

양생초기의 진동시간 제어에 따른 콘크리트의 강도 변화

Variation of Concrete Strength according to Vibration Time Control for Fresh Concrete

송 규 황* 김 종 수** 김 명 식** 장 희 석** 김 희 성***
Song, Gyu Hwang Kim, Jong Soo Kim, Myung Sik Jang, Hee Suk Kim, Hee Sung

ABSTRACT

Experimental results for variation of concrete strength according to vibration time control for fresh concrete were given. Vibration velocity, time before vibration and vibrating time were used as experimental parameters. Compressive strength, split tensile strength, and bond strength were investigated and then fracture surfaces of split tensile strength specimen were observed. From the experimental results, it could be concluded that there may be no decrease in concrete strengths if time before vibration will be sustained at least for more than 3 hours.

1. 서론

건설현장에서 초기양생 중에 있는 콘크리트는 인접한 공사현장 혹은 다른 진동원으로부터 진동을 받는 경우가 흔히 발생하며, 이러한 경우에는 진동이 양생중인 콘크리트에 진동이 영향을 끼칠 수 있을 것 판단된다. 콘크리트 표준시방서 및 도로교 표준시방서에 따르면 콘크리트는 양생기간 중에 예상되는 발파 및 파일항타 작업등에 의한 진동, 충격, 하중 등의 유해한 작용으로부터 보호되어야 한다고 규정되어 있으나 그 제한치는 아직 명시되어 있지 않다.

본 연구에서는 이러한 기준치 제안을 위한 일련의 실험 결과를 나타내었다. 앞서의 연구⁴⁾에서는 콘크리트 타설 직후부터 수직방향으로 3, 6, 9 및 12시간동안 연속진동을 가한 공시체의 강도를 측정 및 분석하였다. 이 경우에 각각의 진동가력시간에 있어서 진동속도를 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0kine으로 구분하여 실험하였다. 그 결과, 일부 시험체에서만 강도의 증가가 있었으며, 대부분의 시험체에서는 강도가 감소하는 경향을 관찰할 수 있었다. 따라서 초기양생 중에 받는 연속진동이 콘크리트의 강도에 불리한 영향을 미친다면, 초기양생 기간 중 진동을 제어해야 하는 시간의 간격 등에 대한 조사가 필요하다고 판단되었다.

본 연구에서는 콘크리트를 타설한 후 일정시간동안 진동을 가하지 않은 시간(진동가력 전 시간)과 이 이후 진동을 가한 시간(진동가력시간)을 실험변수로 택하였다. 진동크기 역시 실험변수로 택하였다. 압축강도, 쟁인장강도, 부착강도의 3종류를 조사하였으며, 쟁인장강도시험 후 시험체의 파단면에 대하여 육안으로 재료분리 발생여부를 조사하였다.

2. 실험

2.1 사용재료

시험체 제작에 사용된 시멘트는 제1종 보통 포틀랜드 시멘트이고, 골재로서 강모래와 최대골재치수가 25mm인 쇄석을 사용하였으며 골재의 물리적 특성치는 표 1과 같다. 부착강도 측정에 사용된 철근은 KS F 2441에 의거하여 KS D 3504에서 규정한 이형철근 D19를 사용하였다. 혼화제로서는 고성능 AE감수제를 사용하였으며 그 사용량은 시멘트 중량의 0.5%로 하였다. 물-시멘트비는 48%, 슬럼프는 12cm로 하여 재령 28일의 압축강도가 210kgf/cm²이 되도록 배합설계를 하였으며, 배합설계표는 표 2와 같다.

* 정희원, 부경대학교 건설공학부 토목공학과 석사과정
** 정희원, 부경대학교 건설공학부 토목공학과 교수·공학박사
*** 정희원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원·공학박사

표 1. 골재의 물리적 특성치

	Fine aggregate	Coarse aggregate
Fineness modulus	2.75	7.28
Specific gravity	2.51	2.62

표 2. 배합설계표

G _{max} (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	Proportion by unit weight (kg/m ³)				Admixture (g/m ³)
					Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	
25	12	48	42.7	5	167	348	721	1010	1740

2.2 시험체

본 연구에 사용된 시험체는 압축강도, 조깅인장강도, 부착강도 측정용으로 각각 KS F 2405, KS F2423, KS F 2441 규격에 의거하여 제작되었다.

표 3. 시험체 구분

Specimen ID	Vibration Velocity (cm/sec)	Time before Vibration (hrs)	Vibrating Time (hrs)
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		0	0
V1.0 - 3 - 9	1.0	3	9
V1.0 - 6 - 6		6	6
V1.0 - 9 - 3		9	3
V2.0 - 3 - 9		3	9
V2.0 - 6 - 6	2.0	6	6
V2.0 - 9 - 3		9	3
C4.0		0	0
V4.0 - 3 - 9		3	9
V4.0 - 6 - 6	4.0	6	6
V4.0 - 9 - 3		9	3

부착강도 측정용 시험체는 철근을 수평으로 매립한 경우와 수직방향으로 매립한 경우의 2가지로 하였으며, 크기는 수평철근용 시험체가 15×15×30cm, 수직철근용 시험체가 15×15×15cm이다. 수평철근용 시험체는 상부와 하부에 철근을 매립하였다.

실험변수로서 진동속도(0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0kine), 진동가력 전 시간과 진동가력시간(3-9, 6-6, 9-3시간)을 택하였으며 이에 따른 시험체 구분은 표 3과 같다. 진동가력 전 시간과 진동가력시간을 합한 시간은 굳지 않은 콘크리트의 종결 시간을 고려하여 12시간으로 하였다.

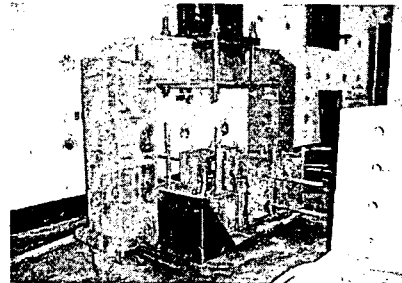


그림 4. 진동가력장치

2.3 실험방법

비빔은 재료가 분리되지 않고 잘 혼합되도록 하기 위해서 시멘트와 골재만을 넣고 1분간 건비빔한 후, 물과 혼화제를 섞어 3분간 추가로 비빔을 하였다.

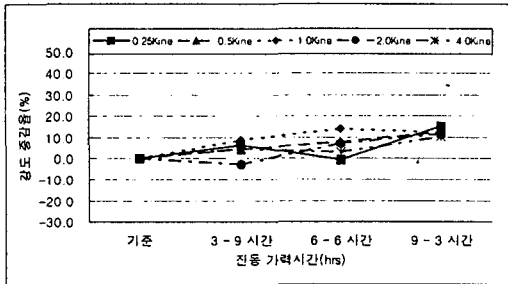
콘크리트 몰드에 콘크리트를 타설하고 진동가력 전 시간동안 대기하였다가 이 시간이 끝나면 진동가력시간 동안 수직 진동을 가하였다. 진동가력이 끝난 12시간 후에 켈핑을 한 후, 다시 24시간 뒤에 탈형하여 20±3℃의 수중에서 양생하였다. 28일의 양생이 끝나면 시험체의 표면수를 제거한 후 강도를 측정하였으며 3개의 기준 시험체(C0.25, C1.0, C4.0)들의 평균값과 비교 및 분석하였다. 강도 측정 후 조깅인장강도 측정용 시험체를 육안으로 조사하여 재료분리 발생 여부를 판별하였다.

수직방향 연속진동은 반력력을 이용하여 구성된 프레임과 MTS사 25ton 용량의 액츄에이터를 사용하여 가하였다. 기준의 교량에서 측정된 진동수 분석결과로부터 얻어진 진동수 10Hz를 고정값으로 하고 연직방향 진폭만을 제어함으로써 요구되는 진동속도를 얻었다. 진동가력장치는 그림 1에 나타내었다.

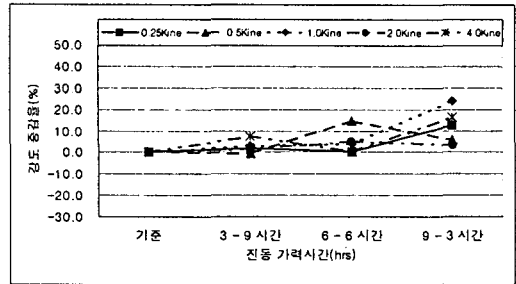
3. 실험결과 및 분석

진동속도, 진동가력 전 시간 및 진동가력시간을 실험변수로 한 각각의 시험체들에서 압축강도와 인장강도는 3개의 공시체에서 얻어진 값을 평균하여 사용하였으며, 부착강도는 협소한 진동판의 실험여건상 2개의 공시체에서 얻어진 값을 평균하여 사용하였다. 진동을 가한 시험체와 기준 시험체의 강도 측정결과를 강도 증감율로서 나타내면 그림 2와 같다. 여기서 강도 증감율은 식 (1)을 이용하여 구하였다.

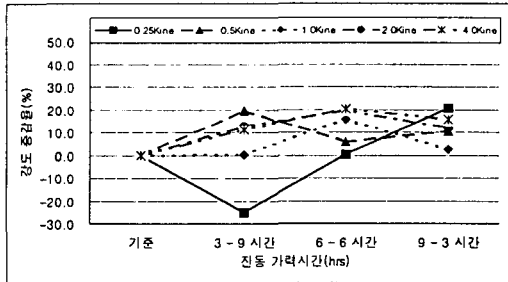
$$\text{강도증감율(\%)} = \frac{\text{진동을 가한 시험체의 강도}}{\text{기준시험체의 강도}} \times 100 - 100 \quad (1)$$



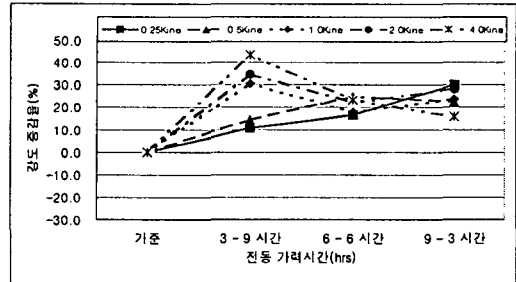
(a) 압축강도



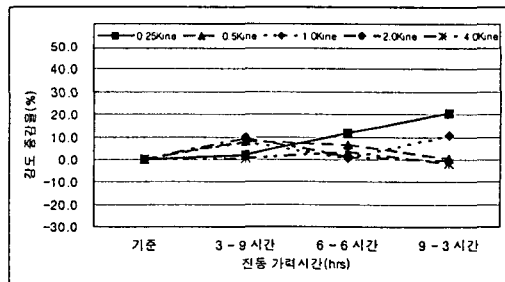
(b) 포름인장강도



(c) 부착강도 (수평철근-상)



(d) 부착강도 (수평철근-하)



(e) 부착강도(수직철근)

그림 2. 강도 증감율

실험결과를 분석해보면 다음과 같다. 먼저 압축강도는 0.25, 0.5, 1.0, 4.0kine에서는 진동가력 전 시간과는 무관하게 기준값 이상으로 되었다. 2kine의 3-9시간에서 약 3%의 강도 감소가 있었으나 다른 경우의 경향과 비교할 때 이는 실험에서 생긴 편차라고 생각된다. 따라서 콘크리트를 타설하고 나서 3시간 이후부터 진동을 받기 시작한다면 압축강도의 감소는 없을 것이라고 판단된다.

인장강도도 전반적으로 기준값보다 증가하였다. 0.5kine의 3-9시간에서 약 1%의 감소가 있었으나 이는 무시할 수 있는 정도라고 생각된다.

수평철근의 부착용력에 있어서 하부에 위치한 철근의 부착용력은 모든 경우에 기준값보다 증가하였다. 그러나 상부에 위치한 철근의 부착용력에 있어서 0.25kine의 3-9시간의 경우에 기준값보다 무려 25%정도의 강도 감소가 측정되었다. 이 값은 실험상의 착오로 여겨지며 따라서 재실험을 행하고자 한다.

수직철근의 부착용력도 2.0kine의 9-3시간에서 약 1%, 4.0kine의 9-3시간에서 약 2%의 감소를 보인 것 이외에는 모든 경우에서 강도가 기준값보다 증가하였다.

쪼갠인장강도 시험체들의 파단면을 육안으로 관찰한 결과 재료분리현상은 발생하지 않은 것으로 조사되었으며, 대표적으로 V4.0-3-9 시험체의 파단면은 그림 3에서 보는 바와 같다.

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



그림 3. 쪼갠인장시험체 파단면

4. 결론

각각의 실험변수에 대하여 측정치의 평균값을 구함에 있어서 공시체의 개수가 부족하다는 판단이 앞서지만, 실험을 통하여 얻어진 결과를 분석하면 아래와 같다.

- (1) 진동가력 전 시간이 3시간 이상만 유지된다면 이 이후의 진동가력시간은 강도감소 등의 불리한 영향을 주지 않는다고 판단된다.
- (2) 진동가력 전 시간과 진동가력시간의 변화에 따른 강도변화는 일정한 경향을 보여주지 않았다.
- (3) 위에서 언급된 결과들은 진동제한 설정의 필요성을 나타내고 있으며, 추후 보다 많은 측정 자료들로부터 실무에 적용될 수 있는 기준 설정을 확립하는 것이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Bastian, C. E, " The Effects of Vibrations on Freshly Poured Concrete ", Foundation Facts, Vol.6, No.1, pp.14-17, 1970.
2. 임종석 외, " 진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향 ", 대한주택공사, pp.58-77, 1990.
3. 장희석, 김명식, 김중수, 한중기, "초기양생 중에 수평연속진동을 받은 콘크리트의 강도특성", 콘크리트학회 논문집, 13권 5호, pp.423-429, 2001.
4. 천덕준, 김중수, 김명식, 장희석, 김희성, "초기양생 중에 수직방향 연속진동을 받은 콘크리트의 강도 특성에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 2003.