

영라교회 현장
기술지원
연구보고서

발파진동이 양생중인 콘크리트의 강도에 미치는 영향

조영호 / 특수기술개발부 사원

본 조사는 현재 알려진 연구 결과를 토대로 진동이 양생 중인 콘크리트의 물리적 성질에 미치는 영향을 수집하고 나아가 허용기준치 설정을 위한 자료를 획득할 목적으로 진행되었다.

지반의 진동은 토목공사에서 빈번하게 사용되고 있는 건설장비에 의한 진동이나 발파에 의한 발파진동 등 인공진동과 지진과 같은 자연적인 진동으로 나누어진다. 이들 지반진동은 인접 시설물에 심각한 피해를 일으킬 수 있다는 점에서 문제가 되고 있다.

특히 사람이 불편감을 느끼거나 고통을 호소하는 발파 진동의 한계치는 건물이 피해를 받는 발파진동의 한계치보다 낮으며 진동에 민감한 기계류들은 정상가동을 위한 상한 진동한계치를 갖고 있다. 그러므로 발파작업시 인접한 시설물, 구조물, 인체 및 발파진동에 민감한 기계류에 따라서 그 발파진동의 크기를 제한해야 할 것이다.

그러나 새상품, 새기계, 새분석 기술과 새법규들이 끊임없이 나와 수년 내 거의 모든 분야에 대한 임계 진동수준으로서 신뢰되어 온 5 kine (2 in/sec)을 밀어내려 하고 있다. 이러한 시도는 진동수, 구조물의 형태 그리고 건축재료에 대해 고려함으로써 진동 규제에 대한 상한과 하한을 설정하는 것으로 이들 고려사항은 발파진동 관리를 더 복잡하게 만드나 효율적인 진동규제치를 설정하기 위하여서는 필요하다 할 수 있다.¹⁾

건설사업에서의 경우 효율적인 개

발파 공사의 경제성과 시공성때문에 종종 발파작업과 동시에 인접지역에서 콘크리트 타설작업이 실시됨에도 불구하고 양생중인 콘크리트를 보호하고 설계강도를 발현시키기 위한 구체적인 허용진동치의 기준이 설정되어 있지 않으며 또한 이에 관한 연구도 거의 알려지고 있지 않다.

따라서, 본 조사는 현재 알려진 연구결과를 토대로 진동이 양생중인 콘크리트의 물리적 성질에 미치는 영향을 수집하고 나아가 허용기준치 설정을 위한 자료를 획득할 목적으로 진행되었다.

기본 이론적 고찰

콘크리트 강도와 진동

콘크리트의 강도를 결정하는 성분적 요인으로는 콘크리트 조직의 공극성, W/C와 같은 정량적인 배합비, 그리고 이의 결과로써 나타나는 수화정도 등이 있다. 결국 콘크리트의 강도는 결합재에 따라 어느 정도 결정되며, 이들이 구성하는 조직상 문제요인이 되는 것은 콘크리트의 공극과 수화정도 및 부착 등으로 나눌 수 있다.

이 세 가지 측면에서 콘크리트 강도에 미치는 진동의 바람직한 요인으로는 공극량의 감소와 간극 폭의 감소,

물리적인 촉매행위에 의한 수화작용의 촉진 등을 들 수 있으며 위해적인 요인으로는 재료의 분리 및 부착균열을 초래할 수 있다는 점을 들 수 있다.

콘크리트 응결과 진동

응결이란 미경화 콘크리트가 강도를 발휘하는 것으로 정의되며 유동체의 상태에서 고체로 바뀌는 임계적 현상이다. 이러한 응결 중에 진동이 미치는 영향은 콘크리트의 수화작용을 빨리 일어나게 하는 촉매작용을 하여 이상응결을 일으킬 뿐만 아니라 결과적으로 슬럼프의 감소, 단위수량의 증가 및 균열수반 등의 위해적 요인을 발생시킨다. 그러나 초기 강도 증가라는 바람직한 요인도 배제할 수 없으며 이상응결시 진동이 있으면 화학 반응적으로는 위해적 요인이 되나 공극을 없애는 충전적 측면에서는 바람직한 요인이 된다.

진동수와 입자속도

모든 발파지침은 한계균열 즉 미세 가지 균열을 방지하는 것이다. 균열에 대한 응답스펙트럼은 같은 구조물이라 하더라도 지반진동의 주진동수가 다르면 균열을 일으키는 최대 입자속도도 달라진다는 것을 보여준다.

균열발생 확률대 입자속도의 확률

적 연구(Siskind의 1981)에 의하면 낮은 진동수의 데이터를 포함할 경우 4.5 Kine의 입자속도가 미세균열을 발생할 하한(5%)으로 보여지나 고진동수 데이터(40Hz)의 경우는 입자속도가 8 Kine에 달할 때까지 작은 균열이 발생할 확률이 5%가 되지 않는다.¹⁾ 또한 최근의 관찰에 의하면 일상생활에서 활동적인 가족이 발생시키는 저주파수 진동은 0.25-1.2 Kine의 발파진동에 의한 변형률과 비슷한 정도의 벽의 변형률을 일으킨다고 보고되었다.

이러한 진동수의 중요성에 대한 인식은 진동수를 고려하여 진동을 관리해야 할 필요성을 보여준다.

현재상황

건설사업에서 관심사의 하나는 거푸집 속에서 양생중인 콘크리트의 강도인데 일반적으로 진동에 대한 콘크리트의 저항력은 그 강도에 비례한다고 본다. 그런데 양생중인 콘크리트는 그 강도가 매우 작다. 그러므로 양생중

인 콘크리트 지역에서는 진동이 크게 제한되어야 한다고 일반적으로 인식해 왔다.

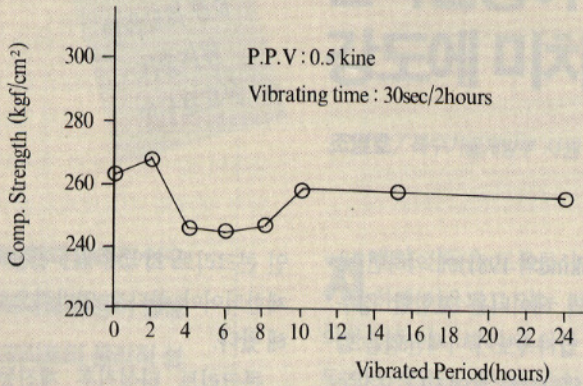
콘크리트 타설직후 재진동(Revibration)은 콘크리트의 강도증진에 유익하지만 발파 및 항타에 의한 충격진동은 콘크리트의 강도저하를 초래할 수 있으므로 외국의 경우는 허용진동이 <표 1>²⁾과 같이 타설직후 12시간 이내에는 0.25 Kine까지 엄격하게 제한되어 왔다. 이러한 제한은 시공의 효율성과 경제성을 떨어뜨리며 전체 공기를 연장시키므로 최근에 진동감도 가정의 타당성을 살피기 위한 여러 가지 실험이 행하여졌다.

문헌분석

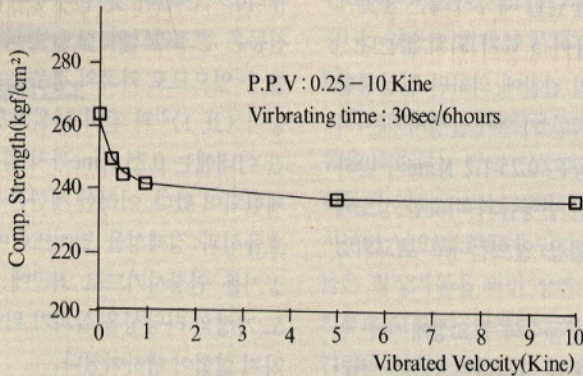
Bastian(1970)³⁾은 콘크리트 타설직후 7.6Kine의 항타진동속에서 3일간 양생된 콘크리트와 무진동 양생된 콘크리트를 비교하였다. 실험의 결과 일축압축강도는 항타진동을 받은 표본이 무진동 양생된 표본보다 4% 높은 강도로 나타났다.

<표 1> 양생기간에 따른 발파진동의 규제치

	7일이상 양생시	7일이하 양생시	12시간 이하 양생시
원 전 건 설 시	10.2 Kine	5.1 Kine	0.25 Kine
발 전 소 건 설 시	10.2 Kine	5.1 Kine	0.25 Kine
11층 건물 건설시	10.2 Kine	5.1 Kine	0.25 Kine



〈그림 1〉 진동주기에 따른 콘크리트 압축강도



〈그림 2〉 진동속도에 따른 콘크리트 압축강도

Esteves(1978)¹⁾는 콘크리트 양생 초기 5-20 시간까지 인공진동을 발생시키며 균열생성을 관찰하였다. 이 실험에 의하면 진동균열에 대해 가장 민감한 시기는 양생후 13시간대이며 이때의 경계치는 15.9 Kine에 이르렀다.

대한주택공사(1990)⁴⁾는 양생시간과 인공진동의 크기를 변화시키며 강도를 측정하였다. 이 실험은 양생후 4시간 전후의 진동은 콘크리트강도를 떨어뜨리나 진동의 크기는 별다른 영향을 미치지 않는다는 것을 보여주었다. 이러한 실험들은 진동이 양생에 별

다른 영향을 주지 않는다는 사실을 보여주었으나 입자속도 또는 진동수가 구체적으로 제시되지 않았거나 실제 발파진동치와는 다소차이가 있어 현장에 그대로 적용하기에는 제약이 따른다. Howes(1979)⁵⁾는 실제 발파진동의 주파수대역이 50-100 Hz임을 미루어 볼 때 현장사항과 유사한 진동수인 20-50 Hz범위에서 7일간 주기적인 인공진동을 발생시킨 다음 7일 및 28일 압축강도를 무진동 양생된 시료와 비교하여 보았다. 이 실험에서는 〈표 2〉에 나타난 것처럼 5 Kine까지의 진동범위에서는 진동양생된 표본이 무진동 양생된 표본보다 높은 압축강도를 나타내었다.

임한옥외(1994)⁶⁾의 실험은 80% 이상 30 Hz미만의 저주파수 진동을 적용하였다. 저주파 진동은 실제 발파진동의 주파수대역과 비교하여 보았을 때 같은 입자속도에서 구조물에 더 큰 영향을 미친다. 이 실험은 양생시간과 인공진동의 크기를 변화시키며 강도의 변화를 측정하였는데 강도감소가 민감한 시기가 〈그림 1〉과 같이 6시간 전후에 존재하였다.

고 찰

조사된 자료에는 진동이 콘크리트의 양생에 별다른 영향을 주지 않는다는 사실을 보여주는 등 매우 다양한 결과를 나타내었다. 이러한 자료들은 사례연구를 보여주는 것이므로 한계에 대한 하한을 설정하기 위하여 진동

콘크리트타설 6시간후 진동의 크기를 변화시키며 무진동 양생된 콘크리트와 비교한 결과 10 Kine의 진동이 적용된 경우 10%까지의 강도저하가 나타났다.

이 콘크리트의 양생에 가장 불리하게 작용하는 경우로 정리하였다. 제한된 자료를 바탕으로 분석을 하였지만 양생도중에 작용된 진동에 따른 콘크리트의 강도의 감소에 미치는 영향은 다음과 같이 요약되었다.

1) 양생기간중 최초진동 가력시점을 변화시켰을 경우 진동에 대해 민감한 시기는 2-20시간 사이에 존재하였다. 따라서 콘크리트 타설후 2-20시간 사이에는 외부진동의 영향에 주의하여야 한다.^{1),4),6)}

2) 진동에 가장 민감한 시기라 판단되는 콘크리트타설 6시간후 진동의 크기를 변화시키며 무진동 양생된 콘크리트와 비교한 결과 10 Kine의 진동이 적용된 경우 10%까지의 강도저하가 나타났다.⁶⁾(〈그림 2〉 참조)

3) 피로현상에 의한 강도 감소현상은 나타나지 않았으며 탄성계수 및 포아송비등의 변화는 뚜렷한 차이가 없었다.^{3),5),6)}

〈표 2〉 진동의 크기에 따른 압축강도

	7일 강도	28일 강도
무 진 동	2,660(lb/ft ²)	3,730(lb/ft ²)
4 Kine	2,670(lb/ft ²)	3,750(lb/ft ²)
8.1 Kine	2,640(lb/ft ²)	3,790(lb/ft ²)
12.7Kine	2,680(lb/ft ²)	3,800(lb/ft ²)

맺는 말

조사된 자료에 의하면 발파진동에 의한 타설 콘크리트의 물성변화는 뚜렷하지 않았다. 그러나 균열발생의 한계에 대한 확률적 연구에 의하면 균열의 발생수준 보다 높은 수준에서도 균열을 발견할 수 없는 경우가 허다하다. 또한 표본의 증가계수(Scale effect)와 철근과의 정착력(bond)에 의한 영향등을 고려한다면 발파진동이 실제현장의 양생중인 콘크리트에 미치는 영향은 다르게 나타날 것으로 예측된다.

그러므로 실제 시공시 발파진동에 의한 양생중의 콘크리트의 물성변화를 정확하게 파악하기 위해서는 현장에서의 실측자료들을 분석하며 세심한 품질관리를 해야한다. **S**

참

고

문

헌

- 1) Charles H. Dowding, 1985, "Blast Vibration Monitoring and Control", Prentice-Hall
- 2) "현장기술지도서 제5권", 1993, 동아건설 산업주식회사, pp. 190-191
- 3) Bastian, C., E., 1970, "The Effects of Vibrations of Freshly Poured Concrete", Foundation Facts, Raymond International, Vol. 6, No.1, pp. 14-17
- 4) 임 종석외, 1990, "진동이 주변 구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향", 대한주택공사 주택연구소, pp. 58-77
- 5) Howes E. V., 1979, "Effect of Blasting Vibrations on Curing Concrete", Proceedings of the 20 th United States Symposium on Rock Mechanics, University of Texas, Austin, Tex., pp. 455-458,
- 6) 임 한옥외, 1994, "인공진동의 크기가 양생콘크리트의 강도와 물성에 미치는 영향", 터널과 지하공간, Vol. 4, pp. 31-37