

석탄가스화 복합발전 플랜트 개념설계용 Engineering Packages 선정

이 찬 · 윤용승 · 이진욱 · 김형택* · 정근모*

전력에너지 연구실, 고등기술연구원

*아주대학교 에너지학과

Proposed Engineering Packages for the Conceptual Design of IGCC Plant

Chan Lee, Yongseung Yun, Jin Wook Lee, Hyung Taek Kim* and Kun Mo Chung*

Electric Power Systems Lab., Institute for Advanced Engineering

**Department of Energy, Ajou University*

요 약

석탄가스화 복합발전 플랜트의 시스템설계를 위한 engineering package의 체계 및 방법론에 대해 소개하였다. Engineering package는 플랜트전체 개념설계 과정과 주요 공정을 구성하는 요소에 대한 설계/해석/시험 과정으로 나누어 진다. 개념설계과정은 설계목적과 제한조건을 충족시키도록 플랜트 구성 설계, 정적/동적 시뮬레이션, 요소별 설계사양 결정 및 Data Base Management System으로 이루어지며, 개념설계 과정의 한부분인 주요요소의 설계는 1차원 성능해석, 2/3차원 열유체해석 및 실험 그리고 구조, 진동 해석등으로 구성되는 반복적 과정이다. 그러므로, 본 연구에서는 이러한 설계체계들의 개발전략을 설명하고, 현재 이루어진 추진결과에 대해 설명하였다.

Abstract—Presented are the structure and the detailed methods of engineering package for IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) power plant design. The IGCC engineering package mainly comprises conceptual design procedure for overall power plant, and key component design, analysis and test procedures. In the conceptual design stage, plant configuration design and static/dynamic simulation are carried out in order to meet design objectives and constraints of IGCC power plant system and to determine design specifications of each component in the IGCC power plant along with the corresponding data base management system. The design of the key component is carried out through iterative procedure composed of one dimensional performance analysis, two or three dimensional thermofluid design analysis/experiment, structural and vibration analyses. The present paper explains the overview and the current status of the engineering package for IGCC design.

1. 서 론

석탄가스화를 이용한 복합발전의 개념은 고효율, 저공해, 연료가격의 저렴성 및 초기 설치비의 경쟁성으로 인해, 차세대 화력발전의 대체수단으로 주목되고 있다. 특히 석탄가스화 복합발전의 장점은 재래식 미분탄 발전에 비해 열효율이 약 3~7% 높고, NOx, SOx 같은 환경배출물질도 약 1/10, 1/5정도로 작다는 점이다. 이러한 이유로, 미국, 유럽, 일본등의 선진 각국은 석탄가스화 복합발전 설비의 연구/개발에 많은 노력을 기

울이고 있으며, 수개의 실증 플랜트들이 가동되고 있으며, 전세계적으로 많은 국가들이 석탄가스화 복합발전소를 건설할 예정이다.

최근들어 연 10% 이상을 증가하고 있는 국내 전력 수요는 신규 발전소의 건설을 불가피하게 하고 있으며, 이에 따라 신규발전설비의 하나로서 석탄가스화 복합발전소의 필요성이 강조되고 있고, 이러한 맥락에서 고등기술연구원/아주대학교 연구팀은 에너지자원 기술개발 지원센터의 지원하에 “석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화 개발” 프로젝트를 수행하고 있다. 본

프로젝트는 “석탄가스화 복합발전 플랜트 개념설계용 Engineering Package” 개발에 그 주안점을 두고 있으며, Engineering Package는 (1) 석탄가스화 복합발전 플랜트의 시스템 개념설계, (2) 주요요소에 대한 기본설계 및 설계해석 시스템으로 구성되며, 이러한 시스템의 구축을 위해서는 석탄가스화 실험장비, 석탄가스화 열유체 해석방법, 석탄가스 연소기/터빈 성능해석방법, 플랜트 동적/정적 시뮬레이션 방법 및 플랜트 구성기기의 설계사양/구매자료에 대한 Data Base Management System(DBMS)의 상호결합이 불가피하다. 그러므로, 본 논문에서는 Engineering package 개발체계에 대한 개념적 정의 및 각 단계별 방법론을 소개하고자 하며, Engineering package를 구성하는 각 모듈간의 상호 연계관계에 대한 정의를 통하여, 고등기술연구원

/아주대학교에서 수행되고 있는 시스템공학적 접근 방법을 소개하고자 한다.

2. Engineering Package의 체계

본 연구에 의해 수행되고 있는 Engineering package는 플랜트설계의 초기단계에 필요한 (1) 개념설계 과정과 이와 더불어 (2) 석탄가스화 복합발전설비가 일반 복합발전설비와 구별되는 공정흐름(석탄가스화 → 석탄정제 → 석탄가스 연소 → 석탄연소가스 팽창)에 대해서는 좀더 상세한 설계자료를 제시할수 있는 설계시스템을 내포하는 복합적 설계/엔지니어링 체계로 정의된다. 또한, 앞서 언급한 플랜트 개념설계과정은 플랜트의 구성으로부터 플랜트 구성요소별 작동조건, 설계

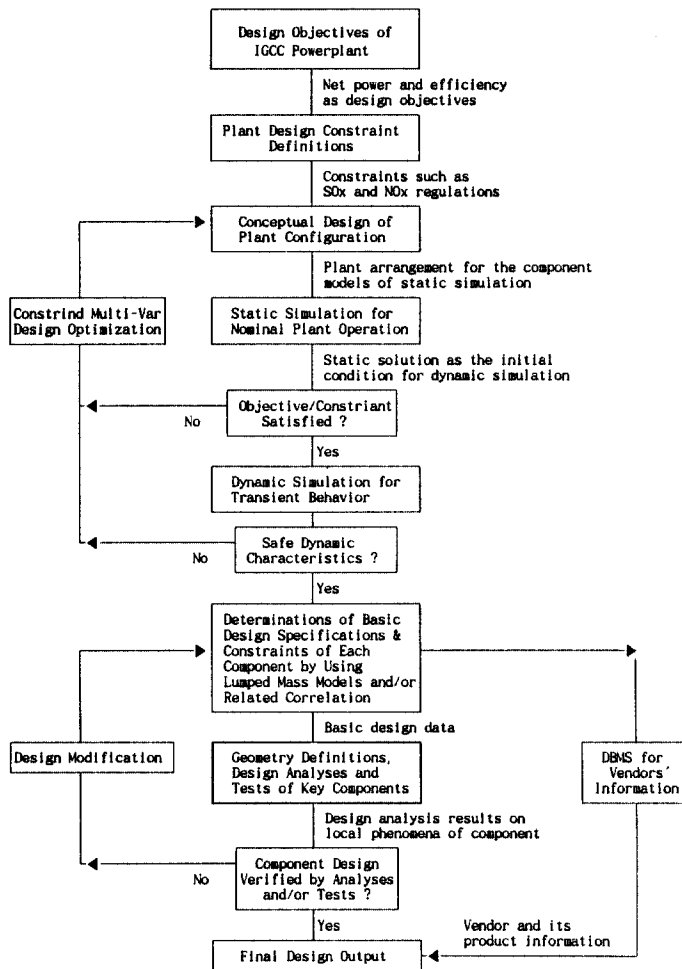


Fig. 1. Design procedure of IGCC powerplant.

등이 포함된다⁴⁾.

각 구성요소별 기본 설계사양이 결정되면, 구성요소의 기하학적 형상을 정의하고 그에 따른 설계해석 및 시험평가가 수반되어야 한다. 그러나 본 연구는 석탄가스와 복합발전 시스템의 engineering package 개발에 주안점을 두고 있고, 모든 구성요소에 대해 설계해석 과정을 거치는 것이 시스템종합 차원에서도 비효율적이므로, 석탄가스와 복합발전이 일반 복합발전과 구별되는 공정에 관련되는 주요 요소인 가스화기, 연소기 및 펌프 터빈에 대해서만 설계해석을 수행하는 것이 바람직하다. Fig. 3는 미국 GE사의 석탄가스와 복합발전용 PDU(Process Development Unit)에 대한 개략도이며²⁾, 기본 연구방향이 본 연구에 의한 engineering package 개발방향과 유사함을 알 수 있다. 주요 구성요소에 대한 설계해석과정에 대한 상세한 설명은 2-2.절에 포함하였다.

앞서 언급한 일련의 시스템 설계과정을 위해서는 각

단계별 설계도구가 필요하며, 그러한 설계도구는 설계 단계별 목표에 맞는 전문화된 프로그램이어야 한다. Table 1은 본 engineering package 개발에 사용중이거나 예정중인 프로그램들을 보여주고 있다.

ASPEN PLUS는 화학공정 시뮬레이션 전용 프로그램으로서 각 공정요소에 대한 열 및 물질 수지에 대한 일반적 해석모듈이 내장되어 있어, 대상 시스템에 맞게 해석모듈들을 조합시켜 시뮬레이션을 수행할 수 있다⁵⁾. SPEEDUP이나 MOSA는 화학공정용, MMS는 화력발전소용 동적거동 예측프로그램으로서, 이러한 프로그램들은 수치적으로는 고차 Runge-Kutta나 Gear방법을 사용하여 비정상 상미분/대수 연립 방정식을 풀도록 구성되어 있다. GATE는 미국 EPRI와 GE, Westinhouse 등의 가스터빈 전문업체들이 공동으로 작성한 프로그램으로, 복합발전설비 설계에 필요한 폐열회수 보일러내 열교환기, 터빈블레이드 냉각계통 등의 설계가 가능하도록 구성되어 있다⁶⁾.

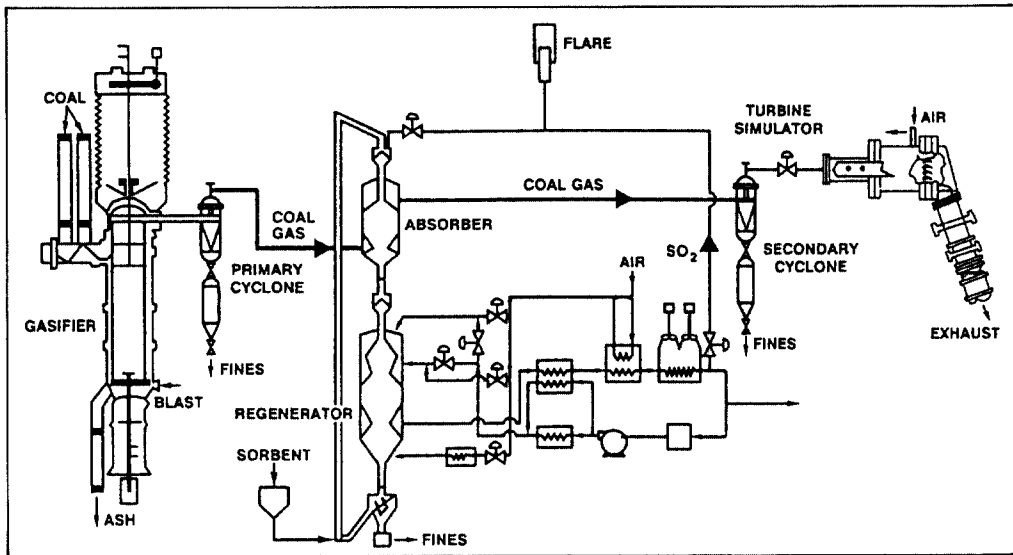


Fig. 3. GE's IGCC process development facility²⁾.

Table 1. Design programs for IGCC.

design step	design program	developed by	main characteristics
Static Simulation	1. ASPEN PLUS	ASPEN Tech(USA)	chemical process design
	2. GATE	EPRI(USA)	combined cycle design
Dynamic Simulation	1. SPEEDUP	ASPEN Tech(USA)	chemical plant design
	2. MMS	EPRI(USA)	fossile power plant design
	3. MOSA	SNU(Korea)	under developing by consortium (IAE involved)
Constrained Design Optimization	1. GRP method	U.of Iowa(USA)	optimization of nonlinear problem with various design parameters and constraints
	2. GRG method	-	
	3. SQP method	-	

2-2. 주요요소의 기본설계 및 해석

주요요소의 기본 설계과정은 형상 및 그에 따른 제원의 최종적인 결정을 위해 이루어지는 여러분야의 상호작용으로 파악될 수 있다. 2-1절에서 언급하였듯이, 본 연구에서는 이러한 구체적인 설계과정은 석탄가스화 복합발전설비의 주요요소들에 대해서만 적용하였고,

설계과정 및 그에 필요한 전문영역에 대해서는 Fig. 4에 표현하였다.

본 주요요소 설계과정에 대한 이해를 돕기위해서, 가스화기에 대한 설계과정을 한 예로서 설명하고자 한다: 2-1.절의 설계과정을 통해 가스화기의 기본 설계사양이 주어지면, 이를 바탕으로 가스화기의 기하학적

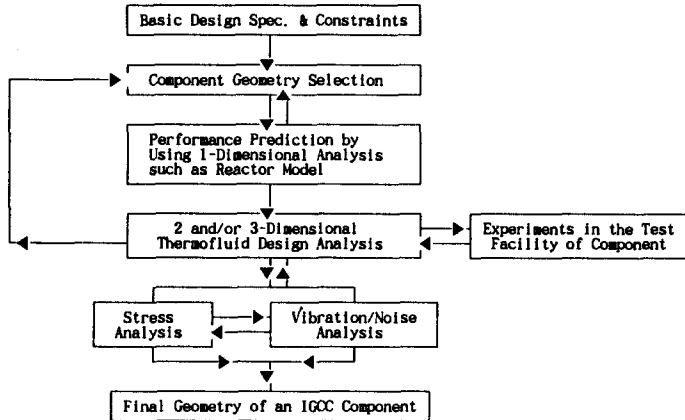


Fig. 4. Detailed process flow of component design.

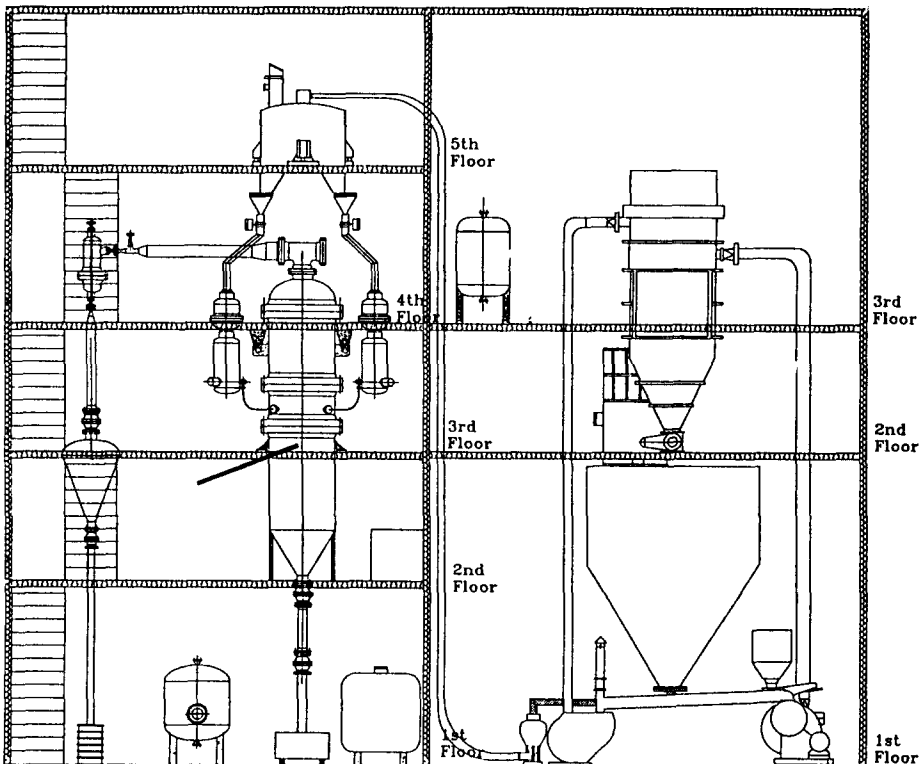


Fig. 5. Schematic diagram of the 3 Ton/Day gasification bench scale unit⁷⁾.

형상을 정의한다. 정의된 기하학적 형상에 대해 반응 기모델(예: 화학평형 또는 유동플러그 반응기)을 이용하여, 작동조건 변화에 따른 성능변화를 해석하여 가스화기 형상이 미치는 영향을 대략적으로 검토한다.

더 나아가 1차원적 해석을 통해 검증된 형상에 대해 2,3차원 열유동장을 해석하고, 가스화기의 국부적 현상을 규명하며, 이때 사용될수 있는 프로그램은 상용 열유체코드인 PHOENICS와 석탄가스화 전용코드인 PCGC-2/3를 들 수 있다.

2,3차원 해석과 더불어 석탄가스화 실험이 병행될수 있으며, 실험을 통해 얻어진 유동장 및 화학반응 측정 결과는 해석을 위한 2상유동, 난류 및 반응모델의 보완, 향상에 사용될 수 있으며, 역으로 프로그램을 이용한 매개변수해석을 통해 타당한 실험범위의 확정 및 제한된 크기의 실험장치로는 예측할수 없는 scale-up의 효과를 고려할수 있다. 본 연구에서 사용되는 시험설비는 3톤/일 처리용량으로 건식/분류층/산소공급 형태를 가지는 가스화설비로서, 석탄분쇄/주입장치등의 부대설비를 포함하는 BSU(Bench Scale Unit)이고, 이 시험설비로부터 가스화 관련 측정자료를 획득할 수 있다. 또한 본 BSU는 30기압, 1500℃에서 작동하도록 설계되었고, 생성가스 냉각은 물 쿨링방식에 의해 이루어 진다⁷⁾. Fig. 5는 아주대 구내에 건설되고 있는 3톤/일 BSU 실험동의 개략도를 보여주고 있다.

앞서 언급한 것과 같이, 화학반응을 수반하는 가스화기의 열유체설계 과정이 완료되면, 가스화기 구조물의 구조적/열적 응력해석, 진동/소음 해석 및 열유체적 문제와 구조적 문제간의 상호작용을 규명하는 공탄성해

석등이 전용 프로그램을 이용하여 이루어 진다. 만약, 이러한 설계해석 단계에서 가스화기상의 문제가 발견 되면, 가스화기 형상변경을 통해 해결점을 찾아내고, 그렇지 않으면 가스화기의 기하학적 형상을 최종적으로 결정한다.

앞서 언급한 것과 같은 가스화기 설계해석 과정과 유사하게, 석탄가스 연소기 및 터빈 설계해석도 가능하다. 이때, 석탄가스 연소기는 가스화기 해석이나 시험을 통해 얻은 생성가스 결과에 석탄가스 정제효과를 고려한 결과를 입력자료로 사용하여 해석이 가능하며, 마찬가지로 터빈은 연소기의 출구 예측결과를 입력자료로 사용할 수 있다. Fig. 6는 가스터빈 연소기의 1차원 해석을 위한 반응기 모델(reactor model)을 보여주고 있으며⁸⁾, Table 2는 본 연구에서 사용될 주요요소 해석용 소프트웨어들을 나타내고 있다.

PHOENICS는 영국의 CHAM Inc.에서 공급하는 범용 열유체 해석코드로서, 물리적 현상에 대한 수학적모델은 Navier-Stokes 방정식을 기본으로 하고, 해법은 유한체적방법(FVM: finite volume method)을 사용한다. PHOENICS는 범용 프로그램인 관계로 대상되는 문제에 맞도록 난류모델, 이상유동 모델, 복사열전달 모델 및 화학반응모델을 선택적으로 사용할수 있으며, 앞서 언급하였듯이 본 연구에서는 가스화기내 화학반응모델은 석탄반응유동장 전용 프로그램인 PCGC-2,3로부터 정보를 얻고자 한다. 가스화기와 마찬가지로 가스터빈 연소기도 PHOENICS에 화학반응모델(연소반응 또는 NOx 생성반응)은 전용 프로그램인 COM3D로부터 얻고자 한다. 가스화기와 연소기해석을 위한 이러한 개

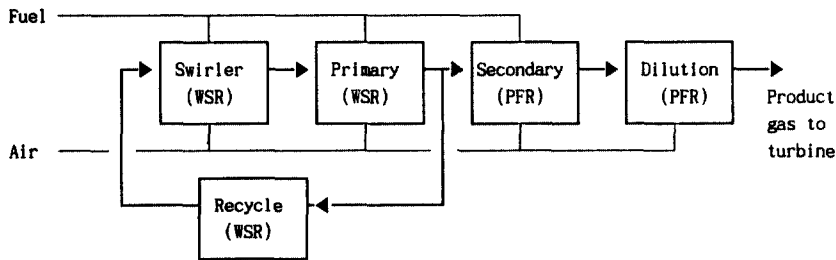


Fig. 6. Reactor model of gas turbine combustor⁸⁾.

Table 2. Design systems of key components for IGCC engineering package .

Key component	Used methods				
	1-Dim. aalysis	2/3-Dim. analysis	Test facility	Stress analysis	Noise/Vibration analysis
Gasifier	Reactor model	PHOENICS/PCGC-2,3	3T/D BSU	ANSYS	To be decided
Combustor	Reactor model	PHOENICS/COM3D	N/A	ANSYS	To be decided
Turbine	Mean-line method	TSONIC/MERIDL	N/A	ANSYS	Campbell diagram

발전력은 범용코드가 가지는 복잡한 기하학적 형상에 대한 계산격자 생성능력의 우수함과 사용편의성 같은 장점과 전용 프로그램상의 모델을 사용하여 예측정확도를 향상시킬수 있는 장점을 동시에 활용할 수 있다.

터빈모델링은 블레이드 내부 유동면을 cascade와 hub-to-tip 평면으로 나누어 해석하며, 이를 위해서 두 평면에 대한 해석 프로그램인 TSONIC과 MERIDL의 결합이 필요하다. 응력해석을 위해서는 유한요소법(FEM: finite element method)에 근거한 ANSYS가 사용가능하며, 진동/소음 및 공탄성해석을 위해서는 적절한 프로그램을 조사중이다.

3. 결 론

석탄가스화 복합발전 시스템의 설계를 위한 engineering package의 개발체계를 제시하였다. 본 논문에서는 engineering package는 시스템 개념설계와 주요요소에 대한 설계해석과정으로 구성하였으며, 각 단계별 설계 범위 및 도구들을 소개하였다. 시스템 개념설계는 설계목적 및 제한조건을 만족시키도록 정적/동적 시뮬레이션을 이용하여, 시스템의 구성을 정의하고 이를 바탕으로 각 장비의 기본 설계사양은 lumped-mass 모델을 이용하여 확정한다. 주어진 기본 설계사양은 DBMS를 이용하여 장비선택을 함에 있어서, 입력자료로 사용될 수 있다.

주요 요소에 대한 설계해석은 일반 복합발전설비와는 구별되는 공정요소인 석탄 가스화기, 연소기 및 터빈에 대해서 수행되며, 이를 통해 석탄가스화 복합발전 플랜트의 공정개발을 위한 설계자료들을 얻을수 있다. 본 논문에서 제안한 설계해석 시스템은 열유체, 구조 및 진동에 대한 해석방식들과 시험설비를 포함한다.

본 논문에서 소개한 engineering package는 석탄가스화 복합발전 설비의 비교/선정, 개념설계, 설계변경 및 최적화 등에 유용하게 사용될 수 있으며, 주요 공정에 대한 좀더 상세한 연구/개발을 위해서는 주요 요소의 시험, 설계해석등이 수행될 수 있는 concurrent engineering 시스템의 일종이다.

4. 후 기

본 연구는 상공자원부 에너지자원기술개발지원센터

에서 지원하는 “석탄가스화 복합사이클 발전시스템 실용화개발” 프로젝트(921E105-348DG1)의 일환으로 수행된 것이며, 이에 센터 관계자들에게 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

1. J.S. Lee, C. Lee and H.T. Kim : “Performance Analysis and Advanced Design Concepts of Natural Gas Fired Combined Cycle,” 29th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Proceedings, Part 2, AIAA-94-3908-CP, pp. 991 (1994).
2. D.M. Todd : “Clean Coal Technologies for Gas Turbines,” 37th GE Turbine State-of-the-Art Technology Seminar, GER-3650D (1993).
3. C. Lee, J.W. Lee, S.J. Lee, H.T. Kim and K. Chung : “ASPEN Simulation for IGCC Power Plant with Entrained-Bed Gasification and Cold Gas Clean-up Processes,” ENERGEX '93-the 5th International Energy Conference Proceedings, Vol. IV, pp. 183 (1993)
4. Y. Yun, C. Lee, J. Lee, H. Kim and K. Chung : “Status of IGCC Engineering Package Development in Korea,” 29th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Proceedings, Part 2, AIAA-94-4071-CP (1994).
5. ASPEN PLUS User Manual, ASPEN Tech. Inc. (1988).
6. A. Cohn : “Gas-Turbine Evaluation(GATE) Computer Program: Thermodynamic Cycles, Methods, and Sample Cases,” EPRI-AP-2871-CCM (1983).
7. H.T. Kim, K. Chung, C. Lee, J.W. Lee and Y. Yun : “Status of Korean IGCC Bench Scale Unit Development,” 11th Pittsburgh Coal Conference Proceedings (1994).
8. 이찬, 이한구, 강승중 : “단계적 연료공급 가스터빈 연소기의 NOx 발생특성,” 1994 한국에너지공학회 춘계 학술발표회 초록집, pp. 15 (1994)