

## 레미콘 폐기물 슬러지수를 재활용한 시멘트 경화체의 기초물성

문한영 · 신화철 김태욱 \*\*

한양대학교 토목공학과 교수\* 한양대학교 토목공학과 대학원\*\*

### 1. 서론

최근 건설산업의 대규모화, 기간산업 시설의 확충에 따라 국내에서 생산되는 레디믹스트 콘크리트 (이하 레미콘이라 함)의 출하량은 1999년을 기준으로 연간 약 1억<sup>3</sup>m<sup>3</sup>에 이르고 있다. 한편 대부분의 레미콘 공장에서는 레미콘 믹서의 세척 및 레미콘 트럭의 드럼세척에 의하여 레미콘 슬러지수가 발생되는데

이러한 레미콘 슬러지수는 굵은골재와 잔골재를 분리한 후 미수화 시멘트, 잔골재 미분 등과 같은 슬러지를 함유한 회수수 상태로 탱크에 저장되어 혼합수의 일부로 사용되고 있다. 그러나 저장탱크내의 슬러지 농도가 항상 일정하지 않는 문제점, 그리고 탱크의 저장 용량을 초과할 정도로 회수수가 발생되어 전량 레미콘 혼합수로 사용하여야 할 경우 슬럼프의 급격한 저하 및 압축강도가 일정치 않는 등 레미콘의 품질이 저하될 수 있다. 또한 탱크의 저장용량을 과도하게 초과하게 될 경우 무단방류될 가능성이 있는데 이때 pH값이 12이상의 강알칼리성을 지니고 있는 회수수는 하천 및 토양 등 주변 생태계를 오염시키는 문제점을 발생시킬 수 있다.

따라서 회수수를 미분말상태의 슬러지와 미분말이 제거된 상징수로 각각 분리하여 콘크리트용 혼화재료 및 레미콘 혼합수로 재활용하게 된다면 레미콘의 품질향상과 아울러 환경오염을 방지할 수 있는 일석이조의 효과를 거둘 수 있다.

따라서 본 연구에서는 슬러지수에서 각각 분리된 슬러지와 상징수가 고로슬래그 미분말을 혼합한 모르타 및 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 보기 위한 실험을 실시하였다. 이때 슬러지는 건조미분쇄하여 콘크리트용 혼화재료로 사용하였으며 상징수는 강알칼리성인 점에 착안하여 고로슬래그 미분말의 수화를 촉진시켜주는 활성제로써 사용하였다.

실험 결과 슬러지 및 상징수를 사용한 모르타 및 콘크리트의 유동성 및 압축강도는 혼합률에 따라 령별로 사용하지 않은 경우보다 증가하는 것으로 나타나 레미콘 폐기물 슬러지수의 재활용 가능성이 높음을 알 수 있었다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 사용재료

(1) 시멘트, 광물질혼화재 및 레미콘 슬러지 : 보통포틀랜드시멘트(보통시멘트 또는 OPC로 약함)와 고로슬래그 미분말(SG로 약함)을 사용하였다. 한편 폐 레미콘을 세척한 슬러지수에서 상등수를 제거한 후 분리된 슬러지 케익을 건조로에서 약 105℃로 24시간이상 건조시킨 후 볼밀(ball mill)을 사용하여 3시간 동안 분쇄시켜 가공처리한 레미콘 슬러지 미분말(레미콘 슬러지 또는 RS로 약함)로서 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

(2) 상징수 : 국내 S산업 레미콘 공장의 슬러지수를 채취하여 24시간 자연 침강시킨 후 사용하였으

며, 수돗물과의 성분분석 결과를 나타낸 것이 표 2이다.

표 1 사용재료의 화학성분 및 물리적 성질

Items Type	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Particle size(μm)
OPC	20.68	5.16	3.02	62.42	4.71	2.42	1.36	3.15	3,438	-
SG	31.93	13.27	0.26	42.73	6.53	3.11	0.21	2.94	4,559	-
RS	39.73	13.33	5.11	36.92	2.64	2.41-	0.10	2.30	4,300	10.56

표 2 수돗물과 상징수의 성분분석

Items Type	pH	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
수돗물	7.45	11.1	7.08	0.15	24.9	5.40
상징수	12.8	82.7	123	22.7	1200	0.02

(3) 잔골재 : 한국산업규격 KS L 5100에서 규정하고 있는 주문진 향호리산 표준사를 사용하였다

## 2.2 실험방법

(1) SEM 및 XRD 분석 : 레미콘 슬러지의 입형 및 조직을 주사형 전자현미경을 사용하여 확대 촬영 하였으며 조성광물을 알아보기 위하여 X선 회절분석을 실시하였다. 측정조건은 CuK(Ni, filter) 40kV, 20mA, Scan Speed 8° /min, 2θ = 0° ~ 60° 로 측정하였다.

(2) 모르타르의 제조 : 고로슬래그 미분말의 혼합률을 10, 30 및 50%로 변화시켰으며 KS L 5105에 따라 레미콘 슬러지를 잔골재 중량에 대해 각각 0, 3, 6, 9 및 12%혼합한 배합과 상징수를 수돗물과 각각 0, 50 및 100%대체한 모르타르를 제조하여 플로우 값 및 재령 3, 7 및 28일의 압축강도를 측정 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 레미콘 슬러지 및 상징수의 품질

레미콘 슬러지의 입형과 조직을 전자 주사선 현미경을 사용하여 보통시멘트와 비교하여 나타낸 것이 그림 1이며, X선 회절분석을 실시하여 조성광물을 나타낸 것이 그림 2이다.

그림 1에서 레미콘 슬러지의 입형은 보통시멘트의 입형과 유사하였으며 종종 미립분 또는 큰 입자들이 섞여있음을 알 수 있었으며, 이는 레미콘 슬러지에 남아있던 잔골재의 일부로 생각된다.

그림 2으로부터 레미콘 슬러지의 주요 조성광물 피크를 살펴보면 시멘트 수화생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>가 주피크를 나타내고 있으며 Ettringite 와 Monosulfate가 공존하고 있어 수화가 어느 정도 진행된 상태를 알 수 있다. 또한 Alite와 Belite 등과 같은 시멘트 조성광물이 남아있는 것으로 보아 레미콘 슬러지가 수화를 재개했을 때 추가적인 반응이 가능함을 알 수 있다.

그리고 표 2로부터 상징수의 성분분석결과를 고찰해 보면, 시멘트 수화시 발생하는 수산화칼슘 (Ca(OH)<sub>2</sub>)이 다량으로 용출되어 있어 Ca의 농도가 1200ppm으로 pH 값이 12.8인 강알칼리성을 지니고 있는 것으로 나타나 SG의 수화를 촉진시키는 알칼리활성제로서 사용이 가능함을 알 수 있다.

### 3.2 레미콘 슬러지 및 상징수를 사용한 모르타르의 기초물성

고로슬래그 미분말의 혼합률을 10, 30 및 50%로 변화시켜 레미콘 슬러지를 잔골재 중량에 대해 각각 0, 3, 6, 9 및 12%혼합한 모르타르를 제조하여 플로우 값 및 재령 3, 7 및 28일의 압축강도를 측정한 결과를 그림 3, 4에 나타내었다

그림 3과 4에서 알 수 있듯이 RS를 혼합한 모르타르의 압축강도는 재령에 따라 증가하는 결과를 나타내고 있으며 특히 SG50%혼합 모르타르에서 RS를 12%혼합할 경우 초기재령 3 및 7일에서 RS를 사용하지 않은 경우보다 10%이상의 강도가 높게 나타나는 좋은 결과를 나타내었다.

그림 5에는 SG30%혼합 모르타르에서 RS의 혼합률에 따른 플로우 값과 재령 28일에서의 압축강도를 보통시멘트만을 사용하여 제조한 모르타르와 비교하여 나타내었다.

이 그림에서 RS를 혼합하지 않은 모르타르의 경우만을 제외하고 RS를 혼합한 모든 배합의 모르타르에서 재령 28일 압축강도가 보통시멘트만을 사용하여 제조한 모르타르보다 증가하는 결과를 나타내었다. 한편 플로우 값의 경우 RS를 혼합함에 따라 감소하는 결과를 보이고 있으나 RS 혼합률 6%까지는 보통시멘트만을 사용한 모르타르의 플로우 값과 동일하게 나타나 압축강도와 유동성을 고려한 RS의 적정혼합률이 존재함을 알 수 있었다.

이렇듯 RS를 사용한 모르타르의 압축강도가 향상된 이유로서는 우선 RS가 미분말로 가공 처리됨으로써 미립분에 의한 충전성 향상을 들 수 있으며 아울러 RS가 발생초기에는 수화물이 미수화물을 둘러싸고 있는 형태였지만 건조, 미분쇄라는 가공처리 과정을 통해 수화층이 파괴됨에 따라 C<sub>3</sub>S등과 같은 시멘트 미수화물이 표면에 노출되게 되어 반응성이 향상되는데 그 이유를 찾을 수가 있다.

그림 6, 7, 8에는 SG를 혼합한 모르타르에 수돗물대신 상징수를 대체하여 사용한 모르타르의 재령별 압축강도를 나타내었다. 이들 그림에 나타나듯이 SG의 혼합률에 관계없이 상징수를 대체하여 사용한 경우가 사용하지 않은 경우 보다 재령에 따라 압축강도가 향상되고 있음을 알 수 있었다. 그림 9에서는 재령 28일에서 상징수를 100%사용한 모르타르의 압축강도를 수돗물만을 사용한 모르타르의 압축강도와 비교한 결과를 나타내었다. 이 그림에 나타나듯이 상징수를 혼합수로 사용한 경우 모르타르의 압축강도가 평균적으로 약 5%정도 높게 나타나고 있음을 알 수 있었으며 이러한 이유로서는 강알칼리성을 지니고 있는 상징수가 SG의 수화를 촉진시키는 알칼리활성제로 사용된 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

- 1) 레미콘 슬러지 및 상징수에 대한 품질을 고찰한 결과 레미콘 슬러지는 미수화 시멘트 조성광물이 남아있어 수화를 재개했을 때 추가적인 반응이 가능함을 알 수 있었으며 상징수는 강알칼리성을 지니고 있는 것으로 나타나 알칼리 활성제로서의 사용가능성이 높음을 알 수 있었다.
- 3) 고로슬래그 미분말 혼합 모르타르에 레미콘 슬러지를 혼합하여 사용한 경우 초기재령에서 특히 높은 압축강도 증진효과를 나타내었으며 압축강도와 유동성을 고려해 볼 때 레미콘 슬러지의 적정 혼합률은 6%인 것으로 나타났다.
- 4) 고로슬래그 미분말을 혼합한 모르타르에 수돗물대신 상징수를 대체하여 사용한 경우 재령에 따라 압축강도가 향상되는 결과를 나타내었으며 재령 28일의 경우 압축강도가 약 5%정도 높게 나타나고 있어 상징수의 알칼리활성제로서의 사용이 기대된다.

#### 참고문헌

1. 中川 英康 外 3人, “谷川 生コスラツツの強度發現性狀に及ぼす混和材の影響”, セメント・コンクリート論文集, No. 49, 1995, pp. 318-323.
2. 中川 英康 外 3人, “乾燥微分碎した生コスラツツの活性度に及ぼす粉末度と炭酸化の影響”, セメント・コンクリート論文集, No. 52, 1998, pp. 840-847.
3. 山田 祐定 外 2人, “コンクリートスラツツの再利用とその有効性について”, セメント技術年報, No. 40, 1984, pp. 229-232.

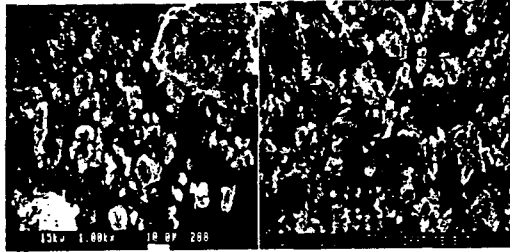


그림 1 레미콘 슬러지의 SEM (X1000)

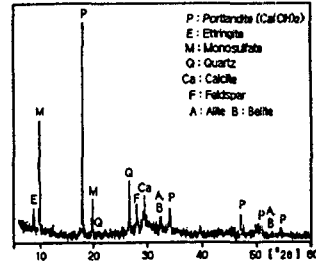


그림 2 레미콘 슬러지의 XRD

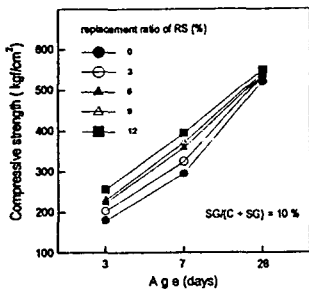


그림 3 RS혼합 모르타르의 제령별 압축강도 (SG10%)

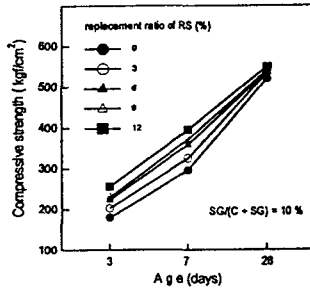


그림 4 RS혼합 모르타르의 제령별 압축강도 (SG50%)

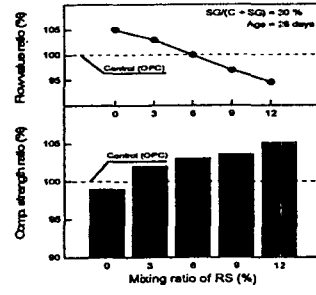


그림 5 RS혼합 모르타르의 제령별 압축강도 및 플로우 (SG30%)

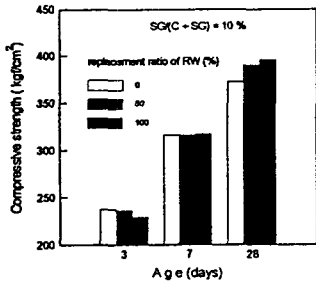


그림 6 RW혼합 모르타르의 제령별 압축강도 (SG10%)

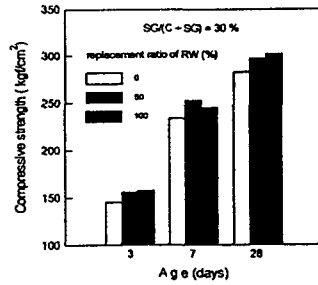


그림 7 RW혼합 모르타르의 제령별 압축강도 (SG30%)

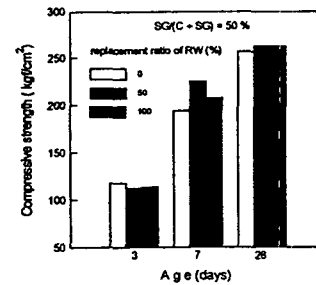


그림 8 RW혼합 모르타르의 제령별 압축강도 (SG50%)

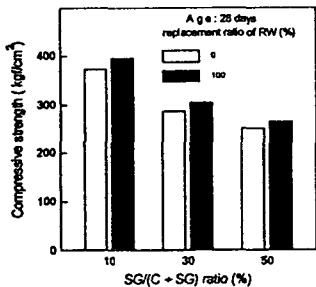


그림 9 RW혼합 모르타르의 제령 28일 압축강도