

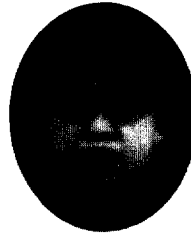
진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구

An Experimental Study on the Effects of Early-Age Vibrations
for the Properties of Concrete



오병환*

Oh, Byoung Hwan



송혜금**

Song, Hye Geum



조재열***

Cho, Jae Youl

ABSTRACT

Recently, the widening and strengthening of bridges are increasingly done in many areas under the service traffic loads. The vibrations from these traffics may affect the properties of concrete, especially young concrete, adjacent to them. The purpose of present study is to explore the effects of vibration at early ages on the properties of concrete. To this end, comprehensive experimental study is conducted in the present study. The major test variables are peak particle velocity or vibration velocity and the age at vibration.

The compressive strengths and bond strengths are measured for all the specimens at 28days after casting. The duration of vibration is fixed to 30 minutes for all cases. The results indicate that the strength increases for vibration velocity less than about 0.25cm/sec and decreases for vibration velocity larger than 0.5cm/sec. The effect of age at vibration is not pronounced and shows almost similar behavior for the age at vibration of 0 to 12 hours after casting. The present study provides some important guidelines to control the construction or vehicle vibrations for the concrete at very early ages.

Keyword : fresh concrete, vibration, vibration velocity, young concrete, compressive strength, bond strength, setting time

* 정희원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

*** 정희원, 서울대학교 토목공학과 박사수료

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 1999년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

현재 국내에서는 도심지 공사 및 신도시 조성 등을 위해 인접지역에서 콘크리트 타설과 다른 작업이 동시에 진행되는 경우가 많으며 이때, 콘크리트 타설시 주변에서의 파일향타, 발파 등으로 인한 진동의 영향이 우려되고 있다. 또한 교통난 해소를 위한 도로확폭 공사 및 교량 확폭을 하고 있는 경우 기존 교량상의 차량진행으로 인한 진동도 콘크리트의 품질 저하에 영향을 미칠 것으로 예상된다.^{(1)~(7)} 이와 같은 현장에서의 콘크리트 타설은 거의 대부분이 진동하에서 이루어지고 있는 것이 현실이다. 따라서, 진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 대한 좀 더 면밀한 연구 검토가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 도로의 보수보강 및 차선 확폭시 주변에서 발생하는 차량 등에 의한 진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향을 연구하였다. 진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 실험변수를 진동속도(vibration velocity), 진동가력시점(time when vibrated or age at vibration) 등으로 나누어, 콘크리트의 압축강도, 부착강도, 응결시간을 측정하였다. 그리고, 이들 중요한 각 특성을 진동의 속도별로 분석하여 그 영향을 평가하였다.

2. 문헌연구

Bastian(1970)⁽¹⁾은 콘크리트 타설직후 7.6cm/sec의 파일향타 진동속에서 3일간 양생된 콘크리트와 진동을 가하지 않고 양생한 콘크리트를 비교하였다. 압축강도는 향타진동을 받은 시험체가 무진동 양생된 경우보다 약4% 높은 강도로 나타났다. Hulshizer(1984)^{(2),(3)}는 발파진동이 굳지 않은 콘크리트(green concrete)에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 실내실험과 현장실험을 수행하였다. 현장실험으로는 압축강도 시험, 보 시험, 벽체 시험을 수행하였고, 실내실험으로는 압축강도 시험체와 부착강도 시험체를 고정된 주기를 가지고 여러 가지 진동속도를 양생시간별로 가하였다. 진동속도를 20.32~30.48cm/sec까지 변화시키며 시편에 가하였고, 가장 크게 50.8cm/sec

까지의 진동을 가하기도 했으나, 발파진동이 굳지 않은 콘크리트에 가해졌을 때 28일 강도와 구조적으로 같이 거동한다거나 내구성이 적어지는 결과를 나타낸다는 어떠한 증거도 얻지 못했다. Hulshizer는 연구를 바탕으로 진동 제한치를 약 10cm/sec(4in/sec)까지 크게 정하고 있으나 이는 실제로 다른 결과들과 비교할 때 과도한 값으로 인식되고 있다.

Esteves⁽⁵⁾는 양생초기 5~20시간 사이의 콘크리트에 대해 실험을 수행하였다. 진동은 콘크리트가 놓인 철판을 큰 해머로 때려서 발생시켰다. 이 실험에서 진동속도 15cm/sec~20cm/sec 사이에서 균열생성을 볼 수 있었다.

대한주택공사⁽⁶⁾는 경화중인 콘크리트에 진동속도를 0.0002~4.8cm/sec 까지 변화시키며 28일 후의 강도를 측정하였다. 그 결과 타설 후 3~5시간에 작용하는 진동은 콘크리트 강도를 떨어뜨리고 진동속도의 크기는 별다른 영향을 미치지 않는다는 것을 보여주었다. 그러나, 이러한 연구결과는 기존의 외국 연구결과와 매우 다른 연구결과로 나타나고 있다.

상기의 발파진동에 대한 양생중인 콘크리트의 영향 연구 이외에 교량등의 공사에서의 진동영향 실험 자료는 거의 없는 실정이다.

3. 진동 영향 실험

3.1 개요

콘크리트 타설시 주변에서의 파일향타, 발파 등으로 인한 진동의 영향이 우려되고 있으며, 또한 교통난 해소를 위한 도로확폭 공사를 하고 있는 경우 기존 도로상의 차량진행으로 인한 진동도 콘크리트의 품질 저하에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서, 진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향을 평가하기 위하여 본 실험에서는 실험변수를 진동속도(vibration velocity), 진동가력시점(time when vibrated)등으로 나누어, 콘크리트의 압축강도, 부착강도를 측정하였다. 또한 응결시간을 측정하여 외부진동요인이 응결에 미치는 영향을 분석하였다.

3.2 실험변수

본 연구에서는 이러한 진동이 양생초기의 콘크리트에 미치는 영향을 연구하기 위하여 구조물의 일반 진동범위로서 최대 수평진동속도를 4.2cm/sec까지 발생시킬 수 있는 진동기(shaking table)를 제작하였다. 또한 압축강도 실험을 위하여 10×20cm의 원형 공시체를 제작하였고, 부착강도 실험을 위하여 15×15×15cm의 부착시험 공시체를 제작하였다. 실제로 한강상의 실교량의 교각상에서 진동의 크기를 측정 한 결과 0.3cm/sec~0.8cm/sec 범위의 진동이 측정되었다. 따라서, 본 연구에서는 진동속도를 다음과 같이 0.25cm/sec, 0.5cm/sec, 2.5cm/sec, 4.2cm/sec 네 가지로 구분하였으며, 진동가력시점을 달리하며 압축강도공시체와 부착시험 공시체, 그리고 응결시험체에 진동을 가하였다. 이러한 진동은 타설 직후 그리고 2시간, 4시간, 6시간, 12시간 후에 가하였다. 진동지속시간(duration)은 30분으로 가진하였다. 진동을 가하지 않은 기준시험체(control specimen)를 이와 같은 진동을 가하는 시험체와 동시에 제작하였다.

이상의 변수를 가지고 원형공시체와 부착시험 공시체를 제작하였다. 각 변수별 시험체명에 대한 설명은 Fig 1과 같다.

V0.25 - T0

진동속도 (cm/sec)	0.25, 0.5, 2.5, 4.2
진동가력시점 (hr)	0, 2, 4, 6, 12
C	Control specimen

Fig. 1 Designation

3.3 실험재료 및 기기

3.3.1 사용 콘크리트 배합표

본 실험을 하는데 있어서 콘크리트의 설계기준 강도는 보통 콘크리트로서 240 kg/cm²로 설정하였으며, 비중이 2.64이고 최대치수가 19mm인 굵은 골재를 사용하였고, 비중이 2.6인 잔골재를 사용하였다. 또한 비중이 3.15인 시멘트를 사용하였고, 목표 슬럼프는 12cm였다. 내구성 및 작

업성을 높이기 위하여 AE제를 0.01% 첨가하였고, 0.25%의 감수제를 사용하였다. 콘크리트 타설시 온도는 20℃정도 이었다.

본 실험에 사용된 콘크리트의 배합내용은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Mix proportion of test concrete

설계기준강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	시멘트 (kg/m ³)	물 (kg/m ³)
240	55	300	165
굵은골재 (kg/m ³)	잔골재 (kg/m ³)	AE제 (kg/m ³)	감수제 (kg/m ³)
972.1	849	0.03	0.75

3.3.2 진동기

본 실험에 사용된 진동기는 최대진동속도를 4.2cm/sec까지 발생시킬 수 있는 것으로 제작하였다.

3.3.3 실험방법 및 측정

압축강도는 KS F 2405⁽⁸⁾를 따라 각 변수별로 3개의 시험체를 제작하여 시험하였다.

부착강도는 일본의 재료시험 방법⁽⁹⁾에 의하여 각 변수별로 3개의 시험체를 제작하였다. Fig 2는 부착강도 시험체의 형상을 나타낸 것이다.

응결시험은 KS F 2436⁽¹⁰⁾을 따라 시험하였다.

본 실험에서 압축강도 측정에 사용된 시험장치는 미국의 MTS사 제품으로 250T 용량의 자동 제어 재료 시험기이고, 부착강도 측정에 사용된 시험장치도 MTS 자동제어 시험기이다. Fig 3은 압축강도 시험 과정이고 Fig 4는 부착강도 시험 과정을 보여 주고 있다. 또한 모든 경우에 있어서 28일 강도를 사용하였다.

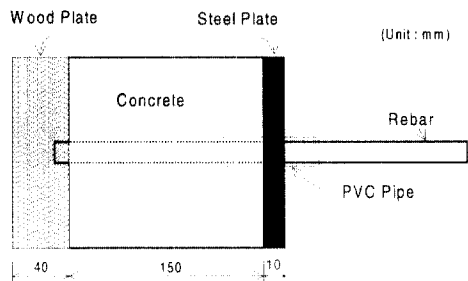


Fig. 2 Test Specimen for Bond Strength

4. 실험 결과 및 분석

4.1 압축강도

압축강도는 진동을 가하지 않은 기준 시험체(control specimen)의 강도에 대한 변수별 시험체의 강도값의 비를 나타내었다.

Fig 5와 6은 각각 압축강도변화와 진동가력시점과의 관계, 그리고 압축강도변화와 진동속도와 의 관계를 나타낸 것이다.

본 연구 결과 진동속도가 작은 0.25cm/sec의 경우는 진동가력시점과 무관하게 기준시험체에 비하여 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 0.5cm/sec이상의 경우에는 압축강도의 감소를 나타내고 있는데, 약 5~11%까지의 압축강도 감소를 보이고 있다. 하지만 전체적으로 볼 때 진동가력시점에 대해서는 별 영향을 받지 않는 것으로 사료된다. 진동속도가 0.25cm/sec의 경우는 6시간까지 강도가 증가함을 보여주고 있으나, 진동속도가 0.5cm/sec이상의 경우는 진동가력시점에 대해서 뚜렷한 경향을 보이지는 않으나, 타설 후 12시간 후의 진동이 다소 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 탄성계수의 변화상태는 강도의 변화상태와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 진동속도 0.25cm/sec의 경우 탄성계수가 약 11%정도 증가 하였고, 0.5cm/sec 이상의 진동에서는 탄성계수가 약 2~5%정도 감소하였다.

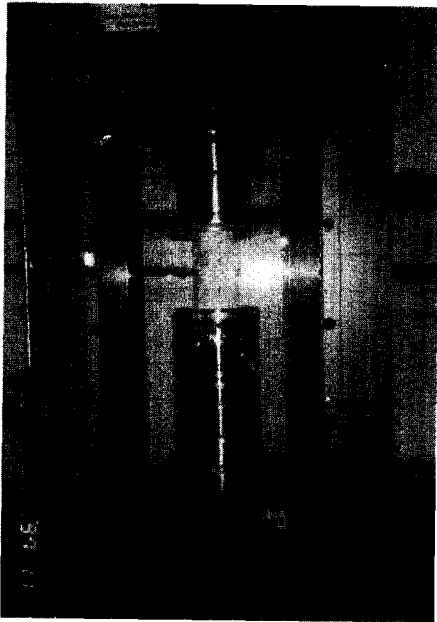


Fig. 3 Compressive Strength Test

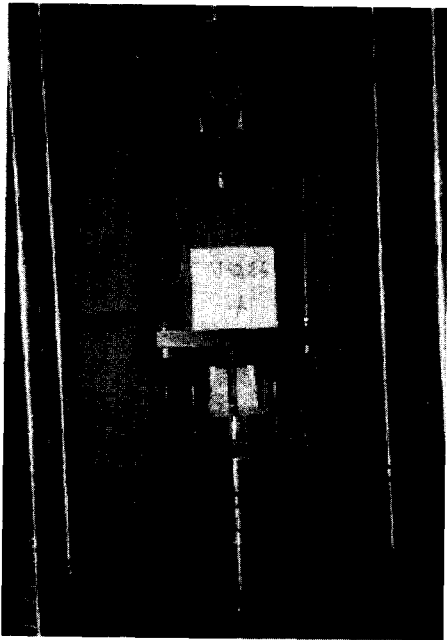


Fig. 4 Bond Strength Test

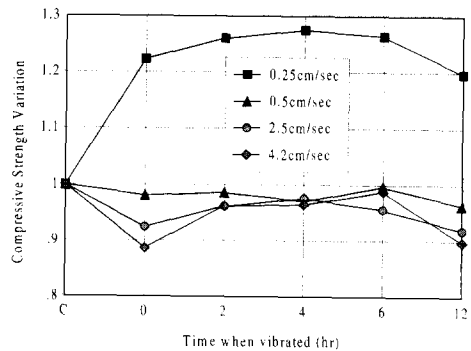


Fig. 5 Compressive Strength Variations according to Time When Vibrated

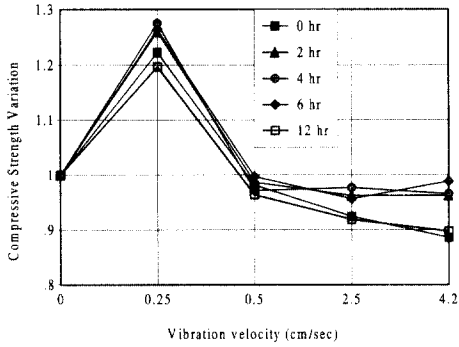


Fig. 6 Compressive Strength Variations according to Vibration Velocity

4.2 응결시간

진동에 의한 응결시간에 대한 영향을 보면 다음 Table 2와 같다.

진동속도가 작은 0.25cm/sec에서는 진동이 응결에 별다른 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 반면에, 진동속도가 0.5cm/sec이상의 경우에는 응결시간에 영향을 주고 있다. 즉, 진동속도가 어느 정도 이상이 되면 타설 직후 진동을 준 경우 응결이 빨라지고 있음을 보여 주고 있다.

다시 말하면, 진동가력시점에 따라서 타설직후에 진동을 가하면 응결시간이 다소 빨라지는 것으로 나타나고 있는데, 이것은 다짐효과등에 의한 응결촉진 결과로 사료된다. Fig 7과 Fig 8은 진동속도 0.25cm/sec 일때와 2.5cm/sec 일때의 응결시간의 변화를 보여주고 있다.

Table 2 Effect of Various Vibrations on the Setting Time(hr)

진동가력 시점	진동속도 (cm/sec)							
	0.25		0.5		2.5		4.2	
	초결	종결	초결	종결	초결	종결	초결	종결
C	8.12	12.85	7.31	11.31	9.01	12.67	8.01	11.95
0	8.20	12.99	7.00	10.81	7.60	12.13	7.35	11.22
2	8.49	12.96	7.58	11.17	8.57	13.33	7.63	11.37
4	8.07	12.69	7.29	10.92	8.03	11.77	8.02	11.80
6	8.44	13.45	7.49	11.23	8.05	11.91	8.06	12.06
12	8.03	12.69	7.13	11.29	8.70	12.36	8.10	11.69

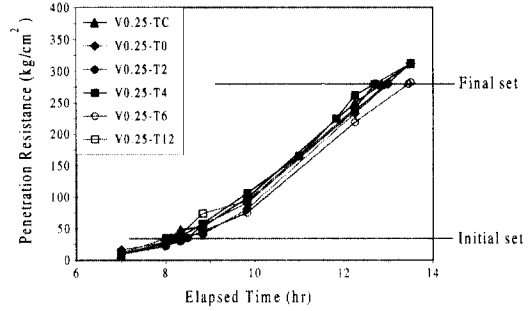


Fig. 7 Variation of Setting Time according to 0.25cm/sec Vibration Velocity

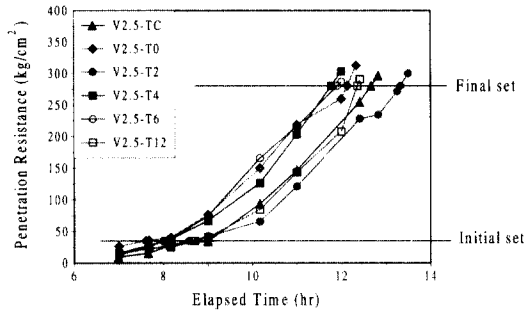


Fig. 8 Variation of Setting Time according to 2.5cm/sec Vibration Velocity

4.3 부착강도

Fig. 9는 진동가력시점에 따른 부착강도 변화를 나타낸 그래프이고, Fig. 10은 진동속도 크기에 따른 부착강도 변화를 나타낸 그래프이다.

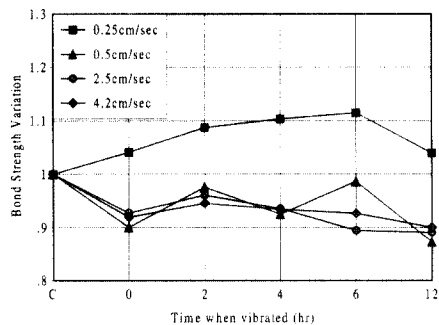


Fig. 9 Bond Strength Variations according to Time when vibrated

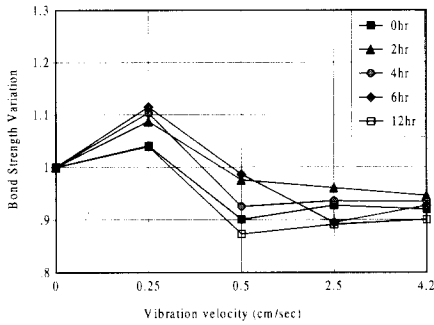


Fig. 10 Bond Strength Variations according to Vibration Velocity

부착강도 결과를 볼 때 전체적인 경향이 앞서 기술한 압축강도 특성과 흡사한 결과를 보임을 알 수 있다. 진동속도가 0.25cm/sec의 경우에는 진동 시점에 따라 부착강도가 5~11% 증가하는 데, 진동속도가 0.5cm/sec이상의 경우에는 부착강도가 약 5~12% 정도 감소하는 것으로 나타나고 있다.

진동가력시점에 대해서는 압축강도와 마찬가지로 별다른 영향을 나타내고 있지 않음을 알 수 있는데, 진동속도가 0.25cm/sec의 경우는 진동가력시점 6시간까지 부착강도가 소폭으로 증가하고 있음을 나타내고 있다. 또한, 진동속도 0.5cm/sec이상의 경우에는 진동가력시점이 부착강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 양생중인 콘크리트에 작용하는 진동이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 일반적으로 현장에서의 콘크리트 타설이 여러 가지 작업과 동시에 이루어지는 것이 현실이다. 이제까지는 파일항타나 발파진동에 의한 진동의 영향연구를 중심으로 많은 연구가 수행되어 왔으나, 도로 확폭시의 진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 대해서는 연구되어져거나 잘 설명되어지지 않았다. 따라서 차량하중에 의한 진동으로 인하여 주변구조물이나 양생초기의 콘크리트가 받는 영향에 대한 연구가 요구되었다. 본 연구에서는 현장구조물에서 일반적으로

나타나는 주파수가 약 10Hz 이하인 진동을 발생시켜 양생초기(재령 12시간 이내)의 콘크리트에 진동이 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 진동속도와 진동가력시점을 변수로 실험을 수행하였는데, 진동속도는 일반적인 범위인 0.25, 0.5, 2.5, 4.2cm/sec, 진동가력시점은 타설 직후, 그리고 타설 후 2시간, 4시간, 6시간, 12시간으로 분류하여 실험을 수행하였다. 이러한 일련의 연구로부터 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 진동속도가 0.25cm/sec의 경우는 진동이 압축강도와 부착강도를 증가시키는 결과를 나타내었고, 응결에는 별다른 영향을 주지 않았다. 압축강도 증가율은 약 20% 정도로 나타났다. 탄성계수는 약 11% 정도 증가하였다.
- (2) 진동속도가 0.5cm/sec 이상의 경우에는 압축강도와 부착강도가 다소 감소되는 것으로 나타났으며, 감소율은 진동 시점에 따라 약 5~12% 정도로 나타나고 있다. 탄성계수는 2~5% 정도 감소하였다.
- (3) 본 연구결과 양생초기 진동이 콘크리트 특성에 나쁜 영향을 미치기 시작하는 진동속도 크기는 0.25cm/sec에서 0.5cm/sec 사이에 존재하는 것으로 나타났으며, 본 실험연구로부터 분석할 때 약 0.3~0.4cm/sec 정도의 진동이 초기 콘크리트의 허용 제한치로 나타나고 있다.
- (4) 따라서 본 연구 결과 재령 12시간 이내의 콘크리트에 대하여는 진동규정치를 약 0.3cm/sec 정도로 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

본 논문에서는 실험변수를 일련의 진동의 속도와 진동가력시점을 주요 변수로 하여, 압축강도 특성, 부착강도 및 응결 시간 특성을 중점으로 연구하였다. 앞으로 구조물의 종류 및 구조물에 따른 진동의 형태나 지속시간 등 추가 영향인자에 대하여 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Bastian C. E., "The Effect of Vibrations on Freshly Poured Concrete.", Foundation Facts, Raymond International, Vol.VI, NO.1, pp. 14-17, 1970
- (2) Hulshizer, A. J. "Acceptable Shock and Vibration Limits for Freshly Placed and Maturing Concrete.", ACI Material Journal, Vol. 93, No.6, pp. 524-533, 1996
- (3) Hulshizer, A. J., Ashok J. Deasi, "Shock Vibration Effects on Freshly Placed Concrete.", ASCE Journal, Vol.110, No.2, June, 1984
- (4) 송혜급, "진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구", 서울대학교 석사학위 논문, 1998. 2.
- (5) Esteves, J. M., "Control of Vibrations Caused by Blasting.", Proceedings of the 20th United State Symposium on Rock Mechanics, University of Texas, Austin, Tex., 1979.
- (6) 임종석외, "진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향.", 대한주택공사 주택연구소, 1990.
- (7) Akins, K. P. Jr., and Dixon, D. E., "Concrete Structures and construction Vibrations," ACI SP 60-10, 1979.
- (8) KS F 2405, "콘크리트 압축 강도 시험 방법"
- (9) "コンクリートの試験方法", 株式會社技術書院, 1993
- (10) KS F 2436, "관입저항침에 의한 콘크리트 응결 시간 시험 방법"

요 약

최근 들어 교통난 해소를 위한 도로확폭 공사나 파일항타 및 발파 등의 공사가 많이 진행되고 있으며, 이러한 경우 진동의 영향으로 콘크리트의 품질 저하에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이에 따라 본 연구에서는 진동과 굳지 않은 콘크리트의 품질과의 상관관계를 규명하기 위하여 포괄적인 실험 연구를 수행하였다.

진동이 굳지 않은 콘크리트에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실험변수를 진동속도(vibration velocity), 진동발생시점(time when vibrated) 등으로 나누어, 콘크리트의 압축강도, 부착강도를 측정하였다. 또한 응결시간을 측정하여 외부 진동요인이 응결에 미치는 영향을 평가하였다.

진동속도는 0.25cm/sec~4.2cm/sec 까지 변화시켰고, 진동가력시점은 타설 직후(0시간)부터 타설 후 2, 4, 6, 12 시간 후에 진동을 가하였다. 본 연구의 실험 결과 진동속도 0.25cm/sec 에서는 압축강도와 부착강도가 증가하는 반면에 진동속도 0.5cm/sec 이상에서는 압축강도는 5~12% 정도 감소하고 부착강도도 이와 유사하게 감소하는 것으로 나타나고 있다. 응결시간은 0.25cm/sec의 작은 진동에서는 영향이 거의 없으나 0.5cm/sec 이상에서는 타설 직후의 진동시 응결시간이 다소 빨라지는 것으로 나타났다. 본 연구 결과, 양생초기 콘크리트의 진동 허용치는 약 0.3~0.4cm/sec로 나타나고 있으며, 이것은 앞으로 실제 구조물의 시공시 진동규제치로서 하나의 유용한 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

(접수일자: 1998.4.13)