

## 레미콘 세척수에 의한 토양의 중금속 오염

## Heavy Metal Contamination of Soil by Wash Water of Ready Mixed Concrete

오 세 옥<sup>1)</sup> · 이 봉 직<sup>†</sup>

Oh, Se-Wook · Lee, Bong-Jik

**ABSTRACT** : Generally, ready-mixed concrete(RMC) gets hardened by time, so the remaining concrete in the drum should be cleaned. But if the RMC waste water generated from this is discharged to soil without any treatment, the strong alkaline elements and heavy metals affect water and ecosystem pollution. Although about 10 to 15% of water used for cleaning in the RMC factory is discharged to soil or river, the concrete report of this affecting soil pollution has not been sufficient. Hence, in this study it was analyzed the extraction of cleaning water from RMC factories all over the country and heavy metal and pH components remaining in soil when this is penetrated to various soils having water permeability. The specimens used for the experiment are weathering soil and soils having different particle size, and it is made to be penetrated to those for 24 hours while fixed thickness of the layer is maintained. Cleaning water is divided into that before deposition treatment(sludge water) and that after deposition treatment(upper water) to be penetrated into soil, and according to the result of penetrating sludge water to soil, Cu and Mn, Fe, and Zn were found to be remained over 23 to 90%. However, it is analyzed that in upper water having deposition treatment, Cu and Mn remain as 60% or more only in weathering soil.

**Keywords** : Ready-mixed concrete, RMC waste water, Ecosystem pollution, Heavy metal and pH components, Sludge water, Upper water

**요 지** : 일반적으로 레미콘(ready-mixed concrete(RMC))은 시간이 경과하면 굳게 되므로 드럼내부의 잔류 콘크리트를 세척해야만 한다. 이에 따라 발생하게 되는 레미콘 세척수는 일반 토양에 그대로 방류하게 될 경우 강한 알칼리성분과 중금속에 의한 수질오염으로 생태계에 영향을 미치게 된다. 레미콘 공장에서 세척수로 사용되는 물의 약 10~15%가 토양이나 하천으로 방류되고 있으나 이로 인한 구체적인 토양오염 보고는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 전국 레미콘공장의 세척수를 채취 분석하고 이를 여러가지 투수성을 가진 토양에 침투시켰을 때 토양에 잔류하는 중금속 성분과 pH성분을 분석하였다. 실험에 사용된 시료는 풍화토와 각각 입경이 다른 모래를 사용하였으며, 일정한 층 두께를 유지하고 24시간 동안 침투시켰다. 세척수는 침전 처리 전(슬러지수)과 침전처리 후(상등수)로 나누어 토양에 침투시켰으며, 슬러지수를 토양에 침투시킨 결과 Cu와 Mn, Fe, Zn이 23~90% 이상 잔류하는 것으로 나타났다. 그러나 침전 처리를 거친 상등수는 풍화토에서만 Cu와 Mn이 60%이상 잔류하는 것으로 분석되었다.

**주요어** : 레미콘, 레미콘 세척수, 생태계 오염, 중금속 성분과 pH 성분, 슬러지수, 상등수

## 1. 서 론

일반적으로 레미콘(Remicon)이란 시간이 지나면 굳어버리는 성질을 갖고 있기 때문에 출하 후의 배치 플랜트 믹서(Batch plant Mixer)와 레미콘 트럭 드럼(Remicon truck drum) 내외부에 부착되어 있는 잔존 콘크리트를 필히 세척해야 하며 공사현장에서 회수되는 레미콘을 처리해야만 한다(신방웅 등, 1994).

1980년도 전국 레미콘 생산량은 590만 m<sup>3</sup>이었으나 1983년부터 기하급수적으로 증가하여 1992년에는 8,720만 m<sup>3</sup>

로 10배 이상 증가하였다. 2009년 말 우리나라 레미콘 생산 능력은 연간 4억 9278만 m<sup>3</sup>으로 30년 전에 비해 80배 이상 증가하였다(한국레미콘공업협회, 2009).

회수수는 레미콘 공장에서의 세척에 의해 발생하는 물로써 운반차, 플랜트의 믹서, 호퍼 등에 부착된 콘크리트 및 흘러내린 세척 배수를 정화하여 얻어지는 슬러지수 및 상등수를 총칭한다. 이 물은 높은 알칼리성을 띠고 부유물이 포함되어 있어서 하천 등에 그대로 방출할 경우 환경문제를 일으키므로 과거에는 황산, 염산 및 탄산가스 등을 이용한 중화처리 및 부유물질의 분류처리를 하였으나, 최근에는 보

1) 정희원, 경북대학교 이공대학 토목공학과 부교수

† 정희원, 충주대학교 토목공학과 교수(E-mail : bjlee@cjnu.ac.kr)

다 적극적인 방법으로 회수수를 콘크리트 혼합수로 이용하는 방법이 사용되고 있다. KS규격에서도 1991년 KS F 4009의 개정에 의해 레미콘의 혼합에 사용되는 물로 회수수를 사용할 수 있도록 하였는데 슬러지수를 사용하는 경우는 슬러지 고형분율이 3%를 초과하지 않아야 한다(한천구 등, 1995).

통계에 의하면 레미콘 공장에서 발생하는 세척수는 반송 레미콘 처리 시 발생하는 세척수, 레미콘 믹서트럭 내부세척시 발생하는 세척수 등이 있으며, 세척수의 구성비율은 굵은골재 0.55%, 잔골재 4.37%, 시멘트 0.41%, 물 94.73%인 것으로 조사되었다(신방용 등, 1994).

상등수는 중화처리해서 외부로 배출하게 되는데 그 중에 공해물질이 아직 존재하고 있으며, 이러한 레미콘 세척수를 하천이나 일반토양 등에 그대로 방출하게 되면 회수수의 알카리성분에 의한 수질오염이 발생할 수 있다. 또한 지속적으로 방출할 경우 중금속에 의한 토양오염과 이로 인한 생태계 파괴 등의 문제가 발생하게 된다(이봉직 등, 2010).

일 평균 레미콘 공장에서 사용되는 세척수는 200L/m<sup>3</sup>으로 2009년 말 현재 전국에서 발생하는 일일 평균 세척수는 2억 8천만 L에 이를 것으로 추정된다. 이중 대부분은 적절한 처리시설을 거쳐 방류되고는 있으나 홍수 발생 등 자연재해로 인해 10% 이상의 미 처리수가 방출될 경우를 대비하여 토양오염에 대한 적절한 대책이 요구된다.

정부에서는 산업폐기물을 재이용하면서 경제적으로 처리하기 위한 많은 연구와 노력을 계속하고 있으며 투자를 장려하고 있다. 그러나 중금속을 함유하는 레미콘 세척수가 토양오염에 미치는 영향에 대한 연구는 상대적으로 저조한 실정이다.

본 연구에서는 레미콘 세척수를 모래나 잔류풍화토에 방류하였을 경우 토양에 잔류하는 중금속량을 측정함으로써 레미콘 세척수가 토양오염에 미치는 정도를 파악하여 레미콘 세척수를 보다 효과적으로 처리할 수 있는 방안을 모색하는데 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 레미콘 세척수의 화학적 특성

### 2.1 개요

레미콘 세척수의 성분을 분석하기 위하여 국내의 각 도별로 레미콘 공장에서 침전지와 세척수를 채취하였다.

세척수의 pH 측정결과와 시멘트 성분 내 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3CaO·SiO<sub>2</sub>의 표면에서 방출되는 Ca<sup>2+</sup> 성분 및 염기성 성분의 용해에 의하여 pH 11.7~12.3의 강알칼리성을 나타낸다. 세척

수의 성분분석은 상등수와 슬러지에 대하여 CaO<sub>3</sub> 환산 성분별 농도비교, 지역별 분포특성에 대한 비교검토를 수행하였다.

### 2.2 상등수

레미콘 세척수 중 상등수내 용해성분들은 미수화시멘트 주변에 형성된 시멘트 겔의 피복으로 수화작용이 30분~2시간 이상 지체되는 유도기(Induction period) 과정에서 상등수내로 용해되는 Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 성분이 주를 이루며 Ca<sup>2+</sup>의 농도는 시간의 경과에 따라 증가된다(한국콘크리트학회, 1996).

본 연구에서는 각 지역별 시료채취 장소에 따라 상등수의 성상을 분석하여 이온농도에 대한 각 이온 성분들의 비를 그림 1에 도시하였다.

상등수 분석결과 트럭내부세척수를 직접 채취한 충북, 부산, 경북, 경남 지역에서의 총이온 농도는 충남을 제외한 다른 지역의 총이온 농도보다 높게 분석되었음을 알 수 있다. 그림 1에 나타나 있듯이 Ca<sup>2+</sup>성분이 전 지역에서 50% 이상을 차지하고 있어 상등수내에 가장 많이 용해되어 있는 것으로 나타났으며 이는 시멘트 성분의 60~64%를 차지하고 있는 CaO성분에서 용해된 것으로 추정된다. 또한 상등수 용해성분의 0.2~33%를 차지하고 있는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 성분은 시멘트의 원료인 석고(Gypsum: CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)와 응집/중화 공정에서의 응집제 및 중화제에서 용해된 것으로 판단된다.

### 2.3 슬러지

레미콘 세척수내 침전슬러지는 골재 및 시멘트 성분내의 불용성 성분 외에 사용수내 함유물의 수화작용에 의해 침전된 것으로서 분석결과 상등수와는 달리 전 지역에서 비교적 고른 분포를 나타낸다. 시멘트 성분의 60~64%를 차지하는 CaO성분은 슬러지 분석결과에서도 32~45%로 나타나 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, SiO<sub>2</sub> 성분 역시 모든 자료

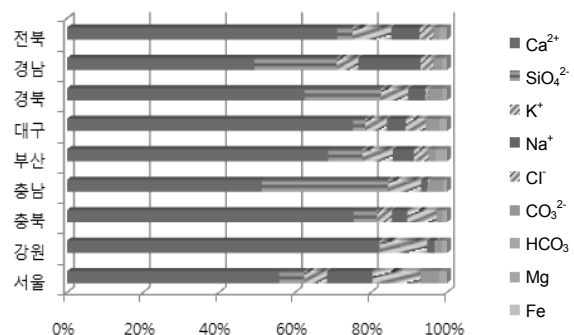


그림 1. 상등수의 이온성분 구성

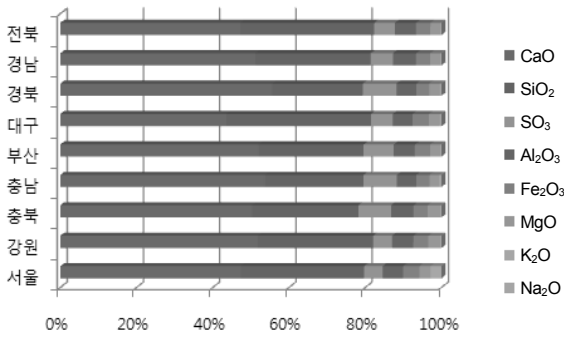


그림 2. 슬러지의 이온성분 구성

에서 시멘트(21~23%)와 비슷한 범위(18~28%) 내에 존재하므로 이들 성분은 시멘트에서 유래한 것으로 추정된다 (Troxell 등, 1968). 또한 H<sub>2</sub>O 및 CO<sub>2</sub>가 주성분인 시멘트 수화물의 강열감량은 19~32%로 나타났으며 불용성 잔유물은 6~23%인 것으로 분석되었다. 그림 2는 슬러지의 성분 분석 결과를 보여주고 있으며 그림에서 보듯이 비교적 큰 차이를 보이는 불용성 잔유물은 시멘트에 첨가되는 석고 중점토분이나 골재 및 혼화재료의 광물질미립분에 기인하는 것으로 콘크리트 배합 시의 골재 사용량 및 쇄석의 사용에 의해 슬러지내에 포함되어 있는 것으로 사료된다. 한편 시멘트 성분에서 유래하는 것으로 추정되는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SO<sub>3</sub> 성분 등은 비교적 소량 함유되어 있는 것으로 분석되었다.

### 3. 시험결과

#### 3.1 연구방법

토양 내 잔류 중금속량을 측정하기 위해서는 모형지반의 중금속 성분 등을 분석하여야 하지만 본 연구에서는 레미콘 세척수에 의한 중금속 함유량만을 측정하기 위하여 모형토조에 일정한 투수계수를 갖는 모래와 풍화토를 조성하고 레미콘 세척수를 수직으로 통과시킨 후 투과시키기 전과 후의 성분분석을 통하여 모형지반의 중금속 잔류량을 측정하였다. 실험에 사용된 여과재료는 토양에 흔히 존재하는 잔류풍화토와 입경이 각기 다른 모래(4.75~2.00mm, 2.00~0.85mm, 0.85~0.425mm)를 사용하여 실험을 실시하며, 회수수의 유입으로 인한 세굴을 방지하기 위하여 유입구에 자갈을 깔고 24시간 동안 물다짐을 실시하여 전체가 일정한 밀도를 유지토록 한다.

실험에 사용된 토조는 높이 150cm, 가로, 세로 각각 20cm의 강제와 아크릴로 제작하였고, 수조하단부에는 철망을 설치하여 유출구가 막히는 것을 방지하였다.

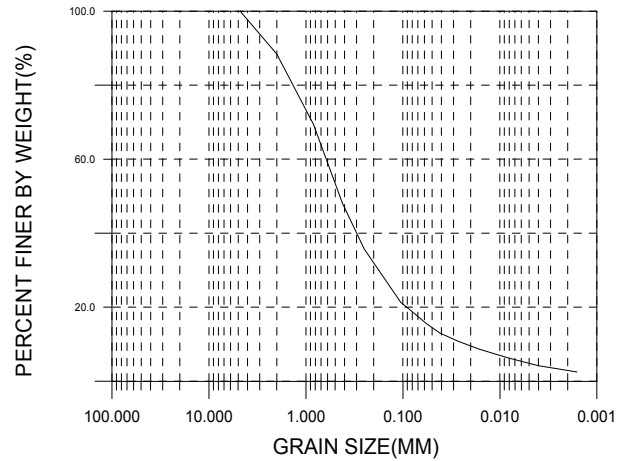


그림 3. 화강풍화토의 입도분포곡선

표 1. 화강풍화토의 물리적 특성

비중	함수비 (%)	소성지수 (PI)	U.S.C.S.	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	투수계수 K(cm/sec)
2.661	9.23	NP	SM	17.5	$3.4 \times 10^{-4}$

표 2. 지반별 투수계수

구분	풍화토	모래 (4.75~2.00mm)	모래 (2.00~0.85mm)	모래 (0.85~0.425mm)
투수계수 (cm/sec)	$3.4 \times 10^{-4}$	2.3	$4.5 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^{-1}$

하부로 배출된 세척수는 토양 내 잔류 중금속과 비교하기 위하여 시간별로 용기에 채수하였으며, 채수에 용이하도록 길이 50cm 가량의 통로를 설치하였다. 또한 상단부에는 회수수의 수위를 일정하게 유지할 수 있도록 5개의 구멍을 10cm 간격으로 설치하여 회수수의 주입량이 많으면 월류되도록 하여 유량을 일정하게 유지시켰다.

토양은 화강풍화토와 입경이 다른 모래를 사용하여 투수계수에 따른 중금속 잔류량을 측정하였다. 그림 3과 표 1은 각각 풍화토의 입도분포곡선과 물리적 특성을 보여주고 있다.

#### 3.2 슬러지수

투수계수  $3.4 \times 10^{-4}$ cm/sec인 풍화토를 높이 50cm로 축조한 후 레미콘 세척수를 수직으로 침투시키고 24시간이 경과한 다음 중금속함유량과 pH를 측정하였다. 시험장치에 슬러지수를 20cm의 수위를 유지하도록 하였으며, 시간별로 유출량을 측정한 결과 1시간 까지는 평균 1.4~1.0L의 유량이 측정되었으나 그 후에는 거의 물이 통과하지 못했다. 중금속 측정은 Cu, Mn, Fe, Zn을 대상으로 하였으며, 초기 레미콘 세척수의 중금속 측정결과 구리는 0.026 ppm, 철(Fe) 성분은 2.16 ppm, 망간은 0.0323, 아연은 0.4716 ppm으로 측

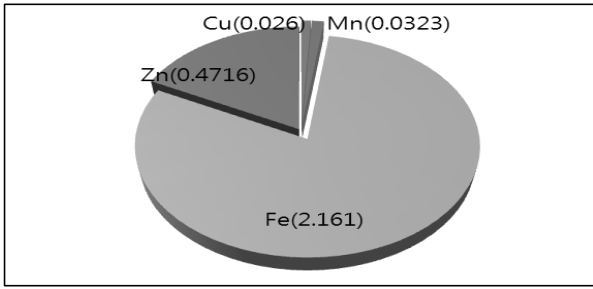


그림 4. 슬러지수의 중금속량(단위:ppm)

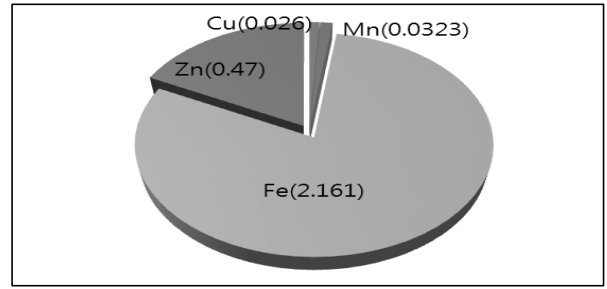


그림 6. 모래(직경 4.75mm~2.0mm) 잔류중금속량 (K=2.3 cm/sec, 단위:ppm)

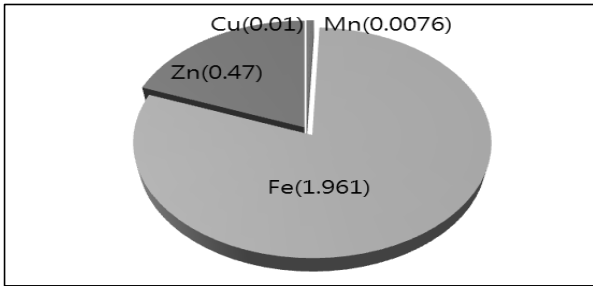


그림 5. 풍화토 잔류중금속량(K=3.4×10<sup>-4</sup>cm/sec, 단위:ppm)

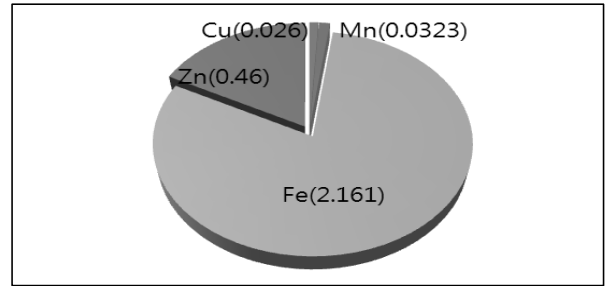


그림 7. 모래(입경 2.00~0.85mm) 잔류중금속량 (K=4.5×10<sup>-1</sup>cm/sec, 단위:ppm)

정되었다. 이를 풍화토에 수직방향으로 흘려보낸 후 24시간 경과 후 중금속량을 측정된 결과 풍화토에 잔류하는 중금속은 구리(Cu)가 0.01 ppm, 철(Fe)성분은 1.961 ppm, 망간은 0.0076 ppm, 아연은 0.470 ppm으로 나타났다.

그림 4는 레미콘 세척수의 중금속 성분을 보여주고 있으며, 그림 5는 풍화토에 잔류된 중금속 성분을 보여준다.

투수계수가 서로 다른 지반의 경우 레미콘세척수가 토양 오염에 미치는 영향을 분석하고자 모래의 입경과 밀도를 조절하여 실험을 수행하였다. 투수계수가 각기 다른 지반을 시험장치에 조성하고 슬러지수를 통과시킨 후 24시간 후 유출수의 pH 및 탁도 그리고 중금속 성분을 분석하였다.

중금속 분석은 레미콘 세척수 통과 후 일정 구간의 시료를 샘플링하여 건조시킨 다음 토중의 유해물질을 왕수 등의 액중에 용해하여 수질분석을 수행하였다(정하익, 1998).

투수계수 2.3cm/sec인 모래(직경 4.75mm~2.0mm)의 경우 구리는 0.026 ppm, 망간은 0.0323 ppm, 철은 2.161 ppm, 아연은 0.047 ppm이 검출되었다. 입경이 2.00~0.85mm인 모래(투수계수 4.5×10<sup>-1</sup>cm/sec)의 경우 토양에 잔류된 구리는 0.011 ppm, 망간은 0.0313 ppm, 철은 2.153 ppm, 아연은 0.047 ppm이 검출되었다. 입경이 0.85~0.425인 모래(투수계수 1.5×10<sup>-1</sup>cm/sec)의 경우 토양에 잔류된 구리는 0.011 ppm, 망간은 0.0313 ppm, 철은 2.153 ppm, 아연은 0.047 ppm이 검출되었다. 그림 6~8은 투수계수가 서로 다른 모래에 잔류된 중금속량을 보여주고 있다.

그림 9는 슬러지 원수의 중금속 함유량과 토양별 중금속 함유량을 비교한 것으로 Cu, Mn, Fe, Zn 등 거의 대부분의

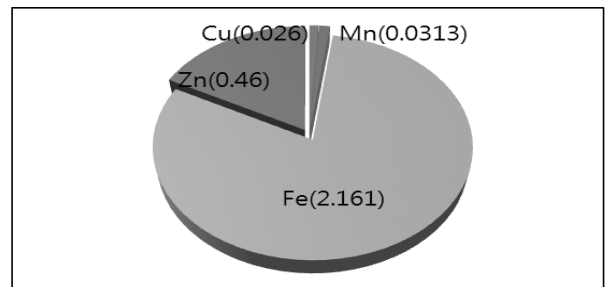


그림 8. 모래(0.85~0.425mm) 잔류중금속량 (K=1.5×10<sup>-1</sup>cm/sec, 단위:ppm)

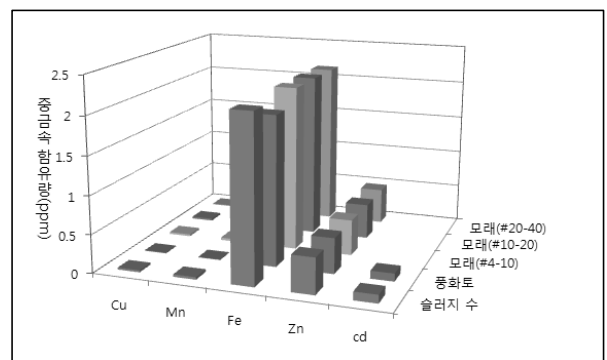


그림 9. 슬러지수를 투여한 지반의 중금속 함유량

중금속이 토양에 잔류되는 것으로 나타났으며, 특히 토양오염의 주범이라 할 수 있는 카드뮴은 풍화토와 같이 투수성이 작은 흙에서는 거의 대부분이 잔류하는 것으로 나타났다.

그림 10은 각 토양을 통과한 슬러지수의 pH 농도를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 슬러지수의 pH는

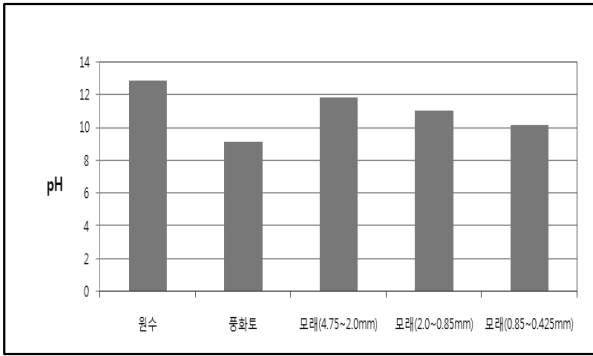


그림 10. 토양을 통과한 슬러지수의 pH

12.86에서 풍화토를 통과한 물의 pH는 9.11로 나타나 상당량의 알칼리 성분이 토양에 잔류함을 알 수 있었다.

또한 탁도는 초기 240에서 풍화토 통과 후에는 5로 측정되어 많은 양의 부유물질이 토양에 남게 됨을 추정할 수 있다. 이러한 부유물질은 투수계수가 큰 모래지반의 공극을 막음으로써 투수계수가 감소하게 되고 시간이 경과함에 따라 모래지반에 잔류하게 되는 중금속량에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

### 3.3 상등수

상등수는 슬러지수를 정화 처리한 물로 슬러지수의 다양한 처리방법 중 3차 침전처리에 의하여 처리된 물을 사용하였다. 초기 레미콘 세척수의 중금속 측정결과 Cu는 0.0132 ppm, 철(Fe)성분은 0.01 ppm, 망간은 0.008 ppm, 아연은 검출되지 않았다. 그림 11은 초기 상등수의 중금속 성분을 보여주고 있으며 슬러지수에 비해 중금속 성분은 상당히 감소된 것을 알 수 있다.

투수계수  $3.4 \times 10^{-4}$  cm/sec인 풍화토를 높이 50cm로 축조한 후 상등수를 수직으로 침투시키고 24시간이 경과한 다음 중금속함량과 pH를 측정하였다. 초기 레미콘 세척수의 중금속 측정결과 구리는 0.0132 ppm, 철(Fe)성분은 0.01 ppm, 망간은 0.008 ppm으로 측정되었다. 이를 풍화토에 수직방향으로 흘려보낸 후 24시간 경과 후 중금속량을 측정한다.

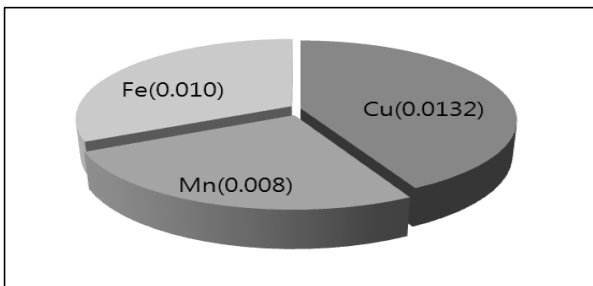


그림 11. 초기 상등수의 중금속 성분(단위:ppm)

결과 풍화토에 잔류하는 중금속은 구리(Cu)는 0.0082 ppm, 철(Fe)성분은 0.01 ppm, 망간은 0.007 ppm으로 62%~100% 잔류하는 것으로 나타났다.

그림 12는 풍화토에 잔류된 중금속 성분을 보여준다.

투수계수 2.3cm/sec인 모래(직경 4.75mm~2.0mm)의 경우 구리는 0.0066 ppm, 망간은 0.0074 ppm, 철은 0.01 ppm이 검출되었다. 그림 13은 투수계수가 2.3cm/sec인 모래(직경 4.75mm~2.0mm)에 잔류된 중금속 성분을 보여주고 있으며, 초기 상등수의 중금속 성분이 약 50%~100% 잔류하는 것으로 나타났다.

투수계수가  $4.5 \times 10^{-1}$  cm/sec(입경 2.00~0.85mm)인 모래의 경우 토양에 잔류된 구리 성분은 0.0066 ppm, 망간은 0.005 ppm, 철은 0.01 ppm이 검출되어 초기 상등수의 중금속 성분이 약 50%~100% 잔류하는 것으로 나타났다.

그림 14는 투수계수가  $4.5 \times 10^{-1}$  cm/sec(입경 2.00~0.85mm)인 모래에 잔류된 중금속 성분을 보여준다.

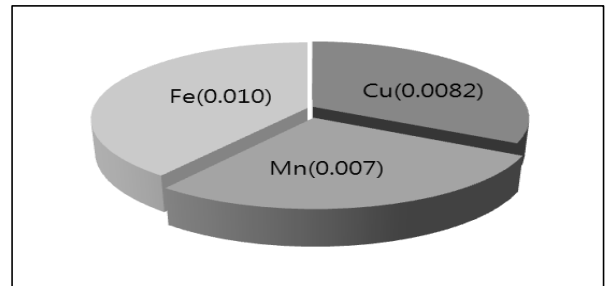


그림 12. 풍화토 잔류중금속량( $3.4 \times 10^{-4}$  cm/sec, 단위:ppm)

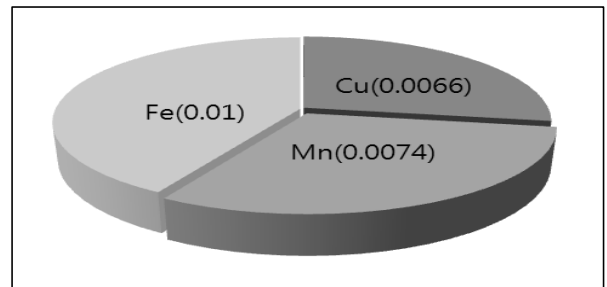


그림 13. 모래(입경 4.75~2.0mm) 잔류중금속량(2.3 cm/sec, 단위:ppm)

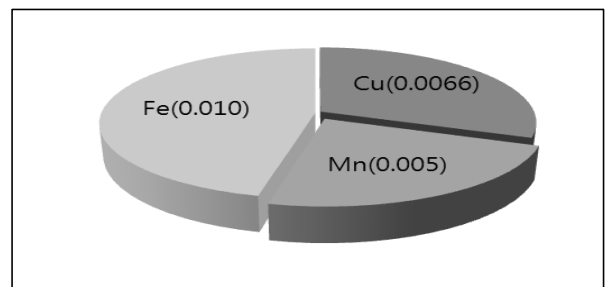


그림 14. 모래(입경 2.00~0.85mm) 잔류중금속량 ( $4.5 \times 10^{-1}$  cm/sec, 단위:ppm)

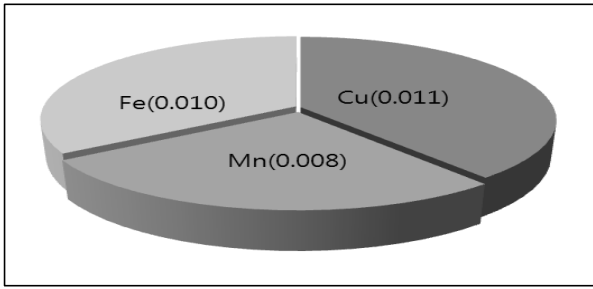


그림 15. 모래(입경0.85~0.425mm)잔류중금속량  
( $1.5 \times 10^{-1}$ cm/sec, 단위:ppm)

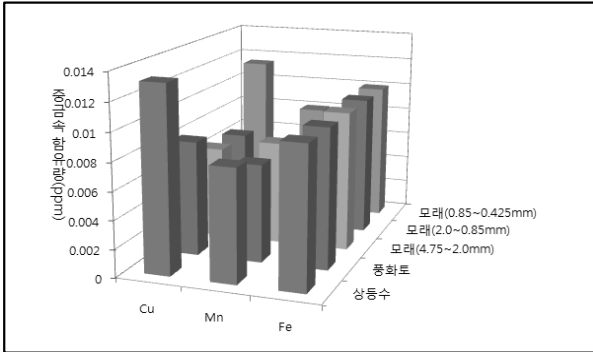


그림 16. 상등수를 투여한 지반의 중금속 함유량

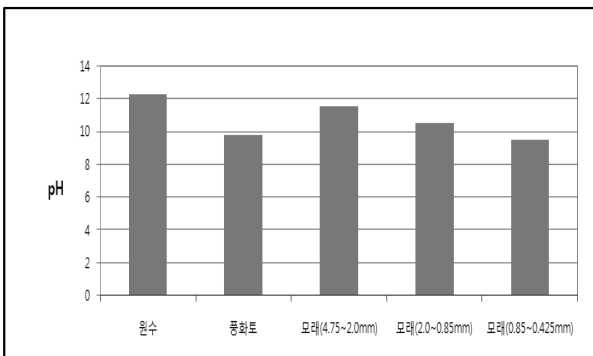


그림 17. 토양을 통과한 상등수의 pH

입경이 0.85~0.425mm인 모래(투수계수  $1.5 \times 10^{-1}$ cm/sec)의 경우 토양에 잔류된 구리는 0.011 ppm, 망간은 0.008 ppm, 철은 0.01 ppm이 검출되었다. 그림 15는 입경이 0.85~0.425mm인 모래(투수계수  $1.5 \times 10^{-1}$ cm/sec)에 잔류된 중금속량을 보여주고 있으며, 초기 상등수의 중금속 성분이 약 83%~100% 잔류하는 것으로 나타났다.

그림 16은 슬러지 원수의 중금속 함유량과 토양별 중금속 함유량을 비교한 것으로 Cu, Mn, Fe 등 거의 대부분의 중금속이 토양에 잔류되는 것으로 나타났다. 그림 17은 각 토양을 통과한 슬러지수의 pH 농도를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 슬러지수의 pH는 12.86에서 풍화토를 통과한 물의 pH는 9.8로 나타났다.

또한 탁도는 초기 24에서 풍화토 통과 후에는 5로 측정되

었으며, 슬러지수에 비해 상등수의 탁도는 1/10 정도로 풍화토를 통과한 후의 탁도는 거의 같은 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

- (1) 슬러지의 성분 분석결과 시멘트 성분의 60~64%를 차지하는 CaO성분이 32~45%로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 또한 상등수 분석결과  $Ca^{2+}$  성분이 50% 이상으로 상등수내에 가장 많이 용해되어 있는 것으로 나타났다.
- (2) 슬러지수를 토양에 침투시킨 결과 풍화토의 경우 Cu와 Mn, Fe는 각각 38.5%와 23.5%, 90.7%가 토양에 잔류하는 것으로 나타났으며, Zn은 99% 이상이 잔류하는 것으로 보인다. 모래의 경우 입경과 투수계수에 관계없이 모두 98~100% 잔류하는 것으로 나타났다.
- (3) 상등수의 경우 슬러지수에 비해 중금속량은 상당부분 감소한 것으로 나타났으며, 화강토에 잔류하는 Cu와 Mn은 각각 62.1%와 87.5%가 토양에 잔류하는 것으로 판단된다. 모래의 경우 투수계수에 따라 약간의 차이를 보이나 화강토에 비해 잔류량이 적은 것으로 나타났다. 한편 Fe의 경우 토양과 투수계수에 관계없이 모두 잔류하는 것으로 나타났다.
- (4) 초기 슬러지수의 pH 농도를 측정한 결과 12.86에서 풍화토를 통과한 슬러지수의 pH는 9.11로 나타나 상당량의 알칼리 성분이 토양에 잔류함을 알 수 있다. 탁도는 초기 240에서 풍화토 통과 후에는 5로 측정되어 많은 양의 부유물질이 토양에 남게 됨으로 투수계수가 큰 모래지반의 공극이 막혀 시간이 경과함에 따라 모래지반에 잔류하게 되는 중금속량에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 경북대학교 2009년도 KNU학술연구비지원사업에 의해 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. 신방용, 신응배, 한천구, 김석현(1994), 산업폐기물 레미콘폐수수의 활용방안에 관한 연구, 한국과학재단, pp. 11~99.
2. 이봉직, 오세욱, 배우석, 권영철(2010), 레미콘 폐수에 의한 토양별 중금속 오염에 관한 연구, 학술발표회 논문집, 한국지반

환경공학회, pp. 528~531.

3. 정하익(1998), *지반환경공학*, 도서출판 유림, pp. 262~264.
4. 한국레미콘공업협회(2009), [www.krmcia.or.kr](http://www.krmcia.or.kr), 레미콘 업체현황/전국레미콘 총괄현황.
5. 한국콘크리트학회(1996), *최신 콘크리트공학*, 기문당, pp. 453~476.

6. 한천구, 윤기원, 반호용, 김기철(1995), 레미콘회수수의 콘크리트용 용수로써의 재활용에 관한 모르터 적용 실험 연구, *대한건축학회논문집*, Vol. 11, No. 4, pp. 261~267.
7. Troxell, G.E., Davis, H.E. and Kelly, J.W.(1968), *Composition and Properties of Concrete*, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, pp. 12~37.

(접수일: 2011. 2. 18 심사일: 2011. 3. 15 심사완료일: 2011. 4. 7)