

# 활성탄을 첨가한 콘크리트벽돌의 물리적 특성 및 환경 성능 평가에 관한 연구

## A Study on the Physical Properties and Environment Efficiency Evaluation in Activated Carbon Concrete Bricks

우 종 권\*  
Woo, Jong-Kwon

홍 상 희\*\*  
Hong, Sang-Hee

전 경 빈\*\*\*  
Jun, Kyoung-Bin

류 현 기\*\*\*\*  
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 concrete bricks 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 environment efficiency evaluation, the CO<sub>2</sub> absorption amount displayed decrease effect more than about 90% in activated carbon metathesis rate 40% and radon release amount displayed tendency that decrease about 76~96% in activated carbon metathesis rate 40%.

키 워 드 : 활성탄, 콘크리트벽돌, 환경성능 평가, 라돈, 이산화탄소

Keywords : Activated carbon, Concrete Bricks, Environment efficiency evaluation, Radon, CO<sub>2</sub>

## 1. 서 론

현대의 주거 및 생활시설은 경제성장과 더불어 도시화, 집중화, 밀집화로 현대인들은 하루의 일상생활 중 80%이상 건물 내에서 생활하고 있으며, 이면에 주거시설 마감재의 고급화 및 다양화에 따른 실내 환경의 쾌적한 주거 공간을 위한 개선에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 현재 우리가 생활하고 있는 건물 내 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 인체에 해를 끼치고, 두통과 어지럼증을 유발하거나 실내 거주자에게 쉽게 피로감을 느끼게 하고 천식, 급성폐렴, 고열, 피부병 등을 유발시키기도 한다.

인간의 생명에 치명적인 폐암 같은 경우, 담배연기 다음으로 유해성을 가진 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 있고 표 1은 건축자재의 라돈방출량을 나타낸 것이다.

표 1. 주요 건축자재의 라돈방출량<sup>1)</sup>

구분	콘크리트	석고	점토	시멘트	모래	자갈
Ra-226 함유량 (pCi/kg)	675	324	1,404	243~ 1,350	270~ 918	378
Rn-222 방출량 ( $\times 10^{-6}$ pCi/kg-sec)	270	170	-	27	81~ 324	59

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들의 해결방안으로 흡착성능 및 정화성능이 뛰어난 석탄계 활성탄을 건축물에 널리 이용되어지고 있는 콘크리트벽돌에 사용하여 콘크리트벽돌의 물리 및 역학적 특성을 파악하고, 유해물질의 저감효과의 일환으로 라돈(Rn)의 방출량을 측정하고 담배연기 등에 의한 실내 공기중의 이산화탄소 흡착 성능을 측정함으로써 활성탄을 혼합한 친환경 콘크리트 벽돌의 활용성과 실용화에 한 참고자료를 제시하고자 함이 본 연구의 목적이다.

\* 충주대학교 대학원 석사과정, 정회원

\*\* (주) 원건축사 사무소 감리사업부, 공학박사, 정회원

\*\*\* (주) 원건축사 사무소 감리사업부, 정회원

\*\*\*\* 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

1) 박진철, 이상형, 이연구; 라돈가스 발생강도에 대한 실험실 측정 연구

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 콘크리트 벽돌배합사항은 표2 및 3과 같고, 먼저 배합사항(표3 참조)으로 콘크리트 벽돌의 배합비 1:2, 1:3, 1:5와 같이 3개의 수준으로 하고, W/C는 콘크리트 벽돌로 제작 가능한 비율을 예비 실험을 실시하여 1:2배합에서는 W/C 36%, 1:3, 1:5배합에서는 W/C 40, 60%로 배합한다. 활성탄 첨가율은 0%인 Plain 과 10~40%의 각각 10%의 활성탄 첨가율 변화를 주어 실험 계획한다.

실험사항으로는 압축 및 인장강도는 3일, 7일, 28일 재령에서 측정하고, 흡수율 및 기건비중은 7일 및 28일 재령, CO<sub>2</sub>흡착량은 7일, 28일 재령, 라돈방출량 실험은 7일 재령 경과 후 28일간 포집된 양을 측정하도록 한다.

표 2. 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	배합비 1:2	1	W/C 36%
	배합비 1:3	1	W/C 40%
	배합비 1:5	1	W/C 60%
	활성탄 첨가율	5	0(plain), 10, 20, 30, 40(%)
실험사항	경화 콘크리트 벽돌	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압축 (3, 7, 28일 재령)</li> <li>• 인장강도 (3, 7, 28일 재령)</li> <li>• 흡수율, 기건비중 (7일 28일 재령)</li> <li>• CO<sub>2</sub> 흡착량 (7, 28일 재령)</li> <li>• 라돈방출량 (7일 재령 경과후 28일간 포집)</li> </ul>

표 3. 배합사항

배합사항			질량배합(kg)			
배합비	W/C (%)	활성탄 첨가율 (%)	W	C	S	활성탄
1:2	36	0	3.60	10.00	20.00	0
		10	3.60	10.00	18.00	2.00
		20	3.60	10.00	16.00	4.00
		30	3.60	10.00	14.00	6.00
		40	3.60	10.00	12.00	8.00
1:3	40	0	4.00	10.00	30.00	0
		10	4.00	10.00	27.00	3.00
		20	4.00	10.00	24.00	6.00
		30	4.00	10.00	21.00	9.00
		40	4.00	10.00	18.00	12.00
1:5	60	0	6.00	10.00	50.00	0
		10	6.00	10.00	45.00	5.00
		20	6.00	10.00	40.00	10.00
		30	6.00	10.00	35.00	15.00
		40	6.00	10.00	30.00	20.00

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 잔골재는 충북 충주 일원의 강모래를

사용하며 활성탄은 석탄질의 활성탄을 사용하는데 이들의 각각 물리 및 화학적 성질은 표4-6와 같으며, 활성탄의 SEM에 의한 공극 분포는 그림 2와 같고, 잔골재 및 활성탄의 입도 분포는 그림3과 같다.

표 4. 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 5. 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 6. 활성탄의 화학성분

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

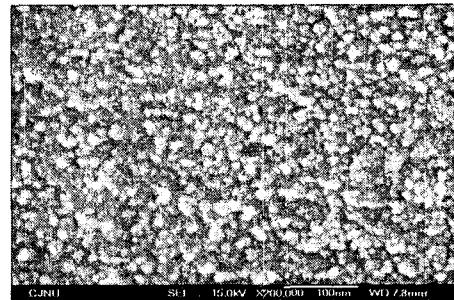


그림 1. 활성탄의 공극분포사진(× 200,000 배 - SEM)

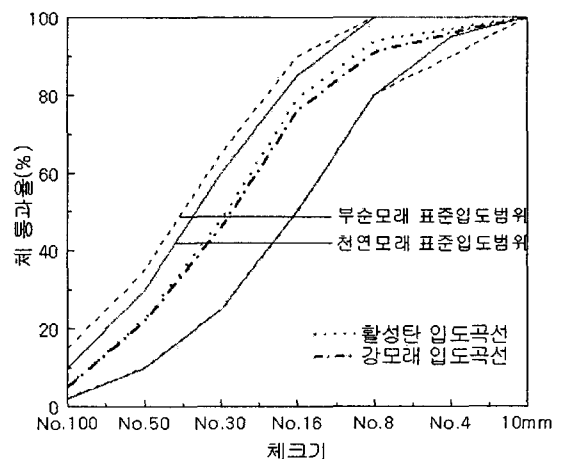


그림 2. 잔골재 및 활성탄의 입도 곡선

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 콘크리트벽돌의 품질

콘크리트벽돌의 품질은 표 6과 같이 KS F 4004의 콘크리트 벽돌규정에 적합하고 각각의 시험항목에 따라 실험을 실시하도록 한다.

표 7. 콘크리트 벽들의 품질

구분	기전 비중	압축강도(MPa)	흡수율(%)
A종 벽돌	1.7미만	8이상	-
B종 벽돌	1.9미만	12이상	-
C종 벽돌	1급	16이상	7이하
	2급	8이상	10이하

### 2.3.2 시험체 제작 및 콘크리트벽돌 시험 방법

본 연구에서 시험체 제작은  $\varnothing 7.5 \times 8.0$ cm의 몰드를 이용하여 콘크리트벽돌 성형기에서 압축진동을 주어 제작하고 콘크리트벽돌의 압축강도, 인장강도, 흡수율, 기전비중 실험방법으로는 KS F 4004(콘크리트벽돌)규정에 준하여 계획된 재령동안 수증양생한 후 실시하도록 한다.

이산화탄소 흡착 시험은 그림 3과 같이 밀폐된 공간에 콘크리트벽돌 공시체를 넣고 0시간, 1시간 2시간 경과 후 가스 측정기를 이용하여 이산화탄소의 농도를 측정하도록 한다.

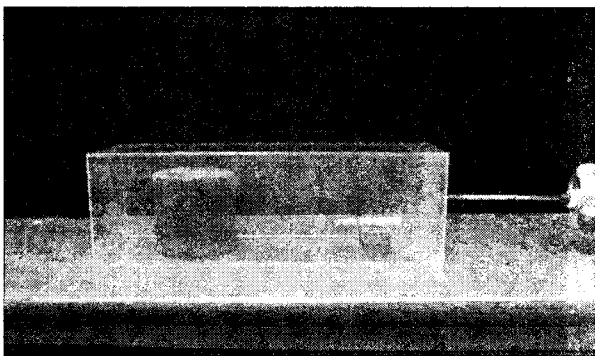


그림 3. 이산화탄소 농도 측정방법

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 콘크리트벽돌 표면에 라돈 및 자핵종에서 방출되는 알파 입자가 입사될 때 생성된 미세한 흔적을 알카리 등으로 에칭하여 비적으로 생성되도록 한 후 현미경으로 라돈의 농도를 측정한다.

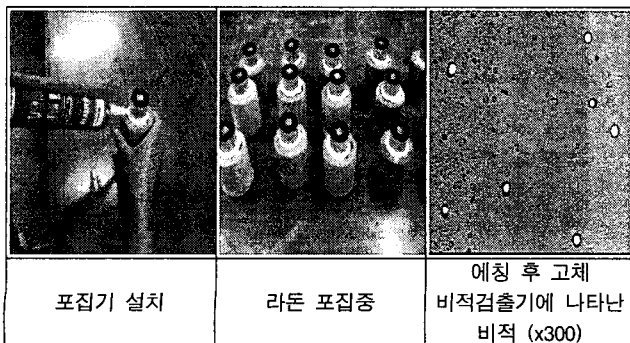


그림 4. 라돈가스 측정

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 콘크리트 벽들의 물리적 특성

#### 3.1.1 압축강도

그림 5는 재령 경과에 따른 압축강도를 배합비별로 나타낸 그래프로써 KS F 4004의 콘크리트 품질규준과 비교한 것이다.

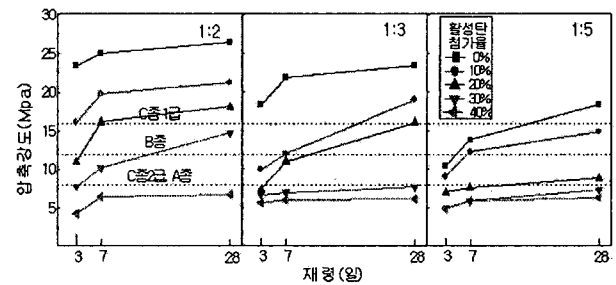


그림 5. 재령경과에 따른 압축강도

전체적으로 배합비가 높을수록 강도는 저하하고 활성탄 첨가량이 증가할수록 강도도 저하하는 경향을 나타내었으며 Plain에서 제일 높은 강도발현을 나타내었다. 먼저, 1:2 배합에서 활성탄첨가율 0%인 Plain의 경우 모든 재령에서 가장 높은 강도를 나타내었으며 활성탄 첨가량 변화에 따른 강도증진 경향은 첨가율10%에서 모든 재령에서 제일 크게 나타났고 28일 표준재령에서 21.2MPa로 가장 크게 나타났다. 1:3 배합에서는 1:2 배합보다도 모든 활성탄 첨가율에서 강도발현이 다소 작게 나타났고 Plain의 강도발현경향이 활성탄을 첨가한 경우보다 모든 재령에서 다소 높은 강도발현을 나타내었다. 1:5배합에서는 모든 첨가율과 재령경과에서 1:2, 1:3배합보다 작은 강도발현을 나타내었는데 28일 표준재령에서 1:2 배합보다 0.44~7.96 MPa정도, 1:3배합경우는 0.18~4.98MPa정도의 압축강도 감소경향을 나타내었다.

이와 같은 경향은 배합비가 클수록 활성탄 치환율이 많을수록 단위시멘트량의 부족과 첨가된 활성탄의 밀도가 작아 나타난 결과로 사료된다. 또한 KS의 품질규준에는 1:2 배합에서는 40%의 첨가율, 1:3, 1:5 배합에서는 30%, 40%의 첨가율을 제외하고는 보통벽돌과 경량벽돌의 품질규준에 모두 만족하는 것으로 나타났다.

#### 3.1.2 인장강도

그림 6은 재령 경과에 따른 인장강도를 배합비별로 나타낸 그래프이다.

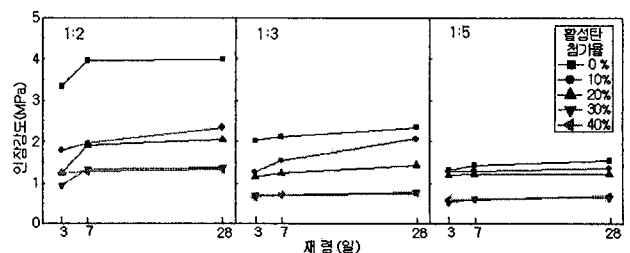


그림 6. 재령경과에 따른 인장강도 특성

전반적으로 압축강도와 유사한 경향을 나타내고 있으며 모든 배합비에서 Plain의 강도발현이 제일 크게 나타났고 1:5의 빈배합으로 될수록 활성탄 첨가율 변화에 따른 강도발현 경향의 차이가 다소 작게 나타났다. 특히 1:2배합에서는 Plain의 경우가 활성탄을 첨가한 경우보다 높은 강도발현을 나타내었다

### 3.1.3 기전비중

표 7은 KS F 4004(콘크리트벽돌) 규정에 준하여 벽돌에 분류한 것이고, 그림 7은 활성탄 첨가율 변화에 따른 기전비중을 KS의 품질규준과 비교하여 나타낸 그래프이다.

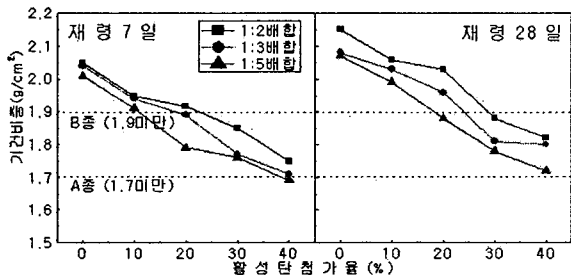


그림 7. 활성탄 첨가율 변화에 따른 기전비중

전반적으로 활성탄 첨가율이 증가할수록 기전비중이 감소하는 경향으로 나타났고 부배합에서 빈배합으로 될수록 낮은 기전비중을 나타내었으며 재령경과에 따른 배합비별 기전비중 저하 경향은 유사하게 나타났다. 재령 7일에서는 KS의 품질규준 B종에 만족하는 것은 1:2배합의 활성탄 첨가율 30%, 40%, 1:3배합은 20~40%, 1:5 배합에서는 20%, 30%로 나타났고, A종은 1:5배합 40%만이 만족하였다. 재령 28일에서는 KS의 품질규준에 만족하는 것은 1:2, 1:3배합에서 30%, 40%의 첨가율과 1:5배합의 경우 20, 30, 40%에서 만족하는 것으로 나타났다.

이와 같은 요인은 배합비가 커질수록 잔골재의 비가 커짐에 따라 첨가되는 활성탄의 양의 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.1.4 흡수율

다음 그림 8은 재령 경과에 따른 길이변화율을 각 배합비 별로 나타낸 그래프이다.

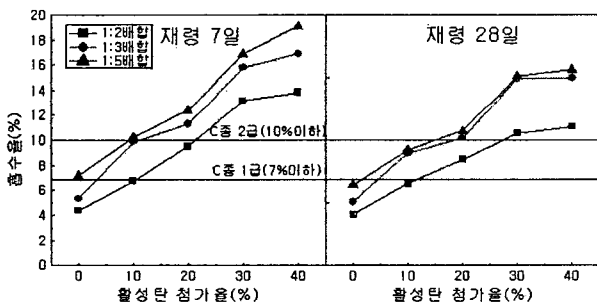


그림 8. 활성탄 첨가율 변화에 따른 흡수율

전반적으로 활성탄 첨가율이 증가할수록 흡수율이 증가하는 경향으로 나타났고 부배합에서 빈배합으로 될수록 흡수율은 증가하는 경향으로 나타났다. 재령 7일에서 KS의 품질규준 C종 1급에 만족하는 것은 1:2 배합에서 활성탄 첨가율 10~20%,

1:3 배합에서는 Plain만이 만족하였고, C종 2급에 만족하는 것은 1:2 배합에 첨가율 20%, 1:3배합에 첨가율 10%가 만족하는 것으로 나타났다. 재령 28일에서는 C종 1급에 만족하는 것은 1:2 배합에서는 활성탄 첨가율 10%, 1:3 배합 및 1:5 배합에서는 Plain만이 만족하였고 C종 2급에 만족하는 것은 1:2배합에서는 첨가율 20%, 1:3배합 및 1:5배합에서는 첨가율 10%에서 만족하는 것으로 나타났다.

이와 같이 흡수율 증가경향은 첨가된 활성탄의 흡수율이 큼으로 인한 결과로 판단된다.

### 3.1.5 CO<sub>2</sub> 흡착량

그림 9는 활성탄 첨가율 변화에 따른 이산화탄소 농도 재령 별로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 모든 배합에서 시간이 경과할수록 이산화탄소 농도가 감소하는 것으로 나타났고, 활성탄 치환율이 증가할수록 이산화탄소의 흡착력은 크게 나타났다. 먼저 재령 7일에서 Plain의 경우 초기(0시간)의 CO<sub>2</sub> 농도값 5000ppm보다 모든 배합에서 1시간 경과후의 CO<sub>2</sub> 감소량은 20% 정도 감소하였고 활성탄 첨가율이 10~40%로 증가할수록 CO<sub>2</sub> 농도는 2000~300ppm정도로 감소하는 경향을 나타내었다. 2시간 경과 후에는 활성탄 첨가율이 증가할수록 이산화탄소 농도가 1000~300ppm정도로 1시간 경과보다도 1000ppm정도 이산화탄소 감소하는 경향으로 나타났다. 28일재령에서도 7일 재령과 비슷한 경향을 나타내었고 1시간 경과에서는 활성탄 첨가율이 증가할수록 이산화탄소 농도가 2500ppm~300ppm정도로 나타났고 2시간 경과에서는 1500ppm~300ppm정도로 이산화탄소 농도 감소하는 경향으로 나타났다. 이와 같이 이산화탄소의 감소경향이 1시간 경과후에 급격히 감소하고, 그 이후는 다소 완만히 감소하였는데 이는 활성탄의 흡착성이 활발하게 진행되어 나타난 결과로 사료된다.

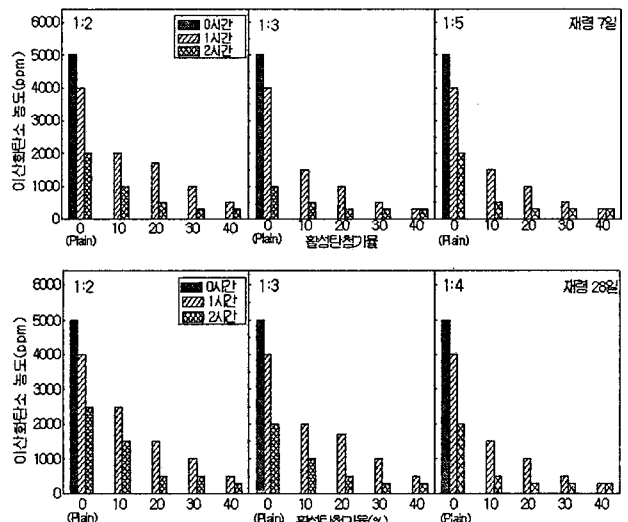


그림 9. 활성탄 첨가율 변화에 따른 이산화탄소 농도

### 3.1.6 라돈방출 특성

그림 10는 활성탄 첨가율 변화에 따른 라돈 방출량을 배합비별로 나타낸 그래프이다.

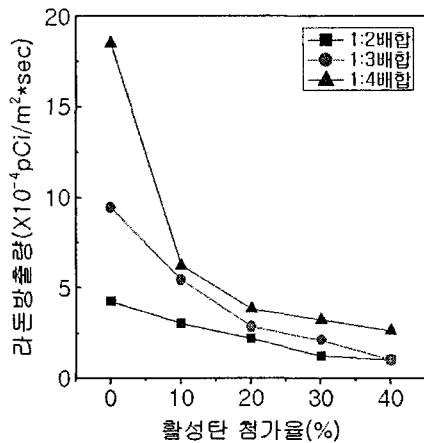


그림 10. 활성탄 첨가율 변화에 따른 라돈 방출량

전반적으로 활성탄 첨가율이 증가할수록 라돈 방출량은 모든 배합비에서 감소하는 경향으로 나타났다. 1:2배합에서는 Plain(첨가율 0%)에서는  $4.23(\times 10^{-4} \text{pCi/m}^2 \cdot \text{sec})$  정도 방출되었지만 활성탄 첨가율 40%에서는  $1.02(\times 10^{-4} \text{pCi/m}^2 \cdot \text{sec})$  정도로 Plain에 비교하여 약 75%정도 감소하는 경향은 나타내었고 1:3 배합에서는 Plain에서  $9.44(\times 10^{-4} \text{pCi/m}^2 \cdot \text{sec})$  정도 방출되었지만 첨가율 40%에서  $1.02(\times 10^{-4} \text{pCi/m}^2 \cdot \text{sec})$  정도로 Plain 비하여 90%정도 감소하는 경향을 나타내었고, 1:5배합에서는 Plain에서  $18.5(\times 10^{-4} \text{pCi/m}^2 \cdot \text{sec})$  정도 방출되었지만 첨가율 40%에서는  $2.62(\times 10^{-4} \text{pCi/m}^2 \cdot \text{sec})$  정도로 Plain에 비하여 약 85%정도 감소하는 경향으로 나타내었다.

이는 활성탄이 콘크리트벽돌 조직에서 발생하는 라돈가스를 흡착하고, 활성탄 첨가율이 증가할수록 잔골재의 양이 감소하기 때문으로 판단되어지고 배합비가 커질수록 라돈 방출량이 증가하는 경향은 화강암이 주종으로 이루어진 잔골재 즉, 강모래가 많은 양의 라돈가스를 방출하는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 유해물질의 흡착 및 정화 성능을 갖춘 활성탄을 잔골재로 이용한 콘크리트 벽돌의 물리적 성질 및 환경 성능 평가의 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도의 특성은 모든 재령 1:2배합에서는 활성탄 첨가율이 10%증가할 때마다 강도는 약 25~30%정도 감소하는 경향을 나타내었고 1:3, 1:5배합에서도 첨가율 10%가 증가할 때마다 약 20~30%정도 감소하는 경향을 나타냈고 모든 배합비에서 활성탄 첨가율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 인장강도의 특성도 모든 재령 및 배합비에서 압축강도의 특성과 유사한 경향을 나타내었다.
- 3) 기건비중은 활성탄 첨가율이 증가할수록 감소하는 경향을

나타냈으며 배합비가 커질수록 감소하는 경향으로 나타났고 모든 배합에서 활성탄 최대 첨가율 40%에서 기건비중 14~17%정도 감소하였다.

- 4) 흡수율 특성은 활성탄 첨가율이 증가할수록 흡수율이 증가하였고 배합비가 커질수록 흡수율도 증가하는 경향으로 나타났다.
- 5) CO<sub>2</sub> 흡착량은 활성탄 첨가율이 증가할수록 이산화탄소의 농도는 감소하는 경향으로 나타났고 1시간 경과 후에는 약 60~96%정도 2시간 경과 후에는 80~96%정도 감소하는 경향을 나타내었고 재령 경과에 따른 이산화탄소의 흡착량 차이는 크게 나타나지 않았다.
- 6) 라돈방출량은 활성탄 치환율이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났으며 전 배합에서 최대 치환율 40%에서는 약 76~90%까지 감소효과를 나타내었고 부배합에서 빈배합으로 갈수록 라돈 방출량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 활성탄의 치환율이 증가할수록 화강암이 주종인 잔골재의 양이 감소하기 때문이라고 판단된다.

본 실험을 통하여 활성탄을 첨가한 콘크리트벽돌 중 구조용 벽돌로 활용 가능한 배합비는 1:2배합에서 첨가율 10~20%, 1:3 배합에서 첨가율 10%로 판단되며 경량벽돌로는 1:3, 1:5배합의 첨가율 20%정도 가능한 것으로 판단된다. 또한 활성탄의 우수한 흡착성능으로 인하여 콘크리트벽돌 내에서 방출되는 라돈가스를 억제하고 실내에서 발생하는 이산화탄소 농도를 감소시키는 것으로 나타나 보다 많은 연구를 진행하여 검토한다면 친환경적인 재료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

-본 연구는 2006년에 (주) 원건축사 사무소의 위탁연구로 충주대학교에서 연구되었음-

#### 참 고 문 헌

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