

## 제2부 핵무기

- 제1장 / 핵무기 및 원자력 이해
- 제2장 / 핵무기 군축 및 비확산 활동
- 제3장 / 북한 핵문제와 정부의 핵정책

● 제1장 ●

# 핵무기 및 원자력 이해

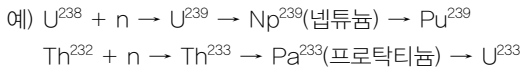


## 핵물질

핵물질은 핵분열성(Fissile) 물질과 핵원료성(Fertile) 물질의 두 가지 종류로 구분된다.

핵분열성 물질은 중성자(neutron)를 흡수하면 핵분열을 일으키는 핵종으로, 핵무기 및 원자로의 핵연료로 사용되며  $U^{233}$ ,  $U^{235}$ ,  $Pu^{239}$ ,  $Pu^{241}$  등이 있다.

핵원료성 물질은 중성자를 흡수하면 핵분열성 물질로 변환될 수 있는 핵종을 말하며,  $U^{238}$ 과  $Th^{232}$ (토리움)가 있다.



가장 중요한 핵물질은 우라늄(Uranium:U)과 플루토늄(Plutonium:Pu)이다. 이중 우라늄은  $U^{235}$ 의 비율에 따라 다음과 같이 분류한다.

- 천연우라늄(Natural Uranium) :  $U^{234}$ 가 0.0055%,  $U^{235}$ 가 0.72%,  $U^{238}$ 이 99.2745%로 자연 상태에 존재하는 우라늄.
- 농축우라늄(Enriched Uranium) :  $U^{235}$ 가 0.72% 이상인 우라늄. 농축도 20%를 기준으로 저농축과 고농축으로 구분.
- 열화(劣化)우라늄(Depleted Uranium) :  $U^{235}$ 가 0.72% 미만인 우라늄. 농축 과정을 거치고 남은 부산물.

플루토늄은 원자로 내에서  $U^{238}$ 이 중성자를 흡수하여 만들어지는 인공물질로 자연에는 존재하지 않는다. Pu은  $Pu^{236}$ ,  $Pu^{238}$ ,  $Pu^{239}$ ,  $Pu^{240}$ ,  $Pu^{241}$ ,  $Pu^{242}$  등 여러 개의 동위원소로 구성된다. 이중 가장 중요한 것은  $Pu^{239}$ 이며, 대체로  $Pu^{239}$ 가 차지하는 비율에 따라 플루토늄의 등급이 결정된다.



구 분	동 위 원 소 (%)				
	Pu <sup>238</sup>	Pu <sup>239</sup>	Pu <sup>240</sup>	Pu <sup>241</sup>	Pu <sup>242</sup>
Super-Grade	-	98.0	2.0	-	-
Weapon-Grade	0.12	93.8	5.8	0.35	0.022
Reactor-Grade	1.3	60.3	24.3	9.1	5.0
MOX-Grade	1.9	40.4	32.1	17.8	7.8
FBR Blanket	-	96.0	4.0	-	-

Super-grade 및 Weapon-grade의 플루토늄을 핵무기 제조에 사용한다. 물론 Reactor-grade 이하의 플루토늄도 핵무기 제조에 사용될 수 있으나 Weapon-grade 플루토늄보다 비효율적이다.

플루토늄 순도와 생성량은 원자로 내에서의 핵연료 연소도에 따라 결정된다.

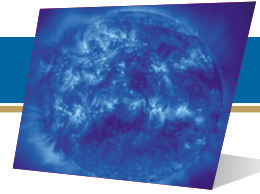
연소도가 낮으면(적게 태우면) 플루토늄 순도가 높으나 플루토늄 생성량은 적다. 반대로 연소도가 높으면(많이 태우면) 플루토늄 순도는 낮지만 플루토늄 생성량은 많아지고 재처리 단계에서는 변하지 않는다. 재처리 단계에서는 이미 생성된 플루토늄을 얼마만큼 효과적으로 손실 없이 추출해 내느냐가 문제다.

핵무기급 플루토늄을 생산하기 위해서는 연소도가 1,000MWt-d 미만이어야 한다. 그래야 고순도의 플루토늄을 생산할 수 있다. 연소도가 1MWt-d이면 약 1g의 플루토늄이 생산된다.

(1MWt-d는 핵연료를 1MWt의 출력으로 하고 하루 동안 연소시킨다는 뜻)

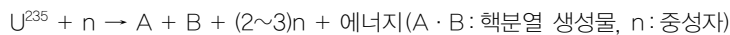


플루토늄 링



## 핵분열

핵분열(Fission)은 핵물질이 중성자를 흡수하여 2개의 서로 다른 원소(핵분열 생성물 A와 B)로 쪼개지면서 2~3개의 중성자와 막대한 에너지를 방출하는 반응이다. 이때 방사선 방출을 동반한다. 중성자를 흡수하지 않고도 저절로 일어나는 자발적 핵분열 반응도 있으나 확률이 적다.



한 번의 분열 때 방출되는 2~3개 중성자의 일부가 다른 핵물질에 흡수되어 핵분열 반응을 일으키게 되는데, 이러한 핵분열 과정이 연속적으로 진행되는 것을 연쇄반응(Chain Reaction)이라 한다.

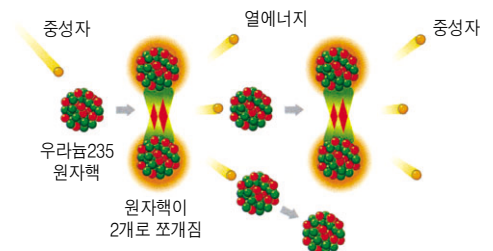
임계(Criticality)는 핵분열 연쇄반응이 진행될 때 한 세대(Generation)에서 일어나는 핵분열 수와 다음 세대에서 일어나는 핵분열 수가 동일하여 일정한 수준의 핵분열이 지속적으로 유지되는 상태를 말한다. 원자력발전은 이 상태를 유지해 운전되고 있다.

준임계(Subcritical)는 연쇄반응에서 다음 세대의 핵분열 수가 이전 세대의 핵분열 수보다 적어져서 점차적으로 핵분열이 줄어드는 상태를 말한다.

초임계(Supercritical)는 다음 세대의 핵분열 수가 이전 세대의 핵분열 수보다 많아 핵분열 수가 점점 증가하는 상태를 말한다. 이때 핵분열 수가 기하급수적으로 증가하여 핵분열 연쇄반응이 폭발적으로 일어나는 것이 핵폭발이다.

임계질량(Critical Mass)은 임계(지속적인 핵분열 연쇄반응) 상태 유지에 필요한 최소한의 핵물질 질량을 말하며, 모양과 주변 환경에 따라 달라진다. 임계질량 달성에 필요한 핵물질의 모양은 완벽한 구형이 이상적이다. 동일한 질량으로도 원통형이나 막대형으로 만들어지면 임계질량에 도달하지 못한다. 완벽한 구형인 경우 99% 순도의  $Pu^{239}$  임계질량과 반사체(Reflector)의 관계는 아래와 같다.

- Pu<sup>239</sup>(99%) 12.5kg without reflector
- 5.4kg with 5.2cm thickness of Be(베릴륨) reflector
- 2.5kg with 32cm thickness of Be reflector



핵분열 연쇄반응 원리





## 핵연료의 특성

원자로용 핵연료는 천연우라늄을 그대로 사용하거나  $U^{235}$ 를 3~5%로 농축시켜 사용하며, 잠수함용 원자로는 90% 이상의 농축우라늄을 사용하기도 한다. 원자로용 핵연료로는 플루토늄을 사용하거나, 우라늄과 플루토늄을 혼합해서 사용할 수도 있다. 원자로에 사용되는 플루토늄은 사용후 핵연료에서 추출한 플루토늄을 재활용한 것이다.

핵연료 형태는 원자로용의 경우 주로 세라믹이나 고체 금속으로 만들어진다. 그중 세라믹 재료로는 이산화우라늄( $UO_2$ ), 탄화우라늄(UC) 또는 MOX( $UO_2$ 과  $PuO_2$ 의 혼합물) 등을 사용한다. 북한 흑연감속로는 천연 금속우라늄을 사용하고 있으나 대부분의 경수로와 중수로에서는  $UO_2$ 을 사용한다.

이들 핵연료는 대개 펠릿(Pellet)이라고 하는 작은 원통형 덩어리로 성형 가공된다. 경수로형과 중수로형 펠릿은 만년필 정도의 굵기에 길이가 1~1.5cm이며, 흑연감속로는 직경이 약 3cm로 경수로나 중수로형보다 크다. 핵무기용 핵연료는 금속우라늄과 금속플루토늄처럼 고체 금속 형태로 만들어진다.

핵연료로 만들어진 금속우라늄이나 금속플루토늄의 성질을 보면 물리·화학적으로 안정성이 약하다. 금속우라늄은 중성자에 조사되면 변형 및 팽창이 잘되고, 섭씨 662도 이상에서는 밀도 등 물리적 상태가 급격히 변한다. 이는 원자로 사용 시의 제한요소가 된다. 금속우라늄은 질산에 쉽게 녹으며 산화반응 등 화학 반응성이 매우 크다. 특히 미세분말 형태의 금속우라늄은 보통 온도에서 자연발화하는 성질이 있다. 금속우라늄의 산화속도는 150도 이하에서는 그렇게 높지 않기 때문에 자연발화성이 없으나, 미세분말 형태로 존재할 때에는 자연발화성이 있다.

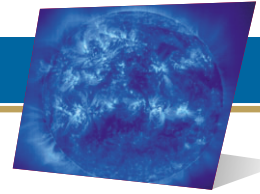
금속플루토늄도 고온에서 변형, 팽창, 상태변화 등 금속우라늄과 비슷한 성질을 지닌다. 특히 고

원자로별 핵연료 특성

구 분	경 수 로	중 수 로
길이	약 4m	약 50cm
단면적 · 지름	단면적 최대 20×20cm	지름 최대 10cm
핵연료 무게	최대 450kgU	최대 20kgU
우라늄 농축도	3~5%	천연우라늄



## 제1장 핵무기 및 원자력 이해



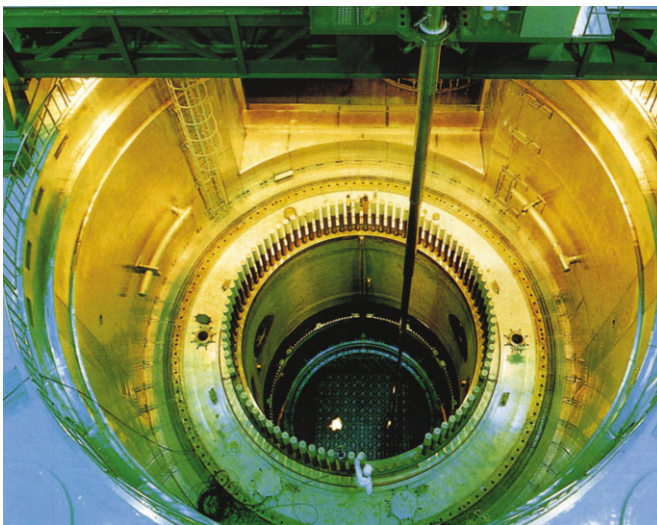
온에서 습기가 있을 때 쉽게 산화반응을 일으키고, 분말 형태의 금속플루토늄은 산소와 접촉할 때 자연발화하는 성질이 있다. 따라서 핵무기용 금속플루토늄이나 우라늄은 보관 시에 공기(산소)와 접촉하지 않도록 니켈 등으로 도장하거나 특수용기에 넣어 둔다. 핵무기급 금속플루토늄은 통상 1%의 깬륨과 알루미늄으로 합금을 만들거나 니켈로 도장하여 3중 포장용기에 밀봉 저장한다.

UO<sub>2</sub> 세라믹은 금속우라늄의 단점을 거의 모두 극복하여 물리·화학적으로 상당히 안정된 상태의 핵연료여서 경수로 및 중수로에 보편적으로 사용된다. 핵연료는 경수로나 중수로의 경우 펠릿 형태로 성형 가공한 후 이 펠릿들을 길고 속이 빈 원통 속에 차곡차곡 재어 넣게 된다. 이렇게 펠릿들을 넣도록 만든 긴 원통이 바로 피복관(被服管:Cladding)이다. 피복관은 핵분열 시 생성되는 방사성 핵종들의 외부 누출을 방지하는 역할도 한다.

피복관의 재료로는 마그네슘 합금(Magnox)과 알루미늄 합금, 그리고 가장 널리 사용되는 지르코늄 합금(Zircalloy)이 있다. 마그네슘 합금 피복재는 물과 접촉할 때 쉽게 부식되는 취약점이 있다. 물 속에 1년 반 내지 2년 이상 저장할 경우 급격히 부식된다.

경수로용 연료봉의 길이는 약 4m다. 이를 수백 개(17×17개)씩 한 다발로 묶은 것을 핵연료 집합체(Fuel Assembly)라 하는데, 원자로에는 집합체 단위로 장입한다. 흑연감속로는 50~60cm 길이의 연료봉을 5~6개 또는 10개씩 일렬로 연결하여 한 채널에 장입한다.

경수로의 핵연료 장입량은 원자로 발전용량 1,000MWe 기준으로 볼 때 3% 농축우라늄 약 75t, 중수로는 천연우라늄 약 150t이다. 흑연감속로는 원자로·피복관의 설계에 따라 차이가 많다. 영국 Calder Hall 흑연감속로(60MWe)의 경우 천연우라늄을 약 127t 장입한다. 북한 흑연감속로는 영변 5MWe 원자로가 50t, 50MWe 원자로가 130t, 태천 200MWe 원자로가 300t으로 추정된다.



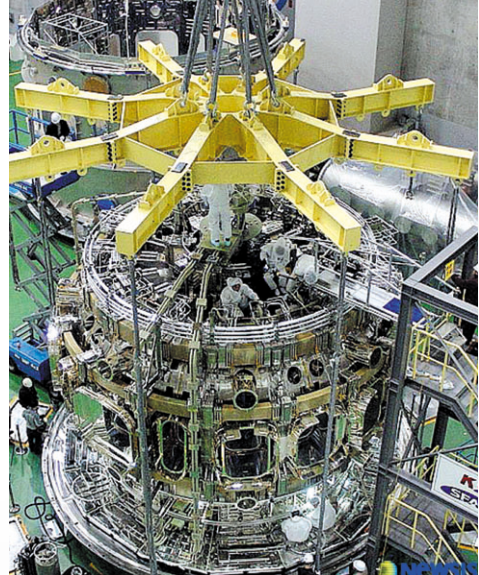
원자로의 연료장전 모습

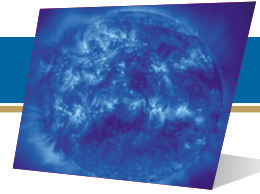
경수로용 농축우라늄(최초 U<sup>235</sup> 성분비가 3~5%)은 0.8% 정도까지 연소시킨 후에 교체하며, 통상 3년 주기로 전체를 교체한다(1년에 약 3분의 1씩 교체). 또 중수로용 천연우라늄(최초 0.72%)은 U<sup>235</sup>의 성분비가 약



0.3% 정도로 감소될 때까지 연소시키는데, 약 1년마다 교체한다. 흑연감속로는 영국 Calder Hall 원자로 (60MWe)의 경우 4년(중심부)에서 7년(가장자리) 정도마다 연료를 교체한다.

흑연감속로나 중수로는 동일한 열출력의 경수로보다 연료장입량이 훨씬 많으므로 단위 부피당 열출력이 낮고 연료교체 주기가 짧다. 이는 흑연감속로나 중수료가 경수로보다 순도가 높은 플루토늄을 생산할 수 있다는 것을 의미한다.





### 핵연료 주기

우라늄이 광석으로 채굴되어 정련-변환-농축-가공 단계를 거쳐 원자로에서 사용된 후 재처리·재활용 및 고준위폐기물로 영구 처분되기까지의 전 과정을 핵연료 주기(Fuel cycle)라고 한다. 원자력발전소에서 연료로 사용되기 이전 단계를 선행 핵연료 주기, 원자력발전소에서 연소된 이후 단계를 후행 핵연료 주기라고 한다.

채광과 정련(Mining and Milling)은 우라늄 원광으로부터 우라늄 성분을 분리해 옐로케이크(Yellow Cake)라는 우라늄 정광을 만드는 작업이다. 원광의 우라늄 함유량은 1t당 1~수kg 수준이다. 옐로케이크의 화학식은  $U_3O_8$ 으로 우라늄 성분이 약 80% 함유되어 있는 노란색의 분말이다. (1,000MWe급 원전 1년 가동에 약 200t의  $U_3O_8$ 가 필요)

변환(Conversion)은 옐로케이크를 다시 한번 정제하여 핵연료급의 순도를 갖는 우라늄으로 만든 후 이를 다시 우라늄 농축을 위해서 농축에 적합한 형태인  $UF_6$ (6불화우라늄)으로 만드는 공정이다.

농축(Enrichment)이란 천연우라늄의  $U^{235}$ 의 함유량을 높이는 작업이다. 핵연료용은 0.72%에서 3% 이상, 무기급의 경우 90% 이상으로 높인다.

농축 방법은 우라늄 동위원소인  $U^{235}$ 와  $U^{238}$ 의 질량 차이를 이용하여 두 원소를 분리하는 것으로, 가스확산법·원심분리법·전자법·원자레이저법 등이 있다. 현재에는 원심분리법이 가장 많이 사용되고 있다.

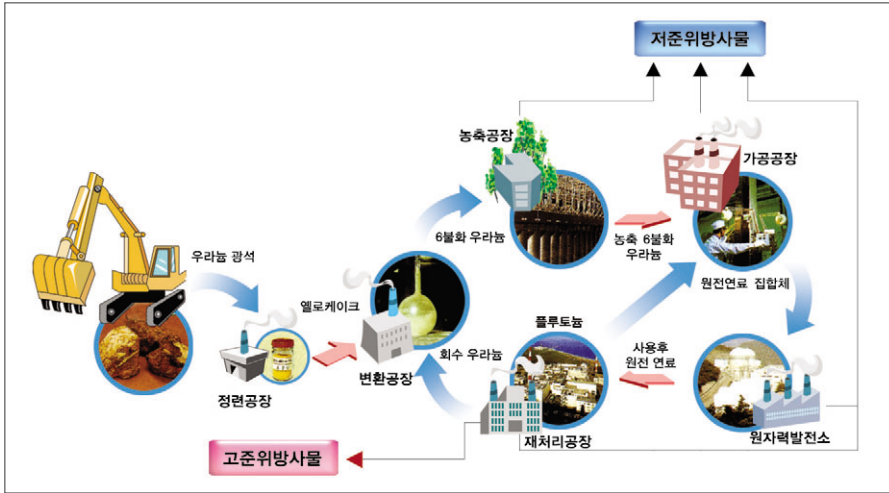
미국·러시아·프랑스·영국 등 핵무기 보유국들이 농축공장을 운영하고 있으며, 농축설비 건설에 막대한 비용이 소요될 뿐만 아니라 핵확산 금지를 위해 농축 기술 자체가 엄격히 통제되고 있다.

핵연료가공(Fuel Fabrication)은 이산화우라늄( $UO_2$ ) 분말을 압착 및 소결하여 펠릿 형태로 만든 후 이를 피복관에 넣어 연료봉을 제조·조립하여 원자로에 장전할 수 있는 연료 집합체를 제조하는 공정을 말한다.

재처리(Reprocess)는 원자로에서 연소된 사용후 핵연료로부터 유효한 성분을 추출하는 작업이다.

사용후 핵연료(Spent fuel)는 원자로에서 인출한 후 일정기간의 냉각 과정을 거쳐 재처리(Reprocessing)하거나 장기저장 또는 영구처분한다.



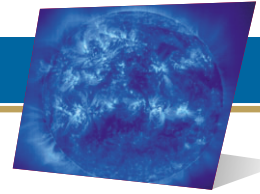


핵연료주기(Nuclear Fuel Cycle)

핵연료 교체에 소요되는 기간은 1~2개월이며, 연료봉 내의 잔류 열을 냉각시키고 방사능 세기가 비교적 안전한 수준으로 줄어들게 하는 데는 통상 3~5개월의 냉각기간(인출기간 포함)이 필요하다. 영국 Calder Hall 흑연감속로는 인출 후 3~5개월이 지나야 재처리를 실시해 왔다. 이는 주로 수중저장에 따른 핵연료의 부식문제 때문에 가능한 한 빨리 재처리하는 것이다.

방사성 폐기물(Radioactive Waste)은 폐기물 형태에 따라 기체·액체·고체 폐기물이나 방사성 물질의 농도 및 방사능 준위에 따라 저준위·중준위·고준위 폐기물로 분류한다. 고준위 폐기물은 사용후 핵연료 자체 및 재처리 공정의 1차 정제과정에서 나오는 핵분열 생성물 등으로, 방사능 준위가 매우 높다. 중준위 폐기물은 원자로 냉각수, 재처리시설 배수, 기타 액체 폐기물 등 다소 준위가 높은 방사성 물질이 포함된 폐기물을 말한다. 저준위 폐기물은 발전소 내 작업인원이 사용했던 장갑·덧신·겜레·작업복과 교체한 부품의 여과기·필터 등 방사능 준위가 낮은 폐기물을 말한다.

핵연료 주기 구축이란 우라늄의 정련·변환·농축을 포함한 핵연료 물질의 생산, 핵연료 가공, 원자로에서의 연소, 원자로에서 연소되고 남은 사용후 핵연료의 재처리, 고준위 폐기물의 처분 등 핵연료주기의 모든 단계를 자체 능력으로 확보·운영하는 것으로 자립적인 원자력발전 기술의 보유를 의미한다.



## 재처리

재처리(Reprocessing)는 사용후 핵연료에 남아 있는 유효성분(주로 Pu, U)을 화학적으로 추출해 내는 작업을 의미한다. 사용후 핵연료는 연소도에 따라 다르나 원래 장전한 양의 96%쯤 되는 우라늄이 존재한다. 또 이중에는 1%에 조금 못 미치는  $U^{235}$ 가 포함되어 있고, 연소과정에서 만들어진 3% 정도의 핵분열 생성물과 1% 정도의 플루토늄이 함유되어 있다. 사용후 핵연료는 고준위 방사성 물질이다. 특히 플루토늄은 맹독성 방사성 물질이므로 재처리 작업 때에는 Hot Cell, Glove Box와 같은 특수한 차폐 시설이 필요하다.



모든 작업은 Manipulator, In-Cell Crane 등을 이용하여 원격으로 수행한다. 시설 장비의 유지·보수 측면에서는 모듈별 교체가 용이한 Canyon 개념을 사용하기도 한다.

현재 국제적으로 군사용이 아닌 상업용 재처리 시설을 보유하고 있는 국가는 영국, 프랑스, 인도, 일본, 러시아 등이다. 신규 혹은 추가로 건설 중에 있는 국가는 중국과 인도 등이다. 이 밖에 군사용 재처리 시설을 보유한 국가에는 미국, 중국, 이스라엘 등이 있다.

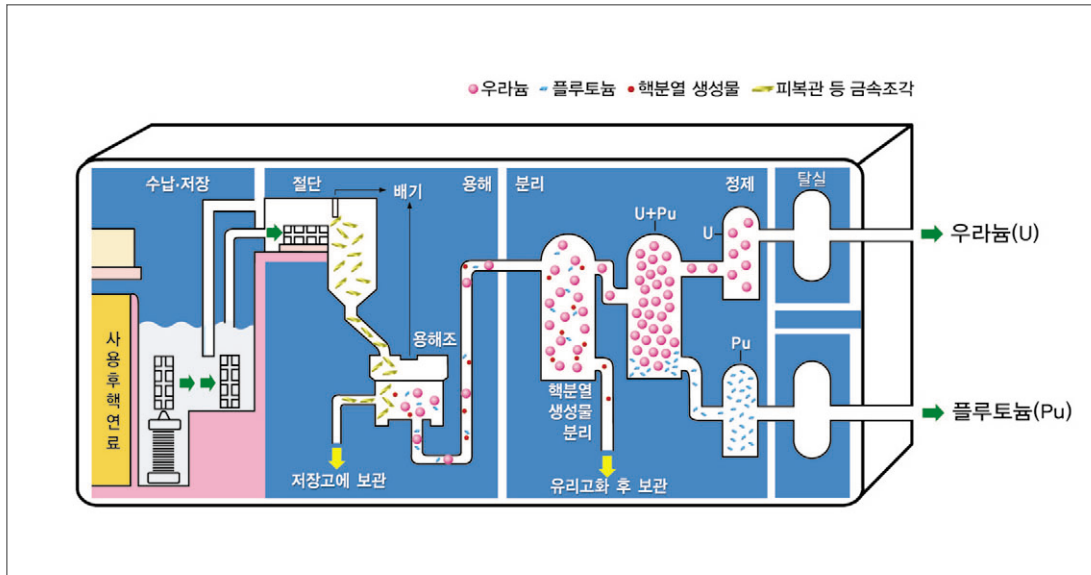
여러 가지 재처리 기술이 개발되었으나, 주로 용매 추출법(PUREX)을 사용한다.

### Hot Cell :

고준위 방사성 물질을 취급할 때 투명 납유리를 통해 작업실 내부를 보면서 원격조종장치로 작업을 할 수 있도록 만든 차폐 시설.

### Glove Box :

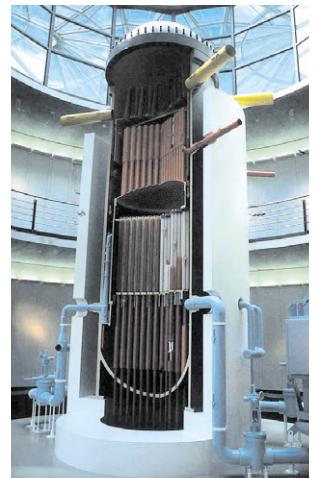
외부 방사선 피폭 위험성이 적은 저준위 방사성 물질이나 독성 물질을 취급할 때 외부 누출을 방지하기 위해 내부를 기밀시킨 작업실로, 재처리 시설이나 일반 화학실험실 내에 설치한다. 밀폐벽에 2개의 구멍을 만들고 특수장갑을 달아 작업실 외부에서 내부를 보며 수작업이 가능하도록 제작됨.

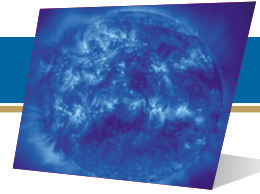


「사용후 핵연료」 재처리공정 개략도

용매추출법 순서는 아래와 같다.

- 사용후 핵연료 집합체(혹은 연료봉)를 1.5~5cm 길이로 절단한다.
- 절단된 연료봉을 용해조에 넣고 뜨겁고 진한 질산용액으로 용해시킨다.
- 용해액을 여과하여 Zircalloy hull 및 불용성 물질을 제거한다.
- 용매추출에 의해 여과액에서 우라늄과 플루토늄을 추출한다.
- 우라늄과 플루토늄 추출액에서 우라늄과 플루토늄을 상호 분리한다.
- 우라늄 Stream과 플루토늄 Stream을 용매추출법으로 각각 재정제한다.
- 정제된 용액에 침전제를 넣어 우라늄과 플루토늄을 각각 침전시킨다.
- 여과 및 배소 과정을 거쳐 순수한 형태의 산화 플루토늄과 산화 우라늄 분말을 얻는다.
- 용매추출 과정에서 발생하는 고준위 폐기물 용액은 유리고화하여 저장한다.





### 원자로 구성요소

원자로는 사용 목적에 따라 연구용 원자로, 실험용 원자로, 발전용(상업용) 원자로, 플루토늄 생산용 원자로, 선박 추진용 원자로 등으로 구분한다. 핵연료나 냉각재 및 감속재의 종류에 따라서는 경수로(가압경수로, 비등경수로), 중수로, 흑연감속로, 고속증식로, 가스냉각로 등으로 구분한다. 가스냉각로(GCR: Gas Cooled Reactor)는 CO<sub>2</sub>나 He(헬륨) 같은 가스를 냉각재로 사용하는 원자로를 말한다. 예를 들어 영변의 5MWe 원자로는 통상 흑연감속로라고 하지만 한편으로는 가스냉각로의 일종이기도 하다.

원자로는 일반적으로 핵연료, 감속재, 냉각재, 블랭킷(Blanket), 제어봉, 반사체, 원자로 용기, 각종 차폐벽 및 격납용기로 이루어진다. 이중 핵연료나 감속재 및 냉각재로 구성되는 부분을 노심이라고 한다. 원자로 구성요소별 세부 특징은 아래와 같다.

#### ● 감속재(Moderator)

감속재는 핵분열 시 생성되는 고속의 중성자를 아주 느리게 만들어 U<sup>235</sup>의 핵분열을 용이하게 하는 역할을 한다(U<sup>235</sup>는 느린 속도의 중성자를 잘 흡수하기 때문이다). 감속재로는 원자번호가 작은 물질이 주로 사용된다. 여기에는 물, 중수, 흑연(탄소), 베릴륨 등이 있다. 반면에 고속증식로에는 감속재가 필요 없다.

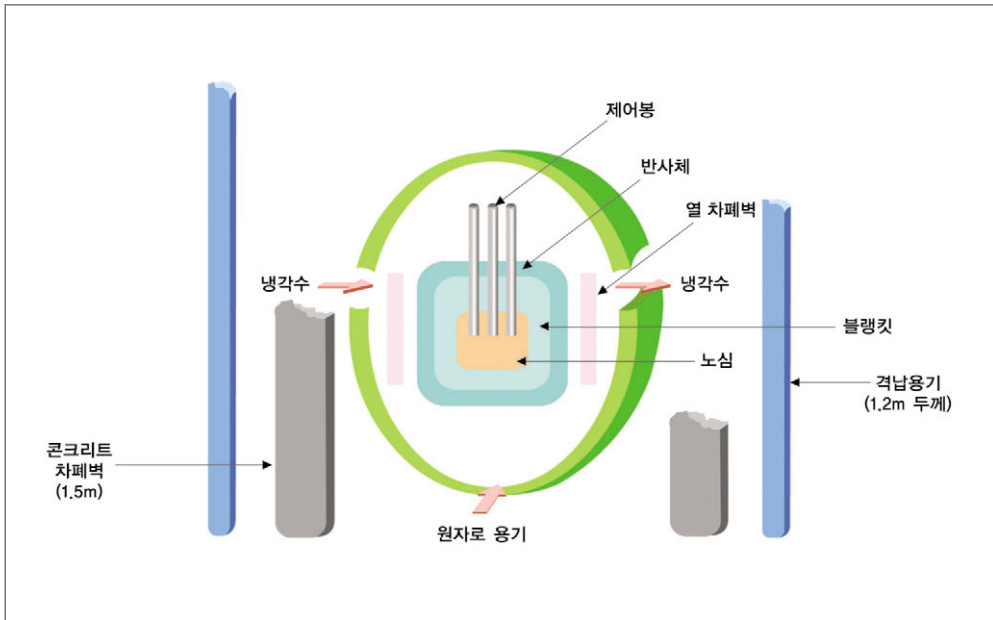
#### ● 냉각재(Coolant)

냉각재는 핵반응으로 뜨거워진 원자로 노심을 식히고, 이 열을 이용하여 발전용 터빈을 돌리는 데 사용되는 증기를 생산하는 기능을 한다. 냉각재로는 경수, 중수, 가스, 액화나트륨 등이 있다. 물(경수 및 중수)은 우수한 감속재 역할도 하므로 냉각재 및 감속재 겸용으로 사용된다.

#### ● 제어봉(Control Rod)

제어봉은 원자로 내에서 중성자를 흡수함으로써 중성자 수를 조절한다. 중성자 수와 핵분열 수는 비례하고 핵분열 정도는 원자로 출력에 비례하므로 중성자 수량 조절을 통해서 원자로 출력을 조절한다. 출력을 낮추고자 할 때에는 제어봉을 원자로에 삽입하여 중성자를 흡수하고, 출력을 높이고자 할 때에는 제어봉을 빼낸다. 중성자 흡수 재료로는 카드뮴·붕소 등이 쓰이는데, 주로 집합체 형태 또는 십자형 칼날 형태로 만들어지고 분말·액체 형태로도 사용된다.





원자로의 구조

● 반사체(Reflector)

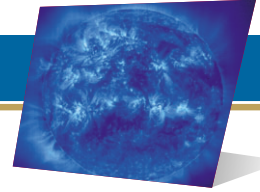
노심에서 밖으로 흘러나오는 중성자를 다시 노심으로 되돌려 보내는 역할을 하며, 감속재와 비슷한 재료(베릴륨, 흑연, 물 등)를 사용한다. 핵무기에는 반사체로 베릴륨이나  $U^{238}$ 이 사용된다.

● 격납용기(Containment)

원자로를 비롯해 방사성 물질의 누출 가능성이 있는 부수 설비 전체를 강화된 콘크리트벽(약 1.2m 두께)으로 완전히 감싼 형태의 원자력발전소 외부 건물로, 방사성 물질의 누출 방지를 목적으로 건설한다.

● 블랭킷(Blanket)

블랭킷은  $U^{238}$  같은 핵원료성(Fertile) 물질을 노심 외곽에 위치시켜 중성자를 흡수하게 함으로써 핵분열성(Fissile) 물질  $Pu^{239}$ 로 전환될 수 있도록 만든 장치다. 주로 고속증식로에 사용한다.



## 원자로의 종류 및 기능

경수로(LWR: Light Water Reactor)는 경수( $H_2O$ :일반중류수)를 냉각재 및 감속재 겸용으로 사용하는 원자로다. 일반 상업용 경수로는 주로 3~5%의 저농축우라늄을 핵연료로 사용하나, 잠수함 추진용 경수로는 90%까지의 고농축우라늄을 사용한다. 비등 경수로형과 가압 경수로형 두 가지 형태로 나뉘는 경수로는 안정성과 경제성이 뛰어나 세계 원자로 시장의 약 80%를 차지한다. 경수로는 핵무기용 플루토늄 생산에는 적합하지 않다.

비등 경수로(BWR: Boiling Water Reactor): 발전용 터빈을 돌리기 위해서는 증기생산이 필요한데, 원자로 내에서 직접 증기를 생산(원자로 내의 물이 끓으면서 증기 발생)하는 방식을 비등 경수로라고 한다. 비등 경수로형은 세계 원자로 시장의 약 21%를 차지한다.

가압 경수로(PWR: Pressurized Water Reactor): 원자로 내에서 증기를 생산하지 않고 원자로 중심의 1차 냉각계통과 증기터빈 중심의 2차 냉각계통의 연결 부분에 위치한 증기발생기에서 증기를 생산하는 방식이다. 원자로 내에서 증기생산(물의 끓음)을 방지하기 위해 원자로 내의 압력을 높여 주어야 하기 때문에 가압(加壓) 경수로라고 한다. 세계 원자로 시장의 약 56%를 차지한다.

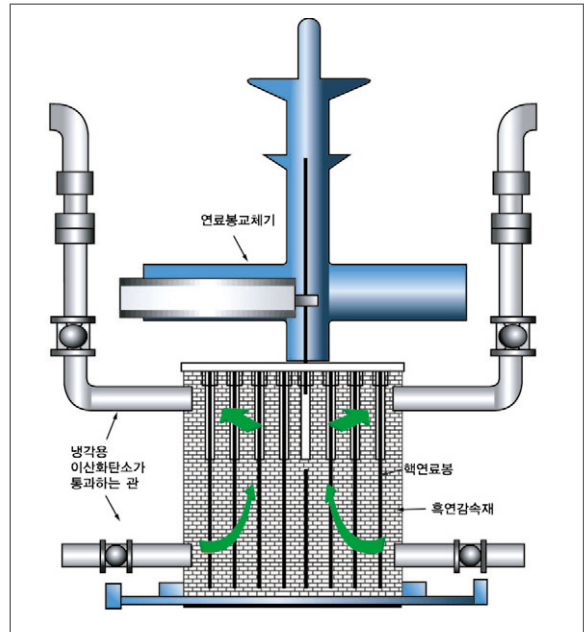
중수로(HWR: Heavy Water Reactor): 중수( $D_2O$ )를 냉각재 및 감속재로 쓰고 천연우라늄을 연료로 사용하여 농축이 필요 없는 원자로로서 캐나다에서 개발하였다. 흔히 CANDU(Canada Deuterium Uranium)라고 불리며, 핵연료를 원자로 가동 중에도 교체할 수 있다.

중수( $D_2O$ )는 수소 원자핵에 중성자가 하나 더 있는 중수소로 구성된다. 중수를 사용하는 이유는 중수의 중성자 흡수율이 경수보다 낮아 천연우라늄으로도 지속적인 핵분열을 가능하게 하므로 굳이 농축우라늄을 사용하지 않고 천연우라늄으로도 원자로 운전이 가능하기 때문이다. 즉 농축기술과 비용이 필요 없다는 장점이 있어서 농축시설을 보유하지 못한 국가에서 일부 선택하고 있다. 또한 고품질의 플루토늄 생산이 흑연감속로보다는 불리하지만 경수로부터 유리하기 때문에 플루토늄 생산 목적으로도 사용된다(인도에서 플루토늄 생산용으로 사용). 그러나 전체적인 경제성이 경수로부터 낮아 최근에는 별로 건설되지 않고 있다.

흑연감속로(Graphite Moderated Reactor): 흑연을 감속재로 하는 원자로를 말한다. 냉각재로는 가스(이산화탄소 혹은 헬륨) 또는 경수를 사용한다. 연료로는 천연우라늄을 사용하고, 때로는 1~2% 농축우라늄을 사용할 수도 있다.



흑연감속로는 통상 열효율이 낮고(20~30%), 상업용으로는 경제성이 떨어지며, 특히 안전성이 취약하다. 그럼에도 불구하고 흑연감속로를 사용하는 이유는 건설비용이 싸고, 낮은 기술 수준으로도 건설이 용이하며, 천연우라늄을 이용할 수 있고, 특히 고품질의 플루토늄 생산에 적합하기 때문이다. 이런 이유로 초창기 원자력 산업에 핵무기 보유국들이 플루토늄 생산을 위한 군사적 목적으로 많이 이용하였다.



Calder Hall 원자로

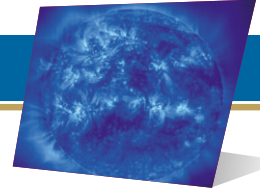
영변 5MWe 원자로의 모델로 알려진 영국 Calder Hall 원자로도 흑연감속로다. Calder Hall 원자로는 현재 전력생산용으로 전환되었으나, 1950년대 영국에서 핵무기용 플루토늄 생산을 목적으로 건설하였다. 열효율은 약 22.4%로 매우

낮다(열출력 268MWt, 전기출력 60MWe, 채널수 1,696개, 연료 장입량 127t). 체르노빌 원자력발전소를 비롯한 러시아의 대다수 원자로가 이 형태이며, 북한의 50MWe와 200MWe 원자로들도 흑연감속로다.

북한 원자로(5MWe, 50MWe, 200MWe)는 모두 마그네슘 합금(Magnox)을 피복재로, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 냉각재로 사용하는 것으로 알려져 있다. 이들 원자로는 고품질의 플루토늄 생산에는 적합한 반면 전력 생산용으로는 열효율이 낮아 비경제적이다(5MWe 원자로의 열효율은 20%, 50MWe 원자로는 25% 정도로 추정).

흑연감속재는 섭씨 350도 이하에서 방사선을 받으면 내부 에너지가 축적되는 성질이 있다(잠열: Wigner 효과). 따라서 흑연감속로에서는 일정 기간마다 내부에 축적된 Wigner 에너지를 방출해 주어야 한다. 이 잠열이 통제되지 않은 상태에서 일시에 방출되면 1957년에 발생한 영국 Windscale 원자로 화재사건 처럼 연료가 녹거나 화재 등 심각한 사고가 일어난다. 특히 흑연 화재는 진화가 어렵다.

마그네슘 합금 피복재는 물과 접촉하면 부식이 잘 일어난다. 원자로 내에서도 가스(냉각재)에 섞인 불순물로 인해 부식이 발생할 수 있다. 피복재가 부식되면 구멍이나 틈이 생기고, 피복재에 가두어져 있던 방사성 물질이 누출된다. 특히 물 속에 장기 저장할 때에는 18개월 내지 2년 정도면 급격한 부식이 일어나기 때문에 재처리가 불가피하게 된다.



### 원자로 출력(MWe와 MWt)

원자로 출력을 나타내는 MWe와 MWt은 각각 전기출력(electric power)과 열출력(thermal power)을 나타낸다.

원자력발전은 원자로에서 최초 핵분열 때 발생하는 에너지를 열에너지(thermal energy)로 얻은 후 이를 핵증기 공급장치(NSSS: Nuclear Steam Supply System)와 전기 발생 장치인 터빈(turbine)을 통하여 전기에너지(electrical energy)로 변환시키는 원리다.

생성된 열에너지가 전기에너지로 100% 변환되는 것은 아니며, 여러 과정을 거치는 동안 열손실이 발생한다. 상업용 원자로의 경우 총출력 열에너지의 40% 정도만 전기에너지로 전환된다. 이때 열에너지가 전기에너지로 전환되는 비율을 열효율이라고 한다.

북한의 전기에너지 출력이 5MWe인 흑연감속로의 경우도 최초 생성되는 열출력은 20~25MWt으로 추정된다. 흑연감속로는 경수로에 비해 열효율이 떨어지며 20% 내외로 알려져 있다.



울진원자력발전소



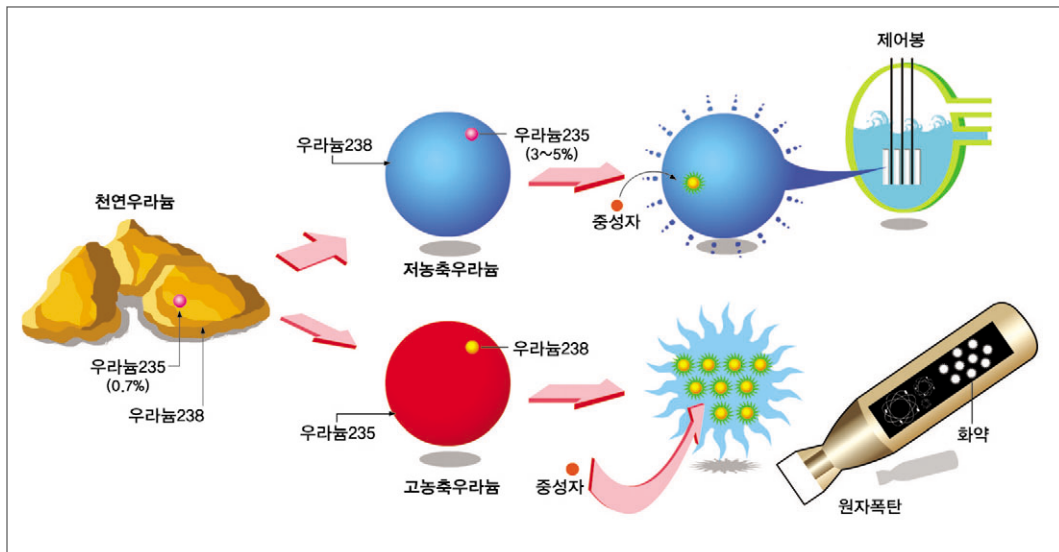


## 원자로와 핵무기의 차이

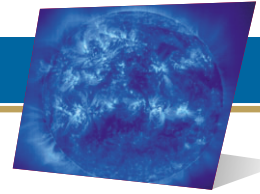
원자로와 핵무기는 핵분열 연쇄반응을 통하여 에너지를 얻는다는 점은 같다. 그러나 원자력발전소의 원자로는 제어봉(control rod)으로 핵분열 연쇄반응이 천천히 일어나도록 조절 및 통제하여 필요한 만큼의 에너지를 안전하게 뽑아 쓸 수 있는 반면 핵무기는 핵분열 연쇄반응을 통제하지 않고 오히려 촉진시킴으로써 급격한 연쇄반응을 일으켜 일시에 최대한의 에너지를 방출할 수 있도록 만든 장치다.

원자로는 설계 특성상 절대로 핵폭발과 같은 폭발 위험은 없다. 최악의 경우 녹아내릴 뿐이다. 원자로(발전)용 핵물질은 천연우라늄이나 저농축우라늄(3~5% 이상)을 사용하지만, 핵무기에서는 고농축우라늄(90% 이상)을 쓴다.

※  $U^{235}$  1g이 완전 핵분열할 경우  $8.2 \times 10^{10}$  줄(J)의 에너지가 방출된다. 이는 석유 9드럼 또는 석탄 3t을 태울 때 발생하는 에너지와 동일한 양이다.



원자로와 원자폭탄의 차이



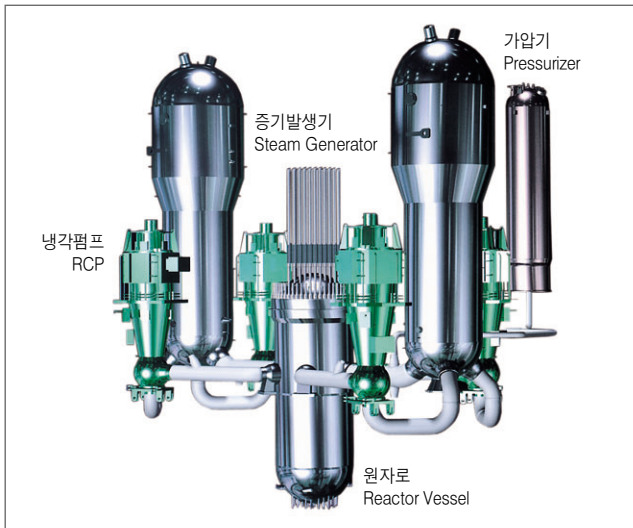
## 한국 원자력 발전 현황

우리나라는 연구 및 실험용 원자로 2기(원자력연구소의 하나로, 경희대의 AGN-201), 상업용 원자로인 경수로 16기(고리, 울진, 영광)와 중수로 4기(월성)를 보유·운영 중이다. 그리고 2015년까지 8기가 추가로 건설될 예정이다.

\* AGN-201(Aeroject General Nucleonic) : 경희대에 1982년 설치된 원자로, 0.1w.

우리나라 원자력발전소 건설에 있어서 원자력 설비의 국산화 비율은 1988년과 1989년에 완공된 울진 1·2호기(가압경수로)를 기준으로 볼 때 약 40.2%, 1999년에 완공된 울진 3·4호기(가압경수로)를 기준으로 볼 때 약 82%에 이르고 있다.

설계능력을 비롯한 원자력 기술자립도는 1995년에 이미 95% 수준을 달성했다. 한국형경수로란 1998·1999·2004·2005년에 완공된 울진 3·4·5·6호기를 말한다. 우리나라의 원자력발전소 가동률은 미국 등 선진국을 앞서는 세계 최고의 수준으로, 이는 우리의 원전 운용기술 및 안전성이 우수함을 나타낸다. 1993년 최초로 중국에 원자로 운용기술을 수출하였고, 점차 원자력 발전설비의 수출도 추진하고 있다.



한국형 경수로

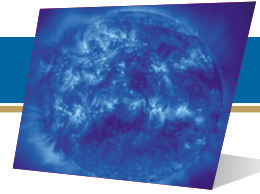


## 우리나라 원자력발전소 현황

2006년 12월 말 현재

호기	위 치	용량 (MWe)	원자로형	공 급 자		착공	상업운전
				원자로	터빈발전기		
고리 1	경남고리	587	가압경수형	WH(미)	G.E.C.(영)	1970. 9.	1978. 4.
고리 2	경남고리	650	가압경수형	WH(미)	G.E.C.(영)	1977. 5.	1983. 7.
고리 3	경남고리	950	가압경수형	WH(미)	G.E.C.(영)	1978. 7.	1985. 9.
고리 4	경남고리	950	가압경수형	WH(미)	G.E.C.(영)	1978. 7.	1986. 4.
월성 1	경북경주	679	중 수 형	AECL(캐)	Parsons(캐·영)	1976. 5.	1983. 4.
월성 2	경북경주	700	중 수 형	AECL(캐)	한중(미,GE)	1991.10.	1997. 7.
월성 3	경북경주	700	중 수 형	AECL(캐)	한중(미,GE)	1993. 8.	1998. 7.
월성 4	경북경주	700	중 수 형	AECL(캐)	한중(미,GE)	1993. 8.	1999.10.
영광 1	전남영광	950	가압경수형	WH(미)	WH(미)	1981. 2.	1986. 8.
영광 2	전남영광	950	가압경수형	WH(미)	WH(미)	1981. 2.	1987. 6.
영광 3	전남영광	1,000	가압경수형	한중/원연(미,CE)	한중(미,GE)	1989. 6.	1995. 3.
영광 4	전남영광	1,000	가압경수형	한중/원연(미,CE)	한중(미,GE)	1995. 3.	1996. 1.
영광 5	전남영광	1,000	가압경수형	두중/미(미,WEC)	한중(미,GE)	1995. 3.	2002. 5.
영광 6	전남영광	1,000	가압경수형	두중/미(미,WEC)	한중(미,GE)	1995. 3.	2002. 12.
울진 1	경북울진	950	가압경수형	프라마툼(프)	알스툼(프)	1981. 1.	1988.9.
울진 2	경북울진	950	가압경수형	프라마툼(프)	알스툼(프)	1981. 1.	1989. 9.
울진 3	경북울진	1,000	가압경수형	한중/원연/미	한중(미,GE)	1992. 5.	1998. 8.
울진 4	경북울진	1,000	가압경수형	한중/원연/미	한중(미,GE)	1992. 5.	1999.12.
울진 5	경북울진	1,000	가압경수형	한중	한중	1996.11.	2004. 7.
울진 6	경북울진	1,000	가압경수형	한중	한중	1996.11.	2005. 4.

\* 한중 : 한국중공업 두중 : 두산중공업 원연 : 원자력연구소



### 핵무기 개발 역사

핵무기는 미국이 최초로 개발하였고, 뒤이어 구소련과 영국 등이 2차 세계대전 이후부터 참가하여 5개국이 NPT가 인정하는 공식적인 핵무기 보유국이 되었다. 인도와 파키스탄은 핵실험을 실시하여 보유 사실을 간접 시사하였으며, 최근 북한도 핵실험을 실시하였다. 이스라엘은 핵을 보유하고 있는 것으로 추정되나, NCND 정책을 취하고 있다. 또한 남아프리카공화국은 자발적으로 보유 핵무기를 폐기한 후 그 사실을 공표함으로써 개발 사실이 알려졌다.

핵개발 주요 역사를 보면 아래와 같다.

- 1930년대 핵분열 원리 발견(유럽 과학자들)
- 1939.10.11. Einstein, Roosevelt 대통령에게 핵분열의 무기화 가능성에 대해 경고
- 1941. 2. Abelson 실용 우라늄 농축 기술 개발
- 1941.2.26. Seaborg and Wahl 플루토늄 발견
- 1942. 9. 미국 핵개발 착수(Manhattan Project)
- 1945.7.16. 최초의 핵실험 성공(20~22kt의 위력)
- 1945.8. 6. 일본 히로시마에 핵탄 투하(15kt)
- 1945.8. 9. 일본 나가사키에 핵탄 투하(22kt)

히로시마탄과 나가사키탄 이후 핵탄은 기술적인 발전을 거듭해 왔다. 1950~1960년대 초의 발전 방향은 핵무기의 위력을 증가시키는 데 힘쓰는 한편 핵탄을 소형화하여 작은 부피와 무게로도 큰 위력을 내게 하는 데 주력하였다. 또한 수소폭탄의 등장과 더불어 핵분열·핵융합의 결합으로 단위 질량당 폭발력이 대폭 증대되었다. 핵탄의 소형화는 다탄두 미사일의 등장 등 핵무기체계의 다양화를 가능케 하였다.

1970년대에는 투발 수단의 정확도 향상으로 대규모 폭발력에 대한 필요성이 상대적으로 감소되어 핵탄두의 위력이 작아지기 시작하였고, 핵탄의 안전성과 신뢰성 향상에 주력하였다.

1980년대 이후로는 핵분열·핵융합의 비율을 조정하여 핵무기 효과 중 일부를 억제 또는 증대시킴으로써 필요한 효과(낙진 효과, 방사능 효과)만이 주로 나타나도록 하는 특수목적의 핵탄이 개발되기 시작하였다. 대표적인 것으로 중성자탄이 있으나 실전에는 배치되지 않았다.

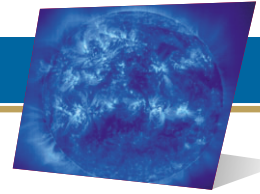




국 가	최초 원폭실험	최초 수폭실험
미 국	1945년 7월	1952년 11월
소 련	1949년 8월	1955년
영 국	1952년 10월	1957년 5월
프 랑스	1960년 2월	1968년
중 국	1964년 10월	1967년
인 도	1974년 4월	
파키스탄	1998년 5월	

향후에는 핵분열·핵융합의 비율 조정으로 필요한 효과만 주로 발생시키는 특수목적탄의 개발이 계속될 것으로 보인다. 초플루토늄탄, 가변성 위력의 핵탄 및 핵탄의 소형화 방안에 대한 연구도 계속되고 있다. 최근 미국은 테러세력과 북한 등 핵비확산 우려세력의 지하시설을 효과적으로 공격하기 위해 벙커버스터(Bunker-buster) 개발을 연구하고 있다.





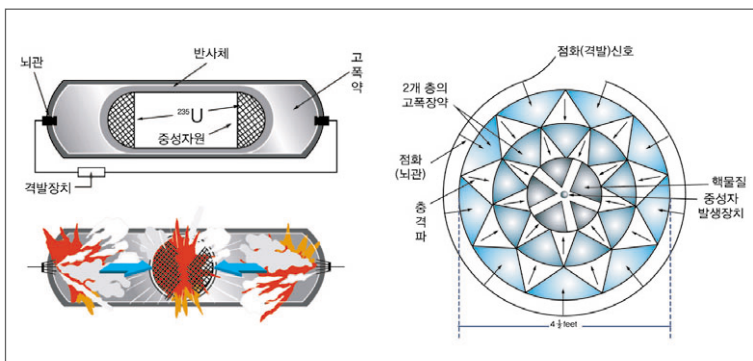
## 핵무기 폭발 원리

핵무기 내부는 핵물질( $U^{235}$  또는  $Pu^{239}$ ), 중성자 발생장치, 고폭장치 및 반사체로 구성되어 있다. 또 핵폭발은 폭발을 일으키는 데 필요한 최소한의 질량인 임계질량이 달성되어야 일어난다.

그러므로 평소에는 임계질량 상태가 되지 않도록 핵물질을 2개 이상 여러 조각으로 분리해 두었다가 필요할 때면 순간적으로 합쳐져 임계질량 상태가 되도록 한다. 이때 순간적인 결합과 동시에 최초 연쇄반응을 유발하기 위한 중성자 방출이 이뤄진다.

임계질량이 되도록 순간적으로 핵물질을 합치는 방법으로는 포신형(Gun-Type)과 내폭형(Impllosion-Type)이 있다.

포신형은 핵물질을 두 부분으로 나누어 저장한 상태에서 고폭장약을 터뜨려 포탄을 쏘듯이 핵물질 덩어리를 쏘아서 서로 합쳐지면 초임계에 도달하여 핵폭발을 일으키게 하는 방법이다. 우라늄탄에 주로 사용되며, 히로시마에 투하된 형태다.



포신형 원자탄(히로시마탄)

내폭형 원자탄(나가사키탄)

내폭형의 폭발 원리는 핵물질의 임계량이 밀도의 2승에 반비례하는 성질을 이용하여 폭발압력으로 밀도를 높여 임계에 도달하게 하는 것이다. 즉 동일질량의 핵물질이 압축 전 미임계 상태에서 압축 후에는 초임계 상태로 변환되어 핵폭발을 일으킨다. 주로 플루토늄탄에 사용되며, 나가사키에 투하된 형태다.

### 고폭장치와 고폭실험

기폭장치로도 불리는 고폭장치는 분리된 상태의 핵물질을 임계 상태로 압축 또는 결합시키기 위한 폭약장치다. 핵폭발이 일어나는 수백만분의 1초 내에 핵물질을 완벽한 구형으로 결합시킬 수 있도록 정밀하게 설계·제작된다. 핵물질의 이동속도는 최소 10km/s 이상이 되어야 하므로 폭발속도가 빠르고 강력한 고성능 폭약이 요구되며, 정교한 다중 동시 격발장치도 필요하다.



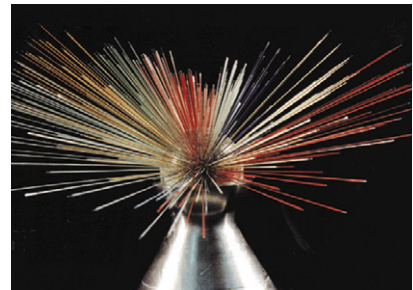
주요 구성품

- 고폭약(PBX series, Plastic Bonded Explosive : 폭발속도 7,800m/s) :  
RDX, HMX, TATB 등 입상화약  
RDX : 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazacyclohexane  
HMX : 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazacyclohexane  
TATB : 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene
- 전원장치 및 전압 승압장치
- 중성자 발생장치 : Pu<sup>238</sup>, Po<sup>208</sup>(폴로늄), Po<sup>210</sup>, Ra<sup>226</sup>(라듐) + [Be(베릴륨) 등]

※ 중성자 발생장치는 알파 입자가 Be(베릴륨)에 충돌하면 여기에서 중성자가 발생하는 원리를 이용한 것이다. 상기 4가지 방출제 가운데 한 가지와 Be을 얇은 막으로 분리해 놓았다가, 핵물질이 최대 압축된 시점에서 이 막을 제거하고 두 물질을 혼합하면 중성자가 발생하여 폭발하도록 하는 것으로, 핵물질 한가운데에 위치시킨다(나가사키 핵폭탄은 플루토늄과 베릴륨을 금박지로 분리한 중성자 발생장치를 사용).

고폭실험(High Explosive Test)은 핵실험의 전 단계로, 핵분열 물질을 주입하지 않은 상태에서 고폭장치의 작동 상태와 성능을 시험하는 것이다. 이는 핵분열 물질 대신 폭발 염려가 없고 물리적 성질이 비슷한 천연 또는 감손우라늄을 장입하여 시행한다. 미국은 최초 원폭개발계획(맨해튼 계획) 당시 2,500여 회의 고폭실험을 한 것으로 알려졌다.

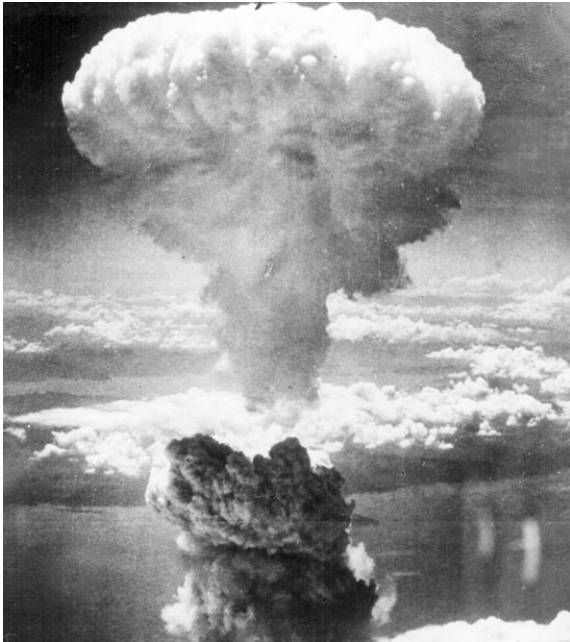
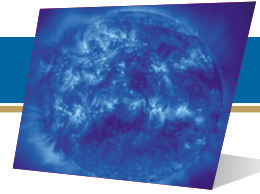
그러나 과학기술의 발달로 핀 돔(Pin Dome), X레이 플래시(X-ray flash), 고속 카메라 등의 장치를 사용해 고폭실험 시 발생하는 현상을 측정할 수 있게 됨에 따라 과거에 비해 적은 수의 실험으로도 원하는 형태의 장치 개발이 가능해졌다. 특히 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 기술의 발전은 최소의 고폭실험으로도 고폭장치의 개발을 가능케 하였다.



Pin Dome

● 핵무기 제조에 필요한 핵물질 양

IAEA에서 정의하는 ‘의미 있는 양(Significant Quantity)’의 핵물질은 Pu 8kg, U 25kg이다. 이 정도의 양이면 조잡한 정도의 핵무기를 제조할 수 있다는 뜻이다. 이는 보통 기술 수준에서 TNT 약 20kt의 위력을 낼 수 있는 양이다. 그러나 현재는 핵무기 제조기술이 많이 알려졌고, 발전된 상태이기 때문에 이보다 적은 양이 소요될 것으로 판단된다. 즉 우라늄탄은 고농축우라늄 약 18kg, 플루토늄탄은 6~8kg의 플루토늄이 소요된다고 보고 있는데 반사체의 종류와 두께 등 설계에 따라



나가사키 핵폭발

그 소요량은 달라진다.

핵무기 보유국이 가지고 있는 핵탄두는 0.1kt에서 수Mt에 이르기까지 다양하다. 전 세계적으로 핵탄두에 들어 있는 핵물질의 평균적인 양은 플루토늄 핵탄두의 경우 개당 플루토늄 3~4kg, 우라늄 핵탄두는 우라늄 약 15kg으로 추정된다.

이는 핵기술 발달로 핵폭발 효율성이 좋아져 적은 양의 핵물질로도 충분한 위력을 낼 수 있다는 것을 나타낸다. 실제로 20kt의 위력을 내기 위해서는 플루토늄 8kg 중에서 1kg의 핵반응으로도 충분하며, 1kt의 위력을 내기 위해서는 56g만 완전히 핵분열을 일으키면 된다. 실제로 히로시마탄과 나가사키탄은 전체 핵물질의

20% 미만이 핵분열을 일으킨 것으로 분석되었다. 나가사키탄에 사용된 플루토늄의 부피(핵폭발장치 전체의 부피가 아니라 순수 핵물질만의 부피)는 소프트볼 크기만하다.

핵폭발 효율성에 영향을 미치는 요소로는 고풍장치의 정확·정밀성과 핵물질의 순도(특히 플루토늄탄의 경우), 반사체의 종류 및 두께 등이 있다.

- 고풍장치의 정밀성은 핵폭발이 일어나는(지속되는) 극히 짧은 시간에 핵물질을 완벽한 구형으로 결합시킬 수 있을 만큼 정밀하게 설계·제작하여야 하며, 핵물질의 압축속도도 최소 초속 10km는 되어야 한다.
- 핵물질 순도는 핵무기급 플루토늄탄의 경우 동위원소 구성은  $\text{Pu}^{239}$ 가 최소 93% 이상,  $\text{Pu}^{240}$ 이 6.5% 미만으로 유지되어야 한다.  $\text{Pu}^{240}$ 의 함량이 증가하면 자발 핵분열(spontaneous fission)에 의해 중성자를 발생시켜 핵폭발의 위력을 극단적으로 감소시킬 수 있다(Fizzle effect). 또한 우라늄탄은 통상  $\text{U}^{235}$ 가 최소 93% 이상 되어야 한다.
- 반사체를 사용하면 중성자의 유출을 줄일 수 있으므로 핵분열 효율을 높일 수 있게 된다.





## 핵무기 효과

핵무기는 폭발 시 핵물질이 가진 전체 에너지의 99%를 수백만분의 1초 동안에 방출하고, TNT 같은 재래식 폭발물은 1,000분의 1초 동안 반응하여 에너지를 방출한다. 핵무기 1Mt의 위력은 TNT 100만톤에 해당된다. 이 정도 위력을 갖는 핵탄두 크기는 직경 50cm, 높이 1m 이하다. 반면 TNT로 그만한 위력을 내려면 화물차(20t 적재, 길이 10m)가 5만 대 필요하고, 그 길이는 500km 이상에 달한다.

핵무기가 폭발하면 폭풍파(55%), 열복사선(30%), 초기방사선(15%)이 대량 방출되고 잔류방사선(낙진)에 의한 방사능 오염과 전자기 과동(EMP: Electro magnetic Pulse) 효과를 수반한다. 폭풍파(Blast Wave)는 최초에는 음속의 몇 배나 되는 속도로 외부로 확산되어 나가다가 마지막에는 음파로 흡수되는데, 핵폭발 시 발생하는 물리적 피해의 대부분이 이것에 기인한다. 열복사선(Thermal Radiation)은 폭발 시 형성된 화구(태양의 표면 온도와 맞먹는 수백만도)로부터 발생한 열선으로, 화재와 함께 피부 및 망막에 심각한 화상을 일으킨다. 1Mt의 핵폭발이 있을 경우 반경 12km 이내에서 2도 화상을 입거나 종이와 마른 잎이 즉시 발화되며, 반경 10km 이내에서는 3도 화상이 일어난다. 또 반경 7km 이내에서는 거의 대부분이 발화하고 물질이 녹아내린다. 반경 1km 이내의 모든 것은 순식간에 증발된다. 이밖에 3,000m 상공에서의 공중폭발을 50km 밖에서 육안으로 볼 경우 망막에 영구 손상을 입는다.

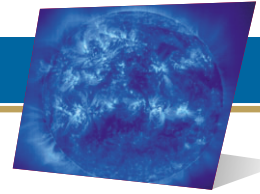


핵무기 폭발 후의 히로시마

전체 방사선의 3분의 1인 초기방사선(Initial Radiation)은 핵폭발 시 즉시 방출되는 감마선 및 중성자로, 폭발지역 근처에서 직접적인 방사선 피해를 유발한다. 이후 핵분열 생성물과 낙진에서 나오는 잔류방사선은 기상 상태에 따라 넓은 지역을 오염시킨다.

전자기 과동은 핵폭발 시 방출되는 초기방사선( $\gamma$ 선)이 주위 공기 중의 원자들과 강하게 충돌하여 궤도전자를 방출함으로써 1MHz에서 수백MHz에 이르는 강력한 전자장을 발생시키는 것을 일컫는다. 이 전자장은 상당히 광범위한 지역에 영향을 미치며 반도체와 전자장비를 손상시켜 각종 군사장

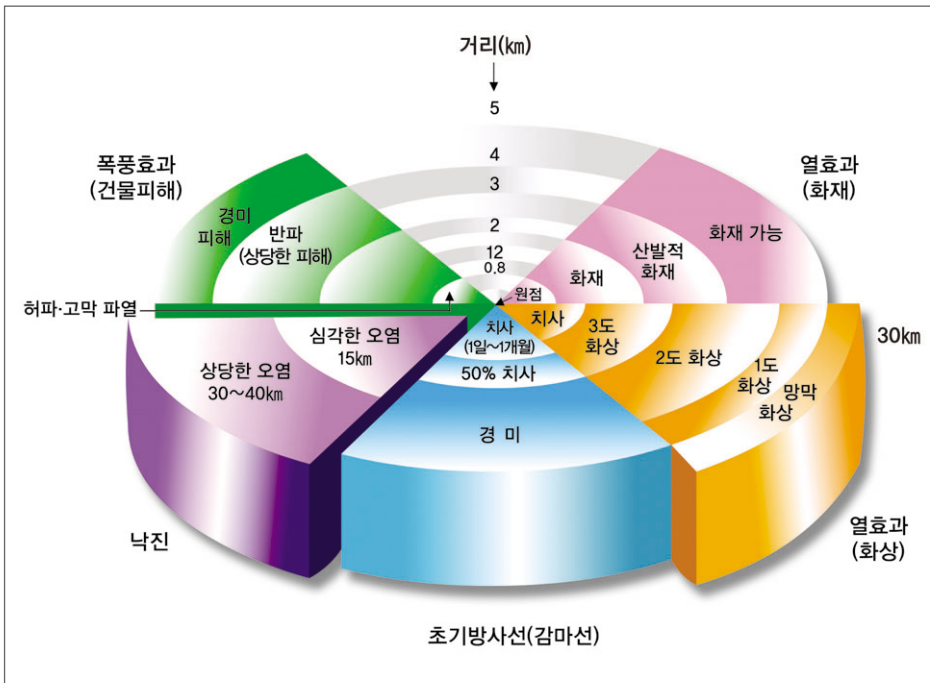
# 제1장 핵무기 및 원자력 이해



비, 미사일, 항공기 등을 무용지물로 만든다.

핵무기 피해는 이러한 효과가 복합되어 일어난다. 히로시마에 투하된 폭탄( $U^{235}$  15kt 위력)은 평탄한 시가지 중심의 약 580m 상공에서 폭발하였으며, 폭풍에 의한 건물 파괴와 열선에 의한 화재로 약 13km<sup>2</sup>의 시가지가 파괴되었다. 1945년 12월까지 약 13만 5,000명이 사망했는데 그중 약 20%가 폭풍에 의한 외상사(外傷死), 약 60%가 화상사(火傷死), 나머지 20%는 방사선에 의한 사망(원폭 투하 전 인구 25만 5,000명)이었다. 그러나 효과는 복합적으로 작용하였으며, 사망자의 절반 이상이 치사량의 방사선을 받았던 것으로 추정된다. 그러나 나가사키탄의 경우 도시 중심부를 벗어난 산 부분의 상공 약 500m에서 폭발한 까닭에 히로시마 원폭보다 위력이 컸음에도( $Pu^{239}$  22kt 위력) 약 19만 5,000명의 인구 중 6만 4,000명이 사망하는 등 피해는 적었다.

핵무기 효과는 핵탄의 폭발 높이에 따라 달라지는데, 지하폭발은 낙진이나 초기방사선 및 열이 거의 없다. 지표면 폭발 시에는 낙진 효과가 가장 크고, 공중폭발 시에는 낙진의 범위가 비교적 작은 폭풍, 열 및 초기방사선의 효과가 크게 나타난다. 20kt은 공중 300m, 10Mt은 공중 2,400m에서 폭발시키는 것이 최대효과를 낸다. 20kt 핵폭발의 피해 범위는 그림과 같다.



20kt 핵폭발의 피해 범위



## 핵무기 종류

핵무기란 원자핵의 분열반응 또는 융합반응으로 발생하는 방대한 에너지를 인명 살상 및 시설 파괴에 사용하는 무기의 총칭으로, 원자폭탄(A-bombs), 수소폭탄(H-bombs), 핵무기(nuclear weapons), 핵분열폭탄(fission bombs), 핵융합폭탄(fusion bombs), 열핵무기(thermonuclear weapons) 등으로 불린다.

핵무기는 파괴력을 발휘하는 에너지가 발생하는 핵반응의 종류에 따라 크게 핵분열 무기(예, 원자폭탄)와 핵융합 무기(예, 수소폭탄)로 분류할 수 있다.

원자폭탄(Atomic Bombs)은 최초 개발 시 원자의 반응에 의해 에너지가 발생된다는 이유로 과거 핵무기를 개발한 과학자들이 사용했던 용어다. 그것을 그대로 받아들여 통상적으로 핵분열 폭탄을 원자폭탄이라고 부른다. 수소폭탄(Hydrogen Bombs)은 핵반응에 사용되는 주요 물질이 수소 동위원소가 사용된 데서 유래된 것으로, 초기의 수소폭탄은 이중수소(Deuterium, H<sup>2</sup>)를 핵융합 연료로 사용하였다. 열핵무기라는 이름은 핵융합무기의 다른 이름으로, 핵융합을 발생시키기 위해 높은 열이 필요한 것에서 유래되었다.

원자폭탄은 위력이 다양하여 일반적으로 20kt(표준 원폭)을 기준으로 소형과 대형으로 나뉜다.

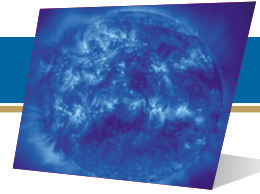
### ● 핵분열무기

핵분열무기는 에너지원으로 핵분열 반응을 사용하는 것으로, 수 개의 준임계질량(Sub-critical mass)의 핵분열물질(Pu, HEU)을 한 개의 초임계질량(Super-critical mass)으로 만듦으로써 작동된다. 최초의 원자폭탄 가젯(Gadget)은 1945년 7월 16일 실험명 '트리니티(Trinity)'로 실험이 실시되었고, 1945년 8월 6일과 9일에 리틀보이(Little boy)와 팻맨(Fatman)이 일본 히로시마와 나가사키에 각각 투하되었다. 핵분열무기는 폭발 전 준임계 상태의 유지와 고효율의 초임계 물질로 변환하는 것이 어려워 그 크기에는 한계가 있다. 현재까지 알려진 가장 큰 핵분열무기는 1952년 11월 15일 실험된 500kt 규모의 Mk-18 Super Oralloy Bomb이었다.

### ● 핵분열 · 융합 혼합무기

순수 핵분열무기를 제외하고 모든 핵무기는 파괴력을 증가시키기 위해 핵융합 반응을 사용한다.





핵융합은 핵분열로부터 발생된 에너지를 초기반응을 위한 에너지원으로 사용한다.

### ● 증폭 핵분열무기(Boosted Fission Weapons)

초기의 핵융합은 핵분열무기의 효율을 증가시킬 목적으로 개발되었다. 이러한 종류의 핵무기는 폭탄의 핵분열 물질 중심에 수십~수백g의 이중·삼중 수소를 채운 것이다. 초기의 핵분열로 핵융합을 야기할 수 있는 1억도 이상의 고온에 도달하면 핵융합이 시작되는데, 이때 부산물로 생성된 다량의 중성자가 주위의 핵분열 물질과 다시 더 많은 핵분열 반응을 유도하는 원리로, 순수 핵분열 무기보다 2배 정도 효율을 증가시킬 수 있다. 따라서 오늘날의 거의 모든 핵분열무기는 이러한 증폭 핵분열무기 형태로 생산된다. 이 무기의 또 다른 이점은 핵무기를 소형화할 수 있다는 것이다. 핵융합에 쓰이는 삼중수소는 생산에 많은 비용이 소요될 뿐 아니라 매년 약 5.5%가 붕괴되는 물질이지만 증폭에는 소량(수g)만이 필요하므로 전체적으로는 효율적인 방법이다.

### ● 다단계 방사능 내폭 핵무기(Staged Radiation Implosion Weapons)

핵분열 효과의 한계를 증진시키고, 값비싼 핵분열 물질의 양을 감소시키며, 폭탄의 크기를 줄이기 위하여 개발된 핵무기가 다단계 방사능 내폭 핵무기다. 이는 ‘Teller-Ulam’ 무기 또는 형태에 따라 핵분열·핵융합무기, 핵분열·핵융합·핵분열무기라고도 불린다. 2단계 폭탄의 경우 핵분열이 일어나는 부분(primary)과 핵융합이 발생하는 부분(secondary)이 분리되어 있는데, Primary로부터 발생한 X레이(X-ray)는 방사능 내폭으로 Secondary를 압축하고 중앙에 위치한 ‘spark plug’에 의해 핵융합이 시작된다. 핵분열 반응은 아래와 같이 두 가지로 효율을 증가시키는 데 사용된다.

- 핵융합에 필요한 에너지를 제공한다.
- 핵융합으로부터 발생한 고속중성자(fast neutron)가 secondary를 감싸고 있는 핵분열 물질과 반응하여 핵분열을 일어난다.

직접 핵융합에 의해서 발생한 에너지만을 이용한 무기를 핵분열·핵융합무기라 하고, 핵융합에서 발생한 중성자가 다음 단계의 핵분열에 사용된 무기를 핵분열·핵융합·핵분열무기라고 한다. 2단계 무기는 비교적 적은 방사능 낙진을 유발하여 ‘깨끗한 폭탄(clean bombs)’으로 불린다. 반면 3단계 무기는 많은 낙진을 발생시켜 다량의 방사능을 유발하여 ‘더러운 폭탄(dirty bombs)’으로 불리나 싼값으로 큰 폭발력을 얻을 수 있다. 최초의 3단계 무기 실험은 1956년 5월 27일 비키니 환초(Bikini Atoll)에서 3.5Mt의 규모로 실시되었다. 사상 가장 큰 핵실험은 소련의 3단계 무기인 차르봄바(Tsar Bomba·폭탄의 왕)로 약 50Mt 규모였으며, 1961년 10월 30일 노바야젬랴(Novaya





Zemlya)의 4,000m 상공에서 실시되었다. 다단계 폭탄은 그 위력을 이론적으로 얼마든지 크게 만들 수 있으며, 목적에 따라 대량의 방사능 낙진 유발 유무를 결정할 수 있다. 5대 핵보유국은 모두 다단계 무기 개발 기술을 보유한 것으로 판단된다.

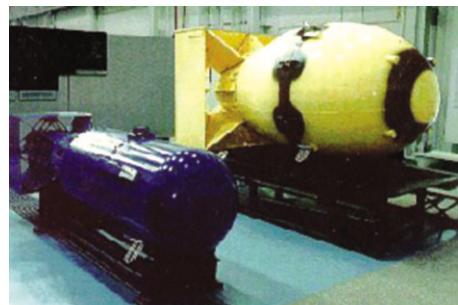
● 중성자탄(Neutron Bombs)

공식적으로 ‘증강된 방사능 핵탄두(Enhanced Radiation Warhead)’로 불리는 중성자탄은 핵융합에서 생성된 중성자가 무기 내부에서 흡수되지 않고 방출되도록 하는 작은 핵융합 무기다. 중성자는 다른 방사선에 비해 투과성이 좋아 방호장비로 보호된 인원의 살상에 사용된다. 미국은 중성자탄을 ICBM 격납고를 공격하는 소련의 핵무기를 도중에서 파괴할 목적으로 개발하였다. 중성자탄의 문제점은 그 효과가 직접 나타나지 않으며, 삼중수소 사용으로 비용이 비싸고 삼중수소의 연간 붕괴율이 5.5%에 달해 계속 보충이 필요하다는 점이다. 1kt 효율의 핵융합을 하기 위해서는 12.5g의 삼중수소와 5g의 이중수소가 필요하다. 미국은 3종류의 중성자탄을 생산하였으나 모두 폐기하였다. 중국·구소련·프랑스도 중성자탄을 개발하여 배치했던 것으로 알려져 있다.

● 코발트탄 및 기타 광물탄(Cobalt Bombs and other Salted Bombs)

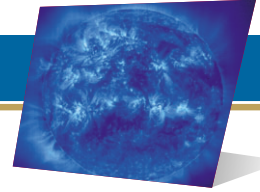
첨가탄은 3단계 폭탄의 원리를 응용한 것으로, 2단계 핵융합 시 생성된 중성자가 주위의 첨가물질(Cobalt-59, Gold-197, Tantalum-181, Zinc-64) 등과 반응하여 방사성 동위원소를 만들어 낙진의 효과를 증대시키는 무기다. 사용되는 첨가물질은 자연에 풍부하게 존재해야 하며, 또한 생성된 방사성 동위원소도 강한 감마선을 방출하는 원소여야 한다. 군사적으로 지역의 오염과 초기 노출 방사선을 증가시키기 위해 사용하는데 오염기간은 동위원소의 반감기에 따라 결정된다.

연구개발 단계에 있는 핵탄 종류로는 초플루토늄탄, 순핵융합핵탄, X선 레이저(스펙트럼탄) 등이 있다. 초플루토늄탄은 플루토늄보다 더 무거운 아메리슘(Am<sup>242</sup>)이나 큐륨(Cm<sup>245</sup>) 같은 인공 핵종을 이용하여 초소형으로 큰 위력을 낼 수 있는 핵분열탄이다. 순핵융합폭탄은 핵분열탄을 기폭제로 사용하지 않는 방법으로 핵융합을 달성하는 것이고, X선 레이저는 핵폭발 시 방출되는 다량의 X선을 집속시켜 원거리 목표물을 타격하는 방법이다.



리틀보이와 팻맨

# 제1장 핵무기 및 원자력 이해



## 전략·전술 핵무기 구분

전략핵무기(Strategic Nuclear Weapons)와 전술핵무기[Non-strategic(or Tactical) Nuclear Weapons]에 대한 명확한 정의는 없으나 사용목적, 투발수단, 위력 등에 의해 아래와 같이 구분된다.

구 분	전략핵무기	전술핵무기
사용목적	적국 전쟁지도부의 전쟁 의도 분쇄 목적으로 • 주요 산업시설, 발전시설, 교통시설, 통신시설 등의 파괴와 같은 전략적 임무 (strategic mission)에 사용. • 전술적 임무와 비교하여 즉각적인 효과보다는 장기적인 효과가 목표.	제한된 군사적 임무의 달성이나 부대의 기동성 보장 등을 위해 보통 제한된 전장(area of military operation)에서 사용. • 이러한 이유로 전장핵무기(battle field nuclear weapons)로 지칭.
투발수단 사정거리	냉전기간 중 미·소는 자국 영토에서 상대방 영토에 위치한 목표에 도달할 수 있는 장거리 미사일과 중폭격기에 탑재된 핵무기를 전략 핵무기로 분류. ※ 단 잠수함 탑재 단거리 핵무기(SLBM)는 해당 없음. • 잠수함에 탑재된 핵무기는 투발가능 거리는 짧지만 상대국 해안에 근접하여 사용하면 상대국 내 목표 타격 가능. • 또한 냉전 중에 유럽에 배치된 중·단거리 미사일도 구소련 중심부 목표 타격 가능.	단거리이지만 정확한 목표 타격을 위해 사용. • 이는 보통 위력이 작은 핵무기로, 전장에서 전구 내 목표 타격과 제한된 군사적 임무를 지원하기 위해 사용.
위 력	장거리 전략적 투발수단에 의해 운반되는 고위력(high yield). ※ 단 투발수단의 정확성 향상으로 과거 고위력 핵무기뿐만 가능했던 목표물 타격이 저위력의 핵무기로도 이를 수 있어 이에 의한 분류에도 문제가 있음.	전장에서 제한된 목적으로 사용되는 상대적으로 저위력.





## 핵실험의 필요성

핵실험은 주로 신형 핵탄두를 개발하였거나 기존 핵탄두를 개량하여 효율성이 증진된 시점에 실시한다. 때로는 핵탄두의 신뢰성 및 안전성 유지와 제고를 위해서도 실시한다. 핵탄두를 저장 또는 배치한 후에 미묘한 설계 결함이나 부품 결함이 발견되는 경우와 노후된 핵탄두의 성능을 확인하기 위해서도 핵실험을 실시한다. 핵탄두를 장기간 보관할 경우 고폭약 등 민감한 부품이나 재료의 부식·변질·변형 또는 파손이 생길 수 있고, 핵물질(특히 Pu)의 순도가 저하될 수 있기 때문이다.

이밖에 핵무기의 효과, 즉 핵무기가 미치는 제반 영향을 측정하거나 핵기술의 지속적인 유지 및 발전을 위해서 실시되기도 한다.

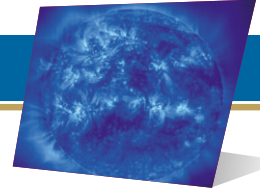
이같은 기술적 목적 이외에 정치적 목적을 달성하기 위해서도 핵실험이 이뤄진다. 1998년 5월 11일 인도의 핵실험에 뒤이어 같은 달 28일에 실시된 파키스탄의 핵실험이 그런 예이다.

핵무기 보유국들은 핵실험 실시 이유로 핵무기의 신뢰성과 안전성 유지를 내세우지만 일부 과학자들은 반드시 핵실험을 실시할 필요는 없으며, 컴퓨터 모의실험이나 기계적 시험으로도 가능하다고 주장한다(그러나 컴퓨터 모의실험을 위해서는 실제 핵실험 자료가 필요한 것도 사실이다).

‘핵무기 개발 시 핵실험이 반드시 필요한가’ 하는 문제에 대해 ‘핵실험은 절대적으로 필요한 것은 아니며, 핵실험 없이 실전에서 사용이 가능하다’는 게 중론이다. 히로시마탄 개발자들도 당시에 이를 확인하였으며, 현 기술 수준으로서는 더 높은 신뢰도를 가질 것으로 판단된다. 그러나 플루토늄탄은 동위원소의 불안정성과 고도의 정밀한 고폭장치가 요구되어 우라늄탄보다 핵실험의 필요성이 높다. 한편 핵실험을 대신하여 비핵물질을 사용하는 ‘hydro dynamic 실험’과 1kg 이하 위력의 ‘hydro nuclear 실험’으로도 핵실험 결과를 충분히 예측할 수 있다.



지하 핵실험 장면



핵실험은 실시된 장소에 따라 5가지로 구분되며, 그 영향도 상이하다

- 지표실험 : 폭심(爆心) 부근에 국부적인 오염 발생.
- 지하실험 : 깊은 지하에서 실험 시 오염 없음(지진파 발생).
- 공중실험 : 수십km 상공에서 실시하며, 성층권을 타고 방사능 이동.
- 대기권 외 실험 : 방사능 오염 없음(통신장에 발생).
- 수중실험 : 충격파 및 국지적 해일 발생.

※ 1945~1998년에 세계적으로 2,050회의 핵실험이 시행되었으며, 이중 지하핵실험이 74% 차지.

군비축소, 핵무기의 확산 억제, 환경보호 등을 목적으로 핵실험을 중지시키고자 하는 핵실험금지 관련 조약들이 시행 중이거나 준비 중이다. 지하핵실험을 제외한 대기권·외기권·수중에서의 핵실험을 금지하는 ‘부분핵실험금지조약’(PTBT, Partial Test Ban Treaty)이 1963년에 체결되었으며, 1996년에는 모든 장소에서 어떠한 형태의 핵실험도 금지하는 ‘포괄적 핵실험 금지조약’(CTBT, Comprehensive Test Ban Treaty)이 체결되었으나 아직 발효가 되지 않은 상태다. 한국은 2개 조약에 1964년과 1996년 각각 가입하였다.

### ● 준임계 핵실험(Subcritical Experiment)

핵무기를 직접 사용하던 과거 핵실험은 핵실험 모라토리엄과 CTBT로 인하여 현재 불가능한 실정이다. 이에 따라 이같은 제약을 극복하고 기존의 핵무기 성능을 확인하기 위한 수단으로 준임계 핵실험(Subcritical Experiment)이 개발되었다.

미국은 1997년 이후 11회의 준임계 핵실험을 네바다에서 실시하였는데, 1회 실험에 약 1,000만 달러가 소요되는 것으로 알려져 있다. 러시아도 수차례의 준임계 핵실험을 실시하여 왔다.

준임계 핵실험은 핵무기의 안전성과 신빙성을 조사하기 위하여 앞으로도 계속 실시될 것으로 판단된다. 미국의 경우 컴퓨터 시뮬레이션을 할 만한 자료를 충분히 확보한 후에는 중지할 가능성도 있다.



## 핵실험 검증

핵실험의 검증 단계는 탐지, 식별, 위력 측정으로 구분할 수 있다.

탐지는 어떤 일(핵폭발이든 지진이든)이 일어났다는 것을 알아내는 것이고, 식별은 그것이 지진인지 핵실험인지 구별하는 것이며, 측정은 위력을 판단하는 것이다.

핵실험 검증기술에는 지진과 탐지, 대기 중 방사성 핵종 탐지, 인공위성을 이용한 감지기(感知器)나 영상정보, 수중 음향 측정, 현장 사찰, 화학분석 방법이 있다. 대부분의 핵실험이 지하에서 이루어지므로 지진과 탐지에 의한 검증이 중요하고 다른 기술은 보완적 성격을 지닌다. 그러나 소규모 지하 핵실험의 경우 그 원인이 재래식 폭약에 의한 것과 구별이 안 되므로, 핵실험 시 발생하는 불활성 기체인 제논(Xe)과 크립톤(Kr)의 탐지 여부가 결정적 단서가 된다.

지진과 탐지는 약 3,800km 거리에서 0.25kt 위력의 핵실험을 탐지할 수 있고 1~2kt의 위력이면 어렵지 않게 그것이 핵실험인지를 식별할 수 있다. 위력 판단의 정확도는 통계적 오차와 위력 편차를 감안하여 대체로 인수 1.3~1.6배의 오차 범위에서 판단할 수 있는 것으로 알려진다.

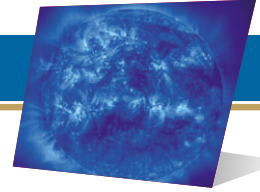
실제 지진과 핵실험으로 인한 지진과는 차이가 있다. 실제 지진과는 파장이 다소 불규칙하고 지속적이며, 주파수가 낮다. 그러나 핵실험 지진과는 단발적이며 높은 주파수의 파장이 발생한다. 따라서 지진과 핵폭발은 상이한 형태의 파장을 갖는다. 또 실제 지진은 핵실험보다 훨씬 깊은 곳에서 발생한다. 그러므로 일반적으로 지진과 지하 핵실험은 어렵지 않게 구별되며, 위력이 큰 핵실험일수록 식별이 용이하다.

지하 핵실험을 실시하는 국가는 핵실험 실시 사실 또는 위력을 숨기기 위해 아래와 같은 방법을 사용하곤 한다.

- 지진 발생과 동시에 실시.
- 지진과 유사한 파장이 생기도록 일련의 핵실험을 연속적으로 실시.
- 지하에 큰 공간, 즉 공동(Cavity)을 만들어 그 안에서 폭발.
- 산업용 목적의 대규모 일반 화약 폭발로 위장 시도.

위에 예시한 기만 방법 중 지하공동에서 실시하는 방법이 가장 효과적이다. 기만 효과는 토질에 따라 다르지만, 핵실험에 의한 지진파를 실제 위력의 10~14%까지 약화시킬 수 있다. 그러나 이 방





법의 문제점은 지하에 거대한 공간을 확보하기가 쉽지 않다는 것이다. 1kt 위력의 비밀 지하 핵폭발을 위해서는 직경 약 50m의 공동이 필요하고, 5kt 위력의 비밀 지하 핵실험을 위해서는 직경 86m 이상의 거대한 공동이 요구된다.

### ● 지하 핵실험 여부를 관찰하기 위한 제논 탐지 필요성

지하 핵실험의 결정적 단서는 핵실험 시 발생한 불활성 기체(Noble Gas)인 제논과 크립톤이다. 제논은 크립톤에 비해 방출량이 많고 비등점도 높아 검출 및 분석이 용이하여 핵실험 여부를 판단하는 중요한 방사능 물질로 꼽힌다.

제논은 핵실험 직후의 높은 압력으로 인한 암반의 균열 등을 통해 방출되며, 핵실험 후 지반 여건에 따라 서서히 지표로 방출된다.

핵실험 시 발생하는 제논의 종류에는  $Xe^{131m}$ (반감기 12일),  $Xe^{133}$ (반감기 5일),  $Xe^{133m}$ (반감기 2일),  $Xe^{135}$ (반감기 9시간)의 4가지가 있다. 이들 동위원소의 급격한 증가는 핵실험 실시를 의미하며, 구성 비율 분석을 통해 폭발력 판단도 가능하다.

탐지 소요시간은 핵실험 지점과 관측소 간의 거리에 따라 상이하다. 즉 핵실험 시 발생한 방사능 가스가 관측소에까지 이동하고, 이를 채취하고(통상 24시간) 분석하는 시간(24시간)이 소요된다. 따라서 핵실험 지점과 가까운 곳에서 샘플을 채취할수록 분석시간도 단축된다.

지하 핵실험 공간이 폭발력을 견딜 수 있을 만큼 깊고 견고하며, 지하 갱도를 완벽하게 되메울 수 있다면 핵실험 시 발생한 불활성 방사능 물질은 지하 핵폭발지점에서 유리화된 상태하에 고정되어 외부 누출은 거의 없다.

따라서 지하 핵실험이 재래식 폭약으로 할 수 있는 범위 이상(예, 20kt 이상)이면 지진과 탐지만으로도 핵실험 여부를 결론지을 수 있으나, 1kt 이하의 위력일 때에는 확인하는 다른 방법들이 동반되어야 한다. 이를 확인하는 가장 확실한 방법은 핵폭발 시 발생하는 방사능 물질을 탐지하는 것이다.



### 한국지진파관측소(KSRS : Korean Seismic Research Station) 현황

한국지진파관측소(KSRS)는 냉전시대인 1970년에 미국이 소련과 중국의 핵실험을 감시할 목적으로 설치·운영하였던 시설로, 동아시아 최대 규모다(19개 단주기 종파 지진계, 1개 광대역 지진계, 6개 장주기 지진계).

강원도 원주에 위치한 KSRS는 포괄적핵실험금지조약기구(CTBTO)의 50개 지진파관측소 중 하나이며, KSRS만으로 북한의 핵실험(인공지진) 여부를 확인할 수 있으나 핵실험 위치 파악은 곤란하다. 따라서 중국(2곳), 일본(1곳), 러시아 극동(2곳), 몽골(1곳) 등 동북아 주변국 자료를 종합하여야만 정확한 핵실험 위치를 분석할 수 있다.

CTBTO는 세계 321곳에 설치된 지진파감시관측소, 방사성핵종감시관측소, 수중음파감시관측소, 미세기압 진동감시관측소 등을 통해 핵실험 여부를 감시하고 있다.

획득한 자료는 실시간으로 CTBTO로 보내며, CTBTO는 전 세계 관측망 자료를 종합하고 핵실험 여부와 위치 분석 등을 최종 판단하여 그 결과를 전파한다.

우리나라는 1995년부터 미국과 KSRS 운용권에 대한 협상을 시작하였으며, 수차례의 협의를 거쳐 2006년 12월 27일부로 5년 이하의 기간 동안 공동사용하기로 협정을 체결하였다. KSRS 공동 사용기간 만료 시에는 우리가 독자적으로 운용할 예정이다. 지난 2006년 11월 7일 CTBTO로부터 국제감시체제 인증서를 정식으로 교부받고, 국제 핵실험 감시에 기여하고 있다.



● 제2장 ●

## 핵무기 군축 및 비확산 활동



### 핵비확산 추진

● 핵비확산의 정의

핵은 평화적인 목적과 군사적인 목적으로 모두 이용될 수 있다. 양쪽의 기술은 서로 공유될 수 있기 때문에 양면성이 존재한다. 평화적인 목적의 핵기술이라도 사용자의 의도에 따라 군사적으로 전용될 수 있다. 이는 다른 과학기술도 마찬가지이지만 핵의 경우 대량살상무기(WMD)로의 전환 가능성으로 인해 심각성이 더 크다.

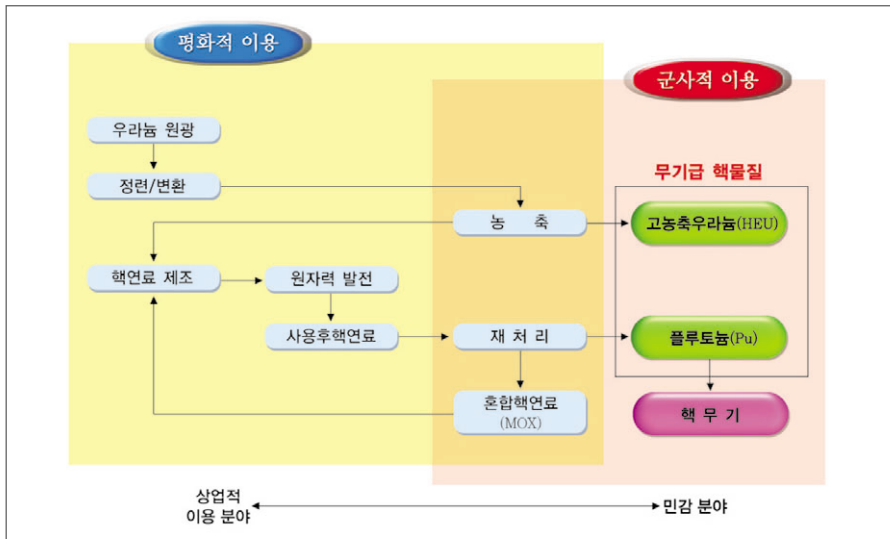
이러한 핵의 양면성으로 인해 핵이 군사적 목적으로 전용되는 것을 방지하는 체계적 장치가 필요하게 되어 핵무기 확산을 방지하자는 개념인 ‘핵비확산’이 등장하였다.

핵무기 확산은 크게 수평적 확산(horizontal proliferation)과 수직적 확산(vertical proliferation)으로 구분할 수 있다. 수평적 확산이란 핵무기 보유국가의 수가 늘어남을 의미한다. 5개 핵무기 보유국을 제외한 국가의 핵무기 개발 및 보유는 수평적 확산에 해당한다. 수직적 확산이란 핵무기 보유국이 핵무기의 수를 증가시키거나 핵무기의 성능을 향상시키는 것을 의미한다. 이는 핵무기 보유국에 해당되는 사안이다.

핵비확산 체제의 중심이 되고 있는 핵확산금지조약(NPT)은 1967년 1월 1일 이전에 핵무기를 보유한 국가인 미국, 러시아, 영국, 프랑스, 중국을 핵무기 보유국으로 인정하고 있다. 따라서 이들 국가는 핵무기를 공식적으로 보유할 수 있으나, 나머지 국가들은 핵무기 개발이 금지되어 있다. 핵비확산은 핵무기의 수를 줄여 가는 군축(arms reduction)과 구별되는 개념이며, 방지 차원은 물론 제재 차원으로까지 개념을 확대한 대확산(counter proliferation)과도 구별된다.



### 핵의 양면성



#### ● 핵비확산의 수단

핵비확산의 수단은 수평적 확산 방지 수단과 수직적 확산 방지 수단으로 구분된다. 수평적 확산 방지 수단에는 안전조치(safeguard), 수출통제(export control), 핵물질의 물리적 방호(physical protection) 등이 있다. 그리고 수직적 확산 방지 수단으로는 핵실험 금지, 무기용 핵물질 생산금지(FMCT) 등이 있다.

안전조치는 평화적 핵활동이 군사적으로 전용되는 것을 막기 위해 해당 국가의 평화적 이용과 관련된 국제협정이 준수되도록 국가가 지고 있는 정치적 의무를 다하고 있는가를 확인하는 기술적 수단이다. 국제원자력기구(IAEA)가 행하는 핵물질 개량, 격납 및 감시, 사찰 활동이 이에 해당된다. 그러나 핵무기 보유 5개국에 벌이는 군사적 목적의 활동은 그 대상에서 제외된다.

수출통제는 핵개발에 사용 가능한 품목의 이동을 방지할 목적으로 이뤄진다. 핵개발을 시도하는 국가가 핵물질, 장비, 부품, 기술 등을 구입하지 못하도록 통제하는 것이다. 이를 위해 국제적인 통제지침과 수출통제 목록이 설정되어 있다. 이러한 수출통제 체제로는 쟁거위원회(ZC)와 원자력 공급국 그룹(NSG)이 있다.

핵물질의 물리적 방호는 핵물질의 불법적인 도난·분실과 핵시설의 파괴행위 등을 사전에 방지하고, 이와 같은 사안이 발생할 경우 신속하고 총체적인 대응조치를 강구하는 일련의 행위다. 최근



국가간의 핵물질 및 기술 교류가 증대하면서 핵물질과 기술의 불법적 도난이 핵확산 방지 차원에서 중요한 과제로 인식되고 있다.

핵물질의 물리적 방호에 관한 지침은 IAEA 권고사항(INFCIRC/225)에 포함되어 있으며, 2004년 4월에 채택된 UN 안보리 결의 1540은 핵물질을 비롯한 대량살상무기(WMD)가 테러단체로 넘어가는 것을 방지하기 위한 조치들을 강화하도록 요구하고 있다.

### UN안보리결의 1540 5항

대량살상무기 관련 물자의 생산·사용·저장·수송을 책임지고 통제할 수 있는 적절한 수단과 효과적·물리적인 방호수단 강구.

### ● 국제 핵비확산 체제

핵비확산 체제(Nuclear Non-Proliferation Regime)는 핵의 군사적 전용을 방지하고 핵무기 보유국의 핵무기 개선 및 성능 검사를 위한 핵실험 금지를 포함하여 일련의 행위를 법적으로 보장하는 국제 조약·제도·협정 등을 통합적으로 나타내는 말이다. 핵비확산 체제는 크게 세계 각국이 참여하는 다자간 체제(multilateral), 지역 내 국가와 관련 국가가 참여하는 지역 체제(regional), 2개 국가만 참가하는 양자간 체제(bilateral), 특정 국가의 대외정책(unilateral)으로 분류할 수 있다.

먼저 지역·다자간 체제는 특정 지역의 국가들이나 세계의 모든 국가가 참가할 수 있는 체제로서 당사국들의 의무 이행 사항인 핵무기의 제조, 실험, 반입, 배치금지 등의 규정을 포함하고 있다. 더불어 수출통제나 물리적 방호 같은 해당 체제의 이행지침도 규정하고 있다.

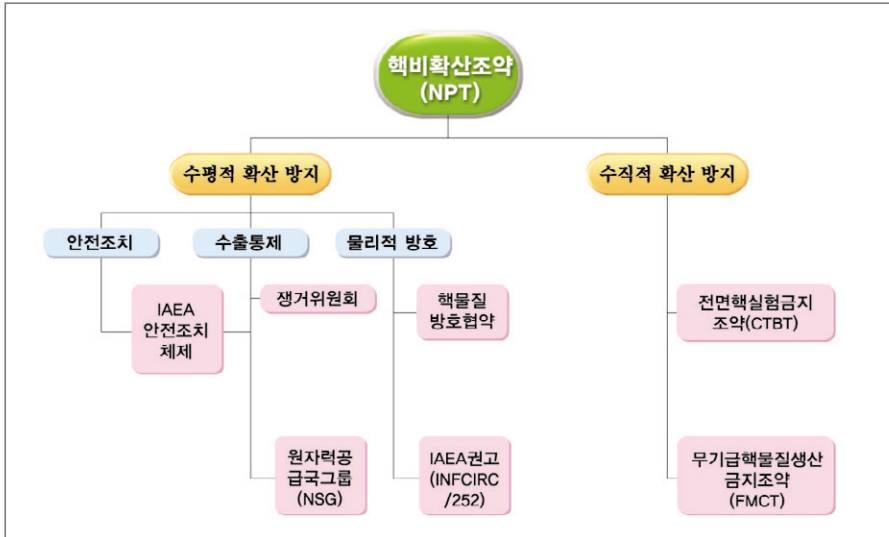
현존하는 다자간 체제로는 핵확산금지조약(NPT), 부분적핵실험금지조약(PTBT), 포괄적 핵실험금지조약(CTBT), 외기권조약(Outer Space Treaty), 심해저조약(Sea-Bed Treaty), 핵물질방호협약(Physical Protection Convention), 쟁거위원회(ZC), 원자력 공급국그룹(NSG), 바세나르협약(Wassenaar Arrangement) 등이 있다. 일정 지역 내의 핵비확산을 목적으로 하는 체제로는 중남미 핵무기금지조약(Tlateloco), 남태평양비핵지대조약(Rarotonga), 아프리카비핵지대조약(Pelindaba), 동남아시아비핵지대조약(Bangkok)이 있다.

그러나 지역·다자간 핵비확산 체제는 NPT를 비롯한 핵확산금지 체제에 주요 잠재 핵보유국들(인도, 파키스탄, 이스라엘 등)이 가입하지 않고 있는 점, IAEA 사찰을 비롯한 국제 검증체제의 한계성, NSG와 ZC 등 수출통제 체제의 제한성 등이 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점은





### 국제 핵비확산 체제



특히 소련 붕괴 후 독립국가연합의 핵무기 통제 및 수출통제의 약화, IAEA 감시하에 있음에도 불구하고 일부 국가가 핵개발을 추진했던 사실 등으로 더욱 뚜렷이 나타나고 있다.

그럼에도 불구하고 NPT를 중심으로 한 국제 핵비확산 체제는 국제 핵확산 방지에 크게 기여해 온 것이 사실이며, 핵확산 방지 체제를 더욱 강화시키기 위해 다음과 같은 보완작업을 지속적으로 추진해 오고 있다.

- 다각적인 비확산 체제 구축: 포괄적 핵실험금지 조약(CTBT)과 무기용 핵물질생산금지 조약(FMCT) 발효 등.
- 다국간 수출통제 체제 강화: NSG, MTCR, Wassenaar 체제 활동 강화 등.
- 지역 핵비확산 체제 추진: 비핵지대 설립 등 지역협정 체결.
- IAEA 안전조치 강화: 특별사찰 및 핵활동 신고체제 강화, 추가의정서 체결 확산 등.





### 핵확산금지조약 (NPT)

핵확산금지조약(NPT: Nuclear Non-Proliferation Treaty)은 범세계적 핵확산금지체제의 핵심적 국제협정으로서 1970년 3월에 발효되었다. NPT의 목적은 ① 핵무기의 수평적 확산(새로운 핵무기 보유국의 등장) 방지로 세계 평화에 기여 ② 핵무기의 수직적 확산(기존 핵무기 보유국에 의한 핵무기의 질적·양적 증가)을 방지하고 핵군축 및 핵무기 없는 세계 구현 ③ 원자력의 평화적 이용 증진이다.



NPT는 2006년 12월 현재 189개국이 가입되어 있으나 1998년 5월 핵실험을 실시한 인도·파키스탄과 사실상 핵무기 보유국으로 간주되고 있는 이스라엘 등이 아직 미가입 국가로 남아 있다. 북한은 2003년 1월 10일 탈퇴를 선언하였으나 절차상의 문제로 탈퇴 여부에 대한 논란이 일고 있다.

NPT의 문제점은 첫째, 핵무기 비보유국은 핵무기 제조나 보유의 포기는 물론 IAEA 사찰 의무가 있으나, 핵무기

#### NPT 주요 내용

- 핵무기 비보유국의 핵확산 금지 의무(제1·2조)
  - 핵무기 보유국과 핵무기 비보유국 간에 핵무기, 핵폭발장치, 핵물질의 양도 혹은 인수 금지
  - 핵무기 비보유국의 핵폭발장치 제조 금지
- 핵무기 비보유국의 사찰 의무(제3조)
  - 핵무기 비보유국은 원자력의 군사적 이용 포기, IAEA와 안전조치협정 체결 및 사찰 실시
- 핵무기 보유국의 평화적 핵 이용 및 핵폭발의 평화적 이용혜택 제공 의무(제4·5조)
- 핵무기 보유국의 핵 군비경쟁 중지 및 핵군축 노력 의무(제6조)
- 핵무기 비보유국의 비핵지대 결성 권리 인정(제7조)
- 탈퇴 및 유효기간(제10조)
  - 자국의 중대한 이익이 침해받을 경우 탈퇴 3개월 전에 사전 통고(유엔안보리, 모든 가입국)



보유국의 군축 의무는 강제조항이 아니며 IAEA 사찰 의무도 없는 ‘불평등한 조약’이라는 점이 다. 둘째는 핵무기 보유국 간의 경쟁이 심화돼 미국과 중국이 포괄적 핵실험 금지 거부 등 핵개발 의지를 포기하지 않고 있다는 점이다. 셋째는 핵무기 비보유국 간의 불신 및 대립으로 핵개발이 확산되고 있다는 사실이다(예:인도·파키스탄). 넷째는 핵무기 비보유국에 대한 안전보장이 미비하여 핵무기 비보유국의 불만이 고조되고 있다는 점이며, 다섯째는 IAEA 핵사찰의 한계성으로 인한 핵확산 감시의 불충분성 등이 지적되고 있다.

NPT는 5년마다 평가회의를 개최하며, 평가회의 이전에 3회의 준비회의를 갖는다. 1995년 평가회의에서 조약의 무기한 연장이 결정된 바 있다. 평가회의 시 주요 논의 사항은 핵군축, 핵비확산, 소극적 안전보장, 안전조치, 비핵지대 등이다.



### 핵무기 비보유국의 안전보장 (PSA, NSA)

핵무기 비보유국이 핵무기 보유국의 핵무기 사용 또는 사용 위협으로부터 자국의 안보를 보장받는 문제는 NPT 체결을 위한 교섭 과정에서 제기되어 활발히 논의되었다. 이에 따라 핵무기 보유국은 NPT 조약이 핵무기 비보유국의 핵무기 보유금지 의무를 규정하고 있는 것을 고려하여 UN 안보리 결의를 통해 핵무기 비보유국의 안전을 보장하기로 하였다. 이것이 적극적 안전보장 (PSA : Positive Security Assurance)이다.

PSA는 “핵무기 비보유국이 핵무기 보유국으로부터 핵공격 또는 핵위협을 받을 시 UN이 개입해서 보호해 주겠다”는 약속을 말하며, 1968년 6월 19일 UN 안보리 결의안 제255호로 결의되었다. 요지는 다음과 같다.

- 핵무기 비보유국에 대해 핵무기 사용 또는 위협을 할 경우 UN 안보리(특히 핵무기 보유국)는 즉각 대응해야 한다.
- 핵무기 사용이나 위협의 대상이 된 NPT 가입 국가에 대해서는 즉시 지원해야 한다.
- 공격받은 국가는 집단적·개별적 자위권을 보유한다.

그러나 PSA는 UN 안보리 상임이사국이 모두 핵무기 보유국임을 감안할 때 보장이 불확실하고 내용도 막연하여 핵무기 비보유국으로부터 호응을 얻지 못하고 있다.

따라서 핵무기 비보유국들은 더욱 확실한 개별적 핵안전 보장을 요구하였다. 이에 따라 1978년 UN 군축특별총회에서 5대 핵무기 보유국은 개별적인 선언 형식으로 ‘핵무기 비보유국에 대한 핵무기 불사용’을 약속하였다. 이를 소극적 안전보장(NSA : Negative Security Assurance)이라고 부른다.

핵무기 비보유국에 대한 NSA 제공의 전제조건은 다음과 같다.

- 핵무기 불소유(Non-Possession of nuclear weapons)
- 핵무기 비배치(Non-Stationing of nuclear weapons)
- 핵약정에의 불참가(Non-Participation in nuclear arrangement)
- 핵공격 불가담(Non-Participation)





이러한 개별적 NSA의 실례로는 1994년 1월에 이뤄진 미국과 러시아의 우크라이나에 대한 핵무기 불사용 보장이 있다. 주요 내용은 다음과 같다.

우크라이나에 대한 NSA 협정 요지

- 3국 대통령(클린턴, 엘친, 크라프츠크)은 우크라이나로부터의 핵탄두 이전과 이를 원자로용 핵연료 형태로 보상토록 하는 동시 조치에 합의.
- START-1이 발효되고 우크라이나가 NPT상 핵무기 비보유국이 된다면 미국과 러시아는 △ 유럽 안보협력회의(CSCE) 최종 합의 원칙에 따라 주권 및 국경선을 존중하고, 무력을 행사하거나 위협하지 않으며 △ 경제적 압력을 행사하지 않고 △ 미·러는 우크라이나가 핵공격이나 위협을 받을 경우 즉각적인 UN 안보리 조치를 추진할 책임을 지며 △ 우크라이나에 대한 핵무기 불사용을 보장할 것을 재확인함.
- 영국도 동일한 안전보장 제공을 약속.

그러나 핵무기 비보유국들은 NSA도 선언 형식에 불과하여 보장 여부가 명확하지 않으므로 법적 구속력이 있는 국제협약 채택을 요구하고 있는 반면 핵무기 보유국들은 1978년의 NSA 선언으로 충분하다고 주장하고 있다.

이 문제는 1978년 UN 군축특별총회 이후 UN 총회와 제네바의 UN 군축회의에서 매년 활발히 논의되어 왔다. 그러나 최근 군축 협상에서 핵무기 비보유국을 대상으로 여러 방안이 모색되고 있지만 아직 뚜렷한 결론을 내놓지 못하고 있다.



UN 대회의장





### 핵실험 금지조약

핵실험 관련 금지조약에는 국제조약인 PTBT가 있으며 미·소간에 TTBT와 PNET가 체결되어 있다. CTBT는 1996년에 채택되었으나 현재 발효되지는 않고 있다.

PTBT(Partial Test Ban Treaty: 부분핵실험금지조약)는 LTBT(Limited Test Ban Treaty: 부분적 핵실험금지 조약)라고도 한다. 핵강국의 핵무기 경쟁을 억제하고 빈번한 핵실험으로 인한 지구의 방사성 오염을 방지하기 위해 만든 최초의 핵무기와 관련된 국제조약으로, 방사성 낙진의 염려가 없는 지하 핵실험은 포함되지 않았다. PTBT는 1963년에 발효되었으며, 전문과 5개 조항으로 되어 있다. 내용은 ①대기권·우주·수중에서의 핵실험을 금지하고 ②당사국 영토 밖으로 방사성 낙진을 유발할 수 있는 어떠한 종류의 핵실험도 금지하는 것이다.

(원명: Treaty Banning Nuclear Weapon Tests in the Atmosphere, in Outer Space and Under Water: 대기권·우주·수중에서의 핵무기실험 금지조약)

PTBT의 유효기간은 무기한이고 사찰 조항은 없다. 이 조약은 실질적으로 핵무기 비보유국이 핵무기 보유국으로 진입하려는 것을 제한하려는 의도가 있어 프랑스와 중국의 비난을 받았다. 왜냐하면 지하 실험보다 대기권 실험이 용이하므로 핵개발 초기 단계에는 대기권 실험의 필요성이 크기 때문이다. 주요 가입국은 미국·영국·인도·이스라엘·아르헨티나·브라질 등 131개국이며 주요 미가입국으로는 중국·쿠바·프랑스·북한이 있다. 우리나라는 1964년 7월 24일에 가입하였다.

TTBT(Threshold Test Ban Treaty: 지하핵실험제한조약, 원명: Treaty on Limitation of Underground Nuclear Weapon Tests)는 1974년 미·소간에 체결된 지하 핵실험 제한협정으로 150 kt 이상 위력의 지하 핵실험을 금지하고, 핵실험 장소도 특정지역으로 제한하고 있다. 평화적 목적의 지하 핵실험에 대해서는 별도의 조약을 체결하기로 합의하였다. 이것이 PNET다. 양국은 각자의 검증수단을 이용할 수 있도록 규정하고 있다.

1976년에 체결된 PNET(Peaceful Nuclear Explosions Treaty: 평화적 지하 핵폭발에 관한 조약, 원명: Treaty on Underground Nuclear Explosions for Peaceful Purposes)는 지정된 핵실험 장소 이외의 장소에서 지하 핵폭발 실험을 할 수 있도록 허용하고 있다. 평화적 목적이어야 함을 전제로 하고 있는 이 협정은 폭발 사이의 간격이 5초 이하인 연쇄폭발일 경우 합계폭발의 강도가 150kt을 넘지 않도록 규정하고 있다. TTBT와 PNET는 1990년 미국과 구소련이 비준하였다.



CTBT(Comprehensive Test Ban Treaty)는 전면 핵실험금지조약 또는 포괄적핵실험금지조약이라고도 한다. CTBT 추진 경과를 보면 우선 지구의 방사성 오염 방지와 수직적·수평적 핵확산 방지를 위해 1970년 이후 UN 제1위원회(정치·안보 분야)가 CTBT 권고결의안을 수차례 채택하였다. 그러나 핵무기 보유국들의 비협조로 진전을 보지 못하였다. 그러다가 냉전 종식 후 CTBT 체결의 필요성이 확산되자 1993년 8월에 제네바 군축회의(CD)는 1994년 1월부터 CTBT 체결 협상을 공식 개시하기로 합의하였다. 이에 따라 1994년 1월, 5월, 7월 3차례 회의를 통하여 조약안, 검증이행기구, 검증방안 등을 협의하였다. 이후 1996년 9월 UN 총회에서 조약안이 최종 채택되었다.



수중폭발

핵실험 제한 범위에 대해서는 지하·수중·대기·우주 등 모든 지역에서 평화적 목적의 핵실험을 포함한 전면적인 핵실험금지를 포함하고 있다. 평화적 목적의 핵실험 가능 여부는 조약 발효 후(현재 미발효) 10년이 지난 시점에서 개최되는 평가회의 시 재검토하기로 합의된 상태다.

CTBT 발효를 위한 협상시한은 무기한이며 조약 이행을 관장할 기구(CTBTO)를 편성하여 운용 중에 있다. 핵실험 탐지를 위해서는 전 세계적으로 지진파 관측소(주: 50곳, 보조: 120곳), 방사성 핵종 관측소(80곳), 수중음파 관측소(11곳), 초저음파 관측소(60곳)를 운영하고 있다.



### 포괄적핵실험금지조약기구 (CTBTO: Comprehensive Test Ban Treaty Organization) 구성 및 역할

포괄적핵실험금지조약(CTBT)은 1996년 9월 UN 총회의 결의로 각국의 서명을 위하여 개방되었다. 이 조약의 이행 준비를 위하여 1997년부터 준비위원회(Preparatory Commission)가 오스트리아의 빈에서 운영되고 있다. 또한 준비위원회 준비 업무 중 가장 중요한 핵실험 국제검증체제 구축을 위하여 산하에 임시기술사무국(PTS: Provisional Technical Secretariat)을 두고 있다.

CTBTO는 CTBT의 이행상태 점검을 위해 국제감시체제(IMS), 국제자료센터(IDC), 지구통신인프라(GCI), 현장사찰(OSI)의 검증 체제를 구축하고 있으며 조약발효 시를 대비하고 있다.

CTBTO의 비준국은 2006년 12월 현재 137개국이다.

핵무기 보유국 중 1998년 4월 영국과 프랑스, 2000년 6월 러시아가 각각 비준하였으며 미국과 중국은 미비준 상태에 있다.

조약의 발효를 위해서는 원자력 운용 능력이 있는 44개국의 비준이 필요한데, 현재 비준국은 34개국이다.

#### CTBTO PrepCom

- PrepCom 회의  
매년 2회 개최하며 조약발효 이전 단계의 최고 의사결정 기관.  
(사업예산 승인, 사무총장 선출 등)
- 2개 실무작업반 회의  
예산 행정(Working Group A)과 검증 작업반(Working Group B) 회의를  
PrepCom 전후에 매년 2회 및 3회 개최.
- 자문그룹(Advisory Group)  
예산·재정 문제에 대한 자문을 위해 우리나라를 포함해 각국 1명의 전문가 11명으로  
구성된 자문그룹 설치·운영 중.(매년 3차례 회의 개최)
- 임시기술사무국(PTS)  
사무총장: Tibor Toth(국적 헝가리, 임기 2005년 8월~2009년 7월)  
직 원: 현재 270여명(70여개국)



CTBTO 회의 장면

CTBTO 사업예산은 UN 분담금 비율에 따라 서명국들이 분담한다. 예산편성은 1년 단위로 이루어지며, 2005년 예산은 5,104만 달러였다.

우리나라는 1996년 CTBT에 서명하였고, 1999년 9월에 비준하였다. 우리나라의 CTBTO 분담금은 2005년에 분담금 비율 1.8%인 89만여 달러였다.

1999년 1월부터 6월까지 반기문 당시 오스트리아 대사가 준비위원회(PrepCom)의 의장직을 수행하였다.

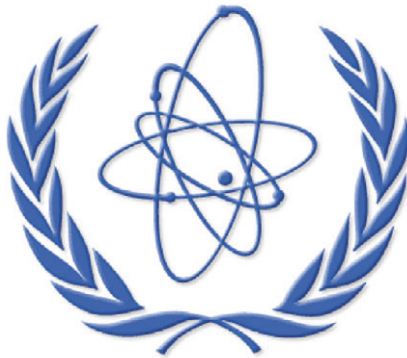
현 Tibor Toth 사무총장이 2006년 11월에 방한하여 우리나라와 CTBTO 간 협력강화 방안을 논의하고, 한국지진파관측소(KSRS)의 국제감시체제 인증서를 전달한 바 있다.



### 국제원자력기구(IAEA) 구성 및 역할

#### ● 설립 연혁

원자력의 평화적 이용 증진 및 핵물질의 군사적 전용 방지를 주관하고 있는 국제원자력기구(IAEA)의 설립은 아이젠하워 미국 대통령이 제8차 UN 총회 연설(1953년 12월 8일)에서 ‘Atoms for Peace’를 제창함으로써 본격화되었다.



IAEA 심벌/조형물

1956년 제11차 UN 총회는 IAEA 헌장 작성 실무회의가 준비한 초안을 만장일치로 채택하였다. 이어 미국, 영국, 프랑스, 소련, 캐나다를 포함한 26개국이 비준서를 기탁함으로써 IAEA 헌장은 1957년 7월에 발효되었다. IAEA의 제1차 총회(General Conference)는 1957년 오스트리아 빈에서 개최되었다.

2006년 12월 현재 IAEA 회원국은 143개국이다. 한국은 1957년에 가입하였으며, 북한은 1974년 가입 후 1994년 IAEA 이사회의 대북 제재 결의 채택을 이유로 탈퇴한 상태다.

#### ● 목적 및 기능

IAEA는 원자력의 평화적 이용을 촉진하는 한편 원자력이 군사적 목적으로 전용되지 않도록 억제하는 기능을 수행하고 있다. IAEA는 원자력 기술 이전 등 국제 협력을 적극 추진하고 있으며, 특히 원자력의 군사적 전용을 방지하기 위해 안전조치체제(Safeguards System)를 갖추고 있다.





IAEA는 매년 UN 총회에 활동보고서를 제출하고 있으며, 특히 국제 평화와 안보에 관한 문제가 발생하였을 때에는 UN 안보리에도 관련 내용을 보고하고 있다.

IAEA 회장은 본문 23개조와 부속서로 구성되어 있으며 IAEA의 목적, 기능, 회원국, 조직 및 사업수행 등에 관한 사항을 규정하고 있다.

● 구성 및 조직

IAEA 회원국 정부의 대표로 구성되는 총회(General Conference)는 통상적으로 매년 9월 하순에 빈에서 개최된다. 이사회의 요청이나 회원국 과반수의 요청이 있을 때는 특별 총회(Special Conference)가 개최된다. 총회의 주요 기능은 이사국 선출, 사무총장 임명, 예산 승인, 연례보고서 심의 등이다.

이사회(Board of Governors)는 현재 35개 이사국(지명이사국 13개, 지역이사국 20개, 윤번이사국 2개)으로 구성되어 있다. 이사회는 분기별(3월, 6월, 9월, 12월)로 회의를 개최하여 IAEA의 실질적인 정책을 결정한다. 우리나라는 2003~2005년 윤번이사국으로 활동하였다.

사무국(Secretariat)은 사무총장(임기 4년) 산하에 기술협력부, 원자력 에너지부, 원자력 안전 및 방호부, 행정부, 원자력 과학 응용부, 안전조치부의 6개 부서로 구성되어 있으며 사무차장(Deputy Director General)이 각 부서를 관장하고 있다.



IAEA 개최 사진



### 안전조치협정 (Safeguards Agreement)

안전조치협정(SA : Safeguards Agreement)은 핵물질의 군사적 전용을 방지하기 위한 안전조치를 수행하고자 IAEA와 당사국 간에 체결하는 협정으로, 부분안전조치협정과 전면안전조치협정이 있다.

#### ● 부분안전조치협정(INFCIRC/66)

부분안전조치협정은 특정 시설이나 공정만을 대상으로 체결되며 NPT 발효(1970년) 이전인 IAEA 창설(1957년) 때부터 실시되어 온 안전조치의 유용한 수단이다.

북한의 연구용 원자로(IRT-2000)는 부분안전조치협정에 의거하여 북한이 NPT에 가입(1985년)하기 이전인 1977년부터 정기적으로 IAEA의 사찰을 받았다.

#### ● 전면안전조치협정(INFCIRC/153) : Full-scope Safeguard Agreement(FSA)

전면안전조치협정(FSA)은 NPT 발효와 더불어 도입되어 NPT 3조(핵물질의 군사적 전용 방지)를 보장하기 위하여 체결된다. 부분안전조치협정이 특정시설이나 공정에만 국한되어 적용되는 것과 달리 국가 전체의 모든 핵연료주기를 대상으로 적용된다.

이 두 협정은 안전조치를 수행한다는 기능 면에서는 동일하지만 안전조치협정(SA)이라고 하면 일반적으로 FSA를 뜻한다.

#### ● IAEA 사찰 거부 시 제재조치

사찰 결과 안전조치 협정 불이행(Non-compliance)이 확인될 경우 IAEA 사무총장은 이사회에 이를 보고하고, 이사회는 제재 여부에 대한 결의안을 채택하며, UN 안보리 및 총회와 모든 IAEA 가입국에 보고한다(법적 근거: IAEA 헌장 제12조 C항, IAEA-UN 간 관계협정 제3조 2항).

UN 안보리 결의는 안보리 상임이사국 5개국을 포함한 9개국 이상 찬성(회원국 15개국)으로 채택되고, 이에 근거하여 경제적 · 외교적 · 군사적 방법을 통한 제재를 취할 수 있다(UN헌장 제7장 39조, 41조, 42조). 제재 실행은 안보리 이사국으로 구성되는 제재위원회를 구성하여 추진된다.

IAEA 사찰 시 발생 가능한 분쟁의 유형은 ① 행정 및 절차상의 문제가 발생할 경우와 ② 사찰 결



과 핵물질 전용 여부에 대한 검증이 불가능한 상황이 발생할 경우 두 가지이며, 후자가 심각한 경우다.

이러한 분쟁 발생 시 IAEA가 자체적으로 취할 수 있는 제재조치로는 IAEA 회원자격 정지(IAEA 헌장 제19조), IAEA의 모든 지원 중단, IAEA에서 제공하고 지원한 모든 물질과 장비의 반환 요구 등이 있다(IAEA 헌장 제12조).

### ● IAEA 및 NPT 탈퇴 시 사찰 의무

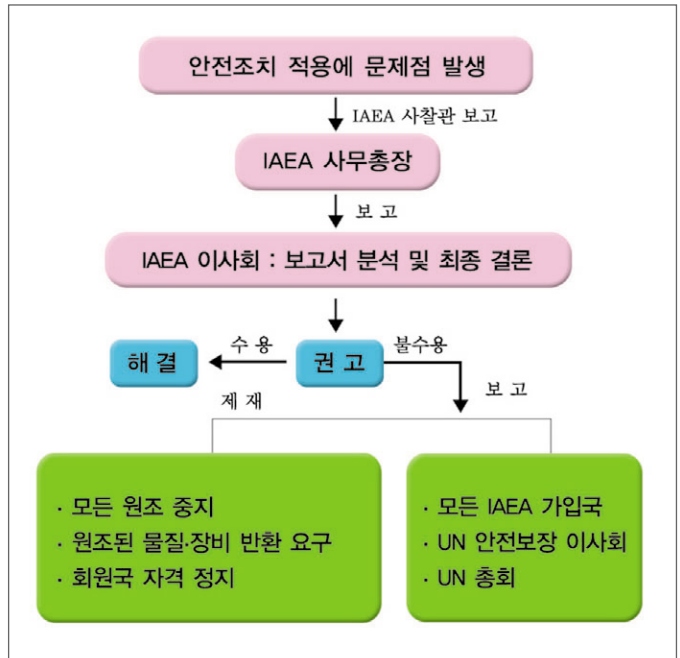
IAEA 탈퇴 절차(IAEA 헌장 제18조)는 IAEA 가입 비준서 수탁국인 미국에 탈퇴 의사를 서면으로 통보하고 IAEA 사무국에서 탈퇴 의사를 확인함으로써 탈퇴 효력이 발생한다. 그러나 IAEA와 당사국 간에 체결된 안전조치협정은 당사국이 NPT 회원국으로 남아 있는 한 협정이 유효하다고 규정하고 있다(안전조치협정 제26조).

그러므로 IAEA를 탈퇴하더라도 NPT 회원국으로 남아 있는 한 안전조치협정에 따라 IAEA 사찰을 받을 의무가 있고, IAEA에 핵활동을 보고해야 한다. IAEA는 당사국이 안전조치협정 위반 시 제재조치를 취할 수 있다.

NPT를 탈퇴하면 안전조치협정도 자동적으로 파기되므로(안전조치협정 제26조) IAEA의 사찰을 받을 의무가 없게 된다. NPT 탈퇴에 대한 법적인 제재조치는 없다. 그러나 NPT 탈퇴가 세계평화에 대한 위협이 될 것으로 판단되면 UN 안보리 결의에 의해 제재를 취할 수 있다(UN헌장 제39조).

북한은 IAEA의 특별사찰 요구와 팀스피리트 훈련 재개를 이유로 1993년 3월 12일 NPT 탈퇴를 선언했으나, 1993년 6월 1단계 북·미고위급회담 때 NPT 탈퇴를 잠정 유보하였다. 이후 북한은 ‘NPT 탈퇴 잠정유보’라는 ‘특수한 지위’를 내세워 북한 내의 16개 IAEA 신고시설에 대한 전면적인 사찰을 거부한 채 미국과의 실무회담 등을 통해 일부 시설에 대한 사찰만을 허용하였다. 하지만 1994년 6월 IAEA 탈퇴로 이마저도 중단되었다.

국가 내 모든 핵물질 재고 검증 불능 시 해결 절차





### IAEA 추가의정서

1990년대 초반 이라크·북한의 핵개발 의혹에 따라 기존의 핵안전조치협정을 강화해야 한다는 주장이 대두됨에 따라 1993년 IAEA 자문기구(SAGSI: Standing Advisory Group on Safeguards Implementation)를 통해 안전조치 강화 방안을 위한 연구 사업을 수행하였다. 그 결과 IAEA는 기존의 안전조치(INFCIRC/153)를 보완하는 추가의정서(INFCIRC/540)를 채택하였다.

IAEA는 모든 회원국과 개별 추가의정서 체결을 위한 협상을 벌이고 있다. 한국은 1999년 6월에 IAEA와 협정을 체결하였으며, 2004년 2월에 국내 비준을 완료하였다.

추가의정서는 확대신고(Expanded declaration), 추가접근(Complementary access), 환경시료 채취(Environmental Sampling)를 주요 내용으로 하고 있다.

#### ● 확대신고(Expanded declaration)

원자력 전용 품목에 포함된 신고 내용(핵물질이 존재하는 산업·연구시설 등)을 제외한 아래의 내용을 확대신고한다.

- 핵물질이 없는 핵연료주기 관련 연구개발(핵연료 변환, 핵연료 제조, 원전, 연구용 원자로, 임계시설, 가속기 등의 관련 연구개발) 정보.
- 핵물질이 없는 원자력 연구개발(농축, 재처리, 폐기물시설) 정보.
- 핵물질이 있는 핵시설, LOF에서의 원자력 활동 정보.  
\* LOF: Locations outside facilities where nuclear material is customarily used
- 핵물질이 있는 핵시설, LOF에서 각 건물에 관한 정보(지도 포함).
- IAEA 요청 시 핵물질이 있는 시설 외부에 관한 정보.
- 핵시설, LOF, 핵연료주기 연구개발, 원자력 연구개발과 직접 관련된 품목의 가공·조립·보유에 관한 정보
- 우라늄·토륨 광산의 위치·운영·생산량 등에 관한 정보.
- 핵연료 주기에 도달하지 않은 핵물질, 면제·종료된 핵물질에 관한 정보.
- 원자력 전용 품목과 이중용도 품목의 수출허가 및 수출입에 관한 정보.
- 핵연료 주기 개발 계획, 원자력 연구개발 계획에 관한 정보.



● 추가접근(Complementary access)

• 추가접근 가능 범위

- 과거 핵물질이 있었으나 현재 폐쇄 또는 해체된 핵시설, LOF.
- 핵물질이 있는 핵시설, LOF의 모든 장소.
- 우라늄 및 토륨 광산, 면제된 핵물질, 핵물질을 함유한 폐기물 시설.
- 핵연료주기, 원자력 연구개발, 핵시설, LOF 운영과 관련 있는 품목의 생산·가공·조립·보유시설.
- IAEA가 환경시료 채취만을 위해 필요하다고 판단하는 장소(불일치 규명을 위해 접근).
- 기타 당사국이 자발적으로 IAEA에 접근을 허용하는 장소.

• 추가접근 시 IAEA 활동 범위

추가접근이 허용되는 장소에서 IAEA는 육안관찰, 장부검사, 환경시료 채취 등을 수행하나 IAEA가 환경시료 채취만을 위해 필요하다고 판단하는 장소에서는 환경시료 채취만 실시.

• 추가접근 시 불시사찰 적용 범위

- 핵물질이 있는 핵시설, LOF의 설계 정보검증, 임시 및 정기 사찰 중에 사전 통보 없이 불시사찰이 가능.
- 핵물질이 없는 시설의 사찰은 24시간 이전에 당사국에 통보.

● 환경시료 채취(Environmental Sampling)

- 핵물질 존재시설, 원자력 관련 장소 및 IAEA가 보장조치와 관련이 있다고 생각하는 기타 지역에서의 환경시료 채취 허용.







### IAEA 사찰

IAEA 사찰은 핵물질의 군사적 전용을 방지하기 위해 핵물질의 위치나 양은 물론 핵물질의 구성(Composition) 등을 파악하고, 보고와 기록의 일치 여부 및 기타 자료의 검증을 통해 핵물질의 이동(flow)을 감시·통제하는 활동을 말한다.

사찰의 종류에는 임시사찰, 일반사찰, 특별사찰이 있다.

- **임시사찰(Ad hoc Inspection)** : 당사국이 신고한 ‘최초 보고서’에 대한 확인 및 검증을 위해 실시하는 사찰로 설계 정보 검토 및 확인, 계량점검, 봉인, 감시 장비 설치 등을 실시. 변동사항 발생 시 확인 및 검증을 위한 사찰도 임시사찰의 범주에 속함.
- **일반사찰(Routine Inspection)** : 임시사찰 완료 후 보조약정서를 체결하고, 보조약정서에 의거하여 정기적으로 실시.
- **특별사찰(Special Inspection)** : 임시 및 일반사찰 도중에 의심사항이 발생하거나 정보가 불충분할 경우 특별히 실시하는 사찰(예: 영변 2개 미신고 시설에 대한 사찰 요구).  
※ 비공식적 사찰 형태인 투명성 방문(Transparency visit)이 있으며 결과에 대해서는 공식적인 효력을 가짐.

IAEA 사찰 방법에는 계량관리, 격납 및 감시, 현장사찰 등이 있다.

- **계량관리** : 물질의 재고 확인, 기록점검 및 핵물질의 관리체계 점검.
- **격납 및 감시** : 감시카메라, 봉인 등의 수단을 통해 핵물질의 이동을 통제.
- **현장사찰** : 방사능 측정, 샘플 채취 및 분석(감마 Mapping, 비파괴검사 등) 실시, 입회 및 육안검사, 물질의 출입통제, 인터뷰 등의 활동 수행.

핵물질에 대한 IAEA 감시와 통제가 단절되지 않고 연속적(시간적·공간적)으로 수행되는 것을 ‘안전조치 연속성’이라 하는데, 구체적으로 핵물질에 대한 격납과 감시수단의 적용을 보장하는 것을 말한다. 예를 들어 감시카메라 필름이나 배터리가 소진되면 감시가 단절되고, 봉인이 파손되면 핵물질의 불법 유출을 확인할 수 없게 된다. 이러한 상황은 안전조치의 연속성이 보장되지 못하는 상태다. 각종 측정이나 샘플 채취 활동은 안전조치 연속성 보장의 범주에 들지 않는 것으로 해석되고 있다(북한 주장). 안전조치 연속성 보장은 과거 핵활동 규명보다는 미래의 핵투명성 보장에 초점을 두는 것으로 볼 수 있다.



## IAEA 사찰의 한계성과 개선 내용

IAEA 사찰은 핵비확산 체제의 중요한 요소 중 하나다. 이 말을 뒤집으면 IAEA 사찰만으로는 핵비확산을 달성할 수 없고 UN의 기능, 국제 수출통제체제, 핵무기 감축, 정치적인 의지, 상호사찰 등 다른 요소들과 적절히 결부되어야 한다는 뜻이다. 그럼에도 불구하고 핵확산 검증 분야에서 거의 유일한 수단으로 IAEA 사찰만이 사용되고 있다는 사실은 그 한계성을 드러낸 것이다.

IAEA 사찰이 국제 핵확산방지체제에서 차지하는 역할과 비중은 크며, 실질적으로 기여해 온 것이 사실이다. 그러나 현실적으로 IAEA 사찰도 여러 한계성을 지니고 있으며, 그중에서 역할과 기능상의 한계가 가장 두드러진다.

IAEA 사찰의 제도적 한계는 정보와 장소에 대한 접근의 제한을 말한다. 사찰관은 신고된 시설의 약정된 장소에만 접근하고, 협정과 당사국이 동의한 범위에서만 사찰을 실시할 수 있다. 특별사찰제도가 있으나 이 역시 당사국이 동의하는 범위에서 가능하다. 즉 UN 제재에 의하지 않고는 신고누락과 은닉시설에 대하여 강제사찰을 벌일 수 없다(주권국에 대한 주권 침해 여부와 관련됨). 또한 사찰 대상이 기본적으로 핵물질에 국한되기 때문에 핵물질이 개입되지 않는 핵탄설계 및 제조공정 또는 고폭실험 등에 대한 사찰은 실시할 수 없다.



이같은 제도적 한계와 함께 핵관련 기술이 복잡해지고 빨리 확산되는 것은 물론 핵기술이나 품목에 대한 상업용과 군사용의 구분이 점점 어려워지는 등의 기술적 한계도 나타나고 있다. 현 감시 기술과 방법으로는 핵기술이나 품목 모두를 구분하여 탐지·적발하기가 곤란하다. 또 철저한 IAEA 사찰은 경우에 따라서 원자력의 평화적 이용을 추구하는 IAEA의 목적과 기능에 역행하는 결과를 초래하여 당사국의 평화적 원자력 이용까지 위축시킬 가능성도 내포하고 있다.

지금까지 국제사회는 IAEA 사찰이 지니고 있는 한계를 극복하기 위해 계속 노력하여 왔다. 이의

## 제2장 핵무기 군축 및 비확산 활동



산물로 IAEA는 93+2 프로그램에 의거해 1997년 5월 특별이사회에서 안전조치강화체제 이행을 위한 추가의정서(Additional Protocol)를 채택하게 되었다. 현재 다수 국가가 이 의정서에 서명하였으며 IAEA와 양자간에 협정을 체결하고 있다.

IAEA의 강화된 안전조치체제는 핵물질을 직접 취급하지 않는 핵연료주기 관련 연구개발사업에 대한 정보제공 및 추가접근, 환경시료 채취 지역의 확대를 포함하고 있다. 그러므로 미신고 핵시설의 파악이 좀더 용이하게 되었다. 다만 피사찰국이 IAEA 사찰로부터 자국의 산업비밀을 보호하고자 할 때는 IAEA와의 협의하에 접근 통제지점을 설치할 수 있다.

현재 IAEA 사무국은 추가의정서에 따른 강화 프로그램을 기존의 안전조치(INFCIRC/153)에 포함시킨 통합안전조치체제(Integrated Safeguards System) 구축을 추진 중이다. 이를 위해 원격감시기술·환경시료분석기술·정보분석기술 등을 도입하고 있으며, 안전조치 이행 자문단의 지원을 받고 있다.



북한에 의해 동결  
핵시설로부터 제거된 봉인



## 원자력 협력 협정

오늘날처럼 국제교류가 보편화된 상황에서의 원자력 산업은 국가간 교역 또는 협력을 통하여 추진하는 것이 일반적인 추세다. 그러나 원자력 산업은 타 산업과 달리 핵확산의 가능성을 내포하고 있기 때문에 해당 국가의 평화적 이용 보증을 필요로 한다. 이를 위해 원자력 협력 시 정부간에 협정을 체결한다.

원자력 협력 협정은 평화적 목적의 기술협력을 위한 제반 사항을 규정하는 동시에 원자력 협력이 군사적 목적으로 전용되지 않는다는 것을 보증하기 위해서 안전조치, 원자력 수출통제, 핵물질 방호조치 등 국제적 보증 수단이 적용된다는 사실을 규정한다. 즉 원자력 협력 협정은 협력 당사국 간 원자력의 평화적 이용을 증진하고 핵비확산을 보증하는 데 그 목적이 있다. 미국 등 주요 원자력 공급국들은 원자력 협력 협정을 통해 자국에서 다른 국가로 이전된 물질·장비·기술 등이 군사적 목적으로 전용되지 못하도록 규제하고 있다.

원자력 협력 협정은 다른 국제조약이나 협약과 달리 원자력의 평화적 이용 개발을 위한 협력의 수단이면서 또한 핵확산 방지를 위하여 공급국이 수령국에 영향력을 행사할 수 있는 법적 근거를 제공한다. 이러한 규제권 행사는 국제교역상 호혜평등의 원칙에 위배되는 것이라고 할 수 있으나 국제적으로 수용되고 있는 상태다. 이는 국제적으로 핵비확산에 대한 공통 규범이 확립되어 있기 때문이다.

원자력 협력 협정은 협력 당사국 정부의 의무사항을 규정하고 있다. 원자력 협력 협정의 규정은 안전조치 적용, 재처리, 농축, 제3국 이전 등에 대한 사전 동의 등 공급국의 통제권 행사 수단으로 구성되어 있다. 양국간의 원자력 협력을 총괄적으로 규정하는 원자력 협력 협정의 테두리 안에서 양국의 공공기관 또는 민간회사는 법률적(상업적) 계약을 체결하고 실질적인 협력을 진행한다. 당사국 정부는 이와 같은 실질적 협력이 협력 협정에 따라 이루어지도록 국내 법령 체계를 구축하고 정책을 시행하고 있다(자료 : 원자력연구소 핵비확산 핸드북).

우리나라는 2006년 12월 현재 미국 등 세계 21개국과 원자력 협력 협정을 맺고 있다.







### 핵군축 전개

제2차 세계대전 후의 군축 논의는 '절대적 파괴력과 살상력을 지닌 핵무기를 어떻게 처리하느냐 하는 문제를 중심으로 전개되었다. 핵의 평화적 이용 보장을 통하여 핵확산을 방지하고자 1956년 10월 국제원자력기구(IAEA)가 설립된 데 이어 1958년부터 1962년까지 핵실험 중지회의가 개최되었으며, 부분적 핵무기 실험금지 조약이 1963년에 체결되었다. 1964년 중국이 핵실험을 함으로써 국제사회에서는 핵확산 방지에 대한 관심이 극대화되었고, 그 결과 1968년 핵확산방지조약(NPT)이 체결되어 1970년에 발효되었다.



NPT 조약이 성립된 이후 국제 군축협상은 기본적으로 핵무기 비보유국의 핵군축 요구에 부응키 위한 노력과 미·소 전략 핵무기 체계의 균형유지 및 제도화에 초점이 맞추어졌다. 1970년대에 이루어진 군축 성과들은 모두 이러한 배경하에 이루어진 것으로, 1971년에 체결된 해저 군사이용 금지조약 및 우발전쟁 방지협정도 그중 하나다. 또 미·소 양국은 1972년 가을부터 제2차 전략무기 제한협상(SALT-II)을 개시하여 1979년 조인에 이르기도 하였다. 이어 미국이 NATO에 중거리 핵미사일을 배치하고 소련도 이에 대응하자 1981년 미국은 소련에 중거리 핵무기 폐기협정(INF: Intermediate Nuclear Forces) 협상을 제의하였다. 이에 따라 미·소는 중거리 핵무기 폐기협정을 1987년에 조인하고 3년 이내에 모두 폐기하기로 하였다. 그 결과 소련이 1991년에 SS-20까지 폐기함으로써 미·소 양국은 조약의무를 이행하였고, 역사상 최초의 실질적 핵감축이 실현되었다.

1979년 SALT-II 타결 이후 미국은 1981년 2월 전략무기 감축협상(START: Strategic Arms Reduction Talks)을 제의하고, 중거리 핵무기폐기협정 협상과 함께 이를 진행하였으나 미국의 전략방위구상(SDI: Strategic Defence Initiative) 추진을 이유로 소련이 거부함으로써 무산되었다. 그러나 1989년 소련이 START와 SDI의 연계를 철회함으로써 그해 7월 31일 START- I이 조인되었다. 이후 미·러 정상은 2002년 5월 전략핵무기를 2012년까지 현재의 3분의 1 수준인 1,700~2,200기로 감축하는 협정(SORT)에 서명하였다. START- I 협상 당시 미·소 양국은 각각 약 1만 500기의 전략핵탄두를 보유하고 있었으나 핵군축 결과 2005년 12월 기준으로 미국은 6,530여 기, 러시아는 5,000여 기 수준으로 감소되었다. SORT 이행이 완료되면 그 수는 냉전 시 보유량의 20% 수준인 1,700~2,200기로 감축될 것이다.





## 전략무기감축조약 (START : Strategic Arms Reduction Talks- I /II/III)

미국은 1981년 2월 구소련에 START 협상을 제안하였으며 구소련은 미국의 제의를 수락하였다. 그러나 미국의 전략방위구상(SDI : Strategic Defence Initiative) 추진은 소련의 반대로 협상이 무산되었다. 이후 1987년 미·소 간 중거리 핵무기폐기협정(INF : Intermediate Nuclear Forces) 체결 후 소련은 START와 SDI의 연계를 포기하고 1991년 양국간 START-I을 채택하게 되었다.

1991년 7월 체결되어 1994년 12월에 발효된 START-I은 협정 발효 후 7년 이내(2001년)에 전략핵탄두를 미국은 총 보유 1만 563발에서 6,500발로, 러시아는 총 보유 1만 271발에서 6,000발 수준으로 감축하도록 명문화했다. 탄도미사일·전략폭격기 등 핵무기 운반수단도 조약 발표 후 15년(2009년) 이내에 미국 2,246기, 러시아 2,500기를 양국 공히 1,600기로 감축하도록 규정하였다.

1993년 1월에 체결되었으나 아직 미발효 상태인 START- II는 2002년 12월까지 핵탄두를 START-I의 3분의 2 이하 수준인 미국 3,500발, 러시아 3,000발로 감축하고 운반수단은 공히 1,000기 이하로 감축하도록 규정하고 있다. 미국은 1996년 1월 의회 비준과 협정이행 준비를 완료한 상태이며, 러시아 역시 2000년 4월 상원 비준을 완료했다. 그러나 미국의 미사일방어(MD)체계 추진을 위한 ABM 조약 폐기에 반대하여 양국이 아직 비준서를 교환하지 못하고 기한을 넘긴 상태다.

1997년 3월의 START- III는 2007년까지 핵탄두를 미국은 2,500발, 러시아는 2,000발 수준으로 추가 감축하도록 하고 있다. 미·러 정상은 이후 2000년 4월 회의에서 2,000기 수준으로 감축하는 문제를 논의하였으나 미국이 MD를 추진하면서 핵감축 협상은 난항을 거듭하였다. 하지만 2001년 11월 워싱턴에서 열린 미·러 정상회담에서 미국은 1,700~2,200기로의 감축을, 러시아는 1,500기 수준으로의 감축을 희망함에 따라 추가협상을 통하여 전략핵무기를 2012년까지 현재의 3분의 1 수준인 1,700~2,200기로 감축하는 협정(SORT)에 서명하였다. 새 협정에 따라 양국은 앞으로 10년 동안 상당한 재량권을 가지고 핵무기를 줄일 수 있게 되었으며, 감축 핵탄두는 폐기하지 않고 분리 보관도 가능하기로 하였다.



운반수단



### 전략공격무기감축조약 (SORT : the Moscow Treaty on Strategic Offensive Reductions)

전략공격무기감축조약(SORT)은 2001년 11월과 12월에 부시 미국 대통령과 푸틴 러시아 대통령이 각자 발표한 내용을 성문화한 조약으로, START- I (1993년 7월 31일)과 NPT의 6조(군축) 임무준수를 유의하는 것을 내용으로 하고 있으며 2002년 5월 24일 모스크바에서 체결되어 2003년 6월 10일 발효되었다.

조약에 의해 양국은 2012년 12월 31일까지 전략핵탄두 수를 1,700~2,200기 수준으로 감축하여야 한다. 전략공격무기의 배합이나 구조 등과 같은 구체적인 사항들(핵탄두와 운반체계의 배치, 운반체계의 형태와 수 등)은 당사국 스스로 결정하도록 하였다.

또한 조약 이행 여부 확인을 위하여 이행위원회(implementation commission)를 연2회 개최하도록 하였다. 조약은 일단 2012년 12월 31일까지 유효하지만, 부속협정을 통하여 이를 연장할 수 있도록 하였다.

조약은 미·러 양국간 전략적 안정을 유지하는 데 기여하고 있으며, 특히 미·러 간 정치적 협력의 신호라는 데 그 의의가 있다고 하겠다.

그러나 SORT는 미사일방어체계 제한에 대한 규정이 없고, 무장해제 시기와 수단은 각국이 스스로 결정하며, 운반체계에서 탄두를 내리는 것만으로 감축 기준을 인정하고, 전략핵탄두 또는 운반체계 파괴 규정이 없는 것 등이 부족한 점으로 지적되고 있다.

SORT 협정이 체결됨으로써 START- II와 START-III는 효용성이 무실화된 상태이며, START-I은 현재 진행 중(2009년 시한)이다.





● 제3장 ●

# 북한 핵문제와 우리 정부의 핵정책



## 북한의 핵기반 시설

북한의 핵기반은 핵관련 자원(전문인력, 우라늄 매장량)과 핵관련 시설로 구분할 수 있다.

북한의 핵관련 자원 중 핵관련 전문인력은 고급인력 200여 명을 포함하여 3,000여 명에 이르는 것으로 알려져 있다. 북한 지역 내 우라늄 매장량은 약 2,600만t으로 이중 채집 가능량은 400만t 정도로 추산된다.

핵관련 시설은 우라늄 정련시설 2곳, 핵연료 성형가공 및 제조시설 1곳, 운용 중인 원자로 2기 등이다. 북한은 현재 제네바합의 이후 중단되었던 50MWe와 200MWe 원자로를 경수로 공사 중단으로 재개하려고 시도하고 있으며, 재처리시설(방사화학실험실)도 보유하고 있다.

영변 연구용 원자로(IRT-2000)는 1965년 구소련에서 도입한 것으로 최초 2MWt이었으나 자체 기술을 통해 4MWt로, 이어서 8MWt로 출력을 증강시켰다. 또 소련에서 도입한 10% 농축우라늄은 핵연료로, 경수는 냉각재로 사용하였다. 1977년부터는 매년 IAEA의 정기적인 사찰을 받아왔으나(1993년 이후 사찰 거부) 천연우라늄 연료봉을 일부 집어넣고 소량의 플루토늄을 생산한 적이 있음을 시인하여 IAEA 사찰의 문제점을 드러내기도 하였다.

영변 5MWe 원자로는 1979년 자체 기술로 착공하여 1985년 8월 14일 임계에 도달하였고, 1986년 10월 본격 가동을 한 것으로 알려져 있다. 1994년 5월에는 전면적인 핵연료 인출을 실시하였다. 이 원자로는 흑연감속, CO<sub>2</sub> 냉각, 천연금속우라늄 핵연료 및 마그네슘 합금(Magnox) 피복재를 사용하는 영국 Calder Hall 원자로를 모델로 삼아 건설하였으며 열출력은 20~25MWt로 근처에 사용후핵연료 임시저장소를 갖추고 있다.

50MWe 원자로는 열출력 200MWt로 1985년에, 200MWe 원자로는 1989년에 각각 착공하였으나

## 제3장 북한 핵문제와 우리 정부의 핵정책



북·미 제네바합의 타결로 건설이 중단된 상태였다. 그러나 경수로 건설이 공식 종료(2006년 6월)됨에 따라 북한은 50MWe, 200MWe 재건설을 준비 중이라고 발표한 바 있다. 이 원자로는 프랑스의 1960년대 초기 플루토늄 생산용 원자로인 G-2 원자로를 모델로 한 것으로 알려진 흑연감속로다. 북한이 흑연감속로를 선택한 이유는 △북한 내에 매장된 풍부한 우라늄광을 채광하여 핵연료를 자체적으로 제조할 수 있고 △핵무기용 플루토늄 생산에 유리하며 △원자로의 감속 물질인 고순도 흑연의 자급이 가능하고 △북한의 낮은 기술 수준으로도 건설이 용이하기 때문이다.

방사화학실험실은 1985년 자체 기술로 착공하여 1992년까지 내부설비 40%(제1생산라인 완성), 외부건물 80%의 진도로 진척되어 1995년 완공 예정이었으나(1993년 IAEA 사찰 시 제2생산라인이 설비 중인 것으로 확인) 북·미 제네바합의 타결로 1994년 10월에 건설이 중단되었다. 그러나 제2차 북핵위기가 발생하고 2002년 12월 IAEA 사찰관을 추방한 후 북한은 제2생산라인 설비를 완공한 것으로 추정된다. 건물 규모는 길이 180m, 폭 20m의 6층짜리 대형 시설이다. 아울러 방사화학실험실은 1992년 IAEA 임시 사찰 시 연간 재처리 능력이 약 200t인 것으로 평가되는 시설임이 밝혀졌으며, 시료채취 및 분석 결과 플루토늄 구성비가 다른 3종류의 폐기물이 발견되어 ‘불일치’ 문제가 야기된 곳이기도 하다.



영변 핵시설 현황(위성사진)

동위원소 생산 연구소는 7개의 핫셀(Hot Cell)과 글로브박스(Glove Box) 등을 갖춘 시설로 1976년 이후 플루토늄과 우라늄에 관한 기초화학 연구를 실시한 것으로 알려져 있다. IAEA에 신고되지 않은 2개 시설 중 하나로 북한이 소량의 플루토늄을 추출하였다고 시인한 장소다. 또 다른 미신고 시설은 방사화학실험실 남쪽 건물(Building 500)로, 액체폐기물 저장소로 추정되는 시설이다. 방사화학실험실과 연결된 2개의 파이프라인(Trench)이 있으나 북한은 군사기지라고 주장한다.

또 하나의 미신고 시설은 50MWe 원자로 남서쪽에 방사화학실험실과의 사이에 위치한 고체폐기물 저장소로 추정되는 장소다. 1976년부터 사용되어 왔고, 1992년 8월에 은폐 위장하여 ‘위장공원’으로 불리고 있다. 이외에 폐기물 저장소로 추정되는 장소가 2곳 더 있다. 이 중 1곳은 1992년 8월께부터 급조한 것이며, 다른 곳은 별 가치가 없는 것으로 보인다.





또한 635MWe급 원자로 3기를 러시아로부터 도입하여 신포에 건설할 계획이었으나 1994년 10월 북·미 제네바합의와 함께 계획 단계에서 취소되었다.

### 북한의 핵시설 현황

순번	시 설 명	수량	위치	비 고
1	연구용 원자로 (IRT-2000)	1기	영변	1965년 구소련에서 도입 (2MWt→4MWt→8MWt로 원자로 용량 확장)
2	임계시설	1기	영변	
3(★)	5MW 실험용 원자로	1기	영변	1979년 착공 → 1986년 가동 개시
4(★)	방사화학실험실 (재처리시설)	1곳	영변	1985년 착공→1989년 가동→1995년 완공 예정이었으나 1994년 10월에 동결
5(★)	핵연료봉 제조시설	1곳	영변	
6	핵연료 저장시설	1곳	영변	
7	준임계시설	1기	평양	김일성대학
8(★)	50MW 원자력발전소	1기	영변	1985년 착공→1995년 완공예정이었으나 1994년 10월에 동결
9(★)	200MW 원자력발전소	1기	평북 태천	1989년 착공→1996년 완공예정이었으나 1994년 10월에 동결
10	우리늄 정련공장	1곳	황북 평산	
11	우리늄 정련공장	1곳	황북 박천	
12	우리늄 광산	1곳	황북 평산	
13	우리늄 광산	1곳	평남 순천	
14~16	원자력발전소(635MW)	3기	함남 신포	계획 단계에서 중단
17	동위원소 생산연구소	1곳	영변	
18	폐기물 시설	3곳	영변	1976·1990·1992년 건설

(★) : 1994년 북·미 제네바합의에 따라 동결된 핵시설(5곳)

\* 1~16번은 IAEA에 신고된 시설, 17~18번은 미신고 시설

\* 18번의 핵폐기물 시설 3곳

- ① 고체폐기물 저장소로 1976년부터 사용(1992년 8월 은폐 위장 실시)
- ② 액체폐기물 저장소로 '500호 건물'이라고 명명(1990년 9월 완공)
- ③ 폐기물 저장소로 추정되는 장소(1992년 8월 완공)





### 북한의 핵개발 능력

핵개발 판단의 중점요소는 핵물질 확보량, 고폭장치기술(핵기술), 운반수단 보유 여부, 핵실험 실시 여부 등이다. 이들 각 요소 등을 기준으로 하여 북한 핵개발 실태를 분석하면 다음과 같다.

#### ● 핵물질 확보

북한은 플루토늄 추출에 필요한 일체의 시설(흑연감속원자로 및 재처리시설)과 기술을 확보하고 있다. 지난 1992년 IAEA 사찰 시 북한이 재처리 실험을 실시하여 소량의 플루토늄 추출에 성공하였음을 시인한 점, 영변 5MW 원자로 가동 후 수차례에 걸쳐 폐연료봉의 재처리 사실을 밝힌 점, 2006년 10월에 실시한 핵실험 등을 볼 때 북한이 이미 여러 기의 핵무기 생산에 필요한 플루토늄을 확보하였음을 추정할 수 있다.

북한은 1994년 북·미 제네바 기본합의(AF) 이전에 추출한 것으로 추정되는 플루토늄 10~14kg으로 핵무기 1~2개를 제조하였을 것으로 추정되어 왔다. 이후 북한의 주장대로 2003년과 2005년에 폐연료봉 재처리를 완료하였을 경우 30여kg의 플루토늄을 추가로 확보할 수 있었을 것으로 추정된다. 따라서 AF 이전과 2003년 1월 NPT 탈퇴 이후 재처리한 플루토늄을 합산할 경우 북한이 보유할 수 있는 플루토늄 총량은 40~50kg으로 분석되고 있다. 또한 북한이 구소련의 핵물질을 밀반입했을 가능성도 배제할 수 없다.

한편 북한이 해외에서 원심분리기 관련 부품을 도입하는 등 고농축우라늄(HEU)프로그램을 추진한 의혹이 제기되고 있어, 우리 정부는 미국 등 유관국과의 긴밀한 협조로 관련 정보를 면밀히 추적하고 있다.

\* 2004년 2월 압둘 카데르 칸(Abdul Qadeer Khan) 박사는 “우라늄 농축을 위한 재료와 디자인 및 기술이 북한으로 이전되었으며, 그 기술은 1980년대 후반의 것”이라고 밝혔다. 또한 그는 “평양을 방문하였을 때 지하시설에서 완전히 조립된 형태의 핵폭발장치 3기를 보았다”고 전하였다.

— 뉴욕 타임스 보도(2004년 4월 13일)

#### ● 고폭장치 개발 및 실험

북한은 1983년부터 고성능 폭발실험을 70여 회 실시한 것으로 탐지되었고, 특히 1993년부터 1998년



까지 핵실험의 전단계인 완제품 고폭장치에 대한 실험(고폭실험)을 실시한 것으로 분석되고 있다.

2006년 10월에 실시한 핵실험은 성공 여부를 떠나 북한의 고폭장치가 작동된다는 것을 보여주었다. 만일 당시 실험의 부분적 실패(일반적인 평가) 원인이 고폭장치의 문제라면 북한은 정교한 장치 개발을 위한 노력을 지속할 것으로 판단된다.

● 운반수단

북한이 보유한 주요 미사일 및 항공기의 제원은 다음과 같다.

구 분	SCUD A/B	SCUD C	노동 1호
사 거 리	300km 내외	500km	1,300km
탑 재 중 량	0.8t	0.6t	0.5t
구 분	대포동 1호	대포동 2호	IL-28폭격기
사 거 리	2,000~2,500km	4,000~6,700km(추정)	최대항속거리 1,800km
탑 재 중 량	0.5t	약 1t	약 3t

북한은 미사일 탑재가 가능한 소형 핵무기 개발을 추진하고 있는 것으로 분석되지만, 달성 여부에 대해서는 확인이 곤란한 실정이다(현재 미·러의 핵무기는 대부분 수백kg~1t 미만의 중량을 갖고 있으며, 미사일에 탑재하기 위해서는 1t 미만이어야 한다).

● 핵실험 여부

핵실험 진위를 판명하는 지진파, 방사능 검출, 지표면 온도 상승, 공기압력 변화 등을 고려할 때 북한이 2006년 10월 9일 지하핵실험을 실시한 것으로 평가된다. 그러나 핵실험에 대한 여러 자료를 제시하지 않고, 폭발력이 1kt 이하인 점 등을 고려할 때 핵실험 성공 여부에 대한 판단은 곤란하다.



북한 노동 1호



### 정부의 핵정책 기초

정부는 ‘핵의 평화적 이용’과 ‘한반도 비핵화’를 핵정책의 기초로 삼고 있다. 우리 정부는 핵의 평화적 이용을 위한 정책의 수행을 위해 IAEA, NPT 등 국제 핵비확산 체제에 적극 참여하는 등 핵관련 활동에 대한 투명성과 신뢰성을 확보하고 있다.

1991년 11월 8일 ‘한반도의 비핵화와 평화구축을 위한 선언’을 통하여 핵무기를 제조·보유·저장·배비·사용하지 않을 것을 천명하였다. 이는 탈냉전 이후 변화된 안보상황을 감안하여 한반도에서의 신뢰구축과 군비축소의 계기를 마련하면서 평화정착의 기틀을 조성하고, 북한의 핵개발을 저지할 수 있는 근거를 마련하기 위한 것이다.

#### 한반도 비핵화와 평화구축을 위한 선언 요지

- 핵에너지를 평화적 목적을 위해서만 사용하며 핵무기를 제조·보유·저장·배비·사용하지 않는다.
- 핵연료 재처리 및 농축시설을 보유하지 않는다.
- 핵무기와 무차별 살상무기가 없는 평화적인 세계를 지향하고, 화학·생물무기의 전면적 제거를 위한 국제적 노력에 적극 참여하며, 이에 관한 국제적 합의를 준수한다.

이와 같은 비핵화 정책에 기초하여 1991년 12월 31일 제4차 남북 고위급회담에서 남한과 북한 간에 ‘한반도 비핵화에 관한 공동선언’을 채택하였다. 이의 이행 실천을 위해 ‘남북 핵통제 공동위원회’가 구성되어 남북 비핵화 검증을 위한 상호사찰 규정을 협의하다가 1992년 12월 17일 북한이 일방적으로 논의를 중단한 이후 현재에 이르고 있다.

#### 한반도 비핵화 공동선언 요지

- 핵무기의 시험·제조·생산·접수·보유·저장·배비·사용 금지.
- 핵에너지를 평화적 목적에만 이용.
- 핵 재처리 시설 및 우라늄 농축시설 보유 금지.
- 비핵화 검증을 위해 상대 측이 선정하고 쌍방이 합의한 대상에 대해 사찰 실시.
- 남북 핵통제 공동위 구성·운영.

정부는 북한 핵의 불용, 대화를 통한 평화적 해결, 우리나라의 적극적인 역할 등 3가지 원칙에 기



초하여 북핵문제 해결을 추진하고 있다. 아울러 핵의 평화적 이용과 한반도 비핵화 정책기조를 일관되게 유지하고 있다. 2004년 9월 18일에는 ‘핵의 평화적 이용에 관한 4원칙’을 발표하여 국제신뢰를 바탕으로 한 평화적 핵이용의 확대 등을 대내외에 천명한 바 있다.

#### 핵의 평화적 이용에 관한 4원칙

- 핵무기 개발 및 보유 의사가 전혀 없음을 천명.
- 핵투명성 원칙의 확고한 유지와 국제협력 강화.
- 핵비확산에 관한 국제규범을 성실히 준수.
- 국제신뢰를 바탕으로 한 평화적 핵이용 범위 확대.

우리 정부가 비핵정책을 추진하는 것은 국제사회의 책임 있는 일원으로서 핵무기 확산 방지를 위한 국제적 노력에 동참, 핵에너지의 평화적 이용을 보장받고 북한의 핵개발을 저지하여 평화통일을 위한 기반을 구축하는 데 그 목적이 있다.

북한 핵문제에 관한 우리 정부의 기본 입장은 북한의 핵개발은 NPT 체제에 대한 중대한 도전일 뿐 아니라 북한이 핵무기·핵물질을 제3국이나 테러집단에 수출할 가능성이 커 핵확산 위험이 크다는 것이다. 아울러 우리로서는 북한의 핵무기 보유를 절대 허용할 수 없다는 입장이다. 만약 북한이 핵무기를 단 1개라도 보유하게 된다면 동북아의 핵확산은 물론 전 세계적 핵확산 도미노 현상을 초래하여 동북아를 포함한 국제안보환경이 극도로 악화될 것이 분명하기 때문이다. 그러므로 정부는 북핵 문제는 대화를 통하여 평화적으로 해결하기 위해 노력하고 있다.

북한은 2006년 10월 9일 1kt 미만으로 보이는 지하핵실험을 실시하였다고 발표하였다. 이에 대해 우리 정부는 북한의 핵개발은 불법적인 행위이자 국제사회의 핵비확산 질서에 대한 중대한 도전으로 보고 한반도 비핵화 원칙에 따라 북한의 핵폐기를 지속 추진하는 한편 북한의 핵보유를 결코 용납하지 않겠다는 입장을 밝혔다.

북한의 핵실험에 대해 우리 정부는 UN 안보리 제재위원회의 활동 동향을 예의 주시하면서 우리의 결의 이행 수준을 구체적으로 검토하고 있다. 아울러 북한 핵실험의 사회·경제적 피해 최소화 방안을 강구하면서 동시에 성공적 6자회담의 가시적 성과를 위해 북핵불용의 원칙을 견지하고 있다. 특히 북한의 핵무기 보유국 지위 확보 의도를 차단하고, 차기 회담을 9·19 공동성명 이행을 위한 후속 회담 성격으로 유도하는 등의 회담 대책을 마련하여 추진하고 있다.

북한은 핵실험을 통하여 사실상 핵무장 능력을 확보한 셈이다. 이는 남북간 군사력 균형을 깨뜨리





한미안보협의회의(SCM)

는 중대한 위협이라고 할 수 있다. 이렇듯 북한의 핵위협이 현실화됨에 따라 국방부는 군사 대비 태세를 강구하고 있다. 또한 공고한 한·미동맹을 바탕으로 핵우산 제공을 통한 ‘확장억제력’을 지속적으로 보장하는 한편 감시·정찰 및 정밀타격 전력의 확보 우선 순위와 시기를 조정하고, 방호대책을 보강해 나갈 계획이다.

미국은 매년 한·미안보협의회의(SCM)를 통해 우리에게 대한 핵우산 제공을 재확인해 오고 있다. 특히 2006년 10월 SCM에서 북한의 핵실험에 대하여 깊은 우려를 표시하고, 북한이 긴장을 악화시키는 추가적인 행위를 중단할 것을 촉구하였다. 특히 예년과 달리 공동성명에 독립된 항(3항)으로 ‘...미국의 핵우산 제공을 통한 확장억제의 지속을 포함하여 한·미 상호방위조약에 따라 한국에 대한 굳건한 신뢰와 신속한 지원을 보장한다’는 내용을 다뤘다. 이는 북한의 핵실험으로 발생한 비대칭적 위협에 대한 미국의 강력한 억제지를 보여준 것으로, 핵우산을 통해 더욱 적극적인 억제력을 제공하겠다는 의미를 담고 있다. 즉 어떠한 경우에도 북한이 핵무기를 보유하지 못하도록 노력하는 한편 만일의 사태에 대비하여 확고한 한·미 연합 방위태세를 갖추겠다는 것이다.





## 북핵위기와 6자회담

### 1차 북핵위기와 제네바 기본합의

국제원자력기구(IAEA)는 1992년 5월부터 1993년 2월까지 6차례에 걸쳐 북한에 대해 임시사찰을 실시하였으나 북한이 신고한 플루토늄 추출량과 IAEA 측의 추정치 사이에 수kg의 차이가 발생하였다. 이로 인해 1992년 9월 이후 ‘불일치’ 문제와 이의 해명을 위한 ‘특별사찰’ 문제가 최대 현안으로 부각되기 시작하였다. 이에 대해 북한은 IAEA 이사회의 결의를 불공정하다고 비난하면서 1993년 3월 NPT 탈퇴를 선언하는 성명을 발표하였다. 이것이 1차 북핵위기의 시발점이다.

북한이 NPT 탈퇴를 선언한 이후 미국은 북한과 핵문제를 해결하기 위한 협상을 진행하였다. 북·미고위급회담 형식으로 3차례(1993년 6·7월, 1994년 8월) 회담한 결과 1994년 10월에 제네바 기본합의(AF: Agreed Framework)를 이끌어 냈다.



북·미 기본합의문에 서명하는 강석주 북한대표(오른쪽).

#### 북·미 제네바 기본합의 주요 내용

- 흑연감속로를 경수로발전소로 대체(1,000MWe × 2기).
- 경수로 1기 완공 시까지 연간 중유 50만t 제공.
- 5MWe 원자로의 폐연료봉 봉인 후 제3국으로 이전.
- 북한은 IAEA 안전조치협정 이행 및 특별사찰 수용.
- 북·미 관계 개선(상호연락사무소 설치와 대사급 수교 관계).
- 한반도 비핵화 공동선언 이행 및 남북대화 재개

AF에 의해 대북 경수로사업이 진행되었다. 경수로사업은 1997년 7월 신포 경수로 부지 착공식을 시작으로 공사가 진행되었다. 그러나 2002년 2차 북핵위기로 대북 경수로사업은 2003년 12월부터 공사가 중단된 후 2006년 6월 1일 공식 종료되었다.

경수로사업이 종료될 때까지 투입된 비용은 15억 6,200만 달러(한국 11억 3,700만 달러, 일본 4억 700만 달러, EU 1,800만 달러)였으며, 2002년 12월에 공급을 중단하기까지 미국은 총 356만t(3억 7,353만 달러 상당)의 중유를 제공하였다.



### ● 2차 북핵위기

2002년 10월 미국 켈리 차관보가 북한을 방문하였을 당시 북한이 고농축우라늄(HEU) 프로그램의 존재를 시인함에 따라 2차 북핵위기가 대두되었다.

이에 대한 조치로 미국은 같은 해 11월에 대북 중유 공급 중단을 결정하였다. 북한도 이에 맞서 핵 동결 해제와 핵시설 재가동을 선언하는 한편 5MWe 원자로 감시카메라 제거 및 봉인을 해제하고 IAEA 사찰관을 추방하였다.

또한 2003년 1월 NPT 탈퇴를 일방적으로 선언하는 등 사태를 더욱 악화시켜 1994년 AF는 사실상 사문화되었으며, 북한문제는 다시 원점으로 돌아가게 되었다.

이에 따라 2003년 4월 북·미·중 3자회담이 개최되었으나 북·미 간 상호 입장 차이만 확인하였다. 하지만 그해 5~7월 노무현 대통령이 미국·일본·중국을 방문해 대화로 북한 핵문제를 풀자는 평화적 해결 원칙을 도출함으로써 한·일이 참여하는 다자회담을 통한 해결 방식에 합의하였다.

#### 1· 2차 북핵위기 비교

구 분	1차 북핵위기	2차 북핵위기
발 단	북한, NPT 탈퇴 선언(1993년 3월 12일)	미국, 북한이 고농축우라늄(HEU) 프로그램을 시인하였음을 발표(2002년 10월 17일)
회담형태	북·미 양자 회담	북핵 6자회담 (남·북한과 미·일·중·러)
종 결	제네바 기본합의문 체결 (1994년 10월 21일)	9·19 공동성명 발표 • 구체적 이행방안 논의 진행 중

### ● 6자회담

북핵문제 해결을 위해 제1차 6자회담이 2003년에 8월에 개최된 이후 2005년 4차 6자회담에서 9·19 공동성명을 발표하기에 이르렀으나 이행 여부에 대해서는 논란이 계속되고 있다. 5차 2단계 6자회담이 2006년 12월 18일부터 22일까지 개최되었으나 북한이 방코텔타아시아(BDA) 문제의 선(先)해결 원칙을 고수하면서 의장성명에 '가장 이른 시기에 회의를 속개하기로 합의하였다'고 명시하며 휴회하였다.



6자회담

2006년 10월 핵실험 실시로 핵무기 보유국 지위를 확보한 북한은 이를 이용하여 금융 문제(BDA)를 해결하고 6자회담의 군축회담화 등 협상의 수준을 높이면서 주도권을 장악하려 하고 있다. 반면 미국은 북한의 핵무기 보유국 지위를 인정하지 않은 채 핵폐기의 구체적 증거 확보에 주력하고 있다. 금융 문제도 대북제재 유지하에 논의한다는 입장이다. 이렇듯 북한과 미국의 입장 차이가 커 향후 6자회담에서 핵심쟁점에 대한 이견과 대립은 지속될 것으로 보인다.

#### BDA 북한 계좌 금융제재 관련 주요 경과

- 2005년 9월 15일 미국 재무부는 마카오 BDA(Banco Delta Asia)를 '돈세탁 주요 우려 대상'으로 지정.
  - BDA가 북한 정부를 위해 돈세탁을 하고 기타 금융 범죄를 저지른 혐의가 있다는 게 이유.
- 2005년 9월 마카오 당국은 BDA 경영권을 인수하고 북한 계좌를 동결.
  - 북한의 은행계좌 20개, 회사계좌 11개, 개인계좌 9개 등 2,400만 달러 규모의 계좌를 동결했다는 관측이 있으나 미확인.
- 2005년 11월과 2006년 12월 5차 1·2단계 6자회담 시 BDA 문제를 이슈화해 북한은 BDA 문제의 선해결 원칙을 고수.

## 제3장 북한 핵문제와 우리 정부의 핵정책



6자회담 결과의 주요 내용은 다음과 같다.

구 분		주 요 내 용
1 차 회 담	기간·장소	2003년 8월 27~29일 / 베이징(釣魚臺)
	회담 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 북핵문제 해결을 위한 대화 시작.</li> <li>○ 평화적 해결, 한반도 비핵화, 북한 안보우려 해소, 포괄적·단계적 해결, 6자회담 지속 등의 원칙에 대한 대체적 공감대 형성.</li> <li>○ 대화의 모멘텀 유지를 통한 상황관리 여건 조성.</li> </ul>
2 차 회 담	기간·장소	2004년 2월 25~28일 / 베이징(釣魚臺)
	회담 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 관련국 간에 최초의 서면합의 도출 등 6자회담 진전을 위한 틀 마련.</li> <li>○ CVID 문제, 핵동결 대 상응조치 등 실질문제 협의 기초 마련.</li> <li>○ 주요 사안에 대해 구체적이고 합리적인 구상 제시 등 회담 진전을 위한 한국의 적극적 역할 수행.</li> </ul>
3 차 회 담	기간·장소	2004년 6월 23~26일 / 베이징(釣魚臺)
	회담 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 핵문제 해결을 위한 본격적 협상단계 진입 기반 마련.</li> <li>○ 회의 일정 합의와 비핵화를 위한 초기 조치(범위, 검증, 기간 등)를 구체화하는 등 6자회담 과정의 가속화.</li> <li>○ 의장성명의 내용, 개념, 문안 작성에 상당한 역할을 수행하는 등 핵문제 해결 과정에서 우리가 적극적 역할을 수행할 수 있는 기반 마련.</li> </ul>
4 차 회 담	기간·장소	1단계 2005년 7월 26일~8월 7일, 2단계 2005년 9월 13~19일 / 베이징(釣魚臺)
	회담 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 북한의 모든 핵무기와 핵프로그램 포기, NPT와 IAEA 복귀 공약.</li> <li>○ 미국의 대북안전보장, 관계 정상화.</li> <li>○ 다자간 대북경제협력 증진 약속.</li> <li>○ 한반도 평화협정 체제 협상 시작.</li> </ul>
5 차 회 담	기간·장소	1단계 2005년 11월 9~11일, 2단계 2006년 12월 18~22일 / 베이징(釣魚臺)
	회담 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 검증 가능한 한반도 비핵화 조속히 실현.</li> <li>○ 9·19 공동성명을 전면적으로 이행할 것임을 재확인.</li> <li>○ 대화를 통한 한반도 비핵화 달성의 공동목표와 의지 재확인.</li> <li>○ 가장 이른 시기에 회의를 속개하기로 합의.</li> <li>※ 북한은 BDA 문제의 선해결 원칙을 고수.</li> </ul>