

## 다공질 콘크리트를 이용한 식생용 콘크리트 특성

- 다공질 콘크리트의 물리화학적 특성을 중심으로 -

구본학<sup>1)</sup> · 김용규<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 혜천대학 · <sup>2)</sup> 일송환경복원

## The Properties of Concretes for Planting Vegetations Based on Porous Concretes

Koo, Bon-Hak<sup>1)</sup> and Kim, Yong-Kyu<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Landscape Architecture, Hyecheon College

<sup>2)</sup> Il Song CODRA Co., LTD.

### ABSTRACT

This study was carried out to find out the capability of applying such materials as porous concrete, could be called environmentally friendly materials, for bringing vegetations.

For verifying the purpose of the experiments such materials as potland cement and slag cement, coarse aggravates( $\phi$  25mm,  $\phi$  18mm,  $\phi$  13mm) were mixed. In the voids of porous concrete peatmoss and chemical fertilizers were filled, and on the surface of concrete organic soils were adhered for seeding grasses. For testing compressive strength, pH, voids the 12(4mixed  $\times$  3times) specimens were manufactured.

As results, the compressive strength of porous concretes were from 59 to 267kg/cm<sup>2</sup> depend on mixed ratios between cements and coarse aggregates. Voids of concrete were from 33% to 40% and the pH were varied pH 8-10.5. So the capability of planting vegetations was to be ascertained. The germination and growth of grasses were not good, but it could be found out that the capability of vegetations on the concretes.

For generalizing these results and applying on the construction sites, it is necessary to verificate following studies for various conditions.

Key words : *Porous Concrete, No-Fines Concrete, Concrete for Vegetation, Ecological Material, Environmentally Friendly*

### I. 서 론

조경 분야의 관심이 다양화되면서 식물재료 외에 목재, 석재, 콘크리트 등 물리적 재료가

다량으로 사용되기 시작하였고, 나아가 재료 및 공정에 대한 환경 영향을 강조하면서 친환경적인 재료에 대한 관심이 높아졌다. 특히 품질을 강조한 ISO9000시리즈에 이어 환경친화성을 강

조한 ISO14000시리즈에 대한 국제적 관심이 높아지면서 재료를 포함한 모든 공정에서 친환경적인 사고가 중요한 과제로 인식되고 있다.

21세기의 재료는 인류 활동권을 넓히고 활동환경을 확장(Frontier), 인류 활동권과 외부 환경과의 조화(Environmental), 활동권 중 생활환경에 풍요로움(Amenity) 등의 측면을 강조할 것으로 예상되며 이러한 재료를 친환경 재료 또는 생태적 재료(Eco-material : Environment conscious Materials)라 할 수 있다(水口裕之, 1998).

이러한 친환경 재료는 기능 또는 성능면에서 우수한 강도 및 내구성, 지니며, 환경조화성(지구환경과 생태계의 부하 감소·비재생 자원의 순환이용), 쾌적성(사람에게 친숙) 등을 특징으로 한다. 이에 따라 조경분야는 물론 건축, 토목 등 제반 건설분야에서도 설계기준이나 시방서를 통해 환경친화형 재료를 사용할 것을 의무화하거나 권장하고 있는 실정이다(한국조경학회, 1997).

구조물 축조에 대표적인 재료인 콘크리트는 두 가지 관점에서 비환경적인 재료로 간주되고 있다.

첫 번째 관점은 콘크리트라는 재료자체가 지닌 비환경성으로 콘크리트를 구성하는 시멘트의 경우 제조 과정 중 석회석의 분해과정에서 지구온난화의 원인물질로 알려진 이산화탄소와 산성비의 원인이 되는 황화합물(SO<sub>x</sub>)이 생성되며, 골재는 채취과정에서 채취장의 지형 및 하상 변화, 경관변화, 침식 등의 현상이 불가피하게 초래되며, 거푸집은 목재의 생산과정에서 수림을 파괴해야 하는 등 지구환경에의 부하를 증가시키게 된다.

두 번째 관점은 콘크리트 제품이 자연 환경에 설치될 때 나타나는 비환경성으로 콘크리트가 설치되면 공기, 물, 에너지 등의 순환과 생물의 이동도 불가능하게 되고 이는 곧 생물 서식처로서의 기능이 상실되는 것을 의미하기에 비환경적이고 비생태적이라 할 수 있다.

본 연구는 상기한 콘크리트 제품의 비환경성 중 두 번째 관점에서의 문제해결 방안을 제공하고자 하는 의도에서 수행되었다. 이와 관련된

연구로는 콘크리트 특성에 대한 岡本享久 等(1998), 堀口剛(1998)의 연구가 있으며, 식생도입에 대한 柳橋邦生(1998), 竹内憲正와 親林和生(1998), 그리고 일반적인 식생형 콘크리트에 대한 近藤三雄(1991), 玉井元治(1997, 1998), 水口裕之(1998) 등의 연구가 있다.

본 연구에서 다루는 식생 콘크리트는 자연 환경에 설치되는 콘크리트 제품에 친환경성을 부여하여 에너지, 공기, 물, 생물 등의 순환과 이동이 가능한 물론 식물이 직접 생육 가능하도록 고안된 것을 일컫는 것으로 본 연구는 식물이 생육 가능한 다공질의 식생콘크리트 제품 제조시 제품이 지녀야 하는 물리화학적·역학적 특성을 고찰하는데 그 목적을 두고 있다.

## II. 식생 콘크리트

水口裕之(1998)는 지구 환경부하의 저감에 기여함과 동시에 인류를 포함한 모든 생물과의 접촉에 생태학적 배려를 한 콘크리트를 에코콘크리트라 규정하고 이를 다시 환경부하저감형과 생물대응형으로 유형화하였다. 본 연구에서 다루고자 하는 식생콘크리트는 이 중 생물대응형으로서 식생 기반을 목표로 하는 유형이라 할 수 있다.

친환경재료로서의 식생콘크리트는 강도와 내구성은 기존의 콘크리트와 비슷한 성능을 지니면서 공기, 물 등의 물질이 소통함은 물론 식물의 뿌리가 이를 관통하여 원 지반에 식생 기반을 둘 수 있도록 하는 다공질(porous, no-fines)의 공극을 지닌 콘크리트와 생육기반재 등으로 구성된다.

다공질의 식생콘크리트는 가는 골재(모래)를 넣지 않은 상태에서 제조되는 것으로 기능적으로 상부의 식물 뿌리는 관통을 할 수 있으나 하부의 기반 물질은 배어 나오지 않아야 하며, 동시에 물, 공기, 기타 영양물질 등이 소통할 수 있는 공극의 확보가 중요한 관건이 된다. 그러나 이들 식물 뿌리와 물질의 소통을 위해 공극을 크게 하거나 공극율을 증가시키면 구조체로서의 강도를 잃게 되므로 적절한 공극율과 강도를 지니도록 하는 것이 무엇보다도 중요한

사항이다. 공극율과 강도의 관계는 서로 음의 관계를 지니고 있는 것으로 공극율이 높으면 강도는 떨어지고, 공극율을 낮추면 강도는 증가하나 식물이 성장하기에 필요한 공극 확보가 어렵게 되어 식생콘크리트로서의 기능을 상실하게 된다. 즉, 다공질의 식생콘크리트는 굵은 골재 주위를 결합재인 시멘트풀(cement paste)로써 결합시킨 콘크리트 구조체에 식생이 정착할 수 있도록 생육 기반을 조성한 것으로 다공질의 콘크리트와 식물 생육에 필요한 영양물질, 뿌리 지지를 위한 객토층 등으로 구성된다 고 할 수 있다(그림 1).

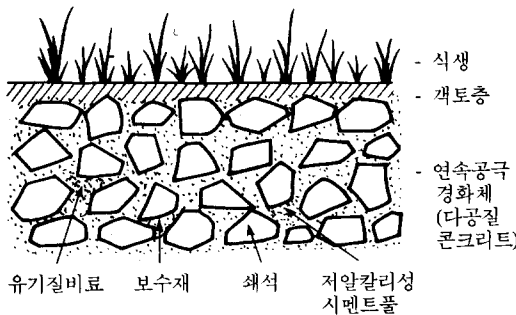


그림 1. 식생(그린)콘크리트의 구조

다공질 콘크리트는 공극의 확보와 더불어 공극이 지닌 특성이 중요하다. 다공질콘크리트가 식생콘크리트로 기능하기 위해서는 공극은 연속성과 불규칙성, 그리고 개방형을 확보하고 있어야 식생콘크리트로서의 기능을 수행할 수 있다(그림 2와 3).

▽ 연속공극

그림 2. 연속공극의 개념도

▽ 불규칙한 공극 구조

그림 3. 불규칙한 연속공극

공극의 연속성은 재론의 여지가 없이 식물뿌리가 관통하여야 하므로 공극은 연속적이 되어야 한다. 그러나 연속성만을 위해 공극이 일직선으로 조성되는 경우는 식생콘크리트의 배면에 물이 닿았다가 빠지면서 기반 물질이 함께 따라 나올 우려가 있고 이에 따른 지반 붕괴가 우려되기에 공극은 반드시 연속적이면서 동시에 불규칙적으로 연결이 되어야 배면의 물질이 유동매체와 더불어 이동하다가 중간에 차단되는 효과를 기대할 수 있다. 공극이 개방형이 되어야 하는 이유는 폐쇄형이 될 경우 식물 생육에 아무런 기능을 제공할 수 없기 때문이다.

식물이 생육하기 위해서는 외부적인 조건으로 빛, 수분, 온도 등이 필요하고 내부적으로는 생육에 적합한 영양물질이 요구된다. 식생콘크리트가 식물 생육의 공간이 되기 위해서는 공극을 통해 뿌리가 성장할 수 있도록 모양과 같은 지지효과를 지닌 물질로 충전하는 것이 요구된다. 다공질 콘크리트의 빈 공극이 충전되지 않은 상태는 식물의 뿌리 내림을 저해하게 되므로 빈 공극은 영양물질, 보수력 증진 등의 기능을 제공하는 물질로 충전되는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

이와같이 공극의 연속성, 불규칙성, 개방성을 확보한 다공질 콘크리트의 빈 공극을 보수력 증진, 영양물질 공급을 위한 재료로 충전한 후 다공질 콘크리트의 표면은 얇은 객토층을 취부, 또는 복토하는 것이 식생콘크리트가 조기에 녹화되도록 하는 방법이라 할 수 있다. 다공질의

식생콘크리트와 기존의 콘크리트를 녹화 측면에서 비교하면 다공질 콘크리트가 공극을 확보하고 식물 생육에 기반이 되는 재료로 충전되었다는 점에서 보다 양호한 조건을 지닌다고 할 수 있다. 그러나 조기에 녹화할 목적이라면 이들 만으로는 충분치 않고 식생콘크리트 위를 복토, 또는 생육보조재, 인공 토양 등으로 복토를 하는 것과 여기에 파종을 하는 것이 식물의 발아와 생장에 보다 유리한 환경이 조성된다고 할 수 있다.

반면에 시멘트에서 나타나는 알칼리성분과 뿌리가 성장할 수 있는 공간의 부족, 함수량 부족, 투수성, 보수성 부족, 영양물질의 부족 등이 문제점으로 제시될 수 있고, 구조체의 안정성을 확보할 수 있도록 역학적 조건을 만족해야 한다.

### III. 연구 방법

#### 1. 연구 일정

제1일차에는 콘크리트 공시체 및 식생기반이 될 콘크리트 슬래브를 제작하였다.

제7일에 공시체의 공극률 및 pH를 측정하였으며, 슬래브에 충전재를 충전하고 슬래브 및 대조구인 묘상에 잔디를 파종하였다.

제28일차에 공시체의 압축강도와 추출 용액의 pH를 측정하였다.

이후 지속적으로 관수 및 관리를 하면서 발아 및 생육상태를 확인하였다.

#### 2. 시험을 위한 기준

식생콘크리트의 성능을 판단하기 위한 시험에 필요한 항목으로는 구조체로서의 압축강도와 뿌리가 성장하기 위한 공극률(특히 연속공극률)이 필요하다(Table 1).

식생 콘크리트는 구조체라는 점에서 압축강도 80-145kg/cm<sup>2</sup>의 범위에 드는 것이 바람직하며, 뿌리의 성장을 위해서는 많은 공극률이 요구되나 강도를 감안할 때 통상 30% 내외가 요구된다. 또한 수소이온농도(pH)는 식물 생육을 위해 중성에 가까운 pH 5-8이 바람직하다.

#### 3. 다공질 콘크리트 제작

시험을 위한 공시체는 직경 10cm, 높이 20cm의 원기둥으로 각 배합별로 3개체씩 총 12개체를 제작하였다. 파종을 위한 슬래브는 가로, 세로 각 30cm×30cm, 두께 15cm로 제작하였다.

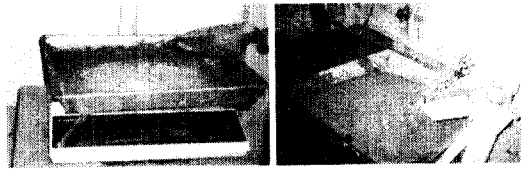


그림 4. 시멘트 계량

그림 5. 시멘트 배합

##### 1) 다공질 콘크리트 제조 배합비

배합비는 4종류로서 고로시멘트를 이용한 A배합은 시멘트 110kg/m<sup>3</sup>, 굵은 골재 1504kg/m<sup>3</sup>, B배합은 시멘트 160kg/m<sup>3</sup>, 굵은 골재 1440kg/m<sup>3</sup>으로 각각 배합하였고, 포틀랜드시멘트를 이용한 C배합은 시멘트 221kg/m<sup>3</sup>, 굵은 골재 1560kg/m<sup>3</sup>, D배합은 시멘트 225kg/m<sup>3</sup>, 굵은 골재 1540kg/m<sup>3</sup>으로 각각 배합하였다. 물시멘트비는 25%로 하였다.

결합재는 일반적으로 많이 사용되는 일반적인 것으로 알려진 고로시멘트를 사용하였고, 굵은 골재는 뿌리의 성장을 위한 공극을 확보하기 위해  $\phi$  25mm,  $\phi$  18mm,  $\phi$  13mm인 쇠석(비중 2.60)을 사용하였다.

Table 1. 다공질 콘크리트 시험항목(岡本享久 等, 1998)

목 적	용 도	항 목
물 제 어	빗물지하침투, 저류 재료	압축강도, 투수계수, 연속공극률
수질정화	폐쇄성 수역 등의 해수정화 재료	압축강도, 투수계수, 연속공극률
흡수, 방수	도로 등의 흡수재	압축강도, 연속공극률
식 생	녹화공법에 적용하기, 직접식재가능재	압축강도, 연속 공극

그림 6. 공시체 제작    그림 7. 제작된 공시체

그림 8. 슬래브 제작    9. 제작된 슬래브

## 2) 유기질 충전 및 표층 객토

슬래브 표면의 유기질 토양(상토)은 1-5cm 두께로 부착·복토하였으며, 그 위에 쉐터키블루그래스 종자를 배합A, B는 각 10g씩, 배합 C와 D는 양잔디 혼합종자(퍼레니얼라이그라스, 크리핑레드페스큐, 벤틀그라스, 터프타입톨레스큐)를 10g씩 파종하였다. 표면 유기질토양은 발아를 위한 기반이 되며 이후 성장과정에서 비료 공급원이 될 것이다.

슬래브 공극 사이에 실내에서 24시간 이상 음건시킨 충전재를 물에 용해시킨 후 슬래브에 부어 흘러 들어가게 하였다. 충전재로는 약산성 유기질 보수재인 피트모스 단일, 피트모스+복합비료(1:1)를 각각 채웠다.

종자 파종 후 발아를 촉진하기 위해 비닐로 덮어 주고 매일 물을 공급하였다.

그림 10. 식생기반재(표층객토) 부착

## 4. 대조구

녹화용 콘크리트에 파종한 종자의 발아율을 비교하기 위하여 토양 및 토양+피트모스(3:1)로 각각 묘상을 제작하여 쉐터키블루그래스 및 혼합종자를 파종하였다.

토양특성을 파악하기 위해 입도 및 화학성을 분석하였다. 풍진 토양과 증류수를 1:5로 섞어 1시간 동안 진탕한 다음 여과하여 측정하였고, 분석 성분은 pH, EC, 유효인산, 염농도 등이었다.

대조구 시료1은 전기전도도(E.C.)는 36mS/cm, pH 7 이었다. 시료2는 전기전도도 774mS/cm, pH 5.8, 염분농도 0.03% 이었다

그림 11. 대조구

## 5. 압축강도 시험

압축강도 측정은 레미콘 공장에서 시험실 당자의 도움을 받아 연구자가 직접 수행하였다.

공시체의 양단면을 캐핑 후 만능시험기로 측정하였다.

## 6. 공극률시험

전공극률은 중량법으로 측정하였다.

## IV. 결과 및 고찰

## 1. 다공질 콘크리트

## 1) 압축강도

제작된 공시체의 압축강도(28일 강도)를 측정한 결과 A배합은 각각 104kg/cm<sup>2</sup>, 116kg/cm<sup>2</sup>,

Table 2. 식생 콘크리트 제작 (다공질콘크리트, 충전, 복토, 파종, 양생)

구 분	재료 및 규격	고로시멘트		보통포틀랜드시멘트	
		배합 A	배합 B	배합 C	배합 D
다 공 질 콘크리트 (kg/m <sup>3</sup> )	결합재(시멘트)	110	160	221	225
	굵은 골재	1,504 (25mm 쇄석)	1,440 (25mm 쇄석)	1,560 (19mm 쇄석)	1,540 (13mm 쇄석)
	물	27.5	40	54.1	55
	물시멘트 비	25%	25%	25%	25%
충진재	피트모스 / 피트모스 + 복합비료				
복토재	유기질토양 1cm		유기질 토양 1~5cm		
식물종자	10g/m <sup>2</sup>	켄터키 블루 그라스		혼합종자 4종	
수분공급	1회/일	매일 1회 충분히 공급			

Table 3. 각 배합별 특성

구 분	A배합			B배합			C배합			D배합		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )	104	116	148	229	267	209	85	75	102	87	59	115
공극율(%)	33			35			40			38		
pH	8.9 (28일)			9.5 (28일)			10.1 (7일)			10.5 (7일)		
생장량(줄기부cm)	4.2			3.5			8.4			7.9		

148kg/cm<sup>2</sup>로 나타났고, B배합은 각각 229kg/cm<sup>2</sup>, 267kg/cm<sup>2</sup>, 209kg/cm<sup>2</sup>, C배합은 85kg/cm<sup>2</sup>, 75kg/cm<sup>2</sup>, 102kg/cm<sup>2</sup>, D배합은 87kg/cm<sup>2</sup>, 59kg/cm<sup>2</sup>, 115kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

일반적인 구조체로서는 적절한 강도는 아니지만 구조체에 대한 보조재료나 특별히 하중 등이 문제되지 않는 구조물에는 도입이 가능한 것으로 판단된다.

2) 산도

추출용액의 산도는 약한 알칼리성인 pH8.9-10.5의 범위를 나타내었다. 산도의 경우 시간의 경과에 따라 점차 감소할 것으로 판단되며, 본 연구에서도 Table 3에 나타난 바와 같이 7일 측정치인 C, D의 pH값보다 28일 측정치인 A, B의 측정값이 낮았고, 이러한 차이는 결합재의 차이일 가능성과 함께 시간의 흐름에 따른 차이라고 판단된다. 따라서 산도는 점차 낮아질 것으로 예상되며 식생의 생장에 결정적인 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

3) 공극률

성형된 블록 및 공극의 상태는 그림 13과 같으며, 공극률은 35%-40%의 범위로 나타났다.

구조용 콘크리트의 압축강도가 일반적으로 240kg/cm<sup>2</sup>이고 하천에 사용되는 호안 블록의 압축강도가 80kg/cm<sup>2</sup>인 것을 감안하면 본 다공질

그림 12. 공사체 결과(A, B 배합)

콘크리트는 심한 하중을 받는 구조적으로 중요한 구조물이 아닌 경우 도입 가능성이 있는 것으로 판단되며, 자연형 하천의 호안, 토암을 적게 받는 옹벽이나 담장, 기타 하중을 직접 받지 않는 구조물 등에 유용하게 도입될 수 있을 것으로 판단된다.

그림 15. 식생 성장 상태(배합 C, D)

그림 13. 블록성형 및 공극

## 2. 식물 발아 및 생장

그림에서 나타난 바와 같이 파종 4주 후의 식물 생장 상태는 배합 A, B(그림 14)의 경우는 대조구(그림 16)에 비해 현저히 불량한 상태이나, 배합 C, D(그림 15)의 경우 매우 양호한 것으로 나타났다.

이러한 생장 차이가 배합비의 차이에서 온 것인지 아니면 종자의 상태가 일정치 않은 것에서 오는 차이인지는 이번 실험에서 밝혀지지 않았으나, 콘크리트라는 점을 감안하면 식생 도입의 가능성이 있다고 판단할 수 있다. 따라

그림 16. 대조구 발아 현황

서 식생의 발아율 및 생장량에 대한 건중량 측정을 비롯한 심층적인 후속 연구가 필요하다.

## 3. 결론

본 연구는 콘크리트와 같은 인공 구조물에 식생을 도입하기 위한 환경친화적 재료로서 다공질 콘크리트를 구조체로 하는 식생콘크리트의 가능성을 확인하기 위해 수행되었다.

연구결과 구조체로서 가장 중요한 요소인 압축강도는 콘크리트 배합비에 따라 59-267kg/cm<sup>2</sup>으로 나타나 특별한 하중을 받는 중요한 구조체 외에 하천, 비내력벽, 담장·벽체 등의 보조재, 옥상, 방음울타리 등에 도입 가능한 것으로 나타났다.

식생의 생육에 영향을 주는 공극률과 산도(pH)는 각각 33-40% 및 pH8-10.5로 나타났다. 산도가 약간 높았으나 이는 시간의 경과에 따라

그림 14. 공극 및 색생 현황(배합 A, B)

적정한 산도로 저하될 것으로 판단되며 식생에 결정적인 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다. 공극률의 경우 연속공극률의 측정 방법이 현재로서는 곤란하며, 다만 블록의 상단부에서 물을 부었을 때 물이 투과하는 것을 보면, 그리고 투과하는 양상이 블록의 중간에 물을 부어도 블록의 옆면으로 물이 흘러나오지 않고 곧바로 투과되는 것을 보면서 연속공극이 형성되었다는 것을 유추할 수 있었다.

표면에 살포된 종자의 발아 및 생육상태는 대조구인 묘상보다는 좋지 않았지만, 전면에 고무 발아되어 식생의 정착 가능성도 확인되었다.

본 연구가 지닌 한계로서 본 연구는 현장에서 이루어진 것이 아니라 제한된 조건의 실험실 내에서 이루어진 것이며, 또한 비교적 발아가 쉬운 종자를 대상으로 이루어졌으며, 콘크리트 제품으로서의 성형성도 낮았다. 또한 본 연구가 식생의 발아 및 생육을 주목적으로 이루어진 것이 아니었고 단지 가능성을 확인하기 위한 목적이었다는 점에서 본 결과를 일반화하고 시공현장에 도입하려면 다양한 환경에서 다양한 식생을 대상으로 한 심층적인 후속연구와 연속공극률의 정확한 측정방법의 도입·적용이 필요하다고 할 수 있다.

## V. 인용문헌

1. 한국조경학회. 1996. 조경공사 표준 시방서. 한국조경학회.
2. 한국조경학회. 1997. 조경설계기준. 한국수자원공사.
3. 한국조경학회. 1997. 조경공사 기준 시방서. 한국수자원공사.
4. 한국조경학회. 1999. 조경설계기준. 한국조경학회(발간예정).
5. 岡本享久·安田登·増井直樹·佐藤文則. 1998. ポーラスコンクリートの製造・物性・試験方法. コンクリート工學(36) : pp.52-62. 日本コンクリート工學協會.
6. 近藤三雄. 1991. 最新 緑花工法・資材便覧 : 花と緑と土への新しい發想と技術. Tokyo : ソフトサイエンス社.
7. 金子文夫·片倉徳男·岡田美穂. 1998. エココンクリートによる水質淨化. コンクリート工學(36) : pp.46-48. 日本コンクリート工學協會.
8. 藤井卓. 1998. エココンクリートと ISO14000. 콘크리트工學(36) : pp.13-15. 日本コンクリート工學協會.
9. 柳橋邦生. 1998. 植生型エココンクリート. 콘크리트工學(36) : pp.28-31. 日本コンクリート工學協會.
10. 水口裕之. 1998. エココンクリートとは. 콘크리트工學(36) : pp.9-12. 日本コンクリート工學協會.
11. 玉井元治. 1997. 콘크리트 재료. 주택기술정보(77) : pp.97-115. 대한주택공사.
12. 玉井元治. 1998. エココンクリートの將來展望. 콘크리트工學(36) : pp.49-51. 日本コンクリート工學協會.
13. 酒井寛二. 1998. 地球環境問題とコンクリート. 콘크리트工學(36) : pp.6-8. 日本コンクリート工學協會.
14. 竹内憲正·親林和生. 1998. 植生型エココンクリートの實施例. 콘크리트工學(36) : pp.32-36. 日本コンクリート工學協會.
15. 天羽和夫. 1998. 海洋生物對應型エココンクリートの實施例. 콘크리트工學(36) : pp.39-41. 日本コンクリート工學協會.
16. 堀口剛. 1998. モルタル・コンクリートと緑化. 緑を創る植栽基盤 : -その整備手法と適應事例. 興水, 吉田 編. 東京 : Soft Science. pp.290-300.

接受 1999年 6月 3日