

산업부산물을 사용한 포러스 콘크리트의 수질정화 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Water-Purification Properties of Porous Concrete Using Industrial By-Products

조 영 수* 김 정 환** 권 혁 준* 박 승 범*
Cho, Young Soo Kim, Jeong Hwan Kwon, Hyuk Joon Park, Seung Bum

ABSTRACT

The results of an experiment on the water purification of the porous concrete and its influence on the compressive strength are reported in this paper. Two different sizes of coarse aggregate of 5~10, and 10~20mm, and three absolute volume ratios of paste to aggregate of 30, 40 and 50 percent for a given size of aggregate were used. For the compressive strength, the concrete with the aggregate size of 5~10mm showed much higher strength than that with the aggregate size of 10~20mm. But, the compressive strength is higher when the ratio of paste to aggregate is smaller. In the water purification experiment, the amount of attached an organism on the porous concrete surface indirectly is examined by measuring the consumption of the Dissolved Oxygen (DO). The ability of the water purification is evaluated by the removal amount of the Total Phosphorus(T-P) and Total Nitrogen(T-N). The ability of the removal of the T-N and T-P in the test water is superior to a porous concrete with a smaller size of aggregate and a higher void content. These results are owing to a large specific surface area of the specimen. As a result, porous concrete using by-products has sufficient performance of water purification.

1. 서 론

최근 산업의 발달로 인한 지구환경문제가 심각해짐에 따라, 생태계의 물질순환과 먹이사슬 등의 중요성이 인식되고 있다. 현재 콘크리트는 현대산업 사회환경을 구성하는 건설재료로서 많은 양이 사용되고 있으나 이러한 콘크리트 구조물의 설치시 그 지점의 자연생태계의 변화 및 생물의 서식처가 감소하여 생물에 의한 자정능력의 감소와 유입되는 부하량 증가로 인한 환경균형이 파괴되고 수질오염에 막대한 영향을 주게 된다. 그러나, 지금까지의 수역개발은 치수·이수기능을 중요시하였지만, 앞으로는 자연생태계에 대하여 고려해야 하며 수역환경에 대한 복원기술의 개발이 중요한 과제라고 할 수 있다. 이를 해결하기 위한 한 방안으로 환경친화 콘크리트를 들 수 있는데 이는 자연환경의 부하 저감과 아울러 생태계와의 조화 또는 공존, 공생에 기여하는 콘크리트를 말하며 에코콘크리트라고도 한다. 에코 콘크리트에는 사용목적에 따라 환경부하저감형과 생물대응형으로 구분되는데 이 중에서 생물대응형 에코 콘크리트는 식생 콘크리트와 수질정화 콘크리트로 세분화된다. 따라서, 본 연구에서는 육상 및 수중의 작은 생물들이 부착할 수 있는 포러스콘크리트를 제조하여 하천수중에 일정 기간별 침지시켜 연속공극에 생물막 층을 부착한 후 골재입경 및 P/G비에 대한 수질정화능력 및 강도특성에 관한 실험결과를 논하고자 한다.

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수
** 정희원, 충남대학교 토목공학과

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 S사의 비중 3.03, 분말도 4,091(cm^3/g)의 고로슬래그 함유량 30%인 고로시멘트를 사용하였다.

2.1.2 골재

굵은 골재는 충남 금산 H사의 채석을 사용하였으며 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 골재의 물리적 성질

입 도	단위용적중량	비 중	흡수율	실적율
5~10mm	1,504 kg/m^3	2.69	0.6557%	55.9%
10~20mm	1,488 kg/m^3	2.69	0.6557%	55.8%

2.1.3 플라이애시

본 연구에 사용된 플라이애시는 보령 화력발전소에서 발생된 유연탄 플라이애시를 사용하였고, 그 화학적 조성 및 물리적 특성은 표 2과 같다.

표 2 플라이애시의 화학적 성분 및 물리적 특성

화학적 성분(%)							물리적 특성			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	lg.loss	Specific Gravity	Blain's (m ² /g)	Particle size (μm)
65.3	25.5	4.25	1.2	0.98	0.21	1.03	3.63	2.1	3,124	420

2.1.4 실리카흙

본 연구에 사용된 실리카흙은 호주 Elkem사의 920D제품을 사용하였으며 화학적 조성 및 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3 실리카흙의 화학적 성분 및 물리적 특성

화학적 성분(%)				물리적 특성			
SiO ₂	H ₂ O	CaO	lg.loss	Specific Gravity	Bulk density (kg/m ³)	Blain's (m ² /g)	Particle size (μm)
91.1	0.8	1.3	2.0	2.2~2.3	150~700	15~30	0.5

2.1.5 혼화제

시멘트의 분산작용에 의해 콘크리트의 성질을 개선시키는 감수제로서, 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계 Mighty-150으로 비중은 1.20, pH 7~9이며 고형물 함량이 41~45%의 것을 사용하였다.

2.2 콘크리트의 배합 및 믹싱

배합은 물-시멘트비(W/C) 25%로 일정하게 하고 혼화제 혼입율은 실리카흙 10%, 플라이애시 20%로 하여 골재입경은 5~10mm와 10~20mm, 페이스트골재비(P/G)는 30, 40, 50%로 변화시켜 배합설계를 하였다. 제조에 사용한 믹서는 용량 50 ℓ 의 강제식 2축형 믹서를 사용하였으며, 혼합방법은 시멘트와 골재를 혼입 후 1분간 건비빔을 하고 혼화제와 물을 첨가하고 3분간 비비는 분할투입방식을 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 흐름시험

워커빌리티의 확보와 경화 후 연속공극을 가질수 있는 최적 흐름치를 KS L 5105에 따라 혼화제 혼입율을 변화시켜 최적 흐름치를 구하였고 그 결과는 표 4와 같다.

표 4 최적흐름치에 대한 혼화제 혼입률

종 류	혼화제혼입률(%)	흐름치(mm)
CB	0.5	180
CB+SF	1.3	180
CB+FA	0.6	180

표 5 표준수의 수질

온도(℃)	pH	DO(mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)
27℃	7.8	7.9	2.058	0.053

※ 표준수의 수계는 금강이며 대전광역시 서구 월평동 (만년교)에서 2001년 8월24일에 채취한 것임.

* CB : Portland blast-furnace slag cement. SF : Silica fume 10%. FA : Fly ash 20%. I : 5~10mm, II : 10~20mm

2.3.2 전공극률시험

전공극률 시험은 $\Phi 10 \times 20$ cm 원주형 공시체의 수중에서의 공시체 질량(W_1)과 24시간의 자연건조 후 공시체의 질량(W_2)를 측정하여 그 차를 공시체의 용적(V)으로 나눈 값으로 다음 식에 의해 구하였다.

$$A(\%) = \frac{1 - (W_2 - W_1)}{V} \times 100$$

여기서, A : 콘크리트의 전공극률(%)

W_1 : 공시체의 수중질량(g)

W_2 : 24시간의 자연건조후 기건중량(g)

V : 공시체의 체적(cm^3)

2.3.3 pH측정시험

pH측정은 미국 O사의 pH측정기를 사용하여 하천 침전 전후의 일정기간에 걸쳐 pH의 변화를 측정하였다. 하천의 침적에서는 공시체를 수돗물 2리터에 24시간 침지 후 측정하였다.

2.3.4 DO측정실험

용존산소량(Dissolved Oxygen : DO) 측정시험은 Winkler의 적정법으로 측정하였다.

$$DO (mg O_2 / \ell) = \frac{Y}{Y-2} \times \frac{5.00}{X} \times f \times V \times 16.00$$

여기서, V : 적정에 소요된 0.01N $Na_2S_2O_3$ 용액(ml)

f : 0.01N $Na_2S_2O_3$ 용액의 factor = $\frac{5.00}{v}$, v는 적정에 소모된 Thiosulfate solution (ml)

Y : 용존산소 측정병의 용량(ml)

X : 적정하기 위해 용존산소 측정병에서 분취한 검수량(ml)

2.3.5 T-N 및 T-P 측정 시험

T-P 측정은 아스코르빈산 환원법(Ascorbic Acid Method)으로 유기물을 산화 분해하여 모든 인 화합물을 인산염(PO_4)으로 변화시킨 후 880nm에서 흡광도를 측정하여 검량선으로부터 총인을 다음의 식으로 구하였다.

$$T - P (mg P / \ell) = a \times \frac{65}{25} \times \frac{1000}{V}$$

여기서, a : 검량선으로부터 구한 인의 양 (mg P/25ml)

V : 분해병에 넣은 시료의 양 (ml)

T-N측정은 과황산 분해법(Persulfate Method)으로 유기물을 분해하여 질산염(NO_3)으로 산화시킨 후 400~490nm 파장에서 흡광도를 측정, 검량선을 작성하여 총질소(질산염)의 농도를 다음의 식으로 구하였다.

$$T - N (mg N / \ell) = a \times \frac{65}{25} \times \frac{1000}{V}$$

여기서, a : 검량선으로부터 구한 질소의 양 (mg N/25ml)

V : 분해병에 넣은 시료의 양 (ml)

2.3.6 압축강도 시험

압축강도는 $\Phi 10 \times 20$ cm 원주형 몰드에 3층 25회씩 다진 다음 24시간 후 탈형하여 수중양생후 7일, 14일, 28일과 하천에 3개월간 침적후의 강도를 KS F 2405에 준하여 일본 M사의 100t 유압식 만능시험기를 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 압축강도 특성

동일한 P/G에서 골재입경에 대한 압축강도는 그림 1과 같이 골재의 입경이 작을수록 크게 나타났으며, 초기강도는 모든 배합에서 차이가 거의 없었으나 재령28일에서는 CN+SF에서 232kgf/cm²의 가장 큰 강도가 나왔으며 같은 배합에서 입경이 10~20mm보다 약 1.9배의 강도 차이가 있었다. 혼화제의 종류별로 보면 CN+SF가 장기적으로 가장 안정된 강도를 보였으며 모든 배합에서 중성화로 인한 장기강도에 대한 영향은 없었다. 또한, P/G비가 증가할수록 강도는 증가하였고 그림 2와 같이 골재입경이 강도에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

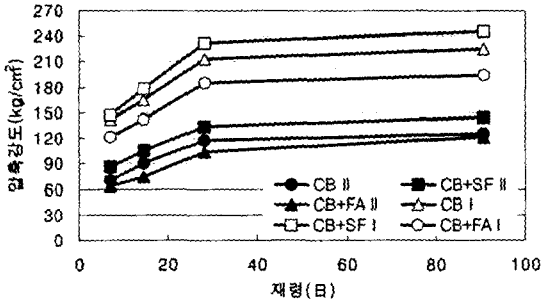


그림 1 재령 및 골재입경에 따른 압축강도 (P/G 50%)

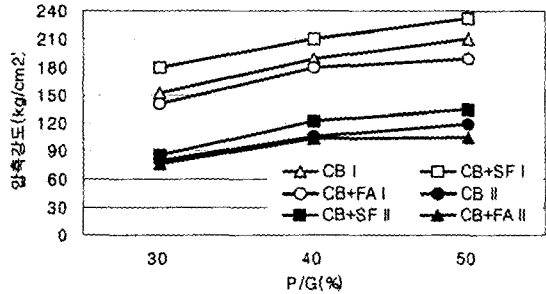


그림 2 P/G와 골재입경에 대한 압축강도

3.2 침적일수와 pH

주변 환경에 악영향을 주는 유리석회의 영향에 대한 평가로서 pH를 측정하여 그림 3과 같은 결과를 얻었다. 침적일수가 길어질수록 pH는 낮아지고 침지후 5주부터 pH가 감소하여 90일에서는 pH 8.6으로 최초 pH보다 16%~24% 감소되었다. 또한, 골재입경이 작을수록 초기에 pH가 저감되었는데 이는 중성화속도가 PoC의 비표면적 크기에 비례하는 것으로 생각된다.

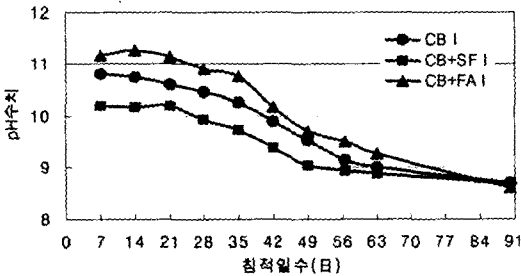


그림 3 침적일수와 pH (5~10mm)

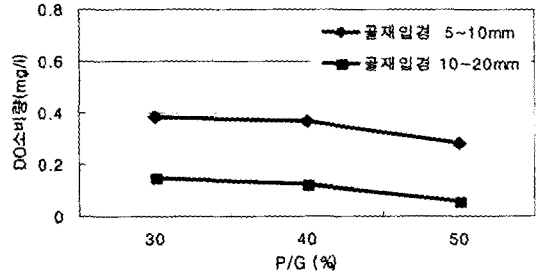


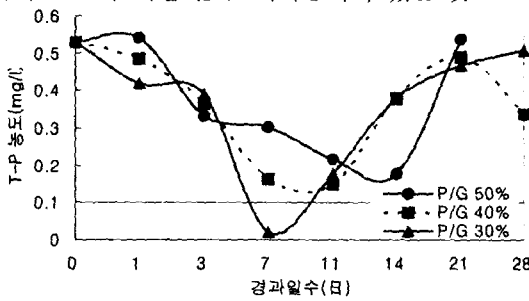
그림 4 P/G와 골재입경별 DO소비량(mg/l)

3.3 P/G 및 골재입경이 생물부착에 미치는 영향

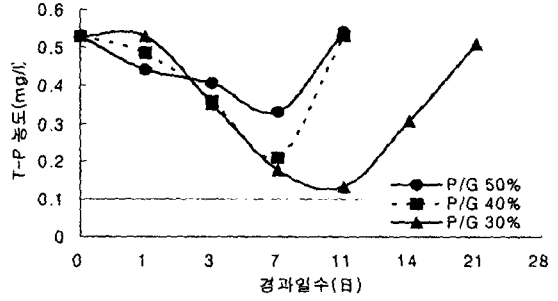
생물부착량을 평가하는 방법으로 DO소비량을 이용하여 간접적으로 평가하였다. 3개월간 하천에 침지한 포러스콘크리트 패널(40×40×10cm) 공시체를 각 수로에 초기 DO가 7.9 mg/l인 표준수와 일정기간이 지난후의 검사수 DO 농도차를 DO소비량으로 하였다. 경과일수 14일의 DO소비량을 그림 4에 나타내었다. 이를 고찰하면, 골재의 입경이 작을수록 DO소비량은 크게 나타났고 같은 입경에서 P/G가 작을수록 DO소비량도 크게 나타났으며 골재입경 5~10mm가 골재입경 10~20mm보다 DO소비량이 약 2배정도 많았다. 이것은 골재입경 및 P/G가 작을수록 포러스콘크리트의 비표면적이 커져서 연속공극면에 부착된 생물막이 많은 것으로 생각된다.

3.4 P/G 및 골재입경과 T-P 제거량과의 관계

전체적으로 3일째부터 T-P의 제거량이 증가하였고 7일째에서 0.2mg/l 까지 제거되었다. 7일, 11일째부터 T-P가 증가하여 다시 초기농도 0.53mg/l이 되는 경우가 있다. 이것은 제한된 공간에서 물을 순화시켜 단기간에 부착된 미생물의 제거능력이 한계에 도달하였거나 물속의 미생물 양분인 인이 다량으로 존재하여 생물막이 급격히 발달하여 수중의 DO가 감소되고 미생물이 활동할 수 없어 T-P가 더 이상 저하되지 않은 것으로 생각된다. 그림 9를 보면, 골재입경 5~10mm가 10~20mm보다 1.7배정도의 많은 T-P를 제거하였고 P/G에 따른 T-P제거율은 5~10mm는 일정하였으나 10~20mm는 P/G가 증가할수록 T-P 제거율은 감소하였다. 이것은 앞의 3.3절에서 서술한 DO 소비량의 경우와 마찬가지로 T-P 제거능력은 생물막에 의한 영향이 크다고 생각되고 입경 5~10mm에서 생물부착량이 많기 때문에 T-P에 대한 높은 제거능력이 있는 것으로 생각된다.



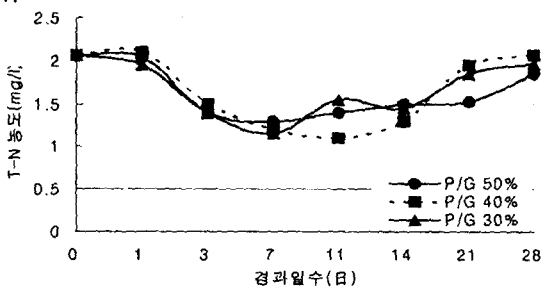
골재입경 5~10mm
그림 5 경과일수에 대한 T-P(mg/l)의 변화



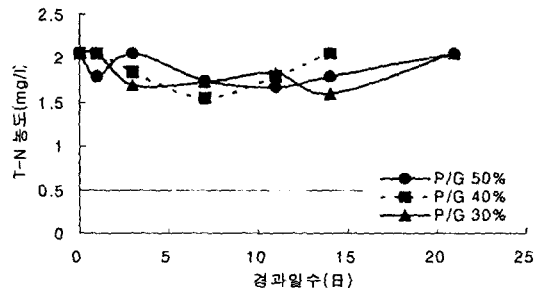
골재입경 10~20mm
그림 6 경과일수에 대한 T-P(mg/l)의 변화

3.5 P/G 및 골재입경과 T-N(mg/l) 제거량과의 관계

전체적으로 7일까지는 T-N은 감소하였고 경과일수 7일부터 11일까지는 T-N의 농도가 안정하였다. 11일 이후에는 다시 초기 T-N농도인 2.058mg/l가 되었으며 제한된 공간에서 단기간에 미생물의 제거능력이 한계에 도달하였거나 물속의 미생물 양분인 질소가 다량으로 존재하는 생물막이 급격히 발달하여 수중의 DO가 감소되고 미생물이 활동할 수 없어 T-N이 더 이상 저하되지 않은 것으로 생각된다.



골재입경 5~10mm
그림 7 경과일수에 따른 T-N(mg/l)의 변화



골재입경 10~20mm
그림 8 경과일수에 따른 T-N(mg/l)의 변화

그림 10을 보면, 골재입경 5~10mm가 10~20mm보다 3배정도 많은 T-N를 제거하였고 P/G에 따른 T-N제거율은 일정하였다. 이것은 앞의 3.3에서 서술한 DO 소비량의 경우와 마찬가지로 T-N 제거능력은 생물막에 의한 영향이 크다고 생각되고 5~10mm 입경에서 생물부착량이 많기 때문에 T-N에 대한 높은 제거능력이 있는 것으로 생각된다.

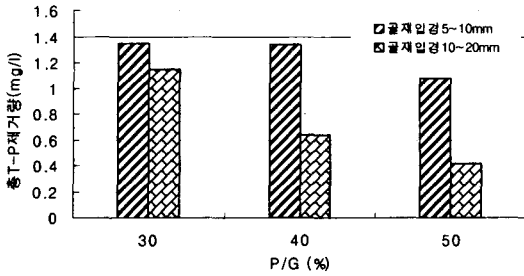


그림 9 P/G와 총 T-P(mg/l) 제거량

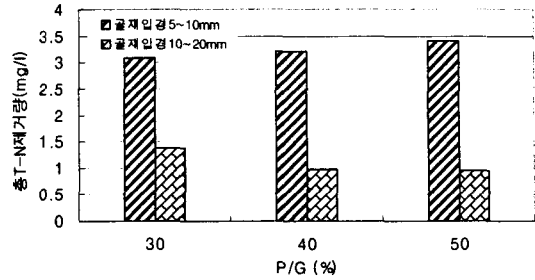


그림 10 P/G와 총 T-N(mg/l) 제거량

4. 결 론

1. 산업부산물을 사용한 포러스콘크리트의 압축강도는 CN+SF에서 가장 높은 강도를 얻었고 P/G가 증가할수록 높은 강도가 나왔으며 골재입경 5~10mm가 골재입경 10~20mm보다 1.9배의 높은 강도가 나왔다. 이것은 P/G가 증가하고 골재의 입경이 작으면 공극이 감소되어 압축강도가 증가한 것으로 판단된다.
2. 장기침지시 3개월의 기간에 모든 배합에서 생물이 부착할 수 있는 pH 9이하로 되었으며 중성화 속도가 빠른 것은 포러스콘크리트의 내부공극의 비표면적의 크기와 관계되는 것으로 판단되며, 90가지의 중성화로 인한 강도의 저하 문제는 없는 것으로 나타났다.
3. 실내 수질정화 시험결과 골재입경 5~10mm는 골재입경 10~20mm보다 DO소비량이 컸고 생물부착량은 골재입경 5~10mm의 쪽이 많았으며 T-P와 T-N제거량도 생물 부착량이 많은 골재입경 5~10mm가 골재입경 10~20mm보다 많았다. 그러나, 각각의 P/G에 대한 T-P와 T-N제거량의 영향은 작았다. 이러한 경향은 P/G에 의한 공극율보다 골재 입경에 따른 포러스콘크리트의 비표면적이 클수록 수질정화능력이 큰 것으로 판단된다.
4. 실내 수질정화 시험으로 인한 T-P 및 T-N의 제거능력이 감소되는 것은 검사수중의 대부분 DO를 소비하여 포러스콘크리트 표면에 부착되어 있는 생물막 활동이 저하된 것으로 판단되고 수중의 DO를 자연하천과 같이 유지한다면 지속적인 수질정화능력에 효과가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박승범. "신편 토목재료학" 문운당, 2000.
2. 박승범. "최신 토목재료실험" 문운당, 1999.
3. 박승범. "폐기물을 이용한 환경친화형 시멘트/콘크리트의 개발", NCCP 연구보고서, 2001.
4. 日本コンクリート工學協會. "エココン크리트特輯" 콘크리트工學, Vol. 36, No. 3, pp.6~62, 1998.
5. Tamai M., Kawai A., and Kitada H. "Properties of No-fines Concrete in Seawater and Possibility of Purifying Water Quality" JCA Proceeding of Cement and Concrete, No. 46, pp. 880~885, 1992.
6. 윤성환, 최봉중, 조영관, 이진중. "수질조사 및 분석" 동화기술, 1998.
7. 한국환경위생연구회 편. "新環境衛生學實驗" 대학서림, 1995.