

폴리프로필렌 섬유를 혼입한 에코콘크리트의 물리·역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Eco-concrete with Polypropylene Fiber

성 찬 용* · 리 신 호** · 송 창 섭**
Sung, Chan Yong · Rhee, Shin Ho · Song, Chang Seob

Abstract

This study is performed to examine the physical and mechanical properties of eco-concrete with polypropylene fiber.

Test results show that the strengths are increased with increase of the content of natural gravel, excellent soil compound and polypropylene fiber. The coefficient of permeability is increased with increase of the content of the polypropylene fiber but it is decreased with increase of the content of natural gravel and excellent soil compound. The lowest coefficient of permeability is achieved by eco-concrete which it is 100 times lower than that of the control. The durability factor is increased with increase of the content of natural gravel and excellent soil compound, and decreased with increase of the content of polypropylene fiber.

I. 서 론

농업의 개방화에 따른 우리 농업의 경쟁력을 확보하기 위한 농업생산성 증대를 위해서는 우리나라 농촌의 현실에 맞는 농업기반시설을 갖추는 일이 선행되어야 하며, 특히 기계화영농을 위한 충분한 농로확보와 농로포장 등으로 농업여건을 개선하여야 할 것이다.

농촌도로는 농촌주민의 일상생활은 물론, 농업생산과 유통을 위한 생활 및 생산 기반일 뿐만 아니라, 농촌지역의 발전을 선도·지원하는 기본적

인 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. 따라서, 농촌도로를 농촌주민의 생활과 농업생산활동에 편리하도록 정비해야만 하는데 농촌도로의 정비는 공학적 기술만 적용하여 시행하면 안되고 다양한 인자와 환경적·역사적 제한조건을 충족시키도록 하여야 한다.¹⁾

따라서, 본 연구에서는 자연친화적인 경작로의 개

*충남대학교 농과대학

**충북대학교 농과대학

키워드 : 에코콘크리트, 압축강도, 휨강도,

투수계수, 내구성.

Table 1 Physical properties of soil

USCS	Specific gravity (20°C)	Atterberg limits (%)		Grain size distribution (%)					OMC (%)	γ_d max (tf/m ³)
		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 2 Physical properties of coarse aggregate

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

Table 3 Physical properties of polypropylene fiber

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

Table 4 Chemical compositions of excellent soil compound

(Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
23.9	8.4	2.2	54.6	2.5	6.6	1.8

량과 정비를 위하여 경작로의 흙과 흙의 단점을 보완할 수 있는 고화재, 천연골재, 폴리프로필렌 섬유 등을 혼합하여 자연친화적인 포장재료를 개발하고, 포장재료의 압축강도, 휨강도, 투수성, 내구성 등의 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명하여 성능이 우수한 에코콘크리트를 경작로에 사용하기 위한 기초자료를 수립하는데 그 목적이 있다.

I. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 흙

흙시료는 충청북도 청원군에서 채취한 점토질 세사이며, 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

나. 골재

경작로의 강도와 내구성 증진을 위해 사용한 골

재는 금강유역에서 채취한 표면건조포화상태의 천연자갈로써, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

다. 폴리프로필렌 섬유

경작로의 균열방지 및 휨강도의 증진을 위해 사용된 망사형 폴리프로필렌 섬유의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

라. 고화재

고화재는 사질토, 점성토, 개펄 및 산업부산물 등을 유효하게 고화시키는 분상의 재료로써, 그 화학성분은 Table 4와 같다.

2. 공시체 제작

가. 배합

경작로에 사용할 흙의 최적 함수비와 다짐의 편

Table 5 Mixing proportion of eco-concrete with polypropylene fiber (Unit : wt.%)

Type	Soil	Coarse aggregate	Excellent soil compound	Polypropylene fiber	Water
Control	100.0	0	0	0	18.70
S ₁	79.9	10	10	0.1	17.35
S ₂	69.9	10	20	0.1	17.62
S ₃	79.7	10	10	0.3	17.31
S ₄	69.7	10	20	0.3	17.58
S ₅	69.9	20	10	0.1	15.42
S ₆	59.9	20	20	0.1	15.66
S ₇	69.7	20	10	0.3	15.38
S ₈	59.7	20	20	0.3	15.62

의성과 강도를 고려한 최적의 배합을 위하여 흙은 노건조 상태의 것을, 골재는 표면건조포화상태의 것을 사용하였고, 예비 실험을 통해 적절한 강도와 내구성 및 경제성을 가지도록 흙, 골재, 고화재와 섬유 양을 변화시킨 9종류의 배합으로 하였으며, 재료들의 특성을 고려하여 흙, 골재 및 고화재를 잘 섞은 후 물을 첨가하여 혼합한 후 망상형의 폴리프로필렌 섬유를 첨가하여 다시 혼합하였으며, 그 배합설계는 Table 5와 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

공시체 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°C, 습도 70%의 실험실에서 기건양생하였다.

3. 시험방법

시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 따라 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 압축강도시험은 ϕ100×200mm, 휨강도시험은 60×60×240mm의 시험체를 제작하여 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법) 및 KS F

2408 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 각 강도를 측정하였다.

나. 투수계수는 ϕ100mm×100mm의 시험체를 제작하여 KS F 2322(흙의 투수 시험 방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

다. 동결융해시험은 60×60×240mm의 시험체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 300cycle 동안 실시하였으며, 50 cycle마다 동탄성계수를 측정하여 상대동탄성계수와 내구성 지수를 산출하였다.

Table 6 Comparison of compressive strength on eco-concrete

Type	Compressive strength (kgf/cm ²)			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
Control	10.8	17.3	18.8	161	108
S ₁	26.9	41.3	58.7	153	142
S ₂	31.7	76.3	83.9	240	110
S ₃	29.5	49.4	60.2	167	121
S ₄	34.5	79.3	85.9	229	108
S ₅	34.5	62.4	65.3	181	104
S ₆	40.1	77.3	89.3	192	117
S ₇	34.9	65.0	69.2	186	103
S ₈	40.4	87.9	91.3	217	103

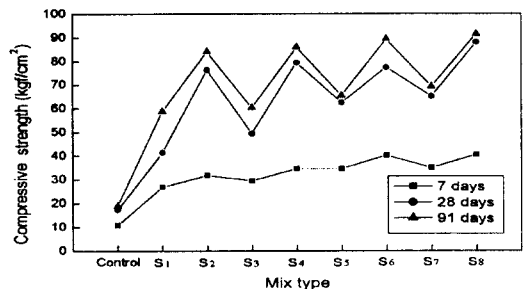


Fig. 1 Compressive strength vs. mix type of eco-concrete

Ⅲ. 결과 및 고찰

가. 압축강도

각 배합비에 따른 재령별 압축강도를 비교하면 Table 6 및 Fig 1과 같다.

Table. 6 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 에코콘크리트의 압축강도는 배합비와 재령에 크게 의존되었으며, 재령 7일 S₁~S₈경우 26.9~40.4kgf/cm²의 범위로 나타나 control 10.8 kgf/cm²에 비해 2.49~3.74배 크게 나타났고, 재령 28일의 경우 41.3~87.9kgf/cm²의 범위로 control 17.3kgf/cm²에 비해 2.37~5.06배 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우 58.7~91.3kgf/cm²의 범위로 control 18.87kgf/cm²에 비해 3.11~4.84배 크게 나타났다.

또한, 에코콘크리트의 재령 28일의 경우에는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 1~51%의 강도증가를 나타냈고, 고화재가 10%에서 20%로 증가함에 따라 23~84% 크게 나타났으며, 섬유가 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~19% 크게 나타났다. 한편, 재령 91일 압축강도는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 6~14%의 강도증가를 나타냈고, 고화재가 10%에서 20%로 증가함에 따라 31~42% 크게 나타났으며, 섬유가 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 2~5% 크게 나타났다.

또한, 재령 7일에 대한 28일의 강도증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 강도증가 보다 크게 나타나 강도는 초기재령에 있어서 영향이 크게 나타났다.

재령에 따른 압축강도가 골재, 고화재, 섬유의 첨가량이 많을수록 크게 나타난 이유는 골재의 증가에 따른 상대적인 고화재의 양이 증가되고, 섬유의 양이 증가되면 토립자 사이에 섬유로 인한 구속력이 증가되었기 때문이라고 생각되며, 이는 다른 연구와 유사한 결과라 하겠다.⁴⁾

아울러, 경작로의 재령 28일 압축강도는 농작업 기계별로 차이는 있으나, 현재 사용중인 기계로 볼 때 대체적으로 50~70kgf/cm² 이면 무난할 것으로 생각되며, 경작로의 포장에 사용되는 배합으로는 강도와 내구성, 경제성, 시공성을 고려 할

Table 7 Test results of bending strength on eco-concrete

Mix type	Bending strength (kgf/cm ²)			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
Control	2.2	5.3	7.7	140	44
S ₁	5.2	6.8	8.2	30	20
S ₂	9.9	10.2	13.6	2	33
S ₃	7.3	8.9	11.4	21	27
S ₄	13.5	17.1	19.2	26	12
S ₅	6.7	9.7	12.7	44	30
S ₆	13.4	16.7	19.5	24	16
S ₇	7.8	10.3	13.4	31	30
S ₈	13.9	17.2	20.0	23	16

때, 흙 : 골재 : 고화재 : 섬유의 배합비가 59.9% : 20% : 20% : 0.1%인 S₆의 배합이 가장 적절할 것으로 판단된다.

나. 휨강도

각 배합비에 에코콘크리트의 재령별 휨강도 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 재령 7일 S₁~S₈의 경우 5.2~13.9kgf/cm²로 control 2.2 kgf/cm²에 비해 2.29~6.10배 크게 나타났고, 재령 28일의 경우는 6.8~17.2kgf/cm²의 범위로 control 5.3kgf/cm²에 비해 1.28~3.23배 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우에는 8.2~20.0 kgf/cm²의 범위로 control 7.7kgf/cm²에 비해 1.06~2.59배 크게 나타났고, 재령 28일의 강도는 재령 7일의 강도에 비해 2~44% 크게 나타났으며, 재령 91일의 강도는 재령 28일의 강도에 비해 12~33% 크게 나타났다.

또한, 재령 28일의 경우, 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 0.6~64%의 강도 증가를 나타냈고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 49~91%의 강도 증가를 나타냈으며, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~67%의 강도증가를 나타냈고, 재령 91일의 휨강도는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 4~54%의 강도 증가를 나타냈으며, 고화재량이 10%에서 20%

로 증가함에 따라 41~64%의 강도 증가를 나타냈고, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 2~41%의 강도증가를 나타냈다.

또한, 재령 7일에 대한 28일의 강도증가가 재령 28일에 대한 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 대한 상대적인 고화재 양의 증가와 섬유가 토립자 사이의 구속력을 증가시켰기 때문이라고 생각된다.

아울러, 경작로의 휨강도는 농작업기계별로 차이는 있으나, 대체적으로 10~15kgf/cm²이면 적절할 것으로 생각되며, 경작로 포장에 사용되는 배합으로는 강도와 내구성, 경제성, 시공성을 고려할 때, 흙 : 골재 : 고화재 : 섬유의 배합비가 59.9% : 20% : 20% : 0.1%인 S₆의 배합이 가장 적절할 것으로 판단된다.

다. 투수계수

경작로의 투수계수는 동결 융해에 대한 저항성에 영향을 미치는 중요한 요인이 되는데, 에코콘크리트의 투수계수를 나타내면 Table. 8과 같다.

Table 8에서 보는 바와 같이 에코콘크리트의 투수계수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록

작아지고 섬유의 혼입량이 증가할수록 커지는 경향을 나타냈는데, 이러한 이유는 고화재의 혼입으로 인한 흡입자 내부의 미세공극충전효과와^{2,3)} 고화재의 수화반응에 따른 에트링자이트의 생성으로 흡입자를 치밀하게 하였기 때문이라 생각된다.⁵⁾

또한, 골재의 혼입량이 증가함에 따라 투수계수가 작게 나타난 이유는 골재가 배합에 사용되어 상대적으로 고화재의 양이 증가되었기 때문이라고 생각되며, 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 투수계수가 크게 나타난 이유는 섬유의 과도한 뭉침 현상으로 투수계수가 크게 나타난 것으로 생각된다. 한편, S₆ 에코콘크리트의 투수계수는 4.163 × 10⁻⁹cm/s로 control의 투수계수 6.151 × 10⁻⁷cm/s에 비해 100배 이상 작은 값을 나타내고 있어 경작로에 사용시, 동결융해에 대한 저항성이 매우 커 내구성이 우수한 경작로의 포장재료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

라. 내구성

동결융해시험은 심한 기상작용, 특히 겨울에 수분이 동결함으로써 체적이 팽창하고, 미소균열이 발생하여 강도저하와 함께 표면의 박리현상이 일어나는데, 이러한 현상을 인공적으로 발생시켜 재료의 동결에 대한 저항성을 측정하는 것으로 상대동탄성계수와 내구성지수를 나타내면 Table 9와 같다.

Table 8 Test results of coefficient of permeability on eco-concrete

Mix type	Coefficient of permeability (Unit : cm/s)
Control	6.151 × 10 ⁻⁷
S ₁	2.905 × 10 ⁻⁷
S ₂	6.051 × 10 ⁻⁸
S ₃	3.747 × 10 ⁻⁷
S ₄	9.523 × 10 ⁻⁸
S ₅	3.495 × 10 ⁻⁸
S ₆	4.163 × 10 ⁻⁹
S ₇	5.386 × 10 ⁻⁸
S ₈	5.969 × 10 ⁻⁹

Table 9 Test result of freezing and thawing on eco-concrete

Type	Relative dynamic modulus of elasticity (%)							Durability factor (D.F)
	0 cycle	50 cycle	100 cycle	150 cycle	200 cycle	250 cycle	300 cycle	
Control	100	93.6	91.5	88.9	87.1	86.2	84.5	84.5
S ₁	100	97.9	96.5	95.3	93.1	91.2	89.0	89.0
S ₂	100	98.2	96.6	95.4	93.7	92.0	90.7	90.7
S ₃	100	97.8	95.3	94.0	92.5	90.7	88.2	88.2
S ₄	100	98.0	96.0	94.3	92.7	91.6	89.8	89.8
S ₅	100	98.5	97.1	95.6	93.5	92.8	91.0	91.0
S ₆	100	99.0	97.9	96.3	95.3	94.1	92.9	92.9
S ₇	100	98.0	96.8	95.4	93.5	92.5	90.8	90.8
S ₈	100	98.6	97.0	95.7	94.6	93.1	91.7	91.7

상대동탄성계수와 내구성 지수는 Table 9에서 보는 바와 같이 S₆에서 가장 크게 나타났으며 동결융해에 대한 저항성은 골재와 고화재의 혼입량이 증가함에 따라 크게 나타났고, 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 작게 나타났는데, 이러한 이유는 투수계수가 골재와 고화재의 혼입량이 증가하면 투수계수가 작게 나타나고 섬유의 혼입량이 증가하면 투수계수가 크게 나타난 원인과 유사한 결과라 하겠다.

따라서, 경작로 포장에 사용되는 배합으로는 강도, 동결융해저항성, 경제성 및 시공성을 고려할 때, S₆의 배합이 가장 적절할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

이 연구는 경작로의 포장재료로 사용하기 위한 흙과 고화재, 천연골재 및 망사형의 폴리프로필렌 섬유를 사용한 에코콘크리트를 개발하여, 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압축강도 및 휨강도는 모든 재령에서 골재, 고화재, 섬유의 혼입량이 증가할수록 크게 나타났으며, 특히, 고화재의 영향이 가장 크게 나타났다.
2. 투수계수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 작게 나타났고, 섬유의 혼입량이 증가할수록 크게 나타났으며, S₆에서 $4.163 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ 로 다른 에코콘크리트에 비해 투수계수가 가장 작게 나타났다.
3. 동결융해시험에 의한 내구성지수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 크게 나타났고, 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 다소 작게 나타났으

며, S₆의 배합에서 동결융해에 대한 내구성 지수가 가장 크게 나타났다.

4. 고화재와 자갈 혼입량의 증가는 강도와 내구성 증진효과를 얻을 수 있으나, 섬유의 증가는 배합시 뭉침 현상으로 인해 강도 및 기타 성능을 저하시킬 수 있기 때문에 현장 배합시 세심한 주의가 요망된다.

따라서, S₆의 배합을 경작로의 포장재료로 사용하면 자연친화형 기계화 경작로를 만들어 주변 환경과의 조화를 이루는 경작로를 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 1999년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

참 고 문 헌

1. 농업토목시험연구소, 1986, 농어촌도로 포장공법 연구 보고서, 농업진흥공사 : 3~11
2. 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 39(5) : 55~63.
3. 성찬용 외 1인, 1998, 벚지재 콘크리트의 물리·역학적 특성, 한국농공학회지, 40(4) : 37~44.
4. 송창섭 외 3인, 1999, 섬유 보강토의 다짐 및 강도 특성, 한국농공학회지, 41(5) : 93~98.
5. Wolfgang Czernin., 1980, Cement chemistry and physics for civil engineers, Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH : 10~17.