

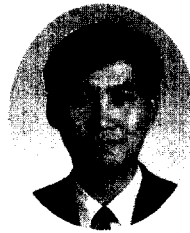
초기 재령 콘크리트의 종파 속도와 강도의 상관관계

Correlation between Longitudinal Wave Velocity and Strength of Early-aged Concrete



이희근*

Lee, Hoi-Keun



이광명**

Lee, Kwang-Myong



김동수***

Kim, Dong-Soo

ABSTRACT

The usage of nondestructive testing on early-aged concrete leads to enhanced safety and allows effective scheduling of construction, thus making it possible to maximize the time and cost efficiencies. In this study, a reliable nondestructive strength evaluation method for early-aged concrete using the longitudinal wave velocity is proposed. Compression tests were performed to examine factors influencing the velocity-strength relationship of concrete, such as water-cement (w/c) ratio, fine aggregate ratio, curing temperature, and curing condition. The test results show that a change in the w/c ratio and curing temperature has minor effect on the velocity-strength relationship. However, curing condition significantly influences the velocity-strength relationship of early-aged concrete. Moreover, the longitudinal wave velocity increases with decreasing fine aggregate ratio. It is concluded from this study that the strength evaluation of early-age concrete can be achieved by a nonlinear equation which considers the effects of curing condition and fine aggregate ratio.

Keywords : nondestructive test, impact-resonance test, compressive strength, early-aged concrete, curing, fine aggregate ratio.

* 정회원, 성균관대학교 토목공학과 박사과정

** 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수

*** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 부교수

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2001년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다

1. 서 론

현재 시공중인 콘크리트 구조물의 수명 및 내구적 성능은 재령 초기의 콘크리트 품질 관리 상태에 따라 좌우된다. 따라서 재령 초기에 콘크리트의 품질을 적절한 방법으로 평가할 수 있다면 앞으로 예상되는 구조물의 유지 및 보수비용의 절감과 시공 스케줄을 빠르게 하는 등의 경제적인 측면에서 상당한 이점이 있다. 이를 위해 비파괴검사가 적용되고 있지만 평가 방법의 문제점과 평가 결과에 대한 신뢰성의 문제가 대두되면서 기존의 방법보다 사용하기 쉽고 신뢰성이 높은 강도 평가 방법이 필요하게 되었다.

콘크리트의 종파 속도와 압축강도의 관계는 콘크리트의 수분함유량, 골재량, 골재의 종류, 양생 조건, 재령 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.^(1,2) 따라서 이러한 인자들이 직접적으로 속도-강도의 관계에 어떤 영향을 미치는지에 대한 이해가 필수적이며 이를 고려한 강도 평가 방법의 개발 및 적용이 요구된다. 또한 기존의 강도 평가는 장기재령의 콘크리트 강도평가에 국한된 것으로 초기재령 콘크리트의 강도평가를 위한 식이 마련되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 충격공진법에 의해 측정된 초기재령 콘크리트의 종파 속도와 압축강도의 상관관계에 영향을 미치는 여러 인자들을 실험을 통해 조사하였고, 영향인자를 고려한 초기재령 콘크리트의 강도 평가식을 제안하였다.

2. 충격공진법에 의한 종파 속도의 결정

충격공진법은 시험 대상체에 충격을 가했을 때 발생하는 파의 반향특성으로 인해 유발되는 공진 현상을 이용하여 종파 속도를 구하는 방법이다. 콘크리트의 종파 속도는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 실린더 또는 코아로부터 쉽게 얻을 수 있다. 공시체의 길이(L)와 직경의 비가 2 이상이라고 할 때, 막대파 속도(rod-wave velocity, V_c)는 다음 식에 의해 결정할 수 있다.

$$V_c = f_1 \cdot \lambda = f_1 \cdot 2L \quad (1)$$

여기서, f_1 은 첫 번째 모드 성분의 공진 주파수, λ

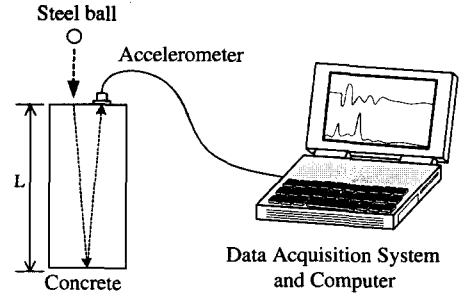


Fig. 1 Schematic diagram of impact-resonance test on cylinder

는 파장($2L$)을 나타낸다.

Fig. 2에는 공시체로부터 얻어지는 일반적인 시간 변위파형과 주파수 스펙트럼을 나타내었다. Fig. 2(b)에서 가장 큰 성분이 공진 주파수이며, 이후의 성분들은 충격에 의해 발생한 공시체의 진동 모드이다.

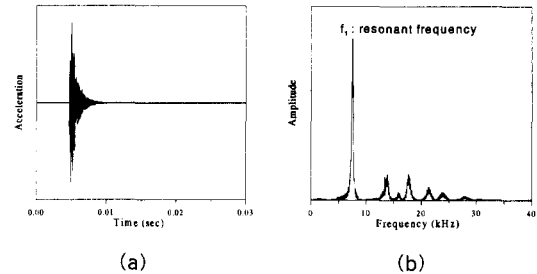


Fig. 2 Typical measurement (a) waveform of acceleration and (b) amplitude spectrum obtained from $\phi 100 \times 200$ mm cylinder

3. 실험 연구

3.1 개요

본 연구의 목적인 콘크리트의 종파 속도와 압축강도의 상관관계를 이용한 초기재령 콘크리트의 강도 평가식을 제안하고 제안된 방법의 현장 적용 가능성을 검토하기 위해 원통형 공시체와 콘크리트 부재(무근 콘크리트 슬래브)를 제작하여 콘크리트의 종파 속도 및 압축강도 실험을 수행하였다. 그리고 콘크리트의 양생조건이 다른 경우에 종파 속도와 압축강도의 관계를 분석하여 현장 적용성을 높이고자 도모하였다.

3.2 실험 변수

본 실험에서 고려된 변수들은 (1) 물-시멘트비 : 0.46~0.58, (2) 잔골재율 : 36~44%, (3) 양생 온도 : 10, 20, 30 °C, (4) 양생조건 : 수중양생과 기건양생이며, 각각의 변수들이 콘크리트의 종파 속도와 압축강도의 관계에 미치는 영향을 조사하였다. 본 실험에서 사용된 구체적인 양생조건을 Table 1에 나타내었다.

3.3 재료 및 배합비

콘크리트 배합 재료로, 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를, 굵은 골재는 최대치수가 25 mm인 화강암 쇄석을, 잔 골재는 강모래를 사용하였다. 실험에 사용된 5가지 종류의 콘크리트 배합비를 Table 2에 나타내었다. C1~C4 배합은 실험실에서 공시체(∅ 10×20 cm) 제작에 사용된 배합으로, 단위 수량은 185 kg/m³으로 일정하고 단위 시멘트량에 조금씩 차이를 두어 물-시멘트 비를 0.46~0.58로 변화시켰다. 또한 콘크리트의 종파 속도가 골재의 양에 의해 영향을 받기 때문에 잔골재율을 40~41%로 하여 각각의 배합에서의 단위 골재량이 큰 차이가 나지 않도록 조절하였다. 하지만 잔골재율의 변화가 속도-강도의 관계에 미치는 영향을 조사하기 위해 C3 배합의 잔골재율을 36%와 44%로 변화시켰다. C5는 28일 압축강도가 27 MPa인 레미콘 배합

으로 현장검증용 슬래브 제작(150×200×20 cm)에 사용하였다.

3.4 종파 속도 및 압축강도의 측정

실험 재령은 1, 2, 3, 7, 14, 28일이며 재령별로 종파 속도와 압축강도를 각각 측정하였다. 종파 속도의 측정에는 2절에서 언급한 충격공진법을 사용하였다. 양생조건 A로 양생된 공시체에 대한 종파 속도(막대파 속도)는 시편의 수분함유량에 따른 종파 속도의 영향을 고려하여 물 속에서 꺼낸 후 3시간 이후에 측정하였다. 레미콘을 사용한 경우에는 슬래브 타설과 동시에 공시체를 만들었으며 양생조건 B로 양생하였다. 슬래브에서의 실험은 먼저 슬래브에서의 종파 속도(슬래브 속도)를 측정한 후 그 부위에서 코아를 채취하였다. 채취된 코아에서 종파 속도(코아 속도)를 측정한 후 압축강도를 측정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 종파 속도와 압축강도의 상관관계에 영향을 미치는 인자

4.1.1 물-시멘트 비와 양생조건

Table 2에 나타난 C1~C4 배합으로부터 제작된 공시체의 막대파 속도와 압축강도의 관계를 양생조건별로 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Table 1 Curing conditions of specimens

Curing Condition	Details
Moisture (A)	Specimen was placed in a water bath at 10, 20, and 30 °C until the testing date.
Drying (B)	After casting, specimen was covered with wet-burlap for 3 days followed by exposure to ambient temperature of 23 ± 5 °C and humidity of 50 ± 10 % until the testing date.

Table 2 Mix proportion of five concrete mixtures (kg/m³)

Mix Type	Water	Cement	Aggregate		S/a (%)	Air (%)	W/C	Remark
			Coarse	Fine				
C1	185	320	1041.4	696.9	41	5.0	0.58	Lab.
C2	185	350	1008.3	703.1	41	5.0	0.53	Lab.
C3	185	370	1016.2	680.8	40	5.0	0.50	Lab.
C4	185	400	1032.0	691.0	40	5.0	0.46	Lab.
C5	177	375	932.0	791.0	46	3.0	0.47	Remicon

수중양생인 양생조건 A에서의 결과를 나타내는 Fig. 3을 보면, 막대와 속도와 압축강도가 비선형적인 상관관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 배합에 따라 약간의 차이는 있으나 막대와 속도와 압축강도의 상관관계가 높음을 알 수 있다. 다시 말해 속도가 증가할수록 압축강도가 비선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 재령 28일을 기준으로 할 때, 재령 초기에는 막대와 속도의 발현율이 압축강도의 발현을 보다 크기 때문인 것으로 판단된다.

기건양생인 양생조건 B에서의 결과를 나타내는 Fig. 4를 보면, Fig. 3에 비해 속도-강도의 관계가 다소 분산된 경향을 나타내었다. 이는 양생조건 A와는 달리 양생조건 B는 양생시의 대기 온도와 습도에 의해 변화를 받기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 3과 Fig. 4로부터 동일한 배합의 콘크리트라고 해도 양생조건에 차이로 속도-강도의 관계가 달라짐을 알 수 있다. 예를 들어, 막대와 속도가 4.0 km/s일 때의 압축강도가 양생조건 A에서는 약 30 MPa 정도, 양생조건 B에서는 약 40 MPa 정도로 나타났다. 이는 양생조건에 따른 콘크리트의 수분함유량의 차이로, 콘크리트의 수분함유량은 속도에는 영향을 미치지 않지만 강도에는 별다른 영향을 미치지 않는다. 다시 말해 콘크리트의 속도는 콘크리트 내부의 공극에 수분이 많을수록 커지는 경향을 나타내지만 강도는 이와 반대의 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다.^(3,4,5)

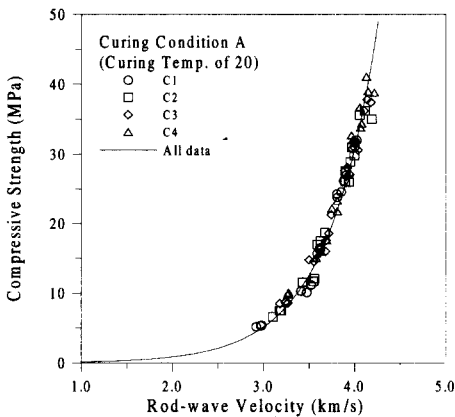


Fig. 3 Velocity-strength relationship under curing condition A

이상의 실험결과로부터 동일한 양생조건에 의해 양생된 콘크리트일 경우, 단위 골재량이 비슷하고 물-시멘트 비가 0.46~0.58인 배합에서는 물-시멘트 비의 차이가 속도-강도의 관계에 별다른 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 재령 28일 이전의 강도 추정에는 양생환경의 영향이 고려된 비선형적 속도-강도의 관계식에 의한 강도 평가가 가능한 것으로 판단된다.

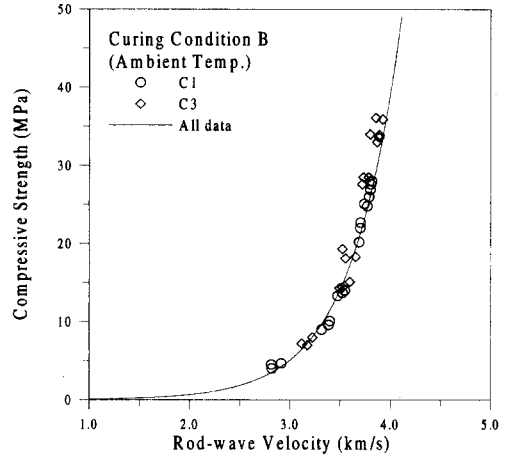


Fig. 4 Velocity-strength relationship under curing condition B.

4.1.2 양생 온도

C1과 C3 배합으로 제작되어 양생온도가 각각 10, 20, 30 °C인 수조에서 양생된 공시체의 막대와 속도와 압축강도의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 basic equation이라 표기된 실선은 강도 추정에 사용되는 기본식을 나타내며, 이를 4.2와 4.3절에 기술하였다.

C1 배합에서의 결과를 나타내는 Fig. 5(a)를 보면, 양생온도가 10~30 °C일 때 속도-강도 관계가 서로 잘 일치하는 경향을 나타내었다. 양생온도가 10 °C인 경우, 재령 1일에서의 막대와 속도가 약 1.7 km/s 정도로 아주 작은 값을 나타내었으며 이에 대응하는 압축강도 또한 약 0.9 MPa로 낮은 강도를 나타내었다. 따라서, 속도가 작으면 강도도 작게 나타나는 일대일의 대응관계가 있음을 알 수 있다. C3 배합에서의 결과를 나타내는 Fig. 5(b)는, Fig. 5(a)와 비슷한 경향을 나타내었다.

결과적으로 양생온도가 10~30 ℃인 범위에서는 양생온도의 변화가 속도-강도의 관계에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 양생온도 변화에 대한 영향은 강도 추정식에 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

4.1.3 잔골재율

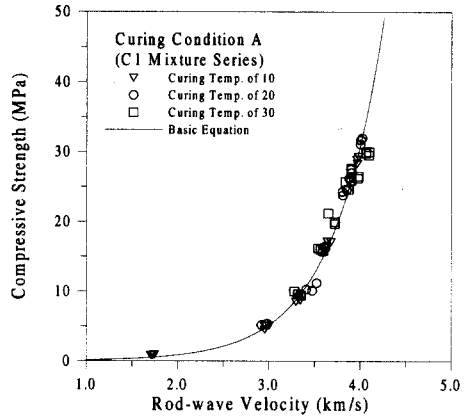
Table 2에 나타낸 C3 배합에서 잔골재율이 36~44 %로 변하는 배합으로 제작되어 20 ℃ 수조에서 양생된 공시체의 속도-강도의 관계를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서, 잔골재율이 40 %일 때를 기준으로 할 때, 잔골재율이 36 %로 감소하면, 같은 강도 수준에서 막대파 속도가 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 잔골재율이 44 %로 증가하면 막대파 속도가 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 압축강도는 잔골재율의 변화에 큰 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 골재의 탄성계수가 크고 단위 골재 함유량이 많은 콘크리트일수록 속도는 빨라지는데 반해 콘크리트의 강도는 골재의 양이나 탄성계수에 그다지 큰 영향을 받지 않는다는 기존의 결과⁽⁶⁾와 잘 일치하였다. 따라서, 잔골재율의 변화에 대한 영향을 강도 추정식에 고려해야 할 것으로 판단된다.

4.2 강도 평가 기법

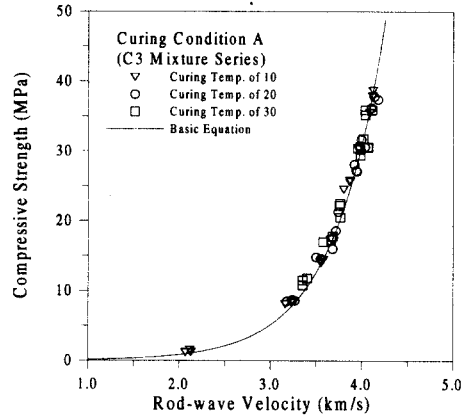
4.1절의 실험결과로부터, 재령 28일 이전의 콘크리트 종파 속도와 압축강도는 비선형적인 관계가 있으며 이러한 관계는 양생조건과 잔골재율의 변화에 의해 영향을 받는다는 것이 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 종파 속도와 강도의 관계에 영향을 미치는 인자들 중에서 특히, 콘크리트의 양생 조건을 고려하여 콘크리트 타설 후 재령 28일까지의 강도 평가를 위하여 다음과 같은 형태의 강도 평가식을 제안하였다.

$$f'_c(t) = a \exp [b k_c k_{s/a} \beta V_p(t)] \quad (2)$$

여기서, $f'_c(t)$ 은 임의 시간 t 에서의 추정 압축강도 (MPa), V_p 는 실제 콘크리트 구조물에서 측정된 종파 속도(km/s), β 는 부재 형상에 따른 속도 보정계수, k_c 는 콘크리트의 양생환경에 따른 보정계수, $k_{s/a}$ 는 잔골재율에 따른 보정계수, a , b 는 상수이다.



(a) C1 mixture series



(b) C3 mixture series

Fig. 5 Velocity-strength data under curing condition A with curing temperature variation

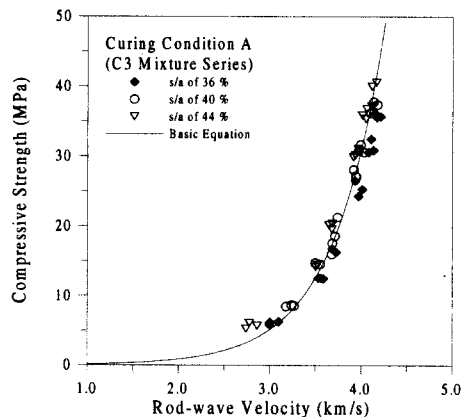


Fig. 6 Velocity-strength data with fine aggregate ratio for C3 mixture series

Table 3 Coefficient in the Equation (2)

Curing Condition	Curing Temp.(°C)	S/a (%)	Constant		Coefficient	
			a	b	k_c	$k_{s/a}$
A	10	40~41	0.024*	1.79*	1.0*	1.0
	20	36~37				0.98
		40~41				1.0*
		44~45				1.02
	30	40~41				1.0
B	-	40~41			1.04	1.0

* Coefficient in basic equation

Table 4 Test result of plain concrete slab

Type		Age (day)					
		1	2	3	7	14	28
V (km/s)	Slab (s)	3.418	3.631	3.682	3.791	3.818	3.920
	Core (c)	3.250	3.523	3.570	3.648	3.671	3.708
	(s-c)/s×100	4.9	3.0	3.0	3.8	3.9	5.4
f'_c (MPa)	Core	13.7	18.3	19.4	21.5	22.1	26.4

우선, 강도 추정에 기준이 되는 양생조건과 잔골재율을 정한 후 이로부터 얻어진 모든 속도-강도 데이터를 가지고 비선형 회귀분석을 수행하여 식 (2)의 상수 a, b를 각각 구한다. 이 때의 k_c 와 $k_{s/a}$ 는 1.0이 되며, 이 계수들은 양생조건과 잔골재율이 변화함에 따라 실험결과로부터 각각 구할 수 있다. 따라서 기준이 되는 식에 콘크리트의 양생조건과 잔골재율에 따라 구해진 보정계수를 적용하여 콘크리트 강도를 추정할 수 있다.

4.3 추정식의 계수 결정

실험결과를 이용하여 4.2절에서 언급한 방법대로 구해진 식 (2)의 계수들을 Table 3에 나타내었다. 초기재령 콘크리트의 강도 추정을 위해 20°C의 양생조건 A와 잔골재율이 40~41% 일 때를 기준으로 하였으며, 기준식의 상수 a와 b는 비선형 회귀분석에 의해 각각 0.024, 1.79로 정해졌고 상관계수는 0.975이었다. 이때의 양생환경계수, k_c 와 잔골재율에 따른 보정계수, $k_{s/a}$ 는 1.0이 된다. Table 3에서 보듯이, 다른 경우에서의 k_c 와 $k_{s/a}$ 는 양생조건 B에서의 k_c 는 1.04이며 $k_{s/a}$ 는 잔골재율에 따라 0.98~1.02로 변화했다.

5. 강도 평가식의 적용

5.1 슬래브 실험결과

본 연구에서 제안된 강도 평가 기법의 실제 콘크리트 구조물에의 적용 가능성을 검토하고자 제작된 무근 콘크리트 슬래브에서 측정된 슬래브 속도와 코아 속도, 그리고 코아 강도의 평균값을 Table 4에 나타내었다.

같은 방법에 의해 측정된 콘크리트 속도라도 시험체의 측방향 변위의 허용 유무에 따라 속도에 차이가 있을 수 있다. 즉 측방향 변위가 구속된 경우에서의 속도가 구속되지 않은 경우보다 약 4% 정도 크게 나타나는 것으로 알려져 있으며, 이는 Table 4를 보면 확인할 수 있다. 재령에 따라 약간의 차이가 있지만 재령 1일에서 재령 28일까지 슬래브 속도가 코아 속도보다 평균 4.0% 정도 크게 나타났다. 이러한 수치는 Sansalone⁽⁷⁾가 제시한 슬래브나 벽체와 같은 판 구조물에서의 속도 보정 계수와 일치하는 결과이다. 따라서 막대와 속도와 강도의 관계식으로부터 실제 콘크리트 구조물(슬래브)에서 측정된 종파 속도를 이용하여 강도를 추정할 때에는 다음의 관계를 이용할 수 있다.

$$V_c = \beta V_{slab} = 0.96 V_{slab} \quad (3)$$

5.2 제안된 식의 적용

본 연구에서 제안한 강도 평가 방법을 검증용으로 제작된 콘크리트 슬래브와 타 연구자의 실험결과^(8,9)에 적용한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 슬래브에의 적용에는 기본식에 k_c 는 1.04, $k_{s/a}$ 는 1.02, 그리고 β 는 0.96을 사용하여 강도를 추정하였으며 이를 코어 강도와 비교하였다.

Fig. 7을 보면, 슬래브에서 채취한 코어의 강도와 본 연구에서 제안된 방법에 의해 추정된 강도가 초기재령에서는 잘 일치하였으나 재령이 증가할수록 코어 강도가 상대적으로 작아지는 경향을 나타내었다. 또한 타 연구자의 실험결과를 가지고 본 연구에서 제안된 강도 추정 방법을 적용해 본 결과, 제안된 방법이 실제 강도를 다소 낮게 평가하고 있음을 나타내었으나 어느 정도의 오차범위 이내에서는 실제강도를 잘 추정함을 알 수 있다.

Fig. 3~Fig. 6에서 보듯이 재령이 증가할수록 속도의 미세한 차이가 강도에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 속도 측정에 세심한 주의가 요구된다. 따라서 장기재령에서의 강도 추정은 다른 형태의 평가 방법이 필요할 것으로 사료된다.

앞으로 많은 데이터를 수집하여 강도 추정에 사용된 관계식에서의 계수 및 상수 값을 더욱 더 정확하게 얻을 수 있다면 보다 실제강도에 근접한 강도 추정이 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다

- 1) 콘크리트의 단위 굵은 골재량이 비슷하며 동일한 방법에 의해 양생된 콘크리트인 경우, 물-시멘트 비와 양생온도의 변화가 콘크리트의 종파 속도와 압축강도의 상관관계에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트의 속도-강도의 관계는 수중양생과 기건양생의 양생조건과 잔골재율에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 초기재령 콘크리트의 종파 속도와 압축강도 관계를 나타내는 비선형식에 양생환경계수와 잔골재율에 따른 보정계수를 도입한 비파괴 강도 추정식을 제안하였다.
- 3) 본 연구에서 제안한 초기재령 콘크리트의 강도 추정식을 실제 무근 콘크리트 슬래브에 적용한 결과 추정강도와 실제강도의 관계가 다소 분산된 경향을 나타내었다. 하지만 추후 많은 실험과 데이터로부터 추정식의 계수들을 정확하게 얻을 수 있다면 보다 정확한 강도 추정이 이루어질 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 성균관대학교 SAFE 연구센터의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 이광명, 이회근, 김동수, 김지상, "콘크리트의 P파 속도에 영향을 주는 인자에 관한 연구," 콘크리트학회 학술발표회, 제10권 2호, 1998, pp. 725-730.
2. 김영진, 이상민, 최홍식, "재령을 고려한 콘크리트의 비파괴 강도 평가," 구조물진단학회지, 제 3권 3호, 1999, pp. 157-165.
3. 이회근, 이광명, 김지상, 김동수, "수분함유량이 콘크리트의 종파 속도에 미치는 영향에 관한 연구," 비파괴검사학회지, 제 19권 2호, 1999, pp.259-269.
4. Sturup, V. R., Vecchio, F. J. and Caratin, H., "Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength," In-Situ/Nondestructive

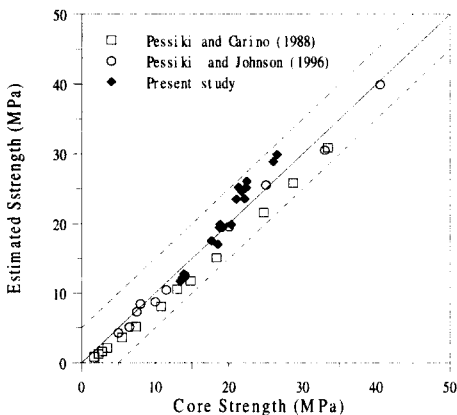


Fig. 7 Application on plain concrete slab

- Testing of Concrete, SP-82, Edited by Malhotra, V. M., ACI, Detroit, 1984, pp. 201-227.
5. Lee, J. H., Song, W. J., Popovics, J. S. and Achenbach, J. D., "Application of Advanced One-Sided Stress Wave Velocity Measurement in Concrete," Proceedings, Fourth Far East Conference on NDT, Cheju-do, Korea, 1997, pp. 433-442.
 6. Neville, A. M., Properties of Concrete, 4th edition, Longman, England, 1995, pp. 631-632.
 7. Sansalone, M. and Streett, W. B., Impact-Echo, Bullbrier Press, 1997, pp. 51.
 8. Pessiki, S. P. and Carino, N. J., "Setting Time and Strength of Concrete Using the Impact-Echo Method," ACI Materials Journal, Vol. 85, No. 4, 1988, pp. 389-399.
 9. Pessiki, S. and Johnson, M. R., "Nondestructive Evaluation of Early-Age Concrete Strength in Plate Structures by the Impact-Echo Method," ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 3, 1996, pp. 260-271.

요 약

초기재령 콘크리트에 대한 비파괴시험의 사용은 안전성을 확보하며 효과적인 시공 스케줄을 가능하게 함으로써 시간과 비용의 측면에서 효율을 극대화시킨다. 본 연구에서는 여러 가지 비파괴시험중에서 충격 공진법에 의해 측정된 콘크리트의 종파 속도를 이용하여 초기재령 콘크리트의 강도 평가 방법을 제안하였다. 먼저 종파 속도와 강도의 상관관계에 영향을 미치는 인자 중에서 물-시멘트 비, 잔골재율, 양생조건, 양생온도에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과, 속도-강도의 관계는 물-시멘트 비와 양생온도의 변화에 별다른 영향을 받지 않는 반면에 양생조건에 의해 상당한 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 잔골재율이 감소하면 종파 속도는 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서, 본 연구에서는 보다 신뢰성이 높은 초기재령 콘크리트의 강도 평가를 위해 양생조건과 잔골재율의 영향이 고려된 속도와 강도의 비선형 관계식을 제안하였으며, 무근 콘크리트 슬래브를 제작하여 제안된 방법의 적용 가능성을 확인하였다.

(접수일자 : 2000. 6. 31.)