

전자기파 흡수용 복합재료의 기계적 강도평가

오정훈* · 김천곤** · 홍창선***

Mechanical Properties Evaluation of Composites for Electromagnetic Waves Absorption

Jung-Hoon OH, Chun-Gon KIM and Chang-Sun HONG

Key Words : electromagnetic waves absorption, carbon black, glass/epoxy composite, mechanical properties.

ABSTRACT

Materials, matrices mixed with various kinds of conductive or magnetic powder, such as ferrite, have been used as the electromagnetic wave absorbing ones, so called RAM(radar absorbing material). The structure that does not only have electromagnetic waves absorbing property like RAM but also supports loads is called RAS(radar absorbing structure). One of the existing manufacturing process of RAS is to compound with conductive powders the glass fiber-reinforced composite with good permeability and the ability to support loads. The process, however, causes a number of problems, such as the degradation in the mechanical properties of the composite, especially, interlamina shear strength. In this study, mechanical properties of glass fabric/epoxy composite containing 7wt% carbon black powders were measured and compared with pure glass fabric/epoxy composites.

1. 서론

물체에 입사하였다가 반사되는 전자기파를 소멸시키는 연구는 방위산업에 관련된 스텔스(stealth) 기술의 핵심기술이며, 전자기파 문제가 점점 커지고 있는 일반 상업적 분야에서도 중요한 분야이다. 일반적으로 전자기파의 흡수는 고무와 같은 유연한 매질에 전도성이나 자성을 띄는 분체를 혼합한 흡수재료를 물체에 도포함으로써 이루어져왔다. 이러한 재료를 RAM(radar absorbing material)이라 칭하고, 함유되는 분체의 종류에 따

라 자성 흡수재료와 유전 흡수재료로 크게 구분한다. 자성 흡수재료는 흡수 분체로 페라이트(ferrite)를 주로 사용한다. 페라이트는 1GHz 정도 미만의 주파수 대역에서 흡수 성능이 아주 뛰어난 장점이 있으나 그 이상의 주파수 대역에서는 흡수성능이 급속히 나빠지고, 철 성분이기 때문에 무게가 무거운 큰 단점이 있다. 유전 흡수재료는 흡수 분체로 전도성을 띄는 은(silver), 카본블랙(carbon black), 전도성 고분자 등을 사용한다. GHz 이하의 영역에서는 자성 흡수재료보다 흡수성능이 떨어지지만 전 주파수 영역에 걸쳐 고른 성능을 발휘하고, 분체의 무게가 아주 가벼운 장점이 있어 주로 사용된다.

이 밖에도 페라이트에 전도성 코팅을 입힌 흡수성능이 아주 좋은 혼합형 흡수 분체들이 있지만, 페라이트가 많이 함유되어 있어 무게가 많이 나가

* 한국과학기술원 기계공학과 항공우주전공 박사과정
** 한국과학기술원 기계공학과 항공우주전공 교수
*** 한국과학기술원 기계공학과 항공우주전공 교수

는 단점이 있다.

이러한 RAM 은 주로 코팅제이기 때문에 부피를 차지하면서도 구조체에서 하중을 지지하지 못하는 단점이 있다. 이러한 것을 보완할 수 있는 매질을 하중을 지지할 수 있는 구조체로 하는 RAS(radar absorbing structure)가 있다. 매질은 기본적으로 전자파를 잘 투과 시켜야 한다. 이를 만족시키는 재료로 glass/epoxy composite 이 있고, 본 연구에서는 glass fabric/epoxy composite 에 전도성 분체인 카본블랙을 첨가한 RAS 재료를 사용하였다. 카본블랙의 함유량을 조절하며 glass fabric/epoxy composite 의 유전율을 조절하였다. 그리고 이전의 논문[1]에서 카본블랙 함량이 5wt%와 7wt%인 glass fabric/epoxy composite 층을 조합하여 반사파 최소 구조를 설계하였다.

그러나 섬유강화 복합재료는 기지(matrix)에 카본블랙 같은 분체가 혼합될 경우 그 기계적 특성의 변화가 예측된다. 심한 강도의 저하가 있을 시에는 실제로 사용이 불가능하기 때문에 분체가 함유된 섬유강화 복합재료의 물성시험이 필수적이다. 본 연구에서는 7wt%의 카본블랙을 함유하는 glass fabric/epoxy composite(CB7)를 함유하지 않은 경우(CB0)와 비교하여 4 가지 물성 시험을 수행하여 물성의 변화를 살펴보았다.

2. Materials

2.1 프리프레그 제작

사용된 프리프레그(prepreg)는 ㈜한국화이바의 glass fabric /epoxy prepreg K618 이고, 카본블랙은 Cabot 사의 Vulcan XC-72 이다. 카본블랙을 epoxy 수지에 휘발성분을 함유하여 혼합한 후 유리섬유 직조물에 도포하였다. 프리프레그 제작은 ㈜한국화이바에 의뢰하여 제작하였다. 카본블랙 함량 7wt%인 glass fabric/epoxy 프리프레그(CB7)와 함유되지 않은 프리프레그(CB0)를 제작하였다.

2.2 시편제작

제작된 프리프레그로 압력 3atm, 온도 80 도에서 30 분, 130°C 에서 90 분 동안 오토클레이브(autoclave)에서 경화시켜 제작하였다. 레진(resin)이 빠져나간 끝부분은 사용하지 않고, 시편을 절단하여 중앙부분을 사용하였다. 카본블랙이 함유되지 않은 시료와 카본블랙이 함유된 시료의 무게차이로 카본블랙 함량의 정확도를 측정하였다. 전체 시료의 세 부분에서 2.4cm x 1cm 크기의 시료를 채취하여 비교하여 보았다. 결과, 7.3wt%, 7.3wt%, 7.5wt%로 비교적 일치하였다.

3. 기계적 물성 시험

3.1 층간 전단 시험

ASTM D2344-84 에 의거해서 3point shot beam test 로 층간 전단 강도를 측정하였다.



그림 1. 측정시료의 치수

ASTM 권고사항은 $t=6.4 \pm 0.1mm$ 이지만, 시험 결과 굽힘(bending)에 의해 파괴되는 양상을 보여 두께와 span/thickness ratio 를 증가시켰다. 그리고 CB0 의 경우 원형 치구로 하중을 가하는 경우 그림 2 와 같이 파손이 진전하는 중에 하중을 가하는 부분의 응력집중으로 파손이 되어, 그림 3 과 같이 폭 6mm 의 철 평판을 놓고 하중을 가하였다.

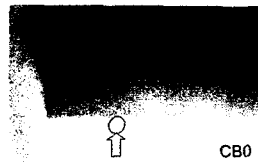


그림 2. CB0 파손 모습

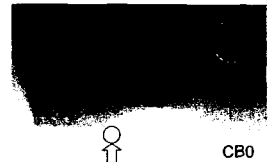


그림 3. CB0 파손 모습

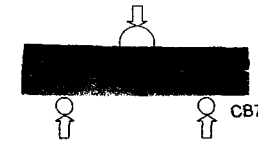


그림 4. CB7 파손 모습

CB0 의 경우 철판조각을 통해 하중을 가하면 여러 층에 걸쳐 층간분리가 나타나며 파손되었고, CB7 의 경우는 전형적인 파손 모드인 중립면 근처에서 층간분리가 일어났다.

CB0		CB7	
시편번호 No. of Specimen	층간 전단강도 (MPa)	시편번호 No. of Specimen	층간 전단강도 (MPa)
CB0_1	69.4	CB7_1	47.8
CB0_2	71.9	CB7_2	52.6
CB0_3	70.5	CB7_3	50.4
평균	70.6	CB7_4	44.2
표준편차	1.23	CB7_5	43.6
CB0_4(s)	78.7	CB7_6	46.5
CB0_5(s)	76.7	CB7_7	45.9
CB0_6(s)	75.5	CB7_8	51.9
평균	77.0	평균	47.5
표준편차	1.62	표준편차	3.62

*(s) 6mm steel bar 로 누른 경우

표 I 층간전단강성 비교

47%정도의 큰 강도의 저하가 발생하였다. 카본블랙의 첨가로 인하여 기지물성의 저하가 주된 원인으로 분석된다.

3.2 적층면 방향 전단 시험

ASTM D5379/D5379M-93 에 의거해서 v-notch test 를 수행하여 전단강성과 강도를 측정하였다.

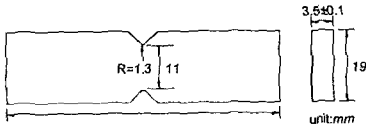


그림 5. 측정시료의 치수.



그림 6. CB0 파손 모습 그림 7. CB7 파손 모습

시편 중앙에 전단력에 의한 파손이 발생하였다. CB0 에 비해 CB7 은 파손이 잘 발생하지 않고 계속 늘어나는 경향을 보였다. 본체의 혼합에 따른 시료의 연성이 증가한 것인 원인으로 분석된다.

CB0		CB7		CB0		CB7	
시편번호 No. of Specimen	전단강성 Shear modulus (GPa)	시편번호 No. of Specimen	전단강성 Shear modulus (GPa)	시편번호 No. of Specimen	전단강도 Shear Strength (MPa)	시편번호 No. of Specimen	전단강도 Shear Strength (MPa)
CB0_1	4.34	CB7_1	5.18	CB0_1	133.6	CB7_1	146.6
CB0_2	4.75	CB7_2	4.15	CB0_2	134.8	CB7_2	141.9
CB0_3	4.06	CB7_3	4.57	CB0_3	134.8	CB7_3	143.8
CB0_4	3.97	CB7_4	4.97	CB0_4	133.2	CB7_4	146.1
CB0_5	5.27	CB7_5	3.73	CB0_5	131.6	CB7_5	149.0
-	-	CB7_6	4.79	-	-	CB7_6	147.1
평균	4.48	평균	4.57	평균	133.6	평균	145.6
표준편차	0.54	표준편차	0.54	표준편차	1.33	표준편차	2.28

표 2 전단강성 비교

표 3 전단강도 비교

전단강성은 섬유에 주된 영향을 받으므로 결과 역시 큰 차이를 보이지 않았다. 전단강도는 CB7 이 8%정도 증가하는 결과를 보였는데 이는 재료가 파손되지 않고 계속 늘어나는 영향으로 재료 강도의 증가라고는 할 수 없다.

3.3 적층면 방향 압축 시험

ASTM D3410 으로 압축강도를 측정하였다.

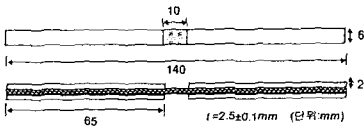


그림 7. 측정시료의 치수



그림 8. 시료의 파손 모습

CB0 와 CB7 모두 그림 8 과 같이 시험구간에서 ASTM 인정 파손인 45 도 파손이나 압축 파손을 보였다.

CB0		CB7	
시편번호 No. of Specimen	인장강도 Compressi on strength (MPa)	시편번호 No. of Specimen	인장강도 Compressi on strength (MPa)
CB0_1	337.2	CB7_1	424.9
CB0_2	343.5	CB7_2	453.6
CB0_3	342.5	CB7_3	440.0
CB0_4	356.2	CB7_4	464.9
CB0_5	351.2	CB7_5	446.1
CB0_6	344.7	CB7_6	453.5
CB0_7	351.4	CB7_7	426.7
CB0_8	352.7	CB7_8	422.9
평균	347.43	평균	441.2
표준편차	6.4	표준편차	14.98

표 4 압축강도 비교

카본블랙을 7w%첨가 하였을 때 23%정도의 압축 강도의 증가 발생하였다. 기지의 연성이 증가하면서 압축강도가 증가한 것으로 분석된다.

3.4 인장 시험

ASTM D3039-79 에 의거해서 인장강도와 인장강성을 측정하였다.

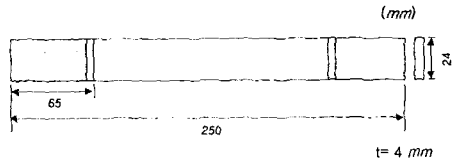


그림 9. 측정시료의 치수



그림 10. CB0 의 파손 모습

CB0 의 경우 전형적인 파손 모습을 보였다. 그러나 CB7 의 경우는 기지의 물성의 저하로 그림 (grip)부분에의 응력집중에 의해 모재균열(matrix

cracking)이 발생하고 그 부분에서 층간분리가 발생하였다.

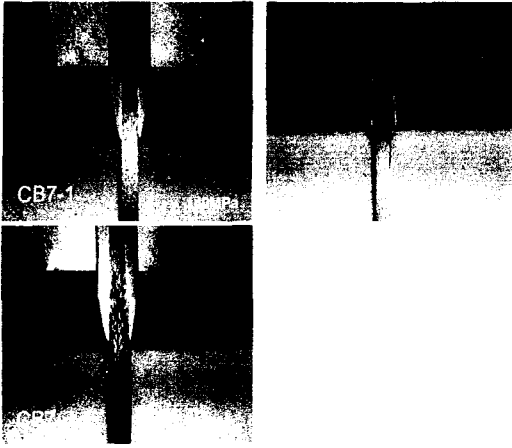


그림 11. CB7의 하중이 가해짐에 따른 파손 발전 모습

135MPa(0.58% strain)정도에서 연속적인 모재균열 발생하였고, 240MPa(1.3% strain)정도에서 섬유파단 발생 시작(층간분리 발생)하였다. 그리고 317MPa 정도에서 최종파단되었다.

CB0		CB7		CB0		CB7	
시편번호 No. of Specimen	인장강성 Tensile modulus (GPa)	시편번호 No. of Specimen	인장강성 Tensile modulus (GPa)	시편번호 No. of Specimen	인장강도 Tensile strength (MPa)	시편번호 No. of Specimen	인장강도 Tensile strength (MPa)
CB0_1	23.5	CB7_1	23.6	CB0_1	345.0	CB7_1	330.4
CB0_2	22.8	CB7_2	23.2	CB0_2	367.2	CB7_2	306.5
CB0_3	23.1	CB7_3	24.0	CB0_3	386.0	CB7_3	316.5
CB0_4	23.0	CB7_4	24.0	CB0_4	383.0	CB7_4	305.2
CB0_5	24.2	CB7_5	24.5	CB0_5	368.7	CB7_5	323.4
평균	23.3	평균	23.9	평균	367.0	평균	316.9
표준편차	0.55	표준편차	0.49	표준편차	16.3	표준편차	10.39

표 5. 인장강성 비교

표 6. 인장강도 비교

인장강성은 큰 차이를 보이지 않았고, 인장강도는 15%정도 저하되었다. 이는 기지의 강도약화에 의한 층간분리의 조기 발생에 원인이 있다 할 수 있다.

4. 결론

카본블랙 분체들이 7wt% 첨가됨에 따라, 에폭시 기지의 물성이 많이 저하된다. 이에 따라 Glass fabric/epoxy 섬유강화 복합재료의 연성이 커지는 경향을 보이면서 거동을 한다.

그리고 지지 물성에 직접 영향을 받는 층간전단 강도가 47%가량 감소하면서 가장 큰 영향을 받는다. 다른 기계적 물성은 주로 섬유(fiber)에 영향을 받기 때문에, 큰 물성 변화는 없고 연성이 증가하는 영향과 모재균열의 조기 발생에 의해 강도 값

이 조금씩 변한다.

이러한 결과 설계에서 원하는 강도에 미달한다면, 전도성이 더 좋은 분체를 사용함으로써 분체의 양을 줄여 층간전단강도를 향상 시키거나, 전자파 흡수 성능을 약간 낮춤으로써 설계강도를 확보해야 할 것이다. 그리고 이러한 연구를 발전 시키기 위해 분체의 함량 변화에 따른 지지 물성 변화 연구가 필요할 것이다.

후기

본 연구는 국방과학연구소(ADD)가 지원하는 위탁과제로 수행된 것이며, 지원에 대해 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 오정훈, 오경섭, 김천곤, 홍창선, 이동민 "Design and Analysis of Electromagnetic Wave Absorbing Structure using Layered Composite Plates," 한국복합재료 학회지, 인쇄중.
- ASTM Standard, D2344-84.
- ASTM Standard, D5379/D5379M-93.
- ASTM Standard, D3410.
- ASTM Standard, D3039-79.
- K.C. Han, H.D. Choi, T.J. Moon, W.S. Kim and K.Y. Kim, "Electric and Magnetic Properties of Ni-Zn Ferrite/Epoxy Composites," *Polymer(Korea)*, Vol18, No. 6, 1994, pp1006-1012.
- S.K. Kwon, J.M. Ahn, G.H. Kim and C.W. Chun, "Microwave Absorbing Properties of Carbon Black/Silicon Rubber Blend in the GHz Range," *Proc. of the 3th Conference on National Defense Materials*, 2000, pp. C161-C169.
- W.Gu. H.F. Wu, S.L. Kampe, G-Q.Lu, "Volume fraction effects on interfacial adhesion strength of glass-fiber-reinforced polymer composites," *Materils Sciece and Engineering A277*, 2000, pp.237-243.
- 임연수, 김기덕, 이재춘, 김영수, 김성수, "나노탄소분말과 나노카바이드분말을 이용한 복합재의 제조와 활용에 관한 연구," *Journal of the Korean ceramic society*, Vol.37, No.6, 2000, pp569-575.