



## 친환경 기능성 콘크리트의 공학적 성능평가 및 현장적용성능에 관한 실험적 연구

이병재<sup>1)</sup> · 박승범<sup>1)</sup> · 김윤용<sup>1)</sup> · 장영일<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 토목공학과 <sup>2)</sup>충남대학교 건설공학교육과

### Experimental Study on Engineering Performance Evaluation and Field Performance of Environmentally Friendly Functional Concrete

Byung-Jae Lee,<sup>1)</sup> Seong-Bum Park,<sup>1)</sup> Yun-Yong Kim,<sup>1)</sup> and Young-Il Jang<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Construction Engineering Education, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**ABSTRACT** In this study, the physical, mechanical, structural, and environmental performances based on field measured data were evaluated to check the suitability of concrete for ecological preservation and cultivation of a hydrophilic environment. More specifically, the study is focused on developing an environmentally friendly functional concrete with river ecology restoration and natural river early formation capabilities. The mechanical performance evaluation results showed that the increase in mix rate of the PVA (Poly Vinyl Alcohol) reinforcement fibers and silica fume caused an increase in the strength. The optimal mix rate was found to be 0.05 volume % PVA fiber and approximately 10% silica fume. The frost resistance evaluation showed that superior performance was gained when 0.05 volume % PVA fiber and 15% silica fume was mixed simultaneously. In the structural performance evaluation, the bending strength was improved by 47.7% compared to plain concrete when mixed with 0.05 volume % PVA fiber. The flexural toughness also saw significant improvement. The environmental monitoring of field performance showed that grasses germinated most rapidly, but the growth of red poppies, a plant that germinates in the spring, was most active with passing of time. Coverage measurements in all of the monitoring locations found favorable coverage of over 95% after 12 weeks. The study results showed that the environmentally friendly functional concrete had outstanding environmental performance.

**Keywords :** functional concrete, PVA fiber, silica fume, field performance evaluation

### 1. 서 론

우리나라는 급격한 도시화 및 산업화를 통하여 토지의 효율적 활용과 하천의 공학적 이치수의 목적만을 위해 하천을 인공화시켰으며, 더욱이 90년대 이후에는 교통량의 급격한 증가에 따라 개발이 유리한 하천을 복개하여 도로, 주차장 등으로 활용함으로써 하천생태계 파괴와 단절, 도시미관의 훼손 등 많은 문제점이 발생되었다.<sup>1)</sup> 이렇게 이치수 기능을 상실하거나 환경이 훼손된 하천에서는 지구온난화 및 이상기후변화로 인하여 발생하는 태풍과 집중호우에 하천호안 및 제방 등의 붕괴로 막대한 사회경제적 손실이 발생하고 있으며, 이를 복구하기 위한 비용 또한 계속 증가하고 있는 실정이다.<sup>2-5)</sup>

특히 우리나라에서 이루어지는 하천정비사업 및 재해

복구공사에 사용되는 재료와 공법은 방재기능만을 우선으로 고려하여 하천생태복원 및 자연친화적인 관점이 다소 결핍되어 있다.<sup>6,7)</sup> 일례로서 콘크리트 옹벽 및 호안블록의 경우 방재기능은 우수하나 하천 생태계의 단절 및 알칼리 용출 등의 환경에 악영향을 미치며, 자연친화적 재료로 시공된 자연석 쌓기, 친환경 돌망태 등은 석산개발 등으로 인한 2차 환경파괴를 유발시킨다. 또한 식생 매트 및 롤, 침수방틀, 환경블록 및 다공성 식생블록 등은 식생기능에 대한 효과는 있으나 집중호우 시 유실 및 붕괴 등 우리나라 지형과 기후에 적합하도록 방재기능 및 친수환경 공간조성을 위한 시공재료로서 해결해야 할 문제점을 많이 내포하고 있다.

한편, 최근 투수, 투기, 식생, 수질정화 및 흡음 등의 친환경 기능을 가진 다공성콘크리트를 이용한 환경블록 및 식생블록의 관심이 집중되어 하천호안 및 제방 등에 많이 시공되고 있다. 하지만, 다공성 콘크리트는 복합체 내에 공극을 포함하고 있기 때문에 낮은 강도와 내동해성 등 내구성의 문제점을 극복하지 못하고 있는 실정<sup>6,8,9)</sup>

\*Corresponding author E-mail : jang1001@cnu.ac.kr

Received November 29, 2011, Revised December 30, 2011,

Accepted January 2, 2012

©2012 by Korea Concrete Institute

으로 매년 태풍 및 집중호우시 유실과 붕괴 등의 2차적인 피해가 발생되고 있다.

따라서, 이 연구에서는 우리나라 지형 및 기후에 적합하며 하천의 생태복원 기능 및 자연형 하천의 조기형성 기능을 가지는 친환경 기능성 콘크리트의 개발을 위하여 친수환경 조성과 생태보존에 적합한 기능성 콘크리트의 물리역학적 성능평가 및 구조적 성능평가와 현장적용 성능으로서 식생능력을 평가하였다.

## 2. 사용 재료 및 실험 방법

이 연구에서는 친환경 기능성 콘크리트의 성능향상재료 혼입에 따른 물리역학적 특성과 구조적 성능평가, 현장적용성능 특성을 구명하기 위하여 Table 1에 나타난 시험조건 및 배합변수로 실험을 수행하였으며, 여기서 혼화제량은 시멘트 페이스트의 일정한 유동성을 확보하기 위하여 사전에 흐름시험을 수행하여 혼입량을 결정하였다.

### 2.1 사용 재료

#### 2.1.1 시멘트

이 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 밀도 3.14 g/cm<sup>3</sup>의 보통포틀랜드시멘트와, 시멘트 생산시 발생하는 CO<sub>2</sub>의 저감 및 알칼리용출량의 저감을 위해 보통포틀랜드시멘트, 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬가 각각 4:4:2로 혼합된 밀도 2.91 g/cm<sup>3</sup>의 3성분계 혼합시멘트를 사용하였다.

#### 2.1.2 골재

이 연구에 사용된 골재는 입도가 13~20 mm인 부순돌을 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

#### 2.1.3 보강용 PVA섬유

친환경 기능성 콘크리트의 균열저감 및 충격흡수로 인한 구조적 성능을 향상시키기 위하여 일본 K사의 PVA

**Table 1** Conditions and variables of experiment

Conditions		Variables
W/B (%)		25
Target void ratio (%)		20
Target flow (%)		180
Aggregate gradation (mm)		13~20
Silica fume (Wt.%)		5, 10, 15
PVA fiber (Vol.%)		0.03, 0.05, 0.07
Test items	Physical & mechanical properties	Void ratio, Compressive strength, Freeze-thaw test, Slab & beam test
	Planting-ability test	Vegetation plant length, Plants attached area ratio

섬유(poly vinyl alcohol fiber)를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

#### 2.1.4 실리카폼

산업부산물의 유효활용과 친환경 기능성 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성을 증진시키기 위하여 밀도 2.21 g/cm<sup>3</sup>, 분말도 263,000 cm<sup>2</sup>/g인 초미분말의 실리카폼을 사용하였다.

#### 2.1.5 혼화제

시멘트 분산작용에 의해 콘크리트의 성질을 개선시키는 혼화제로서, 국내 S사제품의 폴리카본산계 고성능 AE 감수제를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 4와 같다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 공극률 시험 방법

친환경 기능성 콘크리트의 공극률시험은 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스콘크리트의 공극률시험방법(안)<sup>10</sup> 중 용적법에 의하여 측정하였으며, 다음 식 (1)에 의하여 계산하였다.

### 2.2.2 압축강도 시험 방법

친환경 기능성 콘크리트의 압축강도 시험은  $\phi 100 \times 200$  mm의 공시체를 제작하여 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 준하여 유압식 만능시험기를 사용하여 측정하였다.

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

**Table 2** Physical properties of aggregate

Items	Gradation (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Absolute volume (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Crushed aggregate	13~20	2.79	0.74	59.6	1,661

**Table 3** Physical properties of fiber

Item	Length (mm)	Diameter ( $\mu$ m)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (GPa)	Elongation (%)
PVA fiber	12	40.0	1.30	1.56	6.5

**Table 4** Physical properties of admixture

Admixture	Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH	Mass contents (%)
High-range water reducing agent	Light brown liquid	1.06	6.5	41~45

여기서, A: 콘크리트의 전공극률  
 $W_1$ : 공시체의 수중질량  
 $W_2$ : 24시간 자연방치 후의 기건질량  
V: 공시체의 용적

### 2.2.3 동결융해저항성 시험 방법

친환경 기능성 콘크리트에 대한 동결융해저항성 시험은  $75 \times 75 \times 355$  (mm)의 보 공시체를 제조하여 재령 14일에 KS F 2456 급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법중 A법(수중 급속 동결융해시험)에 준하여 실시하였다. 시험은  $-18^{\circ}\text{C} \sim +4^{\circ}\text{C}$ 에서 1일 6사이클로 상대동탄성계수가 60% 이하 또는 300사이클이 될 때까지 소정의 사이클별로 1차 공명주파수를 측정함과 동시에 외관 상태를 관찰하여 내동해성을 평가하였다.

### 2.2.4 구조성능 평가

슬래브(slab) 구조모델의 제작 및 시험은  $600 \times 600 \times 100$  (mm)의 기능성 콘크리트 슬래브 공시체를 제작하여 Fig. 1과 같이 프랑스 SNCF(철도국)와 Alpes Essais Laboratory of Grenoble가 공동개발한 방법<sup>11)</sup>에 의거하여 실시하였으며, 시험시 슬래브는 내부단면적이  $500 \times 500$  (mm)인 급속프레임 위에 장치하였고, 중앙에  $100 \times 100 \times 50$  (mm) 크기의 급속체를 통하여 일정한 속도로 재하하여 슬래브 변위를 측정하고, 슬래브에 발생한 최대하중시 발생한 균열 양상을 관찰하였다. 또한, 보 구조모델의 성능평가는  $150 \times 150 \times 550$  (mm)의 기능성 콘크리트 보공시체를 제작하여 KS F 2566 강섬유 보강 콘크리트 휨인성 시험방법에 의거하여 일본 S사의 B-type autograph를 사용하여 변위제어방식에 의해 하중 및 수직변위를 측정하여 휨강도 및 휨인성 특성을 평가하였다.

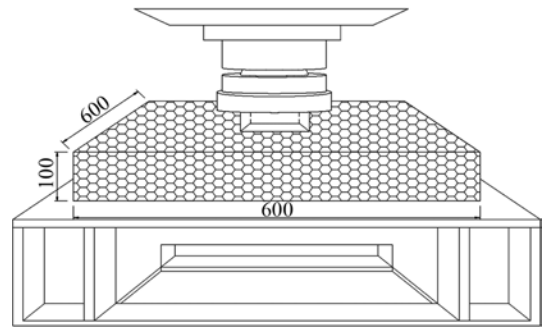


Fig. 1 Slab test (unit: mm)

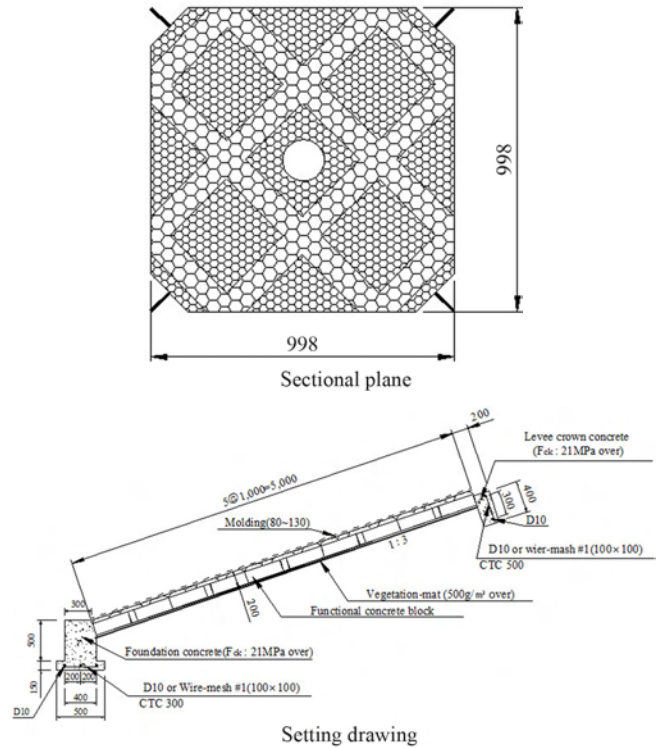


Fig. 2 Field test construction

### 2.2.5 현장 적용성 평가

친환경 기능성 콘크리트의 현장적용 성능을 평가하기 위하여 최적배합에 대한 친환경 기능성 콘크리트로 호안 블록 시제품을 강원도 J사에서 제작하여 Fig. 2와 같이 대전천 하류에 시험시공하였다. 시험시공은 2009년 11월에 완료 하였으며, 식생 모니터링은 이듬해 2월 씨드스프레이 작업 후 발아가 시작되는 3월부터 10월까지 식생식물의 초장(草長)길이 및 식피율을 측정하였다. 초장은 식물의 높이를 나타내는 것으로서 지표에서 식물의 최대 높이까지의 길이를 측정하였으며, 식피율은 평가 지점의 면적에서 식생이 차지하는 비율로서 본 연구에서는 블록 1개( $998 \times 998$  mm)의 면적에 대하여 일정 높이에서 사진촬영 후 식생이 분포하는 비율을 화상분석하여 식피율을 측정 평가하였다.

## 2.3 배합

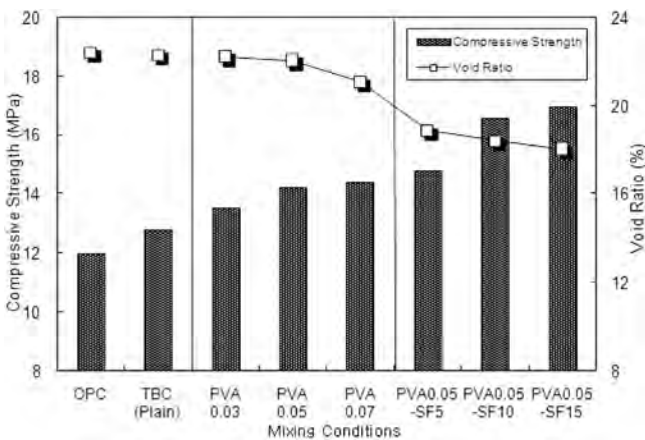
친환경 기능성 콘크리트의 배합요인에 따른 물리역학적 특성 및 구조적 성능을 분석하기 위하여 물-결합재비

25%, 목표공극률 20%로 설정하고, 성능향상요소인 실리카폼 및 PVA섬유의 혼입률에 따른 배합을 실시하였으며 배합표는 Table 6과 같다. 또한 믹싱은 시멘트 페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 30%의 옴니 믹서를 사용하여 먼저 시멘트, 골재, 혼화재료를 투입하고 200 rpm으로 60초 동안 혼합한 후 혼합수를 투입한 후 다시 180초 동안 혼합하는 분할투입방법으로 믹싱하였다.

**Table 6** Mix proportions of porous concrete

Mix no.	W/B (%)	Target void ratio (%)	Cement type	PVA fiber content (vol.%)	Silica fume (wt.%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					Ad. (C×%)
						W	B	G	PVA fiber	SF	
I-1	25	20	OPC	-	-	90	360	1,661	-	-	2.70
I-2(Plain)			TBC	-	-	86	345	1,661	-	-	2.59
I-3				0.03	-	86	345	1,661	0.39	-	2.66
I-4				0.05	-	86	345	1,661	0.65	-	2.69
I-5				0.07	-	86	345	1,661	0.91	-	2.72
I-6				0.05	5	86	328	1,661	0.65	17	2.66
I-7				0.05	10	86	310	1,661	0.65	35	2.61
I-8				0.05	15	86	293	1,661	0.65	52	2.56
II-1				0.05	-	86	345	1,661	0.65	-	2.69

Note) PVA fiber : polyvinyl alcohol fiber, SF : silica fume, Ad : admixture, OPC : original portland cement, TBC : ternary blended cement



**Fig. 3** Void ratio and compressive strength by PVA fiber and silica fume contents

### 2.4 공시체의 제작

공시체의 제작은 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트용 공시체의 제작방법을 참조하여 믹싱을 끝낸 친환경 기능성 콘크리트를 각 소요의 몰드에 1/2씩 채운 후 각 층마다 진동테이블을 이용하여 진동다짐을 실시하여 제작하였다. 친환경 기능성 콘크리트가 타설된 공시체는 24시간 기건양생 후에 탈형하고 소요의 재령(28일)까지 20 ± 3°C의 수중에서 표준양생을 실시하였다.

## 3. 시험 결과 및 고찰

### 3.1 공극률 및 압축강도

친환경 기능성 콘크리트의 배합조건(Table 6, I-1~I-8)에 따른 공극률과 압축강도 측정 결과는 Fig. 3과 같다.

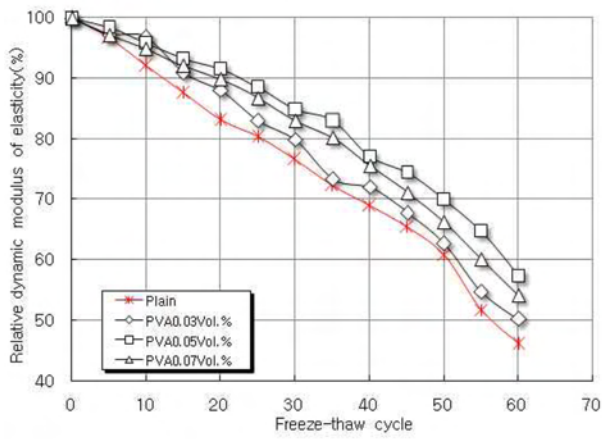
이를 고찰하여보면 목표 공극률 20%에서, 실측 공극률은 18.04%~22.33%로 나타나 모든 배합조건에서 목표 공극률 2.5% 범위 이내로 들어와 허용 오차범위 이내인 것으로 나타났다.

성능향상재료 및 혼화재료 혼입에 따른 영향은 보강용 PVA섬유의 혼입에 따라 공극률은 감소되었으며, 이러한 경향은 섬유를 첨가함에 따라 친환경 기능성 콘크리트 내부에 형성되는 공극을 채워 공극률이 감소된 것으로 판단된다. 실리카폼의 혼입률이 증가함에 따라 공극률은 감소되었으며 이는 혼화제를 시멘트 대체비(질량비)로 혼입함에 따라 시멘트와의 밀도차이로 인하여 결합재량이 증가하여 공극률이 감소된 것으로 판단된다. 또한, 시멘트 종류에 따른 공극률 차이는 미미하였다.

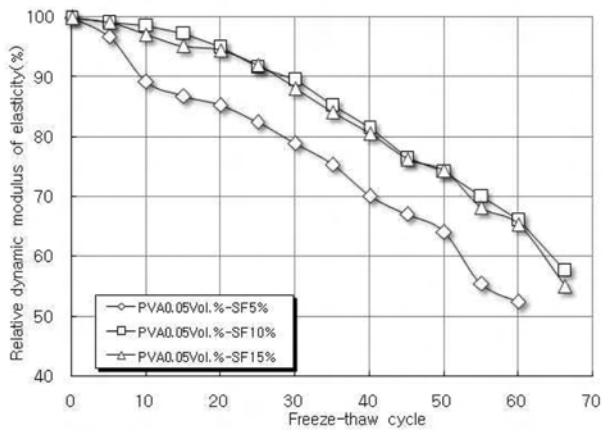
압축강도 시험 결과는 혼합시멘트(TBC)를 사용한 경우가 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용한 경우에 비하여 6.6% 정도의 강도 향상을 나타내어 3성분계 혼합시멘트의 사용 가능성을 확인하였다. 혼화재료의 혼입조건별 압축강도 특성은 보강용 PVA섬유의 혼입률 증가에 따라서 Plain에 비하여 PVA섬유의 혼입률이 0.03~0.05Vol.%로 증가됨에 따라 5.6%~12.5% 정도 강도가 향상되는 것으로 나타났다. 하지만, 섬유의 혼입률 0.07Vol.%에서는 압축강도 경향이 둔화되었는데 이러한 원인은 과도한 섬유의 혼입으로 시멘트 페이스트 중에 섬유가 충분히 분산되지 못하여 섬유 뭉침(fiber ball)이 생성되었기 때문으로 판단된다. 또한, PVA섬유와 성능향상재료인 실리카폼의 동시 혼입시 증가하는 경향을 나타내어 Plain에 비하여 실리카폼의 혼입률이 5%~15%로 증가됨에 따라 14.08~17.00 MPa로 증가되는 것으로 나타났다. 하지만 혼입률 15%에서는 증가경향이 둔화되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 초미분말의 실리카폼의 사용으로 시멘트 페이스트 내부의 매트릭스 구조가 치밀하여 결합재의 강도가 증진되었기 때문으로 판단된다.

### 3.2 동결융해 저항성 평가

친환경 기능성 콘크리트에 대한 동결융해저항성 시험 방법 및 관련 기준은 아직까지 규정되어 있지 않아 이 연구에서는 일반 콘크리트의 동결융해저항성 평가에 이



(a) PVA contents



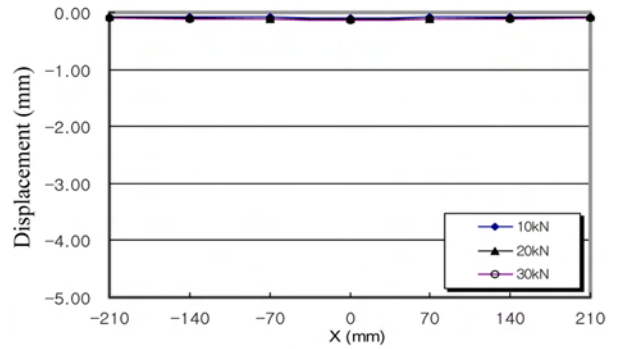
(b) PVA fibers and silica fume contents

**Fig. 4** Relative dynamic modulus of elasticity

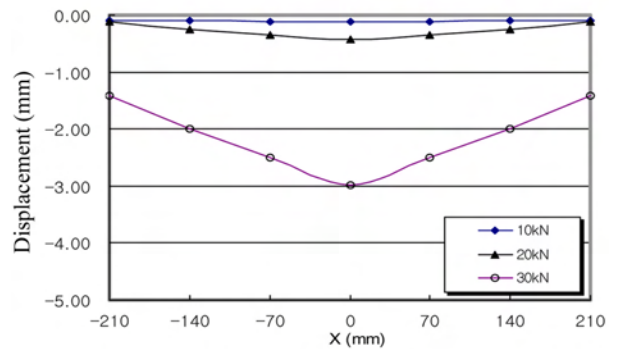
용되는 시험방법으로 친환경 기능성 콘크리트의 내동해성을 평가하였으며, 측정 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 친환경 기능성 콘크리트의 배합요인별(Table 6, I-2~I-8) 내동해성은 상대동탄성계수가 60%이하로 저하되는 사이클을 기준으로 비교하였다. 그 결과, PVA섬유 0.05Vol.%를 혼입한 경우가 혼입하지 않은 Plain의 경우에 비해 최대 9.0%의 내동해성 향상효과를 나타내었으며, PVA섬유 0.05Vol.% 및 실리카폼 15%를 동시에 혼입한 경우, Plain에 비하여 19.7%의 동결융해저항성이 향상되는 경향을 나타내었다. 이는 미분말의 실리카폼을 시멘트에 대한 질량비로 대체 혼입함으로써 두 재료의 밀도 차이에 따른 상대적인 결합재량의 증가와 미세 섬유(micro-filler) 효과로 결합재의 내부 매트릭스가 치밀해지고, PVA섬유의 혼입으로 페이스트의 에너지 흡수능력 향상 및 골재와 결합재의 부착력 증진으로 동결융해 작용시 발생하는 팽창압에 대한 저항능력이 향상되었기 때문으로 판단된다.

### 3.3 구조성능 평가

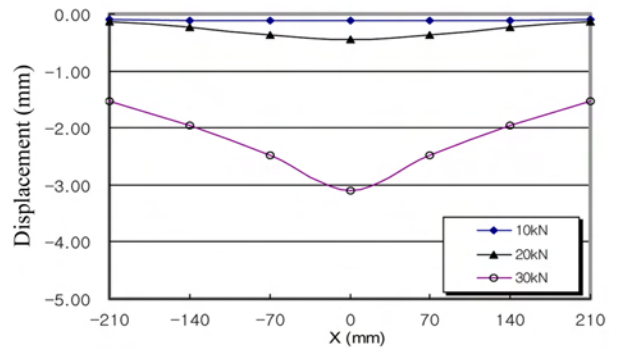
친환경 기능성 콘크리트의 구조적 성능평가를 위하여 슬래브 및 보 구조모델을 제작하여 평가하였으며, 배합은 역학적 성능평가 결과를 토대로 하여 섬유 혼입률(Table 6, I-2~I-5)에 따라서 평가하였다.



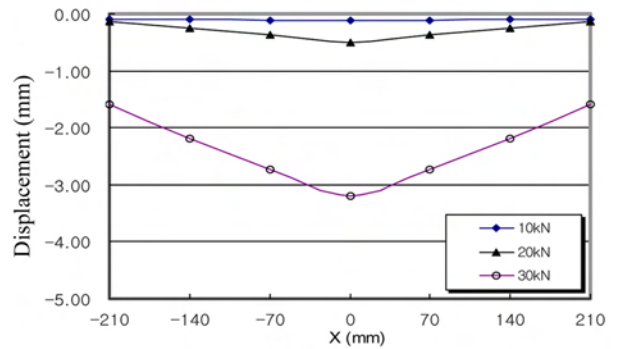
(a) Plain



(b) PVA 0.03Vol.%



(c) PVA 0.05Vol.%



(d) PVA 0.07Vol.%

**Fig. 5** Displacement of slab along the X axis

#### 3.3.1 슬래브(Slab) 시험

슬래브 구조모델에 대하여 하중재하시 X축에서의 변위 및 균열 파괴현상을 검토한 결과를 Figs. 5, 6에 나타내었다.

섬유를 혼입하지 않은 슬래브의 경우는 하중의 증가에 따라 변위도 크지 못하고, 극한하중에서의 급격한 취성



파괴로 인해 균열 후의 변위 측정이 곤란하였으며 섬유를 혼입한 경우에는 동일한 하중에서 혼입률별로 LVDT (linear variable differential transformer) 위치(중앙점에서 0, 70, 140, 210 mm)에 따라 변위를 측정하고 결과 섬유혼입률이 증가함에 따라 슬래브 중앙에서의 변위가 증가하는 것으로 나타나 섬유의 혼입으로 인하여 콘크리트 슬래브의 재하에 대한 변위제어능력이 현저히 개선되는 것

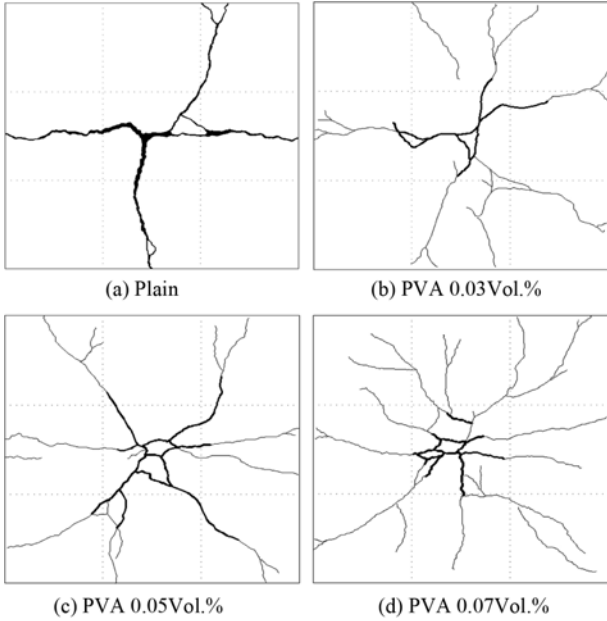


Fig. 6 Cracking pattern of slab after failure

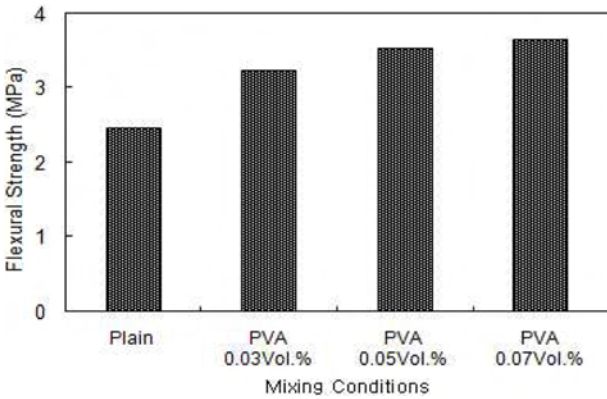


Fig. 7 Flexural strength by PVA fiber contents

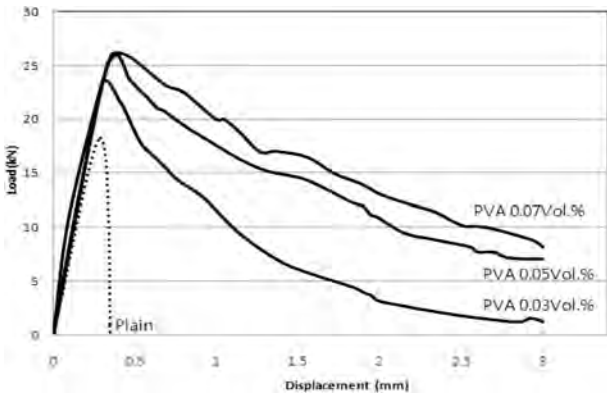


Fig. 8 Load-deflection curves by PVA fiber contents

으로 나타났다.

따라서, 섬유의 혼입률이 높을수록 변위제어 능력이 현저히 개선되는 특성을 나타내어 균열억제 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

또한, 슬래브 파괴 후 밑면의 균열파괴 형상을 검토한 결과 섬유를 혼입하지 않은 슬래브가 취성적 파괴를 나타내었지만, 섬유의 혼입률이 증가할수록 균열폭이 작아지고 균열의 수가 증가하였으며 박락이 작은 특징을 나타내었다. 이러한 특징은 섬유가 혼입된 슬래브의 경우 섬유 혼입률이 증가할수록 파괴시의 연성이 증가하였기 때문으로 판단된다.

### 3.3.2 보(Beam) 시험

친환경 기능성 콘크리트의 보 구조모델의 휨강도 및 휨인성 특성을 평가하기 위하여 섬유 혼입률별로 보 공시체를 제작하여 재령 28일에 휨인성을 평가한 결과는 Figs. 7 및 8에 나타낸 바와 같다.

섬유혼입에 따른 휨강도를 평가한 결과, 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 휨강도는 증가하는 경향을 나타내어 Plain에 비하여 최대 47.7%의 강도향상 효과를 나타냈다.

섬유혼입률별 친환경 기능성콘크리트의 하중-변위 곡선에서 나타난 최대 휨응력과 처짐변형 성능은 섬유혼입률이 0.03~0.07Vol.%로 증가함에 따라 휨인성이 6.42~13.67배 증가하여 현저히 개선되는 것으로 나타났다.

### 3.4 현장적용 성능 평가

현장적용 성능평가는 물리역학적 평가 및 구조적 성능평가 결과를 토대로 하여 최적배합(Table 6, II-1)을 결정하고, 친환경 기능성 콘크리트를 사용한 식생용 호안블록으로 시제품을 설계하여 대전천 하류에 시험시공하여 평가하였다. 식생은 씨드스프레이를 통하여 7종(페레니



Fig. 9 Seeding completion and environmental monitoring view



Fig. 10 Vegetation plant length measurement

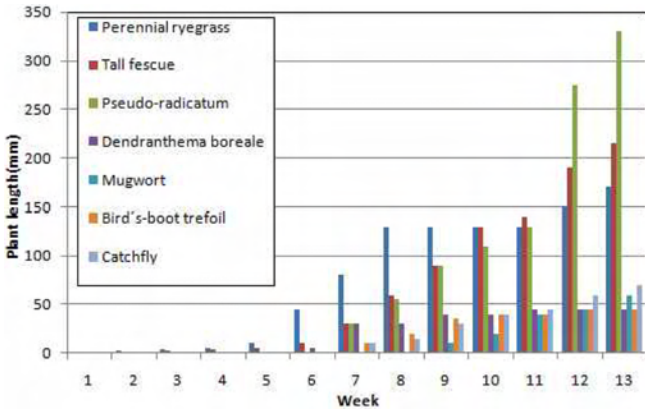


Fig. 11 Vegetation plant length measurement results for various monitoring durations

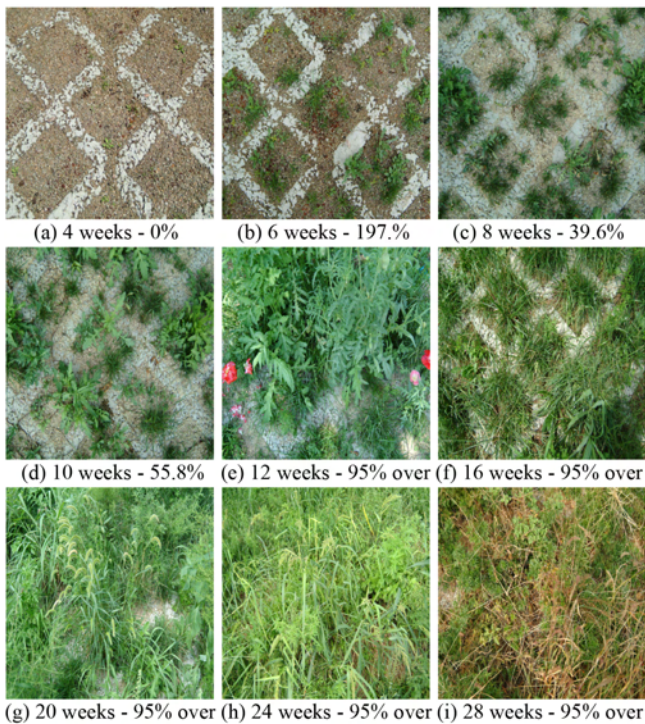


Fig. 12 Coverage measurement results for various monitoring durations

얼 라이그라스, 툴레스큐, 산국, 개양귀비, 끈끈이대나물, 벌노랑이, 썩)의 식물을 식생하였고, 현장적용 성능평가는 모니터링 기간별 식물의 초장길이와 식피율을 측정하여 평가하였다.

### 3.4.1 식생 식물의 초장길이 측정 결과

초장길이의 측정은 씨딩이 완료된 후, 발아가 시작되는 시점인 2011년 3월부터 시공현장의 블록 5개소(블록 크기: 998 × 998 mm)에 대하여 1주일 단위로 식생식물의 발아 및 초장길이를 측정하였으며 측정기간은 식생식물의 발아 후 13주까지 평가하였다. 측정 결과는 Figs. 10 및 11과 같다.

모니터링 경과시간별 식생식물의 발아 및 초장길이 측정결과, 잔디 종류인 페레니얼 라이그라스와 툴레스큐가 가장 빨리 발아되었으며 산국, 개양귀비, 끈끈이대나물,

벌노랑이, 썩)의 순서로 발아하였다. 초장길이는 초기에 페레니얼 라이그라스가 가장 컸지만, 시간이 경과하면서 개양귀비가 페레니얼 라이그라스와 툴레스큐보다 생육이 왕성하게 진행되었다. 초장길이의 변화는 식물의 계절별 생육 특성에 따라 잔디류가 먼저 발아하여 잔디류의 평균 초장인 150 mm까지 성장하였으며, 가장 높은 초장을 나타낸 것은 개양귀비로서 약 330 mm 정도의 초장을 나타내었다.

### 3.4.2 식피율 측정 결과

식피율 평가는 식생식물의 발아가 시작되는 2011년 3월 부터 블록 5개소(블록 크기: 998 × 998 mm)에 대하여 1주일 단위로 식생식물의 식피율을 측정하여 평가하였으며 그 결과는 Fig. 12와 같다.

모니터링 경과시간별 식생식물의 식피율 측정 결과, 측정 초기(시공 후 1~4주)에는 식물의 발아는 미미하게 이루어졌으나 식피율 측정은 불가하였으나, 약 6주 후 측정시 평균 19.7%의 식피율을 나타내었다. 또한 10주 후 측정시 55.8%이상의 식피율을 나타내었으며, 12주 이후에는 95%이상의 우수한 식피율을 나타내어 친환경 기능성 콘크리트 호안블록의 현장적용 식생은 우수한 것으로 나타났다.

한편, 식물 종류별 식피율 측정결과는 초기 빠른 생육 특성을 갖은 개양귀비(봄철) 높은 식피율을 보였으며, 개화 후 개양귀비가 급속히 시든 이후(여름)에는 잔디종류인 페레니얼라이그라스와 툴레스큐가 블록 내에서 높은 식피율을 나타내었다. 28주 후 기온이 떨어지고 일교차가 커지면서 낙엽이 지는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

이 연구에서는 친환경 기능성 콘크리트의 성능향상용 혼화재료의 혼입에 따른 물리역학적 성능과 구조적 성능을 평가하고, 현장시험시공을 통한 현장적용성능을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 공극률 및 압축강도 시험결과 공극률은 성능향상재료의 혼입이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 압축강도는 보강용 PVA섬유 및 성능향상재료인 실리카폼의 혼입률이 증가함에 따라 증가하였고 최적 혼입률은 PVA 섬유 0.05Vol.%, 실리카폼 10% 정도인 것으로 나타났다.
- 2) 내동해성을 평가하기 위하여 동결융해시험을 수행한 결과 친환경 기능성 콘크리트의 보강요소로서 PVA 섬유 0.05Vol.% 및 실리카폼 15%를 동시에 혼입하는 것이 가장 우수한 성능을 나타내었지만 실리카폼 10% 혼입과 유사한 성능을 나타내어 경제성 측면에서 PVA 섬유 0.05Vol.%와 실리카폼 10%를 혼입하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 3) 구조성능 평가결과 슬래브 구조모델에서는 PVA섬유를 혼입함에 따라 내하력이 현저히 개선되는 것

으로 나타났으며, 섬유 혼입률이 증가할수록 슬래브 구조모델의 연성이 증가하여 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 보 구조모델의 휨강도 및 휨인성 평가 결과 재령 28일에서 Plain에 비하여 PVA섬유 0.05Vol% 혼입시 47.7% 강도향상효과를 나타내었으며, 휨인성 역시 현저히 개선되는 것으로 나타났다.

- 4) 현장적용성능평가를 위한 식생 모니터링 결과, 발아 및 초장길이는 잔디류인 페레니얼 라이그라스와 톨웨스큐가 빨리 발아되었으나 시간이 경과함에 따라 봄철 발아식물인 개양귀비의 생육이 활발하였다. 식피율 측정 결과 모든 모니터링 지점에서 8주후 약 40%의 식피율을 나타내 12주 후부터는 95% 이상의 우수한 식피율을 나타내어 친환경 기능성 콘크리트의 우수한 식생기능을 나타내었다.
- 5) 또한, 시험시공현장에서 seed spray시 과중하지 않은 현장주변의 식물이 서식하였으며, 이는 현장주변의 환경 특성을 고려하였을 때 주변 개체의 종자가 자연적으로 유입된 풍산포(風散布)에 의해 식생이 이루어진 것으로 사료되어 친환경 기능성 콘크리트를 이용한 호안의 경우 주변 식물의 자유로운 번식 및 생식은 물론 주변 환경과의 조화 및 쾌적성이 뛰어난 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(NE MA-자연-2009-26)지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

1. 김동찬, 박익수, “생태환경복원을 위한 하천자연도 평가 기준에 관한 연구,” 한국조경학회지, 17권, 3호, 1999, pp. 123~134.
2. 박승범 외, 녹색성장을 위한 친수환경 복구용 시공재료 개발, 소방방재청 자연재해저감기술개발사업단, 2011, pp. 121~516.
3. 국립방재교육연구원방재연구소, 자연형 소하천 정비공법 개발(V), 2007, pp. 1~3.
4. 소방방재청 국립방재연구소, 자연형 소하천 정비공법개발(IV)-국내의 연구 및 사례조사를 중심으로-, 2005, pp. 5~124.
5. 김석규, “자연 친환적 하천 정비사업의 평가방법에 관한 연구,” 호남대학교 대학원 박사학위 논문, 2006, pp. 1~14.
6. 國土交通省 中部地方整備局 中部技術事務所, “ポーラスコンクリート河川湖岸生態系 平價手順書(案),” 2002, pp. 1~35.
7. 社団法人 全國土木コンクリートブロック協會, “環境保全型ブロック護岸工法の手引き(案),” 2002, pp. 1~5.
8. Tanaka, M., Tamai, M., and Okabasi, E., “A Study on Purification of River with Porous Concrete,” *Proceedings of Cement and Concrete*, Vol. 52, 1998, pp. 772~777.
9. 吉森和人, 藤原浩巳, 伊藤修一, 岡本享久, 不山善秀, “ポーラスコンクリートの強度と耐久性に關する研究,” *セメント・コンクリート論文集*, No. 49, 1995, pp. 650~655.
10. 日本 콘크리트工學協會, “エコ콘크리트(ECO Concrete)研究委員會報告,” 日本 콘크리트工學協會, 1995, pp. 56~58.
11. 박승범 외, “에너지 절약형 고기능 섬유보강 콘크리트의 개발 및 설계시공지침(안) 작성에 관한 연구,” 1995건설기술연구개발사업, 건설교통부, 1998, pp. 83~87.

**요 약** 우리나라는 급격한 도시화 및 산업화를 통하여 토지의 효율적 활용과 하천의 공학적 이치수의 목적만을 위해 하천을 인공화 시켰으며, 더욱이 90년대 이후에는 교통량의 급격한 증가에 따라 개발이 유리한 하천을 복개하여 도로, 주차장 등으로 활용함으로써 하천생태계 파괴와 단절, 도시미관의 훼손 등 많은 문제점을 발생시켰다. 이 연구에서는 우리나라 지형 및 기후에 적합하며 하천의 생태복원 기능 및 자연형 하천의 조기형성 기능을 가지는 친환경 기능성 콘크리트의 개발을 위하여 친수환경 조성 및 생태보존에 적합한 기능성 콘크리트의 물리역학적 성능평가 및 구조적 성능평가와 현장적용 성능으로서 식생능력을 평가하였다. 역학적 성능평가 결과, 보강용 PVA섬유 및 실리카폼의 혼입률이 증가함에 따라 강도가 증가하였고 최적 혼입률은 PVA 섬유 0.05Vol.%, 실리카폼 10%정도인 것으로 나타났다. 내동해성 평가에서는 PVA섬유 0.05Vol.% 및 실리카폼 15%를 동시 혼입시 가장 우수한 성능을 발휘 하였다. 구조성능 평가 결과 휨강도가 Plain에 비하여 PVA섬유 0.05Vol% 혼입시 47.7% 강도향상효과를 나타내었고, 휨인성 역시 현저히 개선되는 것으로 나타났다. 현장 적용성 평가를 위한 식생 모니터링 결과, 잔디류가 빨리 발아되었으나 시간이 경과함에 따라 봄철 발아식물인 개양귀비의 생육이 활발하였다. 식피율 측정 결과 모든 모니터링 지점에서 12주 후부터는 95% 이상의 우수한 식피율을 나타내어 친환경 기능성 콘크리트의 우수한 식생기능을 확인하였다.

**핵심어** : 기능성 콘크리트, PVA섬유, 실리카폼, 현장적용 성능평가