

포러스 콘크리트의 특성과 용도

- Properties and Applications Porous Concrete -

정 연 식

〈동양중앙연구소 건설재료연구팀 선임 연구원〉

I. 서론

II. 포러스 콘크리트의 특성

- 2.1 공극율 및 공극구조
- 2.2 강도 특성
- 2.3 투수성
- 2.4 건조수축
- 2.5 동결 융해 저항성
- 2.6 흡음 특성

III. 포러스 콘크리트의 용도

- 3.1 식물용
- 3.2 물의 제어
- 3.3 수질 정화
- 3.4 흡음·차음
- 3.5 생물의 생식

IV. 결론

I. 서론

최근, 지구 온난화, 오존층 파괴 및 생태계 파괴 등의 지구 환경 문제에 대한 의식이 높아지고 있고, 1997년 6월에 개최된 선진국 수뇌 회담에서도 지구 온난화에 대한 CO₂ 배출량 삭감의 문제가 주요한 테마로 토의되었다. 이와 같은 배경에서 도시와 지역 개발에 있어서도, 환경의 보존·창조를 중시하는 경향의 의식이 강해지고 있다.

시멘트·콘크리트는 토목·건축의 각종 구조물에 사용되는 등, 현재 사회 자본의 정비에 불가결한 건설 재료이다. 그러나 지금까지의 콘크리트 구조물은 구조물로서의 기능과 편

리성만을 추구할 뿐, 자연과의 조화·공존은 그다지 고려하지 않고 설계·시공되어 지고 있는 면이 있다. 따라서 환경의 보존·창조의 차원에서 콘크리트 구조물과 자연과의 한층 더 조화·공존을 목적으로, 환경에 친화적인 재료가 개발되어 지고 있다.

포러스 콘크리트(이하 PoC라고 함)는 굵은 골재에 페이스트(또는 몰탈)를 부착시켜 밥풀과자와 같이 만든 콘크리트로, 연속적인 공극 구조를 갖는 특징이 있다 (No-fines Concrete). PoC는 투수성과 투기성이 우수하다는 것 외에 연속 공극부가 생물의 생식 공간에 이용되는 등으로 환경 부하 저감형 콘크리트로 주목 받고 있다.

여기서는 PoC의 일반적인 특성과 함께 최근의 용도 개발에 대해서도 소개한다.

II. 포러스 콘크리트의 특성

2·1 공극율 및 공극구조

공극의 비율을 표시하는 공극율은 PoC의 각종 역학적인 특성에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 공극율에는 연속 공극율과 독립 공극이 포함된 전공극율이 있다. 그 측정에는 일본 콘크리트 공학 협회·에코 콘크리트 연구위원회의 방법(안)이 있다¹⁾. 성형체의 실제 질량과 배합에서 계산한 이론 질량으로 구하는 방법도 있지만, 이 경우의 공극율은 전공극율이다. 페이스트(몰탈) 굵은 골재 용적비(M/G)를 일정하게 한 경우의 물 결합재 질량비(W/P)와 공극율의 관계를 [그림 1]에 표시했다. 물 결합재 질량비가 커질수록 페이스트(몰탈)이 부드럽게 되고, 굵은 골재 사이의 공극을 채우기 때문에 공극율이 감소한다.

PoC의 공극 구조를 조사한 연구는 비교적 적다. 식물이 성장할 수 있는 용도로 하는 경우에는 공극율과 함께 공극경이 중요한 요소가

된다. 이것은 식물의 뿌리 성장에 영향을 미치기 때문이다. 공극경은 사용할 굵은 골재의 종류에 따라 차이가 있고, 실제 측정에 의한 평균 공극경은, 5호 쇄석(13~20mm)의 경우에는 3.5mm정도, 6호 쇄석(5~13mm)의 경우에는 1.8mm정도, 7호 쇄석(2.5~5mm)에서는 0.7mm정도이다. 이 값을 고려해서 대상이 되는 식물의 종류에 따라 재료, 배합 등을 선정하게 된다.

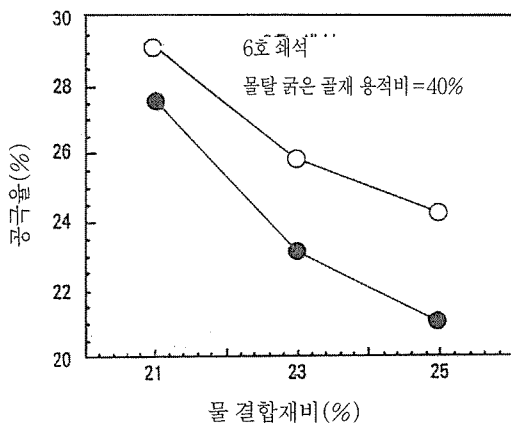
2·2 강도 특성

PoC의 압축 강도는 같은 단위 시멘트량의 보통 콘크리트에 비해 낮다. PoC에서 압축 강도에 영향을 미치는 요인은 주로 공극율이다. [그림 2]에도 표시한 것과 같이 공극율이 클수록 압축 강도는 저하하고, 양자는 높은 상관관계가 있다. 또한 공극율이 같은 경우에서도 사용하는 굵은 골재의 입경에 따라 압축 강도는 다르게 나타난다. 이것은 골재 입경이 커질수록 단위 체적당 골재의 접점수가 급격히 저하하기 때문이라고 생각된다.

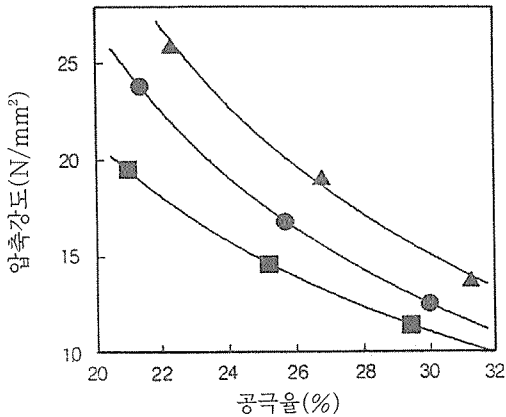
한편, 물 결합재비와의 관계도 기본적으로는 공극율과의 관계로 설명할 수 있다. [그림 3]에 표시한 것과 같이 물 결합재비가 커짐에 따라 압축 강도는 증대한다. 보통의 콘크리트와는 반대 현상이 발생하는 것을 알 수 있다.

이것은 페이스트(몰탈)이 부드러워짐에 따라 굵은 골재 사이의 부착 면적이 증대하고 공극율이 감소하기 때문이라고 생각된다.

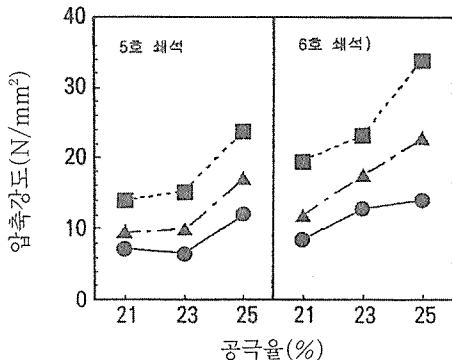
휨 강도와 인장 강도 등 압축 강도 이외의 강도 특성에 관한 결과는 극히 소수이지만, 휨 강도에서는 1~5N/mm²의 값이, 인장 강도에서는 1~4N/mm²의 값이 보고되고 있다⁴⁾. 이들과 공극율과의 관계는 압축 강도와 같이 굵은 골재 입경에 따라 선형 관계를 가지고 있다.



(그림 1) 물 결합재비와 공극율과의 관계²⁾
(○ : 전공극, ● : 연속 공극)



(그림 2) 공극율과 압축 강도와와의 관계³⁾
 (■ : 5호 쇄석, ● : 6호 쇄석, ▲ : 7호 쇄석)



(그림 3) 물 결합재비와 압축 강도와와의 관계²⁾
 몰탈 굵은 골재 용적비(%) : 30, : 40, : 50

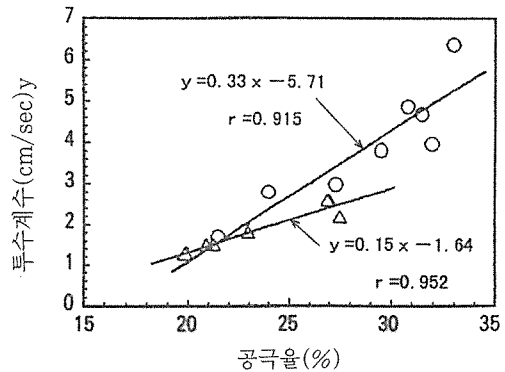
2.3 투수성

투수성은 비 등의 지하 침투 등 물의 제어가 사용 목적일 경우에 특히 중요한 특성이다.

투수성의 정도를 나타내는 투수 계수의 측정에는, JCI·에코 콘크리트 연구위원회의 방법(안)과 JIS A 1218에 준한 방법 등이 이용된다. 어느 쪽도 정수위 시험 방법에 따른 경우에는 수두차에 의해 투수 계수가 다르기 때문에 주의가 필요하다.

PoC의 투수 계수는 공극율 및 굵은 골재 입경에 따라 차이가 있다. [그림 4]에 공극율과

투수 계수의 관계를 표시했다. 이것에 의하면 공극율이 커질수록, 또한 동일 공극율에서도 골재 입경이 커질수록 투수 계수는 크게된다. 즉, 공극율과 투수 계수 사이에는 높은 상관 관계가 있다. JCI·에코 콘크리트 연구위원회가 실시한 공통 시험 결과에 의하면 투수 계수는 대략 0.1~6cm/sec의 범위에 있다¹⁾. 자연 상태의 흙 투수 계수의 범위는 넓지만, 굵은 모래는 1cm/sec, 가는 모래는 0.01cm/sec 정도이기 때문에⁵⁾ PoC의 투수성은 이들 흙과 동등 이상이라고 말할 수 있다.



(그림 4) 공극율과 투수 계수와와의 관계²⁾
 (○ : 5호 쇄석, △ : 6호 쇄석)

2.4 건조수축

건조 수축에 관한 결과도 대단히 적다. PoC의 건조 수축 일례를 [표 1]에 나타냈다. 강자갈 및 석회석 쇄석을 사용한 것에서는 동종의 골재를 사용한 보통 콘크리트의 50%정도가 된다.

PoC의 길이 변화율은 건조 초기에서 보통 콘크리트에 비해 크고, 약 10일 이내 최종 수축량의 50~80%에 달하고, 1개월정도에서 거의 완료된다. 초기에 커지는 이유는, PoC 표면적과 체적의 비가 극히 큼으로 건조의 영향을 쉽게 받기 때문이라고 생각된다. 또한 보

[표 1] 포러스 콘크리트의 건조 수축 변형⁶⁾

굵은 골재	굵은 골재:시멘트 용적비	물시멘트비	길이변화율(%) (50℃, 17%R.H.)
강자갈	8:1	0.40	0.018
	10:1	0.45	0.018
	12:1	0.50	0.018
	비교용(1:2:4)		0.035
현무암	8:1	0.35	0.022
	10:1	0.40	0.023
	12:1	0.45	0.028
	비교용(1:2:4)		0.049
슬래그골재	8:1	0.40	0.025
	10:1	0.45	0.020
	12:1	0.50	0.022
	비교용(1:2:4)		0.038
석회석골재	8:1	0.40	0.016
	10:1	0.45	0.019
	12:1	0.50	0.022
	비교용(1:2:4)		0.033
클링커	6:1	0.375	0.033
	8:1	0.425	0.025
	12:1	0.475	0.040
	비교용(1:2:4)		0.038

비교용(고밀도 콘크리트)의 배합
 시멘트 : 잔골재 : 굵은 골재 = 1 : 2 : 4(용적비)

통 콘크리트에 비해 최종적인 길이 변화가 작아지는 이유는, 시멘트 페이스트양이 적은 것과, 수축이 굵은 골재에 의해 구속되기 때문이라고 생각된다.

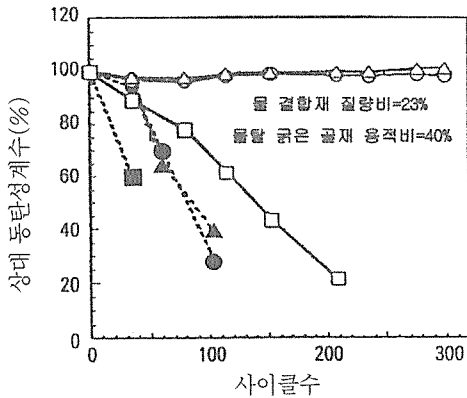
2.5 동결 융해 저항성

PoC에서는 연속 공극에 물이 자유스럽게 침입하기 때문에 동결 융해 저항성은, 보통 콘크리트에 비해 일반적으로 약하다. [그림 5]에 동결 융해 시험에 따른 상대 동탄성계수의 경시 변화를 표시했다. ASTM C 666의 A법(수

중 동결-수중 용해)에서는 100사이클까지 상대 동탄성계수가 60%이하로 저하한다. 7호 쇄석과 같이 골재 입경이 작은 경우에는 저항성이 극단적으로 약해지는 이유는, 공극경이 작아지기 때문에 내부 침입수가 동결시 침출이 곤란하게 되어 동결 압력이 완화되어 어렵기 때문이라고 생각된다. 한편 B법(기중 동결-수중 용해)에서는 300사이클까지 비교적 건전한 상태를 나타낸다. 또한 PoC의 동결 융해 저항성의 향상에는 보통 콘크리트와 같이 AE제에 의한 공기 연행은 매우 효과적이다⁶⁾.

동결 융해에 따른 PoC의 파괴 형태는 보통

콘크리트의 경우와는 틀리다. 보통 콘크리트의 경우에는 스켈링 등 공시체의 표면에서 내부로 향해 파괴가 진행되는 반면, PoC에서는 공시체 중심부에서 파괴가 시작된다.



(그림 5) 동결 융해사이클과 상대 동탄성계수와의 관계²⁾ ASTM C666(A법)

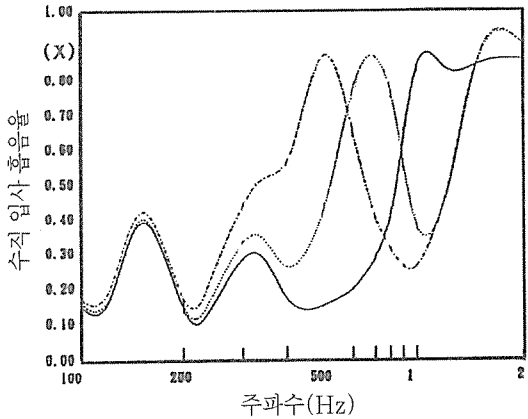
- : 5호 쇠석, ▲ : 6호 쇠석, ■ : 7호 쇠석
- : 5호 쇠석, △ : 6호 쇠석, □ : 7호 쇠석

2.6 흡음 특성

외부의 소음이 연속 공극에 의해 감소되기 때문에 PoC는 흡음 특성을 갖는다. 흡음 특성에 영향을 미치는 요인은 재료의 두께, 연속 공극의 비율·크기·형상 및 재료 표면의 요철(표면적)등이 있다.

실란 경석을 이용한 PoC의 흡음 특성을 JIS A 1405 「관내법에 의한 건축 재료의 수직 입사 흡음율 측정법」에 준해 측정한 일례를 그림 6에 표시했다. 흡음 가능한 주파수 영역은 500~1000Hz을 중심으로 폭이 넓고, 또한 재료의 두께가 두꺼워질수록 피크 흡음율의 주파수대가 저주파 영역으로 이동하는 특징이 있다. 그외 요인과의 관계에서는 표면 상태가 조면일수록, 또한 공극율이 클수록 흡음율은 커진다. 한편, 흡음율은 재료 수분의 영향도 받는다. 즉 수분이 많을수록 재료의 밀도는 높

아지고, 공극율을 감소시키기 때문에 흡음율이 저하한다.



(그림 6) 흡음율과 주파수와의 관계⁷⁾
시험체의 두께: 5.0cm, : 7.5cm, : 10cm

Ⅲ. 포러스 콘크리트의 용도

3.1 식물용

종래부터 콘크리트를 이용하여 식물 용도로 사용하고 있지만, 이들은 콘크리트로 박스형과 우물 정자 모양의 공간을 설계하고, 여기에 객토를 넣어 식물을 자라게 하는 설비의 일종이다. 이것에 반해 PoC를 이용한 식물용이라는 것은, PoC의 연속 공극부를 식물 뿌리의 생육 공간으로 활용하는 것이다. PoC에 의한 식물의 상태를 [그림 7]에 나타냈다. 그 용도로는 하천 호안등의 경사면 녹화에 이용된다.

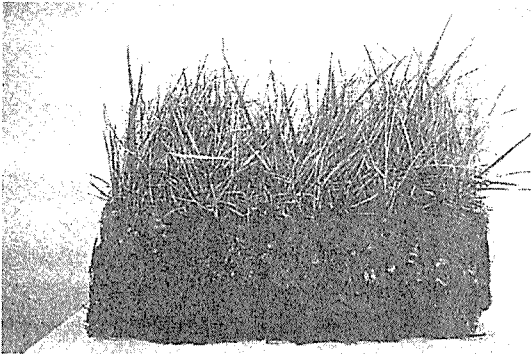
식물용에는 토양이 필요하기 때문에 연속 공극부에 토양재를 채워넣는 것이 일반적이다.

식물용 콘크리트의 기술적 포인트는 ① 식물용에 적합한 PoC의 사양 및 ②토양재의 종류와 그 충전 방법이다.

PoC 사양으로서는 연속 공극부의 확보 및 공극경이 중요한 요소가 된다. 연속 공극율로

서는 25%정도 이상 확보되면 양호한 생육 상태를 유지할 수 있다. 또한 골재의 입경이 클수록 공극경은 커지고, 뿌리 신장의 공간이 충분히 확보됨과 동시에 토양재의 충전도 용이하게 된다. 굵은 골재로서는 5호 쇠석 이상 입경이 바람직하다.

한편, 토양재의 종류와 충전 방법에서는 개발 메이커가 각각에 대해 아이디어를 제안하고 있다. 보비성과 보수성을 갖는 유기물, 점토 또는 제오라이트 등의 양이온 교환 용량이 높은 재료, 고흡수성 수지와 점토 또는 유기물(비트무스) 등의 보수성 재료와 함께 이용하는 경우가 있다.



(그림 7) 녹화 콘크리트

식물용 콘크리트의 장소로서는 전술한 호안 등의 경사면에 한정되지 않고 주차장과 빌딩 옥상 등을 생각할 수 있다. 이들은 단순히 생태계의 보존뿐만이 아니라, 열섬화(주변보다 온도가 높은 도시, 공업 지대)현상의 제어 등에도 유효한 대책이라고 생각된다.

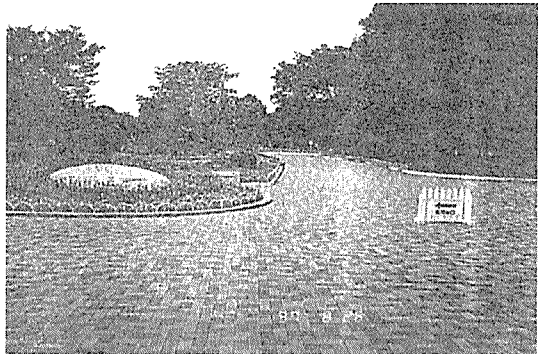
3·2 물의 제어

PoC의 투수 기능을 이용해서, 투수성 포장으로 활용한다. 차도에 이용함으로써 강우시 주행하는 자동차의 hydroplaine 현상, 물의

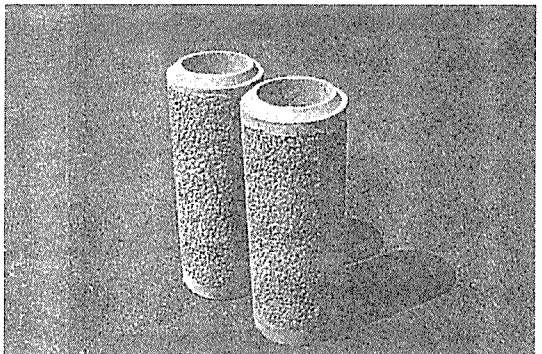
포말에 의한 시계 불량 등이 해소되어 안정성이 개선되는 것 외에, 자동차 소음도 흡음된다. 또한 [그림 8]에 표시한 것과 같이 공원과 보도 등에 사용함으로써 물이 고인다든지 하는 것이 없어지기 때문에 쾌적한 보행 공간을 창조할 수 있다.

최근의 도시개발에서는 지표층을 아스팔트와 콘크리트로 덮기 때문에 강우시 물이 땅속으로 침투하지 못하고, 감소하는 만큼의 지하수량이 지반 침하등에 영향을 미친다. 또한 비의 유출 속도가 빨라지기 때문에 소량의 비로도 도시 하천이 범람하는 등의 사태가 발생한다.

종합적인 치수 대책이 세워져 있지만, 그 중의 하나가 [그림 9]에 표시한 것과 같은 PoC를 이용한 투수성 파이프와 투수성 용기 등에 의한 비침투 공법이 채용되고 있다.



(그림 8) 투수 콘크리트 포장



(그림 9) 비침투 공법용의 투수성 파이프

[표 2] 출현 생물종의 일례¹⁰⁾

규조류	Achnanthes sp., Cyclotella sp., Cymbella sp., Fragilaria sp. Gomphonema sp., Hantzschia sp., Melosira sp., Navicula sp. Nitzschia sp., Pinnularia sp., Stauroneis sp.
원생동물	Arcella sp., Euglypha sp., Trinama sp., Vorticella sp., Colurella sp.
후생동물	Copepoda, Nematoda, Hirudinea, Aeolosomatidae, Naididae, Tubificidae Physa fontinalis, Austropeplea sp., Asellus sp., Procambarus sp. Chironomidae, Eristaris sp.

3·3 수질 정화

하천, 호수와 늪, 해역 등의 수역 환경은 본래 자연히 갖는 정화 작용을 가지고 있다. 그러나 도시 하천등과 같이 콘크리트의 3면 구조와 대도시를 배경으로 하는 직립 호안의 폐쇄성 수역에서는 생물의 종류·양의 감소에 의해 자연이 갖는 정화 기능이 감퇴한다.

PoC는 연속 공극에 의해 물, 공기를 자유스럽게 통과시키고, 다공질 내부 및 표면에 박테리아와 조류 등이 부착, 서식함으로써 생물막이 형성된다. 이중에서도 호기성 세균류가 유기물을 정화하는 가능성을 가지고 있다. 생물의 부착은 수역의 조건에 따라 다소 차이가 있지만, 3개월 이내의 조기에 진행된다⁹⁾. 일례로, 도시 공원의 수로내에 설치한 PoC제 중공볼에 나타난 생물 종류를 [표 2]에 실었다. 세균류 2종, 조류 45종, 원생 동물 5종, 후생 동물 등 다종다양한 생물이 관찰되었다. 또한 해역하에서는 세균류, 조류와 작은 동물류 외에 조개류와 대형 해초류 등도 부착한다.

수조내에 침적한 PoC방체 모델에 해수를 통과·순환시킨 경우의 유기물 제거를 천연 석과 비교한 예를 [그림 10]에 실었다. PoC가 천연석과 쇠석에 비해 정화 성능이 높은 것을 알 수 있다. 또한 하천 정화를 대상으로 체류 시간과 BOD제거율과의 관계를 [그림 11]에 표시했다. 체류 시간 1~3시간에서 제거율은

높게 증가하고, 그 후 천천히 일정하게 되는 경향을 나타낸다.

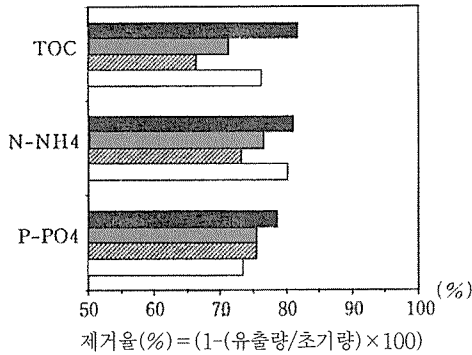
PoC는 부착·생식하는 다종다양한 생물종에 의해 수질의 자연 정화 작용을 촉진시키는 것이 가능하고, 구형상, 포트상 등의 PoC제품이 개발되고 있다.

3·4 흡음·차음

도로, 철도 등의 시설과 공장의 기계 설비 소음 대책으로 흡음재(파넬)이 사용된다.

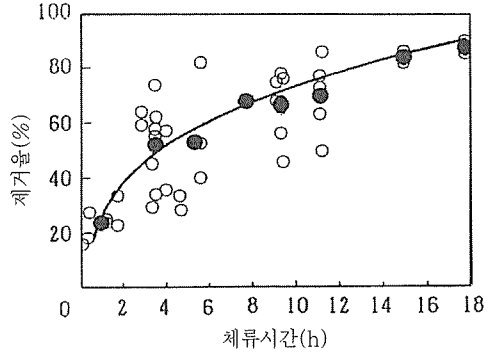
흡음재에는 재료의 외관에 의한 분류로 PoC 등 다공질 재료, 구멍판 구조체, 박막상 재료 및 판상 재료 등의 종류가 있지만, 다공질 재료의 흡음 영역 특징은 중고음역에서 우수하다는 것이다. 파라이트등 인공 경량 골재를 사용해서 경량화한 PoC는 강도, 내구성등이 우수한 흡음 재료라고 할 수 있다. 실제로는 그 외의 재료와 복합화해서 흡음과 차음 양성능을 갖는 방음벽으로 사용하는 경우가 있다.

용도로는 시설등의 외벽외에 슬래브 궤도면의 흡음재로서도 가능성이 있다. 신간선등에는 슬래브 궤도가 부설되어 있지만, 레일·차바퀴 사이에서 발생하는 소음이 높다는 것이 문제로 되고 있다. 이 경우에는 흡음 특성뿐만 아니라, 내구성 등도 요구된다.



(그림 10) 해수에 의한 방체 모델 통과후의 유기물 제거율¹¹⁾

- : 다공질 담체(중공구조), ▣ : 다공질 담체,
- ▨ : 쇄석, □ : 천연석



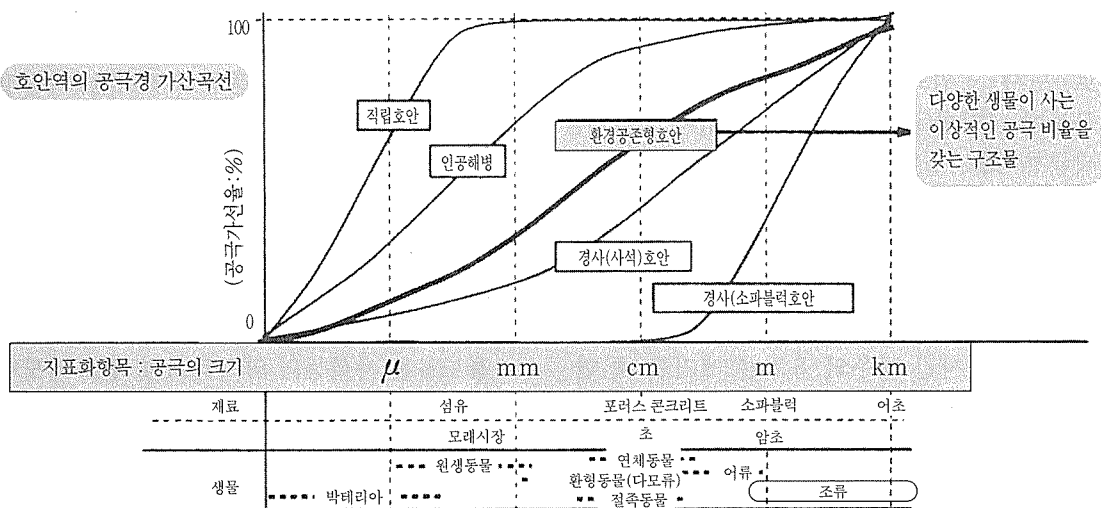
(그림 11) 하천수의 체류 시간과 BOD 제거율과의 관계¹²⁾

- : 평균치, ○ : 제거율

3.5 생물의 생식

잡는 어업에서 기르는 어업에의 전환 시점에서 각지에 인공어초의 조성등이 이루어지고 있다. PoC는 표면이 요철인 것과 다공질이기 때문에 해초의 양생과 번식이 양호해서, 인공어초와 인공해초장의 재료로서 주목받고 있다. 콘크리트의 종류, 공극율의 크기, 골재의 종류·최대 크기등을 변화시켜 제작한 콘

크리트 평판을 해역에 침설해서 해초의 양생 상태를 조사한 결과에서, 1년후의 직파율이 보통 콘크리트가 60%전후 인것에 비해 PoC에서는 100%전후로 해초의 양생이 대단히 양호한 상태로 나타났다¹³⁾. 또한 PoC는 해초 이외의 해양생물의 부착도 양호하기 때문에 인공어초와 인공해초장으로의 이용은 한층 유효하다. (그림 12)는 생태계에 배려한 해안구조물의 설계 조건의 지표율, 호안 형태의 공극



* 지표화의 항목으로, 공극 외에 수질(DO, N, P등), 형상, 건조 시간(조위), 빛, 흐름등이 인자로 생각된다.

(그림 12) 생물 환경에서 본 호안 형태 · 지표화 항목 : 공극의 크기¹¹⁾

크기로 표현한 것이다. 공극의 크기에 따라 생식하는 생물종이 틀리고, 다종다양한 생물종을 번식시키기 위해서는 크기가 틀린 공극을 어떻게 제작하는가에 그 중요성이 내포되어 있다.

IV. 결론

이상과 같이 PoC는 연속 공극을 갖는 다공질이기에 때문에, 보통 콘크리트에는 없는 특이한 기능을 가지고 있다. 이들 기능은 현재 해결책으로 긴급히 다루어져야 할 환경 문제에 대해 유효한 대책과 연결된다고 생각된다. 그러나, 보통 콘크리트에 비해 강도가 낮고, 내구성 저하등 아직 해결해야 할 문제도 있다.

자연 환경에 친숙한 에코 재료로서의 연구 개발이 기대된다.

참고문헌

- 1) (社)日本콘크리트工學協會, エココンクリート研究委員會報告, (1995).p.46.
- 2) 吉森和人, 藤原浩己, 伊藤修一, 岡本亭久, 下山善秀, 第49回セメント技術大會講演集, 768(1995).
- 3) 松川 澈, 玉井元治, 杉野守, 芦田 嚮, 콘크리트工學年次論文報告集, 18, 999(1996).
- 4) 河野 清, 天羽和夫, 木下義康, 入交一雄, 第49回セメント技術大會講演集, 134(1994).
- 5) 土質工學會, “土質工學ハンドブック”, 技報堂 (1982) p.69.
- 6) V.M.Malhotra, Jour.of ACI, 73, 628(1976).
- 7) 玉井元治, 田中光徳, セメント・コンクリート論文集 No.46, 892 (1992).
- 8) 稻原 博, 콘크리트工學, 32, 45(1994).
- 9) 玉井元治, 河合 章, 土木學會論文集, No 452/Ⅱ-20, 81(1992).
- 10) 近藤義春, 石丸 寛, 土木學會第49回年次學術講演會, 1290(1994).
- 11) 橋本宏治, 金子文夫, 友澤 孝, 大成建設技術研究所報第26號, 423(1993).
- 12) 伊藤昌昭, 近藤義春, 石丸 寛, 金子文夫, 自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現況と將來展望に關するシンポジウム論文報告集, 77(1995).
- 13) 天羽和夫, 河野 清, 自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現況と將來展望に關するシンポジウム論文報告集, 117(1995).
- 14) 金子文夫, 橋本宏治, 大谷英夫, 大成建設技術研究所報第28號, 369(1995).