

## 폐석과 석분을 사용한 식생 콘크리트의 특성

### Characteristics of Plantable Concrete Using Waste Stone and Stone Dust

성 찬 용\* · 윤 준 노\*\*

Sung, Chan Yong · Youn, Joon No

#### Abstract

This study is performed to evaluate characteristics of plantable concrete using waste stone and stone dust. The test result shows that the void ratio is decreased as the size of waste stone smaller and the content of stone dust increased. The strength of neutralized plantable concrete is decreased by approximately 4~5% than that of the normal plantable concrete. The reduction effect of pH value is achieved by chemical treatment. Also, the plant is grown well with increase of the void ratio and size of waste stone.

*Keywords* : Plantable concrete, Void ratio, Compressive strength, pH, Planting state

#### I. 서 론

콘크리트는 사회기반 산업인 토목과 건축 구조물에 사용되어 경제와 문화 발전에 크게 공헌해 왔다. 그러나 대부분의 콘크리트는 불투수성으로서 우수가 일시적으로 하천에 유입되어 대규모의 하천 범람이 빈번하게 발생되고 있으며, 지하수의 고갈을 초래하여 지중 생태계에 악영향을 미치는 등 환경파괴의 원인이 되고 있다. 또한, 생태계의 단절 및 파괴를 가져와 그에 따른 소동물, 곤충 등의 먹

이사슬이 단절되는 등 자연환경이 훼손되고 있기 때문에 불투수성의 콘크리트를 다공질화하여 콘크리트 자체로 투수성, 수질정화, 식재 등의 기능을 갖춘 환경친화적인 포러스 콘크리트의 연구가 진행 중에 있다.<sup>4)</sup>

한편, 콘크리트 제조 과정에서 시멘트, 골재 등의 원재료 채취 및 시멘트의 제조시 이산화탄소의 배출과 같은 환경문제가 발생하기 때문에 산업생산활동에서 부산되어지는 부산물의 활용이 증가하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 환경친화적인 식생콘크리트를 개발하기 위하여 폐석과 석분을 혼합한 식생 콘크리트의 공극률, 압축강도, 알칼리 농도, 식생상태를 구명하여 성능이 우수한 식생콘크리트를 개발 하는데 그 목적이 있다.

\* 충남대학교 농업생명과학대학

\*\* 충남대학교 대학원

\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

fax: +82-42-823-8050

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 폐 석

대전지역에서 생산되는 표면건조포화상태의 폐석을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties of coarse aggregate

Item	Size (mm)	Fineness modulus	Unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio(%)
Waste stone	5~10	6.00	1.458	2.66	0.64
	5~20	6.50	1.448		
	10~20	7.00	1.392		

#### 나. 석 분

표면건조포화상태의 편마암 석분을 사용하였으며, 이의 물리적 성질과 화학성분은 Table 2, 3과 같다.

Table 2 Physical properties of stone dust

Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Specific surface (Blain) (cm <sup>2</sup> /g)	Unit weight (t/m <sup>3</sup> )
0.595 >	2.66	3.054	1.682

Table 3 Chemical compositions of stone dust

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Ig.loss
73.40	11.30	4.77	3.00	3.63	0.25	0.98	0.61

#### 다. 시멘트

S회사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학성분은 Table 4와 같다.

Table 4 Chemical compositions of normal portland cement (Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

#### 라. 고성능 감수제

시멘트 콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 고성능 감수제를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 5과 같다.

Table 5 General properties of super plasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Principal ingredient	Unit weight (t/m <sup>3</sup> )
1.22±0.05	7.0±1.0	Dark brown liquid	Naphthalene sulphonate	1.200

#### 마. 이인산암모늄

시멘트 콘크리트는 강알칼리성이기 때문에 식물이 잘 자랄 수 없다. 따라서, 식생콘크리트는 중성화 처리를 하여 사용하여야 하는데,<sup>5)</sup> 중성화 처리제는 여러가지가 있으나 가격이 저렴하고 구입이 용이한 이인산암모늄((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 순도 99.1%, pH 8.14)을 사용하였다.

#### 바. 모 래

모래는 부식토와 마사토가 혼합된 식생토 표면이 강수에 의하여 유실되는 것을 방지하기 위하여 입경이 0.15~5.0 mm 이하, 단위중량이 1.225 g/cm<sup>3</sup>인 것을 사용하였다.

#### 사. 부식토

식생콘크리트에 사용한 부식토는 pH 5.86이고 단위중량이 0.33 g/cm<sup>3</sup>인 독일제 KLASMANN을 건조하여 입경이 0.150 mm 이하로 분쇄한 후 사용하였다.

#### 아. 마사토

식생콘크리트에 사용한 마사토는 공기의 유통을 원활히 하기 위하여 입경이 0.15~5 mm 인 것을 사용하였다.

#### 자. 배양토 제조

식물이 생육하기 위해서는 적절한 수분과 영양분

의 확보가 필수적이므로, 식생콘크리트에서는 공극 내에 보수성 재료와 영양분을 충전하여 식생콘크리트 내부에 진입한 식물의 뿌리에 수분과 영양분을 공급해 주어야 한다. 본 실험에 사용한 배양토는 부식토와 마사토를 부피비 5:5로 배합하여 제조하였다.

차. 식생 종류

식생 종류는 식물의 크기가 0.5 m 이하인 양잔디(Perennial Rye Grass), 0.5~1.0 m 사이의 비수리(Lespedeza Cuneata), 1.5~2.5 m 정도되는 참싸리(Lespedeza Bicolor) 등 3종류를 택하였다.<sup>6)</sup>

2. 공시체 제작

가. 배합설계

식생 콘크리트 배합시 가장 중요한 것은 식물이 자랄 수 있는 공극이며, 이는 골재의 입도, 결합재의 사용량, 다짐의 정도, 결합재에 의한 골재나 충전재의 피복정도에 따라 큰 영향을 준다.<sup>2,3,6,7)</sup> 또한, 자연환경이 조성된 후에는 인공적인 구조물인 식생콘크리트가 식생 성장에 따라 자연적으로 파쇄되어 원지반에 식물이 고착하여 자연적인 사면을 이룰 수 있도록 목표강도  $f_{28}$ 을 40 kgf/cm<sup>2</sup>로 하였으며, 고성능 감수제는 시멘트의 분산효과와 점착력을 증가시키기 위하여 시멘트 중량의 1%를 첨가하였고, 석분은 총 결합재량의 0%, 10%, 20%를 첨가하여 Table 6과 같이 배합설계를 하였다.

나. 식생콘크리트 제작 및 양생

식생콘크리트는 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 20×40×4 cm로 제작하였으며, 혼합방법은 골재와 시멘트를 혼합하여 건비빔을 30초 동안 한 후 물과 고성능 감수제와의 혼합수를 투입하여 90초 동안 비빔 후, 믹서로부터 혼합된 재료를 240 rpm인 진동기 위에 몰드를 올려 놓은 상태로 60초간 진동을 주어

가며 제작하였고, 몰드에 타설된 공시체는 24시간 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생, 기건양생, 야외폭로양생을 하였다.

Table 6 Mix design of plantable concrete

(Unit : wt. kg/m<sup>3</sup>)

Mix type	Waste stone size (mm)	Cement	Stone dust	Waste stone	Super plasticizer	Water	W/B (%)
SPB0-1	5~10	148	-	1,342	1.480	35.5	24
SPB0-2	5~20	146	-	1,318	1.460	33.6	23
SPB0-3	10~20	140	-	1,261	1.400	32.2	23
SPB1-1	5~10	150	16.7	1,356	1.500	41.7	25
SPB1-2	5~20	147	16.3	1,329	1.470	39.2	24
SPB1-3	10~20	144	16.0	1,299	1.440	36.8	23
SPB2-1	5~10	149	37.3	1,353	1.490	46.6	25
SPB2-2	5~20	147	36.8	1,329	1.470	46.0	25
SPB2-3	10~20	143	35.8	1,292	1.430	42.9	24

\* W/B : Water / (Cement + Stone dust)

다. 식생콘크리트의 중성화 처리

식생에 적합한 pH가 5~8(최대 9.5) 정도이므로 식생콘크리트는 중성화 처리를 하여 사용하여야 한다.<sup>1,4,8)</sup> 중성화 처리방법은 시험체를 타설 1일 후 탈형하여 재령 14일까지 13일간 수중양생(23±1℃)를 한 후 1일 동안 실내에서 기건양생하여 표면건조포화상태를 만든다. 표면건조포화상태의 시험체를 이인산암모늄 10% 용액<sup>5)</sup>에 10분간 침지시킨 후 실내에서 1일 동안 기건양생하고 다시 12일 동안 야외에서 폭로양생 한 다음, 1일 동안 실내에서 기건양생시켜 총재령 29일에 식생콘크리트 중성화 처리를 완료하였다.

라. 배양토 충전

Fig. 1과 같이 식생 상자 속에 하층배양토를 5 cm 정도 깔은 후 그 위에 재령 29일된 식생콘크

리트를 240 rpm의 진동기 위에 올려놓은 상태로 건식 충전법을 사용하여 60초간 진동을 가하여 배양토가 공극 사이로 스며들게 한 후<sup>1)</sup> 씨를 뿌리고, 표층배양토를 4 cm 복토한 후 모래를 0.5 cm 깔아 배양토 충전을 완성하였으며, 식생상자 주위에 5 cm 간격으로 직경 5 mm의 구멍을 내어 공기의 원활한 소통을 도모하였다.

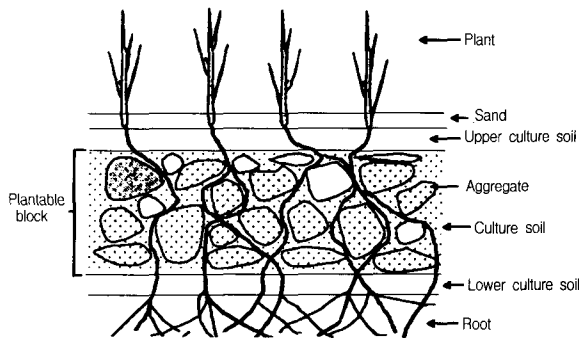


Fig. 1 Schematic drawing of plantable block

### 3. 시험방법

#### 가. 공극률시험

공극률시험은  $\phi 75 \times 150$  mm인 시험체를 일본 콘크리트공학협회 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트의 공극률 시험방법(안)<sup>8)</sup> 중 용적법에 준하여 재령 28일에 다음 식으로 산출하였다.

$$P_0 = \left\{ 1 - \frac{W_2 - W_1}{V} \right\} \times 100$$

- 여기서,  $P_0$  = 콘크리트의 공극률(%)  
 $W_1$  = 공시체의 수중중량(g)  
 $W_2$  = 24시간 방치 후 기건중량(g)  
 $V$  = 시험체의 용적 (cm<sup>3</sup>)

#### 나. 강도시험

압축강도시험은  $\phi 75 \times 150$  mm 시험체를 제작

하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 재령 28일에 측정하였다.

#### 다. 알칼리농도시험

시멘트는 물과 반응하여 고알칼리의 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)을 생성하게 되는데 식물에는 해로운 작용을 하게 된다. 그러므로 식생콘크리트에서는 알칼리농도를 측정하여 식생에 적합하도록 처리하는 것이 중요하다. 알칼리농도 변화를 측정하기 위하여 수중양생, 중성화 약품처리, 야외폭로양생의 3단계 처리방법을 순차적으로 실행하였으며, 재령 1, 14, 16, 28일에 시험체를 증류수에 1일간 침지한 후 pH를 측정하였다.

#### 라. 식생시험

식생시험은 석분을 20% 첨가한 식생콘크리트를 택하였으며, 현장과 가장 유사하게 야외에서 실시하였다. 또한, 햇빛과 바람은 통할 수 있고, 초기에 폭우 피해를 막기 위하여 식생상자 표면으로부터 1~2 m 높이로 경사지게 비닐막을 설치하였으며, 표층배양토가 너무 건조하지 않도록 2~3일 간격으로 물을 주었고, 1주 간격으로 3종류의 식생크기를 측정하여 식생상태를 비교하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 공극률

씨앗이 발아해서 뿌리를 내리고 성장하기 위해서는 대체적으로 공극률이 20~30%가 필요하다.<sup>8)</sup> 골재의 입경과 충전재의 첨가량에 따른 공극률은 Table 7에서 보는 바와 같이 25.8~27.9%의 범위로 나타나 식생이 가능한 공극을 보유한 것으로 나타났다. 골재의 입경이 작은 시험체의 공극률이 큰 경우의 시험체보다 석분의 첨가량에 따라 공극률의 변화가 크게 나타났다. 또한, 공극률은 2% 정도의 작은 차이로 나타났으며, 각각의 공극 크기는

Table 7 Test results of plantable concrete

Mix type	Void ratio (%)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		pH value by ages (days)					
		Normal	Neutralized	Normal				Neutralized	
				2	15	17	29	17	29
SPB0-1	27.0	66.8	64.1	12.65	11.39	11.38	10.78	9.45	9.36
SPB0-2	27.4	61.4	61.0	12.63	11.37	11.34	10.70	9.38	9.31
SPB0-3	27.9	51.1	50.3	12.50	11.22	11.21	10.54	9.25	9.18
SPB1-1	26.3	67.0	65.2	12.45	11.15	11.12	10.46	9.18	9.15
SPB1-2	26.9	64.8	61.8	12.35	11.14	11.10	10.45	9.14	9.12
SPB1-3	27.8	54.3	52.0	12.31	11.09	11.05	10.43	9.10	9.08
SPB2-1	25.8	76.7	72.4	12.14	10.95	10.72	10.31	9.08	9.07
SPB2-2	26.5	66.5	63.8	12.00	10.85	10.65	10.23	9.05	9.04
SPB2-3	27.3	58.8	55.3	11.98	10.76	10.55	10.12	9.04	9.02

골재의 입경이 작을수록 작은 것으로 알려져 있으므로,<sup>7)</sup> 식생종류에 따른 골재의 입경 선정이 매우 중요하다 하겠다.

## 2. 강도

식생콘크리트의 강도는 시멘트 페이스트의 양, 공극률, 물-시멘트비, 배합조건 등에 의해 많은 영향을 받는다. 특히, 시멘트 페이스트의 양과 물-시멘트비는 식생콘크리트의 알칼리농도와 공극률을 결정하는 중요한 요소로서 배합설계에 중요한 인자라 할 수 있으며 배합비별 압축강도 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

압축강도는 보통 시멘트 콘크리트와 중성화 처리한 시멘트 콘크리트에서 각각 51.1~76.7 kgf/cm<sup>2</sup>와 50.3~72.4 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타났으며, 식생이 진행되면 자연 파쇄되어 식물이 원지반에 고착될 수 있는 목표강도 40kgf/cm<sup>24)</sup>를 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 골재의 입경이 작을수록 석분의 첨가량이 증가할수록 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 골재의 입경이 작을수록 골재가 형성하는 공극의 크기가 상대적으로 작고 접촉하는 면의 수가 증가하기 때문이라 생각되며, 동일한 골

재의 입경에서도 석분의 첨가량이 증가함에 따라 강도가 증가하는 현상을 나타내었다.

또한, 중성화 처리를 한 시험체는 중성화 처리를 하지 않고 폭로시험을 한 시험체의 강도에 비하여 95~96%로 중성화 처리를 한 것이 작게 나타났으나 강도 감소가 4~5% 정도로 작아 중성화가 시멘트의 강도 발현에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다.

## 3. 알칼리 농도

시멘트의 수화반응에 의해 만들어지는 강알칼리 성분은 철근의 부식을 방지하는 역할을 하지만 식물의 생육을 위해서는 중성화처리를 하여야 한다. 다공성 콘크리트의 초기 알칼리 저감 대책으로는 수중에서 알칼리 성분의 용출을 촉진시키는 수중양생, 공기중의 CO<sub>2</sub>와 반응을 하여 중성화시키는 기중폭로 그리고, 알칼리 성분의 용출을 억제하기 위해 이인산암모늄, 황산제2철 등의 화학약품을 사용하는 약품처리가 있다.<sup>1,5)</sup> 중성화 처리 한 것과 안한 식생콘크리트의 알칼리농도 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 수중에서 13일간

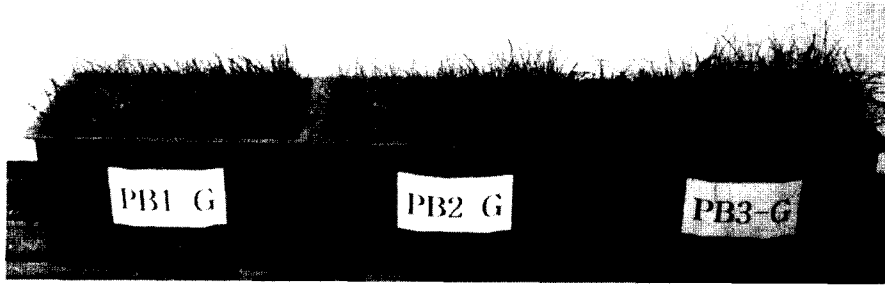


Photo 1 Planting state of perennial rye grass

용출시킨 후 측정된 pH는 1.1~1.3 정도 저하된 것으로 나타났으며, 모든 공시체에서 감소 비율이 비슷하게 나타나 수중에서의 용출은 충전재인 석분의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 재령 14일에 비하여 재령 16일의 pH는 중성화 처리를 안하고 야외폭로양생한 공시체는 0.01~0.23 정도로 극히 미소하게 감소하였으며, 중성화 처리한 공시체에서는 1.72~2.00 정도 저하된 것으로 나타나 중성화 처리제의 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한, 재령 16일에 비하여 재령 28일의 pH는 중성화 처리를 한 공시체는 0.01~0.09 정도 감소한 반면, 중성화 처리를 안하고 야외폭로양생한 공시체는 0.41~0.67 정도 감소하여 야외폭로 시험한 것이 효과가 크게 나타났다.

한편, pH는 골재의 입경이 클수록 석분 첨가량이 많을수록 작게 나타났으며, 야외폭로양생한 것보다 중성화 처리를 한 공시체에서 작게 나타났다.

따라서, 식생콘크리트의 중성화는 약품처리, 수중양생, 야외폭로양생 순으로 효과가 크게 나타났는데, 이는 식생콘크리트의 제작시 현장에 설치될 공사기간에 따라 경제적인 중성화 방법을 선택하는 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 식생시험

식물의 성장은 뿌리를 내리고 성장할 수 있는 공간의 확보와 적절한 양분의 공급이 필요하다. 이러한 환경을 인위적으로 확보할 수 있도록 제작한 식

생콘크리트에서는 무엇보다도 콘크리트 내부에 일정한 공극이 있어야 한다.<sup>8)</sup>

Table 8에서 보는 바와 같이 모든 식물이 파종 1주 후부터 발아하였으며, 양잔디(perennial rye grass)가 참싸리(lespedeza bicolar)와 비수리(lespedeza cuneata)에 비하여 월등하게 잘 자란 것을 알 수 있다. 또한 초기생육에서도 양잔디는 발아후 1주일 동안 빠른 성장을 보여 식생콘크리트의 조성 후 초기 녹화에 양잔디가 적절할 것으로 생각된다. 한편, Photo 1은 파종 2주일에서의 양잔디의 식생상태를 나타낸 것으로 공극이 가장 큰 PB3에서 양잔디가 가장 잘 자란 것을 볼 수 있는데, 이는 식물이 동일 조건에서도 공극의 차이로 인해 식생의 정도가 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

Table 8 Comparison of length of plants

(Unit : cm)

Plant	Mix type	Weeks						
		1	2	3	4	5	6	7
Perennial rye grass	PB1	0	5.5	8.2	13.4	14.4	15.9	16.7
	PB2	0	6.0	8.4	13.4	14.9	16.1	16.9
	PB3	0	7.5	10.2	15.2	16.6	17.7	18.2
Lespedeza bicolar	PB1	0	1.3	2.2	3.5	4.0	4.4	4.5
	PB2	0	1.1	2.0	3.0	3.3	3.8	3.8
	PB3	0	1.3	2.6	3.5	4.8	5.1	5.1
Lespedeza cuneata	PB1	0	0.1	0.6	1.0	1.1	1.2	1.2
	PB2	0	0.4	1.1	1.3	1.4	1.8	1.8
	PB3	0	0.3	0.9	1.1	1.2	1.4	1.4

\* Waste stone size - PB1 : 5~10mm, PB2 : 5~20mm, PB3 : 10~20mm

#### IV. 결 론

이 연구는 폐석과 석분을 사용한 식생콘크리트의 식생특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공극률은 25.8~27.9%의 범위로 식생이 가능한 공극을 보유한 것으로 나타났으며, 골재의 입경이 클수록, 석분의 첨가량이 적을수록 공극률이 크게 나타나, 식생종류에 따른 골재의 입경 선정이 매우 중요하다 하겠다.

2. 압축강도는 50.3~76.7 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타났다. 골재의 입경이 작을수록 석분의 첨가량이 증가할수록 강도는 증가한 것으로 나타났고, 중성화 처리한 시험체가 안한 시험체보다 4~5% 정도 낮게 나타났다.

3. 중성화는 약품처리, 수중양생, 야외폭로양생 순으로 효과가 크게 나타났으며, 식생콘크리트의 중성화 방법은 식생기간과 경제성을 고려하여 선정하여야 할 것이다.

4. 식생콘크리트에서의 생육상태는 모두 양호한 것으로 나타났으며, 그 중에서도 초기에 양잔디의 생육이 가장 좋은 것으로 나타났다. 또한 동일한 식물에서도 대체적으로 공극률과 골재의 입경이 큰 식생콘크리트가 생육에 유리한 것으로 나타났다.

본 논문은 2001년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

#### References

1. Kim, J. C., K. S. Kim, K. I. Choi and H. K. Oh. 1996. The fundamental properties and planting experiments on the concrete with continuous voids. *Proceedings of the Korea Concrete Institute* 8(1) : 153-159. (in Korean)
2. Sung, C. Y. 1996. An experimental study on the mechanical properties of permeable polymer concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 38(5) : 95-105. (in Korean)
3. Sung, C. Y. and Y. K. Han. 1999. Physical and mechanical properties of permeable polymer concrete with fly ash and CaCO<sub>3</sub>. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(2) : 104-110. (in Korean)
4. Lee, S. H. and E. K. Kim. 2000. A review of environment conscious concrete. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 12(5) : 17-22. (in Korean)
5. Choi, L. and J. C. Kim. 1998. ECO-Concrete. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 10(6) : 11-21. (in Korean)
6. Neville, A. M. 1995. *Properties of Concrete*. 4th Edition. Wesley Longman Limited. London.
7. Mehta, P. K. 1993. *Concrete : structure, properties and materials*. 2nd Edition. Prentice-Hall Inc.
8. Japan Concrete Institute. 1995. ECO-Concrete research committee report. *Japan Concrete Institute*. Tokyo. (in Japanese)