Journal of the Korean Nuclear Society
Volume 24, Number 2, June 1992

《해 설》

CANDU 원전의 건설과 인허가

김 삼 곤
(한국전력기술주식회사)

1. CANDU 원전 건설의 배경과 의의

지난 1983년 4월 국내 최초의 CANDU형 원전인 월성원자력 1호기가 상업운전을 개시함으로써, 우리나라는 현재 상업용 원자로의 주종을 이루고 있는 가압경수로형(PWR)과 가압중수로형(PHWR)을 모두 보유하게 되었다. 정부의 장기에너지 수급계획에 의하면 향후 약 2006년까지 건설 예정인 신규 원자력 발전소는 총 13기이며, 그 중 5기가 CANDU형 원전이다. 이는 국가적인 에너지정책 차원의 장기 원자력건설계획 수립 과정에서 중요시 되어 왔던 경제성은 물론이고, 경수로형 원전과 중수로형 원전을 모두 보유함으로써 얻는 장점을 최대한으로 이용하기 위한 것이라 하겠다. 이러한 장점으로는 우선 핵연료재장전 기간이 긴 경수로형에 비해, 가동중 핵연료 교체가 가능한 중수로형에서는 필요에 따라 발전소 정지시기를 조정함으로써 급전 계획이 상대적으로 용이한 것을 들 수 있다. 또한, 경수로형 원전과 중수로형 원전을 모두 보유하고 있는 우리나라의 경우, 경수로형 원전의 사용후핵연료를 처리, 재가공하여 중수로의 핵연료로 사용하는 소위 탠덤(Tandem) 싸이클이 실용화 된다면 연료비 절감은 물론이거니와 사용후핵연료 처리문제도 쉽게 해결할 수 있을 것이다. 한편, 월성원자력 1호기가 도입된 이래 약 15년의 건설시차를 두고 건설되는 월성원자력 2호기와 후속 중수로형 원전의 경우, 국내업체의 기술인력이 대거 참여하는 등 CANDU 원전의 국산화를 위한 시작이라는데 그 의의가 있다고 하겠다.

2. CANDU 원전의 개발 및 보급 현황

1) CANDU 원전의 개발

CANDU 원전의 개발은 1954년 카나다원자력공사(AECL)의 쵸크리버 핵연구소(Chalk River Nuclear Laboratory)에서 시작되었다. AECL 기술진을 포함하여, 전력회사, 제작회사 및 산업 각계의 인력이 참여한 소규모 연구팀이 구성되어 초기에는 경수로, 가스냉각로, 중수로 등의 여러가지 모델을 고려하였다. 그 중 중수로 모델의 개발을 결정하게된 이유는, 카나다가 이미 2차 대전 당시 중수형 연구로의 경험

이 있을 뿐더러 풍부한 천연우라늄을 이용하기 위해서는 중성자 효율이 좋은 중수로형이 유리하기 때문이었다. 이 연구팀과 함께, 1954년 말에 온타리오 주정부 소유 전력회사인 Ontario Hydro사와 CGE-(Canadian General Electric)사가 공동으로 최초의 중수형 실증로인 22 MWe의 NPD(Nuclear Power Demonstration) 원전 건설에 착수하여 1962년 가동에 들어가게 되었다. NPD 원전사업과 동시에, 이 연구팀은 대형 상업용 원전 규모의 연구를 계속 추진하여 마침내 1961년 약 200 MWe급의 Douglas Point 원전 건설허가를 연방정부로 부터 취득할 수 있게 되었다. 그리고 1964년에는 아직 미숙한 단계의 CANDU 기술이지만 당시 건설 중인 Douglas Point 설계를 최초로 인도에 수출하기도 하였다.

상업용 CANDU 원전건설에 주요 계기가 된 것은 AECL이 1차계통 설계 및 안전성 분석을 수행하고, Ontario Hydro가 사업관리, 건설 및 2차계통 설계를 담당한 Pickering-A 원전 (508 MWe) 사업이 시작되면서부터이다. 그후로 카나다 내에서 Bruce-A (732 MWe), Bruce-B, Pickering-B 등 계속적으로 후속 원전이 건설되면서 상업용 원전 건설이 본격화 되었다. 한편 500 MWe급의 Pickering-A 설계를 아르헨티나 (Embalse 원전)에 공급하기 위한 계약 협상중, 출력을 600 MWe급으로 올리면서 Bruce 원전에 취한 설계개선사항들을 반영한 신형 665 MWe의 CANDU 원전이 개발되었는데, 이것이 소위 표준화된 CANDU-6이며, 이에 의거 Gentilly-2, Point Lepreau-1, 그리고 월성 1호기 등 3기가 추가 건설되었다.

현재 상용화된 CANDU-6 표준형 외에 개발단계에 있는 모델로는 CANDU-6 개량형인 750 MWe의 CANDU-6 MK II와, 차세대 CANDU 원전을 위해 개발중인 450 MWe의 CANDU-3 및 880 MWe의 CANDU-8 등이 있다. CANDU-6 MK II는 CANDU-6 표준형을 개량한 모델인데 주요 개선사항으로는, 안전성, 이용율 및 운전성 등을 보장하기 위한 설계개선, 기기설치 및 운전을 단순화 함으로써 경비를 절감하고 공기를 단축하기 위한 설계단순화 및 경비절감, 그리고 최근의 연구개발 결과를 이용한 출력 증강 등이다. 따라서 CANDU-6 MK II가 실용화될 경우 적어도 20% 이상의 건설경비를 절감함과 동시에 약 25% 정도 더 많은 출력을 낼 수 있게 된다. CANDU-3의 개발은 필요에 따라 소형 원전의 요구에 부응하고, 한편으로는 기술적, 경제적으로 앞선 차세대 CANDU 원전을 위한 발판을 마련한다는 두 가지 목적하에 착수되어, 현재 설계가 상당히 진척되어 있다. 주요 특징으로는, 설계수명연장, 이용율 증가, 피동형 격납건물계통, 설계 및 건설의 모듈화, 단일방향 가동중 핵연료교체 등을 들 수 있다. 끝으로 CANDU-8은 약 900 MWe급으로서 Darlington 발전소를 기본으로 CANDU-3의 여러가지 특성 등을 가미하여, 최근 AECL사에서 개념설계에 착수하였다. CANDU-8 역시 CANDU-3와 마찬가지로 대형 원전의 요구에 부응하고 그동안 축적된 CANDU 기술을 바탕으로 보다 앞선 차세대의 대형 CANDU 원전을 위한 계획의 일환이라 하겠다.

2) CANDU 원전의 보급 현황

현재까지 가동 중이거나 건설 중인 CANDU 원전은 카나다에 22기를 비롯하여, 한국을 포함한 기타 외국의 약 20 기 등 총 40여기가 있다. 카나다를 제외한 세계 각국의 CANDU 원전보유 현황 가운데 특이한 사항은 인도의 경우 1964년 AECL로부터 RAPS 원전 1호기와 2호기를 도입한 이래 자체 기술개발을 통해 RAPS와 동일 용량으로 현재 약 7기가 건설 중에 있을 뿐만 아니라, 500 MWe급 6기를 포함하여 약 10기의 CANDU 원전이 계획 중에 있다. 그 외에 건설계획 중인 CANDU 원전으로는 카나다의 Point Lepreau-2와, 월성 3,4호기를 포함한 우리나라의 5기, 터키의 1기 등이 있다.

3. 국내도입 CANDU 원전의 건설현황

1) 월성 원자력 1호기

국내에 최초로 건설된 CANDU 원전은 월성 원자력 1호기로서, 1975년 1월 발주자인 한전과 공급자인 AECL사이에 정식 계약이 체결됨으로써 사업이 시작되었다. 월성 1호기는 고리 1호기에 이어 우리나라에서 두번째로 건설되는 원자력 발전소로서 당시에는 국내에 원전 기술이 전무하여 계약자 주도방식(Turn-Key)에 의한 계약이 체결되었으며, 다만 시공에 한해 현대건설과 동아건설 등 국내 회사가 공사를 담당하였다. 건설에 소요된 기간은 계약 체결 후 준공까지 약 8년 4개월이 소요되었으며, 착공부터

핵연료 장전시까지의 실제 공사기간은 약 5년 4개월이 소요되었다. 최초 상업가동일은 1983년 4월로서 현재까지 평균 가동률 84.3%의 우수한 실적을 보여왔다.

2) 월성 원자력 2호기

(가) 계약 구조

1983년 4월 월성1호기 상업가동 이후 국내에서는 900MWe급 경수로를 이후 건설되는 원전의 표준 모델로 설정하고 고리 3,4호기, 울진 1,2호기, 영광 1,2,3,4호기 등 경수로 원전건설에 노력을 집중하였으며 CANDU 원전은 사실상 중단되어 왔다. 근자에 이르러 경제 성장에 따른 전력수요는 급속히 증가하는 반면 부지확보의 어려움, 장기간 소요되는 건설공기 등 원전 건설상의 문제점이 노출되어 이를 보완하는 수단으로 CANDU 원전건설의 필요성이 대두되던차, 1990년 12월 월성 2호기 건설을 위한 계약이 발주자인 한전과 공급자인 AECL 사이에 체결되었다. 월성2호기 계약의 특성은 그동안 꾸준히 신장되어온 국내 원전 건설 기술력이 바탕이 되어 주계약자는 AECL이지만 플랜트 설계 엔지니어링 분야에는 한국전력기술이, 원자로 분야 설계는 한국원자력연구소가, 그리고 주기기 제작분야에는 한국중공업이 AECL의 하청계약자로 대규모로 사업에 참여하게 된 것이다(그림 1 참조). 국내회사의 참여는 계약구조상은 하청계약이지만 수행역무 내용면에서는 설계 엔지니어링의 경우 전체의 73%를 점유함으로써 사실상 사업주체자로서의 위치를 확보하게 되었다.

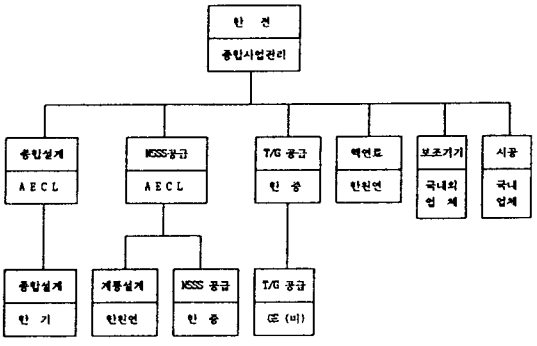

그림 1. 월성 2호기 계약 구조

(나) 건물 배치

월성 2호기 건물 배치는 월성 1호기 건물을 평행이

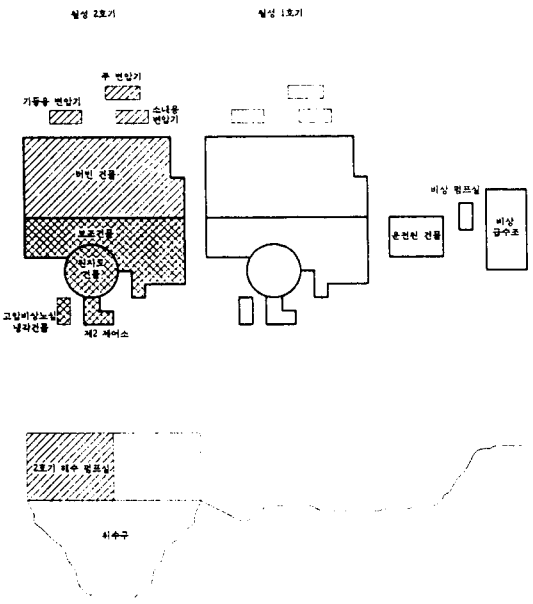

그림 2. 월성 2호기 건물 배치도

동한(Slide Along) 형태로서 원자로 건물 주변과 보조건물이 경계를 이루고 보조건물은 다시 터빈 건물과 경계를 이루고 있다(그림 2 참조). 경수로 발전소 건물 배치와 비교하여 특이한 것은 핵연료건물(Fuel Building)과 폐기물 처리 건물(Radwaste Building)이 별도로 존재하지 않으며, 사용후 핵연료 저장 및 폐기물 처리 설비는 모두 보조건물(Service Building) 내부에 위치하고 있다. CANDU 발전소 특유의 중수 저장 탱크 및 지진 또는 냉각재상실사고(LOCA)와 같은 사고시 증기발생기에 급수원이 되는 비상급수 공급 저장조 등은 월성1호기 설비를 공유하도록 설계되었다. 원자로의 경우 원자로 건물 내에 별도의 격납구조물을 세우고 그 내부에 설치되며 격납구조물은 경수로 채워진다. 원자로건물 상부돔에는 사고시 작동하는 살수(Spray)탱크 구조물이 위치한 것이 특색이다. 보조건물의 지하에는 폐기물처리 설비가 위치하고 1층에는 중수처리 설비 및 사용후 핵연료 저장설비가 있다. 보조건물 2층과 원자로 건물사이에 주제어실(Main Control Room)이 위치한다.

(다) 건설공정

월성2호기 건설공정은 사업착수(ATP) 시점부터 상업운전까지 78개월로서 영광 3,4호기의 96개월보

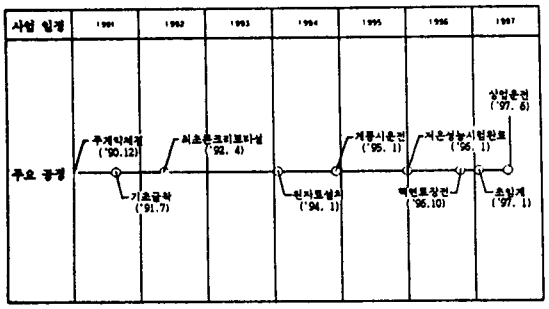

그림 3. 월성 2호기 주요 사업공정

다 18개월이 단축된 공정이다. 이는 전술한 바와 같이 월성 2호기 설계는 월성 1호기를 참조 발전소로 설정하여 이를 최대로 이용함으로써 시급한 국가 전력에너지 수급에 신속히 응하고자 하는 의도가 실린 것이다. 원래 공정은 1992년 4월 30일까지 건설허가가 취득되는 것으로 가정하여 작성 되었으며 현재로서 건설허가가 계획보다 다소 지연될 전망이나 계획공정을 달성하기 위한 조치가 관련사 사이에 강구되고 있다. 주요 공정 계획은 그림 3과 같다. 사업착수 싯점을(1991. 1) 기준으로 기초굴착은 7개월 후, 원자로 설치는 36개월 후(1994. 1), 핵연료 장전은 68개월 후(1996. 8), 그리고 상업운전은 78개월후(1997. 6) 시작된다.

3) 향후 건설계획

정부의 장기 에너지 수급계획에 따라 금년도에 새로운 2기의 (월성 3,4호기) CANDU 원전 건설이 계획되고, 있으며 이에 따라 사업주인 한전을 비롯하여 AECL, 한국전력기술 주식회사, 한국원자력연구소, 한국중공업 등 관련사 사이에 계약협상이 활발히 진행중에 있다. 또한, 1995년도에는 추가 CANDU원전 2기가 발주되는 것으로 계획되고 있어 향후 우리나라의 전력수급에 CANDU의 위치가 보다 굳건하게 자리잡힐 전망이다.

4) 기술 자립

월성 1호기가 계약되던 1975년도에는 원자력 기술 자체가 우리나라에서 생소하게만 느껴졌고, 따라서 이 당시에 발주되었던 고리 1,2호기와 월성 1호기는 모두 계약자 주도방식(Turn-Key)의 계약이 체결되었으며, 국내 기술인력의 경우 현장건설시 품질검사 또는 감리 분야등에 계약자 인력지원 형태로 극미한 참여 실적을 기록했을 뿐이다. 1984년 정부 주도하에 원전 건설 기술 자립의 정책이 수립되고, 이에 따라 900 MWe급 경수로 건설 기술 자립을 위한 국내 관련사들의 노력이 사업주인 한전의 재정 자원하에 집중 경주되어, 1987년 영광 3,4 호기 계약시에는 국내 관련사들이 주계약자로 지정되었음은 주지의 사실이다.

CANDU 원전의 경우 정부 내지는 관련사 사이에서 기술 자립에 대한 계획이나 정책이 아직은 경수로의 경우처럼 체계적으로 세워지지 못하고, 현재 협상이 진행되고 있는 월성 3,4호기까지는 AECL이 계속 주계약자인 형태의 계약이 구상되고 있다. 그동안 경수로에서 축적된 기술 및 월성 2호기 사업 수행을 통해 얻은 경험을 토대로 판단할 때 국내 기술도 경수로처럼 주계약자로서의 자질이 갖추어졌다고 생각되나, 주계약자가 되기 위해서는 기본 기술만 갖추어 가지고는 해결되는 것이 아니며 전산프로그램, 기술자료등 소프트웨어의 확보를 비롯하여 각종 기계, 전산설비 등 하드웨어의 확보 등에 막대한 투자가 병행되어야 하기 때문에 취약한 관련사 재정 부담 능력을 고려하면 용이한 일은 아니다. 정부차원에서 CANDU 원전건설이 장기적으로 지속된다는 정책이 수립되고 이에 따라 한전을 위시한 관련사가 과거 경험을 살려 CANDU 원전 건설 기술자립을 실천해 나갈수 있는 계기가 조속히 마련되어 월성 원자력 5,6호기 부터는 국내 관련회사들이 주계약자로서 일익을 담당할 수 있게 되기를 바란다.

4. CANDU 원전의 인허가

1) 인허가의 목적 및 개념

카나다의 원자력관리법(Atomic Energy Control Act), 미국의 원자력법(Atomic Energy Act) 그리고 우리나라의 원자력법 등 각국의 인허가 규제법령들은 공히 인허가 규제의 목적을 원자력의 연구, 개발, 생산, 이용에 따른 안전관리를 함으로써 방사선에 의한 재해의 방지와 공공의 안전을 도모함에 두고 있다. 따라서 원전 인허가란 원자력발전소의 건설 및 운영으로 인해 발생되는 방사성물질의 방출로부터 대중의 건강과 재산상의 재해를 방지하고 환경을 보호하며, 또한 원자력발전소 종사자들을 위험으로부터 보호하기 위한 정부의 규제업무와, 제반 관련규정들을 준수하여 설계, 건설, 운영을 수행하고 또한 이러한

활동들이 대중의 건강과 안전에 위배되지 않도록 안전성을 확인 및 보장하기 위한 원전사업자 및 기기제작자들의 제반 활동 및 과정을 의미한다. 결국 원전 인허가의 궁극적 목적은 원전의 안전성 확보에 있다 할 것이다. 한편, 원전 인허가에 있어서 또 한 가지의 중요한 요소는 원전에 대한 국민 홍보 및 이해 증진이다. 이는 정부의 규제업무와 사업자의 원전 건설이 국민의 건강과 안전에 직결되기 때문이며, 성공적인 원전사업의 추진을 위해서는 이러한 세 가지 요소가 원활히 조화되어야 할 것이다.

2) CANDU 관련 주요 인허가 관계규정

카나다의 원전 인허가 관련 규정은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 첫째 원자력의 개발 및 이용에 관한 전반적인 사항을 포괄적으로 규정한 원자력 규제법령과, 둘째 원전관련 규제요건을 기술적으로 보다 상세히 규정한 규제문서(Regulatory Document) 및 관련 산업기술 기준이다.

원자력 규제법령에는, 원자력의 개발과 그 응용 및 사용을 관리 감독하는 원자력관리위원회(Atomic Energy Control Board)의 설립과 권한을 규정한 원자력관리법(Atomic Energy Control Act), 그리고 방사성물질의 이용과 원자력시설에 관한 허가사항, 검사 및 보안 등을 규정한 원자력관리규정(Atomic Energy Control Regulation)이 있다. 이러한 카나다의 원자력 규제법령은 극히 기본적이고 원칙적인 사항만을 규정하고 있으며, 실질적으로 인허가요건의 규제는 규제문서 및 관련산업 기술기준과 기본적인 안전성 기준에의 만족여부를 검토, 결정하는 원자력관리위원회(AECB)의 재량에 달려 있다. 이러한 점에서 카나다의 원자력 규제법령은 우리나라의 원자력법령과 유사한 점이 많다고 할 수 있다.

카나다의 원자력 관련 규제문서로는 일반허가조건(Generic License Conditions), 규제방침 고시(Regulatory Policy Statement) 및 규제지침(Regulatory Guide)의 3가지가 있다. 일반허가조건은 AECB가 운영허가를 발급할 때 모든 발전소에 대해 공통적으로 부여하는 운전중의 준수 요구사항을 규정한 것으로, 발전소의 안전운전을 위한 일반적 사항과 추후의 설계 및 운전 절차 변경에 대한 AECB의 사전 승인사항, 사고에 대한 보고 및 기록 보존 등을 포함하고 있다. 그 다음, 규제방침 고시는 원자력 관리 규정이나 일반허가조건에 명시되지 않은 보다 세부적인 기술적 요건에 대해 규정한 것으로 이의 준수는 거의 의무적이다. 그러나 규제 방침 고시에 대한 준수 불이행이나 대안이 동시에 허용되어지고 있는데, 그 타당성에 대한 결정은 AECB에 달려있다. 끝으로, 규제지침은 규제방침고시 보다는 그 요건의 준수 요구가 덜 엄격한 것으로, AECB의 규제업무 전반에 걸쳐 발행되며, 이는 사업자를 위한 지침 또는 권고사항으로서 이용된다. 이러한 규제문서 외에, 규제문서가 개발되는 과정에서 AECB는 참조문서(Consultative Document)를 규제문서의 초안 형식으로 발행하는데, 이는 일정기간 동안 원자력산업계와 공공의 검토과정을 거친 후 정식 규제문서로서 발행된다. 따라서 규제문서는 법적 강제성이 있는 반면 참조문서는 강제성이 없다. 그러나 일부 참조문서는 경우에 따라 반 강제성을 띠기도 한다. 참고로, 월성 2호기에 적용되는 주요 규제문서 및 참조문서는 표 1과 같다. 이중 규제문서인 R-7,8 및 9는 최근('91.2)에 참조문서에서 규제문서로 바뀐 것이다.

한편, CANDU 원전 관련 기술기준으로는 미국의 경우와 마찬가지로 카나다 원자력협회(Canadian Nuclear Association) 기준과 카나다 표준협회(Canadian Standards Association) 기준이 있다. 이들 관련 기술기준들은 때로 규제문서에 의해 그 요건의 준수가 요구되므로 강제성을 띠기도 한다.

3) 카나다의 인허가 제도

카나다의 원전 인허가제도는 카나다 원자력관리법으로부터 위임받은 AECB가 규정한 인허가 요건 및 안전기준에 따라 부지승인, 건설허가 및 운영허가의 순서로 진행된다. 이는 우리나라 및 미국의 경우와 동일하며 통상 2단계 인허가제도(2-Step Licensing)라 불린다 (그림 4 참조).

카나다의 인허가 제도상의 특징으로는 다음과 같은 점을 들 수 있다. 첫째, 카나다에서는 부지승인 단계에서 공개토론회의 개최를 의무화하고 있다. 이 공개토론회는 성격상 미국에서 요구하고 있는 공청회와는 다르며 AECB 요원도 주로 참관자로서 참석할 뿐이다. 그러나 사업주는 부지승인 전에 부지 인근에서 적어도 1회 이상의 공개토론회를 가져 일반 대중의 의견을 수렴하고, 부지 평가 보고서를 공개토론회 개최 3개월전에 일반 대중에게 공개하여야

표 1. 카나다의 주요 규제문제 및 참조문서

문서번호	제 목	발행년도	비 고
R-7	Requirements for Containment Systems for CANDU Nuclear Power Plants	1991	1991.2 참조문서에서 규제문서로 변경
R-8	Requirements for Shut-down Systems for CANDU Nuclear Power Plants	1991	〃
R-9	Requirements for Emergency Core Cooling Systems for CANDU Nuclear Power Plants	1991	〃
R-10	The Use of Two Shutdown Systems in Reactors	1977	
R-77	Overpressure Protection Requirements for Primary Heat Transport Systems in CANDU Power Reactors Fitted with Two Shutdown Systems	1987	
C-6	Requirements for the Safety Analysis of CANDU Nuclear Power Plants	1980	
C-22	Quality Assurance Requirements	1987	

한다. 둘째, 건설허가 단계에서 사업자가 AECB에 제출하는 예비안전성분석보고서(PSAR)의 내용이 우리나라나 미국의 경우에 비해 빈약하며, 장(chapter)수도 13장에 불과하다. 카나다의 경우 예비안전성분석보고서는 단지 안전성 분석을 위한 요약에 준하며, 상세 설계 및 분석 내용은 별도의 보조자료 형태로 제출된다. 또한, 건설허가 후 예비안전성분석보고서는 매년 개정되어 설계과정상의 변경분을 반영하므로, 추후 별도의 최종안전성 분석보고서를 작성하지 않는다. 셋째, 카나다의 인허가 및 기술 규정은 앞에서 언급한 바와 같이 발전소의 전체적인 안전성을 위해 매우 기본적이고 원칙적인 사항만을 규정하고 있을뿐, 미국의 규정처럼 상세하고 구체적이지 못하다. 그리고 모든 세부적인 인허가 요건 및 안전성 기준의 만족 여부에 대한 결정은 AECB의 재량에 있다. 그러나, 카나다는 정부 및 관련 산업계의 적극적인 지원과 AECL의 주도하에 독자적인 CANDU 원전을 개발해 왔으며, 원자력에 대한 국민의 여론도 미국의 경우처럼 심각하지 않았으므로 까다로운 규제입법이나 미국과 같은 방대한 기술기준 없이도 인허가 과정상 큰 문제가 없었다고 볼 수 있다. 넷째, 카나다의 경우 원전사업자는 건설과정 동안 계속적으로 AECB와 긴밀한 접촉과, 소위 대화식 인허가 방식을 통해 사전에 제반 문제점을 협의하여 해결해 나감으로써, 건설 도중에 사업주에게 심각한 문제점을 초래하는 경우를 방지해 나간다.

이상과 같은 카나다의 특수한 인허가 환경을 배경으로 최근 카나다에서 Darlington 발전소에 이미 적용해 온 바 있으며, 현재 건설 계획 중인 Point Lepreau-2에 적용 예정인 사전 인허가방식(Up-front Licensing)은 특히 주목할 만하다. 사전 인허가 방식이란 간략히 말해, 건설 착수 전에 발전소의 상세설계 및 안전성 분석 등에 영향을 미칠 소지가 있는 광범위한 문제점들에 대해 사전에 AECB와 문서화된 합의를 이루는 것이다. 이에 해당하는 문제점으로는, 모든 안전성 분석에 대한 목록, 각 분석의 범위, 적용할 기술기준, 모든 입력 가정사항, 컴퓨터 코드, 관련 규제지침의 설계 적용을 위한 세부해석 그리고 최종 허용기준 등을 포함한 것이다. 또한 각 안전성분석 형태별로 대표로 한가지씩 견본을 작성하여 참고로 사용하게 된다. 따라서 AECB와 사업자간에 이러한 합의에 이르게 되면 건설허가시 이 합의 문서를 참조함과 동시에, 건설허가 후 상세설계단계에서 AECB와 사업자 사이에 기본원칙으로

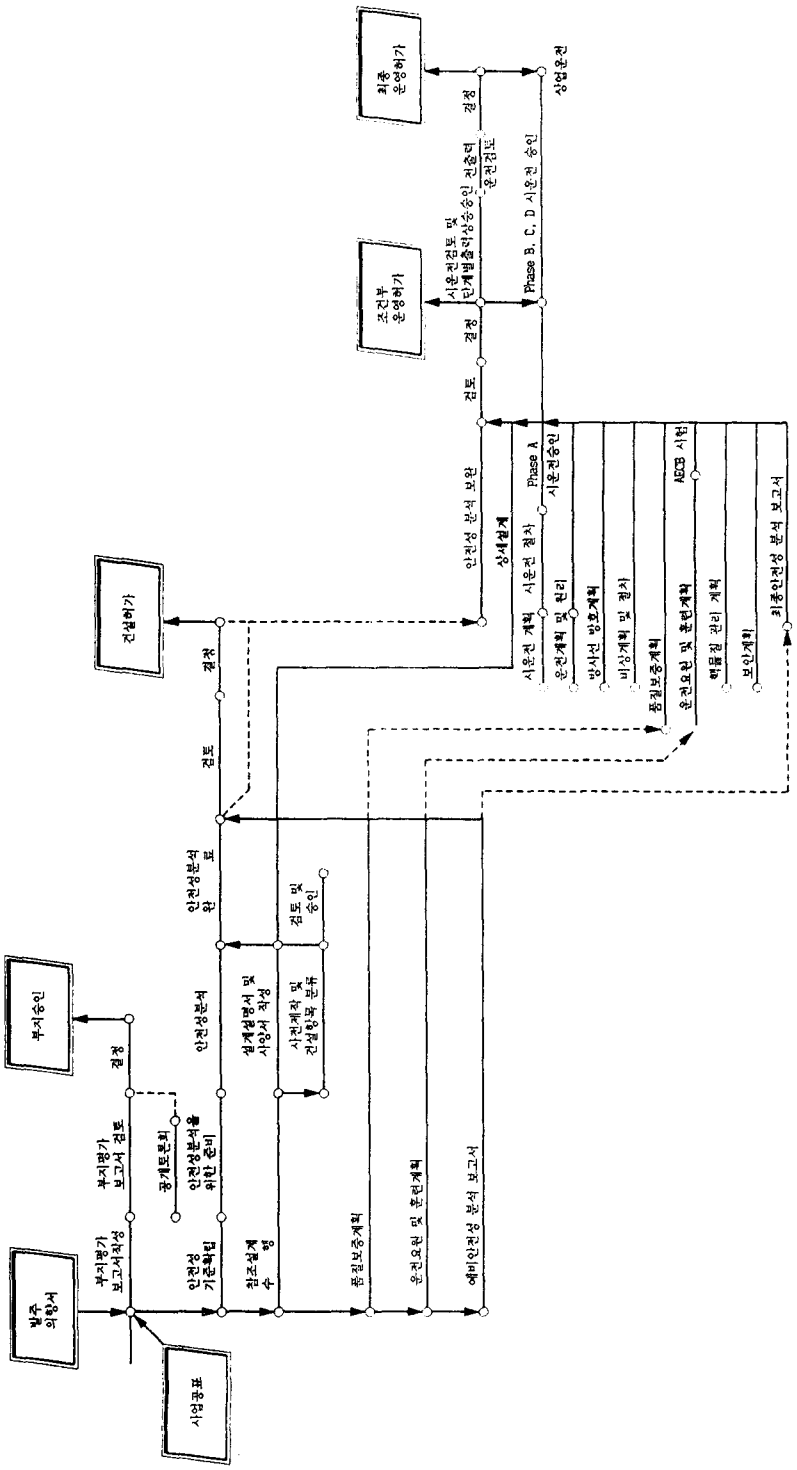

그림 4. 카나다의 인허가 절차

쓰이게 된다. 만약, 사업자가 추후 설계변경을 원하지 않고, 설계 당시의 초기분석 및 평가 결과가 적절하다면, 추후의 설계변경은 자연히 최소화되고, 따라서 규제과정상의 마찰로 인한 건설에의 영향도 최소화될 것이다. 한편, 설계 당시의 초기분석 결과의 타당성에 있어서, CANDU를 포함한 현재의 원전 개발이 혁신적이기 보다는 점진적으로 개선되고 있기 때문에 별 문제가 없을 것이다. 이와 같은 카나다의 사전 인허가 방식은 현재 미국에서 이미 법제화된 건설/운영 동시허가방식(One-Step Licensing)의 문제점으로 보이는 건설공기의 증가, 즉 건설착수 전에, 동시 허가를 받기 위해서는 모든 상세설계 및 안전성 분석을 수행하여 거의 완성된 설계를 통해 설계인증을 받아야 하는데, 그 설계인증 과정이 평균 4~5년씩 걸리게 되므로 전체 건설공기가 늘어나는 단점을 보완할 수 있다.

5. 국내도입 CANDU 원전에 대한 인허가

1) 인허가 추진 방향

국내 최초의 CANDU 원전인 월성원자력 1호기는 앞에서 기술한 바와 같이 AECL이 계약자 주도방식으로 표준형 CANDU-6 설계를 공급하였다. 당시 국내 원자력산업계는 초기단계에 불과하였으며 인허가 규제업무 또한 제대로 확립되지 못한 상태였다. 그러나 월성 1호기 건설 착수이래 15년이 지난 지금, 월성원자력 2호기는 그동안 정립된 국내 원자력 관련 법규를 비롯하여 인허가 규제기관 그리고 원자력 관련 산업체의 성장 등 판이하게 다른 인허가 여건 속에서 CANDU 원전으로서는 사실상 처음으로 국내 규제기관의 검토에 의해 인허가를 받게 되었다. 특히, 국내 원자력산업계와 규제기관의 그동안의 경수로 원전을 토대로 한 경험 축적과 국민들의 원자력에 대한 관심 고조는 간과할 수 없는 변화라 할 수 있다.

한편, 국내 도입 CANDU 원전의 특징은, 월성 1호기는 카나다의 Point Lepreau-1 및 Gentilly-2 등과 함께 CANDU-6 표준형을 참조로 설계되었으며, 월성 2호기는 월성 1호기를 참조발전소로 하여 설계된 점이다. 이러한 국내 도입 CANDU 원전의 설계개념은 앞에서 언급한 개량형 CANDU 모델이 상용화되기 전까지는 계속될 전망이며, 이러한 유사설계의 반복은 건설경비 절감 및 CANDU 원전 기술 자립 측면에도 유리한 점이 많다. 이에 따른 국내 도입 CANDU 원전의 인허가 추진 기본 방향은 CANDU-6 표준형을 기본으로 한 각 선행호기와의 건설시차 반영을 위해, 설계 개선을 포함한 설계 변경사항과 변경된 인허가 요건, 그리고 관련 기술기준을 반영하는 것이다. 그리고 발전소 설계는 카나다의 기술기준을 위주로 하면서 우리나라의 기술기준을 보완 적용하나, 인허가는 우리나라 원자력 법규에 규정한 절차에 따라 수행된다는 점이다.

한편, 우리나라의 인허가 요건 및 절차는 거의 미국의 방식을 따르고 있으며, 소위 2단계 인허가방식으로 형식상 기존의 카나다 인허가 절차와 유사하다(그림 5 참조). 그러나 사실상 카나다에서 수행하고 있는 인허가 관련 제출서류의 형태, 원전사업자와 규제기관인 AECB간의 긴밀한 접촉 및 협의, 기술적 인허가 요건의 해석에 대한 AECB의 재량권과 사업자의 유연성 등과 비교해 볼때 우리나라의 인허가 방식과는 많은 차이가 있다. 또한 관련 기술기준에 있어서도 경수로 기술기준을 준용하고 있는 우리나라 인허가 요건과 중수로의 기술기준을 바탕으로한 카나다의 인허가 요건에는 많은 차이가 있다. 따라서 이러한 차이는 카나다의 인허가 요건 및 기술기준을 우리나라의 인허가절차 및 제도에 맞게 적절히 운용함으로서 해소될 것이라 본다.

2) 주요 인허가 현안 문제

현재 건설허가 신청 중인 월성 2호기의 주요 인허가 관련 현안 문제를 살펴보면, 우선 CANDU 원전의 고유 안전성 문제(Generic Safety Issues)의 해결 및 적용을 들 수 있다. CANDU 원전의 고유 안전성 문제는 약 12가지 정도가 있는데, 이들은 크게 AECB의 조치 항목(6개)과 장기 연구 과제 항목(6개)으로 나누어진다. AECB의 조치 항목은 AECB가 각 원전사업자에게 조치 요구사항을 서면으로 전달하여 이미 상당수의 방안이 강구되었거나 AECB에 제출되어 검토 중인 것으로, 이에는 격납건물 내 수소거동분석, 압력관 건전성, 안전계통에 수은 계전기의 사용, 강제 유동상실시의 노심 냉각, 경년열화에 따른 원전 안전성 확인, 사고후 여과기 효율 등이 있다. 한편, 장기 연구과제 항목으로는 압력관 파손에 의한 영향, 비상노심냉각계통의 효율성 분석, 용

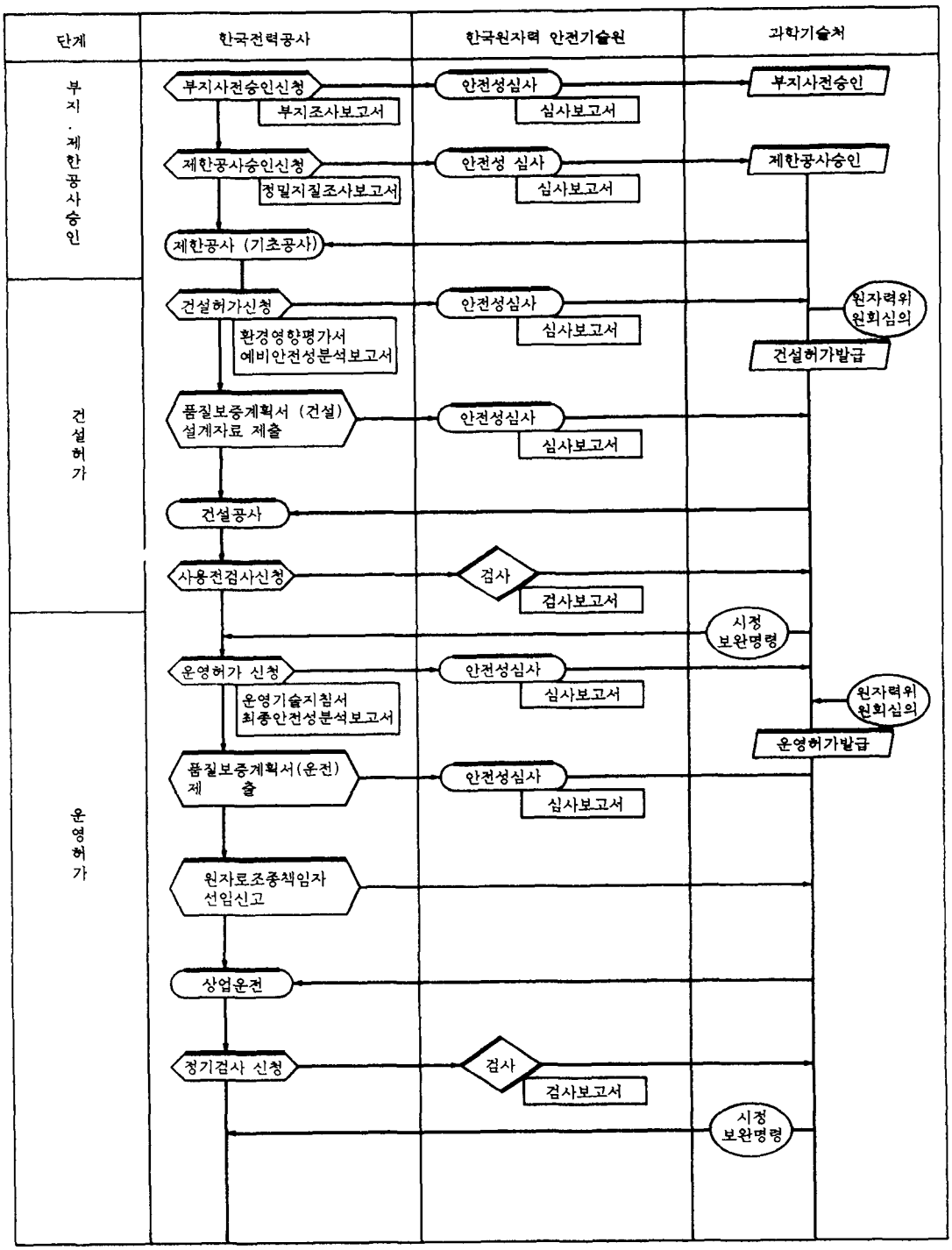

그림 5. 우리나라의 인허가 절차

융 핵연료와 감속재의 상호작용, 고온 핵연료와 핵연료 채널의 거동, 핵분열 생성물과 Aerosol의 거동, 감속재 순환 및 과냉각 등이 있는데, 이들은 대부분 요즘 원전 안전성의 관건인 중대사고에 대비한 안전성 문제로서 현재 계속적인 연구가 수행되고 있다.

그 다음으로는 월성 2호기의 인허가 관련 현안 문제로서 우리나라와 카나다의 관련 기술기준의 상이점을 들 수 있다. 우리나라의 기술기준은 앞에서 언급한 바와 같이 대부분이 미국의 기술기준을 준용하고 있는 바, 카나다의 기술기준과 상이한 부분이 있으며, 이의 적용 타당성을 검토하는 것이다. 이는 CANDU 원전 특유의 기술기준은 카나다의 기술기준을 따르는 것이 원칙이나, 일반적인 원전 기술기준 상의 차이점은 우리나라, 미국 및 카나다의 관련 기술기준을 서로 비교 검토하여, 원전 안전성 확보와 사업에의 영향 최소화 등 두가지 측면을 적절히 고려하여 적용하여야 할 것이다. 그 예로서, 인간공학(Human Factor Engineering)과 외부사건에 대한 PSA 등을 들 수 있다. 이들은 모두 미국과 우리나라에서는 수행중이나 카나다에서는 적용하지 않고 있는 것이다.

또 다른 현안 문제로는 변경된 카나다의 인허가 요건의 적용을 들 수 있다. 그 중, 월성 1호기 이후 새로운 종합적 안전성 분석 요건이 정립되었는데 그것이 C-6(CANDU 원전의 안전성 분석요건)이다. 한편, 최근 참조문서에서 규제 문서로 강화된 R-7(CANDU 원전의 격납건물 계통 요건), R-8(CANDU 원전의 정지계통 요건), 그리고 R-9(CANDU 원전의 비상노심 냉각 계통 요건)등은 C-6에서 요구하고 있는 사고 분석의 범위와 차이가 있어, 이들의 적용방안에 대한 검토가 요구된다. 그 외 기타 월성 2호기 인허가 관련 현안으로는 다수기 건설에 따른 환경영향 평가, 격납 건물의 기밀성, 월성 1호기 대비 설계 변경사항의 타당성 검토 등이 있다. 이러한 현안 문제들은 CANDU 원전의 공급국인 카나다의 규제기관(AECB)과의 지속적인 접촉 및 자문, 그리고 국제원자력기구(IAEA) 전문가를 통한 간접 검토 등에 의해 현실적으로 최대한의 안전성이 확보되도록 해결되리라 본다.

6. 요약 및 결론

경수로형 원전을 위주로한 우리나라의 경우 CANDU 원전을 도입, 건설하여 경수로형 원전과 병행하는 것은 여러가지 면에서 유리하다. 이것은 경수로와 중수로를 단순히 경제성 또는 안전성 측면에서 상대 비교하기 보다는 둘다를 모두 보유한 우리나라의 현 실정에 비추어 볼 때 서로 보완성이 있기 때문이다.

따라서 월성 2호기를 비롯한 후속 CANDU 원전의 국내 건설 및 국내 규제기관에 의한 인허가는 결국 기술적으로는 물론이거니와 인허가 제도상에 있어서도 카나다, 미국 그리고 우리나라의 조화라고 볼 수 있다. 다시 말해 경수로를 위주로 한 미국의 기술과 인허가 제도를 이미 채택하여 상당한 기술자립을 달성한 우리나라로서, 중수로 기술과 인허가 제도를 원활히 소화해 냄으로써, 앞으로 월성 3,4호기를 포함한 후속 CANDU형 원전은 물론, 중수로에서 얻은 좋은 경험과 제도를 경수로에도 접목시킬 수 있는 원전 기술 자립을 이룩해야 될 것으로 본다. 특히, 경수로와 중수로의 개발국인 미국과 카나다가 각각 동시 허가 및 사전 허가 방식으로 인허가 제도상의 개선을 시도하고 있는 현실에 비추어 볼때, 경수로와 중수로를 모두 보유한 우리나라로서도 우리나라의 원자력 산업계와 규제실정, 그리고 국민여론을 감안하여 더욱 현실에 부응하는 인허가 제도에 대한 연구가 필요할 것으로 본다.