'2000춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

국제핵비확산을 위한 넵튜늄과 아메리슘 규제

Neptunium and Americium Control for International Non-Proliferation Regime

안진수, 이재성, 김종수, 김종숙

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

1999년 9월 IAEA 이사회에서 Np(Neptunium), Am(Americium)이 핵무기로 전용 가능한 물질로 규정되었고 이들 물질로 인한 핵확산을 방지하기 위한 규제방안을 의결하였다. 현재 마련된 규제 내용이 해당 국가의 자발적인 협조를 주 내용으로 하고 있기 때문에 제도가 정착되는 데에는 상당한 시일이 소요될 것으로 예상된다. 회원국들은 Np와 Am에 대한 규제의 필요성에는 공감하는 분위기이나 세부적인 내용에 있어서는 자국의 이해관계 때문에 자발적 협조가 쉽지만은 않을 것이다. 본 논문은 IAEA의 Np와 Am의 규제에 대한 분석을 통하여 국제적인 상황변화에 효과적으로 대처하고 국내 원자력 산업과 연구/개발에 미칠 영향에 대하여 능동적으로 대응하는데 기여할 것으로 기대된다.

Abstract

It was decided in the IAEA Board of Governors Meeting held in Sept. 1999 that Neptunium and Americium could be diverted for manufacturing nuclear weapon or explosives, so that appropriate measures should be taken for the prevention of proliferation of these materials. It is expected to take relatively long time for settling down the aligned system dealing with the above materials because the present regulatory statement was prepared on the basis of voluntary offers from

the States concerned. The necessity of preventive measures is being convinced among Member States, but it would not be easy to take voluntary participation in detail because of their respective interests. It is expected that this paper could contribute to the effective response as to the international commitments as well as for protecting the domestic nuclear industry and R&D area through analysis on the IAEA's approach on Neptunium and Americium.

1. 서 론

오래 전부터 고농축 우라늄이나 Pu 이외의 초우라늄 원소 특히, Np (Neptunium), Am(Americium) 등의 초우라늄 원소를 충분한 양 사용할 수 있다면, 핵폭발 장치를 만들 수 있다고 알려져 왔다. 그러나 수년전 까지만 해도 이 물질들의 존재량이 극히 적었을 뿐 아니라 이들을 분리하기도 어려웠기 때문에 Np나 Am에 의한 핵무기 제조의 가능성이 거의 없었다. 따라서 Np와 Am은 IAEA가 정의한 특수핵분열성물질(Special Fissionable Material)에 포함되어 있지 않았다.

그러나, 원자력발전소의 증가와 이에 따른 사용후연료 누적량의 증가 및 대규모 상용 재처리 공장의 가동에 따라 이들 물질 특히 Np에 의한 핵무기 제조 가능성을 고려해야할 상황에 이르게 되었다.

이러한 일련의 상황 변화에 따라 IAEA사무국은 1998년 10월 정기 이사회에 Np와 Am의 규제에 관한 내용을 의제로 상정하였고, 좀더 폭 넓은 검토가 필요하다는 의견에 따라 1998년 11월과 1999년 2월 등 2회에 걸쳐 SAGSI의 검토를 거쳐 1999년 6월 이사회에 상정하였다. 이후 회원국간에 의견의 일치를 보지 못하여 추가적인 수정 보완을 거쳐 1999년 9월 이사회에서 결의안이 채택되기에 이르렀다.

2. IAEA의 Np 및 Am 규제에 관한 논의 과정[1]

- 1977년, IAEA 사무총장 자문기구인 SAGSI(Standing Advisory Group on Safeguards Implementation)는 Np와 Am을 Pu 및 U와 더불어 "threshold amount (the approximate quantity of special fissionable material required for a single nuclear explosive device)로 간주하도록 권고하였다.
- 약간의 Np 수출에 대한 통제가 1994년 프랑스, 러시아, 영국, 미국이 서명한 Memorandum of Understanding에 의하여 이루어 졌다. 1996년에 33개국이 기초한 Wassenaar Arrangement에 의하여 Np와 Am의 국제간, 지역간 이동에 대한 규제가 제의되었다. 특히 Wassenaar Arrangement는 1g 이상의 분리된 Np의 이동에 대한 규제를 포함하고 있다.
- IAEA사무국은 1998년 10월 정기 이사회에 Np와 Am의 규제에 관한 내용을 의제에 상정하였고, 좀더 폭 넓은 검토가 필요하다는 회원국들의 의견에 따라 1998년 11월과

1999년 2월 2회에 걸쳐 SAGSI의 기술적 검토를 거쳐 그 결과를 1999년 3월 이사회에 상정하였으나 의견의 일치를 보지 못하여 다음 이사회로 결정이 연기되었다.

- 1999년 9월 IAEA 이사회에서 Np와 Am의 규제에 관한 내용을 담고 있는 결의안(문서번호 : GOV/1999/191Rev.1 "The Proliferation Potential of Neptunium and Americium")을 채택하였다.

3. Np와 Am에 의한 핵확산 가능성 [1,2,3]

발전용 원자로의 사용후연료에 함유된 분리되지 않은 Np와 Am을 대략적으로 추산하면 2005년까지 지구상의 사용후연료 중에는 각각 분리되지 않는 Np 75ton과 Am 74ton이 존재하게 될 것이다. 핵확산상의 문제는 이들 물질이 상당량 분리된 형태로 존재할 가능성이다.

Np와 Am의 임계질량은 약 50kg(반사재가 있을 경우 약 20kg) 정도로 U-235와 비슷하다. 특히 Np의 경우, 반감기도 약 2,000,000년 정도로 길고, 핵폭발장치를 만드는데 복잡한 문제를 일으킬 정도의 열이나 방사선을 방출하지 않기 때문에 필요량이 확보된다면 핵폭발장치로 사용하는데 문제가 없다. 반면에 Am의 경우는 반감기가 약 430년 정도이며, 열과 방사선의 방출이 많아, 핵무기로 사용하기에는 난점이 많다. 그러나 조심스럽게 숙련된 기술을 사용한다면 Am도 핵폭발장치에 사용되는 것이 가능할 것으로 보고 있다.

이에 관하여 미국과 프랑스의 전문가들이 내린 결론은 다음과 같다.

- 핵폭발장치를 제조하는데 필요한 Np 양을 모으기 위해서는 재처리 시설의 운영이 필요하다. 충분한 양이 분리된 형태로 축적된다면 이는 핵무기에 이용될 수 있다.
- Am은 다량의 열과 방사선을 방출하고 보건 물리적인 위험 때문에 군사용 핵무기를 제조할 수 없다는 데는 모두가 동의하고 있다.
- 미국은 통상적인 공학기술로 방사선과 열방출 문제를 해결할 수 있다고 믿고 있으나, 프랑스는 이러한 문제를 해결하여 Am으로 핵폭발장치를 제조하는 것은 비현실적이라고 생각하고 있다.
- 이러한 물질들의 핵확산 위험성을 평가하기 위해서는 핵폭발 목적에의 유용성과 분리된 형태의 유용성으로 볼 때 Pu와 HEU가 가장 크고, Np가 이보다 작으며, Am은 훨씬 작다.

4. Np와 Am의 취득 경로 [1,2,3]

원자로가 가동되는 동안 Np는 Np-237의 형태로 생성되고, Am은 Am-241과 함께 몇 가지 동위원소가 생성된다. 이들의 생산량은 원자로의 형태나 운전조건에 따라 다르다. 그런데 Am-241은 Pu-241의 딸핵종이기 때문에 그 양은 Pu-241의 생성량에 비례한다. 전형적인 발전용 원자로의 경우 7년간 냉각된 사용후연료 중에는 Np와 Am의 양이 Pu양의 약 5~7% 정도이다. Np와 Am은 이러한 핵연료를 재처리한 고준위 폐기물 중에도 함유되어 있다. 또한 소량의 Np는 재처리한 Pu중에 함유되어 있을 수도 있다. Np와 Am의 분리는 다음 3가지 경로를 통하여 이루어 질 수 있다.

- 재처리 폐기물 : 표준적으로 설계, 운전되는 재처리 공장에서는 Np와 Am은 핵분열생성물과 함께 고준위폐기물로 보내진다. 폐기물 처리과정에서 고준위폐기물의 radio-toxicity를 줄이기 위하여 이들 물질이 분리될 수 있다.
- 재처리 생성물 : 재처리 공장의 운전조건을 변경시키면 Np를 고준위 폐기물로 보내지 않고 직접 U나 Pu를 생산하는 흐름으로 보낼 수 있다. Np는 재처리 과정이나 또는 그 이후의 분리 공정을 통하여 회수할 수 있다. Am을 재처리 과정에서 회수하려면 공장의 배열과 운전 조건에 큰 변화를 주어야 한다.
- Pu 정제 : Pu의 방사성 붕괴로 인하여 Pu 내부에 Am-241이 축적되므로 Pu를 정제(clean-up)하기 위하여 Am-241을 분리할 수 있다. Pu 내에 함유된 Am-241의 양은 Pu-241의 양과 최종적으로 Am-241을 분리한 이후 경과한 시간에 따라 달라진다.

분리된 Np와 Am의 취득이 가능한 경로는 수입, 과거의 분리 및 현재 및 미래의 분리이다. CSA(Comprehensive Safeguards Agreement) 국가의 현재 재고는 과거의 수입과 분리활동으로부터 얻어진 것이다. 분리된 Np와 Am의 취득 경로를 요약하면 다음과 같다.

4.1 수입

수입에 의한 축적 경로는 Np와 Am의 분리 능력이 없는 국가에도 모두 적용이 가능하다. 이에 관한 정보는,

- CSA국가에 대한 과거의 수출 이력과
- CSA국가에 대한 장래의 수출로부터 얻는다.

분리된 Np와 Am의 수출에 관한 정보는 완전한 것은 아니나 성공적으로 입수되었다. 비록 일부 국가는 IAEA의 이에 대한 질문에 답변하지 않았지만, 회원국으로부터 받은 과거의 Np와 Am 수출에 관한 정보로부터 안전조치 협약을 맺은 어느 국가도 1kg이상의 이들 물질을 보유하고 있지 않다는 결론을 얻었다.

4.2 과거의 분리

이 경로를 통한 축적은 이들 국가가 지금 보유하고 있거나 과거에 보유하였던 Np나 Am을 조사된 연료 또는 오래된 Pu에서 분리할 수 있는 시설이나 설비(재처리, 고준위 폐기물 처리, 또는 Pu 정제 시설)를 가동하였던 경우이다. 이에 관한 정보는,

- 각국으로부터 현재 보유하고 있거나 과거에 보유하고 있었던 Np와 Am의 분리가 가능한 시설 및 과거에 분리한 양에 관한 정보를 얻는다.
- 얻어진 정보를 이용하여 IAEA는 안전조치를 받은 시설의 과거의 분리활동에 대한 방침을 결정한다.(해당 시설에 대한 설계정보서 및 사찰기록 재검토)

사무국은 관련 국가에 대하여 과거의 분리 량에 대한 정보를 요구하였다. 이에 대한 응답으로부터 어떤 CSA국가도 1kg 이상의 분리된 Np이나 Am을 보유하고 있지 않다고 결론지었다.

4.3 현재와 미래의 분리활동

이 축적 경로는 이들 국가가 Np나 Am을 조사된 연료 또는 오래된 Pu에서 분리할 수 있는 시설이나 설비(재처리, 고준위 폐기물처리, 또는 Pu 정제 시설)를 현재 보유하고 있거나 앞으로 취득하는 경우에 적용이 가능하다.

5. 제안된 규제방안 [2,3]

IAEA사무국은 Np와 Am에 의한 핵확산을 방지하기 위한 규제방안으로 IAEA가 선택할 수 있는 3가지 안을 제시하여 SAGSI로 하여금 기술적인 검토를 하도록 제시하였다. 이 중 제3안은 아무런 조치를 취하지 않는다는 방안이므로 실제로는 2가지 안을 제시한 것이다. 이들 방안의 내용은 다음과 같다.

Option (a) : "Special Fissionable Material"로 정의한다. : Article XX의 내용을 바꾸어서 Np와 Am을 여기에서 정의한 "Special Fissionable Material"에 포함시킨다.

Option (b) : 비핵국에 대한 분리된 Np와 Am의 이동과, CSA 국가들의 어떠한 Np와 Am 분리활동(재처리 또는 폐기물등 재처리 생성물로부터의 회수)도 감시되어야 한다.

Option (c) : No action

6. 규제 방안에 대한 검토 [2,3]

이상과 같은 3가지 방안에 대하여 일차적인 검토를 실시한 결과,

- Option(a) : 가장 확실한 방안이기는 하나 이 경우에는 모든 조약당사국과 IAEA간의 안전조치 협정의 변경이 필요하다.
- Option(b) : 비용 대비 가장 효과적인 구체적인 수행 방안을 마련할 필요가 있으며, 또한 Np에 대하여서는 논란의 여지가 없지만, Am도 같은 정도로 핵확산 위험 물질로 취급해야 할 것인지에 대한 논란이 있다.
- Option(c) : 현재로서는 Np와 Am은 짧은 기간의 활동으로 핵확산의 위험성이 있는 상태는 아니다. 그러나 분리된 Np나 Am의 량이 증가하고 있기 때문에, 아무런 조치를 하지 않고 추세를 계속 주시한다는 것은 올바른 선택이 아니다.

라는 결론에 도달하였다. 따라서 사무국, SAGSI 및 회원국의 전문가들은 Option(b)에 대하여 집중적으로 법률적인 면과 기술적인 측면에서 검토를 실시하였다.

Option (b)의 감시방법은 다음과 같은 3가지 요소로 구성된다.

(a) 일정량 이상의 분리된 Np와 Am을 수출할 능력이 있는 국가는 CSA국가에 대한 수출과 관련하여 과거 및 미래의 수출량을 연간기준으로 보고하겠다고 약속한다.

(b) 과거, 현재 또는 Np나 Am을 분리하여 수출할 계획을 갖고 있는, 재처리 또는 Pu정제를 실행했거나 실행중인 CSA 국가로부터 분리된 Np나 Am을 입수하였거나 입수할 계획을 갖고 있는 CSA 국가는 연간단위로 수입량을 보고한다고 약속한다.

(c) CSA 국가 내에 있는 Np나 Am을 실제로 함유한 핵물질을 취급하거나, 상당량의 Np

나 Am을 분리할 수 있는 능력을 가진 각 시설의 주요 설계 및 공정 인자를 감시하고 확인하기 위한 공정흐름도 검증(FSV: Flow Sheet Verification)

6.1 Option(b)에 대한 법률적 검토

사무국은 IAEA가 Option (b)에 의한 확인을 위한 측정의 적용에 필요한 접근과 정보 입수에 "현재의 법적인 구조를 적용하는 것이 가능한가?" 하는 법률적인 가능성에 대한 검토를 시행하였다.

<INFCIRC/153>

INFCIRC/153-type의 협정이 적용되는 안전조치 하에서, IAEA는 과거와 현재의 분리활동에 대한 정보검사와 시설의 안전조치를 목적으로 한 설계정보서 검증을 통하여, 미래의 분리활동에 대한 정보를 IAEA에 통보되는 설계정보서의 변경 등의 활동을 통하여 유추할 수 있다.

또한, IAEA는 INFCIRC/153-type 협정 아래의 Pu와 U에 대한 안전조치의 적용으로 현재와 미래의 분리에 대한 상당한 정보를 유추할 수 있다.

이러한 협정 아래 적용되는 안전조치는 FSV의 다른 요구사항도 상당부분 만족하며, FSV 측정이 요구하는 핵물질 안전조치(명확하게, 부분적인 설계정보, 부분적인 설계정보서 확인과 검증, 부분적인 공정기록에의 접근, 부분적인 중요 공정인자의 감시, 안전조치를 목적으로한 Np와 Am의 계측, 안전조치를 목적으로 한 밀봉 감시와 환경시료의 이용)에까지 확장될 수 있다.

그러나, Option (b)의 일부 요소들은 INFCIRC/153의 범위에 속하지 않으며, 추가적인 근거가 주어져야 한다.

INFCIRC/153-type의 협정에 의한 안전조치의 적용은 어떤 점에서는 과거와 현재 또는 미래의 분리 취득에 관한 정보를 제출하게 하는데 도움이 될 수 있으나, 두 가지 경로에 관한 모든 사항을 제출하도록 할 수는 없으며, 수입에 관한 정보는 전혀 제출하게 할 수 없다. 그러므로 Option (b)를 실행하기 위해서는 추가적인 권한이 요구된다.

<INFCIRC/540>

INFCIRC/540-type는 Option (b)와 관련된 정보와 안전한 추가적인 접근 및 자발적인 정보를 얻을 수 있다. 그러나, 이러한 접근은 Option (b) 아래에서의 모든 필요한 측정과 일치하지는 않는다. 실제로, 이것은 국가에 대하여 과거나 미래의 Np나 Am의 수출이나, 이들의 재고에 대한 정보의 보고를 요구하지 않는다.

뿐만 아니라, 이들 국가가 Np나 Am의 분리나 분리계획에 대하여

- 추가의정서(Additional Protocol)는 핵연료주기와 관련된 R&D 활동(특히 핵연료의 재처리, 또는 Pu나 고농축 U 또는 ^{233}U를 함유한 중준위 또는 고준위폐기물공정과 관련된 공정이나 시스템 연구활동을 포함한다)에 관한 자금과, 국가를 대신한 관리 및 수행 주체에 대한 신고를 요구받을 수 있으며, 여기에는 Np나 Am과 관련된 R&D활동이 포함될 수 있다.

- 국가의 안전조치 아래서 안전조치가 종료된 핵물질이 함유된 중준위 또는 고준위폐기물에서 Np나 Am을 분리하는데 대한 보고를 요구할 수 있다.
- 국가는 특별히 핵연료 재처리나 Pu, 고농축 U 또는 ^{233}U가 함유된 중준위 또는 고준위 폐기물공정과 관련된 R&D 활동에 대한 일반적인 사항과 장소, 자금과, 국가를 대신한 관리 및 수행 주체에 대한 모든 사항에 대하여 IAEA에 대하여 보고하도록 책임 있는 노력을 요구받을 수 있다.
- IAEA가 시설부지 내의 활동과 기능적으로 관련이 있다고 여기는 시설부지 외의 정보에 관하여 정보를 요구할 권한을 허용하고 있다.
- 국가는 향후 10년간의 핵연료주기(핵연료주기 관련 R&D활동 계획을 포함) 개발과 관련된 일반적인 정보를 국가 당국의 승인을 받았을 때 IAEA에 제출하도록 요구받을 수 있다. Np나 Am의 분리계획이 핵연료주기와 관련된다고 간주된다면 여기에 포함될 수 있다.

그러나, IAEA의 활동이 INFCIRC/540 아래에 있는 한에 있어서는 IAEA 안전조치의 목적은, 단지 추가의정서 상의 핵물질이나 Article 2에 의하여 신고가 요구되는 활동과 관련된 현재와 미래의 취득경로와 관련된 FSV 요소만을 제출하도록 요구하고 있다.

INFCIRC/540은, 국가가 동의할 경우, 국가와 IAEA는 그 국가가 "안전조치와 관련된 시설과 LOF에서의 운전활동(operational activities of safeguards relevance at facilities and LOFs)"에 대하여 option (b)의 적용에 필요한 정보를 제공할 수 있도록 정보관련 협약을 맺을 수 있도록 허용하고 있다. 이것은 운전되는 시설에 관한 필요한 확실한 정보를 얻는데 도움이 될 수 있으나, 재고량에 관한 정보나, Np나 Am의 과거나 미래의 수출에 관한 정보와 과거의 분리 활동에 관한 정보를 제출하도록 할 수는 없다.

또한 INFCIRC/540은 IAEA에게 부지내의 어떤 지역에 대하여서도, INFCIRC/540에서 신고하도록 요구된 활동에 대하여 미신고 된 핵물질이나 활동이 없는지를 확인하기 위한 확장된 접근을 가능하게 한다.

SAGSI 보고서의 지적에 의하면, Option (b)는 IAEA에 의한 주기적이고 조직적인 모델 추가의정서에 규정된 방식에 의한 접근과 다른 감시활동이 가능할 수 있다.

그러나 INFCIRC/540에 의한 어떤 대안도 추가의정서가 적용된 국가들에만 적용될 수 있다.

<NFCIRC/540의 Annex I과 II의 개정>

1998년 이사회가 심의하는 중에, INFCIRC/540의 Annex I과 II를 Np와 Am에 관한 보고를 GOV/1998/61의 Option (b)의 실행에 필요한 권한을 고려한 내용을 포함하도록 개정하는 방안이 제안되었었다.

Annex I의 개정을 통하여, 추가의정서가 적용되는 국가에 대하여 분리활동을 포함하여 분명한 정보를 준비하도록 표준화하는 효과가 있으나, 이러한 개정의 효과는 Option (b)에서 요구하는 일부 관점만을 만족할 수 있다는 한계가 있다.

정보의 관점에서, Annex I의 개정은 단지 분리활동 만을 포함하며, 과거의 분리활동이나 현재 저장중인 분리된 Np나 Am에 관한 정보를 요구하지 않으며 과거나 미래의 수출에 관한 정보도 요구하지 않는다.

접근의 측면에서, Annex I의 개정은 핵물질이나 핵물질이 함유된 폐기물로부터 Np나 Am을 분리와 관련된 활동에 접근하도록 하고 있다. 이러한 활동에 대한 접근은 부지 내에서 이루어지지 않는 의문이나 불일치점을 해결하는데는 한계가 있을 수 있다.

끝으로, 위에서도 지적 한바와 같이, 이러한 접근은 추가의정서가 적용되는 국가에 대하여서만 가능하다.

<자발적인 보증(Voluntary Undertaking)>

Option (b)는 어느 국가의 추가의정서의 적용과 관계없이 존속이 가능한 방향으로 제안되었다. 가장 간단한 정보제공의 메카니즘은 국가가 자발적으로 필요한 정보와 접근을 제공하는 것이다. 이는 IAEA와 그 국가간의 상호 문서 교환으로 이루어질 수 있다. 국가들은 법률적인 구속 없이 이를 자발적으로 수행할 수 있다.

이러한 접근의 장점은 Model Additional Protocol의 개정이 필요하지 않다는 것이다. 또한, 다른 모든 방안을 고려할때, 국가에 의한 INFCIRC/153나, INFCIRC/540에 포함된 내용을 준비하기 위한 약간의 자발적 책임을 수반하게될 것이다, Option (b)에 의한 측정을 위한 단순한 문서교환은, 이 단계에서 신속히 처리할 수 있는 가장 단순한 방법이 될 것이다.

6.2 Option(b)에 대한 기술적 검토

FSV는 사무국이 (a) 포괄적 안전조치조약이 적용되거나 적용될 국가 내에 존재하는 분리된 Np나 Am의 양이 핵확산의 위험을 가져오기에는 부족한 상태를 유지한다는 것을 보증할 수 있고, (b) 이 상태가 변화할 경우 적절한 시간 내에 사무국에 통보할 수 있도록, 감시접근을 하기 위한 요소로 도입되었다.

Option (b)에서의 FSV(Flow Sheet Verification)의 원리는, IAEA가 관련 국가에 대하여, Np와 Am을 함유한 물질을 다루는 시설과 분리 가능한 기술에 관련된 시설의 전용 방지를 위한 점검을 하는 것이다.

FSV의 대상시설은, 조사된 연료나 고준위폐기물, 오래된 Pu등에서 Np나 Am을 분리할 수 있는 다음과 같은 시설이나 설비를 포함한다.

- 사용후연료 저장시설
- 재처리시설
- MOX 연료 제조 및 관련시설
- 폐기물 유리화 시설
- Pu제품 제조 시설 : 그리고
- 기타시설

FSV는 현재 Np나 Am의 실제 분리능력을 가졌거나, 분리 능력을 가질 가능성이 있다고 생각되는 시설에만 적용한다. Np와 Am은 용액 상태에서만 분리되므로, FSV의 측정은 용액 상태의 Np나 Am을 처리 저장 또는 이용하는 시설에만 적용이 필요할 것이다.

현존하는 안전조치 협정 하에서, 국가는 이런 종류의 어떠한 설계변경에 대하여서도 이에 관한 정보를 신고하도록 요구받게 될 것이다. 또한 현존의 안전조치 설계정보 검증(DIV) 활

동은 이러한 변화를 충분히 탐지할 것이다.

사무국이 사용하는 FSV를 적용하고자 하는 시설의 분리능력의 한계치는 보수적인 값을 사용하여 연간 Np나 Am을 100g 분리 할 수 있는 시설이다.

이 수준은 한 CSA국가내의 여러 다른 시설에서 분리되어 취득될 수 있는 양이다. 이 한계치는 공정내에 존재하는 Np와 Am의 절대량보다, 신고된 분포된 여러 공정흐름에 존재하는 분포가 FSV의 질적 특성과 상관이 있다.

이들 시설의 분리 용량의 한계치와 해당국의 저장량의 한계치 그리고 Np와 Am의 핵확산 도의 차이가 고려될 필요가 있으며, 사무국은 최대값으로 연간 Am 500g을 권고한다. 이러한 증가는 FSV 적용을 위한 후보시설 목록에 영향을 미치지 않을 것이다.

또한 후보시설에는 악티나이드 분리를 연구하는 대규모 실험시설을 포함한다. 이러한 시설의 감시는 이들 기기에서의 실험과 운전으로 얻어진 경험이 대량의 Np나 Am의 분리에 적용될 수 있기에 중요하다. FSV를 적용할 후보 실험시설은 소규모 용량의 실험시설(대학 실험실 등)이나 다만 악티나이드의 학문적 연구만을 위한 시설은 포함하지 않는다.

이러한 조건을 이용하여, CSA국가 내에 있는 안전조치 적용을 받고 있는 9개의 사용중인 시설이 FSV를 적용할 시설로 선정되었다. 이러한 시설들은 3개 group으로 분류할 수 있다.

(a) Np 또는 Am 용액과 분리기기가 존재하는 시설(4개)

(b) Np 또는 Am 용액이 존재하나 분리기기는 없는 시설 (2개)

(c) 대규모 악티나이드 분리 실험실(3개)

FSV활동을 적용할 수 있는, 각각의 후보시설은, 이미 안전조치 활동 적용 관점에서 운전과 설계특성이 확인된 시설들이다. 많은 경우 현존하는 측정방법들이 Np와 Am과 관련된 확인에도 사용될 수 있을 것이다.

Am에 의한 핵확산 가능성이 낮다는 점이 평가되었으나, 대부분의 공정흐름에 Np와 Am이 공존하기 때문에 Np를 감시하는 행위에 Am을 추가하여도 추가적인 비용의 증가는 생기지 않는다.

6.3 Np과 Am의 생산과 거래를 감시하기 위한 기술적인 파라메타

Np과 Am의 생산과 거래를 감시하기 위한 기술적인 파라메타는 국가내의 한계량(threshold amount), 각 시설들의 분리 능력 한계(threshold) 및 수출보고 한계(threshold) 등이다.

<국가의 threshold>

Option (b)의 중요한 목적의 하나는 다음사항을 가능하게 하는 것이다.

(a) 분리된 Np나 Am이 한 CSA국가 내에 대략 kg단위로 축적되는 시점을 결정할 수 있고,

(b) 그러한 사건을 적시에 이사회에 보고한다.

이 정보를 이사회에 통보하는 계기가 되는 그 국가의 저장 threshold값은 Np와 Am의 임계질량과 직접적인 관련이 있다. 국가의 분리된 Np나 Am에 대한 저장 threshold값은 임계질량의 몇 % 정도가 분리활동이, 이사회에 통보하여 적기에 행동을 취할 여유를 갖고, 유

의할만한 양이냐 하는 것이며, 현행의 감시협정을 어떻게 변형하느냐 하는 것이다. Np와 Am의 임계질량은 둘다 약 50 kg 정도이며, Am의 핵확산 위험성은 낮다는 것을 고려하여 이사회에 보고하는 국가의 저장 threshold 값은,

- 5 kg for Np (10 percent of the critical mass), and
- 10 kg for Am (20 percent of the critical mass).
- Np 5kg(임계량의 10%)와,
- Am 10 kg(임계량의 20%)를 제시하였다.

<시설 분리 능력의 threshold>

어느 개별시설이나 이 threshold를 넘는 분리 능력을 가지면 시설에 대한 FSV를 적용받아야 할 것이다. 이 값은 Np나 Am에 대하여 연간 100g으로 선택되었다. Np와 Am에 의한 핵확산 가능성의 차이를 고려하여 사무국은 Np에 대한 각각의 시설의 분리능력 threshold 값은 연간 100g으로 하고, Am에 대하여서는 각각의 시설에 대하여 연간 분리능력 500g을 threshold값으로 제시하였다.

만약 어떤 시설이 이들 threshold 값 중 어느 하나를 넘는다면, 그 시설에 대하여 FSV가 실행되게 될 것이다. 이 threshold값의 변화로 현재의 시설목록에 영향을 받지 않게 될 것이기 때문에 GOV/1999/19에 등록된 모든 공정 시설은 Np나 Am 분리 가능 용량이 threshold 값이 넘는 후보가 될 것이다. 새로운 시설의 경우, 특별히 작은 경우, 이 차이에 의하여 FSV의 적용을 전혀 받지 않을 것이다.

<수출보고에 관한 threshold값>

수출보고에 관한 threshold 값은 한 CSA 국가에 대하여 1년간의 축적량이 분리된 Np 50g, Am 100g으로 하고, 두 경우 모두 g-단위의 상업적 제품이나 장치는 제외한다.

모든 수출량의 누적치가 이 한계량을 넘어서면 수출국가는 그 해가 끝나고 나서 3개월 이내에, 수출목록, 수입국가, g-단위의 양과 최종사용자의이름과 주소를 기재한 연례보고서를 작성하여 보고하여야 한다.

6.4 결론

검토 결과 현재 사무국이 이용 가능한 정보에 의하면, CSA 국가내에 분리된 다량의 Np나 Am이 존재하지 않는다는 결론을 내렸다. 사무국의 견해는 Am에 의한 핵확산의 가능성은 Np에 의한 것보다 낮으나, 핵확산의 위험성이 확산되지 않도록 보장하기 위해서는 두 가지 물질 모두 신중하게 감시되어야 하는 것이며, 우선 순위는 Np에 주어져야 한다.

이 문제에서 가장 중요한 관점은 CSA 국가 내에 분리된 Np나 Am이 실제로 존재(kg 단위의)할 때 적절한 시간 내에 사무국이 결정을 내릴 수 있는 위치에 있고, 그러한 사태를 이사회에 보고할 수 있는 방안을 확인하는 것이다. 이사회에 통보하는 한계가 되는 값은 어느 CSA 국가이거나 분리된 Np나 Am 5kg 이다.

이러한 한계 값은 CSA 국가내에서 관련된 분리활동이 공업적 규모에 접근한다는 것을 나타내는데 충분할 만큼 큰 값이나, 현재의 감시협정을 개정하는데 필요한 시간을 가질 수 있은 만큼 충분히 작은 값이다. 또한 사무국은 Am의 한계량을 분리된 Am 10kg으로 할 수도 있다고 결론지었다.

Option (b)의 확인 감시는 위에 말한 각각의 취득 경로에 대한 기술적인 측정과 경제적으로 효율적인 방안으로 접근하고 있다. 이러한 감시는 다음과 같은 3가지 요소로 구성된다.

(a) 분리된 Np와 Am을 수출할 능력이 있는 국가는 CSA국가에 대한 수출에 대하여 과거의 수출과 미래의 수출에 대하여 연간기준으로 분리된 Np 50g, Am 100g이 넘는 경우에는 수출량을 보고하겠다고 약속한다. 이 경우 g-단위의 상업적 제품이나 장치는 제외한다.

(b) 과거나, 현재, 또는 Np나 Am을 분리하여 수출할 계획을 갖고 있는, 재처리 또는 Pu 정제를 실행했거나 실행중인 CSA 국가로부터 분리된 Np나 Am을 입수하였거나 입수할 계획을 갖고 있는 CSA 국가는 연간단위로 수입량을 보고한다고 약속한다.

(c) CSA 국가 내에 있는 Np나 Am을 실제로 함유한 핵물질을 취급하거나, 상당량의 Np나 Am을 분리할 수 있는 능력을 가진 각 시설의 주요 설계 및 공정 인자를 감시하고 확인하기 위한 공정흐름도 검증(FSV)

7. IAEA이사회 의결 내용[3]

- 이사회는 Np에 의한 핵확산의 위험성이 U나 Pu에 비하여 상당히 낮다는 것에 동의한다.
- 이들 물질에 규제에 대한 법률적인 근거가 없고, IAEA가 감시하도록 요구된 특수핵분열성물질(Special Fissionable Material)이나 선원물질(Source Material)로 지정되지 않았기 때문에, IAEA는 자발적인 협조를 기초로 하여 감시를 수행해야 한다는 것을 이사회는 인정한다.
- 이사회는 IAEA 안전조치 적용상의 특수핵분열성물질의 정의를 고치지 않는 감시방법의 적용에 동의한다.
- 이사회는 이들 물질에 대한 감시의 적용은 IAEA의 정규 예산에 추가적인 요구를 하지 않아야 하는 것의 중요성을 첨언한다.
- Np에 대하여, IAEA와 관련국가 간에, Option (b)의 적용에 필요한 효과적인 정기적이고 시의 적절한 정보를 얻는 것을 자발적으로 보증하기 위하여 필요한 문서를 교환하는 것에, 이사회는 동의한다.
- 비록, 현재는 Am에 의한 실제적 핵확산의 위험이 없다는 것을 이사회는 믿고 있지만, 수출에 관한 보고서를 포함하여, 이용 가능한 모든 IAEA의 정규적인 활동과 회원국의 자발적인 참여에 의한 추가정보들을 이용하여, 사무총장이 위험성 여부를 결정해야할 것이며, IAEA나 관련 국가들의 노력에 의하여 어느 한 국가의 물질 축적이나 생산계획에 전용가능성이 드러났을 때, 이를 이사회에 보고하여야 한다,

8. 결 론

- IAEA 이사회 결의안 GOV/1999/19/Rev.2에 의하여 Np와 Am도 IAEA의 규제 대상 핵물질이 되었다.
- 이 규제안은 추가의정서 채택이라는 회원국의 자발적인 참여방식에 의존하기 때문에 전면적인 실시까지는 상당한 시간이 소요될 것이다.
- Np와 Am의 규제는 재처리 시설이 없는 우리 나라 입장에서 당장은 원자력 산업계가 직접적으로 영향은 받지 않을 것이나, 악티나이드 분리연구와 고준위 폐기물처리 연구에는 상당한 영향을 미치게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. L. Cooley, The Proliferation Potential of Neptunium and Americium" Board Document GOV/1998/61 - 30. 10. 1998
2. IAEA, "The Proliferation Potential of Neptunium and Americium," Report to the Director General on The 48th Serise of SAGSI Meetings, IAEA, Vienna, 8-11 Feb. 1999.
3. IAEA, "The Proliferation Potential of Neptunium and Americium," IAEA GOV/1999/19/Rev.2 IAEA, Vienna, 29. October 1999.