

# 골재의 종류에 따른 고강도 콘크리트의 공학적 특성에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Engineering Properties of High Strength Concrete according to Kinds of Aggregate

○ 김 규 용\*\* 최 회 용\* 김 진 만\*\*\* 남 상 일\*\*\*\* 심 옥 진\*\*\*\*\* 김 무 한\*\*\*\*\*  
Kim, Gyu Yong Choi, Hee Yong Kim, Jin Man Nam, Sang Ill Sim, Ok Jin Kim, Moo Han

### ABSTRACT

Since at least three-quarters of the volume of concrete is occupied by aggregate, it is not surprising that its quality is of considerable importance. Not only may the aggregate limit the strength of concrete, as weak aggregate cannot produce strong concrete, but the properties of aggregate greatly affect the durability and structural performance of concrete. But, it is true that aggregate strength is usually not a factor in normal concrete strength because the aggregate particle is several times stronger than the matrix and the transition zone in concrete.

This study is to consider the influence the strength of concrete according to the kinds of aggregate, such as crushed river rocks, crushed rocks, high strength recycled aggregate, low strength recycled aggregate at water cement ratio 0.25. It is possible to concern the important of the mechanical role of aggregate for the high strength concrete.

### 1 서 론

콘크리트의 파괴모델로써, 콘크리트의 공시체에 일축하중이 작용하게 되면 파괴하중치 30-50%의 범위에서 골재와 페이스트간에 이미 존재하고 있는 부착균열이 증폭되고, 파괴하중의 50-80%에서 부착균열이 모르타르중에 진전되기 시작하며, 파괴하중 80-90%의 범위에서는 모르타르균열과 부착균열이 현저하게 진전되어 파괴에 이르게 된다. 즉, 보통강도 및 저강도 영역의 경화콘크리트에서 굵은 골재는 압축강도 등의 공학적특성에 큰 영향을 주지 않는다.

그러나, 고강도영역의 콘크리트에서는 물시멘트비가 낮아짐에 따라 시멘트 페이스트와 골재와의 부착면이 향상되고 모르타르 부분이 밀실하게 되어 굵은골재의 물리·화학적 특성에 따라 큰 영향을 받는다.

본 연구는 골재의 종류에 따른 고강도영역 콘크리트의 공학적 특성에 관한 기초적연구로써 4가지 수준의 골재가 고강도 영역 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 살펴 보았다. 시험항목으로는 압축강도 특성을 중심으로 단위용적중량, 동탄성계수, 초음파속도, 반발도에 대하여 검토하였다.

### 2. 실험계획 및 실험방법

본 연구는 골재의 종류에 따른 경화콘크리트의 각종 공학적 특성을 비교·분석하기 위하여 깎강자갈, 쇠석, 고강도재생골재(실험실내에서

\* 충남대 대학원 (석사과정)  
\*\* 정회원, 충남대 대학원 (박사과정)  
\*\*\* 정회원, 충남대 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, 영월공업전문대 교수, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 현대건설기술연구소장, 부사장  
\*\*\*\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공·박

표1 콘크리트의 조합 및 경화콘크리트의 공학적 특성 시험결과

골재의 종류	골재비 (W/C)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)	절대용적 (l/m³)		단위중량 (kg/m³)		경화콘크리트의 공학적 특성치															
								단위용적중량 (kg/l)			압축강도 (kgf/cm²)			동탄성계수 (×10³kgf/cm²)			초음파속도 (km/sec)			반발도 (R·N)			
								C	S	G	C	S	G	1주	4주	8주	1주	4주	8주	1주	4주	8주	1주
견강자갈	0.25	37.0	150	190	240	600	618	1060	2.46	2.46	2.44	621	629	656	4.1	4.2	4.04	4.56	4.6	4.79	40	41	41
쇄석								1060	2.46	2.45	2.44	780	865	897	4.6	4.8	4.64	4.6	4.6	4.93	41	42	44
고강도 재생골재								1084	2.45	2.48	2.46	706	725	763	4.4	4.6	4.47	4.5	4.5	4.85	41	42	42
저강도 재생골재								982	2.38	2.37	2.37	569	597	619	4.0	4.2	4.09	4.52	4.6	4.78	40	41	40

제조한 압축강도 400~500kgf/cm²내외의 공시체 파쇄), 저강도재생골재(실구조물을 파쇄한 압축강도150 ~210kgf/cm²내외의 콘크리트)로 골재의 종류를 4수준으로 하고 콘크리트의 조합은 표 1과 같이 설정하였으며, 콘크리트의 각종 시험은 위한 공시체는 Ø10×20cm와 반발도용 Ø15×30cm의 실린더 볼드를 KS에 준하여 제작하여 소정의 재령까지 수중양생을 20±2℃에서 실시하였다.

경화상태에서 압축강도 시험은 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, 반발도 시험은 N형 슈미트 해머를 사용하였고, 동탄성계수의 시험은 공명진동수와 단위용적중량을 측정하여 동탄성계수를 환산하였고, 초음파속도의 측정은 pundit를 사용하여 측정하였다.

### 3. 골재의 물리적 성질

골재의 종류별 경화콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향에 대한 실험요인으로 4종류의 조골재를 선정하였으며, 이에 대한 물리적 성질은 표 2와 같다.

### 4. 경화콘크리트의 공학적 특성 검토 및 분석

#### 4.1 단위용적중량의 변화 및 검토

골재의 종류에 따른 단위용적중량의 변화를 나

표 2 골재의 물리적 성질

골재종류	골재종류	입경 (mm)	조립율 (FM)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	산지
세골재	제영사(SS)	2.5	2.68	2.59	0.91	65.1	1.685	울진산
조골재	견강자갈(CRA)	25	7.24	2.60	1.68	59.8	1.550	머사리
	쇄석(CS)	25	7.22	2.59	2.39	64.1	1.566	대전
	고강도 재생자갈(HSRA)	25	7.14	2.65	4.30	54.5	1.443	실험실조
	저강도 재생자갈(LSRA)	25	7.22	2.40	5.81	57.1	1.371	대전
	건축공사법시험서(KASS)	-	-	2.5 이상	3.0 이하	-	-	-
	일본의준규(JASS)	-	-	2.2 이상	7.0 이하	53.0 이상	-	-

\*일본건설성 건축연구소 「재생조골재의 품질기준(안)·동해설」 참조.

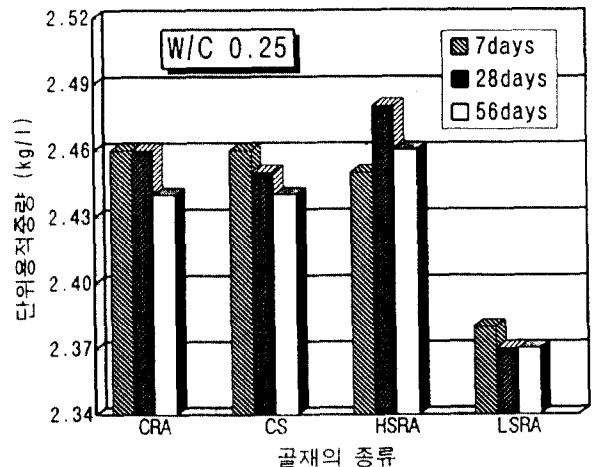
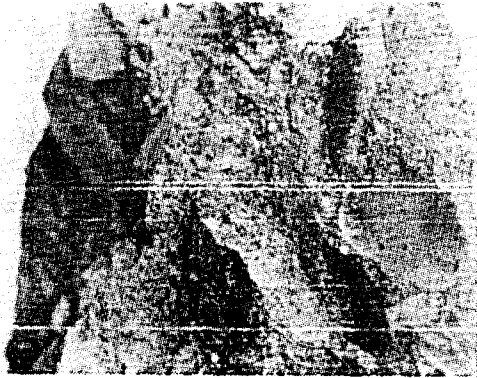
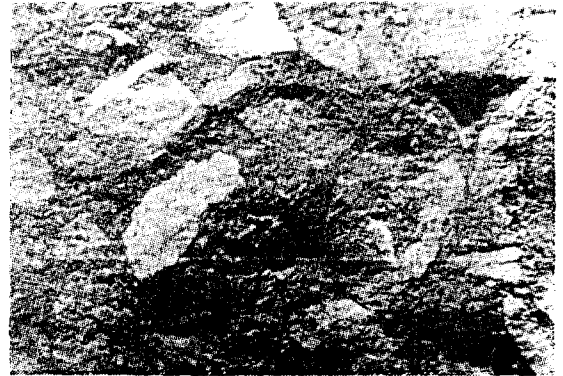


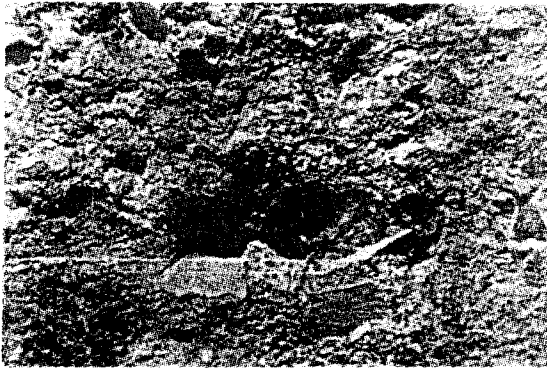
그림 1. 골재의 종류별 콘크리트의 단위용적중량의 변화



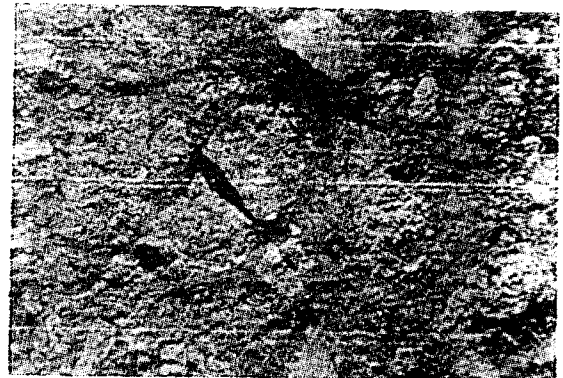
a) 강자갈콘크리트



b) 쇠석콘크리트



c) 고강도재생골재콘크리트



d) 저강도재생골재콘크리트

사진 1. 각 골재의 종류별 콘크리트의 파괴단면 성상

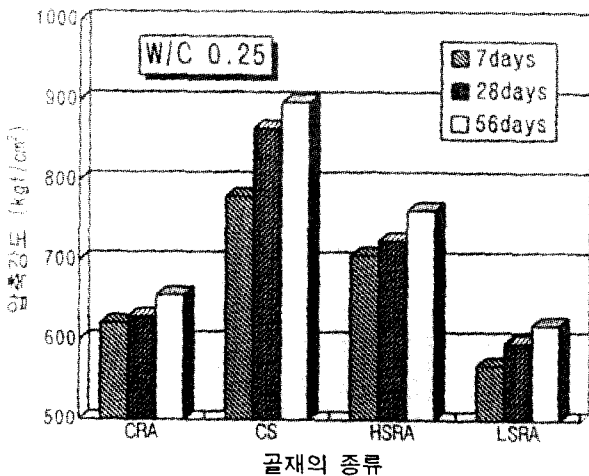


그림 2. 골재의 종류에 따른 압축강도의 변화

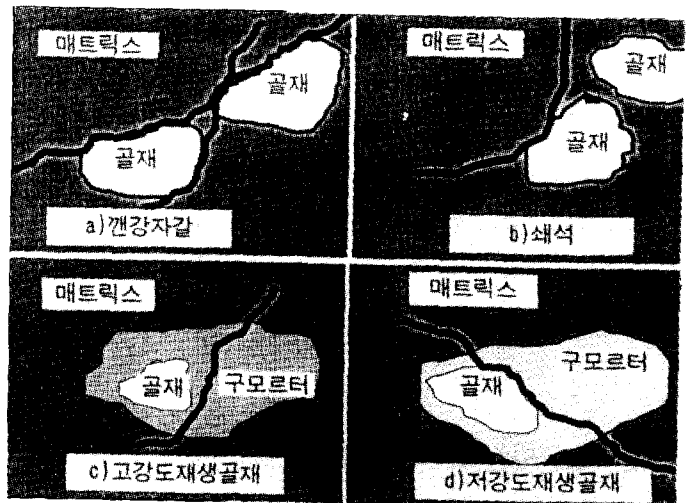


그림 3. 골재의 종류별 콘크리트의 파괴모델

타내고 있는 표 1 및 그림 1에서 알수 있는 바와같이, 경화콘크리트의 단위용적중량은 고강도재생골재를 사용한 경우가 상대적으로 가장 높은 단위용적을 나타내고 있으며, 저강도재생골재를 사용한 콘크리트의 경우 상대적으로 가장 낮은 단위용적중량 치를 보이고 있다.

이는 콘크리트의 조합상에서 골재의 단위중량에 따른 차이로써 골재의 비중차이에 기인한 것으로 사료된다.

#### 4.2 압축강도의 변화 및 고찰

동일 물시멘트비 0.25의 고강도 영역에서 조골재의 종류에 따른 압축강도의 변화를 고찰하여 보면, 표 1 및 그림 2에 나타낸 바와같이 재령 4주의 경우 압축강도는 쉐석콘크리트  $865\text{kgf/cm}^2$ , 고강도재생골재콘크리트  $725\text{kgf/cm}^2$ , 깎강자갈콘크리트  $629\text{kgf/cm}^2$ 의 순으로 발현되었으며, 각 재령에 따른 압축강도 발현 성상도 전술한 순서와 같게 나타나고 있다.

복합구성 재료상인 콘크리트의 압축강도 발현요인으로는 강도, 골재의 강도, 매트릭스와 골재와의 부착강도로 구성된다고 볼 때, 각 골재의 종류별 콘크리트의 압축강도 성상은 동일 물시멘트비에서 매트릭스의 강도는 각 골재의 종류에 관계없이 동일한 조건이므로 각 골재의 종류에 따른 콘크리트의 압축강도는 골재의 강도와 부착강도에 의하여 결정된다고 사료된다. 사진 1 및 그림 3에서 보는 바와같이 콘크리트의 파괴단면 성상은 골재의 종류에 따라 다르게 나타나고 있음을 보이고 있다. 즉, 깎강자갈콘크리트의 경우 파쇄되지 못한 골재의 미끈한 부분에 불연속 계면이 형성되어 매트릭스와 부착이 되지않고 균열이 발전되어 다른 부분의 균열과 연결되어 있는 모습을 보이고 있다. 반면, 쉐석의

경우 골재의 거칠은 표면에 의해 매트릭스와 조골재의 부착이 비교적 잘 되어있고, 조골재 주변에 균열이 거의 나타나지 않았다. 따라서, 쉐석은 조골재로서 역학적 거동에 기여한 것으로 사료된다.

실험실 내에서 압축강도  $400\sim 500\text{kgf/cm}^2$ 내외의 콘크리트를 파쇄하여 골재화한 고강도재생골재콘크리트의 파괴단면은 고강도재생골재의 형태가 쉐석상이기 때문에 깎강자갈의 표면과 같이 많은 불연속 계면을 보이고 있지 않고 있다. 재생콘크리트의 구매트릭스와 새로운 매트릭스는 저물시멘트비의 고강도 영역이므로, 두 상(相)의 구분이 뚜렷하게 나타나지 않지만, 저강도재생골재콘크리트의 경우 구매트릭스 부분과 새로운 매트릭스와의 차이가 비교적 뚜렷이 나타나고 있으며, 구매트릭스는 조골재로써 취약한 구성으로 되어 있어 골재가 파쇄된 형태를 볼수가 있다.

실구조물을 파쇄하여 제조한 저강도재생골재는 천연골재와 압축강도의 수준을 비교하여 보면, 다소 낮게 발현되고 있으나, 물시멘트비 0.25에서  $600\text{kgf/cm}^2$  내외의 고강도를 발현하고 있어 콘크리트용 조골재로서 사용가능성을 보이고 있으며, 각종 건설구조물의 재료로써 적극적으로 활용하기 위한 심도있는 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 4.3 각종 비파괴 시험치의 분석 및 검토

골재의 종류별 동탄성계수, 초음파속도, 반발도의 변화를 나타내고 있는 그림 4에서 알수 있는 바와같이, 먼저 동탄성계수의 변화는 압축강도의 변화와 유사하나 저강도 재생골재를 사용한 경우에 재령 28일 이후 깎강자갈보다 높은 동탄성계수치를 보이고 있다.

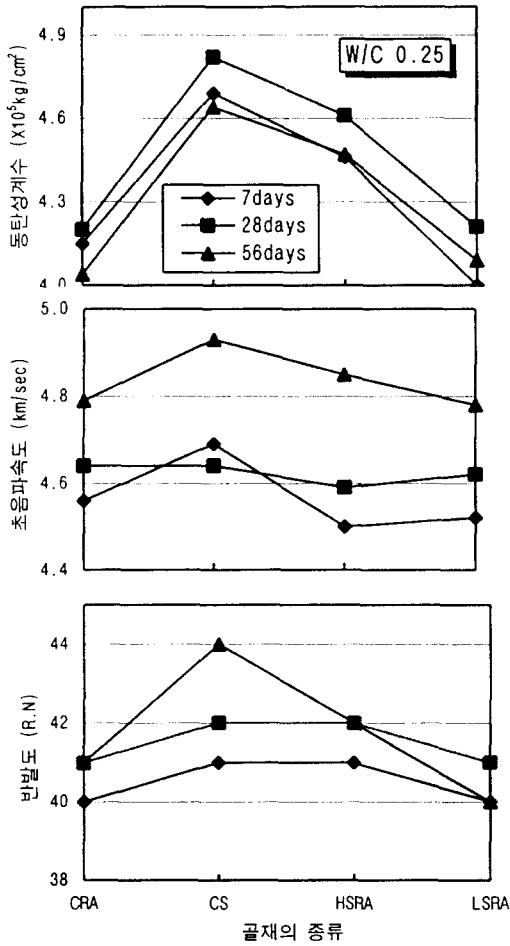


그림 4 골재의 종류별 동탄성계수, 초음파속도, 반발도의 변화

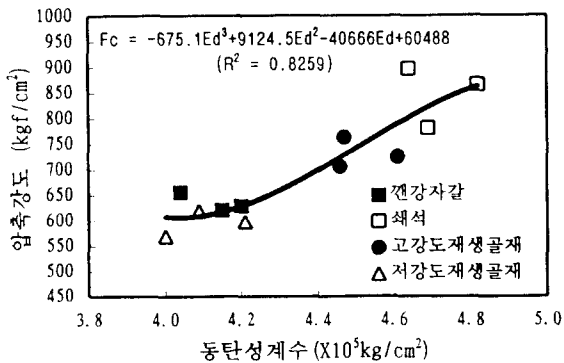


그림 5 압축강도와 동탄성계수와의 관계

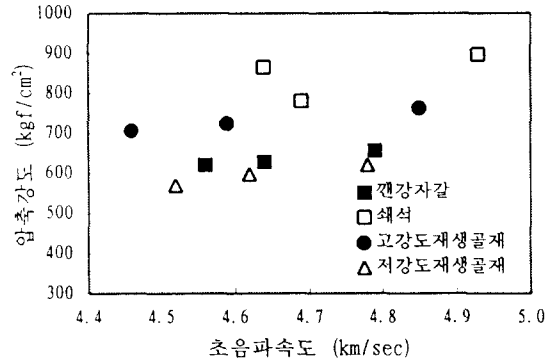


그림 6 압축강도와 초음파속도의 관계

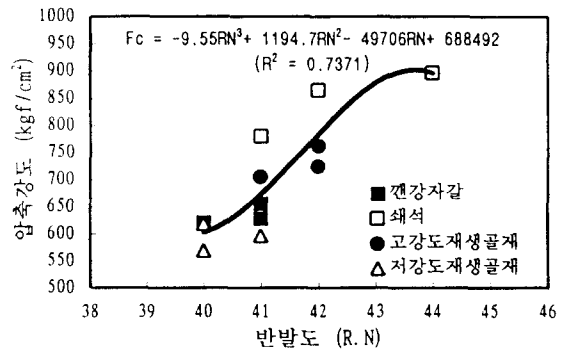


그림 7 압축강도와 반발도와의 상관관계

특히 저강도 재생골재의 경우는 켄강자갈을 사용한 경우에 비하여 압축강도가 낮을 뿐만 아니라 높은 동탄성계수 값을 보이고 있다.

압축강도와 동탄성계수의 관계를 살펴보면 그림 5에 나타낸 바와같이 전반적인 관계는 3차식에 회귀되어 양호한 상관관계를 보이고 있으며, 골재의 종류에 따른 유의할 만한 차이는 없는 것으로 나타나고 있다.

초음파속도의 경우를 살펴보면, 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 골재의 종류에 따라 압축강도의 차이가 많음에도 불구하고 초음파속도에서는 그다지 큰 차이를 보이

지 않고 있으며, 그림 6에서 알 수 있듯이 압축강도에 대한 초음파속도는 산만하게 분포되어 있어 상관성이 매우 낮게 나타났다. 반발도의 경우를 살펴보면 그림 4에서 알 수 있듯이 재령에 따른 압축강도의 발현상황과 거의 유사한 경향으로 나타내고 있고, 설펍을 제외하고는 나머지 골재들은 재령 4주에서 8주사이에 반발도는 거의 증가하지 않고 있다.

#### 4 결 론

고강도 영역 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 골재의 종류의 영향에 관한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 물시멘트비 0.25의 고강도 영역에서 재령 4주의 압축강도는 각각 설펍, 고강도재생골재, 깐강자갈, 저강도재생골재의 순으로 발현되었으며, 이에 따른 콘크리트의 파괴성상에서도 골재의 종류에 따라 다르게 나타나 이에 대한 역학적인 연구가 심도 있게 이루어져야 것으로 사료되었다.
- 2) 골재의 입형 및 입도, 강도 및 표면거칠기 등과 같은 물리적 특성은 고강도영역 콘크리트의 공학적, 역학적 특성에 큰 영향을 주며 고강도콘크리트의 조합설계시 골재의 품질에 대한 세심한 검토와 제조현장에서는 엄격한 품질관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.
- 2) 재생골재콘크리트에서는 천연골재를 사용한 콘크리트의 경우에 비하여 우수한 공학적 특성을 보이는 고강도콘크리트의 제조가 가능하였으며, 콘크리트의 조합·비빔·양생·다짐 등의 방법을 좀 더 개선

하면 고품질의 재생골재 콘크리트 제조가 가능할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. 김무한 외, 고강도영역의 재생골재콘크리트의 개발에 관한 연구(제1보, 실험개요 및 Fresh콘크리트를 중심으로), 日本建築學會 學術講演梗概集(북해도), 1995, pp. 867~868
2. 김무한 외, 건축계부산물의 발생억제와 재생이용에 관한 연구(재생골재의 입자구성), 日本建築學會 학술강연梗概集(북해도), 1995, pp. 853~854
4. 김무한 외, 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 실험적 연구(제1보, 실험개요 및 Fresh콘크리트의 경우), 일본건축학회 학술강연梗概集, 1993, pp. 415~416
5. 김무한 외, 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 실험적 연구(제2보, 경화콘크리트의 경우) 日本建築學會 學術講演梗概集(동해), 1994, pp. 355~356.
6. 建設省, 總プロ「建設副産物 發生抑制・再利用技術の現状」, 平成 4年度~平成8年度,
7. 洪悅郎, 鎌田英治 ; 콘크리트骨材 핸드북, 株式會社 技術書院, 昭和62年
8. 김무한 외, 실콘크리트 구조물을 파쇄한 재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구(제1보), 대한건축학회 창립 50주년 학술발표대회 기념논문집, 1995. 10, pp. 685~690