Remicon 工場 回收水의 再活用

노 재 호
〈東洋시멘트 技術研究所 研究員〉
이 한 봉
〈東洋시멘트 技術研究所 研究員〉

요 약

레미콘 공장의 Plant Mixer 및 Truck Agitatior의 세척수에서 발생되는 레미콘에서 골재를 제거하고 남은 회수수를 콘크리드에 첨가하여 재활용하는 방법에 관한 문헌조사 및 실험을 실시한 결과, 회수수 중의 상등수는 콘크리트의 성질에 별다른 영향을 미치지 않으므로 상수도용수와 혼합하여 배합수로 사용이 가능하며, 회수수 중의 Sludge를 콘크리트에 첨가할 경우도 세골재율 감소, 단위수량 증가, AE제량 증가 등의 배합 보정을 행하면 콘크리트의 품질에 큰 변동을 주지 않고 사용이 가능하나, 그 한도는 시멘트량에 대하여 Sludge 고형분을 3%이하로 하는 것이 바람직하다.

콘크리트 첨가 Sludge량을 시멘트에 1% 정도 첨가할 경우는 콘크리트 품질에 큰 영향을 미치지 않고도, 배합 보정 없이 사용이 가능하나, 이 경우 레미콘 출하량 1m3에 대해 3Kg이상의 Sludge 발생은 탈수, 고화 및 매립하여 폐기하는 등의 방법이 필요하므로, 폐레미콘 발생량을 최소로하는 노력과 대책이 요구된다.

1. 서 론

최근, 대기, 수질 및 분진등의 각종 주변 환경 문제가 사회적 문제로 대두함에 따라, 공해 방지를 위한 시설물 설치와 산업폐기물의 처리에 관한 규정 및 감독이 더욱 강화되고 있다.

레미콘(Ready mixed Concrete)공장에서는 Plant Mixer나 Truck Agitator 등의 세척에 따라 회수수가 발생하며, 이 때의 회수수는 pH가 12 이상으로 특수 산업폐기물에 속하므로 이의 처리는 방법 및 비용에 있어 큰 문제점이 아닐수 없어, 탈수 및 고화 처리와 매립하여 폐기하거나 콘크리트에 재활용하는 등의 여러 방법이 시행되고 있으나, 여기서는 이들 방법 중 발생된 회수수를 Concrete에 첨가하여 재활용하는 방법에 대한 문헌조사 및 실험결과를 주로 기록하였다.

본 보고서에서 사용되는 용어는 다음과 같이 정의하기로 한다.

- 회수수: 세척수 등의 배수에서 골재를 제거한 것(상등수+Sludge)
- 상등수: 회수수를 가만히 방치하였을 경우의 윗부분의 맑은 용액
- Sludge: 회수수에서 상등수를 제거한 나머지 부분의 것
- Sludge 고형분: Sludge를 100−110 ℃로 건조한 것
- 기본 콘크리트: 배합수로 상수도용수를 사용한 콘크리트
- 상등수 콘크리트: 배합수로 상등수를 사용

한 콘크리트

- Sludge 콘크리트: Sludge를 첨가하여 만든 콘크리트
- AEA 콘크리트: 소정의 공기량을 유지하기 위하여 혼화제로 공기연행제(Air Entraining Agent)를 첨가한 콘크리트
- WR 콘크리트: 혼화제로 감수제(Water Reducer)를 사용하고 여기에 공기량 유지를 위하여 AEA를 첨가한 콘크리트

본 보고서에서 Sludge 첨가량은 시멘트중량에 대하여 고형분으로 환산하여 표시된 것이다.

각 콘크리트 간의 비교는 W/C비를 일정하게 하고, 단위수량 및 혼화제량을 변화시켜 Slump 및 공기량을 일정하게 하였을 경우이다.

2. 이 론

2. 1. 회수수(Sludge 및 상등수)의 성질

2. 1. 1. Sludge [1), 2)]

Sluge란 레미콘 공장에서 Plant Mixer나 Truck Agitator 등의 세척시에 발생되는 배수에서 골재와 상등수를 제거한 나머지로서, 이 Sludge를 100 ℃에서 건조하여 화학분석을 하면 시멘트에 비하여 강열감량(Ig. Loss)과 불용해잔분(Insol.)의 양이 많고 CaO등의 산화물의 양이 적게 나타난다. Insol. 이 많은 것은 세골재 중의 미립분에 기인한 것이고, CaO는 시멘트에서 유입된 것으로 생각된다.

Sludge중의 모래 성분과 시멘트 성분의 비율은 평균 1:4 정도이며, 시멘트의 일부, 특히 CaO는 상등수에 용해되므로, 분석 시멘트량은 원재료에 추정되는 양보다 적게 나타난다.

Sludge의 화학분석 결과에서 1000 ℃ 건조상태의 모래와 시멘트의 양을 추정하면 다음과 같다.

모래의 양(%)

$$= \left(\frac{\text{Sludge의 Insol.(\%)}}{\text{모래의 Insol.(\%)}} \right) \times 100$$

시멘트의 량(%)

$$= \left(\frac{\text{Sludge의 CaO(\%)} - \text{모래량} \times \text{모래의 CaO(\%)}}{\text{시멘트의 CaO(\%)}} - \right) \times 100$$

여기서, 1,000° C 건조상태에서의 배합을 추정한 것은 Sludge의 수화 정도가 시료의 재령정도에 따라 다르므로, 이에 따라 Sluge의 Ig·Loss가 달라지기 때문이다.

따라서 모래와 시멘트의 양을 추정할 때 사용하는 각 성분의 양은 다음 식을 사용하여 계산한다.

1,000° C 건조 상태의 값=
(1,000° C Ig·Loss를 함유한 분석 분석치)
$\times \left(\frac{100}{100 - (1{,}000^\circ\text{ C Ig·Loss})} \right)$

Sludge의 비중은 Sludge 중의 모래와 시멘트의 비율에 따라 결정되며, 모래량이 많을수록 비중은 높아진다.

$Y = 1.93 + 0.0097X \quad (r = 0.802)$

여기서, Y: Sludge 비중

$$X = \frac{\text{Sludge 중의 모래량(\%)}}{\text{Sludge중의 모래량(\%)} + \text{시멘트량(\%)}}$$

Sludge의 주성분은 미수화 시멘트 및 시멘트 수화물, 그리고 모래의 미분등이다.

Sludge의 X선 회절분석을 기간 경과에 따라 연속적으로 실시한 결과, 재령에 따라 Ettringite의 양은 큰 차이가 없으나, 미수화 시멘트의 양은 기간 경과와 함께 작아지며 페라이트 수화물(C4AF), 수산화석회 등의 양은 기간 경과와 함께 많아지는 경향이 확인된다.

Sludge의 화학분석 결과에서 Sludge의 조성을 추정하면 다음과 같다.

- Sludge 중의 Insol.과 시멘트와의 관계

$Y = -1.47X + 100.3 \quad (r = 0.98, n = 81)$

여기서, Y: Sludge중의 시멘트(%)

X: Sludge중의 Insol.(%)

- Slude 중의 CaO와 시멘트와의 관계

$Y = 1.15X + 33.3$ ($r = 0.78$)

여기서, Y: Sludge 중의 시멘트(%)

X: Sludge 중의 CaO(%)

- Sludge 중의 CaO/Insol.과 시멘트와의 관계

$$Y = \frac{X}{0.01X + 0.007}$$

여기서, Y: Sludge중의 시멘트(%)

X: Sludge중의 CaO/Insol.

CaO와 Sludge중의 시멘트 성분간의 관계식에서 r값이 낮은 이유는 CaO량이 Sludge 중의 시멘트 수화도의 차이로 인한 것이며, 또한 Sludge중의 시멘트 함유 비율과 상등수의 pH와의 관계를 구하면 다음의 식으로 나타내어지며, 시멘트 성분을 많이 함유한 Sludge에서 분리된 상등수는 PH가 높아진다.

$Y = 0.036X + 9.5$ ($r=0.69$)

여기서, Y: 상등수의 pH

X: Sludge중의 시멘트의 량(%)

2. 1. 2 상등수 [1) 2)]

상등수는 보통 PH 12이상의 강알카리성을 띠며, 그 조성의 대부분은 CaO, Na_2O K_2O 및 MgO로 이루어져 있으며, 상등수 중의 CaO와 Na_2O 및 K_2O의 량, 즉 알카리도와의 상관관계를 살펴 보면 높은 상관관계가 확인된다.

또한, CaO, Na_2O 및 K_2O의 함량과 증발잔유물과의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$Y = 0.00016X + 0.025$ ($r=0.74$)

여기서, Y: 증발잔유물(%)

$X = CaO + Na_2O + K_2O$(ppm)

M 알카리도란 상등수 중의 알카리분 전량을 탄산칼슘($CaCO_3$)의 ppm으로 표시한 값으로, M알카리도와 CaO, Na_2O 및 K_2O와는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$Y = 0.0307X - 0.66$ ($r = 0.89$)

여기서, Y: M알카리도(epm)

$X = CaO + Na_2O + K_2O$(ppm)

P알카리도란 상등수 중의 수산화이온(OH^-)의 농도에 따른 알카리도를 나타내는 것으로, 상등수에서 M알카리도와 P알카리도는 거의 같으며, 다음과 같이 나타낼수 있다.

$Y = 0.978X - 0.47$

여기서, Y: P알카리도(epm)

X: M알카리도(epm)

2.2. 회수수가 굳지 않은 콘크리트에 미치는 성질

2. 2. 1. 단위수량

(1) AEA 콘크리트의 경우 [1) 2) 3) 6)]

콘크리트의 배합수로서 상등수를 사용한 경우는 일반 상수도의 경우와 차이가 없다.

콘크리트에 Sludge를 첨가할 경우, 단위수량은 증가하며 그 증가량은 Sludge 1%에 대하여 약 1-2% 정도이 차이가 있으며, 이는 Sludge조성이 각 공장별로 약간씩 차이가 있기 때문으로 여겨진다.

일반적으로 7일 경과한 Sludge를 첨가한 콘크리트의 단위수량은 1일 경과의 것에 비하여 단위수량이 약간 증가하는 경향이 있다.

(2) WR 콘크리트의 경우 2), 3)

상등수 콘크리트는 기본 콘크리트에 대하여 단위수량의 보정을 필요로 하지 않는다.

Sludge 콘크리트는 W/C 50%의 경우에서는 Sludge 첨가량 1%에 단위수량 1Kg/m3의 증가를 필요로 하나 W/C 65%의 배합에서는 별 보정을 필요로 하지 않는다. WR 콘크리트에 있어 Sludge 첨가에 따른 단위수량의 보정량은 AEA 콘크리트에 비하여 약간 적게 된다.

Sludge 채취 후의 경과 일수가 콘크리트

단위수량에 미치는 영향은 확인되지 않는다.

2. 2. 2. 세골재율

(1) AEA 콘크리트의 경우 [1) 2) 3) 4) 6)]

상등수 콘크리트는 기본콘크리트에 비해 세골재율을 변화할 필요는 거의 없다.

Sludge 콘크리트의 경우, 단위 조골재량을 일정하게 하면 Workability의 변화는 거의 없으므로, Sludge 1% 첨가에 따라 세골재율을 0.5% 정도 감소시키도록 한다.

(2) WR 콘크리트의 경우 2),3)

상등수 콘크리트에 대하여 세골재율의 보정을 필요로 하지 않는다.

Sludge 콘크리트에서 세골재율의 보정값은 AEA 콘크리트와 거의 같게 나타나며, Sludge 고형분 첨가량 1%에 대하여 세골재율 약 0.5% 감소의 보정을 하면 된다.

2. 2. 3 AE제 첨가량

(1) AEA 콘크리트의 경우 [1) 2) 3)]

상등수 콘크리트는 기본 콘크리트에 대하여 AE제율을 변화할 필요는 거의 없다.

Sludge를 첨가할 경우, AE제 증가량은 Sludge 1%당 8−12%이며, 이는 Sludge 조성에 따라 AE제의 효과가 달라지기 때문이라 여겨진다.

7일 경과의 Sludge를 사용한 콘크리트의 경우가 1일 경과의 sludge를 사용한 콘크리트에 비해 AE제의 첨가량이 다소 증가하는 경향이 확인된다.

(2) WR 콘크리트의 경우 2), 3)

상등수 콘크리트는 기본 콘크리트에 대한 AE제 첨가율 조정이 특별히 필요 하지 않다. Sludge 콘크리트는 W/C 50%의 배합에서는 AE제 첨가량 보정의 필요가 없다. 감수제 콘크리트에서는 AEA 콘크리트에 비해 Sludge 첨가에 따른 AE제 증가량이 어느 정도 작아진다고 생각된다.

감수제 콘크리트의 경우, Sludge재령에 따른 AE제 첨가량의 변화는 확인되지 않는다.

2. 2. 4. 응결기간(AEA 콘크리트의 경우)[1) 2) 4) 6)]

상등수 콘크리트는 기본 콘크리트와 응결시간의 차이가 거의 없으므로, 상등수는 콘크리트의 응결시간에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

Sludge 첨가에 의해 콘크리트의 초결 및 종결시간은, 빨라지며 그 정도는 Sludge 첨가량이 3%일 경우는 20−30%이며, 5%일 경우도 1시간 이내이다.

2. 2. 5. Bleeding (AEA 콘크리트의 경우)[1) 4) 6]

기본 콘크리트와 상등수 콘크리트와의 Bleeding은 서로 거의 차이가 없으나, Sludge 콘크리트의 경우는 Sludge 첨가에 따라 Bleeding율은 감소하며 그 비율은 기본 콘크리트에 대해 약 절반 정도이다.

2. 2. 6. Slump Loss 및 Air Loss [4)]

AEA ㅁ 콘크리트 및 WR 콘크리트 모두에서 Sludge 첨가에 따른 Slump Loss 및 Air Loss의 차이점은 없는 것으로 보여진다.

2. 3 회수수가 굳은 콘크리트에 미치는 영향

압축강도의 경우는 AEA 콘크리트 및 WR 콘크리트 관한 조사이나, 나머지 항목은 AEA 콘크리트에 대해서만 조사한 것임.

2. 3. 1. 압축강도, 곡강도, 인장강도 및 부착강도 [1) 2) 4) 6)]

상등수 콘크리트의 압축강도는 7일, 28일 및 91일 재령에서 기본 콘크리트와 거의

같은 것으로 생각되며, Sludge를 첨가할 경우도 Slump 및 W/C비를 일정하게 할 경우, 콘크리트의 압축강도 변화는 없는 것으로 여겨진다.

Sludge의 경과일수는 채취 후의 보관기간이 짧은 것은 콘크리트의 7일 압축강도를 증가시키나, 28일 및 91일 재령의 압축강도는 경과일수에 따른 영향이 확인되지 않는다.

W/C비 일정의 경우, 상등수 및 Sludge 첨가에 따른 콘크리트의 곡강도, 인장강도 및 부착강도의 차이는 나타나지 않는다.

2. 3. 2. 동탄성계수 [1) 6)]

Sludge 콘크리트는 사용 골재 및 Sludge 성질 차이로 시험 결과에 따른 편차가 크게 나타나나, 상등수 및 Sludge 첨가에 따른 동탄성계수의 변화는 거의 없는 것으로 나타난다.

2. 3. 3. 동결융해저항성 [1)]

동결융해저항성 시험에 따른 콘크리트의 중량 변화는 상등수 콘크리트의 경우는 기본 콘크리트에 비해 거의 차이가 없고, Sludge 첨가량과 중량감소율 사이의 특정한 경향이 확인되지 않는다.

따라서, W/C비가 일정할 경우, AE 콘크리트의 경우에는 상등수 콘크리트 또는 Sludge 첨가량 5% 이하의 콘크리트에서는 콘크리트 공시체의 수중실험 급속 동결융해에 대한 저항성은 거의 같다.

2. 3. 4. 내마모성 [1)]

상등수 콘크리트의 경우는 기본 콘크리트와의 마모성 차이가 거의 없으며, Sludge를 첨가한 콘크리트의 마모는 Sludge 첨가량 3%까지는 거의 동일하나 5%에서는 10−15% 정도 내마모성이 향상되었다. 이 원인은 Sludge 첨가에 따라 Bleeding이 감소하여 재료 분리가 작아지고, 표면 부근에서 W/C가 작아진 것과 관계가 있다고 생각된다. W/C비를 일정하게 하면 Sludge의 첨가량 5% 정도가지는 내마모성에 대한 악영향은 거의 없다고 보여진다.

2. 3. 5. 건조수축 [1) 6)]

상등수 첨가에 따른 콘크리트의 건조수축 변화는 거의 없었으며, Sludge를 첨가할 경우, Sludge 첨가량 3%이상에서 건조수축에 의한 길이 변화는 다소 커지는 경향이 있으나, 이는 단위수량 증가에 의한 것으로 여겨지며, Sludge 자신에 의한 건조수축의 증가는 없는 것으로 여겨진다.

2. 4. 회수수 사용에 따른 유해 성분의 농축 여부 [3)]

회수수는 콘크리트의 배합수 및 잔류 콘크리트의 세척에 주로 사용된다. 따라서, 회수수의 반복 사용이 유해성분의 농축을 불러일으킬 가능성도 생각할 수 있다. 그러나, 저장수조등의 염소이온량에 대하여 살펴보면, 그 염소이온량은 시일 경과에 따라 어느 한도로 수렴하게 되어, 회수수를 배합수로 사용하여도 콘크리트 중의 염소이온량을 뚜렷하게 증가시키는 것은 아니다. 이것은 알칼리량에 대하여도 같은 결과가 나타나므로 회수수의 재이용은 배합수로 소비되어지는 유해물질의 양을 콘크리트의 성질에 불리한 영향을 미칠 정도로 농축하는 것은 아니라고 판단된다.

2. 5 회수수의 처리 방법 [1) 2) 3) 5) 6)]

레미콘의 초기에는 레미콘 공장의 Plant Mixer나 Truck Agitator등의 세척수를 침전조에서 골재 및 Sludge를 침전시켜 상등수는 공장 외로 방류하고, 고형분으로서의 골재 및 Sludge는 매립하거나 공지에 폐기하는 것이 가능하였으나, 자원 및 환경의 문제가 중요시되어진 근래에 이르러서는 상등수의 중화 및

배출, 골재의 회수, 상등수의 세척수 및 배합수로서의 이용 등이 점차로 진행되어, 현재에는 세척수를 전면적으로 이용하여 공장 외로 배출되지 않도록 할 필요가 요청된다.

그러나, 배합수로서 회수수의 재이용은 배합 보정을 않기 위하여는 콘크리트에 첨가되는 Sludge 고형분의 양을 1% 이내로 하고, 그 이상은 배합 보정과 함께 시멘트량의 증가를 필요로 하게 되며, 이 경우에도 Sludge 고형분은 시멘트 중량의 3%가 상한선으로 되어 있다.

그러므로, 회수수가 다량으로 발생하는 경우에는 콘크리트에 첨가하는 이외의 것은 탈수, 고화하는 등의 방법이 필요하다.

3. 감수제 첨가 콘크리트에 대한 회수수의 재활용 실험

3. 1. 개요

회수수의 재활용에 관한 문헌조사 결과, 상등수의 사용은 콘크리트에 별다른 영향을 미치지 않으며, Sludge를 사용할 경우에도 W/C 비를 일정하게 하여 배합 보정을 행하면, 시멘트 중량의 3%까지는 사용 가능한 것으로 나타났다.

이에 레미콘 공장의 감수제 사용(C * 0.4%) 콘크리트에 대하여, Sludge는 고형분으로 시멘트중량의 0.4%까지, 상등수는 배합수의 100%까지 대체하였을 경우의 배합설계 및 콘크리트의 물성에 미치는 영향과 제반 문제점을 파악하기 위하여 본 실험을 실시하였다.

3. 2. 실험조건 및 측정항목

(1) Sludge(채취 후 1개월 이내; 시멘트의 0, 1, 2, 3, 4%) 및 상등수(배합수의 0, 30, 60, 100%)를 첨가한 W/C= 65%, 감수제 사용(C * 0.4%, 5배 희석)의 Slump=±2cm, 공기량=4±1%인 Workable한 콘크리트가 되도록 단위수량, 최적 세골재율 및 AE제(20배 희석)의 첨가량을 정하고, 제작한 공시체로 7일 및 28일 강도 측정.

(2) (1)의 실험결과에 의한 배합설계로 Sludge(채취 후 1개월 이내; 0, 1, 2, 4%)및 상등수(0, 30, 60, 100%) 첨가에 따른 응결시간의 변화를 라틴방격법으로 실험.

(3) 4개 공장의 Sludge(채취 후 3개월 경과)를 사용하고 상등수율 60%로 하여, Sludge 0%와 비교한 Sludge 4% 첨가 콘크리트의 단위수량, 최적 세골재율, 공기연행제 첨가량과 7일 및 28일 압축강도를 반복 회수 3회로 하여 실험.

(4) (3)의 실험결과에 의한 배합설계로 Sludge(채취 후 3개월 경과; 0, 1, 2, 4%) 첨가에 따른 Bleeding량 차이를 상등수율 60%로 하여 2회 반복 실험.

(5) (3)의 실험 결과에 의한 배합설계로 Sludge(채취 후 3개월 경과; 0, 1, 2, 3, 4%) 첨가에 따른 Slump Loss 및 Air Loss 측정을 상등수율 50%로 하여 2회 반복 실험을 실시하였으며, 시험방법은 계량된 모든 재료를 Drum Mixer안에 투입하고 3분간 Mixing 후, 최초 Slump 및 Air량을 측정하고, 다시 Drum Mixer안에 콘크리트를 넣어 Mixing하면서, 재료 투입시간을 기준으로 20, 40, 60분마다 콘크리트의 Slump 및 Air량을 측정하여 최초 콘크리트의 측정값에서 60분 후의 측정값을 뺀 것을 Slump Loss 및 Air Loss로 하였음.

- 본 실험에서는 용량 50Lt의 콘크리트 Mixer 사용

3. 3. 사용재료

(1) 시멘트: T사 보통 포틀랜드 시멘트(표-1 및 표-2 참조)

표-1 OPC화학 성능

성 분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Ig. Loss
측정값	21.22	5.79	3.09	63.20	2.56	2.40	0.93	0.03	0.64

표-2. OPC 물리 성능

항 목	안정도 (%)	3일 강도 (Kg/cm^2)	7일 강도 (Kg/cm^2)	28일 강도 (Kg/cm^2)	초결 (hr:min)	종결 (hr:mim)	분말도 (cm^2/g)
측정값	0.12	206	306	392	3:47	5:47	3,048

표-3. 조골재 품질 성적표

성능 / 종류	비중	흡수율 (%)	단위용중 (Kg/m^3)	실적율 (%)	조립율	#4체 통과율 (%)
마평 자연석	2.62	1.36	1,767	67.4	7.05	8.6

표-4. 세골재 품질 성적표

성능 / 종류	비중	흡수율 (%)	단위용중 (Kg/m^3)	실적율 (%)	조립율	#4체 잔유율 (%)
준설사	2.58	1.20	1,537	59.6	1.51	0.2
영주사	2.58	1.20	1,682	65.2	3.34	5.0

(2) 조골재: 최대치수 25mm 마평산 자연석(표-3 참조)

(3) 세골재: 조립의 세골재(F.M 3.34)와 세립의 세골재(F.M 1.51)를 3:1의 비율로 혼합한 F.M 2.75의 혼합사를 사용(표-4 참조)

(4) 혼화제

-공기연행제: FEB AE제(20배 희석)

-감수제: FEBC 0.4%(5배희석)

(5) Sludge: 속초, 부산, 양산, 창원 4개 지역 T사에 레미콘 공장에서 채취(표-5, 표-6 참조)

- 3.2의 실험 (1), (2), (4), (5)에 속초 Sludge 사용

- 3. 2의 실험 (3)에 4개 지역의 Sludge 사용

표-5. Sludge 비중 측정 결과

Sample명	속초	부산	양산	창원
측정값	2.58	2.27	2.54	2.38

표-6. Sludge 화학 분석 결과

Sample명	속초	부산	양산	창원
SiO_2	34.47	33.06	30.14	30.15
$Fe2O_3$	5.84	4.74	4.57	3.02
$Al2O_3$	10.79	9.86	8.70	10.13
CaO	43.84	47.85	51.11	51.88
MgO	2.16	2.43	3.55	2.61
Na2O	1.18	0.55	0.62	1.22
K_2O	1.76	1.51	1.31	1.19

(6) 상둥수: 삼척 지역의 T사 레미콘 공장에

서 채취(pH=12.6)
(7) 배합수: 상수도 이용(pH=8.3)

3. 4. 결과 및 고찰

3. 4. 1. 채취후 1개월 이내의 Sludge 사용 콘크리트

(1) 세골재율

Sludge 0%인 콘크리트의 최적 세골세율은 48%로 Sludge 1% 첨가에 따라 세골재율을 0.5% 정도 감소하면 되는것으로 나타나, Sludge 4%첨가 콘크리트의 최적세골재율은 46%였으며, 상등수의 첨가는 세골재율의 변화와 무관한 것으로 나타났다.

(2) 단위수량

Slump=12cm를 얻기 위한 Sludge 0%인 콘크리트의 단위수량은 175(Kg/m^3)로, Sludge 1%첨가에 따라 단위수량 1% 정도를 증가시켜야 하는 것으로 나타나, Sludge 4% 첨가한 경우의 단위수량은 182(Kg/m^3)였으나, 상등수의 첨가는 단위수량의 변화와 무관한 것으로 나타났다.

(3) AE제 첨가량

감수제 0.4% 첨가후, 공기량 4±1%를 맞추기 위한 AE제 첨가량은 Sludge율 0%에서 C*0.015%로, 이후 AE제 첨가량은 Sludge 첨가량의 1% 증가에 따라 10% 증가하는 것으로 나타났으나, 상등수의 첨가에 따라서 AE제 첨가량을 변화시킬 필요는 없는 것으로 나타났다.

(4) 7일 및 28일 압축강도(표-7 및 표-8 참조)

압축강도 측정값의 분산분석 결과, W/C비를 일정하게 하면 Sludge및 상등수의 첨가에 따른 콘크리트의 7일 및 28일 압축강도의 변화는 없는 것으로 나타났다.

(5) 응결시간(표-9및 표-10 참조)

응결시간 측정값의 분산분석결과, Sludge및 상등수의 첨가는 콘크리드의 응결시간에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

3. 4. 2. 채취후 3개월 경과의 Sludge 사용 콘크리트

(1) 세골재율

4개 공장 모두에서 Sludge 4% 첨가 콘크리트의 경우도 0% 첨가의 경우와 마찬가지로 최적 세골재율은 46%로 나타나, Sludge 보관 기간의 경과는 세골재율의 변화에 영향을 미치지 않으며, Sludge 1% 첨가에 따라 세골재율을 0.5%정도 감소의 효과가 나타났다.

(2) 단위수량

4개 공장 모두에서 Sludge 4% 첨가 콘크리트의 경우도 0% 첨가의 경우와 마찬가지 요구 단위수량은 180(Kg/m^3)으로 나타나, 채취 후 장기간 보관한 Sludge는 4%까지 첨가하여도 단위수량에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(3) AE제 첨가량

감수제 0.4%첨가 후, 공기량 4±1%를 맞추기 위한 AE제 첨가량이 Sludge 첨가량 4%의 경우는 Sludge 첨가 않은 것에 하여 40% 정도 증가하여, Sludge 1% 첨가에 대하여 AE제 첨가량은 채취후 1개월 이내의 Sludge 사용의 경우와 마찬가지로 10%정도 증가하는 것으로 나타났다.

(4) 7일 및 28일 압축강도(표-11및 표-12 참조)

압축강도 측정값의 분산분석 결과, 4개 공장 모두에서 W/C비를 일정하게 하면 Sludge 및 상등수의 첨가에 따른 콘크리트 7일 및 28일 압축강도의 변화는 없는 것으로 나타났다.

(5) Bleeding(표-13 참조)

표-7. "3. 2.의 실험 (1)"에서의 7일 압축강도 측정값(kg/cm2)

Sludge(%) / 상등수율(%)	0	1	2	3	4	평균
0	152	175	177	172	185	172
30	157	156	153	152	148	153
60	157	184	167	180	177	173
100	185	161	151	171	163	166
평균	163	169	162	169	168	166

표-8. "3. 2.의 실험 (1)"에서의 28일 압축강도 측정값(Kg/cm^2)

Sludge율(%) / 상등수율(%)	0	1	2	3	4	평균
0	251	240	256	251	261	252
30	265	249	234	246	235	246
60	248	269	254	245	238	251
100	268	247	245	249	253	252
평균	258	251	247	248	247	250

표-9."3. 2.의 실험(2)"에서의 초결 측정값 (hr:min)

Sludge율(%) / 상등수율(%)	0	1	2	4	평균
0	8:07		9:10		8:32
30		9:55		8:16	9:06
60	9:10		9:27		9:18
100		9:28		7:46	8:07
평균	8:39	8:12	9:12	8:01	8:32

표-10. "3. 2.의 실험 (2)"에서의 종결 측정값 (hr:min)

Sludge율(%) / 상등수율(%)	0	1	2	4	평균
0	11:45		12:10		11:58
30		13:10		11:40	
60	12:10		12:20		12:25
100		13:06		10:46	
평균	11:58	13:48	12:15	11:13	12:12

표－11. "3. 2.의 실험 (3)"에서의 7일 압축강도 측정값 (Kg/cm2)

Sludge율(%)	0%	속초 4%	부산 4%	양산 4%	창원 4%
7일강도	153	163	155	146	188
	150	168	157	144	143
	133	159	160	143	131
평균	145	163	157	144	151

표－12. "3. 2.의 실험 (3)"에서의 28일 압축강도 측정값 (Kg/cm^2)

Sludge율(%)	0%	속초 4%	부산 4%	양산 4%	창원 4%
28일 강도	256	276	270	264	284
	237	265	250	250	216
	244	243	269	257	281
평균	246	261	263	257	260

표－13. "3. 2.의 실험 (4)"에서의 Bleeding 측정값(%)

Sludge율(%)	0	1	2	3	4
Bleeding율	5.37	5.70	6.72	5.45	6.11
	5.47	6.30	6.22	6.46	5.15
평균	5.42	6.00	6.47	5.96	5.63

표－14. "3. 2.의 실험 (5)"에서의 Slump Loss측정값(cm)

Sludge율(%)	0	1	2	3	4
Slump Loss	12.5	13.5	13.8	13.4	13.0
	11.5	12.0	12.5	11.5	12.0
평균	12.0	12.8	13.2	12.5	12.5

표－15. "3. 2.의 실험 (5)"에서의 Air Loss 측정값(%)

Sludge율(%)	0	1	2	3	4
Air Loss	0.3	0.3	0.7	0.3	0.7
	0.0	−0.3	0.2	0.2	0.2
평균	0.15	0.00	0.45	0.25	0.45

Bleeding 측정값의 분산분석 결과, Sludge 첨가량 4%까지는 콘크리트의 Bleeding에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

(6) Slump Loss(표-14 참조)

분산분석의 결과, Sludge첨가량 4%까지는 콘크리트의 Slump Loss에 별 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(7) Air Loss(표-15 참조)

Air Loss의 분산분석 결과, Sludge 첨가량 4%까지는 콘크리트의 Air Loss에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

3. 5 실험의 결론

C*0.4%의 감수제을 사용한 콘크리트에 Sludge 및 상등수를 첨가하여 실험한 결과, 배합수로서의 상등수 첨가는 콘크리트의 성질에 아무런 영향을 미치지 않으며, Sludge도 고형분으로 환산하여 시멘트 중량의 4%까지는 배합 보정을 실시하면 콘크리트에 별 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 삼척공장에서 채취한 상등수의 pH는 12.6이었으며, 실험에 사용한 부산, 속초, 양산, 창원 4개 지역의 Sludge 화학분석 결과는 서로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

(2) 상등수의 배합수로서의 사용은 콘크리트의 배합 및 성질에 아무 영향을 미치지 않는다.

(3) 채취 후 1개월 이내의 Sludge를 사용한 콘크리트는 Sludge 1%첨가에 대하여 세골재율 0.5% 감소, 단위수량 0.8-1.0% 증가, AE제량 10% 증가의 필요가 있으며, 이 경우에 W/C비를 일정하게 유지하면 7일 및 28일 강도와 응결시간 등에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다.

(4) 채취 후 3개월 이상 경과한 Sludge를 사용한 콘크리트는 Sludge 1%첨가에 대하여 세골재율 0.5%감소, AE제량 10%증가로 Sludge의 보관기간이 세골재율 및 AE제 첨가량에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났으며, 채취 후 보관기간이 오래된 Sludge는 콘크리트의 단위수량 증가를 일으키지 않았다.

장기 보관한 Sludge를 사용한 시험에서, Sludge첨가는 콘크리트의 7일 및 28일 압축강도와 Bleeding, Slump Loss, Air Loss에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 판명되었다.

4. 결 론

콘크리트 회수수(Sludge 및 상등수)의 재활용은 자원의 이용 및 환경보존의 측면과 산업폐기물에 대한 규정 및 감독이 더욱 강화되어가고 있는 현실에 비추어 볼 때 필연적인 것이다.

회수수의 재활용에 관한 문헌조사 및 실험의 결과, 상등수의 사용은 콘크리트의 성질에 아무런 영향을 미치지 않으며, Sludge의 사용은 시멘트 중량의 3%까지는 배합 보정을 하면 사용이 가능하며, 1%정도에서는 배합 보정 없이 그대로 사용하여도 레미콘의 품질에 큰 악영향을 미치지 않는다고 판단된다.

회수수의 재활용에 관한 문헌조사 및 실험에 따른 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 회수수중의 상등수는 100%까지 배합수로 사용하여도 콘크리트의 배합이나 물성에 아무런 영향을 미치지 않으므로 상수도용수와 혼합하여 배합수로 사용 가능하다고 판단된다.

(2) Sludge의 첨가는 세골재율 감소, 단위수량 증가, AE제량 증가 등을 필요로 하나, W/C비를 일정하게 하면 콘크리트의 성질에는 별 악영향을 미치지 않으므로, 3% 정도까지는 배합 보정을 하여 사용하면 된다고 여겨진다.

그러나, Sludge 첨가는 W/C비 유지를 위한 단위수량 증가에 따른 시멘트량 증가와 AE

재량 증가를 필요로 하여 콘크리트의 단가를 상승시키거나, Sludge 첨가량을 1% 정도로 하면 배합 보정 없이도 콘크리트의 품질에 별 영향을 미치지 않고 사용 가능한 것으로 판단된다.

(3) 회수수의 재활용은 콘크리트 중의 유해 물질의 양을 농축시키기는 하나, 그 양은 극히 소량이며 콘크리트의 성질에 불리한 영향을 미칠 정도는 아니다.

(4) Sludge 첨가량을 시멘트 중량의 1%로 할 경우, 레미콘 출하량 1m³에 대해 약 3kg 이상의 Sludge 발생량은 탈수 및 고화 등을 통하여 매립하는 등의 또 다른 대책이 필요하므로, 폐레미콘 발생을 최소로 하는 노력이 필수적이다.

(5) Sludge는 본 시험의 결과, 4%까지 첨가하여도 콘크리트에 불리한 영향을 미치지 않으나, 3%이상일 경우는 건조수축 등에 비교적 큰 영향을 미칠 수 있으므로 3%까지만 배합보정을 하여 사용하도록 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

—REFERENCE—

1. CEMENT 協會
"Ready mixed Concrete 工場의 回收水를 使用한 Concrete에 關한 共同試驗報告"
CONCRETE 專門委員會報告 F—25 (1973. 10)

2. CEMENT 協會
"Reade mixed concrete 工場의 回收水를 使用한 Concrete에 關한 共同試驗報告"
CONCRETE 專門委員會報告 F—26 (1975. 9)

3. 吉兼亨
"水, 回收水 水處理技術"
CEMENT CONCRETE No.477(1986. 11)

4. 笠井伍郎 吉兼亨
"生concrete 工場의 廢水로부터 回收한 Sludge를 添加한 Concrete의 性相에 對하여" Cement 技術年報 No. 26 pp 310—321.

5. CEMENT 協會
"普及되는 排水處理裝置"
CEMENT 新聞 (1974. 9. 3)

6. 岸谷孝一, 福士勳
"生 CONCRETE 工場의 回收水를 利用한 CONCRETE의 諸性質"
Cement 技術年報. pp. 217—219(1975)