

## 건설용 구조물에 대한 첨단복합재료 (Advanced Composite)의 응용현황

김 덕 현\*

지난 1월에는 University of California, Davis에서 "Design of Composite Material Structures for Civil Engineering Application"이란 제목으로 Seminar 특강을 하고, 3월에는 University of Illinois, Urbana-Champaign에서 "A Simple Method for Exact Analysis of Composite Laminated Structures for Civil Construction"이란 제목으로 Seminar 특강을 한다음 37차 SAMPE(Society for the Advancement of Material and Process Engineering) 국제회의에 참가해서 발표내용들 및 전시회를 검토하고 돌아왔다. 필자는 12월 동경에서의 SAMPE 국제회의에서 논문을 발표하고 귀국한바가 있어서 원래 참가할 계획이 없었으나 복합신재료의 건설 및 산업분야로의 응용이 크게 다루어질 예정이어서 무리하게 참가했는데 예상되는 평화시에 첨단 군사기술 및 재료를 대량 사용하는 건설로의 전용이 크게 다루어져서 과거 여러해동안 첨단재료의 民需用化를 혼자 주장해온 필자로서는 흐뭇한 느낌을 가질 수 있었다. 첨단재료의 연구경향을 검토하기 위해서 각 분과를 소개하면 다음과 같다.

Session 1A, Industrial, Transportation and Construction Markets for Advanced Composites

Session 1B, New Military and NASA Applications  
 Session 1C, Composite Space Structures  
 Session 1D, Sandwich Structures  
 Session 1E, Composite Tooling Processing

Panel "Future of Composites for Space System"

Session 2A, Advanced Epoxies I  
 Session 2B, Repair  
 Session 2C, Commercial Materials Applications  
 Session 3A, Metal Matrix Composites  
 Session 3B, Adhesives  
 Session 3C, Advanced Epoxies II  
 Session 3D, Ultra-High Temperature Composites  
 Session 3E, Failure Analysis  
 Session 4A, Testing of Composites I  
 Session 4B, Bismaldimides and Polyimides  
 Session 4C, Composite Design  
 Session 4D, Innovations in Composite Reinforcement  
 Session 4E, Nonautoclave Processed Composites  
 Session 5A, Testing of Composites II  
 Session 5B, Molecular Composites

\* Korea Composites

- Session 5C, Design and Manufacturing with Thermoplastics
- Session 5D, Automation in Manufacturing
- Session 6A, Emerging Technology for Development of Large Component Fabrication
- Session 6B, Design to Damage
- Session 6C, Thermoplastic Composites
- Session 6D, Design and Application of Composites
- Session 6E, Commercial /Industrial Applications of Composites
- Session 6F, Process Controls in Manufacturing

여기서 보는 바와 같이 산업, 교통(life line 포함), 건설로의 응용이 1A 분과에서 최우선 과제로 다루어졌으며 이것은 전체 산업계의 경향을 두드러지게 나타내는 것이라고 여겨진다.

지난 6월 23~25일에는 불란서 Lyon에서 “TEXTILE COMPOSITES IN BUILDING CONSTRUCTION”이란 회의가 개최되어 필자는 간단하면서 “정확한” 진동해석방법을 발표하고 “TEXTILE COMPOSITE BOUNDING, JOINTS”란 분과에서 座長역할을 하고 돌아왔다. 이 회의의 분과는

1. TEXTILE STRUCTURES
2. EXPERIMENTAL METHODS, COMPOSITE TEXTILE CHARACTERIZATION
3. TEXTILE COMPOSITE BOUNDING, JOINTS
4. DESIGN OF MEMBRANE STRUCTURES, CHARACTERIZATION OF SOFT COMPOSITE
5. TEXTILE ARCHITECTURE APPLICATIONS
6. CEMENT FIBERS COMPOSITES
7. GEOTEXTILES

등인데 필자는 2分科에서 발표하였다. 참가자는 100여명으로 모두 나름대로 전세계에서 모인 대표적인 전문가여서 필자가 사회보는 동안, 필자가 고의로 유도한 탓도 있겠지만, 전 分科내용에 대한 열띤 토의가 벌어졌다. 복합재료에 대한 정확한 이해나 장래 연구방향인식등이 부족한 발표자나 토론자가 많았는데 필자 나름대로 기본이론부터 다시 설명하고 산업계실태나 미래방향등에 대해 이야기해서 장차의 연구방향등에 대해서 의견의 일치도 보고해서 총회장이나 몇 원로교수들로부터 고맙다는 인사를 받았다.

지난 7月 30日에서 8月 2日사이에 中國 大連에서 小型電算機의 교육, 활용에 관한 국제회의가 있어서 필자는 복잡한 이론을 간략하게 정리해서 小型電算機를 효과적으로 응용할 수 있는 복합적 층판의 좌굴해석이론을 발표했다. 15개국에서 100여명이 참석했는데 Composite이론은 필자의 것 하나뿐이었고 회의 명칭대로 小型電算機를 사용하는 데 대한 이론은 없었다는 것이 약간의 흠이었다.

10월에 필자가 좌굴에 대한 간단하고 “정확한” 이론을 발표할 CANADA에서의 회의 이름은 “ADVANCED COMPOSITE MATERIALS IN BRIDGES AND STRUCTURES”이다. FRANCE와 CANADA의 두 회의명 자체가 건설을 의미함을 생각할 때 첨단 복합재료는 이미 우주항공이나 다른 공학분야의 전유물이 아님을 알 수 있다. 복합재료는 흔히 21세기의 건설재료라 불리우고 있다. 다른 공학분야에서는 이미 이의 사용이 극대화되어가고 있으나 많은 건설 기술자에게는 이 재료의 영구성, 신뢰성 및 가격에 대한 의문이 남아 있다. 섬유보강제는 수없이 많은 결합성과 변형성이 있어서 다양한 기능상의 요구조건을 충족시켜준다. 건설용 복합재료는 크게 세 분야로 나누어 질 수 있다. 즉, geotextile과 인장 건축물(tensile architecture), 구조요소용 “rigid” 복합재료 및 수없이 많은 섬유와 cement의 결합등이다. 특기할 것은 장점이랄 수 있는 복합재료용 소재나 제조공정의 다양성이 복합재료의 발전을 저해하고 있다는 사실이다.

섬유와 cement의 결합만해도 그렇다. 탄소단섬

유를 사용할 때 균질성을 가진 제품제작의 어려움도 있지만 값이 비싸다. 값이 싼 유리단섬유를 사용하면, cement의 화학작용에 의해서 분해작용이 일어나며 장기적으로 “degradation”이 발생된다. AR유리섬유도 단섬유로 되는 순간 피복철근과 같이 끝부분에서 부식이 진행된다.

MDF(Macro-Defect Free), MSC(Containing Micro-Silica), DSP(Densified with Small Particles)등 cement matrix의 발전은 크게 이루어졌다. 그러나, 작년(1991) 8월의 미국과학재단 주최의 EHM/BCS/ENG 연구비 수령자 workshop에서 미국 National Center for Earthquake Engineering Research 소장인 Shinozuka 교수의 발언대로<sup>11)</sup> 섬유보강 콘크리트에 대한 일련의 연구는 실패로 결론지어졌다. 훌륭한 섬유가 여러가지 있지만, 토목기술자들이 화학적 문제의 고려는 고사하고 제작방법에 대한 정확한 이해가 없었던 것이다. 섬유보강 콘크리트의 큰 결함은 혼합시 균질성 확보의 곤란으로 섬유가 콘크리트 mix 표면에 뜨거나, 바닥에 가라 앉는다는 사실이다. 몇년 전, 모 학회 학술 발표회에서 어느 대학의 교수는 탄소섬유 보강 콘크리트가 너무 가벼워서 불에 뜨더라고 자랑스럽게 발표했다. 그분의 직장에서의 위치등을 고려해서 질문은 안했으나 섬유나 cement비중이 모두 1보다 큰데 콘크리트 비중이 1보다 적다면 결국 氣泡가 발생했다는 뜻이고 composite에서 가장 큰 결함 중 하나가 氣泡 발생으로서, 복합재료의 비중 check가 중요한 시험 항목의 하나로서, 氣泡발생이 확인되면 그 역학적 강도를 신뢰할 수 없어 구조재로서 사용않는 것이 상식이나 그 분은 각종 강도 측정치를 발표했다. 작년의 모 학회 학술발표회에서는 어느 epoxy의 각종 강도를 세계 시장에서 판매되는 강도의 10배로 발표했다. 한가지가 아닌 여러가지 강도를 모두 100% 높게 발표했으니 誤字는 아닌 것 같고, epoxy의 formulation은 수없이 많고, 각 formulation별로 경화과정에 따라 각 강도가 달라지는데, 이 때 발표자들은 어떤 epoxy를 어떻게 경화 시켰는지 전혀 언급지 않았다. 필자가 수년전에 수억원을 투입하여 epoxy의 강도 향상을 모 대학에 의뢰한 일이 있다. 이 연구팀들은 인장강도를 18,000psi까지 올리는 데는 성공했으나, 취성에 대한 결과는 제시하지 못했다. epoxy는 matrix

에 불과하고 우리는 섬유가 합쳐진 composite의 강도에 관심이 있는 고로 epoxy의 인장강도보다는 긴 pot life, 낮은 viscosity, 짧은 curing time, 섬유間 및 층間 접착력 증가, 내열성, 충격 후 강도 및 기타 등에 더 관심이 있는 것이다. 결국 이 연구는 완전 실패라 단정하고 연구투자를 한 회사에 보상하는 뜻에서 직접 연구에 나서서 composite 전반에 대한 최종 보고서를 작성 제출한 일이 있다.

Composite에서 이론개발은 제작방법에 근거가 있는 것이어야 한다. 요즈음 적층 곡면 shell의 해석결과 발표가 가끔 눈에 띄는데 여기에 약간의 논평이 필요하다고 본다. 해석대상 구조체가 곡면의 일부일 때 적층을 이루도록 제작하는 것이 통상이다. 단면이 원형과 같은 closed 형태일 때 흔히 pultrusion이나 filament winding 방법을 사용하는데 전자의 경우 적층이론 적용이 곤란한 경우가 많다. 후자의 경우 단순한 적층이론 적용에는 많은 의문이 생기는 경우가 많다. 섬유 band間에 공간이 없게 채워지는 것도 어렵고 섬유는 일정 인장력을 받으면서 말아진다. 여기에 경화과정, 수축 등에 인한 변위가 일어난다. 또 각각의 섬유는 적층을 이루는 것이 아니라 약간의 인장력과 matrix에 의해 서로 접착되어 있는 것으로 해석하는 것이 정설로 대두된다. 이런 구조물의 해석은 제작과정의 물리·화학적 변화에 치중되어 왔고 실제 거의 모든 문제가 해결되어 program으로 보급되고 있다. 강섬유 보강 콘크리트는 제작시 영키거나 바닥에 가라 앉아서 균질성을 잃는다는 데 큰 문제가 있다. 섬유는 길수록 높은 강도를 주지만 제작은 더 어려워져서, 미국에서 이 분야 연구를 많이 한 사람의 하나인 서부에 있는 모 대학교수는 섬유가 짧을수록 강도가 높더라는 엉뚱한 결론을 낸 바가 있다.<sup>(1990)</sup> 강섬유 보강 콘크리트는 試片제작서부터 엉망이라는 사실을 명심해야 한다. Advanced composite에서 고분자 matrix를 사용할 때 RT M(Resin Transfer Molding)이란 제작방법을 많이 쓴다. 이와 비슷한 개념을 concrete에 도입한 것이 소위 SIFCON(Slurry Infiltrated Fiber Concrete)이란 것인데 이 경우도 섬유는 비과학적으로 손으로 뿌리는 것이 보통이다. 이것은 上記한 지난 6월의 불란서 회의(7)에서 정식으로 논의된 바 있다. 그러나 최근 두가지 돌파구가 생겼다. 이 모두가 advanced com-

posite에서 나온 개념인데 하나는 Fibrillated Fiber 이고 하나는 Steel Fiber Mat의 개발이다. 전자는 고분자 섬유를 특별히 제작하여 concrete mix內에서 3차원으로 골고루 퍼지게 하여 2차 응력용 보강재로 쓰일 수 있게 한다. 후자는 고분자 matrix를 사용할 때와 같이 long steel fiber를 mat로 만들고 RTM과 같이 SIFCON작업을 하는 것으로 성공적인 결과를 발표한 바 있다.<sup>(7)</sup>

고성능 FRC의 에너지 흡수 연결부에서의 접착력에 대한 이해를 돕고자, 이 제목에 대하여 장기간 연구한 모 교수가 自國의 과학재단에 제출한 추가연구비 신청서 심사를 의뢰받은 필자가 심사평으로 쓴 의견서의 일부를 아래 실는다.

Some comments are necessary, however, on their theoretical approach. When any kind of the fibers are added to the reinforced concrete, the matrix is still the cement paste. Both fibers and rebars are reinforcements, and the aggregates are fillers, This concept is very important to visualize the micromechanics correctly. Whether the fibers are added or not, the interface bond stress between the concrete mix and the rebar is exactly that of between the cured cement paste and the rebar. Thus far, there is no fiber which can improve such stress(strength) between cement matrix and steel bars. When the fibers are added, the interface bond between the fibers and the cured cement paste plays vital role. The “apparent”(over-all) bond stress has more than one component. When the rebar is pulled, the “pure” bond between the cured cement paste and the bar is transmitted to the concrete by means of shear. If the bar is deformed, larger amount of shear will be transferred contributing to increased “over-all” bond strength even though this increased shear is not from “pure” bond. Then, the fiber starts to work. It inhibits the crack formation and propagation of the cracks after they are formed, contributing to added “over-all” bond stress. In theory, the surface of the fiber can be

modified to control toughness(the ability to absorb the energy) and ductility, by means of controlling the bond stress between the fiber and the cement matrix. To conclude, the addition of fibers to the concrete will improve the capability of the joints. Detailed modeling of micromechanism is necessary for the development of correct theory.

과학적 및 공학적인 견지에서 볼 때, 복합재료 이론은 너무 어려워져서 보통 기술자의 능력으로는 해석이 불가능해진다. 복합재료는 재료 그 자체가 구조물로 취급되어야 하는 것이며 이러한 어려움들에도 불구하고 복합재료는 21세기의 재료로서 이미 널리 사용되기 시작했다. 제작 방법의 발전도 계속 진행되고 있고 일반 기술자를 위한 쉬운 이론의 개발과 구조개념의 개발은 필자에 의해서 여러해동안 진행되어 왔다<sup>(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)</sup>. 쉬운 이론의 개발은 최근에, 이번 Lyon회의의 공동의장인 Verchery 교수팀에 의해서도 시작되었다<sup>(8)</sup> 많은 학자들은 실험에 너무 집착한다. 과거 이론이 완전히 발달되지 않은 상태에서 항공기나 우주선을 제작하기 위해서는 TRIAL-AND-ERROR 과정을 거치면서 실험에 전적으로 의존해 왔다. 그러나 오늘날 수많은 소재의 물성이나 이들 소재들 중 둘 또는 그 이상이 결합할 때 제작방법에 따라 얻어지는 물성 및 역학적 특성은 정확히 파악되어 있고 실험치나 MICROMECHANICS에 의한 이론치가 “정확히”일치되고 있다. 일단 한쌍의 소재, 즉 보강재와 MATRIX의 구성비, 형태, 제작방식 등이 결정되면 그 LAMINA는 보강재 방향에 관계없이 최소의 강도를 갖는 TSAI에 의한 QUASI-ISOTROPIC-CONSTANT를 갖는다. 필자는 오래전부터 이 값을 예비설계에 사용할 것을 주장해 왔다. 이 값을 사용한 결과치에 비등방성의 영향을 교정계수로 적용시키면 처음 해석-설계단계에서 부터 정확한 답을 구할 수 있는 것이다. 필자의 일련의 연구는 건설용 구조에 충분한 수의 적층 ORIENTATION별로 이 계수를 구하거나 정확한 진동, 좌굴, 변위 등의 값을 구하는데 집중되어 있다. 실제로 충분한 수의 적층 ORIENTATION 등에 대해서 간단한 단일공식이 적용됨이

발견되었다. 첨단 복합재료, 즉 ADVANCED COMPOSITE MATERIAL 이란 단섬유 보강 등 수많은 복합재료중에서, 최적응력 해석결과에 따라 보강재가 “CONTROL”하에 최적방향으로 배치되는 것을 의미한다. 최대인장강도를 위한 최적 ORIENTATION은 한 방향으로 長 섬유가 배치된 소위 UNIDIRECTIONAL LAMINA이다. 문제는 이 층의 두께는 1/1000mm 정도여서 실제구조물, 특히 토목구조물을 위해서는 수많은 층이 또 각각 다른 방향으로 배치되어야 하고 강도(STRENGTH 또는 FAILURE)이론은 각층 및 전체적층(LAMINATE)에 적용되어야 한다는 데 있다. 건설용 주 구조재료 복합재료가 널리 이용되지 못한 주된 이유는 이러한 적층의 해석이 學部를 졸업하고 설계사무실에서 근무하는 일반 기술자들에게는 너무 어렵다는 데 원인이 있다고 판단한 필자는 이의 간단한 해석방법개발에 치중해 왔고, 많은 복합재료 원로교수, 연구가들의 공감을 받아왔다. 그러나 명심할 것은 인류는 정확한 설계이론이나 공식이 개발되기 훨씬 전부터 수많은 훌륭한 건물, 교량, 댐 등을 건설해 왔고 그 후에 발달된 이론들도 아직 미비하다는 사실이다.

이러한 사실은 91년 1월 미국 HOUSTON에서 전세계에서 50명의 전문가를 초청하여 개최된 “CONCRETE SHEAR IN EARTHQUAKE”란 회의에서 행한 본인의 토의 발언이 좋은 한 예가 된다고 보아 아래 그대로 실는다.<sup>(9)</sup>

Discussion No. 4-D.H.Kim, Korea:

I didn't know when I should speak, because I might say something other than this theme. Even though I have designed a few hundred structures, both buildings and bridges, and military structures, I think I am a kind of outsider for this concrete subject because, recently, I have been working on composite materials which are used mostly by aerospace people. But, just now, I heard two gentlemen say, and I thought I should give my opinion here. Sometimes the outsider's opinions are important for the recommendations purposes.

First of all, to me, concrete is a composite made up of both particulates and fibers. By fiber, including steel bars, I mean the length-to diameter aspect ratio of infinity, not only short ones.

When we analyze the composites in general, we do use the generalized coordinates, and both forces and displacements, rotational and linear, which means all six components for each. So, to me, analysis and design should always be in three dimensions. This means that the moment and the shear must be considered at the same time, so that analysis becomes much simpler.

Another thing is the word “ductility” of concrete which is quite new to us. There is, in concrete shear walls, a behavior which we may call “ductility”. Whatever matrix is used, a polymer, ceramic, metal or cement composite, when acted on by impact or vibration, micro-cracking starts and propagates. This micro-cracking absorbs the dynamic force. If the force is not completely absorbed by the crackings, then, there comes the pull-out and eventually cutting-off of the fibers, one after the other. These will absorb additional energies. This means that this structure becomes tough against the impact and cyclic loading. Toughness means the capability to absorb energy. If you see from outside of the structure, the external energy from earthquake is, at least partially, dissipated. This mechanism of energy absorption may be called “ductility”, and the concrete shear wall certainly has it. There are certain ways of formulating and characterizing this kind of absorption and dissipation.

This ductility may be increased by proper design.

The first method is to use reinforcements with as small diameters as practical and make the bond between the reinforcements and the matrix “weaker” or “flexible”. Some ceramic composites are reinforced by “weak” fibers and the interface is made weaker on purpose to increase toughness.

Another method is to increase the toughness of the matrix (cement mortar in this case) itself by adding other matrices like some polymers. In order to minimize the micro-cracking, we add some material which increases the toughness or try to alter the material properties. Toughness may be increased at the sacrifice of strength. However, the required strength can be obtained by adding proper reinforcements.

As an example, the standard specification for fiber reinforced thermosetting polymer pipes, ASTM D2992-A/B, requires cyclic loading of at least 150 million cycles and 100,000 hours of continuous loading, and if any single drop of water leaks, this structure is supposed to have failed. Any pipe which survives such test under certain pressure is rated as this pressure grade. Because, we believe, any structure, with whatever ductile material we used, will have micro-cracking, progressing to large cracking, we may apply the similar method used for composite pipes to the concrete walls. We solved such problem of pipes by adding either water-stopping layers, or some material to increase ductility, eventually increasing the fatigue strength. As an example, when a thermosetting polymer, such as epoxies, polyesters, some other noble matrices, is used, we add either some kind of thermoplastics or elastomers to increase the ductility at the sacrifice of tensile strength. We must trade off some properties to achieve our purposes. I think the same thing can be done with reinforced concrete.

To summarize, we can increase the ductility which we often call toughness of concrete walls by.

- 1) addition of short fibers. Fibers could be polymer, carbon, or steel.
  - 2) addition of additives, including polymers.
  - 3) addition of long fibers, which have length-to-diameter aspect ratio of infinity.
- for the third concept, proper processing

method must be studied. However, this method could be one of the schemes to have enhanced toughness and ductility when the structure is exposed to the dynamic forces, such as from earthquake.

In design and analysis, the reinforced concrete may be treated as fibrous composites. Then we may be able to establish the mechanisms of

- 1) Energy absorption by ductile matrix.
- 2) Fiber pull-out and cutting which will gradually absorb and dissipate the external force, such as earthquake.
- 3) Bond between the matrix (concrete) and particulate (aggregate) which will contribute to toughness.

There was a paper on analyzing the concrete wall with lamination theory. My opinion on this is that

- 1) It is an advanced concept treating the panel much closer to the reality.
- 2) It could be much better if the bending-stretching coupling action and the interlaminar stress concepts were discussed.

action and the interlaminar stress concepts were discussed.

My final recommendation is that we pay some attention to a kind of interdisciplinary cooperation. This may improve our progress further.

Discussion No. 5—D.H.Kim, Korea:

I would like to make some brief comments on what discussed in this session.

First, any panel, whether it is wall or a slab, it may be under in-plane shear, out-of-plane bending and shear, and any kind of boundary forces and displacements. So, instead of considering, we may treat the panel as a three-dimensional problem. Instead of handling it by either "truss model" or "arch model" which can yield only approximate in-plane stresses, we may approach the

problem by the laminate theory. Complete solution of the three-dimensional problem may be possible by the use of laminate theory.

The reinforcement (type, distribution, sizes, and orientation) plays important role for the panel strength. We may be able to design the optimum structure by utilizing laminate theory.

The problem of a panel with openings can be solved. There are many theories available.

In fact, any two-dimensional problems, including vibration and buckling problems, with any boundary conditions, including mixed boundaries, can be solved.

The problem is the panels in a building interact with the frame. The panel, a wall or slab, is with unknown boundary conditions which must be given by the enclosing frame. These boundary conditions of the walls or the slabs can be solved only if we can solve the whole structure, including the frames and panels which are interacting together. We may have to stress to put more effort to develop the method of analyzing such three-dimensional problems of whole structure. Even if we get such solution, the boundary condition of the panels will be a mixed one. Solving panel problems, including in-plane shear and out-of-plane bending, with boundary conditions of displacements and forces mixed, may turn out to be exciting to the engineers.

이 발언에 대해서, 이 회의에 참석한 사람들이 동의 표시했다. 즉, 우리가 흔히 사용하고 있는 콘크리트의 이론이 미완성임을 콘크리트공학 전문가들이 동의한 셈이다.

일반 건설구조물 해석의 정확도에 비해서 첨단 복합재료의 이론은 훨씬 정확하게 다루어지고 있다. 고강도 보강재 섬유는 강철의 그 값의 약 1/10에 불과하나 주요구조물에서 안전율 1.25를 사용한다. 이 사실은 이론이나 제작과정에서 거의 완벽한 자신이 있음을 의미한다. 다만, 상기한 바와 같이 이론이 일반 기술자에게 너무 어렵다는 것이 문제이지만 간단한 이론의 개발도 상당히 진행되고 있고, 제작기술

의 완벽성 등도 인정되고 있으므로 이제는 건설관계 기술자의 용기와 결단력만 남아있는 것이다.

기존 구조재료 사용시와 같이, 이론 및 제작, 건설 방법 등에 있어 개발되어야 할 내용들이 많음은 명심해야 한다.

실제 건설 구조물에 응용한 수많은 예들은 지면관계로 생략한다.

## REFERENCE

1. Kim, D.H., "A Method of Vibration Analysis of Irregularly Shaped Structural Elements", Proceedings of International Symposium on Engineering Problem in Creating Industrial Sites, Seoul, Korea, 1974.
2. Kim, D. H., Hwang, J.W., Chun, D.S., "A Simple Method of Vibration Analysis of Irregularly Shaped Composite Structural Elements", Proceedings of 1st Japan Int'l SAMPE Symposium (JISSE 1), Nov. 28-Dec. 1, 1989.
3. Kim, D. H., Hwang, J. W., Chun, D. S., "Vibration Analysis of Irregularly Shaped Composite Structural Members-For Higher Modes", Proceedings of 8th Structural Congress, American Society of Civil Engineers, Baltimore, MD, U.S.A., Apr.30-Mar. 3, 1990.
4. Kim, D. H., "Vibration Analysis of Irregularly Shaped Laminated Thick Composite Plates," Proceedings of ICCM 8, Honolulu, Hawaii, July, 1991.
5. Kim, D. H., Park, J. S., Kim, K. J., "Vibration Analysis of Irregularly Shaped Laminated Thick Composite Plates(II)", Proceedings of JISSE 2, Dec., 1991.
6. Kim, D. H., "The Influence of Anisotropy on Buckling Strength of Laminated Composite Structures for Civil Construction", Proc. of International Conference on Education Practice and Promotion of Computational Methods in Engineering Using Small Computers, July 30-Aug. 2, 1992, China.
7. Kim, D. H., "A Simple Method of Obtaining 'Exact' Values of the Natural Frequencies of

- Vibration for Some Composite Laminated Structures for Civil Construction", Proc. of the Second International Symposium on Textile Composites in Building Construction, June 23-25, 1992, Lyon, France.
8. Verchery, G. et al, "A Quantitative Study of the Influence of Anisotropy on Bending Deformation of Laminates", Proc, ICCM 8, July, 1991.
  9. HSU and MAU, EDITORS, Concrete Shear In Earthquake, Elsevier Applied Science, Jan., 1991.
  10. Kim, D. H., Park, J. S., Kim, K. J., Shim, D. S., "The Influence of Anisotropy on Buckling Strength of Laminated Composite Structures for Civil Construction", Proc. of Education Practice and Promotion of Computational Methods in Engineering Using Small Computers, July 30-- Aug. 2., Dalian, China.
  11. Wang, L.R.L., Editor, Proc. NSF EHM/BCS/ENG RESEARCH GRANTEE WORKSHOP, PHOENIX, AZ, Aug., 1991.