

북한의 핵무기 개발능력 평가와 핵시설 철거와 해체

강기성 | (사)전력경제연구회 회장

1. 북한의 플루토늄 핵개발

북한이 플루토늄을 원재료로 하는 핵개발과 관련하여 북한이 플루토늄을 손에 넣을 수 있는 경로는 대략 다음의 3가지로 생각해 볼 수 있다.

첫째, 북한이 주장하는 전기출력 5MWe의 평북 영변 흑연감속 원자로에 천연우라늄(0.7%)을 장전하여 핵분열 반응을 일으켜 폐연료봉을 만들고 그 속에 들어 있는 플루토늄을 재처리하는 것이다.

여기에서 말하는 흑연감속 원자로와 재처리 건물(북한은 방사화학실험실이라고 주장)은 1994년 미-북 제네바 합의에 의해 동결된 바 있다.

둘째, 1965년 러시아에서 공급된 평북 영변의 IRT-2000 연구용 원자로다.

평안북도 분강지구에 있는 IRT-2000 연구로 및 임계시설은 그 규모가 열출력 8MWth로 1973년 까지는 농축도 10%의 핵연료가 소련으로부터 제공되었으나 1974년 북한이 원자로를 개량하여 농축도 80%의 핵연료 사용에 성공하였다.

북한의 여기에서 생산되는 폐연료봉을 영변의 동위 원소 생산 가공연구소(Isotope Processing Facility)라고 불리는 시설에서 재처리하여 플루토늄을 회수한 것으로 알려져 있다.

여기에서 유의할 점은 이 IRT-2000 원자로와 동위

원소 생산가공연구소는 1994년 미-북합의서 대상에서 제외되어 있다는 사실이다.

셋째, 국제 암시장에서 밀거래로 플루토늄 자체 또는 플루토늄 핵탄두를 입수하는 것이다.

2. 북한의 플루토늄 핵개발 평가

플루토늄은 그 특성상 서서히 성능이 저하되므로 정기적으로 재생하여 불순물을 제거하여야만 당초 의도한 폭발력을 계속 가질 수 있다.

그러나 미국과 구 소련의 핵군축 합의(SALT II) 등으로 90년대 이후에는 플루토늄 핵탄두를 정기적으로 재생하지 않은 것으로 알려져 있다.

따라서 설령 북한이 플루토늄 핵탄두를 입후해 있다 하더라도 현재 기준으로 최소한 10여년이 경과하였으므로 제대로 된 폭발력을 가질지는 의문이다.

마찬가지로 영변의 5MWe 흑연감속로나 IRT-2000 연구용 원자로에서 일정량의 플루토늄을 1990년대 초반 이전에 재처리하여 확보하였다고 하더라도 정기적인 재생과정을 거치지 않았다면 현재로서는 무용지물이 될 소지가 높다.

북한 주요 핵시설 현황

번호	시설명	규모	소재지	비고
1	IRT-2000	• 열출력 : 8MWt • 연료 : 80% 농축 우라늄	평북 영변 ('65년~)	운영중
2	미임계시설	(※ 교육용)	평양	운영중
3	* 핵연료봉 제조·저장시설 (핵연료 성형 가공공장)	• 5MWe, 50MWe 원자로 연료 제조용 (방사화학연구소로 통하는 지하통로와 지하실(6개)보유)	평북 영변	'87년 운전개시
4	* 5MWe 흑연로	• 전기출력 5MWe, 열출력 25MWd • 연료 : 50tonU(8,010개)/core, 천연우라늄, Mg합금피복관 • Pu생산능력 : 약 7kg/년	평북 영변	'86년 운전개시
5	* 50MWe 흑연로	• 전기출력 50MWe, 열출력 200MWth • 연료 : 135tonU(21,600개)/core • Pu생산능력 : 약 50kg/년	평북 영변	'94년 건설중단
6	* 200MWe 흑연로	• 전기출력 200MWe, 열출력 800MWth • 연료 : 310tonU	평북 대천	'94년 건설중단
7	* 방사화학실험실 (재처리시설)	• Purex법을 이용한 재처리 시설 • 길이 (180m) 190m, 6층 건물 • 추정재처리능력: (완공시) 200ton/년	평북 영변	94년 건설중단 (일부시설 가동가능)
8	평산 우라늄광산		황해도 평산	운영중
9	순천 우라늄광산		평남 순천	운영중
10	평산 우라늄 정련시설	• 290ton-U/년	황해도 평산	운영중
11	박천 우라늄 정련시설	• 210ton-U/년	박천	'92년 가동중지
12	동위원소가공시설		평북 영변	
13	폐기물시설		평북 영변	

그러나 미-북 합의에 포함되지 않은 동위원소생산 연구소가 플루토늄 재생에 사용되었을 가능성을 배제할 수 없다.

3. 북한의 고농축 우라늄 핵개발

2003년 9월 15일 존 볼턴(Bolton) 미 국무부 차관은 “우리는 북한이 핵무기를 만들 수 있는 농축 우라늄을 생산하고 있다는 확고한 증거를 갖게 되었다” 면

서 “우리는 영변에서 재처리하는 플루토늄보다 농축 우라늄 개발에 더 큰 우려를 갖고 있다”고 말했다

북한이 고농축 우라늄을 원재료로 하는 핵개발과 관련하여 북한이 고농축 우라늄을 손에 넣을 수 있는 경로는 다음의 2가지로 볼 수 있다.

첫째, 북한이 우라늄 농축 시설을 비밀장소에 건설하여 천연 우라늄을 초고속 원심분리 등의 기술을 이용하여 고농도로 우라늄을 농축하는 것인데, 현재 우라늄 농축 시설의 위치나 시설의 실제 여부에 대해서는 잘 알려진 바가 없다.

둘째, 국제 암시장에서 밀거래로 고농축 우라늄 자체 또는 우라늄 핵탄두를 입수하는 것이다.

4. 북한의 고농축 우라늄 핵개발 평가

고농축우라늄은 시간이 가더라도 성능이 저하되지 않으므로 우라늄 핵탄두를 북한이 입수하였다면 실전에 사용가능하다.

따라서 이러한 핵탄두를 북한이 입수한 것이 사실이라면 이는 매우 심각한 상황이 된다.

* 원심분리법에 의한 우라늄 농축

- 북한이 보유할 수 있는 원심분리기는 (파키스탄, 중국 등의 예로 볼때) 구형 원심분리기일 가능성이 높으며, 1대의 능력은 2~3SW/yr 로 추정
- HEU 핵탄 1개 제조에 5,000SWU가 필요한 만큼 최소 1,000개 이상의 원심분리기가 필요
- 원심분리기 1,000개로 HEU 핵탄 1개 제조에 필요한 우라늄을 분리하는데 소요되는 시간은 약 3년 정도

5. IRT-2000 연구용 원자로와 5MWe 흑연 감속로 비교

두 원자로 모두 실험로 또는 연구용 수준이다.

흑연감속로의 전기출력 5MW는 열출력으로 환산하면 대략 20~25MW정도다. IRT-2000의 열출력은 8MW 이므로 사실상 두 개의 원자로가 모두 실험로 또는 연구로 규모이다.

대북 경수로 1기의 전기출력이 1,000MW인 것과 비교해 보면 전기출력 5MW의 발전용 원자로라고 하는 북한의 주장은 억지에 불과하며, 생산한 전기를 보낼 송전선도 없는 것으로 보인다.

아주 가끔 (출력)운전하여도 상당량의 플루토늄이 만들어진다.

IRT2000 원자로에 장전하는 연료의 농축도가 80%나 되어 흑연감속로에 비하여 플루토늄 생산수율도 높다. 그런 이유로 미국 로스알라모스 연구소의 Jared S. Dreicer는 하루 2시간, 일주일에 3일씩, 1년에 20주간만 운전하여 1년 365일중 5일(24시간 X 5일=120시간 =2시간X3일X20주)만 전출력 운전한다고 아주 낮게 잡아도 약 4Kg 정도의 플루토늄(*매년 생산량이 아니고 다년간 누적량 개념)을 얻을 수 있다고 보고 있다.

'Solving the North Korean Nuclear Puzzle'의 저자인 D. Albright는 흑연감속원자로의 경우 플루토늄 회수 가능량을 6.9 ~ 10.7Kg 정도(*매년 생산량이 아니고 누적량 개념)로 추정하고 있으며, 상당히 설득력있는 수치로 평가되고 있다.

우라늄 농축도 80%는 핵무기급에 해당(근접)한다. 이것 자체만으로도 국제적인 안전사찰의 대상이 된다.

북한이 IRT-2000(*연료의 우라늄농축도 80%)에 대해서 1970년대 말부터 IAEA의 안전사찰을 받기로 한 것도 바로 이런 이유에서다.

*참고로 대덕연구단지에 있는 연구용 원자로 하나로의 경우 출력이 30MW, 연료의 우라늄 농축도는 20%

출력운전중에만 국제적인 감시가 필요한 것은 아니다. 핵물질이나 폐연료봉의 인출은 축력운전중이 아니라 일단 원자로를 정지시킨 이후에 통상적으로 이루어 지므로 이 때가 더욱 감시의 대상이 된다.

6. 폐연료봉과 플루토늄 회수

일반적인 재처리 공정을 보면 폐연료봉을 흑연가속원자로 인근에 있는 방사화학실험실(재처리 시설)로

옮겨 폐연료봉을 하나하나 절단하여 질산용액으로 우선 녹여 연료봉 피복재를 걷어 낸다.

그리고 TBT(Tri-n-butyl Phosphate, 삼인산 부틸 포스페이트)라고 하는 특수 화학물질을 사용하여 우라늄으로부터 플루토늄을 구분하여 회수한다.

폐연료봉을 절단하는 과정에서 폐연료봉내에 들어 있던 핵분열 생성물인 크립톤(Kr) 가스와 지노(Xe) 가스가 분출되고, 굴뚝을 통해 대기중으로 확산된다.

그리고 이러한 재처리 과정은 상당히 고온에서 이루어져야 하므로 재처리 시설 인근에는 고온 열공급 시설이 필수적이다.

폐연료봉은 방사능을 다량 방출하므로 원자로 부속 건물에서 재처리 시설로 옮기는 과정은 매우 복잡하고 신중할 수밖에 없다. 방사능을 차폐하기 위해 두꺼운 납 또는 철을 차폐체로 사용하므로 폐연료봉이 들어 있는 운반용기는 매우 무거운 수밖에 없고 한 번에 옮길 수 있는 양도 제한될 수밖에 없다.

폐연료봉을 전량 재처리 시설로 옮기려면 폐연료봉이 들어있는 용기를 운반차량에 상차하고 운반하여 재처리 건물에서 하차하는 과정을 수없이 반복하여야 한다.

따라서 운반과정은 첩보위성 등에 그대로 노출될 수밖에 없다.

또한 재처리를 위해서는 재처리 공장에 고온 열공급을 해야 하는데 재처리 공장 인근에 있는 열공급 시설이 정상 가동되어야 한다. 이 시설에서 내 뿜는 열은 적외선 감시 장치를 통해 쉽게 감지할 수 있다.

또한 폐연료봉을 절단하는 과정에서 방출되는 크립톤(Kr) 가스의 상세한 성분을 고공에서 채취하여 분석해 보면 실제 재처리가 진행중인지를 알 수 있다.

이는 재처리 공정에 관한 기본적인 상식이다.

7. 북한의 핵무기 실전 사용 가능성

핵무기는 다음의 3가지 조건이 갖춰질 때만 실전에

서의 사용이 가능하다.

첫째, 고농축 우라늄이나 플루토늄과 같은 핵분열 물질을 확보하는 것이다

둘째, 이러한 핵물질을 원하는 시간과 장소에서 임계에 도달하게 하여 핵분열 연쇄반응을 일으키는 기폭 장치 및 기술을 확보하는 것이다.

셋째, 핵폭탄을 목표지점까지 운반하는 운반수단이 확보되어야 한다.

*2차대전 때는 폭격기를 사용하여 운반하였지만 요즘은 미사일이나 원자포 등을 사용하여야만 원하는 위치에 옮겨 놓을 수 있다고 보고 있음

8. 북한 핵시설 철거와 해체

6자회담 재개여부와 관련하여 북한 핵시설을 해체할 경우 과연 어떤 방법으로 처리할 것인지에 관심이 쏠리고 있다.

여기에는 원자로와 연료봉 및 관련시설 등이 포함돼야 하며, ‘완벽하고 검증가능하며 ‘되돌릴 수 없는 해체’ (CVID=Complete, Verifiable, Irreversible Dismantlement)에 이르기까지는 10년 정도가 걸릴 것으로 예상된다.

구체적으로는 그동안의 플루토늄 생산 내력을 확인할 수 있어야 하며, 더 나아가 핵폐기물을 이용해 ‘더러운 폭탄(Dirty Bomb)’을 만들지 못하도록 해야 한다.

환경보전 차원에서도 각종 시설물과 구조물을 완전히 치워버려야 할 것이다.

가장 핵심은 흑연감속로(5MWe)와 방사화학실험실이다.

플루토늄 생산에 결정적인 구실을 할 뿐만 아니라 해체·철거작업에도 많은 비용과 노력이 들 것이다.

5MWe 원자로와 방사화학실험실을 해체·철거하는 방법으로는 대략 3가지를 들 수 있는데 원자력 시설 해체에 일반적으로 활용되는 방법들이다.

첫째, 즉시 해체 철거(DECON)로 시설의 방사능을 자연 수준으로 낮추어 버린다.

둘째, 차폐격리(SAFSTOR)로 방사능이 점점 감소하게끔 시설 전체를 외부와 차단하는 것이다.

셋째, 밀봉보관(ENTOMB)으로 방사능 오염이 많은 부분을 선별적으로 밀봉 하여 방사능이 사라지기를 기다리는 것이다.

어느 방법을 채택하는가는 기술적인 이유 외에도 정치·사회·경제적 요인을 감안하여 결정된다.

흑연감속원자로는 같은 출력의 경수로나 중수로보다 원자로의 부피가 훨씬 크고, 미세한 흑연가루가 전체 설비를 방사능으로 오염시킴에 따라 폐기물도 수십 배나 많다.

흑연이 함유된 폐기물을 처리할 처분장이 없다는 현실적인 문제도 있다. 따라서 경수로에 비하여 해체·철거에 무려 10배 이상의 비용이 소요된다는 것이 국제사회의 경험칙이다.

흑연감속로 해체·철거에는 기본적으로 계획을 입안하여 작업 준비까지 대략 10년이, 차폐격리에 이르기까지는 15~20년이 걸린다.

재처리 공장의 해체·철거는 방사능 오염도가 더 높기 때문에 원자로보다 더욱 원격·자동화되어야 한다. 핵시설 해체와 철거는, 10여년에 걸친 사업이므로 자원조달과 공정계획이 철저해야 하며 원자로에서 꺼낸 연료봉은 북한이 아닌 다른 나라로 옮겨 재처리되어야 한다. 해체·철거 과정에 발생하는 핵폐기물을 관리하려면 원통형 밀봉시설, 건식 저장소, 방사능 오염 제거시설 등을 긴급히 설치해야 하며 금속폐기물·콘크리트·흑연의 오염을 제거할 제염 및 포장소가 필

요하다.

북한의 경우에는 여기에 더하여 핵확산금지조약 준수 등을 별도로 고려해야 하며 해체·철거작업은 가급적 빨리 이뤄져야 한다.

즉 긴급 해체·철거 방식이 바람직한데, CVID 원칙 가운데 검증 가능성과 '되돌릴 수 없음'의 원칙을 효과적으로 만족시킬 수 있기 때문이다.

따라서 준비시간을 줄이고 소비비용을 최소화하며, 사용후 연료봉은 북한 외부로 반출하여 재처리하되 유리화된 고준위 폐기물은 다시 반환하지 않는다는 전제가 요구된다.

원자로는 차폐격리 방식으로 하되 원자로, 제어계통 및 냉각계통 등 핵심 설비는 모두 제거하며, 흑연감속재 문제는 별도로 고려해야 한다.

방사화학시험시설도 차폐격리 하되 용해조, 혼합·침전조와 원격 방사선취급시설 등은 철저히 제거해야 한다.

고준위 액체폐기물은 '더러운 폭탄'의 원료가 될 수 있다는 점도 충분히 감안해야 할 것이다.



• (사)전력경제연구회 회장