

예방적 유지보수를 위한 소수성 저점도 AP 표면처리재 개발

The Development of the Hydrophobic - Low Viscosity Filling Material for the Surface Treatment for Pavement Preventive Maintenance

최준성 Choi, Jun Seong | 정회원 · 인덕대학교 토목환경설계과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail: soilpave@induk.ac.kr)
김조순 Kim, Jo Sun | 정회원 · (주)에스엔건설 대표이사 (E-mail: sn9404@hanmail.net)

ABSTRACT

PURPOSES : Surface treatment is a favorable method in the pavement preventive maintenance. This study (Part I) aimed to develop the low viscosity filling material for waterproof characteristics and high penetrable and weather resistance, and a series of companion study (Part II) presents the coating characteristics and performance analysis using field and lab tests.

METHODS : Hydrophobic characteristics of the advanced surface treatment material are observed and measured the filling depth and the permeability for sand and asphalt pavement specimen using the water absorption test and permeability test, X-RAY CT test. Color difference for the weather resistance using ultraviolet ray accelerated weathering test is compared with asphalt pavement specimens.

RESULTS : The developed material shows the decreased water absorption and increased impermeable effect because of the hydrophobic characteristics. It is found that the filling depth is about 6mm and weather resistance is better than asphalt pavement specimen.

CONCLUSIONS : The advanced hydrophobic - low viscosity filling treatment material is developed in this study (Part I) to improve the waterproof characteristics and high filling capacity and weather resistance for the pavement preventive maintenance.

Keywords

surface treatment preventive maintenance, hydrophobic, low viscosity filling, weather resistance

Corresponding Author : Choi, Jun Seong, Professor
Induk University, 12, Choansan-ro Nowon, Seoul, 139-749, Korea
Tel : +82.2.950.7565 Fax : +82.2.950.7579
E-mail : soilpave@induk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ijhe.or.kr/

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Feb. 03, 2014 Revised Feb. 05, 2014 Accepted Mar. 24, 2014

1. 서론

포장도로는 교통하중과 기후조건 등의 작용으로 노화됨에 따라 계속해서 노면상태가 변하고 포장구조체가 노후하게 되어 주행성, 안정성 및 쾌적성이 저하되며 결국에는 원활하고 안전한 교통에 지장을 주게 된다. 그러나 포장상태를 정기적으로 평가하여 적절한 유지보수를 실시한다면 포장공용성을 향상시킬뿐 아니라 도로의 수명을 연장시킬 수 있다. 국내의 경우 최근 도입되고 있

는 “예방적 유지보수”라는 신개념의 유지관리기법은 건설 위주였던 도로사업 방향이 유지관리로 전환되는 시점에서 현장적용 가능성에 대해 검토되고 있다. 예방적 유지보수공법은 크게 2종류의 공법으로 분류할 수 있는데 이는 균열처리공법과 표면처리공법이다. 균열처리공법으로는 균열실링, 균열충진 및 균열전면처리공법 등이 있다. 표면처리공법으로는 포그실, 칩실, 슬러리실, 마이크로 서피싱, 박층포장 등이 있다. 본 연구에서는

균열이 발생하기 시작한 초기 균열 아스팔트 도로포장의 예방적 유지관리보수공법으로 균열실링 및 포그실 계열의 소수성 특성을 가진 저점도의 AP 표면처리재를 개발하고 제2단계 연구에서 현장적용성 및 도포특성과 미끄럼특성을 검토하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 소수성 및 발수성에 의한 침투수 유입방지와 자외선 등의 환경영향성을 최소화하여 포장표면의 열화방지 효과 및 골재코팅에 의한 골재분리방지와 저점도특성을 이용한 하부 미세균열부분까지의 충전효과를 나타내는 AP 표면처리재를 개발하고자 한다. 다음 Fig. 1은 포장 도로의 균열진전 모습이다.



(a) Initial Crack Shape



(b) Crack Propagation Shape

Fig. 1 Appearance of Pavement Cracks

2. AP 표면처리재 재료특성 및 소수성 특성 분석

2.1. 표면처리재의 재료특성 분석

국내의 기존도로의 표면처리용 아스팔트로써 양이온계(양전하) 유화아스팔트가 사용되고 있으며, 방수제용 유화아스팔트는 음이온계(음전하)를 사용하고 있다(Choi et al., 2012). 기존도로에서 양이온계를 사용한 것은 양이온계 유화아스팔트가 실리카질 골재(물과 접

촉 시 음전하를 지님)와 부착성이 좋고 우리나라에서 사용되는 도로포장용 골재의 많은 부분이 실리카질 골재이기 때문에 판단된다. 또한 우리나라에서 생산되는 유화아스팔트의 대부분이 양이온계 유화아스팔트인 또 다른 이유일 것이다. 그러나 실제 우리나라에서 사용 중인 도로포장용 골재 중에는 칼슘 성분의 골재(물과 접촉 시 양전하를 지님, 석회암 계열)도 상당부분이 사용되고 있으며 예방적 유지관리 개념인 표면처리재는 아스팔트가 코팅된 골재위에 포설되므로 일반 골재위에 분사되는 것과는 특성이 다르다고 판단된다. 본 연구에서는 조성물질인 소수성실리콘과 함께 소수성을 극대화하기 위하여 음이온계 유화아스팔트를 베이스 아스팔트로 사용하고, 부착력증진 및 산화저항성을 높이는 조성물을 첨가하여 소수성 저점도 AP 표면처리재를 개발하였다. 음이온계를 사용한 것은 본 침투공법이 신규골재와 혼합하여 사용하는 표면처리용 아스팔트가 아니라 기존 아스팔트 포장의 균열에 침투되어 골재에 직접 부착되기 보다는 골재에 피막된 아스팔트 사이의 공극을 메워주는 필러(filling sealer)용 아스팔트로 작용하기 때문이다. 본 연구에서 개발한 재료특성은 다음 Table 1과 같이 침입도 104로 저점도임을 알 수 있다.

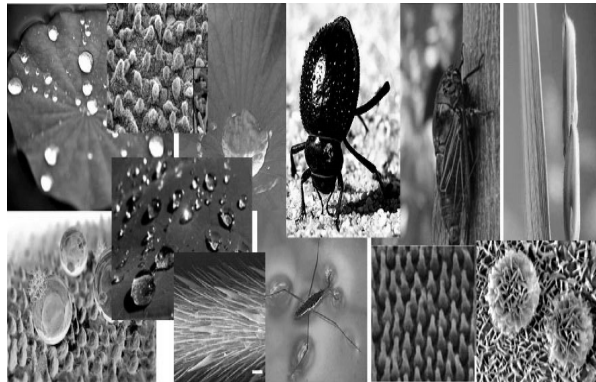
Table 1. Test Results of Hydrophobic Emulsified Asphalt

Test	Unit	Test Result	Test Method
Engler Viscosity(25°C)	SFS	8	KS M 2203 : 2008
Settlement(24h)	Mass(%)	0	
Deposit degree	-	2/3 이상	
Penetration	1/10mm	104	
Ductility	cm	Average 28	

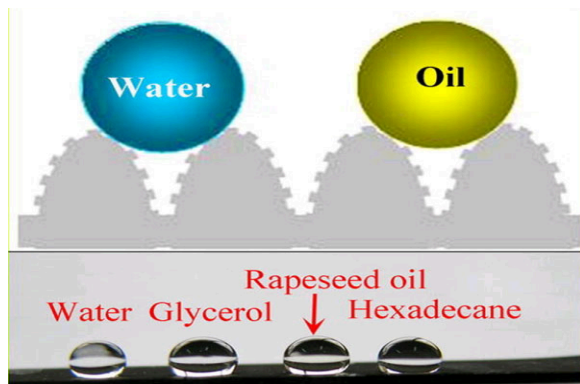
2.2. 소수성 저점도 AP 표면처리재의 특성 분석

최근 나노기술의 발전으로 소수성(hydrophobic)재료를 이용하여 마이크로 나노구조를 구축하거나 또는 소수성 나노구조를 활용하여 아스팔트 유지관리에 적용하고자 연구되고 있다(Song et al., 2012). 대부분 자연의 소수성 표면에서 물방울이나 기름방울은 주위 오염물질을 감싸고 표면을 흘러내려 고도의 수분-반발성질을 보인다. 이는 액체방울의 높은 접촉각(water contact angles)에 기인한다. 소수성은 일반적으로 표면에 접촉하고 있는 물방울의 접촉각 측정치로 표현하며 표면의 거칠거칠함(roughness)은 액체의 접촉각에 영향을 준다. 높은 접촉각의 소수성 표면을 만들기 위한 연구와 이의 응용에 높은 관심이 형성되고 있다. 자연모방 연구결과 소수성 표면의 형상학적 구조와 화학적 성

본의 조화는 이들 간의 접착력을 변화시킴으로써 표면의 독특한 기능성에 극적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Hwang et al., 2010). 다음 Fig. 2는 소수성의 특성을 보여주는 것이다(Nho et al., 1998).



(a) Surface Hydrophobicity



(b) Repulsive Characteristics

Fig. 2 Hydrophobic Characteristics

본 연구에서 개발한 소수성 저점도 AP 표면처리재의 소수성 특성을 확인하고자 Table 2와 같이 시험을 실시하였으며, 시험방법 및 절차는 동질구간에서 균열이 없는 상태의 코아와 균열상태 코아 2개를 채취하여 1개의

Table 2. Surface Hydrophobicity Analysis of Specimen Coating with Filling Material

Class		Crackless State	Crack State	Crack coating with HL-FM
Phase Change of Water Absorption	Drop			
	After 1hr			

코아공시체에는 소수성 저점도 AP 표면처리재를 표면에 도포하였다. 그 후 소량의 물을 10방울씩 살포한 후 살포 직후와 살포 1시간 후를 확인한 결과, 균열상태의 일반코아의 경우 초기 접착력으로 소수성 특성처럼 물 입자가 넓게 퍼지면서 응집되었다가 침투하였으며, 소수성 저점도 AP 표면처리재(HL-FM)처리 코아는 소수성 특성으로 물 입자가 응집한 후 시간이 지날수록 소수성 특성이 더 크게 나타나서 침투하지 못함을 알 수 있다.

3. 소수성 저점도 AP 표면처리재의 침투특성과 환경성 특성 분석

3.1. 소수성 저점도 표면처리재의 수분흡수율 및 투수성 시험

본 연구의 소수성 저점도 AP 표면처리재의 개발목적은 예방적 유지보수공법으로 적용하여 초기균열 시 수분의 균열침투로 아스팔트 혼합물의 파손증대를 예방하고자 하는 것이다. 따라서 수분침투방지의 소수성 효과를 확인하고자 균열상태의 코아를 채취하여 수분흡수율 시험과 공시체 투수계수측정을 실시하였다. 수분흡수율 시험을 위해 Fig. 3과 같이 코아 공시체를 절반으로 나누어 절반은 소수성 저점도 AP 표면처리재를 표면에 도포하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 소수성 저점도 표면처리 시편과 일반 시편을 10분 후 비교한 결과, 표면처리가 되어 있는 부분은 그대로 소수성을 유지하며 흡수되지 않고 뭉쳐 있던 반면, 표면처리가 되지 않은 부분은 물이 그대로 흡수하여 물의 흔적만 남아 있는 것을 확인할 수 있었다. 수분흡수율시험은 Fig. 4와 같이 동일한 시편의 함침 전 무게를 측정하여 72시간 함침 후 무게를 통하여 흡수량을 측정하였고, 그 결과는 Table 3과 같다. 일반 아스팔트 코아 시료의 경우 약 2.5%의 흡수율을 나타내었고, 소수성 저점도 AP 표면처리재로 표면처리가 된 코아 시료는 0.75%의 흡수율을 보여 약 3.4배 정도 수분흡수율 저하성적을 알 수 있었다. 투수 시험 결과는 Table 4와 같으며, 균열이 없는 일반 아스팔트 혼합물의 투수시험은 일반적으로 3축 시험으로 실시하나 본 연구에서는 균열이 있는 공시체에 대한 시험이므로 KS F 2322의 변수위 투수시험에 준하여 시험을 실시하였고, 산출된 투수계수는 15°C에서의 투수계수로 보정하였다. 시험결과 소수성 저점도 AP 표면처리재로 표면처리한 시편의 경우 $8.9 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 의 값이 측정된 반면, 일반균열 아스팔트 시편의 경우 $1.6 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 값이 측정되었다. 표면처리된 공시체의 투수계수가

약 18배 작은 것을 감안할 때 소수성 저점도 AP 표면처리재로 표면처리한 시편의 불투수 성능이 우월하게 측정되어 짐을 알 수 있었다. 일반적으로 아스팔트 콘크리트 혼합물의 투수계수는 $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 정도이고, 차수막 보강층이나 차수벽층으로 사용되는 개질아스팔트 혼합물의 투수계수가 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 의 값을 감안할 때 균열시료에 본 연구의 저점도 소수성 AP 표면처리재를 적용하면 불투수성능이 향상됨을 알 수 있다.

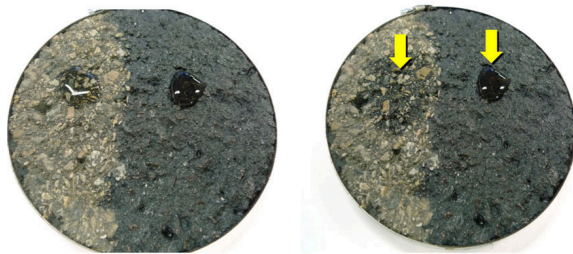


Fig. 3 Permeability Condition after 10 Minutes



(a) Untreated Specimen (b) Treatment Specimen coating with HL-FM

Fig. 4 Absorption Test of Asphalt Specimen

Table 3. Absorption Test Results

(Unit : g)

Class		Untreated Specimen	Treated Specimen
AP Specimen	Dry Weight	358.8	279.6
	Weight after Impregnation	367.9	281.7
	Absorbed Amount	9.1(2.53%)	2.3(0.75%)

Table 4. Permeability Test Results

Test	Unit	Class	Test Result	Test Method
Permeability Coeff.	cm/s	General Crack Specimen	1.6×10^{-5}	KS F 2322 : 2000
		Crack Specimen Coating with HL-FM	8.9×10^{-7}	

3.2. 소수성 저점도 AP 표면처리재의 균열 내 침투성능 시험

본 연구에서 개발한 소수성 저점도 AP 표면처리재의 균열 내 침투성능을 확인하고자 먼저 0.1~0.3mm의 미세 모래에 일반유제(물 45% 함유)와 소수성 저점도 AP 표면처리재를 침투시켜서 두 재료의 침투성을 비교하였다. 일반유제의 경우 특수 유화아스팔트 재료로서 용도는 SMA, PMA, 배수성 포장 택코팅 등에 사용되는 유제이다. 다음 Fig. 5를 보게 되면 정성적인 분석결과로서 침투성이 일반유제보다 소수성 저점도 표면처리재가 뛰어난 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 5는 균질한 모래에서의 실험이므로 도로의 균열현장조건과 다른 점을 감안하여 실제 도로에서의 적용성을 검토하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 실제 도로포장체에서 균열이 없는 부분과 균열이 있는 부분을 코아링하여 일반 아스팔트의 균열이 없는 공시체 및 균열공시체와 소수성 저점도 AP 표면처리재로 처리된 HL-FM 공시체에서 X-Ray CT촬영(3차원 이미지)을 통한 침투깊이 분석을 실시하였다. 또한 X-Ray CT촬영을 위해 코아링 공시체를 직경 3cm로 재코아링을 실시하였다.

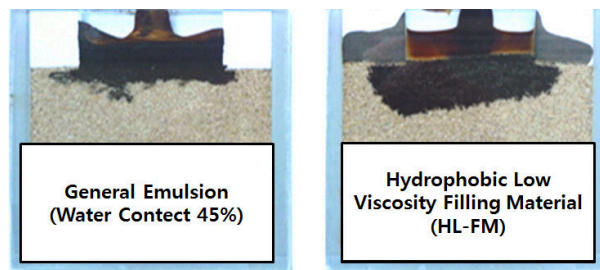


Fig. 5 Qualitative Analysis of a Filling Capacity in Homogeneous Sand

Fig. 6과 같이 균열이 없는 양호한 포장 공시체 3차원 이미지는 포장면 부근뿐만 아니라 깊이 방향으로도 내부공극이 거의 존재하지 않는 매우 조밀한 형상을 보여준다. 시편의 상하부가 완전히 평평한 상태가 아니므로 CT 촬영 시 길이 방향으로 추가적인 이미지가 생성되어 '샘플 내 공극' 이미지의 상하부에 디스크 형태의 null 이미지가 존재하며, 파란색 실선으로 표시된 면이 대략적인 포장면에 해당한다. 샘플 내 공극 이미지의 상부에 존재하는 미세한 형상은 실제 공극이 아닌 이미지에 존재하는 노이즈에 의해 발생한 것으로 보이며 하부에 위치한 공극구조는 샘플링에 의한 것으로 판단된다. 균열이 있는 상태의 코아 시료는 3차원 X-Ray CT 이미지를 통해 공극 및 균열면을 확인한 결과, Fig. 7과

같은 분포를 확인할 수 있으며 균열은 포장면으로부터 약 20~25mm 깊이까지 발달되어 있음을 알 수 있었다. 단, 균열면의 발달은 현장상태보다 재코어링 작업 시에 샘플 교란으로 더 발달되었을 가능성이 존재하므로 현장 코어링상태보다 균열이 더 깊게 형성될 수 있다고 사료된다. Fig. 8의 소수성 저점도 AP 표면처리재로 처리된 공시체의 경우 균열과 공극의 분포가 Fig. 7의 균열이 있는 상태보다 더 크게 나타났으며, 균열의 깊이는 30~35mm로 분석된다. Fig. 7의 공시체와 균열깊이가 다른 것은 동일구간에서 균열 미발생구간과 균열 발생구간 중 코어링을 실시한 코어링 공시체들 사이에서 균열발생 깊이가 동일하지 않고, 코어링에 의한 추가적인 샘플 교란에 기인하였을 가능성도 존재하기 때문이다. 따라서 3차원 이미지를 통해 공극여부는 확인이 되나, 소수성 저점도 AP 표면처리재의 균열 내 침투 및 코팅 여부를 정확히 판단하기 어려움이 있어서 3차원 이미지를 2차원 이미지로 변환하여 소수성 저점도 AP 표면처리재 코팅의 존재를 Fig. 9와 같이 확인하였다.

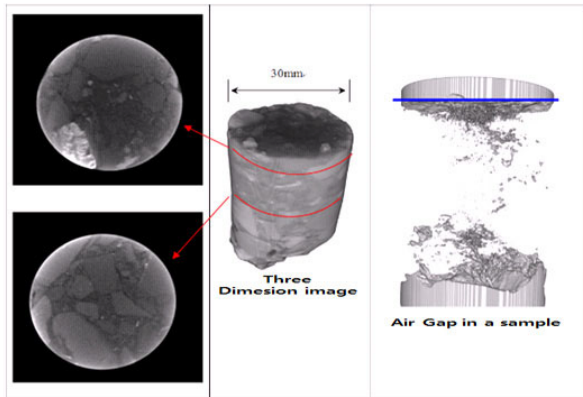


Fig. 6 Good Crackless Specimen

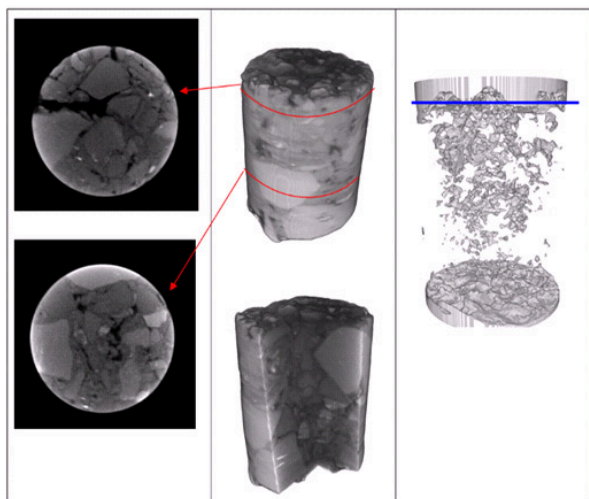


Fig. 7 Cracked Specimen

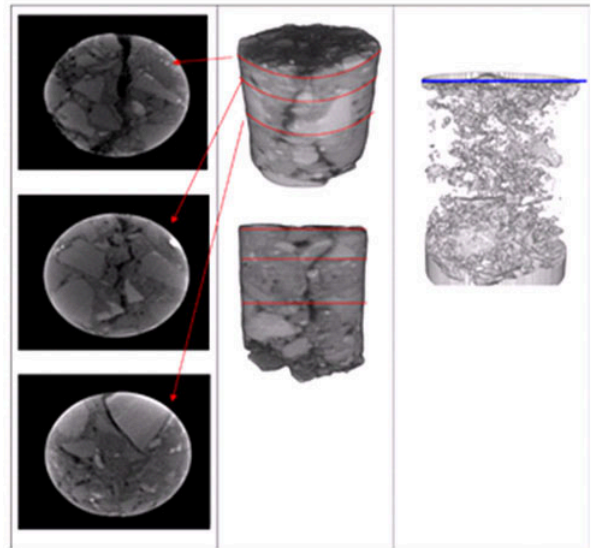
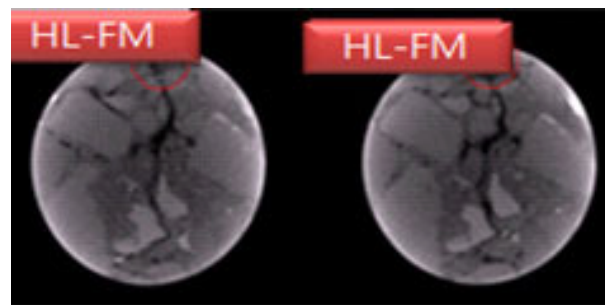


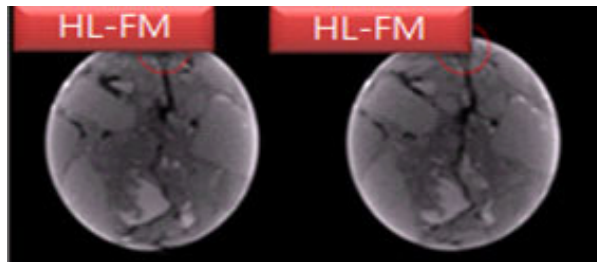
Fig. 8 Cracked Specimens Coating with Hydrophobic-Low Viscosity Filling Material(HL-FM)

Fig. 9와 같이 2차원 이미지 간의 간격을 0.0858mm로 잘라서 분석한 결과, 70개의 이미지까지 소수성 저점도 AP 표면처리재가 발견되어 소수성 표면처리재가 관찰되는 최대 깊이는 6mm정도로 분석되었다. 그러나 2차원 이미지를 통해 소수성 저점도 AP 표면처리재 코팅의 존재를 확인한 결과 소수성 저점도 AP 표면처리재가 관찰되는 이미지에서 균열부분이 모두 소수성 저점도 AP 표면처리재로 채워져 있지 않았다. 따라서 소수성 저점도 AP 표면처리재의 균열침투는 균질하게 이루어지지 않았으나 포장면으로부터 균열면을 따라 연결된 공간에 임의의 코팅이 이루어져 있음을 알 수 있으며 이와 같은 관찰은 Fig. 10에서 보이듯이 시편을 균열면을 따라 절개 후에도 동일하게 관찰되었다. 절개한 균열면에서도 소수성 저점도 AP 표면처리재가 관찰되는 최대깊이는 포장면으로부터 약 6mm정도임을 알 수 있었다.

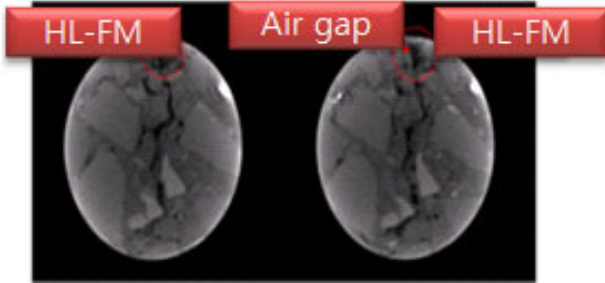


(a) Surface Condition

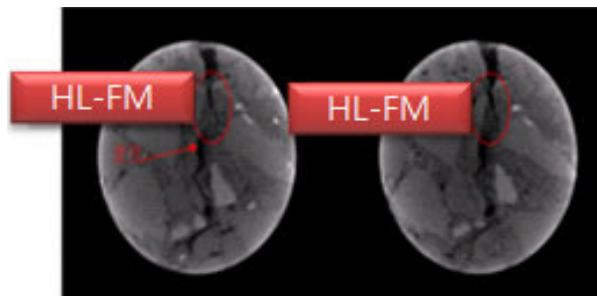
<Figs. Continued>



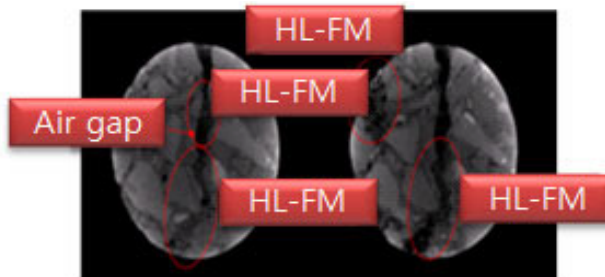
(b) 30th Slice



(c) 50th Slice



(d) 60th Slice



(e) 70th Slice

Fig. 9 Filling Depth Analysis using X-RAY CT

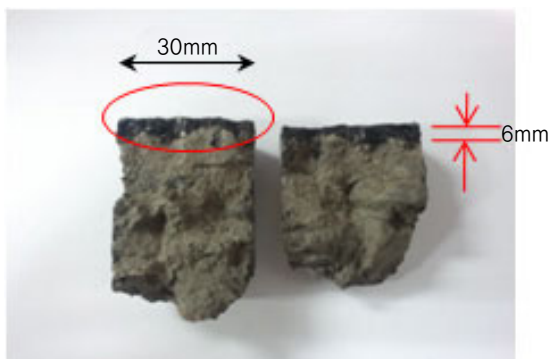


Fig. 10 Filling Depth Measuring in the Divided Specimen

3.3. 환경저항성 시험

아스팔트포장 도로는 시공 후 발생하는 차량하중 외에도 공기, 빗물, 자외선 등으로 인해 열화되기 시작하여 포장표면의 균열과 함께 파손이 진전된다. 특히 두께가 매우 얇은 예방적 표면처리공법의 경우, 환경요인에 의한 저항성을 확보하여야 하므로 촉진내후성시험을 실시하였다. 촉진내후성시험은 소수성 저점도 AP 표면처리재를 실외조건에 노출시켜 온도, 산소, 상대습도 및 자외선 등이 결합하여 고분자의 분해로부터 재료의 기본적인 성질과 색상변화 등 외부기후에 대하여 저항하는 능력을 측정하는 것이다. 일반 아스팔트 3개 공시체 및 소수성 저점도 AP 표면처리재 2개 공시체를 준비하였다. 3개의 온도에서 3번 반복시험을 실시한 Table 5는 촉진내후성시험 분석결과로서 720시간 후의 색차를 비교한 결과, 일반아스팔트 공시체의 경우보다 소수성 저점도 AP 표면처리재를 표면도포한 공시체가 내후성이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

Table 5. Test Condition and Results of Ultraviolet Ray Accelerated Weathering Test

(a) Test Condition

Inner filter	Boro-silicate
Outer filter	Boro-silicate
Black Penal Temp.	(65±3) °C
Humidity	(50±5) %
Test Cycle	18 Minute Radiation and Water Spray after 102 Minute Radiation
Irradiance on the Test Sample's Surface	0.35 W/m ² @ 340nm
Test Method	ASTM G 155: 2005 KS A 006: 2006

(b) Test Results

Class	Sample	Color Difference ΔE*		
		After-168hr	After-504hr	After-720hr
1	AP-1	2.3430	2.9807	1.3491
2	AP-2	1.1597	1.3017	4.3146
3	AP-3	1.1973	2.0140	1.8784
Average		2.2243	2.0988	2.5140
Class	Sample	After-168hr	After-504hr	After-720hr
1	HL-FM 1	0.3443	0.7940	1.9442
2	HL-FM 2	2.8543	2.9800	1.4573
Average		1.5993	1.8870	1.7008

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 소수성 특성을 이용한 저점도 AP 표면처리재를 개발하였고, 소수성 저점도 AP 표면처리재 성능의 정량화를 위해 실내시험을 실시하여 소수성 저점도 AP 침투재의 기본특성을 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 소수성 저점도 AP 표면처리재로 처리된 공시체는 물 입자가 응집한 후 시간이 지날수록 소수성 특성이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 흡수율은 일반아스팔트 혼합물보다 약 3.4배의 저하성과를 나타내었으며, 투수성능은 투수계수가 일반보다 18배 작게 측정되어 불투수성 능이 향상됨을 알 수 있었다.
2. 소수성 저점도 AP 표면처리재와 일반유제의 균질한 모래에서의 침투성 비교결과, 소수성 저점도 AP 표면처리재의 침투성이 뛰어난 것을 정성적으로 알 수 있었고 소수성 저점도 AP 표면처리재 침투 최대깊이를 정량화하기 위한 X-RAY CT 촬영을 통해 포장면으로부터 약 6mm정도 침투됨을 알 수 있었다.
3. 두께가 매우 얇은 예방적 표면처리공법의 경우 환경 요인에 의한 저항성을 확보하여야 하므로 본 연구에서는 개발한 소수성 저점도 AP 표면처리재에 대하여 촉진내후성 시험을 실시한 결과, 일반아스팔트포장에 비하여 내후성 성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

추후 본 연구에서 개발한 소수성 특성을 이용한 저점도 AP 표면처리재를 일련의 제 2단계 연구를 통하여 현

장적용을 위한 공용성 분석과 도포특성 및 현장투수시험, 그리고 미끄럼특성을 검증하여 표면처리 및 균열실링을 위한 예방적 표면처리 유지보수공법으로 체계화할 것이다.

References

- Choi, J. S., Kim, J. S., Kim, B. I., Kwon, S. A., (2012) "A Base Study for Surface Treatment of using Low Viscosity Hydrophobic Nano Seal" Fall conference Journal of Highway Engineering, pp.197~202
- Hawaii DOT, "Pavement Preventive Maintenance Guidelines", 2003
- Hicks, G. R., Peshkin, D. G., Seeds, S. B., (2007) "Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements", Transportation Research Board of the National Academies, pp.1~12
- Hwang, I. D., Youm, H. N., Chung, Y. J., (2010) "The Emulsification of Silane as Water Repellent for Concrete" Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 37, NO. 8, pp.760~767
- Japan Road Association(1999), "Road Maintenance and Repair" pp.109~110.
- Nho, J. S., Choi, S. H., Kim, T. J., Park, C. K., Oh, B. J., (1998), "The Study of Water Stability of MDF Cement Composite by Addition of silane Coupling Agent" Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.35, No.5, pp.421~428
- Song, S. B., Choi, J. S., Kim, J. S. (2012) "Field Application of Nano Seal Surface Treatment Method for Improvement of Moisture Resistance using Lab and Field Test" Spring Conference Journal of Highway Engineering pp.191~196
- Wisconsin DOT, "Pavement Preventive Maintenance", 2003