

# 활성탄을 잔골재로 이용한 친환경 모르타르 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of Friendly Environment Mortar by Using Activated Carbon as Fine Aggregate

우종권\*                      홍상희\*\*                      전경빈\*\*\*                      류현기\*\*\*\*  
 Woo, Jong-Kwon              Hong, Sang-Hee              Jun, Kyoung-Bin              Ryu, Hyun-Gi

### Abstract

Modern residing equipment developed much quantitatively along with economic growth but improvement for agreeable residing space of indoor environment is insufficient situation yet. Also, the latest sick-building syndrome discharging room contaminant such as Formaldehyde, toluene, radon etc. built house or buildings newly human body threaten. Radon of them is real condition that raise origination of lung cancer next to smoke. So, wish to in this research by one of solution way of these problems adsorption performance and specie performance excellent activated carbon to mortar for deconstipating suppository that is room finish fare mix and examine closely after grasp physical, mechanical special quality, hazardous substance and specie performance effect. According to result that estimate friendly-environment performance, the CO<sub>2</sub> absorption amount displayed decrease effect more than about 90% in activated carbon metathesis rate 80% and radon release amount displayed tendency that decrease about 75 ~ 85% in activated carbon metathesis rate 80%.

키 워 드 : 활성탄, 모르타르, 친환경, 라돈, 이산화탄소  
 Keywords : Activated carbon, Mortar, Friendly-Environment, Radon, CO<sub>2</sub>

## 1. 서 론

현대의 주거시설은 경제성장과 더불어 양적 및 질적으로 많은 발전, 이면에 주거시설의 대형화, 마감재의 고급화 및 다양화에 따른 실내 환경의 쾌적한 주거 공간을 위한 개선은 아직 미흡한 실정이다. 현재 우리가 거주하고 있는 주거 시설은 건강에 많은 해를 끼칠 수 있는 문제점을 가지고 있으며, 특히 최근 관심이 많은 새집증후군의 경우는 주로 사용되는 재료뿐만 아니라 도장 및 마감재의 부착 등에 사용된 재료, 즉 포름알데히드(Formaldehyde), 톨루엔(Toluene) 등과 같은 기타 입자상 물질들이 주원인이다. 이러한 물질은 실내를 오염시키면서 인체의 눈과 코, 목 등을 자극하고, 두통과 어지럼증을 유발하거나 실내 거주자에게 쉽게 피로감을 느끼게 하며 천식, 급성폐렴, 고열, 피부병 등을 유발시키기도 한다.

인간의 생명에 치명적인 폐암 같은 경우, 담배연기 다음으로 라돈가스가 건축물에 많이 방출되고 있음이 매스컴 및 연구보고서 등을 통하여 많이 보고되고 있다. 미국 국립 방사능 방어 측정위원회(NCRP: Nation Council on Radiation Protection and Measurements)의 자료에 의하면 미국 내 연간 2만여 명이 주택 내에서 발생한 라돈가스에 의해 사망한 것으로 추정하고 있다.

인간의 일상 생활 중 80%이상을 건물 내에서 생활하고 있는 것을 고려 할 때 이런 문제점들을 해결할 수 있는 친환경적인 건축재료 개발 활성화로 목재, 석재, 숯, 황토 등 천연재료들은 많은 반면에 이러한 천연재료들의 활용은 대단히 미약한 실정이다. 또한 그에 대한 유해물질 배출 및 유해성 등에 관한 연구는 미약하며 효용성에 대한 검증이 불충분한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들의 해결방안의 하나로 흡착성능 및 정화성능이 뛰어난 활성탄을 실내마감 재료 중 하나인 모르타르에 혼입하여 물리적, 역학적 특성을 파악하고, 나아가 유해물질의 흡착 및 정화 성능효과를 규명함으로써 활성탄을 혼입한 친환경성 모르타르의 활용성과 실용화에 기초 자료를 제시 하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 먼저 배합사항(표2 참조)으로 모르타르의 배합비 1:2, 1:3, 1:4와 같이 3개의 수준으로 하고 W/C는 목표 플로우 120±10mm에 만족하는 적정비로 하고, 잔골재의 질량에 대하여 활성탄의 치환율은 0(plain)% 및 20, 40, 50, 60, 80%로 6수준으로 계획한다.

실험사항으로는 굳지 않은 모르타르에서는 플로우 및 단위 용적질량을 측정하고 경화 모르타르에서는 압축강도, 휨강도,

\* 충주대학교 대학원 석사과정, 정회원  
 \*\* (주) 원건축사 사무소 감리사업부, 공학박사, 정회원  
 \*\*\* (주) 원건축사 사무소 감리사업부, 정회원  
 \*\*\*\* 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

흡수시험, 건조수축 길이변화율, CO<sub>2</sub>흡수량, 라돈방출량을 각각 계획된 재령에 따라 측정한다.

표 1. 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	배합비	3	1:2, 1:3, 1:4
	W/C(%)	1	목표 플로우를 만족시키는 적정비
	목표 플로우	1	120±10mm
실험사항	폐주물사 치환율(%)	6	0(plain), 20, 40, 50, 60, 80
	굳지 않은 모르타르	2	· 플로우 · 단위용적질량
실험사항	경화 모르타르	6	· 압축 (3, 7, 14, 28일) · 휨강도 (3, 7, 14, 28일) · 흡수시험 (21일) · 건조수축 길이변화율 (7, 14, 28일) · CO <sub>2</sub> 흡착량 (28일) · 라돈방출량(3일)

표 2. 배합사항

배합비	배합사항		용적배합 (ℓ / m <sup>3</sup> )			질량배합(kg/m <sup>3</sup> )			
	W/C (%)	활성탄 치환율 (%)	W	C	S	활성탄	C	S	활성탄
1:2	36	0	245	215	530	0	679	1357	0
		20	224	198	390	178	623	997	249
		40	208	183	270	329	576	692	461
		50	200	176	217	397	555	555	555
		60	193	170	167	459	536	429	643
		80	181	159	78	572	501	200	801
1:3	45	0	230	162	598	0	510	1531	0
		20	209	147	435	199	464	1114	278
		40	191	135	299	365	425	766	510
		50	184	130	239	437	408	612	612
		60	177	125	184	505	393	471	707
		80	164	116	85	625	364	219	875
1:4	60	0	240	127	624	0	399	1597	0
		20	217	115	452	207	361	1157	289
		40	198	105	310	377	330	793	528
		50	190	101	247	452	317	633	633
		60	182	97	190	521	304	486	730
		80	169	89	88	644	282	255	901

## 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 잔골재는 충북 충주 일원의 강모래를 사용하며 활성탄은 석탄질의 활성탄을 사용하고 각각 물리 및 화학적 성질은 표3~5와 같으며 잔골재 및 활성탄의 SEM 및 입도분포는 그림 1, 2 와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (g/cm <sup>3</sup> )	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3480	0.06	250	438	22.6	31.3	39.8

표 4. 잔골재 및 활성탄의 물리적 성질

골재 종류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 실적률 (%)	No.200체 통과율 (%)
강모래	2.56	2.54	1.75	1,710	61.0	2.06
활성탄	1.40	2.65	15.69	960	-	5.67

표 5. 활성탄의 화학성분

구분	화학성분(%)		
	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
활성탄	93.25	6.41	0.34

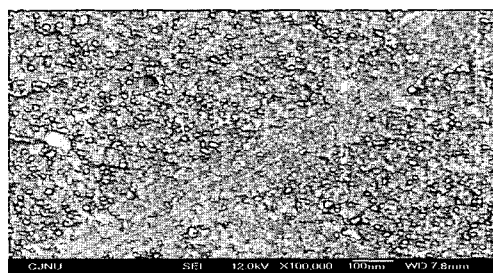


그림 1. 활성탄의 전자현미경 사진(× 100,000 배 - SEM)

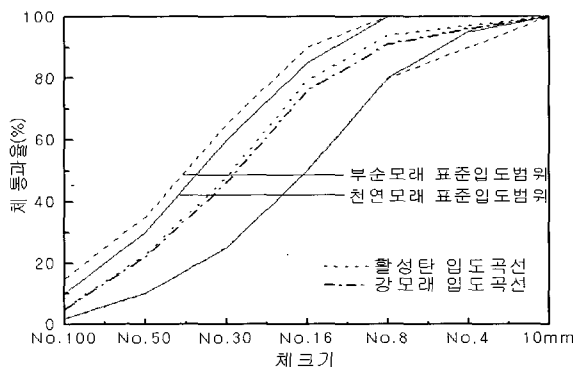


그림 2. 잔골재 및 활성탄의 입도 곡선

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 KS L 5109(수경성 시멘트반죽 및 모르타르의 기계적 혼합방법)에 의거 실시하며, 굳지 않은 모르타르 실험에서는 플로우는 KS L 5105, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거하여 측정하였다. 경화 모르타르의 실험으로 압축강도는 KS L 5105, 휨강도는 ASTM C 348, 길이변화는 KS F 2424, 흡수시험은 KS F 2451에 의거 실시한다.

이산화탄소 흡착 시험은 그림 3과 같이 밀폐된 공간에 5×5×5cm의 모르타르 공시체 2개를 넣고 10분, 1시간 5시간 경과 후 가스 측정기를 이용하여 이산화탄소의 농도를 측정한다.

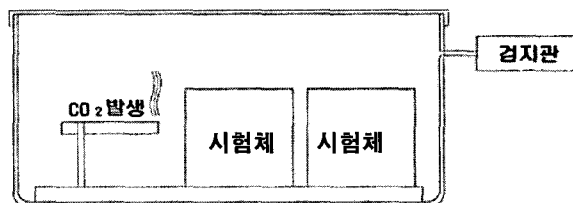


그림 3. 이산화탄소 농도 측정방법

라돈가스 측정방법은 그림 4와 같이 현재 가장 많이 사용되고 있는 시간적분형법으로 실내 공기 중 라돈의 농도가 기압, 온도, 습도에 따라 민감하기 때문에 평균값을 기준으로 하여 라돈 감지센서가 장착되어 있는 전문 라돈측정업체인 국내 R사에서 생산되는 작은 원통형 모양의 라돈 포집기를 이용하였다. 3일간 양생된 시험체에 포집기를 설치하여 28일 동안 라돈을 포집한다. 포집기에 의한 라돈 농도 측정법은 모르타르 표면에 라돈 및 자핵중에서 방출되는 알파 입자가 입사될 때 생성된 미세한 흔적을 알카리 등으로 포집하여 비적이 생성되도록 한 후 현미경 등으로 라돈의 농도를 측정하였다.

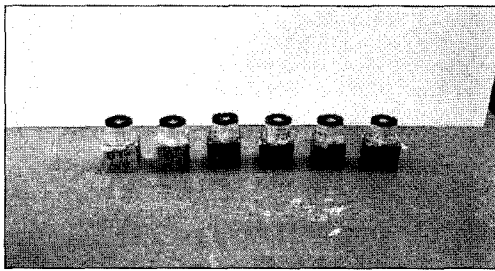


그림 4. 라돈가스 측정방법

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 모르타르의 특성

##### 3.1.1 유동성

그림 5는 활성탄 치환율 변화에 따른 플로우치를 나타낸 그래프이다.

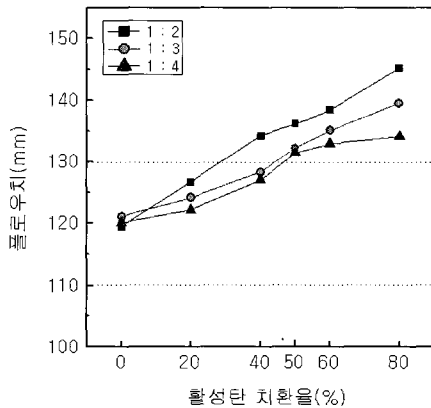


그림 5. 활성탄 치환율 변화에 따른 플로우치

먼저, 모든 배합에서 활성탄 치환율이 증가할수록 plain 보다 플로우치가 증가하는 경향을 나타냈다. 배합비 변화에서는 1:2 배합 경우 치환율 20%까지 목표 플로우에 만족하였고 치환율 40~80%에서는 134~145mm로 목표 플로우의 적정 범위를 다소 크게 벗어나는 경향을 나타내었다. 1:3배합에서는 치환율 0~40%까지 목표플로우를 만족하였으나 그 외 치환율에서는 132~139mm로 적정 범위를 벗어났고, 1:4배합에서는 1:3배합과 마찬가지로 치환율 40%까지 목표플로우를 만족하였으며 그 외 치환율에서 131~134mm로 적정범위를 약간 벗어났다. 이는 활성탄의 표전상태의 흡수량이 매우 크고, 비중이 현저히 작기

때문에 모르타르의 상면으로 부유하며 거동하기 때문이라고 사료된다.

#### 3.1.2 단위용적질량

그림 6은 활성탄 치환율 변화에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다.

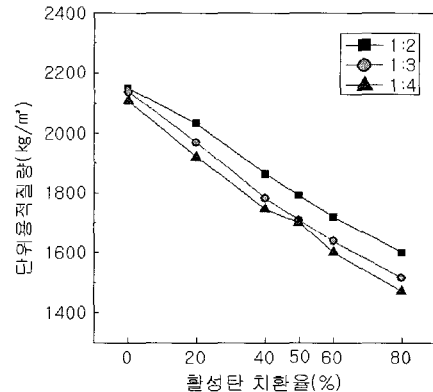


그림 6. 활성탄 치환율 변화에 따른 단위용적질량

모든 배합비에서 활성탄 치환율이 증가할수록 단위용적질량은 감소하는 경향을 나타내었고, 1:2배합보다 1:3, 1:4의 빈배합으로 될수록 단위용적질량이 작게 나타났다. 이는 밀도가 작은 활성탄의 함유량이 증가함에 따라 단위용적질량이 감소한 것으로 판단된다.

#### 3.2 경화 모르타르의 특성

##### 3.2.1 강도특성

그림 7은 재령별 활성탄 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

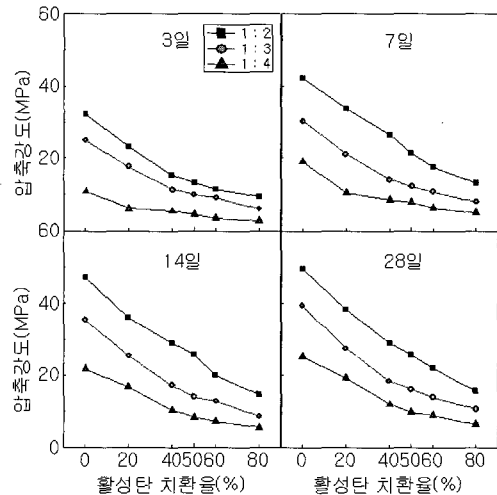


그림 7. 각 재령별 활성탄 치환율 변화에 따른 압축강도

재령 3일에서는 활성탄 치환율이 증가할수록 강도는 저하하는 경향을 나타내었고, 1:2의 부배합에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 7일 재령에서는 3일 재령과 마찬가지로 치환율이 증가할수록 강도는 감소하는 경향을 나타냈으며 1:2배합에서 3일 재령보다 3.87~10.36MPa정도로 강도증진 경향이 가장 크게 나

타났고 1:3, 1:4배합에서는 1.67~8.17MPa정도로 약간의 강도증진이 나타났다. 14일 및 28일 표준재령에서도 비슷한 경향을 나타내었고 약간씩의 강도가 증진되었다. 이는 활성탄 치환율이 증가할수록 골재입자를 감싸주는 시멘트 페이스트양의 부족 및 활성탄의 질량이 작아 나타난 결과로 판단된다.

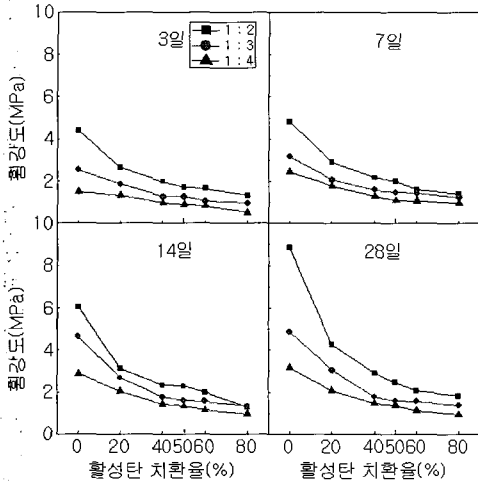


그림 8. 각 재령별 활성탄 치환율 변화에 따른 휨강도

그림 8은 각 재령별 활성탄 치환율 변화에 따른 휨강도를 나타낸 그래프로서 활성탄 치환율이 증가할수록 강도는 plain보다 감소하는 경향을 나타내었고, 재령이 경과함에 따라 강도는 증가하는 경향을 나타내었으며 1:2배합에의 모든 재령에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 전반적으로 압축강도와 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.2.2 흡수시험

그림 9는 활성탄 치환율별 시간경과에 따른 재령 21일 흡수량을 각 배합비 별로 나타낸 그래프이다.

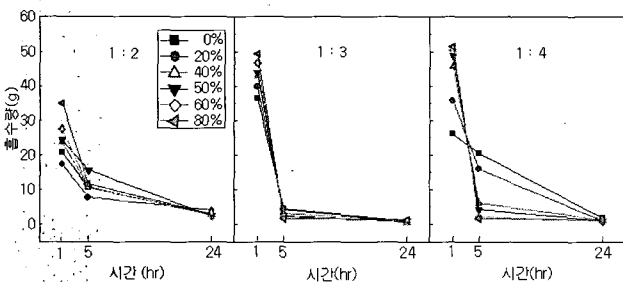


그림 9. 시간경과에 따른 흡수량

1:2배합에서 1시간 경과 후에 흡수량은 활성탄 치환율 80%에서 가장 많은 흡수량을 나타내었고 치환율 20%에서만 plain보다 흡수량이 적게 나타났다. 5시간 경과 후에는 치환율 50%에서 가장 많은 흡수량을 나타냈으며 치환율 20%에서만 plain보다 적게 나타났고 24시간 경과에서는 흡수량이 대부분 비슷하게 나타났다. 1:3배합의 경우 1:2배합과 비슷한 경향으로 나타났으며 1시간 경과 후에는 활성탄 치환율 80%에서 가장 많은 흡수량을 나타냈으며 치환율이 감소할수록 흡수량이 감소하는 경향으로 나타났다. 1:4배합의 경우 대부분 1시간, 5시간에서 활성탄의 차이가 크게 나타났는데, 1시간 경과 후에

서 치환율 0, 20%에서는 그 외 치환율에 비하여 흡수량이 적게 나타났으며 5시간 경과 후에는 치환율 0, 20%에서 그 외 치환율보다 흡수량이 크게 나타났다.

이와 같은 결과는 활성탄이 흡수율이 크므로 치환율이 증가할수록 초기 흡수량이 증가하는 것으로 판단되어진다.

### 3.2.3 건조수축 길이변화

다음 그림 10은 재령 경과에 따른 길이변화율을 각 배합비 별로 나타낸 그래프이다.

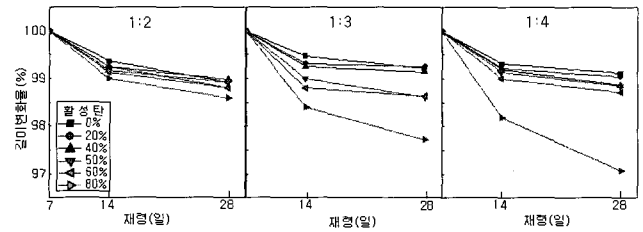


그림 10. 재령경과에 따른 길이변화율

건조수축 길이변화율은 초기 7일 재령에서 급격히 수축하였고 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향을 나타내었다. 활성탄의 치환율이 증가할수록 수축이 크게 나타났는데, 이는 흡수량이 큰 활성탄이 혼입량이 증가하면서 다량의 수분유효에 따른 결과로 분석된다.

### 3.2.4 CO<sub>2</sub> 흡착시험

다음 그림 11은 시간 경과에 따른 이산화탄소 농도를 각 배합비 별로 나타낸 그래프이다.

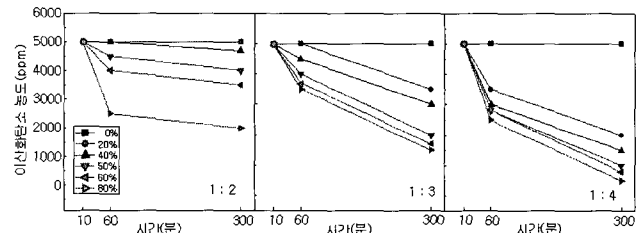


그림 11. 시간 경과에 따른 이산화탄소농도(28일재령)

전반적으로 모든 배합에서 시간이 경과 할수록 이산화탄소 농도가 감소하는 것으로 나타났으며, 전체 배합에서 치환율 0(plain)%에서는 10분 경과에서는 이산화탄소 농도가 5000ppm으로 변화가 나타나지 않았고 1:2 배합에서 1시간 경과 후 치환율 50~80%에서 이산화탄소 농도가 2500~4500ppm까지 감소하였고 5시간 경과 후에는 치환율 40~80%에서 2000~4700ppm까지 감소하는 경향을 나타내었다. 1:3 배합에서는 1시간 경과에서 치환율 40~80%에서 3500~4500ppm까지 감소되었으며 5시간 경과 후에는 plain을 제외한 모든 치환율에서 1500~4000ppm까지 감소되었으며 1:4 배합에서는 1시간 경과 후 부터 plain을 제외한 모든 치환율에서 이산화탄소 농도가 감소되었다. 5시간 경과 후 치환율 80%에서는 이산화탄소 농도가 500ppm으로 90%이상 감소효과를 나타내었다. 이는 흡착 성능의 좋은 다공질의 활성탄 혼입량이 증가하였으므로 유해물질의 농도가 감소한 것으로 판단된다.

### 3.2.5 라돈 방출량 시험

다음 그림 12는 활성탄 치환율 변화에 따른 라돈방출량을 나타낸 그래프이다.

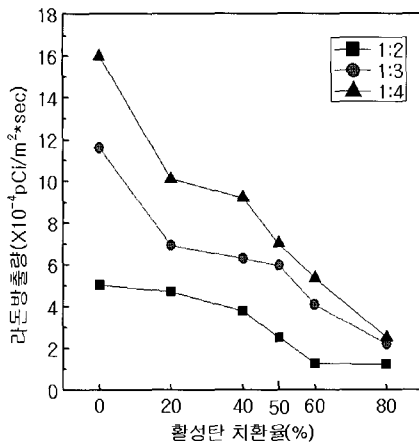


그림 12. 활성탄 치환율 변화에 따른 라돈방출량(3일재령)

전반적인 경향으로는 활성탄의 치환율이 증가할수록 라돈 방출량은 모든 배합비에서 공히 감소하는 경향으로 나타났다. 1:2배합에서는 plain에서는  $5.03 \times 10^{-4}$ (pCi/m<sup>2</sup>·sec)가 방출되었지만 치환율 80%에서는  $1.24 \times 10^{-4}$ (pCi/m<sup>2</sup>·sec)가 방출되어 약 75%정도 감소하는 경향을 나타내었고 1:3배합에서는 plain에서  $11.6 \times 10^{-4}$ (pCi/m<sup>2</sup>·sec)가 방출되었고 치환율 80%에서는  $2.2 \times 10^{-4}$ (pCi/m<sup>2</sup>·sec)가 방출되어 약 81%정도 감소되는 경향을 나타내었다 1:4배합에서는  $16 \times 10^{-4}$ (pCi/m<sup>2</sup>·sec)에서  $2.52 \times 10^{-4}$ (pCi/m<sup>2</sup>·sec)로 약 85%정도 감소하였다. 이는 활성탄이 모르타르 조직에서 발생하는 라돈 가스를 흡착하고, 활성탄의 치환율이 증가할수록 잔골재(강모래)의 양이 감소하기 문에 이처럼 판단되고, 또한 배합비가 클수록 라돈 방출량은 증가하는데 우리나라의 골재의 모양은 화강암이 주종을 이루어 현재 사용되고 있는 강모래가 많은 양의 라돈을 방출하는 것으로 기인하여 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구는 유해물질의 흡착 및 정화 성능을 갖춘 활성탄을 잔골재로 이용한 친환경 모르타르 개발의 실험 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굳지 않은 모르타르의 플로우는 활성탄 치환율이 증가할수록 증가하는 경향으로 나타났고, 1:2배합에서 치환율 20%까지, 1:3, 1:4배합에서는 치환율 40%까지 목표 플로우에 만족하였다. 활성탄 치환율에 따른 단위용적질량 변화에서는 치환율이 증가할수록 감소하였으며, 따라서 활성탄을 사용하여 건축재료의 경량화에도 기여할 것으로 판단된다.
- 2) 경화 모르타르의 강도특성에서 압축강도는 활성탄 치환율이 증가할수록 압축강도는 저하하는 경향을 나타내었고 초기재령에서 재령이 경과할수록 전체적으로 plain 보다 강도 차이가 크게 나타나는 경향을 나타내었다. 휨강도 역시 전

반적으로 압축강도와 비슷한 경향으로 활성탄 치환율이 증가할수록 강도는 감소하는 경향으로 나타났는데 1:2 배합에서 가장 큰 강도차이를 나타내었다. 이와 같은 강도 발현 현상은 활성탄 치환율이 증가하면서 상대적으로 시멘트 페이스트량의 부족 및 활성탄의 밀도가 작아 나타난 결과로 판단된다.

- 3) 흡수시험에서는 1, 5, 24시간이 경과할수록 투수량이 감소하는 경향을 나타내었고, 활성탄 치환율이 증가할수록 1시간 경과후에서 가장 많은 흡수량이 나타났다. 이는 활성탄의 흡수율이 크므로 치환율이 증가할수록 초기 흡수량이 증가하는 것으로 판단된다.
- 4) 건조수축 길이변화율은 활성탄 치환율이 증가할수록 수축이 크게 나타났고, 초기 7일 재령에서 급격한 수축을 나타내었다. 1:2 부배합에서 1:4 빈배합으로 갈수록 활성탄 치환율 변화에 수축의 차이도 크게 나타나는 경향을 나타내었다. 이는 다량의 수분유효에 따른 결과로 분석된다.
- 5) CO<sub>2</sub> 흡착시험 실험은 활성탄 치환율이 증가할수록 이산화탄소의 농도는 감소하는 경향으로 나타났으며 1:2 부배합에서 1:4 빈배합으로 갈수록 이산화탄소의 농도가 더 크게 감소하는 경향으로 나타났으며 1:4배합에서 활성탄 치환율 80%에서는 5시간 경과 후에서 90%이상 감소효과가 나타났다. 이는 흡착성능이 좋은 다공질의 활성탄 혼입량이 증가하였으므로 CO<sub>2</sub>의 농도가 감소한 것으로 판단된다.
- 6) 라돈방출율은 활성탄 치환율이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났으며 전 배합에서 최대 치환율 80%에서는 약 75~85%까지 감소효과를 나타내었고 부배합에서 빈배합으로 갈수록 라돈 방출량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 활성탄의 치환율이 증가할수록 화강암이 주종인 잔골재의 양이 감소하기 때문이라고 판단된다.

이상으로 활성탄을 잔골재로 이용한 친환경 모르타르 특성을 분석한 결과이고 추후에 인발시험을 이용한 부착 강도 측정 및 마감재에 따른 유해물질의 흡착성 관한 연구도 진행되어져야 될 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 활성탄을 이용한 시멘트계 친환경 건축재의 활용을 위한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 20권 1호 2004
2. "A Citizen's Guide to Radon : the Guide to Protecting Yourself And Your Family From Radon", U.S. Environmental protection Agency
3. 박진철, 이상형, 이언구: 라돈가스 발생강도에 대한 실험실 측정연구
4. 활성탄을 잔골재로 첨가한 시멘트 모르타르의 물리적성질, 대한건축학회부동산경제학회발표논문집 9권 1호, 2002
5. 허재훈 외 3인, 활성탄을 잔골재로 치환한 시멘트 모르타르의 물리적 성질, 대한건축학회발표논문집, 22 2호, 2002. 10. pp. 339~344
6. 윤동원, 건축재료의 오염물질 방출특성에 관한 고찰, 주택내부의 실내공기 오염특성과 대책, 녹색서울21,겨울호