

다공성 제올라이트 콘크리트의 수질정화 특성

최민지 · 성낙국* · 박성재** · 이정아*** · 윤홍수*** · 홍인권†

단국대학교 화학공학과, *(주)삼오포레스, **(주)삼보기술단, ***원텍코리아
(2011년 5월 10일 접수, 2011년 5월 16일 채택)

Water Purification Properties of Porous Zeolite Concrete

Min Ji Choi, Nack Kook Sung*, Sung Jae Park**, Jung Ah Lee***, Hong Su Yun***, and In Kwon Hong†

Department of Chemical Engineering, Dankook University, Gyeonggi 448-701, Korea

*Samoh PRS Co., LTD, Seoul 137-070, Korea

**Sambo Engineering, Seoul 138-834, Korea

***Wintec Co. Kr, Seoul 138-220, Korea

(Received May 10, 2011; Accepted May 16, 2011)

친환경 재료에 대한 관심이 급증함에 따라 재료의 구조적 기능성 및 투수성을 동시에 갖는 다공성 콘크리트의 활용이 증가되고 있다. 본 연구에서는 다공성 콘크리트에 제올라이트를 혼합하여 다양한 활용도를 갖는 다기능형 옥석 제품의 수질정화 능력을 평가하여 친환경제품으로서의 적합성을 검토하였다. 흐름이 없는 시험용 수조에서 시간에 따른 오염도 제거율은 T-N (70.6%), T-P (67.0%), BOD (57.7%), TOC (50.6%) 순으로 우수한 수질정화 특성을 보였다. 또한 유입 및 유출이 가능한 비점오염원에서 시간에 따른 유출부에서의 수질오염도 및 중금속 농도의 제거율은 Zn (99.9%), Pb (90.0%), BOD (69.2%), COD (33.5%) 순으로 흐름이 없는 경우에서의 오염도 제거율보다 수질정화 특성이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 다공성 콘크리트 시설물을 실제 하천 등에 시공했을 시에 우수한 오염도 제거율을 바탕으로 친환경제품으로 적합함을 확인할 수 있었다.

As our interests in eco-friendly materials have been significantly increased, the utilization of porous zeolite concrete that has structural functionality and permeability has been increased. In this paper, the mixture of porous concrete and zeolite, which can be used as multirole boulders, was investigated for the suitability of an environment-friendly product by evaluating of the water purification ability. The contamination removal rates of BOD, TOC, T-N, and T-P in stagnant water tank were 70.6, 67.0, 57.7, and 50.6%, respectively. Also for the non-point source pollution with the inflow and the outflow, the removal rates of Zn, Pb, BOD, and COD were 99.9, 90.0, 69.2, and 33.5%, respectively. The performance of the heavy metal contamination removal for the porous zeolite showed better than that of stagnant system. Therefore, it is expected that the installation of the porous zeolite concrete can play a role as an eco-friendly products by its high contamination removal.

Keywords: porous zeolite concrete, water purification, BOD, COD, heavy metal, high contamination removal

1. 서 론

사회기반시설인 도로, 철도, 항만, 상하수도 등의 구조물과 건축구조물에 사용되어온 콘크리트는 경제와 문화 발전에 크게 공헌하여 왔다. 그러나 기존의 콘크리트는 그 구조적 기능성만을 추구하는데 그쳐 설치지역의 주변 자연환경을 파괴하고 동식물의 서식을 방해하여 환경문제에 있어서 부정적으로 인식되기도 하였다. 이에 대한 해결방안으로 건설 분야에서도 기존 포장 재료의 구조적 기능성과 투수기능을 동시에 갖는 새로운 개념의 포장재에 대한 관심이 높아지면서 1980년대부터 관련 연구들이 활발히 수행되어 투수성 아스팔트 포장재가 개발되었다. 따라서 건설기술자분야에서 주재료인 콘크리트를

이용하여 주변 자연환경과 조화를 이루고, 해손된 주변 자연환경을 복원시킬 수 있는 용도로 개발하기 위해 콘크리트에 다량의 연속공극을 형성시켜 투수성, 투기성, 수질정화, 식생 및 조장조성 능력을 갖는 다공성 콘크리트(porous concrete)에 대한 개발 및 적용연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 그러나 다공성 콘크리트는 이와 같은 우수한 기능과 더불어 표준 배합설계의 부족, 강도와 내구성의 저하, 백화나 재료분리 등과 같은 문제점을 내포하고 있어 이러한 문제점을 해결함과 동시에 현장적용을 위한 기존의 성능을 능가하는 결합재량 및 다짐에너지 변화에 따른 다공성 콘크리트의 연속공극형성 및 강도특성에 대한 연구 및 개발이 절실한 실정이다[3-5]. 따라서 다공성 콘크리트가 가진 공극에 의해 다양한 기능을 유지하는 동시에 자갈, 시멘트, 모래의 배합비율에 따라 적당한 강도를 유지하면서 보다 많은 연속공극을 가진 콘크리트의 개발이 연구되어지고 있다[6-13]. 대한민국

† 교신저자 (e-mail: khong@dankook.ac.kr)

Table 1. Quality Standards of Porous Concrete for Pavement

Items	Korea standard	Proposed value by JCI (Japan)	
		Road way	Side walk
Compressive strength	18 MPa	-	-
Flexural strength	-	4.5 MPa	2.5~3.5 MPa
Void ratio	over 8%	over 10%	over 10%
Coefficient of permeability	over 0.01 cm/s	over 0.01 cm/s	over 0.01 cm/s
Max. size of coarse agg.	19 mm	13 mm	5 or 13 mm

및 일본콘크리트 공학협회에서 제시하고 있는 포장용 다공성 콘크리트의 품질기준을 Table 1에 나타내었다.

다공성 콘크리트 중에서도 친환경 재료인 다공성의 식생 콘크리트는 굵은 골재 주위를 결합재인 시멘트 풀(cement paste)로 결합시킨 콘크리트 구조체에 식생이 정착할 수 있도록 생육 기반을 조성한 것으로 다공성 콘크리트와 식물 생육에 필요한 영양물질, 뿌리 지지를 위한 객토층 등으로 구성된다. 연속 공극을 다양 함유한 다공성 콘크리트는 경화체중을 물과 공기가 자유롭게 통과할 수 있고 식재에 필요한 양분과 뿌리가 침입할 수 있으며 내부에 넓은 표면을 유지할 수 있기 때문이다. 식생 콘크리트는 구조체라는 점에서 압축강도 80~145 kg/cm²의 범위에 드는 것이 바람직하며, 뿌리의 성장을 위해서는 많은 공극률이 요구되나 강도를 감안할 때 통상 30% 내외가 요구된다. 또한 수소이온농도는 식물생육을 위해 중성에 가까운 pH = 5~8이 바람직하다고 알려져 있다[14]. 따라서 본 연구에서는 기존의 포장용 다공성 콘크리트의 활용을 바탕으로 친환경 재료인 다공성의 식생 콘크리트 물성연구 및 밀착 페이스트에 제올라이트(zeolite)를 혼합하여 하천호안블록, 토사유실 방지휀, 토류옹벽, 물고기집, 어초, 어소 등으로의 활용을 위한 투수성을 갖는 다기능형 옥식 제품인 다공성 콘크리트를 실제 하천 등에 시공하여 수질정화 능력에 대한 실험을 바탕으로 친환경 제품으로의 적합성을 검토하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 다공성 제올라이트 콘크리트 제조

본 연구에서 사용된 다공성 콘크리트는 유해물질을 함유하지 않는 쇄석(입자크기 14~19 mm)을 주재료(80% 이상)로 사용하였으며, binder로서 시멘트와 물의 혼합비율을 75 : 25로 하여 구형(ID = 250 mm)으로 제작하였다. 제작과정 중 진동을 충분히 주어 강도(25 MPa)와 규격(공극율 : 25% 이상, 투수계수 : 2~3 cm/s)을 오차범위 이내로 유지하였으며, 실내 양생실 또는 그늘진 공간에서 자연건조 방식으로 건조시켰다. 또한 식생 콘크리트로의 사용가능성을 확인하기 위해 수질정화 및 식생작용을 강화하기 위해 제올라이트를 일정량 첨가하였다.

2.2. 다공성 콘크리트 수질정화 성능평가

다공성 콘크리트의 수질정화 성능평가를 위해 시험용 수조(L 3000 × W 1000 × H 400 mm)를 이용하여 수온 20 °C의 인공오수를 이용하여 다공성 콘크리트의 오염물질 제거율을 측정하였다. 인공오수의 기본성분은 glucose (100 mg/L), NH₄Cl (6~7 mg/L), Na₂HPO₄ (1~8 mg/L), NaCl (3.3 mg/L), KCl (1~6 mg/L), MgSO₄ (1~3 mg/L)이다. 실험에 사용된 다공성 콘크리트는 40개를 설치하여 수질정화 능력(BOD, TOC, T-N, T-P 등)을 측정하였다. 또한 수질과 중금속 오염 발생의 원인이 되는 비점오염원인 고속도로 주변을 선택하여 오염물질

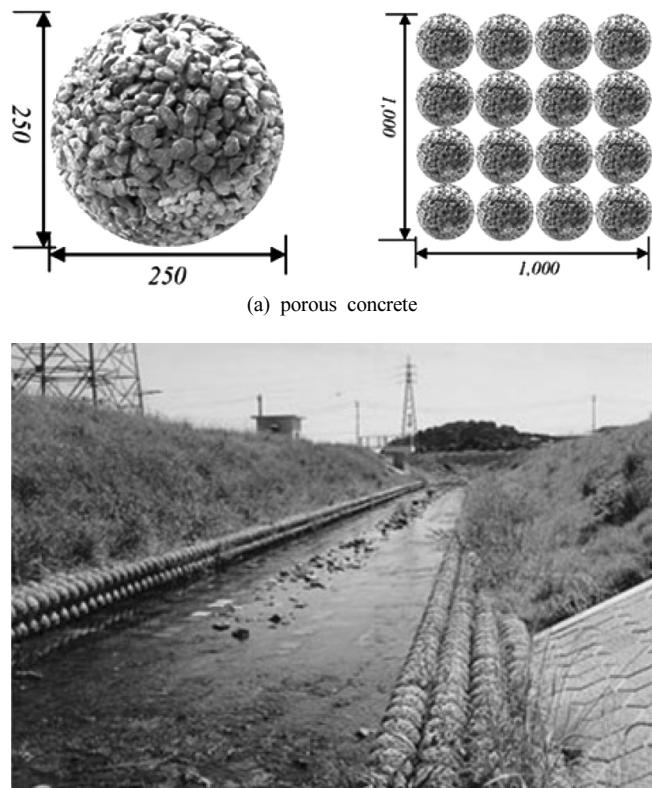


Figure 1. Pictures of porous concrete and its construction.

이 훌러드는 유입부로부터 약 35 m 구간에 다공성 콘크리트를 설치하여 실험을 수행하였다. 오염물질이 가장 많이 유입되는 경우가 발생하는 일자에 유입부 및 유출부에서 샘플을 채취 및 분석하여 유량에 따른 수질정화 능력(BOD, COD 등) 및 중금속(Pb, Zn 등) 제거특성을 분석하였다. 다공성 콘크리트 구조체와 비점오염원인 고속도로 주변에 설치한 사진을 Figure 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시험용 수조의 수질정화 특성

다공성 콘크리트란 연속 공극을 다양 함유하여 물과 공기가 자유롭게 통과할 수 있고 내부에 넓은 표면적을 유지할 수 있는 재료이다. 기존의 포장용 다공성 콘크리트의 활용을 바탕으로 친환경 재료인 식생 가능한 다공성 콘크리트에 제올라이트를 혼합하여 다양한 활용이 가능한 다기능형 옥식 제품인 다공성 콘크리트 구조체를 시험용 수조 및 실제 하천에 시공하여 수질정화 능력에 대한 실험을 바탕으로 친

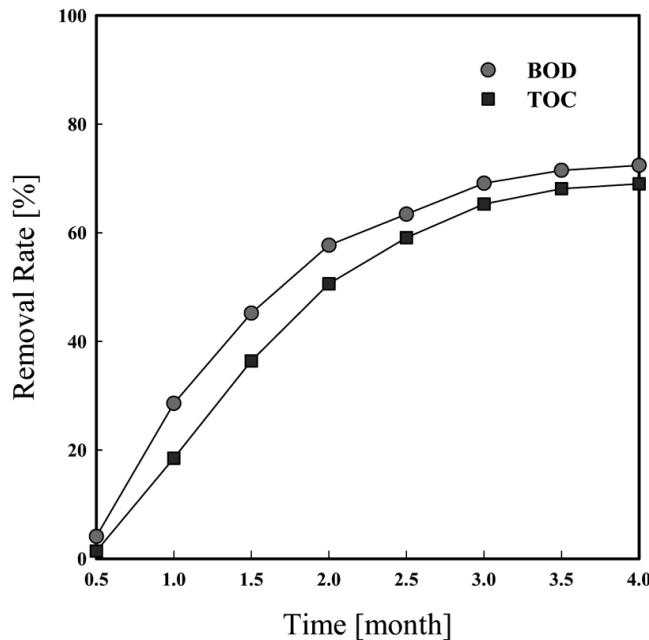


Figure 2. Removal rate of BOD and TOC through porous concrete in pilot scale.

환경 제품으로의 적합성을 검토하였다.

다공성 콘크리트의 수질정화 성능평가를 위해 시험용 수조를 이용하여 다공성 콘크리트의 오염물질 제거율을 측정하였다. 인공오수의 기본성분은 glucose (100 mg/L), NH₄Cl (6~7 mg/L), Na₂HPO₄ (1~8 mg/L), NaCl (3.3 mg/L), KCl (1~6 mg/L), MgSO₄ (1~3 mg/L)이다. Figure 2는 시험용 수조에 인공오수를 채우고, 다공성 콘크리트의 수질정화 능력을 관찰한 결과를 BOD와 TOC의 변화를 나타낸 그림이다. 초기 인공오수의 BOD는 12.3 mg/L이고, TOC는 7.2 mL/L이다. 시간이 경과함에 따라 BOD와 TOC의 제거율은 증가되었으며, 2개월 후부터 BOD의 경우 57.7%가 감소되었고, TOC의 경우에는 50.6%가 감소되었다. 또한 4개월이 경과한 경우 BOD의 제거율은 72.4%, TOC의 제거율은 69.0%를 나타내었다. Figure 3은 동일한 방법으로 측정된 총질소(T-N)성분과 총인(T-P)의 제거율을 나타낸 그림이다. 초기 인공오수의 T-N은 6.8 mg/L이고, T-P는 1.5 mg/L이다. BOD와 TOC의 결과와 마찬가지로 시간이 경과될수록 제거율이 증가하여 2개월 후부터 T-N의 경우 50.8%, T-P의 경우 51.3%의 제거율을 나타내었다. 또한 4개월이 경과될 경우 T-N의 경우 70.6%, T-P의 경우 67.0%의 제거율을 나타내어 다공성 콘크리트의 수질정화 능력을 확인할 수 있었다.

3.2. 비점오염원의 수질정화 특성

비점오염원이란 도시노면 배수나 고속도로 배수, 농경지 배수와 같이 불특정한 배출경로를 통해 오염물질이 발생되는 장소이다. 고속도로의 경우 기존의 수질오염 지표 측정 외에도 이동하는 차량에서 배출되어 수중으로 유입되는 중금속의 농도 측정 또한 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 수질정화 및 중금속 제거 특성이 동시에 측정 가능한 고속도로 주변을 선택하여 교통오염물질이 흘러드는 유입부로부터 약 35 m 구간에 다공성 콘크리트를 설치하여 실험을 수행하였다. 오염물질이 가장 많이 유입되는 강우가 발생하는 일자에 유입부 및 유출부에서 샘플을 채취 및 분석하여 유량에 따른 수질정화 능력

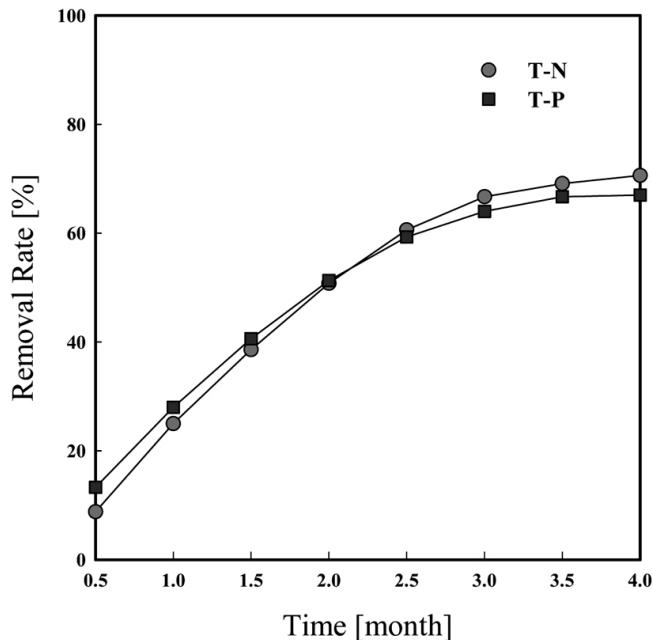


Figure 3. Removal rate of TN and TP through porous concrete in pilot scale.

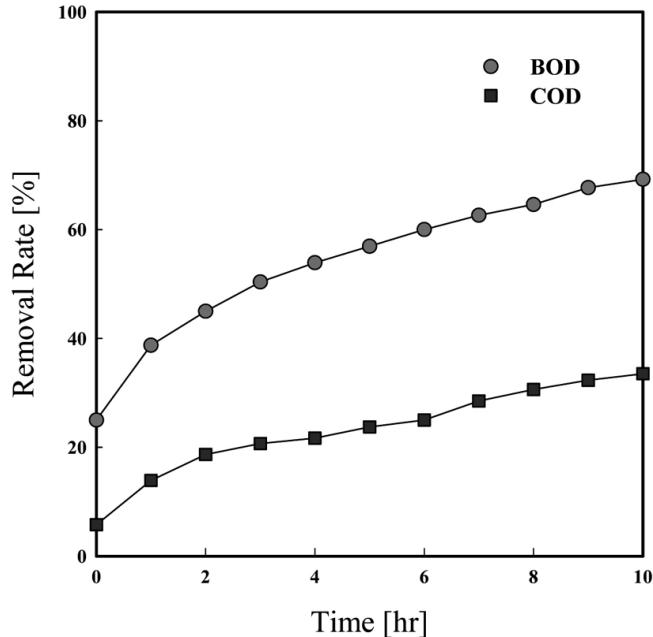


Figure 4. Removal rate of BOD and COD through porous concrete.

(BOD, COD 등) 및 중금속(Pb, Zn 등) 제거특성을 분석하였다. 실험 측정 시 평균유량은 0.6 m³/hr이었으며, 유입되는 부분의 BOD와 COD는 각각 1.00와 1.10 mg/L이었으며, 중금속의 농도는 Pb와 Zn의 경우 각각 0.95, 1.15 mg/L이었다.

Figure 4는 우수가 다공성 콘크리트를 통해 흘러감에 따라 시간경과에 따른 BOD와 COD의 제거율을 나타낸 그림이다. 시간이 증가경과에 따라 다공성 콘크리트의 수질정화 능력에 의해 BOD와 COD의 제거율은 증가되었으며, 측정시간 10 h만에 BOD의 경우 69.23%, COD의 경우 33.52%가 제거됨을 확인할 수 있었다.

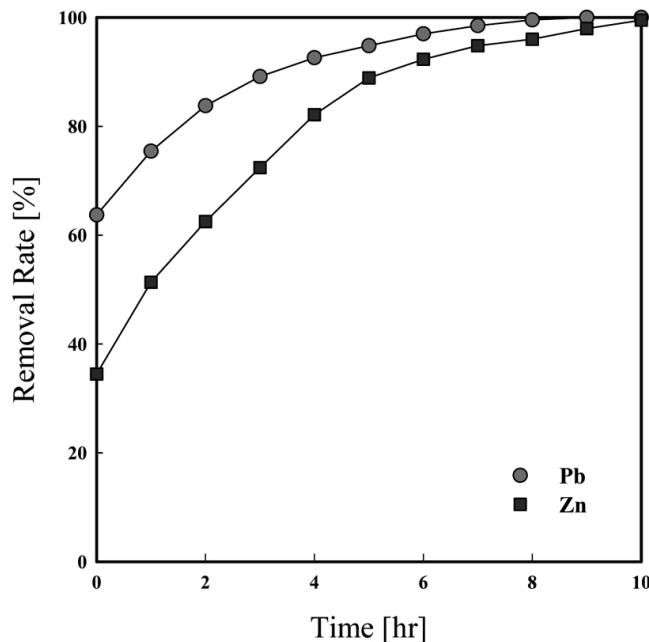


Figure 5. Removal rate of Pb and Zn through porous concrete.

Figure 5는 시간 경과에 따른 다공성 콘크리트의 중금속 제거특성을 나타낸 그림이다. 다공성 콘크리트의 우수한 흡착성능으로 Pb의 경우에는 측정시간 4 h만에 Zn의 경우에는 6 h만에 제거율이 90% 이상으로 나타났으며, 측정시간 10 h에는 100%가 제거됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 다공성의 식생 콘크리트에 제올라이트를 혼합하여 제조한 다공성 제올라이트 콘크리트의 수질 정화능을 시험함으로써 친환경 제품으로서의 적합성을 검토하고자 하였다. 시험용 수조 및 비점오염원에서 시간경과에 따른 수질정화 능력을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시험용 수조에 인공오수를 주입하고 시간에 따른 다공성 콘크리트의 수질정화 능력을 평가한 결과 초기 인공오수 오염도의 측정치 BOD (12.3 mg/L), TOD (7.2 mg/L), T-N (6.8 mg/L), T-P (1.5 mg/L)에서 4개월 경과 후 각각 BOD (57.7%), TOC (50.6%), T-N (70.6%), T-P (67.0%)의 제거율을 보이며 우수한 수질정화 능력을 보였다.

2) 비점오염원인 고속도로 주변에서의 수질정화 능력 평가 결과, 평

균유량 $0.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ 일 때 유입부에서의 오염도 측정치 BOD (1.00 mg/L), COD (1.10 mg/L), Pb (0.95 mg/L), Zn (1.15 mg/L)에서 시간 경과에 따른 유출부에서의 오염도 측정치가 최종 10 h 경과 후 각각 BOD (69.23%), COD (33.5%), Pb (90.0%), Zn (99.9%)의 제거율을 보이며 흐름이 없는 시험용 수조에서 보다도 우수한 수질정화 능력을 나타내었다.

다공성 제올라이트 콘크리트 구조체의 수질정화 특성은 유입과 유출이 가능한 흐름이 있는 경우에서 더욱 우수한 오염도 제거율을 보이며, 실제 하천 등에 시공 시 우수한 수질정화 능력을 바탕으로 친환경 제품으로서의 적합성이 확인되었다.

참고 문헌

- P. Chindaprasirt, S. Hatanaka, T. Chareerat, N. Mishima, and Y. Yuasa, *Construction and Building Materials*, **22**, 894 (2008).
- M. Á. Pindado, A. Aguado, and A. Josa, *Cement and Concrete Research*, **29**, 1077 (1999).
- M. H. Kim, Y. K. Baik, S. P. Kang, Y. R. Kim, and J. H. Kim, *J. Korea Concr. Inst.*, **13**, 438 (2001).
- M. H. Kim, K. Y. Kim, and Y. K. Baik, *J. Korea Concr. Inst.*, **12**, 91 (2000).
- S. B. Park, D. S. Seo, and J. Lee, *Cement and Concrete Research*, **35**, 1846 (2005).
- S. H. Yoon, K. H. Jung, Y. D. Lee, and S. J. Jeong, *J. of the Architectural Institute of Korea*, **19**, 139 (2003).
- J. E. Kim, S. H. Yoon, W. J. Kim, S. S. Kim, Y. D. Lee, and S. J. Jung, *J. of the Architectural Institute of Korea*, **23**, 407 (2003).
- S. B. Park and M. Tia, *Cement and Concrete Research*, **34**, 177 (2004).
- J. Mrnutík and A. Komínek, *J. of Environmental Radioactivity*, **12**, 121 (1990).
- Y. W. Jung, S. H. Lee, and S. S. Jang, *J. Korea Concr. Inst.*, **17**, 691 (2005).
- P. Chindaprasirt, S. Hatanaka, T. Chareerat, N. Mishima, and Y. Yuasa, *Construction and Building Materials*, **22**, 894 (2008).
- S. B. Park, Y. I. Jang, and J. Lee, *J. of the Korea Society of Waste Management*, **25**, 202 (2008).
- S. J. Jung, *J. of the Korea Institute of Building Construction*, **4**, 89 (2004).
- J. H. Kim, N. I. Lee, Y. H. Lee, H. J. Kwon, J. Lee, and S. B. Park, *J. Korea Concr. Inst.*, **17**, 769 (2005).