

기획 특집 IV

원자력연구 남북교류 전망

林 瑤 圭

〈한국원자력안전기술원 원장〉



시설낙후 사고대책수립 시급 핵투명성 보장 교류협력해야

북한 핵사고때 전국 오염

1986년 4월에 발생한 구 소련의 체르노빌 원자력발전소의 사고는 막대한 양의 방사성물질이 외부 환경으로 방출되어 그 영향이 수천km 떨어진 우리나라에서도 관측될 정도로 광범위하였으며, 대규모의 원자력시설 사고는 그 한나라만의 문제가 아니라 인접국 전체의 문제가 된다는 것을 우리에게 새삼 일깨워 주었다.

따라서 북한에서 운영중에 있거나 건설중인 원자력시설에서 대규모의 사고가 발생하여 다량의 방사성물질이 외부 환경으로 방출된다면 우리나라도 그 영향권을 벗어날 수 없음을 짐작케 한다. 특히 북한의 원자력 시설들은 낙후한 설계로 인해 그 안전성에 의구심이 있을 뿐만 아니라 핵무기 개발의 의혹까지 겹쳐, 북한의 원자력 관련 기술수준과 그 안전성을 진단하여 대규모 원자력시설의 사고에 대한 대비책을 수립하는 것은 중요하고도 시급한 문제이다.

그러나 현재까지 알려진 북한 원자력시설에 관한 자료는 태부족인 상

태이고 알려진 몇몇의 자료도 극히 불확실하다. 그러므로 북한 원자력시설의 안전성이나 그에 대한 올바른 평가를 기대한다는 것은 애초에 무리한 일이라고 할 수 있다. 다만 이때까지 알려진 단편적인 정보와 구 소련권의 자료 등을 바탕으로 대강을 유추하여 보는 것도 의미가 있다 하겠다.

우리나라의 원자력산업은 70년대 초 고리 1호기의 건설로부터 본격적으로 시작된 후 20여년간 눈부신 발전을 거듭하여 93년 현재 총 전력수요의 50% 이상을 원자력이 담당하고 있을 뿐만 아니라 그간의 축적된 기술은 원자력 선진국과 견주어 손색이 없을 정도로 발전하여 왔다. 이러한 원자력 관련 선진기술을 북한에 제공하여 원자력의 평화적 이용을 돕고 이를 계기로 폐쇄적인 북한 사회를 개방의 세계로 유도하여 남북 공영의 발판을 마련하는 단초가 될 수 있을 것이다.

아울러 북한 원자력시설의 관련자료, 주변 환경특성자료 등을 제공받아 안전성 및 그 영향을 평가하여

유사시를 대비한 대책을 수립함으로써 상호 주민의 건강보호와 국토환경보전에 이바지하는 것도 필요하다. 그러나 이러한 남북의 기술교류는 북한의 폐쇄성과 핵무기 개발의 의혹이 가시지 않는 한 지난한 일이 아닐 수 없다.

85년말 핵금지조약 가입

〈북한의 원자력산업〉 북한의 원자력 개발 실태는 오랫동안 베일에 싸여 핵무기 개발에 대한 여러 가지 추측이 난무하는 가운데 그 전모를 파악하기란 매우 어렵다. 북한은 85년 12월 핵확산금지조약(NPT)에 가입하고도 IAEA와 18개월 이내 시행하여야 할 보장조치 협정 체결을 미루어오다가 국제적인 압력에 굴복하여 92년 1월에 이 협정에 서명하고 동년 5월4일에 IAEA에 16개 원자력시설을 보장조치 대상시설로 신고한 바 있다.

북한은 원자력분야의 연구 및 원자력발전 추진 이유를 현재의 전력자원이 수력과 화력 각 50%로서 석유자원이 없고 석탄자원은 충분하나

석탄은 2차제품으로 이용하고자 하며 전력수요가 급격히 증가하고 있기 때문이라고 설명하고 있다. 그러나 북한의 원자력 개발을 주관하는 원자력부는 60년대 중반 중국의 핵 실험에 요원을 파견하여 핵무기 정보를 입수하는 한편 러시아와 체코 프라하대학에 유학생을 보내거나 IAEA 훈련과정을 통하여 원자력분야의 인력양성을 꾸준히 해온 것으로 알려져 단순히 원자력의 평화적 이용에만 관심이 있는 것으로 보이지는 않는다.

60년대 핵요원 중국파견

특히 미신고 시설에 대한 의구심, 핵사찰의 거부반응, 핵무기 원료인 플루토늄의 추출 흔적 등을 볼 때 핵무기 개발에 박차를 가하고 있지 않나 하는 의혹은 지워지지 않고 있으며, 이미 핵무기 2개 정도를 만들 수 있는 플루토늄을 보유하고 있으며 북한이 핵무기를 보유하는 것은 시간문제라는 등의 외신보도가 잇따르고 핵탄두를 장착할 수 있는 사정거리 9백~1천km의 장거리 미사일 노동1호가 시험발사에 성공하였다는 보도도 있었다. 한반도에서의 핵무기 존재는 인접한 우리나라나 일본 뿐만 아니라 아시아 전체, 나아가서 세계의 안전보장상 중대한 문제라 하지 않을 수 없다.

북한은 56년 구 소련과 「원자력연구협력 협정」을 체결한 후 김일성대학과 김책공과대학에 원자력공학과를 설치하는 한편 평양에서 북쪽으로 약90km 떨어진 청천강 지류 구룡강 주변에 있는 영변에 원자력연구센터를 건립함으로써 원자력분야의 연구를 본격적으로 시작한 것으로 알려지고 있다.

59년에는 소련 및 중국과 각각 「원자력의 평화적 이용에 관한 의정서」에 조인하고 65년에는 소련에서 도입한 수조형 IRT-2000 연구로가 초임계에 들어갔다 60년대부터는 우리나라의 탐사, 광석채굴, 제련, 핵연료의 성형·가공, 발전소의 건설 등 일련의 원자력 공업개발을 소위 「주체사상」에 따라 자주노선을 지향하고 있고 원자력산업의 역사가 오래이나 본격적인 상업 동력로는 현재 건설 중인 태천 원자력발전소가 처음이다.

현재 북한이 보유하고 있는 원자력시설은 원자력분야에 관한 종합적인 연구센터인 영변 원자력공업기지를 위시하여 다음의 「표1」과 같은 시설들을 보유하고 있는 것으로 알려지고

있다. 그밖에도 영변에는 IAEA가 사찰을 계속 중용하고 있지만 응하지 않고 있는 미신고 시설이 2군데 있는 것으로 보도되고 있으며, 그중 한 시설은 핵폭발 시험장이 아닌가 하는 의구심이 있다.

〈북한 원자력시설의 안전성〉 북한에서 현재 운전되고 있거나 건설 중인 원자력시설은 각종 실험시설 및 연구용 원자로 1기, 동력으로 4기가 있다. 이중 여러 가지 실험시설 및 영변에 있는 구 소련의 IRT-2000형의 연구로는 규모나 형태면으로 볼 때 아무리 심각한 사고가 나더라도 우리나라에까지 영향을 미치지 않을 것으로 판단되나 영변의 시험동력으로, 태천의 원자력발전소 등의 경우는 원자로형이나 그 규모면에서 볼

북한의 원자력관계 시설현황

시 설	위 치	규 모	현 황
영변 시험발전소1호기	영변	5 MWe	1966년부터 운전중
영변 시험발전소2호기	영변	50 MWe	1995년 운전개시 예정
연구용 원자로	영변	8 MWth	1965년 8월 초임계
방사화학 실험실	영변	6층높이,길이1백90m	건설중 (1996년 운전예정)
핵연료 성형가공공장	영변	2백~3백톤/년	1987년 운전개시
핵연료 저장시설	영변		사용중
전자공학 연구소	영변		순상핵연료 검출기 개발
방사화학 연구소	영변		1966년 준공
동위원소 가공 연구소	영변		1975년 준공
상용 원자력발전소	태천	2백 MWe	건설중 (1996년 준공예정)
상용 원자력발전소	신포(?)	6백35 MWe 37기(?)	계획중
김일성종합대학교	평양	5 MWth	미임계 실험 수행
평양 원자력연구소	평양	가속기	1992년 조업
우라늄 정련공장	박천		1982년 조업(폐쇄예정)
우라늄 정련공장	평산		1990년 조업
우라늄 광산	순천박천	조업중	
우라늄 광산	신포		개발중
방사선 방호 연구소	평양/원산		1978년 설치

때 대형사고시 우리나라도 충분히 그 영향권에 들 것으로 보인다. 따라서 여기서는 북한에서 가동중이거나 건설중인 원자로형의 안전성에 대하여 중점적으로 기술하고자 한다.

〈북한의 원자로형 선정 배경〉 북한의 원자로에 대한 구체적인 자료는 부족하나 산발적인 자료를 근거로 보면 현재 운전중이거나 건설중인 원자로의 공통점은 천연우라늄을 사용하는 흑연감속, 탄산가스 냉각 방식을 채택하고 있다는 점이다. 이로 미루어볼 때 북한의 원자로는 50년대 영국에서 건설된 초기의 흑연감속, 기체냉각형 원자로인 Calder Hall 원자로와 대동소이한 것으로 판단된다.

原子力 천연우라늄 사용

북한의 원자력산업이 전력개발을 표방하고 있고 또 그러한 방향의 계획이 수립·추진되고 있지만, 그 이면에는 핵무기 제조의 야심이 있었을 것이라는 점은 그들이 방사화학 실험실이라고 주장하는 시설이 객관적으로 볼 때 재처리시설로 추정되고 있고 IAEA의 핵사찰을 계속 거부하고 있는 영변의 미신고시설 2곳의 존재로도 짐작이 간다. 선진 열강의 핵확산 방지의 의지가 확고해진 이후에는 북한 원자력개발의 어떤 목표를 달성하기 위하여는 자력에 의한 독자적인 핵주기 기술의 확보가 전제되어야 했으며 독자적인 기술의 개발은 이른바 그들의 「주체사상」과도 부합될 뿐만 아니라 통제되고 폐쇄된 북한사회에서 추진할 수 있는 유일한 선택이었을 것으로 보인다. 북한의 독자적인 기술수준과 경제적 여건으로 추진할 수 있는

범위는 우라늄 농축 기술의 어려움과 농축우라늄의 입수가 곤란한 점에서 농축의 부담이 없고 충분히 자급이 가능하리라 예상되는 천연우라늄을 연료로 사용해야 했으며, 천연우라늄을 연료로 사용함에 따라 감속재로서는 중수 또는 흑연으로 압축되었으나 중수보다 제조가 용이하고 자체기술을 보유하고 있는 흑연으로 선택되었을 것이다. 그 결과 금속우라늄 연료봉을 사용하는 영국의 Calder Hall형 원자로로 개발대상이 결정될 수밖에 없다. Calder Hall형 원자로를 영국이 이미 50년대에의 기술로 건조했던 것인 만큼 북한의 기술 수준도 여기에는 충분했으리라 짐작된다. 보다 중요한 점은 천연우라늄을 연료로 사용함으로써 Pu의 생성량이 많아지고, 게다가 금속우라늄 연료의 특성상 고연소가 어려우므로 (금속우라늄 연료의 용융점 : 6백45°C) 자연히 핵무기 제조에 용이한 239Pu의 비율이 높은 Pu 원료를 확보하게 된다는 것이다.

〈원자로의 안전성〉 북한 원자로형의 안전성을 정확히 평가한다는 것은 전술한 바와 같이 매우 어렵지만 현재 북한이 보유중인 원자로의 형태라 추정되는 영국의 흑연감속, 기체냉각 원자로(Gas-cooled Reactor : Magnox Reactor)에 대하여 살펴봄으로써 대강을 짐작할 수 있을 것이다.

최초의 기체냉각 흑연감속 원자로인 Pu 추출을 위한 군사용으로 영국에서 개발되어 56년부터 71년 사이에 영국에서 총 11기가 건설되었다. 핵연료로는 천연우라늄의 금속합금이 사용되며 한 노심분으로 약 1백50톤의 연료가 필요하다. 연료의 교체는 정상 출력의 상태에서 연료

교환기에 의해 이루어지며(on-load refueling) 매주 약 2톤씩 교체된다. 감속재는 2천톤의 흑연이 사용되고 흑연블록의 형태로 되어 있으며, 이 흑연블록에 나 있는 수천개의 채널에 연료와 보론 제어봉이 들어 있다. 냉각재로서는 이산화탄소를 사용하며 약 2백50°C로 가열된다. 노심은 75mm 두께의 강철 압력용기에 들어 있으며 다시 두께 2m이상의 콘크리트 차폐체가 있다. Calder Hall 원자로나 기존 북한의 원자로형과 태천에 건설중인 2백Mwe급의 원자로도 이러한 형태에 속한다. 이러한 초기의 기체냉각 원자로는 금속우라늄을 사용함으로써 그 융점이 낮아 증기온도를 제한할 수밖에 없고 이로써 효율이 떨어지게 되며, 천연우라늄을 사용하기 때문에 연소도가 낮아 출력이 낮았다. 이를 개선하고 안전성을 향상시킨 원자로형이 개량형 기체냉각 원자로(Advanced Gas-cooled Reactors: AGRs)이다.

제어봉 중력낙하 방식

기체냉각 원자로형은 낮은 출력밀도 및 열용량이 큰 대량의 흑연으로 인하여 사고시 온도가 상대적으로 천천히 증가하고, 냉각재로 기체를 사용함으로써 냉각재로 물을 사용하는 원자로에서 문제가 되는 이상류 현상이 없으며, 안전 지원계통이 상대적으로 간단하고 비상시 제어봉이 중력에 의한 자유낙하로 삽입됨으로써 원자로 비상정지시 외부 전원이 필요치 않다는 것 등 안전성 측면에서 여러 가지 장점이 있으나 다음과 같은 취약점들이 지적되고 있다. 여기서 지적하는 취약점들은 북한의 원자로형인 Calder Hall형 원자로와

같은 초기의 기체냉각 원자로형에 대한 것이다.

①천연우라늄, 흑연감속 원자로의 연료로 불가피하게 사용되는 금속우라늄은 열전달이 우수하다는 점을 제외하고는 물성이 핵연료로서는 적합하지 않다. 열팽창이 크고 등방성이 아니며 용융점이 비교적 낮을 뿐만 아니라 중성자 피폭으로 부푼현상(swelling)이 심하게 발생한다. 어떤 원인으로 부분적으로 과열되어 용융점 부근에 이르면 연료금속의 상이 바뀌면서 팽창하게 된다. 이러한 연료의 변형은 연료봉의 휨 또는 파손을 야기하고 2차적인 손상의 파급을 초래한다. 주조과정에서 결정의 크기가 굵어지면 방사선 피폭으로 인한 변형이 더욱 심해진다.

②연료가 산소와 접촉하면 심한 산화반응이 일어나므로 냉각재로는 이산화탄소나 헬륨을 사용해야 하며 운전중에도 산소의 유입방지를 위한 특별한 관리가 필요하다.

③감속재로 쓰이는 흑연은 중성자 감속능력이 매우 낮아 감속재 대 연료의 비율이 커야 하므로 노심의 크기가 커지는 결함이 있다. 노심이 커지면 두꺼운 압력용기를 설계해야 하고 냉각재의 압력의 크게 제한된다.

또한 노심이 커지면 건설비가 증가하며 이는 기체냉각으로 인한 낮은 열효율과 함께 발전단가를 높이는 원인이 된다.

④고온에서는 흑연과 탄산가스가 반응하여 흑연 표면이 침식되고 열교환기 내벽에 흑연이 석출, 부착됨으로써 열전달 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 흑연과 냉각재 사이에 피복관을 설치하거나 흑연 표면에 적절한 피막을 입히는 등의 보완책

이 필요하며 냉각재 중의 일산화탄소 산화계통의 설계를 요구한다.

열방출로 화재위험 커

⑤핵반응도 측면에서 흑연은 초기에는 부의 온도계수(negative temperature coefficient)를 가지나 연소도가 4백40 MWD/T 이상이 되면 정의 온도계수(positive temperature coefficient)를 가져 제어의 방해요인이 될 수 있다.

⑥흑연은 자발적인 열처리 효과가 없는 3백50℃이하의 낮은 온도에서는 방사선 상해에 의해 격자에 에너지를 축적하는 Wigner 효과가 있어 운전이 잘못되거나 잠재에너지 판단에 착오가 있을 때에는 불의의 열방출로 흑연블록의 파손 내지는 화재의 우려가 있다. 57년 발생한 영국 Windscale pile의 화재도 이 현상과 관련한 열처리 절차의 잘못에서 기인했다.

⑦흑연에 화재가 발생하면 진화가 어려운 취약점이 있다. 이산화탄소를 주입하여 진화하려는 노력이 Windscale의 사고시 실패한 적이 있으며 물의 주입은 수소가스 생성 및 반응도 증가의 우려가 있다.

⑧흑연화재를 가정하면 알미늄 또는 마그네슘(magnox) 핵연료 피복재의 취약함과 금속우라늄의 낮은 용해 온도로 인해 핵연료 내부 핵분열 생성물의 방사능이 용이하게 방출된다.

원자로 환경에 물이 없어 체르노빌 원전사고와 같은 증기폭발의 우려는 없으나 연료로부터 방출될 방사능을 효과적으로 제거할 수 없는 결점이 있다.

〈북한의 기술 및 환경의 특수성〉 현재 북한이 가지고 있는 구체적인

기술수준이 대외적으로 알려진 바가 없으므로 IAEA 사찰단의 보고 및 단편적인 정보로 추측해 볼 수밖에 없지만 태천의 원자력발전소 계획을 중단없이 추진하고 있는 것으로 보아 영변 1호기의 운전경험을 통하여 어느 정도의 기술이 축적된 것으로 보인다.

그러나 북한사회의 폐쇄성, 비밀리에 추진되었을 핵무기 개발, 공산권의 일반적인 속성인 비경쟁성 등으로 미루어 보아 안전성의 관점에서 서구사회의 원전에 비하여 크게 미흡할 것으로 추측된다. 따라서 북한의 원자로에 대한 안전성은 앞서 기술한 원자로형에 따른 취약점 외에도 기술수준이나 북한 사회환경의 측면에서도 다음과 같은 취약점이 노출된다.

①금속, 기계공업을 포함한 중화학 기반은 상당수준에 이를 것으로 추측되나 품질에 대한 경쟁의 수요가 없어 공정이 조악할 것으로 예상되며 품질관리 또는 품질보증체제의 기초가 없어 원자로 시공 및 부품제작에 결함 발생 가능성이 크다. IAEA 사찰단도 사용후핵연료 저장조의 스테인리스 라이너가 부식되어 있고 용접부위의 두께가 고르지 못한 점을 지적하고 있다.

오래 된 핵연료봉기술

②금속핵연료봉 제작기술은 오래된 것이기는 하지만 구체적인 기술이 공개된 것은 아니므로 북한이 그 노하우를 습득했는지에 의문이 있다. 시험발전소인 영변 1호기 운전 개시후 다수의 핵연료봉의 손상받았다고 보고되고 있는 것으로 보아도 금속핵연료봉을 제조할 충분한 기술이 있는지 의문이 간다.

③사고방지나 그 영향의 완화를 위한 공학적 안전설비에 대한 정보는 매우 불충분하여 판단하기는 어려우나, IAEA 사찰단의 총평이 말하듯이 서방의 안전수준에 비추어 보아서는 크게 미흡할 것으로 예상된다.

④핵무기 개발을 위해 플루토늄 생산이 이면적인 제1의 목표였다면 프로젝트의 추진에 있어서 소위 「속도전」 방식이었을 것이고 이에 따라 설계 및 시공상 허점 발생의 가능성이 커진다. 이 경우 핵연료는 저연소를 전제로 하기 때문에 방사선이나 중성자의 조사(照射)로 인한 취화에 큰 비중을 두지 않았을 우려도 있다.

이 특수한 프로젝트의 추진에 있어서는 속도전에 장애가 된다면 안전성의 문제가 표면화되지 않았을 가능성을 배제할 수 없다.

⑤핵무기 개발과 연계된 사업은 당연히 극비리에 추진되었을 것이므로 시설의 설계, 건설, 운전이 이르기까지 외국의 전문인력을 활용할 수 없었을 것이다.

이는 지금까지 영변 원자력기지에 대한 인적 정보가 차단되어 있었고 아직까지도 신고되지 않은 영변의 2개 시설에 대하여 비밀에 부치고 있는 점으로 입증되며 안전성의 관점에서는 또 다른 취약점이 된다.

〈남북한 기술교류 전망〉 이상에서 살펴본 바와 같이 북한의 원자력 관련 기술중 기초과학분야는 어느 정도 토대가 마련된 것으로 보이나 상업적 응용기술의 낙후성과 안전성에 의 많은 취약점으로 인하여 남북간의 기술정보의 교환 및 협력이 시급하다 하겠다.

그러나 지금처럼 북한이 계속 IAEA의 사찰을 거부하고 핵무기

제조의 의구심을 떨쳐버릴 수 없게 한다면 모든 분야에서의 남북교류는 사실상 불가능할 것이다. 93년 11월 IAEA 핵사찰의 전면수용을 촉구하는 유엔 총회의 대북한 결의안이 북한의 유일한 반대를 제외하고는 거의 만장일치의 가결로(기권 9국, 찬성 1백40국)북한이 핵무기 제조를 계속 고집한다면 국제사회에서 영원히 고립되고 말 것이란 사실을 국제적으로 공식확인시켜 주었다. 동서냉전의 시대가 지나가고 모든 국가가 자국의 이익을 위한 경제발전예 중점을 두고 있는 현 국제정세에서 핵무장 의혹을 계속 품김으로써 국제적인 고립을 선택하여 북한이 얻는 이익이 무엇인가?

이제 유엔의 결의로 핵무장 카드가 더 이상 유리한 협상카드일 수는 없게 되었다. IAEA의 신고내용과 핵사찰 결과의 불일치점을 소상히 해명하여 핵무기 개발의 의혹을 말끔히 씻고서야만 국제사회의 땃땃한 일원이 될 수 있다.

또한 현재 북한이 처한 경제적 어려움을 감안할 때 국제적인 경제제재 조치를 받게 된다면 북한의 경제는 그야말로 파탄지경에 이를 것이다. 따라서 국제정세를 보나 경제적

인 측면에서 보나 북한이 다시 남북 대화에 임하고 남북교류의 장에 나서는 것은 시간문제라고 생각된다.

핵무장은 파멸의 길 자초

북한이 미국과의 협상시 경수로에 대한 기술지원을 요청했다는 보도가 있었다.

우리나라에서는 20여년간의 원자력 발전소 건설, 운영경험을 통하여 많은 경수로 관련 기술을 축적하고 있으며 중국 등지에 원자력 관련 기술을 수출하는 단계에까지 이르렀다.

북한이 핵무장을 포기하고 남북교류에 나선다면 남한은 이러한 원자력발전소의 건설, 설계, 운영기술, 안전규제에 관한 기술을 제공함으로써 북한의 경제발전뿐만 아니라 원자력 시설의 안전성 향상에 크게 기여하여 한반도에서 체르노빌 원전사고같은 끔찍한 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다.

북한은 고립과 파멸의 길인 핵무장에 대한 유혹을 떨쳐버리고 남북한의 기술교류를 통한 원자력의 평화적 이용으로 부존 에너지 자원이 빈곤한 통일 조국의 미래에 대비해야 할 것이다.

★Wigner 효과 : 중성자 등의 방사선 조사(照射) 결과 고체의 원자배열이 흩어짐으로써 방사선 에너지의 일부가 격자간의 내부에너지로 축적되는 현상이며, 1942년 EP.Wigner에 의해 예견되었다 하여 붙여진 이름이다. 흑연에 방사선을 조사할 경우 탄소원자가 중성자에 의해서 결정면과 결정면 사이에서 쫓겨 나오게 되고 흑연 속에 에너지가 축적된다. 흑연을 감속재로 하는 원자로에서는 Wigner 효과에 의해서 흑연 속에 에너지

가 축적되어 흑연 감속재에 결함이 생길 수 있다. 이 에너지는 보통 3백~4백 ℃로 가열하면 자동적으로 방출된다.

따라서 흑연감속 원자로에서는 일정 기간마다 운전을 정지하고 가열조작을 하여 Wigner 에너지를 방출할 필요가 있다. Wigner 효과에 의해 에너지가 원자로 내에 축적되면 어떤 원인으로 이것이 일시에 방출되어 연료의 용융, 흑연 감속재의 화재 등 심각한 사고를 일으킬 수 있다