

東獨 原電開發計劃 및 廢棄物政策

西獨과의 통합이 진행되고 있는 東獨에서도 에너지政策에서 原子力發電의 개발은 불가피하다. 다음은 Simon Rippon씨가 Nuclear News誌 5月號에 게재한 동독의 원자력발전 개발상황과 폐기물처분정책이다.

동독의 에너지정책은 신정부에 의해서 공식적으로 수립될 것이지만, 원자력발전의 필요성에 대해서는 의심의 여지가 없다.

동독 원자력발전소의 운영을 책임맡고 있는 조직인 Kombinat Kernkraftwerke의 Reiner Lehmann전무는 갈탄연소에 의한 전력생산을 계속할 수는 없을 것이라고 강조하였다. 현재 동독에서는 연간 1억톤의 갈탄이 동독 전력의 약 80%를 공급하기 위해서 화력발전소에서 연소되고 있으며, 또한 연간 2억2천만톤의 갈탄이 여러 다른 산업과 국내 소비자들에 의해서 연소소모되고 있는데 탈황이나 질소산화물 제거가 이루어지고 있지 않으며, 대부분의 화력발전소는 '60대와 '70대에 건설되어 노령화된 구식의 발전소들이다. 특히, 동독 남부지역의 대기오염에 대해서 Lehmann씨는 환경지옥이라고 표현하고 있다.

전력수요 성장률은 연간 약 2%를 기록하고 있는데, 최근에 나타나고 있는 서방세계 기업들의 동유럽국가에 대한 투자관심이 앞으로 산업프로젝트로 실현된다면 전력수요는 더욱 증가할 것이다. 따라서 2000년까지 6~8GWe의 신규 시설용량이 필요할 것으로 예측되고 있다. 이중 일부는 수입무연탄을 연료로 사용하는 화력발전소에 의해서 충당될 것이다. 즉, Rostock과 Leubeck 두군데의 부지에서 각각 1GWe의 발전소들이 건설되고 있으며, 그밖에 1~2GWe의 발전소들도 계획되고 있다. 또한 노후 발전소의 교체를 고려하면 2000년까지 4~8GWe의 신규 원자력발전

용량이 필요할 것인데, 이는 전력수요의 약 30% 공급을 목표로 하는 것이다.

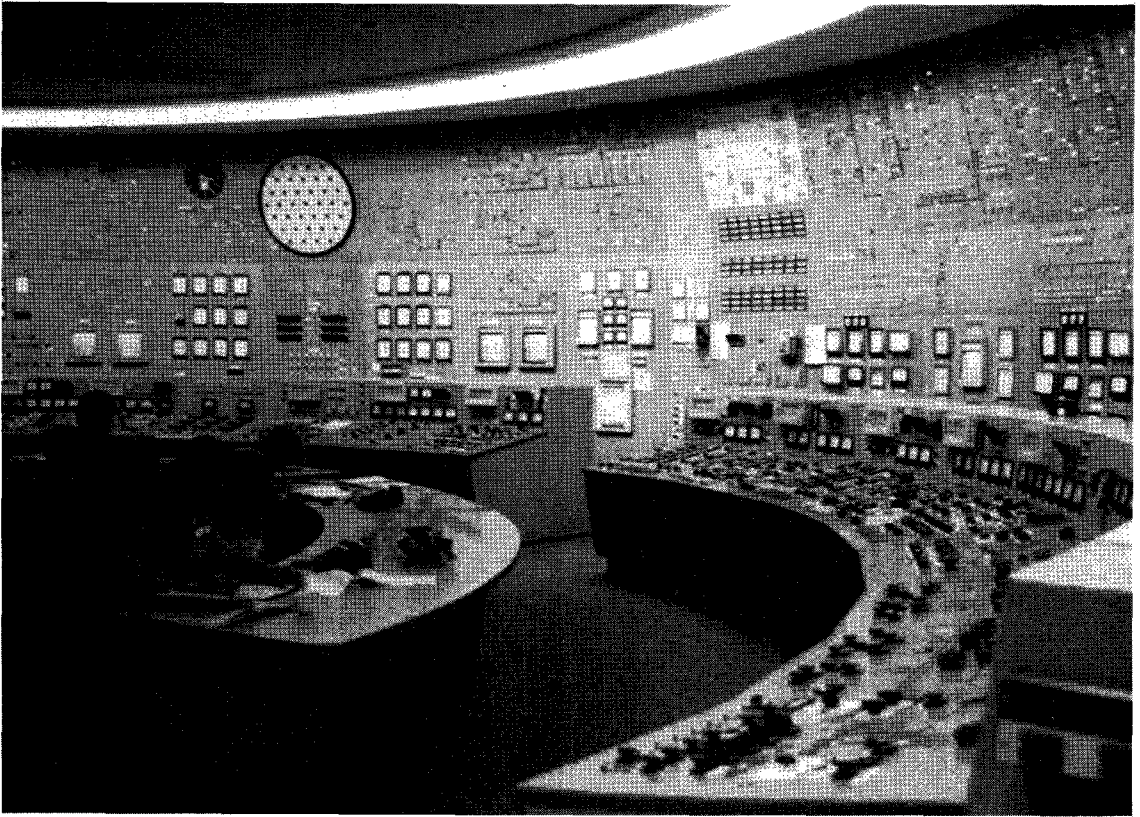
동독에서 첫번째 원자력발전소는 소련 VVER 설계의 소형인 70MWe급 가압수형 원자로로서 베를린에서 북쪽으로 약 100km 떨어진 도시 Rheinsberg 부근에 위치하고 있으며 1966년부터 운영되기 시작했다. 현재 원자력산업계의 많은 지도급 인사들이 이 발전소에서 교육훈련을 받았으며, 아직까지는 계속 운전되고 있으나 1992년에 폐쇄될 예정이다.

오늘날 동독에서 중요한 원자력발전단지 Greifswald항구에서 동쪽으로 24km 떨어진 발틱해 연안에 자리잡고 있다. 이 부지에는 1974년부터 1979년까지 사이에 운전에 들어간 4기의 VVER-440형 원자로가 있으며, 또 1기는 시운전테스트가 아직 완료되지 않은 단계에 있고, 그밖에 3기가 더 건설중에 있다.

또한 서독과의 국경에서 그리 멀지않은 Stendal 근교의 Elbe강 유역에 있는 신규부지에서는 2기의 VVER-1000형 원자로 건설작업이 시작되고 있다.

Nord 1號機~4號機

Greifswald 부근에 있는 원자력발전소는 Nord, Lubmin, Greifswald 등 여러가지 명칭으로 알려져 있다. Lehmann씨는 Greifswald라는 명칭이 당분간은 일반적인 관습에 따라 통용될



▲Nord 4호기 중앙제어실 전경

것이지만 앞으로는 Nord라는 명칭으로 환원될 것으로 생각한다고 말하였다.

Nord에 있는 첫번째 4기의 VVER-440형 원자로는 모델230으로 알려져 있는 초기 세대의 설계이다. 체르노빌사고후 소련, 불가리아, 체코, 동독 등에 있는 이 형의 총 12기의 VVER-440형 원자로와 2기의 초기 설계 원자로에 대해 CMEA안전성검토가 수행되었는데, 모든 원자로에서 현재의 안전기준에 적합하도록 고도화시키기 위해 상당한 백피팅이 요구된다고 하였다. Lehmann씨는 Nord원자로의 경우 다른 나라의 어떤 원자로 보다도 더많은 백피팅이 이미 달성되었고, 또한 많은 작업이 1990년대 중반까지 안전한 운전을 보장하기 위해서 내년에 그 실시가 계획되어 있다고 강조하였다.

그러나 Lehmann씨는 이 발전소들이 수명기간을 지나 더 오래 운전될 것으로는 생각하지 않는다고 말하였다. 왜냐 하면 수명기간의 연장에 요

구되는 백피팅의 수준을 충족시키기에는 비용이 너무 많이 들어서 추가된 운전기간을 정당화시킬 수 없기 때문이다. 또한 Lehmann씨는 소련에서 공급되는 부품에 대해 서방세계의 품질보증 접근 방식이 결여되어 있는데 유감을 표명하면서, 특히 구식의 계측장비와 제어설비에 대해서 비난하였다.

구형인 모델230 VVER-440형 원자로의 문제점은 서독 환경장관 Klaus Toepfer씨와 Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH(GRS)의 안전전문가들이 동독을 방문함으로써 최근 몇 개월동안에 부각되었다. GRS보고서는 定性的으로 이미 알려진 것 이외에는 밝히지 않았으나 Lehmann씨는 서독에서 사용되고 있는 우수한 컴퓨터와 분석장비를 활용하면 문제점들을 더 정확하게 定量化할 수 있을 것이라고 말하였다.

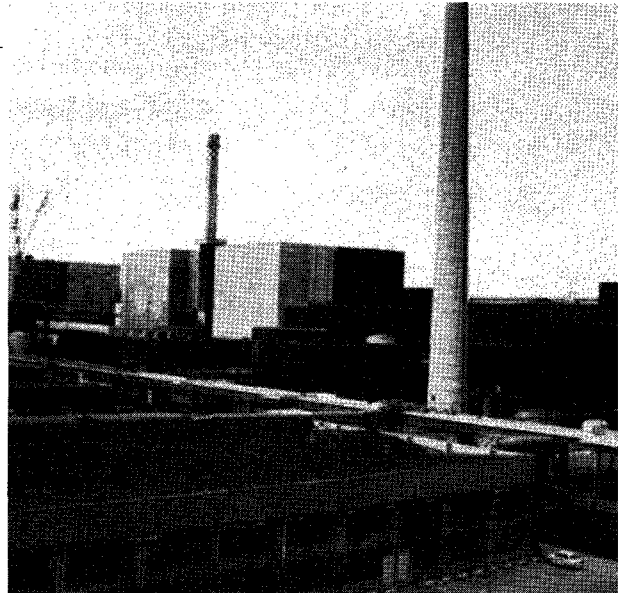
또한 Siemens사가 수행한 안전성분석도 이런 관점에서 매우 유용하였는데, 지난 2월 Nord 2호

기와 3호기의 운전정지를 유발한 압력용기 脆化 현상에 대한 즉각적인 우려를 어느 정도 안정시키는데 도움을 주었다. 특히, Siemens사의 분석은 1차회로에 주입되는 비상냉각수가 압력용기의 용접부를 破碎温度限界 이하로 냉각시키는 “Cold Tongues”에 대한 우려를 불식시켜 주었다. Siemens사의 분석에 의하면 주입된 냉각수가 압력용기의 취약부인 용접부위에 도달하기 전에 완전히 혼합된다는 것이다. Lehmann씨는 이 분석결과에 의거하여 Nord 3호기가 곧 운전을 재개할 것이라고 하였는데, 이 운전정지는 동독의 안전규제기관인 방사선방어 및 원자력안전실(SAAS)의 명령에 의한 것이 아니라 자신의 결정에 따라 취해진 조치였다고 강조하였다.

초기 VVER-440형 압력용기의 中性子照射脆化는 압력용기의 직경이 작은 것이 근본적인 원인인데, 이는 소련 철도망에 있는 터널을 통과하도록 설계하였기 때문이다. 그 결과 압력용기와 육각형의 노심 핵연료집합체 사이의 수공간이 작다. 이들 압력용기에 대해서 어닐링하는 시스템이 개발되어 1988년에 Nord 1호기와 소련내의 3기에 적용하였다. 지난 3월 전문가들이 Nord를 방문하였을 당시에 Nord 2호기는 어닐링준비를 위해서 원자로노심과 내장부품들이 제거되고 용기가 제염된 상태였다.

그러나 초기 압력용기에서 채취할 수 있는 스틸 시료의 부족 때문에 이 어닐링의 효과에 대해 약간의 논란이 있다. 비판론자들은 어닐링이 단지 50%의 효과가 있다고 주장하는 반면에, 옹호론자들은 80% 이상의 효과가 있다고 반론을 제기하고 있다. 이에 대한 정확한 해명이 폐쇄된 Novovoronezh와 Armenian 원자로에서 채취한 시료분석에 의해서 곧 밝혀질 것이다.

후평을 받고 있는 초기 VVER-440형 원자로의 또다른 문제점은 6개의 1차냉각재루프에서 배관파단이 일어날 경우를 대비한 비상노심냉각계통(ECCS)이 불충분하다는 점이다. VVER-440형 원자로에서는 서방세계의 PWR과는 달리 1차계통의 배관에 Austenitic강철을 사용하고 있어서 파단이 일어나기 전에 누설이 발생하는 특성을 가지고 있다. 그렇지만 200mm 및 400mm 배관



▲Nord 5, 6, 7, 8호기 전경

에 파단이 일어날 경우 충분한 용량을 공급하기 위한 비상노심냉각계통(ECCS)의 개량이 Nord 원자로의 백피팅계획에 포함되어 있다. 또한 비상용 디젤발전기도 더 강력한 발전기로 교체되고 있으며, 원자로건물 맞은 편에 위치하고 있는 발전기로 부터의 공급을 확실하게 하기 위해서 개선된 교차결선방식이 도입될 것이다.

수평으로 설치된 대형의 증기발생기가 VVER형 원전의 독특한 특징이다. 이 증기발생기는 잔류열제거에 대해서 무척 큰 열싱크를 제공한다. Nord원전 1기에서 6대의 비상급수펌프중 5대의 기능 상실을 유발시킨 1975년에 발생한 중대한 케이블화재사고의 결과에 대한 가장 최근의 분석 보고서에 따르면 펌프 6대 모두가 작동을 하지 않더라도 원자로노심이 위험한 수준의 온도에 도달하는데 5시간 반 이상이 걸린다고 하였다.

Nord원자로의 증기발생기는 전세계 RWR의 증기발생기 보다 훨씬 우수하거나 또는 나쁘지도 않지만 급속히 작동하는 밸브를 1차루프에 갖는 VVER설계여서 원자로를 정지하지 않고 유닛을 격리시키는 것이 가능하다. 이것은 보수유지와 검사시 매우 유용한 특성일 뿐만 아니라 튜브 파열에 대한 잠재적인 심각성을 감소시킨다. 최근 Siemens사와 VVER형 튜브번들 검사 및 보수 유지장비 공급에 관한 계약이 이루어졌다.

VVER발전소의 주순환펌프는 캔드로우터유닛으로서 원자로용기의 밀폐된 압력격납Vault와 그 둘레에 있는 증기발생기용 6개의 Vault 사이의

공간에 루프격리밸브와 함께 설치되어 있다. 따라서 이 펌프들은 원자로를 정지시키지 않고도 보수 유지 및 수리를 할 수 있다. 이 펌프들은 주증기 터빈에 의해서 구동되는 별도의 발전기로 부터 전력을 공급받으며, 또한 펌프에는 플라이휠이 없기 때문에 트립시에는 대체전원의 확보를 위해 약 2분간 터빈의 관성이 요구된다. 이것은 체르노빌에서 시험되어졌던 관성형태와 다소간 유사점이 있지만, VVER의 경우에는 이 특성을 발전소 시운전기간중에 철저하게 시험을 한다.

Nord 5號機~8號機

Nord 원자력발전소의 차세대 VVER-440형 원자로 4기는 신형의 모델213 설계이다. 핵증기 공급시스템의 기본구성과 형태는 초기의 원자로와 동일하지만, 이 발전소들은 개량된 ECCS설비를 갖추고 있으며 그밖에도 안전성 특성이 많이 향상되었다. 원자로건물은 초기의 원자로에서와 마찬가지로 대형의 박스형태구조이지만 압력억제풀이 있는 밀폐된 격납설비에서 서방세계 BWR의 원자로건물과 다를 바가 없다.

Nord 5호기는 건설작업이 완료되어 작년에 시운전을 시작하였는데, 금년 1월 6대의 증기발생기 중 3대로 50% 출력으로 시운전하던중 네번째 증기발생기를 격리하는 계장과 제어에 결함이 있었고, 더욱이 원자로의 자동운전정지계통도 작동하지 않았다. 운전원에 의한 수동운전정지계통이 동작을 하였으나, 이 사고는 계장과 제어계통의 신뢰성에 중대한 의문을 제기하였다. 안전규제기관인 SAAS는 계장과 제어계통에 대한 정밀검사와 광범위한 재장비를 명령했다.

Lehmann씨는 이 시스템들이 서방세계의 설계보다 10년 내지 15년 뒤진 것이라고 평가하면서 설비들의 품질이 만족스럽지 못하다고 불만을 토로하였다. Lehmann씨는 개선작업이 완료되어 금명간 발전소 재가동 허가를 받게 되기를 희망하였다. 이와 같은 사정은 동유럽국가 발전소들의 전반적인 경향으로서, 발전소에 공급된 설비의 결함을 각국의 수준 높은 국내기술진이 개조하고 있다.

토목공사가 진척되고 있는 Nord 7호기와 8호기에 대해서는 서방세계의 계장과 제어계통을 설치한다는 결정이 이루어졌다. Siemens사가 수행한 설계연구에 의해서 이것이 가능하다고 확인되었으며, Nord 5호기와 6호기를 백피팅하는 문제도 고려되고 있다. Nord 6호기의 건설공정은 전체적으로 80% 이상 진행되고 있다.

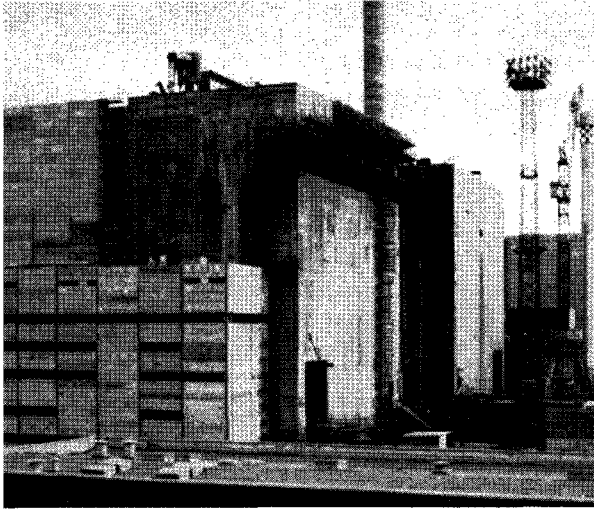
동서독간의 통일이 갑자기 구체화됨에 따라 공통된 원자력 인허가기준을 마련하려는 시도가 당연히 제기되었다. 그러나 가장 최신의 Nord원전도 서독의 엄격한 요구조건에는 못미친다. 예를 들면, 서독의 항공기충돌기준을 충족시키는 것은 불가능하며, 발전소 상공으로 항공기 운항을 금지시키는 잠정적인 협정만이 유일한 해결방법이다.

앞으로 Nord부지에는 1990년대 중반에 Nord 1호기에서 부터 4호기까지가 폐쇄된 후에 1,300 MWe급 2기가 추가로 건설될 전망이다. 만약 앞으로 이 사업들이 추진된다면 Preussen Elektra의 참여와 함께 서방세계 공급자, 특히 Siemens사의 참가가 유리할 것 같다.

核燃料 中間貯藏

Kombinat Kernkraftwerke 엔지니어링능력의 하나의 예는 사용후핵연료의 중간저장을 위한 대규모의 신규시설이다. 이 저장시설은 1985년말에 완공되었으며, 현재 거의 반 정도가 찼다.

VVER원전에 대한 핵연료공급계약에는 소련으로 사용후핵연료를 되돌려 보내는 것으로 되어있는데, 최근 수년간 동유럽국가의 운전자들은 사용후핵연료를 되돌려 보내기에 앞서 8년간 보관하도록 요청받고 있다. 원자로 저장물의 용량은 원자로에서 꺼내는 사용후핵연료 3년분의 능력만을 갖고 있기 때문에 Nord원자력발전소 8기에서 나오는 사용후핵연료를 5년간 저장할 신규의 중간저장시설이 계획되었다. 실제로는 콤팩트랙에 의해서 약간의 여분능력이 생기므로 현재 원자로풀과 중간저장시설에 이 콤팩트랙이 도입되고 있어서 결과적으로 원자로 저장능력을 5년간으로 확장시킬 수 있다. 따라서 전체저장을 10년간 할 수 있게 된다.



Stendal 原電

Stendal에서 북동쪽으로 20km, 그리고 Magdeburg에서 북쪽으로 50km 떨어진 Elbe강 유역의 부지는 대규모 원자력발전단지로 적합하다. 처음에는 전력수요가 많은 Magdeburg 근방에 부지가 고려되었으나, TMI 2호기 사고 이후 Magdeburg로 통하는 고전압 송전망계통과 인접해 있는 Stendal부지가 대신 선정되었다. 이 지역은 평탄한 모래밭이 넓게 퍼져있고, 또 지질학적으로도 안정한 강유역이다. 지금까지의 기록으로 가장 강한 지진규모는 Richter스케일 3이었다. 원자로는 강도 7의 지진에도 견디도록 하는 발전소설계에 따라 육중한 콘크리트기초 위에 건설되고 있다.

원래 계획은 VVER-440형 원자로 4기였으나, 1978년말에 소련이 VVER-1000형 원자로로 교체를 제의하였는데 실린더와 돔이 압력격납용기이고 또 많은 안전특성이 최신화된 설계여서 이 제안을 받아들였다. 그러나 대형 원자로를 선택함에 따라 Elbe강에서의 냉각수 취수를 보완하기 위해 냉각탑의 추가건설이 불가피하게 되었다.

비상노심냉각계통은 3배의 리던던시가 있는 3개의 100% 체인을 갖고 있다. 10.8MPa로 붕산수의 고압주입이 달성되며, 압력방출계통은 소규모 누설의 경우 장기간의 저압주입이 이루어지도록 한다. 또한 5.9MPa로 작동하는 4대의 축압기가 있어서 1차회로와 압력용기에 주입한다. 원자로에는 포화붕산수를 전압력으로 주입시키

는 2차 운전정지계통이 설비되어 있다.

Stendal 1호기와 2호기의 소련내 참조발전소설계는 Zaporozhye원자로이지만, 설비는 현재 VVER-88형 발전소설계에 추가로 포함되고 있는 안전특성 일부를 반영하여 제작되고 있다. 각 호기에는 3,000rev/min으로 운용되는 1대의 1,000MWe 터보발전기가 설치될 것이다. 이 발전기는 1,800rev/min의 Zaporozhye발전기보다는 Rovno 3호기에서 운용되고 있는 발전기와 더 유사하다.

소련과 다른 동유럽국가에서 공급되는 부품의 품질보증프로그램 결여로 인해 전력회사 관계자들은 Stendal에 대해서 우려를 하고 있으나, 공학적인 설비들은 높은 안전여유도가 재료사양과 벽두께에 반영된 설계여서 일반적으로 우수한 품질이라고 하였다. 현재 설계가 서독의 인허가기준에 적합한지를 알아보기 위한 연구가 서독과의 새로운 협력관계하에 수행되고 있다.

계장과 제어계통의 경우에는 Siemens사가 공급하는 완제품이 사용될 것이 거의 확실시되고 있다. 사업후반기에 Siemens계통을 결합시키는 데 대한 상세한 타당성보고서가 6월말에 완료되었고, 최종결정은 8월말에 이루어질 것으로 보인다. 소련 설계자들은 이 설계변경에 대해서 반대 의사가 없음을 이미 밝혔다.

현재의 건설공정에 의하면 Stendal 1호기의 완공을 1994년 4/4분기로 예정하고 있으며, 2호기는 그보다 2년 늦는 것으로 계획하고 있으나, 1호기의 준공시기는 계장과 제어계통의 설계변경으로 인해 약간 지연될 가능성이 있다.

현장에서의 작업인원은 현재 약 8,500명 정도이다. 1호기 격납용기 건설작업은 플라크레인 높이에 도달하였다. 안쪽과 바깥쪽 강철 라이닝과 이 사이에 보강용 강철바아가 있는 대형의 격납용기 링을 사전에 조립·제작하는 새로운 공법이 개발되었다. 격납용기의 벽이 되는 이 6m 높이의 링들을 제위치에 놓고 용접을 하고, 공간을 시멘트로 채운다.

격납용기의 돔부분에 대한 사전 제작품이 현재 현장의 지상에서 조립되고 있는데, 170톤 무게의 이 2개의 돔부분을 들어올려 제자리에 맞

추어 돌을 완성하게 될 것이다.

1차회로의 설치는 1991년 1/4분기부터 시작될 예정이며, 1호기의 터빈홀은 거의 완공되었고, 1,000MWe터빈용인 거대한 콘덴서의 본체가 설치되었다.

2호기에서는 격납용기의 처음 두개의 6m 링이 설치완료되었고, 터빈홀의 강철골격이 조립되고 있다.

Stendal 3호기와 4호기의 건설작업은 아직 착수되고 있지 않은데, 원래 계획되었던 VVER-1000형 원자로를 서방세계의 원자로로 교체하는 문제가 적극적으로 고려되고 있으며, 현재 Siemens/KWU사가 잠재적인 공급자의 위치를 확보하고 있다.

Morsleben廢棄物貯藏所

1년전만 하더라도 동독의 Morsleben에 있는 방사성폐기물저장소 방문은 생각할 수도 없는 일이었다. 그 이유는 이 폐기물저장소가 동독과 서독 국경에서 동쪽으로 5km 떨어져있는 제한구역내에 위치하고 있기 때문이다. 그러나 금년 3월 이 문제가 해결되었다.

Morsleben은 제한구역이기 때문에 저장소 부지로 선정된 것이 아니라 2억5천만년동안 존재한 깊은 암염층의 지질학적 조건 때문이었다.

1966년 Rheinsberg원자력발전소사업에 대한 계획이 시작되었고, 폐기물처분을 위해 10개의 암염광산 조사가 제외되었다. 상세한 안전성 연구가 이중 세군데에 대해서 수행되었고, 마침내 Morsleben이 선정되었다.

Morsleben에 대한 부지승인은 1972년에 나왔고, 건설허가는 1974년 이루어졌다. 첫번째 시험저장은 1978년부터 시작되었는데, 1981년에 전면적인 운영허가를 받았다. 이 운영허가는 SAAS에 의해 매 5년마다 갱신되는데, 다음 번 갱신은 1991년으로 예정되어 있다.

안전성 연구의 주안점은 암염사이에 관입된 무수석고가 표면지하수의 잠재적인 침투통로가 되지 않도록 확립하는 것이다. 사실 Morsleben 구조는 지하수의 유입을 효과적으로 막는 매우

단단한 두꺼운 석고층이 지표에서 부터 100m 아래에 넓게 퍼져있다.

현재 저준위 방사성폐기물과 비발열성 중준위 폐기물이 Morsleben광산에 저장되고 있으며, 발열폐기물에 대한 연구작업은 전기로 가열을 모의하여 수행되고 있다. 현재 모든 처분은 광산의 가장 낮은 지역에 새로 굴착한 12,000~15,000m³ 용량의 3개의 저장실에 실시되고 있다.

별도의 차폐장치가 없는 20리터 용량의 드럼인 고체 저준위 폐기물은 저장실에 쌓은 후에 염으로 덮는다.

중준위 폐기물의 경우에는 처분실 위 통로에 있는 5개의 스테이션에서 차폐된 수송플라스크로 부터 내용물을 처분실에 떨어트리고, TV카메라를 통해 보면서 폐기물더미에 염을 덮는다. 처분실의 약 600m³는 원자력발전소에서 나오는 폐기물로 채워지고, 나머지는 방사선원의 처분에 사용되고 있다.

Morsleben에서는 액체폐기물 처분을 위해 특수한 기술을 사용하고 있다. 진한 농도로 증발된 액체폐기물은 특수한 콘테이너에 담겨져 저장소로 이송되며, 내용물은 콘테이너에서 대형 저장탱크로 옮겨진다. 여기서 액체폐기물은 광산의 가장 낮은 통로 밑에 특별히 굴착된 또다른 저장실의 위에 있는 일련의 분사노즐로 공급된다. 그러나 액체폐기물을 분사하기 전에 갈탄화력발전소의 필터에서 나오는 아주 미세한 재를 이 저장실내에 50cm 두께의 층으로 불어넣는다. 이 갈탄폐기물은 석고성이 아주 강해서 수분을 흡수하면 1시간 이내에 아주 단단하게 고형화된다. 저장실 옆면 둘레를 약 1m 두께의 비오염지역으로 남겨놓은채 액체방사성폐기물을 갈탄폐기물층위에 분사시킨다.

Morsleben에 처분된 폐기물은 모든 종류를 합하면 총 13,000m³ 이상이다. 이중 약 8,000m³는 고형화된 액체폐기물이다. 처분된 폐기물의 총방사능은 200TBq를 넘는다.

SAAS안전성평가는 2030년까지 코발트-60 10¹⁹Bq, 세슘-137 10¹⁶Bq, 플루토늄 10¹³Bq의 처분을 기초로 하고 있다.