

현무암골재를 사용한 콘크리트의 슈미트 햄머법 비파괴 시험에 의한 강도 평가

Evaluation of Compressive Strength of Concrete Using Aggregate of Basalt by Schmidt Hammer Testing

김 상 우^{*} 표 대 수^{*} 홍 상 희^{**} 이 백 수^{***} 한 천 구^{****}
Kim, Sang woo Pyo, Dae Soo Hong, Sang Hee Li, Bai Shou Han, Cheon Goo

ABSTRACT

The objective of this study is to compare compressive strength and rebound number of Schmidt hammer of concrete using basalt aggregate to that using granite aggregate. And is to provide the reference data on the standardization of nondestructive test of concrete. According to test results, compressive strength of concrete using basalt aggregate is highly estimated under the same rebound number compared to that using granite aggregate about 5~15%. It is urgently that newly suggested estimation formula of compressive strength using basalt aggregate must be prescribed because estimation formula of compressive strength of concrete using basalt aggregates overestimates the strength compared to that using granite aggregate.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 압축강도를 정확히 추정하는 것은 구조물의 품질관리 및 유지관리 측면에서 상당히 중요하게 인식되어지고 있다. 그런데, 콘크리트의 강도를 평가하는 방법 중 가장 대표적인 슈미트 햄머법 비파괴시험은 골재의 종류, 배합사항 및 양생조건 등에 따라 그 차이가 크게 발생될 수 있다. 특히, 우리나라 제주도인 경우는 골재의 조성 및 물리적 성질이 육지의 것과 현저하게 다르므로 제주지역에 맞는 콘크리트의 강도평가를 위한 슈미트 햄머법 비파괴시험의 표준화가 절실히 요구되고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 제주도에 널리 분포되어 있는 대표적인 현무암 2종류와 육지의 대표적인 화강암골재를 이용하여 콘크리트를 제조한 다음 물시멘트비, 재령변화 및 양생조건에 따른 압축강도와 슈미트 햄머에 의한 반발도 특성치를 비교·분석함으로써, 제주도지역 콘크리트의 압축강도 추정 비파괴시험 표준화에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

- * 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정
- ** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정
- *** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정, 중국연변대학 부교수
- **** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 실험계획으로 굵은 골재 종류는 공극구조가 큰 현무암A와 공극구조가 비교적 작은 현무암 B, 및 화강암C의 3수준으로 하였고, W/C는 30~70%까지 10%간격의 5 수준으로 하였다. 목표 슬럼프값과 공기량은 각각 $15\pm 1\text{cm}$, $4.5\pm 1\%$ 를 만족시키는 범위로 배합설계 하였다. 실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 및 공기량을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 양생방법으로 표준양생 및 기중양생, 실험항목으로, 계획된 재령에서 압축강도 및 반발도를 측정하였다.

표 1 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	굵은 골재 종류	3	공극구조가 큰 현무암 (A), 공극구조가 작은 현무암, (B) 충청권 화강암
	W/C(%)	5	30, 40, 50, 60, 70
	목표 슬럼프(cm)	1	15 ± 1
	목표 공기량(%)	1	4.5 ± 1
실험사항	굳지 않은 콘크리트	2	슬럼프, 공기량
	경화 콘크리트	양생방법	표준양생, 기중양생
	실험항목	2	압축강도, 반발도 (3, 7, 14, 28, 91, 180일)

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 H사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 현무암 골재의 경우 잔골재는 완도 앞바다에서 채취한 세척사와 화강암의 경우 충북 청원군 부강면 미호천산 강모래를 사용하였다. 굵은골재는 제주에서 가장 많이 사용되는 대표적인 2곳의 골재 즉, 북제주지역에서 산출되는 비교적 공극구조가 큰 25mm현무암 A, 남제주지역에서 산출되는 비교적 공극구조가 작은 현무암B 및 충북 괴산산 25mm화강암C를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 표 4와 같다. AE감수제 및 고성능감수제는 나프탈렌계를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

표 2 콘크리트 배합표

W/C (%)	골재종류	단위 수량	S/A (%)	AE 감수제 /C(%)	고성능 AE감수제 /C(%)	절대용적배합 (ℓ/m^3)			중량배합 (kg/m^3)		
						C	S	G	C	S	G
30	현무암 A	180	38	-	1.1	191	222	362	600	571	968
	현무암 B	180	38	-	1.05	191	222	362	600	571	968
	화강암	180	37	-	1.0	191	216	368	600	556	983
40	현무암 A	185	41	0.8	-	147	255	368	463	657	982
	현무암 B	185	40	0.8	-	147	249	374	463	641	1036
	화강암	185	39	0.9	-	147	243	380	463	625	1015
50	현무암 A	180	44	0.65	-	114	291	370	360	747	988
	현무암 B	180	43	0.67	-	114	284	377	360	730	1043
	화강암	185	41	0.65	-	118	267	385	370	688	1028
60	현무암 A	185	47	0.5	-	98	316	356	308	812	951
	현무암 B	185	45	0.5	-	98	302	370	308	777	1024
	화강암	185	43	0.55	-	98	289	383	308	743	1023
70	현무암 A	195	48.5	0.4	-	88	326	346	279	837	923
	현무암 B	195	47	0.3	-	88	316	356	279	811	986
	화강암	195	46	0.4	-	88	309	363	279	794	968

표 3 시멘트의 물리적 성질

비 중	분 말 도 (cm^2/g)	안 정 도 (%)	응결시간(분)		압축강도 (kgf/cm^2)		
			초 결	중 결	3일	7일	28일
3.15	3,487	0.169	265	365	207	305	405

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 이용하여 3분 비빔을 실시하였고, 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량은 KS F 2402 및 KS F 2421의 규정으로 실시하였으며, 공시체 제작 및 양생은 KS F 2403 규정에 따라 실시하였다. 또한, 경화콘크리트의 압축강도 시험 및 반발도 시험은 각 양생 조건별로, KS F 2405 규정에 의거 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체를 제작하여 실시하였고, 반발도 시험방법은 $20 \times 20 \times 20\text{cm}$ 공시체를 제작하여 일본건축학회의 「콘크리트 강도추정을 위한 비파괴시험방법 매뉴얼」에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 배합 및 굳지 않은 콘크리트의 특성
 콘크리트의 배합설계사항 및 굳지 않은 콘크리트의 실험 결과는 표 2 및 6과 같다. 실험결과 현무암골재 콘크리트의 배합사항은 화강암의 경우보다 골재의 다공질화에 기인하여 단위수량은 같거나 약간 작게, 잔골재율은 1~4%정도 크게 해주어야 함을 알 수 있었다. 또한, AE감수제량은 같거나 약간 작게 결정되었다.

슬럼프 및 공기량은 모든 배합에서 목표한 값을 만족하는 것으로 나타났는데, 단, 현무암골재의 공기량 시험에서 골재의 수정계수는 현무암 골재의 종류에 따라 A는 2%, B는 1%로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 1은 양생방법, 골재종류 및 W/C 별 재령경과에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타낸 그래프이고, 그림 2는 양생방법별 골재종류에 따른 압축강도를 비교 분석한 그래프 및 회귀식이다. 당연한 결과이겠지만, 재령이 경과할수록, 또한, 물

표 4 현무암 및 화강암골재의 물리적 성질

구분	골재종류	비중	조립률	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	입형관정실적율 (%)
잔골재	해사	2.57	2.55	1.48	1,601	62.3
	강모래	2.56	2.64	1.46	1,598	61.0
굵은골재	A	2.67	7.18	2.01	1,462	54.8
	B	2.77	7.11	1.77	1,502	54.2
	C	2.67	6.82	1.34	1,534	58.3

표 5 AE 감수제 및 고성능 AE감수제의 물리적 성질

종류	성상	외관	이온성	고형분	비중 (20℃)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
AE 감수제	액상	암갈색	음이온성	33%	1.15	25	0.1~1.5
고성능 AE감수제	액상	암갈색	음이온성	40%	1.22	42.5	0.3~1.5

표 6 굳지않은 콘크리트의 실험결과

골재종류	W/C(%)	30	40	50	60	70
		현무암A	슬럼프(cm)	16	16	14
	공기량(%)	3.5	4	4	5.3	4.3
현무암B	슬럼프(cm)	16	16	15	15	15
	공기량(%)	3.5	3.8	4	4.9	4.7
화강암C	슬럼프(cm)	16	16	14	15	16
	공기량(%)	4.5	4	4	4.8	5

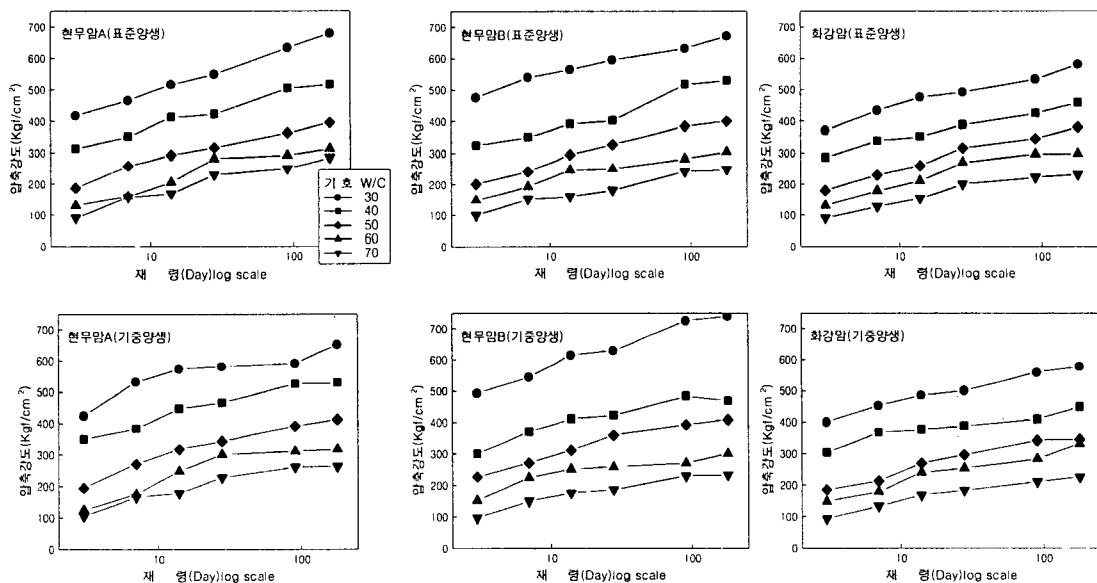


그림 1 W/C비 및 양생조건별 재령경과에 따른 압축강도 비교

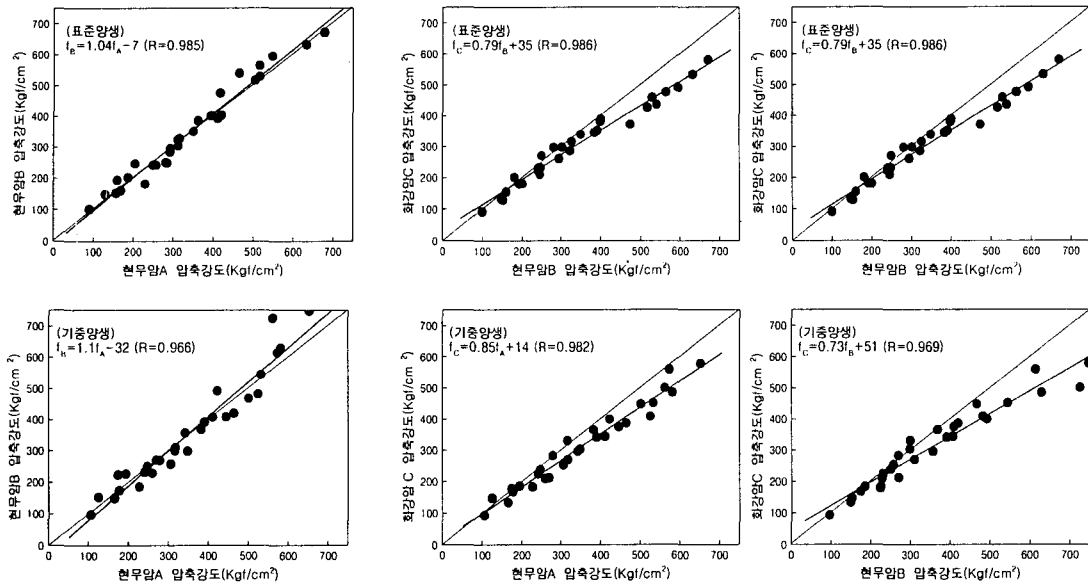


그림 2 현무암 골재 및 화강암 골재를 사용한 양생조건별 압축강도 비교

시멘트비가 낮아질수록 각각 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 골재종류별로는 현무암골재를 사용한 콘크리트가 화강암의 경우보다 약 10~15%정도 높은 강도를 나타내었다. 이러한 특성은 현무암 골재가 육지의 화강암 골재보다 골재간 결합력이 크고 표면에 노출된 벌집모양의 유공질이 시멘트·페이스트와의 결합력을 크게 하여 압축강도가 높게 나타난 것으로 분석된다. 또한, 현무암 골재 A, B간에는 비중이 크고 공극구조가 작은 B골재가 약간 큰 듯하나 전반적으로는 유사한 경향이였다.

3.3 반발도 특성

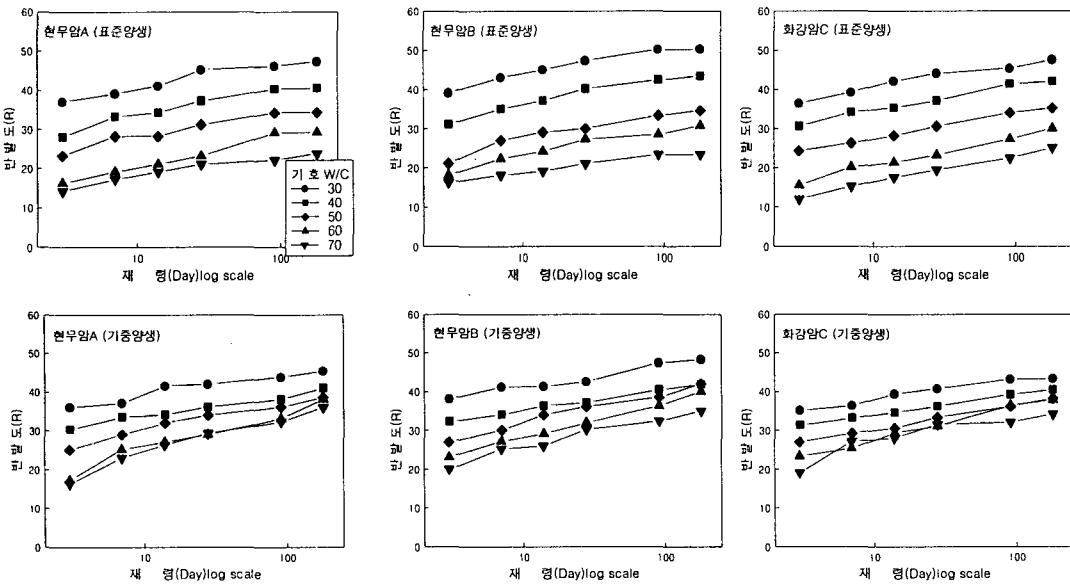


그림 3 현무암 골재 및 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 양생조건별 반발도

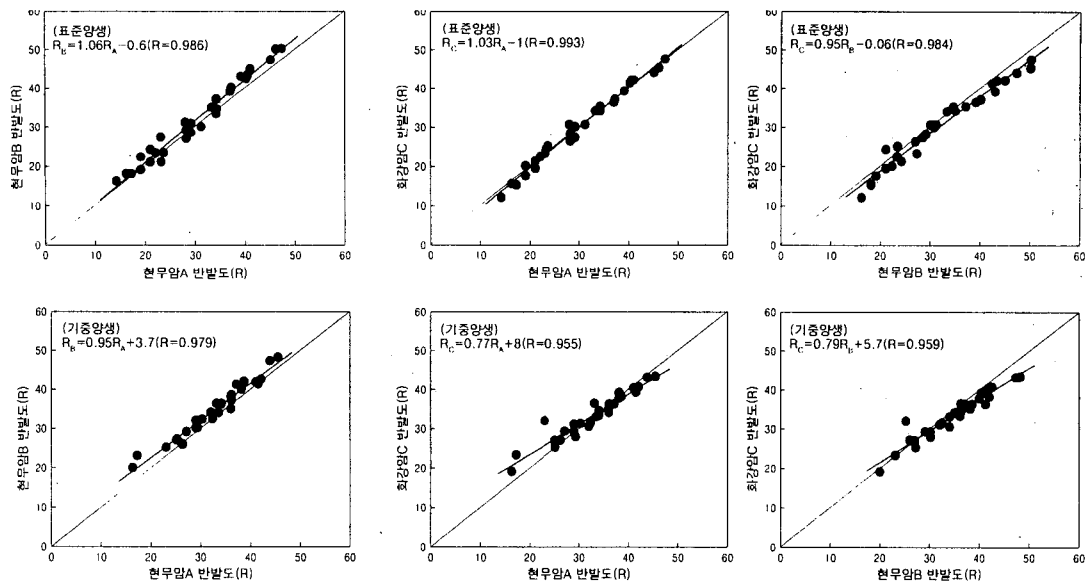


그림 4 현무암 골재 및 화강암 골재를 사용한 양생조건별 압축강도 비교

그림 3은 양생방법, 골재종류 및 W/C별 재령경과에 따른 콘크리트의 반발도를 나타낸 것이고, 그림 4는 양생방법별 골재종류에 따른 콘크리트의 반발도를 비교분석한 그래프와 회귀식이다. 당연한 결과이겠지만, 반발도는 W/C가 작고, 재령이 경과할수록 크게 나타났으며, 양생조건별로는 W/C가 큰 경우 기중양생에서 반발도가 크게 나타났고, 골재종류별로는 현무암골재를 사용한 콘크리트가 화강암골재를 사용한 경우보다 약간 큰 듯하나 거의 차이가 없게 나타났다. 단, 현무암 골재A, B간에는 B의 반발도가 약간 크게 나타났는데, 이는 골재의 공극구조가 비교적 치밀하고, 비중이 큰 것등에 기인한 것으로 분석된다.

3.4 반발도에 의한 압축강도추정

그림 5는 현무암 및 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 반발도에 따른 압축강도 추정식으로서 표준양생과 기중양생을 종합하여 나타낸 그래프와 회귀식이다. 현무암골재를 이용한 콘크리트 A, B간에는 A가 동일반발도에서 약 10%정도 높게 추정되었고, 화강암골재 C와 비교하면 약 5~15%정도 높게 추정되었다.

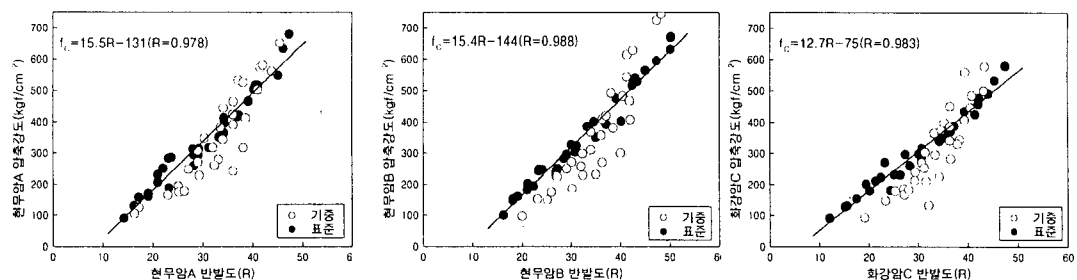


그림 5 현무암 골재 및 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 반발도에 따른 압축강도 추정

3.5 기존식과 비교

그림 6은 기존의 제안된식으로 일본건축학회, 일본재료학회 및 동경도 건축재료 검사소식의 반발도에 따른 압축강도를 현무암 및 화강암골재를 이용한 경우와 비교한 것이다. 기존의 식이 작은 반발도에서는 크지만, 큰 반발도에서는 매우 작은 압축강도를 추정하고 있는 것으로 나타났다.

따라서, 제주지역 콘크리트의 올바른 슈미트햄머법 비파괴시험 품질관리를 위하여는 새로운 추정식의 표준화가 반드시 필요한 것으로 분석되었다.

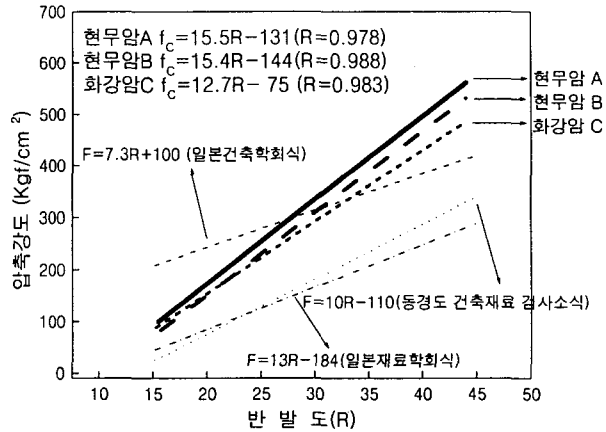


그림 6 기존식과의 비교

4. 결론

본 연구는 현무암 및 화강암골재를 사용한 콘크리트의 W/C, 재령 및 양생조건별 압축강도와 반발도를 측정하여 비교하고, 또한 반발도에 따른 압축강도 추정식을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현무암골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 화강암골재를 사용한 경우보다 골재간 결합력 및 벌집모양의 유공질 표면조직에 기인하여 10~15%정도 높게 나타났다.
- 2) 현무암 및 화강암골재를 사용한 콘크리트의 반발도는 화강암골재의 경우보다 약간 크거나 거의 차이가 없고, 현무암 A, B 골재간에는 공극구조가 작고 비중이 큰 B골재에서 크게 나타났다.
- 3) 반발도에 의한 압축강도 추정치의 경우는 화강암 보다 현무암골재를 사용한 콘크리트가 5~15%정도 높았고, 현무암골재별로는 B골재보다 A골재의 경우가 10%정도 높게 추정되었다.
- 4) 기존강도 추정식과의 비교로서 본 연구결과는 일본건축학회식, 동경도 건축재료 검사소식 및 일본재료학회식 보다 동일반발도일 경우 낮은 반발도에서는 작게, 큰 반발도에서는 매우 크게 평가하고 있는 것으로 대단히 차이가 큼에 따라 이에 적합한 새로운 추정식의 표준화가 반드시 필요한 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 한천구, 오성철 ; 제주지역 골재를 사용하는 콘크리트의 비파괴시험에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 7권 2호, 1987, 10.
2. 한천구, 류현기, 윤기원, 이백수, 김상우 ; 현무암골재를 이용한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 20권 2호, 2000, 10.
3. 한천구, 김무한, 김병극, 윤기원, 이종태, 김현우 ; 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 비파괴 시험에 의한 강도평가 ; 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 11권 2호, 1999, 10.
4. 이리형 외 7인 ; 콘크리트 구조물의 비파괴검사 및 안전진단, 한국콘크리트학회, 1995
5. 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트공학, 1999.
6. 日本建築學會 ; コンクリート 強度推定のための非試験方法 マニュアル, 日本建築學會, 1982.