

소련 체르노빌原電의 近況

소련 체르노빌 原子力發電所에서 원자력발전사상 최악의 사고가 발생한지 만 2년이 경과하였다. 체르노빌사고후의 復舊作業은 소련社會가 가지고 있는 독특한 強點을 잘 보여 주었으며, 엄청난 문제를 신속하고 効果적으로 대처하기 위한 노력을 거국적으로 경주하였다. 다음은 James Varley씨가 1987년 12월 9일에 체르노빌을 방문한 후 NEI誌 3月號에 발표한 보고서이다.

체르노빌 4호기가 황폐화 된 직후에 총연장 800m의 터빈건물을 같이 사용하는 1,2호기를 정상운전으로 復歸시키는 일은 매우 어려운 일로 보였다. 사고호기에 바로 인접하여 여러 계통을 共用으로 사용하던 제3호기를 복구하는 일은 대부분의 西歐專門家들에게는 불가능한 것으로 보였다.

1, 2호기는 사고로부터 9개월이 지난 뒤에 다시 發電을 시작하여 1987년 12월 현재 145억 KWH의 電力을 생산하였다. 3호기는 좀 더 시일이 걸리기는 하였지만, 1987년 12월 4일에 試運轉을 개시하여 1988년초에 全出力 운전을 목표로 하고 있다.

제3호기의 중요한 문제는 事故號機와 共有하던 系統들을 다시 살리는 것으로서 作業에 참여하였던 기술자들은 “한 몸을 이룬 쌍둥이를 분리하는 수술”이라고 표현하였다. 또 다른 문제는 물론 除染作業이었다. 제3호기를 복구하는데 투입된 자원의 총비용과 작업자의 被曝線量의 水準은 현재 알려져 있지 않다. 그러나 3호기가 시운전을 시작하던 시점에서의 방사선準位는 제2호기가 운전해 돌입하던 시점 보다 많이 낮아졌

다고 Mikhail P. Umanets 체르노빌발전소장은 말하였다.

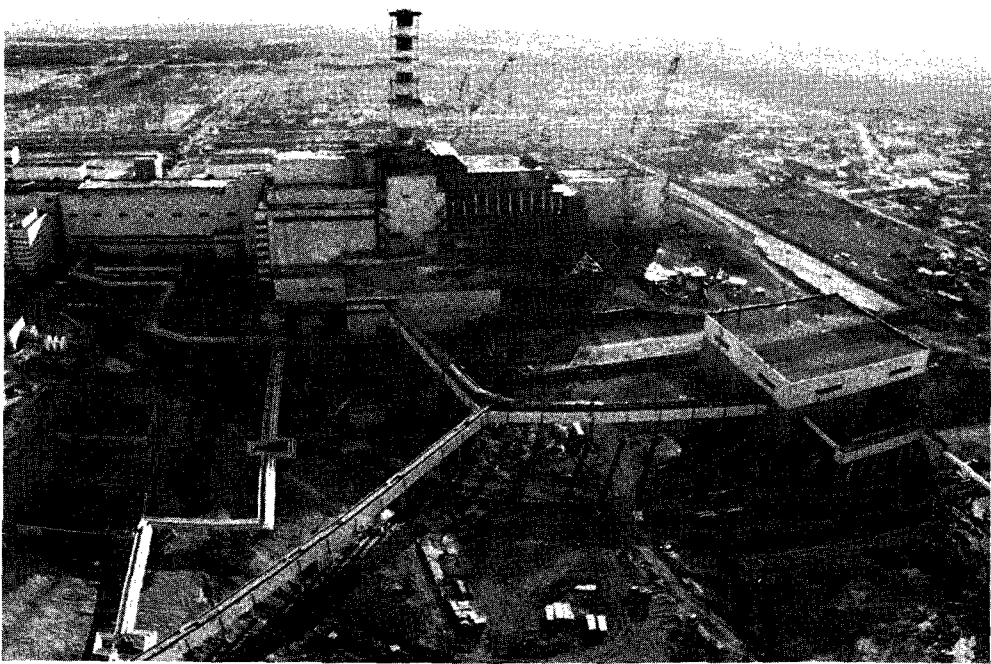
이것은 체르노빌에서 이룬 제염의 수준을 나타내는 한 尺度이다. 그리고 또 다른 진전사항중의 하나는 1988년 3월에 Slavutich에 新市街地가 완공됨과 동시에 근무형태를 바꾸는 일이다(현재 30Km 구역내의 제염작업자들은 15일 근무에 15일 휴무 방식으로 일하며, 발전소내 근무자는 5일 근무후 7일 휴식 방식인데 이를 정상적인 생활 및 근무형태로 바꾸고자 하는 것이다).

콤비나트

30Km 제한구역내의 모든 민간인의 活動은 콤비나트라고 하는 集團組織의 責任事項이다.

1986년 10월 창설된 이 조직은 食糧供給에서 발전소의 운전해 이르기 까지 구역내의 모든 생활과 作業을 管掌한다. 콤비나트는 4호기의 차폐와 감시책임도 지고 있어서 발전소내외의 제염 및 방사선관리프로그램을 수행하고 있다.

현재 10,000명의 민간인이 30Km구역내에서 일하는데, 약 4,000명은 발전소 운전해, 나머지



인원은 제염작업에 투입되고 있다. 그외에도 수 미상의 군인들이 주둔하고 있는데, 사고초기의 수습노력에 중요한 기여를 하였다. 그들의 막사는 30Km구역 경계에 있다.

콤비나트의 권한은 매우 커서 각종 자원을 충분히 확보하고 있었다. 제한구역내에의 시찰은 1987년 12월 9일에 있었는데, 콤비나트의 情報 및 海外弘報部에서 주선하여 주었다. Alexandr P. Kovalenko부장은 매우 명랑하고, 상식이 풍부한 사람으로서 弘報의 重要性을 강조하였다. 특히, 영국 CEGB의 회장인 Marshall경의 연설문을 인용하여 주민들의 이해증진이 체르노빌 사고이후의 원자력산업에 매우 긴급한 과제라고 주장하였다.

Kovalenko씨와 그의 직원들은 외국방문객을 대하는데에 매우 숙달되어 있었는데, 현재까지 38개국 이상에서 184개 이상의 대표단이 인원규모로는 약 300명이 방문한 바 있었다.

발전소에 이르는 도로는 꽤 분주하였는데, 30Km 제한구역이내를 시찰하는 차량은 항상 경찰의 에스코트를 받고 있는데, 이 에스코트는 이탈리아에서 온 영화감독이 차량사고로 부상당한 후부

터 실시되어 오고 있었다.

정보 및 해외홍보부는 방문객의 정보요구사항을 미리 예상하여 답변자료를 준비해 놓았다. 가장 자주 받는 질문에 대한 답을 서술한 책도 곧 출간될 예정인데 Kovalenko씨는 이 책의 공동저자이기도 하다.

情報交流

소련사람들은 엄청난 원자력사고로 부터 뼈아프고도 값비싼 대가를 치르고 얻은 경험을 최대한도로 되살리기 위하여 정보교류를 하고 있다는 점을 특별히 강조하였다. Kovalenko씨는 “우리는 우리의 경험을 팔지 않는다. 우리는 경험을 교환한다”고 하였다.

콤비나트는 체르노빌을 방문한 일본인들과 최신 컴퓨터의 교환가능성을 토의한 바도 있었으나, 西方側이 敏感技術의 이전이라는 주장때문에 중지되고 말았다. 그리고 美國代表團의 방문도 허용되었으나, 본 콤비나트가 TMI발전소를 방문토록 하는 초청이 없었음을 유감으로 생각한다고 Kovalenko씨는 말했다. 그에 의하면 미국

인들은 “TMI 발전소가 私有財産임”을 들어 회피하고 있다는 것이다.

대규모적이고 집중하는 소련기술자원의 결과로 Spetsatom이라고 하는 특별기관이 창설되어 주민이 소개된 Pripjat市の 건물을 제염중에 있는데 발전소 종사자의 상당수가 이 도시에 살고 있다.

콤비나트의 부속기관으로서 Spetsatom의 역할중의 하나는 원자력발전소 사고시에 지원을 제공하는것이다. 또 다른 역할은 로봇, 방호복 등 비상시에 사용될 수 있는 기술을 평가하는 것이다. 이 기구는 실제 원자력비상사태때의 엄청난 경험을 실제로 갖고 있는 점에서 이러한 목적에 확실히 부합되고 있다.

소련제 및 국외에서 수입된 로봇들은 유감스럽게도 발전소내 수색 및 청결작업을 제대로 해 내지 못했다. 특히, 파괴된 발전소의 지극히 복잡한 구조에 적응하는 것이 어려운 일이었다. 또한 감마선이 매우 강하게 방출되어 로봇에 내장된 전자장비를 망가뜨리는 바람에 몇대의 로봇은 건물에서 추락한 것으로 보고되었다.

소련사람들은 그들이 시도한 몇몇 종류의 방호복이 실제적이지 못한 것을 깨달았다. 西歐에서 제작된 한 방호복을 보고는 모두 쓴 웃음을 짓기도 하였는데, 체르노빌이 직면한 문제를 다루기에는 力不足이었기 때문이었다.

여하튼 “대규모 원자력사고를 다루기 위해 필요한 특수장비 생산문제가 이제는 해결되었다”고 소련사람들은 주장했다.

체르노빌 사고를 통해서 소련인들은 사상유례 없는 경험을 하였다. 이렇게 심하게 파괴된 원자로에서 일해 보기는 소련인들이 처음이다.

최근에 발표된 소련보고서는 다음과 같이 기술하였다.

“미리 행해졌어야 했던 각종 연구실험을 굵히 그리고 집중적으로 시행할 필요가 있다. 사고가 발생했을 때, 각종 계측기들의 측정범위는 극히 제한되어 있었다. 사고를 수습하기 위한 작업

이 시작되었을 때, 사고상황에서 원격으로 시료를 채취하며 안전에 필수적인 조작을 할 수 있는 시설이 실질적으로 없었다.”

대표적인 한 예로 이 보고서는 사고직후 부터 시작된 방사선감시기술을 개발코자 하는 연구개발노력을 들었다.

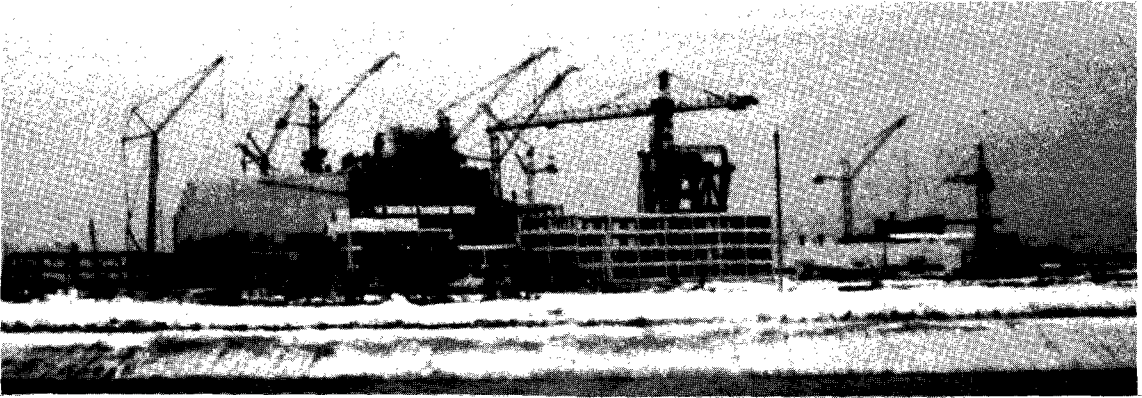
소련인들은 또한 건물과 장비를 제염하는 실질적인 기술을 그 누구보다도 다양하게 갖고 있다. 고압수 살수 및 증기세척, 중합체 코팅을 이용한 건식제염, 특수제염용액을 이용한 피복세탁, 그리고 최근들어 “혁신적인 生化學的 방법들”이 시험중에 있다고 Kovalenko씨가 밝혔다.

가장 큰 문제중의 하나는 발전소 前面에 있던 거대한 송변전시설을 제염하는 일이었다. “제염하는 것보다는 파묻는 것이 더 쉬운 일이었다”고 Kovalenko씨는 말했다.

線量率 減少

체르노빌발전소를 방문하여 파괴되어 밀봉된 발전소로 부터 약 120m 지점에서 측정한 감마선량률은 약 4mrem/h이었는데, 발전소로 부터 오는 것이 아니라 地表土로 부터 오는 것이었다. Kovalenko씨의 기억에 의하면 이 지점에서의 선량률은 1,000rem/h이었다가 30rem/h로 떨어졌으며, 1988년 7월 1일까지는 0.2mrem/h로 낮추어질 것이라고 하였다.

발전소 주변에서는 제2단계 제염작업이 이루어지고 있었다. 그러나 반경 30Km이내 구역에 주민을 재정착시키고자 하는 계획은 현재로서는 없다. 이 구역내 14개 마을은 한때 귀환할 수 있는 기회가 있긴 하였으나, 심리적인 문제를 극복하기가 어려운 것으로 나타났었다. 평균적인 보상은 약 10,000루블정도이었다. 주민들이 가재도구를 오염정도에 제한받기는 하였어도 갖고 나올 수 있는 기회도 주어졌다. 자동차들은 특별구역에서 폐기되었으며, 일부는 복구작업용으로 콤비나트가 정발하였다.



▲사고시 건설이 상당히 진척되어 있던 5, 6호기의 완공에 대한 결정은 1990년 이전에는 이루어질 것 같지 않다.

1987년 1월 1일 부터는 30Km 구역내에 일하는 모든 사람들에 대해 ICRP권장사항인 5rem / 년의 선량한도를 지킬 수 있게 되었다. 그 이전에는 불가피할 경우 25rem / 년의 피폭을 감수할 수 밖에 없을 때가 많았다. 개인감시용으로는 열형광선량계(TLD)를 사용한다.

발전소 종사자의 1987년도 평균피폭선량은 1.4rem 정도이었으나, 1988년에는 더 낮아질 것이다.

필자가 CEGB에서 가져온 만년필형 선량계는 30Km이내 구역에서 6시간 머문동안 $19\mu\text{Sv}$ 를 피폭선량으로 나타내었는데, 이는 런던에서 모스크바로 비행하면서 받은 선량 $8\mu\text{Sv}$ 와 비교해 볼 만한 숫자이다. 이 피폭선량은 매우 낮은 수준이라서 필자가 차고 있던 TLD뱃지로는 이 숫자를 얻기가 어려웠다. TLD로는 선량이 0.1mSv 이하임을 확실히 보여주는 정도로 만족할 수 밖에 없었다.

Kiev市로 부터 약 35Km 떨어진 지점에 방사선감시검문소가 있었는데, 발전소를 오고가는 차량들의 오염 여부를 최종확인하는 일을 하고 있었다. 30Km구역 경계에도 검문소가 있고, 발전소로 가는 도중에 3개의 검문소가 더 있었다. 필자가 탄 미니버스는 이 모든 검문소를 검문없이 통과할 수 있었다. 차량에 의한 오염을 통제하기 위해 교대근무자들은 30Km경계선에서 버스를

갈아타도록 되어 있었다.

發電所의 밀폐

선량률을 허용수준 이하로 낮추기 위한 가장 중요한 조치는 물론 발전소를 완전히 밀봉처리 하는 것이다. 소련인들은 덩개 혹은 차폐벽 등 조금은 더 부드러운 표현을 좋아하지만 그들이 승산이 없는 싸움을 하고 있음을 그들 자신의 기술문헌에서 조차 찾을 수 있었다.

소련인들이 말했다시피 발전소의 石棺밀봉체는 원자력기술상 이전에 한번도 본 일이 없는 구조물이다. 밀봉된 발전소에 설치된 약 300개의 감시장비가 3호기에 있는 자료센터에 정보를 제공한다. 밀봉된 발전소는 강제냉각시설이 설치되어 있으나 엄격히 불 때 필요없는 시설임이 나타났다. 지붕에는 방사수를 가득 담은 대형탱크를 설치하여 中性子束이 증가할 기미만 보이면 핵연료를 덮어버리게끔 되어있다.

필자가 방문했을 때 밀봉된 발전소지붕은 흰 눈으로 덮혀 있었다. “모든 것이 제대로 되어 가고 있다는 뜻이지요”라고 Kovalenko씨가 거들었다. 파괴된 발전소를 두르는 밀봉체의 한 부분은 터빈건물을 가로지르는 금속제 격리벽인데, 1호기 끝쪽에서도 보일 정도로 컸었다.

선량을 감소시킬 수 있었던 또 다른 중요사항

은 발전소주변의 表土를 걷어 낸 것이다. 발전소 인근의 소나무숲도 치명적인 방사선량을 照射받았는데 그 효과는 1986년 여름에 확연하게 나타났으며 “붉은 삼림”으로 바뀌어 버렸다. 피폭된 나무들은 모두 벌채되었다. 소나무를 枯死시킬 수 있는 선량은 인간의 致死선량과도 비슷하다. 낙엽송의 경우, 고사선량은 소나무보다 열배 정도 높아서 방사선조사 영향이 나타나지 않았다.

Pripyat市에서는 모든 表土를 제거하는 등 대대적인 제염이 1986년에 있었다. 멈추어 선 회전목마는 5월의 노동절축하준비가 한창이었음을 말해 주었다. 49,000명 이상의 주민이 어떤 형태로든 발전소와 연관을 갖고 있었던 도시이었다.

아파트단지와 공공건물은 콤비나트가 사용하는 몇동을 제외하고는 모두 비어 있었다. 필자가 방문했을 때 접근이 금지된 한 아파트단지에서는 두번째 제염작업이 진행되고 있었다. 이 아파트단지는 Spetsatom의 종사자들이 15일 근무, 15일 휴무제로 올해부터 거주할 예정이다.

Pripyat市은 또한 방사선감시 및 통제의 센터이기도 하였다. 컴퓨터센터에는 30Km구역내의 방사선작업종사자 2,000명의 기록을 처리하고 있었다.

체르노빌 사고직후 엠브란스를 운전한 바 있던 미니버스 운전수는 그가 살았던 아파트를 가르쳐 주었는데 사고 얼마전에 세워진 새 운동경기장 바로 맞은 편이었다. 그는 지금 150Km 떨어진 Kiev市에 살고 있다.

인구가 12,000명이었던 체르노빌市는 Pripyat市보다는 피해가 적었는데 역시 제염이 되었고 제염작업자들이 근무기간중에 사용하는 건물도 몇채 있었다. 콤비나트는 이 도시에 최신식 사무실을 차렸다.

발전소직원과 방사능오염이 심한 곳에서 근무하는 사람들은 근무기간중에는 30Km 경계밖에 있는 Zelyony Mys 마을에서 거주한다. 이 마을은 현재 6,000명의 교대거주 인구가 있는데 사고 후 약 3개월만에 건설되었고, 발전소를 잇는 46Km

의 도로는 3개월만에 개통되었다.

발전소직원은 5일의 근무시간중 매일 12시간씩 일하며, 7일간 휴무한다. 30Km구역내의 다른 사람들은 15일간의 근무기간중에는 하루 10시간씩 일하며, 15일간은 휴무하는데 휴무시에는 보통 Kiev市나 Chernigov市에서 시간을 보낸다.

여하튼 앞에서 이미 언급한 바 있지만 체르노빌에서 기차로 20분이 걸리는 Slavutich 신도시가 준공되는 올해 3월부터는 이러한 근무형태가 바뀌기를 바라고 있었다. 약 30,000명이 거주하는 이 도시에는 가족과 아이들도 함께 거주하게 될 것이라고 Kovalenko씨는 말했다.

RBMK 原子炉의 未來

체르노빌 5, 6호기를 제염하는데에는 현재 약 500명이 투입되고 있는데, 이 두 호기는 1~4호기로부터 약 1Km거리에 있었다. 상당한 정도의 건설이 추진되고 있었던 5, 6호기를 앞으로 어떻게 할 것인가 하는 결정은 아무리 빨라도 1990년 이전에는 이루어지지 않을 것이다.

Umanets씨는 이 발전소가 준공되어야 하며 적절한 설계개선을 통해 RBMK를 계속 추진하는 방안도 排除할 수는 없다고 말했다. 사고후에 기술적, 조직적 대책들을 시행하였으므로 똑같은 사고는 다시 일어나지 않을 것이라고 말했다. 가장 눈에 띄는 대책중에는 100%출력으로 운전중인 1호기의 주 제어실에 있던 녹색액체結晶板이었는데, 원자로의 反應度餘裕를 표시하고 있었다.

현지에 있던 다른 사람들은 RBMK의 미래에 대해 대체적으로 볼때 낙관적이지만은 않았다. 설계에 참여했던 약 120명은 아직도 “조사를 받고”있었다.

여하튼 체르노빌복구작업에 종사는 사람들의 용기와 헌신과 능력은 찬양받아 마땅하며 30Km 구역내에서의 생활규범이 악조건임에도 불구하고 잘 지켜지고 있음에 감탄할 뿐이다.

밀봉차폐체의 建設과 監視

發電所 밀봉차폐체를 설계함에 있어서의 基本 仕様으로는 단순하고, 신뢰성있으며, 이미 입증된 방법으로 最短의 工期에 建設할 수 있어야 하며, 殘熱 및 放射化水素를 제거할 수 있어야 하며, 시공작업자의 방사선피폭을 최소화해야 하며, 내부상태의 감시와 분석이 가능하여야 한다는 것 등이다.

1986년 8, 9월에 특수 감지기를 헬리콥터와 건물크레인 등을 이용하여 파손된 원자로에 접어 넣어 측정된 결과 방사능 준위는 $10^3 \sim 10^6 \text{rad/h}$ 이었고, 온도는 $30^\circ \sim 50^\circ \text{C}$ 정도이었다.

파손된 원자로에의 접근이 점차 용이해짐에 따라 측정지점의 수도 꾸준히 증가시켰다. 그 결과 원자로심내 핵연료중 약 96%가 원자로건물내에 있음을 알았다.

온도측정결과 핵연료의 대부분이 원자로와 그 주변에 있음을 알 수 있었다. 이 지역에 대한 조사과정에서 약 2%까지의 핵연료를 포함한 溶融된 모래가 상당량 발견되었다. 이 발견으로 사고시 $2,000^\circ \text{K}$ 에 이르렀을 것이라는 노심온도에측정결과가 타당하였음을 알았다.

계산에 의하면 약 2MW의 잔열이 방출되어 공기온도가 평균 $30^\circ \sim 40^\circ \text{C}$ 에 이르므로 원자로 구역을 통과하는 공기유량은 약 $50 \sim 60 \text{Kg/초}$ 이었는데 이는 실제 측정결과와 잘 一致하였다.

모형실험의 결과에 의하면 원자로하부의 壓力 減少槽의 공기가 자연대류에 의해서 순환되며 대기중 방출은 특수필터를 통해서 이루어지고 있어 空調設備가 적정함을 보여 주었다.

밀봉차폐체의 構造

殘熱이 점차 감소함에 따라서 핵연료사이의 공기자연순환에 의한 냉각도 가능하게 될 것이며 더 나가서 밀봉차폐체의 패쇄순환회로에 의한 냉각도 가능할 것으로 예측되었다.

밀봉차폐가 차지하는 역할이 매우 중요하였으므로 각종의 방안을 모두 검토할 때까지는 최종 결정을 미루었다.

모든 방안은 최종적으로 다음 두가지 안으로 축소되었다.

- 230m 직경의 원형태의 뚜껑을 씌우거나, 120m 직경의 외팔보를 사용.

- 잔존하는 건물벽을 지지물로 활용하여 55m 직경의 구조물요소를 사용.

제1안은 1.5~2년의 공사기간이 소요되지만, 제2안은 공사기간과 자재량을 상당히 줄일 수 있었다. 따라서 제2안을 선택하였다. 이 방안에서는 3,4호기 중간에 콘크리트 격리벽을 치고, 터빈 건물에는 2,3호기 사이에 금속제 격리벽을 치도록 되어 있었다.

밀봉차폐 건설작업과 병행하여 파손된 핵연료의 상태와 구조물의 상태를 파악·진단할 수 있는 시설도 추진되었다. 방사선을 감시하고 밀봉차폐체내의 열제거계통 운전상황을 점검하는 장치도 포함되었다. 온도와 감마선량률은 여러 곳에서 측정되며, 수소, 일산화탄소, 수증기농도는 연속감시되었다.

원자로내에서 핵분열연쇄반응이 일어나는 상황을 검출하기 위해 중성자감지기를 설치하였고, 반감기가 짧은 요드-131 동위원소를 배기구에서 감시토록 하였다. 진동·음향계도 설치하여 핵연료와 구조물의 구조적 안전성을 감시하게 하였다. 電算설비는 1986년 12월 1일에 완성되었다.

밀봉차폐체와 관련한 장기적인 연구과제로는 손상된 원자로내의 핵연료분포상태 및 조건자료를 더욱 정확하게 파악하는 연구, 핵연료에 포함된 물질들의 중성자 물리적특성의 연구, 핵연료 잔존물과의 계속되는 상호작용하에서의 감마선 조사가 구조물의 특성에 미치는 영향연구 등이 포함된다.