강화섬유 배치구조에 따른 MMC계면에서의 탄소성거동 평가

강지웅†·김상태*·권오헌**

Evaluation of elastic-plastic behavior in MMC interface according to the reinforced fiber placement structure

Ji Woong Kang, Sang Tae Kim and Oh Heon Kwon

Key Words: MMC(금속기지복합재료), Elastic-plastic finite element analysis(탄소성유한요소해석), Interface(계면), Fiber(섬유), Matrix(기지)

Abstract

Under longitudinal loading continuous fiber reinforced metal matrix composite(MMC) have interpreted an outstanding performance. However, the applicability of continuous fiber reinforced MMCs is somewhat limited due to their relatively poor transverse properties. Therefore, the transverse properties of MMCs are significantly influenced by the properties of the fiber/matrix interface. In this study, elastic-plastic behavior of transversely loaded unidirectional fiber reinforced metal matrix composites investigated by using elastic-plastic finite element analysis. Different fiber placement(square and hexagon) and fiber volume fractions were studied numerically. The interface was treated as three thin layer (with different properties) with a finite thickness between the fiber and the matrix. The analyses were based on a two-dimensional generalized plane strain model of a cross-section of an unidirectional composite by the ANSYS finite element analysis code.

1. 서 론

과거 수십년 동안 항공산업과 자동차산업에서 고성능 구조재료에 의존한 많은 발전이 있어왔다. 특히, 금속기지 복합재료(MMC)는 기존의 재료에서는 얻을 수 없는 우수한 기계적 특성을 제공하였다. 장섬유 강화 MMC의 특성은 섬유/기지계면의 특성에 의해 중요한 영향을 받는다. 계면의 특성은 일반적으로 계면강도나 파괴인성에 의해 결정된다. 종방향(섬유방향)하중 하에서의 장섬유 강화 MMC는 우수한 성능을 보여 왔으나 횡방향 하중하에서의 특성은 몇몇 적용에 있어서 기대보다 훨씬 낮은 성능을 보여 왔다. 따라서 본 논문에서는 횡방향 하중을 받는 MMC계면에서의 섬유배치구조에 따른 탄소성거동을 평가하였다.

부경대학교 안전공학과 대학원†
E-mail :slash-kang@hanmail.net
TEL : (051)620-1522 FAX : (051)620-1516
부경대학교 안전공학과*

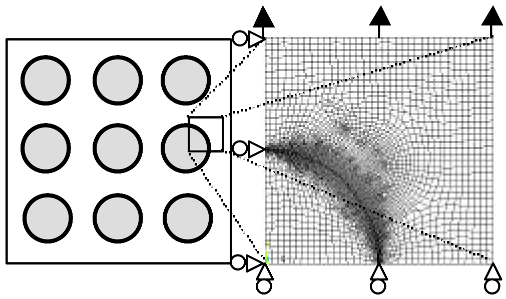
2. 수치해석

수치해석은 장섬유 강화MMC의 단면에 대해서 2차원 평면변형을 기본으로 하였다. 섬유와 기지는 2차원 사각형 8절점 요소를 사용하였다. 유한요소해석은 ANSYS 6.1을 사용하였다. 계면영역은 높은 응력 변화율이 예상되어짐으로, 다층계면 모델을 제안하였다. 계면은 각기 다른 기계적 물성치를 가지는 3개의 얇은 층으로 그 경계가 구성되어있다. Fig. 1은 3개의 얇은 층이 삽입된 각기 다른 섬유 배치구조를 가지는 섬유강화 MMC에 대한 유한요소모델을 나타내고 있다. 대칭의 경계조건을

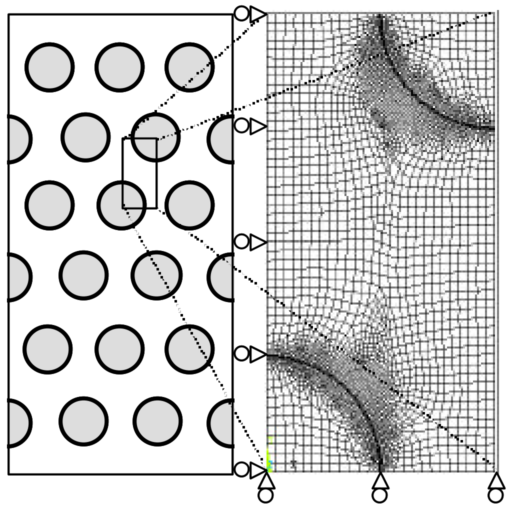
Table 1 Mechanical properties of SiC fiber reinforced MMC

	E(GPa)	poisson' ratio	σ_y(MPa)	Tangential modulus(GPa)
SiC	364	0.23		
Layer1	284	0.26		
Layer2	224	0.28	1882.5	5
Layer3	164	0.3	1334.4	5
Ti-15-3	88	0.32	716	5

고려하여 단일 섬유 전체 모델 4분의 1을 모델링하였다. 계면층의 섬유와 기지의 요소 수는 섬유체적비에 따라서 square모델은 각각 54개에서 370개, 220개에서 372개로 hexagonal모델은 각각 319개에서 1148개, 639개에서 1917개로 다양화하였다. 섬유는 SiC로, 기지는 Ti-15-3으로 가정하였다. Table 1에 각기 다른 물성치를 가지는 3층에 대한 SiC섬유와 Ti-15-3기지의 물성치를 나타내었다. 섬유체적비는 5%에서 60%사이에서 4가지로 섬유의 반경을 변화시켰다. 섬유는 선형탄성거동을 하는 것으로 간주하였고, 기지는 탄소성거동을 하는 것으로 간주하였다.



(a) square arrangement



(b) hexagonal arrangement

Fig. 1 Finite element model for fiber reinforced MMC with a different fiber placement under transverse loading.

3. 결과 및 고찰

본 모델에서는 1GPa에서 2GPa로 하중수준을 4단계로 하여 하중을 가했다. 응력-변형율곡선은 탄소성거동을 하는 것으로 간주하였다.

Fig. 2에는 동일 섬유체적비(V_f=40%)의 square모델에 대하여 각기 다른 하중수준에 따른 단층계면모델과 다층계면모델의 x축에 따른 섬유와 기지의 무차원 등가응력분포를 나타내었다. 단층계면모델의 경우, 각각의 하중에 대하여 그 최대값은 모두 계면에 위치하며, 다층계면 모델의 경우 최대값은 단층계면모델과는 달리 기지에 위치하였다. 또한 단층계면모델의 경우 계면에서 급격한 응력분포의 변화를 나타내었고, 다층계면모델의 경우 단일계면 모델에 비해 완만한 변화를 나타내었다. 이는 각기 다른 물성치를 가지는 3층계면의 삽입 때문으로 여겨진다. 단일계면모델의 경우, 하중수준을 1GPa에서 2GPa로 증가시킴에 따라 x축을 따라서의 응력분포가 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. y축을 따른 응력분포 역시 x축의 경우와 유사하였다. 단일계면모델에서 하중이 2GPa일 때 x축을 따라서의 최대-최소 무차원 등가응력값은 3.5와 0.771로 나타났다. 다층모델의 경우는 2.45와 0.757로 각각 나타났다.

Fig. 3은 동일 섬유체적비(V_f=40%)의 hexagonal모델에 대하여 각기 다른 하중수준에 따른 단층계면모델과 다층계면모델의 x축에 따른 섬유와 기지의 무차원 등가응력분포를 나타내었다. 단층계면모델의 경우, 각각의 하중에 대한 그 최대값은 square에서와 같이 계면에 위치하였고, 다층계면모델 역시 square모델에서와 같이 기지에 위치하였다.

Fig. 4는 동일 하중(2GPa)과 동일 섬유체적비(V_f=40%)에서 square모델과 hexagonal모델의 x축에 따른 섬유와 기지의 무차원 등가응력분포를 비교

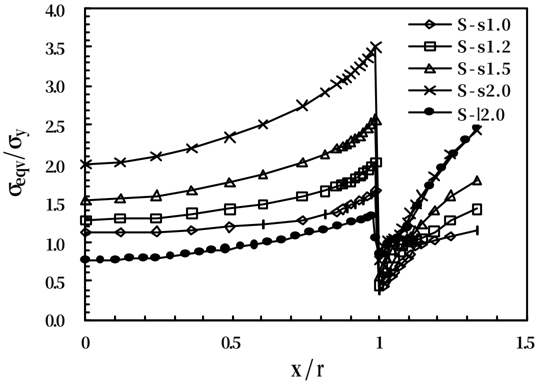


Fig. 2 Normalized stress distributions for elastic fiber and elastic-plastic matrix of square model(V_f=0.4).

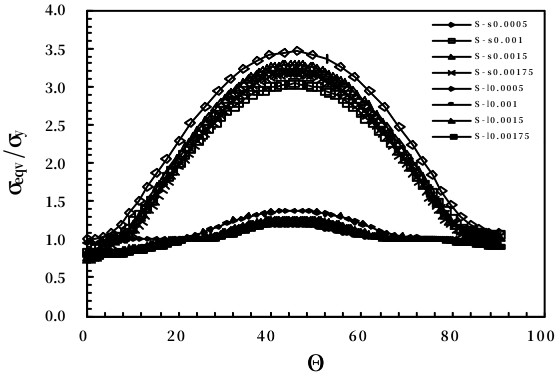


Fig. 5 Variation of the normalized von Mises stresses at the interface according to volume fraction of square model.

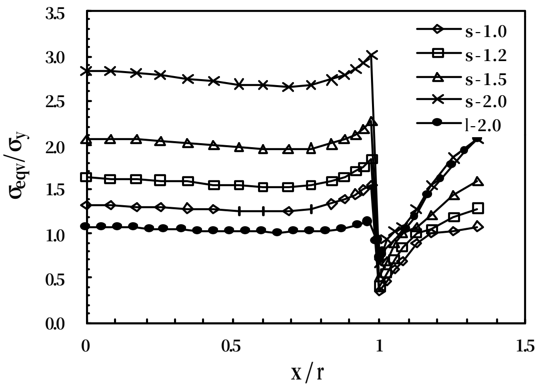


Fig. 3 Normalized stress distributions for elastic fiber and elastic-plastic matrix of hexagonal model(V_f=0.4).

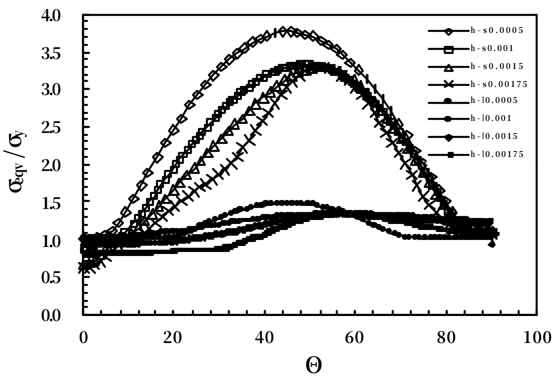


Fig. 6 Variation of the normalized von Mises stresses at the interface according to volume fraction of hexagonal model.

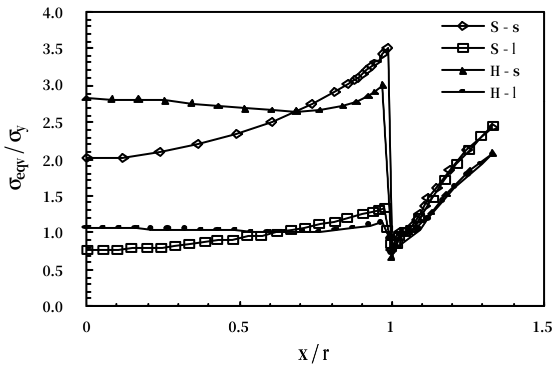


Fig. 4 Normalized stress distributions for elastic fiber and elastic-plastic matrix of square-hexagonal models for the same loading and V_f(2GPa, V_f=0.4).

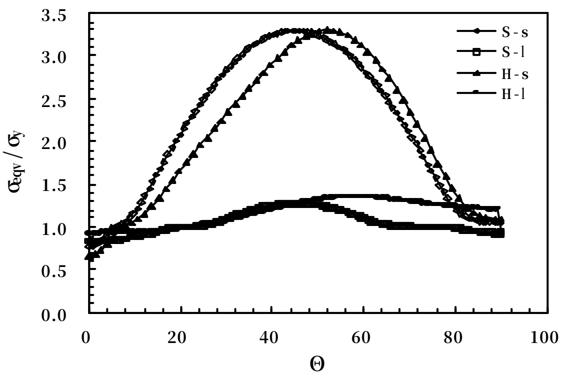


Fig. 7 Variation of the normalized von Mises stresses at the interface of square-hexagonal models for the same loading and V_f(2GPa, V_f=0.4).

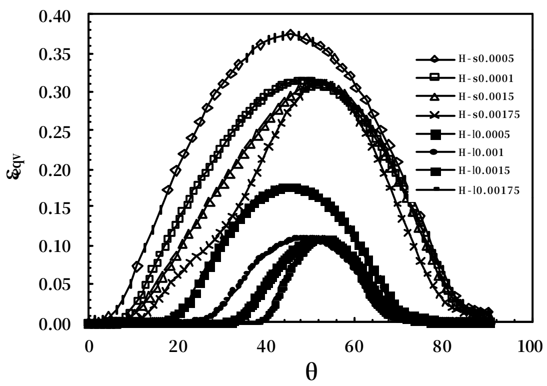


Fig. 8 Variation of the equivalent plastic strain at the interface according to volume fraction of hexagonal model.

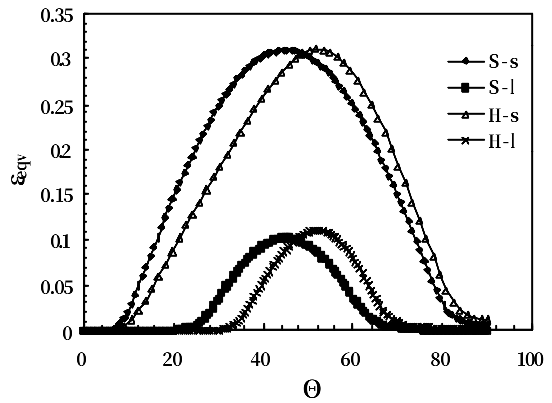


Fig. 9 Variation of the equivalent plastic strain at the interface of square-hexagonal model for the same loading and V_f(2GPa, V_f=0.4).

하여 나타내었다. square모델의 단층계면과 다층계면모델의 최대값은 각각 3.50과 2.45로 최대값이 각각 3.01과 2.06으로 나타난 hexagonal모델 보다는 다소 큰 수치를 나타내었다. 하지만 hexagonal모델의 경우, 섬유 중심에서 계면에 이르기까지의 응력분포가 점차적으로 증가하는 square모델과는 달리 다소 차이는 있지만 거의 균일한 응력분포 상태를 나타내었다.

Fig. 5는 동일하중하의 square모델에 대해서 각기 다른 섬유체적비에 대한 단층계면과 다층계면을 따라서의 무차원 등가응력분포의 차이를 나타내고 있다. 각각의 최대 값은 단층계면모델이 다층계면모델 보다 대략 2.5배에서 3배 정도 큰 값을 나타내었으며, 각각의 최대값은 약 45°에 위치하였다.

Fig. 6은 동일하중하의 hexagonal모델에 대해서 각기 다른 섬유체적비(5%~60%)에 대한 단층계면과 다층계면을 따라서의 무차원 등가응력분포의 차이를 나타내고 있다. square모델에서와 같이 최대값은 단층계면모델이 다층계면모델 보다 대략 2.5배에서3배 정도 큰 값을 나타내었다. 하지만 그 최대값이 45°부근에서 발생하는 square모델과는 달리 섬유비가 증가할수록 45°부근에서 시작하여 θ값이 점차 증가한 위치에서 나타났다.

Fig. 7은 동일하중(2GPa)과 섬유체적비(V_f=40%)에 대해서 square모델과 hexagonal모델의 단층계면과 다층계면을 따라서의 무차원 등가응력분포의 변화에 대한 차이를 나타내고 있다. square모델의 경우는 그 최대값이 45°부근에 위치하였으며 hexagonal모델의 경우는 50°부근에 위치하였다. square모델의 경우 응력값은 θ값이 0°~45°로 증가함에 따라 증가하였고 45°~90°로 증가함에 따라 감소하는 대칭형의 그래프를 나타내고 있으나 hexagonal모델의 경우, 특히 다층계면모델의 경우는 45°~90°로 갈수록 감소하는 응력값이 다소 둔화됨을 나타내고 있다.

Fig. 8은 Hexagonal 모델을 이용하여 각기 다른 하중 하에서의 섬유/기지계면에서 소성변형치의 변화를 나타내고 있다. 최대소성변형치는 단층계면모델이 다층계면모델 보다 대략 2.5배에서3배 정도 큰 값을 나타내었다. square모델 역시 유사한 경향을 나타내었다. hexagonal모델은 섬유체적비가 증가함에 따라 그 최대값이 45°부근에서 발생하는 square모델과는 달리 섬유비가 증가할수록 45°부근에서 시작하여 θ값이 점차 증가한 위치에서 나타났다.

Fig. 9는 동일 하중(2GPa)과 동일 섬유체적비(V_f=40%)에서 square모델과 hexagonal모델의 소성변형의 차이를 나타내고 있다. square모델의 단층계면모델과 다층계면모델 각각의 최대값은 45°부근에서 0.309와 0.102로 나타났으며, hexagonal모델 각각의 최대값은 50°부근에서 0.310과 0.11로 나타났다.

4. 결 론

본 논문에서는 두가지 형태의 섬유배치구조에 대하여 탄소성유한요소해석을 수행하였다. 섬유/기

지계면은 단층계면과 다층계면으로 분리하여 평가하였다.

단층계면모델의 경우 von Mises등가응력은 계면에서 급격한 변화를 나타내는 반면에, 다층계면모델의 응력분포는 각기 다른 물성치를 가지는 계면층의 삽입으로 인해 단층계면모델에 비해 상당히 낮은 변화를 나타내었다. 또한 단층계면모델의 경우 최대응력치는 계면에서 나타난 반면에 다층계면모델의 경우는 기지에서 나타났다.

계면을 따라서의 von Mises등가응력은 단층계면모델의 경우 급격한 변화를 나타내는 반면에, 다층계면모델의 응력분포는 단층계면모델에 비해 완만한 변화를 나타내었다.

square모델의 경우 계면에서 섬유 중심에 이르기까지의 응력값들은 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만, hexagonal모델의 경우 그 응력값들은 거의 균일한 양상을 나타내었다. 다층모델의 경우 섬유배열과는 상관없이 계면에서의 최대응력값은 단일계면모델보다 낮게 나타났다.

최대응력값 및 최대소성변형치는 square모델의 경우 약 45°에서, hexagonal모델의 경우는 약 50° 부근에서 발생하였으며, hexagonal모델의 경우 섬유체적비를 증가시킴에 따라 최대값이 50°부근에서 시작하여 θ값이 점차 증가한 위치에서 나타났다.

참고문헌

(1) S.A. Meguid, G.Shagal, and R.Paskaramoorthy, 2002, "On the local elastic-plastic behaviour of the interface in titanium/silicon carbide composites", composites: part A, vol.33, PP.1629-1640.

(2) B. Fiedler, M.Hojo and S. Ochiai, 2002, "The influence of thermal residual stresses on the transverse strength of CFRP using FEM", composites: part A, 33, pp. 1323-1326.

(3) L. L. Shaw and D. B. Miracle, 1996, "Effects of an interfacial region on the transverse behavior of metal-matrix composites a finite element analysis", Acta mater, vol.44, pp. 2043-2055.

(4) Z. Z. Du, F. W. Zok, 1998, "Limit stress conditions for weakly bonded fiber composites subject to transverse biaxial tensile loading", Int. J. Solids Structures, vol.35, pp. 2821-2842.

(5) S. G. Warrier, M. A. M. Bourke and S. Krishanamurthy, 1999, "Assessment of the fiber/matrix interface bond strength in SiC/Ti-6A1-4V composites", Materials Science and Engineering A259, pp. 220-227.

(6) J. M. M. de Kok and t. Peijs, 1999, "Deformation, yield and fracture of unidirectional composites in transverse loding", Composites: Part A, vol.30, pp. 917-932.