

# 콘크리트 강도의 진동영향에 관한 연구

## A Study on the Strength of Concrete Affected by Revibration

정 하 선<sup>1)</sup> 권 영 용<sup>2)</sup> 오 용 복<sup>3)</sup>  
Jeong, Ha Sun Kwon, Young Wung Ohr, Yong Bok

### ABSTRACT

This experimental study was performed to find out the vibration damage of concrete. The major factors of this test were duration of vibration and curing age of concrete when vibrated.

According to the serial test results, construction vibrations may cause critical damage to the concrete structures if the age of concrete when vibrated is about 4 hours.

Key words: concrete, strength, vibration, damage, age, construction

### 1. 서 언

진동이라는 외부로부터의 물리적 현상이 구조물에 와닿으면 그 구조물은 진동의 물리량에 따라서 진동피해를 입게 된다. 이 때 나타나는 피해는 직접적인 구조적 피해(Direct Vibration Damage)와 침하 현상을 가속화 시켜 피해를 가져오게 하는 부가적 피해(Accelerated Ageing) 등으로 대별된다. 반면에 구조설계자는 이러한 현상에 대응하여 적절한 구조재료를 가지고 알맞은 방진구법은 물론 정확한 구조 해석을 통하여 진동피해를 최소화 하여야 할 것이다.

본 연구는 콘크리트 타설 후 양생중에 있는 콘크리트에 일시 진동을 가할때 나타나는 콘크리트의 강도성향을 알아 봄으로써 진동장해의 유무나 계획 강도 유지 여부를 판단하고자 한다.

### 2. 실 험

#### 2.1 실험 변수 및 조건

콘크리트를 모울드에 타설하여 2, 3, 4, 5, 6, 7, 2 시간 후에 진동량을 각각 20초, 40초, 80초씩 다르게 하여 진동을 가한다. 이 때 가하는 진동 가력속도는 최대 진동 속도를 12.0mm/sec, 계급 평균 진동 속도(RMS)를 3.0 mm/sec로 하였다.

#### 2.2 배합 설계

실험에 사용된 콘크리트의 배합은 W/C = 65%, S/A = 40%, 단위 시멘트량 293.2 kg/m<sup>3</sup>으로 각 배치의 배합은 시멘트, 모래, 자갈, 물의 양을 각각 7.15kg, 18.1 kg, 26.81kg, 4.65kg으로 하였다. 이 때 모래와 자갈의 흡수 상태는 건건상태(AD)로 하였으며, 나타난 슬럼프 값은 평균 4.51cm이었다.

1)정희원, 공학박사, 대한주택공사 선임연구원

2)정희원, 공학박사, 인천대 부교수

3)공학석사, 인천대 조교

### 2.3 공시체의 제작 및 양생

콘크리트 공시체의 제작은 원칙적으로 KSF 2404 및 ASTM C192에 따랐는데, 콘크리트의 비법은 전부 삽비빔으로 자갈, 모래, 시멘트 순으로 부어 건비빔 하여 골재를 시멘트로서 피복되게한 후 나중에 물을 부어 실패합하였다. 이때, 공시체의 크기는  $\phi 10 \times 20$ 의 실린더로서 각각 3개씩을 동일 공시체로 하였다. 모울드의 타설은 3층으로 나누어 하였는데, 매 층마다 재료 분리가 일어나지 않는 반죽된 페이스트가 번득일때(sunny)까지 최대 진동 가력속도를 48 mm/sec, 계급 평균 진동속도를 9.2 mm/sec(level 6)로 진동 다짐 하였으며, 24시간이 지난 후 모르타르 켈핑을 실시하였다. 실린더는 평균 5°C의 실내 상태에서 대기 양생하였으며, 시험 강도는 재령 35 일에서 구하였다.

### 2.4 진동의 가력

진동가력에 사용된 발진기로서는 진동세기(level)가 10단계로 분류되는 진동기(vibrator)를 사용하였으며 진동측정기(pick-up type)로서 최대가력속도와 계급평균속도(RMS)를 여러번 반복측정하여 표준세기로 하였다.

### 2.5 공시체의 파괴

실험에 사용된 압축기기는 100t의 유압 압축기로서 이 때 편심압과 급격한 하중전달을 방지하기 위해 내압판 사이에 강성이 큰 4개의 강봉으로 지지된 변형연화 장치와 구면과를 사용하고 로드-셀(Load Cell)과 실린더 사이에 마찰력을 극소화하기 위해, 특수 새들(Saddle)을 사용하였다.

### 2.5 실험 결과

시험체는 콘크리트 타설후 2, 3, 4, 5, 6, 7, 15, 24, 48, 72, 336시간이 지난 다음 진동을 각각 20, 40, 80 초씩 주었을때 일련의 실험에서 나타난 콘크리트의 35 일 압축강도는 <Table 1>과 같으며 그 강도성향을 도시하면 <Fig. 1>과 같다.

### 3. 강도 성향 및 고찰

### 참 고 문 헌

#### 3.1 강도 성향

보통 포틀랜드 시멘트 (Type I)에서는 <Fig. 1>에서와 같이 콘크리트 타설후 3시간 전까지는 진동을 받은 콘크리트가 일반적으로 모 콘크리트(prototype)보다 강도 증대 현상이 나타나고, 특히 타설 2시간 전후에 가서는 최대의 강도 증대 성향을 보인다. 그러나, 타설 4시간 전후에서는 콘크리트 강도가 급격히 감소되는 임계 특성을 보인다. 그러나 콘크리트 타설 5시간 이후에 가서는 진동 장애는 받되 그 정도는 적게 나타난다. 또한 손상을 받은 재진동 콘크리트에서 완전한 치유(healing)는 기대할수없다.

#### 3.2 고찰

본 실험의 결과, 재령, 진동시간량, 양생온도 등에 따른 재진동 콘크리트의 강도성향은 콘크리트의 응결과 경화에 깊은 관계가 있는 것으로 생각된다. 즉, 콘크리트가 유동체(fluid)이거나 초경 상태에서는 진동으로 인해 강도 증대 효과를 가져오고, 초경과 종결 사이의 전이상태(transient)에서는 강도 감소가 현저히 일어난다. 그러나 콘크리트가 기계적 강도를 발현하는 경화 이후에는, 비록 강도 손상이 있었지만 강도 감소가 완만해 지거나 변화가 적어진다. 이 때, 유동 상태에서의 강도 증대의 원인은 공극(void)의 감소, 진동의 촉매작용 등으로 매트릭스 조직이 강화된다고 볼 수 있다. 반면에 응결이라는 입계상태에서의 강도 감소 원인은 위결(false set)과 급결(flash set)로서, 수화반응이 비정상적으로 일어나는 데 있다고 볼 수 있다. 이는 이외에도 불리딩이나 재료분리 및 다상재료(multi-phase material)에 의한 영향을 받을 수 있음을 내포하고 있는 것이다. 특히 C<sub>2</sub>H, C<sub>3</sub>H, C<sub>4</sub>H의 경우에서 보는 바와 같이 양생 온도가 낮을 때(평균 5°C), 콘크리트 타설 후 3 - 5 시간에서 50 - 60%의 강도 저하가 일어나는 임계특성을 보이는 것은 이 상태에서 진동으로 조직이 파괴되면 수화반응의 중지 또는 지연으로 수화여건이 나빠져 재진동 콘크리트가 모 콘크리트 상태로 복원될 수 없음을 의미한다. 또한 본 연구에서 비록 밝히지는 못하였지만 진동 영향과 양생온도 사이에는 매우 밀접한 함수관계가 있는 것으로 사료된다.

### 4. 결론

일련의 실험과 분석에 의하면, 양생시간과 진동량에 따른 콘크리트의 초기 강도성향은 다음과 같다.

1. 양생중에 있는 콘크리트가 타설후 3시간후에 진동 영향을 받으면 그 콘크리트는 진동장애를 받으며, 또한 모 콘크리트의 상태로 복원될 수 없다.
2. 콘크리트 타설 후 4시간 전후에서 진동을 받으면, 콘크리트는 최대의 진동장애를 받는다.
3. 본 실험에 의하면 양생온도 평균 5°C, 양생 4시간 전후에서 진동을 줄 때 최고 67%(평균 56%)의 진동장애를 가져왔다.
4. 양생온도가 낮더라도 타설 후 5시간 이후에 진동 이 와 닿으면 진동장애는 감소된다.

1. 권 영웅, "진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 대하여," 인천대학 논문집, 14권, pp. 601 - 610, 1989
2. 권 영웅, "주택," 대한 주택공사, 연구 88-42, 제 49호, pp. 95-100, 1988
3. 권 영웅, 오 용복, "진동 가력 시간에 따른 재진동 콘크리트의 강도에 관한 연구," 공업 개발 연구 5집 1권, 인천대학, 1990.
4. 대한 주택 공사, "진동이 주변 구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향," 연구 '90-14, 주택연구자료, 토질 및 기초 공학, 1990. 6.
5. 권 영웅, "진동이 콘크리트의 초기 강도에 미치는 영향에 대하여," 주택 제 49호, 대한 주택 공사, 1988.
6. ACI, "Vibrations of Concrete Structures," ACI SP-60, 1979.
7. Roger, et al., "Vibrations Generated by Traffic and Building Construction Activities," Swedish Council for Building Research, D15, 1984.
8. A. M. Neville, "Properties of Concrete," Pitman, 3rd ed, 1981.
9. Sidney Mindess, J. Francis Young, "Concrete," Prentice Hall, Inc., 1981.

Table 1 - Korea National Housing Corporation Data

Series	Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )			
	$\sigma_{35}$	$\sigma_{35}$	$\sigma_{70}$	mean
C <sub>1</sub> H <sub>0</sub>	216	225	(237)	221
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	242	229	(222)	236
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	275	247	(206)	261
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	102	89	(110)	96
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	61	80	( 89)	71
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	187	197	(191)	192
C <sub>2</sub> H <sub>72</sub>	229	211	(229)	220
C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	266	203	(255)	235
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	255	242	(255)	248
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	92	122	( 89)	107
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub>	223	191	(225)	207
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	223	191	(191)	207
C <sub>3</sub> H <sub>72</sub>	201	197	(224)	199
C <sub>3</sub> H <sub>336</sub>	219	191	(229)	205
C <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	236	222	(237)	229
C <sub>4</sub> H <sub>3</sub>	74	71	( 81)	73
C <sub>4</sub> H <sub>4</sub>	94	85	( 98)	98
C <sub>4</sub> H <sub>5</sub>	227	223	(209)	225
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	182	202	(204)	192
C <sub>4</sub> H <sub>72</sub>	216	206	(229)	211

W/C = 65 %, S/A = 40 %, Unit weight of cement = 293.2 kg/m<sup>3</sup>  
C : S : G : W = 1 : 2.531 : 3.750 : 0.650

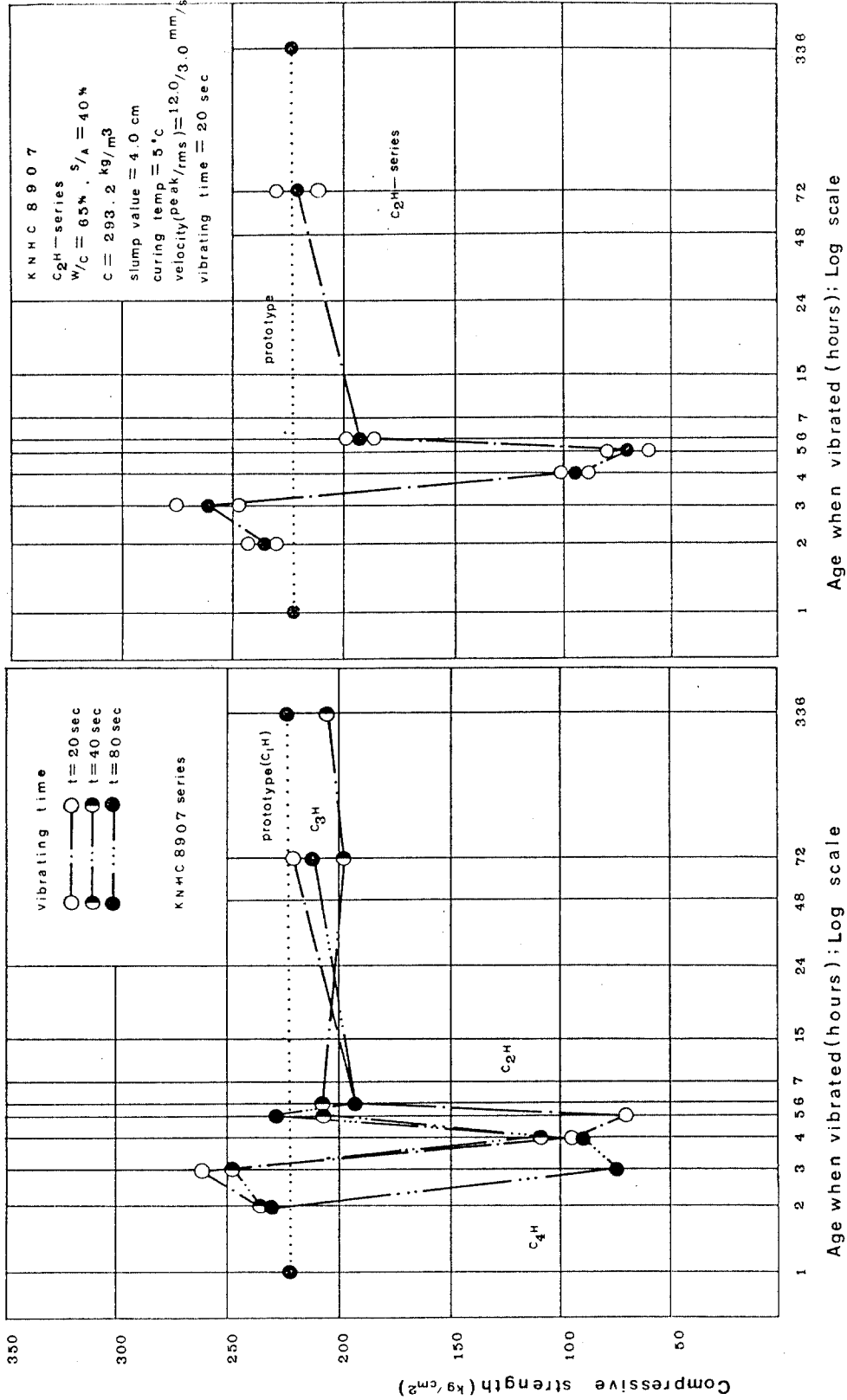


Fig. 1 (a)

Fig. 1 (b) - Continued

Compressive strength tendency of revibrated concrete due to the effect of age when vibrated

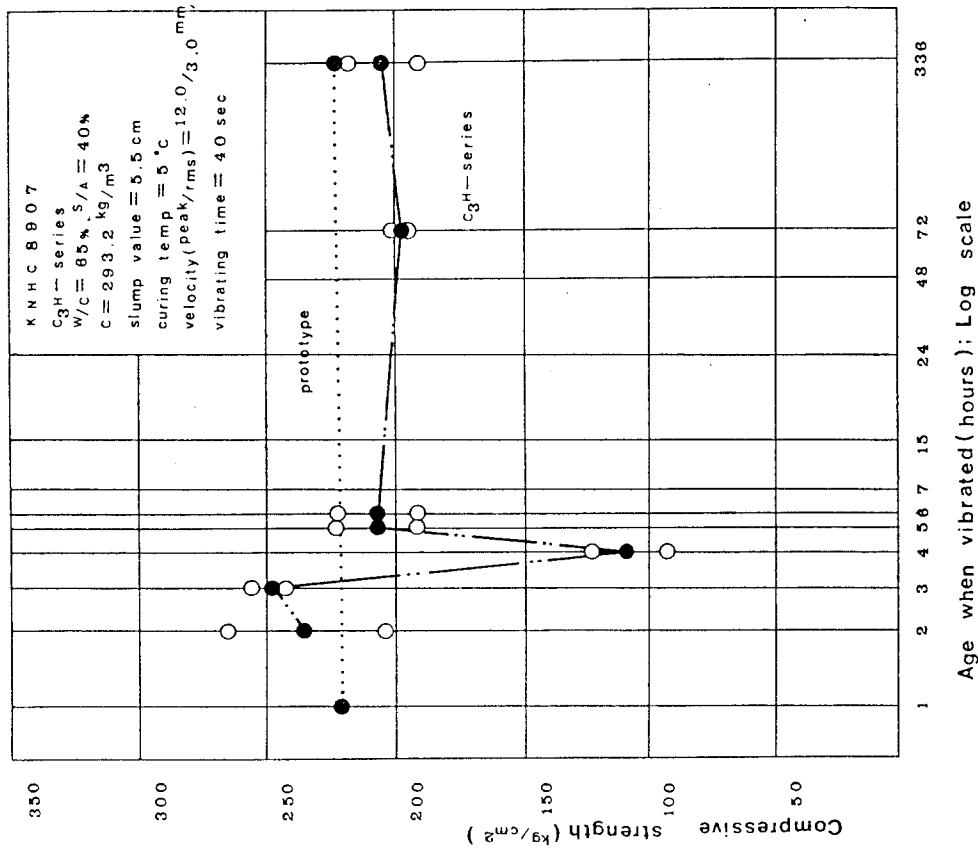


Fig. 1 (c) - Continued

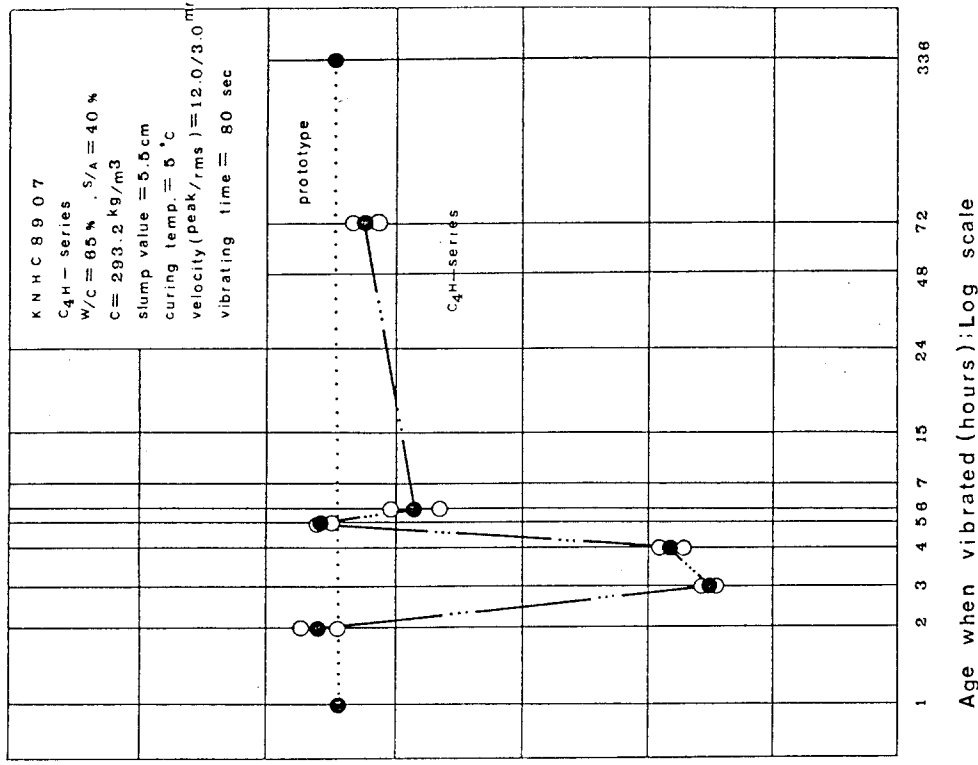


Fig. 1 (d) - Continued