

바이오 폴리머 콘크리트의 환경 저항성 평가 연구

A Evaluation of Environmental Resistance for Bio-Polymer Concretes

김 제 원 Kim, Je Won
김 태 우 Kim, Tae Woo
박 희 문 Park, Hee Mun
김 부 일 Kim, Bu Il

정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 (E-mail : jewonkim@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : twkim@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : hpark@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : bikim@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the environmental resistance of bio-polymer concrete for use of pavement materials developed for reducing the carbon-dioxide.

METHODS : The compression, tension, and bending strength tests were conducted on the bio-polymer concrete specimens with and without environmental conditioning. The specimens were conditioned using the freezing-thaw and accelerated weathering process for long period of time. To assess the resistance against chloride, the chloride ion penetration resistance tests were carried out on the bio-polymer concrete specimens.

RESULTS : Test results show that the maximum difference in strength between specimens with and without conditioning is about 2.6MPa indicating that the effect of environmental conditioning on specimen strength is negligible. Based on the chloride ion penetration resistance test, the penetration quantity of electric charge of the specimens is zero and there is no ion penetration within the bio-polymer concrete.

CONCLUSIONS : It is found from this study that there is slight change in strength of bio-polymer concretes before and after environmental conditioning process and no chloride ion penetration observed in these specimens. Therefore, the developed bio-polymer concretes can be applied effectively as pavement materials due to the small change of physical properties with environment change.

Keywords

bio polymer concrete, castor oil, freeze-thawing, chloride, ultraviolet rays

Corresponding Author : Kim, Tae Woo, Senior Researcher
Korea Institute of Construction Technology, 283 Goyangdae-ro,
Ilsan-Gu, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0084 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : twkim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ijhe.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

약 1900년대부터 자동차가 널리 보급됨에 따라 아스팔트 콘크리트와 시멘트 콘크리트가 대부분 도로포장 재료로 사용되고 있다. 이러한 도로포장은 차량의 원활한 주행을 위한 평탄하고 안전한 노면의 제공이 가능하기

때문이다. 그러나 아스팔트 포장 재료는 생산 및 시공 시 CO₂와 유해가스의 발생이 많고, 시멘트 콘크리트 포장은 조기교통개방 어려움 등의 문제가 있기 때문에 기존 포장 재료를 대체할 수 있는 새로운 대체 재료로 폴리머 바인더에 대한 연구가 진행되고 있다(김대영, 2010).

폴리머 계열의 콘크리트는 석유계 수지를 이용하여 개발되었으며 결합제, 경화제, 충전제, 골재 등으로 구성된다(김태우, 2008). 석유계 폴리머 콘크리트는 초속경 특성으로 인해 구조물의 긴급보수와 국부적인 보수 및 보강에 많이 사용되며 교통하중으로 인한 진동 저항성 및 방수기능이 탁월하여 방수층 재료로 활용되는 등 그 용도가 다양하다(김대영, 2010). 이러한 장점으로 인하여 국내외에서 주로 포장의 덧씌우기 및 강바닥판 교면포장에 폴리머 콘크리트를 적용하고 있는 실정이다(박희문, 2013).

그러나 이러한 석유계 폴리머 콘크리트는 최근 환경적 측면에서 국제적으로 논의되고 있는 지구온난화 방지를 위한 CO₂ 배출량 저감에 대응하기에는 한계가 있다. 폴리머 콘크리트를 이용한 박층 포장공법의 장점인 포장층 두께 저감으로 인한 바인더 및 골재 양의 감소와 더불어 석유계 폴리머 자체를 비석유계 재료로 대체할 수 있다면 CO₂ 배출량 저감과 유한자원인 석유자원 대체에 적극적으로 대응할 수 있다(Wool, 2005).

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 CO₂ 저감을 목적으로 개발된 바이오 폴리머 콘크리트의 환경 저항성을 평가하였다. 이를 위해 동결융해 시험, 촉진내후성 시험 후 강도특성을 평가하였으며, 염화물에 대한 저항성을 평가하기 위한 염소이온침투 저항성 시험을 수행하였다.

2. 시험재료

2.1. 바이오 폴리우레탄 수지

바이오 폴리우레탄 수지는 주제와 경화제로 구성된 이액형 수지로 주제는 폴리올, 촉매, 기타 첨가제 등으로 구성되어 있다. 폴리올은 피마자유와 석유계 폴리올을 일정비율로 혼합 사용하였다. 피마자유는 성분의 약 90%가 불포화 지방산인 리시놀렌산으로, 이소시아네이트(-NCO)와 반응할 수 있는 폴리올(-OH) 구조와 유사한 특성을 지니고 있어 폴리올 공정이 필요 없는 장점을 가지고 있다(박희문, 2013). 경화제 역할을 하는 이소시아네이트(-NCO)는 폴리올 (-OH)과 반응하는 수지로 경화시 물리적 강도 및 내화학적 물성이 뛰어난 장점이 있다(박희영, 2013). 그러나 폴리우레탄은 반응 온도와 발포제의 비율, 교반효율 등과 같은 성형 조건의 변화에 따라 내부 기포의 분포 및 크기, 형상 등이 영향을 받으며, 이러한 기포 발생 경향의 차이에 따라 소재의 밀도와 강도, 경도 등 기계적 성질이 달라진다(김홍석, 2009).

본 연구에서는 기포발생 문제점을 해결하고 석유계 수지의 30%를 식물성 재료로 대체한 906-3과 50%를 식물성 재료로 대체한 2I를 사용하였다. 기본적인 구성은 Table 1과 같다.

Table 1. Composition of Bio-Polymer Binder

Binder Type		906-3	2I
Main resin type		906-3	70C30H
Hardener		M20S	M20S
Mixing Ratio (Hardener/Main resin)		35/100	45/100
Biopolyol contents(%)		30	50
Viscosity (cPs, 25°C)	Main resin	950	828
	Hardener	181	181
Specific Gravity	Main resin	1.0024	0.9941
	Hardener	1.2371	1.2371

2.2. 골재

바이오 폴리머 콘크리트는 크게 수지와 골재로 구성되어 있으며, 골재는 주로 강도발현을 위해 사용되고 있다. 기존 선행연구에서는 박층 폴리머 콘크리트에 혼합구사를 사용하면 폴리머 수지의 사용량을 절감하고, 강도를 높일 수가 있어서 경제적이다 제시하였다(김태우, 2008).

따라서 본 연구에서는 바이오 폴리머 콘크리트의 환경영향에 대한 저항성을 평가하기 위하여 기존 연구에서 제시한 혼합구사 입도(Table 2)를 사용하였다(김대영, 2010). 바이오 폴리머 콘크리트는 Self Leveling 효과로 다짐이 불필요하며, 바이오 폴리머 수지의 함량이 총 중량대비 약 24%로 일반 포장에 비하여 수지 함량이 많기 때문에 수지의 환경저항성을 평가하는데 적절한 것으로 판단된다.

Table 2. Mix Design of Bio-Polymer Concrete

Type	Composition Ratio	Aggregate Size
Bio Polymer Concrete	resin : aggregates = 19 : 81	Silica Powder(200Mesh) Silica No. 4(0.8~1.5mm) Silica No. 6(0.2~0.4mm)

3. 시험방법 및 결과

본 연구에서 사용된 시편은 앞서 언급한 바와 같이 906-3 수지와 2I 수지를 사용하였으며, 각각 동일한 배합비율을 적용하였다. 바이오 폴리머 콘크리트의 환경영향 저항성을 평가하기 위하여 시편제작 후 무처리

상태의 압축강도, 휨강도, 인장강도 시험을 실시한 결과와 동결융해 시험 및 촉진 내후성 시험 후 압축강도, 휨강도, 인장강도 시험을 실시한 결과를 비교·분석하였다. 또한 염화물에 대한 저항성을 평가하기 위해 염소이온 침투 저항성 시험을 실시하였다. 시험방법 및 규정은 Table 3과 같다.

Table 3. Test Methods and Specifications

Test Method	Test Type	Specifications		Note
		Korea	America	
Original Specimen	Compressive Strength	-	ASTM C579	
	Tensile Strength		ASTM D638	
	Bending Strength		ASTM C580	
Freezing and Thawing	Compressive Strength	KS F 2456	ASTM C579	
	Tensile Strength		ASTM D638	
	Bending Strength		ASTM C580	
Accelerated Artificial Exposure (250hour)	Compressive Strength	KS F 2274	ASTM C579	
	Tensile Strength		ASTM D638	
	Bending Strength		ASTM C580	
Chloride Ion Penetration Resistance	-	KS F 2711	-	Charge Passed

3.1. 시험방법

3.1.1. 동결융해 시험

일반 도로포장은 외부환경에 직접적으로 노출되어 있는 구조물이다. 특히 외부 온도변화에 따라 도로포장은 수축·팽창의 반복적인 거동으로 인하여 포장의 온도균열을 유발한다. 본 시험은 외부 온도변화에 따른 포장의 저항성을 평가하는 시험으로 급속동결 후 수중 융해 시험(B법)으로 평가하였다. 1사이클은 공시체 중심부의 온도를 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 온도를 떨어뜨리고 다시 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 상승하는 것을 원칙으로 하며, 총 300cycle 완료 후 시험을 종료하여 평가하였다.

3.1.2. 촉진 내후성 시험

촉진 내후성 시험은 자외선 노출에 의한 포장 재료의 강도변화 특성을 평가하기 위한 항목으로 300시간 노

출 후 강도시험을 수행하였다. 본 시험방법은 실험실 광원 시험기를 이용하여 직접 옥외노출 시물레이션에 의한 WS-A 방법으로 시험 조건은 Table 4와 같다.

Table 4. Sunshine Carbon Arc Ramp Test Condition

Type	Exposure Test Method
	WS-A
Carbon Arc Voltage·Current	- AC voltage tolerance band 48~52V Central value $50\pm 1\text{V}$ - AC tolerance band 58~62A Central value $60\pm 1.2\text{A}$
Irradiance of Specimen Surface	$255\pm(10\%)\text{W/m}^2$
Black Panel Temperature	$63\pm 3^{\circ}\text{C}$
Relative Humidity	$(50\pm 5)\%$
Water Spray Cycle from Specimen Surface	- 18min. survey and water spray after 102min. survey or 12min. survey and water spray after 48min. survey - possible to use other cycle according to consultation
Survey Method	Continuous Survey

3.1.3. 염소이온 침투저항성 시험

동절기 도로포장의 용설을 목적으로 살포된 염화칼슘과 외부환경으로부터 침투하는 이온, 수분, 이산화탄소 등의 물질은 여러 화학반응으로 도로포장 재료의 내구성에 중대한 영향을 미친다.

염소이온의 침투저항성 시험은 빠른 시간에 염화물에 대한 저항성을 평가하기 위한 시험이다. 이 시험 방법에 의한 결과는 대부분 장기 침투에 의한 염화이온 침투 저항성 시험 결과와 비슷한 값을 나타낸다. 통과 전하량에 따른 염소이온 침투성은 Table 5와 같다.

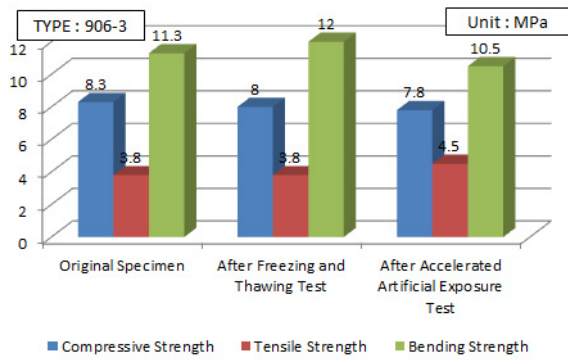
Table 5. Chloride Ion Penetration based on Charge Passed

Charge Passed (Coulombs)	Chloride Ion Penetration
>4,000	High
2,000~4,000	Normal
1,000~2,000	Low
100~1,000	Very Low
<100	Negligible

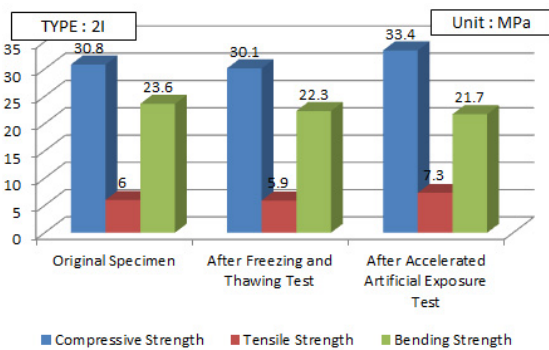
3.2. 시험결과

식물성 재료의 함량이 다른 바이오 폴리머 수지 2종류에 대하여 무처리 상태와 환경영향 처리 후(동결융해 시험, 촉진내후성 시험)의 압축강도, 인장강도, 휨강도

시험을 수행하여 비교·평가하였다.



(a) Specimen 906-3



(b) Specimen 2I

Fig. 1 Results of Environmental Resistance Test of Bio-Polymer Concrete

Fig. 1을 보면, 906-3 수지를 이용한 바이오 폴리머 콘크리트의 강도변화는 동결융해시험 후 압축강도는 0.3MPa 감소, 인장강도는 변화가 없었으며, 휨강도 0.7MPa 증가하였다. 촉진내후성 시험 후 압축강도 0.5MPa 감소, 인장강도는 0.7MPa 증가, 휨강도는 0.8MPa 감소하였다.

2I 수지를 이용한 바이오 폴리머 콘크리트의 강도변화는 동결융해시험 후 압축강도는 0.7MPa 감소, 인장강도는 0.1MPa 감소, 휨강도 1.3MPa 감소하였다. 촉진내후성 시험 후 압축강도 2.6MPa 증가, 인장강도는 1.3MPa 증가, 휨강도는 1.9MPa 감소하였다.

시험 결과를 종합하면, 환경영향에 대한 강도변화가 최대 2.6MPa로 환경영향에 대한 저항성이 우수한 것으로 판단되었다. 특히 2I 수지를 이용한 바이오 폴리머 콘크리트는 906-3 바이오 폴리머 콘크리트보다 무처리 상태에서는 평균 약 2.5배 강도가 우수하였으며, 처리 후 강도도 평균 약 2.5배 우수한 것으로 확인되었다.

추가적으로 외부환경에서 도로포장으로 침투하는 이

온, 수분, 이산화탄소 등의 물질과 도로용설 목적으로 살포되는 염화칼슘은 포장재의 강도를 저하시키는 원인이 되고 있다. 이를 평가하기 위하여 염소이온 침투저항성 시험을 수행하였으며, 통과전하량 “0”으로 염소이온 침투가 전혀 없는 것을 확인하였다(Table 6).

Table 6. Test Results of Chloride Ion Penetration Test for Bio-Polymer Concrete

Type	Charge Passed (Coulombs)	Chloride Ion Penetration
906-3	0	Negligible
2I	0	Negligible

이러한 시험결과는 석유계 수지를 식물성 재료로 50% 이상 대체하여도 도로포장 재료로서 충분히 사용 가능한 것을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 식물성 재료를 사용한 바이오 폴리머 콘크리트의 환경영향에 대한 저항성을 평가하기 위하여 수행하였으며 그 결과를 간략하게 정리하면 다음과 같다.

1. 석유계 수지를 식물성 재료로 30% 대체한 906-3과 50% 대체한 2I에 대하여 무처리 시편과 처리 후 시편의 강도를 비교한 결과 강도변화의 차이가 미미하였다.
2. 2I를 적용한 바이오 폴리머 콘크리트의 강도는 906-3 보다 무처리에서는 평균 약 2.5배, 처리 후에는 평균 약 2.5배 강도가 우수한 것으로 확인되었다.
3. 염소이온 침투저항성 시험결과 두 종류의 수지 모두 전하량이 “0”으로 염화물에 대한 저항성이 매우 우수한 것을 확인하였다.
4. 시험결과 석유계 수지의 일부를 식물성 재료로 대체하여도 환경영향 측면에서 도로포장 재료로 충분히 사용 가능할 것으로 판단된다.

References

Kim, Daeyoung, Kim, Taewoo, Lee, Hyungjong, Kim, Hyungbae, 2010. Characterization of Acryl Polymer concretes for Ultra Thin Overlays, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 12, No. 3, 1-8

Kim, H.S., Youn, J.W., 2009. A Study on Foaming Characteristics

- of Polyurethane Depending on Environmental Temperature and Blowing Agent content, *Transactions of Materials Processing*, Vol. 18. No. 3, 256-261
- Kim, Taewoo, Kim, Daeyoung, Nguyen, Manhtuan, Lee, Hyungjong, 2008. A Study on the Physical Characteristics of Acryl Concretes for Thin Bridge Deck Pavements, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 11. No. 3. 1-11
- Park, Heemun, Choi, Jiyoung, Kim, Taewoo, Ahn, Youngjun, Le Vanphuc, 2013. Evaluation of Mechanical Characteristics of Castor Oil Based Bio-Polymer Concretes for Ultra Thin Overlays, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 15. No. 2. 39-45
- Park, Heeyoung, Lee, Junghun, Kwak, Byeongseok, Choi, Iehyun, Kim, Taewoo, 2013. A Study to Evaluate Performance of Poly-Urethane Polymer Concrete for Long-Span Orthotropic Steel Bridge, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 15. No. 1. 1-9
- Richard P. Wool, Xiuzhi Susan Sun, 2005. *Bio-based Polymers and Composites*, Elsevier, Boston.
- (접수일 : 2013. 9. 2 / 심사일 : 2013. 9. 3 / 심사완료일 : 2013. 10. 1)