형상 기억 고분자를 도포한 탄소섬유 강화 플라스틱의 온도에 따른 양방향 안정성 제어

Controlling Bistability of Shape Memory Polymer Coated Carbon-fiber-reinforced Plastic with Temperature

*이준영 [1], #조규진 [1], 김지석 [1], 김승원 [1]

*J. Y. Lee[1], #K. J. Cho(kjcho@snu.ac.kr)[1] , J. S. Kim[1] , S. W. Kim[1]

[1] 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Shape Memory Polymer (SMP), Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP), Bistable, Temperature

1. 서론

탄소섬유 강화 플라스틱 (Carbon-fiber-reinforced plastic, CFRP)은 여러 장의 얇은 시트를 특정한 순서대로 탄소섬유의 방향이 엇갈리게 포개어서 적층한 후 고온으로 경화시키면 양방향 안정성 (Bistability)을 가져서, 하나의 구조가 두 가지 안정한 형상을 가진다[1].

형상 기억 고분자 (Shape Memory Polymer, SMP)는 온도에 따른 고분자간 화학 결합 방식의 변화를 통해서, 고분자 구조의 변형이 일어난 뒤에도 유리 전이 온도 (glass transition temperature, T_g) 이상의 온도를 가하면 본래의 형상으로 돌아가는 형상 기억 특성 (shape memory effect)을 지니고 있다[2].

SMP 는 형상 기억 특성뿐만 아니라 유리 전이 온도를 기점으로 이보다 높은 온도 조건에서는 고분자 구조의 탄성계수와 항복응력이 작아지고, 반대로 낮은 온도 조건에서는 구조의 탄성계수와 항복응력이 높아지는 특성을 지니고 있다. 특히 SMP 는 다른 물질에 비하여 온도에 따른 탄성계수와 항복응력의 변화율이 높다. 이러한 특성은 높은 온도에서 사용자가 원하는 형태로 SMP 구조의 외형을 변형시킨 뒤 온도를 낮추면 형상이 고정되고, 고정된 형상을 유지하며 가해지는 하중을 견딜 수 있도록 한다. SMP 의 이러한 특성들을 활용하여 혈관 내 스텐트부터 로봇의 flexible joint[3] 에 이르는 다양한 분야에서 이용되고 있다.

본 연구에서는 먼저 열 압착기를 사용하여 양방향 안정성을 지닌 CFRP 구조에 SMP 를 도포하는 방법을 보인 후, SMP 가 도포된 CFRP 구조의 양방향 안정성을 온도 조절을 통해 제어하는 방법을 설명한다.

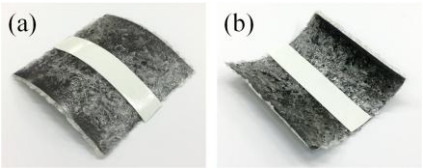

Fig. 1 Bistability of SMP coated CFRP laminate. For the reference, a white tape is attached to the surface of the laminate.

2. 제작

제작 과정은 크게 두 가지로 이루어진다. 우선 양방향 안정성을 지니는 CFRP 구조를 제작하고, 다음으로 제작된 CFRP 구조에 SMP 를 도포하여 SMP 가 코팅된 CFRP 복합재를 제작하였다.

CFRP 를 가로 60mm, 세로 60mm 의 정사각형으로 자른 두 장을 탄소 섬유 방향이 서로 직교하게 적층하여 경화 제작하였다. 경화 과정에서 열 압착기를 사용하여 165℃에서 10MPa 로 10 분 동안 가압하였다.

제작된 CFRP 복합재에 SMP 를 도포하는 방법은 다음과 같다. 열 압착기 금형 안에 SMP (MM5520, SMP Technologies Inc., Tg 는 55℃) 원료를 바닥이 보이지 않게 채운다. SMP 원료 위에 제작된 CFRP 복합재를 올려놓고 열 압착기 금형의 덮개를 닫은 뒤 고온으로

가압하여 제작하였다. 제작 조건은 205℃에서 20MPa 로 가압 시간은 15 분이다.

3. 실험

3.1 상온에서 강성도 실험

SMP 가 코팅된 CFRP 복합재 위에 추를 올려놓고 복합재가 변형되는 정도를 실험하였다. Fig. 2 의 (a)는 복합재를 제작한 후 상온에서 하중을 가하지 않은 상태이다. (b)는 질량 200g 의 추를 얹은 상태이다. (a)와 비교하여 (b)는 하중을 가했음에도 불구하고 복합재의 곡률이 거의 변하지 않는 것을 확인할 수 있다. (c)는 질량 500g 의 추를 복합재 위에 얹은 모습이다. (c)에서는 (b)와 비교하여 복합재의 곡률이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 이 경우에도 복합재가 인가 하중을 견디며 다른 안정상으로의 형상 전이를 보이지 않는다.

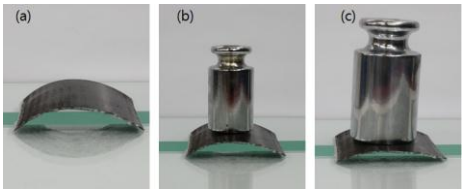

Fig. 2 (a) SMP coated CFRP is unloaded. (b) 200g weight is loaded. (c) 500g weight is loaded.

3.2 유리 전이 온도에서 강성도 실험

다음은 SMP 가 코팅된 CFRP 복합재에 열을 가하여 양방향 안정성이 나타남을 확인하는 실험을 진행하였다. Fig. 3 의 (a)와 같이 질량 100.4g 의 추를 복합재 위에 올려 놓았다. 앞서 상온에서의 강성도 실험에서 확인하였듯이, SMP 가 코팅된 CFRP 복합재는 큰 곡률 변화 없이 무게를 지탱하는 모습을 확인할 수 있다. 이때 열풍기를 사용하여 도포된 SMP 의 유리 전이 온도까지 복합재에 열을 가한다. 복합재가 가열되면서 도포된 SMP 의 탄성계수가 작아지고, 결과적으로 복합재는 외부 하중을 견디지 못하고 변형이 일어난다. 변형이 일어나면서 복합재의 양방향 안정성이 나타나고 Fig. 3 의 (b)처럼 다른 안정 형상으로 형상 전이가 되는 것을 확인할 수 있다.

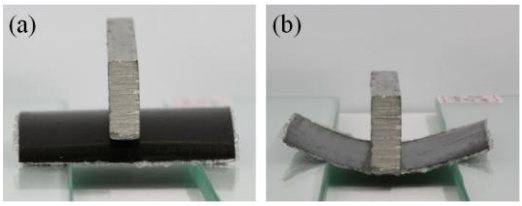

Fig. 3 (a) SMP coated CFRP laminate in room temperature. (b) The laminate is heated up to glass transition temperature of SMP with heat gun.

4. 결론

본 연구에서는 양방향 안정성 구조를 가지는 비대칭 적층 CFRP 복합재에 SMP 를 도포하는 방법을 설명하고, 온도에 따라 복합재의 강성이 변하는 것과 복합재의 양방향 안정성이 사라지고 나타나는 것을 확인하였다.

추후에는 SMP 의 도포 두께, CFRP 의 적층 방식 등을 변화시키며 SMP 코팅 CFRP 복합재 특성 연구를 진행할 예정이다.

후기

이 논문은 2012 년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단 신기술융합형 성장 동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2012K001368)

참고문헌

1. S. W. Kim, J. S. Koh, M. Cho and K. J. Cho, “Towards a bio-mimetic flytrap robot based on a snap-through mechanism”, EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 534–539, 2010
2. H. Tobushi, S. Hayashi, E. Pieczyska, K. Date, and Y. Nishimura, “Three-way actuation of shape memory composite,” Archives of Mechanics, **63**, 443, 2011.
3. L. Hines, V. Arabagi, and M. Sitti, “Shape Memory Polymer-Based Flexure Stiffness Control in a Miniature Flapping-Wing Robot,” IEEE Transactions on Robotics, **99,** 1–4, 2012.