

카본블랙이 내첨된 피치로부터 폴리우레탄 조공제를 이용한 탄소 폼의 제조 및 특성

이상민 · 김지현 · 정의경* · 이영석†

충남대학교 공과대학 정밀응용화학과
 34134 대전시 유성구 궁동 220
 *국방과학연구소

34060 대전시 유성구 수남동 111
 (2015년 9월 16일 접수, 2015년 11월 24일 수정본 접수, 2015년 12월 8일 채택)

The Preparation and Property of Carbon Foams from Carbon Black Embedded Pitch Using PU Template

Sangmin Lee, Ji-Hyun Kim, Euigyung Jeong* and Young-Seak Lee†

Department of Applied Chemistry and Biological Engineering, Chungnam National University, 220, gung-dong,
 Yuseong-gu, Daejeon, 34134, Korea

*The 4th R&D Institute-4, Agency for Defense Development, 111, Sunam-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 34060, Korea
 (Received 16 September 2015; Received in revised form 24 November 2015; accepted 8 December 2015)

요 약

탄소 폼의 기계적 강도를 향상시키기 위하여, PVA 용액에 다양한 함량의 카본블랙 및 메조페이즈 피치를 첨가하여 폴리우레탄 폼에 함침한 후 열처리를 통하여 카본블랙이 첨가된 탄소 폼을 제조하였다. 탄소 폼의 셀 벽의 두께는 첨가된 카본블랙의 함량에 따라 조절되며, 탄소 폼의 압축강도는 셀 벽의 두께가 증가함에 따라 증가되는 것이 확인되었다. 이에 따라 피치 함량 대비 5 wt%의 카본블랙을 탄소 폼에 첨가하였을 때 가장 높은 0.44 g/cm³의 겉보기 밀도에서 가장 높은 0.22±0.05 MPa의 압축강도가 얻어졌다. 그러나 탄소 폼의 열전도도는 카본블랙이 첨가되었을 때 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 탄소 폼에 카본블랙 첨가로 인한 흑연 층간 간격(d_{002})의 증가로 탄소 폼의 열전도도가 오히려 감소되는 것으로 나타났다.

Abstract – To improve mechanical strength of carbon foams, the carbon black (CB) added carbon foams were fabricated by impregnating different contents of carbon black (CB) and mesophase pitch using polyvinyl alcohol (PVA) solution into polyurethane foam and being followed by heat treatment. The cell wall-thicknesses of carbon foams were controlled by adding amounts of CB, and it was confirmed that the compressive strength of carbon foams was increased as increasing cell wall-thickness. The compressive strength had the highest value of 0.22±0.05 MPa with the highest bulk density of 0.44 g/cm³ when adding 5 wt% CB in carbon foam. However, the thermal conductivity was decreased by adding CB in carbon foam. The results indicated that the thermal conductivities of carbon foams were reduced by increased interlayer spacing (d_{002}) with the addition of CB in carbon foams.

Key words: Pitch, Template, Carbon Foam, Carbon Black, Compressive Strength

1. 서 론

최근 휴대기기 사용자가 늘어 나면서 전자기기의 경량화, 소형화, 다기능화가 요구되고 있다. 이러한 전자기기의 경량화, 소형화 등으로 인하여 전자소자들은 더 많은 열을 발생하게 되었다. 이렇게 발생된 열은 전자기기의 기능을 저하시키고 오작동, 수명저하 등의 원

인이 되기 때문에, 열을 제어하기 위한 방열재료에 대한 많은 관심과 연구가 이루어 지고 있다[1,2]. 일반적으로 방열재료로 사용되기 위해서는 그 열전도도가 우수해야 한다. 따라서 방열 재료로 열전도도가 우수한 금속재료가 널리 사용되고 있으나 이러한 금속재료는 비중이 커서 그 하중 때문에 전자기기 등의 경량화에 문제점으로 알려져 있다[3,4].

탄소 폼은 높은 열·전기 전도도, 가벼운 무게, 높은 내화학성, 고온 안정성, 낮은 열팽창계수 및 높은 표면적 등의 특성을 가진 다공성 탄소 재료이다. 이러한 탄소 폼은 기존 방열 소재로 주로 사용되고 있는 금속 재료보다 가볍고, 열전도성과 내화학성이 높다는 특징 때문에 방열재료로서 높은 잠재력을 갖는 것으로 알려져 있다[5-8]. 그러나 탄소 폼은 구조 내에 존재하는 공극이 불균일하며 열린 셀

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: youngslee@cnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(open cell)구조로 이루어져 있어서 강도가 상대적으로 약하다는 단점을 가지고 있다[6]. 이러한 낮은 강도의 단점을 보완하기 위한 방법으로 탄소 폼에 보강재를 첨가하여 기계적 강도를 증가시키는 연구가 최근에 이루어지고 있다[9]. 보강재로 널리 사용되고 있는 탄소 재료는 물리적, 화학적 특성이 우수하여 여러 산업분야에 사용되고 있으며, 특히 전기 전도성 및 기계적 강도가 높은 그래핀(graphene), 탄소나노튜브(carbon nanotube), 그래파이트(graphite) 및 풀러렌(fullerene) 등의 탄소재료는 전기전자 소자, 광학 소자 및 필터 소자 등의 재료로 각광 받고 있다. 이 중 카본블랙은 내구성 및 내열성 등의 보강충전제로 사용될 뿐만 아니라 물리적 강도를 증가시키기 위한 보강재로 널리 사용되고 있다[10-12]. 그 예로, Li 등은 흑연화된 카본블랙과 메조페이즈 핏치를 열처리를 통해서 포밍(foaming), 탄화, 및 흑연화 반응 단계를 통해 탄소 폼을 제조하였으며, 이때 얻어진 탄소 폼의 압축강도는 카본블랙을 메조페이즈 핏치 대비 10 wt% 첨가하였을 때 9.98 MPa로 증가되었으며, 그 열전도도는 카본블랙이 첨가됨에 따라 점점 감소되는 것으로 나타났다[13]. 또한, 최근에는 탄소 폼의 가볍고 열전도도가 높은 특성을 활용하여 리튬 이온 배터리의 음극재로서 사용하기 위하여 박형으로 제조하거나 높은 열전도도, 높은 비표면적을 이용하여 상전이 재료(phase change material; PCM)를 담지하는 담지체 등으로 탄소 폼을 활용하는 연구가 진행되고 있다[14-16].

한편, 1990년대 Hagar 등은 메조페이즈 핏치의 열처리과정 중 기체를 발포하는 방법을 통하여 탄소 폼을 제조하였는데, 이 방법은 현재 탄소 폼을 제조하는데 있어서 가장 일반적으로 사용되는 기술이다[7,8]. 그러나 기체발포법은 기체발포 등의 기술이 추가로 필요하며 시간이 많이 소요되고 비용이 많이 든다는 한계가 있고, 균일한 공극의 제어에 어려움이 있다. 그에 반해 폴리우레탄 폼을 조공제로 사용하는 경우 비교적 쉬운 공극의 제어가 가능하며 기체 발포 등의 추가 기술이 필요 없어 경제적이며 손쉬운 방법으로 탄소 폼의 제조가 가능하다[17].

따라서, 본 연구에서는 기존의 탄소 폼의 기계적 강도를 증가시키기 위하여 핏치와 고분자 용액 혼합물에 카본블랙을 첨가하고, 이 혼합물을 폴리우레탄 폼에 함침하여 탄소 폼을 제조하였다. 또한 카본블랙 첨가량에 따른 탄소 폼의 표면형상 변화, 압축강도와 열전도도 특성 변화를 고찰하였다.

2. 실험

2-1. 실험재료

본 실험에서 사용되는 핏치는 연화점이 250 °C인 AR 핏치(aromatic resin, Mitsubishi Gas Chemical, Japan)를 분쇄기와 체를 이용하여 30 μm 이하의 입자크기를 갖도록 조절하여 사용하였다. 탄소 폼(carbon foam) 제조를 위한 바인더로서는 폴리비닐알코올(polyvinyl alcohol, PVA, MW 50,000, Junsei, Japan)을 사용하였으며, 탄소 폼의 공극 형성에 도움을 주는 조공제로는 폴리우레탄 폼(polyurethane foam, PU foam, 공극율: 60 ppi, (주)모든애펙, Korea)을 사용하였다. 또한 탄소 폼의 기계적 강도를 향상시키기 위한 보강재로 카본블랙(carbon black, CB, Unipetrol, CHEZACARB AC-60)을 사용하였다.

2-2. 핏치/카본블랙 혼합물 제조 및 폴리우레탄 함침

5% PVA 수용액 100 g에 핏치와 카본블랙을 첨가하여 페인트체

Table 1. Sample names of carbon foams containing CB

Carbon black content (wt%)	0	1	5	10
Sample name	CPF	CPF/CB-1	CPF/CB-5	CPF/CB-10

이커를 이용하여 30분간 교반하여 핏치/카본블랙 혼합물을 제조하였다. 이때 핏치는 30 phr로 일정하게 하였으며, 카본블랙은 탄소 폼의 강도를 증가를 위하여 이 혼합물에 첨가하였으며, 그 첨가 조건은 핏치 혼합물에 포함된 핏치의 질량 대비 0, 1, 5, 및 10 wt%로 하였다. 페인트 웨이킹이 완료된 핏치/카본블랙 혼합물과 $1.5 \times 1.5 \times 1.5 \text{ cm}^3$ 의 크기를 가지는 폴리우레탄 폼을 고압반응기에 넣고 10 bar의 압력에서 30분 동안 가압함침을 실시하였다.

2-3. 카본블랙이 첨가된 핏치 폼의 안정화 및 고온 열처리

폴리우레탄 폼에 핏치/카본블랙 혼합물의 함침이 완료된 후, 100 °C의 오븐(oven)에서 24 h 동안 건조하였다. 건조가 완료된 탄소 폼은 공기 분위기에서 0.25 °C/min의 승온속도로 300 °C의 온도에서 4 h 동안 유지하며 안정화를 실행하였다. 안정화된 핏치 폼은 질소 분위기에서 5 °C/min의 승온속도로 1,000 °C에서 1시간 동안 탄화반응을 통하여 탄소 폼으로 제조되었다. 카본블랙이 첨가되지 않은 탄소 폼은 CPF (carbonized pitch foam)으로 명명하였으며, 1, 5 및 10 wt% 카본블랙이 첨가된 탄소 폼은 각각 CPF/CB-1, CPF/CB-5 및 CPF/CB-10로 명명하였으며 이를 Table 1에 정리하였다.

2-4. 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 특성 분석

고온 열처리 된 탄소 폼의 결정구조를 확인하기 위하여 X선 회절 분석기(X-ray diffraction; XRD, Bruker, D8 Discover)를 이용하여 분석을 실시하였으며, 이때 분석에 이용된 X-선은 Cu K α 선을 이용하였다. 제조된 탄소 폼의 공극 크기 및 카본블랙 첨가로 인한 공극의 변화를 확인하기 위하여 전계방사 주사전자현미경(field emission scanning electron microscope; FE-SEM, Hitachi, S-550)을 이용하여 관찰 하였다. 카본블랙 첨가에 따른 탄소 폼의 기계적 특성을 평가하기 위하여 마이크로 재료시험기(micro material tester, INSTRON, INSTRON 5848, 500N)를 이용하여 압축강도를 측정하였다. 또한, 열전도도 시험기(thermal conductivity analyzer, NETZSCH, LFA 467 Hyper Flash)를 이용하여 탄소 폼의 열전도도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 표면형상

핏치/카본블랙 혼합물을 폴리우레탄 폼에 함침 후 열처리를 통하여 제조된 탄소 폼의 공극 구조는 FE-SEM을 사용하여 분석하였고, 그 형상을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이, 탄소 폼의 공극 구조는 균일한 형태의 셀 벽을 가진 폴리우레탄 폼을 조공제로 사용함에 따라 그 구조 및 형상이 균일하게 형성되었음이 확인되었다. 다양한 함량의 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 공극의 크기는 CPF, CPF/CB-1, CPF/CB-5 및 CPF/CB-10에서 각각 $544 \pm 79.22 \mu\text{m}$, $463.2 \pm 151.51 \mu\text{m}$, $394.2 \pm 62.16 \mu\text{m}$ 및 $355.4 \pm 69.05 \mu\text{m}$ 로 얻어졌다. 이러한 결과로부터 탄소 폼에 첨가되는 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 그 공극의 크기가 점점 감소되는 것이 관찰되었다.

또한, 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 셀 벽의 두께를 확인하기 위하여 FE-SEM을 통해 자세히 분석하였으며, 이를 Fig. 2에 나타내었

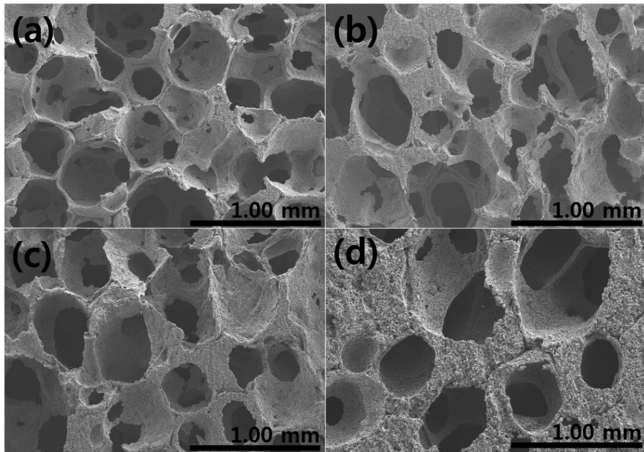


Fig. 1. SEM images of the carbon foams with different added amounts of CB; (a) 0 wt%, (b) 1 wt%, (c) 5 wt% and (d) 10 wt%.

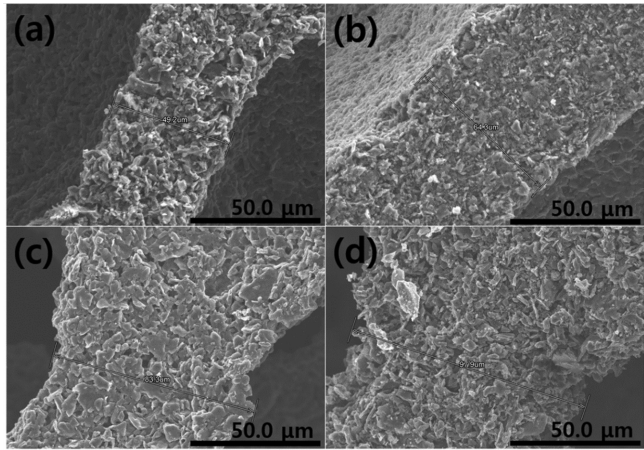


Fig. 2. SEM images of cell wall-thicknesses of carbon foams; (a) CPF, (b) CPF/CB-1, (c) CPF/CB-5, and (d) CPF/CB-10.

다. 상기 FE-SEM의 결과에서 알 수 있는 것처럼, 탄소 폼의 셀 벽의 두께는 첨가되는 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 두꺼워지는 경향을 보였다. 즉, 카본블랙이 첨가되지 않은 CPF의 벽의 두께는 약 49 μm 를 나타내었고, 카본블랙이 첨가된 CPF/CB-1, CPF/CB-5, CPF/CB-10의 경우에는 각각 약 64 μm , 83 μm , 및 98 μm 를 나타내었다. 이는 팃치/카본블랙 혼합물의 농도가 증가함에 따라 폴리우레탄 폼 내부에 함침 되는 혼합물의 양이 증가되어 탄소 폼의 셀 두께가 두꺼워 지는 것으로 판단된다[13]. 또한, 카본블랙의 함량이 증가할수록 셀 벽의 두께가 두꺼워지게 되면 동일한 부피 내에서 자연스럽게 그 공극의 크기가 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 제조된 탄소 폼 내에서 카본블랙의 형상을 관찰한 것이다. 일반적으로 콜로이드 입자로 알려진 카본블랙은 분산성이 낮아 반데르발스 결합력에 의해 응집되는 경향이 있으며, 이는 복합재의 물성을 오히려 저하시킬 수 있다고 알려져 있다[18]. Fig. 3(a)는 카본블랙이 팃치 함량 대비 1 wt% 첨가된 팃치/카본블랙 혼합물로 제조한 탄소 폼인 CPF/CB-1을 나타낸 것으로, 이때 카본블랙의 함량이 나머지 두 조건에 비하여 비교적 낮아 응집현상이 많이 나타나지 않은 것으로 보인다. 그러나 CPF/CB-5, CPF/CB-10의 단면을 보여주고 있는 Fig. 3(b)와 (c)에서는 카본블랙의 응집현상이 비교적 뚜

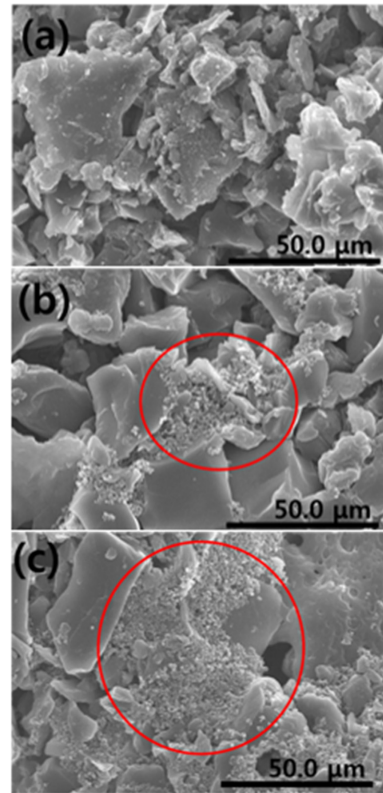


Fig. 3. SEM images of carbon black aggregations; (a) CPF/CB-1, (b) CPF/CB-5, and (c) CPF/CB-10.

렷하게 나타났으며, 그 응집 정도는 카본블랙의 함량이 높아질수록 응집되는 영역의 크기가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이렇게 응집된 카본블랙은 탄소 폼 내에서 결합으로 작용하여 충격이 가해질 경우 쉽게 깨지게 하며, 그 첨가재의 물성이 제대로 발현하지 못할 것으로 예상된다.

3-2. 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 결정성

탄소 폼에 첨가된 카본블랙 함량이 탄소 폼의 결정성에 미치는 영향을 확인하고자 Cu K α X-ray를 이용한 XRD를 이용해 분석을 실시하였으며, 그 패턴을 Fig. 4에 나타내었다. 탄소 폼의 결정성 피크는 $2\theta=24^\circ$ 와 44° 에서 (002) 및 (101)의 흑연 결정면의 회절피크가 나타나는 것으로 확인되었다[19,20]. 특성피크는 비교적 넓은 분포를 갖는

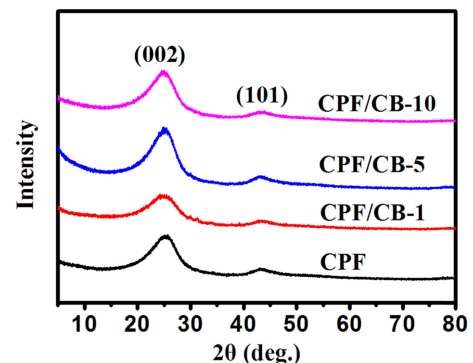


Fig. 4. XRD patterns of the carbon foams with different added amounts of CB.

Table 2. Comparison of structural parameters of carbon foams containing CB

Sample	CPF	CPF/CB-1	CPF/CB-5	CPF/CB-10
2θ (°)	25.73	24.27	24.97	25.08
Interlayer spacing (d_{002} , nm)	0.345	0.366	0.356	0.354
Lc (nm)	1.424	1.323	1.521	1.512

피크가 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 낮은 온도에서 열처리됨에 따라 탄소 육각망면의 적층이 원활하지 못하여 흑연 보다는 다소 낮은 결정성 피크세기를 갖는 것으로 보여진다[21]. 또한, 결정성이 낮은 카본블랙이 첨가된 폼치/카본블랙 혼합물로 제조된 탄소 폼은 카본블랙이 첨가되지 않은 탄소 폼과 비교하여, 피크가 약간씩 왼쪽으로 이동하는 것을 확인하였다. 이러한 변화는 흑연 층상구조를 가지는 물질의 면간격 변화와 관련이 있으며, 면간격은 특성피크의 위치로부터 Bragg's Law를 이용하여 계산할 수 있다. 이 Bragg's Law는 식 (1)에 나타내었다[22].

$$d_{002} = \lambda / 2 \sin \theta \quad (1)$$

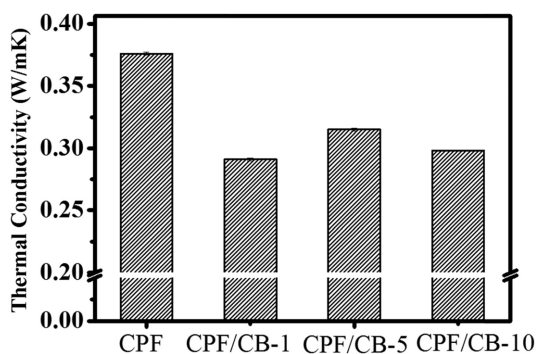
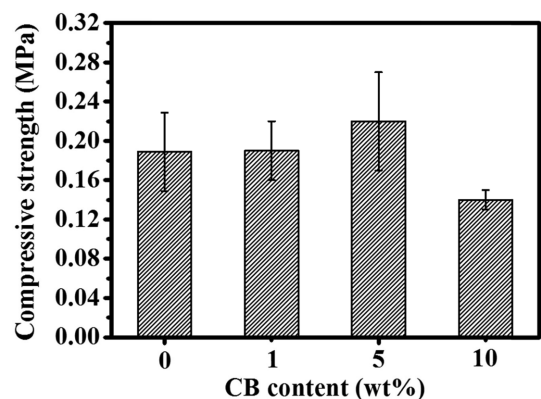
여기서 λ 는 X-ray의 파장(1.54 Å), d 는 결정면의 면간격, θ 는 투과빔과 회절빔 사이의 각의 1/2이다. Bragg's Law를 이용하여 계산된 면간격은 CPF, CPF/CB-1, CPF/CB-5, CPF/CB-10에서 각각 0.345 nm, 0.366 nm, 0.356 nm 및 0.354 nm로 나타났다. 또한, 평균적인 결정자 크기는 CPF, CPF/CB-1, CPF/CB-5, CPF/CB-10에서 각각 1.424 nm, 1.323 nm, 1.521 nm, 1.512 nm를 나타냈으며, 이를 Table 2에 나타내었다. 이러한 결과는 결정성이 낮은 카본블랙을 탄소 폼에 첨가함에 따라 증가된 면간격이 얻어지는 것으로 판단된다.

3-3. 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 열전도도 및 압축강도

다양한 함량의 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 열전도도를 분석하였으며, 이를 Fig. 5 및 Table 3에 나타내었다. 카본블랙이 첨가되지 않은 샘플인 CPF의 경우 0.36 g/cm³의 겉보기 밀도에서 0.376±0.001 W/mK의 열전도도 값을 나타내었다. 반면 카본블랙이 첨가된 폼치/카본블랙 혼합물로 제조된 탄소 폼인 CPF/CB-1, CPF/CB-5, 및 CPF/

CB-10는 0.39, 0.44, 0.40 g/cm³의 겉보기 밀도에서 각각의 0.291±0.001 W/mK, 0.315±0.001 W/mK, 0.298±0.000 W/mK의 열전도도 값을 가지는 것이 확인되었다. 이처럼 카본블랙이 첨가된 탄소 폼의 열전도도는 첨가되지 않은 탄소 폼과 비교하여 오히려 감소된 것이 확인되었다. 이는 3.2절에서 기술한 바와 같이 카본블랙이 첨가되어 (002)면간격이 증가하고 이에 따라 탄소재료의 배열이 무너져 열전도도가 오히려 감소된 것으로 사료된다. 탄소 폼의 열전도도는 고상부분에서 효율적으로 일어나며, 나노탄소물질이 첨가된 탄소 폼은 나노물질과 결합이 용이하게 이루어짐에 따라 열전도도가 효율적으로 증가하게 된다[14]. 이에 따라 결정성이 낮고 응집성이 높은 카본블랙은 탄소 폼의 열전도도를 향상시키는데 크게 효과가 없음을 보여줬다. 카본블랙이 첨가된 폼치/카본블랙 혼합물로 제조된 탄소 폼 중 CPF/CB-5가 최적의 카본블랙 함량으로 가장 높은 열전도도를 나타내었으며 카본블랙이 더 많이 첨가된 CPF/CB-10은 CPF/CB-5에 비하여 낮은 수치를 보여 주었다. 이러한 현상은 카본블랙의 첨가로 (002)면간격을 증가시켜 탄소 폼의 열전도도를 전체적으로 감소시켰으나, 카본블랙의 첨가된 함량에 따라 그 응집 정도가 낮고 탄화반응을 통한 열처리를 통하여 결정성이 발달되어 열전도도가 다소 증가된 것으로 여겨진다. 그러나 과량의 카본블랙이 첨가되었을 때는 카본블랙이 반데르발스 결합력에 의한 응집현상이 크게 발생하기 때문에 폴리우레탄 폼에 함침이 용이하게 일어나지 않음에 따라 겉보기 밀도가 오히려 감소하고 이에 따라 열전도도가 감소한 것으로 판단된다.

또한, 탄소 폼에 카본블랙의 첨가된 함량에 따른 압축강도를 분석하여, 이를 Fig. 6 및 Table 3에 나타내었다. 카본블랙이 첨가되지

**Fig. 5. Thermal conductivities of the CPF and CPF/CBs with different added amounts of CB.****Fig. 6. Compressive strengths of the CPF and CPF/CBs with different added amounts of CB.****Table 3. Mechanical and thermal properties of carbon foams containing CB**

Sample	CPF	CPF/CB-1	CPF/CB-5	CPF/CB-10
Thermal conductivity (W/mK)	0.376 ± 0.001	0.291 ± 0.001	0.315 ± 0.001	0.298 ± 0.000
Compressive strength (MPa)	0.189 ± 0.04	0.19 ± 0.03	0.22 ± 0.05	0.14 ± 0.01
Bulk density (g/cm ³)	0.36	0.39	0.44	0.40
True density (g/cm ³)	1.282	1.281	1.440	1.119

않은 탄소 폼인 CPF는 0.36 g/cm^3 의 겉보기 밀도에서 $0.189 \pm 0.04 \text{ MPa}$ 의 압축강도를 나타내었으며, CPF/CB-1는 0.39 g/cm^3 의 겉보기 밀도에서 $0.19 \pm 0.03 \text{ MPa}$ 의 압축강도의 값이 얻어졌으며, 이는 CPF의 압축강도와 비교하여 약간 증가하는 경향을 나타내었다. CPF/CB-5의 경우 0.44 g/cm^3 의 겉보기 밀도에서 $0.22 \pm 0.05 \text{ MPa}$ 의 압축강도를 나타내었는데, 이는 CPF의 압축강도와 비교하여 약 16%가 증가된 수치이다. 이러한 압축강도의 증가는 3.1절에 서술한 카본블랙의 첨가로 인하여 탄소 폼의 셀 벽 두께가 두꺼워짐에 따라 증가한 것으로 사료된다[23]. 또한 카본블랙이 첨가됨에 따라 겉보기 밀도가 CPF의 겉보기 밀도와 비교하여 약 18%가 증가된 수치를 나타내는 것이 확인되었다. 하지만, 가장 많은 양의 카본블랙이 첨가된 탄소 폼인 CPF/CB-10의 경우 0.40 g/cm^3 의 겉보기 밀도에서 $0.14 \pm 0.01 \text{ MPa}$ 의 압축강도를 가지는 것이 확인되었다. 상기 얻어진 값은 CPF/CB-5의 압축강도와 비교하여 57.14%의 감소가 발생하였으며, 그 겉보기 밀도는 CPF/CB-5의 겉보기 밀도와 비교하여 10%가 감소된 것으로 관찰되었다. CPF/CB-10의 압축강도는 CPF의 압축강도와 비교하여 25.93%로 감소하였으며, 그 겉보기 밀도는 CPF의 겉보기 밀도와 비교하여 11.11%의 약간 증가된 값을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 최적 함량 이상의 카본블랙이 첨가될 경우, 반데르발스 결합력에 의해 분산성이 저하되며 이에 따라 카본블랙이 응집되는 현상이 발생하게 된다. 이러한 응집된 카본블랙은 함침 과정에서 폴리우레탄 폼에 핏치/카본블랙 혼합물이 충분히 침투 되지 못하거나, 침투된 카본블랙이 탄소 폼 내에서 응집된 채로 존재하여 오히려 압축강도에 부정적인 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

4. 결 론

카본블랙을 PVA용액과 메조페이스 핏치 혼합물에 첨가하여 폴리우레탄 폼에 함침하였다. 카본블랙이 첨가된 핏치/카본블랙 혼합물로 제조한 탄소 폼(CPF/CB-1, CPF/CB-5)은 카본블랙이 첨가되지 않았을 때의 탄소 폼(CPF)에 비하여 그 열전도도는 다소 감소하였지만, 압축강도는 최대 16% 증가하였다. 이는 카본블랙의 첨가가 탄소 폼의 (002)면의 거리를 넓혀 열전도도 감소를 야기하였으나, 셀 벽의 두께를 증가시켜 압축강도가 크게 향상된 것으로 판단된다. 그러나 CPF/CB-10의 경우 열전도도, 압축강도 모두 감소하였는데 이것은 카본블랙의 반데르발스 결합력에 의한 응집현상으로 인하여 폴리우레탄 폼의 함침이 용이하지 못하여 탄소 폼의 물성이 오히려 감소된 것으로 여겨진다.

감 사

This work was supported by Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development under the contract UD140046GD.

References

- Kim, W. and Gong, H. J., "Properties of Epoxy Adhesive Modified with Siloxane-imide," *Elastom. Compos.*, **43**, 39-48(2008).
- Roh, J. S., Ahn, J. S., Kim, B. J., Jeon, H. Y., Seo, S. K., Kim, S. H. and Lee, S. W., "Thermal Emissivity Changes as a Function

- of Degree of Flakes Alignment on the Graphite Surface," *J. Korean Inst. Surf. Eng.*, **42**, 95-101(2009).
- Im, H. and Kim, J. H., "Study on the Electrical Conductivity in Polysiloxane/Metal Composite Containing Metal Oxide," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **20**, 307-312(2009).
- Glazer, J., "Current Development in Electronic Packaging Materials," *Jom. J. Miner. Met. Mater. Soc.*, **43**(6), 7-7(1991).
- Lei, S., Guo, Q., Shi, J. and Liu, L., "Preparation of Phenolic-Based Carbon Foam with Controllable Pore Structure and High Compressive Strength," *Carbon*, **48**, 2644-2673(2010).
- Kyung, J. J., "Preparation and Characterization of SiC Coated Graphite Foam," *J. Korean Ceram. Soc.*, **44**, 622-626(2007).
- Mehta, R., Anderson, D. P. and Hager, J. W., "Graphitic Open-Celled Carbon Foams: Processing and Characterization," *Carbon*, **41**, 2159-2179(2001).
- Klett, J., Hardy, R., Romine, E., Walls, C. and Burchell, T., "High-Thermal-Conductivity, Mesophase-Pitch-Derived Carbon Foams: Effect of Precursor on Structure and Properties," *Carbon*, **38**, 953-973(2000).
- Yang, Y., Gupta, M. C., Dudley, K. L. and Lawrence, R. W., "Conductive Carbon Nanofiber-Polymer Foam Structures," *Adv. Mater.*, **17**, 1999-2003(2005).
- Bekyarova, E., Thostenson, E. T., Yu, A., Kim, H., Gao, J., Tang, J., Hahn, H. T., Chou, T. W., Itkis, M. E. and Haddon, R. C., "Multiscale Carbon Nanotube-Carbon Fiber Reinforcement for Advanced Epoxy Composites," *Langmuir*, **23**, 3970-3974(2007).
- Shahil, K. M. F. and Balandin, A. A., "Graphene-Multilayer Graphene Nanocomposites as Highly Efficient Thermal Interface Materials," *Nano Lett.*, **12**, 861-867(2012).
- Nah, C. W., Kim, W. D. and Lee, S., "Effects of Carbon Black Content and Vulcanization Type on Cure Characteristics and Dynamic Mechanical Property of Styrene-Butadiene Rubber Compound," *Korea Polym. J.*, **9**, 157-163(2001).
- Li, W. Q., Zhang, H. B., Xiong, X. and Xiao, F., "A Study of the Properties of Mesophase-Pitch-based Foam/Graphitized Carbon Black Composites," *Mater. Sci. Eng.: A*, **528**(6), 2999-3002(2001).
- Sedeh, M. M. and Khodadadi, J. M., "Thermal Conductivity Improvement of Phase Change Materials/Graphite Foam Composites," *Carbon*, **60**, 117-128(2013).
- Ji, H., Zhang, L., Pettes, M. T., Li, H., Chen, S., Li, S., Piner, R. and Ruoff, R. S., "Ultrathin Graphite Foam: A Three-Dimensional Conductive Network for Battery Electrodes," *Nano Lett.*, **12**, 2446-2451(2012).
- Ji, J., Ji, H., Zhang, L. L., Zhao, X., Bai, X., Fan, X., Zhang, F. and Ruoff, R. S., "Graphene-Encapsulated Si on Ultrathin-Graphite Foam as Anode for High Capacity Lithium-Ion Batteries," *Adv. Mater.*, **25**, 4673-4677(2013).
- Yadav, A., Kumar, R., Bhatia, G. and Verma, G. L., "Development of Mesophase Pitch Derived High Thermal Conductivity Graphite Foam Using a Template Method," *Carbon*, **49**, 3622-3630(2011).
- Im, J. S., Kim, J. G. and Lee, Y. S., "Fluorination Effects of Carbon Black Additives for Electrical Properties and EMI Shielding Efficiency by Improved Dispersion and Adhesion," *Carbon*, **47**, 2640-2647(2009).
- Moon, Y. E., Yun, J. M., Kim, H. I. and Lee, Y. S., "Effect of Graphite Oxide on Photodegradation Behavior of Poly(vinyl alcohol)/Graphite Oxide Composite Hydrogels," *Carbon Lett.*, **12**, 138-142

- (2011).
20. Li, Z. Q., Lu, C. J., Xia, Z. P., Zhou, Y. and Luo, Z., "X-ray Diffraction Patterns of Graphite and Turbostratic Carbon," *Carbon*, **45**, 1686-1695(2007).
21. Park, S. J., Kim, K. S. and Hong, S. K., "Preparation and Characterization of Expaned Graphites by Wet Process," *Korean Chem. Eng. Res.*, **41**, 802-807(2003).
22. Cho, K. Y., Kim, K. J. and Riu, D. H., "Effect of Heating Rate and Pressute on Pore Growth of Porous Carbon Materials," *Carbon Latt.*, **7**, 271-276(2006).
23. Manocha, S. M., Patel, K. and Manocha, L. M., "Development of Carbon Foam from Pphenolic Resin via Template Route," *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, **17**, 338-342(2010).