

가력진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구

Mechanical Characteristics of Curing Concrete Affected by Forced Vibration

이 지 은 권 영 웅
Lee, Ji Eun Kwon, Young Wung

ABSTRACT

The purpose of this study was performed to estimate the mechanical characteristics of curing concrete affected by forced vibration. The major variables of this test were vibration method, vibration velocity and duration of vibration. The compressive strength, slip, bending strength and displacement are measured for all the cylinder paper molds and beams. The results can be summarized as follows ; 1) According to vibration velocity(RMS), the compressive strength, bending and displacement for continual vibration increased, but for immediate vibration decreased. 2) Immediate vibration effected on concrete compressive strength, slip than continual vibration. especially in vibration velocity 3.59mm/sec(RMS; 0.624mm/sec) slip decreased 15% in continual vibration, 20% in immediate vibration.

1. 서 론

현대와 같은 고도의 산업사회가 발달함에 따라 신도시의 조성이나 각종 사회시설의 확충에 따른 건설공사에서 콘크리트 타설과 양생이 동시에 이루어지고 있어 건설진동의 영향이 우려되고 있다. 이런 진동은 기존구조물의 안전성에 영향을 미칠뿐만 아니라, 타설 시공중인 건물, 특히 양생중에 있는 건물의 콘크리트 강도 및 품질에 큰 영향을 미친다. 그러나 현장성에 의존하는 콘크리트 구조물의 시공에 있어서 초기 양생시 진동 등으로부터 절대적인 안정성을 유지한다는 것은 거의 불가능하다.

그럼에도 불구하고, 발파진동이나 항타진동으로부터 양생중인 콘크리트를 보호하기 위한 구체적인 허용진동 기준이 설정되어 있지 않아 콘크리트 품질관리에 어려움을 겪고 있다.

본 연구는 가력진동이 양생중인 콘크리트와 구조물에 미치는 영향을 고찰하여 진동허용기준치 설정을 위한 기초 자료를 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

* 정희원, 인천대 건축공학과, 석사과정

** 정희원, 인천대 건축공학과, 교수

2. 실험

2.1 실험계획

본 실험은 가력진동이 양생중인 콘크리트의 강도와 부착력에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행하였다. 이를 위해 진동방식, 진동속도를 실험변수로 정하였으며, 진동방식으로는 연속진동과 간헐진동으로 하였다. 여기에 연속진동이라 함은 진동가력을 계속적으로 가하는 진동을 의미하며 간헐진동은 진동의 가력과 휴지를 반복함을 의미한다. 진동속도는 4단계로 나누어 가력했으며 Table 1과 같다. 진동가력시점은 모두 콘크리트 타설 후 4시간 경과 후에 가력하였다.

본 연구는 진동속도, 진동방식에 따라 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 슬립량을 측정하여 진동이 콘크리트에 미치는 영향을 고찰하였다. 연속진동은 진동속도에 따라 진동가력시간을 60초로 가력했으며, 간헐진동은 30분간을 가력하는데 이 30분은 1분간 가력하고 5분간 진동을 가하지 않는 방법으로 5번 반복하였다. 진동속도는 연속진동과 동일하다.

시험체는 압축강도영향을 위한 $\varnothing 100 \times 200$ mm 실린더형 종이 몰드와 RC보의 휨강도와 슬립영향을 위한 $\varnothing 150 \times 200 \times 2100$ mm의 프리즘 시험체를 제작하였다. 보의 경우 가력진동에 따른 철근과 콘크리트의 슬립량을 측정하기 위해 시험체 양단부에 스티로폼(styrofoam)에 홈(hole)을 내어 인장철근의 변위를 측정하고자 하였다. 콘크리트 타설 후 진동에 의한 영향을 방지하기 위해 거푸집 단부표면에 밀착하였다.

2.2 사용재료

시험체 제작에 사용된 콘크리트의 배합설계 내용과 강도는 Table 3과 같다. 콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 비중 3.14의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 최대골재크기가 25mm인 채석을 사용하였다.

Table 1. Properties of shaking Table

Level	Peak Particle Velocity(mm/sec)		RMS*(mm/sec)	
	1	1.8369 1.9022 1.8748	1.87	0.010079 0.009335 0.010683 0.008760 0.009118
2	3.5551 3.7314 3.5011	3.5958	0.5912 0.5669 0.6301 0.6433 0.6860	0.6235
3	4.4270 4.0980 5.0441	4.523	1.1199 0.9318 0.9508 1.0586 1.1345	1.0391
4	20.102 15.180 10.755	15.346	2.3323 3.2999 3.4010 4.1541 4.0507	3.5427

* RMS : Root Mean Square

Table 2. Experimental program

Vibration Thing	Level	Duration of Vibration	Test Specimen
Non-Vibration	-		Proto-type
Continued	1	30 min.	C1
	2		C2
	3		C3
	4		C4
Intermittent	1	30 min.	I1
	2		I2
	3		I3
	4		I4

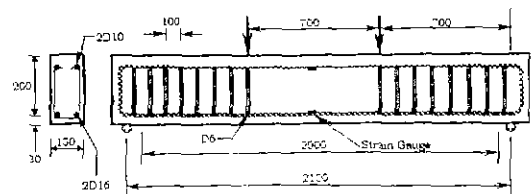


Fig. 1. Beam test Specimen

2.3 시험장치

휨강도와 slip량을 측정하기 위해 보의 중앙에는 최대stroke 250mm, 최대하중 25ton용량의 Actuator(INSTRON 8800)에 연결하여 가력하였다. 가력면은 평활정도에 따른 응력집중을 방지하고 실험체에 균일한 하중이 작용할 수 있도록 구면좌(spherical sheet)를 사용하였으며, 보의 중앙부 처짐과 단부의 슬립량을 측정하기 위해 변위계(LVDT : liner variable displacement transducer)를 설치하였다.

시험체의 파괴는 반력프레임에(strong frame)에서 가력용 강재를 이용하여 3점재하 휨시험(third point loading)을 실시하였다. 또한 시험체의 갑작스러운 사인장파괴보다는 휨파괴를 유도하기 위해 가력속도는 0.5ton/min으로 시험체에 하중을 가력하였다. 시험체의 단부에는 강재 로울러(roller)를 설치하여 수평방향 변위와 회전에 대한 구속을 없도록 하였다. 하중의 크기와 변위 및 변형율은 보조데이터로거(Kowya-UCAM70A-Sub-indicator)를 통해 데이터를 자동으로 처리하여 얻을 수 있게 하였다.

Table 3. Mix proportioning of concrete

Specified Strength (kg/cm ²)	Maximum Aggregate Size(mm)	slump (mm)	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight of Ingredient (kg/m ³)				Compressive Strength (kg/cm ²)
					C	S	A	W	
240	25	100	56	48	C	S	A	W	210
					306	855	915	173	

3. 시험결과

3.1 콘크리트 압축강도

콘크리트를 타설한 후 4시간 경과 후 60초 동안 진동최대속도 1.87mm/sec(RMS; 0.01mm/sec), 3.6mm/sec(RMS; 0.62mm/sec), 4.54mm/sec(RMS; 1.04mm/sec), 15.35mm/sec(RMS; 3.54mm/sec)의 연속진동을 가력한 콘크리트의 압축강도 결과는 Fig.6(a)과 같다.

진동을 받지 않은 콘크리트(prototype)보다 진동속도에 따라 강도가 증가한다. 진동속도가 Level 4인 경우 21%의 강도증가를 보였다. 같은 진동속도로 30분간 간헐진동을 가력한 콘크리트의 압축강도 결과는 Fig.6(b)과 같다. 진동속도 Level 1을 제외하고 진동속도에 따라 강도가 증가함을 알 수 있다. 진동속도



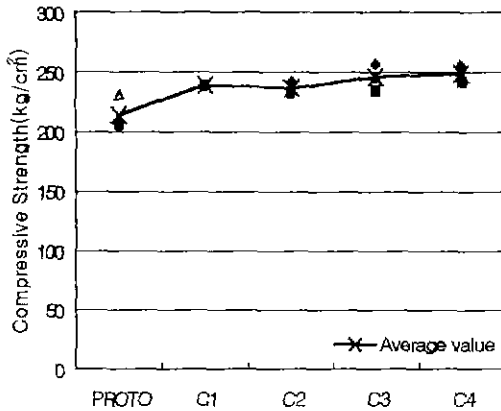
Fig. 2 Mold vibrated by Vibration Table



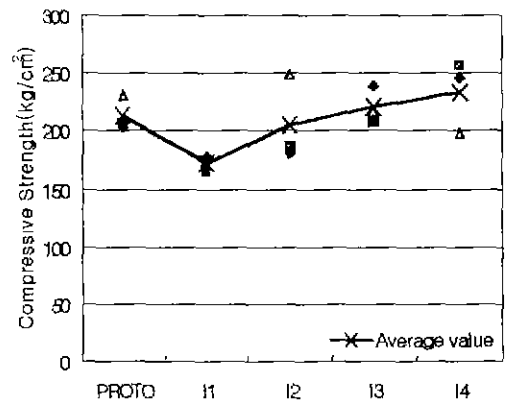
Fig. 3 Test setup for slip test

Level 1인 경우 진동을 받지 않은 기준콘크리트보다 19% 강도가 감소했다. Level 2는 거의 진동의 영향을 받지 않았으며 Level 3과 4는 강도증가의 결과를 보이며 최고 12%의 증가를 보였다.

콘크리트 압축강도는 진동속도에 영향을 받음을 알 수 있고 연속진동의 경우 Level 1이상의 속도에서 모두 강도증가를 보이며 간헐진동의 경우 Level 1에서 급격한 감소현상을 보였다. 같은 진동속도이더라도 연속진동보다 간헐진동의 강도가 상대적으로 떨어지는 것으로 보아 진동방식에도 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 이는 콘크리트 타설 후 4시간후라함은 콘크리트가 응결전후의 상태에 있음을 알 수 있으며 일반적으로 이 상태는 미경화 콘크리트 상태로서 일시 진동을 가하면 강도가 증대되는 성향을 띤다. 그러나 진동을 반복하여 가하는 간헐진동은 수화작용(hydration)을 돕는 촉매역할보다는 방해하는 성질로 미세균열 등 콘크리트 조직(structure)에 상처를 주기 때문에 해가 되는 것으로 판단된다



(a) Relationships of Continue-vibrated Mold



(b) Relationships of Immediate-vibrated Mold

Fig. 6 Compressive Strength Variation & Vibration Velocity

3.2 철근콘크리트 보의 슬립량

Fig. 7은 진동속도에 따라 가력한 철근콘크리트 보의 슬립량을 나타낸 것이다. 연속진동의 경우, 진동속도 Level 2에서 두드러지게 슬립량이 증가됨을 알 수 있으며 진동을 가하지 않은 기준시험체보다 15%의 슬립량의 증가를 나타내고 있다. 진동속도 Level 3에서는 기준시험체보다 15% 슬립량의 감소를 나타내고 있다.

간헐진동의 경우, 진동속도 Level 2에서는 슬립량이 20% 증가됨을 알 수 있다. 이는 연속진동의 슬립량보다 5% 더 큰 슬립량이다. 진동속도 Level 3에서는 슬립량의 기준시험체보다 20% 감소를 나타내고 있다. 특히 Level 3의 진동속도가 슬립량에 민감하게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이는 진동속도가 슬립량에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이것은 철근의 마디와 콘크리트간의 기계적 상호작용

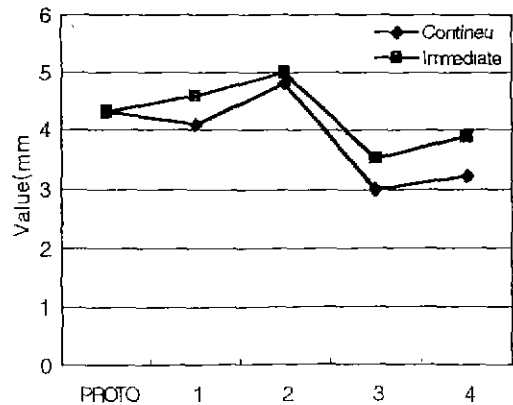


Fig 7 Slip effect according to vibration

용으로 발생하는 응력이 진동속도에 따라 철근과 콘크리트의 부착력이 떨어져 서로간의 맞물림(interlocking) 작용이 감소하기 때문이라 판단된다. 또한 미소하기는하나 압축강도실험결과와 같이 간헐진동이 연속진동의 경우보다 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.3 철근콘크리트 보의 휨강도와 처짐

Fig. 8은 진동에 따른 철근콘크리트 보의 하중-처짐관계를 나타낸 것이다. 최대강도에서 처짐을 비교해볼 때, 연속진동의 경우 Level 3은 기준시험체보다 강도면에서 9%, 처짐면에서 12%의 큰 차이를 보이며, 간헐진동의 경우 Level 2은 강도면에서 2%, 처짐면에서 41%의 작은 처짐을 보인다. Level 1과 Level 2은 진동의 방식에 따라 휨강도와 처짐면에서 상반된 결과가 두드러짐을 알 수 있다. 또한 연속진동의 경우가 간헐진동의 경우보다 휨강도와 연성이 더 큼을 알 수 있다

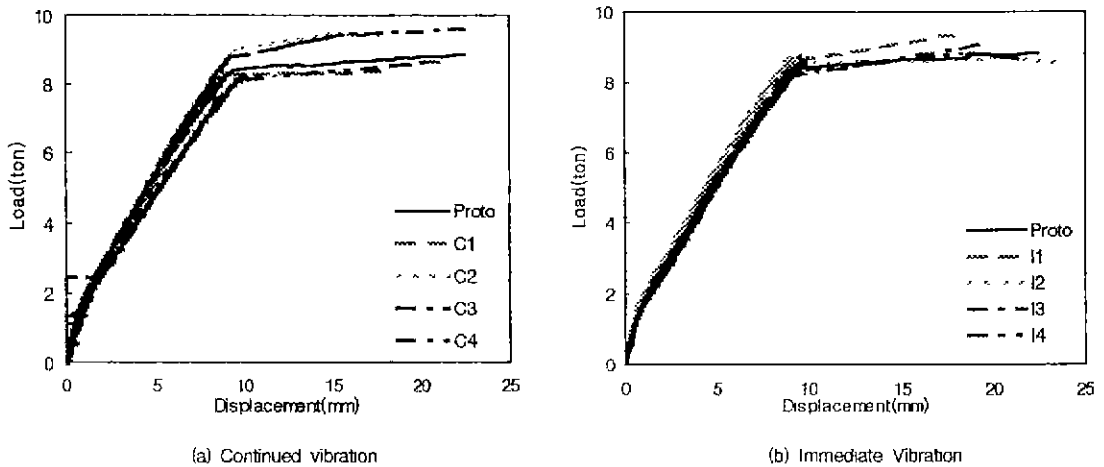


Fig 8 Load-displacement relationship due to vibration

4. 결론

본 연구는 진동속도, 진동방식에 따라 양생중인 콘크리트에 미치는 영향을 일련의 실험을 통하여 알아 보았다. 그 결과, 진동속도, 진동방식에 따라 콘크리트의 압축강도와 철근콘크리트 보의 슬립량, 휨강도와 처짐에 대한 성향을 알 수 있었다.

1) 연속진동은 간헐진동보다 압축강도면에서 진동속도에 따라 증가한다. 연속진동의 경우 진동속도 Level 4(15.345mm/sec; RMS 3.54mm/sec)인 경우 21%정도 강도가 증가했으며, 간헐진동의 경우 Level 1(1.87mm/sec; RMS 0.0095mm/sec)에서 19%정도 강도가 감소했다.

2) 진동방식으로 볼 때, 연속진동보다 간헐진동이 콘크리트 압축강도, 슬립량에 영향을 더 크게 미친다. 진동속도 Level 2(3.59mm/sec; RMS 0.624mm/sec)가 슬립량에 민감하게 영향을 미치며, 연속진동의 경우 15%, 간헐진동의 경우 20%의 강도 감소를 나타냈다.

3) 연속진동의 경우가 간헐진동의 경우보다 철근콘크리트 보의 휨강도와 연성을 크게 한다.

참 고 문 헌

1. 권영웅, "진동이 콘크리트의 초기 강도에 미치는 영향에 대하여," 주택 제 49호, 대한주택공사, 1988
2. 송해금, "진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구," 서울대, 1998
3. ACI, "Vibration of Concrete Structures," ACI SP-60, 1979.
4. G. H. Tattersall, P. H. Baker, "The effect of vibration on the rheological properties of fresh concrete," Magazine of Concrete Research: Vol. 40. No. 143. 1988