

論文

복합재 구조물의 설계를 위한 동시공학 시스템의 개발

김정석* · 김천곤** · 홍창선** · H. T. Hahn***

**Development of Concurrent Engineering System
for Design of Composite Structures**

J. S. Kim*, C. G. Kim**, C. S. Hong** and H. T. Hahn***

ABSTRACT

This paper explains the development of a concurrent engineering system for the design of composite structures. The concurrent engineering system is developed to meet the demand for the better quality products with lower production cost and time. In this study, to compose the architecture of concurrent engineering system, the commercial and noncommercial programs related to design and analysis of composite structures are surveyed and classified. The concurrent engineering system is including various design modules such as design/analysis of composite structures using CLPT and FEM, buckling and post buckling analysis, thermo-elastic analysis of carbon-carbon composite, and optimum design using expert system and genetic algorithm. For the integration and management of softwares, the concurrent engineering system is realized by Microsoft visual C++[®] that provide multi-tasking and graphic user interface environment.

초 록

본 연구에서는 복합재 구조물의 설계를 위한 동시공학 시스템을 개발하였다. 동시공학 시스템은 보다 짧은 제품 개발시간과 저렴한 생산비용으로 보다 우수한 품질을 갖는 제품생산을 위해 개발되었다. 본 연구에서는 동시공학 시스템의 개발을 위해 복합재 구조물의 설계와 해석에 관련된 다양한 상용 및 비 상용 소프트웨어들이 조사/수집되었다. 동시공학 시스템에는 고전적충판이론과 유한요소해석을 이용한 복합재 구조물의 설계 및 해석 모듈, 좌굴 및 좌굴후 거동해석 모듈, 탄소-탄소 복합재의 열탄성 거동해석 모듈 및 전문가 시스템과 유전자 알고리즘을 이용한 복합재 구조물의 최적설계 모듈로 구성되어 있다. 또한 동시공학시스템은 소프트웨어들의 통합 및 관리를 위해 다중작업 및 그래픽 사용자 인터페이스의 구성이 가능한 마이크로 소프트사의 비주얼 C++[®]에 의해 구현되었다.

* 한국과학기술원 항공우주공학과 대학원

** 정회원, 한국과학기술원 항공우주공학과

*** Professor, UCLA

1. 서론

최근 세계경제시장(global markets)의 발달로 전세계의 모든 기업(특히 제조회사)들은 자사 제품의 국제경쟁력을 향상시키기 위해 그들의 생산전략의 최적화에 노력하고 있다. 이런 국제경쟁력의 향상은 보다 짧은 제품개발시간(short lead time)과 저렴한 생산비용으로 보다 우수한 품질을 갖는 제품을 생산하는 것이다. 이런 요구를 충족시키기 위해서는 설계(design)와 제작과정(manufacturing process)에서 보다 진보된 생산 공학적 도구와 방법들이 필요하게 되었다. 이러한 개념하에서 등장한 것이 동시공학이다.

동시공학 시스템을 이용한 연구로 Jiang[1] 등은 화학공장의 생산공정과 관련된 활동들을 통합하고 시각화(visualization)하여 이에 근거한 의사결정(decision making)을 지원하는 그래픽기반 설계환경을 개발하였다. Cheng[2] 등은 플라즈마 스프레이 공정(plasma spray processing)의 동시공학적 관점에서의 설계를 위해 상호 작용적 정보 데이터 베이스를 개발하였다. Willison[3] 등은 동시공학적인 개념에 근거하여 복합재 구조물의 제작시간의 절감을 위해 설계단계에서 적층을 설계할 수 있는 CAD시스템에 대해서 언급하였다. Hahn[4] 등은 복합재 구조물의 설계 및 제작을 위한 동시공학 시스템을 위해서 복합재 구조물의 설계 및 제작과정을 구조적 해석기법인 IDEF0기법으로 모델링 하였다. 그 외에 국내에서는 선박설계 및 금형가공분야에서 동시공학적 개념을 이용한 설계 및 제작에 관한 연구가 수행되었다[5-8].

이상에서 알 수 있듯이 동시공학적 개념의 복합재 구조물 설계에 대한 적용은 다른 분야에 비해 미미하다. 따라서 본 연구에서는 복합재 구조물의 설계 및 해석의 각 단계를 효율적으로 통합함으로써 제품의 개발기간과 개발비용을 절감하기 위해 관련 소프트웨어들의 통합/관리가 쉽고 다중작업과 그래픽기반 사용자 인터페이스를 제공하는 Visual C++을 이용하여 복합재 동시공학 시스템을 개발하였다.

2. 동시공학의 정의

동시공학이란 제품생산에 소요되는 시간을 줄이고 품질을 향상시킴으로써 경쟁력을 증가시키는 것이다. 동시공학에서는 설계와 제작과정이 더 이상 직렬로 진

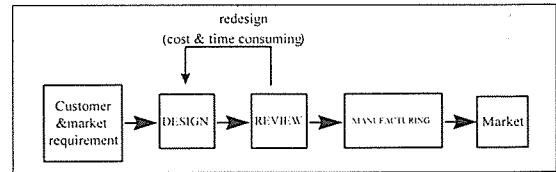


Fig. 1. Product development process with serial engineering

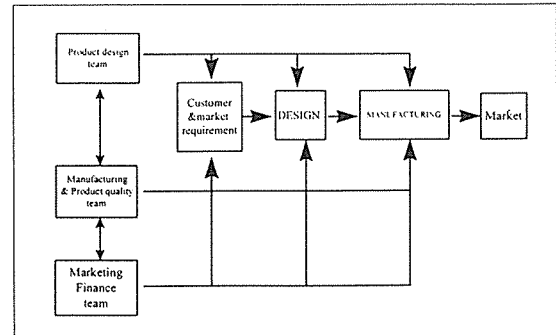


Fig. 2. Product development process with concurrent engineering

행되지 않고 병렬로 진행되는 것을 전제로 함과 동시에 그 두 과정간의 완벽한 네트워킹(networking)으로 원활한 상호교류 및 정보의 갱신이 이루어질 수 있는 시스템을 구현하는 것을 목표로 하는 개념이다. 동시공학과 상반되는 개념으로 과거뿐만 아니라 최근에도 많은 기업에서는 전통적인 시스템 공학적 방법인 직렬공학(serial engineering)을 많이 적용하고 있다.

이 직렬공학환경하에서는 설계가 가상적으로 완결될 때까지 제작, 시험, 품질관리에 관계한 팀에서는 그 설계과정을 볼 수 없다. 따라서 설계의 검증과정에서 제작상의 문제점, 시험상의 문제점, 제작시간이나 비용상의 문제점이 발생할 경우에는 재설계과정이 필요하게 된다. 재설계과정은 제품의 생산비용을 증가시켜 시장까지의 소요시간을 증가시켜 제품의 경쟁력을 상실하게 한다. 이런 개념에서 직렬공학을 흔히 “redo-until-right”라 부른다. 직렬공학의 대략적 흐름도는 Fig. 1과 같다.

동시공학 환경 하에서는 직렬공학 환경과는 달리 설계과정에서 제품의 제작성(manufacturability), 시험성(testability)과 제품의 품질(product quality) 등을 동시에 고려하고 설계상의 어떠한 변화에 대해 제작이나 시험팀이 초기에 그 변화를 파악할 수 있다. 따라서 동시공학 환경 하에서는 직렬공학 환경 하에서와는 달리 재설계과정을 거치지 않기 때문에 재설계과정에서

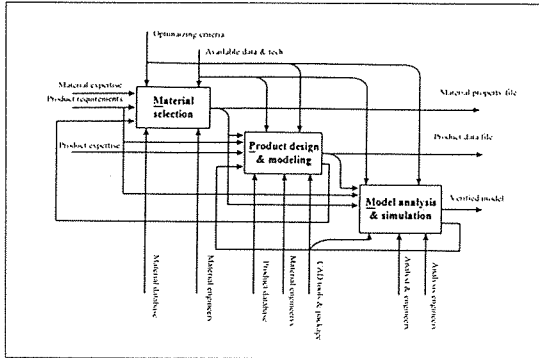


Fig. 3. Design of composite structures

소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있다. 그만큼 제품의 경쟁력이 증가하게 된다. 이런 이유에서 흔히 동시공학을 “right-the-first-time”이라 부른다. 동시공학의 대략적인 흐름도는 Fig. 2와 같다.

이런 동시공학의 개념을 도입하는 분야는 전자회로 기판제작과정, 금형가공과정, 항공기의 설계 등 무궁무진하다. 그러나 동시공학개념의 복합재 구조물의 설계나 제작과정에 대한 응용은 초보적인 단계에 있다.

2. 1 동시공학 시스템의 모델링

본 연구에서는 시스템 모델링 기법을 이용하여 동시공학 시스템의 복합재 구조물의 설계 및 해석 부분을 모델링 하였다. 일반적으로 복합재 구조물의 설계과정은 재료선택, 제품설계 및 모델링, 제품 모델링의 검증 및 모사의 연속적인 단계로 구성된다. Fig. 3은 이러한 일련의 과정을 통합한 선도이다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 재료선택 모듈에는 제품에 대한 요구조건과 재료전문가의 조언이 입력으로 들어가며 제한조건은 최적화 기준과 이용 가능한 데이터와 기술이다. 그리고 최종적으로 해석에 필요한 재료의 물성치 데이터를 포함한 물성치 파일이 생성되게 된다. 제품의 설계와 모델링모듈에는 제품의 요구조건과 설계 및 모델링 전문가의 조언이 입력으로 들어가며 제한조건은 설계비용, 최적화의 기준 및 이용 가능한 데이터와 기술이다. 제품의 설계와 모델링 모듈을 수행하기 위해서 필요한 메커니즘은 설계 데이터 베이스와 CAD프로그램 등이 있다. 따라서 최종적으로 해석에 필요한 제품의 모델과 설계 데이터파일이 생성된다. 이 모듈을 구축하기 위해서는 복합재 설계 관련 데이터 베이스 구축과 상용 소프트웨어의 삽입이 필요하다. 모델의 해석과 검증모듈에는 이전에 생성된 재료의 물성

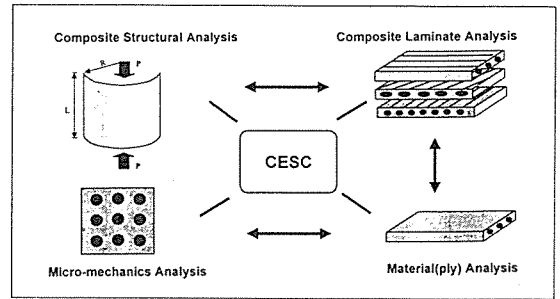


Fig. 4. Integration of several structural levels for design & analysis of composite structures

치 데이터를 포함한 물성치파일, 제품의 모델과 설계 데이터 파일이 요구된다. 이 모듈을 수행하기 위해서 필요한 메커니즘은 해석 데이터 베이스, CAD 프로그램 및 해석전문가 등이 있다. 따라서 최종적으로 검증된 제품의 모델이 생성된다.

이러한 동시공학 시스템의 모델링을 근거로 하여 본 연구에서 구축하고자 하는 복합재 구조물의 설계를 위한 동시공학 시스템은 Fig. 4와 같이 복합재료의 미시역학적인 해석, 단층의 해석, 적층판의 해석 및 복합재 구조물의 해석에 이르는 과정을 통합하는 것이다.

3. 비주얼 C++을 이용한 동시공학 시스템의 구현

본 연구에서는 복합재 구조물의 설계를 위한 동시공학 시스템을 윈도우즈 응용프로그램을 구현할 수 있는 언어인 비주얼 C++을 이용하여 구현하였다.

3. 1 동시공학 시스템의 구조

본 연구에서 개발한 동시공학 시스템은 재료선택모듈, 해석 및 설계모듈, 후처리 모듈 및 도움말로 구성되어 있다.

재료선택모듈(material selection module)에서는 재료선택, 적층각 선택 및 적층순서가 결정된다. 해석 및 설계모듈(analysis and design module)에서는 적층판의 응력해석, 좌굴 및 좌굴후 거동해석, 탄소-탄소 복합재의 열탄성 해석 및 파손해석 그리고 전문가 시스템을 이용한 적층판의 설계등이 수행가능하다. 이렇게 해석 및 설계모듈에서 수행된 결과들은 후처리 모듈(postprocessing module)을 통해서 시각화될 수 있다. 또한 본 연구에서 개발된 동시공학 시스템은 사용

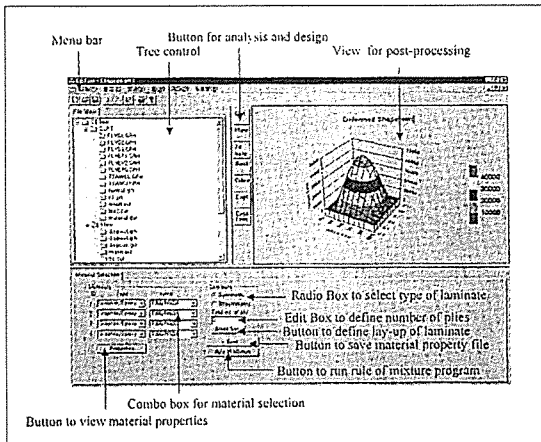


Fig. 5. Command button and dialog box in main menu of CESC

자의 편의를 위해 도움말(on-line help)기능을 보유하고 있다. 동시공학 시스템의 각 모듈간의 인터페이스는 데이터 파일과 그래픽 파일에 의해 이루어진다. Fig. 5는 본 연구에서 개발된 복합재의 동시공학 시스템(Concurrent Engineering System for Composites, CESC)의 주메뉴를 나타낸 것이다.

4. 복합재 구조물의 설계 및 해석모듈

4.1 윈도우 응용프로그램을 이용한 재료선택모듈의 구현

복합재 구조물의 해석이나 설계를 수행하기 위해서는 먼저 재료를 선택하고 적층순서 및 적층각을 결정해야 한다. 이러한 일련의 과정들은 Fig. 6과 같은 재료선택모듈에서 수행된다.

▶ 재료선택 : Fig. 6의 재료선택모듈에서 해석에 사용할 재료를 선택하기 위해서는 Material 그룹상자에서 재료의 name과 type을 선택해야 한다. 여기서 재료의 name은 섬유와 모재명을 의미하고 재료의 type은 섬유와 모재의 종류를 의미한다. 본 프로그램에서는 재료선택모듈에서 선택된 재료에 대해서 고유 ID가 부과된다. 본 프로그램에서는 현재 16가지 재료에 대한 물성이 저장되어 있고 재료의 목록은 Table 1과 같다. 본 시스템에서는 재료데이터 베이스에 저장된 재료 이외에 사용자에게 의한 새로운 재료의 입력이 가능하다. 재료데이터 베이스에 저장된 재료의 물성치(강도, 강성, 열팽창계수 및 두께)데이터는 Properties 버튼을

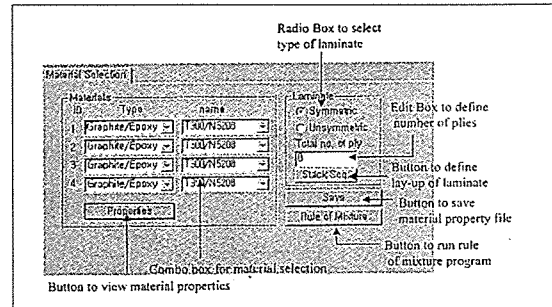


Fig. 6. Material selection property module

Table 1. Material list

Material types	Material names
Graphite/Epoxy	T300/N5208
	T300/934
	T300/F934(4mil)
	T300/F934(13mil)
	T300/F934(7mil)
	T800/9405
	CU-125(HFG)
	P3051(Torayca)
	AS/H3501
	AS1/3501-6
Glass/Epoxy	AS4/3502
	H-IM6/Epoxy
	AS4/PEEK
Glass/Epoxy	Glass/Epoxy
Kevlar/Epoxy	Kev49/Epoxy
Boron/Epoxy	B4/N5505

클릭하면 확인할 수 있다. 또한 미시역학적 관점에서 각 단층의 물성을 규명하기 위해 rule of mixture를 이용하였다. Rule of mixture를 이용해서 각 단층의 물성치를 얻기 위해서는 Fig. 6의 Rule of mixture 버튼을 클릭하면 된다.

▶ 층수 및 적층순서의 결정 : 적층판의 형태, 층수 및 적층순서의 결정은 Laminate 그룹상자에서 수행된다. 결정된 재료와 층수를 이용해서 적층순서를 정의하기 위해서는 Fig. 6에서 Stack Seq. 버튼을 클릭하면 새로운 다이얼로그 상자에서 각 층에 대해서 재료의 ID와 적층각을 입력하면 된다.

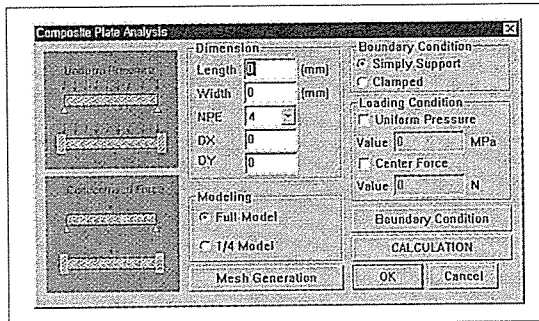


Fig. 9. Dialog box for analysis of composite plate using FEM

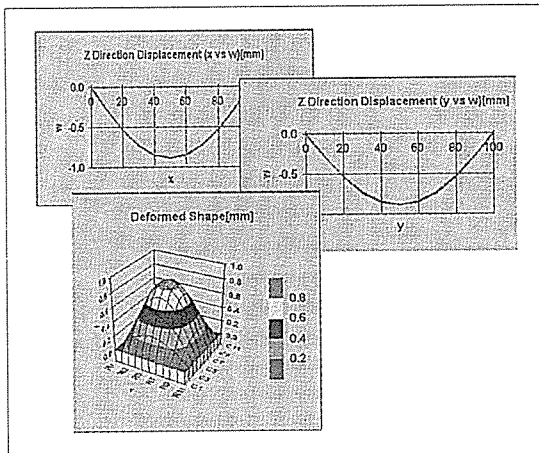


Fig. 10. Out-of-displacements and deformed shape

● 유한요소 생성 : 적층판의 형상결정 및 요소분할 과정이 끝나면 유한요소를 생성해야 한다. 유한요소의 생성은 Fig. 9의 Modeling 그룹상자에서 이루어진다.

● 경계조건 및 하중조건의 부과 : 본 프로그램에서는 사면고정지지 및 단순지지조건을 경계조건으로 부과할 수 있고 균일분포하중과 집중하중을 가할 수 있다. 경계조건 및 하중조건은 Boundary Condition과 Loading Condition 그룹상자에서 조건을 선택한 후 Boundary Condition 버튼을 클릭하면 경계조건에 대한 정보가 저장된다.

4. 2. 2. 1 예제

이상 절차를 이용하여 0.1MPa의 균일분포하중을 받는 단순지지된 $100 \times 100\text{mm}$ T300/N5208 graphite/epoxy $[(0/90/\pm 45)_2]$ 적층판의 거동해석을 수행하고 상용 유한요소 해석프로그램인 NISA의 결

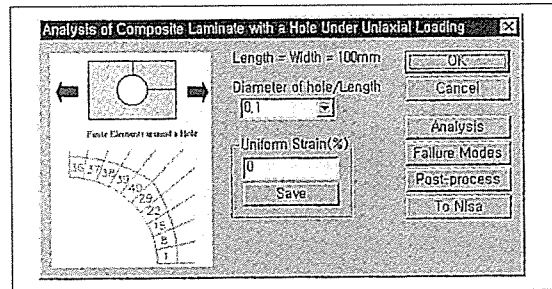


Fig. 11. Dialog box for analysis and design of composite plate with a hole

Table 2. Center displacement of composite plate under uniform pressure $P=0.1\text{MPa}$

Present	Nisa
Center displacement, $w(\text{mm})$	
0.89	0.89

과와 비교하였다. Table 2는 최대 변위가 발생하는 중심에서의 면외방향변위를 비교한 것이다. 본 연구에서 수행한 결과는 NISA의 결과와 잘 일치하고 있다. Fig. 10과 같이 해석을 통해서 얻어진 x축과 y축을 따른 z방향변위 및 적층판의 변형된 형상을 출력할 수 있다.

4. 2. 3 유한요소법을 이용한 원공이 존재하는 적층판의 해석

여기서는 유한요소법을 이용해서 원공이 존재하는 적층판에 대한 거동 및 파손해석을 수행한다. 본 프로그램에서는 적층판의 길이와 원공의 직경의 비(d/L)가 0.1~0.7에 대해 해석이 가능하다. 원공이 존재하는 적층판에 대한 거동 및 파손해석을 수행하기 위한 유한요소기법은 이전 결과 동일하다. Fig. 5의 button for analysis and design에서 2dhole 버튼을 클릭하면 Fig. 11과 같은 다이얼로그 상자가 나타난다. 여기서 재료, 적층각 및 적층순서의 결정 과정은 이전의 고전적층판이론을 이용한 적층판의 해석에서 수행한 것과 동일하다.

4. 2. 3. 1 예제

이상 절차를 이용하여 0.1%의 변형률하에서 직경 10mm의 원공이 존재하는 $100 \times 100\text{mm}$ 의 T300/N5208 graphite/epoxy $[(0/90/\pm 45)_2]$ 적층판의 응력해석을 수행하고 상용 유한요소 해석프로그램인

Table 3. Maximum σ_{11} stress of composite plate with a hole

Present	Nisa
Maximum σ_{11} (MPa)	
943	944

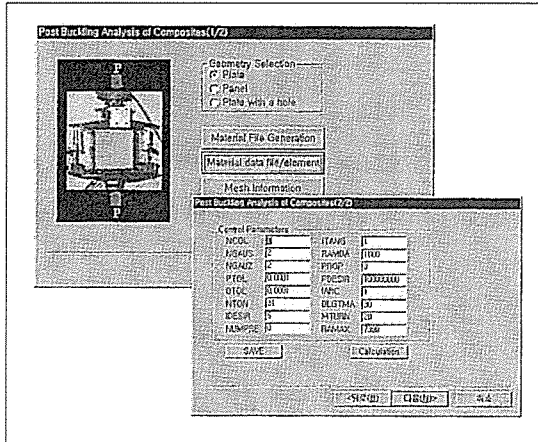


Fig. 12. Dialog box for buckling and postbuckling analysis

NISA의 결과와 비교하였다. Table 3은 최대 응력분포가 발생하는 $\theta=90$ 에서 최대응력 값을 비교한 것이다. 본 연구에서 수행한 결과는 NISA의 결과와 잘 일치하고 있다.

4. 2. 4 유한요소법을 이용한 적층판의 좌굴 및 좌굴후 거동해석

여기서는 유한요소법을 이용해서 복합재 구조물의 좌굴 및 좌굴후 거동해석을 수행하게 된다. 본 연구에서는 복합재 구조물의 좌굴 및 좌굴후 거동을 위해 본 실험실에서 개발한 복합재 구조물의 좌굴 및 좌굴후 거동해석 프로그램인 COSAP을 이용하였다. COSAP은 이전의 다양한 결과[10-14]들을 통해 검증된 프로그램이다. 본 프로그램에서 평판, 원통판 및 원공이 존재하는 적층판 등에 대해서 좌굴해석을 수행할 수 있다. Fig. 5의 button for analysis and design에서 buck 버튼을 클릭하면 Fig. 12와 같은 다이얼로그 상자가 나타난다.

본 해석 모듈에서는 좌굴해석에 이용될 복합재 구조물의 형상에 대한 유한요소 모델은 생성되어져 있다. 따라서 사용자는 재료, 적층각, 층수 및 적층순서를 변화시키면서 거동을 관찰할 수 있도록 하였다.

4. 2. 4. 1 예제

이상 절차를 이용하여 $100 \times 100 \text{mm}$ 의 HFG CU-125NS graphite/epoxy $[0/\pm 45/90]$ 적층판의 좌굴 및 좌굴후 거동해석을 수행하였다. 해석을 수행한후 하중대 면내방향변위 선도 및 하중대 면외방향변위 선도를 출력할 수 있다. Fig 13은 하중대 면외방향변위 선도를 출력한 것이다.

4. 2. 5 탄소-탄소 복합재 디스크의 열탄성 거동 및 파손해석

여기서는 본 실험실에서 개발된 탄소-탄소 복합재 브레이크 디스크의 과도기 열탄성 해석(transient thermo-elastic analysis)프로그램과 상용프로그램인 NISA를 연계하여 브레이크 디스크의 열탄성 및 3차원 파손해석을 수행한다. 본 실험실에서 개발된 브레이크 디스크의 과도기 열탄성 해석 프로그램은 이전의

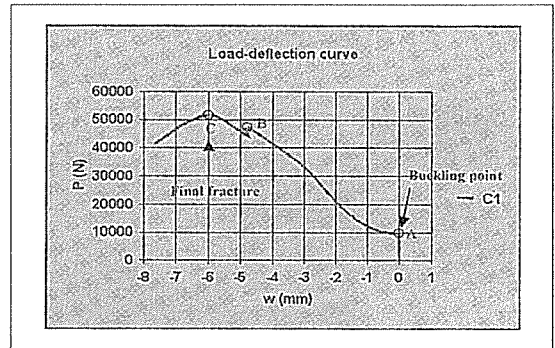


Fig. 13. Load-deflection curve

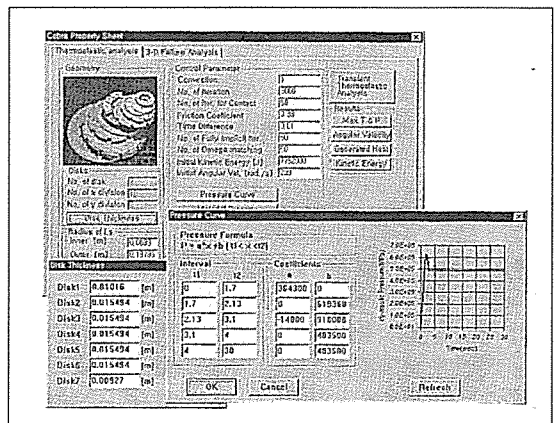


Fig. 14. Menu for thermo-elastic analysis of carbon/carbon brake disk

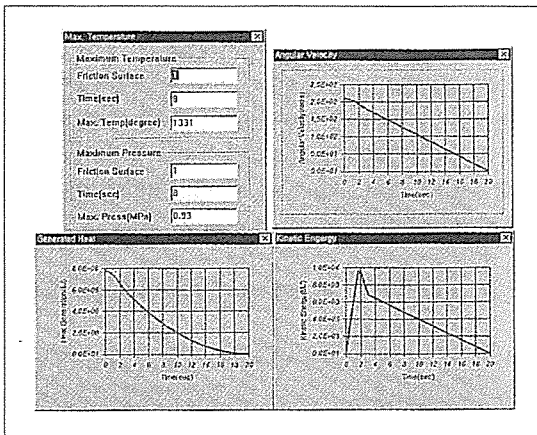


Fig. 15. Results of thermo-elastic analysis

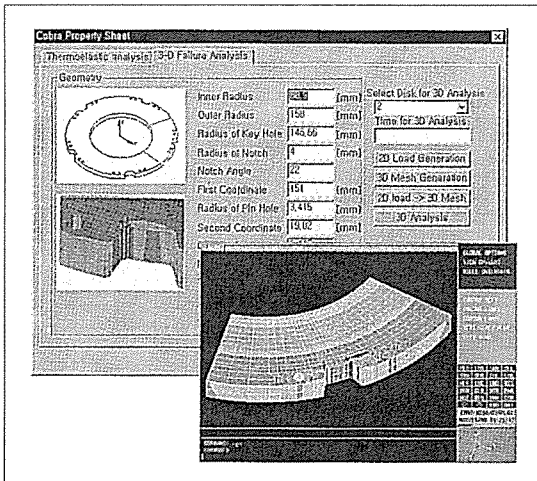


Fig. 16. Menu and result for 3D failure analysis of carbon-carbon brake disk

다양한 연구결과[15-17]들을 통해 검증된 것이다. Fig. 5의 button for analysis and design에서 Cobra 버튼을 클릭하면 Fig. 14와 같은 다이얼로그 상자가 나타난다. 여기서 각 디스크의 두께, 내경과 외경, 제어변수, 물성치 및 유압곡선 등을 정의할 수 있다.

● 과도기 열탄성 해석결과 : 이상의 과정을 통해서 탄소-탄소 복합재 브레이크 디스크 시스템에 대한 과도기 열탄성 해석을 통해서 가장 심각한 하중이 작용하는 시간과 위치를 파악하는 것이 브레이크 디스크의 설계시 가장 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 프로그램에서는 과도기 열탄성 해석을 수행한 후 최대 압력 분포가 발생하는 시간과 마찰면, 최대 온도분포가 발생

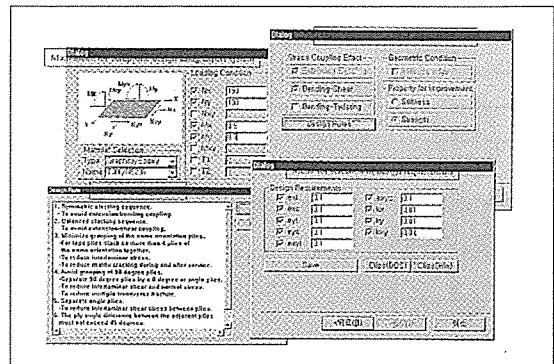


Fig. 17. Menu for composite design using expert system

하는 시간과 마찰면에 대한 정보를 얻을 수 있고 결과들은 Fig. 15와 같은 다이얼로그 상자에 출력할 수 있다.

● 3차원 파손해석을 수행 : 윈도우즈 환경에서 브레이크 디스크이 3차원 파손해석을 수행하기 위해서는 Fig. 14의 다이얼로그 상자에서 3-D Failure Analysis 버튼을 클릭하면 Fig. 16과 같이 파손해석을 위한 다이얼로그 상자가 나타난다.

설계변수들과 2차원 과도기 열탄성 해석을 통해서 얻어진 결과들을 이용해서 브레이크 디스크의 3차원 파손해석을 수행한 결과는 Fig. 16의 다이얼로그 상자와 같다.

4. 2. 6 전문가 시스템을 이용한 복합적층판의 강성 최적화

여기서는 복합적층판의 강성을 최적화하기 위한 전문가 시스템을 개발하고 이를 이용하여 다양한 하중조건과 요구조건에 적합한 적층수와 적층순서를 최적화하였다. 복합적층판의 설계는 변형을 제한조건 뿐만 아니라 오랜 경험과 시험 및 해석을 통해서 얻어진 다양한 설계규칙(design rules)에 따라 수행되어진다[18]. Fig. 5의 Button for analysis and design에서 EXPT 버튼을 클릭하면 된다. EXPT 버튼을 클릭하면 Fig. 17과 같은 다이얼로그 상자가 나타난다.

Fig. 17의 다이얼로그 상자에서 재료가 선택되고 하중이 입력되면 사용자는 설계의 목적에 따라 설계규칙을 선택해야 한다. 사용자가 선택한 조건에 따른 설계규칙은 Design Rules 버튼을 클릭하면 다이얼로그 상자에 출력된다.

● 설계요구조건 선택 : 설계규칙의 선택이 종료되

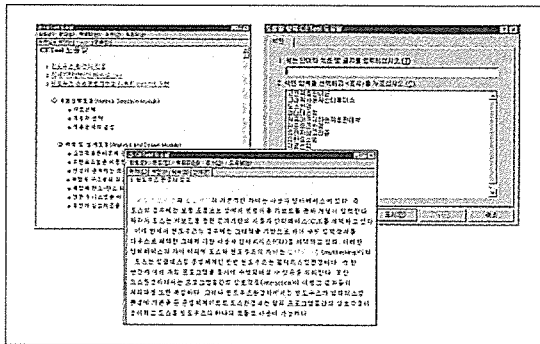


Fig. 18 On-line help menu

면 설계의 요구조건인 변형률을 입력할 수 있는 다이얼로그 상자에서 변형률의 체크상자를 체크하고 입력하면 된다.

4. 3 도움말

본 연구에서 개발한 윈도우기반 동시공학 프로그램에서는 사용자의 편의를 위해 프로그램의 모든 모듈들의 수행에 관련된 정보들을 도움말(on-line help)에서 제공한다. Fig. 18과 같은 도움말 상자에서 원하는 내용의 하이퍼 텍스트(hyper text)를 클릭하거나 색인을 선택하면 선택된 내용에 대한 도움말이 나타난다.

5. 결 론

본 연구에서는 복합재 구조물의 설계 및 제작을 위해 PC에서 수행 가능한 윈도우즈 기반(window base) 복합재 동시공학 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 윈도우즈 환경을 기반으로 하여 개발되었기 때문에 여러 개의 프로그램을 동시에 수행할 수 있는 멀티태스킹이 가능하고 그래픽 사용자 인터페이스가 제공되기 때문에 사용자 편의성이 뛰어나다. 이 시스템에서는 복합재 구조물의 재료 데이터 베이스가 구축되어져 있고 복합재료의 미시역학적인 관점에서의 물성치 규명 및 평판해석 및 원통판넬의 좌굴 해석까지 다양한 형상 및 하중조건하에서 복합재 구조물의 구조해석 및 설계를 수행할 수 있다. 또한 도움말 기능에 의해 사용자는 쉽게 시스템을 운용할 수 있다. 이 시스템은 복합재 제품의 개발시 제품개발 시간 단축, 품질 및 신뢰성 향상에 기여 및 관련 소프트웨어의 통합으로써 얻어지는 운용 기술과 비용의 절감으로 고

급 복합재 뿐 아니라, 산업용 범용 복합재 개발에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 과학기술부와 LG연암문화재단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 지원해주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Jiang, Z. and McCreavy, C., "A Graphics-Based Design Environment of Chemical Processes for Concurrent Engineering", Concurrent Engineering: A Global Perspective CE95 Conference, 1995, pp.595-606.
2. Cheng, C., Onesto, E. J. and Sampath, K., "Development of an Interactive Information Database For Plasma Spray Processing", Concurrent Engineering: A Global Perspective CE94 Conference, 1994, pp.435-443.
3. Willison, R. H., Dwivedi, S., and Gill, P., "A CAD Modeling System: Composite Design Process", Concurrent Engineering Approach to Materials Processing, 1992, pp.281-289.
4. Zhang, J. and Hahn, T., "Concurrent Engineering System for Composites --Architectural Consideration", Concurrent Engineering: A Global Perspective CE95 Conference, 1995, pp.583-593.
5. 우균, "C++기반 객체 지향 데이터 베이스 시스템을 위한 시각적 스키마 디자이너의 설계 및 구현", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1993.
6. 김관명, "산업디자인 프로세스상의 실체화 단계를 위한 동시공학 개념 도입에 관한 연구", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1994.
7. 신동우의, "선박 설계 생산 전산 시스템", 한국기계연구원 선박 해양공학연구센터, 연구보고서, 1995.
8. 이우식, "금형 가공의 동시공학을 위한 CAPP/CAM 통합에 관한 연구", 박사학위논문, 한국과학기술원, 1992.

9. 이대길, 복합재료 역학 및 가공론, 성안당, 1995.
10. Kweon, J. H. and Hong, C. S., "Postbuckling Analysis of Composite Laminated Cylindrical Panels Under Axial Compression", AIAA J., Vol.31, No.8, pp.1535-1537, 1993.
11. Kweon, J. H., Hong, C. S., and Lee, I. C., " Postbuckling Compressive Strength of Graphite/Epoxy Laminated Cylindrical Panels Loaded in Compression", AIAA J., Vol. 33, No. 2, 217-222, 1995.
12. Kim, Z. G., Hong, C. S., and Kim, C. G., "Postbuckling Analysis of Stringer-Stiffened Composite Laminated Cylindrical Panels", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 14, No. 8, pp. 827-846, Aug. 1995.
13. In-Chul Lee, Chun-Gon Kim, and Chang-Sun Hong, "Buckling and Postbuckling Behavior of Stiffened Composite Panels Loaded in Compression", AIAA Journal (TN), Vol.35, No.1, pp.202-204, 1997.
14. Hyo-Jin Kim and Chang-Sun Hong, "Buckling and Postbuckling Behavior of Composite Laminates with a Delamination", Composite Science and Technology, Vol. 57, pp.557-564, 1997
15. Sonn, H. W., Kim, C. G., and Hong, C. S., "Transient Thermoelastic Analysis of Composite Brake Disks", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 14, No. 12, pp. 1337-1361, 1995.
16. Sonn, H. W., Kim, C. G., Hong, C. S., and Yoon, B. I., "Axisymmetric Analysis of Transient Thermoelastic Behaviors in Composite Brake Disks", J. of Thermophysics and Heat Transfer (AIAA), Vol. 10, No. 1, pp. 69-75, 1996.
17. 김정석, 유재석, 김천곤, 홍창선, "탄소-탄소 복합재 브레이크 시스템의 2차원 과도기 열탄성 해석", 한국항공우주학회지, 제 26권, 제6호, 1998, pp. 64-70.
18. 김정석, 김천곤, 홍창선, "전문가 시스템과 나열법을 이용한 복합적층판의 설계", 한국복합재료학회지, 제11권, 제2호, pp.48-49, 1998.