

폴리프로필렌 섬유보강 흙콘크리트 포장재료의 투수 특성

Permeability of Polypropylene Fiber Reinforced Soil Concrete Pavement Material

성 찬 용*
Sung, Chan Yong

Abstract

This study was performed to evaluate permeable properties of eco-concrete using soil, natural coarse aggregate, soil compound and polypropylene fiber.

The flexural strength, ultrasonic pulse velocity and dynamic modulus of elasticity were increased with increasing the content of coarse aggregate, soil compound and polypropylene fiber.

The flexural strength, ultrasonic pulse velocity and dynamic modulus of elasticity were 2.59 MPa, 3,527 m/s and 275×10^2 MPa at the curing age of 28 days, respectively. The coefficient of permeability was decreased with increasing the content of coarse aggregate and soil compound, but it was increased with increasing the content of polypropylene fiber.

Accordingly, this concrete can be used for farm road.

Keywords: Flexural strength, Ultrasonic pulse velocity, Dynamic modulus of elasticity, Coefficient of permeability

I. 서 론

농업의 경쟁력을 확보하기 위한 농업생산성 증대를 위해서는 농촌의 현실에 맞는 농업기반시설을 갖추는 일이 선행되어야 하며, 기계화 영농을 위한 충분한 경작로의 확보와 농로포장 등으로 농업여건을 개선하여야 한다.

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

* 충남대학교 농업생명과학대학
* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798
Fax: +82-42-825-5791
E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

공간생활 체계가 얼마나 효과적으로 운용되고 있는가를 판단할 수 있을 만큼 중요한 요소가 된다.

또한, 효율적인 경작로 개발을 위한 체계적인 경작 도로망, 농산물의 생산지, 가공, 유통시설간의 농로를 확보함으로써 농업경쟁력 제고는 물론, 국도나 지방도 정비사업과 연계하여 농어촌 생활환경 개선에 기여하여야 한다.

따라서, 본 연구는 경작로의 균열방지와 힘강도의 증진을 위해 경작로의 흙과 천연조골재, 고화재, 폴리프로필렌 섬유를 혼합하여 환경친화적인 포장 재료를 개발하고, 그 포장재료의 힘강도, 초음파진동속도, 동탄성계수, 투수계수 등의 특성을 규명하여, 경제성, 내구성, 시공성 등의 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 1 과 같다.

나. 굵은골재

경작로의 강도와 내구성 증진을 위해 사용한 골

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

Table 2 Physical properties of coarse aggregate

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

다. 고화재

국내에서 사용하였거나 사용중인 고화재는 비스타와 뉴베톤이 있으나, 본실험에서는 경제성, 시공성 등을 고려하여 일본 J회사 제품의 고화재를 사용하였으며, 그 화학성분은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical composition of soil compound

(Unit : %)

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

라. 폴리프로필렌 섬유

경작로의 균열방지와 힘강도의 증진을 위해 국산 S회사 제품의 망사형 폴리프로필렌 섬유를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 1 Physical properties of soil

USCS	Specific gravity (20℃)	Atterberg limits (%)		Grain size distribution (%)					OMC	r _d max (tf/m ³)
		LL	PI	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	0.005mm		
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	Melt point	Tensile strength (kgf/cm ²)	Young's modulus (kgf/cm ²)	Acid and alkali resistance
Homopolymer polypropylene	19	0	0.91	162℃ over	3,500~7,700	35×10 ³ over	Very high (inactivity)

Table 5 Mix design of polypropylene fiber reinforced soil concrete
(Unit : %)

Mix type	Soil	Gravel	Soil compound	Polypropylene fiber
SG1	90.0	10	-	-
SG2	84.8	10	5	0.2
SG3	79.8	10	10	0.2
SG4	74.8	10	15	0.2
SG5	69.8	10	20	0.2
SG6	80.0	20	-	-
SG7	74.8	20	5	0.2
SG8	69.8	20	10	0.2
SG9	64.8	20	15	0.2
SG10	59.8	20	20	0.2

2. 시험체 제작

가. 배합설계

경작로에 사용할 섬유보강 흙콘크리트 포장재료의 다짐 편의성을 고려하여 흙은 노건조 상태의 것을, 골재는 표면건조 포화상태의 것을 사용하였으며, 적절한 강도와 내구성 및 경제성을 가지도록 흙, 골재, 고화재와 섬유의 양을 변화시킨 10종류의 배합으로 하였고, 흙, 골재 및 고화재를 잘 섞은 후 물을 첨가하여 혼합한 후 망사형 폴리프로필렌 섬유를 혼합하였으며, 그 배합설계는 Table 5와 같다.

나. 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 D-2 Type의 다짐 에너지를 고려하여 3층으로 나누어 각층 사이에 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, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과

치로 하였다.

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

나. 초음파진동속도시험은 Ø150×300 mm인 시험체의 길이방향에 직경 50 mm의 변환기를 부착하여 BS 1881 Part 203(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

다. 동탄성계수시험은 Ø150×300 mm인 시험체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동 측정기를 부착하여 BS 1881 Part 209(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

라. 투수계수시험은 Ø100×100 mm의 시험체를 제작하여 KS F 2322(흙의 투수시험 방법)에 준하여 재령 28일에 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 휨강도

각 배합에 따른 폴리프로필렌 섬유보강 흙콘크리트의 재령별 휨강도 시험결과를 나타내면 Table 6과 같다.

Table 6에서 보는 바와 같이 재령 7일 휨강도의 경우 SG2~SG5와 SG7~SG10의 0.71~1.72 MPa 와 0.77~2.01 MPa에 비하여 고화재와 섬유를 혼입하지 않은 SG1과 SG6의 0.26 MPa 와 0.28 MPa에 비해 각각 2.72~6.62배와 2.72~7.12배 크게 나타났고, 재령 28일의 경우 1.12~2.41 MPa 와 1.23~2.59 MPa의 범위로 0.57 MPa 와 0.62 MPa에 비해 각각 1.96~4.21배와 1.97~4.15배 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우 1.43~3.07 MPa 와 1.56~3.16 MPa의 범위로 0.77 MPa 와 0.84 MPa에 비해 각각 1.87~3.99 배와 1.86~3.78배 크게 나타났다. 또한, 재령 28

Table 6 Flexural strength results of polypropylene fiber reinforced soil concrete

Mix type	Flexural strength (MPa)			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
SG1	0.26	0.57	0.77	120	34
SG2	0.71	1.12	1.43	58	27
SG3	1.05	1.50	1.89	42	25
SG4	1.25	2.11	2.68	41	26
SG5	1.72	2.41	3.07	40	27
SG6	0.28	0.62	0.84	120	34
SG7	0.77	1.23	1.56	60	26
SG8	1.13	1.64	2.03	44	23
SG9	1.71	2.30	2.83	34	22
SG10	2.01	2.59	3.16	28	22

일 강도는 재령 7일의 강도에 비해 28~60% 크게 나타났으며, 재령 91일의 강도는 재령 28일의 강도에 비해 22~27% 크게 나타났다.

한편, 재령 28일의 경우 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 7~9%의 강도 증가를 나타내었고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 57~60%의 강도 증가를 보였으며, 재령 91일의 휨강도는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 3~8%의 강도 증가를 나타내었고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 55~62%의 강도 증가를 보였다. 또한, 재령 7일에 대한 재령 28일의 강도 증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 강도 증가보다 대체적으로 크게 나타나 초기재령에서 강도 증가가 크게 나타났으며,²⁾ 각각의 재령에 대한 휨강도는 고화재, 골재, 섬유의 사용량이 많을수록 크게 나타났는데, 이러한 이유는 골재량의 증가에 대하여 상대적으로 고화재량의 증가와 섬유가 토립자 사이의 구속력을 증가시켰기 때문이라고 생각된다.⁴⁾

아울러, 경작로의 휨강도는 콤팩인, 트랙터, 경운기 등 농작업기계별로 차이는 있으나, 대체적으로

재령 28일의 강도가 2.5 MPa이면 적절할 것으로 생각되며,⁴⁾ 경작로 포장에 사용되는 배합으로는 강도와 내구성, 경제성, 시공성을 고려할 때 SG10의 배합이 가장 적절할 것으로 판단된다.

2. 초음파진동속도

각 배합에 따른 폴리프로필렌 섬유보강 흙콘크리트의 재령별 초음파진동속도 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

초음파진동속도시험은 시험체내에 pulse를 종방향으로 방사하여 이것이 전달되는 시간으로부터 품질을 검사하는 비파괴시험의 일종으로서, 시험체의 밀도, 공극, 균열등의 분석과 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데에도 이용된다. 음속에 영향을 미치는 것은 발신자측에서는 pulse의 진폭, 케이블 길이, 수신자측에서는 시험체의 표면상태나 케이블 길이, 증폭기의 성능, 시험체에서는 전과거리, 시험체의 성숙도, 함수량, 밀도 등이다.⁵⁾ 따라서 초음파진동속도는 물체가 치밀하면 크게 나타나고 그렇지 않으면 작게 나타나므로, 시험체의 내

Table 7 Ultrasonic pulse velocity results of polypropylene fiber reinforced soil concrete

Mix type	Ultrasonic pulse velocity (m/s)			Increasing ratio (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
SG1	1,902	1,989	2,083	4	4
SG2	1,949	2,319	2,540	18	9
SG3	2,418	2,925	3,030	20	3
SG4	2,558	3,370	3,457	31	2
SG5	2,933	3,443	3,592	17	4
SG6	1,997	2,088	2,187	4	4
SG7	2,343	2,528	2,647	7	4
SG8	2,448	2,956	3,063	20	3
SG9	2,637	3,486	3,620	32	3
SG10	3,014	3,527	3,645	17	3

구성 파악을 위하여 초음파진동속도를 측정하였다.

초음파진동속도는 Table 7에서 보는 바와 같이 배합비와 재령에 크게 의존되었으며, 재령 28일 SG2~SG5와 SG7~SG10의 2,319~3,443 m/s와 2,528~3,527 m/s에 비하여 고화재와 섬유를 혼입하지 않은 SG1과 SG6의 1,989 m/s와 2,088 m/s에 비해 각각 1.16~1.73배와 1.21~1.68배 크게 나타났다.

또한, 재령 28일의 경우, 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 1~9%의 초음파진동속도 증가를 나타내었고, 고화재가 10%에서 20%로 증가함에 따라 17~19% 크게 나타났으며, 재령 7일에 비해 재령 28일의 초음파진동속도 증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 초음파진동속도 증가보다 크게 나타났고, 휨강도의 경향과 유사한 결과를 나타내었다.

한편, 재령에 따른 초음파진동속도는 고화재와 골재의 혼입량이 많을수록 크게 나타났는데, 이러한 이유는 흙보다 입자가 작은 고화재의 미세공극 충전효과와 골재의 양이 증가되어 전파의 흐름을 방해하는 요인이 감소되었기 때문이며, 이로 인하여 고화재의 혼입량이 많을수록 내구성은 향상된다 고 할 수 있다.

3. 동탄성계수

각 배합에 따른 폴리프로필렌 섬유보강 혼콘크리트의 재령별 동탄성계수 시험결과를 나타내면 Table 8과 같다.

동탄성계수시험은 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대면에 방사하여 측정된 주파수로 동탄성계수를 구하는 방법으로, 화재에 의한 콘크리트의 열화상황 등 콘크리트의 성능시험에 사용되며, 대체적으로 탄성계수가 크면 강도가 크게 나타난다는 것을 의미한다.¹⁾ 따라서, 동탄성계수는 물체가 치밀하거나 강도가 크면 크게 나타나므로, 시험체의 압축강도와 인장강도 등의 크기를 파악하기 위하여

Table 8 Dynamic modulus of elasticity results of polypropylene fiber reinforced soil concrete

Mix type	Dynamic modulus of elasticity ($\times 10^2$ MPa)			Increasing ratio (%)	
	7 days	28 days	91 days	7~28 days	28~91 days
SG1	129	169	188	30	11
SG2	134	199	230	48	15
SG3	143	210	253	46	20
SG4	154	233	267	51	14
SG5	165	252	282	52	12
SG6	145	175	205	20	17
SG7	172	214	251	24	17
SG8	202	231	259	14	11
SG9	232	262	290	12	10
SG10	250	275	296	10	7

동탄성계수를 측정하였다.

동탄성계수는 Table 8에서 보는 바와 같이 배합비와 재령에 따라 크게 변화하였으며, 재령 28일 SG2~SG5와 SG7~SG10의 $199 \times 10^2 \sim 252 \times 10^2$ MPa 와 $214 \times 10^2 \sim 275 \times 10^2$ MPa에 비하여 고화재와 섬유를 혼입하지 않은 SG1과 SG6의 169×10^2 MPa 와 175×10^2 MPa에 비해 각각 1.18~1.49배와 1.22~1.57배 크게 나타났다. 또한, 재령 28일의 동탄성계수는 골재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 7~12% 증가를 나타내었고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 19~20% 크게 나타났으며, 재령 7일에 대한 재령 28일의 동탄성계수 증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 동탄성계수 증가보다 크게 나타났다.

한편, 동탄성계수는 고화재와 골재의 혼입량이 증가할수록 증가하였으며, 휨강도, 초음파진동속도와 유사한 경향을 나타내었다.

4. 투수계수

경작로의 투수계수는 동결융해에 대한 저항성에

영향을 미치는 중요한 요인이 되며, 각 배합에 대한 투수계수 시험결과를 나타내면 Table 9와 같다.

Table 9에서 보는 바와 같이 폴리프로필렌 섬유보강 흙콘크리트의 투수계수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 이러한 원인은 고화재의 혼입으로 인한 흡입자 내부의 미세공극 충전효과³⁾와 고화재의 수화반응에 따른 에트링자이트의 생성으로 흡입자를 치밀하게 하였기 때문이라 생각된다.⁶⁾

또한, 골재의 혼입량이 증가함에 따라 투수계수가 작게 나타난 이유는 고화재량이 상대적으로 증가되고, 폴리프로필렌 섬유가 전단강도, 강성, 인장력을 증가시켜 휨방향 변형에 구속되므로 건조수축에 따른 균열감소와 파괴를 방지하게 되어, 흡이 가지지 못하는 인장응력의 단점을 보완하였기 때문이라고 판단된다.

한편, SG10의 투수계수는 5.066×10^{-9} cm/s로 SG6의 투수계수 5.199×10^{-7} cm/s에 비해 100배 이상 작은 값을 나타내고 있어, 이를 경작로에 사용할 경우 동결융해저항성 증가와 내구성을 증가시켜 우수한 경작로 포장재료로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

Table 9 Coefficient of permeability results of polypropylene fiber reinforced soil concrete

Mix type	Coefficient of permeability (cm/s)
SG1	5.473×10^{-7}
SG2	4.179×10^{-7}
SG3	3.326×10^{-7}
SG4	8.661×10^{-8}
SG5	4.440×10^{-8}
SG6	5.199×10^{-7}
SG7	1.271×10^{-7}
SG8	7.787×10^{-8}
SG9	1.045×10^{-8}
SG10	5.066×10^{-9}

IV. 결 론

이 연구는 흙, 천연조골재, 고화재 및 폴리프로필렌 섬유보강 흙콘크리트 포장재료를 개발하여 그 물리·역학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 휨강도는 모든 배합에서 조골재, 고화재, 섬유의 혼입량이 증가할수록 증가하였으며, 고화재의 영향이 강도에 가장 크게 나타났다.

2. 초음파진동속도는 재령 28일에 1,989~3,527 m/s, 동탄성계수는 $169 \times 10^2 \sim 275 \times 10^2$ MPa의 범위로 나타났으며, 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 증가하였고, 휨강도의 결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 고화재의 영향이 골재의 영향보다 더 크게 나타났다.

3. 투수계수는 골재와 고화재의 혼입량이 증가할수록 감소하였고, 섬유의 혼입량이 증가할수록 증가하였으며, SG10 배합이 다른 배합에 비해 투수계수가 가장 작게 나타났다.

4. 조골재와 고화재 및 섬유 혼입량의 증가는 강도증진 효과를 얻을 수 있으나, 섬유는 배합시 뭉침현상이 나타나기 쉬우므로 세심한 주의가 요망되며, SG10의 배합을 경작로 포장재료로 사용하면 환경친화형 경작로를 만들 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 2003년도 충남대학교 자체연구비의 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임.

References

1. Malhotra, V. H and N. J. Carino. 1991. Hand-book on nondestructive testing of concrete. CRC Press : 50-83.
2. 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)
3. 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)
 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. Swamy, R. N and A. H. Al-Hamed. 1984. The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air dried cubes and hence in situ strength of concrete. *Journal of the ACI* 81(2) : 247-276.
 6. Wolfgang czernin. 1980. Cement chemistry and physics for civil engineers. Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH : 10-17.