복합재료공학교육

Composite Materials Education

윤 병 일*

서 론

현대 복합재료(composite materials)의 출현은 1950년대에 유리섬유(Glass fiber)로 로케트 모타케이스 제작을 위한 필라멘트 와인딩 (filament winding) 기술의 개발로 부터 시작되었다. 이후 1960년대에 소위 선진섬유 (advanced fiber)라 불리우는 보론(boron)과 탄소(carbon) 섬유, 그리고 1970년대에 Kevlar (Du Pont의 상품명)라 하는 아라미드섬유의 개발로 이들 섬유강화재 (fiber reinforcement)를 이용한 복합재료의 이용은 급격한 신장을 이룩하였다.

복합재료는 재래식 금속재료에 비하여 우수한 비강도(specific strength), 비강성(specific stiffness)의 특성으로 뚜렷한 중량 감소와 더불어 가격절감을 이룩할 수 있음을 보여주고 있다.

이와같은 특성 때문에 미국에서는 미항공우주국(NASA)과 국방성을 중심으로 항공, 우주등의 분야에 경량화와 고성능화를 목적으로 1975년 이후 1985년까지 목적개발 연구비로 약 4천억원 이상을 투자하였고, 일본은 복합재료 연구개발의 기본을 차세대 산업기반기술연구개발에 의한 경량, 고강도, 고강성 구조재의 실현으로 항공우주, 자동차 및 에너지기기등의 개발을 목적으로 하고 있다. 또한 영국, 불란서, 독일 등은 고부가 가치의 고성능 재료개발, 전 산업분야에 복합재료 도입으로 특정 항공기의 복합재료화등의 목적개발연구로 부터 기반기술 연구개발이 정부, 대학, 연구소 및 기업체 공동으로 추진되고 있다.

최근에 보고된 에너지 절약 연구결과에 의하면 불란서의 La Societé Aérospatiale사는 하중의 50% 경량화로 100km 주행시의 연료소비량이 평균 2.26ℓ (90km/h)인 획기적인 자동차를 개발하였다고 한다. 석유를 전량 수입하고 있는 우리나라로서는 대단히 관심있는 일이 아닐 수 없다. 이와같은 자동차가 우리나라에서 실용화된다면 약 7천억원/년(백만대 기준) 이상의 엄청난 외화를 절감할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

그러므로 복합재료의 중요성은 더이상 언급할 필요가 없다. 그러면 우리나라의 복합재료 현황은 어떠한가?

1960년대 중반에 glass-phenolic 낚싯대 생산을 시작으로 오늘날에는 유리섬유의 완전 국산화와 함께 탄소섬유를 사용한 스포츠용품도 생산하고 있으며, 최근에는 앞서 언급한 선진섬유의 개발을 몇몇 기업체에서 서두르고 있다.

이와같이 기업체와 일부 연구소에서 복합재료분야에 관심을 갖고 고부가 가치의 복합소재 개발 및 복합재 제품개발 계획을 갖고 있으나 무엇보다도 큰 문제는 복합재료공학을 대학과정에서 교육받지 못했기 때문에 현재의 엔지니어들은 이분야에 대한 기초지식이 없다는 것이다. 선진국에서는 10여년전 부터 대학과 대학원 과

*국방과학연구소(Byung Il Yoon, Agency for Defence Development, P. O. Box 35, Daejeon, Chung Nam, Korea)

정에 복합재료 강좌를 개설하여 엔지니어와 고급인력을 양성하고 있는데 우리도 이와같은 교육이 대학에서 이루어져야 하겠다.

따라서 여기서는 대학에서의 복합재료 교육을 대학, 대학원 과정으로 나누어 이의 교육 구성과 내용을 소개하고 끝으로 우리나라 대학의 교육현황과 앞으로의 방향을 고찰하고자 한다.

대학교육

복합재료공학 교육의 구성 대학교육은 앞으로 복합재료의 광범위한 도입과 이용에 대처할 수 있는 수준이라 할 수 있다. 대부분의 학생들은 해석도구 (analysis tool)를 사용하지 않는다면 적어도 복합재료의 장점을 알고 싶어하고 친숙해질 수 있다. 대학을 졸업한 후에 이들이 현장의 엔지니어로서 설계를 하고자 할때 재래식 금속대체 재료로 복합재료를 생각할 것이다.

그러나 대학과정의 학생들이 어떻게 복합재료를 교육받아야 하는지에는 통일성은 없으며 다만 대학의 특성에 따라서 구성되고 있다.

일반적으로 복합재료교육의 기본구성은 Fig 1과 같다.

- Observation of material behavior
- Modeling material behavior
- Analysis of structures
- Design of composites
- Fabrication of composite structures

Fig. 1. Elements of composite material education.

첫번째 필수단계는 복합재료의 특성과 거동에 대한 관찰로서 이는 고분자복합재료는 섬유와 고분자 매트릭스로 이루어져 있어 구성체의 종류, 비율과 층 (ply)의 방향에 따라서 재료의 거동과 응력-변형 특성을 시험해야 하는 것이다.

다음은 관찰된 재료거동을 모델링 하는 것이다. 일반적으로 선탄성직교재료(linear elastic orthotropic material)의 단순한 모델은 대학과정에서 쉽게 공부할 수 있는 주제가 될 것이다. 그러나 비선형 (nonlinearity) 또는 점탄성거동 (viscoelastic behavior) 등의 보다 복잡한 모델들은 대학원과정에서 다루는 것이 좋을지 모른다.

구조해석은 이 또한 필수과정이라 할 수 있는데 학과에 따라서 대부분은 재료과학 혹은 재료역학을 3, 4학년에서 다루고 있고 또 어떤 학과에서는 고급재료역학도 강의하고 있으므로 전자의 학생들은 복합적층판(composite laminate plate)의 해석에 큰 어려움이 없을 것이며, 후자의 학생들은 적층빔 (laminated beam) 혹은 shell의 해석도 다룰수 있다고 본다.

이를 위하여 가장 효과적인 방법은 복합재료를 다룰수 있는 기계, 항공, 금속, 재료, 고분자, 섬유, 화공 등의 학과에서는 기존의 정규과정을 개정하는 것이다.

복합재 설계에 관한 주제는 구조해석 보다도 어려운 일이다. 이 과정은 대학 교육에서 완전히 소화되거나 이해될 수 없으므로 이는 대학원 또는 졸업후에 교육되어야 할 것이다.

끝으로 복합재 제작은 학생들에게 가장 이해하기 쉬운 과정이다. 즉 어떤 제작 공정에 대해서 공정만을 관찰한다면 해석 (analysis) 같은 특별한 지식을 필요로 하지 않기 때문이다. 그러나 특수 성능을 목적으로 하는 구조물 제작에는 설계시와 같이 해석과정을 요구한다. 이와 같이 어떤 제작개념은 대학 수준에서 소개될 수 있으나 대부분은 대학원이나 그 이후로 미루어져야 한다. 아마도 제작과정을 교육시키는데에 가장 중요한 것은 다음에 언급하는 바와 같이 제작설비를 갖추는 것이다.

교육시설 앞서 언급한 복합재료 주제들을 교육시키는데에는 몇가지 시설들이 요구된다. 이는 순수한 이론이나 교과서만을 통한 교육방법은 균형있고 잘 정립된 방법이 아니기 때문이다. 측정, 실험 및 제작등은 스케치나 사진을 통하여 어느정도 설명될 수 있지만 실험과정을 관찰하거나 혹은 자신이 직접 실험을 수행하는 실질적인 경험이 없이는 복합재료에 대한 진실한 이해를 하기는 어려울 것이다.

그러면 복합재료교육에 필요한 시설들을 간단히 요약하면 먼저 대부분의 실험실에서 볼수있는 유압시험기 (hydraulic testing machine)가 재료의 특성시험에 이용된다.

복합재료의 가장 기본적인 장비는 유압시험기(hydraulic testing machine)로서 이로부터 복합재의 재료특성 및 설계자료 등을 얻을 수 있다. 그러나 여기에서 특수시험기구들, 예를들어 전단시험에 필요한 rail shear rig, 압축시험용기구, 필라멘트 와인딩시편 시험을 위한 NOL (naval ordance laboratory ring)등이 요구된다. epoxy를 매트릭스로한 판상형 복합재 제작에는 진공 또는 압력을 이용한 프레스, 더 나아가서 오토클레이브(autoclave) 같은 시설들이, 보다 고도화된 제작경비에는 필라멘트 와인딩, 압축성형기 이외에 tape laying, pultruder 등이 요구된다.

끝으로 각종 computer가 실험 데이타 처리 및 해석에 필요시되며 기타 섬유와 매트릭스의 시험에는 학과에 따라서 기존 시설들을 이용할 수 있다.

이상의 복합재료교육이 구미의 대학과정에 정규과목으로 개설되어 있다. 이들 대학은 일반적으로 3, 4 학년에서 복합재료를 배우고 있으며 대부분의 실험프로젝트는 연구소와 기업체의 후원으로 이루어지고 있다. 예를들어 Georgia 공과대학에서는 "Fundamentals of Fiber Reinforced Composites" 강좌가 재료, 기계, 토목, 항공, 섬유공학과의 공동지원으로 추진되고 있으며, 또한 O. C. F. (Owens-Corning Fiberglass)사의 지원이 뒤따르고 있다. 교육내용은 설계는 물론 제작공정 및 시편제작 등이 포함되어 있다. Delaware, VPI 및 RPI 대학들은 관련학과와 공동으로 NASA와 AFSOR (Air Force Office of Scientific Research) 이 후원하는 CAPGLIDE (composite aircraft program glider) 프로젝트가 4학년의 실험강좌로 되어 있다. 특히 Delaware 대학에는 "Experimental Mechanics of Composite Materials" 와 "Composite Materials" 강좌가 3, 4 학년 과정에서 이루어지고 있다.

대학원교육

복합재료의 대학원교육은 Fig. 1에 나타낸 기본 교육구성을 포함함은 물론 다음과 같은 교육내용이 추가되어 보다 높은 수준의 교육이 이루어지는 것이다.

- Processing technology
- Durability
- Nondestructive evaluation

복합재료의 대학원교육은 크게 세단계로 구성되고 있다: Coursework, Design project 및 Research project.

먼저 설계프로젝트는 박사과정에서보다는 석사과정에서 이루어지고있는데 이것은 아마도 박사과정에서는 해석이나 실험적인면에서 발생하는 제한된 문제들에 집중되기때문이다. 그래서 상기 세단계중 연구프로젝트는 전통적으로 박사과정 프로그램에 중요한 부분을 차지하고 있으나 대체로 이들 세과정은 복합적으로 교육되고 있다.

다음에 구미 주요대학의 복합재료교육의 주요 프로그램을 살펴보고자한다.

VPI (Virgina Polytechnic Institute and State University) 대학 이 대학은 지난 14년동안 NASA의 강력한 후원으로 복합재료의 연구와 교육면에서 실질적인 성장을 이룩하였는데 VPI대학의 두가지 주된 목적은 첫째 대학원생들을 연구, 개발, 설계 혹은 교수 (teaching) 면에서 경력을 쌓도록 교육시키는 것이고, 둘째는 현재의 흥미있는 문제들에 대해서 연구를 이끌어가는것으로 복합재료의 기본특성 또는 구조물의 응용을 포함한다.

VPI는 복합재료에 다음과같은 5가지의 장기 교육과정으로 구성되어있다:

1) Mechanics of Composite Materials
2) Stress Analysis of Composites
3) Mechanics of Composite Structures

4) Modern Composite Materials

5) Failure in Composite Materials

(1)~(4)의 과정은 재료나 구조역학을 다루는 석사과정의 프로그램이며 마지막 과정은 박사과정에서 요구되는것으로 학생에 따라 박사과정에서도 전과정을 다루기도 한다.

Delaware 대학 이 대학은 복합재료센터를 중심으로 활발한 프로그램을 갖고 있으며 연구 활동은 정부기관을 비롯하여 O.C.F.,DuPont, Ford, G.M.등의 12개 기업체에 의해 지원되고 있다. 이 대학의 정규과정은 다음과같이 구성되어 있다:

MAE 410 "Experimental Mechanics for Composite Materials"

MAE 617 "Composite Materials"

MAE 817 "Composite Materials"

또한 실험 및 제작시설은 다음과 같으며 여기에 기계, 항공, 화학공학과의 일반적인 시설이 추가된다:

- ○ Ultrasonic Nondestructive Evaluation
- ○ Tension-Torsion Fatigue System
- ○ Injection Molding Machine
- ○ High Strain Rate System
- ○ Autoclave
- ○ Extruder

이외에도 RPI대학을 비롯하여 20여개 대학에서 복합재료 교육 프로그램이 정규과정 또는 비정규 과정으로 강의되고 있다.

U.T.C (Université de Technologie de Compiégne) 대학 구라파에는 영국의 Bath, Imperial, Cranfield Institute of Technology대학과 불란서의 U.T.C.와 Ecole des Mines de Paris 등에서 복합재료교육이 활발히 진행되고 있는데 여기서는 U.T.C.의 대학원교육을 소개한다.

복합재료교육은 기계공학과내에 설계와 구조해석, mechanical fracture를 다루는 고분자 및 복합재료과로 나누어져있는데 후자의 교육내용은 다음과같다. :

- ○ Fracture of Fiber Reinforced Thermoplastics
- ○ Fracture and Damage of Composite Materials
- ○ Mechanical Characterization of Composite Structures
- ○ Microscopic Observation of Composite Materials and Their Constituents

첫번째 연구는 brittle 및 ductile fracture, 피로, 충격, 환경하에서의 crack에 대한 파괴 및 열가소성 복합재의 거동에 관한것이다. 둘째는 복합재의 파괴기구와 기계적거동, 응력집중 지역에서의 파괴와 damage, 굴곡과 피로에 의한 delamination연구이며, 세째는 glass/epoxy 및 hybrid (glass-carbon) tube에 대한 기계적 특성 연구로 여기에는 acoustic emission, ultrasonic 및 X-ray등의 damage 추적을 위한 비파괴시험이 사용된다.

이 대학도 또한 미국과 같이 정부의 연구기관과 기업체 특히 구라파의 주요 5개 자동차회사가 연구비를 공동투자하여 대학원생들의 연구활동을 지원해 주고 있다.

우리나라대학의 복합재료교육 방향

우리나라 대학에서의 복합재료 교육은 한국과학원의 기계항공공학과에서 수년전부터 강의되고 있으며 최근에는 일부대학 또는 대학원과정에서 이를 다루고 있으나 앞서 언급한 구미대학에서와 같이 교육과정이나 연구활동에 있어서 체계적이고 활동적이지 못하다. 이는 무엇보다도 복합재료를 교육받은 전문인력의 부족에 기인한다고 볼 수 있다.

복합재료의 전문 엔지니어들을 교육시키기 위해서는 각 대학마다 관련 학과들의 공동프로그램을 세워야하며 여기에 적극적인 연구를 지원할 수 있는 기업체나 정부가 연구비를 투자해야한다. 최근에 국내에서도 이같은 복합재료 연구팀이 구성되었다고 한다.

인하대학의 기계, 항공, 금속, 고분자 및 섬유공학과가 대한항공의 지원하에 공동연구를 계

Table 1. Courses in Composites

	교 과 과 정	3학년	4학년	대학원
1	Introduction to Composite Materials	○	○	
2	Material Characterization	○	○	○
3	Interface and Rheology in Polymer Composite Materials		○	○
4	Mechanics of Composite Materials		○	○
5	Processing Technology			○
6	Design and Stress Analysis of Composites		○	○
7	Failure and Environment Effects in Composites			○
8	Experimental Characterization		○	○
9	Durability			○
10	Nondestructive Evaluation			○
11	Engineering Applications of Composites		○	○

획하고 있는 것이 한 예이다.

이상 대학에서의 복합재료교육 프로그램을 요약 하여보면 다음과 같으며 이는 우리나라 대학에서 기존 교과과정의 수정으로 복합재료 교육을 시킬 수 있을 것이다.

대학에서는 복합재료에 대한 인식과 이해를 돕기 위하여 복합재료의 특성, 이론 및 응용등을 소개하고 간단한 실험을 통하여 학생들에게 많은 관심과 흥미를 줄 수 있는 수준이면 충분할 것이다.

또한 교육내용은 학과에 따라서 적절하게 조정하여 강의될 수 있다. 대학원의 석·박사과정에서는 오늘날 복합재료 사용시에 발생하는 문제점들에 대한 연구과정으로서 복합재료교육에 참여하는 학과에서는 공동세미나를 통하여 상호간의 정보교환으로 문제점들을 해결할 수 있을 것이다.

오늘날 복합재료 교육을 위한 많은 교과서들이 다음에 열거하는 바와 같이 대학에서 사용되고 있으며 이 외에도 많은 전문서적들이 출판되어 있다:

○ R.M. Jones, 'Mechanics of Composite Materials', McGraw-Hill, New York, 1975.

○ S.W. Tsai, and H.T. Hahn, 'Introduction to Composite Materials', Technomic, Westport, Connecticut, 1980.

○ J.E. Ashton, J.C. Halpin, and P.M. Petit, 'Primer on Composite Materials: Analysis', Technomic, Westport, Connectiut, 1969.

○ B.D. Agarwal and L.J. Broutman, 'Analysis and Performance of Fiber Composites, Wiley', New York, 1980.

○ J.R. Vinson and T-W. Chou, 'Composite Materials and their use in Structures', Halsted Press(Wiley), New York, 1975.

○ R.M. Christensen, 'Mechanics of Composite Materials', Wiley, New York, 1979.

○ J.E. Ashton and J.M. Whitney, 'Theory of laminated Plates', Technomic, Westport, Connectiut, 1970.

○ L.E. Nielsen, 'Mechanical Properties of Polymers and Composites', Marcel Dekker, New York, 1974.

○ H. Derek, 'An Introduction to Composite Materials', Cambridge University Press, London, 1981.

복합재료에 대한 주요 학술잡지는 다음과 같다:

○ Polymer Composites

○ Fiber Science and Technology

○ SAMPE Journal

○ Journal of Composite Materials

○ Composites

○ Composite Structures

○ Composite Science and Technology
○ A. S. T. M.(Special technical publications)

결 론

최근에 우리나라에서도 대학, 연구소 및 기업체에서 복합재료에 대한 관심이 증대하였고 이에따라 복합소재의 개발과 함께 복합재 제품이 생산되고 있다. 또한 2천년대에 항공우주산업을 계획하고 있는 우리로서는 소재의 개발과 이의 응용개발 없이는 소기의 목적을 달성하기가 어려울 것이다.

따라서 우리도 복합재료 전문 엔지니어들의 양성이 필요하므로 이를 위해서는 대학교육과정에서 복합재료에 대한 교육이 절대적으로 필요하다 하겠다.

그러므로 여기서는 이미 10여년전부터 복합재료공학을 대학의 정규과목으로 다루고 있는 구미 선진국의 교육내용을 대학과 대학원으로 나누어 소개하였고 끝으로 우리나라 대학에서의 복합재료교육 방향을 검토하였다.

일반적으로 복합재료는 재래식재료와는 달리 그 자체가 의미하듯이 대학에서 어느 특정학과의 교육과정이 될 수 없으므로 기계, 항공, 재료, 섬유, 고분자, 화공등의 학과에서 공동으로 이루어져야하며 특히 활발한 연구활동을 위해서는 우리나라도 구미의 대학과 같이 정부기관이나 기업체에서 적극적으로 연구비를 투자해야 할 것이다. 끝으로 복합재료분야에 종사하거나 또는 관심있는 분들에게 도움이 되기를 바라고 여기에 복합재료 교육에 사용되는 교과서, 학술잡지와 제작시설들을 소개하였다.

참 고 문 헌

1. I. H. Marshall, 'Composite Structures', Applied Science Publ., London, 1981.
2. University/Industry Research Program, University of Delaware, 1984.
3. Presentation de la "Polyméres et Composites", Université de Technologie de Compiégne, 1984.
4. 윤병일, 7회 고분자하계대학(고분자 복합재료의 최근동향), 한국고분자학회, 1985.