

시멘트계 결합재로서 레미콘 슬러지의 재활용 방안에 관한 기초적 연구

The Fundamental Study on Reusing Method of Ready-Mixed Concrete Sludge as Cement Binder

○ 박진섭* 서경호* 김효열** 강병희***
Park, Jin-Sub Seo, Kyoung-Ho Kim, Hyo-Youl Kang, Byeung-Hee

Abstract

This study deals with the Hydrated Ability of the Ready-Mixed Concrete's Sludge which is the recycling technology of that sludge.

The experiment gathers sludge from Ready-mixed factory, shatters these into pieces in dry condition and understands the differences between current using Portland cement. And then, this examines the possibility of the recycle as a bonding agent through the Compressive Strength and considers the recovery of the hydration.

This experiment concludes the same Chemical Composition with the normal Portland cement, while, under the appropriate procedure in hydration recovery, this sludge can be used as the bonding agent in cement. The chemical composition of solid Remicon sludge shows that it has 1.8 times SiO₂ than the normal Portland cement, meaning lots of aggregate in Remicon sludge. Also, the specific gravity of Remicon sludge increases with the rise of Baking Temperature and has no difference between 2.77 and 2.94. The mortar flow used for combining the baking material of Remicon sludge does was not changed and is the highest between 750°C·120min and 800°C·180min. Additionally, the Compressive Strength increases with the age, certifying the same Hydrated Ability like cement and the best condition for hydration is 750°C·120min.

키워드 : 레미콘 슬러지, 화학 성분, 소성 온도, 수화성

Keywords : Ready-Mixed Concrete's Sludge, Chemical Composition, Baking Temperature, Hydrated Ability

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

레미콘 슬러지는 콘크리트 제조설비 및 운반차량의 드럼내부 청소 시 발생하는 고함수 건설 폐기물로서, 현재 우리나라에서는 레미콘 슬러지가 포함된 회수수를 콘크리트 배합용 용수로서 재활용하고 있다.

KS F 4009의 부속서 2에는 회수수의 사용 기준을 제시하고 있으며, 레미콘용 배합수로서 활용하기 위해서는 회수수 내의 슬러지 고형분율을 3%이하로 규정하고 있다. 그러나, 국내 레미콘 업계의 78%정도가 회수수를 전량 재활용하는 유형의 재활용 설비를 구비하고 있어 실제 재활용되고 있는 회수수의 농도는 기준을 훨씬 상회하고 있는 실정이다. 이와 같은 높은 농도의 회수수를 사용할 경우 레미콘 강도 저하를 유발하고 청수의 소비량을 증대시키는 등 용수자원 및 골재 자원의 유효한 활용이 제한되게 된다.

현재 국내의 레미콘 제조업체는 663개 사로서 2003년 기준으로 연간 147,797,868m³의 콘크리트를 생산하고 있으며, 레미콘 생산과정에서 필연적으로 발생하는 슬러지의 발생량은

각 공장마다 차이는 있지만 일반적으로 1m³당 4~10kg 정도의 591,191~1,477,978t인 것으로 추정되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 레미콘 공장에서 발생하는 레미콘 슬러지의 재활용을 위한 기술개발의 일환으로 레미콘 슬러지를 수집·건조 후 미분쇄한 레미콘 슬러지 고형물을 고온환경 하에서 재처리하여 새로운 시멘트계 결합재로서 활용성을 검토하기 위한 레미콘 슬러지의 수화성 회복에 관한 기초적 연구를 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

레미콘 슬러지의 재활용 기술 개발에 관한 연구의 일환으로서 본 연구에서는 레미콘 슬러지의 수화성 회복을 위한 연구를 수행하였다.

본 연구에서 사용한 레미콘 슬러지는 부산광역시 D사에서 레미콘 제조 시 발생한 회수수를 수집하여, 이를 침전 후 건조, 분쇄하여 레미콘 슬러지 고형물을 제작하였다. 제작된 레미콘 슬러지 고형물의 수화성 회복을 위하여 고온가공을 실시하였으며, 소성온도는 600~800°C범위에서 50°C구간, 소성시간은 60분, 90분, 120분, 180분으로 변화하였다.

실험은 레미콘 슬러지의 기초물성 파악을 위하여 레미콘 슬러지 고형물의 화학조성 시험 및 레미콘 슬러지 소성물의 비중 시험을 실시하였다. 또한 레미콘 슬러지 고형물의 가공

* 정희원, 동아대 건축공학과 석사과정

** 정희원, 동아대 건설기술연구소 특별연구원, 공학박사

*** 정희원, 동아대 건축학부 교수, 공학박사

조건에 따른 수화성 회복 정도를 검토하기 위하여 각 가공조건에 따라 제작한 레미콘 슬러지 소성물을 이용한 모르터를 제작하여, 이의 플로우 및 재령별 압축강도 시험을 실시하였다.

이상의 연구 결과를 비교분석하여 레미콘 슬러지의 수화성 회복을 위한 적정 가공조건을 도출하고, 이를 바탕으로 시멘트계 결합재로서 레미콘 슬러지 소성물의 활용가능성을 제시하는 것을 본 연구의 범위로 하였다.

2. 실험

2.1 사용재료

1) 레미콘 슬러지 소성물

본 연구에서 사용한 레미콘 슬러지 소성물은 부산광역시 소재의 레미콘 제조회사인 D사에서 발생하는 레미콘 슬러지를 수집하여 이용하였으며, 이를 침전·건조 후 설정한 소성온도와 소성시간에 따라 가공하여 제작한 레미콘 슬러지 소성물을 이용하였다.

본 연구에서 대상으로 한 레미콘 슬러지의 시멘트계 결합재로서 활용가능성을 사전검토하기 위하여 레미콘 슬러지 고형물의 화학조성을 분석하였으며, 그 결과를 보통 포틀랜드시멘트의 화학조성과 비교·분석한 결과는 그림 1과 같다.

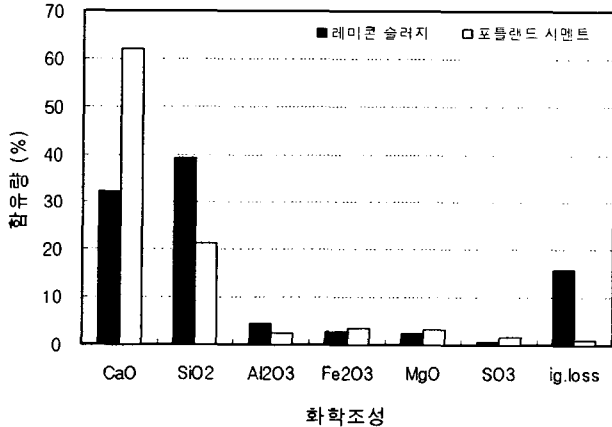


그림 1. 포틀랜드시멘트와 레미콘 슬러지 고형물의 화학조성

레미콘 슬러지 고형물의 화학조성은 보통 포틀랜드 시멘트의 화학조성과 동일하였으며, 그 주 구성 화학성분은 CaO와 SiO₂가 주성분인 것으로 나타났다.

따라서 레미콘 슬러지의 수화성 회복을 위하여 적절한 가공이 이루어진다면 시멘트계 결합재로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

그러나 레미콘 슬러지 고형물의 화학조성은 보통 포틀랜드 시멘트의 화학조성에 비하여 CaO의 화학성분 비율이 약 52%의 수준이었으며, SiO₂는 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 약 1.8배 정도 높은 것으로 측정되었다.

레미콘 슬러지 소성물의 제작과정은 그림 2와 같다.

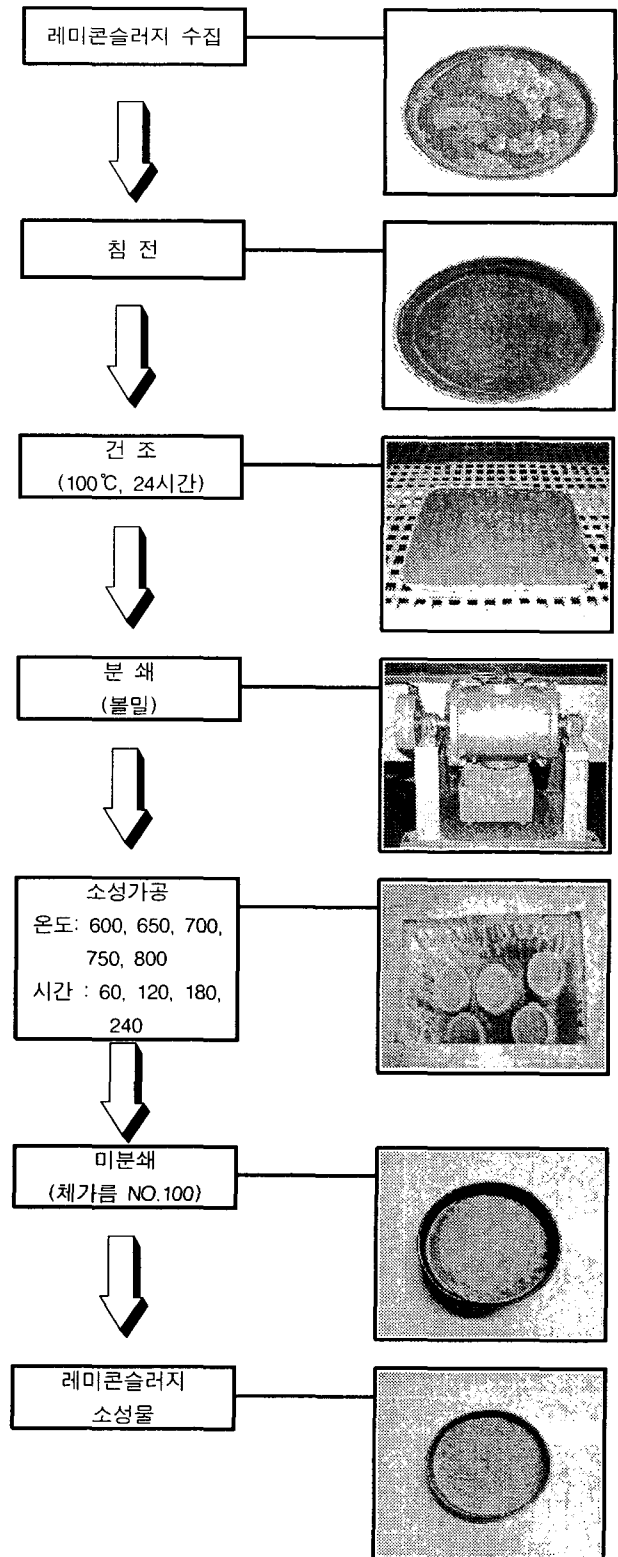


그림 2. 레미콘 슬러지 소성물 제작과정

이는 레미콘 슬러지 내에 잔골재 미분말이 첨가되어 나타나는 현상으로서 판단되며, 레미콘 슬러지를 시멘트계 결합재로서의 활용가능성을 배가하기 위해서는 이의 적절한 분별이 요구될 것으로 판단된다. 그리고 보통포틀랜드 시멘트에 비하

여 레미콘 슬러지 고형물은 수화에 직접적으로 관여하는 CaO의 성분이 낮아 보통포틀랜드 적절한 가공이 이루어지더라도 보통포틀랜드 시멘트와 동일한 성능을 발휘하는 데는 다소 무리가 있을 것으로 예상된다.

또한 레미콘 슬러지 소성물을 시멘트계 결합재로서 활용하기 위하여 이를 사용한 모르터 및 콘크리트의 배합에 관한 기초자료로서 가공조건에 따른 비중시험을 KS L 5110에 준하여 실시하였다. 레미콘 슬러지 소성물의 가공조건에 따른 비중시험 결과는 표 1, 그림 3과 같다.

표 1. 소성조건에 따른 슬러지 재생시멘트의 비중

| 소성시간 소성온도 | 60분 | 120분 | 180분 | 240분 |
|--------------|------|------|------|------|
| 600℃ | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| 650℃ | 2.77 | 2.89 | 2.89 | 2.77 |
| 700℃ | 2.77 | 2.89 | 2.77 | 2.94 |
| 750℃ | 2.94 | 2.89 | 2.85 | 2.94 |
| 800℃ | 2.94 | 2.85 | 2.94 | 2.94 |

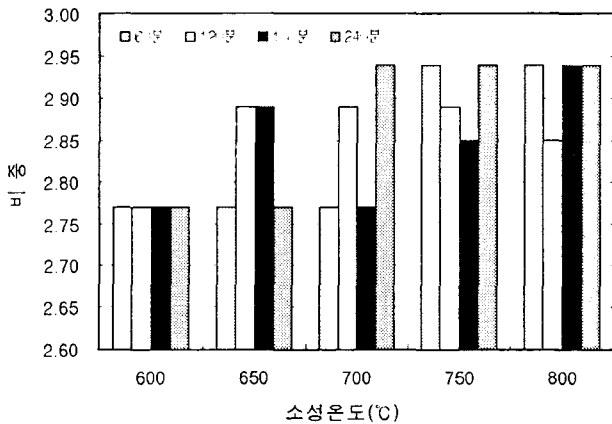


그림 3. 소성조건에 따른 레미콘 슬러지 소성물의 비중

가공조건에 따른 레미콘 슬러지 소성물의 비중은 소성온도가 증가함에 따라 비중이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 650℃ 180분을 제외하고 소성시간에 따른 증가도 비례함을 알 수 있다.

소성온도 600℃의 경우는 소성시간의 증가에 따른 비중차는 적은 것으로 나타났으며, 이 때의 레미콘 슬러지 소성물의 비중은 2.77인 것으로 측정되어 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 볼 때 다소 낮은 것으로 나타났다.

소성온도 650℃ 이상의 조건에서는 소성시간이 변화함에 따라 레미콘 슬러지 소성물의 비중은 다소 차이를 나타내는 것으로 측정되었다.

그러나 레미콘 슬러지의 소성가공 조건에 따른 레미콘 슬러지 소성물의 비중은 전체적으로 2.77~2.94의 범위로서 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 측정되었다.

레미콘 슬러지 소성물의 비중을 보통포틀랜드 시멘트의 비중값인 3.15와 비교하여 볼 때 다소 낮은 범위를 나타내었으며 이는 레미콘 슬러지의 생성과정에서 다량의 잔골재 미립

분이 포함되어 레미콘 슬러지의 비중이 감소한 것으로 판단된다.

2) 잔골재

본 실험에서 사용한 잔골재는 주문진 표준사를 사용하였으며, 잔골재의 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 잔골재의 물리적 특성

| 구분 | 비중 | 흡수율(%) | 단위중량(kg/m) |
|---------|------|--------|------------|
| 주문진 표준사 | 2.62 | 0.12 | 1.533 |

3) 배합수

본 실험에서 사용한 배합수는 부산시 상수도물을 사용하였다.

2.2 실험계획

본 연구에서는 레미콘 슬러지를 수집·침전·건조 및 분쇄하여 레미콘 슬러지 고형물을 제작하였으며, 이를 소성온도와 소성시간 등의 변화인자에 따른 수화성 회복 정도를 검토하였다.

소성온도는 시멘트 화합물의 수화 반응 개념과 콘크리트의 열적 성질 등의 선행된 연구를 토대로 600℃, 650℃, 700℃, 750℃, 800℃의 5수준으로 하였으며, 소성시간을 60분, 90분, 120분, 180분의 4수준으로 달리하였다. 제작된 레미콘 슬러지 소성시료는 No.100 체를 이용하여 그 최대입자 크기를 150µm 이하로 조정하여 사용하였다.

이상의 가공인자를 통하여 제작된 레미콘 슬러지 소성물의 수화성 회복 정도를 검토하기 위하여, 실험은 이를 결합재로 이용한 모르터의 플로우 및 재령별 압축강도를 측정하였다

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 3과 같다.

표 3. 실험인자 및 수준

| 실험인자 | | 수준수 |
|------|---------|-------------------------|
| 사용재료 | 레미콘 슬러지 | 1 |
| 가공조건 | 소성온도(℃) | 600, 650, 700, 750, 800 |
| | 소성시간(분) | 60, 90, 120, 180 |
| | 냉각방법 | 상온냉각 |
| | 입자크기 | 150µm 이하 |
| 계 | | 20 |

2.3 모르터의 배합

모르터 배합은 표 4와 같다.

표 4. 모르터의 배합

| 배합비 | W/RS (%) | 단위중량 (g/l) | | |
|----------|----------|------------|------------|---------|
| | | 물(W) | 슬러지소성물(RS) | 잔골재(S) |
| 1 : 2.45 | 48.5 | 272.30 | 561.44 | 1375.53 |
| | | 273.86 | 564.66 | 1383.41 |
| | | 274.61 | 566.21 | 1387.21 |
| | | 275.53 | 568.10 | 1391.85 |

2.4 실험방법 및 측정

1) 모르터의 제작

결합재로서 레미콘 슬러지 소성물을 사용한 모르터의 제작 과정은 그림 4와 같다. 제작된 시험체는 수중양생하였다.

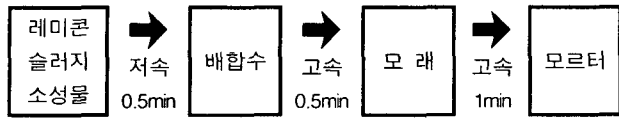


그림 4. 모르터의 제작방법

2) 측정

본 연구에서는 레미콘 슬러지 소성물의 가공조건에 따른 수화성 회복정도를 검토하기 위하여, 이를 결합재로서 이용한 모르터의 플로우와 재령별 압축강도를 측정하였다.

실험항목과 적용규준은 표 5와 같다.

표 5. 실험항목 및 적용규준

| 측정 항목 | 적용 규준 |
|---------|-----------|
| 비중 시험 | KS L 5110 |
| 화학 분석 | KS L 5120 |
| 플로우 시험 | KS L 5105 |
| 압축강도 시험 | KS L 5105 |

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모르터의 플로우

레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르터의 플로우 시험 결과는 그림 5와 같다.

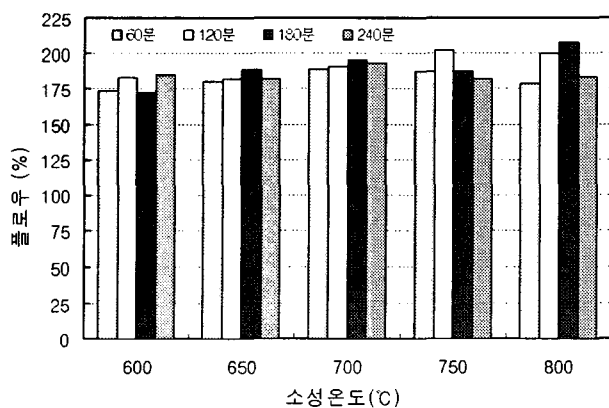


그림 5. 소성조건에 따른 재생시멘트의 플로우

레미콘 슬러지를 결합재로서 사용한 모르터의 플로우는 소성온도가 증가함에 따라 다소 증가하는 양상을 나타내었으나, 소성온도의 변화에 따른 플로우의 차는 적은 것으로 나타났다. 또한 소성시간의 변화에 따라서도 일률적인 변화 양상을 나타내지 않았다. 모르터의 플로우는 레미콘 슬러지를 800℃, 180분의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다.

3.2 모르터의 압축강도

레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르터의 재령별 압축강도 시험 결과는 표 6과 같다.

표 6. 모르터의 압축강도 시험결과

| 가공조건 | | 재령별 압축강도(MPa) | | |
|---------|---------|---------------|-----|-----|
| 소성온도(℃) | 소성시간(분) | 3일 | 7일 | 28일 |
| 600 | 60 | 1.4 | 2.3 | 3.2 |
| | 120 | 1.4 | 2.4 | 2.6 |
| | 180 | 1.5 | 2.4 | 2.9 |
| | 240 | 1.3 | 2.0 | 2.6 |
| 650 | 60 | 0.8 | 1.9 | 2.6 |
| | 120 | 1.0 | 2.4 | 3.0 |
| | 180 | 1.0 | 1.9 | 2.5 |
| | 240 | 1.7 | 2.8 | 3.4 |
| 700 | 60 | 1.1 | 2.1 | 2.7 |
| | 120 | 1.6 | 2.8 | 3.7 |
| | 180 | 1.2 | 2.5 | 3.0 |
| | 240 | 1.2 | 2.7 | 3.0 |
| 750 | 60 | 1.3 | 2.7 | 3.7 |
| | 120 | 1.4 | 2.6 | 5.3 |
| | 180 | 1.7 | 3.2 | 3.6 |
| | 240 | 1.2 | 2.5 | 3.2 |
| 800 | 60 | 0.8 | 1.8 | 2.2 |
| | 120 | 0.9 | 2.1 | 2.8 |
| | 180 | 0.8 | 0.8 | 2.0 |
| | 240 | 1.0 | 2.2 | 2.3 |

1) 재령에 따른 압축강도

레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르터의 재령 3일의 압축강도 시험 결과는 그림 6과 같다.

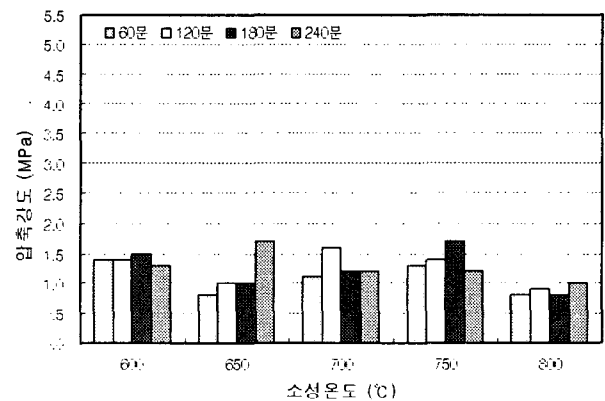


그림 6. 모르터의 압축강도 (재령 3일)

모르터의 압축강도는 소성온도 및 소성시간에 따라 차이를 나타내어 레미콘 슬러지 소성물의 수화성 회복정도는 그 가공방법에 따라 매우 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 소성온도 600℃의 경우 소성시간 180분 이내의 범위에서는 모르터의 압축강도가 증가하였으나, 240분의 경우는 감소하는 경

향을 나타내었다. 따라서 레미콘 슬러지 소성물을 소성온도 600℃로 가공한다면 소성시간은 180분이 적절할 것으로 판단된다. 또한 재령 3일에서의 모르터의 압축강도는 소성온도 600℃, 소성시간 180분의 경우가 가장 우수하였다.

레미콘 슬러지 소성물의 가공조건에 따른 모르터의 재령 7일의 압축강도 시험결과는 그림 7과 같다.

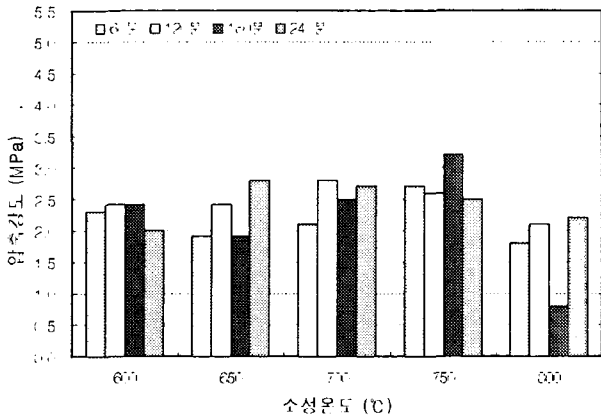


그림 7. 모르터의 압축강도 (재령 7일)

재령 7일의 압축강도는 재령 3일의 압축강도에 비하여 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 전 소성 온도 조건에서 동일하였다.

소성온도별 최대압축강도를 나타내는 조건은 소성온도 600℃의 경우에는 120분, 소성온도 650℃는 240분, 소성온도 700℃는 120분, 소성온도 750℃는 180분 및 소성온도 800℃는 240분인 것으로 나타났다. 따라서 레미콘 슬러지의 수화성 회복정도는 소성온도 및 소성시간에 따라 변화하는 것을 파악할 수 있었다.

이 중 압축강도 발현성능이 가장 우수한 조건은 소성온도 750℃, 소성시간 180분인 것으로 나타났다.

레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르터의 재령 28일의 압축강도 시험결과는 그림 8과 같다.

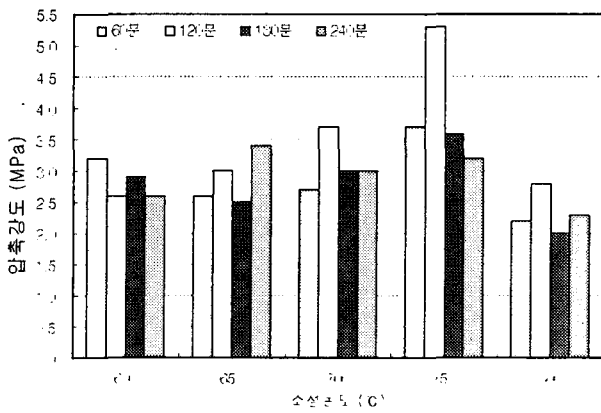


그림 8. 모르터의 압축강도 (재령 28일)

재령 28일의 모르터의 압축강도는 재령 7일에서의와 마찬가지로 레미콘 슬러지의 소성온도와 소성시간이 변화함에 따라 매우 큰 차이를 나타내었다. 따라서 레미콘 슬러지의 수화성

을 회복하기 위해서는 각 소성온도별 적정 소성시간의 도출이 필요할 것으로 판단된다.

모르터의 압축강도는 소성온도 750℃, 소성시간 120분의 경우가 가장 높은 것으로 나타났다.

2) 소성시간에 따른 압축강도

레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르터의 소성시간에 따른 압축강도 시험결과는 그림 9~그림 12와 같다.

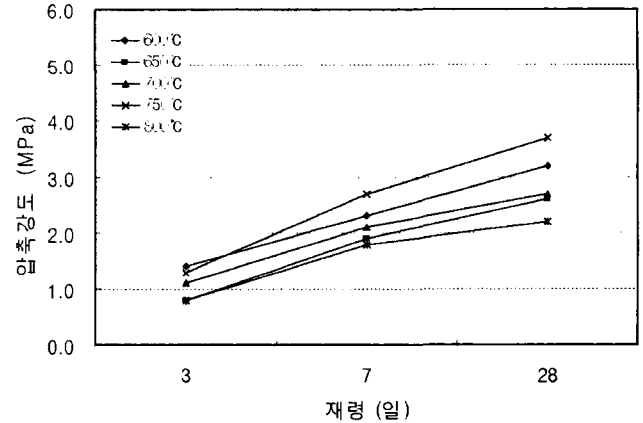


그림 9. 소성시간 60분

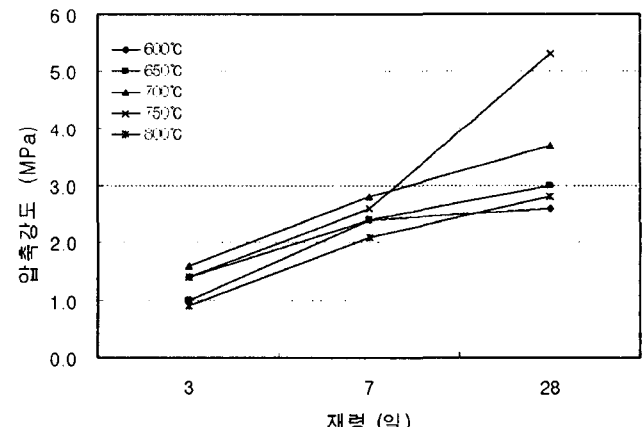


그림 10. 소성시간 120분

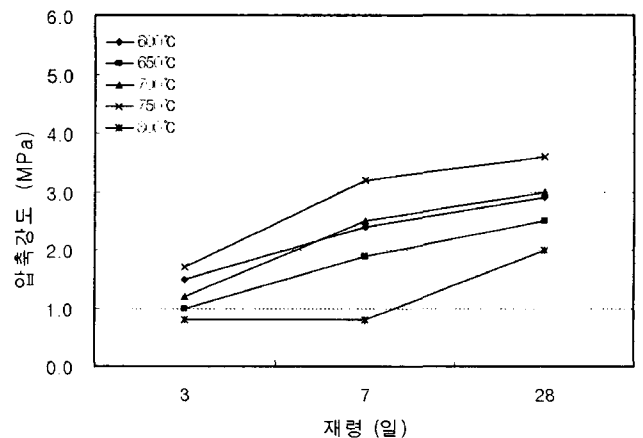


그림 11. 소성시간 180분

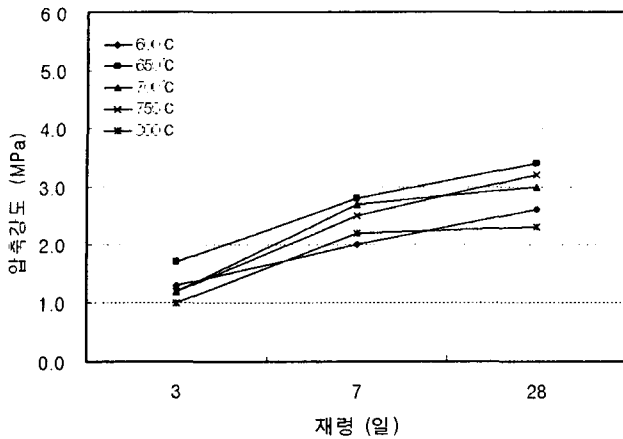


그림 12. 소성시간 240분

모든 소성시간 조건에서 레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르타의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 레미콘 슬러지는 소성가공을 통하여 수화성을 회복하는 것을 파악할 수 있었다.

소성시간 60분의 경우, 재령 3일에서 재령 7일로 변화함에 따른 압축강도의 증가비율은 비교적 동일한 것으로 나타났으며, 소성온도 75°C의 경우가 전 재령에서 압축강도의 발현 성능이 가장 우수하였다.

소성시간 120분의 경우도 소성시간 60분과 동일한 양상을 나타내었으며, 특히 소성온도 75°C의 경우는 재령 7일 이후의 압축강도 증가비율이 매우 높은 것으로 추정되었다.

소성시간 180분의 경우는 소성온도에 따라 압축강도의 발현특성은 다소 차이를 나타내었으나, 소성시간 60분 및 120분과 마찬가지로 소성온도 75°C의 경우가 압축강도의 발현 성능이 가장 우수하였다.

소성시간 240분의 경우 소성온도의 변화에 따른 압축강도의 발현비율은 유사하였으며, 비교적 소성온도 65°C의 경우가 압축강도의 발현 성능이 우수하였다.

따라서 레미콘 슬러지의 수화성 회복을 위해서는 소성시간이 180분 이내의 경우에는 소성온도를 75°C로 가공하는 것이 적합할 것으로 판단되며, 240분의 경우에는 80°C 이하가 되어야 할 것으로 보인다.

4. 결 론

레미콘 슬러지를 이용한 재생시멘트 활용방안에 관한 기초적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 레미콘 슬러지 고형물의 화학조성은 보통 포틀랜드 시멘트의 화학조성과 동일함으로 나타나, 레미콘 슬러지의 수화성 회복을 위하여 적절한 가공이 이루어진다면 시멘트계 결합재로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 레미콘 슬러지 고형물의 화학조성은 보통 포틀랜드 시멘트의 화학조성에 비하여 CaO의 화학성분 비율이 낮고, SiO₂는 약 1.8배 높아 레미콘 슬러지 내에 잔골재 미분말이 다량 첨

가되어 있는 것으로 나타났다.

- 3) 레미콘 슬러지 소성물의 비중은 소성온도가 높아짐에 따라 증가하는 양상을 나타내었으며, 비중은 2.77~2.94의 범위로서 가공조건의 변화에 따른 비중의 변화는 큰 차이를 나타내지 않았다.
- 4) 레미콘 슬러지 소성물을 결합재로서 사용한 모르타의 플로우는 소성조건의 변화에 따라 규칙적인 변화를 나타내지 않았으며, 비교적 소성온도 75°C·120분과 80°C·180분의 경우가 높은 것으로 나타났다.
- 5) 레미콘 슬러지 소성물을 사용한 모르타의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 높아지는 것으로 나타나 레미콘 슬러지는 시멘트와 동일한 수화작용을 하는 것으로 판단되었다. 또한 압축강도 발현특성이 가장 우수한 조건은 소성온도 75°C·120분으로서, 이는 레미콘 슬러지의 수화성을 회복하기 위한 적정 가공조건인 것을 파악할 수 있었다.
- 6) 레미콘 슬러지의 수화성 회복을 위해서는 소성시간이 180분 이내의 경우에는 소성온도를 75°C로 가공하는 것이 적합할 것으로 판단되며, 240분의 경우에는 80°C 이하가 적절한 것으로 나타났다.

이상의 연구결과에서 레미콘 슬러지는 적정 가공을 통하여 수화성을 회복하는 것으로 나타났으나, 전반적으로 압축강도의 발현정도가 낮아 이를 위한 다양한 보완연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한, 슬러지의 생성과정과 기존의 연구를 토대로 고찰해 볼 때, 슬러지내 잔골재 혼입분 및 불순물질을 제거하고, 수화성 회복시 재생 기구에 관한 연구가 계속 진행될 경우, 재생시멘트로서의 활용도 기대될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1 강병희, 초음파에 의한 고온수열콘크리트의 강도추정에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위논문, 1989
- 2 오상균, 페콘크리트 미분말의 재생시멘트 활용방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조제) 18권 10호(통권168호) 2002년 10월
- 3 김효열, 포졸란계 혼화재로서 페네토나이트 분말에 관한 연구, 동아대학교 박사학위논문, 2003
- 4 박승범, 건설폐기물의 국내외 재활용기술의 현황 그리고 처리 및 재활용 실태, 콘크리트학회, 2000, pp.46-53
- 5 김광우 외 3명, 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 콘크리트학회지, 6권 6호, 1994. 12. pp.51-65
- 6 이진용 외 1명, 페콘크리트 재활용 기술에 관한 연구, 1996, pp.186-191
- 7 김광우, 재생콘크리트의 강도특성상의 문제점, 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제7집, 1992, pp.44-49
- 8 장원호 외 3명, "Cement sludge 폐기물의 재활용방안" 대한환경공학회 추계학술연구발표회, 1999, pp.149-150
- 9 장진봉, 페 콘크리트의 재활용을 위한 골재 계면분리에 관한 연구, 동아대학교 석사학위논문, 2002
- 10 최현수, 중성화가 진행된 페 콘크리트계 미분말의 소성조건에 따른 수화성 회복에 관한 연구, 동아대학교 석사학위논문, 2003