

## 일라이트를 적용한 기능성 호안블럭 개발을 위한 기초 연구

권종국<sup>1</sup> · 이석기<sup>2†</sup> · 신은철<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>국립인천대학교 건설환경공학 <sup>2</sup>우석대학교 응용화학과

### Study of Fundamental Properties for the Development of Functional Revetment Blocks with Illite

Jong-Kook Kwon<sup>1</sup>, Seok-Ki Lee<sup>2†</sup>, and Eun-Chul Shin<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Dept. of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Scientific Technique Applied Chemistry, Woosuk University, Wanju, Korea

Received October 7, 2019 / Revised December 6, 2019 / Accepted December 6, 2019

In this study, concrete, which consists of 9% Illite and 3% cement replaced with Illite, was studied. To analyze the effect of the developed block on river and sea environments, formaldehyde emission, far-infrared radiation, and fish acute toxicity tests were employed. Compared with the standard rates, the formaldehyde adsorption rate and addition adsorption rate of the developed block increased by 130% and 112%, respectively. Additionally, toxic and intoxication were not observed during the 96-h fish acute toxicity test. Furthermore, 92.3% of the far-infrared radiation rate was checked. We believe that this study can be used as a method to protect environments such as seas and rivers by employing the developed block at construction sites.

**Key words:** Illite, Hydrophilic protection block, TVOCs, Far-infrared ray, Fish acute toxicity test

#### 1. 서 론

“일라이트(illite)”라는 명칭은 Grim등(1937)이 일리노이주 이질암에서 흔히 산출되는 점토 입자 크기의 운모를 “라이트”로 명명 한데서 그 유래를 찾을 수 있으며 카올리나이트 스멕타이트와 더불어 가장 중요하고도 흔한 점토 광물이다. 일라이트 화학식은  $(K,H_3O)Al_2(Si,Al)_4O_{10}(H_2O,OH)_2$ 이며 회백색의 광물로서 수화 운모, 수화백운모, 함수된운모, K-운모, 운모질 점토, 및 세리사이트 등이 있다.<sup>1)</sup>

현재 널리 쓰이고 있는 일라이트의 일반적인 정의는 결정화학적 특징을 고려하여 규정된다. 즉, 일라이트는 입자의 크기가  $2\ \mu m \sim 4\ \mu m$  이하로서 운모와 비슷하며, 저면간격(Bottom-spacing)은 10 Å이고 화학적으로는 백운모에 비하여  $Si^{4+}$ ,  $Mg^{2+}$  및  $H_2O$ 가 더 풍부하나, 사면체자리의  $Al^{3+}$ 과 층간  $K^+$ 의 함량은 더 낮다.<sup>1)</sup>

국내에는 충북 영동지역에 약 5,156천톤의 막대한 매장량을 보유하고 있으나, 생산량은 5.5천톤으로 매장량 대비 0.1% 이하의 수준을 나타내고 있어, 일라이트에 대한 저변 확대와 활용성에 대한 연구와 하천, 재방에 사용되는 호안블럭에 적용하여 호안블럭 생산 시 사용되는 잔골재를 일라이트로 치환하여 사용하고, 시멘트의 량을 치환함으로써 최적의 생산 배합률을 도출하여 부존량이 적은 잔골재를 대체하는 효과와 과다한 시멘트 사용을 통한 수질의 알칼리성화 등 오염을 방지 및 일라이트사용을 통한 수질 개선에 미치는 영향을 확인하고자 한다.<sup>1,2)</sup>

본 연구에서는 일라이트를 사용한 10% 이상 치환된 호안블럭을 개발하고자 하였고, 일라이트의 시멘트치환과 잔골재치환을 고려한 최적 배합설계를 통한 현장적용에 적합한 강도를 실현하고, 호안블럭이 소하천, 제방 등에 시공되는 것을 고려하여 천연 재료인 일라이트

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

를 사용함으로써 2차 환경 오염에 대한 방지 및 오염된 수질을 개선할 수 있는 개선효과를 파악하기 위한 VOC제거시험, 원적외선 방사율, 시멘트 사용에 따른 수질 변화의 지표로 어독성 실험을 통해 개선 가능성을 확인하고, 환경친화적인 호안블럭 개발을 통해 하천 적용에 제안하고자 한다.<sup>3-5)</sup>

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 일라이트 원석에 대한 정량분석

일라이트 원석 시료를 대상으로 분쇄 가공하여 5 mm 체 통과 시료에 대해 주사현미경(SEM), XRF을 이용하여 정성분석을 실시하였다. SEM 측정을 위해 시료를 건조 후 분쇄하여 시료 홀더에 장착하고, 전도성 부여를 위한 코팅을 진행한 후 기기분석으로 성분을 분석하였다. 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope)은 Model(JSM-6490LV(JEOL))을 사용하여 가속전압 1~30 KV, 분해능 1.8 mm(저진공), 1.4 nm(고진공)조건으로 실시하였으며, 에너지 분산형 X선 분광 분석기(INCA X-SIGHT, OXFORD)을 사용하였다. 시험방법은 KS I 0051 : (주사 전자 현미경 시험방법 통칙)에 따라 시험을 실시하였다.

### 2.2. 일라이트 치환율에 따른 물성치 비교

호안블럭 사용에 있어 물리적 특성 값에 있어 압축강도 및 휨강도는 매우 중요시 여겨지는 평가 항목 중의 하나로 하천, 재방 등에 사용시 축조되는 높이, 폭, 주변 지반의 응력 등을 고려하여 구조설계를 실시하고 호안블럭의 강도를 적용한다. 본 연구에서는 시멘트 대체 치환율 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 각 CASE별 KS L ISO 679(시멘트의 강도 시험방법)에 따른 배합표를 적용하였으며, 굳지않은 모르타르에서 플로우 값에 따른 작업성을 확인하고, 경화 모르타르에서 재령일 3일, 7일, 28일 휨강도와, 압축강도 시험을 진행한다.

**Table 1.** Replacement ratio of Illight

Replacement Rate (%)	Illight (g)	Fine aggregate (g)	Water (g)	Cement (g)
0	0	1 350		
3	41	1 309		
6	81	1 269		
9	122	1 228	225	450
12	162	1 188		
15	203	1 147		
18	244	1 106		

**Table 2.** Replacement ratio of cement

Replacement Rate (%)	Illight (g)	Cement (g)	Water (g)	Fine aggregate (g)
기준	0	450		
10	45	405		
20	90	360	225	1 350
30	135	315		
40	180	270		
50	225	225		

또한, 잔골재 대체 치환율 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18% 각CASE별 굳지않은 모르타르에서 플로우 값에 따른 작업성을 확인하고, 경화 모르타르에서 재령일 3일, 7일, 28일 휨강도와, 압축강도 측정하는 실험을 진행한다.

### 2.3. VOC제거 시험(폼알데하이드 흡착)

폼알데하이드는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에서 특정수질유해물질 항목으로 지정되어있다. 공장, 가정 등에서 배출되는 폐수에 수질오염을 유발하는 것으로 일라이트는 수질에 포함되어 있는 유기화합물에 대한 탈취, 흡착 및 향균에 대한 효과가 높은 것으로 확인되어 일라이트를 함유한 호안블럭에 대한 폼알데하이드 흡착 성능을 확인하기 위해 KS I 3546(건축자재의 VOCs 및 알데하이드 저감 성능 시험방법-고상 건축자재)에 따라 시험한 뒤 폼알데하이드 흡착률(7일 후), 폼알데하이드 적산흡착량(7일 후)을 측정하였다. 측정을 위한 시험조건은 챔버온도 25 ± 1°C, 상대습도 50 ± 3%, 환기횟수 0.5회/h, 시료 부하율 2.0 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>으로 7일간 실시하였다.

### 2.4. 원적외선 방사율

원적외선은 25 μm 이상인 적외선으로 가시광선보다

**Table 3.** Instrument analysis conditions

Analysis Equipment	UPLC
Manufacturer	USA / WATERS
Column	YMC-Triart C18, 3.0 μm 3.0 × 150 mm
Analysis condition	Water : ACN = 60 : 40 (2 min) → 55 : 45 (14 min) → 20 : 80 (16 min) → 60 : 40 (17.0 min)
Carrier gas	-
Sample injection quantity	3 μL
Reference material	TO11/IP Aldehyde/Ketone-DNPH Mix 15 μg/mL (Supelco)

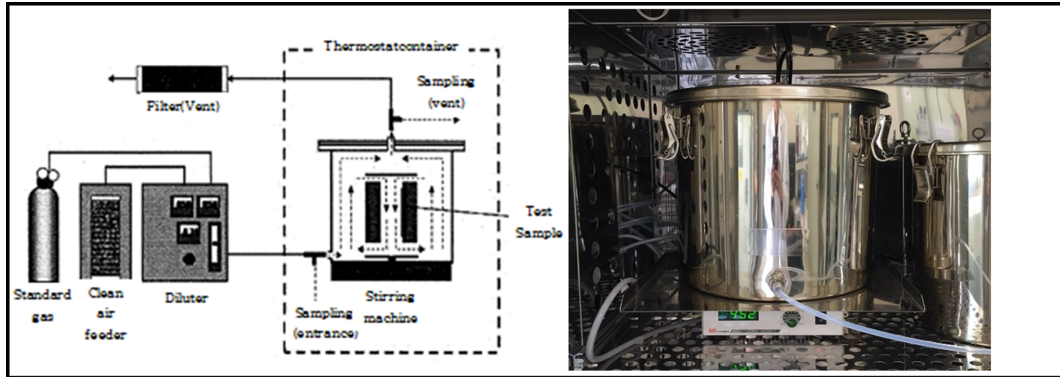


Fig. 1. Volatile Organic Compounds (VOCs) and Aldehyde test.

과장이 길어서 눈에 보이지 않고 열작용이 크며 침투력이 강해 유기화합물 분자에 공진 및 공명 작용이 강해 중금속 제거 효과 및 곰팡이 번식방지 등의 효과성이 높아 의료기구 및 주택, 건축자재 등 적용이 많이 이루어지고 있다. 본 실험을 통해 일라이트의 적외선 방출량을 통해 향후 호안블럭 적용시 중금속 제거, 암모니아 탈취 등에 대한 성능을 확인하고자 실시하였으며, 적외선 방출량을 측정 분광광도계에 의한 방사율 및 방사에너지 측정방법에 따라 FT-IR Spectrometer를 이용하여 Blackbody 대비하여 측정하였다. 적외선 분광광도계 측정방법은 시료 표면에서 방사되는 적외선 방사 에너지를 이상흑체의 방사에너지와 동일온도에서 대비하여 적외선 방사율을 산출하는 방법으로 적외선 방사 스펙트럼은 가로축에 파장을, 세로축에는 방사율 및 방사에너지 단위로 표시하며, 시험방법은 KFIA-FI-1005에 따라 실시하였고 시편의 크기는 (38 × 38 × 3) mm로 제작하였으며, 시험조건은 방사에너지 3.72 × 10<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>·μm, 40°C)에 따라 실시하였다<sup>8,9)</sup>.

**2.6. 어독성 시험**

어류(송사리, *Oryzias latipes*)에 대한 일라이트(illite) 10 % 이상 치환된 기능성 호안블럭을 대상으로 급성 독성시험을 실시하였다.

본 시험은 국립환경과학원고시 제2018-12호 (2018-04-

09)에 따라 수행되었으며, 본 시험 중 상기 기준에 규정되지 않은 경우는 (재)한국화학융합시험연구원 화순의 표준작업지침서에 따라시험을 실시하였으며 동물보호법 [시행 2019-03-25][법률 제16075호(2018-12-24, 일부개정)] 및 실험동물에 관한 법률 [시행 2019-03-12][법률 제 15944호, 2018-12-11]에 근거한 (재)한국화학융합시험연구원 화순의 동물윤리위원회에 의해 승인(승인번호 :IAC2019-0749)되었다.

시험조건은 96시간 동안 시험용액을 유지하는 지수식으로 설정하였으며, 처리군은 일라이트와 시멘트가 치환된 배합표에 따라 제작된 시험시편 5개를 대상으로 실시하였고 시험 동안 시험용액 중 시험편의 농도에 대한 별도의 분석은 시행하지 않았다. 시험기간 중 대조군, 처리군에서 치사 및 중독 증상은 관찰되지 않았으며, 시험용액의 pH는 평균 7.48 (7.19~7.72)로 확인되었으며, 시험용액의 DO는 평균 6.97 mg/L (5.67 mg/L~8.16 mg/L)으로, 포화용존산소량의 평균 81.3% (66.1%~95.1)로 측정되었다. 시험용액의 수온은 평균 22.7°C (22.6°C~22.8)로 측정되었다.

실험종료 후 측정된 송사리의 체중 및 전장은 대조군에서 체중 (0.204 ± 0.014)g, 전장 (2.3 ± 0.1)cm, 처리군에서는 체중 (0.208 ± 0.017)g, 전장 (2.4 ± 0.2)cm로 측정되었다.

Tab. 4. Test solution

Sort	Test substance	Test concentration	Used water	Remark
	Block contained over 10% Illite replacement (Type 1)	1 EA	10 L	-
	Block contained over 10% Illite replacement (Type 2)	1 EA	10 L	-
TEST	Block contained over 10% Illite replacement (Type 3)	1 EA	10 L	-
	Block contained over 10% Illite replacement (Type 4)	1 EA	10 L	-
	Block contained over 10% Illite replacement (Type 5)	1 EA	10 L	-

**Table 5.** Water quality measurement of test solution

Sort	Measurement cycle	Test Machine	SOP No.
Temperature	once a day	Multi 9430 (WTW, Germany)	KG-EQM-084(1)
PH	once a day	Multi 9430 (WTW, Germany)	KG-EQM-084(1)
DO	once a day	Multi 9430 (WTW, Germany)	KG-EQM-084(1)
Hardness of water	once with each test	HI 96735 (Hanna Instruments, USA)	KG-EQM-028(1)

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 일라이트 정량분석

일라이트는 4 μm 이하의 점토질 입자크기로 Si<sup>4+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, H<sub>2</sub>O 및 알루미늄 성분이 풍부하고, 중금속 및 유독가스에 대한 우수한 흡착, 탈취, 분해력이 뛰어나, 상온에서의 높은 원적외선 방사 및 음이온 발생능력, 항바이러스 능력, 용존산소 발산에 의한 물 분자의 활성화 등의 효과가 뛰어나다. 연구에 사용된 일라이트에 조성물에 대한 분석을 위해 시험방법은 KS I 0051 : 1999(주사 전자 현미경 시험방법 통칙)에 따라 정량분석을 통한 원소 분석을 실시한 결과 산소 43.59%로 가장 높게 확인되었으며, 탄소가 26.96%, 규소가 15.01로 확인되었다.

#### 3.2 일라이트 치환 변화에 따른 물성치 분석

일라이트 잔골재 치환 0%~18% 휨강도 시험결과 일라이트 치환율이 증가할수록 휨강도 값은 감소하는 경향을 보였다. 이는 점토광물인 일라이트의 물리적 특성상 휨강도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 다만, 일라이트 치환율 9%까지는 기준모르타르와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보여지며, 플로 측면에서는 시멘트 치환보다 잔골재를 치환하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 이는 점토광물인 일라이트의 물리적 특성상 강도증

**Table 7.** Flexural strength results

Fine aggregate Replacement Rate (%)	Unit	Flexural strength result		
		3 Day	7 Day	28 Day
0	N/mm <sup>2</sup>	5.2	6.2	8.6
3		4.6	5.8	8.5
6		4.4	5.4	8.1

**Table 8.** Flexural strength results(Continued)

Fine aggregate Replacement Rate (%)	Unit	Flexural strength result		
		3 Day	7 Day	28 Day
9	N/mm <sup>2</sup>	4.1	5.9	7.9
12		4.5	5.6	7.6
15		4.5	5.4	7.4
18		4.2	5.4	7.1

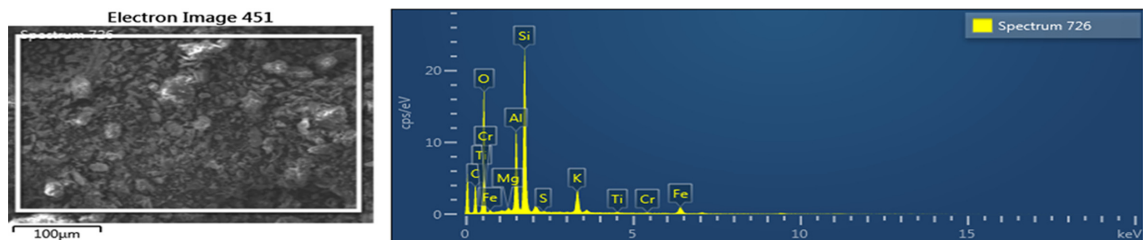
**Table 9.** Flexural strength results

Cement Replacement Rate (%)	Unit	Flexural strength result		
		3 Day	7 Day	28 Day
0	N/mm <sup>2</sup>	5.2	6.2	8.6
10		4.8	5.2	7.3
20		4.4	5.3	6.9
30		3.7	4.6	5.3
40		2.7	3.8	4.6
50		2.6	3.1	4.1

진에 영향을 미친 것으로 사료된다. 이는 일라이트의 치환율이 증가할수록 수화 반응에 관여하는 결합재량의 저감으로 인해 강도가 감소된 것으로 판단된다.

**Table 6.** Results of quantitative analysis of Illite

Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ti	Cr	Fe	Total
Spectrum 726	Yes	26.96	43.59	0.29	7.30	15.01	00.14	3.38	0.23	0.16	2.94	100.00



**Fig. 2.** Scanning electron microscope analysis of Illite.

압축강도의 경우 일라이트 잔골재 0%~18% 치환하였을 경우 휨강도 시험결과와 유사하게 9% 이후부터 강도 값이 감소하는 경향을 보였다. 시멘트 치환의 경우 10% 이상 시멘트를 치환하게 되면 강도가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 시멘트량에 따라 압축강도와 상관관계를 얘기하는 것으로 시멘트의 치환량은 10% 이내에서 최적의 배합을 적용하는 것이 적절하다고 판단된다.<sup>10-12)</sup>

물리적 특성으로 알아본 결과 콘크리트 호안블럭의 중요 품질항목인 압축강도와 제작에 따른 경제성을 고려하였을 시 잔골재 9% 치환, 시멘트 3%를 치환하여 전체 치환율 10% 이상의 배합 조건으로 선정하였다.

### 3.3 VOC(폼알데하이드 흡착) 결과 분석

폼알데하이드 흡착률 시험결과 국토교통부고시 제 2018-697호 건강친환경 주택 건설 기준에서 요구하는 흡착률 65%이상, 적산흡착량 폼알데하이드 6 500  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  이상으로 확인되어 기준치에 만족함으로 일라이트에 의한 폼알데하이드 흡착력에 대한 개선 효과를 확인하였다.

### 3.4 원적외선 방사를 결과 분석

시험방법은 KFIA-FI-1005에 따라 분광광도계를 사용하

**Table 10.** Compression strength according to replacement ratio of fine aggregate

Fine aggregate Replacement Rate (%)	Unit	Compression Strength Result		
		3 Day	7 Day	28 Day
0	N/mm <sup>2</sup>	28.2	33.9	46.9
3		27.2	31.7	45.9
6		27.1	33.1	45.3
9		25.3	31.2	40.5
12		26.7	31.9	38.8
15		25.4	30.4	38.3
18		24.3	29.6	36.5

**Table 12.** Mix design

Replacement Rate (%)	Illight (g)	Aggregate(g)		Water (g)	Cement (g)
		Fine aggregate	Coarse aggregate (10 mm)		
Fine aggregate 9% Cement 3%	136	552	675	225	437

**Table 14.** Far-infrared ray results

Test item	Unit	Results					평균	Radiant energy (W/m <sup>2</sup> . $\mu\text{m}$ , 40°C)
		X1	X2	X3	X4	X5		
Emissivity (5~20) $\mu\text{m}$	%	92.3	92.3	92.3	92.3	92.3	92.3	$3.72 \times 10^2$

여 측정된 결과 평균 92.3%로 중금속 제거, 방균, 곰팡이 번식 방지 등에 효과가 높은 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.5 어독성 시험 결과 분석

호안블럭은 시멘트를 포함하여 개발된 제품으로 하천, 제방 축조에 사용 시 시멘트에 의한 강알 칼리성으로 2차 환경오염을 미칠 수 있는 재료로 어류 폐사와 같은 문제점이 발생될 수 있어 실시한 어류(송사리, *Oryzias latipes*)에 대한 일라이트(illite) 10% 이상 치환하여 제작된 호안블럭의 급성독성시험을 지수식으로 실시한 결과 Table 15와 같이 시험시료 1~5에 대한 48 시간~96시간 치사율은 0%임을 확인되어 알칼리성에 의한 문제점이 개선 된 것을 확인할 수 있었다.<sup>6,7)</sup>

**Table 11.** Compression strength according to replacement ratio of cement

Cement Replacement Rate (%)	단위	Compression Strength Result		
		3 Day	7 Day	28 Day
		0	28.2	33.9
10	N/mm <sup>2</sup>	21.1	25.1	36.7
20		16.5	21.2	26.9
30		13.3	16.3	20.8
40		10.2	13.8	18.4
50		9.4	12.2	16.3

**Table 13.** Formaldehyde test results

Sample	Formaldehyde Adsorption rate (7 Day After)	Formaldehyde total amount of adsorption (7 Day After)
n-1	85.0%	7 402 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
n-2	81.2%	6 991 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
n-3	85.2%	7 227 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
n-4	86.4%	7 477 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
n-5	85.4%	7 286 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
Average	84.6%	7 277 $\mu\text{g}/\text{m}^2$

**Table 15.** Cumulative mortality of oryzias latipes

Test substance	Number of fish	Number of dead fish					Mortality(%)	
		3 h	24 h	48 h	72 h	96 h	48 h	96 h
Negative control <sup>1)</sup>	10	0	0	0	0	0	0	0
Sample 1	10	0	0	0	0	0	0	0
Sample 2	10	0	0	0	0	0	0	0
Sample 3	10	0	0	0	0	0	0	0
Sample 4	10	0	0	0	0	0	0	0
Sample 5	10	0	0	0	0	0	0	0

**Table 16.** Symptom of intoxication of Oryzias latipes

Test substance	Symptom of intoxication				
	3 h	24 h	48 h	72 h	96 h
Control	NOR <sup>2)</sup>	NOR	NOR	NOR	NOR
Sample 1	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
Sample 2	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
Sample 3	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
Sample 4	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR
Sample 5	NOR	NOR	NOR	NOR	NOR

Test water<sup>1)</sup>Abbreviation of observable symptoms of intoxication; NOR, normal<sup>2)</sup>

## 결 론

이 연구는 일라이트 10% 이상 치환률을 적용한 호안블럭 개발에 있어 일라이트 사용에 따른 강도 저하를 최소화하기 위한 최적의 치환율과 시멘트 2차 제품으로 생산되어 사용되는 호안블럭이 하천, 제방인 것을 고려하여 수질 정화 능력 및 호안블럭이 하천 생태 어류에 미치는 영향력을 확인하여 개발된 호안블럭에 대한 효과에 관한 결론은 다음과 같다.

일라이트 시멘트 대체 치환율 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 잔골재 대체 치환율 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18% 각CASE별 압축강도, 휨강도에 대한 물리적 특성을 확인한 결과 잔골재 9%, 시멘트 3% 치환이 가장 적합한 배합으로 확인하였다.

폼알데하이드 흡착률 시험결과와 VOCs제거 흡착률 평균 84.6%, 적산흡착량 평균 7 277  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  확인되어 주택 건설 기준에서 요구하는 흡착률 65%이상, 적산흡착량 폼알데하이드 6 500  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  이상으로 확인되어 기준치 이상의 폼알데하이드 흡착률을 확인하였다.

원적외선 방사율은 적외선 분광광도계에 의한 방사율 및 방사에너지 측정방법에 따라 FT-IR Spectrometer를 이용하여 Blackbody 대비하여 측정한 결과 방사율

(5~20)  $\mu\text{m}$ 은 0.923, 방사에너지( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$ , 40°C)는  $3.72 \times 10^2$ 로 나타났다. 원적외선 약 92.3%로 방출됨을 확인할 수 있었다.

어독성 시험결과는 처리군 1의 48시간 및 96시간 치사율은 0%, 처리군 2의 48시간 및 96시간 치사율은 0%, 처리군 3의 48시간 및 96시간 치사율은 0%, 처리군 4의 48시간 및 96시간 치사율은 0%, 처리군 5의 48시간 및 96시간 치사율은 0%로 치사 및 중독 증상은 관찰되지 않았다.

국내 일라이트(illite)의 매장량은 많이 있으나, 사용에 대한 용도가 개발되지 못해 주로 매립용 토사로 사용되고 있다. 일라이트 사용에 대한 저변확대를 통해 친환경적, 콘크리트 2차 제품에 대한 개발 가능성을 확인할 수 있었고, 하천, 제방 등에 물이 접하는 보강공사에 사용이 적합하며 과다한 시멘트 사용에 대한 치환으로 2차 환경오염을 방지하고, 오염된 하천을 정화하는데 기여 할 수 있을 것으로 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 논문은 중소벤처기업부에서 지원하는 2018년도 산학연협력 기술개발사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## 참고문헌

- 김은영, 조현구, 이수재, 충북 영동군 동창 일라이트 광체의 구리 흡착 특성, *대한지질학회 학술대회, 추계 공동학술발표회*, 2000, 87.
- 김무한, 권영진, 최세진, 강석표, 심재형(2002), 플라이애시의 치환방법 및 치환율에 따른 플라이애시를 대량 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구, *대한건축학회논문집*, 2002, 제18권, 제2호, 123-130.
- 류재석, 이용수, 강대관, 어독성 실험을 통한 PVAc 침투성 방수제의 친환경 특성분석, *한국콘크리트학회 논*

- 문집, **2011**, 11, 749-750.
4. 장재혁, 이민, 이상민, 박상범, 건축재료의 폼알데하이드 방출 특성 및 탄화보드에 의한 저감 효과, *한국목재공학회*, **2017**, 3, 327-334.
  5. 오혜민, 원적외선을 처리한 물이 식물체의 생육과 과실의 저장에 미치는 영향, 석사학위논문, 영남대학교, **2019**.
  6. 이승열, 입제 농약의 미세 처리가 수중 잔류특성과 어 독성에 미치는 영향, 석사학위논문, 충북대학교, **2015**.
  7. 우지근, 김성균, 어독성 실험에 따른 방근재 친환경 특성분석, *한국환경복원기술학회지*, **2010**, 4, 42-51.
  8. S. Hi-Ro, 원적외선 세라믹스 처리수의 물성분석과 이용기술, *(사)한국원적외선협회, 학술지* **2004**, 10, 125-130.
  9. 추창오, 김수진, 김천수, 일라이트, 할로이사이트에 대한 중금속원소의 흡착특성, *한국광물학회지*, **1998**, 제11호, 20-31.
  10. 김무한, 권영진, 최세진, 강석표, 심재형(2002), 플라이애시의 치환방법 및 치환율에 따른 플라이애시를 대량 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구, *대한건축학회논문집*, **2002**, 제18권, 제2호, 123-130.
  11. KS F 2563 : 2009 Ground granulated blast-fumace slag for use in concrete.
  12. KS L 5210 : 2017 Portland blast-fumace slag cement.