

# 레미콘 슬러지의 인공골재로서의 재활용 연구

## Recycling of Ready Mixed Concrete Sludge as artificial aggregate

문 경주\*      이 양수\*      백 명종\*\*      소 양섭\*\*\*  
Mun, Gyong-Ju    Lee, Yang-Su    Baeg, Myong-Jong    Soh, Yang-Seob

### ABSTRACT

The purpose of this study is recycling of ready mixed concrete sludge as artificial aggregate by product technique of artificial aggregate in the normal temperature. For the quality test of artificial aggregate using ready mixed concrete sludge, it is tested in the various aspect. Therefore, Quality of artificial aggregate is suitable as coarse aggregate except absorption, abrasion. For the application of artificial aggregate in cement concrete, Coarse aggregate are replaced with artificial aggregate using ready mixed concrete sludge 100% of volume. The results of test showed that the artificial aggregate using ready mixed concrete sludge could be used replacement of coarse aggregate in cement concrete.

### 1. 서 론

레미콘 슬러지는 레미콘 공장에서 레미콘 트럭과 믹서의 세척수에 포함되어 있는 미립분의 산업부산물로서 국내에서는 연간 약 30만톤 정도의 슬러지가 배출되는 것으로 추정된다. 슬러지의 처리방식은 탈수기를 이용하여 슬러지를 물과 미립분으로 분리하여 폐기물 처리업체를 통해 단순매립되어지고 있는 현실이고, 환경과피 및 高價의 처리비용 등 많은 문제점을 야기시키고 있다. 일부 업체에서는 슬러지의 배출량을 줄이기 위해 일반 콘크리트 제조시 레미콘 슬러지를 3~4%이상 혼합하여 재사용함으로써 콘크리트의 품질을 저하시키는 요인이 되고 있다. 기존의 레미콘 회수수의 재사용을 연구한 결과에서는 회수수의 재사용을 권장하고 있으나,<sup>1)</sup> 일선 품질관리 실무자들은 품질관리상의 어려움을 들어 회수수의 재사용을 가급적 피하고 있는 실정이다. 또한 최근의 재활용골재내에 포함되어 있는 0.15mm이하의 미립분이 콘크리트의 품질저하에 영향을 끼친다는 연구결과도 발표되어<sup>2)</sup> 이의 심도있는 검토가 필요하다. 본 연구는 레미콘 슬러지를 인공골재로서 재활용하기 위해 상온인공골재제조기술을 적용하여 인공골재를 개발하고자 하였다. 상온인공골재시스템을 활용하여 고온고압 소성이 필요없는 제조 공법으로 구상의 골재를 제조하여 골재의 품질특성과 개발된 골재의 콘크리트의 적용성을 시험한 것이다.

\* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 주)대우건설기술연구소 기술지원팀 주임연구원

\*\*\*정회원, 전북대학교 건축공학과 교수

## 2. 연구 및 실험 계획

### 2.1 연구계획

레미콘 슬러지를 이용한 인공골재를 개발하기 위한 연구계획은 레미콘 슬러지에 대한 기초자료수집, 골재

생산공정연구, 제조된 골재의 품질특성연구, 콘크리트적용의 순서로 진행하였다. 골재생산 공정연구에는 기본공정의 이론고찰과 확립, 기본 배합비 선정실험, 플로우에 따른 골재형성을 실험 등을 연구하였다.

골재의 품질특성연구에서는 개발된 골재의 품질특성을 평가하기 위해 골재의 흡수율, 비중, 마모율 등의 특성시험을 실시하였다. 골재의 콘크리트 적용가능성연구에서는 콘크리트의 적용가능성을 확인하기위해 콘크리트 시편을 제작하여 일반 쇄석을 이용한 콘크리트와 비교 시험하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 사용재료 및 사용기기

##### 1) 인공골재제조시 사용재료 및 특성

전북 진안 O사에서 Filter Press로 가압처리되어 배출된 후 어느정도 경화된 레미콘 슬러지를 분쇄해서 건조기에서 건조하여 사용하였다. 결합재로서 국내 S사 제품의 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 물은 일반 수도물을 사용하였다.

레미콘 슬러지는 굵은골재 및 잔골재내에 포함되어 있는 니분(泥粉) 및 미수화 시멘트 입자로 구성되어 있다. 시멘트가 혼합되어 있기 때문에 탈수하여 상온에 방치하면 경화되어 케이크 상태의 경화체를 형성하게 되나 그 강도는 매우 약하다. 색상은 회색에 가까고, 입자의 크기는 No.200체이하인(약 0.15mm)것으로 알려져 있다. 비중은 2.22~2.35정도로 골재와 시멘트의 비중보다 적다.

##### 2) 콘크리트 공시체 제조시 사용재료

시멘트는 국내 S사 제품의 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재로는 소양산 강모래를 사용하였으며 굵은골재로는 레미콘슬러지를 이용한 인공골재와 진안산 쇄석을 각각 사용하였다.(표 1참조) 혼화제로는 J사의 나프탈렌계 AE감수제를 사용하였다.

표 1. 골재의 물리적 성질

구 분	비 중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)
잔골재 (세척사)	2.54	2.79	2.04	1,512	58.2
굵은골재 (20mm)	2.62	6.9	1.68	1,620	58.8

##### 3) 사용기기

골재를 제조시에는 강제식 혼합기와 본 연구진이 개발한 상온골재제조기를 사용하였고, 콘크리트 공시체 제작시에는 강제식 콘크리트 믹서를 사용하였다.

#### 2.2.2 골재생산공정연구

##### 1) 기본공정의 이론고찰과 확립

본 연구실에서 이미 확립한 인공골재제조공정에서 골재형성을 및 믹서내벽에 부착되는 페이스트의 상태를 파악하여 골재제조의 효율성을 높이기 위한 방법으로 미리 페이스트(시멘트+슬러지+물)를 제작하여 믹서안에 투입하는 선페이스트법을 이용하고자 하였

다. 어느정도 점성을 가진 페이스트는 시멘트와 슬러지 반죽이 서로의 점성에 의해 믹서 안에 부착이 안되는 원리를 이용해서 이를 믹서안에 넣고 원심력을 주어 회전시키면 큰 반죽덩어리가 형성된다. 이에 시멘트와 슬러지를 혼합한 분말을 뿌려주면서 회전시키면 큰 반죽덩어리가 작은 골재로 분리되면서 골재가 형성되는 제조공정에 따라 골재를 제조하였다.

2) 기본 배합비 선정 시험

인공골재를 제조하기 위한 기본 배합비를 선정하고, 각 배합비에 따른 압축강도를 추정하기 위해 페이스트를 표 2.와 같이 제작하였다. 레미콘 슬러지의 재활용율을 높이기 위해 점차 슬러지의 양을 증가시켜 시험을 실시하였다.

표 2. 페이스트 배합표

종류	시멘트(C):슬러지(S)(중량비)	W/C+S (%)	플로우 (mm)
P1	1:0.5	48	170±5
P2	1:1	55	
P3	1:1.5	58	
P4	1:2	65	
P5	1:3	72	

3) 플로우에 따른 골재형성을 시험

골재형성율은 동일한 회전조건에서 페이스트의 점성에 영향을 받는다. 골재형성율이 최대가 되는 최적의 점성조건을 가지는 플로우 값을 확인하기 위해 플로우 값에 따른 골재형성율을 시험을 실시하였다. 동일한 배합조건을 가지는 페이스트를 대상으로 물/시멘트비를 변화시켜 플로우값을 변화시킨 다음 골재형성율을 측정하였다.

2.2.3 골재의 품질시험

제조된 골재의 품질특성을 평가하기 위해 골재의 특성시험을 표 3.과 같이 실시하였다.

표 3. 골재의 품질시험 항목 및 기준

시험항목	입도시험	비중 및 흡수율시험	단위중량시험	마모시험
기준	KS F 2502	KS F 2503	KS F 2505	KS F 2508

2.2.4 개발된 골재의 콘크리트 강도시험

제조된 골재의 강도를 평가하기 위해 쇄석을 사용한 일반 콘크리트(C1)와 쇄석이 차지하는 체적을 인공골재로 100%치환한 콘크리트(C2) 공시체를 제작하여를 압축강도를 비교하였다.(표 4참조) 공시체의 제작은 KS F 2403에 따라 실시하였으며 Ø100×200mm 크기로 3일, 7일, 28일 강도로 각 재령별 3개씩 제작하였고, 제작된 공시체는 20±3℃로 수중양생 하였다.

표 4. 계획 배합비

종류	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m³)				AE감수제(g)	비고
			W	C	S	G		
C1	57	39.7	170	299	696	1089	900 (C×0.3%)	설계기준강도 (210kg/cm²)
C2		47				784		

3. 실험결과 및 고찰

3.1 골재생산공정의 확립

이미 확립된 골재생산공정(그림 1참조)으로 레미콘 슬러지 인공골재의 제조가 가능함을

확인할 수 있었다. 레미콘 슬러지 골재의 외관 및 표면구조의 미세구조는 사진 1 및 사진 2에 나타내었다. 레미콘 슬러지 골재의 외관은 완전구형에 가깝고, 미세구조는 시멘트경화체의 구조와 비슷한 것을 알 수 있었다.

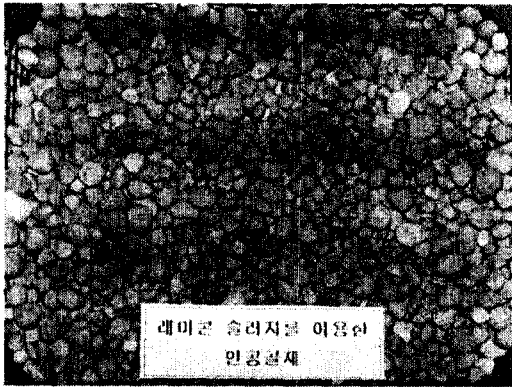


사진 1. 골재의 외관

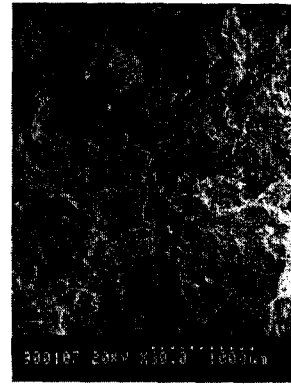


사진 2. 골재의 미세조직

### 3.2 기본배합비 선정시험

레미콘 슬러지 분말의 비율이 높아질수록 소요되는 물/결합재비(W/C+S)도 현저히 높아지며, 강도도 저하됨을 알 수 있었다. 그래서 슬러지의 재활용을 높이면서 골재로서의 기본적인 강도발현을 위해서는 P1(C:S=1:1)의 배합이 골재제조에 적정함을 확인할 수 있었다.(그림 2참조)

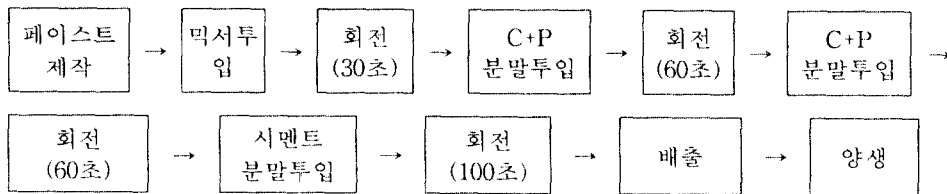


그림 1. 「골재제조 기본공정」

### 3.3 플로우에 따른 골재형성율

골재 형성율은 동일한 회전조건에서 페이스트의 점성에 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 실험결과 플로우가  $190 \pm 10\text{mm}$ 일 때 골재형성율이 90% 이상이 되는 것을 확인하였다. (표 5 참조) 따라서 추후 타 슬러지 및 미립분을 이용하여 골재를 제조할 시 먼저 페이스트로부터 플로우값을 측정하여 골재의 형성율을 측정할 필요가 있다.

표 5. 플로우에 따른 골재형성율 시험결과

종류	배합비	플로우(mm)	골재형성율(%)
A	시멘트:슬러지 (1:1)	140	57
B		160	78
C		180	94
D		200	93
E		220	84

### 3.4 생성된 골재의 품질시험

표 6에서와 같이 모든 특성이 경량골재와 비슷한 성질을 가지고 있다. 고온고압 소성이 필요없는 상온경화형이고 결합재로 시멘트와 레미콘 슬러지를 사용했기 때문에 흡수율이 상당히 높게 나타났고, 표면 코팅 처리로 흡수율을 저감시킬 필요성이 있는 것으로 판단된다. 마모율에서도 일반쇄석에 요구되는 마모율인 40%이하를 나타내고 있어 시멘트량의 증가나 표면처리로 마모율 향상방안을 강구해야 할 것으로 사료된다.

표 6. 골재의 품질시험결과

비중	흡수율(%)	단위용적중량(t/m <sup>3</sup> )	입도범위(mm)	형상	실적율(%)	조립율	마모율
1.87	22%	1.14	5~19	구형	64.2	6.68	55%

### 3.5 콘크리트 압축강도

쇄석을 이용한 콘크리트와 레미콘슬러지인공골재를 이용한 콘크리트의 압축강도 발현 현황을 그림 3.에 나타내었다. 설계기준강도인 210kg/cm<sup>2</sup>를 만족하는 것으로 나타났다. 쇄석을 이용한 콘크리트와 거의 동등한 강도를 발현함을 알 수 있었으며, 파괴강도가 250kg/cm<sup>2</sup>이하의 콘크리트에서는 골재의 강도특성보다는 페이스트 강도에 의해 좌우되기 때문에 골재자체의 계면에서 파괴되지는 않았다.

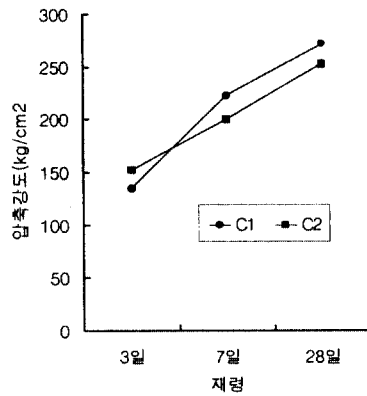
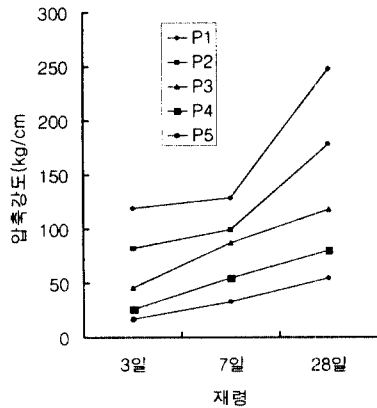


그림 2. 페이스트 배합비에 따른 재령별 압축강도

그림 3. 레미콘슬러지 골재 콘크리트의 압축강도

## 4. 결론

본 연구는 산업부산물인 레미콘 슬러지를 재활용하기 위해 고온고압소성이 필요없는 상온경화형 골재로 개발하여 활용하는데 그 목적이 있으며, 연구결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 골재를 제조하기 위한 기본 배합비는 시멘트:슬러지의 중량비율이 1:1이 적당할 것으로 판단되며 슬러지의 양이 많아지면 골재의 품질도 현저히 저하될것으로 판단된다.

2) 점도를 선페이스트법에 의해 적정 플로우값( $190 \pm 10$ )을 확보하면 골재형성율이 90%이상이 되며 이미 확립된 골재생산공정을 통해 레미콘슬러지를 이용한 인공골재의 제조가 가능함을 확인할 수 있었다.

3) 결합재로 시멘트를 이용하기 때문에 상온에서도 강도가 충분히 발휘될 있으며, 원통형 믹서를 이용한 원심력으로 골재를 생산하기 때문에 대량생산이 가능하고 고온고압 소성이 필요없어 경제성을 확보할 수 있다. .

4) 생산된 골재의 품질시험을 실시한 결과 일반적인 성능면에서는 골재로서의 효용가치가 있으나 흡수율과 마모율면에서는 인공골재의 한계를 보이고 있다. 골재로서의 이용을 위해서는 배합성능, 표면처리 및 양생방법을 조정하여 골재로서의 품질을 향상시켜야 한다.

5) 인공골재를 이용한 콘크리트의 압축강도 시험에서는 쇄석을 이용한 콘크리트 압축강도와 거의 동등한 강도를 얻을 수 있었으며 파괴강도  $250 \text{kg/cm}^2$  이하의 콘크리트에서 현재 정도의 특성을 가지기도 적용할 수 있다고 판단되는 활용처를 확대시키는 방안과 레미콘 공장의 인공골재생산 플랜트를 설치하여 실용화 연구를 추진해야 할 것이다.

6) 본 연구성과를 석산이나 폐콘크리트의 재활용 플랜트에서  $0.15 \text{mm}$  이하의 미립분의 재활용에 적용할 수 있다.

7) 개발된 골재의 활용은 콘크리트 2차제품이나 기타 구조적인 중요성을 가지지 않는 용도로 활용할 수 있다.

8) 향 후 본 기술을 레미콘 공장에 실적용하기 위해선 Filter Press나 Belt Press와의 상호관계를 검토하여 연속적인 공정이 이루어져야 하며, 레미콘슬러지의 수분함유량을 고려하여 골재의 생산기술을 재확립할 필요가 있다.

## 참고문헌

- 1) 한천구 외 3명, “콘크리트용 용수로써 레미콘 회수수의 재활용에 관한 연구”, 한국콘크리트 학술발표논문집, 1994.11
- 2) 笠井芳夫 외 4인, “재생골재 콘크리트의 내구성에 미치는 미세분말의 영향”. 대한건축학회 학술발표논문집, 제 16권 제 1호, 1996.4
- 3) 소양섭 외 3인, “시멘트와 제지슬러지 소각회를 이용한 인공골재 개발에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표논문집, 제18권 1호, pp.909~914, 1998.4
- 4) 소양섭 외 3인, “ 소각회 인공골재 개발 및 품질성능” 한국콘크리트학회발표논문집 제 19권 1호 pp.69~75, 1998. 5