2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

원자력 발전소 발전원가 평가에 있어 NEPIS Code의 적용

도정열, 김종화, 김용한
한국수력원자력(주) 고리원자력본부 제2발전소
부산광역시 기장군 장안읍 고리 216

요 약

국제 원자력기구(IAEA : International Atomic Energy Agency)는 세계원전 경쟁력 향상과 새로운 가동 환경에 능동적으로 대처하기 위해 '97년부터 **"국제 원자력 경제 성능 시스템"**(NEPIS : Nuclear Economic Performance International System)개발 프로젝트를 추진하여 **"활동별 원가계산"**(ABC : Activity-Based Costing)방식에 따른 발전원가 평가를 시도하였다.[1] 이 기준에 의한 평가결과 참여발전소 중 제일 낮은 수치를 보인 미국의 Southern California Edison사가 1.45cents/kWh, 미국 Vermont Yankee Nuclear Power Co사가 2.3cents/kWh, 헝가리 Pacific Gas&Electric Co사 3.5cents/kWh이다. 당기간 중 국내원전의 평균 O&M Cost는 2.78cents/kWh로 매우 양호한 투자성향을 보이고 있다.[4] 향후 NEPIS Code를 국내원전 발전원가 평가에 적용하기 위해서는 ABC 원가방식을 통해 표준화된 O&M DB구축이 이행되어야 한다.

Abstract

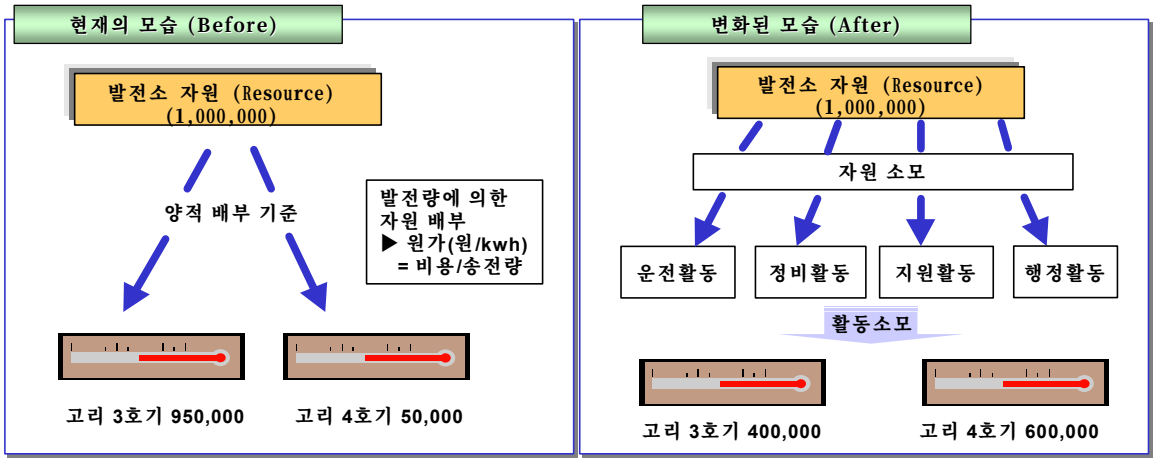
IAEA(International Atomic Energy Agency) tried to evaluate generation cost by means of NEPIS(Nuclear Economic Performance International System) based on the ABC(Activity-Based Costing) method which has been developed since 1997 in order to cope with competition improvement of world nuclear power and operation environment. From that, the '98 O&M cost of Southern California Edison Co., and Vermont Yankee Nuclear Power Co., of U.S.A was estimated to be 1.45Cent/kWh and 2.3 Cent/kWh, respectively and that of Pacific Gas & Electric Co, of Hungary was 3.5 Cent/kWh. average '98 O&M cost Domestic nuclear power plant an was found to be 2.78 Cent/kWh. The standard O&M DB based on ABC might be required to evaluate domestic nuclear power plant O&M cost from NEPIS

Ⅰ. 서 론

에너지분야에도 Global 경영과 민영화 가속화 현상이 나타나고 있으며, 특히 전력산업은 가동, 유지비 절감을 요구하는 전력시장 기초 패러다임 변화로 원자력 산업의 근간인 무결점 안전투자개념도 전력시장 경쟁체제(전력거래)에 따라 타 연료체계 대비 안전성과 신뢰성을 바탕으로 하는 저 비용을 요구하고 있는 실정이다. 발전소의 비용을 평가하는 방법은 전통적으로 전력원가 방법 등이 사용되었으나, 현재에는 ABC 원가계산 방식이 기존 비용중심의 평가를 탈피하여 활동(직무)중심의 평가로 구성되어 객관적인 조직 성과 측정과 최적의 경제성 분석을 위한 체계적인 방법으로 인식되고 있다. 이방법은 미국을 중심으로 80년대 중반부터 기능(직무)적 O&M(Operations & Maintenance)DB 구축 및 개발에 적용하고 있으며, 특히 '95년도 이후부터 EUCG(Electric Utility Cost Group) 및 NEI (Nuclear Energy Institute)회원소속의 미국 몇몇 발전회사에 의해 안전&성능에 부정적인 영향이 없는 균형적인 투자방법과 새로운 벤치마킹 기술로써 인정되고 있다.(2)
지난 몇 년 동안 국제 원자력기구는 원자력 발전소의 성능과 안전에 관련된 활동들에 대한 기술&공학적 시스템개발 일환으로 EUCG O&M DB를 근간으로한 **"국제 원자력 경제성능 시스템"**개발 프로젝트를 추진하여 회원국들에게 경제적 벤치마킹 이행 방법, 최적의 활동을 한 발전소 확인 및 안내 등을 통해 세계원전 경쟁력 향상을 도모하고 있다. '99년부터 시작된 IAEA Pilot Plant는 다양한 지리적 위치에 있는 한국, 미국, 브라질, 멕시코, 헝가리, 인도의 6개국 원자력 발전소에서 O&M Data를 수집하여 새로운 영역 통계분석기법(FA : Frontier-Analysis)으로 평가하였다. 이 프로젝트는 국제적 표준원가 정의를 사용한 최초의 O&M Data 수집 및 분석체계로 아직 개선/적용 여지가 많이 남아 있다. 본보고서는 NEPIS Code와 Code에서 정의한 Activity를 국내원전 실정에 맞도록 재해석 및 분류하고 동 기준에 의한 O&M Cost를 평가방법을 소개함으로써 원자력발전소 O&M Cost에 대한 이해와 개선을 도모코자한다.(5)

Ⅱ. NEPIS Code 구성체계

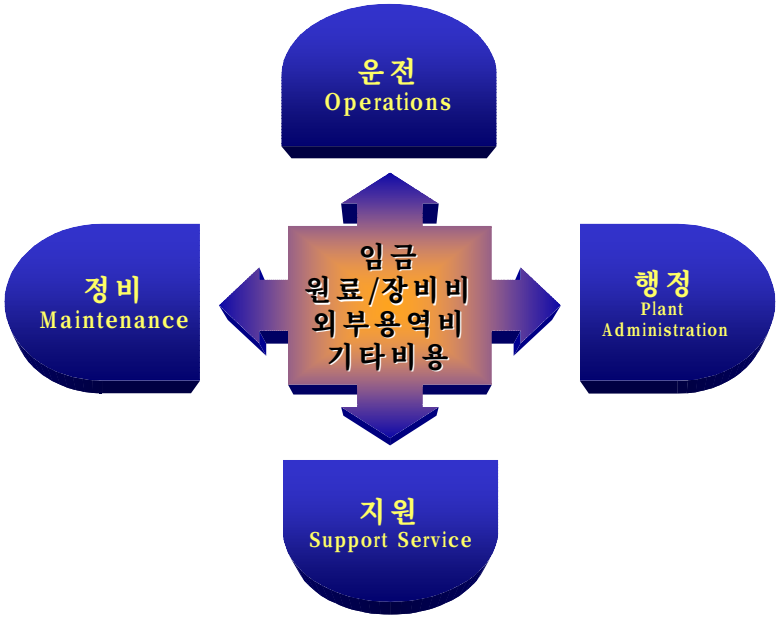
NEPIS Code에 의한 평가방법은 표1과 같이 기존 전력원가 평가방법과 전혀 다른 구성체계와 개념을 가지고 있다. NEPIS에서 요구하는 원가 구성체계에 접근하기 위해 기존 발전소 자원(비용요소)의 활동별 재분류, 개인별 직무분석자료 활용 및 다양한 조사방법(설문조사, 면담조사, 감시조사)를 통해 자료에 왜곡 현상이 발생되지 않도록 해야하며 이 방법에 의해 아래그림과 같이 원가의 세부적인 배부, 추적 및 활동대상(개인, 조직)으로의 집계가 가능하게 된다.



[표1] 발전원가 산출방식 비교

전력원가방식	구 분	활동별 원가방식
○ 구성요소 : 7개 비용요소로 구성 ▶ 연료비, 인건비, 경비, 감가상가비, 수선유지비, 공통비, 이자비용	구성요소	○ 구성요소 : 4개 활동요소로 구성 ▶ 운전활동, 정비활동, 행정활동, 지원활동
○ 원가(원/kWh) = 비용 / 송전량 ▶ 송전량 : 발전량-소내전력량	산출방식	○ 4개 구성요소를 근거로한 O&M Cost Program 자동산출
○ 산출방식 단순화로 원가자료 산출시간 단축 및 데이터 접근용이 ○ 기존 회계, 예산코드 체계화와 연계 용이성 ○ 원가측정 비용 최소화(데이타 수집 및 분석 프로그램 불필요)	장 점	○ 세계원전 대상으로 한 성능&경제성 평가방식 ○ 활동(직무)중심의 원가방식에 따른 조직(개인)별 성과 측정가능 ○ 선진업무프로세스(ERP, EC)와 효과적인 연계 및 호환성
○ 국내원전 대상으로 한 비용중심의 평가방식(활동별 분석불가) ○ 특정관리자 및 최고경영자 중심의 하향식 원가관리방식(본사위주) ○ 통제 및 추적 불능 원가로 구성	단 점	○ O&M Code 세분화 및 다양화로 정확한 해석 및 정의가 필요 ○ 원가측정 비용 추가부담(자료수집/분석체제 구축비용)

NEPIS O&M Code는 크게 운전(Operations), 정비(Maintenance), 지원(Support Services), 행정(Plant Administration)들의 활동(Activity)으로 나뉘어져 있으며, 각 활동은 여럿의 분기(Branch)된 부활동(sub-activity) 혹은 세부활동으로 세분화된다. 또한 활동 비용발생 요인(Resource)은 임금(Labor) 원료&장비(Materials & Equipment), 외부용역(Outside Service), 기타(Others)로 구분한다.



[NEPIS O&M Code 구성도]

2.1 활동(Activity)

활동은 운전, 정비, 지원 및 기타의 4가지 활동 형태로 구분하여 정의하고 있으며, 각 활동마다 1개~11개의 세부 활동요소로 구성되어 있음.

운전활동(Operations)	정비활동(Maintenance)
◈ 운전 활동	◈ 경상정비 활동 ◈ 예방정비 활동 ◈ 설비시험 활동
Activity Definitions	
지원활동(Support Services)	행정활동(Plant Administration)
◈ 기술&공학 활동 ◈ 핵연료관리 활동 ◈ 원자력(교육)훈련 활동 ◈ 품질관리 활동 등	◈ 발전소 운영 활동 ◈ 기획 및 계획 활동 ◈ 공기지원 활동 ◈ 기록관리 활동 등

가. 운전활동(Operations Activity)

발전소 운전업무와 연관된 활동으로 주제어실/현장 근무자 활동, 전력거래 관련 활동, 운전절차서 개정 활동 등으로 구성되어 있다.

나. 정비활동(Maintenance Activity)

발전소 경상정비, 예방정비, 감시설비시험 업무에 소요되는 행위로 6개 세부 활동으로 구성되어 있다.

○ 예방정비활동,(기계&전기), 예방정비활동(계측)
○ 경상정비활동,(기계&전기), 경상정비활동(계측)
○ 감시설비시험활동, 감시설비시험활동(계측)

다. 지원활동(Support Services Activity)

발전소 운영지원 업무에 소요되는 행위로 11개 세부활동으로 구성되어 있다.

○ 기술&공학 활동 : 발전소 개선활동, 설계기술활동 등
○ 핵연료관리 활동 : 노심 설계/평가활동, 연료조달 및 시장분석 등
○ 면허 및 규제기관과 연관된 활동 : FSAR 유지 등 규제 Document, 발전시설 공급업체의 기술지원, 검사비 등
○ 원자력(교육)훈련 활동 : 자체교육 및 외부 위탁교육 프로그램 활동
○ 보안활동 : 발전소 경비, 보안설비 시험 및 운영 등
○ 방사선방호 및 HP활동 : 방사선 피폭관리 프로그램, ALARA 프로그램 등
○ 방사선폐기물 감시 및 제염 활동 : 기체, 액체 폐기물 관리 및 감시 활동, 도구 및 장비 제염활동 등
○ 품질보증 활동 : 각종보고서, 절차 등의 질(품질) 감시 활동 등
○ 품질관리 활동 : 비파괴검사, 발전소 검사 등과 같은 품질관리 활동 등
○ 원자력 안전성 평가 활동 : 국내외 운전자료 검토 및 전파, HPES(Human Performance Evaluation System)검토, 발전소 위험 및 신뢰성 연구활동 등
○ 화학업무 활동 : 계통수 및 용수관리, 화학실험실 운영, 화학분석/감시 등

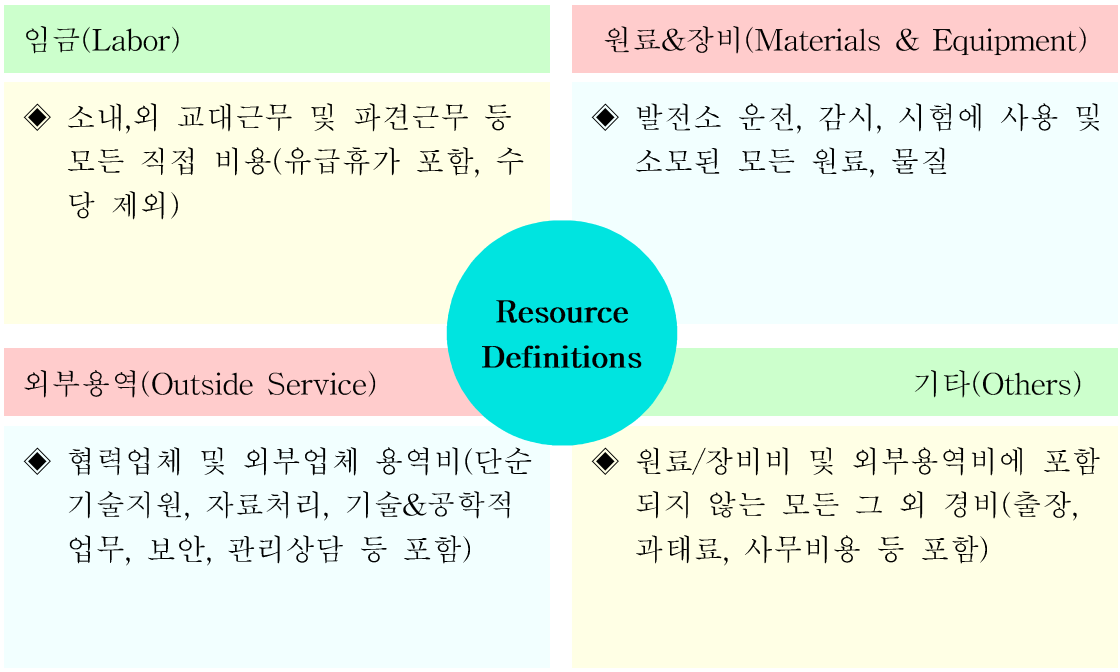
라. 행정활동(Plant Administration Activity)

발전소 행정 업무에 소요되는 행위로 9개 세부활동으로 구성되어 있다.

○ 발전소 운영 활동 : 재정업무, 산업안전, 계약업무, 통신, 문서수발 등
○ 기획 및 계획 활동 : 일일업무계획, 중장기계획 등
○ 공기지원 활동 : 계획된 연료주입과 작업활동범위의 준비 및 조정
○ 기록관리 활동 : 자료실운영, 발전소 기록 이관, 검사, 관리활동 등
○ 기술정보업무활동 : 기술정보 컴퓨터시설 관리활동, 프로그램개발 및 운영 등
○ 비상계획 활동 : 시나리오 작성 및 개발, 비상계획훈련 계획 및 실시, 비상대책실(EOF) 및 비상기술지원실(TSC)운영 등
○ 저장 활동 : 발전소 저장품 관리경비, 자재반입에 수반되는 제반경비 등
○ 영선 활동 : 발전소 청소용역, 발전소 환경개선, 하수/오물처리 활동 등
○ 기타 주변사항 활동 : 특정사항에 적용되지 않는 사무지원 및 노동활동

2.2 자원(Resource)

각 활동에 대한 비용 발생요인을 아래와 같이 4가지로 구분하고 있다.

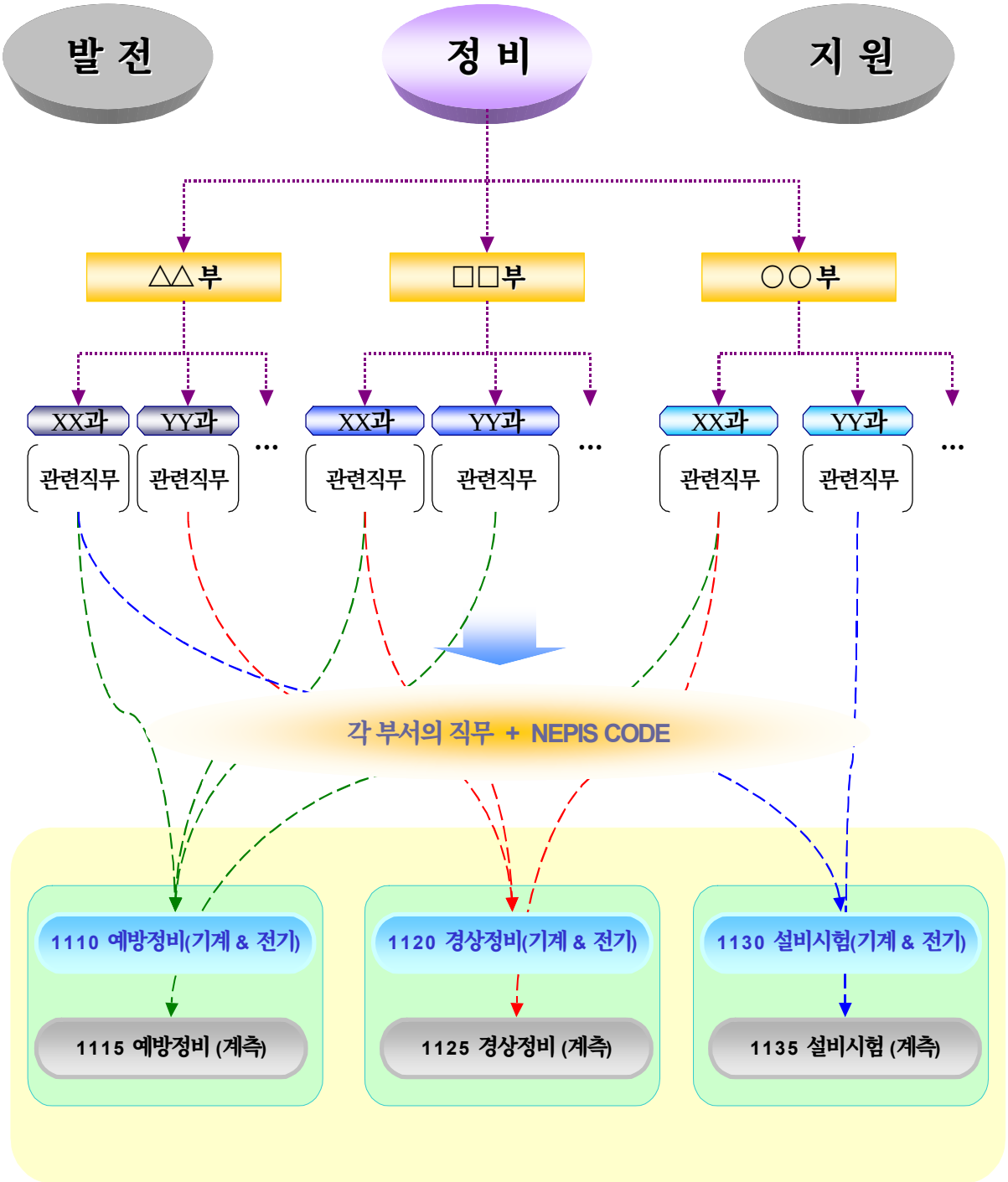


2.3 활동별 직무분류

활동별로 직무를 분류하는 목적은 NEPIS O&M Code 활동요소와 직무를 효과적으로 연계하기 위한 것으로 기능/직무(Functional/Job Title)중심으로 직무/직급/업무단위 등에 대한 명확한 기준 및 활동을 설정하여 표2와 같이 세부조직(개인별)단위까지 직무가 분류가 되어야한다. 또한 활동별 직무분류체계를 수립하기 위해서는 활동별 직무의 개념을 잘 이해하고 기존의 발전소에서 분류하고 있는 직무체계를 재평가하여 외부환경의 변화 및 경영전략 그리고 조직인프라의 성숙 등에 탄력적으로 대응할 수 있는 능력이 고려되어야 하며, 기타 단위업무내용의 유사성, 직무의 정형성, 직무의 전문성 등에 반영되어야 한다.

[표2] 직무분류체계 비교(발전소 기준)

구 분	기존 직무분류체계	활동별 직무분류체계
분류체계	○ 조직 활동별로 직무분류 ▶ 직무수 : 20개~30개	○ 개인 활동별로 직무분류 ▶ 직무수 : 120개~150개
직무명 예시 (공무과)	○ 원자력 공무과장, 원자력 공무원 ▶ 2개 직무로 분류	○ 공무과장, 예산관리원, 영선관리원, 안전관리원, 행정사무원 ▶ 5개 직무로 분류

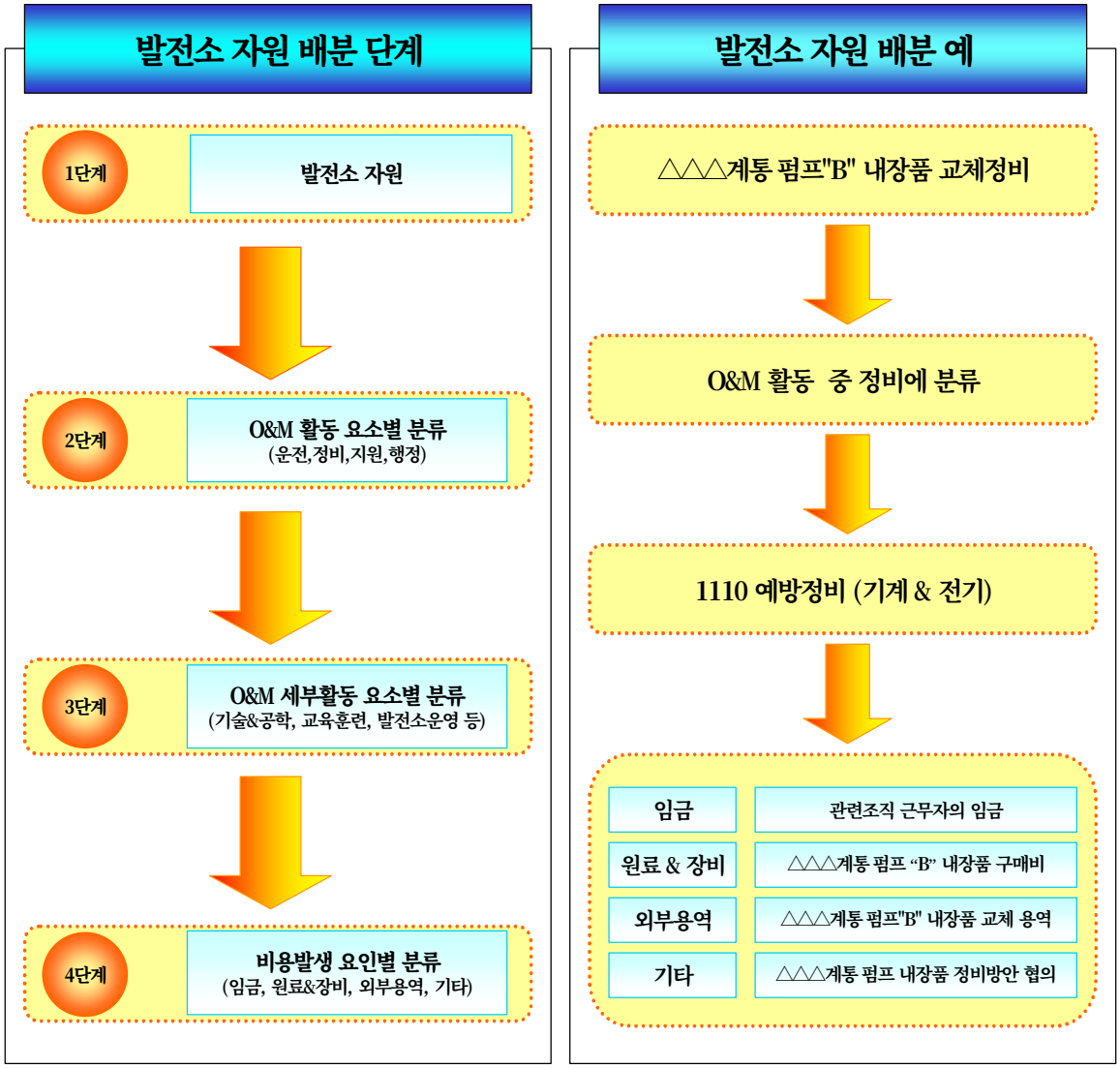


[직무와 NEPIS O&M Code와의 연계]

Ⅲ. NEPIS O&M Cost 분석체계 구축방향

3.1 NEPIS O&M Code별 자원자료 구축 및 배분

기존 발전소 자원(비용)형태는 예산/계정코드별(발전경상, 발전계획, 지급수수료 등) 및 집행형태별(공사, 용역, 구매 등)로 분류되어 있어, NEPIS O&M Code 요소에 적용하기 위해서는 활동별(운전, 정비, 지원, 행정)로 자원을 재 배분하는 작업이 필요하다. 발전소 자원은 배분원칙에 따라 4단계로 분류하며, 자원들이 O&M 활동 요소별로 정확하게 배분될 수 있도록 직무를 표준화(정형화)하고 관련 DB구축이 편리하도록 시스템을 구축해야 한다.



[발전소 자원 배분단계 구성도 예시]

3.2 자료수집 시스템(Data Acquisition System)

표준화된 자료수집 시스템을 사용함으로써 신속, 정확한 자료수집과 원활한 upgrade를 위한 NEPIS 전용 자료수집 시스템으로 5개 자료입력 화면으로 구성되어 있으며, 각 입력 항목마다 22~45개 세부입력 Code로 구성되어 있다.

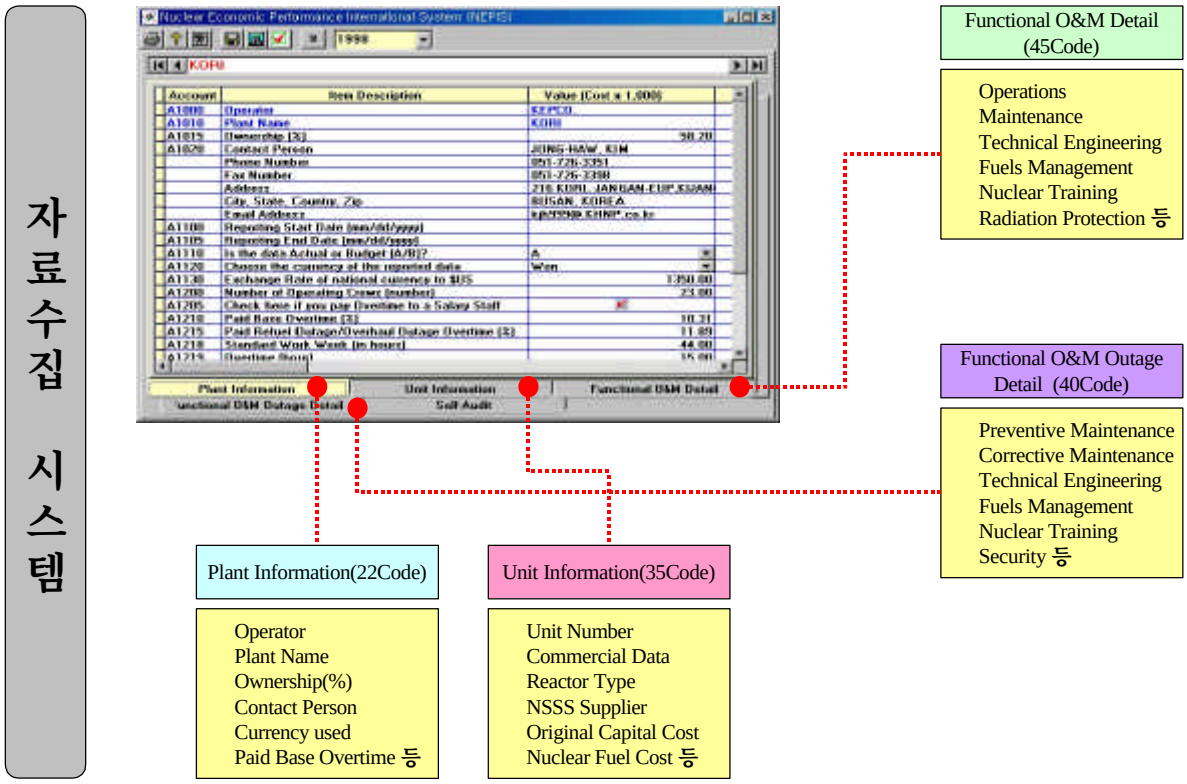
가. 발전소 운영 및 조직구조 입력화면(Plant Information)
발전소 세부사항인 회사(발전소)명칭, 회사소요 지분율, 담당자명, 주소, 통화단위, 초과근무시간 예산, 재고 등 22개 Code로 구성

나. 발전소 설비 및 설계구조 입력화면(Unit Information)
발전소 설비내역인 호기명, 상업운전일자, 원자로형식, 발전시설공급업체명, 발전소 최초자산 취득액, 원자력보험료 등 35개 Code로 구성

다. 발전소 정상 운전 기간 중 투입된 총비용 입력화면(Functional O&M Detail)
발전소 정상 운전 기간 중 운전&정비 활동비용인 운전, 정비, 기술&공학, 교육훈련, 방사선방호, 발전소운영, 공정관리 등 45개 Code로 구성

라. 발전소 정지 기간 중 투입된 총비용 입력화면(Functional O&M Outage Detail)
발전소 정지 기간 중 운전&정비 활동비용인 운전, 정비, 기술&공학, 교육훈련, 방사선방호, 발전소운영, 공정관리 등 40개 Code로 구성

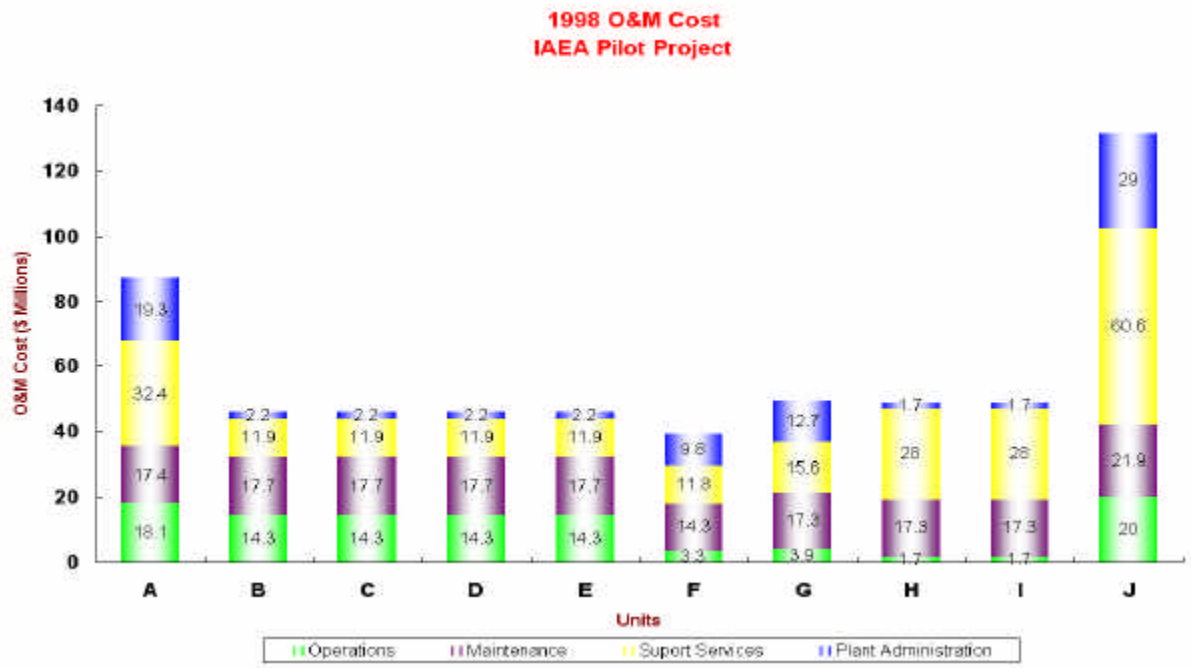
마. 입력자료 최종결산 화면(Self-Audit)



Ⅳ. NEPIS 분석사례

'98년도부터 IAEA Pilot Plant에 참여하여 세계원전(한국, 미국, 브라질, 멕시코, 헝가리, 인도)을 대상으로 한 Simulation에 보다 객관적이고 정확한 자료를 제공하기 위해 NEPIS Code를 분석하고, 국내 원전실정에 맞는 NEPIS Code의 지표 정의서를 작성하였다. Simulation 결과를 세계원전의 O&M 활동의 적용사례에 대한 정확한 이해와 분석을 통해 국내원전과 세계원전간에 비용&성능의 차이를 확인하고 향후 잠재적(Frontier) 개선 방향을 확인할 수 있었다.

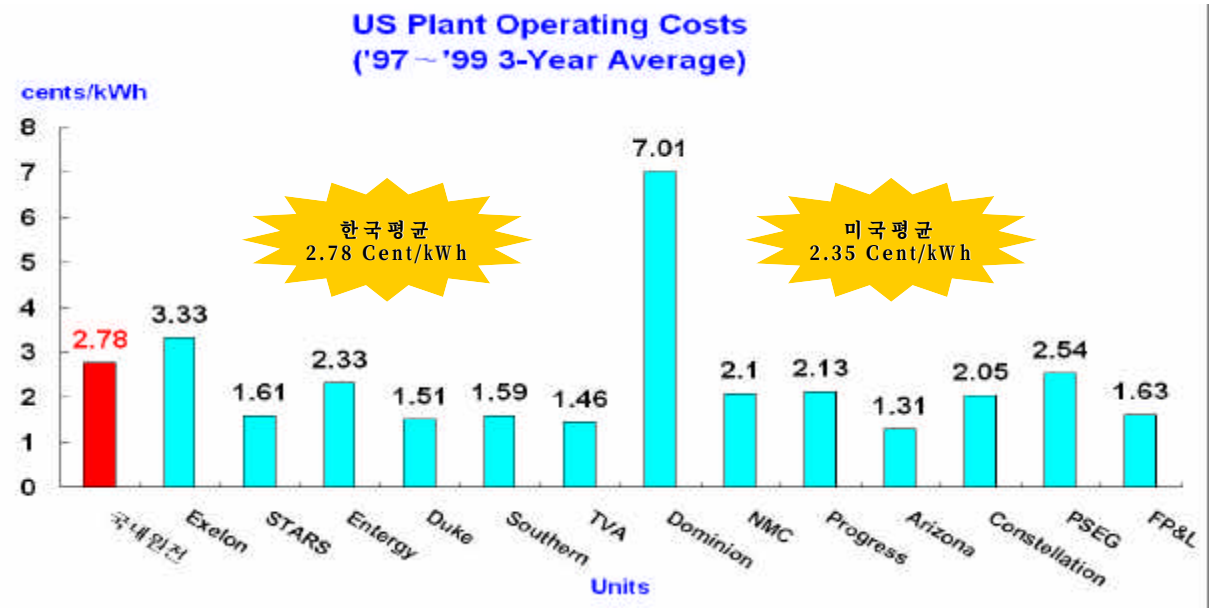
4.1 O&M Cost 요소별 점유율



[그림1]

[그림1]은 IAEA Pilot Plant에 참여한 세계원전의 O&M Cost 요소별 점유율을 나타낸 그래프이다. 발전소 O&M Cost 요소 중 운전, 정비요소가 가장 큰 점유율(50%~70%)을 보이고 있으며, 각 나라마다 발전소 조직체계 및 직무역할(비중)에 따라 요소별 점유율이 상이하게 나타난다는 것을 확인 할 수 있다. 다만 A•J발전소는 타 발전소에 비해 다소 높은 O&M Cost을 보여주고 있는데 이것은 O&M Data 접근방법에 문제가 있는 것으로 판단된다. 국내원전도 최근에 발전소 노후화에 따른 안전해석 등을 추진하고 있어, 기술&공학적 활동(지원활동) 비중이 증가할 수 있고, 반면에 새로운 정비기술의 적용과 자재/용역 관리체계의 개선을 통해 운전 및 정비비용이 감소할 수 있을 것이다.

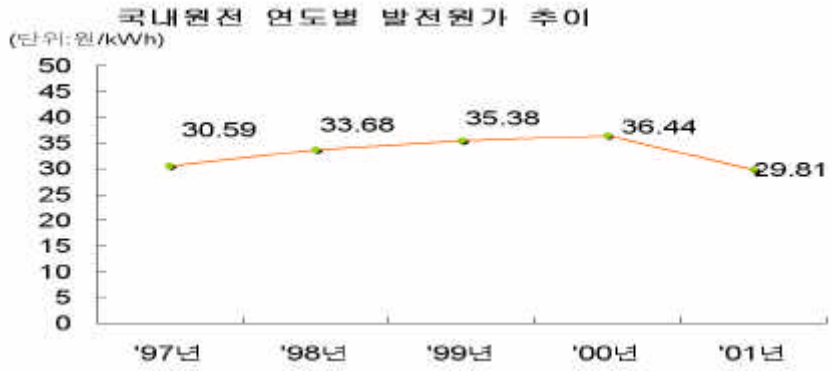
4.2 국내원전과 해외원전과의 발전원가 비교분석



[그림2]

주) Plant Operating Costs : O&M Cost + Fuel Cost

[그림2]은 1997~1999년 기간 동안에 미국 원전의 평균 Operating Cost를 나타낸 그래프이다. 최근 5년간 미국 원전도 연간 생산비가 지속적으로 감소되어 오고 있으나, 평균과 최고 성능을 보인 Arizona원전과의 차이는 1.04cents/kWh 보이고 있어, 그만큼 비용절감 및 성능개선여지는 남아 있는 것으로 판단된다. 동기간동안 국내원전 평균 Operating Cost는 2.78Cent/kWh이며, [그림3]처럼 점진적으로 낮아지고 있는 추세를 보이고 있다. 원전운영환경이 국가별로 상이하고 Plant specific condition을 구분할 수 없기 때문에 현 Data로써는 정확한 비교가 불가능하나 분석체계 표준화, Activity별 분석 및 정보교환을 통해 향후에는 단계적으로 평가가 가능할 것으로 판단된다.



[그림3]

Ⅳ. 결 론

최근 전력시장은 Global 경영에 의한 개방 압력과 더불어 안전성, 신뢰성은 물론 환경요소를 만족시키는 질 높은 전기를 요구하고 있다. 이러한 요구조건에 매우 중요하게 고려되는 것의 하나가 바로 비용에 의한 경쟁력이며, 유럽 또는 미국의 전력시장내 발전원가 추이를 보면 '90년대 중반이후 감소되는 것으로 평가되듯이 원전의 사업자는 가격 경쟁력을 한층 높일 수 있는 방안을 개발, 적용하고 있다.
국내 원가 방식과 국제 원가 방식은 평가체계 및 평가대상이 상이하여, 세계우수 발전소와 객관적인 비교평가는 사실상 불가능하므로, 상호 벤치마킹을 통한 발전소의 보다 나은 개선활동에는 한계에 다다르고 있다. NEPIS는 이러한 추세에 점진적으로 검토할 수 있는 가장 강력한 추진수단으로 세계원가 흐름인 ABC 원가방식을 통해 신뢰성 있는 O&M DB구축 및 차별화된 원가방식으로 검증된 O&M 자료를 진단, 분석함으로서 원전의 경제적 비용과 성능간 지표를 제시하는 새로운 영역을 제공하고 있다.

따라서 국내원전도 세계원전과 객관적인 비교평가를 위해 안전성을 기본으로 한 강점과 약점을 발굴하여 경제성을 더욱 향상시킬 수 있는 수단으로 NEPIS를 이용한 평가체계가 필요 할 수 있다. 이 체계를 적용하기 위해서는 기존 업무 프로세스를 재분석 하고, 표준화 및 활동중심 관리체제로의 전환이 고려되어야 할 것이다.

Ⅴ. 참고문헌

[1] IAEA Reference Data Series No.2, Nuclear Power Reactors in the World, International Atomic Energy, Vienna, Austria(1998)

[2] Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 1996, International Atomic Energy, Vienna, 1997, STI/PUB/1051

[3] Unavailability Factors of Thermal Generating Pant and Availability Statistics 1995, D. Clorian, EdF, France and R. Spiegelberg-Planer, International Atomic Energy, Agency, 16th World Energy Council Congress, Tokyo, Japan, 1995

[4] Performance Analysis of WWER-440/230 Nuclear Power Plants, IAEA-TEC-DOC-922, International Atomic Energy, Agency, Vienna, Austria

[5] Report of the Advisory Group Meeting on Improving Nuclear Power Plants Performance at Competitive Costs held in October 1997, International Atomic Energy, Agency, Vienna, Austria