

# 레미콘 회수수의 이용현황 및 안정화 재활용 방안

이문환 · 송태협 · 이세현

(한국건설기술연구원 건축연구부, 공학박사)

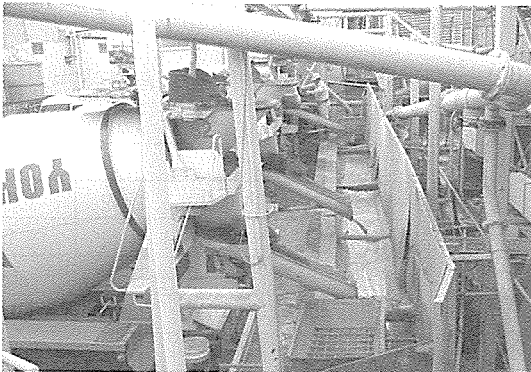
- |                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| 1. 서론                    | 3. 안정화 회수수 재활용 기술 |
| 2. 회수수의 활용실태 분석을 위한 설문조사 | 3.1 회수수 안정화 시스템   |
| 2.1 설문조사 및 통계분석방법        | 4. 결론 및 제언        |
| 2.2 설문조사 결과              |                   |

## 1. 서론

레미콘 생산 과정에서 회수수의 발생은 필연적인 산물로서, 이에 따른 환경피해 방지 및 자원재활용 대책으로 회수수의 효율적인 활용이 시급하다는 것은 주지의 사실이다. 그러나 회수수를 재활용하더라도 레미콘 품질이 저하되지 않는 대책의 수립 즉, 회수수의 효율적인 활용방안에 대한 모색이 절실하다.

이와 같이 레미콘 생산 과정에서 발생하는 회수수를 효과적으로 재활용하기 위해서는 전국적인 레미콘 공장의 회수수 활용실태 및 장래의 계획을 파악하고, 세척배수의 발생량 및 성상을 규명하며, 회수수를 사용할 경우 나타나는 레미콘 품질의 영향에 대해서도 분석하는 것이 선행되어야 할 것이다.

이를 위해 지난 1991년 과학재단과 한국레미콘공업협회의 연구 지원에 의하여 실시되었던



(그림 1) 레미콘 공장의 회수수 재활용 설비 구축 사례

특정연구개발사업 “레미콘 회수수의 제반 특성과 콘크리트용 용수로서의 재활용에 관한 연구”에서는 당시 레미콘 공장의 일반적인 사항과 공장 가동 중 발생하는 레미콘 회수수의 사용실태 등을 포함한 통계분석을 실시한 바 있다”.

그러나 10여년이 경과된 현재, 페레미콘의 재사용 체계와 용수관리 측면에서도 많은 변화와 진전을 보였다. 따라서 본 절에서는 과거 연구실적의 연장선상에서 동일 항목에 대한 변동 추이를 통계분석하고, 회수수 사용에 따른 문제점의 주요 유형을 도출하여 그 개선점을 파악함은 물론, 현행 규정 및 제도의 변화에 따른 이해당사자의 대응수준을 파악하여 회수수의 실질적인 활용방안 및 대안을 규명하고자 하였다.

## 2. 회수수의 활용실태 분석을 위한 설문조사

### 2.1 설문조사 및 통계분석 방법

1) 한국레미콘공업협회와 공동으로 2003년 말 현재 파악되어 있는 620여개 레미콘 공장(KS표시허가공장)에 대해 2003년 8월에 별첨한 내용의 설문지를 발송, 약 2개월간에 걸쳐 회수하였다.

2) 조사 항목은 배척 플랜트 믹서 및 운반차 세정수 사용상황과 그 배수처리에 관련된 사항, 또한 침전조, 믹서차 등의 규모, 능력, 골재의 회수, 폐기물량 등을 포함한 회수수의 전반적인 관리실태에 대해 자원절약 및 공해방지의 입장과 제도 및 규정에 대한 만족도 등을 관찰하는 입장에서 응답을 요구하였다.

3) 설문에 응답한 공장은 총 134개 site로 21.6%의 회수율을 보였으며, 대부분 유효한 응답률을 보이고 있으므로 조사된 모든 공장이 통계분석에 이용되었다.

4) 설문조사는 레미콘 생산 규모와 폐기물

처리에 관한 사항, 마지막으로 회수수에 관한 사항으로 크게 3가지로 구성되며, 특히 회수수에 관한 사항에서는 회수수를 재사용하는 경우와 그렇지 않은 경우를 대상으로 각기 다른 설문 문항으로 구성하였다.

다만, 항목별로 응답이 부실하거나 논리에 맞지 않게 응답한 공장들의 경우 그 항목에서만 분석에서 제외되었다.

5) 분석에 이용된 통계모델은 빈도분석, 기초통계분석, 상관분석, 독립성검정 등이며, 사용된 통계 패키지는 spss 10.0이다.

6) 조사결과에 대한 분석방법으로는 먼저, 연속형 변수를 분석할 경우, 정보의 손실을 최대한 줄이면서 주어진 데이터를 가장 효과적으로 요약할 수 있는 몇 개의 요약값을 찾아내기 위해 기초통계분석을 이용하였다. 여기서, 연속형 변수는 매출액이나 출하량과 같이 연속인 값들로 이루어진 변수가 해당된다. 또한, 만족도와 같은 범주형 변수를 분석하는 경우에는 각각의 변수에 해당되는 변수값의 빈도와 비율을 주된 분석수단으로 하였다.

### 2.2 설문조사 결과

#### 가. 기초통계분석 결과

1) <표 1>은 회수수 이용범위를 open system(공정 1)과 closed system(공정 2~공정 5)으로 나누어 각기 공장에서 해당하는

[표 1] 회수수 이용범위에 대한 다중응답분석

| 분 류                            | 빈 도 | 퍼센트   |
|--------------------------------|-----|-------|
| 공정1(중화시킨후 방류)                  | 2   | 1.5   |
| 공정2(상정수만 이용, 침전물은 방출)          | 2   | 1.5   |
| 공정3(골재 선별이용, 슬러지 방출, 상정수 재사용)  | 4   | 3.1   |
| 공정4(골재 선별이용, 슬러지 고행화, 상정수 재사용) | 21  | 16.0  |
| 공정5(전량 재사용, 슬러지수 사용)           | 102 | 77.9  |
| Total responses                | 131 | 100.0 |

공정을 다중응답 처리한 것이다.

그 결과, 빈도는 큰 의미를 갖지 않으며 퍼센트 측면에서는 공정 5(전량 재사용)의 경우가 가장 선호되고 있는 것을 알 수 있었다.

2) <표 2>는 회수수의 소비량을 묻는 질문에 대해 슬러지수, 상징수, 청수의 사용량을 m<sup>3</sup> 단위로 나타낸 결과이다.

[표 2] 회수수의 이용률에 대한 기술통계분석

(단위 : m<sup>3</sup>)

|             | N   | 최소값 | 최대값     | 평균       | 표준편차     |
|-------------|-----|-----|---------|----------|----------|
| 회수수<br>슬러지수 | 128 | .00 | 300.00  | 33.0517  | 37.6551  |
| 소비량<br>상징수  | 128 | .00 | 200.00  | 10.5891  | 25.3952  |
| 청수<br>소비량   | 128 | .00 | 1216.00 | 98.2808  | 149.3852 |
| 총사용수량       | 128 | .00 | 1334.00 | 122.0195 | 154.9512 |

3) 본 설문조사의 가장 큰 목표 중의 하나는 슬러지수의 농도에 대한 관리실태를 파악하는 것이다. 본 조사에서는 계절별로 발생농도의 차이가 있기 때문에 슬러지수의 평균농도, 최저, 최고농도별로 구분하여 질문하였으며, 그 응답 결과를 <표 3>에 기초통계표로 나타내었다.

이에 따르면, 평균적으로 3% 정도 수준으로 슬러지수가 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 다만, 최대값 중에서는 50%에 상당하는 경우도 응답되었는데, 이는 반려 레미콘을 재생처리하고 난 직후의 농도로 추정되며, 평균 농도가 실태조사 결과에서와 달리 낮게 나타난 것은 관련 규정을 의식한 자의적 응답일 수 있다고 사료된다.

이와 관련되어 본 조사에서 알 수 있었던 것은 KS F 4009 상의 3% 고형분율 한도는 콘크리트 중의 시멘트 중량에 대한 것이므로 물 시멘트비가 50%인 경우에 슬러지수의 농도는 6%가 이에 상당하는 것과 이 규정이 슬러지수조의 농도관리 수준으로 잘못 인식하고 있는 경우가 많다는 것이었다.

즉, 대부분이 슬러지수를 전량 재사용하고

있는 국내 레미콘 공장의 현실을 감안하거나, 세척수량을 고려하면, 레미콘차 세척에 의해 발생하는 슬러지수의 농도는 설문조사 보다 상당히 높을 것으로 사료된다.

[표 3] 슬러지수의 농도에 대한 기술통계분석

|      | N   | 최소값 | 최대값  | 평균    | 표준편차  |
|------|-----|-----|------|-------|-------|
| 평균농도 | 128 | .0  | 40.0 | 3.032 | 4.502 |
| 최저농도 | 128 | .0  | 30.0 | 1.766 | 3.325 |
| 최고농도 | 128 | .0  | 50.0 | 4.285 | 5.991 |

4) 회수수 재사용을 하는 공장 중 당사에서 회수수 재사용 설비 시설에 대한 만족도를 묻는 질문에 보통이라고 응답한 공장이 36.7%로 가장 많았으며 그 다음으로는 만족한다고 응답한 공장이 36.7%로 많았고, 만족하지 않는다고 응답한 공장도 17.2%의 비율을 차지하고 있었다(<표 4> 참조).

회수수의 이용범위와 형태가 같더라도 설비 유형의 차이가 있을 수 있으므로 본 설문조사의 분석에 기존 실태조사 결과를 고려하여 검토할 필요가 있다. 즉, 재사용 설비의 만족도는 대부분 골재 선별의 효율성에 의해 좌우되는데, 국내에서 주로 이용되고 있는 재사용 설비는 대개 진동 스크린 방식과, 트롬멜 방식으로 구분되며, 이들 시스템에 대한 선호도가 재사용 설비의 만족도를 크게 좌우하였던 것으로 추정된다. 다만, 양자의 방식에 대한 선호도와 관계없이 국내 레미콘 공장의 회수수 재사용

[표 4] 회수수 재사용 설비의 만족도에 대한 빈도분석

|         | 빈도  | 퍼센트   | 유효퍼센트 | 누적 퍼센트 |
|---------|-----|-------|-------|--------|
| 매우만족    | 5   | 3.9   | 3.9   | 3.9    |
| 만족      | 47  | 36.7  | 36.7  | 40.6   |
| 보통      | 51  | 39.8  | 39.8  | 80.5   |
| 만족하지 않음 | 22  | 17.2  | 17.2  | 97.7   |
| 매우 부정적  | 3   | 2.3   | 2.3   | 100.0  |
| 합계      | 128 | 100.0 | 100.0 |        |

설비에 대한 시설 만족도는 그다지 높지 않다는 것이 공통된 입장이었다.

5) 본 조사에서 집계된 회수수 재사용 설비의 보관을 계획하고 있는 공장의 수는 89개이었다. 그중 1년 이내에 보관을 계획하고 있는 공장과 3년 이내에 보관을 계획하고 있다고 응답한 공장이 각각 26개 집단으로서 총 58.4%의 비율을 차지하고 있으며, 80% 이상이 3년 이내에 설비보관을 계획중인 것으로 나타났다. 이는 환경에 대한 사회적 인식과 콘크리트 품질에 대한 요구가 점차 증가됨에 따라 재사용 설비의 보관에 대한 시급성을 공감하고 있다는 것으로 해석할 수 있다.

[표 5] 회수수 재사용 설비의 보완계획에 대한 빈도분석

|       | 빈도 | 퍼센트   | 유효퍼센트 | 누적 퍼센트 |
|-------|----|-------|-------|--------|
| 1년 이내 | 26 | 29.2  | 29.2  | 29.2   |
| 2년 이내 | 19 | 21.3  | 21.3  | 50.6   |
| 3년 이내 | 26 | 29.2  | 29.2  | 79.8   |
| 4년 이내 | 7  | 7.9   | 7.9   | 87.6   |
| 5년 이내 | 11 | 12.4  | 12.4  | 100.0  |
| 합 계   | 89 | 100.0 | 100.0 |        |

6) 회수수 재사용 설비를 보완한다면 어떤 유형으로 보완하겠느냐는 질문에는 회수수를 침전시켜 상징수만 이용하고 침전물은 그대로 방출하는 유형을 선택하겠다고 응답한 공장은 한곳도 없었다. 반면에 골재는 선별이용, 슬러지는 고품화시켜 버리고 상징수만 재사용하겠다는 경우가 60개로 가장 많은 56.1%의 비율을 차지하였고, 그 뒤로 전량 재사용하겠다는 집단이 44곳으로 나타났다.

현재까지 전 세계적으로 슬러지의 분별 방출 기술은 필터 플레스에 의한 슬러지 케이크 화가 가장 유효하며, 그 초기설치비용이 크므로 설비 보완 비용의 응답이 2천만원 미만의 비교적 소액이었던 만큼, 적은 빈도를 차지하는 당연한 결과를 나타내었다고 판단된다.

다만, 현행의 재사용 형태가 슬러지수로 전량 사용하는 경우에 해당되지만 이를 통한 제반 문제점이 지적되고, 관련 제도 및 규정이 엄격하므로 중화처리 등 고품화 기술에 대한 선택이 자연적으로 이루어졌다고 추정된다. 한편, 이 결과는 현행의 슬러지수 사용에 대한 효과적인 방안 즉, 슬러지수의 재사용이 가능하고 품질에 대한 보증이 가능한 대안이 요구되고 있음을 반증하는 결과라고 사료된다.

[표 6] 재사용 설비 보완시 설비 유형에 대한 빈도분석

|                                  | 빈도  | 퍼센트   | 유효퍼센트 | 누적퍼센트 |
|----------------------------------|-----|-------|-------|-------|
| 골재는 선별이용, 슬러지는 그대로 방출하여상징수만 재사용  | 3   | 2.8   | 2.8   | 2.8   |
| 골재는 선별이용, 슬러지는 고품화시켜 버리고상징수만 재사용 | 60  | 56.1  | 56.1  | 58.9  |
| 전량 재사용(슬러지수 사용)                  | 44  | 41.1  | 41.1  | 100.0 |
| 합계                               | 107 | 100.0 | 100.0 |       |

7) 전술한 바와 같이, KS F 4009의 부속서 2에는 회수수의 사용규준 중 슬러지 고품분율의 한도를 시멘트 중량의 3% 이하로 규정하고 있는데, 국내 레미콘 공장의 품질 여건으로 볼 때 이 규정에 대한 만족도를 묻는 질문의 응답 빈도를 <표 7>에 나타내었다.

보통 수준으로 만족하고 있다고 응답한 공장이 45.2%로 가장 많았고 만족한다고 응답한 공장이 45개로 35.7%의 비율을 차지하고 있다. 반면에 만족하지 않는 경우는 21개 공장으로 16.7%의 비율을 보이고 있다.

[표 7] 회수수의 사용규준의 만족도에 대한 빈도분석

|         | 빈도  | 퍼센트   | 유효퍼센트 | 누적 퍼센트 |
|---------|-----|-------|-------|--------|
| 매우만족    | 2   | 1.6   | 1.6   | 1.6    |
| 만족      | 45  | 35.7  | 35.7  | 37.3   |
| 보통      | 57  | 45.2  | 45.2  | 82.5   |
| 만족하지 않음 | 21  | 16.7  | 16.7  | 99.2   |
| 매우 부정적  | 1   | .8    | .8    | 100.0  |
| 합계      | 126 | 100.0 | 100.0 |        |

즉, 현 규정에 대한 만족도는 보편적으로 높은데, 현실적으로 회수수(슬러지수)의 전량 소비를 위해서는 다소 엄격한 규정이지만, 콘크리트의 품질을 저해하지 않는 수준의 농도 규정을 정하는 것은 필수적이라는 견해가 지배적이었다.

8) 한편, 일본의 JASS에서 고강도 콘크리트의 경우도 회수수의 사용금지를 규정하고 있어 국내에서도 표준시방서에도 동일한 내용의 도입이 예상되는 상황에 대한 공장의 의견을 묻는 질문에 대한 응답분포이다. 보통이라고 응답한 비율이 가장 높고 만족이라고 응답한 공장도 34개로 27.4%의 비율을 보이고 있다.

이는 앞서 언급한 KS 상의 현 규정에 대한 만족도와 일치되는 결과이며, 미미하게 만족의 경향에 치우치기는 하지만, 대체로 긍정적인 수준과 부정적인 수준의 분포가 정규분포상의 대칭을 이룬다. 즉, 콘크리트의 품질관리가 필수적인 고강도 및 고내구성 콘크리트의 경우는 선택적으로 회수수를 사용하지 않는 것이 바람직하다는 시각과 고강도 콘크리트의 수요가 급증하는 현재, 회수수의 누적과 배처 플랜트의 배합보정이 수시로 이루어져야 하는 등의 이유로 부정적인 시각이 상반되고 있음을 알 수 있다.

이 조사결과를 바탕으로 사용금지의 규정을 도입하는 것만이 바람직한 방향은 아닐 것으로 보이며, 콘크리트의 품질확보를 보증할 수 있는 보다 바람직한 대안의 제시가 효과적일 것으로 생각된다.

(표 8) 표준시방서 도입의 만족도에 대한 빈도분석

|         | 빈도  | 퍼센트   | 유효퍼센트 | 누적 퍼센트 |
|---------|-----|-------|-------|--------|
| 매우만족    | 11  | 8.9   | 8.9   | 8.9    |
| 만족      | 34  | 27.4  | 27.4  | 36.3   |
| 보통      | 45  | 36.3  | 36.3  | 72.6   |
| 만족하지 않음 | 23  | 18.5  | 18.5  | 91.1   |
| 매우 부정적  | 11  | 8.9   | 8.9   | 100.0  |
| 합계      | 124 | 100.0 | 100.0 |        |

9) 상기 회수수의 사용금지 기준에 대한 대응책의 마련이 필요하느냐를 묻는 질문에 대한 빈도분석의 결과를 <표 9>에 나타내었다.

그 결과, 대응책이 '매우 필요' 혹은 '필요'라고 응답한 집단이 전체 126개 집단 중 86개 집단으로 68.3%의 비율을 차지하고 있어 회수수 사용금지 기준에 대한 필요를 많은 공장들이 느끼고 있음을 알 수 있었다.

(표 9) 사용금지 기준에 대한 대응책 마련의 필요성에 대한 빈도분석

|         | 빈도  | 퍼센트   | 유효퍼센트 | 누적 퍼센트 |
|---------|-----|-------|-------|--------|
| 매우필요    | 24  | 19.0  | 19.0  | 19.0   |
| 필요      | 62  | 49.2  | 49.2  | 68.3   |
| 보통      | 25  | 19.8  | 19.8  | 88.1   |
| 필요하지 않음 | 12  | 9.5   | 9.5   | 97.6   |
| 매우 부정적  | 3   | 2.4   | 2.4   | 100.0  |
| 합계      | 126 | 100.0 | 100.0 |        |

#### 나. 교차분석 결과

다음은 앞서 수행한 범주형 변수간의 상관성을 검증하기 위해 교차분석(카이제곱검정)을 실시하고 그 결과를 정리한 것이다.

교차분석은 두 범주형 변수가 서로 독립이냐라는 가설에서 유의확률 값이 유의수준 0.1(10%)를 넘으면 가설을 채택하여 두 범주형 변수가 서로 독립 즉, 두 범주형 변수가 서로 상관(연관)이 없다고 판단할 수 있다.

1) <표 10>은 회수수 재사용 설비의 만족도와 회수수 재사용 설비를 보완하는 경우, 어떠한 유형이 좋은지를 묻는 질문의 교차분석 결과이다.

이에 따르면, 카이제곱 통계량결과 유의확률이 0.076으로 유의수준 10%에서 유의미한 결과를 갖는 것을 알 수 있었다. 즉, 전량 재사용하는 경우보다 골재는 선별이용, 슬러지는 그대로 방출하여 상징수만 재사용하는 경우일 수록 재사용 설비에 만족하지 못하고 있다고 분석할 수 있다.

[표 10] 재사용 설비의 만족도와 설비보완유형의 교차분석

|             |         | 재사용 설비의 보완선택 유형                 |                                 |                | 전체  |
|-------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|-----|
|             |         | 골게는선별이용, 슬러지는 그대로 방출하여 상정수만 재사용 | 골게는선별이용, 슬러지는고형화 시켜버리고 상정수만 재사용 | 전량재사용 (슬러지수사용) |     |
| 재사용 설비의 만족도 | 매우만족    |                                 |                                 | 1              | 1   |
|             | 만족      |                                 | 21                              | 17             | 38  |
|             | 보통      | 1                               | 25                              | 17             | 43  |
|             | 만족하지 않음 | 1                               | 12                              | 9              | 22  |
|             | 매우 부정적  | 1                               | 2                               |                | 3   |
| 전체          |         | 3                               | 60                              | 44             | 107 |

|              | 값         | 자유도 | 점근유의확률(양쪽검정) |
|--------------|-----------|-----|--------------|
| Pearson 카이제곱 | 14.231(a) | 8   | .076         |
| 우도비          | 9.979     | 8   | .267         |
| 선형 대 선형결합    | 3.203     | 1   | .073         |
| 유효 케이스 수     | 107.000   |     |              |

2) <표 11>은 재사용 설비의 만족도와 사용 기준의 만족도간 교차분석 결과로, 현재 채택 되어 있는 재사용 설비에 만족을 하는 공장은 사용기준에서도 대부분 만족을 하는 것으로 나타났다.

피어슨의 카이제곱 검정결과에서도 유의확률값이 0.000으로 매우 낮아 두 변수는 통계적으로 깊은 연관성을 갖고 있다고 할 수 있다. 즉, 재사용 설비를 만족할수록 3%의 사용기준을 만족하고 있다고 분석할 수 있다. 이 결과는 역으로 국내 레미콘 공장이 대부분 현재의 재

[표 11] 재사용 설비의 만족도와 회수수 사용기준의 만족도간 교차분석

|             |         | KS 사용기준의 만족도 |    |    |         |        | 전체  |
|-------------|---------|--------------|----|----|---------|--------|-----|
|             |         | 매우 만족        | 만족 | 보통 | 만족하지 않음 | 매우 부정적 |     |
| 재사용 설비의 만족도 | 매우만족    | 1            | 4  |    |         |        | 5   |
|             | 만족      |              | 27 | 15 | 5       |        | 47  |
|             | 보통      |              | 8  | 31 | 10      |        | 49  |
|             | 만족하지 않음 | 1            | 5  | 10 | 5       | 1      | 22  |
|             | 매우 부정적  |              | 1  | 1  | 1       |        | 3   |
| 전체          |         | 2            | 45 | 57 | 21      | 1      | 126 |

|              | 값         | 자유도 | 점근유의확률(양쪽검정) |
|--------------|-----------|-----|--------------|
| Pearson 카이제곱 | 44.328(a) | 16  | .000         |
| 우도비          | 39.461    | 16  | .001         |
| 선형 대 선형결합    | 14.320    | 1   | .000         |
| 유효 케이스 수     | 126.000   |     |              |

사용 설비를 만족하지 못하고 있는 실정임을 감안하면 3%의 사용기준을 만족할 수 없는 입장이기도 함을 시사하는 것이다.

3) <표 12>는 재사용 설비의 만족도와 표준시방서의 고강도 콘크리트에 회수수 사용금지 규정을 도입하는 방안의 만족도를 묻는 질문간의 교차분석 결과로, 특별한 연관성이 눈에 띄지 않는다.

피어슨의 카이제곱 검정 결과에서도 유의확률값은 0.136으로 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하지 않았다. 즉, 재사용 설비의 만족도에 상관없이 대부분의 경우 표준시방서의 규정을 긍정적이라고 보는 시각이 지배적이었다.

[표 12] 재사용 설비의 만족도와 표준시방서 도입의 만족도 교차분석

|             |         | 표준시방서 규제강화의 만족도 |    |    |         |        | 전체  |
|-------------|---------|-----------------|----|----|---------|--------|-----|
|             |         | 매우 만족           | 만족 | 보통 | 만족하지 않음 | 매우 부정적 |     |
| 재사용 설비의 만족도 | 매우만족    |                 | 2  | 2  | 1       |        | 5   |
|             | 만족      | 2               | 13 | 19 | 7       | 4      | 45  |
|             | 보통      | 6               | 8  | 17 | 15      | 3      | 49  |
|             | 만족하지 않음 | 2               | 10 | 6  |         | 4      | 22  |
|             | 매우 부정적  | 1               | 1  | 1  |         |        | 3   |
| 전체          |         | 11              | 34 | 45 | 23      | 11     | 124 |

|              | 값         | 자유도 | 점근유의확률(양쪽검정) |
|--------------|-----------|-----|--------------|
| Pearson 카이제곱 | 22.234(a) | 16  | .136         |
| 우도비          | 26.186    | 16  | .051         |
| 선형 대 선형결합    | .991      | 1   | .319         |
| 유효 케이스 수     | 124.000   |     |              |

4) <표 13>은 재사용 설비의 만족도와 사용 금지 기준에 대한 대응책의 필요성간 교차분석 결과이며, 특별한 연관성이 관찰되지 않는다.

독립성 검정 결과 역시 유의확률값이 0.966으로 매우 커 두 변수간에는 통계적으로 유의한 연관성을 갖는다고 할 수 없다. 이는 곳 재사용 설비의 만족도가 적은 경우는 물론이고 재사용 설비가 제대로 가동되고 있는 경우에도 회수수 사용금지 규정에 대한 파급효과를 인식하는 것으로 사용금지 규준에 대한 대응책의 필요에 공감하고 있음을 알 수 있는 분석결과이다.

[표 13] 재사용 설비의 만족도와 사용금지 규준에 대한 대응책 필요성의 교차분석

|             |         | 사용금지 규준에 대한 대응책의 필요성 |    |    |         |        | 전체  |
|-------------|---------|----------------------|----|----|---------|--------|-----|
|             |         | 매우 필요                | 필요 | 보통 | 필요하지 않음 | 매우 부정적 |     |
| 재사용 설비의 만족도 | 매우만족    |                      | 2  | 2  | 1       |        | 5   |
|             | 만족      | 9                    | 23 | 8  | 5       | 2      | 47  |
|             | 보통      | 8                    | 26 | 10 | 4       | 1      | 49  |
|             | 만족하지 않음 | 6                    | 9  | 5  | 2       |        | 22  |
|             | 매우 부정적  | 1                    | 2  |    |         |        | 3   |
| 전체          |         | 24                   | 62 | 25 | 12      | 3      | 126 |

|              | 값        | 자유도 | 점근유의확률(양측검정) |
|--------------|----------|-----|--------------|
| Pearson 카이제곱 | 7.337(a) | 16  | .966         |
| 우도비          | 9.245    | 16  | .903         |
| 선형 대선행결합     | 2.319    | 1   | .128         |
| 유효 케이스 수     | 126.000  |     |              |

### 3. 안정화 회수수의 재활용 기술

우리나라는 물론 일본의 경우도 양질의 콘크리트에는 회수수의 사용을 제한하고 있는 추세인데, 1994년 개정된 우리나라 건축공사표준시방서(KASS)에는 일반 환경하에서 특히 높은 내구성을 필요로 하는 철근 콘크리트조 건축물에 사용되는 고내구성 콘크리트(KASS 5의 05050에 규정되고 있으며 대부분의 건축물이 적용대상임)는 회수수 사용금지(품질관리의 어려움을 고려한 조치)를 규정하고 있고, KASS에는 규정이 없지만 일본의 JASS에는 고강도 콘크리트의 경우도 회수수의 사용금지

를 규정하고 있는 것이 현실이다<sup>2),4)</sup>.

따라서, 일본의 레미콘사에서는 상징수 정도는 레미콘용 용수에 재활용하고 슬러지수 및 슬러지 고형분을 타용도로 재활용하는 방안을 모색하고 있고, 또한 일부는 지연제 등 혼화제(회수수 안정화제)를 이용하여 회수수중 시멘트의 수화반응을 일시적으로 지연시키므로 회수수를 활용하더라도 레미콘의 품질저하가 발생하지 않는 대책을 강구하고도 있다.

회수수 안정화제의 출현은 페레미콘 재생과정에서 발생하는 슬러지수를 재활용하는 한편, 슬러지 수조 및 이송 라인의 시멘트 고착을 방지하고, 청수 사용시와 동일한 배합관리를 행할 수 있으며, 통상의 슬러지수에 비해 슬럼프 및 공기량 손실을 개선·안정시키고, 콘크리트의 강도 증대와 품질향상을 구현하기 위한 노력의 결과였다.

1990년대 초 일본 G사에서 개발된 회수수 안정화제는 기본적으로 콘크리트 응결 지연제의 특성을 가지고 있으나 슬러지수 중의 고형분에 대한 수화 지연과 그 반응 생성물의 부피를 증가시키지 않도록 유기물 첨가량과 약품적 성능의 발란스를 조절한 혼화제이다.

일본 및 싱가포르 등지에서는 그 신뢰도가 인정되어 점차 보급이 증가추세에 있으나, 국내에서는 아직 적용 사례가 없었다.

회수수 안정화 시스템은 기존 페레미콘 재생 시스템에 잔류 시멘트의 수화를 소요의 시간동안 지연시켜 주는 상기 안정화제를 첨가하는 것이 기본 원리인데, 이를 위해 침전조, 반응조, 저장조 등으로 교반설비가 추가되어야 함은 물론, 슬러지수와 안정화제 각각의 농도 관리 시스템이 보완되어야 했다.

#### 3.1 회수수 안정화 시스템

가. 회수수 안정화 시스템의 특징

슬러지수의 재활용을 위하여 안정화제를 투입하는 방법은 기존의 상징수만을 사용하는 방법, 슬러지수를 청수와 혼합하여 사용하는 방법에 비해 많은 이점을 가져왔다. 그러나 이들 방법을 유효하게 이용하기 위해서는 전술한 미비점이 보완될 필요가 있었으며, 그러한 취지에 따라 개발된 방법이 REWAS 시스템이다. 해당 시스템은 안정화제를 투입하여 지연의 효과를 얻을 수 있는 기존의 방법에 설비적인 요소기술을 보완한 것으로 그 특징은 다음과 같다.

- 1) 슬러지수 저장탱크를 세정수조, 반응조, 저장조로 단계별로 구분하여 관리함
- 2) 슬러지수의 고형화 및 침전을 억제하기 위하여 안정화제와 임펠러 교반 및 산기장치 (Air Diffuser)를 이용하여 침전물에 의한 설비의 성능 저하를 예방할 수 있음
- 3) 산기장치에 의한 슬러지 수조 내부의 상하 농도 편차를 해소할 수 있음
- 4) 슬러지수의 농도를 실시간으로 측정하여 이

- 를 비빔수의 배합에 바로 적용할 수 있음
- 5) 2중 점검 장치를 통하여 안정화제의 과량 투입을 억제할 수 있음
- 6) 탱크 교반시 거품의 다량 발생으로 인한 계면 형성을 스프레이 노즐로 제거할 수 있음
- 7) 지연제와 슬러지 이송라인에 자동밸브를 설치하여 각 계측기를 완전자동제어로 무인화함
- 8) 안정화제 농도 계측기의 센서부에 Sonication 장치 부착으로 유지관리성을 향상시킴

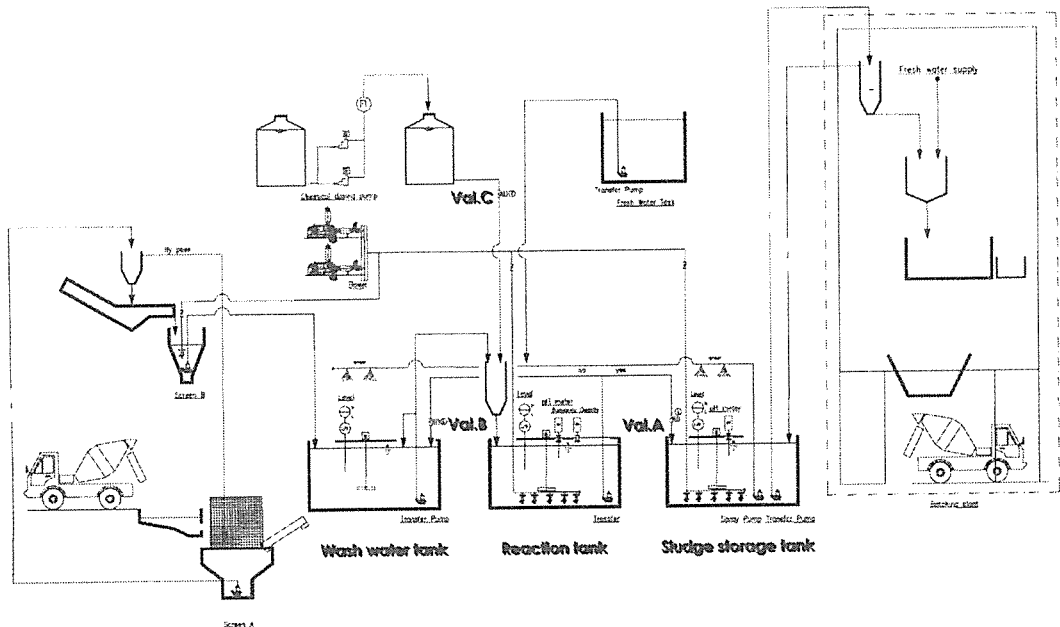
#### 나. 회수수 안정화 시스템의 구성 요소

##### (1) 골재 회수 및 저장 설비

골재의 선별 및 회수 시스템은 기존의 트롬멜이나 진동 스크린 방식을 사용할 수 있다. 세정된 물은 <그림 2>와 같이 단계별로 3개의 저장조에 분리되어 저장된다.

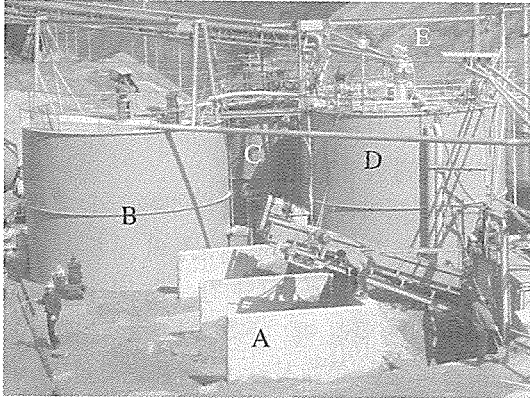
<그림 3>에서 A는 페레미콘을 세척 분리하는 장치이며, 골재 선별은 트롬멜 방식을 사용한 사례이다. B는 페레미콘 시스템에서 분리

(그림 2) 레미콘 회수수의 안정화 시스템의 설비 개요





(그림 3) 레미콘 회수수의 안정화를 위한 교반 수조의 구성



된 슬러지수를 저장하는 세정수조(wash water tank)이며, C는 슬러지수와 안정화제를 혼합 교반하는 반응조(reaction tank)이다. D는 안정화제와 일정하게 혼합된 슬러지수로 주기적으로 배척플랜트로 이송하는 저장조(sludge storage tank)이며, E는 혼합탱크의 교반기로 교반속도는 180rpm이다.

(2) 안정화제 투입 설비

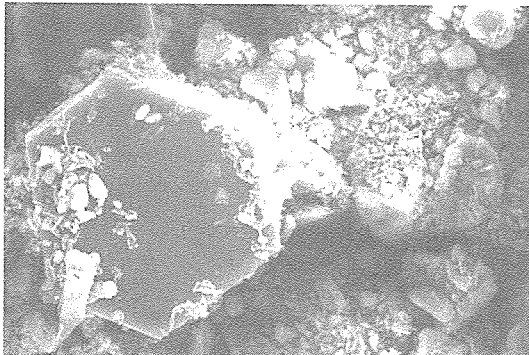
안정화제의 일정한 농도 관리를 위하여 REWAS 시스템에서는 별도의 저장탱크 및 투입 시스템을 구성하고 있다.

(표 14) 회수수 안정화제의 품질기준

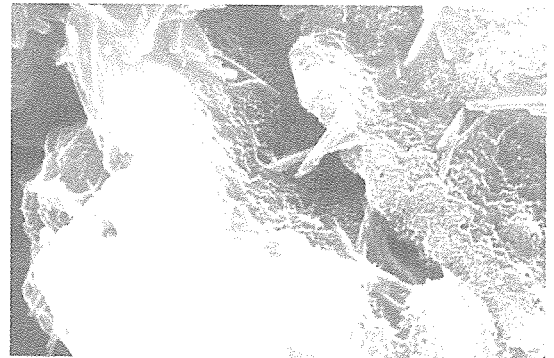
| 주성분              | 외관  | 밀도(20℃)                    | pH      | 염화물이온량(%) | 전알칼리량(%) | 응고점  |
|------------------|-----|----------------------------|---------|-----------|----------|------|
| Oxycarbonic Acid | 담록색 | 1.16~1.19g/cm <sup>3</sup> | 5.0~9.0 | 0.1% 이하   | 1.5~3.0  | -10℃ |

\* 일본 G社 제공 자료

안정화제 투입 시스템은 안정화제를 반응조에 공급하기 위하여 반응조 상단

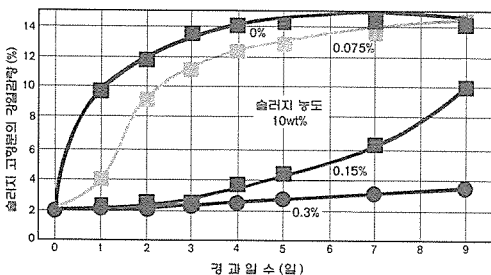


a) 첨가한 경우

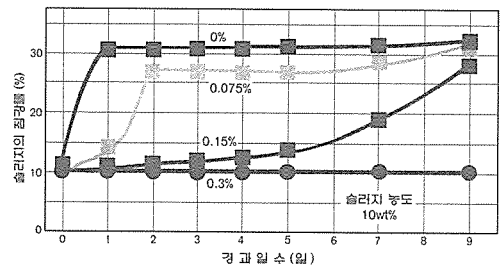


b) 첨가하지 않은 경우

(그림 4) 회수수 안정화제 첨가 유무에 따른 시멘트의 수화 형상



(그림 5) 안정화제 첨가율에 따른 경과일수와 슬러지 고형분의 강열감량과의 관계 (환경온도 20℃)



(그림 6) 안정화제 첨가율에 따른 경과일수와 슬러지 침강률의 관계 (환경온도 20℃)

에 약품 저장조를 설치하고, 비중계 및 pH 측정기에 의하여 분석된 농도에 따라 안정화제를 정량 공급한다.

1) 안정화제의 반응 메카니즘

해당 안정화제의 반응 메카니즘은 시멘트 입자 표면에 안정화제가 흡착되고 시멘트 입자와 물의 접촉을 억제하는 흡착설에 가깝다. 다만, 침전설, 착염설 및 핵생성 억제설 등 다른 가설로 설명되는 작용이 복합하여 지연성을 보인다는 주장도 무시할 수는 없다.

기존의 콘크리트 표면 지연제나 지연형 혼화제와는 달리 해당 안정화제는 옥시칼본산(Oxycarbonic Acid) 화합물로 슬러지수의 수화반응(Hydration) 지연을 고유기능으로 하며, 슬러지수 1m<sup>3</sup> 단위량에 대해 0.15wt%을 표준 사용량으로 한다. <표 14>는 일본 G사에서 개발된 회수수 안정화제의 품질기준을 나타낸 것이다<sup>5)</sup>.

2) 안정화제의 기본 특성

안정화제로 처리된 회수수 중의 시멘트 입자는 일시적으로 수화(水化)가 정지되고, 수화생성물의 성장을 억제한다. 즉, 시멘트의 수화반응을 안정화시킴으로써 콘크리트 공장의 폐기물 처리를 용이하게 하며 공장의 완전한 Closed화를 계획할 수 있다.

콘크리트 공장에 설치된 기존의 페레미콘 재생설비의 세정수 처리는 슬러지 고형물의 수화반응 진행에 따라 서서히 그 체적을 증가시켜 마침내는 2배 이상의 크기로 팽창되며, 그 처리를 곤란하게 만들지만, 안정화제 처리는 회수수 중의 시멘트분 강열감량치를 안정시켜 폐기물의 증가를 억제한다.

4. 결론 및 제언

레미콘 믹서 트럭 1대당 25kg의 슬러지가 회수되고 세척용수 1ton/대/회를 사용한다고 하

면, 25/(1,000+25)=0.02439 즉, 약 2.3%의 농도가 된다<sup>3)</sup>. 이는 설문조사에서 나타난 평균적인 슬러지수의 농도 3%에 가까운 것이다.

그러나 반려 레미콘이 있을 경우에는 슬러지수의 농도가 훨씬 상회할 수 있으며, 신타조사에서도 밝혀진 사항이다<sup>6)</sup>.

국내의 레미콘 업계에서는 78% 정도가 슬러지수를 전량 재사용하는 유형의 재활용 설비를 구비하고 있는데, 이와 같이 농도가 높아지는 경우에는 반려 레미콘의 재생을 억제하고, 청수 소비량을 증대시키는 등 용수자원 및 골재자원의 유효한 활용이 제한되는 상황이다.

따라서 현재의 재활용 설비에 대한 만족도가 그다지 높지 않은 응답을 보였으며, 비교적 빠른 시기에 설비의 보관을 계획하고 있는 것으로 나타났다. 다만, 설비상환비용 및 폐기처리비용이 증가되는 슬러지 분별처리 유형보다는 현재의 설비 유형을 고수한 상태에서의 개선을 요하는 경향이었다.

한편, 관련 규제값의 만족도 및 품질확보 차원에서의 규정 강화의 필요성은 세척배수 발생량에 대한 비현실성을 들고는 있지만, 비교적 긍정적인 답변이 대부분이었다.

이상의 결과를 종합하면, 슬러지수의 전량 재사용 설비유형을 유지하는 상태에서 콘크리트의 품질저하를 전면적으로 개선하고, 저비용의 시스템 개선이 시급하게 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구의 대상이 되는 회수수 안정화 시스템이 성공적으로 개발되었을 경우 국내 레미콘 업계의 전면적인 확대가 예상된다.

페레미콘의 재처리 과정에서 발생하는 막대한 보수비용 및 콘크리트 품질의 변동에 대한 근본적 대책이 강구되지 못하고 있는 현실에서, 회수수의 안정적인 재사용으로 환경오염의 방지 및 원가절감, 그리고 콘크리트 품질향상에 기여할 수 있는 방안의 마련이 긴요한 시점이다. 이를 위해 본 고에서 소개한 안정화 시

시스템의 도입이 국내의 실정에서도 적극적으로 검토될 필요가 있다.

다만, 앞서 소개된 해당 시스템은 안정화제의 과투입 여부를 확인할 수 있는 방법이 인력에 의존하고 있음에 따라, 기준 농도에서 기준 오차 이상의 안정화제 투입시 자동차단하는 안전차단 장치의 설치가 필요하다고 판단되며, 교반조 내부에서 슬러지수의 상하 농도차이가 관찰되므로 임펠러 형태의 개선 및 산기장치 (Air Diffuser) 등을 도입하여 교반조 내부의 슬러지수 농도를 균일하게 관리하는 등의 개선이 요구된다.

또한, 레미콘 혼화제 중의 지연제도 안정화제로 이용될 수 있지만, 고분자 화합물로 조성되는 통상의 지연제는 콘크리트에 혼합하여 콘크리트의 응결시간을 지연하는 기본 특성은 유사하나, 그 약품적 성질이 약하거나 침전원리를 기본 메카니즘으로 하는 경우에는 수일이 경과한 후에 콘크리트의 수화반응으로 기여하기 때문에 해당 안정화제로서의 요건이 부족할 수 있다. 따라서 충분한 성능검증 후에 안정화제로 이용하는 것이 원칙이 되어야 할 것이며, 사회비용의 절감을 위해 수입에 의존하고 있는

안정화제의 국산화도 시급하다 할 것이다.

### 참고문헌

- 1) 한국과학재단, 산업폐기물 레미콘 회수수의 활용방안에 관한 연구(협력연구과제 제2차 중간보고서), pp.82~117, 1993.7
- 2) 한천구, 회수수가 경화 콘크리트의 품질에 미치는 영향 및 사용기준<기술강좌 제61회>, 레미콘·아스콘·골재, pp.48~49, 2002. 8
- 3) 關口賢二, 高崎博, 回收水の再利用技術における濃度測定に關する研究報告の概要, 月刊生コンクリート, pp.23~32, 1982. 8
- 4) セメント協會コンクリート専門委員會報告 F-25, レデ・イクストコンクリート工場の回收水を用いたコンクリートに關する共同試験報告, pp.28~85, 1973. 10
- 5) Grace Chemical, スラッジ水の沈降率と強熱減量の關係, 2003
- 6) Kasai, Y., Recycling Wastewater and Cement Slurry Disposal at Ready Mixed Concrete Plants. Japan-US. Science Seminar, San Francisco, CA, pp.101~110, 1979. 10