

CANDU型 原子炉의 紹介

現在 우리나라는 古里原子力發電所 1號機 1基를 運転中에 있으며 8基를 建設하고 있는데 月城原子力發電所(CANDU-PHW) 1基를 除外하면 모두 加圧輕水型原子炉(PWR)인바, 이 唯一한 重水炉인 月城原電의 商業運転開始가 今年末로 豫定되고 있어 CANDU型原子炉의 歷史와 特性을 大略的으로 알아보고자 한다.

세계각국의 정치와 경제가 産油國의 可變性, 가격의 불확실성 및 그 부족량이 유한하다는 생각으로 크게 지배되고 있는 이 시대에, 비교적 값싼 原子力發電은 매력적인 대체 에너지원이 되고 있다. 이러한 사실은 특히 석탄이나 수력 발전을 위한 潛在的 資源이 충분히 없는 나라에 더욱 정확히 적용된다.

미국과 캐나다와 같은 나라들은 다행히도 풍부한 에너지 자원을 보유하고 있으나, 한국과 서구 제국 그리고 일본등은 그렇지 못한 나라에 속한다.

에너지 자원이 풍부하지 못한 나라들은 계획된 국가경제발전목표를 달성하는데 어려움을 겪게 될 것이며, 석탄이나 석유자원의 과다수입으로 식량, 중화학공업원료 및 고급기술의 도입에 보다 유용하게 활용되어야 할 귀중한 외화를 소모하게 될 것이다.

아직까지는 電力을 손쉽게 휴대하여 이용하기가 어렵기 때문에 석유를 많이 사용하는 자동차의 에너지원으로 전력을 일반화하여 대량 사용할 수는 없다. 그러나 전력은 寒冷地域에서 가정 및 공장의 난방에 이용될 수 있고, 에너지 집약형인 금속공업과 대량 수송장치 및 공장등에서 필수불가결한 에너지원이다.

또한 전력은 앞으로 탄화수소를 합성하는데 이용될 것이고, 電解作用으로 물을 수소와 산소로 분해하여 극히 효율적이고 깨끗하며 쉽게 휴대하여 이동할 수 있는 수소연료를 생산하는 데도 이용될 것이다.

대하여 이동할 수 있는 수소연료를 생산하는 데도 이용될 것이다.

석탄과 석유의 대체 에너지원으로서 원자력을 개발함에 있어서, 지금까지의 목표는 신뢰할 수 있고 안전하며 환경을 오염시키지 않으면서도, 한정된 우라늄 자원을 효과적으로 활용할 수 있는 發電裝置를 考案해내는 데 있었다. 그리고 현 시점에서 또 한가지 要求되는 것은 이러한 원자력발전의 개발이 생소하며 비용이 엄청나고 정치적으로 민감한 농축 우라늄 기술이나 화학적 재처리 시스템에 대한 요구를 수반하지 않아야 한다는 것이다.

캐나다는 이와같은 사항들이 CANDU (Canada Deuterium Uranium)로 알려진 原子力發電 시스템에 의하여 이미 실현되었음을 확신하고 있고, 이 發電시스템은 우라늄 부족자원의 漸減으로 인하여 代替核燃料週期가 사용될 경우 CANDU시스템은 용이하게 이러한 주기에 변경 적용될 수 있을 것으로 생각하고 있다. 또한 캐나다는 자본 집약적인 원자력발전소중 運転費와 燃料費가 비교적 저렴한 CANDU시스템이 원유나 석탄가격인상에 대비하는 가장 좋은 예방책이 된다고 믿고 있다.

이와같은 캐나다의 理想的인 목표설정과 추진방향은 다른 나라들이 추구한 것과는 매우 다른 결과를 갖어 오게 했는데, 그 이유는 지난 40년간의 사실을 보면 알 수 있다.

캐나다의 원자력 사업은 제 2 차 세계 대전 때 시작 되었고, 이때 캐나다의 과학기술자들은 영국 및 프랑스 과학자들과 협동하여 연합 전쟁 노력의 일환으로 重水原子炉의 개발에 착수하였다.

이 전시에 수행된 연구와 노력의 결과로 일련의 중수 원자로가 설계 제작운전되었는데 이중 하나인 NRX 原子炉가 1947년에 완성되었으며, 이것은 數年동안 세계에서 가장 강력한 研究試驗用 原子炉로 인정되어 미국과 영국에서 새로운 원자로의 개발 설계에 필요한 중요정보를 얻는데 활용 되었다.

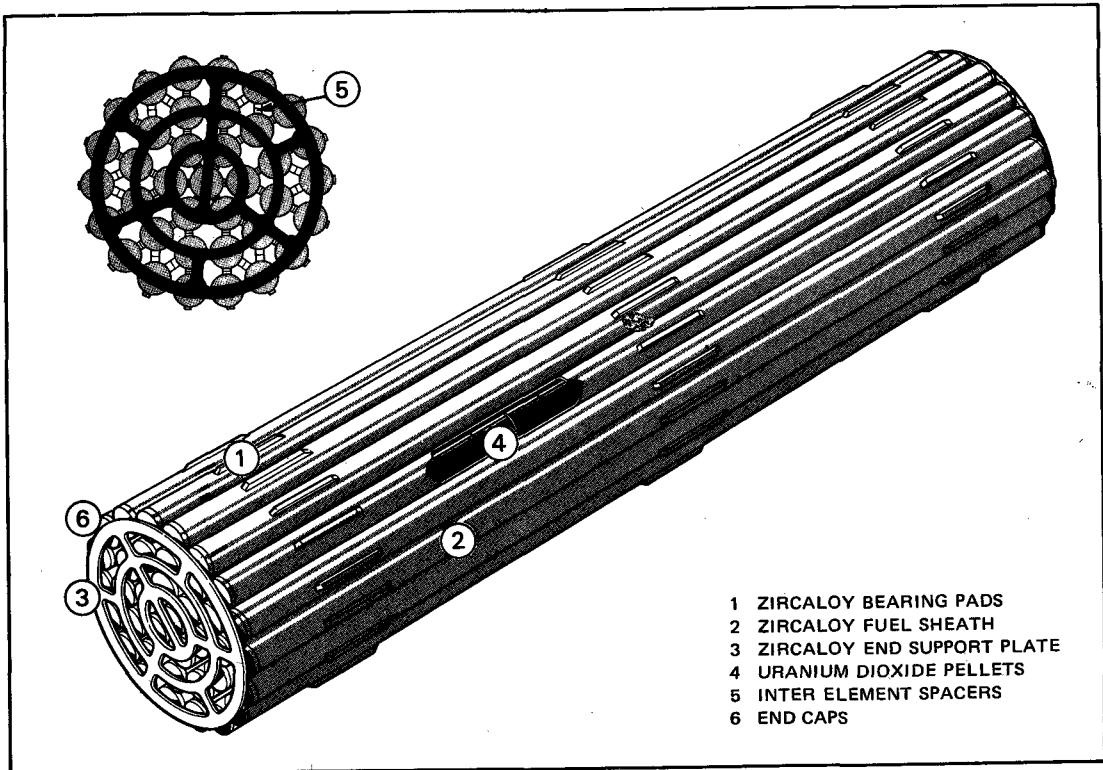
국영회사인 캐나다 원자력공사 창립후인 1954년에 오타와 서부에 위치한 Chalk River 원자력연구소에 5개 캐나다전력업체의 전문가 및 기술자를 포함한 원자력 그룹이 설치되었다.

캐나다 원자력공사와 전력회사 및 산업체간의 지속적이고도 생산적인 협동기반을 구축하는데 기여한 이 그룹은 영국의 가스 냉각 흑연감속

원자로 및 미국의 加壓輕水型原子炉(PWR)를 검토분석한 결과 천연우라늄을 이용하는 重水減速原子炉가 장차 캐나다의 필요에 가장 적합하다는 결론을 내렸다.

1957년에는 NRX에 이어 더욱 강력한 원자로인 NRU가 완성되었으며, 이 2기의 원자로로는 1954년에 완성된 ZEEP(Zero Energy Experimental Pile)와 함께 CANDU 원자력사업에 필요한 물리적 기초와 금속학적, 화학적, 공학적 자료를 제공하였다.

이렇게 시작된 CANDU형 원자력발전시스템은 화학반응을 일으키지 않는 세라믹 산화물 형태의 천연 우라늄을 燃料로, 그리고 重水を 감속재 및 열전도 유동재로 사용한다. 그러나 두가지 다른 기능을 갖는 중수는 서로 완전히 분리된 다른 회로내에 장치된다. 총 중수 저장량의 약 절반에 해당하는 냉각(70℃) 감속재는 C-alandria라고 하는 비압력 원통형 금속 탱크에



37 ELEMENT FUEL BUNDLE

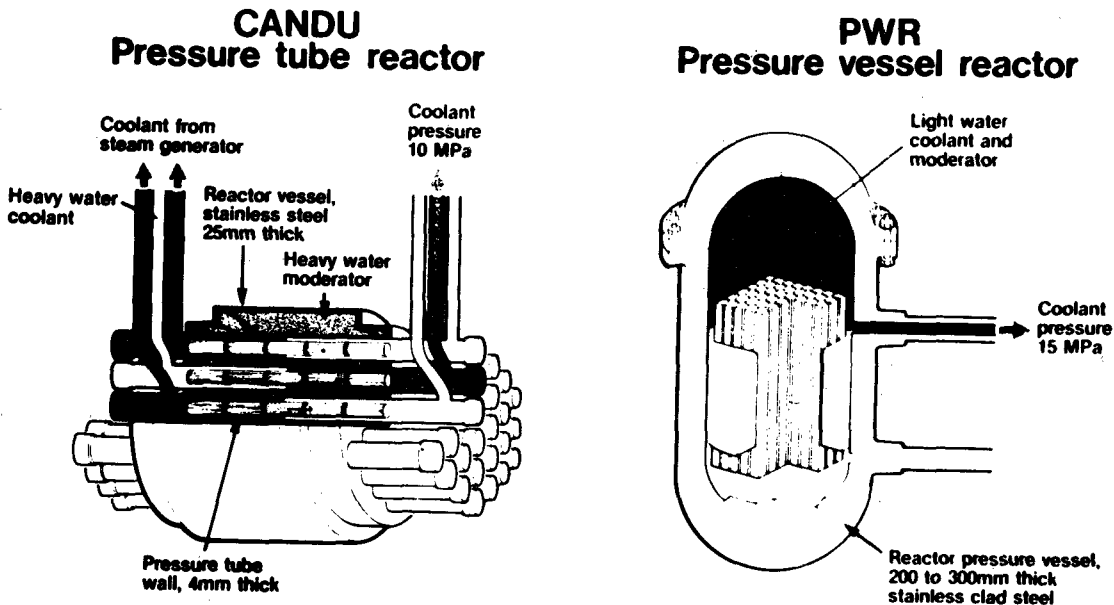
담겨지며, 여기에 1차 열전도장치의 연료부분을 담고 있는 6-7 백개의 얇은 벽(4mm)으로 된 압력튜브가 수평으로 裝填된다.

조그마한 원통형 펠렛으로 된 연료는 작은 규모의 공장에서도 쉽게 대량 생산할수 있는 직경 20cm, 길이 50cm의 양쪽 끝이 용접되어 있는 Zircaloy 튜브에 넣어져있고, 이 燃料棒들은 다발로 묶여진다. 한다발의 燃料棒數는 원자로의 모델에 따라 다르나 CANDU 600原子爐의 경우 37개로 되어있다. 각각의 압력튜브에는 12다발의 연료가 裝填되며, 컴퓨터에 연결된 원격조정장치를 사용하는 연료 장전기로 원자로의 정상가동중에도 연료를 공급하거나 제거 할 수 있다. 열전도 회로에서 보내진 뜨거운 重水는 이

들 연료다발의 주변을 지나서, 다시 공급파이프를 통하여 주 탱크 및 증기발생기로 들어가, 분리된 2차 회로내에 있는 輕水를 증기로 전환시켜 터빈발전기를 움직이게 한다. 그리고 스팀은 복수기에서 응축되고, 다시 데워진 응축수는 증기발생기로 되돌아간다.

35cm 두께의 벽으로 된 단일 대형 압력용기를 사용하지 않고 이 압력튜브 방법을 택하게 된 이유는 얇은 벽의 Calandria 등 모든 部品들을 캐나다를 비롯한 어떠한 선진국에서도 조립 생산할 수 있기 때문이다. 그리고 이 선택이 適切하였던 이유중의 하나는 원자로를 제작업체에 의하여 완전 조립한 상태로 선적할수도 있고 또한 發電所 現場에서 조립할수도 있다는 것이다.

REACTOR SYSTEMS COMPARISON



현재 온타리오州에는 5,000MWe 容量 以上の CANDU 原子力發電施設이 설치되어 있으며, 온타리오州 電力需要의 약 3분의 1을 충족시키고 있다. 이들 CANDU 발전소들은 미국으로부터 수입한 석탄을 사용하여 생산하는 電力의

단가보다 훨씬 저렴한 비용으로 지금까지 3,000 억kWh를 發電하여, 결과적으로 광범하게 분산되어 있는 온타리오 주민에게 북미주에서 가장 값싼 전력을 공급하였다. 또한 이 전력을 정기적으로 미국의 뉴욕州, 펜실바니아州 및 일리

노이주에 매년 수출되고 있다.

첫번째 CANDU 600형 원자력 발전소는 지난 8월 캐나다 New Brunswick의 Point Lepreau에 완성되어 현재 가동되고 있으며, 두번째의 同型發電所도 지난 9월에 캐나다 Quebec주의 Gentilly에서 가동되었다. 그리고 세번째는 한국의 월성 원자력발전소가 될 것이고, 네번째는 來年에 아르헨티나에서 완공될 것이다.

현재 8,000MWe容량의 原子力發電團地가 캐나다에 건설중이다. 가동중인 CANDU형 원자력발전소의 용량규모는 온타리오주 Rolphton에 20년된 22MWe급 實証原子力發電所(NPD Plant), 온타리오주 Douglas Point에 206MWe급 試驗商業發電所, 그리고 온타리오주 Pickering에 4기의 514MWe급 발전소와 브르스에 4기의 745MWe급 발전소등 다양하다. Pickering과 브르스발전소에는 後續機들이 추가건설되고 있으며, 4기의 850MWe급 발전소가 온타리오주 Darlington에 건설중이다. 표준형CANDU600의 국내 및 해외수출용으로 설계된 950MWe급 발전소에 대한 엔지니어링 설계가 완료되었는데, 이들 CANDU600 및 CANDU 950형은 단일 발전소 건설 또는 多數의 발전소를 집합시켜 건설하는데에도 적합하다.

2,000MWe급 발전소 건설을 검토하는 설계연구가 현재 진행되고 있다.

이와같은 시설 용량규모의 신축성은 加圧이 안된 Calandrias의 건설에 있어서 그 규모에 실질적으로 제한이 없으므로 炉心部의 크기에도 제한이 없다는 사실에서 기인한다. 炉心部의 燃料채널數와 그 길이 그리고 열운반펌프 및 증기발생기의 크기를 늘리면 그만큼 용량이 증가하게 된다.

CANDU의 천연 우라늄 방식에 있어서 알려진 제약점은 열효율로서, 농축 우라늄을 이용하는 加圧輕水型原子炉(PWR)가 32%인데 비하여 CANDU는 29%이다.

여기에서 제일 먼저 고려되어야 할 것은 원자로의 가동압력인데, 이는 Zircaloy 압력튜브 두께에 의하여 제한을 받는다. 압력튜브의 두께를

4mm 더 늘릴 경우 불필요한 중성자의 흡수를 증가시키게 되고 이것은 연료의 연소를 감소시킨다.

그러나 CANDU 시스템의 利點을 이용하면서 농축우라늄을 사용하고 추가비용을 부담할 경우 약간 더 두꺼운 압력튜브벽을 사용할수 있는데 이 경우에는 1.2%의 농축우라늄이 아주 적합하다. 이러한 제안은 사실상 이미 미국연방 에너지연구개발청을 대신하여 Combustion 엔지니어링회사가 수행한 연구에서 제시된바 있다.

미국 Argonne 국립연구소도 연방에너지 연구개발청의 위탁을 받아 미국내에서의 CANDU 원자로 허가 여부를 결정하기 위하여 동일한 연구를 하였으며, 그 결과 "CANDU型 加圧重水原子炉(CANDU-PHW)가 미국에서 허가를 받는 데 있어서 그 본질적 특성으로 보아 어떠한 瑕疵도 없음"을 확인하였다.

이 보고서는 설계상의 수정이 제외된것과 관련하여 이것은 "특히 미국내에서 이미 허가된 원자로형과 관련하여 단순히 미국의 허가여건에 부합시키려는 의도"임을 강조하고, 계속해서 "이러한 수정은 現行의 CANDU형 가압중수 원자로의 안전도가 개선되어야 하기 때문에 이루어진 것이 결코 아님"을 천명하였다.

원자력발전소와 화력발전소의 에너지 생산단가는 동일 시점에 함께 건설되었을 경우 쉽게 비교할수 있다.

이와 관련하여 동시에 건설된 Pickering A 원자력발전소(515MWe급 4기)와 Lambton, Ontario 석탄발전소(495MWe급 4기)의 발전비용을 비교한 결과, 表에서 알 수 있듯이 모든 관련요인을 고려한 Pickering의 총단위 에너지 비용(TUEC)은 Lambton 석탄발전소 비용의 절반 정도에 불과하였다.

지금까지 어느 전력회사도 CANDU 형과 PWR형 원자로를 함께 보유하고 있지 않으므로(한국전력공사가 이 두가지형 발전소를 모두 갖게 되는 최초의 경우가 될것이다) 이 兩者의 발전비용을 비교하기는 쉽지 않다.

그러나 사업장으로 부터 입수된 정보에 따르

表 Pickering NGS-A와 Lambton TGS의 비용 비교-1981

	Pickering NGS-A	Lambton TGS
이자 및 감가상각	6.4	1.9
유전 유지관리	4.5	1.7
연료	2.2	19.5
중수보존	0.7	-
총단위 에너지 비용 (m\$ / kWh)	13.8	23.1

* 순 가동율 : 88.1%

면 重水가 없이 연료만 裝填된 "dry" CANDU의 비용은 同一容量의 PWR발전비용과 대략 같은 수준이다. 이렇게 생각할수 있는 이유는 증기발전부문 즉 원자로, 증기발생기, 열운반 펌프등의 비용이 총 발전소 비용의 15% 정도에

불과한 일부에 지나지 않기 때문이다.

더우기 重水는 총 발전소 비용의 약 5%에 해당되는 자본 비용으로 처리되거나 또는 운영비로 처리될수도 있다. 重水を 구입할 경우 그 수명이 발전소보다 길고 현재로서는 重水の 재판매 가격이 해체회수에 따른 비용보다 클 것으로 판단된다.

CANDU형 원자로의 중요한 특성은 정상 가동중에 연료를 교체 장전할수 있다는 것으로 이는 90% 이상의 신뢰도를 보여주고 있으며 이러한 가동중 재장전 능력은 편리하다는 것 이상의 큰 의미를 갖는다. 즉 결함이 있는 연료다발을 發電을 중단하지 않고 제거할수 있다는 것이다. 물론 드문일이지만, 이러한 발전소의 가동중단은 하루 수십만 달러의 손실을 초래하는 것이다. 또한 가동중 재장전 능력은 炉心内 核燃料의 적정 배치를 계속적으로 가능케 함으로써 모든 연료다발의 효율을 극대화 할 수 있는 것이다.

原子力産業新聞 購讀案内

当 會議에서는 日本原子力産業會議가 發行하는 「原子力 産業新聞」을 輸入, 配布하고 있습니다.

同 新聞은 世界各國의 原子力政策, 各種報告, 國際會議, 放射性 同位元素, 核燃料, 放射性廢棄物, 原子力發電所 建設 및 運轉記錄, 高速增殖炉와 核融合炉開發等 모든 原子力分野에 대한 情報를 상세하게 報道하고 있어 原子力の 平和利用에 関心이 있으신 분이나 原子力産業界에 몸담고 계신분에게 많은 参考가 되리라 確信합니다.

部數가 限定되어 있는 關係로 1983年度分 購讀申請을 미리 받고 있아오니 申請하여 주시기 바랍니다.

1. 新聞 名 : 原子力産業新聞
2. 發行 處 : 日本原子力産業會議
3. 使用 語 : 日 本 語
4. 크 기 : 타블로이드版 (4~8page)
5. 種 類 : 週 刊
6. 購 讀 価 : 未定 (1982年 20,000원/年)
7. 購 讀 期 間 : 1年 (1983. 1. 1. ~ 12. 31. 發行日 基準)
8. 申請 및 問議處 : 當會議事務局 (28-0163)