

콘크리트 구조물에 사용되는 개량아스팔트 시트와 아스팔트 매스틱을 복합화한 방수공법의 누유현상 원인 분석

Analysis on the Causes of the Oil Leakage Phenomenon for Complex Waterproofing Methods of Asphalt Mastic and Modified Asphalt Sheet

박진상¹

김동범¹

박완구²

오상근^{2*}

Park, Jin-Sang¹

Kim, Dong-Bum¹

Park, Wan-Goo²

Oh, Sang-Keun^{3*}

Program of Architecture of Convergence Institute of Biomedical Engineering and Bio-materials of Graduate School, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea ¹
Department of Architectural Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea ²

Abstract

In this study, observations of oil leakage samples taken from the actual site were performed to identify the causes of the oil leakage phenomenon. As a result, the separation of the material components was determined as the main cause of the oil leakage phenomenon based on the changes in the surface conditions, and verification of this was conducted. The evaluation results confirmed that the filler component of the asphalt mastic subsided with the lapse of the settling time, and that the difference ratio of the filler contents of the upper and lower specimens was up to 23.8% after day 28. Based on these results, a hypothesis on the oil leakage mechanism of asphalt mastic was established, and then modeling of the entire process of oil leakage was performed.

Keywords : modified asphalt sheet, asphalt mastic, oil leakage crack, filler content

1. 서론

1.1 연구의 목적

현대의 방수공사는 시트계(아스팔트계, 합성고분자계, 금속계 등) 혹은 도막계(우레탄계, 고무 아스팔트계, 아크릴계 등)의 단일 재료로 구성된 단일방수공법이 주를 이루어 왔으나, 2000년대 이후에는 이 두 가지 재료를 적층 복합한 방수공법이 개발되어 사용되고 있다[1]. 이러한 방수공법의 출현은 기술의 다양화 이외에도 그 동안 시트 혹은 도막의 단일방수공법에서 나타난 각각의 문제를 보완하여 보다 안정적 품

질을 유지할 수 있는 방수층 형성이 가능하도록 하는 것이 목적이다[2]. 복합방수공법은 “시트 방수재와 도막 방수재를 서로 적층하는 형태(시트+도막)의 방수층”이다. 이때 사용되는 시트재료는 개량아스팔트 시트, 합성고분자계 시트, 금속계 시트 등이고, 도막재료는 경화 유무에 따라 경화형(우레탄 고무계, 아크릴 고무계, 폴리우레아계 등)과 비경화형(합성고분자계, 고무아스팔트계, 아스팔트 매스틱계 등) 도막재를 사용한다[2,3]. 방수층의 구성은 시트재 위쪽에 도막재를 형성하거나, 시트재 아래쪽에 도막재를 형성하는 2가지 방법으로 이루어진다. 이러한 복합방수공법은 주로 콘크리트 방수 바탕에 존재하는 시공 조인트 및 균열 거동에 의한 방수층 파손을 방지하기 위하여 방수층 자체의 성능 강화 목적으로 개발되었다. 즉 시트재 아래에 있는 비경화형 도막재의 유연성이 콘크리트 바탕의 조인트 및 균열 거동을 흡수하여 시트재의 파손을 방지하고, 시트재 파손 시에도 도막재

Received : April 6, 2018

Revision received : May 3, 2018

Accepted : July 19, 2018

* Corresponding author : Oh, Sang-Keun

[Tel: 82-2-977-6697, E-mail: ohsang@seoultech.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

의 유연성이 파손 부위를 재충전(Self healing)함으로써, 방수 성능을 지속시키는 효과가 있다[4]. 이는 구조체 표면에서 유연성 및 유동성이 확보된 겔(Gel)상의 도막재가 구조체 균열 및 거동에 대해 1차적으로 대응하여 시트층의 파손을 방지함으로써 방수 성능을 지속시키고, 시트 방수재는 이러한 겔(Gel)상의 도막재를 보호함과 동시에 2차적 방수 성능을 확보해줌으로써 안정적인 방수층 형성할 수 있다[5].

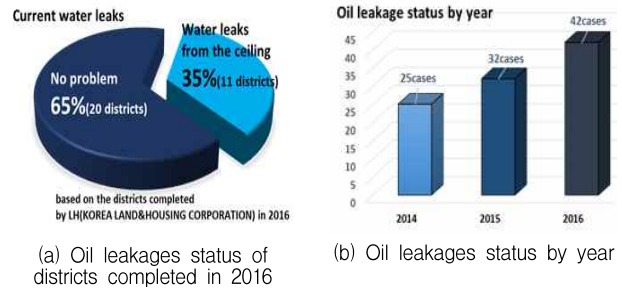
최근 한국 시장에서는 겔(Gel)상의 도막재로서 “비경화형 아스팔트 매스틱”을 콘크리트 바탕에 도포하고, 그 위에 “개량아스팔트 시트”를 시공하는 복합방수공법 기술이 적용되고 있다. 이 공법은 국내 복합방수 중 경제적 측면에서 가장 우수한 공법으로 적용이 점차 확대되고 있다. 이때 사용된 아스팔트 매스틱은 아스팔트 컴파운드(Asphalt Compound)를 기본으로 각종 수지 및 개질제 등을 혼합하여 제조한 유연성을 갖는 Gel형 비경화 재료이다. 이 공법은 앞서 언급한대로 여러 장점을 갖지만, 공법을 적용한 시공 현장에서 특히, 기온이 높아지는 여름철을 중심으로 구조물 누수와 함께 아스팔트 매스틱의 흑색 성분(액)이 흘러나와(이하, “누유 현상(漏油現象)”)이라고 함) 실내를 오염시키고, 방수 성분의 누출로 인한 방수층의 단면 손실로 방수층의 기능을 상실하는 문제도 동시에 나타나고 있어, 이 공법에 대한 재료적, 구조적 안정성을 검토해야 할 실정이다. 상기의 누수를 동반한 누유 문제는 아스팔트 매스틱 복합방수공법에서 유일하게 발생하는 하자 유형으로 실내 천장 오염, 바닥 오염 등 재산 피해를 줌과 동시에 거주자의 편의성을 저하시키고, 지속적 누수에 의해 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시킬 우려가 있다.

현장에서 발생한 누유 현상은 주요 발생 위치를 살펴보면, 주로 장스팬 슬래브의 균열부, PC 구조물 부재 조인트부, 급배수 및 난방용 배관 관통 주변부, 고정철물부의 틈새 등으로 나타났고, 그 현상은 시공 과정에서 아스팔트 매스틱에 휘발성 유기용제(용제류)를 과(過)혼입하여 아스팔트 시트 재를 용해시키거나, 용제를 혼입하지 않았음에도 불구하고 누유가 발생하는 현상 등으로 다양하게 나타났다. 이러한 상황에서 국내 지방서 및 전문지방서, 매뉴얼 등에서 누유하자 관리기준이 전무한 상황이며, 제조사의 경우에도 이를 방지할 수 있는 뚜렷한 대안을 마련하지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 아스팔트 매스틱 복합방수공법의 안전한 적용을 위한 기초적 연구로서 누유 원인 규명을 목적으로 하였다.



(a) Pollution of the floor of an underground parking lot (b) Pollution in the upper part (ceiling) of a car

Figure 1. Current state of water and oil leakages in apartment-1



(a) Oil leakages status of districts completed in 2016 (b) Oil leakages status by year

Figure 2. Current state of water and oil leakages in apartment-2

1.2 아스팔트 매스틱 복합방수공법 하자 현황

우리나라의 아스팔트 매스틱 복합방수공법은 2000년 초부터 지금까지 우레탄계 도막 방수재와 함께 공동주택 지하 주차장 상부(콘크리트 슬래브)에 적용하였으나, 반복적인 누수 및 누유하자가 끊임없이 발생하여 왔다. 매년 아스팔트 매스틱 복합방수공법 적용이 증가하면서 누유 하자도 증가하고 있었다. 결과적으로 반복적인 누유 하자 증가로 이에 대한 품질 개선의 필요성이 지속적으로 제기되었다. 본 연구에서는 2014년부터 2016년까지 3년간 아스팔트 매스틱 복합방수공법이 적용된 현장을 대상으로 누유 발생 현황을 파악하였다. 아스팔트 매스틱의 누유 현황은 다음 Table 1, Figure 2와 같다.

Table 1. Application state of the complex waterproofing method of asphalt mastic and oil leakages by year

Division	No. of applications	No. of oil leakages	Oil leakage ratio (%)
2014	40	25	62.5
2015	45	32	71.1
2016	55	42	76.4

상기 통계자료에 따르면 최근 2014년부터 적용 현장이 증가(‘14년 40건, ‘15년 45건, ‘16년 42건)함과 동시에 누

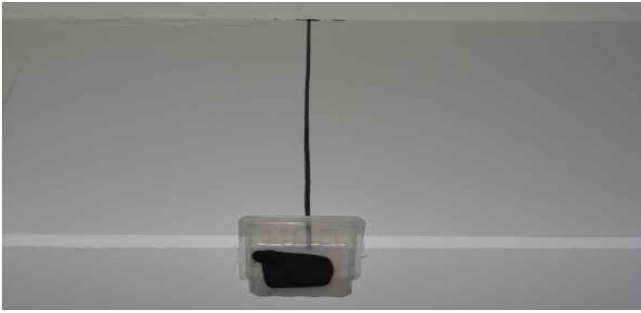


Figure 3. Collection of oil leakage samples



유현상도 증가하는 추세(‘14년 25건, ‘15년 32건, ‘16년 42건)로 확인되었다. 각 연도별 누유 비율을 보면, 통계가 시작된 2014년부터 아스팔트 매스틱 복합방수공법이 적용된 현장의 62.5% 즉, 절반이 넘는 현장에서 이미 누유현상이 발생했던 것으로 확인되어 공법 자체의 불안정을 확인할 수 있다. 또한, 적용이 점차적으로 증가함과 동시에 적용 현장 대비 누유현상 발생 건수 비율이 2016년 기준 최대 76.4%까지 증가함에 따라 재료적 불안성이 더욱 커졌으며, 이에 대한 개선이 시급한 상황이라 할 수 있다.

2. 누유 원인 분석

2.1 누유된 아스팔트 매스틱의 시료 채취 및 상태분석

누유의 원인 분석을 위해 아스팔트 매스틱 복합방수공법이 적용된 실제 현장을 방문하여, 누유 현상이 나타난 공동 주택의 지하주차장 상부 슬래브에서 Figure 3과 같이 누유 샘플을 채취하였다. 현장에서 채취한 샘플(누유 시료)과 이와 동일한 제품(정상 시료)을 대상으로 표면 상태를 비교 분석 하였다. 분석 방법은 표준상태(온도 2급 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 2급 $65 \pm 2\%$)에서 정상시료와 누유시료를 각각 살레에 담은 후 표면상태의 차이점을 관찰한다. 표면상태는 Table 2와 같다.

Table 2. Comparison of the surface conditions of the normal and oil leakage samples

Division	Normal sample	Oil leakage sample
Surface condition (visual observation)		
Observation results	Solids observed	No solids observed

표면상태 관찰 결과 Table 2와 같이 정상시료에서는 아스팔트 매스틱 내부에서 사용되는 Filler와 같은 고형물이 분포되어 있는 형상이 확인되었으나, 누유시료에서는 정상시료와 다르게 Filler와 같은 고형물이 없는 매끈한 상태를 확인할 수 있었다(Table 2). 즉, 정상시료와 누유시료의 표면상태는 육안으로 관찰하여도 명확히 다르다는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 시료표면 상태 차이의 분석

아스팔트 매스틱은 Table 3과 같이 크게 고형분과 휘발분으로 구성되어 있다. 고형분은 아스팔트, 오일, 고무와 같은 유기계 첨가물과 탄산칼슘, 천연 광물질 등과 같은 무기계 첨가물(Filler)로 나누어진다. 휘발분의 경우에는 자일렌, 톨루엔, 벤젠 등과 같은 휘발성 물질로 구성되어 있다.

Table 3. Standard components of asphalt mastic

Components	Specific gravity	Content ratio(%)	Remarks
Asphalt (liquid type)	1.3	40	
Process oil (liquid type)	0.977	8	Organic additives
Rubber (solid type)	0.93	5	
Calcium carbonate (powder type)	2.93	15	Inorganic additives (filler)
Natural minerals (powder type)	More than 2	10	
Other additives	More than 1	2	-
Xylene (liquid type)			
Toluene (liquid type)	Less than 1	20	-
Other additives			

상기 구성물들은 배합 시 순차적으로 투입되어 혼합되는데, 일반적으로 Liquid type의 아스팔트와 프로세스오일이 우선적으로 혼합되며, 이후 Solid type과 Powder type의 고형물과, Liquid type의 휘발분이 첨가되어 혼합됨으로써 아스팔트 매스틱 제조가 완료되게 된다. 아스팔트 매스틱은 Liquid type과 Solid 및 Powder type의 구성물이 동시에 혼합되는 특성으로 배합 후 표면이 거친 특성을 나타낸다. 이러한 특성을 나타내는 원인을 분석해보면, 유기계 첨가물 중 Liquid type의 재료의 경우, 액상으로서 표면 걸보기로는 각 재료 간 구분이 어렵게 된다. 또한, Solid type의 고무 역시 유기계로서 투입되는 Liquid type의 휘발분 즉, 유기용제에 용해되어, 다른 유기계 첨가물과 결과적으로 액상

혼합되므로 이질성을 나타내지 않게 된다. 그러나 Powder type의 무기계 첨가물(Filler)은 액상 혼합된 유기계 첨가물에 용해되지 않고, 형태를 유지한 채 분산되어 존재하기 때문에 최종 배합이 완료된 아스팔트 매스틱의 표면에 거친 질감 및 이질성을 부여하게 된다.

이와 같은 아스팔트 매스틱의 구성 및 배합 특성을 바탕으로 상기의 누유시료와 정상시료의 표면 상태를 비교해 보면 정상시료에서는 탄산칼슘, 천연 광물질 등과 같은 무기계 첨가물(Filler)이 고르게 혼입되어, 표면의 거친 특성을 유지하고 있는 반면, 누유시료에서는 이와 반대로 Liquid type의 구성물의 액상 혼합 특성이 뚜렷한 형상이 확인됨에 따라, 무기계 첨가물(Filler)의 분산 특성을 확인할 수 없었다. 즉, 동일한 아스팔트 매스틱을 비교 하였음에도 불구하고 정상시료와 누유시료 간 기준 성분에 있어 변화가 나타났음을 확인할 수 있었다(Table 2).

상기 연구 내용을 바탕으로 아스팔트 매스틱 복합방수공법의 누유 현상은 각 기준 성분 간 재료분리에 의한 원인으로 발생했을 가능성이 크다는 가정 하에 추가 검증을 진행하였다.

2.3 아스팔트 매스틱의 재료분리 분석

2.3.1 분석 방법

아스팔트 매스틱의 재료분리 가능성을 검토하기 위하여 현재 국내에서 대표적으로 사용되고 있는 3개 제조사의 제품을 대상으로 재료분리 평가를 진행하였으며, 각 재료의 특성은 다음 Table 4와 같다.

Table 4. Product characteristics

Division	Product characteristics				
	Type	Proportion of finished products	Viscosity (mP·s) (20°C, Sp.6)	Filler (%)	Solids content (%)
Sample A	Oil	1.1	340,000	25.8	78.0
Sample B	Oil	1.04	420,000	22.7	77.8
Sample C	Oil	1.1	350,000	25.5	76.7

시험방법은 다음 Table 5와 같다. 재료분리 시험을 위한 시료의 전 처리는 Table 5의 ① ASTM D 5892의 방법을 준용하고, Filler 함량 시험방법은 ② 방법으로 수행하였다.

Table 5. Material segregation test methods

Division	Test methods	Related standard
① Pretreatment	Pre-treatment was conducted in accordance with ASTM D 5892, the temperature was set to 50±5°C, and the asphalt mastic was settled for a maximum of 28 days at a heating thermostat on a daily basis.	ASTM D 5892
Material segregation evaluation content ②	In a dried porcelain crucible (W ₁), approximately 2 g of each sample was taken from the upper and lower parts, and the weight (W ₂) was measured. Then it was dried in a drier at 105±5°C for 24 hours, and was burnt in an electric furnace at temperatures ranging from 900 to 1,000°C until it reached the constant weight. It was then cooled to room temperature in a desiccator. After that, the weight (W ₃) was measured, and the filler content was calculated (Equation (1)). At this time, the weights of the sample and crucible before and after the test were measured by up to the unit of 0.001 g.	KOREA LAND & HOUSING CORPORATION 'N 42531 : 2015
$\text{Filler content (wt \%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times 100$		

평가기간은 하절기 현장에서 아스팔트 매스틱 시공 후 최대 한 달 이상 외기에 노출되는 극한 상황을 고려하여 28일 간 정치하는 것으로 하였다. 또한, 온도 조건의 경우, 한국의 기후 조건 중 가장 더운 시점의 방수층 표면 온도가 약 56°C로 예측한 기존 연구 결과를 인용하여 50±5°C 환경에서 정치하는 것으로 하였다. 또한 정확한 재료분리 발생 시점을 파악하기 위하여 시료를 각 샘플별 28개씩 제작하였으며, 일(Day) 단위로 시료를 채취하였다.

시험 과정은 원통형 Foil tube(D: 25.4mm, H: 139.7mm)에 아스팔트 매스틱을 채운 후, Plastic cylinder 내부에 삽입하고 Cap으로 밀봉하고, 가열항온기 내부 온도 50±5°C 조건에서 일(Day) 단위로 정치, 최대 28일 간 정치한다. 시료채취는 일(Day) 단위로 정치 후 Plastic cylinder에서 Foil tube를 꺼내고, 삼등분 한 후 최상부 시료와 최하부 시료를 채취한다. 채취한 시료의 최상부 시료와 최하부 시료에서 각각 약 2g의 시료를 채취한 후 무게를 측정하고, 105±5 °C의 건조기에서 24시간 건조시킨 후, 다시 900~1,000°C의 전기로에서 항량이 될 때까지 연소시키고 데시케이터 속에서 상온까지 냉각시킨다. 이후 무게를 측정하여 정해진 식에 따라 Filler 함량을 계산한다. 이 때 시험 전·후의 시료 및 도가니의 무게는 0.001g 단위까지 측정한다.

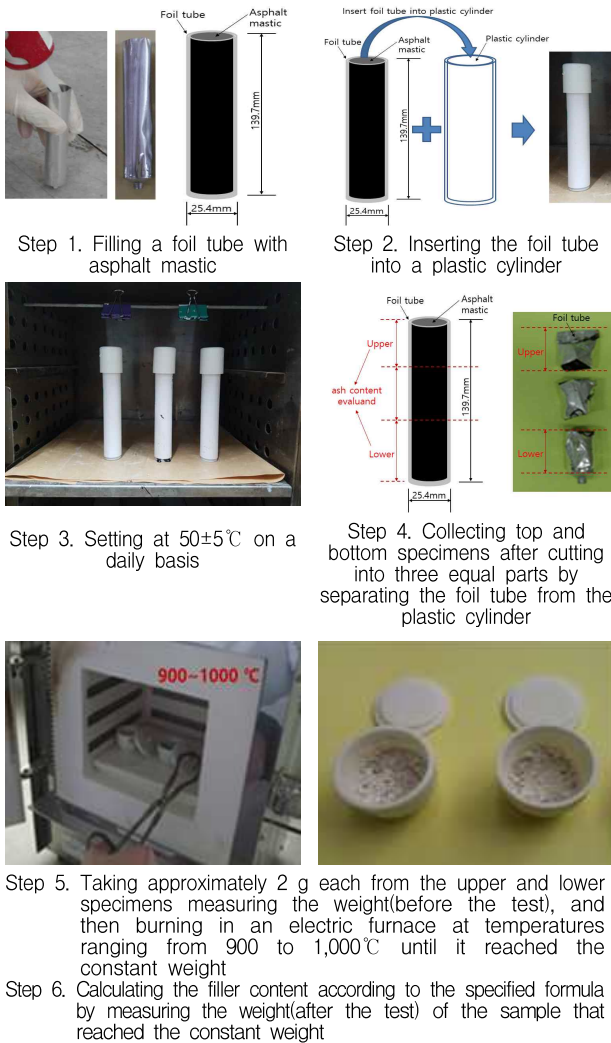


Figure 4. Material segregation review process

2.3.2 분석 결과

아스팔트 매스틱의 각 시료별 일별 재료분리 시험결과 (Filler 함량 변화)는 Table 6~8 및 Figure 5~7과 같다.

Sample A의 시험결과는 Figure 6과 같이 정리하였다.

Table 6은 정치 후 1일부터 28일까지 함량 변화를 표시한 것이다. 정치 1일부터 28일까지 상부시료의 Filler 함량은 서서히 감소하여 약 12.9%로 감소하였고, 하부시료의 Filler 함량은 서서히 증가하여 약 35.2%로 증가하였다. 28일까지 상하부 시료의 최종 Filler 함량차는 22.3%로 나타났다. 이러한 양상을 Figure 5에 표현하였다. 정치 일수 10일 이전까지는 Filler 함량이 약 5~7% 내외로 유지되었으나, 10일 이후부터 상·하부 시료의 Filler 함량의 차가 크게 증가하는 양상을 확인할 수 있으며, 최대 약 22.9%까지 Filler 함량차가 발생하는 것을 확인하였다.

Table 6. Material segregation test results of sample A (change in filler content)

Division	Pre-treatment Day	Filler content(%)		difference
		Upper Part	Lower Part	
Sample A	1	24.6	25.1	0.5
	2	23.9	25.9	2.0
	3	23.5	25.7	2.2
	4	22.5	26.1	3.6
	5	22.8	26.4	3.6
	6	22.7	26.9	4.2
	7	21.9	27.0	5.1
	8	21.5	27.6	6.1
	9	21.9	26.7	4.8
	10	20.5	27.8	7.3
	11	19.2	29.5	10.3
	12	20.1	28.7	8.6
	13	19.1	29.1	10.0
	14	18.5	30.5	12.0
	15	18.2	29.9	11.7
	16	17.5	31.2	13.7
	17	18.9	30.8	11.9
	18	17.1	31.5	14.4
	19	18.1	32.1	14.0
	20	16.2	32.4	16.2
	21	17.4	31.9	14.5
	22	16.2	32.5	16.3
	23	12.8	35.1	22.3
	24	12.5	35.4	22.9
	25	13.0	35.2	22.2
	26	12.9	35.0	22.1
	27	12.5	35.2	22.7
	28	12.9	35.2	22.3
Avg.		18.5	30.2	11.7

상부시료와 하부시료의 정치기간 1일부터 28일까지의 Filler 함량의 평균값은 각각 18.5%와 30.2%로 하부시료 대비 상부시료의 Filler함량 감소율은 평균 약 38.7%로 확인되었다.

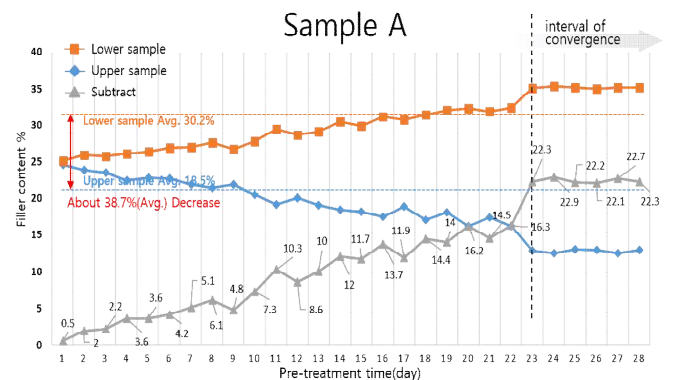


Figure 5. Material segregation test results of sample A (change in filler content)

Sample B의 시험결과는 Table 7 및 Figure 6과 같다.

Table 7. Material segregation test results of sample B (change in filler content)

Division	Day	Filler content(%)		difference
		Upper Part	Lower Part	
Sample B	1	23.1	23.5	0.4
	2	22.9	23.7	0.8
	3	22.3	23.9	1.6
	4	21.9	24.5	2.6
	5	22.2	25.1	2.9
	6	21.8	25.4	3.6
	7	20.9	25.4	4.5
	8	20.5	25.7	5.2
	9	20.1	25.9	5.8
	10	19.9	25.4	5.5
	11	17.2	28.4	11.2
	12	16.9	29.0	12.1
	13	16.8	29.5	12.7
	14	16.5	29.4	12.9
	15	16.5	29.9	13.4
	16	15.2	30.2	15.0
	17	14.2	31.9	17.7
	18	14.0	32.0	18.0
	19	13.5	32.6	19.1
	20	13.1	33.2	20.1
	21	12.1	34.2	22.1
	22	11.5	34.5	23.0
	23	11.1	35.1	24.0
	24	11.5	34.8	23.3
	25	11.9	35.2	23.3
	26	11.1	35.0	23.9
	27	11.5	35.0	23.5
	28	11.9	35.7	23.8
Avg.	16.5	29.8	13.3	

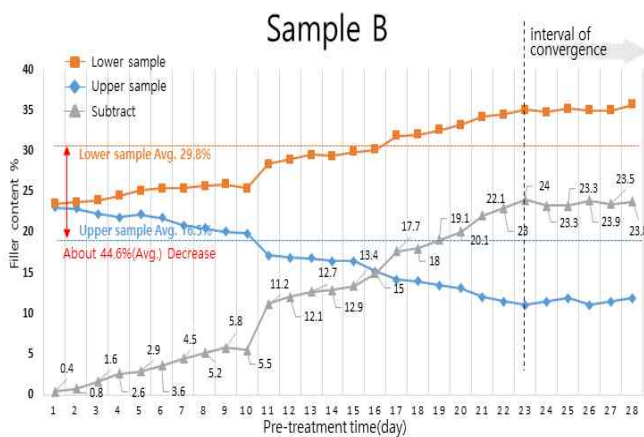


Figure 6. Material segregation test results of sample B (change in filler content)

Sample B의 시험결과는 Sample A와 비슷한 양상을 나타내었다. Table 7은 정치 후 1일부터 28일까지 함량 변화를 표시한 것이다. 정치 1일부터 28일까지 상부시료의 Filler 함량은 서서히 감소하여 약 11.9%로 감소하였고, 하부시료의 Filler 함량은 서서히 증가하여 약 35.7%로 증가하였다. 28일까지 상하부 시료의 최종 Filler 함량 차는 23.8%로 나타났다.

이러한 양상을 Figure 6에 표현하였다. 정치 일수 10일 이전까지는 Filler 함량이 약 5% 내외로 유지되었으나, 10일 이후부터 상·하부 시료의 Filler 함량차가 크게 증가하는 양상을 확인할 수 있으며, 최대 약 24.0%까지 Filler 함량차가 발생하는 것을 확인하였다. 상부시료와 하부시료의 정치기간 1일부터 28일까지의 Filler 함량의 평균값은 각각 16.5%와 29.8%로 하부시료 대비 상부 시료의 Filler 함량 감소율은 평균 약 44.6%로 확인되었다.

Sample C의 시험결과는 Table 8 및 Figure 7과 같이 정리하였다.

Table 8. Material segregation test results of sample C (change in filler content)

Division	Day	Filler content(%)		difference
		Upper Part	Lower Part	
Sample C	1	28.5	28.9	0.4
	2	28.1	29.0	0.9
	3	27.5	29.3	1.8
	4	27.8	29.3	1.5
	5	27.1	29.7	2.6
	6	26.8	30.1	3.3
	7	26.1	30.5	4.4
	8	25.1	31.2	6.1
	9	24.8	31.5	6.7
	10	20.2	34.6	14.4
	11	21.9	34.1	12.2
	12	20.5	35.0	14.5
	13	20.1	35.5	15.4
	14	19.5	35.6	16.1
	15	19.1	36.2	17.1
	16	18.7	37.1	18.4
	17	18.5	37.2	18.7
	18	18.1	38.1	20.0
	19	18.1	38.0	19.9
	20	17.8	38.2	20.4
	21	17.7	38.2	20.5
	22	17.4	38.5	21.1
	23	17.1	39.0	21.9
	24	17.4	38.4	21.0
	25	16.9	38.2	21.3
	26	17.0	37.9	20.9
	27	16.9	38.0	21.1
	28	17.2	38.5	21.3
Avg.	21.1	34.9	13.7	

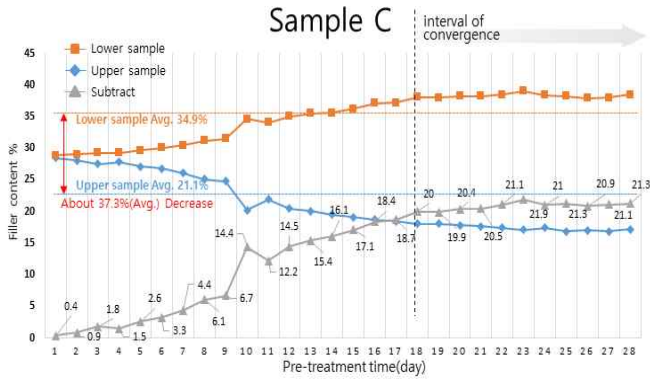


Figure 7. Material segregation test results of sample C (change in filler content)

Sample C의 시험결과는 Sample A, B와 유사한 경향을 나타내었다. Table 8은 정치 후 1일부터 28일까지 함량 변화를 표시한 것이다. 정치 1일부터 28일까지 상부시료의 Filler 함량은 감소하여 약 17.2%로 감소하였고, 하부시료의 Filler 함량은 증가하여 약 38.5%로 나타났다. 28일까지 상하부 시료의 최종 Filler 함량차는 21.3%로 나타났다. 이러한 양상을 Figure 7에 표현하였다. 정치 일수 9일 이전까지는 Filler 함량이 약 6% 내외로 유지되었으나, 10일 이후부터 상·하부 시료의 Filler 함량의 차가 증가하는 양상을 확인할 수 있으며, 최대 약 21.9%까지 Filler 함량의 차가 발생하는 것을 확인하였다. 상부시료와 하부시료의 정치기간 1일부터 28일까지의 Filler 함량의 평균값은 각각 21.15%와 34.9%로 하부시료 대비 상부시료의 Filler 함량 감소율은 평균 약 37.3%로 확인되었다.

2.3.3 소결

상기 Sample A, B, C에 대한 저장안정성 시험결과를 종합해보면, 모든 제품이 정치 9~10일까지는 상·하부 시료의 Filler 함량의 차가 5~7% 내외로 나타났으나, 정치 10일 이후부터는 시간의 경과에 따라 10~24% 내외로 커지는 양상을 나타나 재료분리가 급격히 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 최종적으로 3개의 Sample 모두에서 정치일수 28일 시점에서는 하부시료 대비 상부시료의 Filler 함량 감소율이 37.3~44.6%까지 나타나는 것을 확인하였다.

그러나 Sample 별 재료분리 양상은 일정 기간이 경과한 시점에서 부터는 더 이상 커지지 않고 상·하부 시료의 Filler 함량이 일정하게 유지되는 수렴 구간을 확인할 수 있다. 즉 Sample A와 B는 정치일수가 23일이 되는 시점에서

Table 9. Filler content measurement results of the oil leakage samples taken from the sites

Division	New packed Normal sample			Oil leakage sample from site								
	Sample A	Sample B	Sample C	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Filler content (%)	25.8	22.7	25.5	12.5	10.3	18.1	9.8	12.8	15.2	10.5	10.8	8.9
Avg.(%)	24.7			12.1								

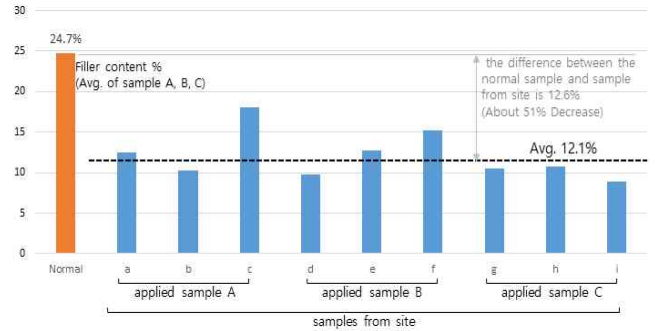


Figure 8. Filler content measurement results of the oil leakage samples taken from the sites

상·하부 시료의 Filler 함량차가 각각 약 22%와 약 23% 수준에서 유지되었고, Sample C의 경우는 정치일수 18일 이후부터 상·하부 시료의 Filler 함량차가 20~21% 수준에서 유지되는 것으로 확인되었다.

3. 결과 검증 및 누유발생 예측 모델 제안

3.1 현장 누유시료의 Filler함량 변화 여부 분석

Sample A, B, C가 적용된 현장들 중에서 실제로 누유 하자가 발생한 9개 현장을 대상으로 누유 샘플을 채취하여 상기의 2.3의 분석 결과와 비교하여 동일한 재료분리 발생 여부를 확인하기 위하여 추가적으로 Filler 함량 시험을 진행하였으며, 그 결과는 다음 Table 9 및 Figure 8과 같다.

Table 9 및 Figure 8의 누유 현장 시료 채취에 대한 Filler 함량을 확인해보면, 우선 정상시료의 경우 A, B, C 제품의 평균 Filler 함량이 24.7%로 확인되었으나, 9개 현장에서 채취한 누유시료의 평균 Filler 함량은 12.1%로 나타나, 12.6%의 Filler 함량차가 확인되었으며, 이는 정상시료 대비 현장 채취 시료가 51% Filler 함량 감소를 나타낸 수치로 앞서 수행한 저장 안정성 평가에서 도출한 Filler 함량의 감

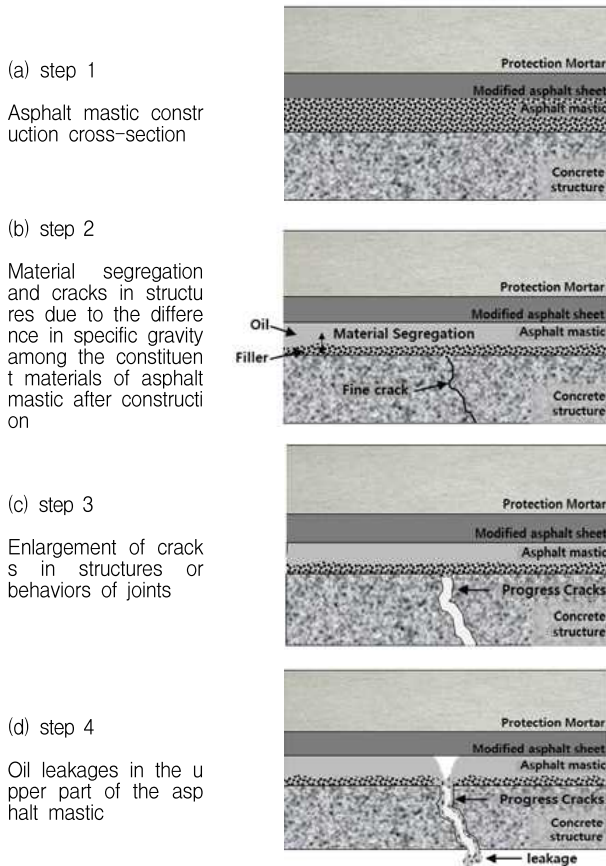


Figure 9. Oil leakage mechanism prediction modeling

소 현상과 유사한 양상을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이를 근거로 누유발생의 원인은 방수 시공 이후에 아스팔트 매스틱에 함유된 아스팔트의 유분 성분과 무기계 첨가물(Filler)가 분리(침강 현상)에 기인한 것으로 판단하였다.

3.2 누유 발생 메커니즘의 예측 모델 제안

앞서 도출한 아스팔트 매스틱의 재료분리를 근거로 한 누유발생 메커니즘 예측 모델을 제시하면 다음 Figure 9와 같다.

상기 누유 메커니즘 모델링에 나타난 바와 같이, 아스팔트 매스틱은 혼합물간의 비중차로 인해 유분과 무기계 첨가물(Filler)간의 층 분리(재료분리)가 일어나게 된다. 즉, 상대적으로 비중이 큰 무기계 첨가물(Filler)은 침강하여 하부 바탕면에 흡착되고, 비중이 작은 유기계 첨가물은 상부로 부유되게 된다(b). 이때, 콘크리트거동에 의해 바탕면에 균열이 발생하게 되면(c), 발생된 균열을 따라 부유되어 있던

유기계 첨가물이 유실되게 되며, 상대적으로, 유기계 첨가물보다 비중이 큰 무기계 첨가물(Filler)은 콘크리트 바탕면과 흡착이 이루어져 비교적 적게 유실되는 현상이 발생하게 된다(d).

4. 결 론

본 연구는 아스팔트 매스틱 복합방수공법 적용 후 발생하는 누유 하자의 원인을 근본적으로 파악하는 것에 목적을 두었으며, 또한 향후 현장에서의 누유 발생 방지를 위한 대책 마련을 위한 데이터베이스를 구축하는 것에 목적을 두었다. 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 현장에서 많이 사용되고 있는 3개의 아스팔트 매스틱을 선정하여 $50 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 항온챔버에서 28시간 재료분리 정도를 실험한 결과, 상층부와 하층부의 회분차이가 21.3~23.8%로 상당히 큰 것으로 확인되었다.
- 2) 아스팔트 매스틱의 재료분리는 도포 직후부터 시작되며, 재료분리 시작 후 약 18~23일이 경과하면 상·하부 Filler 함량이 일정하게 유지되어 더 이상의 분리가 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- 3) 현장에서 실제 누유된 시료에 대한 Filler 함량 변화를 측정된 결과에서도 선행 실험에서 나타난 재료분리 발생이 유사한 형태로 관찰되었다.
- 4) Filler 함량 변화를 근거로 한 아스팔트 매스틱의 누유 발생의 주요 원인은 구성 소재간의 비중 차에 의한 재료분리로 판단하였다.

본 연구에서 제시한 아스팔트 매스틱의 누유 원인은 재료 자체의 안정성 측면에 문제로 확인되었으며, 이를 근거로 재료 개선을 위한 추가 연구가 진행될 예정이다. 또한 누유 원인 파악을 정량적으로 증명함에 따라 이를 활용한 누유 안정성 평가 방법을 고안 중에 있다. 본 연구는 누유 원인만을 파악한 기초적 연구로서 아스팔트 매스틱이 실제 현장에서 적용될 시 작용할 수 있는 환경인자는 고려하지 않았으며, 향후 추가적인 연구를 통해 누유 발생에 미치는 요인에 대한 구체적으로 실험할 필요가 있을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 누유 현상에 대한 원인 파악을 위하여 실제

현장에서 누유된 시료를 채취하여 육안 관찰을 실시한 결과, 표면 상태의 변화를 근거로 누유 현상 원인이 “구성 성분 간 분리”로 판단하고, 이에 대한 검증을 실시하였다. 검증을 위하여 현장에서 많이 사용되고 있는 아스팔트 매스틱 도막재 3개 제품을 수직 실린더에 채워 $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 챔버 속에 정치시킨 후, 1일부터 28일간 매일 실린더의 상부, 하부 재료를 대상으로 Filler 함량차를 측정하여, 변화율을 비교 분석하였다. 평가 결과, 정치 시일이 경과할수록 아스팔트 매스틱의 Filler 성분이 침강되는 분리현상을 확인할 수 있었으며, 정치 후 28일에는 상부와 하부 시료의 Filler 함량이 최대 23.8% 이상 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 상기 결과를 근거로 아스팔트 매스틱의 누유 발생 메커니즘에 대한 가설 수립 후 누유발생 전 과정에 대한 예측 모델을 제시하였다.

키워드 : 개량아스팔트시트, 아스팔트매스틱, 누유, 필러함량

References

1. Seo WI, Kim SR, Kwak GS Oh SK, A study on complex waterproofing method using part of joint watertightness improved sheet, Proceeding of Korea Institute of Building Construction; 2004 Oct 22; Seoul, Korea, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2004. p. 1–6.
2. Chang SJ, Advanced technology of waterproofing, Review of Architecture and Building Science, 2005 Oct;49(10):57–60.
3. Ahn DS, A study on the physical properties change of synthetic rubber polymer gel by using stirring screw mixer [master's thesis], [Seoul (Korea)]: Seoul National University of Science and Technology; 2015. 75 p.
4. Muhammad NZ, Keyvanfar A, Majid MZA, Shafaghat A, Mirza J, Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches, Construction and Building Materials, 2015 Dec;101(1):80–90.
5. Oh SK, Shim JS, Maintenance for leakage due to cracking in concrete structures: guidelines for repair of water-leakage cracks in concrete structures, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2011 May;23(3):47–52.