

## 폴리프로필렌 섬유보강 환경친화형 포장재료의 개발

### Development of Polypropylene Fiber Reinforced Environmental Friendly Pavement Material for Farm Road

성 찬 용\* · 김 영 익\*\*

Sung, Chan Yong · Kim, Young Ik

#### Abstract

This study is performed to examine the physical and mechanical properties of eco-concrete using soil, natural coarse aggregate, excellent soil compound and polypropylene fiber.

The test result shows that mass loss ratio is decreased with increasing the content of coarse aggregate and excellent soil compound. The compressive and flexural strengths are increased with increasing the content of coarse aggregate, excellent soil compound and polypropylene fiber. The coefficient of permeability is decreased with increasing the content of coarse aggregate and excellent soil compound, but it is increased in 0.2% polypropylene fiber content. The lowest coefficient of permeability is showed in  $5.066 \times 10^{-9}$  cm/s.

These eco-concrete can be used for farm road.

*Keywords : Eco-concrete, Mass loss ratio, Strengths, Coefficient of permeability*

#### I. 서 론

농업인구의 감소로 생산활동에 기계의 필요성이 점점 커지고, 농작업기계는 점차 대형화되고 있으며, 경작로의 포장은 일반도로와는 달리 농작물의 성장에 장애를 주어서는 안되므로 환경친화형 경작로를 개발하여야 한다.

특히, 농촌도로는 농촌주민의 일상생활은 물론,

농업생산과 유통을 위한 생활 및 생산기반일 뿐만 아니라 농촌지역의 발전을 선도·지원하는 기본적인 사회간접자본이다. 따라서, 농촌도로가 얼마나 합리적으로 정비되어 있는가에 따라 농촌주민의 생활 및 생산활동을 위한 교통의 편의도와 그 지역의 공간생활체계가 얼마나 효과적으로 운용되고 있는가를 판단할 수 있을 만큼 중요한 요소가 된다. 그러므로 충분한 경작로의 확보와 포장등으로 농업여건을 개선하여야 할 것이다.

또한, 효율적인 경작로 개발을 위한 체계적인 경작도로망의 확립, 농산물의 생산지, 가공, 유통시설간의 농로를 확보함으로써 농업경쟁력 제고는 물론, 국도, 지방도 및 농어촌 도로정비사업과 연계·

\* 충남대학교 농업생명과학대학

\*\* 충남대학교 농업과학연구소

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

Fax: +82-42-823-8050

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

개발하여 도로 이용률 제고 및 농어촌 생활환경개선에 기여하여야 한다.

아울러, 경작로는 내구성, 안전성, 대상지역의 기후조건, 토질특성 등에 맞도록 설계되어야 하며, 용·배수도가 있는 경우에는 이들과의 관계도 검토하여 용·배수가 용이하도록 하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 자연친화적인 경작로를 위하여 경작로의 흙과 천연 조골재, 고화재, 폴리프로필렌 섬유를 혼합하여 자연친화적인 포장재료를 개발하고, 그 포장재료의 중량감소율, 압축강도, 휨강도, 투수계수등의 물리·역학적 특성을 구명하여 성능이 우수한 에코콘크리트를 경작로에 사용하기 위한 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 흙

흙시료는 충북지역 경작로에서 채취한 점토질 세사이며, 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 나. 골재

경작로의 내구성 증진을 위해 사용한 골재는 금

강구역에서 채취한 천연자갈로서, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical properties of coarse aggregate

Classification	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption (%)	F.M	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Natural gravel	4.76~10	2.64	2.62	7.28	1,502

#### 다. 고화재

고화재는 사질토, 점성토 및 산업부산물 등을 유효하게 고화시키는 분상의 재료로서, 그 화학성분은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical composition of soil compound

(Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LG. loss
23.9	8.4	2.2	54.6	2.5	6.6	1.8

#### 라. 폴리프로필렌 섬유

경작로의 균열방지과 휨강도의 증진을 위해 사용된 망사형 폴리프로필렌섬유의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 1 Physical properties of soil

USCS	Specific gravity (20°C)	Atterberg limits (%)		Grain size distribution (%)					OMC (%)	r <sub>d</sub> max (tf/m <sup>3</sup> )
		LL	PI	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	0.005 mm		
ML	2.66	36.8	12.9	97.6	91.7	82.1	45.9	10.0	18.2	1.677

Table 4 Physical properties of polypropylene fiber

Item	Length (mm)	Absorption (%)	Specific gravity	Melting point	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	Acid and alkali resistance
Homopolymer polypropylene	19	0	0.91	162°C over	3,500~7,700	35×10 <sup>3</sup> over	Very high (inactivity)

## 2. 시험체 제작

### 가. 배합설계

경작로에 사용할 흙의 최적함수비와 다짐의 편의성을 고려하여 흙은 노건조 상태의 것을, 골재는 표면건조포화상태의 것을 사용하였고, 적절한 강도와 내구성 및 경제성을 가지도록 흙, 골재, 고화제와 섬유 양을 변화시킨 8종류의 배합으로 하였으며, 흙, 골재 및 고화제를 잘 섞은 후 물을 첨가하여 혼합한 후 망사형의 폴리프로필렌 섬유를 혼합하여 혼합하였으며, 그 배합설계는 Table 5와 같다.

Table 5 Mix design of eco-concrete  
(Unit : wt. %)

Mix type	Soil	Gravel	Excellent soil compound	Polypropylene fiber
EC1	100	0	0	0
EC2	90	10	0	0
EC3	90	0	10	0
EC4	80	10	10	0
EC5	79.8	10	10	0.2
EC6	69.8	20	10	0.2
EC7	69.8	10	20	0.2
EC8	59.8	20	20	0.2

### 나. 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 D-2 Type의 다짐에너지를 고려하여 3층으로 나누어 각층 사이의 분리가 생기지 않고 충분한 다짐이 되도록 제작하였으며, 제작 즉시 탈형하여 소정의 기간동안 온도 20±3℃, 습도 70%의 실험실에서 양생하였다.

## 3. 시험방법

시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 따라 실시하였으며, 3회반복 시험한 것의 평균값을 실험결과치로 하였다.

가. 중량감소율은 60 mm×60 mm×240 mm인

시험체를 제작하여, 제작후의 중량과 재령 7일, 28일, 91일의 중량을 측정하여 중량감소율을 측정하였다.

나. 압축강도 시험은  $\phi 75$  mm×150 mm인 시험체를 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

다. 휨강도 시험은 60 mm×60 mm×240 mm인 시험체를 제작하여 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

라. 투수계수 시험은  $\phi 100$  mm×100 mm의 시험체를 제작하여 KS F 2322(흙의 투수시험 방법)에 준하여 재령 28일에 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 가. 중량감소율

팽창성 고화제를 사용하는 경우 수분의 상태는 수화반응에 영향을 미치게 되며, 양생에 따른 시험체의 건조상태는 경작로 포장후에 양생에 필요한 수분을 얼마나 보유하고 있는가를 측정할 수 있는 기준이 된다. 양생기간에 따른 배합별 중량감소율은 Table 6과 같다.

이 표에서 보는 바와 같이 에코콘크리트의 중량

Table 6 Mass loss ratio of eco-concrete

Mix type	Mass loss ratio (%)		
	0~7 days	0~28 days	0~91 days
EC1	8.65	12.40	12.90
EC2	8.53	10.72	10.84
EC3	6.83	9.06	9.82
EC4	6.33	8.34	9.15
EC5	6.12	7.73	9.03
EC6	5.92	7.50	8.31
EC7	5.13	6.89	7.21
EC8	2.16	2.54	2.72

감소율은 골재와 고화재의 혼입량이 많을수록 작게 나타났으며, 각 재령에서 다같이 EC8에서 증량감소율이 가장 작게 나타났다. 또한, 증량감소율은 골재를 사용하지 않은 배합에서는 고화재를 혼입함에 따라 작게 나타났고, 골재의 사용량이 증가함에 따라 작게 나타났는데, 이러한 이유는 골재의 혼입량이 증가되면 상대적으로 수분을 증발시키는 부분이 줄어들고, 고화재의 혼입량이 증가되면 수분이 수화반응에 사용되어 증발되는 수분의 양이 적게되기 때문이라 생각된다.

한편, 재령 28일까지의 증량감소율이 5% 이하인 배합비는 골재와 고화재의 혼입량이 각각 20% 배합인 EC8에서 나타났으며, 이 배합비를 경작로에 적용하는 것이 건조수축에 따른 팽창률이 작고 동결융해 저항성이 커 경작로 포장재료로 가장 적합할 것으로 생각된다.

**나. 압축강도**

각 배합비에 따른 재령별 압축강도를 비교하면 Table 7과 같다. 이 표에서 보는 바와 같이 에코 콘크리트의 압축강도는 배합비와 재령에 크게 의존되었으며, 재령 7일 EC2~EC8의 경우 12.5~58.1 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타나 EC1인 10.8 kgf/cm<sup>2</sup>의 1.15~5.37배로 크게 나타났고, 재령 28일의 경우 19.0~80.7 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 EC1인 17.3 kgf/cm<sup>2</sup>의 1.09~4.66배로 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우 20.9~90.5 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 EC1인 18.8 kgf/cm<sup>2</sup>의 1.11~4.81배로 크게 나타났다.

또한, 에코콘크리트의 재령 28일의 경우, 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 10~18%의 강도증가를 나타내었고, 고화재가 10%에서 20%로 증가함에 따라 40~50% 크게 나타났다.

한편, 재령 91일 압축강도는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 12~13%의 강도증가를 나타냈고, 고화재가 10%에서 20%로 증가함에 따라 32~33% 크게 나타났다. 또한, 재령 7일에 대한

**Table 7 Test results of compressive strength of eco-concrete**

Mix type	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
EC1	10.8	17.3	18.8	60	8
EC2	12.5	19.0	20.9	52	10
EC3	21.4	34.2	48.1	59	40
EC4	23.9	39.7	53.2	66	34
EC5	35.0	48.7	59.9	39	22
EC6	37.8	53.7	68.2	42	27
EC7	47.8	68.2	80.5	42	18
EC8	58.1	80.7	90.5	38	12

재령 28일의 강도증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 강도증가보다 크게 나타나 강도의 영향은 초기에 크게 나타났다.

재령에 따른 압축강도가 섬유의 혼입과 골재 및 고화재의 혼입율이 증가할수록 크게 나타난 이유는 골재의 증가에 따라 상대적으로 고화재의 양이 증가되고, 섬유의 양이 증가되면 토립자 사이에 섬유로 인한 구속력이 증가되었기 때문이라고 생각된다.<sup>1),4)</sup>

아울러, 경작로의 재령 28일 압축강도는 농작업 기계별로 차이는 있으나, 현재 사용중인 기계로 볼 때 대체적으로 50~80 kgf/cm<sup>2</sup>이면 무난할 것으로 생각되며, 경작로의 포장에 사용되는 배합으로는 강도와 내구성, 경제성, 시공성을 고려할 때, EC8의 배합이 가장 적절할 것으로 판단된다.

**다. 휨강도**

각 배합비에 따른 에코콘크리트의 재령별 휨강도 시험결과를 나타내면 Table 8과 같다.

이 표에서 보는 바와 같이 재령 7일의 강도는 EC2~EC8의 경우 2.65~20.51 kgf/cm<sup>2</sup>로 EC 1인 2.29 kgf/cm<sup>2</sup>의 1.15~8.95배 정도로 크게 나타났고, 재령 28일의 경우는 5.83~26.41 kgf/cm<sup>2</sup>

Table 8 Test results of flexural strength on eco-concrete

Mix type	Flexural strength (kgf/cm <sup>2</sup> )			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
EC1	2.29	5.33	7.72	132	44
EC2	2.65	5.83	7.82	120	34
EC3	4.39	6.17	8.08	40	30
EC4	4.75	6.74	8.17	41	21
EC5	10.74	15.35	19.28	42	25
EC6	11.54	16.73	20.72	44	23
EC7	17.55	24.57	31.27	40	27
EC8	20.51	26.41	32.26	28	22

의 범위로 EC1인 5.33 kgf/cm<sup>2</sup>의 1.09~4.95배로 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우에는 7.82~32.26 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 EC1인 7.72 kgf/cm<sup>2</sup>의 1.01~4.17배로 크게 나타났고, 재령 28일 강도는 재령 7일의 강도에 비해 28~120% 크기로 나타났으며, 재령 91일의 강도는 재령 28일의 강도에 비해 21~34% 크기로 나타났다.

또한, 재령 28일의 경우, 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 7~8%의 강도증가를 나타냈고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 57~60%의 강도증가를 나타냈으며, 재령 91일의 휨강도는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 3~7%의 강도증가를 나타냈고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 55~62%의 강도증가를 나타냈다.

또한, 재령 7일에 대한 재령 28일의 강도증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 강도증가보다 대체적으로 크게 나타나 초기재령에서 강도증가가 크게 나타남을 알 수 있었다.

각각의 재령에 대한 휨강도는 고화재, 골재, 섬유 첨가량이 많을수록 크게 나타났는데, 이러한 이유는 골재의 증가에 대하여 상대적으로 고화재량의 증가와 섬유가 토립자 사이의 구속력을 증가시켰기

때문이라고 생각된다.

아울러, 경작로의 휨강도는 농작업기계별로 차이는 있으나, 대체적으로 15~20 kgf/cm<sup>2</sup>이면 적절할 것으로 생각되며, 경작로 포장에 사용되는 배합으로는 강도와 내구성, 경제성, 시공성을 고려할 때 EC8의 배합이 가장 적절할 것으로 판단된다.

라. 투수계수

경작로의 투수계수는 동결융해에 대한 저항성에 영향을 미치는 중요한 요인이 되며, 배합별 에코콘크리트의 투수계수 시험결과를 나타내면 Table 9와 같다.

이 표에서 보는 바와 같이 에코콘크리트의 투수계수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 감소하였는데, 이러한 원인은 고화재의 혼입으로 인한 흡입자 내부의 미세공극충진효과<sup>2),3)</sup>와 고화재의 수화반응에 따른 에트링자이트의 생성으로 흡입자를 치밀하게 하였기 때문이라 생각된다.<sup>5)</sup>

또한, 골재의 혼입량이 증가함에 따라 투수계수가 작게 나타난 이유는 고화재량이 상대적으로 증가되었기 때문이라고 판단된다.

한편, EC8 에코콘크리트의 투수계수는 5.066×10<sup>-9</sup> cm/s로 EC1의 투수계수 6.151×10<sup>-7</sup> cm/s에 비해 80배 이상 작은 값을 나타내고 있어, 이를 경작로

Table 9 Test results of coefficient of permeability on eco-concrete (Unit: cm/s)

Mix type	Coefficient of permeability
EC1	6.151×10 <sup>-7</sup>
EC2	5.473×10 <sup>-7</sup>
EC3	4.162×10 <sup>-7</sup>
EC4	3.158×10 <sup>-7</sup>
EC5	3.326×10 <sup>-7</sup>
EC6	7.787×10 <sup>-8</sup>
EC7	4.440×10 <sup>-8</sup>
EC8	5.066×10 <sup>-9</sup>

에 사용할 경우 동결융해 저항성이 매우 커 내구성이 우수한 경작로의 포장재료로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

이 연구는 경작로에 사용하기 위하여 흙, 천연조골재, 고화재 및 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 에코콘크리트를 개발하여, 그 물리·역학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중량감소율은 조골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 작게 나타났고, 고화재가 조골재보다 중량감소에 더 크게 영향을 미쳤으며, 재령 7일, 28일, 91일 다같이 흙 59.8%, 자갈 20%, 고화재 20%, 섬유 0.2% 배합에서 중량감소율이 가장 작게 나타났다.

2. 압축강도와 휨강도는 섬유의 혼입과 조골재 및 고화재의 혼입율이 증가할수록 증가하였으며, 고화재의 영향이 강도에 가장 크게 나타났다.

3. 투수계수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 감소하였고, 섬유의 혼입에 의해 증가하였으며, EC8에서  $5.066 \times 10^{-9}$  cm/s로 다른 에코콘크리트에 비해 투수계수가 가장 작게 나타났다.

4. 자갈과 고화재 혼입량의 증가는 강도증진 효과를 얻을 수 있으나, 섬유는 배합시 뭉침현상으로 인하여 제성능을 저하시킬 수 있기 때문에 현장배합시 세심한 주의가 요망된다. 따라서, EC8의 배합을 경작로 포장재료로 사용하면 주변환경과 조화를 이루는 자연친화형 경작로를 만들 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 부설 "석재복합 신소재 제품 연구 센터"의 지원에 의하여 수행된 연구 결과의 일부임.

#### References

1. Song, C. S., P. W. Chang., Y. B. Lee, and S. Y. Lim, 1999, Characteristics of compaction and strength for synthetic fiber reinforced soils, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(5) : 93~98. (in Korean)
2. Sung, C. Y., 1997, An experimental study on the development and engineering performance of rice-husk ash concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 39(5) : 55~63. (in Korean)
3. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 1998, Physical and mechanical properties of rice straw ash concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4) : 37~44. (in Korean)
4. Sung, C. Y., S. H. Rhee, and C. S. Song, 2001, Physical and mechanical properties of eco-concrete with polypropylene fiber, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(1) : 116~121. (in Korean)
5. Wolfgang czernin., 1980, Cement chemistry and physics for civil engineers, Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH : 10~17.