

## 초기양생 중에 수직방향 연속진동을 받은 콘크리트의 강도특성

김종수<sup>1)</sup> · 장희석<sup>1)\*</sup> · 김명식<sup>1)</sup> · 김희성<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 부경대학교 건설공학부 <sup>2)</sup> 부산대학교 생산기술연구소

(2004년 9월 2일 원고접수, 2005년 3월 5일 심사완료)

### Strength Characteristics of Concrete Subjected to Vertical Continuous Vibration during Initial Curing Period

Jong-Soo Kim<sup>1)</sup>, Hee-Suk Jang<sup>1)\*</sup>, Myung-Sik Kim<sup>1)</sup>, and Hee-Sung Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-739, Korea

<sup>2)</sup> Research Institute of Industrial Technology, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

(Received September 2, 2004, Accepted March 5, 2005)

#### ABSTRACT

In construction site, there are some occasions where concrete under initial curing is being affected by vibration from nearby vibration sources. To study these effects, in this paper, strength characteristics of concrete specimens subjected to continuous vibration up to 12 hours in vertical direction after concrete placement were observed. And through the vibration time control experiment where a number of time combinations consisted of times before and after applying vibration during initial curing period were used as experimental parameters, possibility of concrete strength improvement was investigated.

From the experimental results, it could be seen that the concrete strengths were mostly decreased due to the increase of vibration velocity during initial curing period. But fluctuation ratio of concrete strength did not have any close correlations with the vibration times. And results of vibration time control experiment showed that if times before applying vibration sustains at least more than 3 hours, subsequent vibrations after that hours do not affect the concrete strength in any unfavorable ways.

**Keywords :** initial curing period, continuous vibration, vertical vibration, vibration time control, concrete strength

#### 1. 서 론

건설현장에서 초기양생 중에 있는 콘크리트는 주위의 다른 진동원으로부터 진동의 영향을 받는 경우가 자주 발생한다. 예를 들어서 차량 증가에 따른 소음 대책의 일환으로 기존 교량의 차선 확폭을 하는 경우에 신설되는 부분에 타설된 콘크리트가 기존 교량 위를 주행하는 차량에 의하여 진동을 받는 경우, 또한 아파트 신축 공사현장에서 콘크리트 양생 도중에 다른 쪽에서 기초파일 항타 작업을 하는 경우 등을 고려해볼 수 있다.

따라서 초기양생 중에 진동을 받은 콘크리트의 강도 특성을 분석하기 위하여 국외에서는 1920년대 후반부터 이와 관련된 여러 실험들이 행해져 왔으며<sup>1-5)</sup>, 그 결과 초기양생 중인 콘크리트에 대하여 허용할 수 있는 진동의 제한치<sup>4)</sup>를 제시하고 있다. 국내에서도 1980년대 말부터 콘

크리트 초기양생 중에 진동을 받는 시험체에 대한 실험이 시작되어 최근까지 행해지고 있다<sup>6-13)</sup>.

이러한 국내외의 연구결과를 기초로 하여 콘크리트 초기양생 중에 허용되는 진동의 제한치는 대략 0.3kine 부근의 값으로 제안되고 있다<sup>4,10,11)</sup>. 그러나 현재까지 콘크리트 표준시방서<sup>14)</sup> 및 도로교 표준시방서<sup>15)</sup>에서는 콘크리트는 양생기간 중에 예상되는 진동, 충격, 하중 등의 유해한 작용으로부터 보호되어야 한다고 기술만 되어 있고 구체적인 진동이나 충격의 제한치 등은 명시하지 않고 있다.

위에서 제시한 0.3kine의 진동은 아주 미세한 진동으로서 대도시에서 지하철 공사를 시공할 때 중요 문화재의 하부를 통과해야 하는 경우에 적용되는 진동 제한치이다. 따라서 콘크리트 초기양생 시에 이러한 낮은 진동 제한치를 일반 시공현장에서 준수하기에는 다소의 어려움이 따를 것으로 예상되므로 이에 대한 다른 해결책이 요구된다 고도 판단된다.

본 연구에서는 구조 특성상 수평방향 진동보다는 수직

\*Corresponding author

E-mail : janghs@pknu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

방향의 영향이 더 지배적일 것으로 판단되는 구조물을 고려 대상으로 하여, 초기양생 중에 수직방향으로 연속진동을 받은 콘크리트 공시체의 강도 특성을 분석하였다. 또한 초기양생 기간 중 진동을 받기 전 시간(이하, 진동가력 전 시간)과 진동을 받는 시간(이하, 진동가력시간) 간격들의 여러 조합에 관한 실험을 통하여 진동시간 제어에 따른 콘크리트 강도 개선의 가능성을 조사하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료와 배합설계

시험체 제작에 사용된 시멘트는 제1종 보통 포틀랜드 시멘트이고, 골재는 세척한 해사와 최대치수가 25mm인 쇠석을 사용하였으며 물리적 특성은 Table 1과 같다. 혼화제로 고성능 AE감수제를 사용하였으며 사용량은 시멘트 중량의 0.5%로 하였다. 물-시멘트비는 48%, 슬럼프는 120mm로 하여 재령 28일의 압축강도가 21MPa가 되도록 배합설계를 하였으며, 콘크리트의 배합설계표는 Table 2와 같다.

### 2.2 시험체 제작

본 연구에 사용된 시험체는 압축강도, 쪼갬인장강도, 부착강도 측정용으로 각각 제작되었으며, 압축강도와 쪼갬인장강도 측정용 시험체의 크기는 각각  $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ ,

$\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 의 원주형공시체로 하였다. 부착강도 측정용 시험체는 D19 철근을 수직으로 매립한 경우와 수평으로 매립한 경우의 2가지로 하였으며, 크기는 수평철근용 시험체가  $15\text{mm} \times 15\text{mm} \times 30\text{mm}$ , 수직 철근용 시험체가  $15\text{mm} \times 15\text{mm} \times 15\text{mm}$ 이다. 수평 철근용 시험체의 경우에는 상부와 하부에 각각 하나의 철근을 매립하였다. 철근을 매립한 부착강도 측정용 시험체의 형상은 Fig. 1과 같다. 압축강도와 쪼갬인장강도는 각각 3개의 공시체의 강도 측정 결과를 평균하여 구하였으며, 부착강도는 진동판의 제한된 면적 때문에 2개의 공시체 강도 측정결과를 평균하여 사용하였다.

### 2.3 진동가력장치

진동가력장치는 MTS사의 250kN의 액츄에이터 하부에 자체 제작한 진동판을 부착시킨 후, 이것을 반력벽에 연결된 강제 프레임 하면에 정착시켜 구성하였다. Fig. 2에 진동가력장치의 사진을 나타내었다.

실험에 사용된 진동속도는 부산시 수영구에 위치한 교량 2곳에서 실측한 진동자료(Table 3) 분석결과로부터 얻어진 진동수 10Hz를 고정값으로 한 후, 액츄에이터 선단의 연직방향 진폭을 제어함으로써 요구되는 값들을 얻을 수 있었다.

Table 1 Physical properties of aggregates

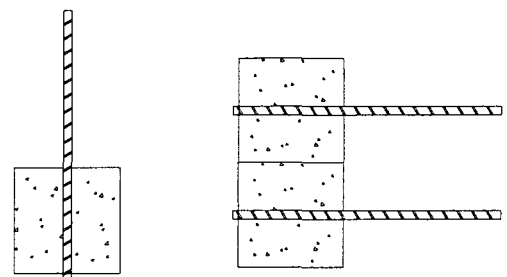
Aggregate \ Item	Max. grain size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Finess modulus
Fine aggregate	-	2.51	1.52	2.75
Coarse aggregate	25	2.62	0.85	7.28

Table 2 Mix proportions of concrete

G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Air (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				AE water reducer (g/m <sup>3</sup> )
					W	C	S	G	
25	12	48	42.7	5.0	167	348	721	1010	1740

Table 3 Measured vibration velocities and frequencies

Bridge	Item	Vibration velocity (kine)	Frequency (Hz)
Bridge 1	Min.	0.267	3.0
	Max.	2.460	7.0
Bridge 2	Min.	0.038	6.0
	Max.	0.648	14.0



(a) Vertical bond test (b) Horizontal bond test

Fig. 1 Bond test specimen

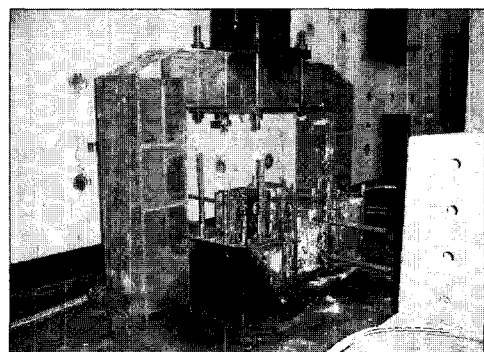


Fig. 2 Test setup

### 3. 수직진동실험

#### 3.1 실험변수

실험변수는 진동속도와 진동가력시간으로 하였다. 진동속도는 문헌연구<sup>1-10)</sup>와 기존의 교량에서 측정된 진동수 분석결과를 바탕으로 0.25, 0.5, 1, 2, 4kine의 5종류로 하였고, 진동가력시간은 시멘트의 초결 및 종결시간을 고려하여 3, 6, 9, 12시간의 4종류로 하였다. 가력시작은 콘크리트 타설 즉시로 하였다. 진동속도와 진동가력시간의 변화에 따른 시험체 종류를 Table 4에 나타내었다.

이 표에서 C0.25, C1.0, C4.0은 기준시험체를 의미한다. 각각의 진동속도 및 진동가력시간에 따른 시험체 제작시 진동을 받지 않을 기준시험체를 동시에 제작하여 기준 강도를 얻으려고 하였으나, 콘크리트 믹서기의 용량 부족으로 기준시험체를 동시에 제작할 수 없었다. 따라서 0.25, 1.0, 4.0kine에 대한 실험 순서가 될 때 진동을 받지 않을 시험체를 제작하고 이들로부터 측정된 평균값을 기준시험체의 강도로 사용하였다.

#### 3.2 실험결과

실험결과를 정리하기 위하여 기준시험체의 강도에 대하여 진동을 받은 시험체의 강도비를 강도 증감률로 나타내었으며, 적용식은 식 (1)과 같다.

$$\text{강도 증감율(\%)} = \frac{\text{진동을 가한 시험체의 강도}}{\text{기준 시험체의 강도}} \times 100 - 100 \quad (1)$$

Fig. 3에 수직진동을 받은 시험체들의 강도 증감률을 나타내었다.

#### 3.3 결과분석

실험결과 압축강도는 양생 중 수직진동의 영향을 받으면 진동속도가 증가함에 따라 강도의 감소율이 전반적으로 증가하는 경향(최소 감소량 : 0.25kine으로 6시간 가력시 4.4%, 최대 감소량 : 4.0kine으로 12시간 가력시 33.2%)을 보여주었으나, 진동가력시간에 따라서는 일정한 경향을 나타내지 않았다.

조깅인장강도는 0.25kine에서는 진동가력시간에 관계없이 강도가 증가하였지만(최대 증가량 : 6시간 가력시 8.9%, 최소증가량 : 12시간 가력시 0.6%), 진동속도가 더 커지면 전반적으로 감소하는 경향(최대 감소량 : 2.0kine으로 12시간 가력시 19.5%)을 보여주었으며 역시 진동가력시간과는 무관하였다.

Table 4 Specimen identification for vertical vibration experiment

Specimen ID	Vibration velocity (kine)	Vibration time (hr)
C0.25	0.25	0
V0.25-3		3
V0.25-6		6
V0.25-9		9
V0.25-12		12
V0.5-3	0.50	3
V0.5-6		6
V0.5-9		9
V0.5-12		12
C1.0	1.00	0
V1.0-3		3
V1.0-6		6
V1.0-9		9
V1.0-12	12	
V2.0-3	2.00	3
V2.0-6		6
V2.0-9		9
V2.0-12		12
C4.0	4.00	0
V4.0-3		3
V4.0-6		6
V4.0-9		9
V4.0-12	12	

부착강도는 수직철근 부착강도의 경우에만 0.25~1.0kine에서 진동가력시간에 관계없이 강도가 증가하였으며(최대 증가량 : 0.5kine으로 6시간 가력시 32.5%, 최소 증가량 : 0.25kine으로 9시간 가력시 0.9%, 단, 0.5kine으로 9시간 가력시만 1.6% 감소함), 그 외의 경우에는 일정한 경향을 보여주지 않았고 전반적으로 감소하였다. 또한 수평철근의 부착강도에서 상부에 위치한 철근의 부착강도는 하부에 위치한 철근의 부착강도보다 감소량이 증가하였다(상부 수평철근 부착강도 최대 감소량 : 1.0kine으로 12시간 가력시 37.5%, 하부 수평철근 부착강도 최대 감소량 : 4.0kine으로 12시간 가력시 26.7%).

강도 감소의 원인으로는 콘크리트 초기양생 시 진동에 의하여 균일한 응결과 경화가 진행되지 않았고 진동에 의한 다짐효과로 상단 콘크리트에 결함부위가 존재하여 상대적으로 취약해졌기 때문으로 판단된다. 본 실험의 결과에서 진동속도 및 진동가력시간에 따른 강도감소 경향은 일정하게 나타나지 않았으므로, 이에 대한 추가연구가 필요하다고 판단된다.

### 4. 진동시간 제어 실험

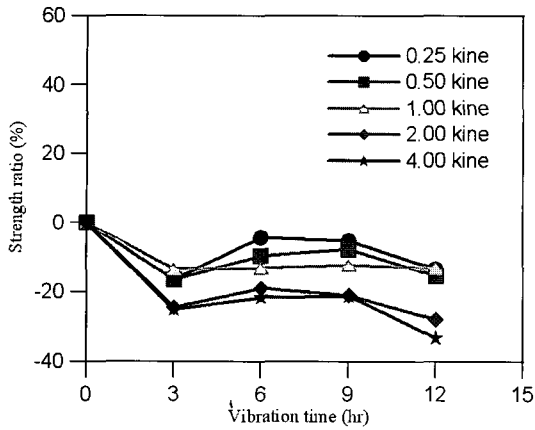
#### 4.1 실험변수

실험변수는 진동속도 및 진동가력 전 시간과 진동가력 시간으로 하였다. 진동속도는 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0kine의

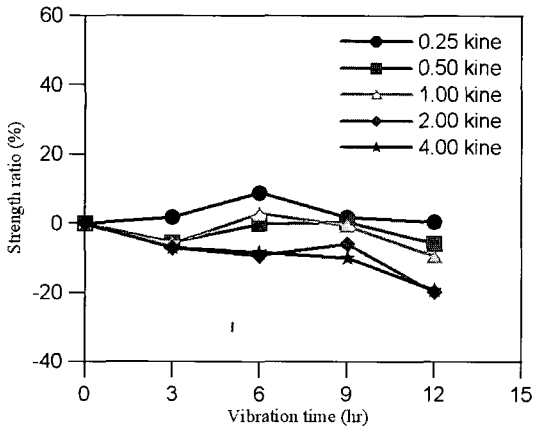
5종류로 하였고, 진동가력전 시간은 3, 6, 9시간, 이에 따른 진동가력시간을 9, 6, 3시간으로 하여, 총 진동제어시간은 12시간으로 동일하게 하였다. 진동속도와 진동제어시간을 조합한 시험체 종류를 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 V0.25-3-9의 경우는 진동속도 0.25.kine으로 진동 가력 전 시간이 3시간이며 진동가력시간은 9시간임을 의미한다.

**Table 5 Specimen identification for vibration time control experiment**

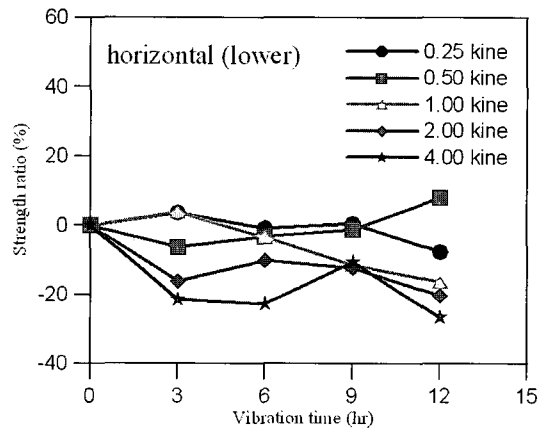
Specimen ID	Vibration velocity (kine)	Time before applying vibration (hr)	Vibration time (hr)
C0.25	0.25	0	0
V0.25-3-9		3	9
V0.25-6-6		6	6
V0.25-9-3		9	3
V0.5-3-9	0.5	3	9
V0.5-6-6		6	6
V0.5-9-3		9	3
C1.0	1.0	0	0
V1.0-3-9		3	9
V1.0-6-6		6	6
V1.0-9-3	2.0	9	3
V2.0-3-9		3	9
V2.0-6-6		6	6
V2.0-9-3	4.0	9	3
C4.0		0	0
V4.0-3-9		3	9
V4.0-6-6	6	6	6
V4.0-9-3		9	3



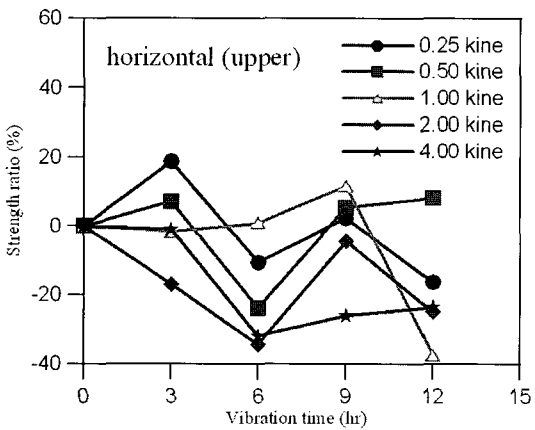
(a) Compressive strength ratio



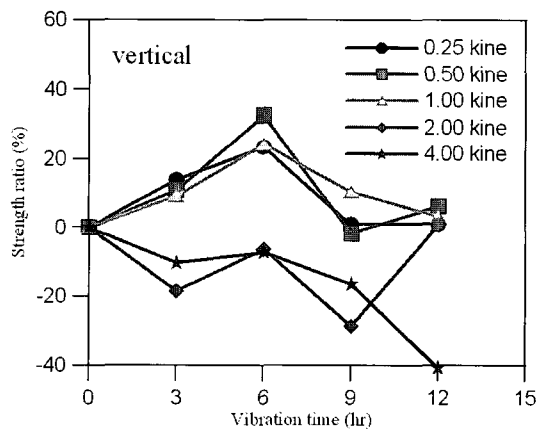
(b) Splitting tensile strength ratio



(d) Bond strength ratio at lower horizontal bar



(c) Bond strength ratio at upper horizontal bar



(e) Bond strength ratio at vertical bar

**Fig. 3 Strength fluctuation ratios according to vertical vibration**

## 4.2 실험결과

실험결과를 진동속도와 진동가력 전 시간에 대하여 식(1)에서 계산된 강도 증감률을 이용하여 Fig. 4에 나타내었다.

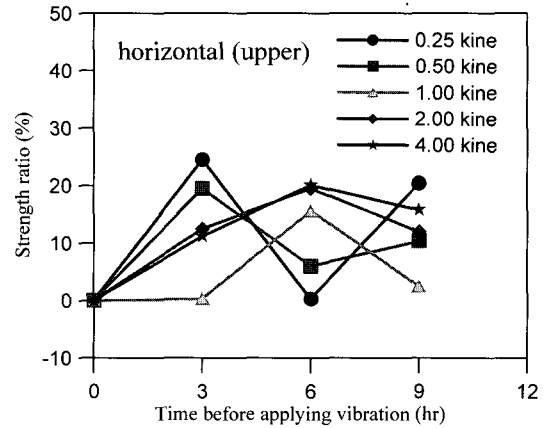
## 4.3 결과분석

실험결과 압축강도는 0.25, 0.5, 1.0, 4.0kine에서는 진동가력전 시간과는 무관하게 기준값 이상이었다. 2.0kine에서는 진동제어시간 3-9시간에서 약 3%의 강도 감소가 있었으나 다른 경우의 경향과 비교할 때 이는 실험에서 생긴 오차라고 생각된다. 따라서 콘크리트를 타설하고 나서 3시간 이후부터 진동을 받기 시작한다면 압축강도의 감소는 없을 것이라고 판단된다. 쪼갬인장강도도 전반적으로 기준값보다 증가하였으며 0.5kine의 진동제어시간 3-9시간에서 약 1%의 감소가 있었으나 이는 무시할 수 있는 정도라고 생각된다.

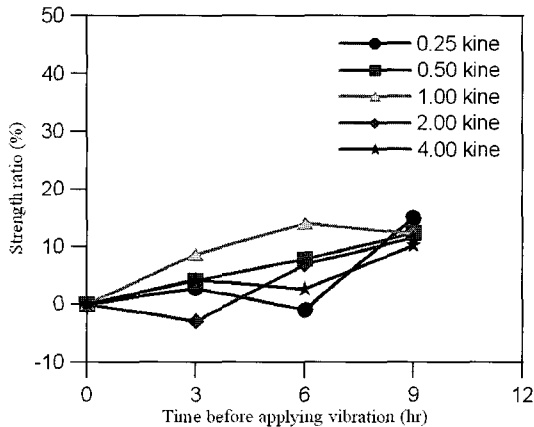
수평철근의 부착강도에 있어서 상·하부에 위치한 철근의 부착강도는 모든 경우에 기준값보다 증가하였다. 수직철근의 부착강도도 2.0kine의 9-3시간에서 약 1%, 4.0kine

의 9-3시간에서 약 2%의 감소를 보인 것 이외에는 모든 경우에서 강도가 기준값보다 증가하였다.

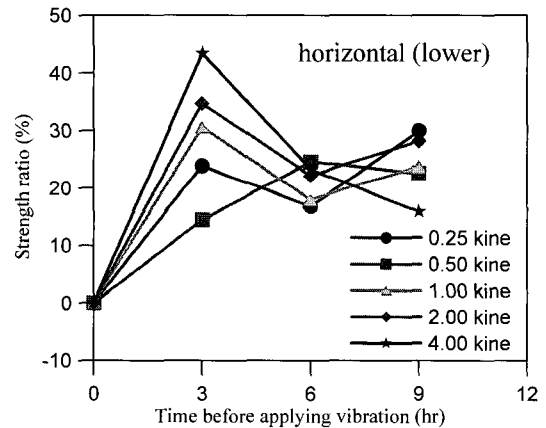
전반적으로 볼 때 진동가력 전 시간이 3시간 이상만 유지된다면 이 이후의 진동가력시간은 강도감소 등의 불리한 영향을 주지 않는다고 판단된다. 그러나 진동가력전 시간과 진동가력시간의 변화에 따른 강도변화는 일정한 경향을 보여주지 않았다.



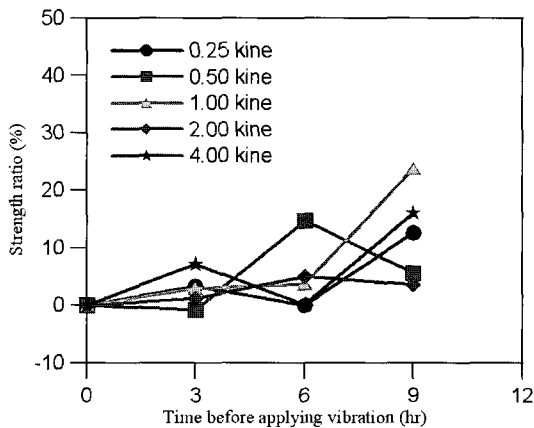
(c) Bond strength ratio at upper horizontal bar



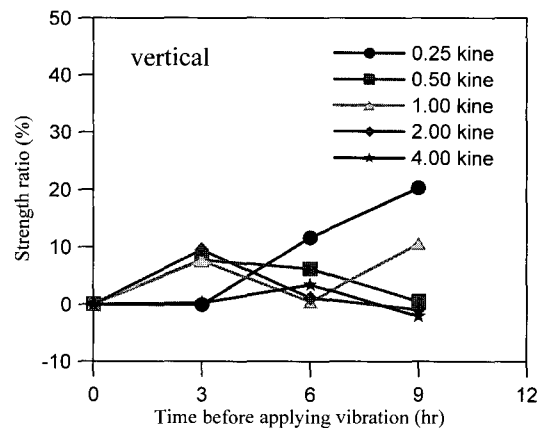
(a) Compressive strength ratio



(d) Bond strength ratio at lower horizontal bar



(b) Splitting tensile strength ratio

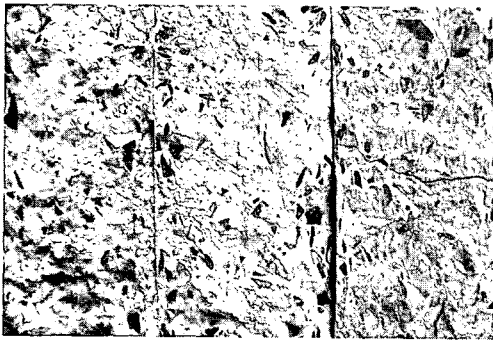


(e) Bond strength ratio at vertical bar

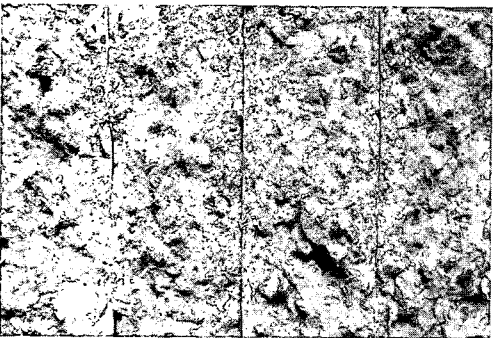
Fig. 4 Strength fluctuation ratios according to the vibration time control

## 5. 재료분리조사

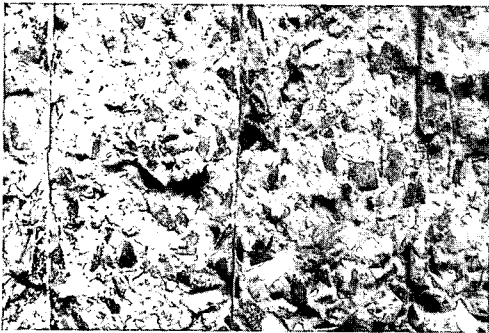
재료분리 여부는 쪼갬인장강도 측정 후 얻어진 시험체의 파단면을 육안으로 세밀히 관찰함으로써 판별하였다. Fig. 5에 기준시험체와 수직진동을 받은 시험체 및 진동시간 제어를 받은 시험체들의 파단면 사진들을 일부 나타내었다. 이들 사진으로부터 진동에 의해 시험체 상부의 골재가 극히 미소량 하강한 것은 볼 수 있었으나, 강도나 내구성에 영향을 미칠 정도의 심각한 재료분리는 발생하지 않은 것으로 판단되었다.



(a) Control specimen



(b) Specimen vibrated for 12 hours with 4.0 kines



(c) Specimen vibrated for 3-9 hours with 2.0 kines

Fig. 5 Fracture surface of specimens for splitting tensile strength

## 6. 결 론

초기양생중의 콘크리트에 대하여 수직방향으로 연속진동을 가한 경우와 진동시간 제어를 하면서 진동을 가한 경우의 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 초기양생 중 수직진동의 영향을 받으면 압축강도는 진동속도가 증가함에 따라 강도의 감소율이 전반적으로 증가하는 경향을 보여주었으나, 진동가력시간에 따라서는 일정한 경향을 나타내지 않았다.
- 2) 쪼갬인장강도는 0.25 kine에서는 진동가력시간에 관계없이 강도가 증가하였지만, 진동속도가 더 커지면 강도가 전반적으로 감소하는 경향을 보여주었으며 역시 진동가력시간과는 무관하였다.
- 3) 부착강도는 수직철근 부착강도의 경우에만 0.25~1.0 kine에서 진동가력시간에 관계없이 강도가 증가하였으며, 그 외의 경우에는 일정한 경향을 보여주지 않았고 전반적으로 감소하였다. 또한 수평철근의 부착강도에서 상부에 위치한 철근의 부착강도는 하부에 위치한 철근의 부착강도보다 감소량이 증가하였다.
- 4) 진동시간 제어 실험에서 진동을 받은 콘크리트 공시체들의 강도 증감률을 조사해본 결과, 진동가력 전 시간이 3시간 이상만 유지된다면 이 이후의 진동가력은 강도 감소 등의 불리한 영향을 주지 않는다고 판단되었다.
- 5) 진동을 받은 시험체들의 파단면을 관찰한 결과, 육안으로 확인할 수 있을 정도의 재료 분리는 발생하지 않았다.

본 연구에서는 진동시간 제어 실험에서 진동가력 전 시간을 최소 3시간으로 하였으므로, 추후 3시간 이내의 진동가력 전 시간과 또한 진동수의 변화를 고려하는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2002년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Bastian, C. E., "The Effects of Vibrations on Freshly Poured Concrete," *Foundation Facts*, Vol.6, No.1, 1970, pp.14~17.
2. Howes, E. V., "Effects of Blasting Vibrations on Curing Concrete," *Proceedings, 20th U.S. symposium on Rock Mechanics*, Austin, Texas, 1979, pp.455~460.
3. Krell, W. C., "Effect of Coal Mill Vibration on Fresh Concrete," *Concrete International : Design and Construction*, Vol.1, No.12, 1979, pp.31~34.

4. Akins, K. P. Jr. and Dixon, D. E., *Concrete Structures and Construction Vibrations*, ACI SP-60, American Concrete Institute, 1979, pp.213~247.
5. Hulshizer, A. J., "Acceptable Shock and Vibration Limits for Freshly Placed and Maturing Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol.93, No.6, 1996, pp.524~533.
6. 임중석 외, "진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향", 대한주택공사, 1990.
7. 홍순길, 장동일, "확폭교량 RC상판의 휨거동에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 6권 3호, 1994, pp.152~161.
8. 홍순길, 장동일, "확폭교량 RC상판의 피로거동에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 6권 6호, 1994, pp.143~150.
9. 권영웅, "진동이 콘크리트의 초기강도에 미치는 영향에 대하여", 대한주택공사, 제 49호, 1988, pp.95~100.
10. 오병환, 송혜금, 조재열, "진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 10권 5호, 1998, pp.81~87.
11. 장희석, 김명식, 김종수, 한중기, "초기양생 중에 수평 연속진동을 받은 콘크리트의 강도특성", 콘크리트학회 논문집, 13권 5호, 2001, pp.423~429.
12. 전덕준, 김종수, 김명식, 장희석, 김희성, "초기양생 중에 수직방향 연속진동을 받은 콘크리트의 강도 특성에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, 2003, pp.1387~1391.
13. 홍성남, 김광수, 한경봉, 박준명, 박선규, "양생중 진동을 받는 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구", 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, 2003, pp.1365~1370.
14. 한국콘크리트학회, 건설교통부 제정 "콘크리트 표준시방서", 한국콘크리트학회, 2002.
15. 한국도로교통협회, 건설교통부 제정 "도로교표준시방서", 한국도로교통협회, 2002.

## 요 약

건설현장에서 초기양생 중에 있는 콘크리트는 주위의 진동원으로부터 진동의 영향을 받는 경우가 자주 발생한다. 이러한 영향을 분석하기 위하여, 본 연구에서는 콘크리트 타설 후 최대 12시간까지 수직방향으로 연속진동을 받은 콘크리트 공시체의 강도 특성을 조사하였다. 또한 초기양생기간 중 진동을 받기 전 시간(진동가력 전 시간)과 진동을 받는 시간(진동가력시간) 간격들의 여러 조합에 관한 실험을 통하여 진동시간 제어에 따른 콘크리트 강도 개선의 가능성을 조사하였다. 실험결과, 초기양생 중 수직진동의 영향을 받으면 강도는 진동속도가 증가함에 따라 강도의 감소율이 전반적으로 증가하는 경향을 보여주었으나, 진동가력시간에 따라서는 일정한 경향을 나타내지 않음을 알 수 있었다. 또한 진동시간 제어 실험에서 진동을 받은 콘크리트 공시체들의 강도 증감률을 조사해본 결과, 진동가력 전 시간이 3시간 이상만 유지된다면 이 이후의 진동가력은 강도 감소 등의 불리한 영향을 주지 않는다고 판단되었다.

**핵심용어** : 초기양생기간, 연속진동, 수직진동, 진동시간 제어, 콘크리트 강도