

석분을 활용한 레미콘 품질특성에 관한 연구

권순욱* · 이상배

〈한일시멘트 중앙연구소〉

1. 서 론

골재란 콘크리트를 만들 때 골격 역할을 하는 콘크리트를 구성하는 재료로서 자갈, 부순골재, 자연모래, 바다모래, 고로슬래그골재 등을 말한다. 과거에는 골재가 주로 경제적인 이유로서 시멘트풀과 혼합되는 충전재로 생각되어 왔었다. 그러나 관점을 바꾸어 생각해 보면 골재는 돌쌓기 구조와 똑같이 시멘트풀에 의해 일체화된 건설재료라 생각할 수 있다.

골재는 콘크리트 체적의 약 65~80%를 차지하고 있으며 단순히 충전재의 역할이 아니라 그 물리적 성질, 열적 성질, 따라서는 화학적 성질에 따라서 콘크리트의 품질에 많은 영향을 미친다. 이에 국가나 학회는 여러가지 골재의 규격을 정하고 엄격하게 규제하고 있다.¹⁾

콘크리트를 제조하는데 있어 하천자갈과 모래가 주로 사용되어 왔다. 최근 들어서는 건설공사의 대형화, 고층화, 대량화로 인해 많은 양의 골재를 필요로 하게 되었고 근본적으로 골재자원의 고갈상태를 맞고 있다. 현재의 레미콘공장의 골재사정은 굵은골재의 경우 부순굵은골재의 사용이 보편화된 실정이고 수급 또한 원활한 상태이다. 반면 잔골재의 경우는 아직도 강모래의 의존도가 높지만 입도의 불균일, 조립율의 변동 등 품질은 점점 저하되고 있는 실정이다. 향후 잔골재의 수급 역시 환경법의 강화, 골재의 고갈 등으로 인하여 매우 불안정해질 전망이다.²⁾

따라서 학계, 업계를 중심으로 부족한 골재자원의 확보방안을 강구하는 것이 매우 필요하며 재생골재, 석분 등 여러가지 대체자원의 실용화 연구도 적극적으로 추진하여야 할 시점이다.

본 보고는 이러한 경향에 맞추어 부순골재 제조시 부수적으로 발생되는 품질이 양호한 석분을 자연사에 일부 또는 전량을 대체하여 잔골재로서 사용할 경우 제반 콘크리트의 성질, 단위수량과의 관계, 잔골재율의 변동에 어떠한 영향을 받는가에 대해 고찰하였다.

2. 실험

2.1 원재료

2.1.1 시멘트

본 시험에 사용된 시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트로 포대(40kg) 시멘트를 사용했으며 물리·화학적 성질은 <표 1, 2>와 같다.

2.1.2 잔골재

본 보고에서 사용된 잔골재는 자연사와 석분을 사용하였으며 석분은 부순골재 생산 후 발생하는 부산물로 그 제조공정은 <그림 1>에 나타내었다. 잔골재의 물리적 성질은 <표 3>과 같으며 조립율

〈표 1〉 시멘트의 물리적 성질

안정도 (%)	Blaine (cm/g)	응결 시간		압축강도(kg/cm ²)			비중
		초결 (min)	종결 (hr:m)	3d	7d	28d	
0.08	3,250	243	5:53	235	287	383	3.14

〈표 2〉 시멘트의 화학적 성질

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-loss
21.55	5.35	3.3	62.95	2.29	2.61	1.50

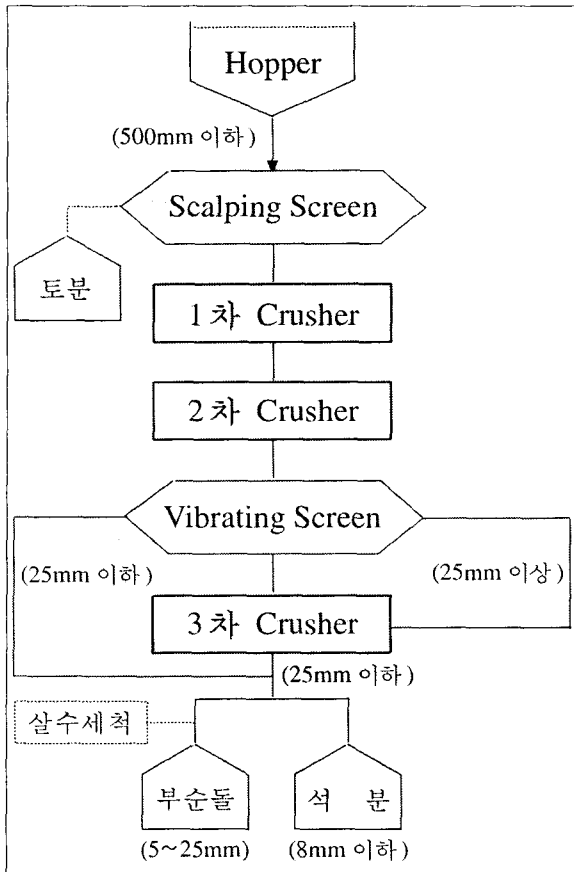
(wt. %)

〈표3〉 잔골재의 물리적 성질

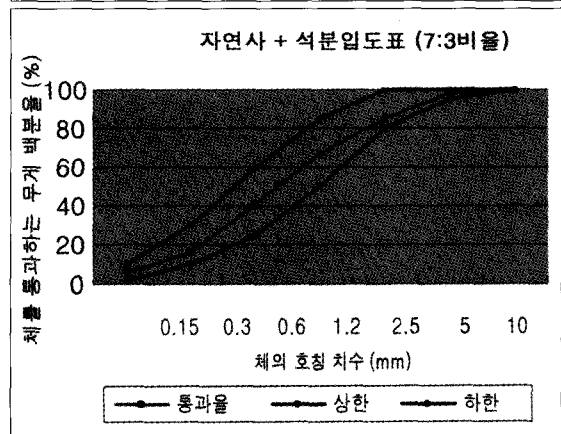
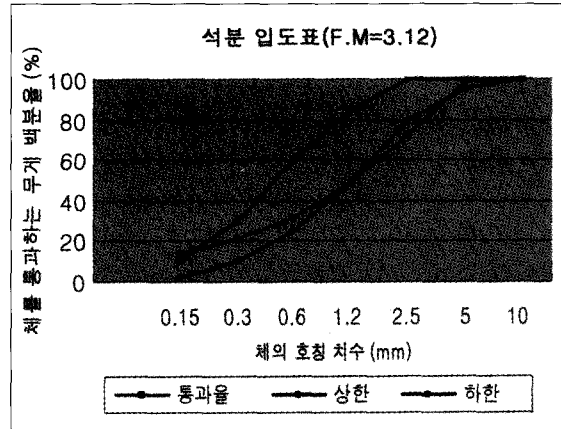
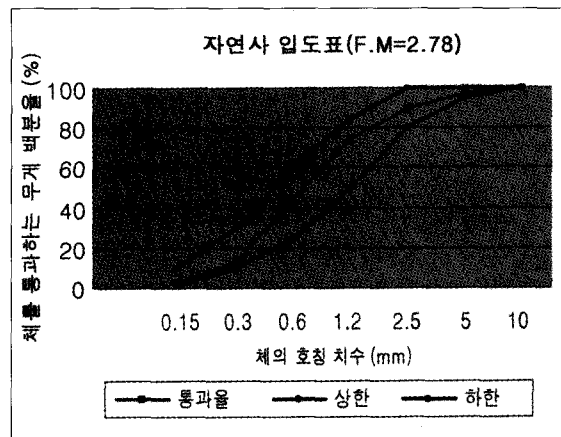
구	분	비 중	흡수율 (%)	조립율	단위용적중량 (kg/m³)	씻기손실량 (%)	실적율 (%)
자연사	KS 규정값	2.05 ↑	3.0 ↓	2.3~3.1	-	3.0 ↓	-
	시험값	2.58	1.69	2.78	1,697	1.79	-
부순잔골재 (석분)	KS 규정값	2.05 ↑	3.0 ↓	2.3~3.1	-	7.0 ↓	53 ↑
	시험값	2.58	3.0	3.12	1,889	15.6	59.0

및 단위용적 중량이 자연사에 비해 크고, No. 200체를 통과하는 미분량이 많음을 알 수 있었다. 〈그림 2〉는 자연사와 석분의 단독입도분포 그리고 자연사와 석분을 7:3비율로 혼합했을 경우의 혼합골재 입도분포를 나타내었다.

〈그림 2〉는 자연사와 석분을 각각 단독으로 체가름 시험하였고, 자연사와 석분의 비율을 7:3으로 혼합하여 KS F 2526 「콘크리트용 골재」에서 규정하고 있는 잔골재의 입도 상·하한치 범위에 나타내었다.



〈그림 1〉 부순돌 제조공정 예



〈그림 2〉 골재의 입도 분포

〈표 4〉 굵은골재의 물리적 성질

비 중	흡수율 (%)	조립율	단위용적중량 (kg/m ³)	마모율 (%)
2.68	0.47	6.90	1,525	18

〈표 5〉 배 합 비 (20-210-12)

구 분	W/C (%)	S/a (%)	단 위 재 료 량 (kg/m ³)							비 고
			W	C	FA	S	석분	G	AD	
1	55	46.0	168	291	15	834	-	1017	1.84	자연사
2	"	54.0	"	"	"	685	294	866	"	석분30%

2.1.3 굵은골재

본 보고에 사용된 굵은골재의 물리적 성질은 〈표 4〉와 같다.

2.1.4 혼화제

혼화제는 일반강도용 고성능 AE감수제 (Binder×0.6% Type)와 고강도 콘크리트용으로 나프타렌계의 고성능 감수제 (Binder×1~2%)를 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합

2.2.1 보통강도

물/시멘트비 55%의 보통강도 배합으로 예비시험을 통해 석분을 자연사에 최대 30% 치환첨가했을 경우의 최적배합을 선정하고 압축강도 및 내구성 시험 등 제반물성을 검토하였다. 〈표 5〉에 콘크리트의 배합비를 나타내었다.

석분을 보통강도 콘크리트용으로 사용할 경우 석분의 특성상 전량을 사용하기는 현실적으로 곤란하다. 석분 자체의 입형이 자연사에 비해 각진 형태로 되어 있어 석분+부순굵은골재의 콘크리트로 될수록 작업성이 거칠고 비표면적이 증가한다. 자연사에 비해 상대적으로 많은 미립분과 높

은 흡수율로 인한 단위수량의 증가는 불가피하다. 따라서 자연사에 석분을 30% 치환 첨가했을 때 동일한 작업성(슬럼프 12cm)을 얻기 위해서는 잔골재율 S/a는 자연사에 비해 약 8% 정도를 증가시켜야 동등한 특성을 나타내었다. 〈표 6〉 콘크리트 표준시방서에서의 잔골재율과 단위수량의 보정관계에 의하면

부순모래를 사용할 경우 2~3%의 S/a 증가가 요망되는 것으로 나타냈으나 본 보고에 사용된 석분의 경우에는 잔골재율을 약 8% 정도를 증가시켜야 가능하였다. 이것은 석분의 모난정도 및 미립분 양에 따라 잔골재율 조정범위가 달라질 수 있기 때문이다. 자연사의 조립율은 2.78로 높은 편이었으며, 만약 강모래의 조립율이 1.8~2.0 정도라면 S/a 증가는 크지 않았을 것이다.

2.2.2 고강도

보통강도 콘크리트에 비해 고강도 콘크리트는 상대적으로 많은 결합재 즉 미분체량으로 인해 석분사용에서 발생하는 작업성의 저하현상을 크게 개선시킬 수 있었다. 따라서 석분자체를 전량 사용하기 위해 석분 콘크리트의 결합재량과 잔골재율의 변화를 주었고 건축공사 표준시방서에서 규

〈표 6〉 잔골재율 및 단위수량의 보정관계³⁾

구 분	S/a의 보정	W의 보정 (kg)
모래의 조립율이 0.1만큼 클(작을) 때마다	0.5만큼 크게(작게) 한다	보정하지 않는다
슬럼프값이 1cm만큼 클(작을) 때마다	보정하지 않는다	1.2%만큼 크게(작게) 한다
공기량이 1%만큼 클(작을) 때마다	0.5~1.0만큼 작게(크게) 한다	3%만큼 작게(크게) 한다
물-시멘트비가 0.05 클(작을) 때마다	1만큼 크게(작게) 한다	보정하지 않는다
S/a가 1% 클(작을) 때마다	보정하지 않는다	1.5kg만큼 크게(작게) 한다
부순돌을 사용할 경우	3~5만큼 크게 한다	9~15만큼 크게 한다
부순모래를 사용할 경우	2~3만큼 크게 한다	6~9만큼 크게 한다

주: 단위 굵은골재용적에 의하는 경우에는 모래의 조립율이 0.1만큼 커질(작아질) 때마다 단위 굵은골재용적을 1%만큼 작게(크게) 한다.

〈표 7〉 배 합 비 20-(400, 500) - (20~25)

구분	목표강도 (kgf/cm ²)	Binder (kg)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 재 료 량 (kg/m ³)								비 고
					W	C	Slag	S	석분	G	S. P		
											첨가량	B×%	
1	400	500	35	40.0	175	400	100	664	-	1035	5.0	1.0	자연사
2	"	529	"	43.0	185	423	106	-	644	1004	5.29	1.0	석분
3	500	583	30	39.0	175	466	117	621	-	1008	6.41	1.1	자연사
4	"	617	"	42.0	185	494	123	-	599	974	9.26	1.5	석분

정하고 있는 콘크리트 내구성을 확보하기 위한 단위수량 185kg/m³ 이하를 준수하면서 목표강도는 400 (W/B=35%), 500 (W/B=30%) kgf/cm², 슬럼프는 20~25cm 범위로 자연사 콘크리트와 동등 이상의 특성을 확보하고자 하였다.

2.3 시험방법

2.3.1 슬럼프, 공기량 및 압축강도

압축강도는 KS F 2403 「콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법」에 의해 제작하고, KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 의해 측정하였다.

슬럼프는 KS F 2402 「포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법」과 KS F 2421 「굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법」에 의해 공기량을 측정하였다.

2.3.2 중성화시험

본 시험은 탈형 후 재령 1주까지 수증양생을 실시하고, 2주 동안 기건상태에서 건조시켜 탄산가스 농도 10%로 20℃의 온도범위에서, 습도는 60%를 유지하여 7일, 14일, 28일간 중성화 촉진양생하여 중성화 깊이를 측정하였다.

2.3.3 동결융해시험

급속동결 용해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법은 KS F 2456에 의해 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

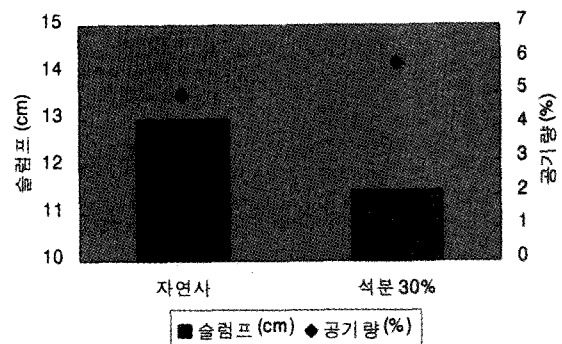
3.1 보통강도 콘크리트

3.1.1 일반 물성

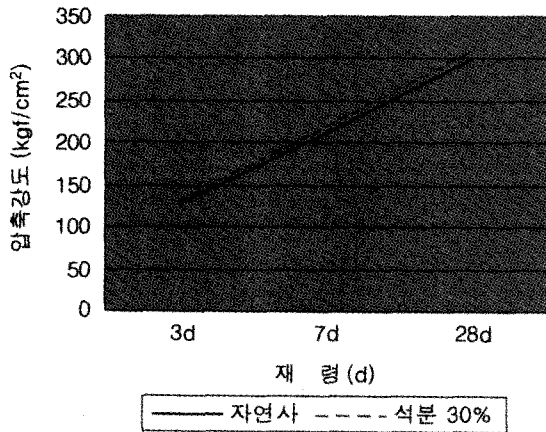
1) 슬럼프 및 공기량

〈그림 3〉은 석분첨가에 따른 슬럼프와 공기량을 나타내었다. 본 실험의 경우 단위수량을 보정(콘크리트 시방서에서는 6~9kg 증가) 하지 않았으며 이것은 레미콘 공장의 원가상승(단위시멘트량 증가)분을 저감하기 위해 보정치 않은 것이다. 이에 따른 콘크리트 배합상의 작업성 등의 문제점을 발견하지 못했다. 물론 단위수량의 증가에 의해 콘크리트의 작업성을 개선할 여지는 충분하며, 콘크리트 표준시방서에 따라 단위수량의 증가를 하지 않아 슬럼프가 2.5cm 정도 하락하는 것을 볼 수 있었다. 슬럼프는 목표 슬럼프치 12cm의 범위에는 적합하였으나 자연사에 비해 석분을 첨가했을 경우의 콘크리트가 약 2cm의 슬럼프 저하를 나타내는데 이것은 석분이 자연사와 달리 압축의 과쇄에 의해 입형이 형성되므로 입형의 영향을 받아 동일한 물-시멘트에서 단위수량의 증가가 불가피하기 때문이다. 보통 동일한 조건에서 자연사에 비하여 약 4~5% 정도 단위수량이 증가한다고 보고되고 있다.²⁾

따라서 석분 및 부순모래를 사용할 때는 감수



〈그림 3〉 석분첨가에 따른 슬럼프와 공기량



〈그림 4〉 석분첨가에 따른 콘크리트의 압축강도

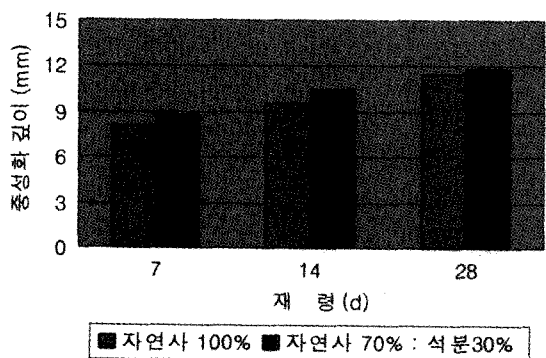
제 등을 사용하여 콘크리트의 단위수량을 적게 할 필요가 있다. 또한 공기량은 모래의 입경, 석질의 표면조직에 따라서도 약간의 차이를 가져올 수 있으며 세골재의 양이 크게 되면 공기연행성이 증가된다. 본 시험에서 약간의 공기량이 증가하는 현상은 자연사 콘크리트에 비해 높은 잔골재율 때문인 것으로 판단된다.

2) 압축강도

압축강도는 〈그림 4〉와 같이 석분을 첨가한 콘크리트와 자연사 콘크리트가 유사한 수준의 압축강도를 나타내었다.

3) 중성화시험

콘크리트 중성화는 철근 콘크리트 구조물의 내구성 지표를 나타낸 것으로서 중요시 되고 있다. 경화한 콘크리트는 시멘트의 수화생성물로 있는 수산화석회를 유리(遊離) 하여, 강한 알칼리성을 나타낸다. 수산화석회는 시일의 경과와 함께 콘



〈그림 5〉 석분첨가에 따른 중성화시험

크리트 표면에서 공기 중의 탄산가스의 영향을 받아 서서히 탄산석회로 변화하여 알칼리성을 소실하는데 이와 같은 현상을 콘크리트의 중성화라고 한다. 일반적으로 배합상에서는 물시멘트비가 적을수록, 단위시멘트량이 많을수록, 양생에서는 초기의 습윤양생 기간이 긴 만큼, 또 시공상에서는 밀실하게 다짐한 콘크리트가 중성화 속도가 늦다고 되어 있다.

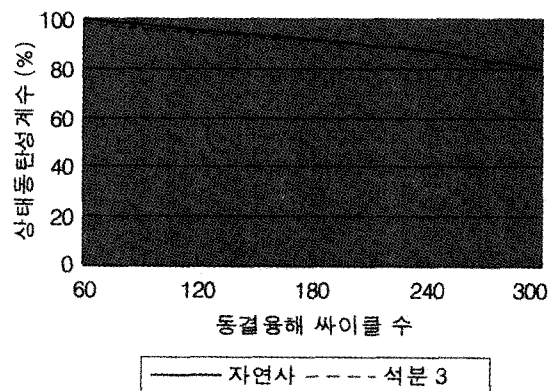
〈그림 5〉와 같이 중성화 시험결과는 자연사와 석분을 첨가한 콘크리트는 비슷한 경향을 나타내었다.

4) 동결융해시험

콘크리트 구조물은 심한 기상작용하에서 특히 저온 한랭지에 있어서는 겨울에 콘크리트 중의 수분이 동결함에 의하여 체적이 팽창하고, 미소균열이 발생하여 강도저하는 물론 심할 경우에는 표면에 박리현상이 일어난다. 이러한 현상을 동결이라 한다. 동결은 물을 포함한 콘크리트가 동결하는 것에 의해 생긴다. 이와 같은 성능저하는 동결과 융해가 반복되는 것에 의해 촉진되고, 동해는 일반적으로 이 작용을 콘크리트에 반복해주는 동결융해시험에 의해 판정된다. 따라서 본 시험은 300사이클을 원칙으로 하고 상대 동탄성

〈표 8〉 동결융해 시험결과

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	상대 동탄성계수 (%)					내구성지수 (DF)
			사이클 수 (회)					
			60	120	180	240	300	
1	13.0	4.9	99.7	95.4	91.7	87.6	80.2	80.2
2	11.5	5.9	98.4	94.8	92.0	88.2	79.7	79.7



〈그림 6〉 동결융해 시험결과

계수가 60% 이하로 될 때를 끝으로 하여 내구성 지수를 나타내었다.

〈표 8〉 및 〈그림 6〉은 동결융해시험 결과를 나타내고 있는데 300사이클 후의 동탄성계수는 자연사 및 석분콘크리트 모두 약 80% 정도로 유사한 경향을 보였다.

3.1.2 현장 Batcher 공정적용 시험

- 일자 : 2001년 5월 7일
- 장소 : 중부지역 C 레미콘 공장

석분 및 부순모래를 사용하여 콘크리트 제조할 때 관리자는 재료의 특성을 충분히 이해할 수 있어야 하며 엄격한 치장관리와 또한 원료투입에 있어 각각의 재료를 정확하게 제량하여 혼합할 수 있는 장치가 필수적 사료된다. 따라서 보통강도 콘크리트용으로 자연사와 석분을 특정 비율로 혼합하여 사용할 때 휠로더의 버킷에 의해 운전 공이 비율을 맞추거나 불균일하게 혼합하여 직접 투입하는 것과 생산자의 지나친 원가절감 측면에서의 과도한 석분사용은 자칫 커다란 문제를 가져올 수 있으므로 주의가 요망된다. 현장 Batcher 공정시험 결과 〈표 9〉에 나타난 것과 같이 자연사와 동등한 수준의 작업성 및 압축강도 발현성을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통해 석분을 사용하면 작업성이 떨어진다는 종래의 기존 개념을 불식시킬 수 있었다.

일반적으로 레미콘 공장에서의 석분 또는 부순

〈표 9〉 배합비(25-210-12) 및 시험결과

구분	W/C (%)	S/a (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)			비고
					3d	7d	28d	
1	55	46.0	12.5	4.4	119	173	253	자연사
2	"	54.0	11	4.9	123	179	257	석분30%

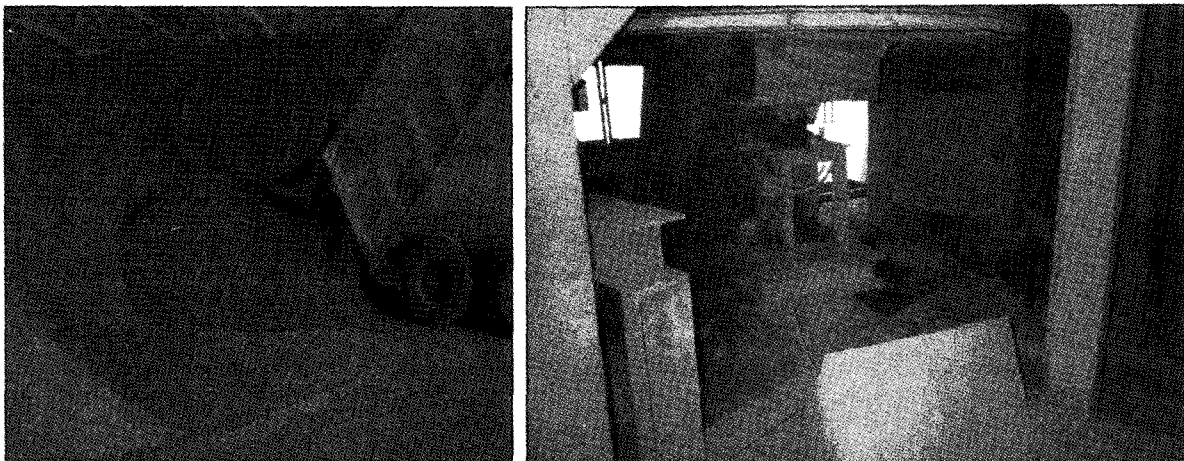
모래를 사용하는 경우에는 자연사의 조립율이 너무 낮아(예를 들면 2.3 이하) 콘크리트의 작업성 확보 및 강도증가를 위해서 일부 대체하여 사용한다.

그러나 본 시험은 자연사의 조립율이 2.78로 높은 편이다. 이것에 석분을 30% 첨가하므로써 기존의 레미콘 공장에서 석분 또는 부순모래를 사용하던 것과는 다르게 접근을 해보았다.

이에 따라 작업성을 맞추기 위해 S/a가 8%나 올라갔으며, 일반적으로 미분량 증가에 따른 공기량 저하현상도 일어나지 않았다. 이것은 폐기물이라 할 수 있는 석분을 레미콘용 골재로써 사용이 가능하다는 것을 입증한 것이며, 레미콘 공장의 원가절감 측면에서도 유리할 것으로 보인다.

3.2 고강도 콘크리트

〈표 10〉에서 알 수 있듯이 목표 슬럼프치 20~25cm를 확보한 상태에서 석분을 사용한 콘크리트가 약간 공기량이 저하하는 현상을 보였는데 이는 불량한 석분의 입형 때문에 자연사 콘크리트



〈그림 7〉 석분 치장 및 회전식 원료 투입장치

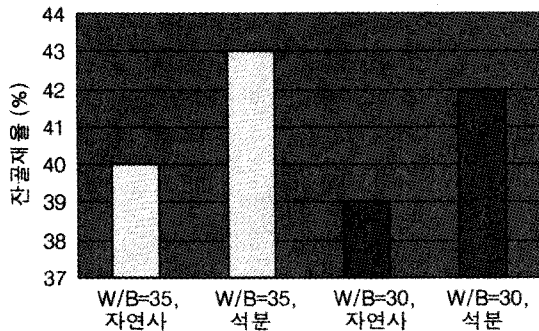
〈표 10〉 시험 결과

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)			비고
			3 d	7 d	28 d	
1	20.0	1.8	290	376	473	자연사
2	20.5	1.4	280	373	482	석분
3	19.5	1.9	394	453	570	자연사
4	22.0	1.5	374	462	567	석분

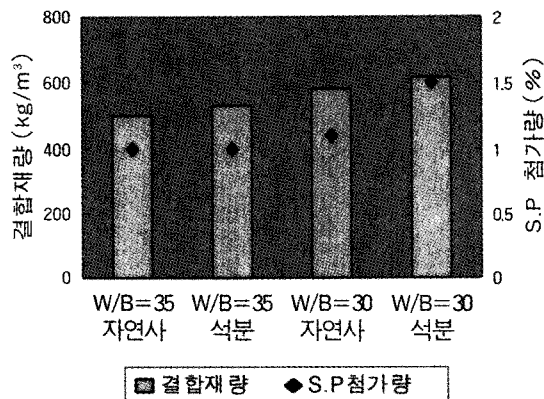
와 동등한 작업성을 얻기 위해 증가시킨 결합재량에 기인된 것으로 판단되며, 압축강도는 유사한 경향을 나타냈다.

〈그림 8〉에 나타난 것과 같이 전량 석분을 사용하는 고강도 콘크리트에 있어 S/a의 변동은 W/B=35, 30% 모두 약 3% 정도의 증가를 필요로 했고 보통강도 콘크리트보다는 부배합의 고강도 콘크리트가 잔골재율이 적게 증가됨을 알 수 있었다.

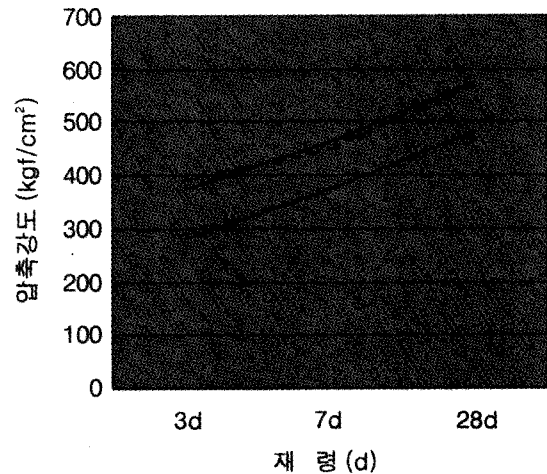
〈그림 9〉에 나타난 것과 같이 자연사 콘크리트



〈그림 8〉 석분사용에 따른 S/a의 변화



〈그림 9〉 결합재량 및 고성능 감수제 첨가량



〈그림 10〉 압축강도 시험결과

와 동등 이상의 작업성을 얻기 위한 결합재량은 W/B=35% 및 W/B=30%에서 강모래에 비해 석분 콘크리트가 약 30~35 kg/m³ 정도 증가되었고, S.P. 첨가량은 W/B가 낮은 콘크리트 일수록 증가됨을 알 수 있었다.

〈그림 10〉은 압축강도를 나타낸 것으로 고강도 콘크리트 압축강도 시험결과 자연사 콘크리트와 석분 콘크리트가 유사한 결과를 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 콘크리트용 자연사의 고갈에 따른 대체골재 실용화 방안의 일환으로서 석분을 자연사에 30% 대체한 보통강도 콘크리트와 잔골재로 전량 사용한 고강도 콘크리트의 품질특성에 관한 연구 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 석분을 보통강도 콘크리트용으로 사용할 경우 석분의 특성상 전량을 사용하기는 어렵고 자연사에 30%까지 치환했을 경우가 자연사의 특성을 벗어나지 않는 첨가량으로 적당할 것으로 판단되며, 향후 전문화된 가공시설에 의해 석분의 입형과 입도 등을 강모래 수준으로 근접하게 할 경우 보통강도 콘크리트에 전량 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

동일한 작업성을 나타내기 위해서는 잔골재율

을 자연사 콘크리트보다 증가시켜야 하며 압축강도 및 내구성 시험결과 자연사와 유사한 경향을 보였다.

② 석분을 사용한 고강도 콘크리트의 경우 보통 강도 콘크리트에 비해 부배합이므로 잔골재율은 적게 증가하였다. 또 동등 이상의 작업성을 확보하기 위해서는 결합재량이 약 $30\text{kg}/\text{m}^3$ 이상 증가됨을 알 수 있었다. 콘크리트 압축강도는 자연사 콘크리트와 석분 콘크리트가 유사한 결과를 나타냈다.

③ 석분 및 부순모래의 콘크리트 제조시 관리자는 재료의 특성을 충분히 이해할 수 있어야 하며 엄격한 치장관리와 원료투입에 있어 각각의 재료를 정확하게 계량하여 혼합할 수 있는 장치가 필수적이다.

<참 고 문 헌>

1. 한천구, 반호용, 윤기원, 류현기 : 부순모래 치환 잔골재를 이용한 콘크리트의 배합설계에 관한 실험적 연구, 건축재료 시공 연구 논문집, 제3권, 1996.
2. 최영화 : 쇄석 콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구, 충북대학교 대학원 공학박사 학위논문, 1999.
3. 한국콘크리트학회 : 콘크리트 표준시방서, 1999.
4. 한국콘크리트학회 : 최신 콘크리트공학, 1999.
5. 김무한 : 하천골재와 쇄석골재의 제반특성, 콘크리트학회지, Vol. 3, No. 2, 1991, pp. 11~16.
6. 대한주택공사 : 부순모래 실용화 방안에 관한 연구(I), 대한주택공사, 연구 93-11, 1993.