

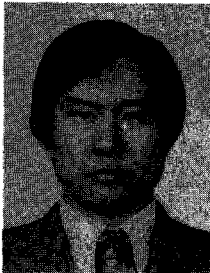
開發途上国에서의

原子力産業發展過程 (Ⅱ)

—인 도 편—

全 豊 —

(韓國에너지研究所 原子力政策研究室長)



1. 개 요

原子力分野에서 인도는 세계 선진국 수준에 해당하는 정도의 선진수준에 있다. 이는 인도의 저명한 두 物理學者, 즉 바바(Bhabha) 박사와 사라바이(Sarabhai) 박사의 강력한 원자력정책 추진에 기인한다.

인도는 40년대부터 原子力開發에 착수하여 50년대와 60년대에는 선진국의 기술협조에 힘입어 괄목할만한 진전을 이루었다. 그러나 70년대 인도의 핵폭발실험 성공이후 국제간에 몰아닥친 규제의 강화 및 금수조치 등으로 인하여 原子力産業을 商用化하는데 상당한 어려움을 겪어왔다. 즉 30여년이 지난 지금에 와서 분석해 볼 때 인도의 原子力開發政策은 일대 전환기에 접어들고 있다고도 보겠다.

인도는 60년대초 미국으로부터 輕水炉인 Tarapur原電을 도입하였으나, 그 이후부터는 캐나다의 CANDU炉를 주종의 原子炉型으로 채택하여 추진중이다. 인도 정부는 80년부터 2000년 사이에 10基의 235MWe級 原電을, 12基의 500 MWe級 原電을 건설하여 2000년에는 총 1천만 KWe의 原電을 가동할 계획을 추진중이다.

重水炉에 공급할 重水생산시설을 자력으로 확보할 계획도 추진중에 있다. 그러나 70년대에 겪었던 경험으로 보아 이러한 계획은 성취되기 어려울 것으로 전망된다.

인도는 원자력에 관련한 自給自足(Self-reliance)을 기본전략으로 추진하여 왔으며 50년대 및 60년대에는 이를 성공적으로 성취할 수 있었으나 70년대에 들어서서 큰 벽에 부딪치게 되었다. 따라서 여기서는 이러한 배경과 경로를 중점적으로 살펴보고자 한다.

2. 추진배경 및 기본전략

인도가 영국으로부터 독립한 47년의 시점에서 볼 때 인도에는 우수한 인재가 상당수 있었다. 산업적인 바탕도 다른 개발도상국보다는 튼튼했으며 사회도 안정된 상태에 있었고 교육제도도 견실했다. 특히 세계적으로 손꼽히는 과학기술분야의 碩學들이 많이 배출되었다. 이들은 독립한 인도는 조속히 先進化하고 現代化하는 것을 목표로 삼아야 하며 이는 科學技術의 바탕 위에서만 이루어 질 수 있음을 인식하고 있었다.

그러나 한편으로는, 어떤 식으로 과학기술을

開發할 것이며, 開發의 우선순위는 어디에 둘 것이며 産業構造는 어떤 식으로 개편해 나갈 것인지 하는 점들을 짚고 넘어가야 했다.

과학기술을 개발하는 하나의 방편으로 인도는 많은 고급두뇌를 原子力分野에 투입하여 原子力技術을 개발하는 것을 우선적으로 추진하는 전략을 수립하였다. 인도의 두뇌들은 비록 산업혁명 대열에는 끼이지 못했지만 앞으로 닥아올 原子力産業혁명에는 同參해야 한다고 인식했다.

바바박사는 55년 제네바에서 개최된 제1차 국제원자력평화이용회의의 석상에서, 開發도상국의 선진화는 原子力에너지의 개발을 통해서만 가능하다고 역설한 바 있다. 그는 인류의 文明발달의 1단계는 物理的에너지(석탄 등)를 통해서, 2단계는 化學的에너지(석유 등)를 통해서 이룩되었으나 앞으로 3단계는 原子力에너지를 통해서 이룩될 수 있다고 확신하였다.

인도는 先進 原子力技術을 도입·흡수·개발하여 이를 再生하되 自體的으로 研究開發을 병행함으로써 원자력기술을 조속히 自給自足하는 것을 기본정책으로 하였다. 바바박사는 자체적인 연구·개발의 중요성을 인식하고 이를 강력히 추진하고자 노력했다.

또한 인도에 풍부히 매장되어 있는 토륨資源을 최대한 활용할 수 있는 방안도 검토되었다. 선진국에서 개발도상국에 기술이전시에 이는 선진국의 입장에서 이루어 지지 개발도상국을 진실로 도와 주고자 하는 각도에서 이루어지지 않는다는 점을 인도는 원자력정책에 반영하고자 하였다.

3. 原子力 行政 및 産業構造

인도가 영국에서 독립하기 3년전인 44년 3월에 바바박사의 제창으로 타타研究所(TIFR, Tata Institute of Fundamental Research)가 설립되었다. TIFR이 설립되자 각 분야의 전문가들이 이 연구소에 모여 들었다. 46년에 AERC(Atomic Energy Research Committee)가 구

성되었으며 바바박사가 위원장으로 추대되었다.

原子力法이 공포되고 原子力委員會(AEC)가 구성되었으며 54년에는 별도의 연구소인 AEE-T(Atomic Energy Establishment, Trombay)가 설립되고 原子力部(Department of Atomic Energy)가 수상 직속으로 설립되어 原子力行政을 전담하게 되었다. AEE-T는 나중에 BARC(Bhabha Atomic Research Center)로 개편되었다.

원자력의 自給自足 정책에 합당하게 원자력要員을 가급적 국내에서 自力으로 훈련시키고자 하였다. 이를 위해 機構表에 따라서 人力을 채워 넣기 보다는 훌륭한 과학자를 중심으로 연구를 수행하는 방법, 즉 조직보다는 사람 중심으로 하여 실리위주의 연구를 수행하였다. 연구능력을 향상시키기 위해서 기구표의 직책이나 직급별이 아니고 연구실적이나 능력 위주로 봉급수준을 결정하기도 했다.

또한 외국의 Know-how에서 가능한 빨리 벗어날 수 있도록 하기 위하여 費用이 많이 드는 한이 있더라도 實驗이 필요한 경우에는 과감하게 實驗施設에 투자하여 기술을 개발 확보하도록 하였다. 행정기능도 研究업무를 조정하는 입장이 아니라 연구수행을 뒷바라지 한다는 입장에서 그 기능을 수행하였다.

BARC研究所는 인도가 원자력기술을 연구·개발하여 이를 自給自足할 수 있도록 하는데 기본적인 역할을 담당하였다. BARC연구소는 설립당시인 54년에는 54명의 연구인력으로 출발하였으나 최근에는 약 9천명의 과학기술자가 연구개발 등에 참여하는 세계적인 연구소로 성장하였다.

BARC연구소의 설립목적은 기초 및 응용분야를 망라한 모든 분야에서 독자적으로 연구를 수행하여 능력을 배양함으로써 외국의 기술의존에서 탈피하고 기술의 토탈화를 실현하는 것이다. 이러한 기본전략에 따라 다른 개발도상국에서는 이룩하기 힘든 연구개발분위기를 조성하고 과감한 투자를 하여왔다. 고급 원자력인력을 양성하기 위해 BARC연구소에는 57년 研修院이

설립되어 매년 150명 정도의 대학원 졸업생을 뽑아 실무에 필요한 전문지식을 가르치고 있다. 77년까지 BARC研修院을 졸업한 3천명 정도의 과학기술자가 原子力部 산하에서 중요한 연구 활동을 수행하고 있다.

4. 研究炉 및 動力炉 開發

인도의 최초의 研究炉인 Apsara는 영국에서 공급받았으나, 濃縮 核燃料棒을 제외하고 모든 분야를 自力으로 設計・建造하였다. 이 研究炉의 토목설계부터 제어실 건조에 이르기까지 1년 이내에 自力으로 마무리 지었으며 이는 인도 과학자들이 자부심을 불러 일으키기에 충분했다.

두번째 研究炉인 CIRUS는 天然우라늄을 핵연료로, 重水를 감속재로 사용하는 것으로 캐나다의 협조로 건설되었다. 캐나다의 NRX型 研究炉인 CIRUS炉에 裝填된 金屬우라늄의 일부가 58년부터 BARC研究所에서 생산되었고 59년에는 加工工場이 설립되었다. 60년에 CIRUS炉가 임계에 도달되었으며 초기炉心の 절반 이상이 BARC연구소에서 제작 공급되었다.

이 즈음해서 서독의 Linde사의 협력으로 Nangal에 소규모의 重水工場이 세워졌다. 40년대 말부터 60년대초에 이르는 시점에서 인도가 研究炉 및 核燃料분야에서 괄목할만한 업적을 이룩할 수 있었던 것을 인도는 바바박사의 공적으로 보고 있다. 즉 바바박사가 네루수상의 신임을 받는 측근 과학자로 정부의 강력한 지원하에 自力으로 技術을 확보하겠다는 정책을 일사분란하게 추진한데 기인한다고 볼 수 있다.

動力炉의 경우는 어떤가? 60년대까지는 석탄산지에서 아주 멀리 떨어진 곳에서만 原子力發電所가 經濟性이 있는 것으로 분석되었다. 炉型은 原子力技術의 自給自足 측면에서 볼 때 천연우라늄을 사용하는 炉型이 바람직한 것으로 판단되었다.

그러나 최초의 動力炉인 Tarapur原電은 63년 미국의 GE사로부터 비등경수로 2基를 Turnkey방식으로 도입했다. 최근까지 미국으로부터

濃縮우라늄을 공급받지 못해 原電 운영에 극심한 타격을 받았던 점을 감안한다면, 인도가 BWR炉를 처음에 미국으로부터 공급받았던 것은 인도의 自給自足정책 담지 못했던 결정이었다고 분석할 수 있겠다.

60년대 초에 Tarapur原電을 어떤 방식으로 할 것인지(즉 自力으로 개발한 原形炉를 商用化할 것인지, 아니면 외국의 商用炉를 Turnkey방식으로 도입할 것인지)를 선택하는 과정에서 經濟性이 가장 큰 고려인자로 작용했다.

이때만 해도 캐나다의 CANDU炉는 상용화가 되어 있지 못하여 캐나다는 입찰대상에서 제외되었다. 결국 영국의 GCR 아니면 미국의 輕水炉 중에서 택해야 했는데 BWR이 채택된 것이다.

그 이유로는 초기자본비가 적게 들며 미국 수출은행으로부터 자금지원을 받을 수 있었기 때문이었다. 또 다른 이유로는 經濟性이 높은 動力炉를 운영함으로써, 국가에서 原子力分野에 투자만 했지 Output이 없다는 여론을 反轉시키고자 하는 인도 과학자들의 잠재의식도 작용했다고 보겠다.

Tarapur原電의 A/E는 인도가 책임지고 수행했다. Tarapur原電이후 인도는 캐나다의 CANDU炉를 주종의 炉型으로 채택했다. 천연우라늄을 그대로 사용하며, 가동중에 핵연료를 교체할 수 있을 뿐더러 플루토늄 생성량이 높은 CANDU炉의 장점은 인도 과학자에게는 큰 매력이었을 수 없었다.

그러나 인도가 CANDU炉를 채택한 시점에서 볼 때 CANDU炉의 장점은 입증되어 있지는 않은 상태였다. 인도의 CANDU型 RAPP 原電을 채택할 시점에서는 캐나다의 CANDU 實証炉인 NPD의 실적치가 얻어지지 않았으며 Douglas Point原電이 운영되기 4년전의 일이었다.

이런 점에서 볼 때 인도는 캐나다와 더불어 CANDU炉 개발에 따른 위험부담을 분담한 셈이 된다. 인도가 CANDU炉를 채택함으로써 캐나다의 CANDU炉 開發計劃이 본격화 될 수 있었으며 한편 인도는 CANDU炉에 관한 技術을

再生해 봄으로서 독자적으로 技術을 토착화할 수 있는 계기가 되었다고 하겠다.

RAPP-1原電은 Non-turnkey 방식으로 추진되었는데, 카나다는 主器機 設計와 供給을 맡았고 인도는 建設과 設치공사를 받았다. 초기炉心の 절반은 국내에서 공급되고 I&C계통도 국내에서 공급되었다. RAPP-2原電의 경우 國産化가 좀더 많이 추진되어, Calandria와 Endshield 등과 같은 主器機도 인도에서 제작 공급되었다.

그 다음에 추진된 CANDU炉인 MAPP原電의 모든 主器機는 인도에서 완전 제작 공급되었다. 또한 原電事業의 國産화를 추진하면서 核燃料週期분야에서도 독자성을 확립하고자 하였다. 그 일환으로 Jadugada우라늄광산이 상용규모로 개발되었고 研究炉용 핵연료加工技術을 바탕으로 動力炉용 핵연료加工技術을 상용화하였다. 프랑스와 협력하여 高速炉연구를 수행하는 한편 重水생산시설을 건설하는 계획을 수립했다. 60년대에 인도는 소규모의 再處理工場을 독자적으로 設計 및 建造한 바 있다.

5. 70년대의 原子力發電事業

60년대까지 인도의 原子力事業은 전술한 바와 같이 바바박사를 중심으로 추진되었다. 66년 바바박사의 후임으로 사라바이박사가 취임하였으며 그는 70년대 인도의 原子力事業의 주역을 담당하였다.

그림에서 보는 것이 사라바이박사가 계획했던 인도의 長期原子力發電計劃이다. 이 계획을 살펴보면 제1단계로 80년까지는 천연우라늄原子炉를 건설하여 제2단계 原子炉型인 FBR을 운영할 수 있는 플루토늄을 생산하는 것이다. FBR 原型炉와 改良型 熱中性子炉의 개발을 동시에 추진하였다.

제2단계로 85년까지 熱中性子炉 및 FBR에서 토륨-232를 우라늄-233으로 變換 축적하여 제3단계인 토륨増殖炉로 이어지게 한다는 것이다. 제3단계 목표는 85년 이후에는 천연우라늄을 연료로 하는 熱中性子炉, 改良型 熱中性子炉, Pu를 사용하는 FBR, Th를 이용하는 増殖炉 등 4가지 종류의 原子炉를 동시에 운영한다는 것이었다.

사라바이計劃에 따르면, 80년까지 약 270만 KW의 原電이 운영되고, 수基의 再處理工場이 건설되며 연간 400吨 규모의 重水생산능력을 확보한다는 것이었다.

그러나 70년대에 접어들어 강화되기 시작한 원자력규제조치, 특히 74년 인도의 核實驗 성공 후 미국을 비롯한 核先進國의 강력한 대응조치로 인하여 50~60년대에 이루었던 擘圖할만한 성장을 70년대에는 성취할 수가 없었다.

80년에 접어들어 原電 시설용량은 겨우 86만 KW에 불과하였으며 重水 생산계획도 연기되었다. Tarapur原電은 미국의 농축우라늄 공급중단으로 운영에 어려움을 겪게되고 重水공급은 부득이 소련에 의존하고 있다. 原電事業이 계속

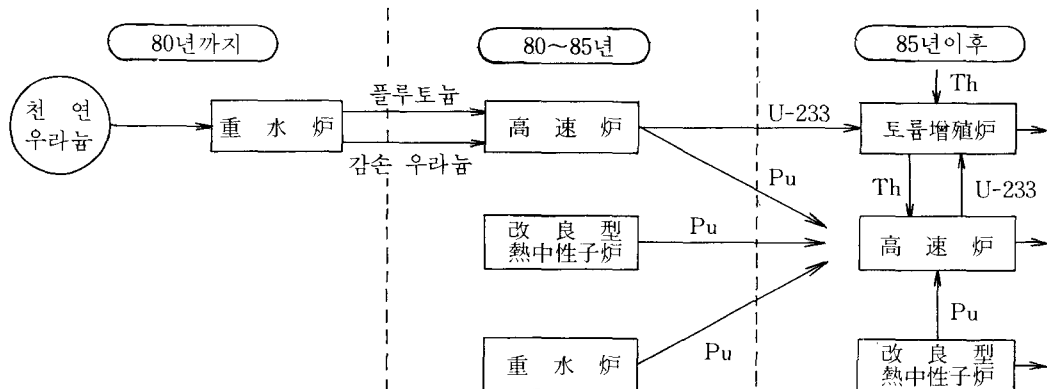


그림 70년대에 계획된 인도의 原電計劃(사라바이計劃)

적으로 지연되었으며 물가상승으로 原電事業의 經濟性도 의문시 되었다.

70년대에 접어들면서 인도의 原電事業이 침체된 또다른 이유로는 인도는 自給自足 원칙하에 어느 정도 原電관련기술을 보유하고 기자재도 국내에서 생산할 수 있었으나 국제적인 Code & Standard에 합당한 수준에 미치지지는 못했으며 品質保證이 제대로 되지 못했던 점도 들 수 있다.

RAPP-1原電의 경우 設計上の 결함으로 설계변경이 불가피하였으며 건설공기가 상당히 지연되었다. RAPP-2 原電의 경우, 소련으로부터 重水를 수입해야 했기 때문에 상당한 기간동안 稼動지연이 불가피했다. 다시말하면 국내 重水 생산시설이 계획대로 추진되지 못함으로써 原電計劃에 상당한 차질을 초래케 되었다.

80년까지 계획되었던 270만KW 原電에 필요한 重水를 공급하지 못했음은 물론 86만KW 原電에 필요한 重水도 제대로 공급하지 못하였다.

인도에는 4개의 重水 생산시설이 추진되었다. 3개는 외국기술을 바탕으로, 마지막 1개는 自國技術을 바탕으로 추진되었다. 그러나 自國技術로 추진된 Kota의 경우 몇년간의 공기지연이 있었으며 외국기술로 추진된 Baroda 重水工場은 77년 시운전후 중대사고로 인하여 폐쇄되었다.

또한 電力供給의 부족으로 나머지 重水 생산시설의 정상가동도 어려워, 重水를 自給自足하고자 한 당초계획은 예정대로 추진되지 못하게 되었고 결국 소련에 의존할 수 밖에 없는 지경에 이르렀다. 인도가 原電計劃을 축소하게 된 근본적인 원인은 74년 핵폭발실험 이후 핵비확산조치(NPT)에 따른 국제간의 압력에 기인했다고 보겠다. 즉 미국에 이어 캐나다가 Fullscope Safeguard를 요구하고 나섰으며 소련은 비록 미국이나 캐나다 같이 Fullscope Safeguard를 요구하지는 않았으나 소련으로부터 重水輸入이 그렇게 수월한 것은 못되었다. 즉 소련으로부터 수입한 重水는 RAPP原電에 국한해서 사용이 가능토록 제한을 받고 있어 이는 결국 Fullscope Safeguard를 수락하는 결과를 초래하는 것

이 된 셈이다.

70년대 말에 들어서서 인도를 NPT에 가입토록 하려는 미국의 압력이 강화되어, 그 수단으로 Tarapur原電의 농축핵연료 공급이 빈번히 중단되거나 연기되어 Tarapur原電의 출력감소가 불가피하게 되었다.

6. 앞으로 展望

80년대에 접어들면서, Tarapur原電이 어떻게 운영될 것인가가 관심사가 된다고 하겠다. 미국 카터 행정부 시절 NPT 관계로 농축우라늄 공급중단으로 稼動이 정지된 상태에 있었으나 레이건 행정부가 들어선 이후 양국관계는 점차 개선되어 가고 있다. 그러나 使用后核燃料의 소유권과 再處理 및 안전보장문제는 앞으로 해결되어야 할 과제라 하겠다.

Tarapur原電 운영에 필요한 混合核燃料(M-OX) 이용능력이 증진되어질 것이다. 장기적인 관점에서 볼 때, 重水생산의 自給化와 原電 건설·운영에 따른 산업기반의 구축이 중요한 관건이 된다고 보겠다.

사라타이原電計劃이 실패한 원인을 규명하여 앞으로 原電計劃을 현실성 있고 합리적으로 이끌어 가야 할 것으로 전망된다.

인도 정부(DAE)는 80년부터 2000년 사이에 235MWe級 原電 10基를, 500MWe級 原電 12基를 건설하여 2000년까지 총 1천만KWe의 原電을 가동할 계획을 수립중이다.

또한 새로이 몇개소에 重水 생산시설을 건설하여 重水の 自給化를 계획중이다. 그러나 70년의 경험으로 미루어 보아 이計劃이 계획대로 순조롭게 성취되기는 어려울 것으로 展望되고 있다.

인도에는 토륨資源이 풍부하게 매장되어 있는 바, 장기적으로는 토륨을 핵연료로 사용하는 核燃料週期가 개발될 가능성이 높다. 즉 FBR 또는 CANDU를 이용한 Th-U 사이클의 개발 가능성이 높다고 하겠다.