 관련된 연구가 수행된 바 있으며 대한주택공사(1990)에서 타설 후 4시간 전후의 진동은 콘크리트 강도를 떨어뜨릴 수 있으나 진동의 크기는 별다른 영향이 없다고 하지만 임한욱 등(1994)은

30Hz 미만 진동수 성분 80%이상으로 가진한 경우 6시간 전후에서 강도감소에 민감하다고 보고하였다.

<표 2> Sheikhezadeh 외 1의 양생진동수준

최소 압축강도	PPV
1000Psi (70kgf/cm ²)	2.54 mm/s
~1400Psi (100kgf/cm ²)	25.4 mm/s
~2000Psi (140kgf/cm ²)	50.8 mm/s

<표 3> Hulshizer와 Desai의 양생진동수준

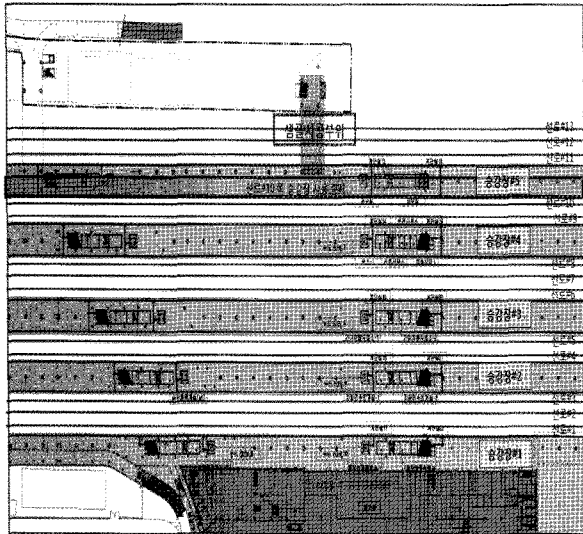
Concrete age	Vibration limit (PPV)
0~3시간	10 mm/s
3~11시간	38 mm/s
11~24시간	50 mm/s
24~48시간	100 mm/s
48시간 이상	175 mm/s

앞서 조사한 바와 같이 양생중 진동의 영향에 대하여 통일된 의견은 없는 것으로 파악되며 작은 수준의 낮은 대역의 진동에 대해서는 콘크리트의 품질에 큰 영향이 없을 것임을 예상할 수 있다. 다만 보수적으로 기술된 몇몇 사례에서 초결 발생 후로 예상되는 3~6시간 전후에 대하여 2.54mm/s 이하로 관리할 것을 요구하는 것으로 파악되어 이를 현장관리 지침으로 하여 검토를 수행하였다.

3. 대상 건축물 개요 및 현황

본 증축공사 대상인 B 현장은 지상 5층 규모의 철골조 모멘트 저항골조 건축물로서 최장경간이 22.5m에 이르는 장경간 구조물이다. 검토당시 현장상황은 다음 <그림 1>과 같이 3층 바닥에 Half PC 슬래브를 시공 중이었다.

〈그림 5〉과 같은 부산역사 플랫폼 내 신설 기초부에서 계측하였으며 계측응답은 〈그림 6〉에 나타내었다.

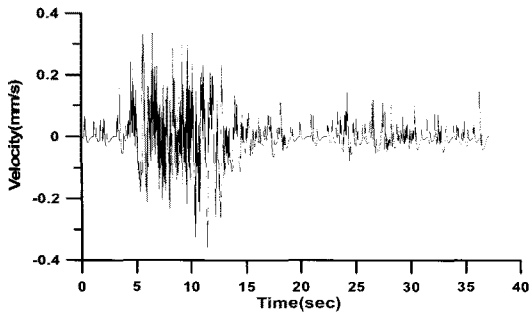


〈그림 5〉 B역 착발선 현황

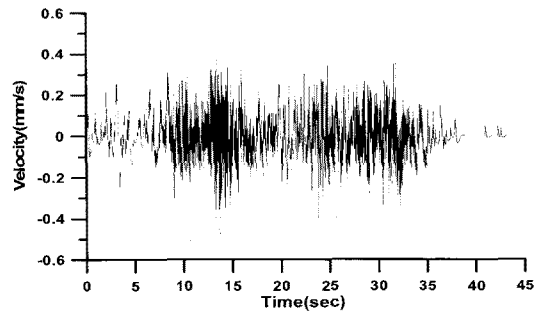
계측결과를 살펴보면 작업진동이 없는 경우는 1mm/s 미만으로 나타나고 있으며 계측지 인근의 파일 항타작업 진동을 포함할 경우에도 최대 진동속도가 2mm/s를 넘지 않는 것으로 파악되었다. 이를 바탕으로 볼 때 열차의 출발/도착에 따른 저속 운행의 영향으로 큰 진동원을 발생시키지는 않는 것으로 나타났다.

4.2 3층 바닥

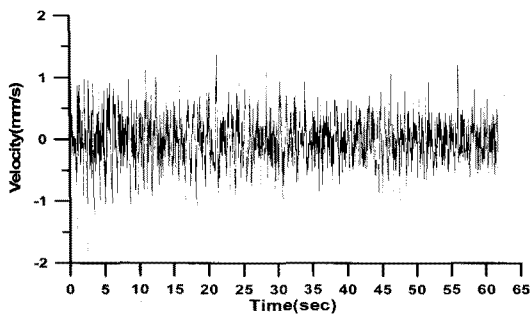
3층 바닥의 진동계측시점은 하부 기초공사가 종료되어 항타에 따른 진동은 발생하지 않고 있으며 바닥에 Half PC 슬래브가 〈그림 7〉과 같이 적용된 상태였다. 바닥슬래브에 발생하는 주요 진동원은 모니터 링 결과 열차 운행 및 해당 층의 작업자 이동인 것으로 파악되어 두 상황에 대하여 각각 진동계측을 실시하였다.



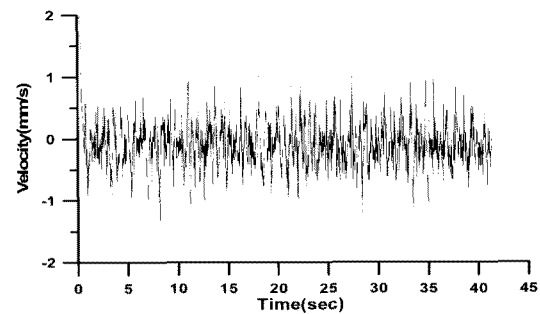
(a) KTX 도착



(b) KTX 출발

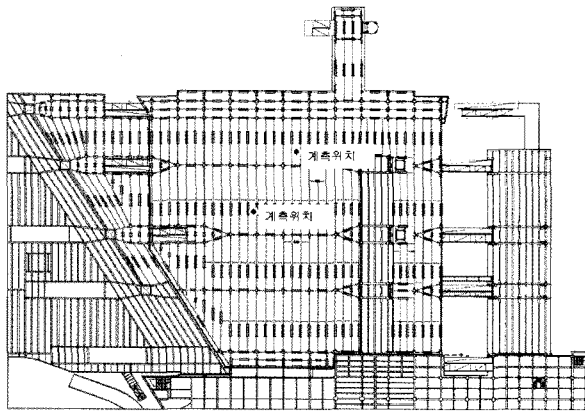


(c) KTX 도착 + 작업진동



(d) KTX 출발 + 작업진동

〈그림 6〉 열차 출발/도착시 증축부 기초 진동 속도응답 시간이력

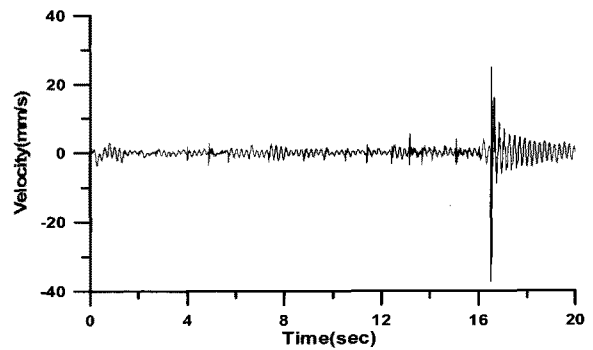


〈그림 7〉 3층 바닥 구조 평면도(계측위치)

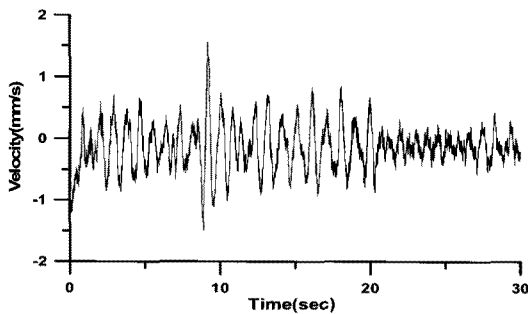
먼저 열차진동에 대한 것을 살펴보면 KTX 및 새마을/무궁화호 운행시 계측된 속도응답이며 열차의 종류에 상관없이 최대속도가 2mm/s를 넘지 않는 것을 〈그림 8〉에서 볼 수 있다. 기초부 계측응답을 기준으로 볼 때 상부 건물에 진동이 증폭되는 현상은 있으나 가장 보수적인 평가기준 값인 2.54mm/s를 넘지 않는 것으로 볼 때 열차 운행에 따라 발생하는 진동에 의하여 콘크리트 양생 중 품질저하 현상은

나타나지 않을 것으로 예상된다.

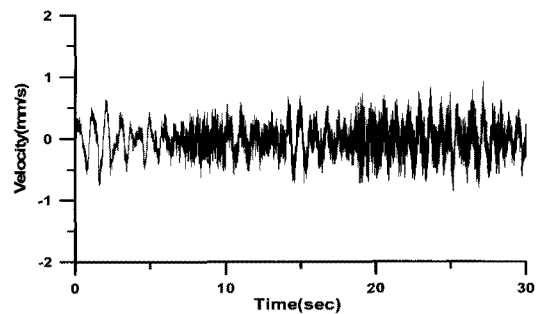
작업자의 이동에 의한 영향은 〈그림 9〉에 나타내었으며 16초까지는 보행에 의한 속도응답이며 16초 이후는 충격에 의한 속도응답이다. 이 결과를 살펴보면 3층 바닥 슬래브에서 보행 및 충격을 가한 경우가 열차에 의한 진동보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 보행시 계측된 최대속도응답은 5mm/s가 넘었으며 충격시에는 40mm/s에 근접한 속도응답이 발생하는 것을 알 수 있다.



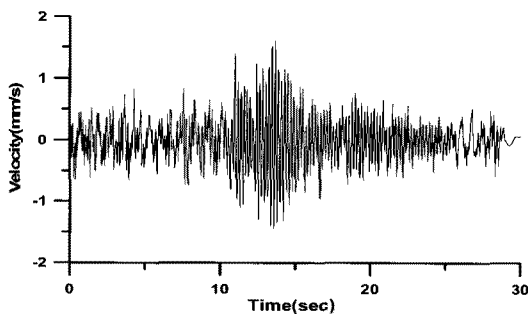
〈그림 9〉 3층 바닥 보행 및 충격시 속도응답 시간이력



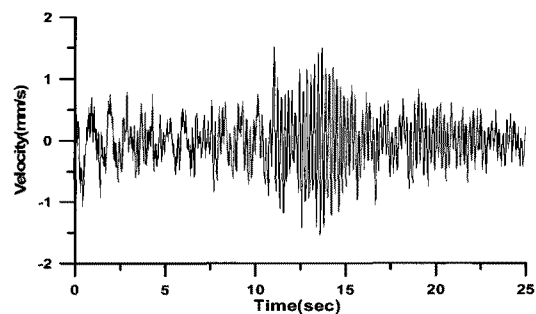
(a) KTX 도착(철골보 상부)



(b) KTX 도착(슬래브 상부: 18m 스패ن간)



(c) KTX 도착(슬래브 상부: 21m 스패ن간)



(d) 무궁화/새마을 도착

〈그림 8〉 열차 출발/도착시 증축부 3층 바닥진동 속도응답 시간이력

5. 결론

B역사 증축건물 하부의 열차운행 및 작업자 보행에 의하여 발생하는 진동이 콘크리트 양생에 미치는 영향을 검토하기 위하여 각종 기준 및 연구문헌을 조사하고 해당현장에 진동계측을 수행·분석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 양생중 진동의 영향에 대하여 통일된 의견은 없는 것으로 파악되며 작은 수준의 낮은 대역의 진동에 대해서는 콘크리트의 품질에 큰 영향이 없을 것으로 예상된다. 보수적으로 기술된 몇몇 사례에서 초결 발생 후로 예상되는 3~6시간 전후에 대하여 2.54mm/s 이하로 관리할 것을 요구하는 것으로 파악되었다.

(2) 증축부 기초 및 3층 바닥슬래브에서 계측된 열차진동의 수준은 2mm/s이하로 각종 기준들에서 제시하는 하한값인 2.54mm/s보다 작아 콘크리트 양생시간과 무관하게 진동에 의한 품질저하 가능성은 적을 것으로 예상되었다.

(3) 현재 증축부의 바닥구조가 장스팬으로 구성된 특성상 열차진동보다는 작업자들의 보행진동이 더 큰 것으로 파악되어 타설 후 1일 동안은 타설층에 작업자들의 접근을 제한하였다.

- of Vibration on Concrete Strength During Foundation Construction", 2003
6. Sheikhezadeh & Schettler "Protection of Fresh Concrete from Harmful Construction Related Vibrations", Western Bridge Engineers Seminar, 2005
 7. Bastian, C. E., "The Effects of Vibrations on Freshly Poured Concrete, "Foundation Facts, Vol. 6, No. 1, 1970, pp.14~17
 8. Hulshizer, A. J. and Desai, A. J., "Shock Vibratio Effects on Freshly Placed Concrete", Journal of Construction Engineering and Management, A.S.C.E., 1984. Vol. 110, No. 2, pp.266~285
 9. 정동호, 이상은, 임한욱, "인공진동의 크기가 콘크리트의 강도와 물성에 미치는 영향", 한국암반공학회 학술발표회, 1994

- 참고문헌 -

1. ACI 345.2R "Guide for widening Highway Bridges", Carrato et al. ACI Journal, July-August 1992
2. NCHRP Report 86 "Effects of Traffic-Induced Vibrations on Bridge-Deck Repairs", David G. Manning, December 1991
3. The Highways Agency, Northern Ireland "Design Manual For Roads and Bridges", November 2000
4. Minnesota Department of Transportation "Bridge Construction Manual", 2005
5. Florida Department of Transportation "Effect