

연구논문

## 생물막을 이용한 다공성 콘크리트의 수질정화 효율 개선에 대한 연구

김태훈\* · LI FENGQI\* · 안태웅\* · 최이송\*\* · 오종민\*\*

경희대학교 대학원 환경응용과학과\*, 경희대 환경학 및 환경공학과 · 환경연구센터\*\*

(2011년 9월 5일 접수, 2011년 11월 15일 승인)

### Research on improvement of water purification efficiency by porous concrete using bio-film

Tae-Hoon Kim\* · Li, Feng-Qi\* · Tae-Woong Ahn\* · I-Song Choi\*\* · Jong-Min Oh\*\*

Environmental Application Science, Kyung Hee University, Young-In, Korea\*

Department of Environmental Science and Environmental Research Center, Kyung Hee University Young-In, Korea\*\*

(Manuscript received 5 September 2011; accepted 15 November 2011)

### Abstract

This study aims to estimate the biological decomposition capacity of MPC(Microorganism Porous-Concrete). MPC has specific surface area formed by inside pores, and bio compound was added to those pores to reduce pollutants loading. To evaluate the water purification capacity of MPC, we carried out the comparative studies using different media types [GPC(General Porous-concrete), CPC(Compound porous-concrete), LPC(Lightweight aggregate porous-concrete)] under the condition of CFSTR, and different retention times (30, 60 and 120 min). We also estimated the purification capacity of MPC under different concentrations of pollutant loadings. The MPC showed higher efficiency in water purification function than other conventional porous concretes with efficient decrease rates of SS, BOD, COD, and nutrient concentrations. In the comparison experiment for different retention times, MPC showed the highest removal efficiency for all tested pollutants in the longest retention time(120 min). In the long period test, the removal efficiencies of MPC concrete were high until 100 days after the set up of the operation, but began to decrease. Outflow flux was invariable compared with inflow flux so that extra detention time for media fouling such as back washing is not needed. But the results suggested that appropriate management is necessary for long-term operation of MPC. As the final outcome, MPC using bio organisms is considered to be efficient for stream water purification when they used as substrates for artificial river structure.

Keywords : Porous-concrete, Water quality, Microorganism, Biological expicent

## 1. 서론

최근 환경보존에 대한 인식전환이 범세계적으로 확산되고 있는 가운데 기존의 구조용 재료로만 사용되어온 콘크리트를 환경 친화적인 재료로 개발하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 대부분의 구조용 콘크리트재료는 불투수성 재료이므로, 이로 인해 우수 등이 일시적으로 하천으로 유입되어 대규모의 도시형 하천범람이 빈번하게 발생하고 있으며, 또한 지하수의 고갈을 초래하여 도시가 사막화되고 있어 지중 생태계에 악영향을 미치는 등 환경 파괴의 원인이 되고 있다. 이런 측면에서 콘크리트에 연속공극을 인위적으로 형성시켜 투수성·투기성·흡음성 등의 기능을 발휘할 수 있는 다공성 콘크리트(Porous-concrete)에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(김무환 외, 2000, 안태웅 외 2008).

또한 이러한 다공성콘크리트에 친환경적 생물정화방법을 적용하여 콘크리트 수질정화 능력을 향상시키는 기법이 개발 되고 있다(황희주, 2006, 안태웅, 2009). 이러한 친환경적 생물정화방법으로는 박테리아 등의 미생물을 이용한 방법이 있으며, 오염물질을 정화할 수 있는 미생물의 동정, 분리를 통해 박테리아, 곰팡이 등의 미생물 제제가 생산되고 있다. 이런 미생물 제제들은 탄수화물과 생분해성 유기오염물질을 제거하고 인(Phosphorous) 성분을 낮추어 주는 역할을 하고 있으며, 중간 독성 물질들의 발생 없이 다양한 환경오염물질을 분해하는 장점을 지니고 있다(Chung J.W *et al.*, 2003). 또한 박테리아를 포함한 미생물이 자갈 등에 생물막을 형성하여 자갈과 자갈사이에 오염수가 통과될 경우, 자갈표면에 생성된 생물막에 의해 유기물을 분해시키는 접촉산화법도 알려져 있다(Choi I.S. *et al.*, 2003).

최근 이 원리를 연속공극이 형성된 다공성콘크리트에 적용시켜 자연정화 능력을 향상시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 다공성 콘크리트나 슬래그를 지지체로 사용하여 부착 생물량을 증가시키고, 부착생물에 의해 오염물질을 흡착시켜 하천 본래의 자정 능력을 촉진, 증대시킬 수 있다고

보고되어 있다(Ahn S.S *et al.*, 2002, 안태웅, 2009). 하지만 생물학적 첨가제를 활용한 다공성콘크리트의 하천수질정화에 대한 국내연구는 아직 까지 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다공성콘크리트의 수질정화 능력을 향상시키기 위하여 생물학적 첨가제를 접목시킨 MPC(Microorganism Porous-concrete)의 수질 정화능력에 대해 기존의 다공성콘크리트와 비교·분석하였다. 연구에서 사용된 MPC의 생물학적 첨가제는 미생물의 생물학적 작용을 통해 항산화 물질을 생성하는 유용 미생물군인 광합성 세균, 효모균, 유산균, 방선균, 사상균 등을 모아 놓은 유용 미생물 액체로써 오염된 수질의 정화능력을 지닌 것으로 알려져 있다(Higa T. and Parr J.F, 1994). 이러한 미생물을 다공성 콘크리트의 공극에 주입하면 인위적으로 생물막(Biofilm)이 형성되고 생성된 생물막에 오염된 하천의 물과 접촉이 이루어지면서 기존의 다공성콘크리트에 비해 수질을 정화 효율을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구에서 MPC콘크리트의 수질정화능력을 평가하기 위해 시중에 유통되고 있는 GPC(General Porous-concrete), CPC(Compound porous-concrete), LPC(Lightweight aggregate porous-concrete) 등을 선정, 오염수를 투과하였을 경우의 정화능력비교 실험을 진행하였으며, 실제 하천에 적용 가능성을 평가하기 위해 유입수의 오염 농도 및 체류시간에 따른 수질정화능력 실험을 진행하였으며, MPC의 장기간 운전 실험을 통하여 수질정화능력을 향상시킨 다공성콘크리트의 효율성 및 유지관리에 관련된 측면을 평가하였다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. MPC 실험 재료 및 물리적 특성

본 연구에서 사용한 시멘트는 D사의 보통 포틀랜드시멘트로서 사용한 굵은 골재는 화강암질 자갈을 사용하였으며 골재의 입도는 5~13 mm인 것을 사용하였다. 미생물은 광합성세균, 유산균, 효모, 방

Table 1. MPC physical characteristic

Aggregate Gradation(mm)	P/G(vol%)	W/C(wt.%)	Void Ratio(%)	Unit quantity (kg/m <sup>3</sup> )			Admixture (C×%)
				Water	Cement	Coarse Aggregate	
5~13	34.7	25	20	89	354	1,657	2.83

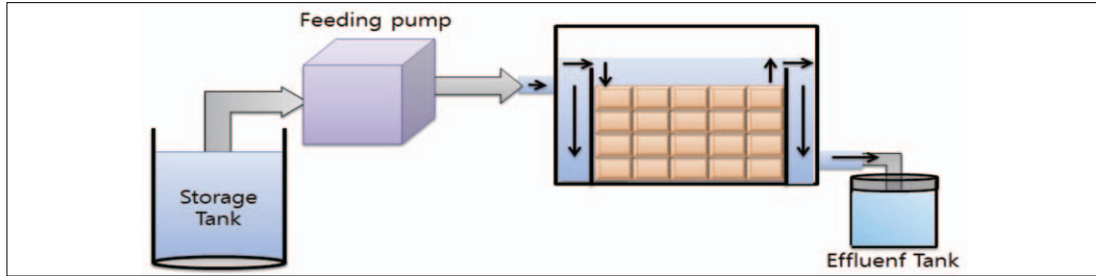


Figure 1. Experimental design of MPC Reactor

선균, 사상균 등을 최적배양조건 및 혼합조건에 의해 생산된 것을 사용하였으며 혼화제로는 시멘트 분산작용과 미세 공기의 연행으로 단위 수량저감, 워커빌리티(Workability) 및 내동해성을 개선시키는 국내 D사 제품의 폴리카본산계 고성능 AE 감수제를 사용하였다. 사용된 MPC의 기초 물질적 성질은 Table 1.에 나타낸 것과 같다. 또한 대조군으로 사용된 다공성콘크리트(GPC, CPC, LPC)는 MPC와 공극률이 같은 제품을 이용하여 실험을 진행하였다.

2. MPC 반응조 실험장치

실험에 사용한 반응조로는 아크릴(두께 10 mm)로 500 mm×300 mm×300 mm(L×W×H) 크기로 제작 하였으며, 반응조 내에서 채널링(Channeling)에 의한 단회로(Short circuiting)를 방지하기 위하

여 반응조에 정류벽(Baffle)을 설치하여 3개의 독립된 조로 분할하여 운전하였다. 수심은 유출구의 막힘과 유입폐수 펌프의 사고 등에 대비하여 여유고 20 mm로 하였고, 반응조의 총 유효용량이 43.6 L인 연속흐름식 반응조로 제작하여 실험에 사용하였다(Fig 1). 시료의 유입은 미량유량펌프(Masterflex, Model 7529-00)를 이용하여 조절 유입하였으며, 실험목적에 맞추어 유입량을 조절하였다. 유입수와 유출수는 Figure 1에 나타난 바와 같이 유입부(Storage tank)와 유출부(Effluent tank)에서 채취하였다.

3. MPC 실험조건

본 실험은 MPC의 수질정화능력을 다양하게 평가하기 위해 1) 대조군과의 비교 실험, 2) MPC의 체류시간별 비교실험, 3) MPC에 유입되는 오염물

Table 2. Driving condition for comparison experiment

Treated parameters in the experiments	Media type	Retention time	Long-term experiment
Retention time	120 min	30min, 60min, 120min	120min
Influent Characteristics			
SS(mg/L)	50.5	17.4	20.9
BOD(mg/L)	92.6	7.4	9.3
COD(mg/L)	49.3	9.8	13.7
T-N(mg/L)	4.029	0.349	3.260
T-P(mg/L)	0.497	0.147	0.596

Table 3. Driving condition for comparison experiment of different pollutant concentrations

Influent concentrations	Low conc	Middle conc	High conc
Retention time		120 min	
Influent Characteristics			
SS(mg/L)	18	30.2	56.5
BOD(mg/L)	5.29	9.5	30.1
COD(mg/L)	7.9	14.1	26.2
T-N(mg/L)	1.099	4.257	12.109
T-P(mg/L)	0.214	0.393	0.629

질 농도별 비교 실험 및 4) MPC의 장기간운전에 따른 정화능력 변화 실험으로 나누어 진행되었다. 각각의 실험에 사용된 유입수의 성상과 실험시 운전 방법을 Table 2., Table 3.에 나타냈다. 각각의 실험 조건에 이용된 다공성 콘크리트의 충전율은 50%로 동일하게 하였으며, 실험 시 분석샘플의 채수의 경우 여재별, 체류시간별, 농도별 실험에서는 1시간 간격으로 12회 채수, 분석하였으며, 장기간 운전에서는 1일 간격으로 116일 동안 운전하여 시료를 채수, 분석하였다. 또한 실험장치의 운전을 조기에 정상화시킬 수 있도록 접촉여재를 흐르는 물에 10일정도 침지 시킨 후, 여재별, 농도별, 체류시간별, 장기간 운전실험을 진행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 대조군과의 수질정화능력비교

시중에 유통되어 사용되어 왔던 다공성콘크리트들(GPC: General Porous-concrete, CPC: Compound porous-concrete, LPC: Lightweigh aggregate porous-concrete)과 MPC에 대한 성능비교를 위해 비교 실험을 진행하였다. 그 결과 MPC의 각 오염 항목에 대한 제거효율은 SS가 71%, BOD가 61.4%, COD가 41.3%, T-N이 43%, T-P가 31%로 나타나, 다른 다공성콘크리트들에 비하여 처리효율이 우수한 것으로 조사되었다(Fig 2). 특히 BOD의 경우 다른 여재에 비해 MPC의 제거효율이 가장 높게 나타났는데, 오염물질에 대한 다공성콘크리트의 저감 방법은 접촉산화법으로 자정작용을 인위적으

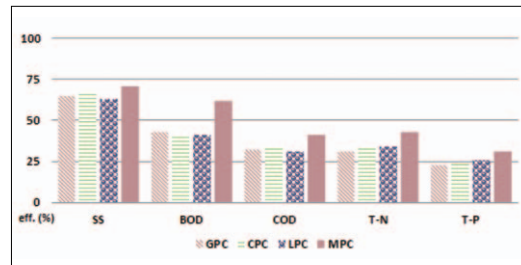


Figure 2. Removal efficiency with different media types in the CFSTR

로 재현할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 접촉산화공법의 원리는 다공성 콘크리트의 공극에 유기물이 흡착되는 생물막(Biofilm)을 형성시켜 흡착된 유기물질들을 미생물을 통해 분해하는 것이다(김세원, 2001, 이경미, 2003). 따라서 MPC는 기존의 다공성콘크리트의 공극에 오염물질 제거효율을 향상시키는 미생물을 추가함으로써 오염물질에 대한 생물학적 분해효과가 한층 향상되어 제거 효율이 높아진 것으로 판단된다.

#### 2. MPC의 체류시간 별 수질정화능력평가

접촉산화공법의 경우 수리학적 체류시간이 길수록 유기화합물에 대한 분해를 촉진시켜 오염물질 저감효율을 향상시키는 것으로 알려져 있다(최이송 1996, 최동호, 1999). 본 실험에서 체류시간(30 min, 60 min, 120 min)을 달리하여 분석한 결과, 운전 시간이 120 min에서는 각각의 평균 제거효율이 SS 45.5%, BOD 34.3%, COD 30.3%, T-N 29.2%, T-P 20.9%로 나타나 체류시간이 길수록 저감효율이 높아지는 일반적인 현상을 나타냈다.

MPC를 하천에 적용하기 위한 체류시간 설정은

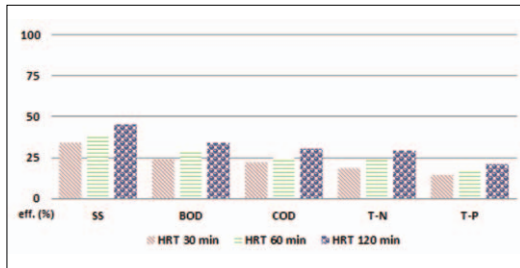


Figure 3. Removal efficiency with different HRT in the CFSTR

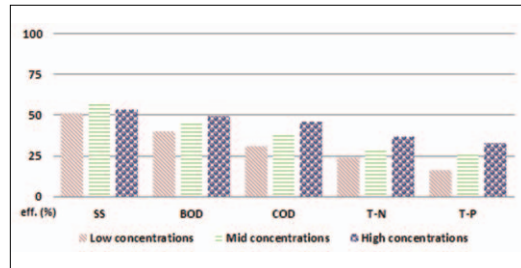


Figure 4. Removal efficiency with different concentrations of pollutants in the CFSTR

대상 하천의 환경적 특성(기상, 수심, 폭, 유속)의 영향으로 일정한 체류시간을 유지하기에는 어려움이 있다. 따라서 실제 하천에서의 현장적용성 평가를 통하여 체류시간의 변화에 의한 오염물질 제거 평가가 이루어져야 한다고 판단된다.

### 3. MPC의 농도 별 수질정화능력평가

유입수의 오염물질 농도를 저농도, 중농도, 고농도로 선정, 가동하여 측정된 결과 SS의 경우 농도 변화에 따라 제거효율의 변화가 크지 않았으나, BOD, COD, T-N, T-P의 평균제거효율이 고농도에서 각각 49.8%, 46.1%, 36.9%, 33.1%로 나타나 유입수의 농도가 높을수록 제거효율이 상승하는 것으로 조사되었다(Fig 4). 또한 이는 본 실험에서 이용된 고농도 유입수의 오염농도까지 정화가 가능한 것으로 판단된다.

본 연구에서 반응조 안의 용존산소(DO) 농도는 시간이 흐름에 따라서 감소되는 것으로 나타났다(Fig 5). 이러한 DO의 감소는 미생물에 의한 오염물질 분해과정에서의 산소 소비로 인한 것으로 판

단되나 실제 하천에 적용할 경우 재폭기 또는 생물활동에 의하여 산소 농도가 증가 또는 더 감소 될 수 있어 본 연구의 결과와 다른 결과가 나타날 수 있다. 따라서 체류시간 실험과 마찬가지로 현장적용성 평가를 통하여 실제적인 DO 변화를 평가가 이루어져야 할 것이다.

### 4. 장기간 운전을 통한 수질정화능력평가

120일에 걸친 장기간 운전을 통해 MPC의 수질정화능력 평가 결과를 Table 4. 및 Figure 6에 나타내었다. 실험 결과 운전 기간 동안의 평균 제거효율은 SS가 52.6%, BOD가 39%, COD가 33.2%, T-N이 25.5%, T-P가 22.5%로 나타났다. 운전 1일부터 100일까지는 유입농도에 따라 처리효율은 다소 다르게 나타났지만, 오염된 물을 정화시킬 수 있는 20~60%의 처리효율을 보였다. 운전 100일 이후로는 전 항목에서 제거효율이 감소하는 경향을 보였다. 이는 MPC의 농도 부하가 증가되었기 때문으로 판단되며 이러한 현상을 해결하기 위해 100일

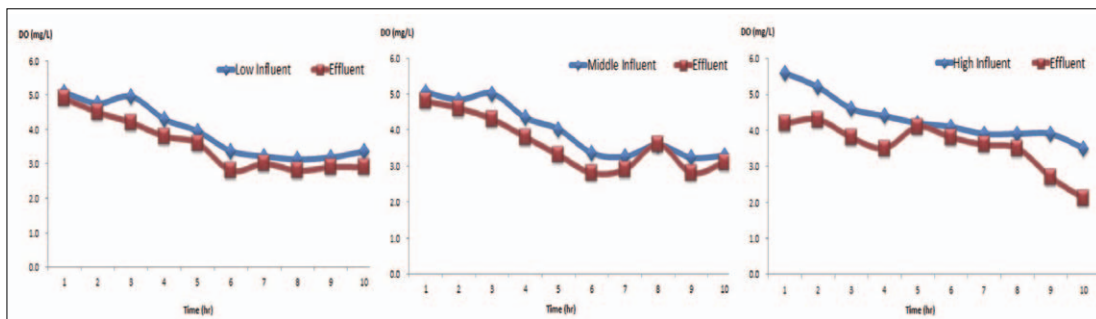


Figure 5. Changes in DO concentrations of different pollutant concentrations in the CFSTR

Table 4. Pollutant Concentrations in influent water and effluent water

Item	Influent		Effluent	
	Range	Average	Range	Average
DO(mg/L)	7.9~11.2	8.9	4.8~9.7	7.0
SS(mg/L)	8.0~48.5	20.9	4.0~26.7	9.6
BOD(mg/L)	7.9~10.1	9.3	4.3~8.6	4.7
COD(mg/L)	8.0~19.0	13.7	4.5~16.0	9.1
T-N(mg/L)	1.426~5.369	3.260	1.008~3.898	2.428
T-P(mg/L)	0.314~0.984	0.596	0.206~0.662	0.462

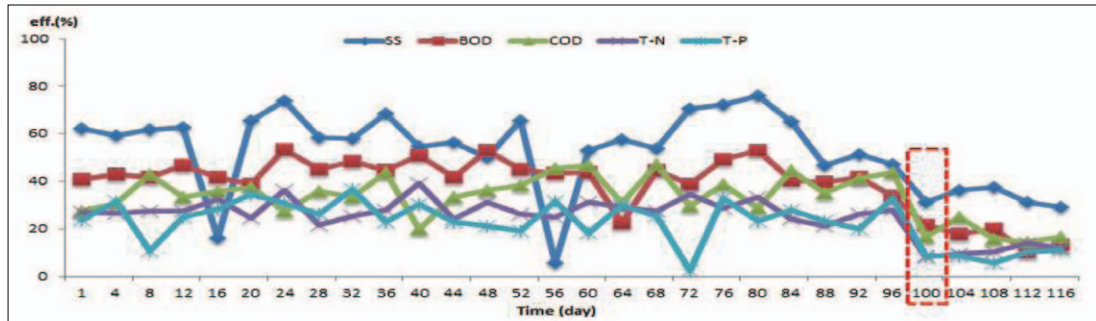


Figure 6. Changes in removal efficiencies for each pollutants during the long-term driving of MPC

마다 여제의 세척 등의 관리 방안이 필요한 것으로 판단되며, 유지관리기술에 대한 연구가 이루어져야 한다고 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 다공성 콘크리트에 생물학적 첨가제를 접목하여 수질정화능력을 향상시킬 수 있는 MPC (Microorganism Porous-concrete)의 수질정화능력을 비교 실험하였다. 그 결과 MPC는 실제 하천에 적용하였을 때 기존의 다공성 콘크리트에 비해 오염된 수질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 다음은 본 연구의 결과를 요약하였다.

1) 기존에 사용되어 왔던 다공성콘크리트와 MPC의 성능비교를 위해 GPC, CPC, LPC를 이용, 정화능력을 비교 평가하였다. 그 결과 MPC의 각 오염항목에 대한 저감효과가 SS 71%, BOD 61.6%, COD 41.3%, T-N 43%, T-P 31%로 나타나 타 다공성 콘크리트에 비하여 처리효율이 우수한 것으로 조사되었다.

2) MPC 체류시간별 실험에서는 체류시간이 120 min 조건에서의 평균제거효율이 SS 45.5%, BOD 34.3%, COD 30.3%, T-N 29.2%, T-P 20.9%로 나타나, 체류시간이 길수록 제거효율이 높아지는 것으로 나타났지만, 장시간 운전시 처리장의 규모가 커지고 경제성이 저하되며 유지 관리 면에서 비용이 발생하므로 목표수질 및 현장여건을 고려하여 체류시간을 탄력 있게 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 3) 농도별 MPC의 제거효율 유입수의 오염물질 농도를 저농도, 중농도, 고농도로 설정하여 진행하였으며, 오염물질 농도가 높은 조건에서 제거 효율이 더 높은 것으로 나타나 MPC는 본 실험에서 사용된 고농도 유입수 조건까지 처리가 가능한 것으로 나타났다. 또한 하천의 수질개선을 목적으로 적용을 고려할 경우, 본 공법의 평균제거효율은 40% 정도인 것으로 나타났으므로 BOD 농도 10 mg/L 이하의 하천수질환경기준을 충족시키기 위해서는 유입수 적용 범위를 BOD 기준 15 mg/L 이하로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 체류시간을 120 min으로 하여 약 4개월 동안

장기간 운전을 통해, MPC의 현장 적용 시의 수질 개선 능력을 평가하였다. 그 결과 SS, BOD, COD, T-N, T-P의 실험기간 중 평균 제거효율은 52.6%, 39%, 33.2%, 25.5%, 22.5%로 나타났다. 하지만 100일 후 부터 제거효율이 저감되는 것으로 나타났기 때문에 운전 후 100일 이후부터 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 동산콘크리트(주) 및 2011년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김무한, 김규용, 백용관, 김재환, 2000, 포러스 콘크리트의 배합요인 및 골재 혼합비율이 강도 및 투수성능에 미치는 영향, 콘크리트학회논문집, 12(6) 91-98.
- 안태웅, 최이송, 오종민, 2008, 다공성 콘크리트와 식생콘크리트에 의한 수질정화기능에 관한 연구, 한국환경영향평가학회, 17(5) 271-278.
- 황희주, 2006, 다공성 콘크리트 블록을 이용한 수질 정화 효과, 한국수처리학회지, 14(4), 77-82.
- 안태웅, 최이송, 오종민, 2009, 자연정화공법을 이용한 2차 하수처리수의 수질 개선에 관한 연구, 한국환경영향평가학회, 18(2) 79-87.
- 김세원, 2001, 소하천의 수질정화를 위한 다공성 콘크리트(Porous concrete)의 적용, 경희대학교 대학원 석사 학위 논문.
- 최이송, 1996, 접촉산화법의 여재 및 체류시간에 따른 처리효율에 관한 연구, 경희대학교 석사 학위 논문.
- 최동호, 1999, 水理學的 滯留時間과 溶存酸素 濃度가 好氣性 生物濾過 工程效率에 미치는 영향, 한양대학교 대학원 석사 학위 논문.
- 李惠美, 2003, 中·小河川의 水質改善을 위한 多孔性 河川構造物의 開發 및 適用, 경희대학교 대학원 석사학위 논문.
- Chung, J.W., Yoon, J.Y., Shin, J.R., and Kim, H.G, 2003, "The study for performance test verification standard form approval procedure (draft) of OSBA," J. Kor. Soc. Marine Enviro. Eng., 6, 16-27.
- Choi, I.S., Kim, J.H., Choi, G.W., and Oh, J.M, 2003, "Estimation of water purification with applying porous cocreate to weir and riverbed materials," J. Kor. Soc. Water Quality, 36 1013-1023.
- Ahn, S.S., Choi, Y.Y., and Lee, S.S, 2002, "A study on effects of hydraulic structure on river environmental(II): water quality and ecological characteristics," J. Enviro. Sci., 11, 309-317.
- Higa T. and Parr J.F. 1994. Beneficial and Effective Microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center, Atami, Japan