

복합재료의 개념 및 활용

민 병 권

복합재료란 두가지 이상의 형태와 조성이 서로 불용성의 물질이나 상이 존재하는 시스템으로 정의할 수 있다.¹ 복합재료에 대한 정의는 책이나 연구자에 따라 매우 광범위하게 포괄적으로 언급되어 왔기 때문에 많은 혼란을 초래하고 있다. 왜냐하면, 실제로 존재하는 자연계의 모든 물질들이 완전히 순수하게 존재하지 않고, 항상 일부의 불순물이나 이종의 물질이 존재하기 때문에, 너무 광범위하게 정의하면 자연계의 모든 물질이 복합재료라고 할 수 밖에 없다. 일례로서 금속물질을 든다면, 가장 순수한 형태의 금속이라 할지라도 어떤 의미에서는 복합재료라고 할 수 있는 것이다. 따라서, 복합재료에 대한 정의는 elemental level micro-structure level에 의한 것 보다는 macro-structure level에서 논의하는 것이 타당하다고 하겠다. 따라서, blending, alloy 등은 본고에서는 복합재료에서 제외하기로 한다.

상기한 바와 같이 macro-structure level에서의 복합재료만 살펴본다 할지라도, 그 예는 헤아릴 수 없을 만큼 많다. 이에 대한 것을 정리하고자 하는 노력은 Grayson등²에 의해 시도되었으나, 글자에는 각각의 특성에 따라 몇 개의 그룹으로 분류하여 정리하는 경향을 보이고 있다.

일반적으로는 기지재료의 종류에 따라 분류가

이루어지고 있는데, 본고에서도 기지재료의 종류에 따른 분류방법에 따르고자 한다. 우선 기지재료로서는 고분자물질, 금속물질 및 세라믹물질로 크게 대별할 수 있다. 각 기지재료에 따라 고분자 복합재료, 금속 복합재료 및 세라믹 복합재료라 할 수 있다. 앞에서 기술한 순서대로 내열성이 높고, 반면 응용도는 낮아지며, 제작공정은 어려워진다. 이 중에서 가장 활용도가 크고 제작이 용이한 것은 고분자 복합재료이다. 여기에서는 주로 고분자 복합재료에 대해서 살펴보기로 한다. 고분자 복합재료는 복합재료의 특성인 선택의 자유가 가장 크기 때문이다. 특히 여러가지 물질의 혼합 및 형태의 선택, 조성물의 분포 및 방향성 등의 많은 변수를 자유자재로 조절할 수 있어서, 매우 넓은 범위의 응용도를 가지는 제품을 성형할 수 있다. 이러한 고분자 복합재료는 그 충전물의 형태에 따라 크게 세가지로 대별된다. 그것은 충전복합재료(filled composite), 단섬유보강 복합재료(short fiber reinforced composite) 및 장섬유보강 복합재료로 나뉜다.³ 충전복합재료는 다시 particulate composite와 flake composite로 나뉘게 되는데, particulate composite에서는 이방성이 나타나지 않으나, flake composite부터는 L/D ratio의 차이가 커지게 되고, 두께가 얇아지므로, 이방성이 나타나게 된다. 이러한 이방성의 문

The Concept of Composite Material and It's Application

한국화학연구소 고분자4실(Byung K. Min, Polymer Lab. 4, Korea Research Institute of Chemical Technology., P. O. Box 9, Daedeogdanji : 300-600, Korea)

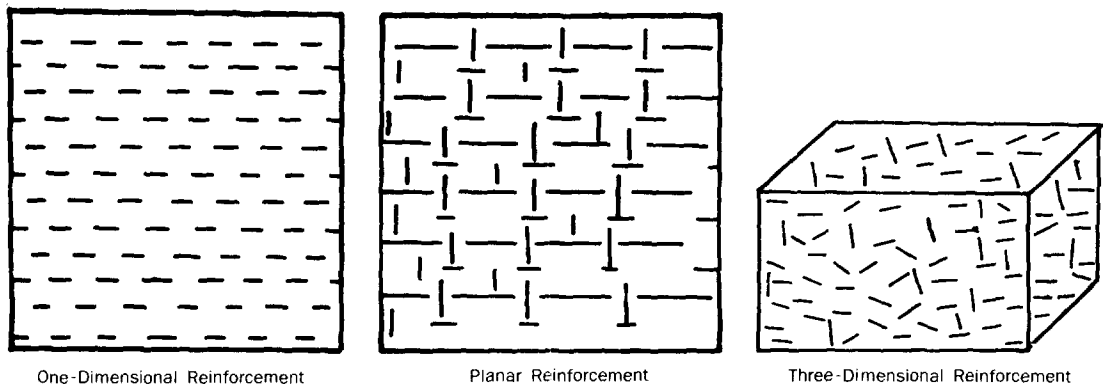


Fig. 1. Three types of orientation reinforcement.

제는 단섬유보강 복합재료의 경우에 더욱 뚜렷하여지고 복잡해져서, 1차원, 2차원 및 3차원적인 구조로서 표현하게 된다. 이에 대한 개념을 Fig. 1에 도시하였다.

앞에서 소개한 충전복합재료 및 단섬유보강 복합재료와 구별하기 위하여, 장섬유보강복합재료를 첨단복합재료 또는, **advanced composite materials (ACM)**로 칭하기도 한다. 이는 장섬유로 보강된 복합재료로써 각종 첨단장비 및 수송체계에 적용할 수 있는 많은 구조물의 제작이 가능하기 때문이다. 보강 장섬유의 구조도 그 용도에 지속적으로 발전을 거듭해 왔다. 첫째로는 보강섬유를 일렬로 배열하여 수지에 함침한 성형 중간제품인 **prepreg**를 제작하고 적층구조를 제작하여 사용하는 방법이고, 둘째로는 **knit** 형태로 직조된 **fabric**을 사용한 **prepreg**를 제작하여 성형하는 방법이고, 셋째로는 3차원적인 구조물의 **preform**을 제작하여 수지를 함침시켜 성형하는 **abraiding system** 등을 들 수 있다. 이에 대한 예를 Fig. 2에 도시하겠다.

이중에서 **unidirection(UD)** **prepreg**를 사용하여 성형하는 방법이 가장 많이 쓰이고, 다음으로 **fabric prepreg**를 사용하는 경우이고, **abraiding**에 의한 방법은 아직도 응용성에 많은 제한을 받고 있다. 특히 **UD prepreg**를 사용하여 제품을 성형하는

경우, 보강섬유의 배열방향에 따라 그 기계적 형태 및 파괴특성 등 각종 성질이 변하게 되므로, 오랫동안 이러한 현상과 보강섬유의 방향에 따른 이방성의 관계에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다.^{4~11} **Fabric prepreg**를 이용한 경우는 **UD prepreg**를 이용한 것과 매우 다른 양상을 보임으로써, 현재 연구가 진행되고 있으며, **abraiding**에 의해 생산된 제품의 평가는 이제 겨우 시작단계에 접어들었다고 하겠다.

또한, 보강섬유의 종류를 여러가지가 존재토록 하는 **hybrid composite**의 제작도¹³ 경제적인 측면과 물성증진의 측면에서 활발히 응용되고 있다. 이러한 첨단복합재료의 제조공정에는 지난 40여년간 여러가지 방법들이 도입되어 왔다. 그중에서 보편적으로 사용되는 방법으로는 **lay-up**를 한 다음 경화를 시키는 방법과 **vacuum-bag molding**, **pressure-bag molding**, **filament winding**, **centrifugal casting**, **continuous pultrusion**, **roll trusion**, **autoclave molding**, **closed molding**, **matched-die molding**, **resin transfer molding** 및 **abraiding and pultrusion** 등^{1,9,14~17} 많은 방법이 있다. 각각의 방법을 좀더 자세히 살펴보면 **lay-up**방법은 **hand-lay-up**이 주종을 이룬다. 따라서 매우 손이 많아지는 복잡한 형태의 제작이 가능하나, 많은 인건비가 요구된다. **Vacuum-bag molding** 및 **pressure-bag molding**

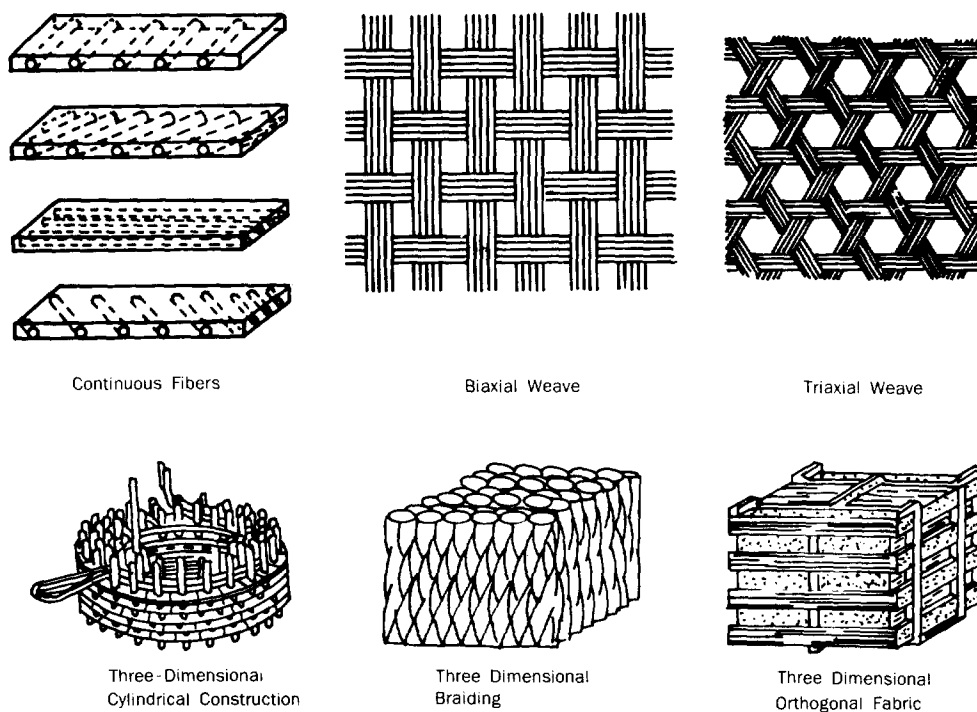


Fig. 2. Reinforcing systems for advanced composites.

은 매우 형태가 크고 상대적으로 덜 정교한 제품의 생산에 주로 사용되는 방법이다. Filament winding 방법은 길이가 매우 긴 rocket의 발사관이나 공장굴뚝 등의 생산에 적합하다. Filament winding 방법에 의해 제작된 제품의 구조는 일정한 한계를 가지게 되며, filament winding machine 장비는 고가인 경우가 많다. Centrifugal casting은 속이 빈 커다란 구조물의 제작에 주로 활용된다. Continuous pultrusion 방법은 cross-section이 일정하고, 보강섬유의 방향이 pultrusion 방향과 일치하는 데에 주로 사용되나, 근자에는 variable cross-section을 가지는 제품의 생산에도 성공적으로 활용되고 있다. 그러나, 보강섬유의 방향의 고정에 따른 문제는 아직 해결되지 않고 있다. Rolltrusion은 pultrusion의 발전된 형태로써 쉽게 variable cross-section의 제품을 만들 수 있는 장점이 있다. Auto clave molding은 가장비싼 성형방법에 속하나, 그 반면 가장 우수한 물성을

가지는 제품을 성형할 수 있다. 또한, auto clave molding은 고가이면서 아주 복잡한 형태를 가지는 고성능 제품의 생산에는 필수적인 장비다. Closed molding과 matched-die molding은 일반적인 compression molding 방법과 크게 다를바가 없으나, 보강섬유에 손상을 가하지 않는 설계로 변형된 점이 일반적인 system과 다른 점이다. Resin transfer molding은 미리 보강섬유로 preborin을 만들고, 그안에 resin을 밀어넣는 방법으로서, 아직은 개발이 진행중이라 할 수 있다. Abraiding and pultrusion 방법은 역시 pultrusion을 개량한 것이라 할 수 있는데, pultrusion의 고정적인 보강섬유의 방향을 자유로이 제어할 수 있다는데 큰 장점이 있어서, 앞으로 많은 발전을 가져올 것으로 여겨진다. 다음 Table 1에 참고로 1986년에 미국에 있어서의 성형방법에 따른 제품 생산량과 그 비율을 표시하였다. 역시 부피비로 따졌을 때는 커다란 구조물을 만드는 filament winding이 가장 앞섬을

Table 1. Estimate of Production by Fabrication Method.

	Volume, L.B.	Percentage
Autoclave molding	5,000,000	25
Compression molding	1,200,000	6
Filament winding layup	6,000,000	30
Manual	3,000,000	15
Machine-Assisted	1,000,000	5
Other : Thermal Expansion proprietary		
Methods, and so Forth	1,200,000	6
Pultrusions	400,000	2
Vacuum-bag molding	2,200,000	11

알 수 있으나, auto clamp molding 및 lay-up에 의한 생산량도 역시 매우 중요함을 알 수 있다.

고강도 복합재료용으로 쓰이는 보강섬유의 대표적인 예로써는 탄소섬유, 아라미드섬유 및 특수유리섬유인 s-glass등이 있는데, 근자에 이르러 실리콘 카바이드, 알루미늄 섬유등이 개발되어 점차로 실용화 되고있다. 다음 Table 2에 수요추이를 표시하였다.¹⁸

Table 2에서 보는 바와 같이, 점차로 탄소섬유가 주종을 차지하게 되는데, 이러한 경향은 탄소섬유의 가격이 더욱 감소하여 자동차 산업 및 건축용 소재로의 응용도가 팽창되면, 그 비율은 훨씬 커질 것으로 추정되고 있다. 그렇게 되면 s-glass의 응용도도 일부 감소하게 될 것이다. 상기한 보강섬유를 둘러싸서 매트릭스를 형성하여 고강도 복합재료를 형성하는 기지재료의 수요추이를 살펴보면 다음 Table 3과 같다.

Table 3에서 보는바와 같이 현재는 에폭시 수지 및 열경화성 수지가 주종을 이루고 있고, 앞으로도 계속 주도적인 위치를 차지할 것으로 보여지고 있다. 열가소성 수지 및 기타수지는 프로세싱 상에 많은 문제점을 내포하고 있고, 응용 및 설계에 필요한 데이터의 축적이 미흡함으로 실제 응용에는 많은 연구 개발과정이 필수적이다.

이러한 보강섬유 및 기지재료를 사용하여 만들어지는 제품의 수는 이루 헤아릴 수 없이 많이

Table 2. 강화섬유의 수요산출

년도	1984	1990	1995	2000
탄소섬유	1,770(30)	5,310(35)	10,705(35)	21,455(40)
아라미드	1,630(27)	4,810(32)	8,440(28)	14,880(28)
S-glass	2,540(43)	4,990(33)	8,890(29)	13,065(24)
기타섬유(개발중)	—	—	2,210(7)	4,540(8)
합 계	5,940	15,110	30,305	53,940

Table 3. 기지 재료의 수요산출

(단위 : 천톤)

년도	1984	1990	1995
수 지			
에폭시	3,175(80)	7,167(70)	11,068(55)
기타 열경화성	454(12)	998(10)	1,996(10)
열가소성	318(8)	1,542(15)	4,990(25)
열가소성-열경화성 복합체	—	363(3.5)	998(5)
배향고분자 수지	—	181(1.5)	998(5)
합 계	3,947	10,251	20,050

개발되어 있으나, 실제로 응용되는 수는 그 가격 등 여러가지 여건에 의하여 매우 제한되어 있는 실정이다. 예를들면 거의 완전히 복합재료화한 비행기, 자동차, 헬리콥터 등이 제작된바 있으나, 안정성 및 사회적 여건에 의하여 대형 비행기나 일반적인 자동차 등에는 아직도 응용도가 제한되어 있는 실정이다. 이에대한 가장 큰 이유는 보강섬유의 가격 및 기지재료의 가격이 비교적 높고, 또한 안정성에 관계된 문제는 충분한 시간이 지나야 하기 때문이다. 보강섬유 중에서 대표적으로 많이 쓰이는 PAN계 탄소섬유의 수요량을 살펴보면, 응용도에 대한 추이를 알 수 있다. 따라서, Table 4에 이에 대한 결과를 요약하였다.¹⁹

일반적으로 탄소섬유는 매우 brittle하기 때문에 내충격성등에 약하고, 유리섬유는 비중이 무거운 단점을 가지나 충격흡수성을 증대시킨다. 아라미드 섬유는 비중이 가볍고 충격흡수성이 크나 점착성이 뒤떨어진다. 따라서, 이러한 보강섬유들을 혼합한 구조물은 매우 뛰어난 물성을 가지게 된다.^{25,26} 그러나, 실제 응용에 있어서는 파괴특성등이 완벽히 규명되지 않고 있어서 주로

Table 4. PAN계 탄소섬유의 수요와 용도
(1986년도 : 단위 : 톤)

지역 용도	한 국	미 국	일 본	구라과	극 동	계
스포츠용품	150 (100%)	540 (30%)	560 (80%)	210 (30%)	450 (100%)	1,910 (50%)
항공분야	—	1,080 (60%)	35 (5%)	350 (50%)		1,465 (40%)
기 타	—	180 (10%)	105 (15%)	140 (20%)		425 (10%)
계	150	1,800	700	700	450	3,800

Table 5. 탄소섬유의 특징과 용도

특징	용도
강도, 탄성률	우주항공용 구조재, 스포츠용품
치수안정성	우주기기, 전파 망원경, 정밀기기, 제도기기
내피로성	방직기기
전동감쇄성	유항기기
내식성	패킹류, 파이프류
전기적특성	각종전극재료, 전자파차폐재, 정전기방지재
생체적합성	인공관재, 인대
X선투과성	X-ray 기기
기 타	활성탄소섬유

스포츠 용구등에 머무르고 있다.

일반적으로 고분자 복합재료는 구조재 및 전자재료의 경우에서 보는바와 같이, 단독으로 쓰이는 경우보다는 금속재료나 세라믹재료등과 더불어 사용되는 경우가 많으며, 앞으로는 금속 복합재료 및 세라믹 복합재료와 함께 사용될 경향을 보이고 있다. 따라서, 이와같은 전해 특성이 다른 물질과의 접착등이 매우 긴요한 과제로 등장할 전망이다.^{1,14,16,27~35}

끝으로 앞으로의 고분자 복합재료의 응용추이로 보아 pressure molding, resin transfer molding, filament winding, thermoforming과 pultrusion processing에 의한 제품생산이 주종을 이룰 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. M. M. Schwartz, "Composite Materials

Handbook", p10, McGraw-Hill, New York, 1984.

2. R. H. Hutchinson, "Encyclopedia of Composite Materials and Components", ed. by M. Grayson, p367, John Wiley & Sons, New York, 1983.

3. J. I. Fisher, *Mater. Des. Eng.*, 96(Oct. 1964).

4. J. E. Ashton, J. C. Halpin, and P. H. Petit, "Primer on Composite Materials", p3, Technomic Publishing, New York, 1969.

5. R. M. Jones, "Mechanics of Composite Material", p7, McGraw-Hill, New York, 1975.

6. S. W. Tsai and H. T. Hahn, "Introduction to Composite Materials", p7, Technomic Publishing, New York, 1980.

7. J. R. Vinson and T. W. Chou, "Composite Materials and Their Use in Structures", p35, Applied Science Publisher, London, 1975.

8. P. K. Mallick, "Fiber- Reinforced Composites", p6, Marcel Dekker, New York, 1988.

9. N. L. Hancox, "Handbook of Composites", ed. by A. Kelly and Y. N. Rabotnov, Vol. 3, p3, North-Holland, Amsterdam, 1983.

10. J. G. Morley, "High-Performance Fibre Composites", p1, Academic Press, London, 1987.

11. S. W. Tsai, "Composite Design 1986", p1-1, Think Composites, Payton, 1986.

12. A. A. Berlin, S. A. Volfson, N. S. Enikolopion, and S. S. Negmatov, "Principles of Polymer Composites", p3, Springer-Verlag, Berlin, 1986.

13. N. L. Hancox, "Fibre Composite Hybrid Materials", ed. by N. L. Hancox, p3, Applied Science Publisher, London, 1981.

14. D. V. Rosato, "Handbook of Composites", ed. by G. Lubin, p1, Van Nostrand Reinhold, New York, 1982.

15. W. B. Goldsworthy, "Advanced Thermoset

- Composites", ed. by J. M. Margolis, p38, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
16. 大藏明光, "複合材料", ed. by 堂山 昌男 and 山本良一, p1, 東京大學出版會, Tokyo, 1984.
17. 前田禎三, "Plastic 成形加工 Technics", ed. by 松岡信一, p 7, 日刊工業新聞社, Tokyo, 1988.
18. 日本能率協會總合研究所, "新素材市場", p1, 日本 Business Report, Tokyo, 1985.
19. 平松徹, *Plastics Age*, **34**, 115(1988).
20. J. B. Donnet and R. C. Bansal, "Carbon Fibers", p223, Marcel Dekker, New York, 1984.
21. A. R. Ford and E. Greenhalgh, "Modern Aspects of Graphite Technology", ed. by L. C. F., Blackman, p257, Academic Press, London, 1970.
22. B. J. Hayes, "Carbon Fibres and Their Composites", ed. by E. Fitzer, p143, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
23. S. Otani, K. Okuda and H. S. Matsuda, "Carbon Fibre", p263, Kindai Henshu, Tokyo, 1983.
24. 福原, 日本 纖維機械 學會誌, **39**, 19(1986).
25. D. W. Wilson and R. B. Pipes, "Composite Structures", ed. by I. H. Marshall, p34, Applied Science Publishers, London, 1981.
26. L. T. Drzal, "Epoxy Resins and Composites", ed. by K. Dus ek, Vol. 1, p1, Springer-Verlag, Berlin, 1986.
27. 中村孝一, "構造用接着劑", p302, CMC, Tokyo, 1984.
28. G. L. Schneberger, "Adhesives in Manufacturing", ed. by G. L. Schneberger, Marcel Dekker, New York, 1983.
29. A. H. Landrock, "Adhesives Technology Handbook", p31, Noyes Publications, Park Ridge, 1985.
30. 河田幸三, "複合材料と 界面", ed. by 久保輝一郎, 小石眞純 and 角田光雄, 總合技術出版, Tokyo, 1986.
31. L. M. Poveromo, "High Temperature Polymer Matrix Composites", ed. by T. T. Serafini, p336, Noyes Data Corp., Park Ridge, 1987.
32. L. T. Drzal and M. J. Rich, "Recent Advances in Composites", ed. by J. R. Vinson and M. Taya, p16, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1985.
33. W. M. Scardino, "Engineered Materials Handbook : Composites", ed. by T. J. Reinhart, Vol. 1, p689, ASM International, Metals Park, 1987.
34. D. F. Adams, "Composite Interfaces", ed. by H. Ishida and J. L. Koenig, p351, North-Holland, Amsterdam, 1986.
35. S. Ochiai and K. Osamura, "Interfaces in Polymer, Ceramic, and Metal Matrix Composites", ed. by H. Ishida, p413, Elsevier, New York, 1988.