

잔골재율을 변화시킨 콘크리트의 압축강도에 수평진동이 미치는 영향

The Effects of Horizontal Vibration on the Concrete Compressive Strength under Fine Aggregate Modulus Variation

정 병 훈* 김 종 훈* 장 희 석** 김 종 수** 김 명 식**
Jung, Byung Hoon Kim, Jong Hoon Jang, Hee Suk Kim, Jong Soo Kim, Myung Sik

ABSTRACT

The objective of this study is to find out effects of horizontal vibration on the compressive strength for 7days and 28 days cured concrete specimens according to the variation of fine aggregate modulus, vibration velocities, and times began to vibrate.

Four kinds of fine aggregate modulus(40, 42, 45, 47%), three of vibration velocities(0.25, 0.5, 1.0kine/cm/sec), and four of times(0, 3, 6, 9hrs after concrete casting) were chosen as the experimental parameters in this study, the vibrations were applied for 30 minutes in each case.

From this study, it could be seen that the most increase of compressive strengths were obtained in case of 47% fine aggregate modulus, and 0.25kine of vibration velocity, but the strength was decreased when vibrated after 9hrs from concrete casting.

1. 서 론

최근 대형구조물의 공사현장에서 파일항타 등으로 인해 발생하는 지반진동은 주변의 양생중인 콘크리트 구조물에 균열을 발생시키고 강도를 저하시키는 등 구조물의 내하력을 저하시킬 수 있는 직접적인 원인으로 작용할 가능성이 있으며, 초기재령시 진동 등으로 부터 절대적 안정성을 유지한다는 것은 현실적으로 거의 불가능한 실정이다. 예를 들면 지하철, 철도나 도로 등에 인접하여 양생중인 콘크리트 구조물, 공업단지에서 기계기초로 부터 전달되는 진동의 영향 등을 들 수 있다.

진동의 영향은 콘크리트의 품질을 저하시킬 우려가 있으며, 이로 인하여 공기지연이 발생하는 등의 경제적인 손실로 이어질 가능성이 있다. 하지만, 콘크리트 표준시방서 및 도로교 표준시방서에 따르면 콘크리트는 양생기간 중에 예상되는 진동, 충격, 하중 등의 유해한 작용으로부터 보호되어야 한다고 규정되어 있으나 진동에 대한 기준치는 명시되어 있지 않으므로 국내 실정에 적용 가능한 기준치의 확립이 시급한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 실험변수로 잔골재율을 40, 42, 45, 47%의 4종류로 변화시키고, 진동속도는 0.25, 0.5, 1kine(cm/sec)의 3종류로 하며, 진동가력시점은 콘크리트 타설 후 0, 3, 6, 9시간, 진동가력시간

* 정회원, 부경대 토목공학과, 석사과정

** 정회원, 부경대 토목공학과, 교수

은 30분으로 하였다. 이러한 잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점의 변화가 콘크리트의 재령 7일, 재령 28일의 압축강도에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 연구하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 비중 3.14인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 굵은골재는 최대치수 25mm, 비중 2.69, 조립율 7.06인 경남 진해 용원 석산에서 생산되는 부순자갈을 사용하였고, 잔골재는 전남 진도 앞바다에서 채취한 비중 2.58, 조립율 2.76인 바다모래를 제염하여 사용하였으며, 혼화제는 표준AE감수제를 시멘트 중량의 0.1%를 사용하였다.

2.2 배합설계

본 연구의 배합설계조건은 배합강도(f_{cr})를 240kgf/cm², 단위수량을 185kg/m³로, 슬럼프를 12cm, 공기량을 5%이하를 기준으로 하고, 잔골재율은 40, 42, 45, 47%로 변화시켰으며, 물-시멘트비(W/C)는 45%로 고정하여 배합계산한 결과는 표 1과 같다.

표 1 배합설계표

f_{cr} (kgf/cm ²)	Slump(cm)	Air content(%)	G_{max} (mm)	s/a(%)	W/C(%)	Unit weight (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AE
240	12	5	25	40	45	185	411	654	1023	0.411
				42				687	989	
				45				736	938	
				47				802	904	

2.3 실험방법

진동가력장치는 MTS사의 25ton 용량의 액츄에이터를 이용하였으며 최대 5Hz 이내의 범위에서 sine 파로 가력하였다.

재료분리를 방지하고 혼합이 잘되도록 하기 위하여 잔골재, 굵은골재, 시멘트를 믹서기에 투입하여 1차 혼합 건비빔을 30초간 실시하고, 배합수와 표준AE감수제를 투입하여 120초간 2차 혼합비빔을 실시한 후 강도측정용 공시체를 제작하여 소정의 진동을 가하였으며, 공시체 제작 24시간 후에 켈핑을 실시하였으며 다시 24시간 뒤에 탈형을 한 뒤 20±3℃의 수조에서 양생을 하였다.

7일, 28일 동안 양생이 끝나면 공시체의 표면수를 제거하고 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 압축강도를 측정하였으며 잔골재율, 진동가력시점 및 진동속도의 변화에 따른 콘크리트의 압축강도를 비교하였다.

2.4 실험파라미터

본 연구에서는 잔골재율을 40, 42, 45, 47%로 진동속도는 0.25, 0.5, 1kine로 진동가력시점은 콘크리트 타설로 후 0, 3, 6, 9시간 이후에 30분 동안 진동을 가한 콘크리트의 재령 7일과 28일의 압축강도를 비교하여 그 변화 특성을 파악하고자 하였으며 실험파라미터를 정리하면 표 2와 같다. 표 2에서 무진동 N40, N42, N45, N47은 진동을 가한 콘크리트의 압축강도와 비교하기 위하여 진동을 가하지 않은 콘크리트를 말한다.

표 2 실험파라미터

s/a(%)	진동속도 (kine)	진동가력시점(hr)	기호	
			진동	무진동
40	0.25 (I)	(0), (3), (6), (9)	A I (0), A I (3), A I (6), A I (9)	N40
	0.5 (II)	(0), (3), (6), (9)	A II (0), A II (3), A II (6), A II (9)	
	1 (III)	(0), (3), (6), (9)	A III(0), A III(3), A III(6), A III(9)	
42	0.25 (I)	(0), (3), (6), (9)	B I (0), B I (3), B I (6), B I (9)	N42
	0.5 (II)	(0), (3), (6), (9)	B II (0), B II (3), B II (6), B II (9)	
	1 (III)	(0), (3), (6), (9)	B III(0), B III(3), B III(6), B III(9)	
45	0.25 (I)	(0), (3), (6), (9)	C I (0), C I (3), C I (6), C I (9)	N45
	0.5 (II)	(0), (3), (6), (9)	C II(0), C II(3), C II(6), C II(9)	
	1 (III)	(0), (3), (6), (9)	C III(0), C III(3), C III(6), C III(9)	
47	0.25 (I)	(0), (3), (6), (9)	D I (0), D I (3), D I (6), D I (9)	N47
	0.5 (II)	(0), (3), (6), (9)	D II (0), D II (3), D II (6), D II (9)	
	1 (III)	(0), (3), (6), (9)	D III(0), D III(3), D III(6), D III(9)	

3. 실험 결과 및 분석

압축강도의 증감률은 진동을 가하지 않은 공시체의 압축강도를 기준으로 하였으며 그 적용식은 다음과 같다.

$$\text{압축강도의 증감률(\%)} = \frac{\text{진동을 가한 공시체의 압축강도}}{\text{진동을 가하지 않은 공시체의 압축강도}} \times 100 - 100$$

3.1 재령 7일 압축강도의 변화

그림 1, 그림 2, 그림 3, 그림 4는 잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따라서 재령 7일의 압축강도 증감률이 어떠한 변화를 보이는가를 나타낸 그림으로서 가로축은 진동속도를 나타내고 있으며, 세로축은 재령 7일의 압축강도의 증감률을 나타내고 있다.

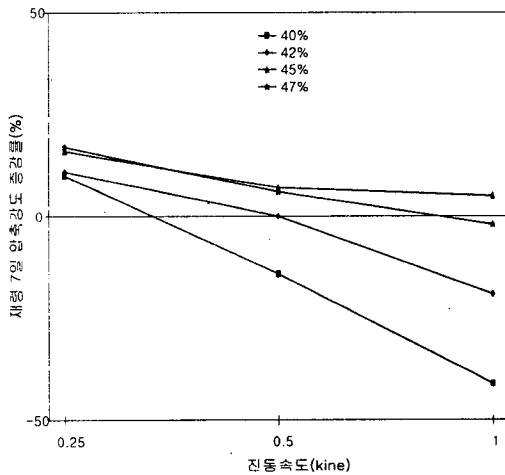


그림 1 진동가력시점이 0hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

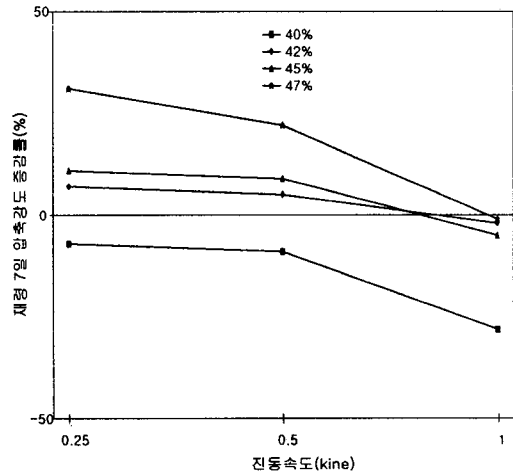


그림 2 진동가력시점 3hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

그림 1은 진동가력시점이 0hr일 때의 압축강도의 증감률을 나타낸 것으로서 잔골재율이 45% 이상에서는 진동속도에 관계없이 전반적으로 압축강도가 증가하는 것으로 나타났고, 진동속도가 0.25kine에서는 잔골재율에 관계없이 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

그림 2는 진동가력시점이 3hr일 때의 압축강도의 증감률을 보여주고 있는 그림으로써 진동속도 1kine에서는 잔골재율의 변화에 관계없이 압축강도가 감소하였으며, 특히 잔골재율 40%에서는 진동속도에 관계없이 압축강도가 감소하였다.

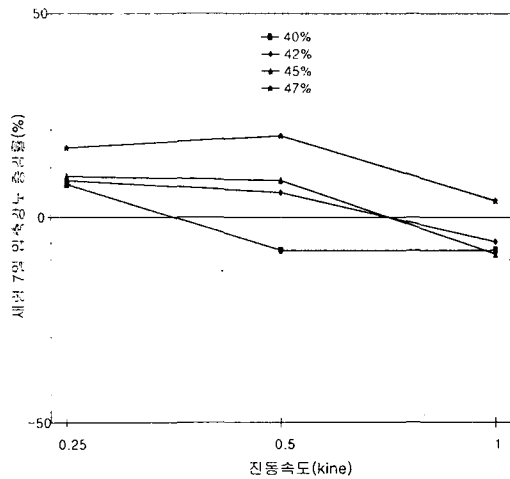


그림 3 진동가력시점 6hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

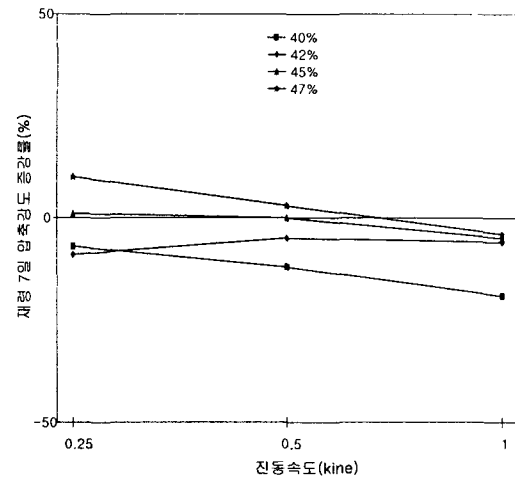


그림 4 진동가력시점 9hr일 때 재령 7일 압축강도 증감률

그림 3은 진동가력시점이 6hr일 때의 압축강도의 증감률을 나타낸 그림으로써 잔골재율이 47%에서는 진동속도에 관계없이 압축강도가 증가하였고, 또한 진동속도 0.25kine에서는 잔골재율에 관계없이 압축강도의 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 진동속도 0.5kine에서는 잔골재율이 40%일 경우에만 압축강도가 감소하였고, 1kine에서는 잔골재율이 47%에서만 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

그림 4는 진동가력시점이 9hr일 때의 압축강도의 증감률을 나타낸 그림으로써 전반적으로 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 진동속도 0.25kine에서는 잔골재율이 45%와 47%에서만 압축강도가 증가하였다. 0.5kine에서는 47%에서만 1kine에서는 모든 잔골재율에서 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

따라서 잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 7일의 압축강도 증감률을 보면, 잔골재율은 잔골재 사용량이 가장 적은 40%에서 대부분 압축강도가 감소하는 것으로 나타났고, 진동속도는 그 크기가 가장 큰 1kine에서 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 진동가력시점은 종결 시간에 가까운 9hr에서 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 재령 28일 압축강도의 변화

그림 5, 그림 6, 그림 7, 그림 8은 잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 28일의 압축강도 증감률의 변화를 나타낸 그림이다.

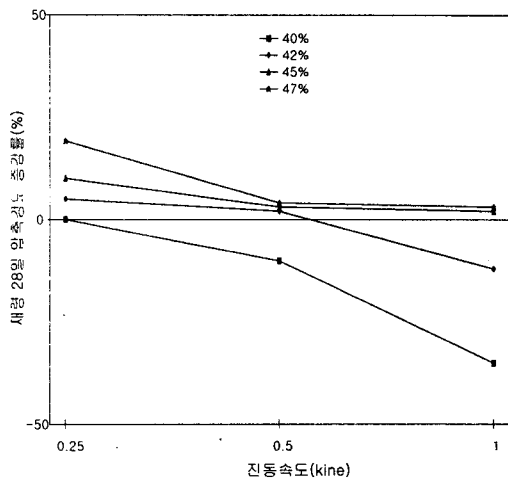


그림 5 진동가력시점 0hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

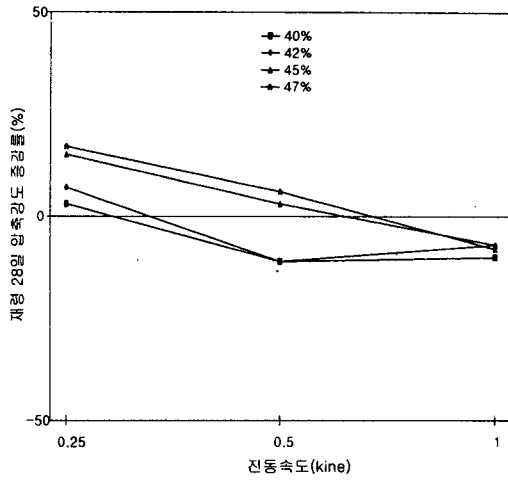


그림 6 진동가력시점 3hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

그림 5는 진동가력시점이 0hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재율이 40%에서는 진동속도의 변화에 관계없이 압축강도가 감소하고 있으며 나머지는 전반적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 진동속도 0.25kine에서는 잔골재율에 관계없이 압축강도가 증가하였다.

그림 6은 진동가력시점이 3hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 진동속도가 0.25kine일 경우에는 잔골재율에 관계없이 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 0.5kine에서는 잔골재율 40%와 45%에서만 압축강도가 감소하였으며, 1kine에서는 잔골재율에 관계없이 압축강도가 전부 감소하였다.

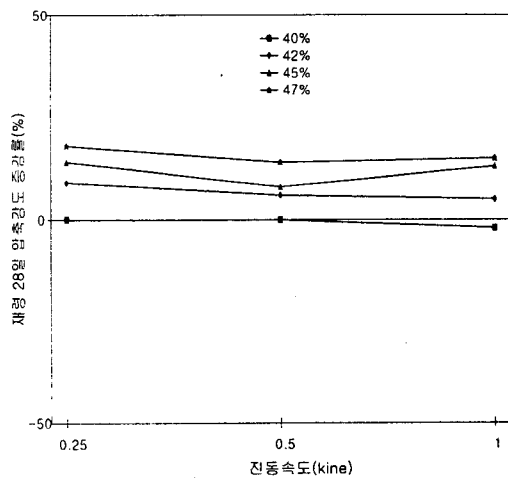


그림 7 진동가력시점 6hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

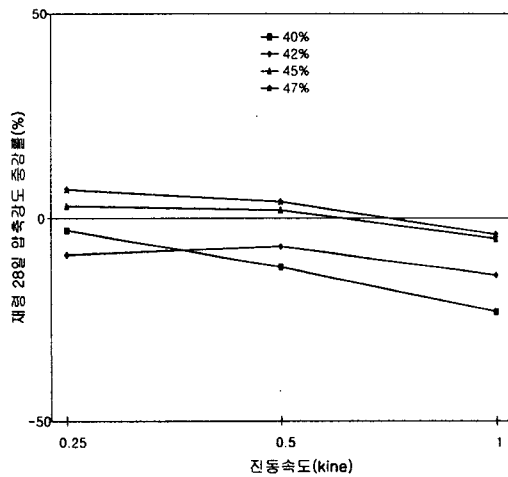


그림 8 진동가력시점 9hr일 때 재령 28일 압축강도 증감률

그림 7은 진동가력시점이 6hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재율이 40%에서는 진동속도에 관계없이 압축강도의 증감효과가 거의 나타나지 않으며, 그 이외의 잔골재율에 대해서는 진동속도에 관계없이 모두 압축강도를 증가시키는 경향으로 나타났다.

그림 8은 진동가력시점이 9hr일 때의 압축강도 증감률을 보여주고 있는 그림으로서 잔골재율이 40%와 42%에서는 진동속도에 관계없이 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 진동속도 1kine에서는 잔골재율에 관계없이 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 28일의 압축강도 증감률의 변화를 살펴보면, 재령 7일에 비하여 부분적이 차이는 있으나 전체적으로는 대부분 비슷한 경향을 나타내었다. 잔골재율은 40%에서 전반적으로 압축강도가 감소하는 경향이었고, 진동속도는 1kine에서 전반적으로 압축강도가 감소했으며, 진동가력시점은 9hr에서 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점을 변화시킨 콘크리트의 재령 7일, 재령 28일의 압축강도에 진동이 미치는 영향에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 잔골재율, 진동속도 및 진동가력시점의 변화에 따른 재령 7일의 압축강도 증감률을 보면, 잔골재율은 잔골재 사용량이 가장 적은 40%에서 대부분 압축강도가 감소하는 것으로 나타났고, 진동속도는 그 크기가 가장 큰 1kine에서 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 진동가력시점은 종결시간에 가까운 9hr에서 전반적으로 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 진동을 가한 콘크리트의 재령 28일 압축강도 증감률은 재령 7일에 비하여 부분적인 차이는 있으나 전체적인 경향은 비슷하였다.
- (3) 진동을 가한 콘크리트의 재령 7일, 재령 28일의 압축강도 증감률을 살펴보면, 잔골재율이 45%와 47%에서는 전반적으로 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으나, 이 중 47%가 증진효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 진동속도가 0.25kine에서는 대부분 압축강도가 증가하는 것으로 나타났고, 0.5kine에서는 부분적으로 압축강도가 증가하는 것으로 나타났고, 1kine에서는 대부분 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. 진동가력시점이 6hr까지는 대부분 압축강도의 증가하였으나, 9hr에서는 대부분 감소하였다.

참 고 문 헌

1. Bastian, C. E. (1970) The Effects of Vibrations on Freshly Poured Concrete, Foundation Facts, Vol. 6, No. 1, pp. 14-17.
2. Howes, E. V. (1979) Effects of Blasting Vibrations on Curing Concrete, Proceedings, 20th U.S. symposium on Rock Mechanics, Austin, Texas, pp. 455-460.
3. Hulshizer, A. J. (1996) Acceptable Shock and Vibration Limits for Freshly Placed and Maturing Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 6, pp. 524-533.
4. 오병환, "진동이 양생초기 콘크리트에 미치는 영향에 관한 연구" 콘크리트학회지, 제10권, 5호, pp.81-87.
5. 대한주택공사 (1990) '진동이 주변구조물 및 콘크리트 경화에 미치는 영향.'