

소련의 再處理 및 高準位廢棄物管理

소련의 원자력사업은 1940년대에 시작되었으나 이 나라의 고준위폐기물관리 및 사용후핵연료 재처리상황이 알려지기 시작한 것은 극히 최근의 일이다.

최근의 각종 회의록과 보고서를 통해 방사성 폐기물관리에 대한 소련의 국가적인 시각이 뚜렷이 나타나기 시작했다.

그들의 시각에서는 사용후연료는 폐기물취급을 받지 않고 재처리해야 할 물질로 간주되고 있는 것이다(단, 재처리비용이 많이 드는 초기의 발전용 원자로의 사용후연료 제외). 즉 고준위폐기물(HLW)은 장기저장에 적합한 고체형태로 전환해 안정된 지층속에 저장해야 한다는 것이다.

소련에는 3군데의 잘 알려져 있는 사용후연료 및 고준위폐기물관리단지가 있다. 즉 Chelyabinsk-40, Krasnoyarsk, Tomsk의 3개 원자력단지다. Chelyabinsk-40 원자력단지는 흑연감속/경수냉각로 5기, 중수생산로 1기, 용량 500톤/년의 재처리공장 1기, 시험용 유리고화공장 1기를 가지고 있다. Krasnoyarsk 원자력단지는 생산로 3기와 일부 건설된 재처리공장 1기를 가지고 있고, Tomsk 원자력단지는 兩用 원자로 5기와 재처리공장 1기를 가지고 있다.

Chelyabinsk-40 원자력단지

“Chelyabinsk-40”이란 단지명은 이 지역

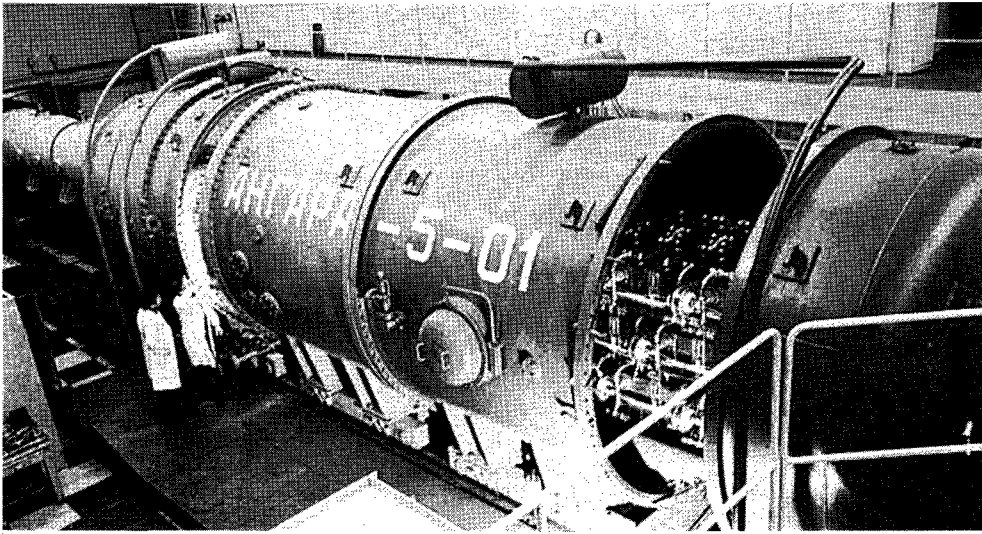
의 우체국 번호명칭을 본딴 것으로 이 지역은 Chelyabinsk주 남부 우랄지방의 동쪽에 위치하고 있다. 이 단지는 1945~46년에 원래 플루토늄 생산을 목적으로 조성된 것이다.

이곳의 5기의 흑연감속/경수냉각 생산로중 마지막 1기가 1990년에 폐쇄되었으나 중수생산용 원자로 1기는 아직도 가동중이다. 이곳에는 또 현재 건설중에 있는 3기의 액체금속 고속증식로와 연간 생산용량 500톤 규모의 재처리공장 1기 및 시험용 유리고화공장 1기가 있다.

재처리: 이 단지내의 재처리공장은 1949년에 조업이 시작돼 軍用 원자로의 사용후 천연우라늄 연료의 핵분열생성물로 부터 플루토늄과 우라늄을 분리하는 작업을 하고 있다.

1978년에 이 재처리공장은 海軍함정용 원자로의 사용후연료를 재처리할 수 있도록 개조되었고, 그후에 다시 VVER-440 발전용 원자로의 사용후연료도 처리할 수 있도록 개조되었다. 이 공장은 최근에는 소련과 舊Comecon 동맹국들의 모든 VVER-440 원자로의 사용후연료를 재처리하고 있다.

이 공장에서의 재처리방법은 1949년 이후로 여러번 바뀌었는데 맨처음에는 침전법이 사용



되었으나, 그후에 공장을 개조해 이온교환법을 사용했고, 그 다음에 불활성 tri-butyl phosphate 용액을 사용하는 溶媒抽出法을 사용하고 있다.

소련의 핵물질생산 책임자인 Mikerin씨에 의하면 민간용 원자로에서 회수된 플루토늄 재고량이 지금은 20톤이나 되는데 이것은 원래 고속증식로에 사용할 목적으로 생산된 것이다.

피폭선량 : 소련관계자들은 「이 재처리공장은 플루토늄 추출기술만 마스터했을 뿐, 아직 안전성과 중업원 및 환경에 대한 보호 대책이 마련되지 않은 상태에서 조업이 시작됐던 것」이라고 밝혔다.

원자력발전/산업성 제1차관인 Nikipekov씨는 Chelyabinsk-40 원자력단지내의 재처리공장 중업원의 피폭선량 분석에 관한 보고서를 냈다. 이 보고서에 따르면 1951년에 이 공장중업원의 연평균피폭선량은 113.3rem으로 최대치를 기록했는데 이것은 당시의 중형기계공업성의 규제치인 30rem/년과는 큰 격차가 난다. 그러나 1974년대는 연평균피폭선량이 당시의 규제치인 5rem/년 이내인 0.6rem으로 감소했다.

폐기물관리 : 이 공장에서 여러가지 재처리방법에 의해 재처리된 각종 연료는 방사능 레벨과 화학성분이 각각 다른 방사성폐기물을 낳고 이것이 혼합된 상태에서 그곳에 누적되었다. Chelyabinsk-40 원자력단지는 소련내에서도 가장 많은 방사성폐기물이 있는 것으로 알려져 있다. 초기에는 모든 재처리 폐기물이 이 지역을 흐르는 Techa강에 방류되었으나 1951년에 이로 인해 북극해에서 방사능이 검출되자 방류가 중지되고 재처리공장에서 배출되는 방사성 폐기물 일부를 이 공장 근처의 자연호인 Karachy호로 임시적으로 모았다고 Nikipelov씨가 말했다.

1953년부터 Chelyabinsk-40 원자력단지의 고준위폐기물은 300m³ 용량의 스테인레스 스틸 탱크에 저장되었다. 이 탱크들은 스테인레스 스틸로 라이닝된 벽 두께 1.5m의 콘크리트 canyon안에 설치되는데 한 canyon에 20개의 탱크를 수용할 수 있다.

1957년에 한 탱크의 냉각장치가 고장을 일으켜 화학적인 폭발이 일어났는데 이 사고는 Kyshtym사고로 알려져 있다. 이 사고로 20MCi의 방사능을 가진 약 70톤의 폐기물이 방출되었다. 폭발사고가 난 후 고준위폐기물

저장고를 다시 지었고 이의 신뢰성을 높이기 위해 특별한 예방조치가 취해졌다.

- 폭발성가스가 농축되는 것을 방지하기 위해 용액위로 계속해서 공기를 불어넣었다.
- 탱크별로 온도를 엄밀히 제어했다.
- 온도상승이 일어나는 경우에 액체폐기물을 한 탱크에서 다른 탱크로 멀리 이동시킬 수 있는 펌프를 설치했다.
- 圓形침전을 방지하기 위해 酸度를 계속 조정, 수정했다.

유리固化處理 : 1950년대 중반에 소련은 고준위폐기물의 유리고화처리방법을 개발하기 시작했다. 첫단계에서 폐기물을 煨燒하는 2단계 유리고화처리방법이 예비煨燒하지 않고도 磷과 硼硅酸유리와 같은 물질을 만들어내는 1단계 방법과 병행해서 개발되었다.

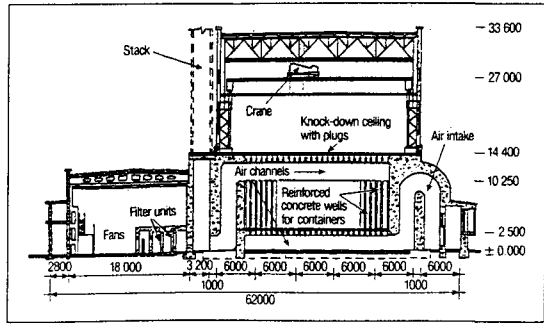
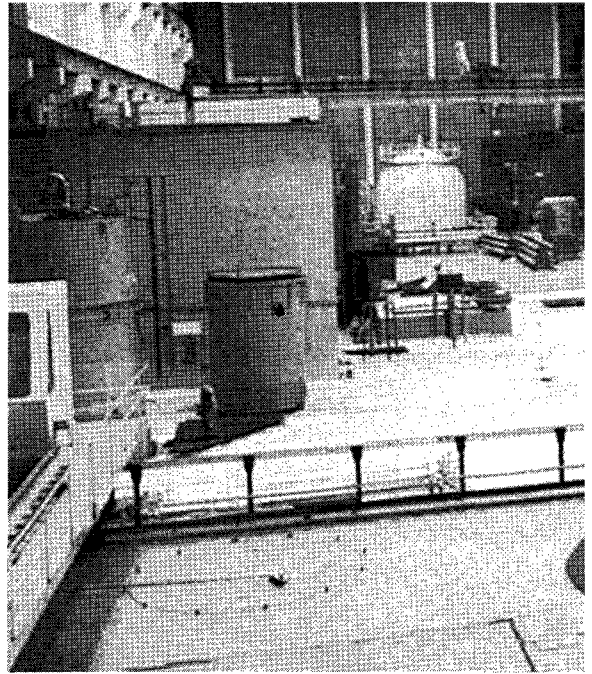
시험용 폐액을 사용해 100리터/시간 용량의 공장을 10년간 시험가동한 후에 1989년 Chelyabinsk-40 단지에서 500리터/시간 용량의 1단계 유리고화처리공장이 조업을 시작했다.

유리고화된 폐기물은 200리터 canister에 주입되어 냉각후 3개씩 금속 container(직경 63cm, 높이 3.4m)에 넣어 밀봉되었다. 이 container들이 샌다는 보고가 있었으나 곧 수리되었다.

금속container는 강제공기냉각에 의한 저장을 위해 cask로 옮겨졌다.

1988년 이 공장이 폐쇄될 때까지 전체방사능 $3.9 \times 10^6 \text{Ci}$ 의 약 $1,000 \text{m}^3$ 의 폐액이 유리고화처리되었다. 이 공장의 폐쇄는 전기로 전극의 리드선 물냉각시스템의 고장 때문이었다. 이 유리고화처리공장은 현재 개조중에 있는데 이것이 완성되면 고·중준위폐기물을 유리고화처리할 예정이다.

폐기물저장 : Chelyabinsk-40 단지내의 유리고화처리된 폐기물의 저장시설은 container

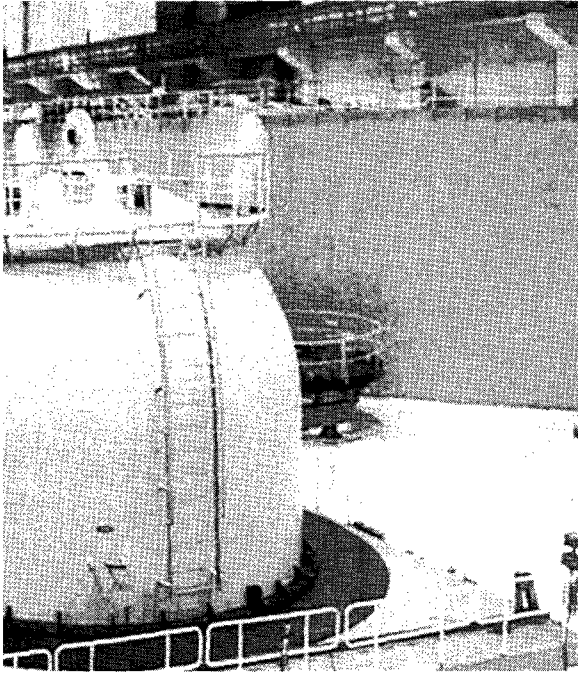


▲ Chelyabinsk 단지내의 유리고화 폐기물 저장소

2개씩을 넣을 수 있는 철근콘크리트 well이 있는 콘크리트 compartment로 되어있다.

크레인으로 container를 well속에 넣는다. container를 냉각시킨 공기는 필터를 거쳐 대기로 방출된다. 폐기물은 20~30년간 감시를 받으며 저장상태에 있다가 화상암 또는 암염속에 매장될 것이다.

정부에서는 현재 Chelyabinsk-40 지구에



깊은 화강암층 저장소를 개발할 것을 계획중이나 주민의 반대에 봉착하고 있다.

Krasnoyarsk 원자력단지

1950년대초에 스탈린은 시베리아 삼림지대의 Yenisey강변에 플루토늄생산을 위한 Krasnoyarsk 방사화학단지를 조성했다. 이 단지는 Krasnoyarsk 북동쪽으로 50km, Dodonovo 북쪽으로 10km되는 지점에 있다. LANDSAT 인공위성이 보내온 사진에는 이곳에 3개의 원자료가 있는 것으로 나타나 있다.

1975년에 Krasnoyarsk에 VVER-1000 원자로의 사용후연료저장소와 연간 1,500톤 용량의 재처리공장의 건설계획이 시작되었다. 재처리공장은 1997년 또는 1998년에 조업을 시작할 예정이었고 사용후연료도 그동안 현장에 저장돼 왔다. "Site 27"로 알려져 있는 이 재처리공장은 현재 건설공사가 3분의 1이나 완료되었으나 중단되고 있다.

1989년 6월에 60,000명의 이곳 주민들이 공사에 항의하는 연판장에 서명했는데 이것은 재처리공장 입지선정을 위한 과학적인 조사가 건설공사가 시작되지 9년후에 이루어진데에도 그 일부 원인이 있다.

폐기물처분 : 1989년에 Krasnoyarsk 단지에서 나온 폐기물이 재처리공장에서 약 20km 지점에 있는 700m 깊이의 점토층에 주입되었다는 보도가 있었다. 이 폐기물을 운반하기 위해 Yenisey강 밑으로 50m 깊이에 터널을 뚫었다는 것이었다. 이 계획은 이 지역에서 큰 논란을 불러일으켰다.

그러나 이것은 Nikipelov씨가 1990년에 한 말과는 모순되는데 그는 당시 소련이 1950년대부터 깊은 지층속에 액체 방사성폐기물을 펌프로 주입해왔다고 말하고 「1960년대에는 이러한 프로젝트가 몇개 진행중이었으나 이 기술이 절대적인 신뢰성이 있다고는 볼 수 없어 앞으로는 사용될 것 같지 않다」고 했다.

Tomsk 원자력단지

Tomsk에 있는 "시베리아 원자력발전소"는 Tomsk 북서쪽 15km 기점의 Tom 강변에 있다. 여기에는 1950년대 중반부터 재처리공장이 있었던 것 같다. 1950년대 중반에 동발전소의 5기의 흑연감속형 兩用 원자로중 첫번째 유니트가 가동되기 시작했었다.

1987년에 Tomsk 단지에서는 이곳으로부터 1,000km 떨어진 Chelyabinsk 단지로 부터 철도편으로 보내오는 軍用 생산로의 연료를 재처리하기 시작했다.

Tomsk에는 감시가 잘 안돼 있는 방사성폐기물 저장소가 있는 것 같다. 이곳의 폐기물문제는 1970년대에 처음으로 거론되었다. 이 원자로는 Tom강에 대량의 방사성 유출물을 방출한 것으로 알려져 있다.