

횡하중을 받는 금속기지 복합재료에서 체적비에 따른 응력장의 분포

김상태 · 감지웅 · 권오현*

부경대학교 대학원 안전공학과 · *부경대학교 안전공학과

1. 서 론

최근 경량화, 내마모성, 고강도 및 고강성의 우수한 특성을 가지는 금속기지 복합재료(MMC)가 많은 산업분야에서 널리 사용되어지고 있다. 특히 군사적, 상업적 적용에 많은 잠재력이 있어 그 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 항공기 기체와 엔진의 경우 중량 감소를 통해 항속거리, 적재하중, 속도, 기동성의 증가를 이끌어 내어 성능의 향상에 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 운용수명 증가와 유지비용 감소 등을 이룰 수 있다. 이러한 장섬유 강화 MMC의 특성은 섬유/기지 계면의 특성에 의해 중요한 영향을 받는다. 종방향(섬유방향)하중 하에서의 장섬유강화 MMC는 우수한 성능을 보여 왔으나 횡방향하중 하에서의 특성은 몇몇 적용에 있어서 기대보다 훨씬 낮은 성능을 보여 왔다. 이러한 특성으로 인하여, MMC계면에서의 탄소성 거동평가는 중요하다 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 횡하중을 받는 MMC에 대해서 섬유체적비에 따른 계면에서의 응력장분포에 대한 탄소성거동을 평가하였다. 또한 다층계면모델을 제안하여 기존의 단층계면모델과 계면영역에서의 응력분포를 비교 검토하였다.

2. 수치해석

본 논문에서 수행한 수치해석은 장섬유강화 MMC의 단면에 대해서 2차원 평면변형을 기본으로 하였다. 섬유와 기지는 2차원 사각형 8절점 요소를 사용하였다. 계면영역은 높은 응력 변화율이 예상되어짐으로, 다층계면 모델을 제안하였다. 계면은 각기 다른 기계적 물성치를 가지는 3개의 얇은 층으로 그 경계를 구성하였다. Fig. 1은 3개의 얇은 층이 삽입된 각기 다른 섬유 배치구조를 가지는 섬유강화 MMC에 대한 유한요소 모델을 나타내고 있다. 대칭의 경계조건을 고려하여 단일 섬유 전체의 모델 4분의 1을 모델링하였다. 계면 층의 섬유와 기지의 요소 수는 섬유체적비에 따라서 각각 54개에서 370개, 220개에서 372개로 변화시켰다. 모델링한 섬유는 SiC, 기지는 Ti-15-3으로 가정하였다. Table 1에 각기 다른 물성치를 가지는 3층에 대한 SiC 섬유와 Ti-15-3 기지의 물성치를 나타내었다. 섬유체적비는 5%에서 60%사이에서 4가지로 섬유의 반경을 변화시켰다. 섬유는 선형탄성거동을 하는 것으로 간주하였고, 기지는 탄소성거동을 하는 것

Table 1. Mechanical properties of SiC fiber reinforced MMC

	Young modulus(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

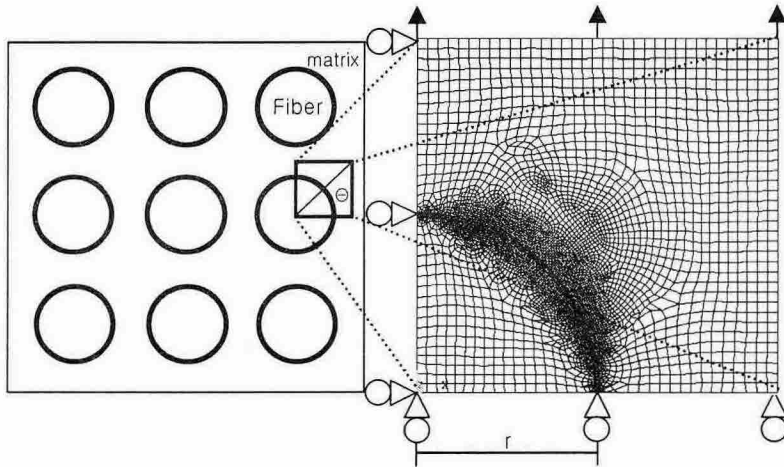


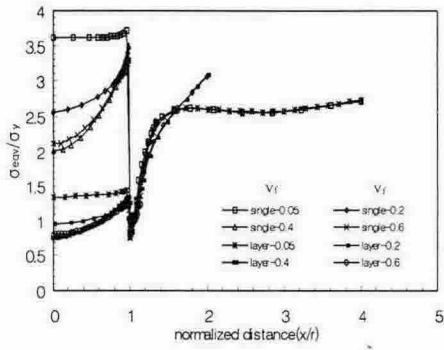
Fig. 1 Finite element model for fiber reinforced metal matrix composite with three thin layer under transverse loading

으로 간주하였다. 유한요소해석은 상용프로그램인 ANSYS를 사용하였다.

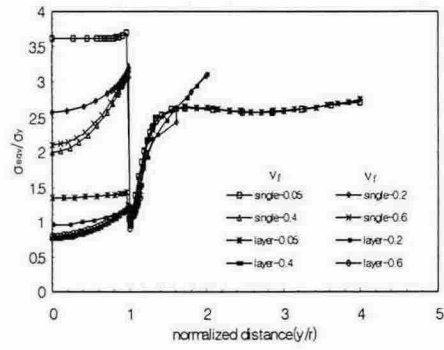
3. 결과 및 고찰

본 모델에 대해서는 1GPa에서 2GPa로 하중수준을 4단계로 하여 하중을 가하였다. 응력-변형률곡선은 탄소성거동을 하는 것으로 간주하였다.

Fig. 2의 (a)와 (b) 동일 하중(2GPa) 하에서 섬유체적비 별로 단층계면모델과 다층계면모델의 x축과 y축에 따른 섬유와 기지의 무차원 등가응력분포를 나타내었다. 섬유체적비가 증가함에 따라 최대 무차원 등가응력치는 계면에서 x축을 따라서 감소하는 경향을 나타내었다. 다층계면모델의 경우 최대 무차원 등가응력치는 계면에서 단층계면모델 보다는 낮게 나타났다. 섬유 영역에서 x축을 따라서 von Mises 응력 곡선은 섬유체적비가 감소함에 따라서 더 높은 값을 나타내었다. 기지 영역에서는 다층계면의 도입으로 인한 x축 상의 von Mises 등가응력치에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. y축을

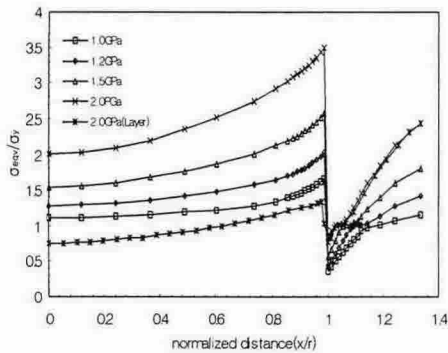


(a)

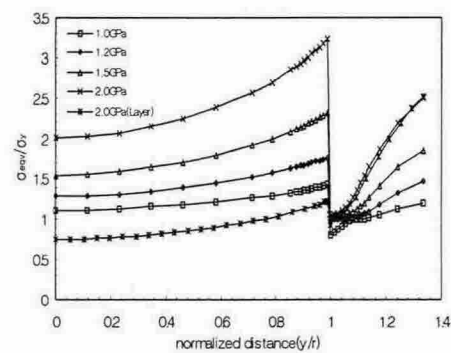


(b)

Fig. 2 Normalized stress distributions for elastic fiber and elastic-plastic matrix according to fiber volume fraction: (a) along x-axis, and (b) along y-axis ($V_f=0.4$)



(a)



(b)

Fig. 3 Normalized stress distributions for elastic fiber and elastic-plastic matrix : (a) along x-axis, and (b) along y-axis ($V_f=0.4$)

따른 응력분포 역시 x축의 경우와 유사하였다.

Fig. 3의 (a)와 (b)는 동일 섬유체적비($V_f=0.4$)에 대하여 각기 다른 하중 수준에서 단층 계면모델과 다층계면모델의 x축과 y축에 따른 섬유와 기지의 무차원 등가응력분포를 나타내었다. x축에서의 무차원 등가응력분포는 단층계면모델의 경우, 각각의 하중에 대하여 그 최대 값은 모두 계면에 위치하며, 다층계면 모델의 경우 최대 값은 단층계면모델과 달리 기지에 위치하였다. 또한 단층계면 모델의 경우 계면에서 급격한 응력의 변화를 나타내었고, 다층계면모델의 경우 단층계면모델에 비해 완만한 변화를 나타내었다. 이러한 특성은 각기 다른 물성치를 가지는 3층 계면의 삽입 때문으로 여겨진다. 단층계면 모델의 경우, 하중수준을 1GPa에서 2GPa로 증가시키기에 따라 x축을 따라서의 응력분포가 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 단층계면모델에서 하중이 2GPa일 때 x축을 따라서의 최대-최소 무차원 등가응력값은 3.5와 0.771로 나타났다. 다층모델의 경

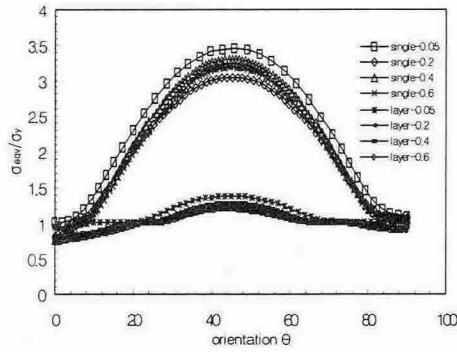


Fig. 4 Variation of the normalized von Mises stresses at the interface according to volume fraction(load level 2GPa)

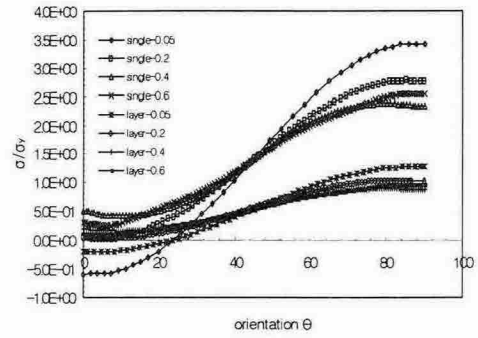


Fig. 5 Variation of the normalized stresses at the interface with different volume fraction(load level 2GPa)

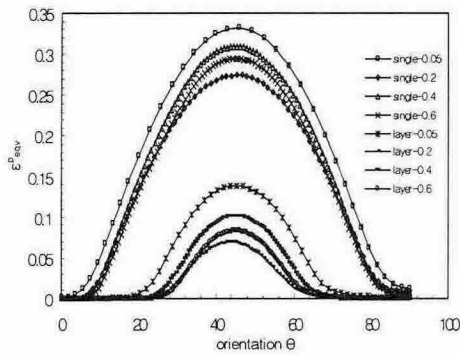


Fig. 6 Variation of the the equivalent plastic strain at the interface according to volume fraction(load level 2GPa)

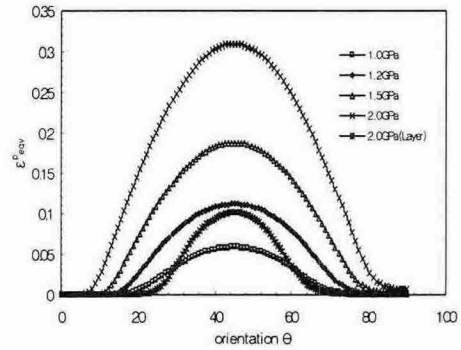


Fig. 7 Variation of the equivalent plastic strain at the interface with different loading($V_f=0.4$)

우는 2.45와 0.757로 각각 나타났다. y축을 따른 응력분포 역시 x축의 경우와 유사하였다.

Fig. 4는 동일 하중 하에서 각기 다른 섬유체적비에 따른 단층계면과 다층계면영역에서의 무차원 등가응력분포의 차이를 나타내고 있다. 각각의 최대 값은 단층계면모델이 다층계면모델 보다 대략 2.5배에서 3배정도 큰 값을 나타내었으며, 대략 45° 부근에 위치하였다.

Fig. 5는 원통좌표계에서 본 동일 하중(2GPa) 하의 각기 다른 섬유체적비에 대한 단층계면과 다층계면영역에서 무차원 응력변화의 차이를 나타내고 있다. 다층계면모델의 경우 서로 다른 물성치를 가지는 3층 계면의 삽입으로 인하여 단층계면모델에 비해 상당히 완만한 변화를 나타내었다.

Fig. 6은 동일 하중 하에서 각기 다른 섬유체적비에 따른 단층계면과 다층계면영역에서의 소성변형의 변화를 나타내고 있다. 각각의 소성변형에 대한 최대 값은 단층계면 모델이 다층계면모델 보다 대략 2.5배에서 3배정도 큰 값을 나타내었으며, 대략 45°부근에 위치하였다.

Fig. 7은 동일 섬유체적비에 대해서 각기 다른 하중 수준에 따른 단층계면과 다층계면영역에서의 소성변형의 변화를 나타내고 있다. 동일 하중(2GPa) 하에서 최대 소성변형은 각각 3.09와 1.02로 단층계면모델이 다층계면모델 보다 약 3배정도 큰 값을 나타내었으며 두 모델 모두 최대 값은 대략 45°부근에서 나타났다.

4. 결 론

본 논문에서는 횡하중을 받는 단층계면과 다층계면모델의 MMC에 대하여 섬유체적비를 변화시켜 탄소성 유한요소해석을 수행하였다.

그 결과 단층계면모델의 경우 x축과 y축에서의 von Mises 등가응력은 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. 기지 영역에서는 다층계면의 도입으로 인한 von Mises 등가응력치에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

계면영역에서의 von Mises 등가응력 및 소성변형의 변화는 단층계면모델의 경우 급격한 변화를 나타내는 반면에, 다층계면모델은 단층계면모델에 비해 완만한 변화를 나타내었다. 또한 각각의 최대 값은 두 가지 계면모델 모두 45°부근에서 나타났다.

섬유체적비를 5~60%로 각각 4가지로 변화시켜 해석한 결과 최대 von Mises 등가응력 및 소성변형은 동일 섬유체적비에서 단층계면모델이 다층계면모델 보다 대략 2.5에서 3배정도 큰 값을 나타내었다.

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, Vol. 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. Krishnamurthy, 1999, "Assessment of the fiber/matrix interface bond strength in SiC/Ti-6Al-4V composites", *Materials Science and Engineering A* 259, 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.