Uranium濃縮市場과 濃縮技術의 現狀

Ⅰ. 世界의 우라늄濃縮市場의 現狀

1969年 美國이 商業用 輕水爐의 우라늄濃縮事業을 시작해서 1970年代 前半까지 세계의 우라늄濃縮市場은 미국의 독점이였다. 1973年의 1차 오일쇼크를 계기로 급격히 세계각국의 원자력개발이 확대됨에 따라 濃縮우라늄의 수요가 급증되었고 선진국들은 각각 濃縮工事建設에 박차를 가했다. 한편, 미국이 수요에 대응하지 못할 것을 우려하여 新規契約을 거절하고 있는 동안에 URODIF가 세계시장에 參與하였고 소련도 이에 가세, 유럽시장에 적극 공세를 취해 미국의 독점체제가 무너졌다.

그러나 1970年代 後半이 되어 이번에는 수요가 둔화되면서 濃縮우라늄은 공급과잉으로 말미암아 2차시장이 형성되게 되었다. 현재의 우라늄 농축시장은 이와같은 經緯를 겪어 격심한 市場獲得과 이것을 優位로 전개하기 위해 技術開發 競爭時代로 돌입하고 있다. 1984年末 소련을 제외한 각국의 우라늄濃縮設備容量은美國 27,300 tSWU/年, URODIF 10,800tSWU/年, URENCO 1,500tSWU/年으로 合計 約 39,600tSWU/年이다. 여기에 소련의 輸出能力 約 3,000tSWU/年을 합하면 約 42,600tSWU/年이 된다(表1). 한편 각국의 原子力發電 設備容量은 1984年末로 約 180GWe로 여기에 필요한 濃縮量은 대략 180 GWe×120tSWU/GWe=21,600tSWU가 되므로 공급능력이 수요의 약 2배나 되는 것을 알 수 있다. 또한 1984年의 생산실적을 보면 지난 수년간 미국은 설비능력의 40%이하, URODIF는 60%레벨로 生産調整하고 있다고 추정된다. 이와 같은 생산조정노력에도 불구하고 세계의 在庫는 約 40,000tSWU이나 되는 것으로 實需要의 約 2年分 在庫를 안고 있는 것이다. 이 재고는 원래 미국이 「고객이 필요로 하는 양 만큼을 공급하는 要求量方式(Requirement-type)契約」외에 1970年度에 들어서면서 각국의 原子力發電計劃이 강화됨에 따라 「10년간의 인수량을 미리 정해두고 이것이 不要되더라도 인수해야만 하는 確定量方式(Fixed Commitement-type)」이라고 하는 契約方式을 이용, 가격을 要求量契約보다 10%가량 저렴하게 책정하여 고객을 유치하기 시작했다. 이 確定量契約은 미국에 있어서는 長期的인 사업의 전망을 파악하기 쉽다는 것, 고객에 있어서는 값싼 價格으로 長期的인 안정공급이 확보되는 등 쌍방이 모두 큰 매력을 가지게 되었다. 참고로 현재의 供給價格은 美國의 130$/kgSWU(US契約)에 대해 URODIF, URENCO 등은 100$/kgSWU前後의 가격을 제시하고 있다고 한다.

Ⅱ. 各國의 우라늄濃縮技術 現狀과 計劃

1. 美 國

미국은 軍需用으로 건설해 온 테네시州의 오크리지, 오하이오州의 포오트머스 및 켄터키州

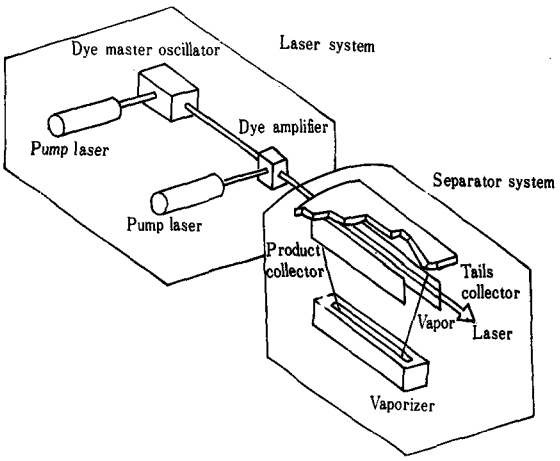
의 파듀커의 가스廣散工場을 1960년부터 거의 전면적으로 輕水爐燃料製造用으로 移行하였는데, 이것이 세계적으로 輕水爐를 정착시키는 요인이 되었다. 그후 CIP/CUP (Cascade Improvement Program/Cascade Upgrade Program)計劃에 의해 세 공장의 製造能力은 27,300tSWU/年으로 증강되었다.

濃縮事業의 管理는 현재 美 에너지省(DOE)이 행하고 있으나 美國原子力委員會(AEC)에 이어서 DOE에 병합될때까지의 사이에는 에너지研究開發廳(ERDA)가 수행하고 있었다. 工場의 運轉은 오크리지공장과 퍼듀커공장에 대해서는 Martin Marietta社가, 포오트머스공장은 Goodyear社가 행하고 있다.

遠心分離法의 기술개발은 가스擴散法의 성공으로일시 중단하고 있었으나 1955년부터 버지니아 대학을 중심으로 재개되었다. 1960년부터는 개발센터를 오크리지 가스擴散工場의 인접지역으로 옮겨 이 사이트에서 1975년에 50tSWU/年 規模의 파일롯트플랜트(CTF)의 운전을 개시했다. CTF는 약 400대의 setⅡ라 불려지는 遠心機로서 구성되어 있으며, 1대당의 分離力이 100kgSWU/年을 넘는 超大型이었다. 그후 1977년에는 가스遠心分離法濃縮工場 (GCEP)計劃이 발표되었고 다음해 포오트머스 가스擴散工場에 인접해서 GCEP의 현지공사가 시작되었다. 이 GCEP計劃은 '85년 6 월에 새로운 濃縮戰略을 발표하였는데 setⅢ라고 불려지는 遠心分離機 1,170台를 이미 설치 완료하고 26억$의 거액을 투입하였다. setⅢ은 1대당의 分離能力이 200kgSWU/年이라 공표되었는데, 그 크기는 직경이 1m, 높이가 15m라고 한다.

새로운 濃縮戰略의 결정에 있어서 실제로 평가의 대상이 된 機器는 더욱 分離成能이 2~3배나 높은 setⅤ라고 불려지는 것이다. 그러나 최근 DOE의 발표에 의하면 미국은 遠心分離法에서 laser濃縮法으로 濃縮技術을 변경한다고 발

〈그림 1〉 AVLIS濃縮法



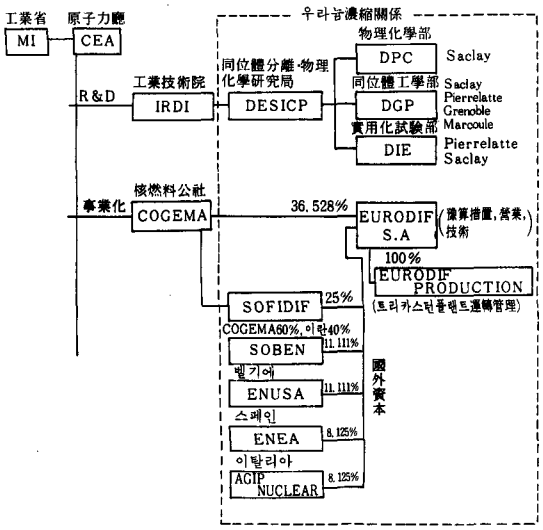
표하였다. 미국이 原子laser濃縮法(AVLIS : 그림1 참조)의 개발을 시작한 것은 1969년경에서부터인데 Lawrence Livermore 研究所(LLNL)와 Oak Ridge研究所(ORNL)의 운영을 맡고 있었던 Union Carbide社(UCC.ND)의 개발팀이 결성된 1974년 부터이며, 그후 1984년까지 약4억$의 개발비가 투입되었다고 한다. 1981년까지에 SPP-Ⅱ라 불려지는 laser 發振裝置와 이 laser 光을 增幅하는 Venus 시스템및 分離를 행하는 Mars시스템이 제작되었다. Venus는 400W以上의 光을 얻기 위해 32개의 銅蒸氣laser로서 구성되었으며, 현재는 150W 또는 400W를 넘는 laser가 개발되고 있다. 또한 앞으로 新型 laser의 開發과 實證試驗이 순조롭게 개발되면 1995년경 상업규모(10,000tSWU/年)의 플랜트稼動을 계획하고 있다.

2. 프랑스

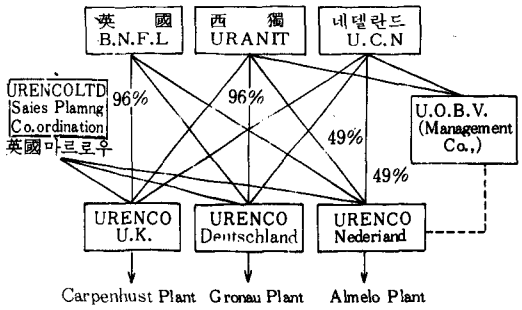
프랑스의 濃縮技術開發은 프랑스原子力廳(CEA)아래에 同位體分離, 物理化學研究局(DESCIP)가 종합적으로 管理運營하고 있다(그림2).

가스擴散法開發은 1950년대 중반에 개시되어 1957년에는 擴散法의 루프가 완성, 50년대말에는 隔膜, 壓縮機, 熱交換器 등의 주요 機器에 대한 운전이 행해졌다. 1961~1967년에는 高濃縮 우라늄製造를 목적으로 한 피얼래트工場(400

〈그림 2〉 프랑스의 우라늄濃縮技術開發體制



〈그림 3〉 URENCO의 組織圖



tSWU/年)이 건설되었다. 이어서 發電爐의 濃縮우라늄을 공급하기 위해 1972년 벨기에, 이탈리아, 스페인과 함께 EURODIF社를 설립(그후 1975년 이란이 참가)하고 1974년에 트리카스턴 가스擴散工場의 건설을 개시했다. 1982년도에는 10,800tSWU/年으로 分離能力 을 증가시켰다.

프랑스에서는 다른 分離法에 대해서도 적극 공세를 취하고 있으며, 1968년에 可逆的인 同位體交換反應을 응용한 pulse column接觸法에 의한 技術開發에 농축예산의 1/3이 투입되었고 PP35라고 불려지는 파일롯트플랜트가 Pierrelatte研究所에 건설되어 1984년 가을부터 운전을 시작하였다. 그러나 현재로서는 시장수요가 빈약하고 신규상업플랜트의 건설에 인센티브가 없어 AVLIS나 MLIS로서 알려진 laser法이나 Ion cyclotron共鳴法의 PSP 등 세가지 技術로 집중되고 있다. 1985년에는 우라늄濃縮關係 총예산 약 4억프랑중 6할 이상의 예산이 이 세가지 技術에 투자되고 있다. 또한 '86~'87년경에 한가지 技術을 선정하여 빠르면 1995년경 새로운 商業플랜트를 建設할 계획이라고 한다.

3. 英國, 西獨, 네덜란드

영국, 서독, 네덜란드 3국은 1970년 Almero協定을 체결하여 URENCO그룹을 결성했다.

이들 3개국은 이때 이미 1960년대에 개발한 遠心分離法에 의한 소규모 파일롯트플랜트로 '72년부터 '76년에 걸쳐 완성시켰다. 1974년부터는 네덜란드의 알메로와 영국의 카펜허스트에 각각 200tSWU/年 規模의 商業實證플랜트의 건설을 시작하여 '80년부터 稼動하고 있다. 세계에서 처음으로 遠心分離 濃縮技術을 실용화한 것이다. 또한 같은 해에 1,000tSWU/年 규모의 商業플랜트의 건설을 시작했고 '82년부터는 서독의 그로나우에서도 1,000tSWU/年 규모의 商業플랜트의 건설을 시작했다. 현재 알메로;840tSWU/年, 카펜허스트;560tSWU/年, 그로나우;80tSWU/年이 稼動中에 있다(그림 3).

앞으로는 1980년대말에 알메로(1,200tSWU/年), 카펜허스트(900tSWU/年), 그로나우 400tSWU/年, 합계 2,500tSWU/年으로 증설할 예정이라고 한다.

4. 그외 濃縮에 참여하는 나라들

(1) 소 련

소련의 우라늄濃縮工場은 공식발표된 것은 없으나 가스擴散工場이 1940년대 전반에 건설되어 약 7,000~10,000tSWU/年 규모로 추정되고 있다. 수출능력은 약 3,000tSWU/年 규모로 평가되고 있다.

(2) 브라질

브라질은 1975년 서독과 原子力協定을 맺고 브라질국내에 노즐法에 의한 濃縮工場을 건설

하기 위해 브라질原子力公社(NUCLEBRAS)와 서독의 STEAG社 및 INTERATOM社의 合弁會社인 NUCLEI社를 설치하여 현재 1tSWU/年規模의 파일롯트플랜트를 건설중이다. 파일롯트플랜트에 이어 64tSWU/年의 첫번째 實證플랜트와 200tSWU/年의 두번째 實證플랜트의 건설계획도 있으나 브라질 정부는 파일롯트플랜트의 운전에서 충분한 경험을 쌓은 후인 1988년 중반경에 착수토록 할 전망인 것으로 알려졌다.

(3) 남아프리카

1970년 남아프리카는 새로운 濃縮技術의 開發에 성공했다고 발하고 실용화를 추진하기 위한 기관으로서 UCOR(Uranium Enrichment Corp.)를 설립했다. 현재 UCOR는 바린다버에 건설한 파일롯트플랜트를 운전하고 있으며, 이어 300tSWU/年규모의 工場을 1987년부터 稼動시킬 예정으로 건설중에 있다.

(4) 아르헨티나

현재 리오레그로州에 가스擴散法에 의한 플랜트를 건설중에 있다. 이 플랜트는 아르헨티나原子力委員會(CNEA)가 리오네그로州의 共同出資會社인 INVAP社에 의해서 건설되고 있으며, 1984년 11월부터 일부 가동되고 있다. '85년말까지는 500kg/年으로 증설될 예정이다.

(5) 中 共

공식발표는 없으나 1963년경에 200tSWU/年규모의 가스擴散工場이 건설된 것으로 알려지고 있다.

火災事故 調査報告 概要

대만전력 原子力 第3發電所

금년 7월7일 오후 5시21분40초 대만남단「헝춘」에 위치한 대만전력 원자력 제3발전소에서 수소폭발과 더불어 화재가 일어났다. 이 사고는 사회에 커다란 놀라움과 불안을 주었으며, 사고원인에 대해서도 사람마다 알고 싶어하는 수수께끼가 되고 있을 뿐아니라 이 사고원인 규명이 거액의 배상문제를 좌우하며 또 대만전력과 GE의 명예에 관련되어 있다. 그리고 가장 중요한 것은 일반대중들이 원자력발전에 대한 신뢰도에 큰 영향을 주는 것이다.

전국의 과학자들은 불철주야 침식을 전폐하다시피 연구한 끝에 드디어 그 진상을 밝혀냈다. 즉, 책임은 GE에 있는 것이다. 원전제3발전소 사고조사 보고서에서 지적한 것을 근거로 사고원인을 말하자면, L.P Turbine Blade의 斷裂이 화재의 주된 원인이라는 것이 확인되었으며, 또한 Blade가 단열된 원인은 바로 Blade Root부분에 있는 Blade Pin Hole에 정밀한 가공이 되어있지 않았다는 것이다.

금속재료를 연구하는 조사요원에 따르면 Blade Root부분 Pin을 꽂는 Blade Pin Hole 표면에 정밀처리가 불량하여 표면에 粗度(Roughness)가 높기 때문에 고속운전때 Blade Root부분에 응력분포가 극히 고르지 못하여 응력집중점이 나타나 Pin Hole에 균열이 발생하기 시작, 斷裂事故가 일어난 것이었다.