

CVI-치밀화에 의한 탄소-탄소 복합체의 damping 특성

Can Wang , Zhengang Zhu , Xianghui Hou , Hejun Li
Carbon, 38, 1822-24 (2000)

서론 : 치밀한 구조를 만드는 공정의 다양한 단계에서 (다시말해, 밀도에 따른 제동특성과 섬유부피분율에 따른 제동특성) CVI기술과 함께 C/C합성의 제동특성을 조사 되었다. 여기서 다양한 밀도와 섬유부피분율을 갖는 C/C합성의 제동 특성을 나타내었다. C/C합성의 제동 매커니즘을 다루었고, C/C합성의 제동 특성은 기공제동과 계면제동으로 소개되었다.

실험 : 시료 제조 - 2차원 C/C합성은 CVI기술로 이루어졌다. 이 기술은 합성의 마찰 특성에 실질적인 진보를 가져왔다. 합성의 예비적 프리폼은 평평하게 짜인 탄소섬유의 30층과 층사이를 찌르는 탄소섬유를 가지고 있다. 두께는 5mm이다. 짜임새는 (1K의 탄소섬유를 함유하는 탄소 끈실에 기초한)PAN로부터 만들어지고 섬유의 직경은 $7\mu\text{m}$ 이다. 매트릭스 전의 것은 고순도의 프로필렌 가스이다. 치밀화 과정에서 소요되는 시간을 늘리면 합성물의 밀도가 높아지고 다른 기계적인 성질도 향상된다. 치밀화 과정시간이 80~320h인 한 공정에서 다섯 개의 합성물이 만들어졌고 이것은 제동특성과 밀도, 섬유부피분율(40%)간의 관계를 연구하는데 사용되었다. 덧붙여 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$ 의 밀도와 탄소섬유 부피분율이 45~61%인 합성물을 만든 공정은 제동특성과 섬유의 부피분율간의 관계를 조사한 것이다. 합성물의 섬유부피분율은 예전에 사용된 것으로 한다. 부피분율과 섬유의 정렬을 정확히 하기위해서 모든 실험 샘플은 합성물의 같은 방향을 따라 spark cutting을 하고 크기가 $40 \times 3 \times 1.5\text{mm}^3$ 이 되도록 손으로 연마한다. 샘플의 밀도는 합성물의 두께에 따른 매트릭스의 밀도변화 때문에 샘플 크기로부터 잴 수 있다. 모든 내부 마찰값은 두 샘플의 측정값으로부터 평균을 낸 값을 보여준다. 두 샘플로부터 얻은 값의 편차는 매우 작다.

장치 - 내부 마찰 장치는 Fig. 1에서 보듯이 컴퓨터로 조절되는 자동 저주파 비활성인 비틀림진자이다. 내부 마찰은 자유진동의 진폭의 상쇄나, 가해진 진동에서 적용된 힘에 따른 변형 상의 뒤떨어짐에 의해 측정될 수 있다. 여기서 진자의 관성이 없어진 후, 가해진 힘과 결과인 장력의 사이에 손실 각 ϕ (다시말하면-내부 마찰)가 가해진 진동과 함께 측정된다. 모든 측정값은 실온에서 수행된 결과이며 장력 진폭은 3×10^{-5} 이고 주파수는 1Hz이다.

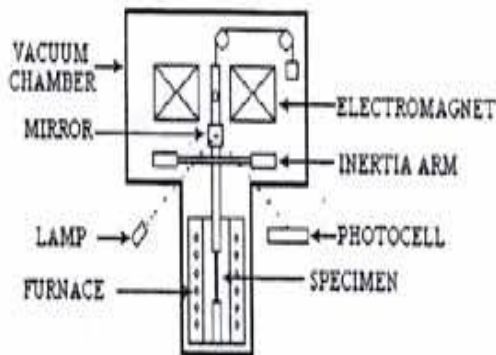


Fig. 1. Schematic diagram of multifunction internal friction apparatus (an inverted torsion pendulum).

결과 및 토의 :

밀도에 따른 내부마찰의 의존도 : C/C 합성의 내부마찰과 기공도는 Table.1에서 보듯이 밀도가 증가함에 따라 변한다. 밀도에 따른 내부마찰의 의존도를 보면 fig2의 내부마찰 vs. 밀도 그래프를 그릴수 있다. Fig2에서 보면 C/C합성의 밀도가 증가함에 따라 내부마찰은 거의 선형적으로 감소한다. C/C합성

물의 밀도는 직접적으로 합성물 기공도 ρ 에 관계된다. 이것은 함수로써 계산된다.

$$\rho = 1 - \left(V_f + \frac{d_{\text{bulk}} - V_f \cdot d_f}{d_{\text{pyc}}} \right)$$

여기서 V_f 는 탄소섬유의 부피분율, d_f 는 탄소섬유의 밀도, d_{bulk} 는 C/C합성물의 밀도이고 d_{pyc} 는 pyrolytic 탄소매트릭스의 밀도이다. 내부마찰과 C/C합성물의 기공도사이의 관계를 분석하기 위해 합성물의 기공도는 식(1)에 의해 계산된다. 여기서 d_{bulk} 로 쓰인 C/C합성물의 밀도는 Table 1에 있으며 d_f , d_{pyc} 는 각각 1.76과 1.9g/cm³이다. 기공도에 따른 내부마찰은 Fig3에 그려져있다. 이 그림은 내부마찰이 기공도에 의존하며 기공도가 증가함에 따라 증가하는 것을 보여준다. 이것은 C/C합성물의 기공이 제동특성에 중요한 역할을 하며 기공에 의해 생긴 제동은 기공제동을 지시한다.

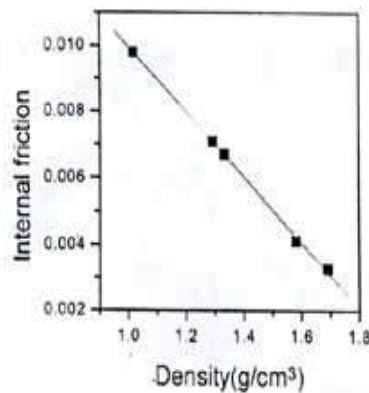


Fig. 2. Variation of internal friction with density for C/C composites.

Table 1

The internal friction and porosity of the C/C composites with various densities

Density	Internal friction	Porosity
1.02	0.00980	0.435
1.29	0.00709	0.290
1.33	0.00670	0.269
1.58	0.00412	0.139
1.69	0.00329	0.081

탄소섬유의 부피분율에 따른 내부마찰의 의존도 - 다양한 탄소섬유

부피분율을 가진 세 개의 샘플에서 내부마찰이 측정된 값이 Table 2 에 있고 탄소섬유의 부피분율에 따른 내부마찰이 Fig 4 에 그려있다. 탄소섬유의 부피분율이 증가함에 따라 합성물의 내부마찰이 증가한다는 것이 명백히 보인다.

강화 탄소섬유와 pyrolytic 탄소의 매트릭스사이의 계면은 합성물의 탄소섬유의 부피분율에 따라 결정되며 계면은 합성물의 제동에[7,8] 주요한 공헌자이다. 그래서 다양한 부피분율은 내부마찰의 다양성을 가져온다.

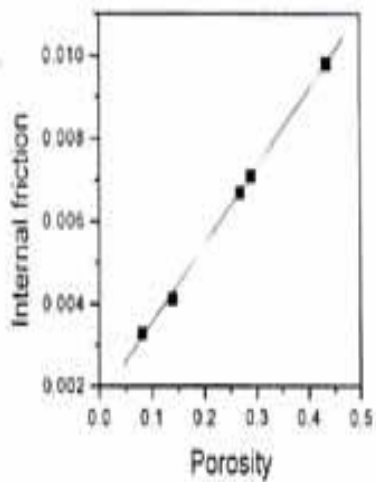


Fig. 3. The relation between internal friction and porosity for C/C composites

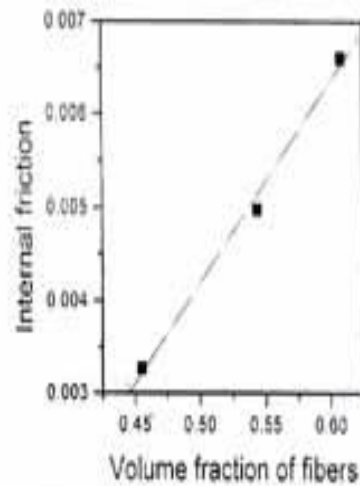


Fig. 4. Variation of internal friction with the volume fraction of carbon fibers for C/C composites.

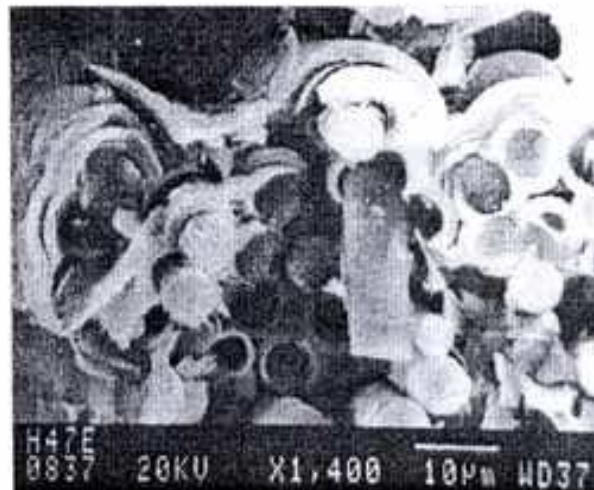


Fig. 5. Scanning electron micrograph of a C/C composite.

3.3 C/C합성의 제동 메카니즘

기공과 계면은 합성물의 제동 성질을 결정짓는 중요한 두 가지 요인이다. 따라서 총괄제동은 기공제동과 계면제동, 매트릭스와 섬유유 고유제동, 매트릭스의 미소균열과 같은 다른 요인에 의한 제동의 합으로 대략적으로 표현된다. 탄소 재료의 고유제동은 결정 결합과 같은 미세구조적인 영향을 준다.[9] 매트릭스의 미소균열과 다른 영향들도 제동에 영향을 줄 수 있다. 그러나 이러한 영향들은 연구에 쓰인 샘플의 내부마찰에 대한 기여도는 같았다. 합성물의 전기 미소그래프 스캐닝중 하나가 Fig 5에 있다. 여기서 탄소섬유와 매트릭스의 영향을 명확히 알 수 있다. 이 논문에서 기공과 계면에 의해 야기된 내부마찰의 토의에 중점을 두었다.

기공에 의한 내부마찰 : 어떤 물질의 내부마찰은 다음과 같다.

$$Q^{-1} = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad (2)$$

여기서 ΔW 는 단위 부피당 소모된 에너지, W 는 단위 부피당 최소 저장 탄성에너지이다.

매트릭스 안에서 C/C합성물이 함유한 기공에서 외부힘이 비균등한 장력영역을 만들어서 기공을 넓히거나 비틀리게 할 수 있다. 기공의 팽창과 비틀림은 다른 공정에서 stress 집중을 줄이고 탄성에너지의 소모를 가져오는 탄소원자의 재정렬, 또는 탈구운동을 동반한다. 다시말해 탄성에너지는 기공의 팽창, 비틀림 에너지를 통해 소모되는 것이다. 기공을 가진 물질의 단위 부피당 전체 팽창, 비틀림 에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$W_{dd} = A \frac{\rho}{1-\rho} \epsilon^2 \quad (3)$$

여기서 A 는 기공의 크기와 관련된 값이고 ρ 는 기공도, ϵ 은 가해진 stress에 의한 장력이다. 식(2),(3)으로 부터 ΔW 는 W_{dd} 에 비례하며 W 는 ϵ^2 에 비례한다.

다시말해 기공제동 Q_{pd}^{-1} 은

$$Q_{pd}^{-1} \propto \frac{\rho}{1-\rho} \quad (4)$$

여기서 ρ 는 기공도이다. ρ 가 1보다 작을때는 Q_{pd}^{-1} 은 대략적으로 기공도 ρ 에 비례한다. 이 사실은 Fig 4의 결과에 부합된다.

계면에 의한 내부마찰 - 섬유강화된 합성물에서 섬유와 매트릭스상의 계면에서 미끄러짐 마찰과 같은 이완효과는 계면제동인 추가적인 제동에 해당된다.[8,11] 그리고 섬유부피분율에 따라 계면제동은 증가한다. 명백히 계면제동은 계면의 불완전한 결합에 의해 일어난다. 같은 이유로 C/C합성물에 주기적인 비틀림이 걸려 논제가 된다. 또한 탄소섬유와 pyrolytic 탄소의 매트릭스사이의 계면에서 마찰에너지손실이 일어난다. 그러므로 C/C합성물의 계면제동은 섬유의 부피분율에 따라 증가한다. 따라서 C/C합성물의 섬유부피분율의 증가는 계면제동에 기여하게된다.

결론 : CVI기술로 제조된 C/C복합체의 내부마찰이 연구되었고, 내부마찰은 그것의 밀도와 섬유부피분율에 의존한다는 것을 알 수 있었다. 밀도가 증가함에 따라 합성물의 내부마찰은 감소하였고, 화이버 부피분율이 증가함에 따라 내부마찰은 증가하였다.

C/C복합체의 제동특성이 관찰되었으며, 근본적으로 제동특성은 기공제동과 계면제동의 결과이다. CVI 기술로 제조된 C/C합성물의 경우에 기공제동은 밀도에 따른 내부마찰의 변화를 가져오며, 계면제동은 탄소섬유의 분율에 따른 내부마찰의 변화를 가져온다.