

레미콘 슬러지 및 상등수를 활용한 시멘트 모르타르의 초기강도

The Early-Age Strength Properties of Cement Mortar using Modified Remicon Sludge and Water

문 한 영* 신 화 철** 김 태 욱*** 여 병 철**** 박 창 수*****
Moon, Han Young Shin, Hwa Cheol Kim, Tae Wook Yeo, Byung Chul Park, Chang Soo

ABSTRACT

Recently, the yearly amount of remicon used in Korea is approximately one hundred million cubic meter, and it caused a by-product, remicon waste sludge. The sludge produced by washing mixers or drums of remicon trucks is restrained by the law for waste disposal because its pH is over 12, so the expense for waste disposal is needed. Until now, the waste sludge water has been recycled and used for concrete materials as sludge water which is limited to 3% of cement unit weight. However, the study on the properties of the concrete mixed with this waste sludge is so insufficient that the quality of them can be hardly trusted. Therefore, the study on that will be discussed.

1. 서 론

최근 건설산업의 대규모화, 기간산업 시설의 확충에 따라 국내에서 생산되는 레미콘 출하량이 연간 약 1억³에 이르게 되었고, 이에 부수적으로 발생하는 레미콘 폐기물 슬러지수의 효과적인 처리방안에 대한 연구가 필요하게 되었다.

레미콘 폐기물 슬러지수(슬러지수로 약함)는 pH 12이상인 강알칼리성을 지니고 있어 폐기물관리법에 따른 규제 및 처리비용이 필요하다. 따라서 지금까지는 슬러지수를 레미콘 제조시 혼합수로 재사용하여 왔으나, 그 발생량 및 농도가 항상 일정치 않아 레미콘의 품질관리가 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 레미콘 슬러지수를 가공 처리한 레미콘 슬러지 미분말과 레미콘 슬러지가 침전되고 남은 물(상등수 또는 RW라 약함)로 각각 분리하였다. 그리하여 이들 레미콘 슬러지 및 상등수를 고로슬래그 미분말과 혼합한 모르타르가 초기재령 강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 재령 1일 및 3일에서의 압축강도를 측정하여 비교고찰 하였다.

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수

** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정

**** 삼표산업(주) 삼표환경기술연구소 소장

***** 삼표산업(주) 삼표환경기술연구소 부장

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트, 광물질혼화재 및 레미콘 슬러지 : 보통포틀랜드시멘트(보통시멘트 또는 OPC로 약함) 와 고로슬래그 미분말(SG로 약함)을 사용하였다. 한편 페 레미콘을 세척한 슬러지수에서 상등수를 제거한 후 분쇄된 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.

표 1 사용재료의 화학성분 및 물리적 성질

Items Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /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	-	10.56

(2) 상등수 : 국내 S산업 레미콘 공장의 슬러지수를 채취하여 24시간 자연 침강시킨 후 사용하였으며, 수돗물과의 성분분석 결과를 나타낸 것이 표 2이다.

표 2 수돗물과 상등수의 성분분석

Items Type	pH	Cl (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
상등수	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 촬영하였으며 조성광물을 알아보기 위하여 X선 회절분석을 실시하였다. 측정조건은 CuK(Ni, filter) 40kV, 20mA, Scan Speed 80/min, $2\theta = 0^\circ \sim 60^\circ$ 로 측정하였다.

(2) 시멘트 모르타르의 제조 : 고로슬래그 미분말의 혼합률을 10, 20, 30, 40 및 50%로 변화시켰으며 KS L 5105에 따라 레미콘 슬러지를 혼합한 8배합과 상등수를 수돗물과 대체한 15배합의 시멘트 모르타르를 제조하여 초기재령 1 및 3일의 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 레미콘 슬러지 및 상등수의 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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 상등수의 성분분석결과를 고찰해 보면, 시멘트 수화시 발생하는 수산화칼슘 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 다량으로 용출되어 있어 Ca의 농도가 1200ppm으로 pH 값이 12.8인 강알칼리성을 지니고 있는 것으로 나타났다.

3.2 레미콘 슬러지와 상등수를 사용한 시멘트 모르타르의 초기재령 압축강도

레미콘 슬러지 및 상등수를 사용하여 제조한 모르타르의 초기재령 1일 및 3일에서 측정한 압축강도 결과 및 강도비를 표 3에 나타내었다.

표 3 레미콘 슬러지 및 상등수 사용 모르타르의 압축강도 및 강도비

Type \ Items		Comp. strength (ratio) (kgf/cm ²) (%)		Type \ Items		Comp. strength (ratio) (kgf/cm ²) (%)	
		1 일	3 일			1 일	3 일
A	OPC50 SG50	55/(100)	157/(100)	1	SG10 RW 0	110(100)	230(100)
				2	SG10 RW 50	110(100)	238(103)
B	OPC50 RS50	67/(123)	185/(123)	3	SG10 RW100	104(95)	246(107)
				4	SG20 RW 0	77(100)	222(100)
C	OPC50 SG25 RS25	63/(115)	170/(115)	5	SG20 RW 50	86(112)	232(105)
				6	SG20 RW100	80(104)	226(102)
D	SG50 RS50	55/(100)	133/(100)	7	SG30 RW 0	63(100)	202(100)
				8	SG30 RW 50	74(117)	209(103)
E	OPC50 SG50 RS25	64/(118)	167/(118)	9	SG30 RW100	66(105)	204(101)
				10	SG40 RW 0	47(100)	153(100)
F	OPC50 SG50 석분5	57/(102)	144/(102)	11	SG40 RW 50	52(111)	182(119)
				12	SG40 RW100	53(113)	170(111)
G	OPC55 SG50	71/(130)	201/(130)	13	SG50 RW 0	40(100)	140(100)
				14	SG50 RW 50	42(105)	148(106)
H	OPC50 SG50 잔골재5	51/(93)	138/(93)	15	SG50 RW100	41(103)	142(101)

그림 3은 시험배합을 실시한 실험결과로써 SG 50%를 혼합한 모르타르의 압축강도를 100으로 하여 상대압축강도비를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 OPC50%에 RS를 50% 혼합한 B배합, RS와 SG를 각각 25% 혼합한 C배합 등이 SG50%혼합한 A배합의 경우보다 각각 평균 21 및 12% 향상된 결과를 나타내었다. 또한 A배합에 각각 RS, 석분, OPC 및 잔골재를 5% 추가 첨가한 E~H배합의 경우 석분과 잔골재를 첨가한 배합들은 A배합보다 높지 않은 강도비를 나타낸 반면 RS와 OPC를 첨가한 E와 G배합이 재령 1일 및 3일에서 A배합보다 각각 18, 7 및 30, 32 %높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 이들 실험결과로부터 SG를 혼합한 시멘트 모르타르에 RS를 혼합 또는 추가 첨가하여 사용하는 경우 모두 압축강도가 향상되는 결과를 얻을 수가 있었다.

그림 4는 SG의 혼합률을 각각 10, 20, 30, 40 및 50%로 달리하고 수돗물에 대한 상등수의 혼합률을 각각 0, 50 및 100%로 달리하여 실험한 결과로써 상등수 혼합률이 0%인 1, 4, 7, 10, 13 배합의 압축강도를 각각 100으로하여 상대압축강도비를 나타낸 것이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 상등수를 50 및 100% 사용하여 모르타르를 제조하였을 경우 재령 1일

SG10 RW100의 경우를 제외한 모든 배합에서 상등수를 사용하지 않은 경우보다 압축강도가 높게 나타났으며, 대부분 배합의 경우 상등수를 50% 혼합한 경우가 100% 혼합한 경우보다 압축강도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 SG를 혼합한 시멘트 경화체 내에서 상등수의 최적 사용량이 존재할 것으로 생각되며 이에 따른 추가 실험 및 고찰이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) RS를 혼합 또는 추가 첨가하여 사용하였을 경우 나타나는 시멘트 모르타르의 초기재령 압축강도는 사용하지 않은 경우보다 모든 배합에서 압축강도가 향상되는 결과를 나타내었다.
- 2) SG의 혼합물을 달리한 배합에 상등수를 50 및 100% 혼합하여 제조한 모르타르의 초기재령 압축강도는 수돗물 만을 사용한 경우보다 압축강도가 향상되는 결과를 나타내었다.
- 3) 이러한 실험결과로 RS 및 RW의 사용이 SG 혼합 시멘트 경화체의 초기재령 압축강도 개선에 효과가 있었음을 알 수 있어 추가적인 물성 실험이 필요할 것으로 판단된다.

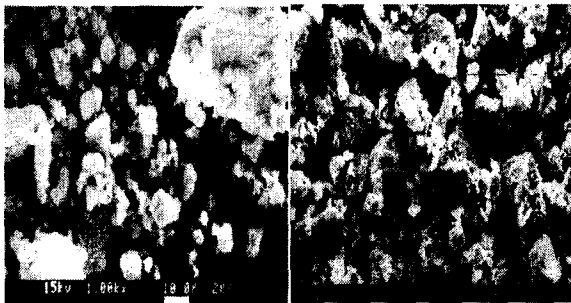


그림 1 레미콘 슬러지 및 시멘트의 SEM (X1000)

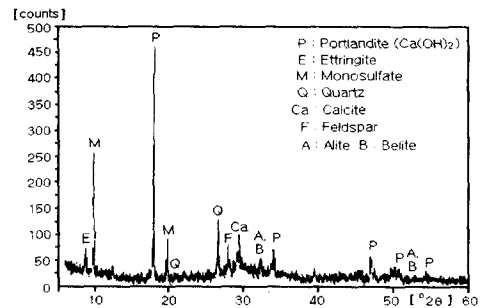


그림 2 레미콘 슬러지의 XRD

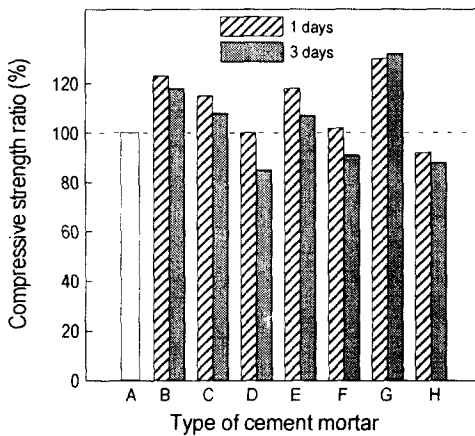


그림 3 모르타르 종류별 강도비

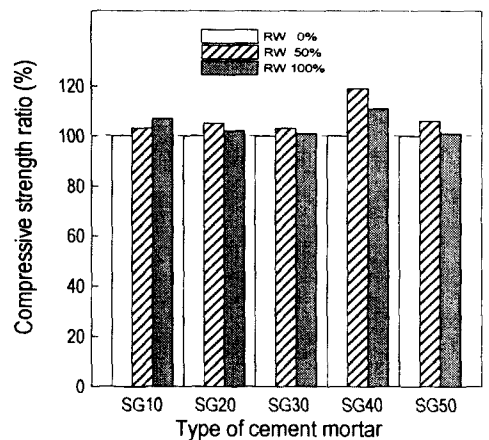


그림 4 RW를 혼합한 모르타르의 3일강도