

야자계 활성탄을 활용한 폼 복합체의 미세기공 구조특성

최영철¹, 유성원^{2*}

Characteristics of Micro-pore Structure of Foam Composite using Palm-based Activated Carbon

Young-Cheol Choi¹, Sung-Won Yoo^{2*}

Abstract: Recently, a number of studies have been conducted on photocatalysts and adsorbents that can remove harmful substances to improve environmental problems related to fine particles. In this study, a porous foam composites were fabricated using palm-based activated carbon having a large amount of micro-pores and foam concrete with a significantly larger total pore volume compared to general construction materials. To evaluate the adsorption potential of fine particles, the pore structure of the foam composites were analyzed. For the analysis of the pore structure of the foam composite, BET and Harkins-jura theory were applied from the measured nitrogen adsorption isotherm. From the results of the analysis, the specific surface area and micro-pore volume of the foam composite containing activated carbon increased significantly compared to Plain. As thereplacement of activated carbon increased, the specific surface area and micro-pore volume of the foam composite tended to increase. It seems that the foam composite has high adsorption performance for gaseous fine particle precursor such as nitrogen oxides.

Keywords: Foam composite, Micro-pore volume, Specific surface area, Activated carbon, Micro-structure

1. 서 론

대기 및 수질 오염문제는 해마다 더욱 악화되고 있으며, 우리 생활과 밀접한 이슈다. 또한 산업화로 인해 사업장이 증가하여 하수처리시설이 늘어나 오염물 배출관리가 어려워 수질오염도 심각한 사회문제로 대두되고 있어 이에 대한 대책이 필요하다.

최근에는 이러한 환경문제를 개선하기 위해 유해물질을 제거할 수 있는 광촉매와 흡착제를 활용한 연구가 다수 진행되고 있다(Kang et al., 2007; Pap et al., 2016; Son et al., 2016). 질소산화물(NO_x)은 광촉매 반응을 활용하면 분해가 가능한 것으로 알려져 있다. 광촉매로는 화학적 안정성과 경제성 때문에 이산화티타늄을 많이 사용하고 있다(Lee et al., 2006).

흡착제는 다공성 재료를 주로 사용하며, 일반적으로 활성탄소가 많이 쓰이고 있다. 활성탄소는 다공성의 탄소재료로 높은 비표면적을 갖고 있고 물리적, 화학적으로 안정성이 뛰어난 흡착제이다. 활성탄소는 미세기공구조에 따라 다양한

흡착 특성을 나타낸다(Yavuz et al., 2010; Hagemann et al., 2018). 일반적으로 활성탄소와 같은 흡착제는 2 nm이하를 미세 공극(micro-pore), 2~50 nm는 메조 공극(meso-pore), 50 nm 이상은 매크로 공극(macro-pore)로 분류하며, 기공 크기에 따라 서로 다른 물질의 흡착 특성을 나타낸다. 메조 공극은 물질이 매크로 공극에서 미세 공극으로 원활히 이동할 수 있도록 통로 역할을 한다(Lee and Im, 2018). 일반적으로 활성탄소의 흡착성능은 활성탄소의 기공 부피와 크기 분포 및 표면적에 영향을 많이 받으며, 미세기공이 많을수록 저분자 오염물질에 대한 흡착력이 크다고 알려져 있다(Snoeyink, 1990).

최근에는 흡착성능을 높이기 위해, 일반적인 콘크리트보다 높은 연결기공과 비표면적을 가지고 있는 기포 콘크리트에 대한 관심이 증가하고 있다. 기포 콘크리트는 경량 콘크리트의 한 가지 종류로 분류된다. 기포 콘크리트는 물, 시멘트, 골재 외에 기포제를 혼합하여 내부에 기포를 생성한다. 일반적으로 기포 콘크리트의 밀도 범위는 300 ~ 1,800 kg/m³이며, 목적에 따라 그 값을 달리한다(Amran et al., 2015). 보통 300 ~ 600 kg/m³은 단열 성능이 필요한 경우에 사용되며, 600 ~ 1,200 kg/m³은 블록, 패널과 같은 비내력 구조물에 사용된다. 밀도가 1,200 ~ 1,800 kg/m³인 경우 내력 구조물에 사용된다(Raj et al., 2019).

기포 콘크리트는 시멘트 페이스트와 공극으로 구성되어 있는 시스템이기 때문에, 시멘트 페이스트를 구성하는 결합제

¹정회원, 가천대학교 토목환경공학과 부교수

²정회원, 가천대학교 토목환경공학과 교수

*Corresponding author: imysw@gachon.ac.kr

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Gachon University, Seongnam-si, 13120, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 11월 30일까지 학회로 보내주시면 2021년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

와 공극의 생성에 사용되는 기포제의 특성에 따라 기포 콘크리트의 물리적 특성 및 미세 공극구조가 크게 변화하게 된다. 기포 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 공극률이 상당히 크기 때문에 수분 및 기체가 내부로 쉽게 유입될 수 있다 (Nambiar et al., 2007). 따라서 기포 콘크리트는 유해물질 흡착 및 이산화탄소 포집 등에 유리하다. Sun et al.(2018)은 기포제의 종류에 따른 기포 콘크리트의 공극 구조를 분석하였다. 공극 구조 분석을 위해 SEM 이미지 분석을 활용하였다. 그들의 연구에 의하면 계면 활성제를 첨가한 기포 콘크리트가 식물성 기름과 동물성 기포제를 첨가한 기포 콘크리트 보다 작은 기공 크기 분포와 더 적은 연결 기공을 가지고 있는 것을 확인했다. Nambiar and Ramamurthy(2007)은 이미지 분석을 활용하여 기포 콘크리트의 공극 분포와 압축강도의 상관관계를 분석하였다. 연구 결과 공극의 크기와 간격은 강도, 밀도에 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 공극의 크기 분포가 작을수록 강도가 높아지는 것을 확인하였다.

많은 연구자들은 활성탄에 포함된 기공 크기와 분포를 제어하여 흡착 성능을 향상시키는 데 집중해 왔다. 그러나 활성탄을 이용한 물리적 흡착에 의해 대기 중의 오염 물질을 효율적으로 제거하는 건설 자재에 대한 연구는 거의 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 미세 기공의 양을 증대시켜 대기 오염 물질의 흡착 성능을 향상시키기 위해 이산화티타늄, 야자계 활성탄을 함유한 기포 콘크리트를 제작하였다. 가스 흡착 실험을 통해 이산화티타늄과, 활성탄 혼입에 따른 미세 공극 구조 특성을 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 사용재료 및 배합

본 연구에서는 보통 포틀랜드시멘트(OPC), 야자계 활성탄소(AC), 이산화티타늄 분말(TP)을 원재료로 사용하였다. Table 1은 OPC의 형광 X-선 분석법에 의한 화학조성결과를 나타낸 것이다. OPC는 대한민국 S사에서 생산되는 제품을 사용하였으며, 밀도가 3.14 g/cm³이다. AC는 국내 D사에서 생산되는 제품을 사용하였으며, 밀도는 1.90 g/cm³이다.

Fig. 1은 활성탄소의 SEM 이미지를 나타내고 있다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, AC의 표면은 불규칙적인 동공과 미세한 구멍이 다수 있는 것을 확인 할 수 있다. 활성탄의 마이크로 및 메조 공극은 대기 오염물질을 흡착시키는 흡착 부위 역할을

Table 1 Chemical composition of OPC

	Chemical compositions (wt. %)							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
OPC	62.7	19.1	5.1	3.8	3.2	1.5	0.16	3.51

한다. Fig. 2는 레이저 회절 분석에 의한 OPC와 활성탄소의 입도 크기 분포를 나타내고 있다. 입도 크기 분포 결과 OPC와 활성탄소의 평균 입자크기는 각각 7.85 μm, 10.41 μm이다.

TP는 독일 E사에서 제조한 제품(AEROXIDE P25)으로 밀도는 4.59 g/cm³, 아나타제(anatase)와 루틸(rutile)의 성분비는 8:2이다. 배합에 사용된 기포제는 동물성 단백질 기반으로 밀도가 1.19 g/cm³이며, 주요 성분은 천연 고분자 물질인 펩타이드 화합물이다.

Table 2는 기포콘크리트의 배합비를 나타내고 있다. OPC

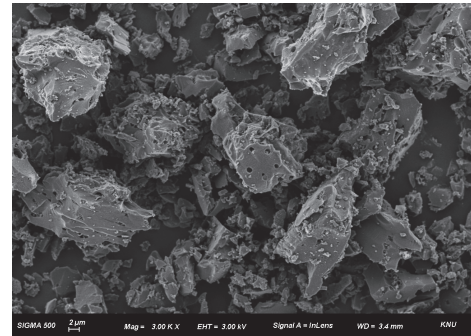


Fig. 1 SEM image of AC

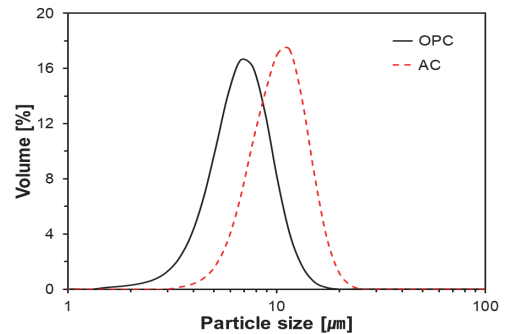


Fig. 2 Particle size distributions of OPC and AC

Table 2 Mixture proportions of foam concrete

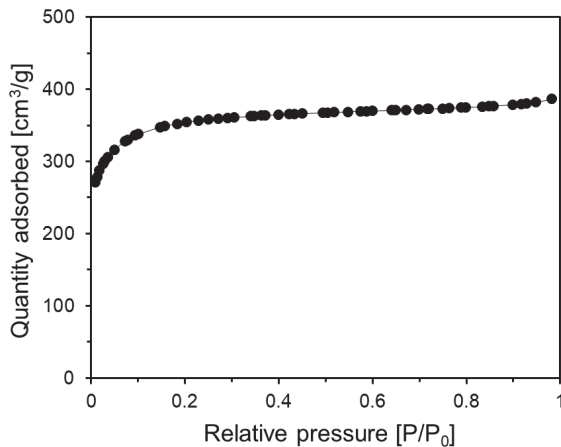
Specimens	W/B (-)	Binder (wt.%)			Foaming ratio (%)	Slurry density (kg/m ³)
		OPC	AC	TP		
Plain		100.0	-	0		
T1AC5		94.0	3.03	1.46		
T1AC10		89.0	6.05	1.46		
T1AC15		84.0	9.08	1.46		
T1AC20	0.3	79.0	12.1	1.46	63.6	705.3
T2AC5		94.0	3.03	2.92		
T2AC10		89.0	6.05	2.92		
T2AC15		84.0	9.08	2.92		
T2AC20		79.0	12.1	2.92		

를 기반으로 AC, TP의 치환율을 변수로 하였다. AC는 OPC 대비 부피를 5%, 10%, 15%, 20%를 치환하였다. 그리고 TP는 OPC 대비 부피를 1, 2%를 치환하였다. W/B 비는 0.3으로 고정하였으며, 바인더는 1 m³당 400 kg으로 하였다. 바인더의 종류에 관계없이 발포율(%)는 (69 ± 0.5)%가 되도록 하였으며, 이 때 슬러리 밀도는 약 705.3 kg/m³로 하였다.

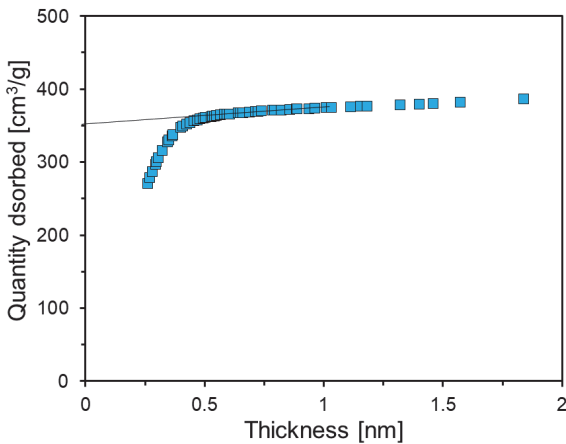
Table 2의 기포콘크리트 배합에 대해 Ø100 × 200 mm 크기의 실린더 몰드에 타설하였다. 실험체는 24시간 동안 항온항습실(온도 (20°C ± 1) °C, 상대습도 (60 ± 3%))에서 양생을 실시하였다. 그 이후 몰드에서 탈형하여 동일한 조건의 항온항습실에서 보관하였다.

2.2 실험방법

원재료의 입도크기분포는 Horbia사의 LA 950 장비를 이용해 분석하였으며, 활성탄소의 표면 미세구조는 주사현미경(SEM) (Carl ZEISS사의 SIGMA 500)을 분석을 수행하였다. 백금 코팅을 시편의 상부 표면에 적용하였다.



(a) Nitrogen adsorption isotherm curve



(b) T-plot and micro-pore volume

Fig. 3 Micro-pore characteristic of AC

다공성 폼 복합체의 비표면적과 다공성 특성 분석은 ASAP 2020 (Micromeritics, USA) 장비를 이용하여 BET 분석을 수행했다. 실험체를 분석 전에 진공상태에서 24 시간동안 573 K의 온도로 탈기공정을 수행하여 표면에 존재하는 수분과 흡착된 오염물질을 제거하였다. 탈기공정을 수행한 후 77 K에서 5초의 평형시간으로 측정하여 상대압력과 흡착량을 구해 흡착등온선을 구하였다. 흡착등온선의 측정범위는 상대압력이 0~1 범위로 하였으며, 측정된 흡착등온선으로부터 BET 이론(Brunauer et al., 1938) 을 적용해 비표면적을 측정하였다. 비표면적 측정 시 흡착질로는 N₂를 사용하였으며, 이 때 N₂한 분자가 차지하는 단면적을 0.162 nm²으로 계산하였다.

다공성 폼 복합체의 마이크로 공극 부피는 다음 식에 의한 t-plot 방법 (Harkins and Jura, 1944) 을 이용하여 구하였다. 또한 다공성 폼 복합체의 공극 크기와 공극 부피는 BJH방법 (Barrett et al., 1951) 을 이용하여 계산하였다.

$$t = \sqrt{\frac{13.99}{0.034 - \log_{10} \frac{P}{P_0}}} \quad (1)$$

여기서, t는 시료 표면에 흡착된 질소의 막 두께(Å)이며, P와 P₀는 절대압력과 포화압력이다.

Fig. 3은 이번 연구에서 사용된 AC의 질소 흡착 등온선 곡선과 마이크로 공극 부피를 나타내고 있다. IUPAC의 구분에 따르면 AC의 그래프 형태는 S자형 등온선(제 II 형 등온선 곡선)과 유사한 것으로 판단된다. AC의 측정된 마이크로 공극 부피는 356 cm³/g이다.

3. 결과 및 분석

3.1 폼 다공체의 공극구조

폼 복합체 공극 구조를 분석하기 위해 표면을 고온 사포(800 방)로 연마한 폼 복합체 단면을 이용하여 이미지 분석을 수행하였다. Fig. 4-5에서 보는 바와 같이, 폼 복합체 단면을 촬영한 광학 이미지를 회색으로 변환한 뒤, 임계 값에 의해 흑백으로 구분하여 각 공극의 크기를 측정하였다. 측정된 모든 공극을 합하여 전체 공극량과 평균 공극 크기를 계산하였다. AC를 15% 혼입한 경우 가장 공극이 잘 분산된 것으로 나타났으며, TP를 2% 혼입한 경우 1% 혼입한 경우와 유사한 결과를 나타냈다. Fig. 6는 폼 복합체 단면의 공극 크기에 따른 공극 분포를 나타낸다. Fig. 6에서 나타나듯이 폼 복합체의 공극 크기의 95% 이상이 1 mm이하이며, 활성탄소 혼입량에 크게 상관없이 비슷한 공극크기 분포를 보였다. Plain의 총 공극량은 41.2%로 나타났으며, 평균 공극 크기는 0.325 mm로 나타

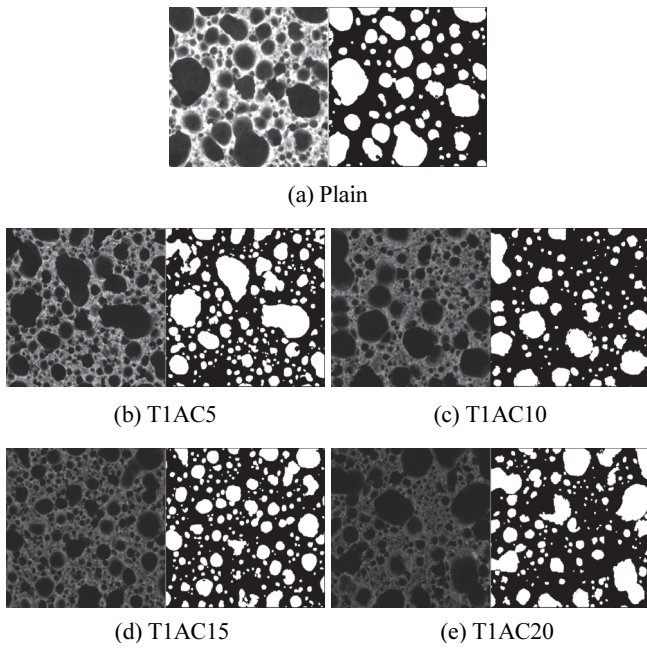


Fig. 4 Section image of foam composites with TP 1%

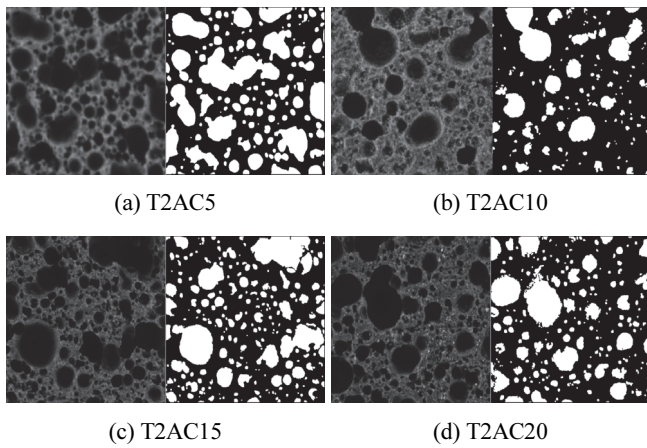
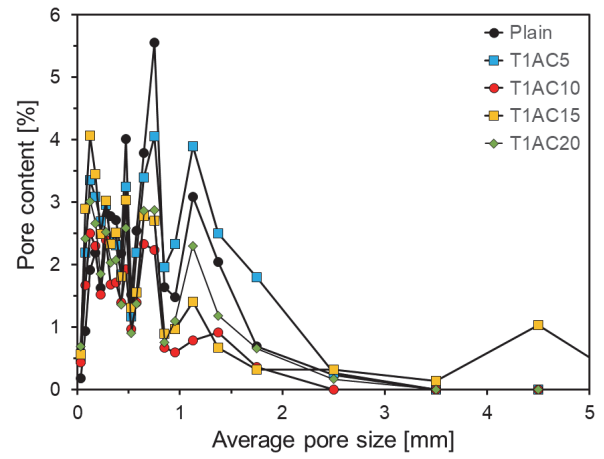
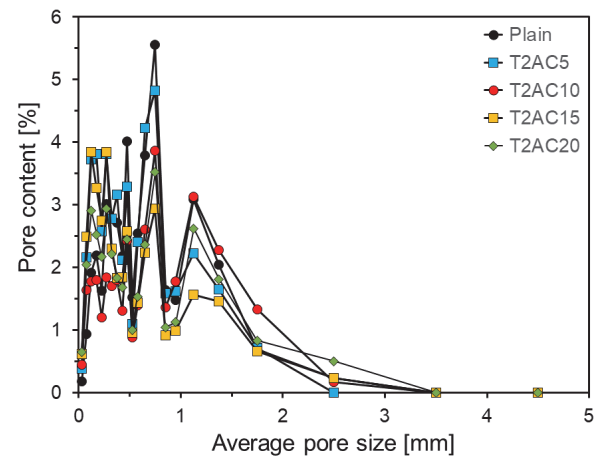


Fig. 5 Section image of foam composites with TP 2%

났다. TP를 1% 혼입한 T1AC5, T1AC10, T1AC15, T1AC20의 총 공극량은 각각 40.2%, 38.5%, 37.1%, 35.6%로 나타났으며, 평균 공극크기는 0.311, 0.257, 0.250, 0.256 mm로 나타났다. 이는 활성탄소를 혼입함으로써 폼 복합체에서 공극이 서로 결합하여 기포가 커지는 것을 방지하고 고르게 분산되는 역할을 한 것으로 보인다. 또한, 활성탄소 혼입량이 증가할수록 총 공극량은 감소하는 경향을 보였다. TP를 2% 혼입한 T2AC5, T2AC10, T2AC15, T2AC20의 총 공극량은 각각 39.8%, 37.5%, 36.9%, 35.2%로 나타났으며, 평균 공극크기는 0.299 mm, 0.262 mm, 0.254 mm, 0.261 mm로 나타났다. TP의 혼입량은 크게 폼 복합체의 공극 특성에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 보인다.



(a) Specimens with TP 1%



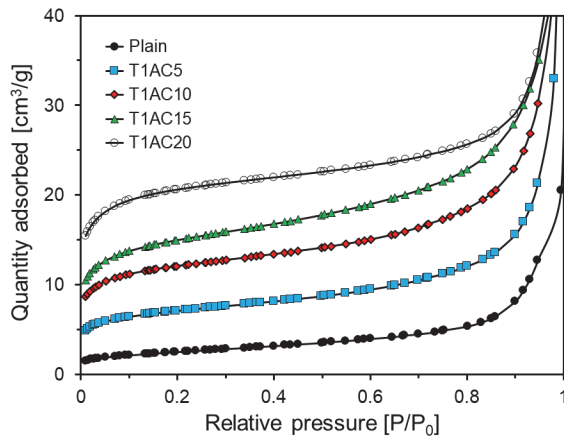
(b) Specimens with TP 2%

Fig. 6 Pore contents of foam composite specimens

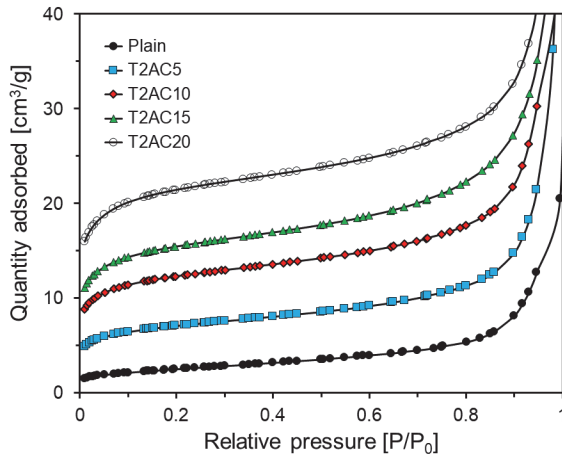
3.2 폼 다공체의 비표면적

Fig. 7은 상대압력에 따른 폼 복합체의 질소 흡착등온선을 나타낸다. IUPAC의 구분에 따라 실험체의 질소 흡착등온선은 II형 곡선에 해당한다(Lee et al., 2015). 이러한 형태의 흡착등온선은 마이크로 공극을 가진 다공성 고체에서 주로 나타나며, 저압에서 변곡점이 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 여기서 변곡점은 단분자층 흡착의 형성을 나타내며, Fig. 7에서 볼 수 있듯이 폼 복합체 모두 상대압력이 0.1이하의 범위에서 변곡점이 생기는 것을 확인할 수 있었다. 상대압력이 0.2~0.8인 범위에서 흡착량의 증가가 거의 없고 평평한 등온선이 나타나는 것으로 보아 폼 복합체 모두 메조 공극이 적을 것으로 판단된다(Nan et al., 2015; Diez et al., 2015).

본 연구에서는 폼 복합체의 비표면적을 산정하기 위해 Fig. 7의 질소 흡착 실험결과로부터 다음 식 (2)의 BET 모델 식(Brunauer et al., 1938)을 이용하여 회귀분석을 수행하였다. BET 모델은 Langmuir 이론을 단일 층 분자 흡착에서 다중 층



(a) Specimens with TP 1%



(b) Specimens with TP 2%

Fig. 7 Nitrogen adsorption isotherm curves of foam composites

흡착으로 확장한 것이다. 회귀분석을 수행하여 폼 복합체에 대한 BET 상수를 구하였다.

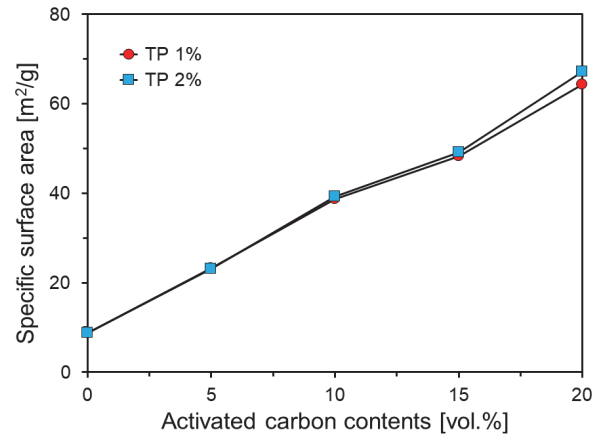
$$\frac{1}{Q \left(\frac{P_0}{P} - 1 \right)} = \frac{C-1}{V_m} \frac{P_0}{P} + \frac{1}{V_m C} \quad (2)$$

여기서, P와 P₀는 절대압력과 포화압력을 나타내며, Q는 실험체에 흡착된 가스의 양을 나타낸다. V_m과 C는 각각 단층에 흡착된 가스량과 BET 상수이다.

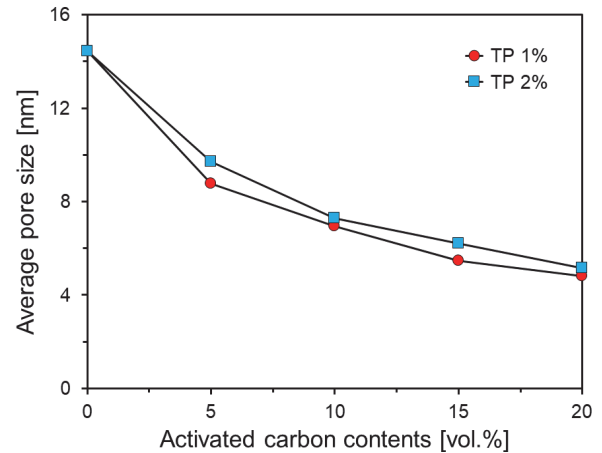
측정된 BET 상수로부터 폼 복합체의 비표면적을 다음 식과 같이 산정하였다 (Langmuir, 1916).

$$SS_{BET} = 4.355 V_m \quad (3)$$

여기서 V_m은 cm³/g 단위이며 비표면적 SS_{BET}의 단위는 m²/g이다.



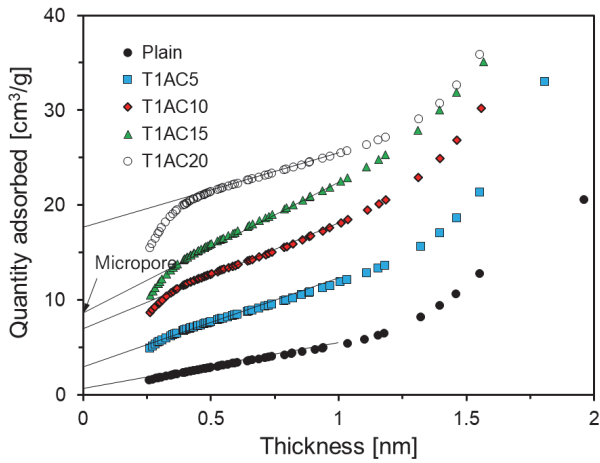
(a) Specific surface area



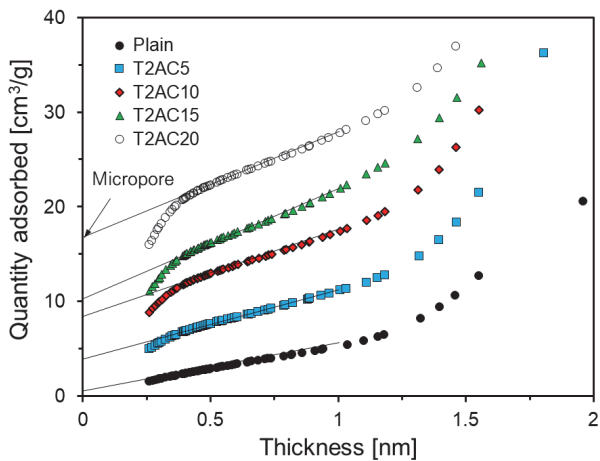
(b) Average pore size

Fig. 8 Specific surface area and average pore size of foam composites

Fig. 8은 측정된 폼 복합체의 비표면적과 평균 공극 크기를 나타낸다. Plain의 비표면적과 평균 공극 크기는 각각 8.79 m²/g, 14.43 nm이다. TP를 1% 혼입한 실험체의 경우 AC의 혼입율이 증가할수록 비표면적은 증가하는 경향을 나타냈다 (Fig. 8(a)). AC를 5% 혼입한 T1AC5의 비표면적은 23.26 m²/g로 Plain의 비표면적보다 약 2.6배 정도 크게 나타났으나, 평균 공극 크기는 8.77 nm로 Plain의 평균 공극 크기보다 5.66 nm 작게 나타났다. T1AC10, T1AC15, T1AC20의 비표면적은 각각 38.63 m²/g, 48.25 m²/g, 64.33 m²/g로 측정되었다. 이는 Plain의 비표면적보다 약 4.4 ~ 7.3배 정도 큰 값이다. T1AC10, T1AC15, T1AC20의 평균 공극 크기는 각각 6.91 nm, 5.48 nm, 4.81 nm로 나타났다. 비표면적과 다르게 AC 혼입률이 증가할수록 평균 공극 크기는 감소하는 경향을 보였다. 비표면적은 증가하고 평균 공극 크기는 감소하는 것은 폼 복합체 내부의 작은 공극이 고르게 분포한 것으로 판단된다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 TP를 2% 혼입한 실험체의 비표면적과 평균 공극 크기는 TP를 1% 혼입한 경우와 유사한 결과를



(a) Specimens with TP 1%



(b) Specimens with TP 2%

Fig. 9 Specific surface area and average pore size of foam composites

나타났다. AC 20%를 혼입한 경우 T2AC20의 비표면적인 T1AC20보다 약 4.5% 정도 크게 나타났다. 하지만 평균 공극 크기는 TP를 2% 혼입한 경우가 TP를 1% 혼입한 경우보다 전체적으로 크게 나타났다. AC 혼입율에 따라 다르게 나타나지만 평균적으로 약 9% 정도 크게 나타났다.

Fig. 8에서 보는 것과 같이 활성탄소가 혼입된 폼 복합체의 비표면적과 평균 공극 크기는 반비례 관계가 있는 것으로 보인다. 폼 복합체의 평균 공극 크기가 작을 경우 비교적 큰 비표면적을 가지는 것을 확인하였다. 이는 작은 기공이 표면에 많이 분포되어 비표면적이 증가한 것으로 보인다. 폼 복합체의 비표면적과 평균 공극 크기는 활성탄소의 혼입률이 증가할수록 각각 증가하고 감소하는 경향이 나타났다.

3.3 폼 다공체의 마이크로 공극 부피

본 연구에서는 폼 복합체의 마이크로 공극의 부피는 측정된 흡착등온선으로부터 t-plot 방법 (Harkins and Jura, 1944;

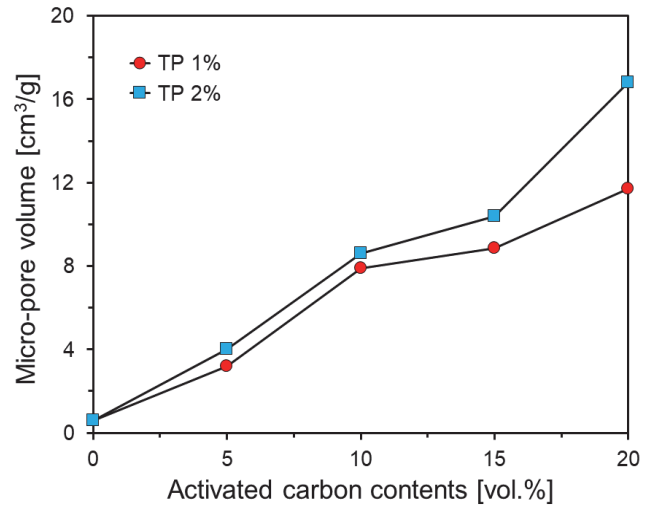


Fig. 10 Micro-pore volume of foam composites

Greg and Sing, 1991)을 이용하여 구하였다. Fig. 10은 폼 복합체의 질소 흡착량을 흡착 두께에 관한 곡선으로 나타낸 것이다. Fig. 9에서 나타나듯이 폼 복합체 모두 두께가 0.5 nm 이하에서 좁은 흡착분포를 보이고 있으며, 두께가 1.5 nm 이상에서 질소 흡착량이 크게 나타났다. 또한 AC의 혼입률이 높을수록 폼 복합체의 질소 흡착량이 크게 나타나는 것을 확인하였으며, 이는 AC 자체가 가지고 있는 마이크로 공극 특성에 의한 것으로 보인다. TP의 혼입율과 상관없이 Plain을 제외하고 AC를 5%, 10%, 15%, 20% 혼입한 폼 복합체는 두께가 0.5 nm 이하의 범위에서 변곡점이 생기는 것을 확인할 수 있었다. 이는 폼 복합체는 두께가 0.5 nm 이하에서 단분자층 흡착이 이루어진 것으로 판단된다.

Fig. 10은 활성탄소 혼입률에 따른 폼 복합체의 micro pore 부피와 표면적의 관계를 나타내고 있다. Plain의 경우 마이크로 공극 부피는 0.58 cm³/g이다. TP 1%를 혼입한 T1AC5, T1AC10, T1AC15, T1AC20의 마이크로 공극 부피는 각각 3.2 cm³/g, 7.9 cm³/g, 8.9 cm³/g, 11.7 cm³/g이다. AC의 혼입률이 증가할수록 폼 복합체의 마이크로 공극 부피도 증가하는 경향을 나타냈으며, T1AC20의 경우 Plain에 비해 약 20배 정도 크게 나타났다. AC의 혼입이 폼 복합체 내부표면의 미세 공극 구조를 발달시킨 것으로 보인다.

TP를 2% 혼입한 폼 복합체의 경우 TP를 1% 혼입한 경우와 유사한 경향을 보였다. T2AC5, T2AC10, T2AC15, T2AC20의 마이크로 공극 부피는 각각 4.0 cm³/g, 8.6 cm³/g, 10.4 cm³/g, 16.8 cm³/g이다. TP를 1% 혼입한 경우와 마찬가지로 AC의 혼입률이 증가할수록 마이크로 공극 부피도 증가하였다. 하지만 TP를 2% 혼입한 경우 1%를 혼입한 경우보다 마이크로 공극 부피가 크게 나타났다. 특히 AC를 20% 혼입한 경우 약 44% 정도 증가하였다. TP를 2% 혼입할 경우, 폼 복합체

의 공극을 더 작게 분산시켜 마이크로 공극의 부피를 증가시킨 것으로 판단된다. 이러한 마이크로 공극은 가스상의 미세 먼지 전구물질, 특히 NO_x 등을 흡착에 장점이 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 대기오염 물질에 대한 흡착성능을 향상시키기 위해 열린 기공과, 전체 공극량이 큰 폼 콘크리트에 다량의 마이크로 공극을 갖는 야자계 활성탄소를 이용하여 다공성 폼 복합체를 제작하였다. 주요 변수로는 TP의 혼입율(1%, 2%)과 AC의 혼입률(5%, 10%, 15%, 20%)로 하였으며, 폼 복합체의 공극 구조를 분석했다. 이 연구에서 수행된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폼 복합체 단면의 이미지 분석에 의한 실험체의 공극 분석 결과 복합체의 공극 크기의 95% 이상이 1 mm 이하이며, TP 및 AC 혼입량에 크게 상관없이 비슷한 공극 크기 분포를 보였다.
- (2) 폼 복합체의 비표면적을 분석한 결과 AC를 혼입한 폼 복합체의 비표면적은 Plain의 비표면적보다 2.6~7.6배 정도 증가하였다. 반면 AC를 혼입한 폼 복합체의 평균 공극 크기는 Plain의 결과값 보다 낮았으며, 폼 복합체의 비표면적이 높을수록 평균 공극 크기는 낮은 것을 확인하였다. 이는 작은 기공이 표면에 많이 분포되어 비표면적이 증가한 것으로 보인다. TP의 혼입률은 폼 복합체의 비표면적에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. T2AC20 실험체의 비표면적인 67.19 m²/g로 가장 높았으며, 이는 다른 폼 복합체보다 대기오염물질을 흡착시킬 수 있는 반응면적이 높을 것으로 판단된다.
- (3) T-plot 방법에 의한 폼 복합체의 마이크로 공극 부피를 분석한 결과 TP 및 AC의 혼입률에 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 AC 혼입률이 증가할수록 폼 복합체의 마이크로 공극 부피가 크게 증가하였다. AC의 혼입률에 따라 Plain에 비해 마이크로 공극 부피는 5.5~30.0배 까지 증가하였다. T2AC20의 마이크로 공극 부피는 16.8 cm³/g으로 가장 크게 나타났다. TP를 2% 혼입할 경우, TP를 1% 혼입한 경우보다 폼 복합체의 공극을 더 작게 분산시켜 마이크로 공극의 부피가 증가한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C163949-01).

References

1. Yavuz, R., Akyildiz, H., Karatepe, N., Çetinkaya, E. (2010), Influence of Preparation Conditions on Porous Structures of Olive Stone Activated by H₃PO₄, *Fuel Processing Technology*, 91, 80-87.
2. Hagemann, N., Spokas, K., Schmidt, H. P., Kägi, R., Böhler, M., Bucheli, T. (2018), Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs, *Water*, 10(2), 182.
3. Kang, K. H., Kam, S. K., Lee, S. W., Lee, M. G. (2007), Adsorption Characteristics of Activated Carbon Prepared From Waste Citrus Peels by NaOH Activation, *Journal of Environmental Science International*, 16, 1279-1285.
4. Pap, S., Radonic, J., Trifunovic, S., Adamovic, D., Mihajlovic, I., Miloradov, M. V., Sekulic, M. T. (2016), Evaluation of the Adsorption Potential of Eco-friendly Activated Carbon Prepared from Cherry Kernels for the Removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from Aqueous Wastes, *Journal of Environmental Management*, 184, 297-306.
5. Son, H. K., Sivakumar, S., Rood, M. J., Kim, B. J. (2016), Electrothermal Adsorption and Desorption of Volatile Organic Compounds on Activated Carbon Fiber Cloth, *Journal of Hazardous Materials*, 301, 27-34.
6. Choi, Y. J., Lee, Y. S., Im, J. S. (2018), Effect of Pore Structure of Activated Carbon Fiber on Mechanical Properties, *Applied Chemistry for Engineering*, 29, 318-324.
7. Yu, K. P., Lee, G. W. M., Huang, W. M., Yu, C. C., Yang, S. (2006), The Correlation between Photocatalytic Oxidation Performance and Chemical/physical Properties of Indoor Volatile Organic Compounds, *Atmospheric Environment*, 40, 375-385.
8. Snleyink, V. L. (1990), Adsorption of Organic Compounds, In: F. W. Pontius (Ed.), *Water Quality and Treatment*, McGraw- Hill, New York, 781-875.
9. Corcho-Corral, B., Olivares-Marin, M., Fernandez-Gonzalez, C., Gomez-Serrano, V., Marcias-Garcia, A. (2006), Preparation and Textural Characterization of Activated Carbon from Vine Shoots (*Vitis vinifera*) by H₃PO₄-chemical Activation, *Applied Surface Science*, 252, 5961-5966.
10. Wu, F. C., Tseng, R. L., Juang, R. S. (2005), Preparation of Highly Microporous Carbons from Fir Wood by KOH Activation for Adsorption of Dyes and Phenol from Water, *Separation and Purification Technology*, 47, 10-19.
11. Mugahed Amran, Y. H., Farazadina, N., Abang Ali, A. A. (2015), Properties and Applications of Foamed Concrete; A Review, *Construction and Building Materials*, 101, 990-1005.
12. Raj, A., Sathyan, D., Mini, K. M. (2019), Physical and Functional Characteristics of Foam Concrete: A Review, *Construction and Building Materials*, 221, 787-799.
13. Kunhanandan Nambiar, E. K., Ramamurthy, K. (2007), Air-void Characterization of Foam Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 37, 221-230.
14. Sun, C., Zhu, Y., Guo, j., Zhang, Y., Sun, G. (2018), Effects of Foaming Agent Type on the Workability, Drying Shrinkage, Frost Resistance and Pore Distribution of Foamed Concrete, *Construction*

and Building Materials, 186, 833-839.

15. Barrett, E. P., Joyner, L. G., Halenda, P. P. (1951), The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from nitrogen isotherms, *Journal of the American Chemical Society*, 73, 373-380.
16. Lee, S. W., Min, K. M., Kim, S. D., Kim, D. K. (2015), Adsorption Characteristics of Hydrogen Sulfide on Iron-activated Carbon Composite Prepared by Ferric Nitrate and Ferric Chloride, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 32, 772-779.
17. Nan, D., Liu, J., Ma, W. (2015), Electrospun Phenolic Resin-based Carbon Ultrafine Fibers with Abundant Ultra-small Micropores for CO₂ Adsorption, *Chemical Engineering Journal*, 276, 44-50.
18. Diez, N., Alvarez, P., Granda, M., Blanco, C., Santamaria, R., Menendez, R. (2015), CO₂ Adsorption Capacity and Kinetics in Nitrogen-enriched Activated Carbon Fibers Prepared by Different Methods, *Chemical Engineering Journal*, 281, 704-712.
19. Langmuir, I. (1916), The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids Part I. Solids, *Journal of the American Chemical Society*, 38, 2221-2295.
20. Brunauer, S., Emmett, P. H., Teller, E. (1938), Adsorption of Gases in Multimolecular Layers, *Journal of the American Chemical Society*, 60, 309-319.
21. Harkins, W. D., Jura, G. (1944), Surfaces of Solids. XI. Determination of Decrease (π) of Free Surface Energy of a Solid by an Adsorbed Film, *Journal of the American Chemical Society*, 66, 1356-1362.
22. Gregg, S. J., Sing, K. S. W. (1982), Adsorption, surface area and porosity, Second ed., Academic Press, London.

Received : 09/06/2021

Revised : 09/23/2021

Accepted : 09/24/2021

요 지 : 최근 미세먼지와 관련된 환경문제를 개선하기 위해 유해물질을 제거할 수 있는 광촉매와 흡착제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 전체 공극량이 일반 건설재료에 비해 상당히 큰 폼 콘크리트에 다량의 마이크로 공극을 갖는 야자계 활성탄소를 이용해서 다공성 폼 복합체를 제작하였다. 미세먼지 흡착 가능성을 평가하기 위해 제작된 폼 복합체에 대해 공극 구조를 분석하였다. 폼 복합체의 공극 구조 분석은 측정된 질소 흡착등온선으로부터 BET와 Harkins-jura 이론을 적용하였다. 분석결과 활성탄소를 혼입한 폼 복합체의 비표면적과 마이크로 공극 부피가 Plain보다 크게 증가하였다. 활성탄소 혼입율이 증가할수록 폼 복합체의 비표면적과 마이크로 공극 부피가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 폼 복합체가 가스상의 미세먼지 전구물질 NO_x에 대한 흡착능력이 높을 것으로 보인다.

핵심용어 : 폼 다공체, 마이크로 공극 부피, 비표면적, 활성탄소, 미세공극 구조
